Co wiemy o inteligencji z ciężaru badań

Wstęp

Kiedy komputer pokonuje ludzkiego mistrza w szachy lub słowną grę poznawczą, taką jak Jeopardy, czy komputer jest mądrzejszy od człowieka? Dlaczego niektórzy ludzie potrafią zapamiętać wyjątkowo długie ciągi losowych liczb lub określić dzień tygodnia w dowolnej dacie z przeszłości, teraźniejszości lub przyszłości? Czym jest geniusz artystyczny i czy ma związek z inteligencją? Oto niektóre z wyzwań stojących przed zdefiniowaniem inteligencji na potrzeby badań. Oczywiste jest, że bez względu na to, jak zdefiniujesz inteligencję, musi ona mieć coś wspólnego z mózgiem. Spośród wielu mitów na temat inteligencji, być może najbardziej zgubny jest ten, że inteligencja jest pojęciem zbyt amorficznym i źle zdefiniowanym, by można było go badać naukowo. W rzeczywistości definicje i miary stosowane w badaniach są wystarczająco rozwinięte do badań empirycznych i są takie od ponad 100 lat. Ta długa tradycja badawcza wykorzystywała różnego rodzaju testy zdolności umysłowych i wyrafinowane metody statystyczne, zwane zbiorczo psychometrią. Nowa nauka o inteligencji opiera się na tej bazie danych i łączy ją z nowymi technologiami z ostatnich dwóch dekad, zwłaszcza metodami genetycznymi i neuroobrazowania. Te postępy, na których skupia się ta książka, pomagają rozwinąć bardziej zorientowane na neuronaukę podejście do badań nad inteligencją. Trajektoria tych badań jest podobna do tej w innych dziedzinach nauki, która prowadziła od lepszych narzędzi pomiarowych do bardziej wyrafinowanych definicji i rozumienia, na przykład, „atomu" i „genu". Zanim zajmiemy się mózgiem w kolejnych rozdziałach, w tym rozdziale dokonamy przeglądu aktualnego stanu podstawowych zagadnień związanych z badaniami nad inteligencją, dotyczących definicji inteligencji jako ogólnej zdolności umysłowej, pomiaru inteligencji w stosunku do innych ludzi oraz trafności wyników testów inteligencji do przewidywania rzeczywistego świata.

Czym jest inteligencja? Czy wiesz, kiedy to widzisz?

Może się to wydawać dziwne, ale zacznijmy naszą dyskusję o inteligencji od wartości pi, czyli obwodu koła podzielonego przez jego średnicę. Jak wiecie, wartość pi jest zawsze taka sama: 3,14… doprowadzone do nieskończonego, niepowtarzalnego ciągu miejsc dziesiętnych. Dla naszych celów jest to po prostu bardzo długi ciąg liczb w pozornie przypadkowej kolejności, który jest zawsze taki sam. Ten ciąg liczb został użyty jako prosty test pamięci. Niektórzy ludzie mogą zapamiętać dłuższy ciąg sekwencji pi niż inni. I kilka osób może zapamiętać bardzo długi ciąg. Daniel Tammet, młody Brytyjczyk, przez miesiąc studiował wydruk komputerowy sekwencji pi. Następnie, podczas demonstracji zorganizowanej przez BBC, Daniel publicznie powtórzył sekwencję z pamięci, a za nimi podążały osoby z wydrukiem komputerowym. Daniel zatrzymał się ponad 5 godzin później po poprawnym powtórzeniu 22 514 cyfr w sekwencji. Zatrzymał się, bo był zmęczony i bał się popełnić błąd. Oprócz zdolności do zapamiętywania długich ciągów liczb, Daniel ma również zdolność uczenia się trudnych języków. BBC zorganizowało również demonstrację jego umiejętności językowych, kiedy przenieśli go do Islandii, aby uczył się miejscowego języka z korepetytorem. Dwa tygodnie później rozmawiał w islandzkiej telewizji w ich ojczystym języku. Czy te zdolności wskazują, że Daniel jest geniuszem lub przynajmniej inteligentniejszy niż ludzie, którzy nie mają tych zdolności umysłowych? Daniel ma zdiagnozowany autyzm i może cierpieć na chorobę mózgu zwaną synestezją. Synestezja to tajemnicze zaburzenie percepcji zmysłowej, w którym na przykład liczby mogą być postrzegane jako kolory, kształty, a nawet zapachy. Wydaje się, że coś jest nie tak z okablowaniem mózgu, ale jest to tak rzadki stan, że badania są dość ograniczone. W przypadku Daniela mówi, że widzi każdą cyfrę jako inny kolor i kształt, a kiedy przypomina sobie sekwencję pi, widzi raczej zmieniający się „krajobraz" kolorów i kształtów niż cyfr. Daniel jest również nietypowy wśród osób z autyzmem, ponieważ ma wyższy niż przeciętny IQ. Przywołanie z pamięci 22 514 cyfr liczby pi jest fascynującym osiągnięciem, bez względu na to, jak się tego dokona (rekord to zdumiewające 67 890 cyfr). Podobnie jak nauka konwersacji w języku

islandzkim w dwa tygodnie. Są ludzie o niezwykłych, specyficznych zdolnościach umysłowych. Termin „uczony" jest zazwyczaj używany do opisania tych rzadkich osobników. Czasami zdolnością uczonego jest zdumiewająca pamięć lub umiejętność szybkiego liczenia dużych liczb w umyśle, lub umiejętność zagrania dowolnego utworu muzycznego po usłyszeniu go tylko raz, lub umiejętność tworzenia artystycznych rysunków lub rzeźb. Na przykład Kim Peek był w stanie zapamiętać niezwykły zakres faktów i liczb. Przeczytał tysiące książek, zwłaszcza almanachy, i każdą z nich czytał szybko, przeglądając stronę po stronie. Mógł wtedy przywoływać te informacje do woli, co wielokrotnie demonstrował na forach publicznych w odpowiedzi na pytania publiczności: Kto był dziesiątym królem Anglii? Kiedy i gdzie się urodził? Kim były jego żony? I tak dalej. IQ Kima było dość niskie i nie mógł o siebie zadbać. Jego ojciec zarządzał wszystkimi aspektami jego życia, z wyjątkiem sytuacji, gdy odpowiadał na pytania z pamięci. Steven Wilshire ma inną zdolność uczonego. Steven rysuje dokładne, szczegółowe obrazy panoramy miasta i robi to z pamięci po krótkiej wycieczce helikopterem po mieście. Nawet poprawnie podaje liczbę okien w budynkach. Możesz kupić jeden z jego wielu rysunków panoramy miasta w galerii w Londynie lub w Internecie. Alonso Clemons jest rzeźbiarzem. Ma też niskie IQ. Jego matka twierdzi, że został upuszczony na głowę jako niemowlę. Alonso tworzy rzeźby zwierząt w najdrobniejszych szczegółach, zazwyczaj po krótkim spojrzeniu na temat. Artyzm jest niesamowity. Derek Pavacinni ma niskie IQ i nie może o siebie zadbać. Jest niewidomy od urodzenia. Derek jest wirtuozem gry na pianinie. Zadziwia publiczność, grając dowolny utwór po jednym wysłuchaniu i potrafi zagrać go w dowolnym stylu muzycznym. Warto zauważyć, że Albert Einstein i Isaac Newton nie posiadali żadnej z tych zdolności pamięciowych, rysunkowych, rzeźbiarskich czy muzycznych. Uczeni zadają dwa oczywiste pytania: jak oni to robią i dlaczego ja nie mogę? Tak naprawdę nie znamy odpowiedzi na żadne z pytań. Osoby te zadają również podstawowe pytanie dotyczące definicji inteligencji. Są ważnymi przykładami istnienia określonych zdolności umysłowych. Ale czy nadzwyczajne specyficzne zdolności umysłowe są dowodem inteligencji? Większość uczonych nie jest inteligentna. W rzeczywistości uczeni zazwyczaj mają niskie IQ i często nie potrafią o siebie zadbać. Najwyraźniej niezwykłe, ale ograniczone zdolności umysłowe nie są tym, co zwykle rozumiemy przez inteligencję. Jeszcze jednym przykładem jest Watson, komputer IBM, który pokonał dwóch wszechczasów mistrzów Jeopardy. Jeopardy to gra, w której podane są odpowiedzi, a gracze muszą wydedukować pytanie. Zasady były takie, że Watson nie mógł przeszukiwać sieci. Wszystkie informacje musiały być przechowywane w 15 petabajtach pamięci Watsona, czyli mniej więcej wielkości 10 lodówek. Oto przykład: w kategorii „Pisklęta kopią mnie" odpowiedź brzmi: Ta tajemnicza pisarka i jej mąż-archeolog kopali w poszukiwaniu zaginionego syryjskiego miasta Arkash. To zdanie jest w rzeczywistości dość skomplikowane do zrozumienia dla komputera, nie mówiąc już o sformułowaniu odpowiedzi w formie pytania. Jeśli nadal myślisz, odpowiedź w formie pytania brzmi: Kim była Agatha Christie? Watson odpowiedział na to szybciej niż ludzie, a w prawdziwym meczu Watson pokonał dwóch ludzkich mistrzów. Czy Watson ma taki sam rodzaj inteligencji jak ludzie, czy lepszy? Przyjrzyjmy się kilku definicjom, aby rozważyć, czy Watson jest bardziej jak uczony czy Albert Einstein.

Definiowanie inteligencji do badań empirycznych

Bez względu na to, jak zdefiniujesz inteligencję, znasz kogoś, kto nie jest tak inteligentny jak ty. Byłoby niezwykłe, gdybyś nigdy nie nazwał kogoś „idiotą", „kretynem" lub po prostu głupim i miał to na myśli dosłownie. I szczerze mówiąc, znasz kogoś, kto jest mądrzejszy od ciebie. Być może odnosisz się do takiej osoby równie pejoratywnie, jak „kujon" czy „jajogłowy", nawet jeśli w głębi duszy chciałbyś mieć więcej „mózgów". Biorąc pod uwagę ich rzadkość, jest mniej prawdopodobne, że znasz prawdziwego geniusza, nawet jeśli wiele matek i ojców twierdzi, że zna przynajmniej jednego. Istnieją codzienne definicje inteligencji, które nie nadają się do badań naukowych: Inteligencja to bycie inteligentnym. Inteligencja jest tym, czego używasz, gdy nie wiesz, co robić. Inteligencja jest przeciwieństwem głupoty. Inteligencja to coś, co nazywamy indywidualnymi różnicami w uczeniu się, pamięci i uwadze. Naukowcy

zaproponowali jednak wiele definicji i przeważnie wszystkie mają jedną cechę. Inteligencja jest ogólną zdolnością entaliczną. Oto dwa przykłady:

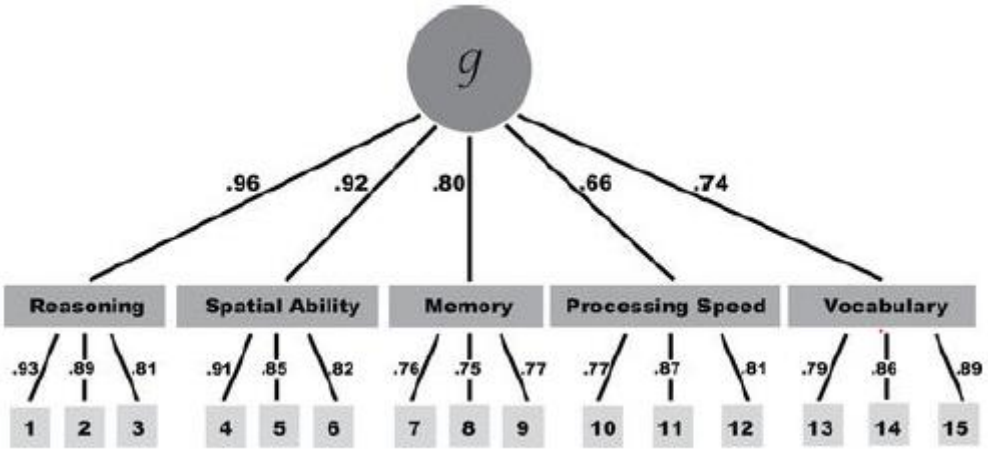
1. Grupa zadaniowa ds. inteligencji Amerykańskiego Towarzystwa Psychologicznego (APA): „Jednostki różnią się między sobą zdolnością rozumienia złożonych idei, skutecznego przystosowania się do otoczenia, uczenia się na podstawie doświadczenia, angażowania się w różne formy rozumowania, pokonywać przeszkody, myśląc".

2. Oto powszechnie akceptowana definicja wśród badaczy: [Inteligencja to] „bardzo ogólna zdolność umysłowa, która obejmuje między innymi zdolność rozumowania, planowania, rozwiązywania problemów, myślenia abstrakcyjnego, rozumienia złożonych idei, szybkiego uczenia się i uczenia się na podstawie doświadczenia … To nie jest tylko uczenie się z książek, wąska umiejętność akademicka czy inteligencja zdawania testów. Odzwierciedla raczej szerszą i głębszą zdolność rozumienia naszego otoczenia – „chwytania", „nadawania sensu" rzeczom lub „wymyślania", co robić".

Pojęcie inteligencji jako ogólnej zdolności umysłowej jest powszechnie akceptowane przez wielu badaczy, ale nie jest to jedyne pojęcie. Jakie dowody potwierdzają koncepcję inteligencji jako ogólnej zdolności umysłowej i jakie inne zdolności umysłowe są istotne dla zdefiniowania inteligencji? Jak pogodzić inteligencję jako ogólną zdolność ze specyficznymi zdolnościami uczonych?

Struktura zdolności umysłowych i współczynnik g

Wszyscy wiemy z własnego doświadczenia, że istnieje wiele zdolności umysłowych. Niektóre są bardzo specyficzne, jak pisownia lub zdolność mentalnego obracania obiektów 3D lub szybkiego obliczania prawdopodobieństwa wygranej w różnych rozdaniach pokerowych. Istnieje wiele testów określonych zdolności umysłowych. Mamy ponad 100 lat badań nad tym, jak takie testy mają się do siebie. Oto, co wiemy: różne zdolności umysłowe nie są niezależne. Wszystkie są ze sobą powiązane, a korelacje między testami psychicznymi są zawsze dodatnie. Oznacza to, że jeśli wypadłeś dobrze w jednym teście zdolności umysłowych, zwykle radzisz sobie dobrze w innych testach. Jest to podstawowe odkrycie dotyczące oceny inteligencji, jest podstawą większości współczesnych badań. Zwróć uwagę na tę ważną kwestię: tendencja oznacza większe prawdopodobieństwo, a nie idealną prognozę. Ilekroć mówimy, że jeden wynik przewiduje coś, zawsze mamy na myśli, że wynik przewiduje wyższe prawdopodobieństwo tego czegoś. Zależność między testami umysłowymi nazywana jest strukturą zdolności umysłowych. Aby zobrazować tę strukturę, wyobraź sobie trzypoziomową piramidę, jak pokazano na rysunku .

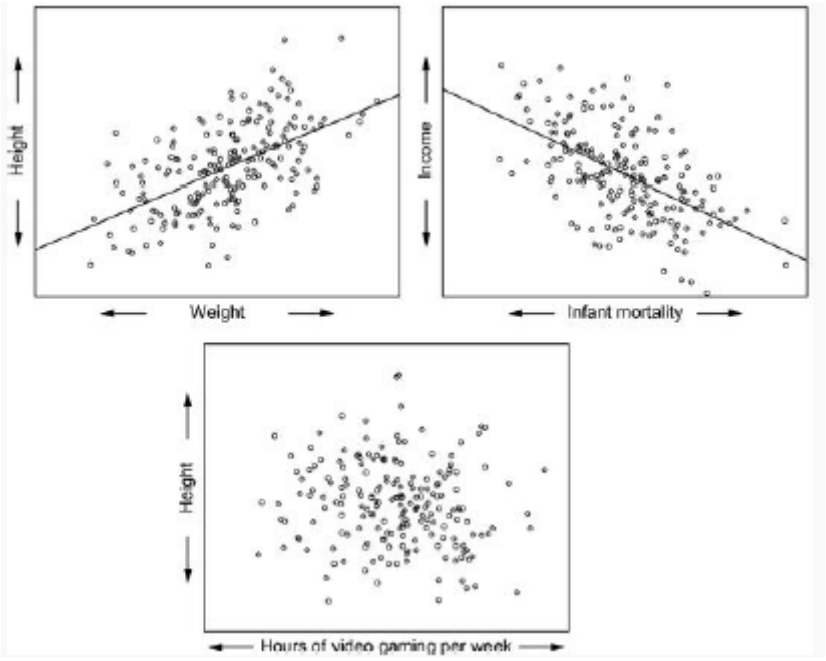


Na dole rysunku mamy rząd 15 różnych testów określonych zdolności. Na wyższym poziomie testy podobnych zdolności są grupowane w bardziej szczegółowe czynniki: rozumowanie, zdolności

przestrzenne, pamięć, szybkość przetwarzania informacji i słownictwo. Na przykład testy 1, 2 i 3 to testy rozumowania, a testy 7, 8 i 9 to testy pamięci. Jednak wszystkie te bardziej szczegółowe czynniki są również ze sobą powiązane. Zasadniczo ludzie, którzy uzyskują wysokie wyniki w jednym teście lub czynniku, mają tendencję do uzyskiwania wysokich wyników w innych (liczby na rysunku to przykładowe korelacje, które pokazują siłę związku między testami a czynnikami). Jest to kluczowe odkrycie, które zostało wielokrotnie udowodnione. Mocno implikuje to, że wszystkie czynniki wyprowadzone z poszczególnych testów mają coś wspólnego, a ten wspólny czynnik nazywany jest ogólnym czynnikiem inteligencji, w skrócie g. g znajduje się w najwyższym punkcie piramidy na rysunku. G-factor zapewnia pomost między definicjami inteligencji, które podkreślają ogólną zdolność umysłową, a indywidualnymi testami, które mierzą (lub dokładniej szacują) określone zdolności. Większość teorii dotyczących czynników inteligencji zaczyna się od empirycznej obserwacji, że wszystkie testy zdolności umysłowych są ze sobą dodatnio skorelowane. Nazywa się to „pozytywną rozmaitością", a Charles Spearman po raz pierwszy opisał to ponad 100 lat temu (Spearman, 1904). Spearman opracował procedury statystyczne do identyfikowania zależności między testami na podstawie ich wzajemnych korelacji. Podstawowa metoda nazywana jest analizą czynnikową. Działa zasadniczo poprzez analizę korelacji wśród testów.

Ramka 1.1: Korelacje

Wielu z was wie o korelacjach. Ponieważ są one wszechobecne , oto krótkie wyjaśnienie, aby każdy zaczął od zrozumienia tej koncepcji. Załóżmy, że mierzymy wzrost i wagę wielu osób. Możemy wykreślić każdą osobę, umieszczając wzrost i wagę jako pojedynczy punkt z zakresami wzrostu na osi y i zakresami wagi na osi x. Kiedy dodamy punkty na wykresie dla każdej osoby, zaczynamy widzieć skojarzenie. Wyżsi ludzie zwykle ważą więcej. Możesz to zobaczyć na rysunku 2. To powiązanie jest oczywiste bez konieczności wykreślania punktów, ale powiązania między innymi zmiennymi nie są już tak oczywiste. Ponadto korelacje określają ilościowo siłę związku. Gdyby wzrost i waga były idealnie powiązane, wszystkie punkty leżałyby na linii prostej i moglibyśmy bezbłędnie przewidzieć jeden na podstawie drugiego. Korelacja ma wartość plus 1, jeśli wysoka wartość jednej zmiennej idealnie współgra z wysoką wartością drugiej zmiennej. Silną, ale nie doskonałą dodatnią korelację pokazano na rysunku 2.



Idealna korelacja ujemna to sytuacja, w której wysoka wartość jednej zmiennej przewiduje bezbłędnie niską wartość drugiej. Silna, ale nie doskonała korelacja ujemna (zwana także korelacją odwrotną) jest również pokazana na rysunku. Idealna korelacja ujemna ma wartość minus 1. W przykładzie z rysunku 2 im wyższy dochód rodziny, tym niższa śmiertelność niemowląt. Wreszcie, na rysunku 2, dolny panel nie pokazuje żadnego związku (zerowa korelacja) między wzrostem a godzinami grania w gry wideo. Korelacje między dwiema zmiennymi są obliczane na podstawie tego, jak bardzo każdy punkt odbiega od idealnej linii. Im wyższa korelacja, dodatnia lub ujemna, tym silniejszy związek i tym lepiej jedna zmienna przewiduje drugą. Korelacje zawsze mieszczą się między plusem a minusem 1. Oto punkt krytyczny. Korelacja między dwiema zmiennymi nie oznacza, że jedna powoduje drugą. Korelacja oznacza jedynie, że istnieje taka zależność, że gdy jedna rośnie lub spada, to samo dzieje się z drugą. Powtarzam, korelacja nie oznacza przyczynowości. Dwie zmienne mogą być ze sobą skorelowane, ale żadna z nich nie powoduje drugiej. Na przykład spożycie soli i poziom cholesterolu we krwi mogą być w pewnym stopniu skorelowane, ale to nie znaczy, że jedno powoduje drugie. Korelacja może być spowodowana trzecim czynnikiem wspólnym dla obu, takim jak zła dieta. Analiza czynnikowa opiera się na wzorcu korelacji między wieloma zmiennymi. W naszym przypadku interesują nas korelacje między różnymi testami zdolności umysłowych. Tak więc celem analizy czynnikowej jest określenie, jakie testy pasują do innych testów, w oparciu nie o treść, ale raczej o korelacje wyników niezależnie od treści. Zestaw testów, które pasują do siebie, definiuje czynnik, ponieważ mają coś wspólnego, co powoduje korelację. Badania w tej dziedzinie zazwyczaj stosują analizę czynnikową do zbiorów danych, w których setki lub tysiące osób ukończyło dziesiątki testów. Istnieje wiele form analizy czynnikowej, ale jest to podstawowa koncepcja i podstawa modeli struktury zdolności umysłowych, takich jak piramida opisana na rysunku 1. Wracając do tego rysunku, zwróć uwagę, że wartości korelacji pokazują, jak silne są powiązania między testami, czynnikami i g. Zauważ, że wszystkie korelacje są dodatnie, zgodne z dodatnią rozmaitością Spearmana. Przyjrzyjmy się niektórym szczegółom tego przykładu na rysunku1. Czynnik rozumowania jest powiązany z g z najsilniejszą korelacją wynoszącą 0,96. Wskazuje to, że czynnik rozumowania jest najsilniejszym czynnikiem związanym z g, więc testy rozumowania są uważane za jedne z najlepszych oszacowań g. Innym sposobem na powiedzenie tego jest to, że testy rozumowania mają wysokie obciążenia g. Należy zauważyć, że test nr 1 ma najwyższe pojedyncze obciążenie współczynnika rozumowania wynoszące 0,93, więc może zapewnić pojedyncze najlepsze oszacowanie g, jeśli zostanie użyty tylko jeden test, a nie zestaw testów. Druga najsilniejsza korelacja występuje między współczynnikiem zdolności przestrzennych a g. Okazuje się, że testy zdolności przestrzennych są również dobrymi szacunkami g. Czynnik słownictwa jest dość silny i wynosi 0,74, a następnie inne czynniki, w tym pamięć. W tym przykładzie testy pamięci są dobrymi, ale nie najlepszymi estymatorami g z korelacją 0,80, chociaż inne badania pokazują znacznie silniejsze korelacje między pamięcią roboczą a g

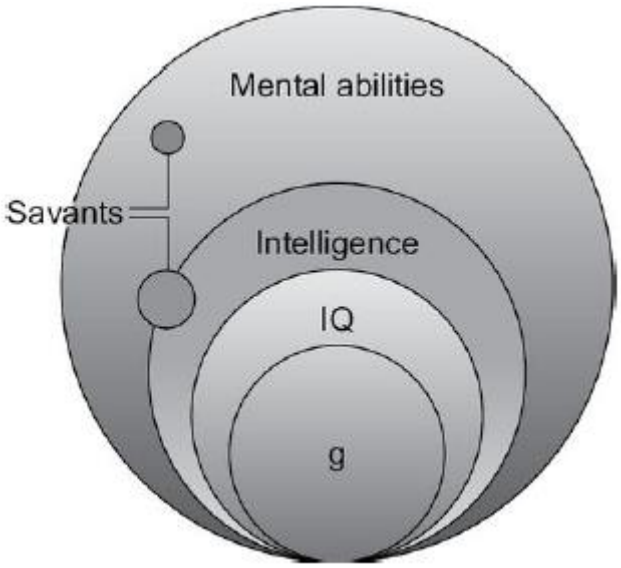
Modele alternatywne

Inni statystycy i badacze opracowali alternatywne metody analizy czynnikowej. Szczegóły nas nie dotyczą, ale przy użyciu tych różnych metod wyprowadzono różne modele inteligencji oparte na analizie czynnikowej. Każdy zidentyfikował inną strukturę czynnikową inteligencji. Te różne czynniki podkreślają, że sam współczynnik g to nie cała historia o inteligencji; żaden badacz wywiadu nigdy nie twierdził inaczej ani nie twierdził, że pojedynczy wynik obejmuje wszystkie aspekty inteligencji. Ważne są inne ogólne czynniki i specyficzne zdolności umysłowe. W zależności od tego, w jaki sposób badacze wyprowadzają czynniki z baterii testów, pojawia się różna liczba czynników drugorzędnych w stosunku do g. W przykładzie diagramu struktury piramidy istnieje pięć szerokich czynników. Inny szeroko stosowany model opiera się tylko na dwóch podstawowych czynnikach: inteligencji skrystalizowanej i

inteligencji płynnej. Inteligencja skrystalizowana odnosi się do zdolności uczenia się faktów i przyswajania informacji w oparciu o wiedzę i doświadczenie. Taki rodzaj inteligencji wykazują niektórzy uczeni. Inteligencja płynna odnosi się do rozumowania indukcyjnego i dedukcyjnego w celu rozwiązywania nowych problemów. To jest rodzaj inteligencji, który kojarzymy z Einsteinem czy Newtonem. Miary płynnej inteligencji są zazwyczaj silnie skorelowane z miarami g, a te dwa są często używane zamiennie. Inteligencja skrystalizowana jest stosunkowo stabilna przez całe życie z niewielkim pogorszeniem wraz z wiekiem, podczas gdy inteligencja płynna zmniejsza się powoli wraz z wiekiem. Rozróżnienie między inteligencją płynną i skrystalizowaną jest powszechnie uznawane za ważną ewolucję definicji inteligencji. Oba są powiązane, więc nie są w konflikcie ze współczynnikiem g. Reprezentują czynniki tuż poniżej g w strukturze piramidy zdolności umysłowych. Inny model analizy czynnikowej koncentruje się na trzech głównych czynnikach, rotacji werbalnej, percepcyjnej i przestrzennej, oprócz g. Istnieją również modele z mniej dowodami empirycznymi, takie jak modele Roberta Sternberga i Howarda Gardnera, które pomniejszają lub ignorują czynnik g. Jednak praktycznie wszystkie neuronaukowe badania inteligencji wykorzystują różne miary z wysokimi obciążeniami g. Skoncentrujemy się na nich, ale uwzględnimy również kilka badań neurologicznych, które badają czynniki i specyficzne zdolności inne niż g.

Skoncentruj się na współczynniku g

g jest podstawą większości ocen inteligencji stosowanych obecnie w badaniach. To nie to samo co IQ, ale wyniki IQ są dobrymi szacunkami g, ponieważ większość testów IQ opiera się na zestawie testów, które badają wiele czynników psychicznych, co jest ważnym aspektem g. Wiele kontrowersji dotyczących inteligencji ma swoje źródło w zamieszaniu dotyczącym tego, jak używamy takich słów, jak zdolności umysłowe, inteligencja, współczynnik g i IQ. Rysunek 3 przedstawia diagram, który pomoże wyjaśnić, w jaki sposób używam tych słów.



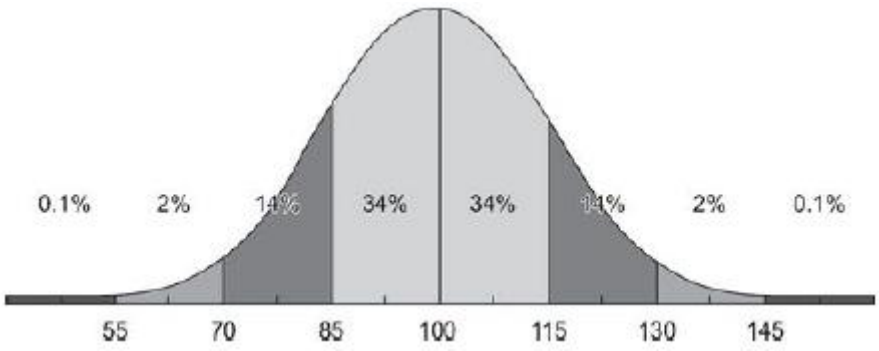
Mamy wiele zdolności umysłowych. Wszystkie rzeczy, które możesz wymyślić, od mnożenia w głowie, przez wybieranie akcji, po nazywanie stolic stanów. Duże kółko na rysunku 3 przedstawia wszystkie zdolności umysłowe. Inteligencja to ogólne słowo, które oznacza zdolności umysłowe najbardziej związane z reagowaniem na codzienne problemy i poruszaniem się w środowisku zgodnie z definicjami APA i Gottfredsona. Koło oznaczone inteligencją jest mniejsze niż wszystkie zdolności umysłowe. IQ to wynik testu oparty na podzbiorze zdolności umysłowych, które odnoszą się do codziennej inteligencji. Koło IQ jest dość dużą częścią koła inteligencji, ponieważ IQ jest dobrym predyktorem codziennej inteligencji. Koło to obejmuje również szerokie czynniki, takie jak schemat struktury piramidy na

rysunku 1. Więcej szczegółów na temat IQ opiszemy w następnej sekcji. Wreszcie, współczynnik g jest tym, co jest wspólne dla wszystkich zdolności umysłowych. Współczynnik g jest dość dużą częścią IQ. Podczas gdy na codzienną inteligencję i wyniki testów IQ może wpływać wiele czynników, w tym społeczne i kulturowe, uważa się, że czynnik g jest bardziej biologiczny i genetyczny, co zobaczymy w następnych rozdziałach. Uczone przykłady opisane wcześniej mówią o poziomie bardzo specyficznych zdolności z niewielkim lub żadnym g w wielu przypadkach, jak Kim i Derek. Pokazują, że mogą istnieć potężne niezależne zdolności, ale pokazują również problemy, gdy brakuje g. Komputer IBM Watson wykazuje specyficzną umiejętność analizowania informacji werbalnych i rozwiązywania problemów w oparciu o znaczenie słów. To niesamowite osiągnięcie, ale moim zdaniem Watson nie wykazuje współczynnika g. Watson bardziej przypomina Kim Peek niż Alberta Einsteina… przynajmniej na razie. Uczone przykłady są niezwykle rzadkimi przypadkami. Większość ludzi ma g i niezależne czynniki w różnym stopniu, a dwie osoby z tym samym poziomem g mogą mieć różne wzorce mocnych i słabych stron umysłowych w różnych zdolnościach umysłowych. Czy możemy kiedykolwiek mieć nadzieję, że dowiemy się, jak uczeni dokonują niesamowitych wyczynów umysłowych i dlaczego my nie możemy? Czy to możliwe, że wszyscy mamy potencjał do zapamiętania 22 514 cyfr lub potencjał geniuszu muzycznego lub artystycznego? I dlaczego niektórzy ludzie są po prostu mądrzejsi od innych? Czy każdy ma równe szanse na naukę wszystkich przedmiotów? Istnieje wiele pytań i, jak w każdej dziedzinie nauki, odpowiedzi zależą wyłącznie od pomiarów.

Pomiar inteligencji i IQ

IQ jest tym, co większość ludzi kojarzy z pomiarem inteligencji. Krytyka IQ i wszystkich testów psychicznych jest szeroko rozpowszechniona i trwa od dziesięcioleci. Warto pamiętać, że koncepcja badania zdolności umysłowych powstała, aby pomóc dzieciom w uzyskaniu edukacji specjalnej. Warto również stwierdzić, że mimo wielu obaw testy inteligencji uznawane są za jedno z największych osiągnięć psychologii. Omówmy pokrótce oba te punkty. Pouczające, szczegółowe dyskusje na temat testów IQ można również znaleźć w dwóch ostatnich podręcznikach . Na początku XX wieku minister edukacji we Francji troszczył się o identyfikację dzieci ze słabymi osiągnięciami szkolnymi, które wymagały szczególnej uwagi. Problem polegał na tym, jak odróżnić dzieci, które były „upośledzone umysłowo” od innych dzieci, które osiągały słabe wyniki z powodów behawioralnych lub innych. Chcieli, aby rozróżnienie zostało dokonane obiektywnie za pomocą testów, aby nauczyciel nie mógł skierować dziecka z problemami dyscyplinarnymi za karę do szkoły specjalnej, co najwyraźniej było wówczas dość powszechne. W tym kontekście Alfred Binet i jego współpracownik Theodore Simon opracowali pierwszy test IQ, aby zidentyfikować dzieci, które psychicznie nie mogłyby odnieść korzyści ze zwykłej nauki szkolnej. Tak więc test IQ narodził się jako obiektywny sposób identyfikacji niskich zdolności umysłowych u dzieci, aby mogły one zwrócić na siebie szczególną uwagę oraz identyfikacji dzieci błędnie wysłanych do szkół specjalnych nie z powodu niskich zdolności umysłowych, ale jako kara za złe zachowanie. Oba gole były godne podziwu. Test skonstruowany przez Bineta i Simona składał się z kilku podtestów, które dotyczyły różnych zdolności umysłowych, z naciskiem na testy osądu, ponieważ Binet uważał, że osąd jest kluczowym aspektem inteligencji. Dał każdy test wielu dzieciom i opracował średnie wyniki dla każdego wieku i płci. Następnie był w stanie powiedzieć, w jakim wieku osiągnęło każde dziecko. Nazywano to wiekiem umysłowym dziecka. Niemiecki psycholog William Stern rozwinął koncepcję wieku umysłowego o krok dalej. Podzielił wiek umysłowy na wiek chronologiczny. Dało to wynik IQ, który był stosunkiem wieku umysłowego dziecka (uśrednionego ze wszystkich podtestów) podzielonego przez wiek chronologiczny dziecka. Pomnożenie tego stosunku przez 100 unikniętych ułamków. Na przykład, jeśli dziecko czytało na poziomie przeciętnego 9-latka, wiek umysłowy dziecka wynosił dziewięć lat. Gdyby to dziecko faktycznie miało wiek chronologiczny równy 9 lat, iloraz inteligencji wynosiłby 9 podzielone przez 9 = 1 × 100, czyli iloraz inteligencji równy 100. Jeśli dziecko miałoby umysłowy wiek 10 lat, ale miałoby tylko 9 lat, iloraz inteligencji byłby będzie

10 podzielone przez 9 = 1,11 × 100 lub 111. 9-latek w wieku umysłowym 8 lat miałby IQ równe 8 podzielone przez 9 = 0,89 × 100, IQ = 89. Sens tych wczesnych testów polegało na znalezieniu dzieci, które nie radziły sobie w szkole tak dobrze w porównaniu z rówieśnikami i zwróceniu na nie szczególnej uwagi. W tym celu test Bineta-Simona działał dość dobrze. Jednak jednym z problemów związanych z koncepcją wieku umysłowego jest to, że trudno go ocenić po około 16 roku życia. Czy naprawdę możemy dostrzec różnicę wieku umysłowego między 19-latkiem a 21-latkiem? Nie mówimy tu o dojrzałości. Wiek umysłowy 30-latka tak naprawdę niewiele różni się od wieku 40-latka, więc test Bineta-Simona nie był tak naprawdę użyteczny ani przeznaczony dla dorosłych. Należy jednak pamiętać o znacznie ważniejszym problemie związanym z pomiarem. Należy zauważyć, że wynik IQ jest miarą dziecka w stosunku do jego rówieśników. Nawet dzisiaj nowsze testy IQ oparte na innych obliczeniach, omówionych poniżej, pokazują, jak dana osoba wypada w stosunku do swoich rówieśników. Wyniki IQ nie są bezwzględnymi miarami wielkości, takimi jak litry wody lub kilometry odległości. Wyniki IQ mają znaczenie tylko w odniesieniu do innych ludzi. Należy zauważyć, że różnice w inteligencji między ludźmi są całkiem realne, ale nasze metody pomiaru tych różnic zależą od wyników testów, które można interpretować tylko w sposób względny. Wkrótce omówimy tę kluczową kwestię i wrócimy do niej w tej książce. Niemniej jednak test Bineta-Simona był ważnym postępem w obiektywnej ocenie zdolności dzieci. Test Bineta-Simona został przetłumaczony na język angielski i przerobiony na Uniwersytecie Stanforda w latach dwudziestych XX wieku przez profesora Lewisa Termana i jest obecnie znany jako test Stanforda-Bineta. Profesor Terman wykorzystał bardzo wysokie wyniki IQ z tego testu, aby zidentyfikować próbkę do podłużnego badania „geniuszu" . Skala Inteligencji Dorosłych Wechslera lub WAIS została zaprojektowana z podtestami, takimi jak Stanford-Binet, ale jak sama nazwa wskazuje, została zaprojektowana dla dorosłych. Jest to obecnie najczęściej stosowany test inteligencji. Obecna wersja składa się z baterii 10 podstawowych podtestów i kolejnych pięciu dodatkowych podtestów. Wspólnie badają szeroki zakres zdolności umysłowych. Jedną z kluczowych zmian jest sposób obliczania IQ zarówno w teście WAIS, jak iw teście Stanforda-Bineta. Wiek umysłowy nie jest już używany. IQ opiera się teraz na właściwościach statystycznych rozkładu normalnego i wyników odchyleń. Koncepcja jest prosta: jak daleko od normy odbiega wynik danej osoby? Oto jak działają wyniki odchyleń. Zacznijmy od właściwości rozkładu normalnego (nazywanego również krzywą dzwonową ze względu na swój kształt), jak pokazano na rysunku 4.



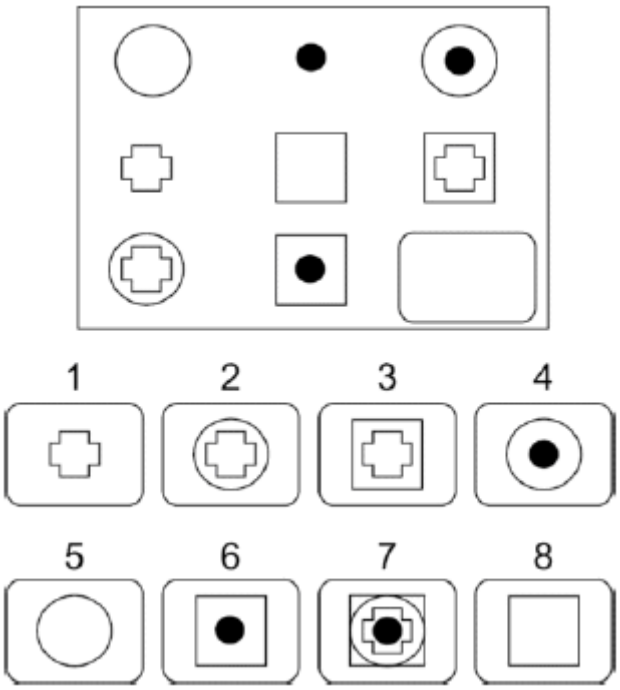
Wiele zmiennych i cech, takich jak wzrost, dochód lub IQ są normalnie dystrybuowane w dużych populacjach losowo wybranych osób. Większość ludzi ma wartości średnie, a liczba osobników maleje w kierunku dolnych i górnych skrajności rozkładu. Każdy rozkład normalny ma określone właściwości statystyczne, ponieważ każdy indywidualny wynik można wyrazić jako percentyl w stosunku do innych osób. Pokazano to na ilustracji wyników IQ, gdzie średni wynik wynosi 100, a odchylenie standardowe wynosi 15 punktów. Odchylenia standardowe pokazują stopień rozrzutu wokół średniej i są obliczane jako funkcja tego, jak bardzo każda osoba odbiega od średniej grupy. W rozkładzie normalnym 50% ludzi ma wynik poniżej 100. Sześćdziesiąt osiem procent osób mieści się w przedziale między plus jeden a minus jeden odchyleniem standardowym, więc wyniki między 85 a 115 są uważane za zakres

średniego IQ. Wynik 130, dwa odchylenia standardowe powyżej średniej, byłby na poziomie około 98. percentyla, czyli górnych 2%. Wynik 70 byłby wynikiem dwóch odchyleń standardowych poniżej średniej i stanowiłby mniej więcej drugi percentyl. Wynik 145 oznacza górną jedną dziesiątą 1%. Wyniki powyżej 145 są często uważane za genialne, chociaż niewiele testów jest dokładnych na tym ekstremalnie wysokim końcu rozkładu. Opracowano testy IQ, aby wyniki miały rozkład normalny. Każdy podtest był wykonywany przez dużą liczbę mężczyzn i kobiet w różnym wieku. To są grupy norm. Każda norma ma średni wynik zwany średnią, a rozrzut wyników wokół średniej jest mierzony za pomocą statystyki zwanej odchyleniem standardowym (sd). Załóżmy, że podtest ma doskonały możliwy wynik 20 punktów. Każda grupa norm może mieć inny średni wynik w tym teście w zależności, powiedzmy, od wieku. Młodsi zdający mogą uzyskać średnio 8 punktów, jeśli mają 10 lat, a starsi ludzie przystępujący do tego samego testu, powiedzmy w wieku 12 lat, mogą uzyskać średni wynik 14 punktów. Dlatego ważne jest, aby mieć grupy norm dla każdego wieku. Jeśli nowy 12-latek przystąpi do podtestu i uzyska 14 punktów, uzyska średnią dla swojego wieku. Jeśli uzyska wynik powyżej lub poniżej 14, odchylenie od średniej normy można obliczyć, a jego wynik można wyrazić, jak bardzo odbiega od średniej. Średnie odchylenie ze wszystkich podtestów jest używane do obliczenia odchylenia IQ dla pełnej baterii. Jak pokazano, wyniki odchyleń można łatwo przeliczyć na percentyle. Każdy punkt odchylenia jest równy, ale te wyniki mają tylko znaczenie w stosunku do innych ludzi. Z technicznego punktu widzenia, te wyniki nie są skalą ilorazową, ponieważ nie ma rzeczywistego punktu zerowego. Różni się to od ilościowych jednostek masy, odległości lub cieczy, które są skalami proporcji. Wyniki IQ i ich interpretacja zależą od posiadania dobrych grup normatywnych. Jest to jeden z powodów okresowego generowania nowych norm dla tych testów. Dlatego też istnieje osobna wersja testu dla dzieci o nazwie Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC). WAIS można podzielić na określone czynniki inne niż wynik IQ pełnej skali, które bardzo przypominają strukturę piramidy zdolności umysłowych pokazaną na rysunku 1. Poszczególne podtesty są pogrupowane na kolejnym najwyższym poziomie według czynników rozumienia werbalnego, pamięci roboczej, organizacji percepcyjnej i szybkości przetwarzania. Te cztery specyficzne czynniki są pogrupowane w bardziej ogólne czynniki IQ werbalnego i IQ wydajności, a te dwa szerokie czynniki mają wspólny ogólny czynnik określony przez całkowity wynik IQ, zwany IQ pełnej skali. Pełnowymiarowe IQ opiera się na kilku testach, które obejmują szereg różnych zdolności umysłowych, a zatem jest dobrym oszacowaniem współczynnika g. Każdy z wyników czynnikowych może być użyty do innych prognoz, ale IQ pełnej skali jest najczęściej używanym wynikiem w badaniach.

Niektóre inne testy inteligencji

Jak dotąd, opisane przez nas testy IQ są przeprowadzane przez wyszkolonego egzaminatora, który wchodzi w interakcję z jedną osobą naraz, aż do zakończenia testu, co często zajmuje 90 minut lub więcej. Inne rodzaje psychometrycznych testów inteligencji można przeprowadzać w grupie lub bez bezpośredniej interakcji z osobą przeprowadzającą test. Niektóre testy mają na celu ocenę określonych zdolności umysłowych, a inne mają na celu ocenę ogólnej inteligencji. Zazwyczaj im bardziej test wymaga złożonego rozumowania, tym lepiej szacuje współczynnik g. Takie testy charakteryzują się „wysokim przeciążeniem". Oto pokrótce trzy ważne testy wysokiego g stosowane w badaniach neurologicznych oprócz IQ.

1. Test Raven's Advanced Progressive Matrices (RAPM) (nazwany na cześć jego twórcy, dr Ravena) może być przeprowadzony w formacie grupowym i zwykle ma limit czasowy wynoszący 40 minut. Jest to uważane za dobre oszacowanie współczynnika g, zwłaszcza ze względu na ograniczenia czasowe. Testy z ograniczeniem czasowym mają tendencję do lepszego rozdzielania osób. To niewerbalny test abstrakcyjnego rozumowania. Rysunek 5 jest przykładem jednego elementu.



W dużym prostokącie widać macierz ośmiu symboli i puste miejsce w prawym dolnym rogu. Osiem symboli nie jest ułożonych losowo. Istnieje wzór lub reguła łącząca je. Po wydedukowaniu wzoru lub reguły możesz zdecydować, która z ośmiu opcji poniżej matrycy uzupełnia wzór lub regułę i trafia do prawego dolnego rogu. W tym przykładzie odpowiedzią jest liczba 7. Jeśli dodasz lewą kolumnę do środkowej kolumny w macierzy, otrzymasz symbole w prawej kolumnie. Jeśli dodasz górny rząd do środkowego, otrzymasz dolny rząd. Rzeczywiste pozycje testowe stają się coraz trudniejsze. Podstawowy wzór lub reguła może być dość trudna do wywnioskowania i są różne wersje testu, które różnią się stopniem trudności. Jednak ze względu na prostotę podawania test ten był używany w wielu badaniach naukowych. Wyniki takiego testu są dość niezależne od wykształcenia czy kultury. Wyniki są rozsądnymi szacunkami współczynnika g, ale nie należy ich mylić z współczynnikiem g.

2. Testy analogii są również bardzo dobrymi estymatorami g. Na przykład skrzydło jest dla ptaka tym, czym okno dla _____ (dom). Albo hel balonuje, jak drożdże _____ (ciasto). A może Monet jest dla sztuki tym, czym Mozart dla _____ (muzyki). Wygląda na to, że na testy analogiczne może łatwo wpływać edukacja i kultura, dlatego zostały usunięte z wielu zestawów testów oceniających, mimo że empirycznie są dobrymi szacunkami g.

3. Ciekawym przykładem jest egzamin SAT, szeroko stosowany przy rekrutacji na studia. Czy jest to test osiągnięć, test umiejętności lub test inteligencji? Co ciekawe, SAT pierwotnie nosił nazwę Scholastic Aptitude Test, potem przemianowano go na Scholastic Achievement Test, a teraz nazywa się Scholastic Assessment Test. Testy osiągnięć mierzą to, czego się nauczyłeś. Testy umiejętności mierzą to, czego możesz się nauczyć, zwłaszcza w określonej dziedzinie, takiej jak na przykład muzyka lub język obcy. Okazuje się, że SAT, zwłaszcza ogólny wynik, jest dobrym estymatorem g, ponieważ problemy wymagają rozumowania . Podobnie jak wyniki IQ, wyniki SAT są normalnie dystrybuowane i najlepiej interpretowane jako percentyle. Na przykład ludzie z górnych 2% rozkładu SAT mają tendencję do znajdowania się przynajmniej w górnych 2% rozkładu IQ. Czasami ludzi to zaskakuje, ale dlaczego inteligencja nie miałaby być powiązana z tym, ile ktoś się uczy? Wyniki testów osiągnięć, umiejętności i inteligencji są ze sobą powiązane. Nie są niezależni. Pamiętaj, że współczynnik g jest wspólny dla wszystkich testów zdolności umysłowych. Byłoby niezwykłe, gdyby uczenie się i inteligencja nie były ze sobą powiązane. Tak więc twoje wyniki w testach osiągnięć są powiązane z czynnikiem ogólnym, tak

jak wyniki IQ i wyniki testów umiejętności są powiązane z g. Może to być mylące, ponieważ wszyscy znamy przykłady bystrych uczniów, którzy osiągają słabe wyniki, oraz uczniów mniej bystrych, którzy osiągają ponadprzeciętne wyniki. Jednak takie przykłady to wyjątki. W rzeczywistości istnieją pewne ważne rozróżnienia między testami osiągnięć, umiejętności i inteligencji. Każdy rodzaj testu jest przydatny w różnych sytuacjach, ale wszystkie są ze sobą powiązane, a wspólnym czynnikiem jest g.

Mit: Testy inteligencji są stronnicze lub pozbawione znaczenia

Czy pytania testowe na inteligencję są uczciwe, czy też prawidłowe odpowiedzi zależą od wykształcenia danej osoby, klasy społecznej lub czynników innych niż inteligencja? Pewien profesor, którego miałem na studiach podyplomowych, mawiał, że większość ludzi definiuje uczciwe pytanie jako takie, na które potrafią poprawnie odpowiedzieć. Czy pytanie jest niesprawiedliwe lub stronnicze, ponieważ nie znasz odpowiedzi? Co właściwie oznaczają wyniki testów inteligencji?

Niskie wyniki testów, ponieważ dana osoba nie zna odpowiedzi na wiele pytań.

Istnieje wiele możliwych powodów, dla których nie znasz odpowiedzi na pytanie: nigdy się tego nie uczyłeś, nigdy nie uczyłeś się tego sam, nauczyłeś się, ale zapomniałeś dawno temu, nauczyłeś się, ale zapomniałeś podczas testu, nauczyłeś się, ale nie potrafiłeś nie nauczyłem się tego, nie wiedziałem, jak to uzasadnić, lub nie mogłem tego uzasadnić. Większość, ale nie wszystkie z tych powodów wydaje się być w jakiś sposób związana z ogólną inteligencją. Z drugiej strony wysokie wyniki testu oznaczają, że dana osoba zna odpowiedzi. Czy to ważne, jak poznałeś odpowiedź? Czy to lepsza edukacja, po prostu dobra pamięć, dobre umiejętności zdawania testów, czy dobra nauka? Definicje inteligencji ogólnej łączą wszystkie te rzeczy. Błąd testu ma określone znaczenie. Jeśli wyniki testu konsekwentnie zawyżają lub zaniżają rzeczywistą wydajność, test jest obciążony. Na przykład, jeśli osoby w określonej grupie z wysokimi wynikami SAT konsekwentnie nie zaliczają kursów w college'u, test zawyża sukces i jest testem stronniczym. Podobnie, jeśli osoby z niskimi wynikami SAT konsekwentnie przodują w kursach uniwersyteckich, test nie przewiduje sukcesu i jest stronniczy. Test nie jest z natury stronniczy tylko dlatego, że może pokazać średnią różnicę między dwiema grupami. Na przykład test zdolności przestrzennych może mieć inną średnią dla mężczyzn i kobiet, ale to nie powoduje, że test jest stronniczy. Jeśli wyniki dla mężczyzn i kobiet równie dobrze przewidują zdolności przestrzenne, test nie jest obciążony, nawet jeśli istnieje średnia różnica. Należy zauważyć, że kilka przypadków błędnej prognozy nie stanowi błędu. Aby test był obciążony, musi występować konsekwentne niepowodzenie przewidywania w złym kierunku. Brak jakiejkolwiek prognozy nie jest stronniczością; oznacza to, że test jest nieważny. Znaczące badania nad stronniczością testów prowadzone przez dziesięciolecia pokazują, że nie dotyczy to IQ i innych wyników testów inteligencji . Wyniki testów przewidują sukces akademicki niezależnie od statusu społeczno-ekonomicznego (SES), wiek, płeć, rasa i inne zmienne. Wyniki przewidują również wiele innych ważnych zmiennych, w tym cechy mózgu, takie jak regionalna grubość kory mózgowej lub tempo metabolizmu glukozy w mózgu, co szczegółowo omówimy w rozdziałach 3 i 4. Gdyby wyniki testów na inteligencję były bez znaczenia, nie przewidywałyby żadnych innych miar, zwłaszcza wymiernych cech mózgu . W tym kontekście „przewidywanie” ma również określone znaczenie. Powiedzieć, że wynik testu przewiduje coś, odnosi się tylko do wyższego prawdopodobieństwa wystąpienia czegoś. Żaden test nie jest w 100% trafny w swoich przewidywaniach, ale powodem, dla którego testy inteligencji są uważane przez wielu psychologów za wielkie osiągnięcie, jest to, że wyniki są dobrymi predyktorami sukcesu w wielu obszarach, a w niektórych obszarach wyniki testów są bardzo dobrymi predyktorami. Zanim dokonamy przeglądu kluczowych badań, które są podstawą tego wniosku, należy omówić fundamentalny problem.

Kluczowy problem „pomiaru” inteligencji

Jak pokrótce wspomniano wcześniej , głównym problemem związanym ze wszystkimi wynikami testów inteligencji jest to, że nie są one na skali ilorazowej. Oznacza to, że nie ma prawdziwego zera, w przeciwieństwie do miar wzrostu i wagi. Na przykład osoba ważąca 200 funtów jest dosłownie dwa razy cięższa od osoby ważącej 100 funtów, ponieważ funt jest standardową jednostką na skali z rzeczywistym punktem zerowym. Dziesięć mil to dwa razy więcej niż pięć mil. Nie dotyczy to wyników IQ. Osoba z wynikiem IQ równym 140 nie jest dosłownie dwa razy inteligentniejsza od osoby z wynikiem 70. Nawet jeśli uważasz, że spotkałeś przynajmniej jedną osobę o zerowej inteligencji, zero z pewnością nie jest przypadkiem. W przypadku IQ liczy się percentyl. Ktoś z IQ równym 140 jest w górnym 1%, a ktoś z wynikiem 70 w najniższych 2%. Osoba z ilorazem inteligencji równym 130 nie jest o 30% mądrzejsza od osoby, której wynik wynosi 100. Osoba z ilorazem inteligencji równym 100 znajduje się na 50. percentylu, a osoba z ilorazem inteligencji równym 130 na 98. percentylu. Żaden wynik testu psychometrycznego nie jest oparty na skali ilorazowej. Wszystkie wyniki testów IQ mają znaczenie tylko w odniesieniu do innych ludzi. Oto kluczowy punkt dotyczący tego ograniczenia wszystkich wyników testów na inteligencję: oceniają one inteligencję tylko dlatego, że nie wiemy jeszcze, jak mierzyć inteligencję jako wielkość, tak jak mierzymy płyn w litrach lub kilogramach wagi lub odległość w stopach (Haier, 2014) . Jeśli wykonasz test na inteligencję, gdy jesteś chory i nie możesz się skoncentrować, Twój wynik może być złym oszacowaniem Twojej inteligencji. Jeśli ponownie przystąpisz do testu, gdy poczujesz się dobrze, Twój wynik będzie lepszym oszacowaniem. Jednak to, że twój wynik wzrasta, nie oznacza, że twoja inteligencja wzrosła w przerwie między dwoma testami. Staje się to problemem później, kiedy mówimy o tym, dlaczego twierdzenia o rosnącej inteligencji nie są jeszcze znaczące. Pomimo tego podstawowego problemu naukowcy poczynili znaczne postępy. Najważniejsze jest to, że do prowadzenia badań naukowych nad inteligencją wymagane są pomiary. Żaden test nie może być idealną miarą pojedynczej definicji, ale w miarę gromadzenia się wyników badań zarówno definicja, jak i pomiar ewoluują, a nasze zrozumienie złożoności wzrasta. Empiryczna solidność badań nad czynnikiem g zasadniczo zaprzecza mitowi, że inteligencji nie można zdefiniować ani zmierzyć w badaniach naukowych. To właśnie ta baza badawcza pozwala neuronaukom przenieść badania nad inteligencją na wyższy poziom, co opisano szczegółowo w kolejnychsekcjach. Ale najpierw podsumujemy kilka przekonujących badań trafności testu inteligencji.

Zdolność do nauki

Wyniki IQ przewidują ogólną zdolność uczenia się, która ma kluczowe znaczenie dla sukcesu akademickiego i zawodowego oraz dla poruszania się w zawiłościach codziennego życia. Dla osób z niższym ilorazem inteligencji, około 70, proste uczenie się jest zwykle powolne i wymaga konkretnego nauczania krok po kroku z indywidualnymi instrukcjami. Nauka złożonego materiału jest dość trudna lub niemożliwa. Osoby z ilorazem inteligencji około 80–90 nadal wymagają bardzo wyraźnych, ustrukturyzowanych indywidualnych instrukcji. Jeśli chodzi o uczenie się z materiałów pisemnych, zwykle wymagane jest IQ co najmniej 100, a nauka na poziomie uniwersyteckim zwykle działa najlepiej w wieku 115 i więcej. Wyższe IQ powyżej 130 zwykle oznaczają, że bardziej abstrakcyjnego materiału można się nauczyć stosunkowo szybko i często niezależnie. Wojsko USA ma granicę około 90 dla rekrutów, chociaż liczba ta nieco się obniżyła, gdy rekrutacja jest napięta. Większość programów dla absolwentów w USA wymaga testów, takich jak Graduate Record Exam (GRE) lub Medical College Admission Test (MCAT) dla szkół medycznych lub Law School Admission Test (LSAT) dla szkół prawniczych. Odcięcia dla tych testów zwykle zapewniają, że osoby z IQ powyżej 120 mają największe szanse na przyjęcie, a najlepsze programy mają wyższe odcięcia, aby zmaksymalizować akceptację kandydatów z 1% lub 2% najwyższego rozkładu normalnego. Nie oznacza to, że osoby z niższymi wynikami nie mogą ukończyć tych programów, ale uczniowie z wyższymi wynikami zwykle są bardziej wydajni, szybciej się uczą i mają większe szanse na pomyślne ukończenie programu. Pamiętaj, że nie są to idealne relacje i są wyjątki. Związek między wynikami IQ a zdolnością uczenia się jest jednak silny.

Wiele osób uważa to za niepokojące, ponieważ wskazuje na ograniczenia osobistych osiągnięć, co jest sprzeczne z powszechnym przekonaniem wyrażonym w zdaniu: „Jeśli ciężko pracujesz, możesz zostać kimkolwiek zechcesz". Jest to powtórzenie innego poglądu: „Jeśli ciężko pracujesz, możesz odnieść sukces". To drugie może być często prawdziwe, ponieważ sukces ma różne formy, ale to pierwsze rzadko jest prawdziwe, chyba że doda się zastrzeżenie: „Możesz być kimkolwiek chcesz, jeśli ciężko pracujesz i masz zdolności". Nie każdy ma zdolność robienia wszystkiego z powodzeniem, chociaż, co zaskakujące, wielu studentów przybywa na studia zdeterminowanych, by odnieść sukces, ale naiwnych co do roli, jaką odgrywają zdolności. Na przykład niewielu uczniów z niskimi wynikami SAT z matematyki odnosi sukcesy w dziedzinie nauk fizycznych, nawet jeśli są bardzo zmotywowani i ciężko pracują. Biorąc pod uwagę potężny wpływ g na sukces edukacyjny, zaskakujące jest to, że inteligencja rzadko jest wyraźnie brana pod uwagę w energicznych debatach na temat tego, dlaczego edukacja przedszkolna wydaje się zawodzić wielu uczniów. Nie można oczekiwać, że najlepsi nauczyciele osiągną cele edukacyjne wykraczające poza możliwości uczniów. Najlepsi nauczyciele mogą zmaksymalizować postępy w nauce ucznia, ale poziom inteligencji ucznia stwarza pewne ograniczenia, chociaż modne jest twierdzenie, że żaden uczeń nie ma wrodzonych ograniczeń. Można zająć się wieloma czynnikami ograniczającymi osiągnięcia edukacyjne, w tym ubóstwem, słabą motywacją, brakiem wzorców do naśladowania, dysfunkcją rodziny itd., ale jak dotąd nie ma dowodów na to, że złagodzenie tych czynników zwiększa g. Jak zobaczymy w następnym rozdziale, wczesna edukacja ma wiele korzystnych skutków, ale wzrost inteligencji nie jest jednym z nich. Wyobraź sobie wykres kołowy ze wszystkimi czynnikami, które wpływają na osiągnięcia szkolne ucznia. Z pewnością współczynnik g zasługiwałby na reprezentację jako wycinek większy od zera. Silne korelacje między wynikami testów inteligencji a osiągnięciami akademickimi wskazują, że wycinek może reprezentować znaczną część całości. Moim zdaniem samo to powinno uzasadniać dalsze badania nad inteligencją i jej rozwojem.

Wydajność pracy

Oprócz sukcesów w nauce, wyniki IQ przewidują również wyniki w pracy , zwłaszcza gdy praca wymaga złożonych umiejętności. W rzeczywistości w przypadku złożonych zadań współczynnik g przewiduje sukces bardziej niż jakakolwiek inna zdolność poznawcza. Na przykład duże badanie przeprowadzone przez Siły Powietrzne Stanów Zjednoczonych wykazało, że g przewidywało praktycznie wszystkie odchylenia w działaniu pilota. Większość z nas nie jest pilotami, ale generalnie niższe IQ jest wystarczające do prac wymagających minimum złożonej, samodzielnej pracy i rozumowanie. Zadania zwykle są zgodne z określonymi procedurami, takimi jak montaż prostego produktu, usługa gastronomiczna lub pomoc pielęgniarki. IQ około 100 jest niezbędne do bardziej złożonych zawodów, takich jak kasjer bankowy i policjant. Odnoszący sukcesy menedżerowie, nauczyciele, księgowi i inne osoby wykonujące podobne zawody zwykle mają iloraz inteligencji równy co najmniej 115. Zawody takie jak adwokat, chemik, lekarz, inżynier i dyrektor biznesowy zwykle wymagają wyższego ilorazu inteligencji, aby ukończyć wymagane zaawansowane wykształcenie i wykonywać wysoki poziom złożoności. Złożona wydajność pracy jest w dużej mierze zależna od g, ale oczywiście istnieją inne czynniki, w tym to, jak dobrze radzimy sobie z innymi ludźmi. Jest to koncepcja inteligencji emocjonalnej. Inteligencja emocjonalna, czyli posiadana osobowość i umiejętności społeczne, może przyczynić się do większego sukcesu niż osoba o równym g, ale pozbawiona umiejętności interpersonalnych. Nie umniejsza to znaczenia współczynnika g. Zazwyczaj inteligencja emocjonalna może zrekompensować brak g odpowiedniego do pracy tylko przez określony czas, jeśli w ogóle. Podobnie jak w przypadku sukcesów w nauce, relacje między inteligencją a wynikami w pracy są ogólnymi trendami i zawsze są wyjątki. Jednak z praktycznego punktu widzenia osoba z IQ poniżej 100 ma niewielkie szanse na ukończenie szkoły medycznej lub inżynierskiej. Oczywiście jest to możliwe, zwłaszcza jeśli wynik IQ nie jest dobrym oszacowaniem inteligencji tej osoby lub jeśli ta osoba ma bardzo specyficzną zdolność, taką jak zapamiętywanie, aby zrekompensować niską lub średnią ogólną

inteligencję. Podobnie wysoki wynik nie gwarantuje sukcesu. Właśnie dlatego sam wynik IQ zwykle nie jest używany do podejmowania decyzji dotyczących edukacji lub zatrudnienia. IQ jest zwykle rozpatrywane w kontekście innych informacji, ale niski wynik jest zazwyczaj sygnałem ostrzegawczym w wielu obszarach, które wymagają złożonego, niezależnego rozumowania. Oto kolejny punkt dotyczący przewidywania sukcesu w pracy. Niektórzy badacze sugerują, że ekspertyza w dowolnej dziedzinie wymaga co najmniej 10 000 godzin praktyki. To 1250 8-godzinnych dni, czyli około 3,4 roku. Oznacza to, że ekspertyzę można osiągnąć w dowolnej dziedzinie przy takim poziomie praktyki, niezależnie od inteligencji czy talentu. Na przykład badania arcymistrzów szachowych wskazują, że średnie IQ grupy wynosi około 100. Sugeruje to, że zostanie arcymistrzem może bardziej zależeć od ćwiczenia określonej zdolności, takiej jak pamięć przestrzenna, niż od ogólnej inteligencji. Arcymistrzowie mogą faktycznie mieć pamięć przestrzenną podobną do uczonych, ale idea szachowego arcymistrza będącego superwszechstronnym gigantycznym intelektem niekoniecznie jest poprawna. Wiele badań obala pogląd, że 10 000 godzin praktyki może prowadzić do zdobycia specjalistycznej wiedzy, jeśli nie ma się talentu, na którym można by budować.

Życie codzienne

Znaczenie ogólnej inteligencji w życiu codziennym często nie jest oczywiste, ale jest głębokie. Jak zauważył profesor Earl Hunt, jeśli jesteś osobą z wyższym wykształceniem, jest wysoce prawdopodobne, że większość twoich przyjaciół i znajomych również. Kiedy ostatnio zaprosiłeś do domu na obiad kogoś, kto nie miał wyższego wykształcenia? Profesor Hunt nazywa tę segregację poznawczą i jest ona potężna w podsycaniu błędnego przekonania, że każdy ma podobną zdolność lub potencjał do rozumowania codziennych problemów i spraw. Większość osób z wysokim g nie może łatwo sobie wyobrazić, jak wygląda codzienne życie osoby z niskim g. Złożoność codziennego życia często stanowi duże wyzwanie, zwłaszcza gdy pojawia się nierutynowy lub nowy problem. Profesor Linda Gottfredson podsumowuje to prostym stwierdzeniem: „Życie to długa bateria testów umysłowych". Było to prawdą, ponieważ pierwsi ludzie poruszali się w bezlitosnych środowiskach naturalnych i rozwiązywali ciągłe problemy ze znalezieniem pożywienia, wody, schronienia i bezpieczeństwa. Było tak, gdy rozwijały się wczesne cywilizacje, a wielcy myśliciele (prawdopodobnie z wysokim g) rozwiązywali jeszcze bardziej złożone problemy (np. jak zbudować zdatny do żeglugi statek lub piramidę?). I tak jest do dziś, gdy zmagamy się z podłączaniem naszych nowych telewizorów i systemów audio za pomocą kabli HDMI lub korzystaniem ze wszystkich funkcji naszego edytora tekstu, naszych „smartfonów" lub aparatów cyfrowych poza trybem automatycznym. Czy wiesz, jak korzystać ze skanerów w kolejkach do kas samoobsługowych w supermarkecie, czy czekasz w długiej, powolnej kolejce do kasjera? Ile wiesz o zarządzaniu pieniędzmi i inwestowaniu w akcje, obligacje i fundusze inwestycyjne? Czy sam płacisz podatki? Wiele osób codziennie zmaga się z wyzwaniami związanymi z poruszaniem się po prawie nieprzeniknionych systemach opieki zdrowotnej, pomocy społecznej lub wymiaru sprawiedliwości. Ubóstwo stwarza mnóstwo codziennych problemów do rozwiązania. Można powiedzieć, że we współczesnym świecie przez cały czas nic nie jest dla nikogo proste. Rozważ niektóre statystyki porównujące grupy o niskim i wysokim IQ (niski = 75–90; wysoki = 110–125) na względne ryzyko kilku zdarzeń życiowych. Na przykład prawdopodobieństwo, że rzucisz szkołę średnią, jest 133 razy większe, jeśli jesteś w niższej grupie. Osoby z niższej grupy są 10 razy bardziej narażone na bycie chronicznym beneficjentem pomocy społecznej. Ryzyko jest 7,5 razy większe w grupie niskiej w przypadku pozbawienia wolności i 6,2 razy większe w przypadku życia w ubóstwie. Bezrobocie, a nawet rozwód są nieco bardziej prawdopodobne w grupie niższej. IQ przewiduje nawet wypadki drogowe. W grupie o wysokim IQ wskaźnik śmiertelności w wypadkach drogowych wynosi około 51 na 10 000 kierowców, ale w grupie o niskim IQ odsetek ten wzrasta prawie trzykrotnie do około 147. Może to nam mówić, że ludzie z niższym IQ mają przeciętnie gorszy zdolność

oceny ryzyka i może podejmować większe ryzyko podczas prowadzenia pojazdu lub wykonywania innych czynności.

Ramka 1.2: Umiejętność czytania i pisania funkcjonalna

Inny sposób spojrzenia na rolę umiejętności myślenia w życiu codziennym opiera się na danych dotyczących umiejętności czytania i pisania. Umiejętność czytania i pisania oceniana jest na podstawie złożoności codziennych zadań, które dana osoba może wykonać. Podobnie jak wyniki IQ, wyniki alfabetyzacji funkcjonalnej mają znaczenie w porównaniu z innymi ludźmi, ale dostarczają bardziej konkretnych przykładów zdolności. Ostatnie kompleksowe krajowe badanie umiejętności czytania i pisania w Stanach Zjednoczonych przeprowadzono w 1992 r. Tabela 1 pochodzi z tego badania. Po lewej stronie mamy pięć poziomów alfabetyzacji funkcjonalnej: 1 to najniższy, 5 to najwyższy. Pośrodku mamy odsetek osób należących do każdej kategorii, a po prawej przykładowe zadania, które osoby z każdej kategorii mogą pomyślnie wykonać. Spójrzmy na górny rząd. Jeśli jesteś podobny do mnie, będziesz dość zaskoczony, widząc, że tylko 4% białej populacji należy do najwyższej kategorii i może wykonywać zadania, takie jak korzystanie z kalkulatora, aby obliczyć koszt wykładziny w pokoju. Wymaga to określenia powierzchni, przeliczenia na metry kwadratowe i pomnożenia przez cenę. W następnym rzędzie 21% osób jest na poziomie 4 umiejętności funkcjonalnych. Potrafi obliczyć świadczenia z ubezpieczenia społecznego z tabeli i zrozumieć podstawowe kwestie dotyczące funkcjonowania świadczeń pracowniczych. Trzydzieści sześć procent należy do kategorii średniej. Mogą obliczyć mile na galon z wykresu i mogą napisać list wyjaśniający błąd karty kredytowej. Dwadzieścia pięć procent należy do kategorii 2. Potrafią określić różnice w cenie między dwoma biletami i zlokalizować skrzyżowanie na mapie. Czternaście procent należy do najniższej kategorii. Mogą wykonywać zadania, takie jak wypełnienie bankowego dowodu wpłaty, ale bardziej złożone zadania, takie jak zlokalizowanie skrzyżowania na mapie, mogą sprawiać trudności.

Tabela 1 Poziomy codziennego czytania i pisania z National Adult Literacy Survey wraz z przykładowymi problemami z każdego poziomu (The Intelligent Brain, copyright 2013 The Teaching Company, LLC. Reprodukcja za zgodą The Teaching Company, LLC.

Poziom NALS : % populacji (biały): Symulowane codzienne zadania

5: 4 : Skorzystaj z kalkulatora, aby określić koszt dywanu do pokoju

Skorzystaj z tabeli informacyjnej, aby porównać 2 karty kredytowe

4 : 21: Skorzystaj z broszury dotyczącej uprawnień, aby obliczyć świadczenia z tytułu dodatkowego zabezpieczenia dochodu (SSI).

Wyjaśnij różnicę między 2 rodzajami świadczeń pracowniczych

3 : 36 : Oblicz mile na galon z wykresu rekordu przebiegu

Napisz krótki list wyjaśniający błąd na rachunku karty kredytowej

2 : 25 : Wyznacz różnicę w cenie między 2 biletami na przedstawienie

Zlokalizuj skrzyżowanie na mapie ulic

1 : 14 : Całkowity wpis depozytu bankowego

Znajdź datę ważności na prawie jazdy

Przykłady w Ramce 1.2 i Tabeli 1 pokazują, że inteligencja pomaga nam radzić sobie z codziennymi problemami. To naprawdę nie jest to szokujący pomysł, ale łatwo to przyjąć za pewnik, zwłaszcza jeśli

poruszasz się dość dobrze, a większość ludzi, z którymi spędzasz czas, jest takich jak ty. Kluczową kwestią jest tutaj to, że umiejętność czytania i pisania jest kolejnym wskaźnikiem inteligencji, a na podstawie danych dotyczących umiejętności czytania i pisania widać, że inteligencja ma znaczenie w codziennych zadaniach. Ale oczywiście współczynnik g nie przewiduje wielu innych ważnych rzeczy, takich jak bycie miłą lub sympatyczną osobą. Żaden badacz wywiadu nigdy nie twierdził inaczej. Porozmawiajmy przez chwilę o kontrowersyjnej książce z 1994 roku, która badała rolę inteligencji w polityce społecznej, The Bell Curve autorstwa Richarda Herrnsteina i Charlesa Murraya. Głównym tematem było to, że współczesne społeczeństwo coraz bardziej wymaga i nagradza ludzi o najlepszych umiejętnościach rozumowania. To znaczy ludzie o wysokiej inteligencji. Dlatego ludzie w dolnej części rozkładu normalnego IQ (rozkład normalny jest również nazywany krzywą dzwonową ze względu na swój kształt) będą w poważnej niekorzystnej sytuacji, jeśli chodzi o odniesienie sukcesu, zwłaszcza w szkole i niektórych zawodach. Herrnstein wprowadził ten temat we wcześniejszej książce, IQ in The Meritocracy (Herrnstein, 1973), która również wywołała znaczną gorycz. Przeczytaj szczegółowy opis wrogości na kampusie Harvardu, o którym mowa we wstępie, aby zrozumieć czasy; kilka lat później inny profesor Harvardu, Edward O. Wilson, spotkał się z podobnym oburzeniem, kiedy zaproponował koncepcję socjobiologii (Wilson, 1975). Krzywa dzwonowa kontynuowała argumentację z ponad 900 stronami danych i analiz statystycznych, w większości porównujących grupy o wysokiej i niskiej inteligencji, ale jeden rozdział, w którym omówiono różnice w IQ czarnych i białych, wzbudził największe kontrowersje (należy zwrócić uwagę, że użyto tutaj terminów „czarny" i „biały" ponieważ większość badań z Ameryki i innych krajów używa tych terminów). Ta kwestia różnic między grupami prześladuje wszystkie badania wywiadowcze i odsyłam czytelnika do dogłębnych opisów związanych z tym złożoności (patrz Dalsza lektura). Mój punkt widzenia na temat The Bell Curve dotyczy tego, czy dyskusje na temat polityki publicznej odnoszą korzyści, uznając, że osoby z niskim g mogą potrzebować pomocy w poruszaniu się po życiu, niezależnie od rasy, pochodzenia lub przyczyny, dla której mogą mieć niski g. Jest to dziś fundamentalna kwestia w polityce, chociaż rola wywiadu nie jest wspominana tak wyraźnie, jak to było w The Bell Curve. Większość badaczy zgodziłaby się, że dane badawcze dotyczące wywiadu mogą jedynie wpływać na decyzje polityczne, ale cele polityki muszą być określone środkami demokratycznymi; powrócimy do tego zagadnienia w podrozdziale 6.6. Niestety, psychometryczne badania inteligencji były często przedstawiane jako szkodliwe dla postępowej agendy społecznej, ponieważ istnieją znaczne średnie różnice w wynikach testów między niektórymi grupami rasowymi i etnicznymi. Te względne średnie różnice między grupami często motywują ogólne lekceważenie badań empirycznych nad inteligencją, chociaż podejścia neurobiologiczne rozwijają tę dziedzinę, jak omówiono w następnych rozdziałach. Zanim do nich przejdziemy, przejdźmy do większej ilości danych na temat wyników IQ i ich znaczenia.

Podłużne badania IQ i talentu

Siła predykcyjna pojedynczego wyniku testu w dzieciństwie została również wyraźnie zademonstrowana w trzech klasycznych badaniach podłużnych. Każdy zaczyna się od dzieci i sprawdza ich zdolności umysłowe oraz sukcesy życiowe w różnych odstępach czasu na przestrzeni dziesięcioleci. Jedno badanie rozpoczęto w Kalifornii w latach dwudziestych, drugie w Szkocji w latach trzydziestych, a jedno w Baltimore w latach siedemdziesiątych.

Studium 1.

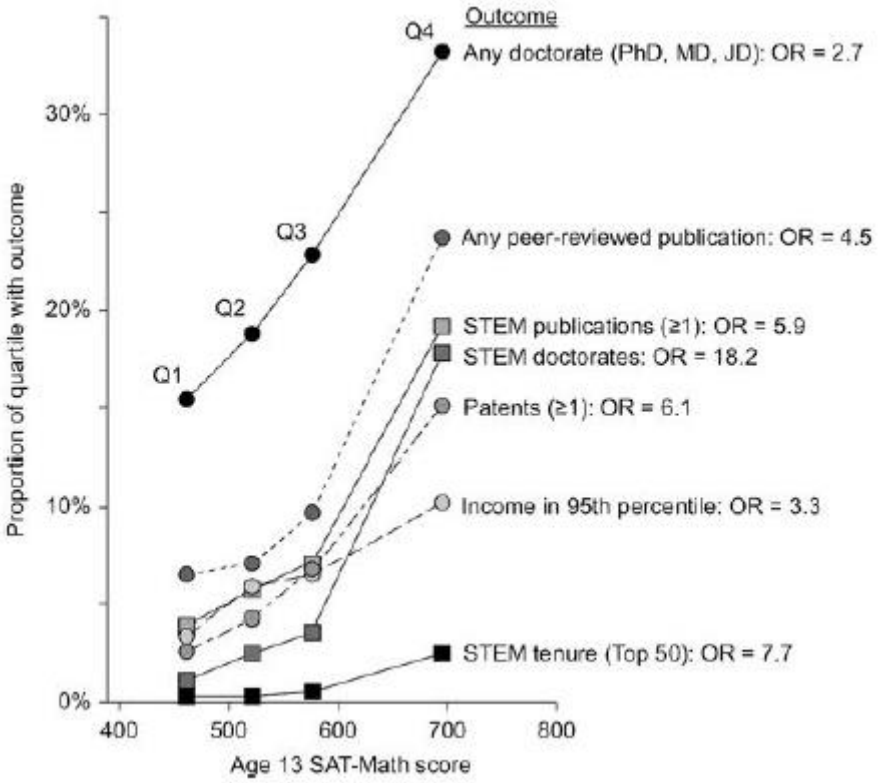
Profesor Lewis Terman z Uniwersytetu Stanforda zainicjował długoterminowe badanie osób o wysokim IQ w latach dwudziestych XX wieku. To ten sam Lewis Terman, który przywiózł test IQ Bineta do USA i zmienił go w test inteligencji Stanforda-Bineta. Terman zaprojektował proste badanie. Zaczęło się od przetestowania wielu dzieci w wieku szkolnym za pomocą testu Stanforda-Bineta. Wybrano dzieci z bardzo wysokimi wynikami IQ, a następnie intensywnie badano je przez dziesięciolecia. Badanie

Termana miało dwa cele: znaleźć cechy charakteryzujące dzieci o wysokim IQ i zobaczyć, jakimi dorosłymi się staną. Powszechny stereotyp inteligentnych dorosłych nie był wtedy tak różny, jak jest teraz. Na przykład Francis Galton napisał w swojej książce z 1884 r., Hereditary Genius (Galton i Prinzmetal, 1884): „Powszechnie uważa się, że genialni ludzie są niezdrowymi, wątłymi istotami – cały mózg i bez mięśni – mają słaby wzrok i ogólnie słabą konstytucję…" (przedruk w Galton, 2006). Oto jak rozpoczął się projekt Termana (Terman, 1925): W latach 1920-1921 wybrano 1470 dzieci z ilorazem inteligencji 135-196 spośród ponad 250 000 dzieci w kalifornijskich szkołach publicznych i co 7 lat przeprowadzono z nimi ponowne testy i wywiady. Ich średnie IQ wynosiło około 150, a 80 dzieci miało IQ powyżej 170 (były to 0,1% najlepszych). Cała ta grupa stała się nieoficjalnie znana jako Termity. Przeszli szeroko zakrojone testy medyczne, pomiary fizyczne, testy osiągnięć, testy charakteru i zainteresowań, oceny cech, a zarówno rodzice, jak i nauczyciele dostarczyli dodatkowych informacji. Przebadano również grupę kontrolną o średnich wynikach IQ. Wyniki badań Termana zostały opublikowane w czasie w pięciu tomach. Dane były dość obszerne. Oto podsumowanie kluczowych ustaleń dotyczących życia termitów. Ogólnie rzecz biorąc, całkowicie obalają stereotypy zarówno dla dzieci, jak i dorosłych. Negatywne, nerdowskie atrybuty były w zasadzie bezpodstawne. Nie byli dziwni ani mizerni. Przeciętnie byli fizycznie dość silni i bardziej dojrzali fizycznie i emocjonalnie niż ich rówieśnicy. Średnio termity były szczęśliwsze i lepiej przystosowane niż kontrole w trakcie badania. Chociaż mieli swoje problemy życiowe, dalsze badania wykazały znaczne osiągnięcia w zakresie publikowania książek, artykułów naukowych, opowiadań i wierszy, kompozycji muzycznych, scenariuszy telewizyjnych i filmowych oraz patentów. Jednak dalsza obserwacja wykazała, że samo wysokie IQ niekoniecznie przesądza o sukcesie życiowym. Motywacja była również ważna, a Terman uważał, że chociaż geny odgrywają ważną rolę w wysokim IQ, wierzył również, że wyjątkowe zdolności wymagają wyjątkowej edukacji, aby zmaksymalizować potencjał ucznia. Może nie brzmi to aż tak radykalnie, ale do dziś toczy się debata o tym, czy w ogóle należy przeznaczać jakiekolwiek środki na edukację dla najzdolniejszych uczniów, aby rozwijali swoje wysokie zdolności. Projekt Termana wykazał również trafność predykcyjną wyniku IQ. Oznacza to, że jeden wynik IQ w dzieciństwie może zidentyfikować osoby, które będą wyróżniać się w późniejszym życiu. Jednak, jak wszystkie badania, były pewne poważne wady – tutaj dwie: (1) Terman interweniował w życie tych „podmiotów" i pomagał im w wysyłaniu listów polecających na studia i do pracy; (2) Silne uprzedzenia ze względu na płeć w edukacji i zatrudnieniu spowodowały, że samice termitów zostały w większości gospodyniami domowymi, więc prawidłowe porównania mężczyzn i kobiet nie były możliwe. Podobnie brak jest danych o mniejszościach. Czy te problemy unieważniają główne ustalenia? Raczej nie. Ogólnie rzecz biorąc, poziom sukcesu i osiągnięcia tych osób o bardzo wysokim IQ są niezależne. Jednak na szczęście mamy więcej danych z nowszego badania, które zmodyfikowało podejście Termana.

Badanie 2. Drugie badanie podłużne to Badanie Matematycznie i naukowo przedwczesna młodzież na Uniwersytecie Johnsa Hopkinsa.

Był to ambitny projekt zainicjowany przez profesora Juliana Stanleya w 1971 roku (Stanley i in., 1974). Dr Stanley powtórzył podejście Termana, ale zamiast wyników IQ zastosował matematykę o bardzo wysokim poziomie SAT (SAT-M) wyniki uzyskiwane przez gimnazjalistów w wieku 11–13 lat w specjalnych sesjach testowych zwanych poszukiwaniem talentów. Więc zamiast ogólnej inteligencji, Stanley skupił się na bardzo specyficznej zdolności umysłowej. Ten projekt miał również dwa główne cele. Po pierwsze, wcześnie identyfikuj przedwcześnie rozwiniętych uczniów, a po drugie, rozwijaj ich szczególne talenty. Rozpocząłem studia podyplomowe w Hopkins w 1971 roku i pracowałem nad tym badaniem we wczesnych latach. Muszę powiedzieć, że to doświadczenie wywarło wpływ na moje zainteresowanie inteligencją, a dr Stanley był jednym z najważniejszych i najbardziej interesujących mentorów, jakich miałem w Hopkins. Projekt ten powstał pod koniec lat 60. Dr Stanley rozpoczął współpracę z przedwczesnym uczniem, a po tym, jak dał uczniowi baterię testów psychometrycznych,

dr Stanley pomógł uczniowi dostać się do Hopkinsa w młodym wieku 13 lat. Dr Stanley następnie nazwał tego młodego człowieka, a następnie pierwszego „radykalnego akcelerantów", zidentyfikowane jako Joseph B. w pierwszym roku w Hopkins, w wieku 13 lat, Joseph wziął honor, a Sophore, a jego ocena naukowa była 3,69. 4.0. W tym czasie mieszkał w domu, ale zaprzyjaźnił się też z innymi studentami i dobrze przystosował się do przyspieszonych studiów. W ciągu czterech lat uzyskał tytuł licencjata i magistra informatyki. Zaczął studia doktoranckie z informatyki w Cornell, zanim skończył 18 lat, a Joseph miał produktywną karierę. Od samego początku głównym celem dr Stanleya było nie tylko identyfikowanie i śledzenie takich przedwcześnie rozwiniętych uczniów, ale także wybór najlepszych osób do przyspieszenia edukacji, w tym wczesnego wstępu na studia. Tak narodził się pomysł wykorzystania testu SAT-Math do badania przesiewowego uczniów gimnazjów w celu znalezienia przedwcześnie rozwiniętych osób z talentem matematycznym i naukowym. Fundacja Spencera zapewniła dr Stanleyowi wieloletnie finansowanie, począwszy od 1971 r., A pierwsze poszukiwanie talentów miało miejsce w 1972 r. Aby wziąć udział w tych poszukiwaniach, uczniowie gimnazjów w rejonie Baltimore musieli zostać nominowani przez swoich nauczycieli matematyki. Rzeczywiste testy SAT-Math zostały podane w standardowy sposób. W tym pierwszym wyszukiwaniu 396 uczniów 7. i 8. klasy przystąpiło do SAT-Math. Oto dwa fascynujące wyniki tego pierwszego poszukiwania talentów. Dwudziestu dwóch z 396 uzyskało co najmniej 660 punktów, czyli więcej niż przeciętny student pierwszego roku Hopkins w tamtym czasie. I wszyscy z tych 22 byli chłopcami, a żadna ze 173 dziewcząt nie uzyskała więcej niż 600. Stosunek mężczyzn do kobiet znacznie się poprawił na przestrzeni lat, ale w tamtym czasie ta ogromna dysproporcja była zaskakująca. A co z 22 chłopcami, którzy uzyskali wyższe wyniki niż pierwszoroczniacy Hopkinsa? Jacy oni byli? Wczesne analizy danych potwierdziły wyniki Termana w odniesieniu do stereotypu. Tych matematycznie przedwcześnie rozwiniętych uczniów było więcej fizycznie i emocjonalnie dojrzalszych od swoich rówieśników. Jednym z moich pierwszych projektów badawczych było przedstawienie tej grupie przedwcześnie rozwiniętych pewnych standardowych testów osobowości. Średnio osiągali lepsze wyniki niż studenci college'u niż ich rówieśnicy (Weiss i in., 1974). Profesor Stanley uważał, że wzbogacone zajęcia nie były tak produktywne jak rzeczywiste zajęcia w college'u, więc pomógł wielu z tych bardzo utalentowanych studentów wcześnie pójść na studia. Z biegiem lat wielu z najbardziej rozwiniętych uczniów zostało przyjętych wcześniej, zwykle mieszkając w domu. I nie było dowodów na to, że ponieśli jakąkolwiek emocjonalną szkodę w wyniku przyspieszonego programu. Podobnie jak Termity, wielu z nich miało udane i bardzo produktywne kariery. Pierwotne poszukiwania talentów ewoluowały dramatycznie i obecnie obejmują wiele programów wzbogacających oprócz wczesnego wstępu na studia, w tym obozy letnie, które kładą nacisk na doświadczenia z matematyki i nauk ścisłych. Możesz dowiedzieć się więcej o tych programach za pomocą Google. Właściwie jeden ze studentów związanych z wyszukiwaniem talentów był współzałożycielem Google; to był Siergiej Brin. Mark Zuckerberg z Facebooka również został zidentyfikowany podczas wyszukiwania talentów, podobnie jak Lady Gaga. Poważnie. Sprawdź to. Obecnie prowadzone są szczegółowe badania uzupełniające tysięcy uczniów, którzy brali udział w kilku pierwotnych poszukiwaniach. Dalsze wyniki pokazują, że wiele z tych matematycznie przedwcześnie rozwiniętych dzieci, jak określono na podstawie pojedynczego wyniku testu, gdy były nastolatkami, odniosło wyjątkowy sukces pod względem sukcesu zawodowego i życiowego . Rysunek 6 przedstawia osiągnięcia zawodowe na podstawie 25-letniego badania uzupełniającego 1% pierwszych wyszukiwań, które objęło 2385 studentów (Robertson i in., 2010). Wszyscy ci uczniowie są podzieleni na kwartyle, Q1, Q2, Q3 i Q4, w oparciu o ich wynik SAT-Math w wieku 13 lat.



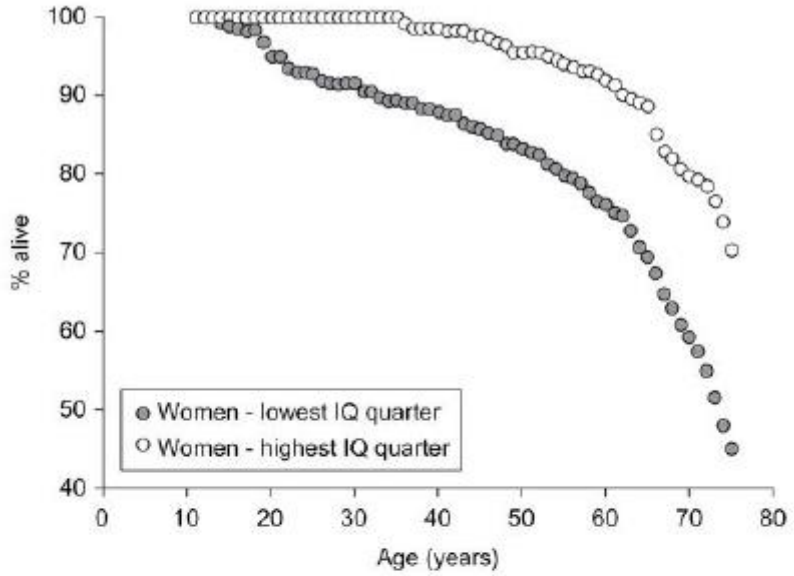
Na osi y mamy proporcję kwartyla z wynikiem takim jak uzyskanie doktoratu, doktora habilitowanego lub doktora medycyny. Innym rezultatem są wszelkie recenzowane publikacje. Innym byłoby uzyskanie doktoratu i stażu w dziedzinie STEM, która obejmuje naukę, technologię, inżynierię lub matematykę. Kolejnym rezultatem są patenty, podobnie jak wysokie dochody (zdefiniowane jako mieszczące się w 95. percentylu). Na tym wykresie widzimy, że wśród uczniów w wieku 13 lat, którzy uzyskali wyniki SAT-Math w zakresie 400–500, co stanowi najwyższy 1% dla 13-latków, ale najniższy kwartyl 1 dla tej próby, około 15% uzyskało stopień doktora w dowolnej dziedzinie, a odsetek ten rośnie wraz z wyższymi wynikami. W górnym kwartylu SATMath 4 odsetek stopni zaawansowanych wynosi około 35%. Wszystko to jest pokazane w linii z czarnymi kropkami u góry wykresu. Ten sam trend można zaobserwować dla wszystkich innych wyników. OR po każdym wyniku oznacza iloraz szans i porównuje proporcję górnego kwartyla z dolnym kwartylem dla każdego wyniku. Na przykład największa rozbieżność wynosi 18,2 w przypadku uzyskania doktoratu w dziedzinie STEM. Oznacza to, że górny kwartyl w górnym 1% miał 18 razy większe prawdopodobieństwo uzyskania doktoratu STEM niż dolny kwartyl w górnym 1%. Więc nawet w tej rzadkiej grupie 1% najlepszych, osoby z najwyższymi wynikami radziły sobie najlepiej w oparciu o te wyniki. Pamiętaj, pojedynczy test przeprowadzony w wieku 13 lat zidentyfikował te osoby. Ponownie widać, że trafność predykcyjna tego standardowego wyniku testu jest dość silna. Najwyraźniej osoby z górnego 1% wyników uzyskanych w dzieciństwie mają znaczące przyszłe osiągnięcia, ale nawet w tej rzadkiej grupie im wyższy wynik, tym większe prawdopodobieństwo tego rodzaju osiągnięć. Kontynuowane są badania podłużne pierwotnych uczestników poszukiwania talentów z dodatkowymi obserwacjami prowadzonymi przez badaczy, profesor Camillę Benbow i profesora Davida Lubinskiego z Vanderbilt University.

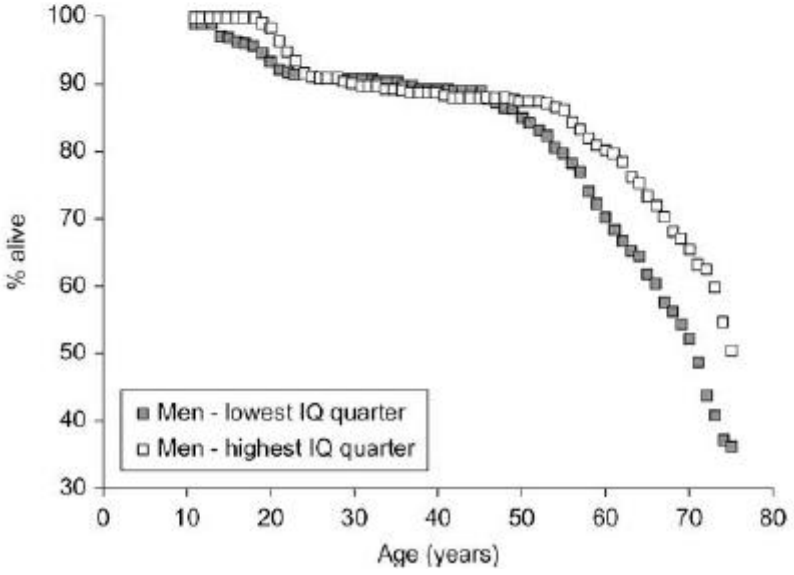
Badanie 3. Trzecim badaniem podłużnym jest Scottish Mental Survey. To był naprawdę ogromny projekt prowadzony przez szkocki rząd. Wszystkie dzieci urodzone w Szkocji w 1921 i 1936 roku ukończyły testy na inteligencję w wieku 11 lat i zostały ponownie przebadane na starość. Badanie to różniło się od pozostałych dwóch tym, że obejmowało praktycznie wszystkie dzieci w kraju, które zostały poddane testowi na ogólną inteligencję, zamiast identyfikować próbki osób z bardzo wysokimi

wynikami . Łączna liczba dzieci objętych badaniem wyniosła około 160 000. W czasie, gdy badania te rozpoczęły się w latach trzydziestych XX wieku, na całym świecie toczyła się poważna debata na temat wywiadu narodowego i eugeniki. Miało to głęboko złe konsekwencje w Niemczech. Jest to jeden z powodów, dla których testy inteligencji stały się negatywnym tematem w środowisku akademickim po drugiej wojnie światowej. Jednak innym powodem stosowania testów inteligencji w niektórych krajach była chęć otwarcia szans na lepsze szkolnictwo dla wszystkich klas społecznych poprzez wykorzystanie wyników testów jako obiektywnej oceny, aby dać wszystkim uczniom możliwość uczęszczania do najlepszych szkół, niezależnie od pochodzenia czy zamożności. Tak naprawdę stało się to w Wielkiej Brytanii po drugiej wojnie światowej i ta motywacja była ważna w rozwoju i stosowaniu SAT w USA. Ale szkockie badanie zakończyło się po drugiej rundzie testów w 1932 roku. Stało się badaniem podłużnym, głównie przez przypadek, kiedy oryginalne zapisy zostały ponownie odkryte w starym magazynie. Obecnie zespół naukowców kierowany przez profesora Iana Deary'ego z Uniwersytetu w Edynburgu wykorzystuje tę bazę danych i dalsze oceny do badania wpływu inteligencji na starzenie się. Kilka lat temu dr Deary otrzymał nowy grant od rządu szkockiego, odrestaurował fizyczne odręczne zapisy tak bardzo, jak to możliwe, a następnie je wszystkie skomputeryzował. Zidentyfikował również 550 pierwotnych uczestników, którzy wciąż żyją i chcą zostać ponownie przetestowani. Teraz są dane uzupełniające. Przyjrzyjmy się dwóm interesującym wynikom z analiz podłużnych.

1. Wyniki IQ były dość stabilne w czasie, jak wykazano, pokazując wyniki w wieku 11 lat skorelowane z wynikami w wieku 80 lat (r = 0,72) . Test na inteligencję stosowany na początku badania iw dalszej części badania nazywa się testem Moray House. Daje wynik IQ zasadniczo równoważny ze Stanford-Binet lub WAIS. Przypomnijmy, że płynna inteligencja maleje z wiekiem. Inteligencja skrystalizowana jest bardziej stabilna, a wynik IQ z testu zastosowanego w tym badaniu łączył inteligencję płynną i skrystalizowaną. Chociaż nie jest to częścią tego badania, należy zauważyć, że różne komponenty IQ mogą rosnąć i spadać w różnych momentach życia .

2. Osoby z wyższymi wynikami inteligencji w wieku 11 lat żyły dłużej niż ich koledzy z klasy z niższymi wynikami, jak pokazano na rysunku 7.





Górny wykres na rysunku przedstawia dane dla kobiet, a dolny wykres przedstawia mężczyzn. Oba pokazują te same trendy. Na osi x widzimy wiek uczestników według dekady od 10 do 80 lat, a na osi y widzimy procent grupy pierwotnie przetestowanej, która wciąż żyje w każdym wieku. Dane przedstawiono oddzielnie dla najniższego i najwyższego kwartyla na podstawie IQ. Na przykład na rysunku 7 spójrzmy na górny wykres kobiet i skupmy się na punktach danych po prawej stronie wykresu (wiek około 80 lat). Widać, że więcej kobiet żyje w najwyższym kwartylu IQ, około 70%, w porównaniu do dolnego kwartyla, gdzie około 45% nadal żyje. Jest to dość duża różnica. I to prawda, począwszy od wieku około 20 lat. To samo dotyczy mężczyzn, ale zaczyna się później, około 40 roku życia, a trend nie jest tak silny. Ponieważ Wielka Brytania ma powszechną opiekę zdrowotną, zróżnicowane stawki ubezpieczenia nie mają wpływu na te dane. Ale dlaczego IQ miałoby być związane z długowiecznością? Oto jedno z możliwych wyjaśnień. Przed 11 rokiem życia kilka czynników, zarówno genetycznych, jak i środowiskowe, może wpływać na IQ, a następnie wyższe IQ prowadzi do zdrowszego środowiska i zachowań oraz do prawdopodobnie lepszego zrozumienia zaleceń lekarskich, a te z kolei wpływają na wiek w chwili śmierci. Istnieją jednak przekonujące dowody na to, że lepszym wyjaśnieniem jest to, że śmiertelność i IQ mają wspólne wpływy genetyczne. Szacuje się, że 84–95% wariancji korelacji śmiertelność/IQ może wynikać z genów. Podsumowując dowody z tych trzech klasycznych badań, projekt Termana pomógł spopularyzować znaczenie wyników IQ i obalił popularny, ale negatywny

stereotyp dziecięcego geniuszu. Edukacja uzdolnionych uczniów zasadniczo rozpoczęła się od tego badania. Projekt Stanleya poszedł dalej i obejmował sposoby wspierania osiągnięć akademickich najbardziej uzdolnionych i utalentowanych uczniów. Przeprowadzone przez Deary'ego analizy danych National Survey w Szkocji dostarczyły nowych informacji na temat stabilności wyników IQ oraz znaczenia ogólnej inteligencji dla szeregu skutków społecznych i zdrowotnych. Badania te dostarczają przekonujących danych, że jeden wynik testu psychometrycznego we wczesnym wieku przewiduje wiele aspektów późniejszego życia, w tym sukces zawodowy, dochody, zdrowe starzenie się, a nawet śmiertelność. Konkluzja: Lepiej być mądrym, nawet jeśli jest to określone przez wyniki testów, które mają znaczenie tylko w odniesieniu do innych ludzi.

Dlaczego powstają mity o inteligencji

Definicje i pomiary utrzymują się?

Biorąc pod uwagę wszystkie te mocne empiryczne dowody na to, że wyniki testów na inteligencję są znaczące, dlaczego utrzymuje się mit, że wyniki mają niewielką lub żadną ważność? Oto informacyjny przykład. Od czasu do czasu przedstawiciel ds. rekrutacji na studia twierdzi, że w swojej instytucji nie znajduje związku między średnią ocen (GPA) a wynikami SAT. Takie obserwacje praktycznie zawsze opierają się na niezrozumieniu podstawowej zasady statystycznej dotyczącej korelacji między dwiema zmiennymi. Aby obliczyć korelację między dowolnymi dwiema zmiennymi, musi istnieć szeroki zakres wyników dla każdej zmiennej. Na przykład w miejscu takim jak MIT większość studentów mieści się w wąskim przedziale wysokich wyników SAT. Jest to klasyczny problem ograniczenia zasięgu. Różnice między uczniami są niewielkie, więc w tym przypadku związek między wynikami GPA i SAT nie będzie bardzo silny. Próbkowanie tylko z górnego lub dolnego końca lub ze środka rozkładu ogranicza zakres i skutkuje fałszywie niskimi lub zerowymi korelacjami. Ograniczenie zakresu w rzeczywistości odpowiada za wiele ustaleń dotyczących tego, jakich wyników testów inteligencji „nie udaje się" przewidzieć. Oto kolejny klasyczny przykład błędnego ustalenia z powodu ograniczenia zasięgu. W latach trzydziestych XX wieku Louis Thurstone zakwestionował odkrycie przez Spearmana współczynnika g i zaproponował alternatywny model siedmiu podstawowych zdolności, które, jak twierdził, były od siebie niezależne. Oznacza to, że nie były one ze sobą skorelowane i nie było wspólnego współczynnika g. Istnieje Zdolność Przestrzenna mierzona testami, które wymagają mentalnego obracania obrazów i przedmiotów. Istnieje prędkość percepcyjna mierzona testami polegającymi na jak najszybszym znalezieniu niewielkich różnic w obrazach. Istnieje obiekt liczbowy mierzony testami obliczeniowymi. Rozumienie werbalne mierzone testami słownictwa. Istnieje Word Fluency mierzona testami, które polegają na wygenerowaniu jak największej liczby słów dla danej kategorii w określonym czasie. Istnieje pamięć przetestowana przez przywołanie cyfr i obiektów. I wreszcie, istnieje rozumowanie indukcyjne mierzone testami analogii i logiki. Jednak model Thurstone'a nie został poparty późniejszymi badaniami. Okazuje się, że oryginalne badanie było błędne, ponieważ próbki, których użył, nie obejmowały osób z pełnego zakresu możliwych wyników. Oznacza to, że zakres był ograniczony, więc nie było wariancji, aby przewidzieć jakikolwiek test od innego. Kiedy dodatkowe badania rozwiązały ten problem, „podstawowe" zdolności Thurstone były w rzeczywistości skorelowane ze sobą i istniał współczynnik g. Thurstone wycofał swój pierwotny wniosek . Po co więc umieszczać ten przykład z lat trzydziestych XX wieku we współczesnej książce? Jak zobaczymy w dalszych rozdziałach, zaskakująca liczba badań nadal zawiera błędne wyniki z powodu ograniczonego zakresu. Różnice w strukturze czynnikowej między wieloma modelami opartymi na analizie czynnikowej dały niektórym krytykom pogląd, że g jest jedynie statystycznym artefaktem metodologii analizy czynnikowej. Mamy teraz setki badań analizy czynnikowej inteligencji na setkach testów umysłowych przeprowadzonych przez dziesiątki tysięcy ludzi i przy użyciu wielu odmian metody analizy czynnikowej. Najważniejsze jest to, że zawsze istnieje współczynnik g. Oto kluczowa kwestia:

współczynniki g pochodzące z różnych zestawów testów prawie idealnie korelują ze sobą, o ile każdy zestaw zawiera wystarczającą liczbę testów obejmujących szeroki zakres zdolności umysłowych, a testy są przeprowadzane na próbkach osób z szerokiego zakresu zdolności . Niedawne badanie przeprowadzone na 180 studentach college'u wykazało, że czynnik g wyznaczony na podstawie ich wyników na zestawie gier wideo był silnie skorelowany (0,93) z współczynnikiem g uzyskanym na podstawie ich wyników na zestawie testów poznawczych. Takie badania dostarczają mocnych dowodów na to, że g nie jest artefaktem statystycznym, mimo że jego znaczenie jest ograniczone jako skala przedziałowa. I logicznie rzecz biorąc, gdyby to był tylko artefakt, wyniki g nie korelowałyby z innymi miarami złożoności życia codziennego, jak zauważyliśmy, ani z parametrami genetycznymi i mózgowymi, jak szczegółowo opisujemy w kolejnych rozdziałach. Wreszcie, być może główną motywacją do zmniejszania ważności testów inteligencji i innych testów zdolności umysłowych, w tym SAT, jest podzielana przez wielu chęć wyjaśnienia różnic grupowych w średnich wynikach jako zwykłego artefaktu testów. Moim zdaniem ta motywacja jest nie na miejscu. Przyczyny średnich różnic w wynikach testów między grupami nie są jeszcze jasne, ale różnice te stanowią poważny problem w edukacji i innych obszarach. Zasługują na pełną uwagę i możliwie najbardziej wyrafinowane badania, aby przyczyny i potencjalne środki zaradcze można było opracować na podstawie badań empirycznych. Badania obrazowe rozwoju mózgu i inteligencji zaczynają odnosić się do niektórych kwestii, jak opisano szczegółowo w rozdziałach 3 i 4, a cel zwiększania inteligencji, omówiony w rozdziałach 5 i 6, jest wart rozważenia. Zanim przejdziemy do samego mózgu, w następnym rozdziale podsumujemy przytłaczające dowody na to, że inteligencja ma główny składnik genetyczny i jak „geny inteligencji" mogą wpływać na mózg. Wprowadzimy również koncepcję epigenetycznego wpływu czynników środowiskowych na ekspresję genów, z których wszystkie działają poprzez procesy biologiczne, wpływając na mózg. Wszystkie te dowody potwierdzają nasze podstawowe założenie, że inteligencja jest w 100% biologiczna

Podsumowanie

* Inteligencję można zdefiniować i ocenić na potrzeby badań naukowych.

* Współczynnik g to kluczowa koncepcja oceny inteligencji danej osoby w porównaniu z innymi ludźmi.

* Zaskakujące jest to, że inteligencja rzadko jest bezpośrednio brana pod uwagę w energicznych debatach na temat tego, dlaczego edukacja przedszkolna wydaje się zawodzić wielu uczniów. Nie można oczekiwać, że najlepsi nauczyciele osiągną cele edukacyjne wykraczające poza możliwości uczniów.

* Co najmniej cztery rodzaje badań wykazują trafność predykcyjną wyników testów inteligencji oraz znaczenie inteligencji dla sukcesu akademickiego i życiowego.

* Testy na inteligencję są podstawą wielu ważnych wyników badań empirycznych, ale idąc dalej, kluczowym problemem przy ocenie jest to, że nie ma skali ilorazowej dla inteligencji, więc wyniki testów mają znaczenie tylko w odniesieniu do innych osób.

* Pomimo szeroko rozpowszechnionych, ale błędnych przekonań na temat definicji i oceny, badania neuronaukowe starają się zrozumieć procesy mózgowe, które leżą u podstaw inteligencji i jak się rozwijają.

Przejrzyj pytania

1. Czy do badań naukowych potrzebna jest precyzyjna definicja inteligencji?

2. Jaka jest różnica między określonymi zdolnościami umysłowymi, które definiują uczonych, a współczynnikiem g?

3. Dlaczego wynik testu na inteligencję nie jest miarą długości, płynu czy wagi?

4. Co to jest ograniczony zasięg i dlaczego jest to ważna koncepcja badań wywiadowczych?

5. Jakie są dwa mity dotyczące inteligencji i dlaczego się utrzymują?

6. Jak myślisz, dlaczego ten rozdział zaczyna się od cytatu z 1980 roku?

Natura bardziej niż wychowanie: wpływ genetyki na inteligencję

Wstęp

Nasz mózg ewoluował wraz z resztą ciała. Byłoby mało prawdopodobne, aby genetyka wpływała na wszelkiego rodzaju różnice fizjologiczne człowieka, ale nie miała wpływu na mózg lub mechanizmy mózgowe leżące u podstaw inteligencji. Niemniej jednak genetyczne wyjaśnienia cech ludzkich (nawet częściowe) często budzą podejrzenia i niepokój. Po części wynika to z założenia, że wszystko, co genetyczne, jest zasadniczo niezmienne, deterministyczne i ograniczające. Jak zobaczymy, nie zawsze jest to prawidłowe założenie, a może być dokładnie odwrotnie, ponieważ mamy teraz kilka potężnych technik manipulowania genami . Niektóre geny są deterministyczne – masz gen, otrzymujesz określoną cechę – ale w przypadku złożonych cech i zachowań, takich jak inteligencja, wpływy genetyczne najlepiej opisać jako probabilistyczne, a nie deterministyczne. Oznacza to, że ten gen może zwiększać szanse na posiadanie cechy, ale to, czy ją uzyskasz, zależy od wielu czynników. Na przykład możesz być narażony na genetyczne ryzyko chorób serca, ale możesz zmniejszyć to ryzyko dzięki diecie i ćwiczeniom. W najbardziej skrajnym scenariuszu faworyzującym genetykę, gdyby różnice w inteligencji między ludźmi wynikały w 100% z czynników genetycznych odziedziczonych jako losowa mieszanka genów od matki i ojca, nadal byłoby tak, że niektóre geny i ich ekspresja mogą być modyfikowane przez czynniki środowiskowe. Interakcja ekspresji genetycznej i zmiennych niegenetycznych nazywa się epigenetyką, omówioną w dalszej części tej sekcji. W scenariuszu w 100% genetycznym byłoby również tak, że dana osoba może zostać wyzwolona ze złego, nieoptymalnego lub ograniczającego środowiska, wygrywając loterię genetyczną o wysoką inteligencję (tj. losową mieszankę genów obojga rodziców, w tym najistotniejsze dla inteligencji). Scenariusz obejmujący wszystkie (lub większość) genów prowadzi również do praktycznej sugestii maksymalizacji inteligencji Twojego dziecka: znajdź najmądrzejszego partnera, jakiego możesz (proste, ale być może nie takie łatwe). W scenariuszu w 100% genetycznym osoba, która przegra na loterii genetycznej i ma niską inteligencję, będzie ograniczona w niektórych ważnych aspektach życiowego sukcesu, nawet gdyby miała najlepsze wspierające lub wzbogacone środowisko, jakie można kupić za pieniądze. W drugim skrajnym scenariuszu, gdyby różnice w inteligencji nie wiązały się z mechanizmami genetycznymi, inteligencja każdej osoby byłaby określana przez wpływy środowiska, zwłaszcza w dzieciństwie, kiedy rozwój mózgu jest maksymalny, a zdolność dziecka do wybierania korzystnych środowisk jest minimalna. Teoria całego (lub przeważającego) środowiska łatwo prowadzi do poglądu behawiorysty lub „czystej karty", że każdy mógłby rozwinąć wysoką inteligencję lub jakąkolwiek inną cechę psychologiczną, gdyby tylko dostępne były odpowiednie składniki środowiskowe (Watson, 1930). Pogląd ten jest dość popularny pomimo ogólnego upadku klasycznego behawioryzmu. Co więcej, pogląd „czystej karty" na potencjał ludzki ma ograniczone wsparcie empiryczne dla większości aspektów zachowania (Pinker, 2002) i praktycznie nie ma żadnego poparcia dla inteligencji, jak zobaczymy w dalszej części tego rozdziału. Popularne stanowisko środkowe utrzymuje, że zarówno geny (natura), jak i środowisko (wychowanie) wyjaśniają różnice w inteligencji. Starsza, prosta wersja tego stanowiska głosiła, że czynniki genetyczne i środowiskowe miały mniej więcej równy udział. Obecnie zdajemy sobie sprawę, że geny i środowiska oddziałują na siebie, ponieważ ekspresja genów może być wrażliwa na zmienne środowiskowe. Na tym polega istota epigenetyki, czyli badania wpływu środowiska na sposób funkcjonowania genów. Trudno jest przypisać wariancję inteligencji tylko do genów, gdy złożone interakcje ze środowiskiem są częścią mieszanki. Epigenetyka to stosunkowo nowa dziedzina, ale istnieją już pewne obiecujące oznaki postępu. Na przykład podłużne badanie rumuńskich sierot zidentyfikowało ryzyko problemów poznawczych i psychiatrycznych, które można częściowo przypisać skrajnej deprywacji społecznej we wczesnym okresie życia. Analizy DNA wskazują, że określone zmiany genetyczne są związane ze stopniem deprywacji. Badania na zwierzętach sugerują, że niektóre zmiany w ekspresji genów związane z czynnikami środowiskowymi są w rzeczywistości dziedziczne. To ekscytujące badanie, ale

jak dotąd nie ma bezpośredniego związku z ludzką inteligencją, chociaż pojawiają się znaczące badania nad epigenetyką pamięci. Zmienne środowiskowe, takie jak ekspozycja na język we wczesnym dzieciństwie , wpływają na neurobiologię i rozwój mózgu, ale nie wykazano jeszcze, w jaki sposób te czynniki mogą odnosić się do inteligencji. Nie wiadomo jeszcze, ile czynników epigenetycznych może przyczyniać się do różnic w inteligencji, ale koncepcja ta wzmacnia założenie, że wszelkie istotne zmienne środowiskowe działają poprzez mechanizmy biologiczne, genetyczne lub nie. Na razie ciężar dowodów podkreśla wpływ genów na inteligencję, ze znanymi wpływami epigenetycznymi lub bez nich.

Ewoluujący pogląd na genetykę

Może cię zaskoczyć fakt, że definicja genu nie jest tym, czym on jest było zaledwie kilka lat temu . Przed opartym na technologii projektem Human Genome Project genetycy spodziewali się znaleźć około 100 000 genów, ponieważ geny kodują białka, które są podstawowymi budulcami życia. Człowiek ma co najmniej 100 000 białek. Uważano, że każdy gen koduje jedno białko. Jednak Human Genome Project początkowo zgłosił tylko około 25 000 genów kodujących białka, a liczba ta została skorygowana w dół do prawdopodobnie mniej niż 20 000 . Oznacza to, że każdy gen może wyrażać się na wiele różnych sposobów, a mechanizmy kontrolowania ekspresji genów są w dużej mierze nieznane. Ekspresja genów to po prostu sposób na powiedzenie, że geny włączają się i wyłączają w ciągu życia. Skutkuje to stale zmieniającą się mieszanką białek wpływających na wszystkie aspekty biologii w złożonych i dynamicznych interakcjach. Czym dokładnie są przełączniki lub wyzwalacze, które włączają i wyłączają geny i jak przełączniki mogą wchodzić w interakcje z czynnikami środowiskowymi? W jaki sposób miriady produktów białkowych genów oddziałują ze sobą w wieloetapowych, kaskadowych sekwencjach? Takie kwestie są przedmiotem zainteresowania rodzącej się dziedziny badań epigenetycznych. Historycznie większość badaczy zakładała, że inteligencja, bez względu na to, jak została zdefiniowana, rozwija się w dzieciństwie i jest pod silnym wpływem czynników środowiskowych, zwłaszcza życia domowego i kultury społecznej. Z tego punktu widzenia, jakakolwiek rola, jaką mogą odgrywać geny, jest minimalizowana, a niektórzy opowiadają się nawet za zerowym udziałem genów. Chociaż ten pogląd na temat znaczenia wczesnego środowiska wydaje się rozsądny, a nawet pochlebia dumnym rodzicom, dowody na silny wpływ środowiska na inteligencję, zwłaszcza we wczesnym dzieciństwie, są zaskakująco słabe, jak zobaczymy. Epigenetyka dostarcza koncepcji do dalszego rozważania teorii na temat znaczenia czynników środowiskowych dla inteligencji, ale badania epigenetyczne nad inteligencją dopiero się rozpoczynają . Niemniej jednak, podobnie jak w przypadku zmian klimatu, dane, które wspierają główny genetyczny składnik inteligencji, są przekonujące, a liczba genetycznych zaprzeczaczy i minimalizatorów szybko maleje. Ogólnie rzecz biorąc, nie lubimy myśleć o jakichkolwiek ograniczeniach dotyczących potencjalnych osiągnięć życiowych, więc pomysł, że inteligencja ma główny składnik genetyczny, nie jest łatwo akceptowany jako dobra rzecz. Dzieje się tak zwłaszcza w niektórych akademickich kręgach nauk społecznych, w których istnieje żywotne zainteresowanie badaniem kultur. W rzeczywistości istnieje skoordynowany wysiłek trwający od dziesięcioleci, aby podważyć, zaprzeczyć i zakwestionować wszelkie genetyczne badania inteligencji . Podobny wysiłek w latach 1960 i 1970 dotyczący „mitu" schizofrenii i innych zaburzeń psychicznych prawie zniknął. Większość nastrojów antygenetycznych pierwotnie powstała jako moralna odpowiedź na ruchy eugeniczne w XIX i na początku XX wieku, w następstwie nazistowskich okrucieństw w latach trzydziestych i czterdziestych XX wieku, a ostatnio w naszym kontekście, na jeden konkretny artykuł opublikowany w 1969 roku przez psychologa edukacyjnego z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, Arthura Jensena. Wkrótce omówimy ten niesławny artykuł. Oto kluczowa kwestia, o której należy pamiętać, wprowadzając badania genetyczne: ilekroć w tej książce mówimy o wpływie jakiejkolwiek zmiennej lub czynnika na inteligencję, tak naprawdę odnosimy się do wpływu na różnice (wariancje) inteligencji między ludźmi. Jak sugeruje termin, genetyka behawioralna ogólnie odnosi się do badania

cech behawioralnych i ma dwa podstawowe rodzaje: ilościowe i molekularne. Pierwsza z nich, wywodząca się z eksperymentów Mendla z grochem, dotyczy ustalenia, czy składnik genetyczny (genotyp) może istnieć, czy nie dla zachowania lub cechy (fenotyp), a jeśli tak, to ile wariancji można wytłumaczyć genami. Genetyka ilościowa obejmuje modelowanie trybu transmisji genów (np. Dominującego lub recesywnego). Badania nad bliźniętami i adopcjami to podstawowe metody genetyki ilościowej, a my dokonamy przeglądu kluczowych badań i kilku zaskakujących odkryć, które potwierdzają silną rolę genów i minimalną rolę zmiennych środowiskowych w wyjaśnianiu różnic w inteligencji między jednostkami. Genetyka molekularna to nowsza dziedzina, która wykorzystuje różne technologie i metody DNA do identyfikowania genów związanych ze zmiennością określonych cech oraz, w przypadku inteligencji, z tym, w jaki sposób te geny wpływają na rozwój i funkcjonowanie mózgu. Ta ambicja jest tak złożona, jak każdy cel w dowolnej dziedzinie nauki. Dotychczasowe odkrycia genetyki molekularnej związane z inteligencją są dość niepewne, z niewielką replikacją określonych genów zidentyfikowanych jako prawdopodobnie związane z inteligencją. Niemniej jednak nastąpił postęp, a odkrycia omówione w dalszej części tego rozdziału są gdzieś pomiędzy intrygującymi a zdumiewającymi. Wczesny entuzjazm dla technik genetyki molekularnej rozpoczął się około 20 lat temu od optymistycznej obietnicy rychłego odkrycia kilku genów, które odpowiadają za znaczne zróżnicowanie inteligencji. Tak się nie stało i więcej niż kilku krytyków poglądu genetycznego wyraża odrobinę radości z powodu niepowodzenia w zidentyfikowaniu jak dotąd konkretnych genów inteligencji. Wczesne wskazania sugerowały jednak, że polowanie na geny inteligencji było w rzeczywistości polowaniem na geny „ogólne", z których każdy wpływał na wiele zdolności poznawczych leżących u podstaw inteligencji. Kovas i Plomin (2006) podsumowali ten pogląd po prostu: „wkład genetyczny w strukturę i funkcję mózgu jest ogólny, a nie specyficzny" . Dwie kluczowe koncepcje to: jeden gen może wpływać na wiele odmiennych cech (plejotropia) oraz wiele genów może wpływać na jedną cechę (poligeniczność). Chociaż koncepcja genów ogólnych jest kontrowersyjna, pojawił się szeroki konsensus, że inteligencja jest dziedziczna i poligenetyczna. Na przykład jedno badanie przeprowadzone na 3511 niespokrewnionych osobach dorosłych wykazało, że istnieje wiele genów inteligencji, które razem mogą odpowiadać za 40–50% wariancji ogólnej inteligencji , chociaż żaden gen nie odpowiada jeszcze za więcej niż niewielką część wariancji. Dodatkowe badania wspierają plejotropię dla różnych zdolności poznawczych. Naukowcy badający schizofrenię, autyzm, otyłość i wiele innych celów bogatych w geny, nawet wzrost, znajdują podobne wyniki poligenetyczne i plejotropowe. Na tym etapie dziedziczność ludzkiej inteligencji jest dobrze ugruntowana, a nawet pojawiają się dane dotyczące szympansów . Istnieją kwestie interpretacyjne dotyczące niektórych aspektów danych genetycznych, które wciąż pozostają nierozwiązane i mogą pozostać takie, dopóki nie zostaną zidentyfikowane i potwierdzone geny odpowiedzialne za inteligencję. Niedawne wysiłki zmierzające do zminimalizowania znaczenia wpływów genetycznych na inteligencję na korzyść wpływów środowiskowych nie wytrzymują kontroli . Na szczęście są jeszcze nowsze ustalenia na temat inteligencji, która może sygnalizować rzeczywisty postęp w odkrywaniu konkretnych genów i ich efektów. Zanim dokonamy przeglądu ostatnich godnych uwagi badań zarówno w genetyce ilościowej, jak i molekularnej, zacznijmy od pewnej historii, aby umieścić genetyczną historię inteligencji w kontekście, przeglądając zaskakującą porażkę i domniemane oszustwo.

Wczesne niepowodzenia w zwiększaniu IQ

Awaria uderzyła w 1969 roku bez ostrzeżenia. Na początku lat 60. prezydent Lyndon Johnson zaangażował Stany Zjednoczone w wojnę z ubóstwem. Jeden z aspektów tych godnych podziwu wysiłków federalnych miał na celu rozwiązanie poważnego problemu obserwowanego od dziesięcioleci. Biedne dzieci, zwłaszcza z grup mniejszościowych, miały tendencję do uzyskiwania niższych wyników w testach poznawczych, w tym testach IQ. W tamtym czasie większość pedagogów, psychologów i decydentów była zgodna co do tego, że wszelkie luki poznawcze ujawnione w testach,

zwłaszcza w przypadku inteligencji, wynikały głównie lub całkowicie z wad edukacyjnych i dlatego można je było wyeliminować, gdyby biedne dzieci miały takie same możliwości wczesnej edukacji, jakie rutynowo zapewniały rodziny z klasy średniej i wyższej. Takie możliwości były praktycznie niedostępne dla biednych, zwłaszcza przed decyzją Sądu Najwyższego z 1954 r., która obaliła odrębne, ale równe podejście do edukacji oparte na rasie. Rozwiązanie problemu wyeliminowania wszelkich luk poznawczych wydawało się oczywiste, a idea edukacji wyrównawczej zaowocowała finansowanym ze środków federalnych programem Head Start. Przed Head Start kilka różnych projektów demonstracyjnych edukacji wyrównawczej zostało wdrożonych w ograniczonym zakresie. Niektóre z tych projektów przynosiły zachęcające, a nawet dramatyczne pozytywne wyniki w zmniejszaniu luk poznawczych i zwiększaniu wyników IQ. Starania te były podstawą optymistycznego poglądu, że Head Start odniesie wielki sukces w eliminowaniu luk. Harvard Educational Review poprosił Arthura Jensena, znanego psychologa edukacyjnego, o dokonanie przeglądu twierdzeń dotyczących tych wczesnych wysiłków kompensacyjnych (Head Start nie był jeszcze wdrażany wystarczająco długo, aby można go było uwzględnić w tym przeglądzie). Artykuł Jensena (1969) nosił tytuł: „Jak bardzo możemy zwiększyć IQ i osiągnięcia szkolne?" Oto zdanie otwierające: „Edukacja kompensacyjna została wypróbowana i najwyraźniej się nie powiodła". Jensen kontynuował ponad 100 stron szczegółowej analizy badań nad inteligencją, która wykazała niewielki lub żaden trwały wpływ wczesnych działań wyrównawczych na wyniki IQ lub osiągnięcia szkolne. Samo to było wystarczająco złe w politycznym kontekście powszechnego entuzjazmu dla rodzącego się programu Head Start, ale artykuł pogorszył się, gdy Jensen omawiał genetykę. Najpierw dokonał przeglądu badań wpływu środowiska na inteligencję. Doszedł do wniosku, że empiryczne dowody na jakikolwiek większy wpływ środowiska na inteligencję w ogóle, a zwłaszcza na czynnik g, były w rzeczywistości dość słabe. Następnie argumentował, że jednym z powodów tego byłoby to, że zmienność inteligencji, zwłaszcza czynnik g, była głównie genetyczna. Podsumował badania genetyczne, które zdawały się potwierdzać ten pogląd. W 1969 r. wniosek ten był nieco naciągany, biorąc pod uwagę niedostatek badań środowiskowych i genetycznych z dużymi próbami i solidnymi projektami badawczymi. Jednak artykuł, już obraźliwy dla opinii większości, że inteligencja pochodzi głównie ze środowiska, poszedł jeszcze dalej z kontrowersyjną sugestią, a kontrowersyjna to mało powiedziane. Ponieważ wyniki IQ wydawały się być odporne na wysiłki kompensacyjne i ponieważ geny odgrywały ważną rolę, Jensen postawił hipotezę, że średnie różnice w inteligencji stwierdzone dla niektórych grup rasowych w porównaniu z białymi (skupił się na różnicach między czarnymi a białymi) mogą mieć składnik genetyczny. Wraz z opublikowaniem tej hipotezy badania nad inteligencją zakończyły się na ponad jedno pokolenie. Negatywna reakcja na artykuł przeglądowy Jensena była okrutna. Najbardziej zjadliwe odpowiedzi dotyczyły podżegającego wniosku, że czarni są intelektualnie gorsi z powodu ich składu genetycznego oraz ogólnej idei, że geny odgrywają główną rolę w inteligencji, a środowisko nie. Końcowe akapity Jensena na temat znaczenia dostosowania metod nauczania do możliwości uczenia się poszczególnych uczniów w celu maksymalizacji osiągnięć szkolnych wszystkich dzieci nie poświęcono praktycznie żadnej uwagi (patrz sekcja 6.6). W każdym razie krytycy spędzili dziesięciolecia atakując osobiście Jensena i jego argumenty. Jak wspomniano pokrótce w ostatnim rozdziale, inna książka opublikowana w 1973 r., IQ in the Meritocracy (Herrnstein, 1973), wywołała podobną burzę dotyczącą roli genetyki w inteligencji. Biorąc pod uwagę wnioski rasowe i gorącą atmosferę emocjonalną, niewielu badaczy lub ich studentów zdecydowało się skoncentrować swoją karierę na jakichkolwiek pytaniach dotyczących inteligencji. Uzyskanie federalnego wsparcia badawczego dla badań wywiadowczych stało się praktycznie niemożliwe. Niemal z dnia na dzień badania wywiadowcze stały się radioaktywne. Head Start posunął się naprzód, a podobne kompensacyjne wysiłki badawcze obejmowały coraz intensywniejsze interwencje. W latach 70. i 80. krytycy Jensena atakowali ważność testów i wyników IQ, istnienie czynnika g, genetykę ilościową w zasadzie, a nawet uczciwość i motywację poszczególnych badaczy. Jednym prostym argumentem było to, że wszelkie średnie różnice grupowe w wynikach

testów inteligencji były najprawdopodobniej spowodowane błędem testowym i nie miały żadnego znaczenia. Hipoteza błędu systematycznego, jak zauważono w poprzedniej części, była szeroko badana i ma niewielkie poparcie empiryczne. Jeśli chodzi o to, że wyniki testów nie mają rzeczywistego znaczenia, istnieje wiele dowodów, jak zauważono w rozdziale 1, na to, że wyniki przewidują wiele aspektów życia . Co więcej, w następnych dwóch rozdziałach neuroobrazowanie pokazuje, że wyniki testów inteligencji są skorelowane z różnymi strukturalnymi i funkcjonalnymi pomiarami mózgu; wyników, które byłyby niemożliwe, gdyby wyniki testu były bez znaczenia. Niektórzy krytycy kwestionowali, czy czynnik g był jedynie artefaktem statystycznym, co nie zostało poparte wieloma wyrafinowanymi badaniami psychometrycznymi. Inni krytycy wyszli poza debatę na temat danych i zaatakowali Jensena i niektórych badaczy genetyki behawioralnej zarzutami ad hominem o jawny rasizm. Jensen został kiedyś zapytany wprost, czy jest rasistą. Jego odpowiedź brzmiała: „Dużo o tym myślałem i doszedłem do wniosku, że to nieistotne” . Znałem Jensena od wielu lat i rozumiem, że chodziło mu o to, że jego interpretacja danych, nawet jeśli była motywowana nieświadomym rasizmem, była sprawdzalna i falsyfikowalna obiektywnymi metodami naukowymi. Był przekonany, że przyszłe badania mogą potencjalnie obalić każdą z jego hipotez. Był, o ile większość obserwatorów mogła zauważyć, niewzruszony w obliczu osobistych ataków, ponieważ całkowicie kierowały nim dane. Moim zdaniem nie byłby w ogóle rozczarowany, gdyby pojawiły się nowe dane pokazał, że się mylił. Celem podsumowania tego zapalającego okresu w historii badań wywiadowczych jest pomoc w wyjaśnieniu pochodzenia negatywnej wartościowości, którą badania wywiadowcze nadal do pewnego stopnia niosą ze sobą dzisiaj. Współczesne badania neuronaukowe, na których skupia się ta książka, pomogły tej dziedzinie wyjść poza te stare destrukcyjne kontrowersje. Chociaż podstawa średnich różnic między grupami w psychometrycznych testach inteligencji i innych zdolności poznawczych jest nadal nierozstrzygnięta, główna rola genetyki w wyjaśnianiu różnic w inteligencji między jednostkami jest mocno ugruntowana, co szczegółowo opisano w następnej sekcji. Faktem jest również, że ciężar dowodów pochodzących ze współczesnych badań nad intensywną edukacją wyrównawczą, obecnie przemianowaną na wczesną edukację, wciąż nie wskazuje na trwały wpływ na wyniki IQ, a nawet krótkotrwały wzrost nie jest wyraźnie związany z czynnikiem g. W przeciwieństwie do przeglądu Jensena, nowsze, bardziej intensywne badania wskazują, że niektóre ważne aspekty osiągnięć akademickich, takie jak wskaźniki ukończenia studiów, najwyraźniej ulegają poprawie . Istnieją również pewne ilościowo wyrafinowane szacunkowe prognozy, że wyniki IQ dzieci w niekorzystnej sytuacji mogą potencjalnie dramatycznie wzrosnąć, biorąc pod uwagę odpowiednie elementy programu we wczesnych latach , chociaż nie osiągnięto takich korzyści, nie mówiąc już o testach pod kątem trwałości. Moim zdaniem istnieje wiele dobrych powodów wspierania wczesnej edukacji, które nie zależą od tego, czy wyniki IQ zmieniają się, czy nie, z powodu genetyki lub innych przyczyn. Włączenie IQ do dyskusji na temat wczesnej edukacji prawdopodobnie nie pomoże w postawieniu sprawy. Więcej o potencjale neuronauki w zwiększaniu inteligencji zostanie szczegółowo omówione w rozdziale 5. Jeśli chodzi zarówno o genetyczne podstawy inteligencji, jak i niepowodzenie wczesnej edukacji w zwiększaniu IQ, można śmiało powiedzieć, że hipotezy Jensena nie zostały jeszcze obalone przez kolejne 45 lat nowe dane. Zainteresowanego czytelnika odsyłamy do odnośników na końcu tego rozdziału, gdzie znajdują się źródła bardziej szczegółowo omawiające kontrowersje wokół Jensena (Snyderman i Rothman, 1988). The Blank Slate Stevena Pinkera to wspaniała książka i bardzo ją polecam, aby zrozumieć szerszy historyczny i filozoficzny kontekst krytyki badań wywiadowczych. Gorąco polecam również każdemu studentowi zainteresowanemu karierą w badaniach nad inteligencją z wykorzystaniem neuronauki lub innych podejść do przeczytania artykułu Jensena z 1969 roku. Jest często cytowany, często fałszywie przedstawiany i moim zdaniem jest klasycznym dziełem psychologii, które wciąż sugeruje ważne idee i hipotezy do sprawdzenia nowoczesnymi metodami.

„Oszustwo” nie powstrzymuje postępu genetycznego

Zanim przejdziemy do współczesnych postępów w genetyce ilościowej i molekularnej, musimy odbyć jeszcze jedną historyczną wycieczkę. Wyjaśnienie tej historii wprowadza również podstawowe strategie ilościowych badań genetycznych. Po artykule z 1969 roku inna linia ataku twierdziła, że niektóre dane genetyczne, które Jensen przytoczył na poparcie swojego argumentu, były fałszywe. Dane te pochodzą od bliźniaków jednojajowych wychowywanych oddzielnie, jak donosi Sir Cyril Burt, wybitny brytyjski psycholog z połowy XX wieku. Historia „oszustwa" zaczyna się od niewyróżniającej się liczby .771. Oto tło. Ponieważ bliźnięta jednojajowe (MZ), czyli bliźnięta jednojajowe, mają 100% wspólnych genów, uważano, że każda cecha znaleziona u obu bliźniąt ma składnik genetyczny. Im bardziej podobne pary bliźniaków pod względem cechy, tym silniejszy wpływ genów. Oczywiście bliźnięta jednojajowe dzielą również środowisko prenatalne i postnatalne, więc fakt, że bliźnięta jednojajowe mogą mieć dość podobne wyniki testów na inteligencję, nie wyklucza, że podobieństwo wynika z posiadania podobnych środowisk. Pod względem koncepcyjnym problem ten można łatwo rozwiązać, porównując podobieństwo cechy między parami bliźniąt jednojajowych, które mają 100% wspólnego DNA, z parami bliźniąt dwujajowych (DZ). Bliźnięta dwujajowe dzielą większość swojego wczesnego środowiska, ale tylko 50% swojego DNA, więc wszelkie podobieństwa nie powinny być tak silne u bliźniąt dwujajowych, jak u bliźniąt jednojajowych. Rzeczywiście, jest to niekwestionowany przypadek w wielu badaniach inteligencji, które zbiorczo podają średnie korelacje dla bliźniąt jednojajowych na poziomie około 0,80 i 0,60 dla bliźniąt dwujajowych. Badania adopcyjne są jeszcze potężniejsze i przekonujące, ponieważ wyraźniej oddzielają wpływy genetyczne i środowiskowe niż porównania bliźniąt jednojajowych i braterskich wychowywanych razem. Na przykład Duńskie Badania Adopcyjne zdecydowanie przesunęły debatę na temat etiologii schizofrenii w stronę elementu genetycznego, ponieważ adoptowane dzieci, których biologiczny rodzic był chory na schizofrenię, dorastały z większym ryzykiem zachorowania na schizofrenię niż inne adoptowane dzieci, których rodzice biologiczni nie byli schizofrenikami. David Rosenthal był jednym z głównych badaczy w badaniach duńskich, a ja pracowałem w jego laboratorium w Narodowym Instytucie Zdrowia Psychicznego (NIMH) w mojej pierwszej pracy po ukończeniu studiów. Powiedział mi kiedyś, że chociaż te badania nie wyjaśniły wiele na temat schizofrenii poza jakimś elementem genetycznym, piękno projektu badania adopcyjnego polega na jego prostocie. Zasadniczo liczyły się tylko dwie proste liczby. Każdy może zauważyć wyższy wskaźnik schizofrenii w jednej grupie w porównaniu z drugą, więc w tym przypadku trudno było odmówić jakiejś roli genetyce (chociaż niektórzy krytycy antygenetyczni z pewnością próbowali). Istnieje stosunkowo niewielka liczba dobrze wykonanych badań nad przyjęciem inteligencji. Badania te są dość trudne i złożone, ponieważ tak wiele zmiennych jest trudnych do kontrolowania (np. wiek przy adopcji, wiek przy testowaniu inteligencji, indeksowanie podobieństw środowisk w sposób ilościowy, wskaźnik rezygnacji uczestników z badania, brak losowego przydziału do środowisk). Niemniej jednak wyniki konsekwentnie wskazują na wyższe korelacje wyników testów inteligencji między adoptowanymi dziećmi a ich biologicznymi rodzicami w porównaniu z korelacjami z rodzicami adopcyjnymi. W rzeczywistości korelacje z rodzicami adopcyjnymi są bardzo niskie, a nawet bliskie zeru , zwłaszcza gdy dzieci dorastają. Co ciekawe, jedno z niedawnych badań bliźniąt adopcyjnych wykazało wyższy IQ dzieci adoptowanych w porównaniu z ich nieadoptowanym rodzeństwem, co sugeruje, że wzbogacone możliwości edukacyjne w domu adopcyjnym prowadzą do wzrostu IQ o około 3–4 punkty we wczesnej dorosłości. Badanie jest godne uwagi ze względu na dużą próbę par rodzeństwa i replikację w dużej próbie przyrodniego rodzeństwa. Próbki te zostały zidentyfikowane w Szwecji, kraju, który systematycznie rejestruje takie informacje. To badanie sugeruje niewielki wpływ na środowisko domu adopcyjnego, a odkrycie to w żaden sposób nie zaprzecza ani nie kwestionuje danych dotyczących dziedziczności. Badania odziedziczalności zawsze pokazują, że pewne efekty środowiskowe muszą mieć miejsce. Niemniej jednak należy zachować pewną ostrożność, ponieważ miara IQ składała się tylko z czterech podtestów używanych przez szwedzkie wojsko. Jak zauważono w rozdziale 1, wszystkie wyniki IQ są szacunkami konstruktu leżącego

u podstaw, a niewielkie różnice między grupami trudno przypisać jakiejkolwiek przyczynie. Jeszcze potężniejsza konstrukcja łączy adopcję i bliźnięta. Pomyśl o badaniu bliźniaków jednojajowych adoptowanych z dala od swoich biologicznych rodziców we wczesnym okresie życia, z których każdy wychowywał się oddzielnie w innej rodzinie i był narażony na różne codzienne środowiska, przy czym jeden bliźniak często nawet nie wiedział o istnieniu drugiego. Czy bliźnięta jednojajowe wychowywane osobno nadal są do siebie bardzo podobne pod względem wyników testów na inteligencję? To prowadzi nas z powrotem do 0,771. W Wielkiej Brytanii w połowie XX wieku Sir Cyril Burt przeprowadził pierwsze poważne badania inteligencji bliźniaków jednojajowych adoptowanych od biologicznych rodziców i wychowywanych w oddzielnych rodzinach adopcyjnych. Przez wiele lat Burt przeprowadzał testy inteligencji par bliźniąt jednojajowych, które były wychowywane oddzielnie, co jest niezwykle rzadką grupą, dość trudną do znalezienia i włączenia do badań naukowych. Po raz pierwszy wspomniał o korelacji 0,77 w 15 parach bliźniaków jednojajowych wychowywanych osobno (Burt, 1943), co sugeruje silny genetyczny składnik inteligencji. Następnie dodał sześć par bliźniaczych i zgłosił korelację 0,771 (Burt, 1955). Jego trzeci raport zawierał 53 pary z korelacją u bliźniaków jednojajowych hodowanych osobno na poziomie 0,771. Trzy raporty miały różne rozmiary próbek, od 15 do 53, ale każda nowa, większa próba wykazywała tę samą korelację 0,771 (0,77 w pierwszym raporcie). Wyniki Burta były kluczowym elementem argumentacji Jensena z 1969 roku. Krytycy genetycznego poglądu Jensena ponownie przejrzeli publikacje Burta w poszukiwaniu możliwych wad i .771 przykuł ich uwagę. Argumentowali, że ta sama wartość korelacji do trzech miejsc po przecinku w oparciu o różne wielkości próbek była statystycznie nieprawdopodobna. Doszli do wniosku, że Burt z pewnością popełnił oszustwo naukowe, a ten przykład jest nadal cytowany dzisiaj, aby podważyć ideę, że geny są ważne dla inteligencji. W następstwie zarzutów oszustwa Jensen, który znał Burta (zmarłego w 1971 r.), zbadał oryginalne pliki danych Burta i znalazł szereg poważnych obaw, które szczegółowo opisał (Jensen, 1974). Jensen był skłonny wykluczyć dane Burta ze swojego argumentu, ale nadal utrzymywał, że inne dane potwierdzają rolę wpływu genetycznego na inteligencję. Większość niezależnych badań danych Burta podaje w wątpliwość twierdzenie o celowym oszustwie (Mackintosh, 1995). Być może nigdy nie dowiemy się tego na pewno, ale najważniejsze jest to. Późniejsze badania bliźniąt przeprowadzone przez różnych badaczy na całym świecie na dużych próbach dały średnią wartość korelacji wyników inteligencji między bliźniakami jednojajowymi wychowywanymi w odstępach 0,75 (Plomin i Petrill, 1997). Wartość Burta wynosiła 0,77. Dla porównania, na podstawie 19 badań na próbach obejmujących od 26 do 1300 par bliźniąt jednojajowych, średnia wartość dla bliźniąt jednojajowych wychowywanych razem wynosi około 0,86 . Wartości te porównuje się z danymi pochodzącymi od bliźniąt braterskich , które pokazują średnie korelacje dla inteligencji na poziomie około 0,60 w oparciu o rozmiary par 26–864. Ogólna historia z badań nad bliźniakami i adopcjami była oczywista już od jakiegoś czasu . Teraz wiemy, że wiek w momencie przeprowadzania testów na inteligencję ma duże znaczenie dla szacunków odziedziczalności. W ten sposób „oszustwo” .771 kończy się uznaniem przytłaczających danych pochodzących od niezależnych badaczy, które są w pełni zgodne z analizami Burta, choć mogły być wadliwe. Każde pojedyncze badanie lub każdy badacz może być błędny, ale podstawowy wniosek, że geny odgrywają ważną rolę w inteligencji, jest konsekwentnie wspierany przez dane z licznych badań bliźniąt, adoptowanych i adoptowanych. To doskonały przykład patrzenia na wagę dowodów (przypomnij sobie moje trzy prawa z Przedmowy: żadna historia nie jest prosta; żadne badanie nie jest ostateczne; uporządkowanie sprzecznych i niespójnych ustaleń oraz ustalenie wagi dowodów zajmuje wiele lat). Wiele kwestii dotyczących roli genetyki w inteligencji pozostaje nierozwiązanych. Na przykład dane przekrojowe i historyczne pokazują, że średnie wyniki IQ konsekwentnie wzrastały o około trzy punkty co dekadę na całym świecie. Jest to znane jako efekt Flynna . Niektórzy krytycy roli genetycznej w inteligencji argumentują, że takiego wzrostu nie można przypisać powolnemu tempu ewolucji genetycznej; są poprawne. Wzrost ten może jednak nie być efektem g, a przyczyny są nieznane, ale samo jego istnienie nie obala istotnej roli wpływu genów na

inteligencję. Waga dowodów podsumowana w tym rozdziale nie pozostawia uzasadnionych wątpliwości. Tylko skrajni ideolodzy wciąż zaprzeczają. Dane z nowszych badań bliźniąt, opisanych w dalszej części tego rozdziału, rozszerzają podstawowe odkrycia genetyczne na nowy poziom zainteresowania neuronauki, dodając oceny DNA. Ale nie ignorujmy tego, że badania genetyczne podkreślają również rolę czynników niegenetycznych z pewnymi zaskakującymi obserwacjami empirycznymi.

Ilościowe wyniki genetyczne również potwierdzają rolę czynników środowiskowych

Podczas gdy atmosfera otaczająca badania wywiadowcze była nadal toksyczna, a dane Burta były atakowane, grupa badaczy z University of Minnesota, kierowany przez profesora Thomasa Boucharda, rozpoczął nowy projekt mający na celu zidentyfikowanie dużej próbki bliźniąt jednojajowych hodowanych oddzielnie. Ostatecznie 21 lat poszukiwań (1979-2000) zaowocowało 139 parami bliźniąt z całego świata, które wzięły udział w projekcie. Niektóre bliźniaczki nie miały ze sobą kontaktu, dopóki nie spotkały się ponownie w Minnesocie, gdzie wszystkie bliźniaczki ukończyły skomplikowaną baterię testów przez około 50 godzin w ciągu tygodnia. Obejmowało to testy inteligencji, osobowości, postaw, wartości i wielu cech fizycznych. Komponenty genetyczne zostały znalezione dla kilku cech osobowości, takich jak ekstrawersja, i, co zaskakujące, nawet dla niektórych postaw i wartości. Jednak te bliźnięta jednojajowe wychowywane osobno były najbardziej podobne pod względem wyników inteligencji z korelacją 0,70 . Kiedy korelacje są obliczane dla bliźniąt jednojajowych wychowywanych osobno, korelacja jest również jednym ze sposobów oszacowania dziedziczności, więc korelacja 0,70 wskazuje, że 70% wariancji inteligencji wynika z czynników genetycznych, a 30% nie. Chociaż ten wynik szeroko zakrojonego, starannego badania nie zakończył całego sceptycyzmu co do roli genetyki, zaczął łagodzić wielu krytyków, którzy byli podejrzliwi wobec wyników Burta i bardziej skłaniali się ku nieznanym jeszcze czynnikom środowiskowym. Podobnie jak wpływ duńskich badań adopcyjnych schizofrenii na psychiatrię, badanie z Minnesoty zaczęło zmieniać bieg wydarzeń w kierunku odnowionego obiektywnego zainteresowania wkładem genetycznym w inteligencję. Wszystkie badania inteligencji bliźniąt i adopcji, które wykazują ważną rolę genów, również konsekwentnie pokazują, że geny nie odpowiadają za 100% wariancji. Tak więc ważną konsekwencją badań genetycznych jest wykazanie, że czynniki niegenetyczne muszą być w jakiś sposób zaangażowane. Przed obecnym zainteresowaniem epigenetyką i interakcji gen/środowisko, podjęto próby podziału wkładów genetycznych i niegenetycznych czynników środowiskowych. Najczęstszym widokiem było około 50–50. Istnieje jednak znaczna zmienność między badaniami dotyczącymi tej proporcji i istnieje interesujący czynnik, który odpowiada za znaczną część tej zmienności. Czynnikiem jest wiek, w którym bada się bliźnięta . Opierając się na danych przekrojowych, u młodych bliźniaków w wieku 4–6 lat odziedziczalność inteligencji szacuje się na około 40%, a odziedziczalność wzrasta do wysokiego poziomu około 85%, gdy bliźnięta są w starszym wieku. Innymi słowy, wpływy genetyczne na wariancję inteligencji faktycznie rosną wraz z wiekiem, a wpływy środowiskowe maleją. Należy zauważyć, że przekrój poprzeczny oznacza, że różne pary bliźniąt uczestniczyły w różnych badaniach w różnym czasie. Załóżmy, że obserwowaliśmy tych samych bliźniaków i okresowo przeprowadzaliśmy ich ponowne testy, gdy dorastali. Czy zauważylibyśmy ten sam trend w takich danych podłużnych? Odpowiedź brzmi tak. W dużym holenderskim badaniu bliźniaków tym samym bliźniakom jednojajowym wielokrotnie podawano baterie testów psychicznych w celu oceny ogólnej inteligencji. Szacunkowa odziedziczalność inteligencji ogólnej wynosiła 26% w wieku 5 lat, 39% w wieku 7 lat, 54% w wieku 10 lat, 64% w wieku 12 lat, a począwszy od wieku 18 lat oszacowanie wzrosło do ponad 80%. Wzrosty mogą wynikać z kilku czynników, w tym większej liczby genów „włączających się" wraz z wiekiem lub interakcjami gen-środowisko. Szczegółowe omówienie szacowania odziedziczalności i modelowania genetycznego wykracza poza intencje tej książki, ale szczegółową prezentację można znaleźć w Hunt . Tutaj koncentrujemy się na przeglądzie badań genetycznych, które dostarczają uzasadnienia dla podejść

neuronaukowych. Niemniej jednak chcę przedstawić dane, które ilustrują ważne ustalenia dotyczące czynników niegenetycznych, które pochodzą z ilościowych badań genetycznych. Do tej pory omawiałem czynniki środowiskowe jako jedną kategorię. Jeden wspólny ilościowy model genetyczny dzieli środowisko na dwie kategorie: czynniki wspólne i niewspólne. Tak brzmi wspólne środowisko. Bliźnięta i rodzeństwo dorastają w tej samej rodzinie, mieszkają w tej samej okolicy i chodzą do tych samych szkół. Mają wiele wspólnych ogólnych doświadczeń, które mogą wpływać na inteligencję. Istnieje również wiele unikalnych doświadczeń dla każdej osoby, takich jak różni przyjaciele, różne klasy i nauczyciele. Te unikalne wpływy to niewspólne środowisko. W tych modelach wpływy genetyczne, wspólne i niewspólne czynniki środowiskowe łącznie odpowiadają za 100% wariancji jakiejkolwiek cechy, takiej jak różnice w inteligencji między ludźmi. Ilość wariancji przypisywanych każdemu składnikowi można rozróżnić i oszacować statystycznie, porównując podobieństwa wyników inteligencji dla bliźniąt jednojajowych, bliźniąt dwujajowych i rodzeństwa, z próbkami z każdej grupy hodowanymi razem i osobno. Różnice w korelacjach wyników testów inteligencji w tych grupach są wykorzystywane do oszacowania, ile wariancji ma udział każdy z trzech składników. Chociaż ten podstawowy trójskładnikowy model nie uwzględnia interakcji gen/środowisko, dostarczył ważnych obserwacji. Rozważmy dodatkowe dane z holenderskiego badania bliźniąt opisanego na końcu ostatniej sekcji. Rysunek pokazuje wpływ genetyki oraz wspólnego i niewspólnego środowiska na wyniki inteligencji osób w różnym wieku. Czarna część słupka pokazuje wpływ genetyczny, który odnotowaliśmy na końcu ostatniej sekcji. Biała część paska pokazuje współdzielone środowisko, a szara część pokazuje wpływ niewspólnego środowiska. Wpływy wspólnego środowiska, białe słupki, osiągają szczyt w wieku 5 lat, a następnie spadają praktycznie do zera w wieku 16 lat. Niewspólne środowisko, szare słupki, ma generalnie większy wpływ we wczesnych latach, ale niektóre niewspólne wpływy trwają przez co najmniej 50 lat. Zwróć uwagę, że źródła niewspólnych wpływów prawdopodobnie zmieniają się z czasem. Podsumowując ten kluczowy fragment historii genetycznej, dziedziczność ogólnej inteligencji wzrasta wraz z wiekiem do około 80% pod koniec wieku nastoletniego, a wpływ wspólnego środowiska na inteligencję spada nieco wcześniej prawie do zera. Odkrycia te są niezwykłe i należą do najpotężniejszych i najważniejszych w całej psychologii. Trudno je wyjaśnić, jeśli jest się przekonanym, że geny nie mają znaczenia dla inteligencji. Zaprzeczają również poglądowi, że wzbogacanie rodzinnych doświadczeń z dzieciństwa, jakkolwiek przyjemne mogą być z wielu dobrych powodów, ma trwały wpływ na rozwój inteligencji. Jednak dane te pokazują również, że zarówno wspólne, jak i niewspólne środowisko ma wpływ na różnych etapach rozwoju i w różnych ilościach, zwłaszcza przed 18 rokiem życia. Po prostu nie są one tak silne, jak kiedyś sądzono, ale wyraźnie pokazują, że same geny to nie wszystko. Wszyscy genetycy wiedzą, że geny zawsze wyrażają swoją funkcję w kontekście środowiskowym, który może wpływać na ekspresję na wiele sposobów. Konkretne źródła tych niegenetycznych skutków dla inteligencji nie zostały jeszcze określone, podobnie jak nie zidentyfikowano jeszcze konkretnych genów czynników ogólnych, takie jak wykształcenie, mają pewien wpływ . Jak zauważono, część złożoności polega na tym, że czynniki środowiskowe, takie jak status społeczno-ekonomiczny (SES), są często mylone z genetycznymi czynnikami inteligencji, ponieważ inteligencja odgrywa rolę w dochodach i innych czynnikach determinujących SES. Zostało to omówione szerzej w Ramce tekstowej 2.1. Niemniej jednak na początku XXI wieku dominacja genetycznego poglądu na inteligencję została odzwierciedlona w trzech „prawach" genetyki ilościowej : „Pierwsze prawo: Wszystkie ludzkie cechy behawioralne są dziedziczne. Drugie prawo: wpływ wychowania w tej samej rodzinie jest mniejszy niż wpływ genów. Trzecie prawo: Znaczna część zmienności złożonych ludzkich cech behawioralnych nie wynika z wpływu genów lub rodzin". Dr Turkheimer omawia implikacje tych praw w kontekście nowych wyzwań dla wyjaśnienia, w jaki sposób mogą działać wpływy genetyczne i środowiskowe. Niedawno Plomin i Deary zaproponowali własną wersję trzech praw: wszystkie cechy wykazują znaczący wpływ genetyczny; żadne cechy nie są w 100% dziedziczne; dziedziczność jest spowodowana wieloma genami o niewielkim

wpływie. Ten rozdział nie jest miejscem na szczegółowe omówienie tych „praw". Cytuję je tutaj, aby podkreślić ogromną zmianę w myśleniu o roli, jaką geny odgrywają w złożonych cechach, z których praktycznie wszystkie mają wysokie szacunki odziedziczalności zgodnie z kompleksową metaanalizą, która obejmowała prawie każde badanie bliźniąt i adopcji, jakie kiedykolwiek przeprowadzono . Wysoka odziedziczalność jest głównym powodem tak szybkiego rozwoju badań neurologicznych nad inteligencją. Czy czynniki wpływające na inteligencję są spójne w całym zakresie? Oto interesujący przykład postępu w testowaniu hipotez dotyczących nie tylko tego, czy geny są zaangażowane w inteligencję, ale także tego, w jaki sposób geny są zaangażowane. Ważnym pytaniem jest, czy podłoże genetyczne wysokiej inteligencji i jakikolwiek wpływ czynników środowiskowych na istotne geny są takie same dla średnich i niższych części rozkładu normalnego wyników testów inteligencji. Wysoka inteligencja może wynikać z innych czynników genetycznych i środowiskowych niż te, które wpływają na średnią i niższą inteligencję. Ten ostatni pogląd nazywany jest hipotezą nieciągłości. Jedna hipoteza nieciągłości jest kluczowa dla poglądu, że wiedza specjalistyczna związana z wysoką inteligencją jest bardziej odzwierciedleniem efektów praktyki i motywacji wynikających z doświadczeń, a nie z odziedziczonych zdolności. Inna hipoteza nieciągłości głosi, że inne geny są zaangażowane w wysoką inteligencję niż geny zaangażowane w średnią inteligencję. Natomiast hipoteza ciągłości testuje pogląd, że w całym rozkładzie inteligencji działają te same czynniki genetyczne i środowiskowe. Skutki każdego czynnika są addytywne, więc wysoka inteligencja odzwierciedla posiadanie większej liczby odpowiednich genów i doświadczeń. Zamiast mieć określone geny inteligencji do porównania między grupą o wysokim IQ a grupą przeciętną, badania bliźniąt mogą przetestować te konkurujące hipotezy, porównując grupy pod kątem proporcji wariancji genetycznej, wspólnej i niedzielonej. Mówiąc najprościej, hipoteza nieciągłości przewiduje, że trzy składowe wariancji będą się różnić między grupami o wysokiej i średniej inteligencji. Solidny test oparto na próbie 9 000 par bliźniąt i 360 000 rodzeństwa spośród 3 milionów 18-letnich mężczyzn powołanych do służby wojskowej w Szwecji. Wszyscy ukończyli zestaw testów poznawczych, z których wyodrębniono współczynnik g, a 5% najlepszych stanowiło grupę o wysokiej inteligencji (IQ szacowane na ponad 125). Zgłoszono kilka analiz, które konsekwentnie wykazały silne poparcie dla hipotezy ciągłości i praktycznie żadnego poparcia dla hipotezy środowiskowej lub genetycznej nieciągłości. Autorzy podsumowali: „Mówiąc bardziej prowokacyjnie, wysoka inteligencja, jak ją zdefiniowaliśmy, wydaje się być niczym więcej niż ilościową skrajnością tych samych czynników genetycznych odpowiedzialnych za normalną zmienność" . Ostrzegali również, że nie mają wystarczającej mocy statystycznej, aby określić, czy grupy mogą się różnić, jeśli grupa o wysokiej inteligencji zostanie zdefiniowana bardziej ekstremalnie, powiedzmy na poziomie górnego 0,025% sugerowanego przez Galtona (1869) do zdefiniowania geniuszu, zamiast górnych 5%. W innym badaniu bliźniaczym zbadano ważną kwestię, czy geny odpowiadają głównie za czynnik g, czy za określone domeny poznawcze, które obejmują g . Badacze ci wykorzystali dużą próbkę weteranów w średnim wieku (średnia wieku 55 lat) z czasów Wietnamu w podłużnym badaniu starzenia i znaleźli 346 par bliźniaków jednojajowych i 265 par bliźniąt dwujajowych. Wszyscy ukończyli zestaw 10 testów poznawczych reprezentujących cztery podstawowe i dobrze ugruntowane domeny poznawcze (zdolności werbalne, pamięć robocza, rozumowanie wzrokowo-przestrzenne, szybkość przetwarzania). Kilka alternatywnych modeli analizy czynnikowej relacji między testami i domenami, które nie umieściły g na szczycie hierarchii , zostało porównanych na podstawie szacunków wariancji wyjaśnionych przez geny, wspólne środowisko i unikalne środowisko. Model, który najlepiej pasował do danych, wskazywał, że g w modelu hierarchicznym było bardziej dziedziczne (86%) i odpowiadało za więcej efektów genetycznych w określonych domenach niż jakikolwiek inny model. Chociaż naukowcy uznają pewne ograniczenia w projekcie badania, poprzez bezpośrednie testowanie alternatywnych modeli, wyniki rozszerzają i silnie wspierają wcześniejsze badania nad g jako kluczowym wspólnym czynnikiem dziedzicznym leżącym u podstaw różnych zdolności umysłowych. Dodatkowy postęp ilustrują nowe, rozbudowane badania bliźniąt, które nie tylko obejmują bardzo

duże rozmiary próbek, ale także łączą ocenę DNA i neuroobrazowanie. Badania te łączą genetykę ilościową i molekularną i dokonamy ich przeglądu w rozdziale 4, po tym jak następny rozdział wprowadzi neuroobrazowanie. Wcześniej jednak kontynuujemy tutaj niektóre wczesne badania genetyki molekularnej i polowanie na określone geny.

Ramka 2.1: Klasa społeczna i inteligencja

Szeroko cytowane badanie sugeruje, że dziedziczność inteligencji jest silniejsza w rodzinach o wysokim statusie społeczno-ekonomicznym (SES) i słabsza w rodzinach o niskim SES (Turkheimer i in., 2003), ale nie wszystkie badania są zgodne (Asbury i in., 2005; van der Sluis i in., 2008). Ogólnie rzecz biorąc, SES jest mylony z inteligencją. Przeciętnie osoby o wysokiej inteligencji otrzymują lepiej płatną pracę i mają więcej pieniędzy na zapewnienie środków na dzieci. Osiągają wyższy SES bezpośrednio lub pośrednio, częściowo dzięki inteligencji oraz innym czynnikom (w tym szczęściu). W zakresie, w jakim inteligencja jest przekazywana przez geny, efekty SES niezależne od wpływu genetycznego na inteligencję są trudne do oceny. Podkreśla to jedną trudność w ocenie interakcji gen-środowisko. Niedawna metaanaliza SES i badań dziedziczności inteligencji sugeruje bardziej złożoną interakcję między SES a inteligencją i istnieją pewne dowody na to, że SES, wykształcenie i inteligencja ogólna mają wspólne geny . W tym kontekście fascynujące studium klas społecznych w Polsce w czasach socjalizmu podjęło tę kwestię w niezwykły sposób. Jest to starsze badanie, ale dość ilustracyjne. Oto podsumowanie zacytowane bezpośrednio z opublikowanego raportu: „Miasto Warszawa zostało zrównane z ziemią pod koniec II wojny światowej i odbudowane pod socjalistycznym rządem, którego polityka polegała na przydzielaniu mieszkań, szkół i placówek służby zdrowia bez względu na klasę społeczną. Spośród 14 238 dzieci urodzonych w 1963 roku i mieszkających w Warszawie, 96 procent zostało poddanych Raven's Progressive Matrices Test oraz testowi z arytmetyki i słownictwa w okresie od marca do czerwca 1974 roku. Zebrano informacje o rodzinach dzieci oraz o charakterystyce szkół i dzielnic miasta. Zawód i wykształcenie rodziców zostały wykorzystane do utworzenia czynnika rodzinnego, a dane dzielnicowe zostały podzielone na dwa czynniki, jeden odnoszący się do marginalizacji społecznej, a drugi do odległości od centrum miasta. Analiza wykazała, że początkowe założenie równomiernego rozkładu atrybutów rodziny, szkoły i okręgu było zasadne. Sprawność umysłowa nie była związana ani z czynnikami szkolnymi, ani okręgowymi. Wiązało się to z zajęciem i wykształceniem rodziców w silnym i regularnym gradiencie. Stwierdza się, że egalitarna polityka społeczna realizowana przez pokolenie nie zdołała zniweczyć związku czynników społecznych i rodzinnych z rozwojem poznawczym, który jest charakterystyczny dla bardziej tradycyjnych społeczeństw przemysłowych". W kontekście tego rozdziału pomieszanie czynników genetycznych i SES prowadzi do możliwego alternatywnego wniosku: Jakikolwiek wpływ polityki społecznej na sprawność umysłową nie był w stanie przesłonić wpływu czynników genetycznych. To samo zamieszanie jest widoczne w nowych badaniach, które sugerują, że SES odpowiada za różnice mózgowe leżące u podstaw luk poznawczych/osiągnięć.

Genetyka molekularna i polowanie na geny inteligencji

Postęp technologiczny w pomiarach napędza postęp naukowy. Dopóki technologia DNA nie rozwinęła się do punktu, w którym podwójną helisę można było pociąć na precyzyjne fragmenty przy użyciu opłacalnych metod, a miliony kawałków (par zasad wśród najmniejszych jednostek) można było scharakteryzować statystycznie, polowanie na geny ludzkiej inteligencji nie mogło się rozwijać zadatek. Przez dziesięciolecia eksperymenty hodowlane na myszach dostarczały kuszących dowodów na to, że nauka poruszania się po labiryncie w celu znalezienia sera ma podłoże genetyczne. Niektóre myszy uczyły się szybciej niż inne, a kiedy „inteligentne" myszy zostały skrzyżowane z innymi inteligentnymi myszami, potomstwo szybciej nauczyło się labiryntu. W 1999 roku po raz pierwszy zastosowano inżynierię genetyczną do stworzenia inteligentnych myszy, które mogły szybciej uczyć się labiryntu Naukowcy nazwali szczep tych myszy „Doogie" na cześć postaci telewizyjnej, która była przedwcześnie

rozwiniętym nastolatkiem w szkole medycznej. To osiągnięcie (myszy, a nie program telewizyjny) było oparte na znacznych wcześniejszych badaniach na zwierzętach, które wykazały, że pewien receptor synaptyczny, NMDA (N-metylo-D-asparaginian), był zaangażowany w uczenie się i pamięć. Stwierdzono, że pojedynczy gen (NR2B) reguluje część funkcji tego receptora. Naukowcy włączyli ten gen do DNA zarodków zwykłych myszy. Powstały szczep myszy Doogie nauczył się serii zadań szybciej niż kontrole. Wszystkie neuroprzekaźniki i receptory działają w złożonej równowadze. W świecie synaps zbyt duża lub zbyt mała ilość dowolnego składnika może mieć szkodliwe lub śmiertelne konsekwencje, dlatego zastosowanie wyników badań na zwierzętach do ludzi wymaga dużej cierpliwości i ostrożności. Nie wiadomo jeszcze, czy manipulacja genetyczna receptora NMDA u ludzi może spowodować podobne ulepszenia uczenia się i pamięci, bez poważnych skutków ubocznych. Ten przykład ilustruje, że znalezienie genu związanego z uczeniem się, pamięcią lub inteligencją to tylko pierwszy krok, choć trudne nawet u zwierząt. Ustalenie, jak i dlaczego gen funkcjonuje w ramach kaskady neurobiologicznych kroków i interakcji, jest jeszcze trudniejsze. Manipulowanie efektami genetycznymi w celu uzyskania pożądanego rezultatu nie jest dla osób o słabym sercu, impulsywnych osobowości lub inwestorów krótkoterminowych. Niemniej jednak myszy Doogie są kuszącym przykładem potężnego potencjału zmiany zakładanego determinizmu, gdy coś ma silne podstawy genetyczne. Niezależnie od badań nad uczeniem się zwierząt i pamięcią, poszukiwania ludzkich genów inteligencji rozpoczęto od prostej strategii badawczej. Próbki DNA pobrano z grup określonych przez wyniki IQ. DNA każdego uczestnika zostało podzielone na małe fragmenty, na których można było zidentyfikować geny. Ramka 2.2 opisuje kluczowe terminy i metody stosowane w badaniach DNA. Porównano te fragmenty z grup o wysokim i niskim (lub średnim) IQ i odnotowano różnice jako kandydatów na geny związane z inteligencją. Jest to strategia igły w stogu siana, ponieważ liczba fragmentów i pojedynczych genów lub par zasad była liczona w wielu milionach, koszt na osobę był dość wysoki, a grupy IQ różniły się również wieloma trudnymi do kontrolowania cechami oprócz IQ. Niemniej jednak badacze byli optymistami co do odkrycia określonych genów inteligencji, zwłaszcza że opracowano nowe technologie oceny DNA. W rzeczywistości zidentyfikowano wiele genów kandydujących przy użyciu różnych technik kwantyfikacji o rosnącym wyrafinowaniu. Pomimo zniechęcających wyzwań związanych z tymi poszukiwaniami, wiele grup badawczych na całym świecie stosuje odmiany tej strategii, aby zidentyfikować określone geny inteligencji. W jednym z interesujących podejść w japońskim badaniu wykorzystano wiele technik oceny DNA w próbie 33 identycznych par bliźniąt, które są niezgodne pod względem wyników IQ (Yu i in., 2012). Oznacza to, że bliźniacy w parze mieli co najmniej 15-punktową różnicę w wynikach (jedno odchylenie standardowe). Wykorzystanie niezgodnych bliźniaków jednojajowych (wychowanych razem), nawet małej próbki, zminimalizowało nieistotne czynniki genetyczne i środowiskowe oraz zmaksymalizowało szanse na znalezienie istotnych różnic w ekspresji genów związanych z inteligencją, nawet jeśli różnice mogą być wynikiem wpływów epigenetycznych. Zastosowanie wielu metod analizy DNA pozwoliło na niezależne replikacje w obrębie tej samej próbki. W wyniku zidentyfikowano kilka możliwych różnic w ekspresji genów, które sugerują mechanizmy mózgowe, które mogą być związane z inteligencją. Odkrycia ilustrują złożoność ekspresji i regulacji genów, które są daleko poza naszą dyskusją tutaj, ale pokazują, że znalezienie genów to tylko pierwszy krok w kierunku dokładnego zrozumienia, co robią geny i jak wpływają lub regulują neurobiologię i funkcje mózgu na poziomie molekularnym . Nawet na wczesnym etapie poszukiwań genów inteligencji, pojawiające się dane były spójne na dwa ważne sposoby. Po pierwsze, żaden z kandydujących genów nie odpowiadał za dużą zmienność wyników testów inteligencji. Było to rozczarowaniem dla tych, którzy postawili hipotezę, że kilka genów odpowiada za znaczną, jeśli nie większość, wariancję, biorąc pod uwagę wysokie szacunki odziedziczalności inteligencji z badań bliźniaków. Inni badacze uznali, że odzwierciedla to złożoność procesów poznawczych związanych z inteligencją i było zgodne z przewidywaniami Plomina na temat wielu ogólnych genów, z których każdy odpowiada za niewielką część wariancji inteligencji. Pogląd ten

ma coraz większe poparcie empiryczne . Druga spójność, znacznie bardziej niepokojąca, polegała na tym, że żaden z genów kandydujących zidentyfikowanych w tej wczesnej fazie nie mógł być replikowany w niezależnych próbkach. Niezależna replikacja jest kamieniem węgielnym i absolutnym wymogiem postępu naukowego. Idealnie niezależny oznacza zarówno innego badacza, jak i inną próbę. W tej wczesnej fazie istniała znaczna konkurencja w znalezieniu „tych" genów, a czasopisma nie wymagały niezależnej replikacji do publikacji, nawet przez tych samych badaczy, ale w oddzielnej próbie. Nie ma powodu, aby wymieniać tutaj wszystkie wczesne geny kandydujące wraz z późniejszymi niepowodzeniami w ich replikacji. Ten rozczarowujący stan rzeczy nie zmienił się przez około dwie dekady, pomimo postępu w precyzji i opłacalności technologii DNA i statystycznej analizy informacji genomowych. Jednym z kluczowych problemów było to, że większość próbek była mała i brakowało im mocy statystycznej, aby odtworzyć jakikolwiek niewielki wpływ genu na inteligencję. Jeszcze w 2012 roku Chabris i współpracownicy podsumowali poszukiwania genów inteligencji w obszernym artykule badawczym zatytułowanym: „Najczęściej zgłaszane powiązania genetyczne z ogólną inteligencją to prawdopodobnie fałszywe pozytywy" (tj. są w błędzie). Ta grupa próbowała replikować 12 genów kandydujących na inteligencję z opublikowanych badań. Mieli dostęp do trzech niezależnych próbek obejmujących łącznie ponad 6000 osób, które ukończyły analizy DNA i testy inteligencji. Ich analiza była zdecydowanie negatywna. Żaden z 12 genów kandydujących nie był powiązany z inteligencją w solidny sposób statystyczny. To niepowodzenie w replikacji genów inteligencji w dużej próbie z wystarczającą mocą statystyczną do znalezienia niewielkich efektów, jeśli efekty istniały, zostało zrekompensowane pomyślną replikacją w tej samej próbce dla kontrolnych genów kandydujących związanych z chorobą Alzheimera i masą ciała. Autorzy nie wyrazili zniechęcenia z powodu niepowodzenia replikacji genów dla inteligencji i doszli do wniosku, że do znalezienia i replikacji wielu genów mogą być potrzebne jeszcze większe próbki, jeśli każdy z nich odpowiada za jeszcze mniejsze ilości wariancji inteligencji. Zachęcili łowców genów inteligencji do udziału w wieloośrodkowych konsorcjach, które mogłyby wygenerować próbki o wielkości tysięcy ludzi .

Ramka 2.2: Podstawowe koncepcje genetyczne (patrz także Glosariusz)

Technologie i metody analizy DNA stosowane w genetyce molekularnej są różnorodne, złożone i ewoluują w szybkim tempie. Podstawowym motorem postępu jest spadek kosztów oraz wzrost precyzji i zakresu analiz. Obecnie istnieje wiele badań inteligencji z wykorzystaniem analiz DNA. Oto kilka kluczowych terminów używanych w reprezentatywnych badaniach podsumowanych w tym rozdziale. Gen jest jednostką dziedziczenia. Szacuje się, że w ludzkim genomie istnieje około 19 000–22 000 genów, z których większość wciąż czeka na zidentyfikowanie, rozmieszczonych na dwóch zestawach 23 chromosomów (po jednym od każdego rodzica). Genomika to termin używany do opisania mapowania genomów przy użyciu wielu różnych metod. Każda osoba ma unikalny genom, chociaż większość sekwencji genów jest taka sama dla wszystkich. Chromosomy zbudowane są z dwóch nici cząsteczek DNA, tzw. podwójnej helisy. Podczas rozmnażania potomstwo losowo dziedziczy te pasma od każdego z rodziców. Wszystkie nici są zbudowane z połączenia tylko czterech podstawowych cząsteczek, (A)deniny, (G)uaniny, (C)ytozyny, (T)hyminy. Ta czwórka układa się w pary w poprzek dwóch nici DNA w podwójnej helisie, jak szczeble na drabinie. Każdy członek pary jest dziedziczony po jednym rodzicu. Na każdym szczeblu A i T oraz G i C tworzą pary. Szacuje się, że w ludzkim genomie znajduje się około 3 miliardów takich „par zasad" (zwanych także nukleotydami). Kolejność tych par zasad na nici DNA jest kodem genetycznym. Wszyscy ludzie mają prawie identyczne kody genetyczne, a wszystkie różnice między jednostkami wynikają ze stosunkowo niewielkiej części zmienności genetycznych. Geny tworzą aminokwasy, które tworzą tysiące różnych białek, a białka są budulcem życia, który określa, jak organizm rozwija się i funkcjonuje na poziomie komórkowym. Sekwencja od tworzenia aminokwasów do tworzenia białek nazywana jest ekspresją genów. RNA jest podobny do DNA, ale RNA zasadniczo tłumaczy kod DNA na aminokwasy i białka. Geny mogą być aktywne lub

nieaktywne. Włączają się i wyłączają podczas rozwoju i przez cały okres życia. Ekspresja genu jest częściowo regulowana przez metylację, jeden z kilku mechanizmów neurobiologicznych, na które mogą wpływać czynniki niegenetyczne, w tym diety, choroby i stresu . Metylacja jest procesem zaangażowanym w wiele aspektów prawidłowego i nieprawidłowego rozwoju komórek. Szczególnie interesujące jest to, że może zmieniać strukturę molekularną A i C w parach zasad. Zmiany te zmieniają ekspresję niektórych ludzkich genów , a co ważne, zmodyfikowane geny mogą potencjalnie zostać odziedziczone. Epigenetyka bada, w jaki sposób ekspresja genów jest modyfikowana przez czynniki niegenetyczne. Sekwencjonowanie DNA identyfikuje dokładną fizyczną kolejność wszystkich par zasad. Geny są ciągłymi segmentami par zasad, chociaż nie zawsze jest jasne, gdzie kończy się jeden gen, a zaczyna drugi. Geny mogą mieć różne formy w wyniku otrzymania połowy pary zasad od każdego z rodziców. Forma genu nazywana jest allelem. Na przykład hipotetyczny gen odpowiedzialny za zmarszczki na brodzie można wyrazić jako WW, a brak zmarszczek jako ww. Każdy rodzic wnosi W lub aw, więc allelem może być WW, Ww, wW lub ww. Odziedziczona para określi, czy potomstwo ma zmarszczki, czy nie. Pozycja genu na chromosomie to locus. Locus cechy ilościowej (QTL) odnosi się do regionu DNA związanego z cechą, taką jak inteligencja. W locus często występują powtarzające się kopie genu, a liczba kopii czasami może być związana z normalnymi lub nieprawidłowymi funkcjami białka. Analiza DNA generalnie rozbija nici na fragmenty przy użyciu dowolnej z kilku technik. Jeden przełom techniczny umożliwił identyfikację niewielkich zmian w sekwencji DNA w dowolnym punkcie nici, w którym para zasad jest zmieniona lub zmutowana. Błędy te nazywane są polimorfizmami pojedynczego nukleotydu (SNP). Na przykład, jeśli sekwencja w locus to zazwyczaj GTCGAATTGGAATTGG, czasami pierwsze T może być C u niektórych osobników. Ta odmiana ogólnej sekwencji to SNP. Większość SNP jest niefunkcjonalna, ale niektóre są związane z chorobami i prawdopodobnie z cechami takimi jak inteligencja. Szacuje się, że w ludzkim DNA jest około 30 milionów SNP. SNP można porównywać między dwiema grupami, powiedzmy zdefiniowanymi przez wysokie lub niskie wyniki IQ, w celu znalezienia segmentów DNA, być może pojedynczych genów, które różnicują grupy. Wczesne badania obejmowały tysiące SNP. Teraz można zsekwencjonować genom całej osoby i ocenić SNP w badaniach asocjacyjnych całego genomu (GWAS). Takie badania generują ogromne zbiory danych, a dziedzina informatyki genomicznej opracowała metody statystyczne do sortowania wszystkich możliwych kombinacji, których ostatecznym celem jest identyfikacja określonych genów dla chorób, schorzeń i niezliczonych dziedzicznych cech. Obecnie podejmowane są wysiłki bioinformatyczne mające na celu wykorzystanie przetwarzania w chmurze do gromadzenia, organizowania i analizowania zbiorów Big Data informacji genetycznych uzyskanych z analiz DNA. Proteomika to nauka o białkach i ich działaniu. Obecnie możliwe jest jednoczesne testowanie ekspresji genów dla tysięcy białek i ich odmian, często przy użyciu małej próbki DNA na mikromacierzach z różnymi czynnikami reaktywnymi. Podsumowując, stale rozwijające się techniki i metody genetyki molekularnej zapewniają szczegółowe oceny w głąb neurobiologii i neurochemii neuronów, synaps oraz rozwoju funkcji i struktury mózgu. Pomimo złożoności i przytłaczającej ilości danych DNA, moim zdaniem, wyzwania dla zrozumienia inteligencji na tym poziomie są skończone dzięki technologiom DNA. W rzeczywistości, biorąc pod uwagę problemy psychometryczne opisane w rozdziale 1, postęp w zrozumieniu inteligencji na poziomie behawioralnym może okazać się trudniejszy niż na poziomie molekularnym.

Siedem ostatnich godnych uwagi badań molekularnego postępu genetycznego

Korzyści płynące z podejścia konsorcjalnego są dobrze zilustrowane w badaniu, którego współautorem jest 59 badaczy łączących zbiory danych z całego świata . To badanie było właściwie połączonym wysiłkiem dwóch konsorcjów: SSGAC (Social Science Genetic Association Consortium) i CHIC (Childhood Intelligence Consortium). Badacze ci wykorzystali koncepcyjnie prosty i sprytny dwuetapowy proces, który rozpoczął się od próby 106 736 osób, a zakończył replikacją pośrednią w

niezależnej próbie 24 189 osób. W pierwszej próbie oceniono miliony SNP dla DNA każdej osoby, a 69 było powiązanych z poziomem wykształcenia (latami nauki). Poziom wykształcenia jest silnie skorelowany z inteligencją. W drugiej próbce te 69 SNP przetestowano pod kątem wszelkich powiązań z gscore pochodzącym z wyników testów poznawczych. Chociaż nie każda osoba przeszła te same testy, g-score z różnych baterii są silnie skorelowane (nawet powyżej 0,95), jeśli baterie testowe i próbka są wystarczająco zróżnicowane (Johnson i in., 2008b). Kilka zaawansowanych analiz statystycznych ujawniło cztery obiecujące geny będące przedmiotem zainteresowania, związane z bardzo małymi ilościami wariancji w wydajności poznawczej. Co ciekawe, wiadomo, że te geny (KNCMA1, NRXN1, POU2F3, SCRT; nie jestem odpowiedzialny za ich nazwy) wpływają na szlak neuroprzekaźnika glutaminianu związany z plastycznością mózgu oraz uczeniem się i pamięcią. Szlak obejmuje receptor NMDA, wiązanie glutaminianu i zmiany synaptyczne. Pomimo niewielkiej wariancji inteligencji związanej z tymi genami, to badanie pokazuje statystyczną rzeczywistość, że duże próbki są niezbędne do znalezienia małych efektów. Takie odkrycia dostarczają również wskazówek na temat mechanizmów molekularnych, które mogą być związane z inteligencją, co może być podstawą hipotez dotyczących najistotniejszej neurobiologii. Mniej więcej w tym samym czasie w drugim badaniu (Hill i in., 2014) wykorzystano analizy całego genomu u 3511 osób w celu zbadania niewielkiego wpływu 1461 pojedynczych genów na inteligencję poprzez znalezienie powiązań ze zdolnościami poznawczymi w zagregowanych sieciach funkcjonalnie powiązanych genów. Rozpoczęli od konkretnej hipotezy, która skupiała się na genach związanych z funkcjonowaniem postsynaptycznym. Po replikacji w niezależnych próbkach białka związane z receptorem NMDA były związane specyficznie z płynną inteligencją. Inne aspekty funkcjonowania postsynaptycznego nie były związane ze zmiennością jakichkolwiek innych zdolności poznawczych. NMDA był również pośrednio zaangażowany w badania Rietvelda i wsp., Ale te odkrycia postsynaptyczne wiązały zmienność genetyczną określonych białek z indywidualnymi różnicami w płynnej inteligencji. Kluczowym białkiem była kinaza guanylanowa (MAGUK), która ma zasadnicze znaczenie dla przekształcania potencjałów czynnościowych neuronów w sygnały biologiczne, które leżą u podstaw przetwarzania informacji w mózgu. To badanie dostarcza dodatkowych wskazówek na temat neurobiologii inteligencji. Podczas gdy Rietveld i inni w badaniu wykorzystali bardzo dużą ateoretyczną metodę strzelby, aby znaleźć igły w stogu siana, a Hill i inni skupili się na sieci funkcjonalnie powiązanych genów, inna grupa badaczy zastosowała inną strategię, która skupiła się na konkretnym genie i jego wpływie na inteligencję po urazowym uszkodzeniu mózgu (TBI) . Istnieje neurochemiczny czynnik neurotroficzny pochodzenia mózgowego (BDNF), który promuje i reguluje dobrze funkcjonujące synapsy. BDNF jest powiązany z funkcjonowaniem poznawczym u zdrowych ludzi, zwłaszcza z aspektami pamięci i zaburzeniami poznawczymi w chorobie Alzheimera i innych zaburzeniach mózgu. Val66Met, gen związany z BDNF, bierze również udział w mechanizmach naprawy neuronów, które stymulują neuroregenerację w korze przedczołowej po wyzdrowieniu z TBI. Czy BDNF jest powiązany z inteligencją? Po TBI płatów czołowych niektórzy pacjenci wykazują trwałe deficyty w zadaniach obciążonych g, podczas gdy u innych zachowana jest wydajność zadań obciążonych przeciążeniem. Podstawą genetyczną BDNF jest polimorfizm Val66Met (patrz ramka 2.2), który ma dwie główne odmiany, Val/Met i Val/Val. Pytanie do tego badania brzmiało, czy którykolwiek z tych wariantów był związany z zachowaniem inteligencji po TBI. Niestety, istnieje duża liczba przypadków TBI. Wielu jest leczonych w szpitalach Veterans Administration (VA). Uczestnicy w tym badaniu pochodzili z grupy 171 weteranów płci męskiej, którzy odnieśli penetrujące urazy głowy podczas wojny w Wietnamie. U 151 z tych osób miejsca uszkodzeń mózgu zlokalizowano za pomocą tomografii komputerowej i potwierdzono w płatach czołowych. Każdy uczestnik wypełnił 14 podskal WAIS III i każda osoba ukończyła także zestaw testów w Teście Kwalifikacyjnym Sił Zbrojnych (AFQT), kiedy wstąpili do wojska, przed TBI. Oba te testy umożliwiły obliczenie wyniku współczynnika g wraz z innymi podczynnikami. Na podstawie genotypowania zdefiniowano dwie grupy: Val/Met (n = 59) i Val/Val (n = 97), a wyniki czynników inteligencji porównano między tymi dwiema grupami za

pomocą zaawansowanych analiz psychometrycznych. Wyniki były dość uderzające. Wyniki uzyskane z AFQT nie różniły się między grupami. Innymi słowy, przed TBI genotyp weteranów (Val/Met lub Val/Val) nie miał wpływu na ogólne zdolności poznawcze. Jednak po TBI była znaczna różnica. Grupa Val/Val wykazała średnie wyniki czynników zmniejszonych dla g i innych głównych czynników, w tym rozumienia werbalnego, organizacji percepcyjnej, pamięci roboczej i szybkości przetwarzania. Średnie różnice w wynikach były stosunkowo duże i wynosiły około połowy odchylenia standardowego. Autorzy doszli do wniosku, że posiadanie genotypu Val/Val wiązało się z podatnością poznawczą na TBI, podczas gdy genotyp Val/Met może pomóc w zachowaniu funkcjonowania poznawczego po TBI. Te wyniki mogą mieć implikacje dla strategii rehabilitacji poznawczej, które mogą być bardziej skuteczne niż inne, chociaż takich badań jest niewiele obecnie. Wyniki wiążą również odmiany genu BDNF z inteligencją i pokazują pewien postęp w kierunku identyfikacji konkretnych wariantów genów związanych z inteligencją. Takie dane mogą pomóc w generowaniu hipotez dotyczących stopniowej kaskady zdarzeń neurochemicznych na poziomie molekularnym, które prowadzą od genetyki ekspresji BDNF do wyjaśnienia niewielkiej ilości wariancji między jednostkami w inteligencji. Jest prawdopodobne, że kaskada obejmuje wiele etapów i wiele złożonych interakcji z innymi czynnikami genetycznymi lub biologicznymi, z których niektóre mogą wystąpić w kontekście epigenetycznym. A BDNF jest tylko jednym z wielu prawdopodobnie zaangażowanych czynników. W czwartym badaniu wykazującym postęp przyjęto inne podejście (Davis i in., 2015). Badacze ci skupili się również na jednym czynniku molekularnym, białku o nazwie DUF1220, które jest związane z rozmiarem i ewolucją mózgu. DUF1220 ma dwa główne podtypy, CON1 i CON2. Wiele sekwencji genów ma wiele kopii w DNA danej osoby, a liczba kopii może być związana z chorobami i innymi cechami. W tym badaniu nie tylko liczba kopii CON2 była związana z wynikami IQ, ale związek był liniowy. Oznacza to, że im więcej kopii CON2, tym wyższy wynik IQ. Wielkość mózgu, oceniana za pomocą MRI, była również skorelowana z wynikiem IQ, zwłaszcza dla pola powierzchni kory skroniowej obustronnie, a pole powierzchni prawej czołowej było związane ze zwiększoną dawką CON1 i CON2. Odkrycia te pochodziły z próby 600 młodych ludzi z Ameryki Północnej i zostały powtórzone w mniejszej próbie 75 osób mieszkających w Nowej Zelandii. Chociaż obie próbki są dość małe w porównaniu z poprzednimi podsumowanymi badaniami, liniowy charakter odkrycia CON2 copy / IQ jest intrygujący, zwłaszcza że był najsilniejszy u mężczyzn w wieku 6–11 lat. Autorzy przyznają, że istnieje wiele powodów, aby być ostrożnym w odniesieniu do tego odkrycia, i jest zbyt wcześnie, aby przyjąć je za dobrą monetę. Niemniej jednak stanowi kolejny przykład tego, jak poszukiwanie genów inteligencji jest posuwane do przodu z hipotezami a priori dotyczącymi określonych czynników genetycznych. Piąte badanie pochodzi z CHIC. Zgłosili GWAS inteligencji u dzieci w wieku 6–18 lat z łączną kohortą odkrywczą wynoszącą łącznie 12 441 i kohortą replikacyjną wynoszącą łącznie 5548. Żaden pojedynczy SNP nie był powiązany z inteligencją, ale agregat wspólnych SNP stanowił 22–46% zmienności inteligencji w trzech największych kohortach. Gen FNBP1L był powiązany z inteligencją, odpowiadając za niewielkie ilości wariancji w trzech oddzielnych kohortach replikacyjnych (odpowiednio 1,2%, 3,5%, 0,5%). Pomimo dużej próbki autorzy doszli do wniosku, że do wykrycia poszczególnych SNP o znaczeniu dla całego genomu mogą być potrzebne jeszcze większe próbki. Szóste badanie pochodzi z innego wieloośrodkowego konsorcjum (CHARGE: Cohorts for Heart and Aging Research in Genomic Epidemiology) obejmującego 31 kohort (N = 53 949). Zgłosili metaanalizę opartą na GWAS dorosłych w średnim i starszym wieku, którzy ukończyli zestaw czterech testów poznawczych (Davies i in., 2015). Jest to największe jak dotąd takie badanie ogólnych zdolności poznawczych. We wszystkich próbkach 13 SNP było powiązanych z ogólną zdolnością poznawczą, co łącznie odpowiadało odpowiednio za 29% i 28% wariancji w dwóch największych próbkach. Z tymi SNP powiązano trzy regiony genomowe, ze szczególnym uwzględnieniem regionu HMGN1. Cztery geny wcześniej związane z chorobą Alzheimera były również związane z ogólnymi zdolnościami poznawczymi (TOMM40, APOE, ABCG1, MEF2C). Zgodnie z poligenetycznym modelem dziedziczenia, geny te indywidualnie odpowiadały za niewielkie proporcje wariancji. Badacze ci doszli

również do wniosku, że do zidentyfikowania większej liczby powiązań obejmujących cały genom potrzebne będą jeszcze większe próbki. Nikt jeszcze nie wie, ile genów może przyczyniać się do różnic w inteligencji, ale samo istnienie tej wieloośrodkowej współpracy jest ogromnym krokiem w kierunku odkrycia. W rzeczywistości, zaraz po tym, jak ta książka trafiła do produkcji, w ramach szczegółowego wspólnego badania zidentyfikowano dwie sieci genów (1148 genów w jednej sieci i 150 genów w drugiej), które były związane z ogólnym poznaniem . Wiele z tych genów było powiązanych z określonymi funkcjami synaptycznymi, którymi potencjalnie można było manipulować, aby wpływać na inteligencję. Nie mam miejsca, aby omówić więcej szczegółów tego przełomowego badania, ale polowanie na geny inteligencji zrobiło kolejny duży krok naprzód. Siódmy zachęcający przykład postępu pochodzi z Chin. Moim zdaniem jest to również przełomowe ćwiczenie. Przedstawia szerokie podejście do biologii systemów , które ma na celu wyjaśnienie złożonych regulacji i interakcji oraz generowanie hipotez dotyczących mechanizmów, które je napędzają. Podczas gdy Chabris i współpracownicy rozpoczęli od 12 genów kandydujących z poprzednich badań i nie udało im się odtworzyć żadnego z nich, badacze ci wybrali 158 genów, które były powiązane z wynikami IQ. Zmapowali lokalizacje tych genów na chromosomach i znaleźli pewne skupienia w siedmiu regionach chromosomu 7 i chromosomu X. Wiadomo, że wiele z tych genów bierze udział w różnych mechanizmach i szlakach neuronalnych. Wykorzystując rodzaj analizy sieciowej, skonstruowano „ścieżki związane z IQ". Szlaki te obejmowały głównie dopaminę i noradrenalinę, neuroprzekaźniki zaangażowane w wiele funkcji mózgu. Szczegóły tej analizy wykraczają daleko poza nasze intencje w tym rozdziale, ale ten raport pokazuje, w jaki sposób genetyka molekularna może generować sprawdzalne hipotezy dotyczące określonych mechanizmów neuronalnych związanych z inteligencją oraz w jaki sposób te mechanizmy mogą być modyfikowane przez leki lub inne środki. Praca w ten sposób podsyca mój optymizm, że genetyczna podstawa inteligencji nie jest odwrotem do determinizmu i niezmienności. Wręcz przeciwnie: podłoże genetyczne, gdy już zostanie zrozumiane, może prowadzić do niezwykłej zdolności leczenia lub zapobiegania zaburzeniom mózgu, które skutkują niskim IQ, oraz do Świętego Graala zwiększania inteligencji w całym zakresie, co omówimy później. Badania jak te siedem (plus badanie Johnsona i innych) jest powodem, dla którego w tym rozdziale nie skupiono się na starszych (i kilku aktualnych) krytycznych opiniach na temat tego, czy geny są ważne dla inteligencji. Chociaż pełna rola genów nie jest jeszcze znana, dowody na duży udział genów w inteligencji są przytłaczające. Nikt nigdy nie wierzył, że zrozumienie inteligencji na poziomie molekularnym będzie proste, ale podsumowane tutaj badania i ich złożone analizy pokazują, że wyzwanie nie jest niemożliwe. Na koniec badania genetyczne są logistycznie złożone i kosztowne, zwłaszcza gdy zaangażowane są duże próbki. Na przykład same maszyny do sekwencjonowania DNA kosztują około 1–2 milionów dolarów za sztukę. Podobno w 2012 roku jeden instytut badawczy w Chinach, Behavioral Genetics Institute, miał ich 128 wraz z superkomputerami. Znalezienie genów inteligencji jest priorytetem. W tym jednym instytucie pracuje ponad 4000 naukowców i techników, a na ścianie podobno wisi plakat: „Geny budują przyszłość". Rozważ wyścig w poszukiwaniu genów inteligencji i sposób ich działania. Pod koniec XX wieku Plomin (1999) stwierdził: „Najdalej idące implikacje dla nauki, a być może dla społeczeństwa, będą pochodziły z identyfikacji genów odpowiedzialnych za dziedziczność g…" Z jednej strony Chiny mają znaczne inwestycje w tym polowaniu, az drugiej strony większość członków obecnych w Kongresie USA najwyraźniej nie wierzy w ewolucję. Poważnie.Wszystkie badania opisane w tym rozdziale ilustrują, w jaki sposób ilościowe strategie badań genetycznych i wyrafinowane analizy DNA są wykorzystywane do ustalenia genetycznych podstaw inteligencji i poszukiwania określonych genów oraz sposobu ich działania. Obecnie nad tym projektem pracuje kilka światowych konsorcjów, które dodają trzeci element metodologiczny, ilościowe neuroobrazowanie do pomiaru struktury i funkcji mózgu. To połączenie trzech elementów badawczych ma na celu identyfikację genów, które wpływają na cechy mózgu związane z inteligencją. Moim zdaniem badania te stanowią nowy etap w poszukiwaniu genów inteligencji i tego, co one robią. Są to ekscytujące odkrycia i omówimy je w

rozdziale 4. Najpierw jednak, aby w pełni zrozumieć wpływ najnowszych badań DNA z wykorzystaniem bliźniaczych projektów badawczych ukierunkowanych na mózg, w następnym rozdziale przedstawimy trzeci element, neuroobrazowanie.

Podsumowanie

Sir Cyril Burt i profesor Arthur Jensen byli wczesnymi orędownikami znaczenia genetycznej roli w inteligencji, ale ich poglądy zostały zaatakowane i powszechnie odrzucone. Nowoczesne ilościowe badania genetyczne w przeważającej mierze potwierdzają główną rolę genów w wyjaśnianiu wariancji wyników testów inteligencji między jednostkami. Te same badania wskazują, że czynniki środowiskowe odgrywają rolę we wczesnym dzieciństwie, zwłaszcza czynniki niewspólne, ale rola ta maleje prawie całkowicie we wczesnych latach nastoletnich. Ciężar dowodów pochodzących ze współczesnych badań nad intensywną edukacją kompensacyjną, obecnie przemianowaną na wczesną edukację, wciąż nie znajduje trwałego wpływu na wyniki IQ. Postęp w poszukiwaniu konkretnych genów odpowiedzialnych za inteligencję był powolny i rozczarowujący, co prowadziło do wniosku, że zaangażowanych musi być wiele genów, z których każdy ma niewielki wpływ. Zaawansowane technologie DNA stosowane w badaniach genetyki molekularnej zaczynają identyfikować geny związane z inteligencją i ich działanie na poziomie neurobiologicznym.

Przejrzyj pytania

1. Dlaczego genetyczne wyjaśnienia zachowania są tak kontrowersyjne?

2. Jakie były bezpośrednie i długoterminowe skutki artykułu Jensena z 1969 roku?

3. Jaki jest najbardziej przekonujący dowód z ilościowych badań genetycznych, że geny są zaangażowane w różnice w inteligencji między ludźmi?

4. W jaki sposób wpływ (lub względny wkład) czynników genetycznych i środowiskowych na zmienność inteligencji zmienia się w trakcie rozwoju?

5. Dlaczego inteligencja może być korzystna dla wielu genów o niewielkim wpływie?

6. Jaki jest przykład niedawnego odkrycia dotyczącego inteligencji z konkretnego badania genetyki molekularnej?

Zaglądanie do żywego mózgu: neuroobrazowanie zmienia zasady gry w badaniach nad inteligencją

Wstęp

W kolejnych dwóch częściach dokonano przeglądu badań nad inteligencją za pomocą obrazowania mózgu. Ta część została napisana, aby przedstawić nieco osobistą perspektywę historyczną wczesnych badań od 1988 do 2006 roku, okres, który opisuję jako pierwszą fazę zastosowania nowoczesnych technologii obrazowania mózgu w badaniach nad inteligencją. Faza ta rozpoczęła się pierwszym badaniem inteligencji pozytonowej tomografii emisyjnej (PET), opublikowanym w 1988 r., a kończy się przeglądem odpowiedniej literatury opublikowanej w 2007 r. 37 badań przeprowadzonych w tym okresie przyniosło kilka nieoczekiwanych wyników i wyznaczyło kierunek dla obecnego obrazowania / badania wywiadowcze. Ta część została napisana w porządku chronologicznym publikacji, aby pokazać, jak rozwijały się wczesne badania, w tym moje badania. Ta perspektywa pomaga uczniom zrozumieć, w jaki sposób badacze przechodzą od jednego zestawu ustaleń do nowych pytań. Znajdują się tam również podstawowe opisy działania głównych technologii obrazowania. W następnej części zobaczymy późniejszą i bardziej wyrafinowaną fazę drugą ogólnoświatowych badań obrazowania mózgu nad inteligencją. Technologia obrazowania mózgu znacząco pomogła w rozwoju badań nad inteligencją, od metod głównie psychometrycznych do metod neurobiologicznych, które mogą określać ilościowo cechy mózgu. Obrazowanie mózgu jest kluczowym osiągnięciem w tej dziedzinie i dlatego poświęcamy mu dwie części. Wczesne ilościowe badania genetyczne opisane wcześniej dostarczyły uzasadnienia dla biologicznego składnika inteligencji i położyły podwaliny pod badania neurobiologiczne w momencie, gdy dostępne stały się nowe, potężne metody neuroobrazowania. Przed wprowadzeniem neuroobrazowania we wczesnych latach 80. badacze mózgu ograniczali się do pośrednich pomiarów produktów ubocznych chemii mózgu znajdujących się we krwi, moczu i płynie mózgowo-rdzeniowym. Badania EEG i potencjałów wywołanych (EP) umożliwiły pomiary aktywności mózgu milisekunda po milisekundzie, ale problemy techniczne, takie jak zniekształcenie sygnałów elektrycznych przez skórę głowy i słaba rozdzielczość przestrzenna, ograniczyły zakres i interpretację danych. Obecnie techniki oparte na EEG są bardziej wyrafinowane i obejmują sposoby mapowania aktywności korowej (patrz rozdział 4). Wnioski z badań pacjentów z uszkodzeniem mózgu oraz z badań autopsyjnych podobnie odniosły jedynie ograniczony sukces w identyfikowaniu relacji mózg/inteligencja. Na przykład, niektóre badania pacjentów z uszkodzeniem mózgu wykazały, że płaty czołowe były siedliskiem inteligencji (Duncan i in., 1995), wniosek, który obecnie wiemy, jest zbytnim uproszczeniem, opartym na nowszych badaniach uszkodzeń . Te wczesne pośrednie metody badawcze i ich wstępne wyniki podsumowano w innych podręcznikach wywiadu.

Pierwsze badania PET

We wczesnych latach 80-tych PET zmienił reguły gry. Dwadzieścia lat przed szeroką dostępnością obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (MRI, które zostanie omówione w dalszej części), technologia PET umożliwiła naukowcom zajrzenie do mózgów żywych ludzi i dokonanie stosunkowo wysokiej rozdzielczości pomiarów, które obszary mózgu są bardziej lub mniej aktywne podczas aktywności umysłowej. Różni się to znacznie od technologii rentgenowskiej, która była dostępna znacznie wcześniej, w tym tomografii komputerowej. Podczas gdy promienie rentgenowskie przechodzą przez głowę i pokazują strukturę tkanki mózgowej, milczą na temat aktywności mózgu. Tomografia komputerowa osoby wygląda tak samo, niezależnie od tego, czy osoba nie śpi, wykonuje obliczenia w pamięci, czy też nie żyje. Ponieważ mózg jest tkanką miękką, promienie rentgenowskie przechodzą przez nie z łatwością, a obrazy mózgu nie są zbyt szczegółowe. Natomiast PET może określić ilościowo aktywność mózgu, taką jak metabolizm glukozy, przepływ krwi lub w niektórych przypadkach aktywność neuroprzekaźników. Osiąga się to w koncepcyjnie prosty sposób. Radioaktywne znaczniki są wstrzykiwane osobie podczas wykonywania zadania poznawczego, a obszary mózgu, które są

najbardziej aktywne podczas zadania, pochłaniają najwięcej znacznika. Ekspozycja na promieniowanie mieści się w granicach ustalonych dla zastosowań medycznych. Kolejny skan PET wykrywa radioaktywność, a modele matematyczne umożliwiają skonstruowanie obrazu pokazującego lokalizacje przestrzenne, w których nagromadziły się różne ilości radioaktywności. Na przykład izotop emitujący pozytony, taki jak fluor, może być przyłączony do specjalnej glukozy zwanej fluorodeoksyglukozą (FDG). Ponieważ glukoza, cukier, jest źródłem energii dla mózgu, im ciężej pracuje jakiś obszar mózgu, tym bardziej radioaktywna glukoza jest wchłaniana i metabolicznie utrwalana w tej części mózgu, a tym samym gromadzi się więcej pozytonów. Pozytony zderzają się z elektronami, których naturalnie jest wszędzie pełno, a każde zderzenie uwalnia energię w postaci dwóch promieni gamma, zawsze oddalonych od siebie o 180 stopni. Kąt 180 stopni jest faktem fizycznym, a miliony promieni gamma są uwalniane ze znacznika FDG. Po umieszczeniu głowy w skanerze PET, który zawiera jeden lub więcej pierścieni detektorów promieniowania gamma, miejsca w mózgu, z których pochodziło promieniowanie gamma, można zrekonstruować matematycznie na podstawie wykrycia promienia gamma i jednoczesnego przypadkowe wykrycie innego promienia gamma oddalonego o 180 stopni. Gdzieś na linii prostej łączącej te dwa jednoczesne zdarzenia rozpadł się pozyton. Dzięki milionom tych jednoczesnych detekcji można określić przestrzenne położenie nagromadzonych pozytonów i określić ilościowo obszary uwalniające najwięcej promieni gamma. Są to obszary najbardziej aktywne podczas wychwytu FDG, a wzorce aktywacji w obszarach będą różne w zależności od aktywności umysłowej podczas wychwytu. Wchłonięcie znacznika FDG przez mózg zajmuje około 32 minut. Oznacza to, że aktywność mózgu jest sumowana w ciągu 32 minut, więc rozdzielczość czasowa skanów FDG PET jest bardzo długa. Nie możesz zobaczyć, jak aktywność mózgu zmienia się z sekundy na sekundę. Jednak radioaktywny tlen zamiast glukozy może być używany w PET do obrazowania przepływu krwi z rozdzielczością czasową kilku minut. Inne techniki obrazowania oparte na MRI mają rozdzielczość czasową około 1–2 sekund, a nowsze metody, takie jak magnetoencefalogram (MEG), pokazują zmiany milisekundy po milisekundach. W porównaniu z PET, techniki MRI i MEG są również znacznie mniej inwazyjne (bez zastrzyków ani narażenia na radioaktywność), co szczegółowo opiszemy we właściwym czasie, ponieważ zostały one zastosowane w badaniach wywiadowczych. Zaletą PET jest to, że tempo metabolizmu glukozy można obliczyć na podstawie pomiaru zaniku radioaktywności we krwi okresowo po wstrzyknięciu znacznika. Obraz PET przedstawia ilościową mapę tempa metabolizmu glukozy (GMR) podczas wykonywania zadania poznawczego. Fizyka fluoru18 daje okres półtrwania radioaktywnej glukozy wynoszący około 110 minut, więc logistyka badania PET jest ogromna. Kroki obejmują wytwarzanie fluoru18 w cyklotronie, przyłączanie go do glukozy w pobliskim gorącym laboratorium, wstrzykiwanie go osobie podczas wykonywania zadania poznawczego przez około 32 minuty, a następnie skanowanie przez około 45–60 minut w celu uzyskania milionów zbieżnych wykrywanie promieniowania gamma (glukoza jest utrwalana metabolicznie, więc skanowanie odbywa się po zakończeniu zadania, a obraz pokazuje pobór glukozy podczas zadania). Koszt jest podobnie ogromny, zwykle około 2500 $ za skan. Istnieją inne izotopy, których można użyć do stworzenia znaczników pokazujących przepływ krwi i pewną aktywność neuroprzekaźników. Obrazy PET są konstruowane jako plastry pokrywające cały mózg. Kodowanie kolorami pokazuje wskaźniki aktywności glukozy. U tej samej osoby obrazy PET będą się różnić w zależności od tego, czy dana osoba jest przytomna, czy śpi, czy wykonuje jakiekolwiek zadanie poznawcze, takie jak rozwiązywanie problemów w teście abstrakcyjnego rozumowania Ravena,. Po raz pierwszy dowiedziałem się o PET, kiedy pracowałem w Intramural Research Program w NIMH na początku lat 80. i dostrzegłem potencjał badań wywiadowczych. Jednak zanim NIMH odebrał jeden z pierwszych dostępnych skanerów PET, wyjechałem na Brown University, gdzie wykonałem podstawowe mapowanie EEG/EP aktywności mózgu (z dumą za pomocą Apple II Plus) i porównałem je z wynikami Ravena. Kiedy pojawiła się możliwość dołączenia do mojego byłego kolegi z NIMH, Monte Buchsbauma, kiedy przeniósł się na Uniwersytet Kalifornijski w Irvine (UCI) i nabył nowy skaner PET,

przeniosłem się do Kalifornii. We wczesnych latach 80. większość pierwszych badań PET dotyczyła schizofrenii i zaburzeń psychicznych. Skany PET do badań psychologicznych były rzadkie. Pierwszy projekt badawczy, który mogłem podjąć w 1987 roku, opierał się na zaledwie ośmiu skanach, które zostały dostarczone bezpłatnie jako nagroda za udaną zbiórkę pieniędzy (polityka dostępu do skanów również była i nadal jest ogromnym wyzwaniem). Użyłem tych ośmiu skanów, aby zadać proste pytanie: Gdzie w mózgu jest inteligencja? W 1988 roku opublikowaliśmy pierwsze badanie PET dotyczące inteligencji. Ośmiu ochotników płci męskiej przystąpiło do testu Raven's Advanced Progressive Matrices (RAPM) z 36 pozycjami. Obejmowały one kilka bardzo trudnych pozycji do stworzenia wystarczającej wariancji w próbie uniwersyteckiej, aby uniknąć problemu ograniczonego zakresu. Pamiętaj, że Kruki to niewerbalny test abstrakcyjnego rozumowania, który jest jednym z najlepszych pojedynczych oszacowań współczynnika g. Po tym, jak każdy uczestnik ukończył zestaw ćwiczeń składający się z 12 elementów i rozpoczął pracę nad 36 elementami testowymi, wstrzykiwaliśmy radioaktywną glukozę używaną do oznaczania części mózgu, które pracowały najciężej, podczas gdy osoba rozwiązywała problemy. Po 32 minutach pracy nad pozycjami przenieśliśmy osobę do skanera PET, aby zobaczyć, gdzie w mózgu była zwiększona aktywność w porównaniu z innymi osobami kontrolnymi, wykonując prosty test uwagi, który nie wymagał rozwiązywania problemów. Kiedy przeprowadziliśmy typową analizę i porównaliśmy GMR między grupą wykonującą RAPM i grupa wykonująca zadanie uwagi, kilka obszarów kory mózgowej były statystycznie różne. Poszliśmy o krok dalej, co nie było typowe, ale logiczne z punktu widzenia różnic indywidualnych. Istniał zakres wyników RAPM, więc skorelowaliśmy wyniki z poziomem glukozy w każdym obszarze mózgu, który różnił się od grupy kontrolnej uwagi. Istniały istotne korelacje, ale ku naszemu zaskoczeniu wszystkie korelacje były ujemne. Innymi słowy, osoby z najwyższymi wynikami testu wykazywały najniższą aktywność w obszarach mózgu, które różniły się między grupami. Dwa obrazy po prawej stronie pochodzą od jednej osoby wykonującej RAPM, a dwa obrazy po lewej od innej osoby wykonującej RAPM. Są to poziome (osiowe) przekroje przez górną i środkową część mózgu. Wszystkie obrazy są pokazane w tej samej skali kolorów metabolizmu glukozy, dzięki czemu można je łatwo porównać. Czerwony i żółty pokazują najwyższą aktywność, niebieski i czarny pokazują najniższą. Osoba po lewej wykazuje znacznie większą aktywność w obu przekrojach niż osoba po prawej (górna część obrazu to przód mózgu). Jednak osoba po lewej stronie z bardzo aktywnym mózgiem miała w rzeczywistości najniższy wynik testu RAPM, wynoszący zaledwie 11; osoba po prawej miała najwyższy wynik 33. Nikt tego nie przewidział. Wydawało się, że wstecz. Większa aktywność mózgu szła w parze z gorszą wydajnością. Co to może oznaczać?

Wydajność mózgu

W tamtym czasie ten sprzeczny z intuicją wynik sugerował nam, że to nie to, jak ciężko pracuje twój mózg, czyni cię inteligentnym, ale to, jak wydajnie działa. Na podstawie tego wyniku zaproponowaliśmy hipotezę inteligencji dotyczącą wydajności mózgu: wyższa inteligencja wymaga mniej pracy mózgu. Mniej więcej w tym samym czasie inna grupa zgłosiła odwrotne korelacje w wielu obszarach kory między GMR a wynikami testu fluencji werbalnej, innego testu z wysokim obciążeniem g. Przeskanowali 16 osób podczas wykonywania testu fluencji werbalnej. Podczas testu GMR wzrósł w porównaniu z kolejnymi 35 kontrolami skanowanymi w stanie spoczynku. Korelacje między GMR a wynikami fluencji werbalnej były ujemne w obszarach czołowych, skroniowych i ciemieniowych. Podobnie, trzecia grupa badaczy przeskanowała 33 dorosłych, również wykonując test fluencji werbalnej. Odkryli zarówno pozytywne, jak i negatywne korelacje między wynikami a GMR w korze mózgowej. Korelacje ujemne stwierdzono w obszarach czołowych (lewej i prawej), a korelacje dodatnie w obszarach skroniowych, zwłaszcza w lewej półkuli. Ich uczestnicy byli w szerokim przedziale wiekowym (21–71 lat) i łączyli mężczyzn i kobiety, ale statystycznie usunięcie wieku i IQ miało niewielki widoczny wpływ na wyniki (chociaż nie zgłoszono żadnych analiz dotyczących płci). Należy zauważyć,

że według dzisiejszych standardów analizy obrazu wszystkie te badania wykorzystywały podstawowe metody definiowania obszarów korowych. Niemniej jednak negatywne korelacje stwierdzone podczas aktywacji poznawczej były nieoczekiwane i dla wielu psychologów poznawczych trudne do uwierzenia. Od czasu tego zaskakującego odkrycia wielu badaczy próbowało zrozumieć, jak dokładnie wydajność mózgu może odnosić się do inteligencji. Wrócimy do koncepcji efektywności później, gdy szczegółowo omówimy ostatnie badania, które pokazują, że koncepcja ta jest nadal opłacalna. Już w 1988 roku zaczęliśmy zastanawiać się, w jaki sposób uczenie się, kluczowy składnik inteligencji, może zwiększyć wydajność mózgu. Kiedy uczysz się czegoś takiego jak na przykład prowadzenie samochodu, czy twój mózg nie staje się bardziej wydajny, więc możesz teraz prowadzić w korku i jednocześnie rozmawiać, co nie było możliwe tego pierwszego dnia, kiedy koncentrowałeś się na jeździe z powrotem i dalej na dużym, pustym parkingu? Postanowiliśmy przeprowadzić badanie PET dotyczące uczenia się, więc zwróciliśmy się do Tetris, gry komputerowej, która dopiero co wyszła, a obecnie jest jedną z najpopularniejszych gier wszechczasów. Przeskanowaliśmy kolejnych ośmiu ochotników przed i po 50 dniach ćwiczeń na oryginalnej wersji Tetris. Wolontariusze, wszyscy mężczyźni z college'u, używali mojego biurowego komputera do ćwiczeń, ponieważ prawie nikt nie miał komputerów w domu na początku lat 90. Ponieważ dostęp do PET był tak ograniczony, nie było wielu danych na temat zmian w mózgu po nauczeniu się złożonego zadania. Naturalnym oczekiwaniem było, że po nauczeniu się wykonywania złożonego zadania aktywność mózgu wzrośnie, aby odzwierciedlić cięższą pracę umysłową niezbędną do wykonywania na wyższym poziomie. Opierając się na naszym odkryciu RAPM i interpretacji wydajności, postawiliśmy hipotezę odwrotną: po nauczeniu się lepszych wyników aktywność mózgu zmniejszyłaby się. Jeśli nie znasz Tetrisa, oto jak działa oryginalna wersja. Różne kształty utworzone z ułożenia czterech równych kwadratów (istnieje pięć różnych kształtów) pojawiają się pojedynczo u góry ekranu i powoli opadają na dół. Możesz przesuwać je w prawo lub w lewo, obracać lub natychmiast upuszczać, naciskając przyciski na klawiaturze. Celem jest umieszczenie każdego kształtu tak, aby tworzył idealne rzędy bez przerw na dole ekranu. Po ukończeniu rzędu znika on, a wszystkie kształty powyżej spadają, zmieniając konfigurację w miarę opadania kształtów. Głównym celem jest ułożenie jak największej liczby rzędów, zanim kształty, które nie są w pełnych rzędach, ułożą się na górze obszaru gry, co kończy grę. Im lepiej sobie radzisz (im więcej rzędów ukończysz), tym szybciej spadają kształty, więc wraz z praktyką gra staje się szybsza i trudniejsza. Chociaż zasady są dość proste do nauczenia, zabawa i doskonalenie opierają się na złożonym poznaniu, w tym zdolnościach wzrokowo-przestrzennych, planowaniu z wyprzedzeniem, uwadze, koordynacji ruchowej i szybkim czasie reakcji. Pierwszego dnia, kiedy którykolwiek z uczniów po raz pierwszy grał w Tetris, poza 10 minutami ćwiczeń, aby upewnić się, że rozumie grę, ukończyli średnio 10 rzędów na mecz, podczas gdy radioaktywna glukoza znakowała ich mózgi podczas pierwszego skanu PET. Liczba ta wzrosła do prawie 100 rzędów na mecz podczas drugiego skanowania po 50-dniowym okresie treningowym. Pod koniec okresu próbnego niektóre gry toczyły się tak szybko, że trudno było uwierzyć, że człowiek może tak szybko podejmować i wykonywać decyzje. Obraz po lewej pokazuje skan pierwszej sesji Tetris danej osoby. Zwróć uwagę na całą wysoką aktywność zaznaczoną na czerwono. Skan po prawej to ta sama osoba po 50 dniach praktyki. Po treningu aktywność mózgu jest mniejsza, mimo że gra była szybsza i trudniejsza. Nasza interpretacja była taka, że mózg nauczył się, jakich obszarów NIE używać i stał się bardziej wydajny wraz z praktyką. Zauważyliśmy również tendencję w tym badaniu, że osoby z najwyższymi wynikami testów inteligencji wykazują największe spadki aktywności mózgu po praktyce. Innymi słowy, po praktyce najmądrzejsi ludzie stali się najbardziej wydajni umysłowo. Inne późniejsze badania wykazały niespójne wyniki w tej obserwacji, więc jury wciąż nie wie, co pokaże waga dowodów. Jednak wiele innych późniejszych badań potwierdziło zmniejszoną aktywność mózgu po uczeniu się, co jest zgodne z hipotezą wydajności mózgu. Inne badania nie wykazały tego efektu, więc warunki i zmienne istotne dla uczenia się/aktywności mózgu są nadal pytaniami długopisem. Z perspektywy różnic indywidualnych ważne zmienne mogą dotyczyć

osoby, a nie zadania. Przez cały ten czas starałem się o fundusze federalne na sfinansowanie programu obrazowania mózgu w celu zbadania możliwego wpływu na inteligencję. Jak wyjaśniono w poprzednim rozdziale, badania wywiadowcze z biologicznego punktu widzenia były traktowane z pewną podejrzliwością, a moje aplikacje szły donikąd. Postanowiłem więc nieco przesunąć akcenty i udało mi się zdobyć grant na badanie zespołu Downa, zaburzenia genetycznego typowo związanego z niskim IQ. Osoby te byłyby z natury zainteresowane, podobnie jak wymagana normalna grupa kontrolna. Agencje federalne są bardziej skłonne do finansowania badań nad kategoriami chorób i syndromów (a głupota nie jest jeszcze kategorią uznawaną przez Narodowe Instytuty Zdrowia, więc nie ma krajowego instytutu, który by się nią zajmował), zwłaszcza jeśli we wniosku o grant ledwie wspomina się o IQ. Nawiasem mówiąc, w dużej mierze nadal tak jest, chociaż pojawia się wyjątek dla projektów, które proponują zwiększenie IQ u dzieci w niekorzystnej sytuacji za pomocą treningu poznawczego. Zastanawialiśmy się, czy osoby o niskim IQ mogą mieć nieefektywne mózgi, prawdopodobnie z powodu niepowodzenia przycinania neuronów, normalnej rozwojowej redukcji nadmiaru lub obcych synaps, począwszy od wieku około 5 lat. Byliśmy zainteresowani skanowaniem osób z zespołem Downa, które miały IQ między 50 a 75, oraz oczywiście grupami kontrolnymi osób bez zespołu Downa, które również miały IQ w tym samym niskim zakresie bez widocznego powodu genetycznego lub uszkodzenia mózgu. Mieliśmy również inne grupy kontrolne z IQ w średnim zakresie . W tamtym czasie większość badaczy przewidywała, że skany PET osób o niskim IQ, zwłaszcza tych ze znanymi nieprawidłowościami mózgu, takimi jak te występujące w zespole Downa, wykażą niższą aktywność, ponieważ zakładano, że za niski IQ odpowiada pewien rodzaj uszkodzenia mózgu. Niepowodzenie przycinania neuronów było jednak zgodne z wcześniejszymi badaniami nad zespołem Downa, wykazującymi większą gęstość synaps. Opierając się na hipotezie wydajności i możliwym braku przycinania neuronów, byliśmy otwarci na możliwość zaobserwowania większej aktywności w grupach o niskim IQ. Dwa obrazy PET po lewej pokazują większą aktywność (czerwony i żółty) w całym mózgu w obu grupach o niskim IQ w porównaniu z normalnymi kontrolami po prawej stronie. Postrzegaliśmy to jako kolejny dowód na hipotezę efektywności, chociaż uznaliśmy alternatywne interpretacje, w tym rekompensatę za możliwe uszkodzenie mózgu.

Nie wszystkie mózgi działają w ten sam sposób

Do tego czasu wynegocjowałem jeden bezpłatny skan PET za każdy skan, za który zapłaciłem z dotacji, więc zwróciliśmy się w stronę innego sposobu zbadania hipotezy wydajności. Przypomnijmy, mówiłem o badaniu Hopkinsa nad matematycznie przedwcześnie rozwiniętymi studentami, które profesor Julian Stanley rozpoczął w latach siedemdziesiątych. Pierwsi poszukiwacze talentów znaleźli o wiele więcej młodych chłopców niż dziewcząt z wysokimi wynikami SAT-Math. W 1995 roku zdecydowałem się użyć PET, aby sprawdzić, czy mężczyźni i kobiety wykazują taką samą wydajność mózgu w tych samych obszarach mózgu podczas rozwiązywania problemów z rozumowaniem matematycznym. Rozumowanie matematyczne jest bardziej specyficzną zdolnością umysłową niż czynnik g, więc poszerzyłoby to granice hipotezy efektywności. Pracowałem nad tym projektem z profesor Camillą Benbow, inną byłą studentką Hopkinsa, która pracowała z profesorem Stanleyem. Zrekrutowaliśmy 44 studentów i studentek z mojego uniwersytetu (UCI) na podstawie ich wyników SAT-Math przy przyjęciu . Wybraliśmy cztery grupy: mężczyźni z wysokimi wynikami SAT-Math powyżej 700; kobiety z równie wysokimi wynikami powyżej 700; mężczyźni ze średnimi wynikami SAT-Math w zakresie 410–540; oraz kobiety ze średnimi wynikami w tym samym zakresie 500. W każdej grupie było 11 studentów (44 uczestników to wszystko, na co było nas stać, ale to wciąż było jedno z największych badań PET w tamtym czasie). Każda osoba wykonywała skan PET, rozwiązując rzeczywiste problemy z rozumowaniem SAT-Math. Spodziewaliśmy się niższej aktywności mózgu zarówno u mężczyzn z wysokim poziomem SAT-Math, jak i u kobiet z wysokim poziomem SAT-Math w porównaniu ze średnimi grupami, co jest zgodne z wydajnością mózgu. Pomyśleliśmy również, że mężczyźni i kobiety

dobrani pod względem zdolności rozumowania matematycznego mogą wykazywać efektywność w różnych obszarach mózgu, ponieważ istnieją różnice płciowe w wielkości i strukturze mózgu, chociaż w tamtym czasie dowody na te różnice nie były tak przekonujące jak dzisiaj . Oto, co znaleźliśmy. W przypadku 22 mężczyzn analiza statystyczna wykazała, że wysokie zdolności matematyczne szły w parze z większą aktywnością płatów skroniowych (dolnych bocznych części mózgu, które obejmują ważne obszary pamięci, takie jak hipokamp) podczas rozwiązywania problemów. To było przeciwieństwo skuteczności. U 22 kobiet nie znaleźliśmy żadnego systematycznego związku statystycznego między zdolnością rozumowania matematycznego a aktywnością mózgu. Jak pracowały mózgi kobiet z wysokim wynikiem SAT-Math rozwiązania problemów nie można było określić, mimo że były równie dobre rozwiązując te same problemy, co mężczyźni. A mężczyźni pokazali coś przeciwnego niż oczekiwaliśmy. I tak często przebiegają badania. Właściwie to odkrycie było jednym z pierwszych wyraźnych wskazówek z danych obrazowych, że mężczyźni i kobiety mogą przetwarzać informacje i rozwiązywać problemy za pomocą różnych sieci mózgowych. Pamiętaj, że w tym badaniu mężczyźni i kobiety byli jednakowo dopasowani pod względem wyniku SAT-Math i równie dobrze rozwiązali te same problemy podczas skanowania. Jednak ich mózgi wykazywały najwyraźniej różne wzorce aktywności. Dla nas oznaczało to, że nie wszystkie mózgi działają tak samo. Może ci się to wydawać oczywiste, a nawet banalne, ale większość badaczy kognitywnych jest zainteresowana odkryciem, jak ogólnie działają mózgi, zakładając, że wszystkie mózgi zasadniczo działają w ten sam sposób. Skupianie się na różnicach indywidualnych i pomysł, że nie wszystkie mózgi działają w ten sam sposób, nie był tak popularny ani wtedy, ani teraz. Pamiętaj też, że zdolność rozumowania matematycznego jest bardziej specyficznym czynnikiem; to nie g. Wydajność mózgu może być związana z g, ale w przypadku określonych zdolności, takich jak rozumowanie matematyczne, lepsza wydajność może wymagać większej aktywności mózgu. Idąc tym tropem, inne badanie PET mniej więcej w tym samym czasie u ośmiu osób w średnim wieku wykazało zwiększoną aktywację podczas wykonywania percepcyjnego zadania labiryntu, będącego miarą rozumowania wzrokowo-przestrzennego, które jest również bardziej specyficznym czynnikiem inteligencji niż g . Zdezorientowany? Moim celem w opisaniu tych badań w porządku chronologicznym, w jakim miały miejsce, jest pokazanie, jak badacze podchodzą do swojej pracy i sortują pozornie rozbieżne wyniki. Pamiętaj o moich trzech prawach. Powtarzaj za mną: żadna opowieść o mózgu nie jest prosta; żadne badanie nie jest ostateczne; a uporządkowanie sprzecznych i niespójnych ustaleń oraz ustalenie ciężaru dowodów zajmuje wiele lat. Następny rozdział wniesie nieco jasności do wyników badań obrazowych i, co nie jest zaskoczeniem, postawi nowe pytania. Ale zanim przejdziemy do innych wczesnych badań obrazowych inteligencji, chcę wspomnieć o jeszcze jednym badaniu PET, które przeprowadziliśmy. Do roku 2000 nadal bardzo niewielu innych badaczy wywiadu używało PET lub innego obrazowania. Nadal byliśmy zainteresowani wydajnością mózgu, ale zaczęliśmy się też zastanawiać, czy wydajność będzie związana z inteligencją, nawet jeśli mózg nie rozwiązuje problemów. Innymi słowy, czy można było odróżnić inteligentny mózg, nawet jeśli nie działał, by być inteligentnym? Nasze następne badanie PET dotyczyło ośmiu nowych studentów, którzy biernie oglądali filmy bez konieczności rozwiązywania problemów. Był to projekt dotyczący pamięci emocjonalnej, więc niektóre filmy były bardziej obciążone emocjonalnie niż inne, ale w ramach oddzielnej analizy przyjrzeliśmy się, czy inteligencja, oceniana za pomocą testu abstrakcyjnego rozumowania z obciążeniem g RAPM, była związana z oglądaniem filmów niezależnie od ich treść emocjonalna. Skorelowaliśmy aktywność mózgu podczas tego stanu niezwiązanego z rozwiązywaniem problemów z wynikami RAPM. Istotne korelacje były widoczne w kilku obszarach. Żaden nie znajdował się w płatach czołowych. Większość z nich znajdowała się w tylnych obszarach mózgu, gdzie podstawowe informacje są postrzegane, zanim zostaną przetworzone przez obszary asocjacyjne bardziej z przodu mózgu. Sugerowało to, że osoby z wyższymi wynikami RAPM oglądały filmy z inną aktywnością mózgu niż osoby z niższym RAPM. Uważamy, że oznacza to, że inteligentniejsi ludzie są

bardziej zaangażowani i aktywnie przetwarzają informacje wideo w inny sposób. Innymi słowy, inteligentniejsze mózgi nie były tak pasywne. To kolejny dowód na to, że nie wszystkie mózgi działają w ten sam sposób, być może nawet podczas oglądania telewizji. W tym wczesnym okresie przeprowadzono kilka innych badań PET związanych z inteligencją. Wspólnie zgłaszali aktywacje w obszarach mózgu podczas wykonywania różnych testów rozumowania dedukcyjnego/indukcyjnego. Podejście różnic indywidualnych, czyli szukanie korelacji między wynikami testów a stopniem aktywacji, nie było systematycznie zgłaszane, ale wszystkie te badania wykazały, że podczas rozumowania aktywowanych było wiele obszarów w całym mózgu. Mnożyły się dowody na to, że inteligencja nie jest tylko funkcją płatów czołowych.

Co ujawniły wczesne badania PET, a czego nie

Badania PET, które omówiliśmy do tej pory , stanowią pierwsze próby wykorzystania zaawansowanego technologicznie funkcjonalnego obrazowania mózgu do badania inteligencji. Ogólny punkt jest taki, że nawet te najwcześniejsze badania pomogły odsunąć badania nad inteligencją od głównie psychometrycznych podejść i kontrowersji wokół nich do bardziej neuronaukowej perspektywy, ponieważ obrazowanie umożliwiło określenie, w jaki sposób wyniki testów psychometrycznych są powiązane z mierzalnymi cechami mózgu, takimi jak metabolizm glukozy . Oto podsumowanie czterech kluczowych obserwacji, które wyłoniły się z tych wczesnych badań obrazowania czynnościowego:

1. Wyniki testu na inteligencję są związane z metabolizmem glukozy w mózgu. Pomaga to zweryfikować, czy wyniki testu nie były bezsensownymi liczbami reprezentującymi artefakt statystyczny. W rzeczywistości, wraz ze wzrostem liczby badań neuroobrazowania inteligencji, stara krytyka dotycząca wyników testów inteligencji, które nie mają żadnego znaczenia, jest coraz mniej znacząca, jeśli w ogóle kiedykolwiek miała jakieś znaczenie.

2. Na początku nieoczekiwane i sprzeczne z intuicją odkrycie wykazało, że wyższe wyniki testów na inteligencję były związane z mniejszą aktywnością mózgu. Wynikająca z tego hipoteza efektywności zachęciła do wielu późniejszych badań i nadal jest aktualna, chociaż, jak zobaczymy w następnym rozdziale, historia staje się bardziej złożona w miarę przeprowadzania kolejnych badań, ten sam postęp, który można znaleźć we wszystkich naukach.

3. Uczenie się niektórych zadań wiąże się ze wzrostem wydajności mózgu, na co wskazuje mniejsza aktywność mózgu po praktyce. Rodzi to pytanie, czy inteligencję można zwiększyć poprzez trening umysłowy.

4. Różnice w skanowaniu PET między mężczyznami i kobietami rozwiązującymi problemy oraz różnice w PET między oglądającymi filmy wideo o wysokiej i średniej inteligencji wskazują, że nie wszystkie mózgi działają w ten sam sposób.

Jest jeszcze jeden ważny wniosek oparty na czymś, czego nie widzieliśmy. Te wczesne dane nie wykazały żadnego obszaru w mózgu, który można by nazwać ośrodkiem inteligencji. W rzeczywistości, wczesne dane obrazowania PET wykazały, że wiele obszarów rozmieszczonych w mózgu było powiązanych z wynikami testów inteligencji. Jednak w 2000 roku pewna grupa badaczy stwierdziła, że ich badanie PET wykazało, że neuronalne podstawy czynnika g wywodzą się z określonego układu bocznego płata czołowego i bagatelizują znaczenie innych regionów (Duncan i in., 2000). Zobrazowali przepływ krwi w okresie 2 minut, gdy 13 osób (w szerokim przedziale wiekowym 21–34) wykonywało niewielką liczbę problemów, które różniły się obciążeniami g. Przepływ krwi zwiększył się podczas zadań, ale tylko przednie aktywacje zostały odnotowane jako wspólne dla zadań z wysokim i średnim obciążeniem. Ta publikacja w Science spotkała się z dużym zainteresowaniem, ale wielu badaczy w tej dziedzinie szybko wskazało kilka głównych błędów w projekcie i interpretacji (Colom i in., 2006a;

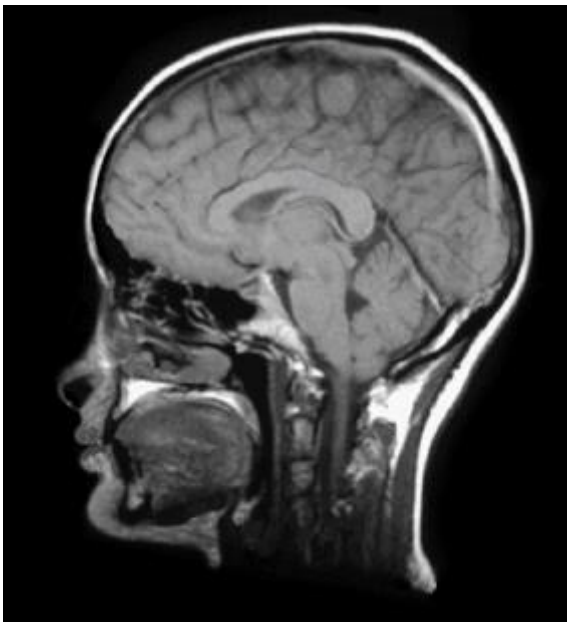
Newman i Just, 2005). Pytania projektowe obejmowały pominięcie jakiegokolwiek opisu badanych pod względem płci i IQ. Ponadto najwyraźniej zostali zatrudnieni na renomowanym uniwersytecie, więc prawdopodobne jest poważne ograniczenie zakresu wyników g, ograniczające korelacje. Obrazowanie miało miejsce podczas kilku problemów, podczas gdy badani pracowali we własnym tempie, więc rzetelność zadania była niska, a uśrednienie nad badanymi mogło zminimalizować wszelkie różnice wynikające z różnic w szybkości reagowania na problemy. Jeśli chodzi o interpretację, nie cytowano żadnego z wcześniejszych badań PET pokazujących rozproszone obszary związane z wysokimi wynikami g, więc nie było potwierdzenia ani dyskusji na temat odwrotnych korelacji lub rozproszonej sieci obszarów innych niż płat czołowy. A ich własne dane dla zadania o wysokim g wykazały aktywację w wielu obszarach poza płatami czołowymi. Następnie dr John Duncan, kierownik badań, najwyraźniej porzucił model inteligencji skoncentrowany na płacie czołowym i doszedł do wniosku, że inne obszary również zaangażowany , zgodny z wirtualnie wszystkie inne dostępne wówczas badania . Nie będziemy więc rozwodzić się nad tym krótkotrwałym objazdem, poza zauważeniem, że jego publikacja w Science zwróciła dużą uwagę na badania obrazowania/inteligencji i ponownie potwierdziła, że g-score można badać naukowo, co było zaskakująco kontrowersyjną propozycją. Więc nawet ten wadliwy papier miał jakiś pozytywny skutek. W tamtym czasie czasopisma takie jak Science niechętnie publikowały badania wywiadowcze, w dużej mierze z powodu kontrowersji lat 70. i 80. dotyczących średnich różnic między grupami . Nieżyjąca już Constance Holden, pisarka naukowa pracująca w Science, ubolewała nad uprzedzeniami wobec badań wywiadowczych, które widziała od wewnątrz, i robiła wszystko, co w jej mocy, aby pokryć badania wywiadowcze dziennikarską kombinacją uczciwości i sceptycyzmu. Po jej przedwczesnej, przypadkowej śmierci, Międzynarodowe Towarzystwo Badań Wywiadowczych (ISIR) sponsoruje prezentację dziennikarki jako Wykład upamiętniający Constance Holden na dorocznym spotkaniu w uznaniu jej wysiłków

Pierwsze badania MRI

Do roku 2000 nowa technologia obrazowania stawała się dostępna znacznie szybciej niż PET. PET opiera się na zderzeniu pozytonów z elektronami i wymaga wstrzyknięcia radioaktywnych znaczników. Rezonans magnetyczny (MRI) nie wymaga zastrzyków radioaktywnych, więc nie jest wymagany cyklotron ani gorące laboratorium, dzięki czemu skany MRI są znacznie tańsze niż PET (około 500–800 USD w porównaniu z 2500 USD). MRI opiera się na wpływie pól magnetycznych na wirujące protony i cząsteczki wodoru. Ponieważ generuje obrazy całego ciała w wysokiej rozdzielczości, które mają wiele ważnych zastosowań klinicznych bez narażenia na promieniowanie, MRI szybko stał się niezbędną technologią dla większości szpitali, zwłaszcza tych związanych z uniwersytetami. Umożliwiło to dostęp wielu psychologom poznawczym i w rzeczywistości w ciągu kilkunastu lat większość wydziałów psychologii na głównych uniwersytetach miała własny skaner MRI, co było wielomilionowym wydatkiem niegdyś nie do pomyślenia dla wydziału psychologii (chociaż zakup sprzętu do obrazowania przez wydziały psychologii był przewidywane przez co najmniej jednego przewidującego badacza). Badania MRI procesów poznawczych wzrosły wykładniczo od roku 2000, a analizy MRI są obecnie podstawą badań w dziedzinie neuronauki poznawczej. Oto jak działa MRI. Protony naturalnie wirują wokół osi, a wirowanie tworzy słabe pole magnetyczne. Każda oś protonu ma inną, losową orientację północ-południe. Jeśli protony wejdą do silnego pola magnetycznego, wskakują na tę samą linię północ-południe. Kiedy fala radiowa jest szybko włączana i wyłączana w polu magnetycznym, protony wyskakują z wyrównania, a następnie wracają. To pulsowanie może odbywać się wiele razy na sekundę. Gdy protony wskakują i wyskakują z wyrównania magnetycznego, przesunięcia wydzielają słabą energię, którą można wykryć i zmapować, pokazując, gdzie znajdują się protony, jeśli pole magnetyczne zostanie przyłożone wzdłuż gradientu o różnym natężeniu. Ta sekwencja zdarzeń nazywana jest rezonansem magnetycznym lub MRI (pierwotna nazwa tej technologii brzmiała jądrowy rezonans magnetyczny, ale została zmieniona, aby uniknąć konotacji „jądrowych"). Protony wodoru

występują obficie w wodzie, a większość ciała, zwłaszcza tkanek miękkich, składa się z wody, więc MRI daje bardzo szczegółowe obrazy ciała i mózgu. Skanery MRI to duże, podobne do pączków urządzenia, które zawierają bardzo silny magnes. Kiedy osoba leży na łóżku skanera, a głowa lub całe ciało wchodzi do środkowego obszaru przypominającego rurkę otoczonego magnesem, fale radiowe są szybko pulsowane w polu magnetycznym, a protony w ciele wskakują i wyskakują z wyrównania. Osoba nie ma wrażenia tego trzaskania. Zmieniające się wzorce energii utworzone przez wszystkie te pstrykania są wykrywane i matematycznie przekształcane w obraz.

Ilustracja



przedstawia bardzo szczegółowo przykład podstawowego MRI struktury mózgu. Rysunek przedstawia przekroje w widoku z boku (przekroje strzałkowe). Można oglądać nawet obrazy 3D całego mózgu. Są to oczywiście wycinki matematyczne, a nie rzeczywiste. Podobnie jak zdjęcie wydrukowane w gazecie, każdy obraz mózgu składa się z wielu pojedynczych kropek zwanych pikselami. W przypadku MRI piksele mają w rzeczywistości trzy wymiary, dlatego nazywane są wokselami i mają raczej objętość niż tylko powierzchnię. W obrazie mózgu są miliony wokseli. Każdy woksel ma wartość określoną przez technikę obrazowania. W tym przypadku wartością jest ilość energii wykryta przez przyciąganie protonów i można to zinterpretować na przykład jako ilość istoty szarej. Obraz strukturalny na rysunku przedstawia istotę szarą, w której pracują neurony, oraz włókna istoty białej, które łączą obszary mózgu i przenoszą informacje w mózgu. Istota szara i istota biała mają różną zawartość wody, więc można je rozróżnić na tych obrazach. Należy pamiętać, że obrazy strukturalne nie zawierają żadnych informacji funkcjonalnych, więc nie można spojrzeć na strukturalny rezonans magnetyczny i stwierdzić, czy dana osoba nie śpi, czy nie, rozwiązuje problemy matematyczne, a nawet żyje lub nie żyje. Możesz zobaczyć guzy, udary i wiele rodzajów uszkodzeń mózgu. MRI można również wykorzystać do pokazania funkcji mózgu. Bardzo szybkie sekwencyjne obrazy mogą pokazać regionalny przepływ krwi jako funkcję oznaczeń hemoglobiny, a przepływ krwi jest pośrednią miarą aktywności neuronów. Im bardziej obszar mózgu jest aktywny, tym więcej krwi do niego napływa. Jest to funkcjonalny MRI (fMRI), który był szeroko stosowany w neurobiologii poznawczej do pokazania aktywności mózgu podczas określonych zadań poznawczych. Podstawowa technika MRI jest dość wszechstronna. Zmieniając różne parametry sekwencji skanowania, na przykład częstotliwość impulsów fali radiowej, można uzyskać różne rodzaje obrazów, które mogą podkreślać różne cechy mózgu. Jak wspomniano, dwa główne rodzaje MRI to strukturalny i funkcjonalny. Strukturalne metody MRI obejmują podstawowy skan, który pokazuje

istotę szarą i białą w szczegółach anatomicznych oraz inne metody, które maksymalizują obrazowanie włókien i dróg istoty białej, takie jak spektroskopia (MRS) i obrazowanie tensora dyfuzji (DTI). Na takie obrazy strukturalne nie ma wpływu to, co robi mózg podczas skanowania. Przeanalizujemy teraz wczesne badania inteligencji, w których wykorzystano strukturalny i funkcjonalny MRI. Zaczniemy od podstawowego strukturalnego rezonansu magnetycznego, ponieważ był to pierwszy sposób zastosowania rezonansu magnetycznego do badań wywiadowczych. Podstawowa technika MRI jest dość wszechstronna. Zmieniając różne parametry sekwencji skanowania, na przykład częstotliwość impulsów fali radiowej, można uzyskać różne rodzaje obrazów, które podkreślają różne cechy mózgu. Jak wspomniano, dwa główne rodzaje MRI to strukturalny i funkcjonalny. Strukturalne metody MRI obejmują podstawowy skan, który pokazuje istotę szarą i białą w szczegółach anatomicznych oraz inne metody, które maksymalizują obrazowanie włókien i dróg istoty białej, takie jak spektroskopia (MRS) i obrazowanie tensora dyfuzji (DTI). Na takie obrazy strukturalne nie ma wpływu to, co robi mózg podczas skanowania. Przeanalizujemy teraz wczesne badania inteligencji, w których wykorzystano strukturalny i funkcjonalny MRI. Zaczniemy od podstawowego strukturalnego rezonansu magnetycznego, ponieważ był to pierwszy sposób zastosowania rezonansu magnetycznego do badań nad inteligencją.

Podstawowe wyniki strukturalnego rezonansu magnetycznego.

Pierwsze pytanie dotyczące inteligencji, do którego odnosi się rezonans magnetyczny, dotyczyło rozmiaru całego mózgu. Liczne wcześniejsze badania wykazały dodatnią korelację między rozmiarem mózgu a wynikami testów inteligencji. Korelacja była zwykle niewielka, ale głównym problemem było to, że miary wielkości mózgu były szacunkami opartymi na pomiarach pośrednich, takich jak obwód głowy (lub w XIX wieku liczba metalowych kulek potrzebnych do wypełnienia czaszki). MRI dostarczył znacznie dokładniejszego pomiaru rozmiaru/objętości mózgu in vivo, więc nie było zaskoczeniem znalezienie potwierdzenia pozytywnej korelacji z wynikami testów inteligencji, gdy zastosowano dokładne pomiary rozmiaru mózgu oparte na MRI . Jest to proste odkrycie, które zostało wielokrotnie powtórzone. Obszerna metaanaliza tej literatury (37 badań, 1530 osób) wykazała, że średnia korelacja między rozmiarem/objętością całego mózgu a wynikami testów inteligencji wynosi ogólnie około 0,33 , w tym dorosłych i dzieci. Korelacja była wyższa u kobiet (około 0,40 w porównaniu do 0,34 u mężczyzn). U dorosłych kobiet i dzieci korelacje wyniosły odpowiednio 0,41 i 0,37. U dorosłych mężczyzn i dzieci korelacje były jeszcze bardziej zróżnicowane i wynosiły odpowiednio 0,38 i 0,22. Dane te zasadniczo rozwiązują wcześniejszą debatę i definitywnie pokazują, że większe mózgi są skromnie związane z wyższą inteligencją. Oczywiście pozostają pytania. Czy objętość niektórych określonych obszarów mózgu jest bardziej związana z inteligencją niż inne obszary? Co wpływa na rozwój wielkości mózgu i czy można zaakcentować mechanizmy rozwojowe? Omówimy to ostatnie pytanie w rozdziale 5 na temat zwiększania inteligencji. Poprzednie pytanie zostało rozwiązane wkrótce po tym, jak strukturalne MRI zostały rozszerzone o metody analizy obrazu, które podzieliły lub „rozparcelowały" obszary korowe i podkorowe na obszary zainteresowania (ROI). ROI zwykle uzyskiwano albo przez zastosowanie prostego algorytmu opartego na dowolnej proporcji wokseli, które miały definiować region, albo przez ludzkich obserwatorów śledzących ROI na każdym obrazie najlepiej jak potrafili, używając różnych punktów orientacyjnych mózgu. Te wczesne metody segmentacji różniły się w zależności od grupy badawczej i wszystkie były prymitywne według dzisiejszych standardów, ale wyniki wykazały, że rozmiar/objętość niektórych obszarów była bardziej związana z inteligencją niż w innych obszarach. Na przykład jedna grupa zgłosiła niewielkie dodatnie korelacje między IQ w pełnej skali (FSIQ) a objętością płatów skroniowych, hipokampu i móżdżku, a Flashman i inni dalej opisali niewielkie korelacje z wydajnościowym (niewerbalnym) IQ w płatach czołowych, skroniowych i ciemieniowych. Żadna z tych korelacji nie przekroczyła korelacji całego mózgu/IQ, ale wskazywały one na znaczenie analiz regionalnych.

Udoskonalone analizy MRI zapewniają spójne i niespójne wyniki

Do czasu opublikowania kolejnych badań strukturalnych MRI inteligencji, analizy obrazów poprawiły lokalizację przestrzenną, zastępując segmentację ROI metodami, które określały ilościowo woksel po wokselu istoty szarej i białej (z rozdzielczością przestrzenną milimetrów zamiast płaty lub części płatów. Oprogramowanie do stosowania morfometrii opartej na wokselach (VBM) stało się dostępne około 1999 r. (statystyczne mapowanie parametryczne, SPM), a dziedzina radykalnie odeszła od niestandardowej analizy obrazu opartej na ROI, które różniły się granicami między grupami badawczymi, na rzecz bardziej znormalizowanego podejścia . Zazwyczaj wyniki analiz opartych na wokselach były zgłaszane jako lokalizacje przestrzenne w mózgu przy użyciu standardowego zestawu współrzędnych opracowanego w Montreal Neurological Institute (współrzędne MNI), a lokalizacje były dodatkowo opisywane przy użyciu standardowej nomenklatury opartej na obszarach Brodmanna (BAs) pochodzi z wczesnych opisów autopsji różnych organizacji komórkowych w regionach korowych (. Ramka 3.1 opisuje metodę VBM i zawiera ilustrację BA. SPM jest okresowo aktualizowany o ulepszenia i dodatkowe opcje analiz. Niektóre z pierwszych analiz inteligencji MRI opartych na wokselach odnotowano u dzieci. Jedna grupa badawcza wykonała MRI u 146 dzieci (średnia wieku 11,7, odchylenie standardowe 3,5) i zgłosiła korelację 0,30 między FSIQ a objętością istoty szarej przedniego zakrętu obręczy (BA 32) . Inna grupa zbadała 40 dzieci (średni wiek 14,9, odchylenie standardowe 2,6) i stwierdziła, że objętość istoty szarej była skorelowana z różnymi częściami zakrętu obręczy (BA 24, 31, 32) oraz z obszarami płatów czołowych (BA 9, 10, 11) , 47) oraz w płatach ciemieniowych (BAs 5, 7) . Nowsze i bardziej zaawansowane badania obrazowe dzieci zostaną opisane w następnej części, ale te wczesne badania na dzieciach były ważne dla wykazania potencjału obrazowania w wyjaśnianiu zależności między rozwojem mózgu a wynikami IQ. Przykładem tego jest jedno dodatkowe wczesne badanie. W największym i najbardziej reprezentatywnej próby dzieci badanych do tej pory za pomocą MRI, grupa badawcza wprowadziła inną metodę analizy obrazu, która określała grubość kory mózgowej. To nie był VBM. Zamiast tego wykorzystano liczne korowe punkty orientacyjne i geometrię euklidesową do obliczenia grubości w wielu punktach wokół kory. Mieli próbkę 307 normalnych dzieci (średnia wieku 13 lat, odchylenie standardowe 4,5), które wielokrotnie wykonywały testy IQ i skany MRI w czasie. Grubość kory (CT) była skorelowana z IQ, ale istniała wyraźna sekwencja rozwojowa pokazująca dynamiczny związek między regionalnym CT a inteligencją, gdy mózg dojrzewa w dzieciństwie i okresie dojrzewania. Najsilniejsze korelacje między IQ a CT stwierdzono w późnym dzieciństwie (około 8–12 lat). Te korelacje były pozytywne i stwierdzono je w obszarach w całym mózgu. Jednak istniała różnica między osobami o wysokim i średnim IQ. Osoby o wysokim IQ wykazywały „początkową przyspieszoną i przedłużoną fazę wzrostu kory, która prowadzi do równie energicznego przerzedzania kory we wczesnym okresie dojrzewania". To interesujące odkrycie wymaga jednak powtórzenia i są nowe badania, które omówimy w następnym rozdziale. Shaw i in. badanie, opublikowane w Nature, prestiżowym czasopiśmie naukowym i sfinansowane przez Narodowy Instytut Zdrowia i Rozwoju Dziecka (NICHD), jeszcze bardziej dodało wiarygodności badaniom zależności między inteligencją a mózgiem. Mniej więcej w tym samym czasie po raz pierwszy zastosowano VBM w badaniach nad inteligencją dorosłych. Uzyskaliśmy MRI dla 47 dorosłych w szerokim przedziale wiekowym (18–84) i skorelowaliśmy istotę szarą i białą z wynikami IQ, korygując wiek i płeć . Wyniki pokazały korelacje istoty szarej w kilku obszarach rozmieszczonych w mózgu we wszystkich czterech płatach i na obu półkulach. Jedna korelacja między IQ a istotą białą była widoczna w płacie ciemieniowym (w pobliżu BA 39). Kiedy ponownie przeanalizowaliśmy dane osobno dla mężczyzn i kobiet, byliśmy zaskoczeni, widząc różne wyniki. U mężczyzn największe obszary mózgu, do których trafiało więcej istoty szarej wraz z wyższym IQ, znajdowały się w tylnych obszarach, zwłaszcza w części płata ciemieniowego związanej z wizualnym przetwarzaniem przestrzennym. Jednak u kobiet prawie wszystkie obszary, w których istota szara korelowała z IQ, znajdowały się w płatach czołowych,

zwłaszcza wokół części mózgu związanej z językiem, zwanej obszarem Broki. Podobnie jak w naszym poprzednim badaniu PET dotyczącym rozumowania matematycznego, mężczyźni i kobiety wykazywali różne wzorce korelacji. Nierozstrzygniętą kwestią jest to, czy różne wzorce męskie i żeńskie są statystycznie istotne. Niemniej jednak odkrycia te potwierdziły nasz pogląd, że wszystkie badania obrazowe inteligencji powinny analizować dane osobno dla mężczyzn i kobiet, tak samo rutynowo, jak oddzielnie analizuje się grupy w różnym wieku. Znalezienie różnic wieku i płci podkreśla jedno z naszych podstawowych założeń: nie wszystkie mózgi działają w ten sam sposób. Jednak nawet przy zastosowaniu bardziej standardowych metod VBM odnotowano wiele niespójnych wyników. Na przykład jedna grupa zbadała 30 starszych dorosłych (średnia wieku 61,1, odchylenie standardowe 5,18) i znalazła jedynie korelację między wydajnościowym IQ a objętością w płacie tylnym prawego móżdżku. Inna grupa zbadała 55 dorosłych (średnia wieku 40 lat, odchylenie standardowe 12) i stwierdziła, że korelacje między istotą szarą a FSIQ były ograniczone do obszarów przedniego zakrętu obręczy i przyśrodkowych płatów czołowych. Jak zauważyliśmy, często wyniki opierały się na analizach, które nie rozdzielały kobiet i mężczyzn, a ograniczone przedziały mogą mieć ograniczone korelacje, co omówiono w rozdziale 1. Inną kluczową kwestią jest ocena inteligencji za pomocą testów IQ. Chociaż standardowe testy IQ zapewniają dobre oszacowanie współczynnika g, wyniki IQ łączą g i inne specyficzne czynniki inteligencji. Czy wyniki obrazowania byłyby bardziej spójne, gdyby zastosowano lepsze oszacowanie g? Zajęliśmy się tym w dwóch badaniach w oparciu o ponowną analizę naszych danych VBM z 2004 r. przy użyciu metody skorelowanych wektorów. W tym przypadku metoda ta koreluje rangę glloadingów dla każdego podtestu WAIS z rangą tej samej korelacji testowej z istotą szarą. Odkryliśmy, że g odpowiada za wiele korelacji FSIQ z istotą szarą w przednim zakręcie obręczy (BA 24), czołowym (BA 8, 10, 11, 46, 47), ciemieniowym (BA 7, 40), skroniowym (BA 13, 20, 21, 37, 41) i kory potylicznej (BAs 17, 18, 19) (Colom i in., 2006b). Co więcej, w oddzielnej analizie znaleźliśmy prawie idealną liniową zależność między obciążeniem g każdego podtestu WAIS a ilością istoty szarej skorelowanej z każdym wynikiem podtestu (Colom i in., 2006a). W ten sposób dochodzimy do kolejnej ważnej uwagi. Testy IQ mają zalety standardowej baterii testów, ale wyniki łączą ogólny czynnik z innymi specyficznymi czynnikami. Tak więc pytanie, w jaki sposób inteligencja koreluje ze strukturą i funkcją mózgu, zależy od tego, czy pytanie dotyczy g, czy bardziej konkretnych zdolności umysłowych. Niespójne wyniki tych wczesnych badań prawdopodobnie wynikają z zamieszania w tej kwestii, a także z problemów związanych z pobieraniem próbek i analizą obrazu.

Obrazowanie dróg istoty białej za pomocą dwóch metod

Inny rodzaj strukturalnego MRI nazywa się obrazowaniem tensora dyfuzji lub DTI. W tym przypadku sekwencje MRI są optymalizowane w celu zobrazowania zawartości wody (tj. cząsteczek wodoru) we włóknach istoty białej, a w połączeniu ze specjalnymi algorytmami matematycznymi uzyskane obrazy pokazują bardzo szczegółowo drogi istoty białej. Miary DTI mogą ocenić gęstość i organizację dróg, które odnoszą się do tego, jak dobrze przesyłają sygnały. DTI to doskonała technika identyfikacji sieci mózgowych. Większość badań DTI dotyczących inteligencji jest nowszych i zostaną one szczegółowo omówione w następnej części. Tutaj odnotowujemy pierwsze badanie inteligencji DTI przeprowadzone przez Schmithorsta i współpracowników. Zbadano 47 dzieci w wieku od 5 do 18 lat. Po uwzględnieniu wieku i płci najsilniejsze korelacje między IQ a gęstością/organizacją włókien istoty białej stwierdzono w obszarach czołowych i ciemieniowych/tylnych. Zauważyli, że te wyniki były zgodne z badaniem Wilke, w którym wykorzystano metody VBM. Podobnie jak w przypadku innych wczesnych badań MRI, to jedno dodało ekscytacji związanej z wykorzystaniem nowych technik obrazowania do ilościowego określenia relacji między mózgiem a inteligencją. Podczas gdy DTI może określić ilościowo gęstość i organizację istoty białej, spektroskopia MR (MRS) może dokonać neurochemicznych oznaczeń integralności istoty białej, co jest kolejną miarą tego, jak dobrze sygnały są przesyłane przez włókna. Na przykład MRS może określić Nacetylasparaginian (NAA), marker gęstości i żywotności neuronów.

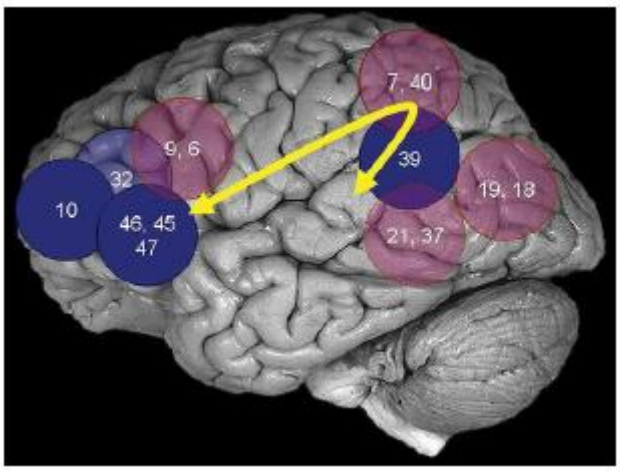
Wczesne metody MRS ograniczały się jednak do analizy pojedynczego woksela, więc nie można było badać całego mózgu na raz. Były trzy wczesne badania inteligencji z wykorzystaniem MRS. Grupa badawcza Junga przebadała 26 studentów college'u i umieściła woksel pomiarowy NAA w istocie białej leżącej u podstaw BA 39, 40 w lewym płacie ciemieniowym . Odkryli korelację między NAA i FSIQ wynoszącą 0,52. Powtórzyli i rozszerzyli te odkrycia w nowej próbie 27 studentów, gdzie ten sam region wykazywał korelację NAA/IQ, a regiony kontrolne w obustronnych płatach czołowych nie (Jung i in., 2005). Wykazali również, że korelacja NAA/IQ była wyższa w podpróbie kobiet. W trzecim badaniu wywiadowczym MRS inna grupa zgłosiła próbę 62 dorosłych w szerokim przedziale wiekowym (20–75 lat). Wyniki w podteście słownictwa wysokiego g w WAIS-R były skorelowane z NAA w wokselach leżących u podstaw lewych przednich BA 10 i 46 (r = 0,53) oraz lewych BA 24 i 32 (r = 0,56) w przednim zakręcie obręczy (Pfleiderer i in., 2004). Wszystkie te wczesne badania MRI struktury istoty szarej i białej były ekscytujące, ponieważ wykazały korelacje między różnymi wynikami testów psychometrycznych inteligencji i wymiernymi cechami mózgu, zarówno w określonych lokalizacjach, jak i w połączeniach między nimi. Ten zwiększony optymizm co do możliwości odkrycia nie tylko „gdzie" w mózgu znajdowała się inteligencja, ale także „jak" inteligencja jest powiązana z funkcjonowaniem mózgu.

Funkcjonalny MRI (fMRI)

Funkcjonalny MRI wykorzystuje parametry skanowania, które obrazują aspekty hemoglobiny w krwinkach czerwonych, ponieważ hemoglobina zawiera żelazo, a cząsteczki żelaza są dość wrażliwe na pola magnetyczne stosowane w MRI. Wykonywana jest sekwencja bardzo szybkich obrazów, tysiące na sekundę. Są one interpretowane jako pokazujące przepływ krwi w mózgu. Te obszary mózgu, które są najbardziej aktywne podczas zadania (często w porównaniu ze stanem spoczynku bez zadania) mają większy przepływ krwi; mniej aktywne obszary mają zmniejszony przepływ krwi. Podczas gdy skany glukozy PET pokazują akumulację aktywności mózgu w ciągu 32 minut, skany fMRI pokazują zmiany aktywności prawie sekunda po sekundzie. fMRI jest obecnie najczęściej stosowaną technologią obrazowania w badaniach psychologii poznawczej. Pierwsze badanie inteligencji z wykorzystaniem fMRI zostało przeprowadzone przez grupę z Uniwersytetu Stanforda. Użyli poszczególnych pozycji z testu Kruka wybranych dla trzech różnych typów rozumowania wymaganych do rozwiązania problemu. Odkryli, że przepływ krwi zwiększył się w obszarach czołowych i ciemieniowych mózgu, podczas gdy siedmiu młodych dorosłych (w wieku 23–30 lat) rozwiązało każdy element. Nie szukali korelacji między ilością aktywacji a wykonaniem zadania, ponieważ wykorzystano tylko kilka problemów i każda osoba odpowiedziała poprawnie na wszystkie pozycje. Z założenia eliminuje to indywidualne różnice w wykonywaniu zadań. Takie podejście jest typowe dla wielu badań kognitywnych, w których zasadniczo ignoruje się wszelkie indywidualne różnice między podmiotami związane z inteligencją. Niedawno toczyły się znakomite dyskusje na temat podejścia opartego na różnicach indywidualnych i jego potencjału w rozwoju badań obrazowania poznawczego. Mimo że do 2006 r. fMRI wykorzystano w setkach badań kognitywnych, tylko 17 badań obejmowało jakąkolwiek miarę inteligencji lub rozumowania. Spośród tych 17 badań fMRI, wszystkie z wyjątkiem trzech miały wielkość próby 16 lub mniej i było wiele zadań kontrolnych (lub brak jakiegokolwiek zadania kontrolnego w niektórych badaniach) oraz różne środki inteligencji / rozumowania. Żaden z pomiarów w tych wczesnych badaniach nie opierał się na zestawie testów służących do oszacowania współczynnika g. Niektóre z testów stosowanych w tych badaniach podczas obrazowania obejmowały pamięć roboczą , szachy , analogie , wzrokowe rozumowanie , rozumowanie dedukcyjne lub indukcyjne oraz generowanie czasowników . To ostatnie badanie było wyjątkowe ze względu na imponującą liczebność próby 323 dzieci (średnia wieku 11,8 lat, odchylenie standardowe 3,7). Biorąc pod uwagę wszystkie te różne ustalenia i metody we wczesnych badaniach, czy można zidentyfikować jakieś spójne wątki?

Teoria integracji ciemieniowo-czołowej (PFIT)

W grudniu 2003 r. po raz pierwszy naukowcy zajmujący się obrazowaniem zebrali się, aby omówić badania inteligencji. Uczestnikami byli Jeremy Gray, Vivek Prabhakaran, Rex Jung, Aljoscha Neubauer i Paul Thompson. Prezentacja Rexa Junga była przekonującym przeglądem kilku badań, które podkreślały rozproszoną naturę obszarów mózgu związanych z inteligencją. Opierając się na swoim doświadczeniu klinicznym jako neuropsycholog i swoich badaniach MRS dotyczących istoty białej i IQ, podkreślił również znaczenie połączeń istoty białej między najistotniejszymi obszarami mózgu. Było oczywiste, że on i ja mamy podobne zainteresowania, więc podjęliśmy się kompleksowego przeglądu całej literatury dotyczącej obrazowania mózgu/wywiadu. Napisanie recenzji zajęło nam ponad dwa lata, która została opublikowana w 2007 roku wraz z komentarzami innych badaczy . Od naszego pierwszego badania PET obejmującego zaledwie osiem osób w 1988 r. do większych badań fMRI do 2006 r. przeprowadzono 37 badań obrazowych inteligencji z różnych grup badawczych na całym świecie. Biorąc pod uwagę dużą rozbieżność metod i pomiarów oraz liczbę potencjalnie zaangażowanych obszarów mózgu, typowa metaanaliza nie była odpowiednia. Zamiast tego zastosowaliśmy metodę stosowaną do przeglądu pojawiającej się literatury z badań neuroobrazowania poznawczego. Dokonaliśmy przeglądu wyników strukturalnego MRI, wyników PET i wyników fMRI. Skoncentrowaliśmy się na ustaleniach wspólnych dla badań, niezależnie od różnych metod obrazowania i oceny. Kilka obszarów mózgu było wspólnych w 50% lub więcej z 37 badań. Może się to wydawać raczej słabą proporcją, ale jest podobna do proporcji znalezionych w przeglądzie dobrze kontrolowanych eksperymentów poznawczych Cabezy i Nyberga. Zidentyfikowane przez nas najistotniejsze obszary mózgu były rozmieszczone w całym mózgu, ale głównie w obszarach ciemieniowych i czołowych. Nazwaliśmy nasz model teorią integracji ciemieniowo-czołowej (PFIT) inteligencji. Należy zauważyć, że „Integracja" podkreśla, że komunikacja między najistotniejszymi obszarami była kluczem do modelu, ponieważ zawsze uznawaliśmy, że identyfikacja określonych obszarów mózgu była dopiero początkiem użytecznego modelu inteligencji mózgu. Kluczowe byłoby zrozumienie czasowych i sekwencyjnych interakcji między sieciami łączącymi te obszary. Ilustracja na pokazuje wszystkie obszary, które uwzględniliśmy w modelu.



Kółka przedstawiają obszary mózgu, a liczby odnoszą się do standardowej nomenklatury Brodmanna (BA). Zaproponowaliśmy, aby te obszary definiowały ogólną sieć mózgową i podsieci leżące u podstaw inteligencji. Większość obszarów znajduje się w płatach czołowych i ciemieniowych, niektóre w lewej półkuli (niebieskie kółka), a niektóre w obu półkulach (czerwone kółka). Główny ciąg włókien istoty białej (żółta strzałka) łączy płaty czołowe i ciemieniowe jak super autostrada. Nazywa się to łukowatym pęczkiem i zaproponowaliśmy, że jest to ważny trakt dla inteligencji. Obszary mózgu w naszym modelu reprezentują cztery etapy przepływu i przetwarzania informacji podczas rozwiązywania problemów i

rozumowania. Na etapie 1 informacje docierają do tylnych części mózgu przez kanały percepcji sensorycznej. Na etapie 2 informacja przepływa następnie do obszarów mózgu asocjacyjnych, które integrują odpowiednią pamięć, a na etapie 3 wszystko to przechodzi dalej do płatów czołowych, które rozważają zintegrowane informacje, ważą opcje i decydują o jakimkolwiek działaniu, tak więc na etapie W razie potrzeby angażowane są 4 obszary motoryczne lub mowy do działania. Jest mało prawdopodobne, aby był to ściśle sekwencyjny, jednokierunkowy przepływ. Złożone problemy prawdopodobnie wymagają wielu równoległych sekwencji między sieciami, ponieważ problem jest rozwiązywany w czasie rzeczywistym. Podstawową ideą jest to, że inteligentny mózg integruje informacje sensoryczne w obszarach tylnych, a następnie informacje są dalej integrowane z przetwarzaniem wyższego poziomu, gdy przepływają do obszarów przednich. PFIT sugeruje również, że żadna osoba nie musi mieć zaangażowanych wszystkich tych obszarów, aby być inteligentna. Kilka kombinacji może dawać ten sam poziom ogólnej inteligencji, ale z różnymi mocnymi i słabymi stronami innych czynników poznawczych. Na przykład dwie osoby mogą mieć to samo IQ lub poziom g, ale jedna wyróżnia się rozumowaniem werbalnym, a druga matematycznym. Oba mogą mieć wspólne obszary PFIT, ale prawdopodobnie będą się różnić w innych obszarach. Badania poznawcze pokazują, że niektóre obszary mózgu PFIT są związane z pamięcią, uwagą i językiem, co sugeruje, że inteligencja opiera się na integracji tych podstawowych procesów poznawczych. Nasza hipoteza jest taka, że indywidualne różnice w inteligencji, czy to współczynnik g, czy inne specyficzne czynniki, są zakorzenione zarówno w charakterystyce strukturalnej określonych obszarów PFIT, jak iw sposobie przepływu informacji wokół tych obszarów. Niektórzy ludzie będą mieli więcej istoty szarej w ważnych obszarach lub więcej włókien istoty białej łączących obszary, a niektórzy ludzie będą mieli bardziej wydajny przepływ informacji wokół obszarów PFIT. Te cechy mózgu sprawiają, że niektóre osoby osiągają wyższe wyniki w testach inteligencji i zdolności umysłowych, a inne osoby są mniej wydajne i mniej dobre w rozwiązywaniu problemów. To, jak mogą rozwinąć się istotne cechy mózgu, jest osobną kwestią dla przyszłych badań podłużnych dzieci i młodzieży. W następnym rozdziale przyjrzymy się nowszym metodom obrazowania, które pokazują milisekundowe zmiany w przepływie informacji w mózgu, dzięki czemu można przetestować hipotezy dotyczące wydajnego przepływu informacji i inteligencji. Podczas formułowania PFIT nie byliśmy świadomi podobnej recenzji opublikowanej w rozdziale książki przez dwóch psychologów poznawczych (Newman i Just, 2005). Autorzy ci preferowali również rozproszoną sieć inteligencji, a nie model skoncentrowany tylko w płacie czołowym. Ponadto zwrócili uwagę na znaczenie połączeń istoty białej między obszarami mózgu. Wydajny przepływ informacji i znaczenie obciążenia obliczeniowego były głównymi cechami ich modelu. Niezależnie doszliśmy do podobnych widoków, chociaż przyszliśmy z różnych perspektyw. Ich prace są wymienione na końcu tego rozdziału w sekcji Dalsze lektury. Gorąco polecam. Jest jeszcze jedna rzecz, o której należy wspomnieć. Wiele obszarów istoty szarej i białej związanych z IQ po raz pierwszy zgłoszonych w tych badaniach fazy pierwszej, które przyczyniły się do PFIT, wydaje się być do pewnego stopnia pod kontrolą genetyczną i omówimy te i nowsze, jeszcze bardziej przekonujące odkrycia w następnym rozdziale w badaniach, które łączą zaawansowaną analizę genetyczną, w tym DNA, i neuroobrazowanie w bardzo dużych próbkach. Od czasu opublikowania naszego przeglądu 37 badań w 2007 r. przeprowadzono ponad 100 dodatkowych badań obrazowych inteligencji przeprowadzonych przez grupy badawcze z całego świata, ponieważ coraz więcej badaczy docenia powiązania między ogólną inteligencją a podstawowymi procesami poznawczymi. Odnosimy się do tych badań po 2006 roku jako do fazy drugiej w zastosowaniu neuroobrazowania do badań nad inteligencją (Haier, 2009a). Ta nowa fala badań obejmuje wiele bardziej wyrafinowanych w odniesieniu do dużych, reprezentatywnych próbek, wielu miar inteligencji w celu oszacowania współczynnika g oraz zaawansowanych technik analizy obrazu, które obejmują lepsze metody pomiaru anatomicznego i lokalizacji. W następnym rozdziale szczegółowo omówimy ważne badania fazy drugiej.

Mózg Einsteina

Pokrótce zwrócę uwagę na mózg Einsteina. Został usunięty po jego śmierci i przechowywany w słoiku przez lekarza, który trzymał go w domu, a następnie w swoim samochodzie, gdy podróżował po kraju. Nie chciał się nim dzielić, ale w końcu próbki zostały udostępnione naukowcom. Główne odkrycia , nie bez problemów technicznych, które mogły wpłynąć na interpretację wyników, były takie, że mózg Einsteina wykazywał więcej tkanki i więcej neuronów komórki w tylnej części mózgu. Obszar ten był prawie tym samym obszarem ciemieniowym, w którym mężczyźni wykazywali korelacje z IQ, a kobiety nie. Szczegółowa analiza zdjęć mózgu Einsteina sugerowała również różnice w obszarach czołowych i ciemieniowych. Wszystko, czym mózg Einsteina może różnić się od innych mózgów, jest z natury interesujące, ale być może najbardziej niezwykłą rzeczą w jego mózgu jest to, że nie jest on aż tak niezwykły z analizy czysto anatomicznej. W rzeczywistości podczas sekcji zwłok często zdarza się, że osoba, która miała IQ poniżej 70, może nie mieć żadnych niezwykłych anatomicznych cech mózgu, które odróżniałyby ją od mózgów osób o wysokim IQ. Właśnie dlatego funkcjonalne neuroobrazowanie i ilościowa analiza obrazu dostarczyły wielu nowych spostrzeżeń. W pierwszej fazie stosowania nowych technologii neuroobrazowania medycznego badacze wywiadu mieli ograniczony dostęp do drogiego sprzętu, a pierwsze badania charakteryzowały się małymi próbkami, pojedynczymi pomiarami inteligencji i podstawowymi metodami analizy obrazu, które często ignorowały różnice indywidualne. Niemniej jednak powolny, ale stały postęp w latach 1988-2006 umożliwił przegląd literatury na podstawie 37 badań, z których wywnioskowano, że istnieje skończona liczba możliwych do zidentyfikowania obszarów rozmieszczonych w mózgu, których struktura i / lub funkcja były powiązane z wynikami testów inteligencji i rozumowania. Druga faza badań obrazowania/inteligencji opiera się na tych odkryciach za pomocą zaawansowanych metod, a rozdział 4 koncentruje się na najnowszych postępach.

Podsumowanie

Przedstawiono wczesną historię neuroobrazowania badań nad inteligencją, okres od 1988 do 2006 roku, który nazywamy fazą pierwszą, które wskazywały na zaskakujące wyniki. Od pierwszych badań dla większości badaczy było oczywiste, że inteligencja nie koncentruje się wyłącznie w płatach czołowych, ale obejmuje sieci rozmieszczone w całym mózgu. Zaskakującym wczesnym odkryciem była odwrotna korelacja między wynikami testów inteligencji a aktywnością mózgu określoną przez tempo metabolizmu glukozy, co sugeruje hipotezę, że sprawny przepływ informacji jest elementem wyższej inteligencji. Badania obrazowe wykazały, że nie wszystkie mózgi pracowały w ten sam sposób. Różnice indywidualne wymagały zbadania, a nie ignorowania ich podczas uśredniania danych grupowych. Pomimo ograniczeń badań fazy pierwszej, niektóre spójne wyniki z różnych badań sugerowały teorię integracji ciemieniowo-czołowej inteligencji, która podkreślała zarówno cechy strukturalne, jak i funkcjonalne określonych obszarów mózgu oraz połączenia między nimi.

Przejrzyj pytania

1. Wyjaśnij różnicę między neuroobrazowaniem strukturalnym i funkcjonalnym.

2. Jakie są główne różnice między technologiami PET i MRI?

3. Na czym opiera się hipoteza inteligencji o wydajności mózgu?

4. Jakie są dowody na istnienie „centrum inteligencji” w mózgu?

5. Wymień kluczowe ograniczenia wczesnych badań inteligencji za pomocą obrazowania mózgu.

50 odcieni szarej materii: mózgowy obraz inteligencji jest wart tysiąca słów

Wstęp

Wszelkie utrzymujące się wątpliwości, że inteligencja jest bogatym tematem dla neuronauki, powinny zostać rozwiane, biorąc pod uwagę badania genetyczne i neuroobrazowe opisane w poprzednich dwóch rozdziałach. Jeśli nie, proszę zawiesić wszelkie pozostałe niedowierzanie do końca , w którym opisano jeszcze bardziej przekonujące ustalenia. Pochodzą one z najnowszych badań neuroobrazowych, w tym uzyskanych w połączeniu z metodami genetycznymi. Obejmujemy badania dorosłych i dzieci, pacjentów z uszkodzeniami mózgu oraz wprowadzamy bardziej zaawansowane metody akwizycji i analizy obrazów mózgu. Badania te nadal intrygują i motywują badaczy na całym świecie do wprowadzania technologii oceny do jeszcze większej precyzji, zwiększania wielkości próbek do wcześniej niewyobrażalnych poziomów i oferowania nowych, dających się przetestować hipotez dotyczących inteligencji i mózgu. Jedno słowo ostrzeżenia: większość badań w ostatnim rozdziale i wiele w tym rozdziale ma rozmiary próby, które są zbyt małe, aby można je było interpretować rozstrzygająco. Pamiętaj o naszym drugim prawie – żadne badanie nie jest ostateczne. Ponieważ ta dziedzina nadal dojrzewa, rozmiary próbek rosną dość dramatycznie. Z biegiem czasu ciężar dowodów zawsze faworyzuje badania z wystarczającymi rozmiarami próbek, które maksymalizują stabilność wyników i minimalizują niewiarygodne. Dotyczy to zwłaszcza wczesnych badań mających na celu identyfikację potencjalnych genów związanych z inteligencją. Włączam takie badania dla kontekstu historycznego i dla zilustrowania ewolucji ciężaru dowodów. Ramy PFIT sugerowały, że inteligencja była powiązana z 14 określonymi obszarami rozmieszczonymi w mózgu. Obszary te tworzyły szeroką sieć komunikacji czołowo-ciemieniowej wraz z podsieciami obejmującymi kilka innych obszarów skroniowych i potylicznych. Sposób przepływu informacji przez te sieci został zaproponowany jako podstawa indywidualnych różnic w zdolnościach umysłowych, a zwłaszcza współczynnika g. Model sugerował również, że osoby o tym samym IQ mogą osiągnąć swój poziom g z różnych kombinacji obszarów PFIT. Innymi słowy, może istnieć wiele, nawet zbędnych, neuro-ścieżek prowadzących do współczynnika g, tak jak istnieje wiele tras prowadzących z Nowego Jorku do Los Angeles. Postawiono hipotezę, że efektywny przepływ informacji, przez dowolne podsieci, które są istotne dla danej osoby, wiąże się z wysokim g, a podsieci PFIT postawiono hipotezę, że odnoszą się do wzorca mocnych i słabych zdolności umysłowych danej osoby. W momencie proponowania PFIT w 2007 r. testowanie tych hipotez było trudne. Metody neuroobrazowania i analizy były ograniczone pod względem ich zdolności do oceny strukturalnych lub funkcjonalnych połączeń sieciowych mózgu oraz tego, jak dobrze informacje były przetwarzane w sieciach podczas rozwiązywania problemów. Ten stan rzeczy poprawił się szybko i radykalnie w badaniach nad inteligencją dzięki zastosowaniu nowych matematyczno-statystycznych sposobów oceny połączeń między obszarami mózgu, nowych technik analizy obrazu w celu oceny integralności transmisji informacji w istocie białej oraz zastosowaniu magneto- technologia encefalogramu (MEG) do dynamicznej oceny obszarów aktywności neuronów co milisekundę podczas wykonywania zadania poznawczego. Zwiększając tempo badań nad inteligencją, neuroobrazowanie jest obecnie łączone z metodami genetycznymi w kilku dużych konsorcjach. Te postępy są głównym tematem. Istnieje co najmniej 50 ostatnich badań neuroobrazowych do wyboru, które ilustrują rozmach tych postępów w badaniach nad inteligencją. Nie możemy podsumować ich wszystkich, ale zacznijmy od kilku kluczowych badań dotyczących połączeń sieciowych mózgu i tego, co odkryli. Badania te są przedstawione głównie w porządku chronologicznym, tak aby historia została opowiedziana zgodnie z jej rozwojem. Wszystkie badania opisane w tym rozdziale dotyczą wielu obszarów mózgu. Postanowiłem uwzględnić najważniejsze z nich dla kompletności. Uzyskasz wystarczające wyczucie ogólnych ustaleń bez zapamiętywania tych obszarów. Podczas czytania pomocne może być odwołanie się do map obszarów mózgu na tych rysunkach

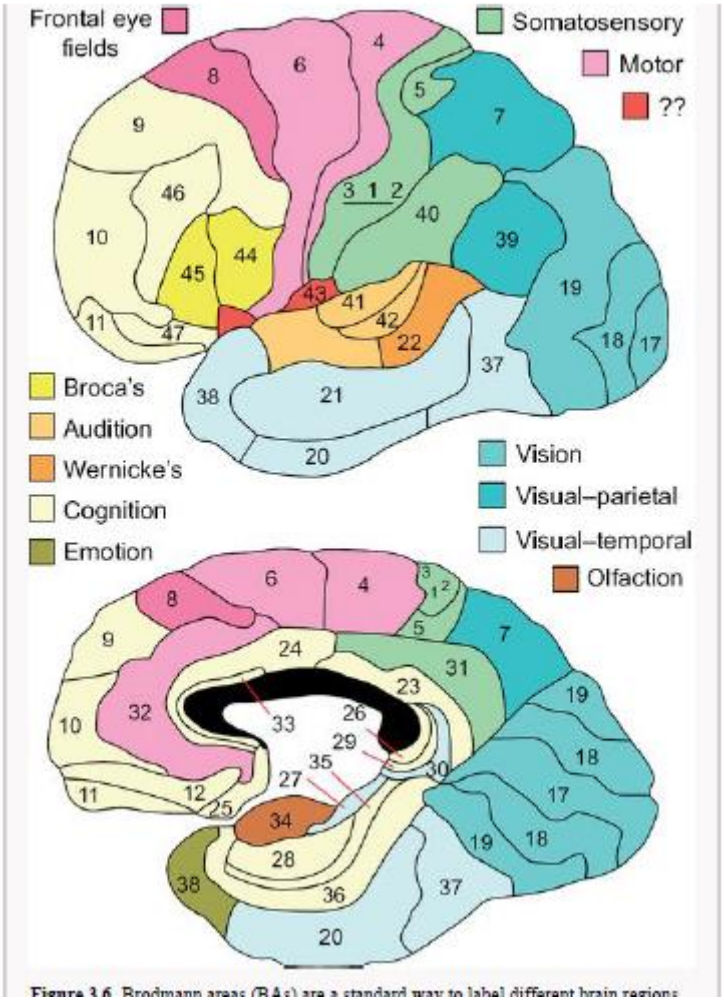
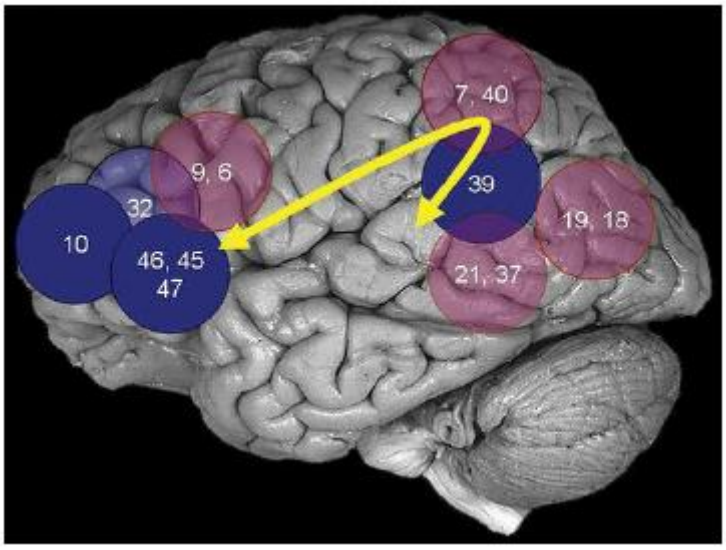


Figure 3.6 Brodmann areas (BAs) are a standard way to label different brain regions

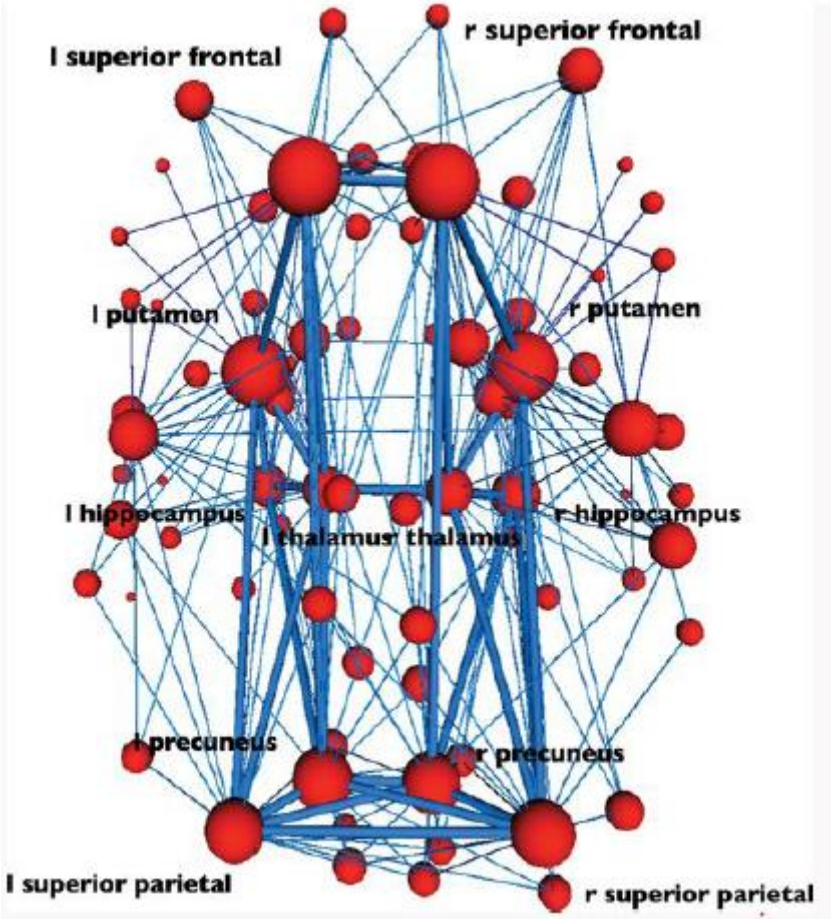


Sieci mózgowe i inteligencja

Każdy obraz mózgu składa się z wielu tysięcy małych wokseli. Jak wyjaśniono w poprzednie4j sekcji, każdemu wokselowi przypisywana jest wartość oparta na rodzaju użytego obrazowania. W badaniach FDG PET opisanych w poprzednim rozdziale wartością było tempo metabolizmu glukozy. W strukturalnym MRI wartością może być gęstość istoty szarej lub istoty białej. W fMRI wartość opiera się na przepływie krwi. Aby określić, w jaki sposób jeden obszar mózgu może być powiązany ze wszystkimi innymi obszarami mózgu, można obliczyć korelacje między dowolnym pojedynczym wokselem lub grupą wokseli, definiując obszar zainteresowania (ROI) i wszystkie inne woksele (lub ROI) w całym mózgu. Początkowy woksel nazywany jest „ziarnem". Wiele nasion można umieścić w dowolnym miejscu, w którym chcą naukowcy, w zależności od testowanej hipotezy. Wzór korelacji wskazuje, w jaki sposób obszary nasion są połączone z innymi obszarami mózgu. Połączenia są statystyczne i mogą, ale nie muszą, odzwierciedlać rzeczywiste połączenia anatomiczne. Ten rodzaj analizy łączności zastosowano do danych fMRI u 59 osób, które również ukończyły test WAIS IQ (Song i in., 2008). Zwykle fMRI przeprowadza się, gdy uczestnicy wykonują zadanie poznawcze. Ponieważ różne badania wykorzystują różne zadania poznawcze, porównywanie wyników jest często problematyczne, ponieważ każde zadanie ma swoje własne wymagania poznawcze, które obejmują różne obszary mózgu. W tym przypadku łączność funkcjonalną określono za pomocą danych fMRI uzyskanych podczas stanu spoczynku. Innymi słowy, podczas uzyskiwania danych fMRI nie wykonano żadnego zadania poznawczego. Pomysł polegał na sprawdzeniu, czy aktywność mózgu w spoczynku może ujawnić funkcjonalne powiązania związane z IQ. Spójny wzorzec aktywności mózgu w stanie spoczynku został scharakteryzowany jako „sieć domyślna". Oznacza to, że wzorzec aktywności mózgu, gdy osoba nie jest zaangażowana w zadanie poznawcze, jest zwykle stabilnym wzorcem utrzymania obejmującym określone obszary mózgu, a nie całkowicie przypadkowym wzorcem nieskorelowanej, chaotycznej aktywności. W tym badaniu nasiona umieszczono w części płatów czołowych odpowiadającej miejscu, w którym spotykają się obszary Brodmanna (BA) 46 i 9 (patrz PFIT); jedno ziarno znajdowało się na każdej półkuli. W pierwszym etapie analiz funkcjonalną łączność między nasionami a resztą mózgu w stanie spoczynku określono statystycznie, korelując wartość przepływu krwi w nasionach z wartościami przepływu krwi we wszystkich innych wokselach. Zidentyfikowano kilka statystycznie istotnych powiązań. Zgodnie z oczekiwaniami, niektóre połączenia między nasionami czołowymi a innymi obszarami mózgu były silniejsze niż inne (tj. silniejsze korelacje). W drugim kroku siła powiązań została skorelowana z wynikami IQ. Najsilniejsze korelacje IQ dotyczyły powiązań między obszarami odnotowanymi w modelu PFIT. Co więcej, badanie to wykazało, że indywidualne różnice w domyślnej aktywności sieciowej w stanie spoczynku były związane z IQ. Wkrótce potem w kilku badaniach odnotowano zastosowanie lepszej metody statystycznej do wnioskowania o sieciach mózgowych i ich związku z inteligencją. Metodę tę nazywa się analizą grafów , bardziej wyrafinowanym podejściem matematycznym, które określa, w jaki sposób każdy woksel (zwany także węzłem w analizie grafów) jest skorelowany ze wszystkimi innymi wokselami i jak silny jest połączenia są (połączenia nazywane są krawędziami). Analizy wykresów mogą być obliczane na podstawie danych obrazowania strukturalnego lub funkcjonalnego. Niektóre węzły są koncentratorami z wieloma połączeniami z innymi węzłami. Sieci w mózgu są zwykle połączeniami „małego świata", ponieważ większość połączeń skupia się wokół sąsiednich obszarów mózgu lub „sąsiedztw". Istnieją również połączenia między bardziej odległymi regionami mózgu za pośrednictwem połączonych ze sobą węzłów; są to tzw. kluby bogatych (van den Heuvel i in., 2012). Sieci małych światów zwykle pozwalają na bardziej wydajną transmisję informacji na krótsze odległości przy mniejszej liczbie okablowania (włókna istoty białej), a bogate kluby sprzyjają szybszej komunikacji w bardziej odległych obszarach mózgu. Sieci te rozwijają się w różnym czasie iw różnym tempie, od niemowlęctwa do wczesnej dorosłości. Czynniki wpływające na rozwój sieci nie są jeszcze poznane, ale prawdopodobnie są związane z indywidualnymi różnicami w zdolnościach poznawczych. Analiza wykresów jest przedstawiona w ramce tekstowej 4.1.

Ramka 4.1: Analiza wykresów

Analiza wykresów jest narzędziem matematycznym używanym do modelowania połączeń mózgowych i wnioskowania o sieciach. Chodzi o to, aby ustalić, w jaki sposób każdy woksel w obrazie mózgu jest skorelowany ze wszystkimi innymi wokselami w całym mózgu. Te połączenia, zwane krawędziami, można obliczyć dla obrazów strukturalnych lub funkcjonalnych. Woksel lub grupa wokseli, które wykazują korelacje z wieloma innymi wokselami, nazywana jest koncentratorem. Huby, które wykazują korelacje z wieloma innymi hubami, nazywane są bogatymi klubami. Siła każdego połączenia jest określana przez wielkość korelacji między wokselami lub koncentratorami. Wydajność dowolnego połączenia można oszacować, określając jego długość. Większość mózgu ma łączność lokalną, ponieważ wiele pobliskich wokseli jest połączonych ze sobą za pośrednictwem węzła sąsiedztwa. Zapewnia to sprawne przesyłanie informacji. Bogate kluby łączą bardziej odległe obszary mózgu, co umożliwia szybszą komunikację. Ilustruje to rysunek autorstwa van den Heuvel i Sporns (2011).

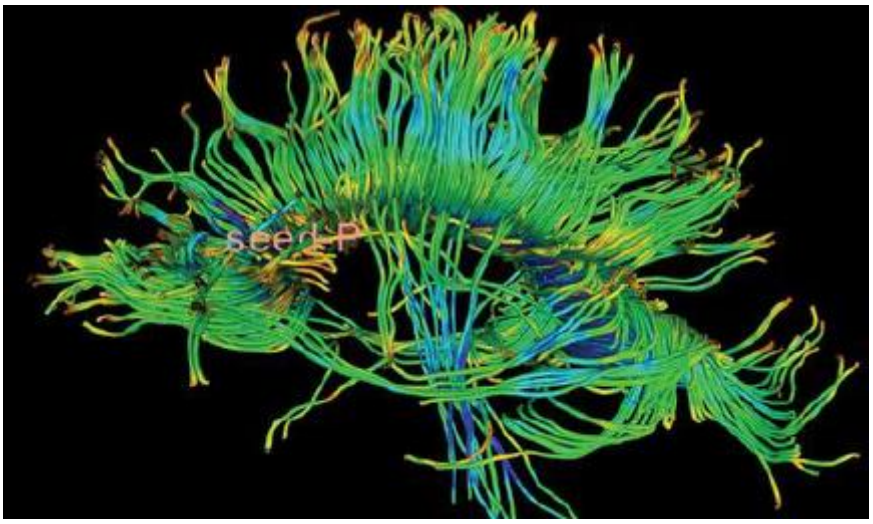


Wyniki testów psychometrycznych można skorelować z siłą węzłów i połączeń, aby wskazać, które sieci mózgowe są powiązane z inteligencją.

Van den Heuvel i jego współpracownicy zastosowali analizę wykresów do danych fMRI zebranych podczas stanu spoczynku na małej próbie 19 dorosłych . Obliczyli miarę globalnej efektywnej komunikacji między wieloma obszarami mózgu na podstawie całkowitej długości połączeń szlaków. Miara ta była odwrotnie skorelowana z wynikami IQ. Innymi słowy, wyższe wyniki IQ były związane z krótszymi ścieżkami wskazującymi na większą efektywność przekazywania informacji w całym mózgu. Długość ścieżki połączeń czołowo-ciemieniowych miała najsilniejsze odwrotne korelacje z IQ. Podobnie inna grupa przedstawiła analizę wykresów ukierunkowaną konkretnie na domyślną sieć i różnice między podgrupami o wysokim i średnim IQ (N = 59). Oni również odkryli, że różnice w ogólnej

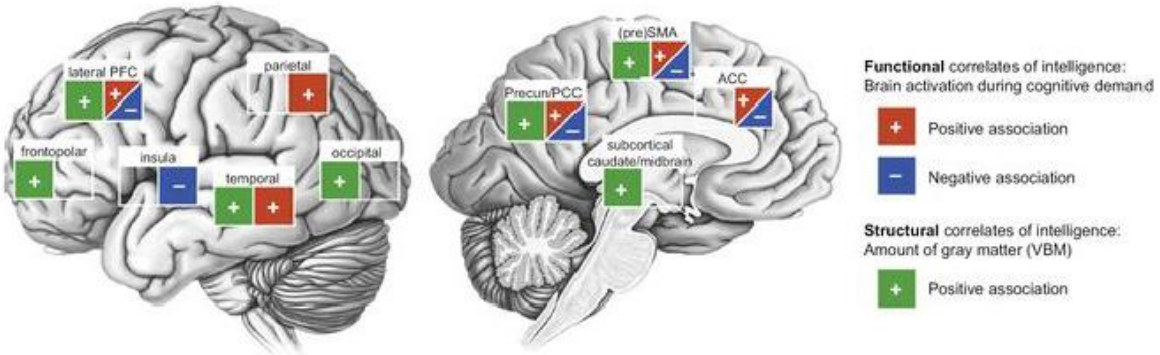
globalnej wydajności połączeń w sieci domyślnej były związane z IQ. Grupa o wysokim IQ wykazała się większą wydajnością. Inna grupa badawcza przedstawiła analizę wykresów globalnej wydajności przy użyciu fMRI uzyskaną od 120 uczestników). Po analizie całego mózgu stwierdzili, że wydajne połączenia obejmujące tylko lewą grzbietowo-boczną korę przedczołową z innymi połączeniami czołowo-ciemieniowymi były skorelowane z wynikami testów inteligencji. Inni badacze wykorzystali analizę wykresów danych EEG w stanie spoczynku u 74 uczestników i stwierdzili, że wydajne połączenia skupione w płacie ciemieniowym były najbardziej skorelowane z wynikami testów inteligencji. Santarnecchi i współpracownicy wykorzystali również analizę wykresów opartą na danych fMRI stanu spoczynku uzyskanych od 207 osób w szerokim przedziale wiekowym i stwierdzili, że wyniki IQ były powiązane z połączeniami rozmieszczonymi w mózgu, w tym obszarami PFIT . Odkryto zarówno silną łączność lokalną, jak i słabą łączność odległą, ale ich badanie dodało nową i zaskakującą obserwację: IQ było bardziej związane z siłą słabszych połączeń długodystansowych niż z silniejszymi połączeniami krótszymi. Badacze ci zgłosili również całkiem sprytny eksperyment wykorzystujący analizę wykresów i „uszkodzenia" stworzone matematycznie. Najpierw skonstruowali miarę odporności mózgu w oparciu o funkcjonalną łączność powiązaną z wynikami IQ. Następnie testowali wpływ „uszkodzeń" na określone obszary lub na obszary przypadkowe . Doszli do wniosku, że wyższa inteligencja była związana z odpornością mózgu na ukierunkowane uszkodzenia i że kluczowe obszary były zgodne z PFIT. Na poparcie tego ogólnego wniosku przypomnijmy sobie z, że gen Val/Met powiązany z BDNF może odgrywać rolę w zachowaniu IQ po urazowym uszkodzeniu mózgu. Korzystając z tej samej próbki 207 i danych fMRI, ta sama grupa zgłosiła inny rodzaj analizy łączności w oparciu o funkcjonalne korelacje między tymi samymi obszarami mózgu w prawej i lewej półkuli. Nazywa się to łącznością homotopową, a wyniki były sprzeczne z intuicją. Wyższe IQ było skorelowane z obszarami mózgu, które wykazują słabszą łączność homotopową między półkulami, co sugeruje, że zmniejszona komunikacja między półkulami jest związana z wyższą inteligencją. Kilka obszarów homotopicznych jest uwzględnionych w PFIT, ale to badanie dodaje nowy wymiar komunikacji między półkulami. Odnotowano również różnice wiekowe i płciowe. Na przykład kobiety o wyższym IQ wykazywały mniejszą łączność homotopową w korze przedczołowej i tylnych obszarach linii środkowej. Młodsi uczestnicy (poniżej 25 roku życia) z wyższym IQ również wykazywali zwiększone wzorce połączeń homotopowych. Te analizy wieku i płci przeprowadzono na mniejszych podpróbach, więc należy je traktować z ostrożnością, ale ilustrują one potencjalne znaczenie rutynowego stosowania tych zmiennych. Ponieważ wyniki opierają się na danych ze stanu spoczynku, można się zastanawiać, czy funkcjonalne relacje homotopowe z IQ mogą być jeszcze silniejsze, jeśli zostaną oparte na fMRI podczas zadania poznawczego. Nie zastanawiaj się dłużej. W badaniu z 2014 r., w którym wzięło udział 79 uczestników, sieci zostały zidentyfikowane zarówno na podstawie fMRI w stanie spoczynku, jak i fMRI podczas rozwiązywania problemów z pozycji z testu Ravena. Jest to jak dotąd jedyne obrazowe badanie inteligencji, w którym zbadano zarówno stan spoczynku, jak i warunki aktywacji zadania u tych samych osób. Łączność została określona za pomocą techniki statystycznej zwanej analizą składowych niezależnych przed analizą homotopową opisaną później. Łączność funkcjonalna podczas rozwiązywania problemów nakładała się na łączność funkcjonalną w stanie spoczynku. Nakładające się sieci były zgodne z PFIT. Ramy PFIT otrzymały również silne wsparcie ze strony innych metod analiz połączeń mózgowych na podstawie wokseli, jak i z perspektywy ewolucyjnej oraz perspektywy rozwojowej ; obie perspektywy podkreślają znaczenie łączności ciemieniowej / czołowej dla zdolności rozumowania. Hipoteza PFIT dotycząca podsieci leżących u podstaw różnych funkcji poznawczych uzyskała silne poparcie w eksperymentach wykorzystujących zadania rozumowania niewerbalnego podczas standardowego fMRI. Ogólnie rzecz biorąc, jasne jest, że wyniki licznych analiz sieci, które wykorzystują różne metody, są zasadniczo zbieżne i potwierdzają istnienie sieci związanych z inteligencją, które są rozproszone w mózgu. Ustalenia są ogólnie zgodne z ramami PFIT, chociaż ramy te podlegają modyfikacjom i dopracowaniom, a nawet obaleniu, w miarę pojawiania się nowych

danych. Wiele analiz identyfikuje sieci matematycznie, niezależnie od rzeczywistej anatomii mózgu. Włókna istoty białej to namacalne jednostki strukturalne mózgu, które przekazują informacje z jednego obszaru do drugiego. Rysunek przedstawia włókno istoty białej w całym mózgu, jak określono za pomocą DTI.



Grubość ciała modzelowatego została powiązana z inteligencją . Jedna grupa badaczy przedstawiła analizę wykresów w szczególności połączeń istoty białej w celu oceny wydajności mózgu. W poprzednim rozdziale przedstawiliśmy DTI jako specjalną odmianę MRI, która ocenia integralność istoty białej. Grupa Li zastosowała DTI u 79 młodych dorosłych. Wśród innych odkryć globalna wydajność istoty białej była większa w podgrupie o wysokim IQ. Doszli do wniosku, że „… wyższe wyniki inteligencji odpowiadały krótszej charakterystycznej długości ścieżki i wyższej ogólnej wydajności sieci, co wskazuje na bardziej wydajny równoległy transfer informacji w mózgu… Nasze odkrycia sugerują, że wydajność strukturalnej organizacji mózgu może być ważnym czynnikiem biologicznym podstawą inteligencji". Inna grupa badawcza oceniła istotę białą za pomocą DTI w wieku 420 lat dorosłych . Nie stwierdzili, aby jakikolwiek przewód istoty białej był silnie skorelowany z wynikami inteligencji. Zgłosili jednak, że 10% wariancji wyników testów inteligencji można wytłumaczyć ogólnym czynnikiem globalnej integralności istoty białej obliczonym na podstawie wszystkich połączonych dróg. Efekt ten był w całości spowodowany czynnikiem szybkości przetwarzania informacji. Inna grupa zgłosiła podobne wyniki u dorosłych w średnim i starszym wieku. Inni badacze obliczyli korelacje istoty białej/inteligencji osobno dla mężczyzn i kobiet w małej próbie 40 młodych dorosłych. Wzorzec korelacji z IQ różnił się między płciami. Chociaż liczebność ich próbek była zbyt mała, aby można było je uogólnić, z perspektywy różnic indywidualnych i znanych różnic płciowych w mózgu istnieje silny argument przemawiający za tym, aby zawsze obliczać oddzielne analizy dla mężczyzn i kobiet, zwłaszcza gdy obie grupy są dopasowane pod względem inteligencji. Inny rodzaj badania, który bada sieci mózgowe, opiera się na pacjentach z uszkodzeniami mózgu i wzorcem wynikających z nich deficytów poznawczych. Przed pojawieniem się neuroobrazowania badanie pacjentów z uszkodzeniami mózgu było głównym, choć niedokładnym, źródłem danych do wnioskowania o związkach mózg/inteligencja. Neuroobrazowanie rozwinęło to podejście, dostarczając dokładnej lokalizacji zmian chorobowych i mapując korelacje między deficytami wyników testów poznawczych a parametrami mózgu. Na przykład Glascher i współpracownicy ocenili podstawowe czynniki inteligencji, w tym g, w próbie 241 pacjentów neurologicznych z uszkodzeniem mózgu. Głównym odkryciem było to, że uszkodzenie w obszarach czołowych i ciemieniowych było związane z deficytami czynnika g i że inne czynniki inteligencji (rozumienie werbalne, organizacja percepcyjna i pamięć robocza) wykazywały

deficyty, gdy uszkodzenie wystąpiło w różnych częściach sieci czołowo-ciemieniowej. Relacje mózg/inteligencja zostały również przetestowane przez innych badaczy za pomocą strukturalnego MRI, fMRI i DTI na małej próbie osób z zespołem Shwachmana-Diamonda, rzadkim zaburzeniem genetycznym charakteryzującym się częściowo różnymi zaburzeniami poznawczymi. Odkryli nieprawidłowości w mózgu zgodne z PFIT. Jak widzimy, ramy PFIT uzyskały wsparcie w wielu badaniach, a nowe dane zapewniają pewne potencjalne udoskonalenia. Na przykład jedna grupa badawcza rozszerzyła neuroobrazowanie poza korę do obszarów podkorowych. Przeanalizowali kształt kilku struktur podkorowych na podstawie MRI u 104 młodych dorosłych, którzy ukończyli zestaw testów poznawczych. Wyniki płynnej inteligencji, silnie skorelowane z czynnikiem g, były związane z morfologią jądra półleżącego, jądra ogoniastego i skorupy, wszystkie tylko w prawej półkuli. Obszary te oraz morfometria wzgórza były również związane z czynnikiem inteligencji wzrokowo-przestrzennej. Inne badanie wykazało, że objętości w zwojach podstawy były skorelowane z różnymi czynnikami inteligencji i istniały pewne różnice między płciami. Oba te badania wymagają replikacji, ale rozszerzają ramy PFIT na obszary podkorowe. Istnieją również dowody dotyczące PFIT u dzieci. Jedno nowe badanie donosi, że wydajne strukturalne sieci mózgowe związane z PFIT są powiązane z rozumowaniem percepcyjnym i jedną miarą wysokiego obciążenia w próbie 99 dzieci w wieku 6–11 lat (Kim i in., 2016). W obszernym raporcie niemiecka grupa naukowców przeprowadziła szczegółową metaanalizę badań neuroobrazowania inteligencji do 2014 r., której wyraźnym celem było przetestowanie PFIT . W swojej ostatecznej analizie wzięli pod uwagę tylko badania, w których można było bezpośrednio ocenić indywidualne różnice w inteligencji; wykluczono badania średnich porównań grup. Jung i Haier uwzględnili oba rodzaje badań, a ich analiza PFIT była oparta na jakościowej ocenie obszarów wspólnych dla wszystkich badań. Niemiecka grupa porównała wyniki obrazowania strukturalnego i funkcjonalnego w empirycznej analizie woksel po wokselu (VBM, jak opisano w rozdziale 3), aby zidentyfikować wspólne obszary mózgu związane z inteligencją w 28 badaniach obejmujących łącznie ponad 1000 uczestników. Doszli do wniosku, że wyniki ogólnie potwierdzają pierwotne zaangażowanie sieci ciemieniowo-czołowej. Znaleźli również dowody sugerujące rewizję PFIT w celu uwzględnienia obszarów tylnego zakrętu obręczy / przedklinka, jądra ogoniastego i śródmózgowia. Ich zmienione ramy przedstawiono na rysunku.



Te sugerowane zmiany wymagają replikacji. Podczas gdy PFIT był dobrym początkiem, potrzebny jest bardziej zaawansowany model, aby można było przetestować bardziej szczegółowe prognozy. Ramy, takie jak oryginalny i poprawiony PFIT, mają problemy koncepcyjne związane z poleganiem na korelacjach, których zasadniczo nie da się zinterpretować w odniesieniu do przyczyny i skutku między

pomiarami mózgu a pomiarami poznawczymi. Jedną z obiecujących możliwości zajęcia się tym ograniczeniem, która może przyspieszyć badanie „neuro-g", może być wykorzystanie analiz opartych na wielu wskaźnikach i wielu przyczynach . Te zaawansowane podejścia statystyczne, zbyt złożone, aby je tutaj szczegółowo opisywać, mogą generować bardziej szczegółowe hipotezy dotyczące zmiennych mózgowych i są szczególnie ważne w przypadku dużych zbiorów danych. Oferują możliwość wyjaśnienia ciężaru dowodów dotyczących tego, w jaki sposób fizjologia mózgu odnosi się konkretnie do pomiarów poznawczych, zwłaszcza do identyfikacji różnych zmiennych mózgowych istotnych dla indywidualnych różnic w wynikach testów poznawczych . W tym momencie może być to trudne i mylące, pamiętając o wszystkich różnych obszarach mózgu związanych z inteligencją. Znam to uczucie. Oto coś, co pomoże. Byłoby miło mieć tabelę pokazującą każdy obszar Brodmanna i co robi ten obszar. Kiedyś istniały takie tabele, ale w miarę udostępniania większej ilości danych stało się jasne, że jeden obszar zwykle jest zaangażowany w więcej niż jedną funkcję. Zostało to zaobserwowane dla czynnika g we wczesnych badaniach neuropsychologicznych pacjentów z uszkodzeniami , a ostatnio sformalizowane jako teoria wielu żądań. Jak więc może być pomocny brak prostej zgodności między jednym obszarem mózgu a jedną funkcją poznawczą? Czy to nie pogarsza złożonej sytuacji? I jest również tak, że sposób definiowania obszarów mózgu nie jest dokładny, a granice mogą być bardzo różne w różnych mózgach. Pamiętaj o naszym pierwszym prawie: nic w mózgu nie jest proste. Moim zdaniem nie ma potrzeby zapamiętywania wszystkich czynności, które wykonuje każdy obszar mózgu. Pomyśl tylko o tym, że jesteśmy w punkcie, w którym możemy zidentyfikować zestaw obszarów mózgu związanych z inteligencją. Identyfikujemy poszczególne instrumenty w orkiestrze. Nauczenie się, w jaki sposób współpracują ze sobą, aby stworzyć symfonię inteligencji, jest nowym wyzwaniem, które wymaga jeszcze lepszej technologii. Omówimy jedno z nich, magnetoencefalogram (MEG). Podsumujmy wyniki badań sieci mózgowych. Dwie główne hipotezy zaproponowane w pierwszej fazie badań neuroobrazowania w latach 1988-2007, głosiły, że inteligencja jest związana z wydajnością mózgu i obejmuje wiele obszarów rozmieszczonych w całym mózgu, zwłaszcza w sieci ciemieniowo-czołowej. Druga faza badań neuroobrazowania, podsumowana do tej pory w tym rozdziale, zastosowała bardziej wyrafinowaną akwizycję i analizę obrazu w znacznie większych próbkach, aby przetestować te idee. Ogólnie rzecz biorąc, waga wyników z wielu badań zapewnia znaczne, jeśli nie przytłaczające, wsparcie dla hipotezy dystrybucji ciemieniowo-czołowej (choć z pewnymi modyfikacjami) i pewne wstępne wsparcie dla hipotezy wydajności opartej na pomiarach łączności mózgowej. Następnie przechodzimy do bardziej szczegółowego badania wydajności mózgu, w tym testowania rzeczywistego przepływu informacji między obszarami mózgu, podczas gdy poszczególne osoby rozwiązują problemy w testach inteligencji.

Funkcjonalna wydajność mózgu – czy zobaczyć wierzyć?

Po zaobserwowaniu odwrotnych korelacji między wynikami testów na inteligencję a tempem metabolizmu glukozy w korze mózgowej (Haier i in., 1988) sformułowaliśmy hipotezę, że wysoka inteligencja jest związana z wydajną aktywnością mózgu. W tym raporcie pojęcie wydajności było ogólne i obejmowało możliwe cechy sieci mózgowych, neuronów (zwłaszcza mitochondriów) i/lub zdarzeń synaptycznych. Spekulowaliśmy również, że zmniejszona aktywacja kory, którą zaobserwowaliśmy po ćwiczeniach zadaniowych, może wynikać z tego, że mózg uczy się, których obszarów nie używać, podczas gdy obszary związane z zadaniem pracowały ciężej . Z tego raczej niedokładnego początku nie jest zaskakujące wykazanie związku między wydajnością mózgu a inteligencją jest niespójny wyniki na przestrzeni lat. Kolejny przegląd literatury badawczej doszedł do wniosku, że wydajność mózgu była moderowana głównie przez rodzaj zadania i płeć . Do tego czasu większość badań sprawności mózgu opierała się na metodach EEG. Analizy wykresów podsumowane w ostatniej części dostarczyły pośrednich dowodów na to, że strukturalna i funkcjonalna wydajność sieci mózgowej była związana z inteligencją, ale historia stała się bardziej złożona, ponieważ

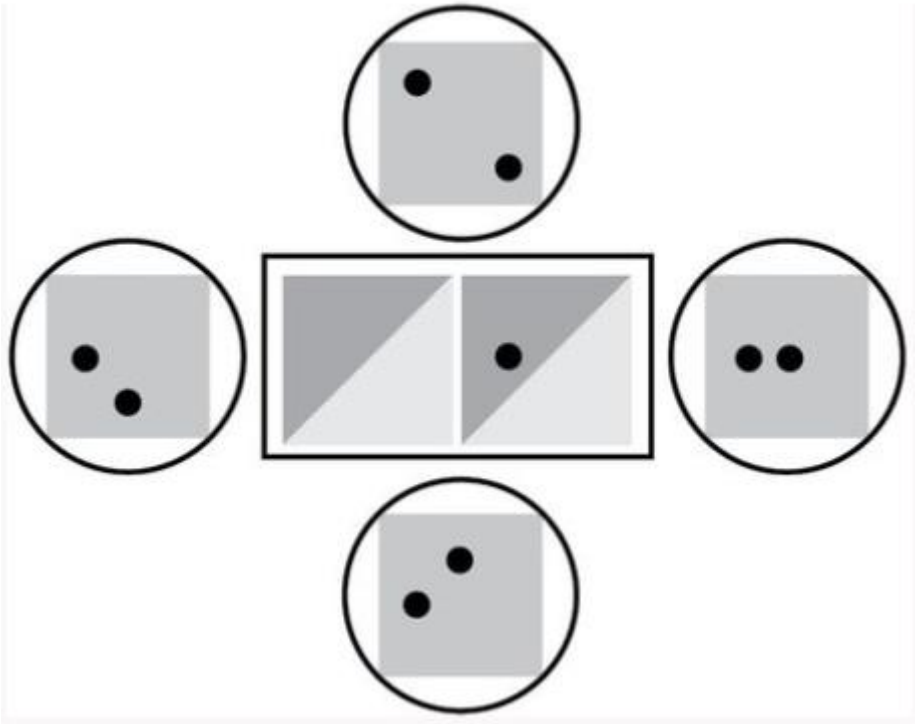
zidentyfikowano więcej zmiennych, które najwyraźniej wpływały na wydajność. Dwa badania fMRI na małych próbach badały wydajność mózgu, porównując aktywacje korowe między uczestnikami o wysokim i średnim IQ. Badania te są godne uwagi ze względu na selekcję uczestników pod kątem różnic w inteligencji; porównuje się grupy o wysokim i niskim IQ. Większość badań obrazowania kognitywnego unika wykorzystywania inteligencji jako zmiennej niezależnej, ponieważ istnieje ogólne założenie, że wszystkie ludzkie mózgi zasadniczo działają w ten sam sposób, więc porównywanie grup o różnych IQ nie miałoby sensu. Słuszność tego założenia jest jednak dość wątpliwa. Kiedy inteligencja jest brana pod uwagę w projekcie badawczym badań obrazowych, widoczne są różnice. Oba te badania dały ogólnie spójne wyniki. Jedno z badań wykazało, że: „Gdy złożoność wzrastała, osoby o wysokim IQ wykazywały wzmocnienie sygnału w niektórych obszarach czołowych i ciemieniowych, podczas gdy osoby o niskim IQ wykazywały zmniejszoną aktywność w tych samych obszarach. Co więcej, bezpośrednie porównanie między wzorcami aktywacji grup ujawniło większą aktywność neuronalną w próbie o niskim IQ podczas wykonywania zadania o umiarkowanym grupy" . Podobnie w innym badaniu stwierdzono, że „To, czy większa inteligencja jest związana z większą czy mniejszą aktywnością mózgu (debata o „wydajności neuronów") zależy zatem od konkretnego elementu badanego zadania, jak również od rekrutowanego obszaru mózgu. Jedną z konsekwencji jest to, że należy zachować ostrożność podczas wyciągania wniosków z różnic w aktywacji między grupami osób, u których IQ może się różnić". Niestety, takie badania kognitywne, które wykorzystują inteligencję jako zmienną niezależną, wciąż stanowią wyjątki (jeden dodatkowy przykład zostanie omówiony później). Dwa nowsze badania przetestowały hipotezę wydajności bezpośrednio z danymi fMRI. W pierwszym zbadano 40 nastolatków (20 mężczyzn i 20 kobiet) i uwzględniono w projekcie badawczym płeć, trudność zadania i inteligencję. Tych 40 wybrano z puli 900, tak aby próbki męskie i żeńskie zostały dopasowane pod względem wyników inteligencji (ogólna inteligencja i wyniki wzrokowo-przestrzenne) oraz, aby uniknąć problemów z ograniczeniem zakresu, każda próbka zawierała szeroki zakres wyników. Podczas fMRI każdy uczestnik rozwiązał zestaw problemów związanych z rotacją przestrzenną wraz z problemami kontrolnymi. Zadanie wzrokowo-przestrzenne aktywowało głównie obszary czołowe i ciemieniowe, ale w przeciwieństwie do hipotezy efektywności, nie stwierdzono podstawowych odwrotnych korelacji między inteligencją a aktywacją mózgu podczas zadania. Aktywacja tylnego zakrętu obręczy i przedklinka była związana z inteligencją. Są to dwa domyślne obszary sieci proponowane jako dodatki do PFIT . Autorzy zinterpretowali to jako możliwą wskazówkę, że dezaktywacja w obszarach sieci domyślnej może oznaczać większe wymagania dotyczące zadań dla mniej inteligentnych uczestników. Odkryli również, że u kobiet wyższa inteligencja była związana z większą aktywnością w obszarach związanych z zadaniami w przypadku trudniejszych problemów. Krótko mówiąc, zgodnie z przewidywaniami naszego pierwszego prawa, wyniki wzmocniły złożoność koncepcji efektywności. W drugim badaniu wydajności Basten i współpracownicy uzyskali fMRI u 52 uczestników podczas wykonywania zadania pamięci roboczej o rosnącym stopniu trudności . Dokonali ważnego rozróżnienia między dwoma rodzajami obszarów mózgu: zadaniowo-pozytywnym, w którym aktywacja wzrastała podczas wykonywania zadania, i zadaniowo-negatywnym, w którym aktywacja zmniejszała się podczas wykonywania zadania. Skorelowali wyniki testu inteligencji z aktywacją w obu obszarach osobno. W sieciach utworzonych przez aktywacje zadaniowo-pozytywne wyższa inteligencja była związana z mniejszą wydajnością. W sieciach zadaniowo-negatywnych wyższa inteligencja była związana z większą wydajnością. Te przeciwstawne wyniki, podobne w podpróbkach mężczyzn i kobiet, sugerują, że analizy hipotezy wydajności w całym mózgu mogą być bardziej zagmatwane niż analizy regionalne. Pomimo początkowego uroku prostej hipotezy efektywności dotyczącej indywidualnych różnic w inteligencji, późniejsze badania nadal podkreślają złożony zestaw problemów. Z jednej strony efektywność pozostaje popularną koncepcją myślenia o aktywności obwodów nerwowych i jej związku ze złożonym poznaniem . Z drugiej strony, koncepcja została scharakteryzowana jako tak niejasna, że jest bezużyteczna, chociaż nadal ma potencjalną moc wyjaśniającą, jeśli jest lepiej zdefiniowana i

zmierzona. Badamy podejście do pomiaru wydajności, które wykorzystuje nieinwazyjną technikę neuroobrazowania opartą na MEG. MEG wykrywa niewielkie fluktuacje magnetyczne powstające, gdy grupy neuronów włączają się i wyłączają. Rozdzielczość przestrzenna tej techniki wynosi około milimetra, ale rozdzielczość czasowa wynosząca milisekundę czyni ją szczególnie atrakcyjną do badania przepływu informacji w mózgu. Sygnały magnetyczne mają również mniejsze zniekształcenia niż sygnały EEG, gdy przechodzą przez czaszkę, co jest zaletą dla przestrzennej lokalizacji aktywności. Kiedy MEG jest uzyskiwany, gdy osoba rozwiązuje problem poznawczy, fluktuacje milisekundy po milisekundach związane z odpalaniem neuronów mogą być wykrywane i śledzone w całym mózgu. Istnieje wiele problemów związanych z interpretacją takich fluktuacji, ale mogą one potencjalnie zapewnić wgląd w to, jak poszczególne mózgi przetwarzają informacje podczas rozwiązywania problemów. Na przykład jedna grupa badaczy wykorzystała MEG podczas wyboru zadania dotyczącego czasu reakcji, aby ocenić czas i sekwencję aktywacji mózgu, które mogą być związane z inteligencją. Zadanie zostało wybrane, ponieważ czas reakcji wyboru jest skorelowany z inteligencją (zadania wyboru czasu reakcji wymagają podjęcia decyzji, która odpowiedź jest prawidłowa; proste zadania czasu reakcji wymagają jedynie odpowiedzi na bodziec). Szybkie czasy reakcji w wybranych zadaniach z czasem reakcji, odzwierciedlające większą szybkość przetwarzania informacji, są w wielu badaniach związane z wyższymi wynikami testów inteligencji; czas reakcji w prostych zadaniach nie jest. Wyniki MEG uzyskane od 21 młodych dorosłych mężczyzn sugerowały, że sekwencje aktywacji obejmujące tylny obszar przetwarzania wzrokowego i czuciowo-motoryczny obszar były powiązane z wynikami w teście RAPM rozumowania abstrakcyjnego (opisanym w rozdziale 1). Było to pionierskie zastosowanie MEG do badania inteligencji, ale nie miało ono przewagi w postaci dużej próby ani modelu do testowania, więc złożone wyniki MEG są z konieczności niepewne. Inne badanie MEG przeprowadzone na 20 studentach uniwersyteckich dotyczyło wydajnego przepływu informacji podczas zadań związanych z pamięcią werbalną. Wyniki sugerują, że „wydajna organizacja mózgu w dziedzinie werbalnej pamięci roboczej może być związana z niższą łącznością funkcjonalną w stanie spoczynku w dużych sieciach mózgowych, prawdopodobnie obejmujących prawy obszar przedczołowy i lewy obszar okołosylwiański". PFIT nie był testowany bezpośrednio, ale wyniki są zachęcającym przykładem potencjału analiz MEG do wykrywania sekwencji i czasu przetwarzania informacji. MEG jest skomplikowaną, kosztowną technologią i niewiele maszyn MEG było dostępnych dla badaczy. Kontrastuje to z metodami MRI, które są obecnie powszechnie dostępne. Wiele wydziałów psychologii ma pod kontrolą jedną lub więcej maszyn MRI wraz z legionami doktorantów zaznajomionych z zaawansowanym oprogramowaniem do analizy obrazu, opracowanym przez ekspertów matematycznych specjalnie do badań kognitywnych. MEG jest nadal bardzo rozwijany jako narzędzie badawcze. Na przykład jedna grupa badawcza wykorzystała MEG i fMRI w tej samej próbce do zbadania optymalnych metod ujawniania łączności sieciowej, a inne grupy wykorzystały dane do analizy wykresów łączności , ale inteligencja nie była zmienną w żadnym z tych badań. Inna grupa badawcza badała trudności w czytaniu i stwierdziła, że aktywacje MEG w trzech obszarach są skorelowane z wynikami IQ, ale sekwencyjny czas między obszarami nie został zgłoszony. W tej chwili potencjał MEG do badania wydajności mózgu i inteligencji nie został zrealizowany, ale pracujemy nad tym (patrz Ramka 4.2).

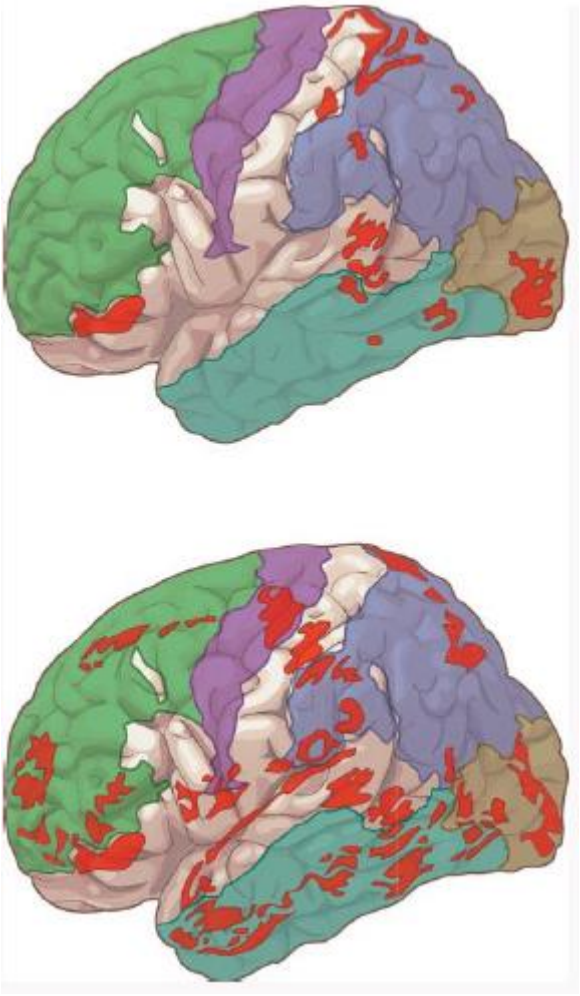
Ramka 4.2: Obserwacja pracy inteligencji w mózgu

PFIT stawia hipotezę, że inteligencja jest związana z określoną sekwencją aktywacji w określonych obszarach podczas rozwiązywania problemów. Ogólnie rzecz biorąc, sekwencja rozpoczyna się w tylnych obszarach przetwarzania sensorycznego, przemieszcza się do obszarów ciemieniowych i skroniowych, gdzie informacje są integrowane, a następnie przechodzi do obszarów płata czołowego w celu testowania hipotez i podejmowania decyzji. To, jak często ta sekwencja może się powtarzać podczas rozwiązywania konkretnego problemu, może być kluczową zmienną związaną z

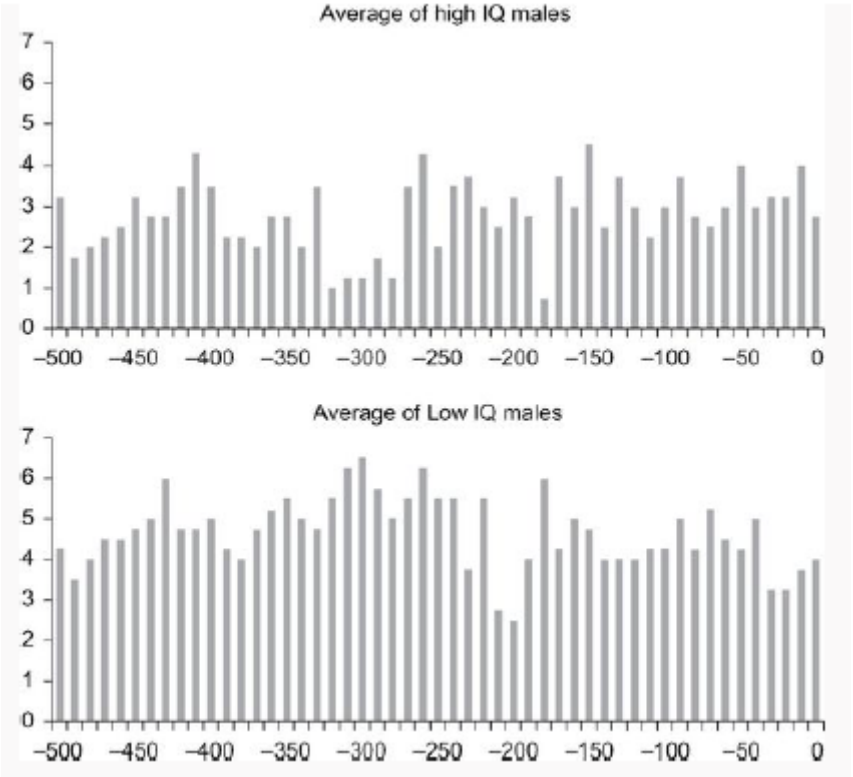
indywidualnymi różnicami w inteligencji. Dokładne obszary zaangażowane w sekwencję mogą również różnić się u poszczególnych osób, podobnie jak czas sekwencji. MEG zapewnia środki do oceny rzeczywistej sekwencji i porównania jej z przewidywaniami PFIT. Na przykład osoby z wysokimi wynikami testów inteligencji mogą angażować się w inny zestaw obszarów PFIT niż osoby ze średnimi wynikami testów inteligencji. Być może mniej obszarów zdefiniowałoby sekwencję w grupie z wysokimi wynikami, zgodną z wydajnością. Lub osoby mogą angażować ten sam zestaw obszarów PFIT w tej samej kolejności, niezależnie od inteligencji, z wysoką inteligencją związaną z większą szybkością angażowania lub powtarzania sekwencji obszarów. Badamy te hipotezy za pomocą MEG na próbie 32 młodych dorosłych. Każdy uczestnik wykonuje cztery różne zadania poznawcze przystosowane do obsługi komputera w maszynie MEG (proste składanie papieru, złożone składanie papieru, rozumowanie indukcyjne, słownictwo). Każde zadanie zawiera dziesiątki problemów, każdy z czterema możliwymi odpowiedziami. Rozwiązanie każdej pozycji zajmuje kilka sekund, więc rozdzielczość czasowa MEG w milisekundach może rejestrować zmiany aktywności mózgu w tym krótkim okresie. W pierwszym kroku przyjrzeliśmy się sygnałom MEG z 300 detektorów w okresie 500 milisekund tuż przed tym, jak uczestnik poprawnie odpowie na pytanie, naciskając przycisk wskazujący, która z czterech opcji jest poprawna. Rysunek pokazuje jeden problem z prostego zadania polegającego na składaniu papieru .



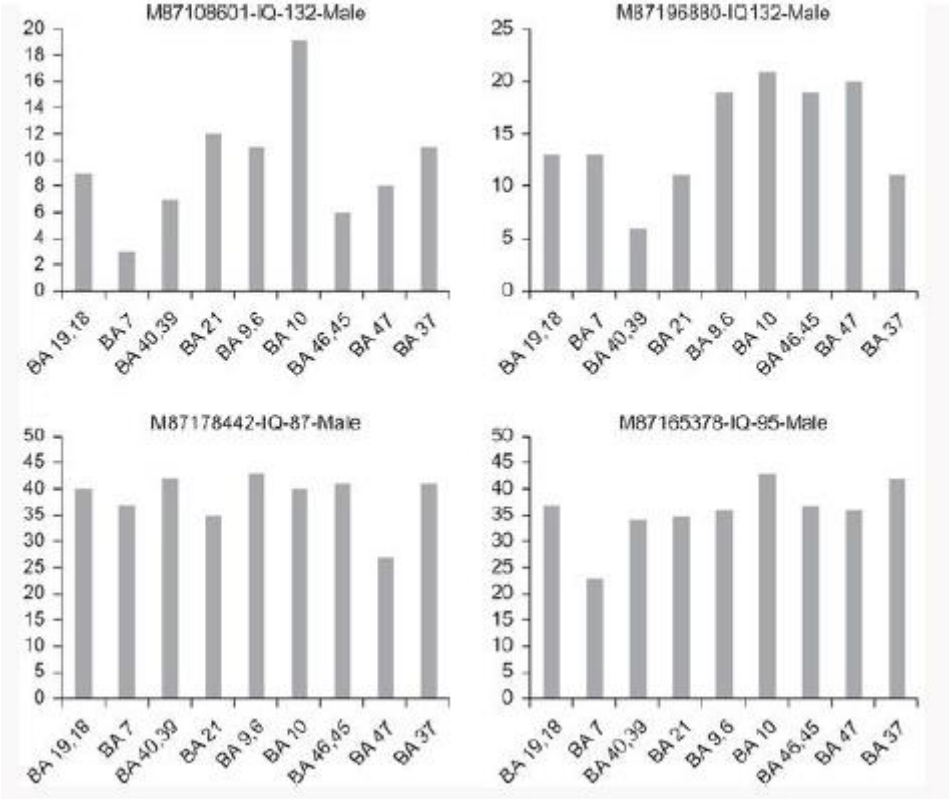
Rysunek przedstawia zrzut ekranu wzorców aktywacji MEG 500 milisekund tuż przed naciśnięciem przycisku dla grup o wysokim i niskim IQ.



Chodzi o to, aby sprawdzić, czy obszary PFIT są zaangażowane w końcowe etapy myślenia, gdy osoba decyduje o odpowiedzi. Filmy MEG są atrakcyjne wizualnie i jakościowo przedstawiają duże ilości danych. Mówią zgodnie z maksymą, że obraz jest wart tysiąca słów. Ale czy widzieć wierzyć? Wyzwanie polega na tym, jak wykorzystać te obrazy do ilościowego przetestowania hipotez PFIT, zwłaszcza osoba po osobie. Oto jeden ze sposobów. Rysunek przedstawia średnią aktywacji dla czterech osób z wysokim IQ i średnią dla czterech osób z niskim IQ na wykresach słupkowych co 10 milisekund przez 500 milisekund przed naciśnięciem przycisku.



Nawet bez analizy statystycznej widać duże różnice między grupami – średnia grupa wykazuje więcej aktywowanych obszarów PFIT. Nawet w obrębie grup wzorce aktywacji są różne dla każdej osoby, jak pokazano na rycinie 4.9. Takie różnice są zawsze ignorowane podczas uśredniania i porównywania danych grupowych. Naszym zdaniem wgląd w przetwarzanie mózgu i inteligencję jest bardziej prawdopodobny, jeśli takie dane obrazowe są prezentowane poszczególnym osobom, jak pokazano na wykresach słupkowych pokazanych tu



Musimy przeanalizować 500 milisekund po pojawieniu się problemu, aby sprawdzić, czy najwcześniejsze sekwencje aktywacji przetwarzania sensorycznego są związane z inteligencją. Możemy odkryć, że inne epoki czasowe są bardziej pouczające niż 500 milisekund. Musimy również zbadać różne pozycje ze wszystkich czterech testów i poszukać wszelkich podobieństw związanych z IQ. Jest jeszcze wiele do zrobienia, zanim będziemy mogli nawet rozważyć replikację w niezależnej próbce. Jest zbyt wcześnie, aby scharakteryzować wyniki, a wszelkie kwestie interpretacyjne pozostają. Niemniej jednak użycie MEG, zwłaszcza osoba po osobie, ilustruje nowe podejście do badania, czy inteligencja odnosi się do indywidualnych różnic w wydajności mózgu na poziomie sieci. Wizualna reprezentacja tak złożonych danych jest potężna, ale bez analizy ilościowej wymagana jest ostrożność, ponieważ zobaczenie nie zawsze oznacza wiarę.

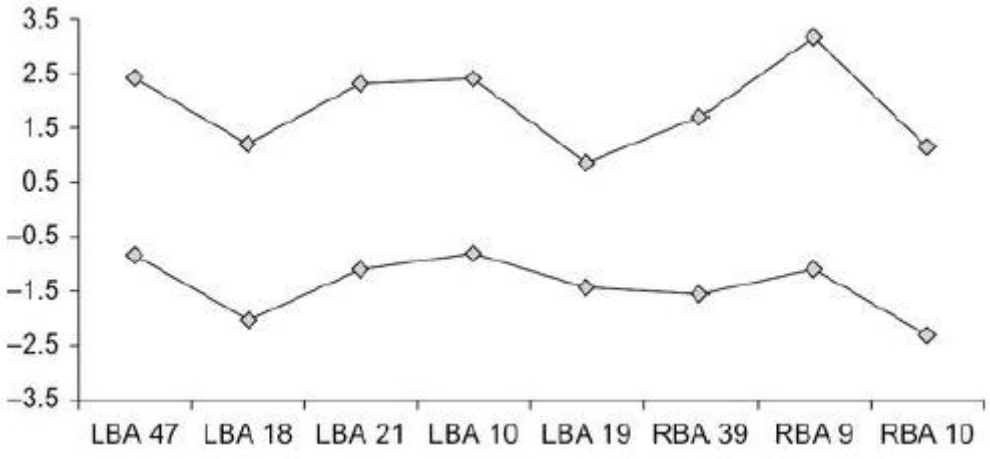
Przewidywanie IQ na podstawie obrazów mózgu

Wyobraź sobie, że kolegia i uniwersytety dały kandydatom do przyjęcia wybór między przesłaniem wyników SAT lub obrazu mózgu. Jak omówiono, wyniki SAT są dobrym oszacowaniem ogółu inteligencji i to jest ważny powód, dla którego są dobrymi predyktorami sukcesu akademickiego. Czy z obrazu mózgu można uzyskać lepsze oszacowanie inteligencji lub predyktor sukcesu akademickiego? To pytanie empiryczne, a pozytywna odpowiedź jest prawdopodobnie znacznie mniej przerażająca, niż mogłoby się wydawać. W rzeczywistości obrazy mózgu są prawdopodobnie bardziej obiektywne, zwłaszcza obrazy strukturalne, i nie są wrażliwe na wiele czynników, które potencjalnie mogą wpływać na wyniki testów psychometrycznych, takich jak motywacja czy niepokój. To, czy jesteś dobrym testerem, czy nie, nie ma znaczenia dla uzyskania skanu. Obrazy mózgu są generalnie tańsze niż kursy przygotowujące do SAT lub formalne testy IQ, a uzyskanie obrazu mózgu jest znacznie mniej czasochłonne. Nie ma żadnego przygotowania, spędzasz około 20 minut w skanerze i możesz się zdrzemnąć podczas akwizycji obrazu strukturalnego. Nadal nie jesteś zainteresowany tą możliwością?

Niezależnie od tego, czy istnieją jakieś praktyczne zastosowania do przewidywania IQ na podstawie obrazów mózgu, zdolność do tego sygnalizowałaby bardziej zaawansowane zrozumienie relacji mózg/inteligencja niż obecnie. W rzeczywistości przewidywanie IQ na podstawie pomiarów neurologicznych, takich jak te uzyskane z neuroobrazowania, jest jednym z dwóch głównych celów badań nad inteligencją. Drugi to zdolność do manipulowania zmiennymi mózgowymi w celu zwiększenia IQ, i tym zajmiemy się w następnym rozdziale. Istnieje długa historia prób przewidywania IQ na podstawie pomiarów mózgu, która sięga wczesnych badań EEG z lat 50. i 60. XX wieku. Przynajmniej jeden patent na to został wydany w 1974 r. (US 3 809 069). W 2004 roku grupa z University of New Mexico, w tym mój kolega Rex Jung, uzyskała patent (US 6,708,053 B1) na pomiar IQ w oparciu o sygnatury neurochemiczne w mózgu oceniane za pomocą spektroskopii MRI. Twierdzenie to wywodzi się z ich badań korelujących IQ z N-asparaginianem w jednym obszarze mózgu . W 2006 roku grupa z Korei Południowej złożyła wniosek patentowy w celu pomiaru IQ na podstawie kombinacji strukturalnych i funkcjonalnych ocen MRI, a patent ten został ostatecznie wydany w 2012 roku (US 8 301 223 B2). Ich patent jest poparty wcześniejszymi badaniami, w tym naszą pracą MRI oraz badaniami południowokoreańskiej grupy, która zgłasza korelacje między przewidywanymi wynikami IQ a rzeczywistymi wynikami IQ dla różnych próbek. Pragnę zaznaczyć, że w tej chwili nie dostrzegam żadnego komercyjnego potencjału tych patentów. Moim zdaniem żaden z tych patentów nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla wydawców testu SAT lub WAIS IQ, ponieważ ich ważność nie została jeszcze ustalona w żadnych niezależnych próbach replikacji na dużą skalę. Wątpię, aby takie badania były pozytywne dla tych konkretnych metod. Dzieje się tak, ponieważ przewidywanie IQ jednostki na podstawie średnich danych z grupy jest dość trudne. Niemniej jednak jestem optymistą, że przewidywanie IQ oparte na neuroobrazowaniu może być możliwe. Zarówno mój sceptycyzm, jak i optymizm wynikają z mojego poglądu na znaczenie różnic indywidualnych. Pozwól mi wyjaśnić. Koncepcyjnie przewidywanie IQ lub dowolnego czynnika inteligencji na podstawie neuroobrazowania jest proste. Sukces zależy od tego, jak silnie zmienne mózgowe, pojedynczo lub w połączeniu, korelują z wynikami testów inteligencji. Przypomnijmy sobie , że wyniki IQ są dobrymi szacunkami czynnika g, ponieważ są kombinacją wyników, skorygowanych o wiek i płeć, w kilku podtestach, które dotykają różnych domen poznawczych. Przypuszczalnie różne domeny poznawcze wymagają różnych sieci mózgowych, więc różne miary mózgu dla różnych domen można łączyć, aby przewidzieć IQ. Jak zauważyliśmy , wielkość całego mózgu ma niewielką korelację z IQ. Nie jest wystarczająco silny, aby sam rozmiar mózgu mógł zastąpić IQ, ale z pewnością korelacja jest podstawą, na której można budować. Istnieje wiele podejść statystycznych do łączenia miar w celu dokonania prognozy. Najbardziej podstawowym stosowanym do przewidywania wyników IQ jest równanie regresji wielokrotnej. Ta metoda i jej powiązane wersje wykorzystują korelację między IQ a każdą miarą po usunięciu wspólnych relacji między miarami. Na przykład, jeśli zmienna A koreluje z IQ, podobnie jak zmienne B i C, nie można ich po prostu połączyć bez uprzedniego statystycznego usunięcia wspólnej wariancji między A i B, A i C oraz B i C. Pozostałe korelacje z IQ dla każdego zmienne nazywane są korelacjami cząstkowymi. Równania regresji łączą częściowe korelacje między każdą zmienną a IQ wraz z obliczaniem wag dla każdej zmiennej, które maksymalizują prognozę IQ. W przykładzie ABC A może mieć większą wagę niż B, a B może mieć większą wagę niż C, aby uzyskać najsilniejszą prognozę IQ. Powstałe równanie można następnie zastosować do danych nowej osoby i przewidzieć wynik IQ. Korelacja między przewidywanym wynikiem IQ a rzeczywistym wynikiem IQ dla dużej grupy osób musi być prawie idealna, aby równanie było akceptowalne jako substytut rzeczywistego wyniku IQ. Nie wystarczy, jeśli równanie daje statystycznie istotną korelację między przewidywanym IQ a rzeczywistym IQ. Ilekroć równanie regresji jest obliczane w próbie badawczej, dokładnie to samo równanie musi zostać zastosowane do niezależnej próby, aby można było odtworzyć przewidywaną i rzeczywistą korelację wyniku IQ. Jest to walidacja krzyżowa równania i ten krok jest wymagany, ponieważ oryginalne równanie może dawać fałszywie wysoką korelację poprzez włączenie efektów

przypadkowych, zwłaszcza w małych próbkach. W naszych badaniach kilkakrotnie próbowaliśmy podejścia regresyjnego, ale każde równanie regresji nie powiodło się w walidacji krzyżowej, więc nie podjęto próby publikacji ani patentu. Jak dotąd, o ile mi wiadomo, żadna z opatentowanych metod przewidywania IQ na podstawie pomiarów mózgu nie osiągnęła tego kluczowego kroku. W jednym z ostatnich artykułów próbowano przewidzieć wyniki IQ na podstawie strukturalnych MRI zebranych z różnych miejsc. Zgłosili dobre korelacje z dwoma różnymi modelami regresji, które obejmowały istotę szarą i białą, ale nie było walidacji krzyżowej w niezależnych próbkach, uczestnicy (N = 164) byli w wieku od 6 do 15 lat, nie badano wpływu płci i nie było szczegółowego opisu testów IQ. Zidentyfikowali 15 obszarów mózgu, które zostały uwzględnione w prognozie, ale nie podjęto próby zintegrowania tych obszarów z PFIT ani żadnymi innymi ramami wywiadu, a obszary te nie są generalnie znajdowane w innych badaniach obrazowania inteligencji. W najlepszym razie bez niezależnej replikacji wyniki są wątpliwe. Modele regresji są interesujące, ale jest zbyt wcześnie, aby ocenić, czy analizy będą miały trafność predykcyjną, jak mają nadzieję autorzy. Oto ich ostatnie zdanie: „Należy ponownie podkreślić, że nasza praca toruje nową drogę do badań nad przewidywaniem przyszłego wyniku IQ niemowlęcia za pomocą danych neuroobrazowych, które mogą być potencjalnym wskaźnikiem dla rodziców, aby w razie potrzeby przygotować edukację dziecka". To optymistyczna wizja potencjalnego rynku komercyjnego, ale znacznie większa ostrożność byłaby tutaj rozsądna. Ważny wkład w tę literaturę pochodzi z ciągłych badań podłużnych dzieci ze Szkocji, opisanych w rozdziale 1. Badacze ci wykonali strukturalne MRI 672 osób w średnim wieku 73 lat i reprezentujących pełny zakres inteligencji (Ritchie i in., 2015).). Wykorzystali modelowanie równań strukturalnych, formę równania regresji, do porównania czterech modeli do łączenia kilku różnych ocen MRI w celu określenia, które cechy strukturalne mózgu były najbardziej związane z indywidualnymi różnicami w inteligencji w oparciu o współczynnik g wyodrębniony z baterii testów poznawczych. Okazało się, że najlepszy model odpowiadał za około 20% wariancji współczynnika g. Całkowita objętość mózgu była pojedynczą miarą, która przyczyniła się do większości przewidywanej wariancji w tym modelu. Istota biała wraz z grubością korową i podkorową przyczyniła się do pewnej dodatkowej wariancji, ale złogi żelaza i mikrokrwawienia nie. Głównym problemem dla przyszłych badań było to, czy dodatkowe pomiary innych zmiennych mózgu , takie jak grubość ciała modzelowatego lub zmienne funkcjonalne, mogą dodać wariancję predykcyjną powyżej 20%. Ten projekt miał dużą próbę i wiele miar poznawczych, więc jest to solidne badanie starszych mężczyzn i kobiet. To, w jaki sposób wyniki mogą się różnić w przypadku dzieci lub młodszych dorosłych, jest kwestią otwartą dla badań replikacji i walidacji krzyżowej. Dlaczego proste metody prognozowania, takie jak te opisane, miałyby nie sprawdzać się krzyżowo? Korelacje między dowolnymi dwiema zmiennymi są oparte na indywidualnych różnicach dla każdej zmiennej. Oznacza to, że musi istnieć wariancja między jednostkami, aby istniały korelacje. Równania regresji generalnie działają na danych grupowych, w których występuje wariancja dla wszystkich zmiennych. W przypadku inteligencji może istnieć wiele kombinacji tego samego zestawu zmiennych, które równie dobrze przewidują dowolne określone IQ. Na przykład jeden zestaw zmiennych mózgowych może charakteryzować osobę z wynikiem IQ równym 130, ale inną osobę z identycznym wynikiem IQ równym 130 można scharakteryzować innym zestawem zmiennych mózgowych. Ile różnych zestawów zmiennych mózgowych związanych z inteligencją może istnieć w grupie 100 osób z ilorazem inteligencji równym 130? Co więcej, dwie osoby z IQ WAIS równym 130 mogą mieć bardzo różne wyniki podtestów wskazujące na różne mocne i słabe strony poznawcze pomimo tego samego ogólnego IQ. Ten sam problem może występować niezależnie na kilku poziomach IQ, więc zmienne mózgowe, które przewidują wysokie IQ, mogą różnić się od tych, które przewidują średnie lub niskie IQ, mimo że odpowiednie geny mogą być takie same w całym zakresie IQ. Wiek i płeć również mogą być ważnymi czynnikami przy identyfikowaniu optymalnych zestawów zmiennych do przewidywania IQ. Jest jeszcze jedno główne źródło trudności. Żadne dwa mózgi nie są takie same strukturalnie lub funkcjonalnie, nawet u bliźniąt jednojajowych. Praktycznie cała analiza

obrazu mózgu zaczyna się od przekształcenia każdego mózgu w standardowy rozmiar i kształt, zwany szablonem. Ten krok sztucznie zmniejsza indywidualne różnice w anatomii mózgu, tworząc „przeciętny" mózg. Aby wyjaśnić niedokładność „przeciętnej" anatomii mózgu, analizy zazwyczaj dodają etap wygładzania w celu zminimalizowania niedokładności. Niemniej jednak umieszczenie wszystkich mózgów w standardowej przestrzeni wprowadza błąd w próbach przewidywania IQ na podstawie obrazów. Niektóre metody szablonów powodują więcej błędów niż inne. Rozważ badanie neuroobrazowe różnic między mężczyznami a kobietami. Czy samce powinny być znormalizowane do męskiego szablonu, a samice do szablonu dla kobiet, czy też wszyscy powinni być ujednoliceni według tego samego szablonu? Wiele badań neuroobrazowania wykorzystuje standardowy szablon dostarczony przez oprogramowanie do analizy, a inne badania tworzą szablon tylko od uczestników badania. Żaden sposób nie jest zawsze poprawny, ale problem stanowi problem dla wysiłków zmierzających do przewidywania IQ. Badanie 100 pośmiertnych mózgów podkreśla ten problem . Ich najsilniejszym odkryciem było to, że 36% różnic w wynikach zdolności werbalnych było przewidywanych na podstawie objętości mózgu. Jednak wiek, płeć i ręczność wpłynęły na analizy regresji między innymi cechami anatomicznymi i różnymi zdolnościami poznawczymi w złożony sposób. Autorzy ostrzegają badaczy zajmujących się neuroobrazowaniem, aby wzięli te czynniki pod uwagę. Kiedy weźmie się pod uwagę wszystkie te kwestie, przewidywanie IQ za pomocą metod regresji staje się mniej proste. Ile różnych równań regresji może być potrzebnych? Dlatego sceptycznie podchodzę do tego rozwiązania. Jedno alternatywne podejście może obejmować wykorzystanie analizy profilu. Jest to powszechne w testach osobowości, w których profil wyników na różnych skalach osobowości jest używany do scharakteryzowania osoby. Profile są szeroko stosowane do interpretacji testów osobowości, takich jak na przykład Minnesota Multiphasic Personality Inventory (MMPI). Wyniki MMPI z różnych podskal mogą być wykorzystywane w analizach regresji, ale analiza poszczególnych profili pozwala na porównywanie grup osób zdefiniowanych przez podobne profile w podskalach w celu określenia zmiennych związanych z typem profilu. Zilustrowaliśmy to podejście do przewidywania inteligencji, tworząc profile osób na podstawie ilości istoty szarej w kilku obszarach PFIT i próbowaliśmy powiązać profil z wynikiem IQ . Jak pokazano na rysunku 4.10, ta demonstracja nie działała tak dobrze.



Dwie osoby pokazane z równie wysokimi wynikami IQ miały różne profile istoty szarej. Niemniej jednak próbujemy teraz tego podejścia profilowego z danymi MEG, jak pokazano w ramce tekstowej 4.2. Jest to obiecujące podejście do przyszłych badań na dużych próbach. W rzeczywistości zachęcający raport wykorzystał wzorce aktywacji fMRI (w tym w niektórych obszarach PFIT) do przewidywania profili wydajności poznawczej, podczas gdy niewielka próba 26 uczestników rozwiązała problemy z

rozumowaniem dedukcyjnym (Reverberi i in., 2012). Analizy pokazują złożoność problemu, ale wyniki pokazują mój optymizm, że różnice indywidualne mogą być rozwiązaniem problemu, a nie tylko utrapieniem. Istnieje jeszcze inne potencjalne zastosowanie do przewidywania IQ. Jak omówiliśmy w , definicja inteligencji oparta na współczynniku g jest wystarczająca dla wielu empirycznych pytań badawczych, ale co by było, gdybyśmy mogli zdefiniować inteligencję na podstawie wymiernych pomiarów mózgu zamiast wyników psychometrycznych? Jeśli parametry mózgu mogą przewidywać IQ, to dlaczego nie zdefiniować IQ w kategoriach parametrów mózgu? Nie wiemy, czy na przykład podwójna ilość istoty szarej w określonej części kory mózgowej czyni człowieka dwa razy mądrzejszym. Jesteśmy teraz w stanie badać redefinicję inteligencji w sposób obejmujący oceny neurometryczne. W następnym rozdziale przyjrzymy się bliżej temu pomysłowi, gdy będziemy omawiać przyszłe możliwości badawcze. Czy zatem inteligencję można przewidzieć na podstawie neuroobrazowania? Krótka odpowiedź brzmi: nie. Dłuższa odpowiedź brzmi: jeszcze nie. Jak dotąd ciężar dowodów jest obiecujący, ale nie przekonujący. Spójrz na filmy MEG przedstawiające wzorce aktywacji mózgu dla różnych osób, które prawidłowo rozwiązują ten sam pojedynczy problem. Jak rozumieć te wzorce? Czy istnieje jeden szczególny wzorzec zmiennych mózgowych, jednolity neuro-g, który koreluje z psychometrycznym czynnikiem g, czy też istnieje wiele wzorców mózgowych, które implikują wiele czynników neuro-g? Jak dotąd nie wiemy. Przypuszczam jednak, że gdyby dostępna była potwierdzona krzyżowo metoda dokładnego przewidywania wyników IQ lub SAT na podstawie obrazów mózgu, wielu rodziców uczniów szkół średnich chętnie by z niej skorzystało i lobbowało instytucje szkolnictwa wyższego, aby również to zrobiły . Wyobraź sobie, że. Przestań sobie wyobrażać! Właśnie gdy kończyłem ostateczną wersję tej książki, niezwykłe nowe badanie donosi, że wzorzec połączeń między obszarami mózgu oparty na fMRI jest stabilny w obrębie osoby i wystarczająco unikalny, aby zidentyfikować tę osobę jak odcisk palca. A te odciski palców mózgu przewidują inteligencję. To badanie pochodzi z dużego wspólnego projektu, którego celem jest mapowanie wszystkich połączeń w ludzkim mózgu.

Czy „inteligencja” i „rozumowanie” to synonimy?

To może wydawać się dziwne pytanie, ale w literaturze naukowej jest pewna anomalia, która zasługuje na uwagę w tym momencie. Istnieje specjalizacja w dziedzinie psychologii poznawczej, która bada rozumowanie. Rozumowanie relacyjne, rozumowanie indukcyjne, rozumowanie dedukcyjne, rozumowanie analogiczne i inne rodzaje rozumowania są przedmiotem różnych badań, w tym tych, które wykorzystują neuroobrazowanie do identyfikacji cech mózgu i sieci związanych z rozumowaniem. Anomalia polega na tym, że więcej niż kilka z tych badań nad rozumowaniem z zakresu neuronauki poznawczej nie używa słowa inteligencja i często nie cytuje odpowiednich badań neuroobrazowania inteligencji. Jest to problematyczne, ponieważ testy rozumowania są silnie skorelowane ze współczynnikiem g. W rzeczywistości testy analogii mają jedne z najwyższych obciążeń g spośród wszystkich testów zdolności umysłowych. Oczywiście oznacza to, że wyniki badań wywiadowczych są dość istotne dla badań rozumowania i vice versa. Moim zdaniem sztuczne preferowanie „rozumowania” nad „inteligencją” przez niektórych badaczy ma swoje korzenie w długo utrzymywanym przekonaniu psychologii poznawczej, że słowo „inteligencja” jest zbyt kontrowersyjne i dlatego należy go całkowicie unikać. Nie jest niczym niezwykłym, że książki z dziedziny psychologii poznawczej i neuronauki kognitywnej nie zawierają „inteligencji” w indeksie. Liczy się język. Nikt nie da się oszukać, zastępując „inteligencję” „rozsądkiem”, chociaż niektóre agencje grantowe mogą tak sądzić. Ogólnie rzecz biorąc, neuroobrazowe badania rozumowania pokazują wyniki sieci zgodne z badaniami inteligencji, chociaż badania rozumowania mają tendencję do różnicowania większej liczby elementów przetwarzania informacji i towarzyszących im podsieci. Jest to ważna różnica i pozytywna dla identyfikacji najistotniejszych komponentów mózgu dla różnych procesów poznawczych związane z czynnikami inteligencji. Doskonałym przykładem jest wyrafinowane badanie fMRI, w którym

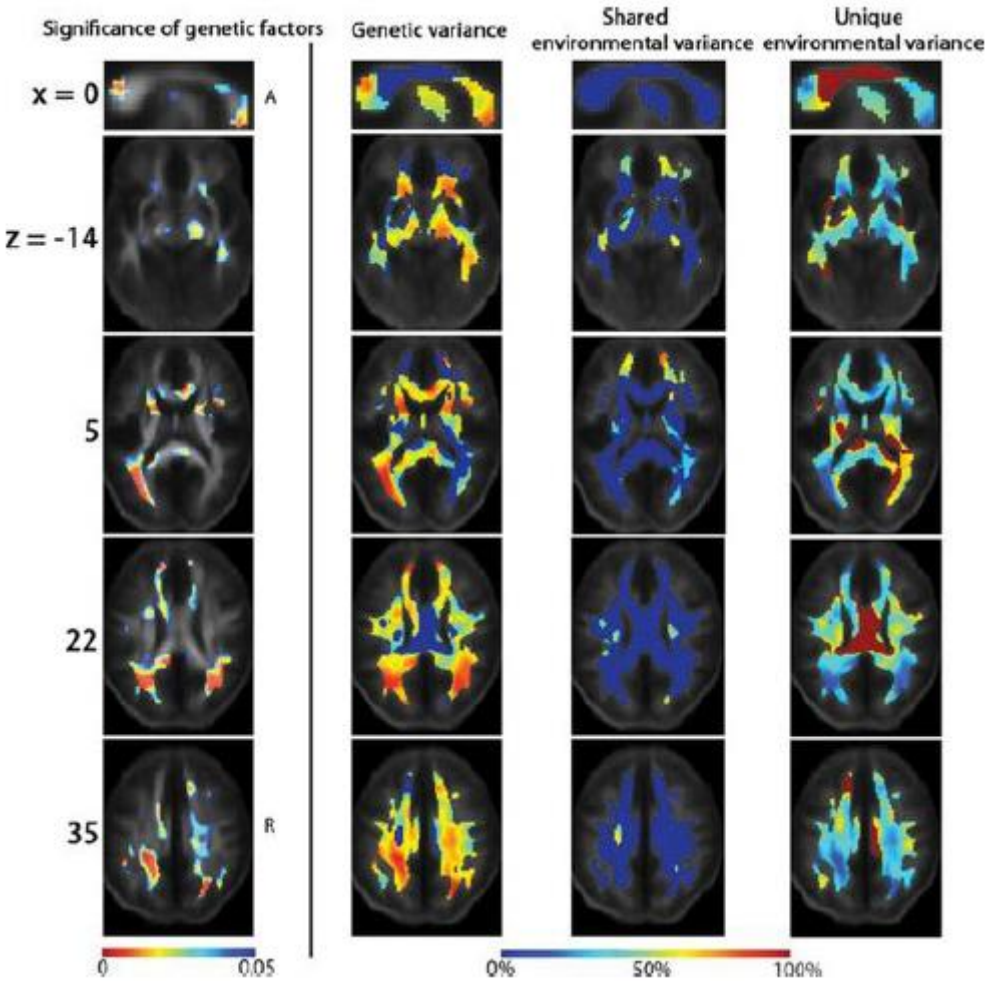
porównano grupy uczniów szkół średnich (N = 40) określone wysokimi i średnimi wynikami inteligencji płynnej, podczas gdy oni rozwiązywali problemy o różnym stopniu trudności, które wymagały geometrycznego wnioskowania analogicznego. Hipotezy oparto częściowo na PFIT i sprawności mózgu. Autorzy doszli do wniosku, że uczniowie o wysokim IQ „… wykazują z jednej strony silniejszą rekrutację ciemieniowych obszarów mózgu związaną z zadaniami, a z drugiej negatywną zależność między aktywacją mózgu a inteligencją w przednich obszarach mózgu… Wykazaliśmy, że związek między aktywacją mózgu a płynna inteligencja nie jest jednokierunkowa, ale raczej obszary czołowe i ciemieniowe mózgu są w różny sposób modulowane przez płynną inteligencję, gdy uczestnicy wykonują geometryczne analogiczne zadanie rozumowania". Integracja rozumowania i ustaleń wywiadowczych w tej pracy pokazuje bogactwo możliwości interpretacji i pomaga w rozwoju tej dziedziny. Dwa inne interesujące i dobrze wykonane artykuły fMRI badały analogiczne rozumowanie, chociaż żaden nie wspominał o inteligencji. Pojawiły się w specjalnej sekcji „Neuralne podłoże analogicznego rozumowania i rozumienia metafor" w Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition (tylko jedna z pozostałych sześciu prac w tej sekcji wspomniała o inteligencji). W pierwszym przykładzie wykorzystano zadanie generowania analogii w próbie 23 studentów płci męskiej i znaleziono odpowiednią aktywność mózgu w obszarze lewej kory czołowej-biegunowej, zgodnie z hipotezą. Analizy eksploracyjne ujawniły bardziej rozproszone aktywacje (ich rysunek 3), pozornie zgodne z ramami PFIT, ale dyskusja powiązała wyniki z kreatywnością, a nie inteligencją. Lewa kora czołowo-biegunowa została również powiązana z g w badaniu uszkodzeń, które opisaliśmy wcześniej. Podobnie drugi przykład przedstawia systematyczne badanie mapowania analogicznego podczas rozumienia metafor u 24 studentów studiów licencjackich Carnegie Mellon University (łącznie mężczyźni i kobiety) (Prat i in., 2012). Wyniki wykazały aktywacje zgodne z PFIT i wydajnością mózgu, chociaż ani PFIT, ani wyniki inteligencji/wydajności z innych badań nie zostały odniesione. Moim zdaniem raporty z badań rozumowania powinny jako minimum zawierać „inteligencję" jako słowo kluczowe do indeksowania, a związek testów rozumowania z inteligencją powinien być uznawany w dyskusji wyników, które pokazują zależności mózg/rozumowanie. Raporty wywiadu powinny robić to samo dla rozumowania. Co więcej, rośnie świadomość, że wyniki eksperymentów poznawczych/obrazowych mogą się radykalnie zmienić w zależności od tego, czy uczestnicy zostaną wybrani ze względu na wysokie, czy średnie wyniki IQ. Nowe technologie obrazowania, takie jak MEG, mogą pozwolić na jeszcze bardziej szczegółową analizę przepływu informacji podczas wnioskowania/rozwiązywania problemów, zwłaszcza jeśli poziomy inteligencji są uwzględnione w projekcie badawczym. Ściślejsza współpraca między naukowcami zajmującymi się rozumowaniem, posiadającymi wiedzę kognitywną, a badaczami inteligencji, posiadającymi wiedzę psychometryczną, to najlepszy sposób na zintegrowanie tych dwóch bogatych tradycji empirycznych.

Wspólne geny struktury mózgu i inteligencji

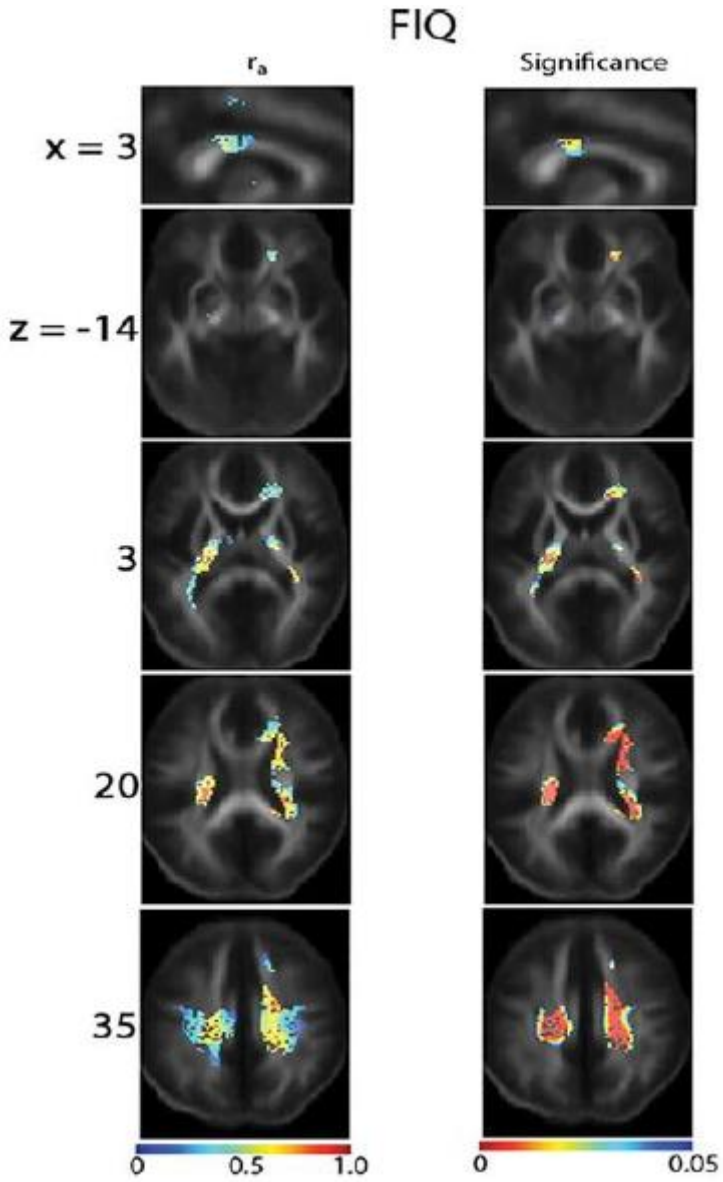
Omówiliśmy ilościowe i molekularne odkrycia genetyczne związane z inteligencją, ale odłożyliśmy prezentację badań genetycznych inteligencji, które obejmowały neuroobrazowanie. Teraz, gdy neuroobrazowanie zostało wprowadzone, ponieważ jest używane w badaniach inteligencji, rozważmy potężną kombinację metod genetycznych i neuroobrazowania do badania inteligencji. Ponieważ polowanie na określone geny trwa, najnowsze i najbardziej przekonujące ilościowe badania genetyczne inteligencji bliźniąt wykraczają poza proste pytanie, czy istnieje komponent genetyczny, czy nie. Skupiają się na tym, co komponent genetyczny może robić w mózgu, nawet bez znajomości konkretnych genów. Paul Thompson i współpracownicy opisali pierwsze badanie bliźniacze, w którym wykorzystano MRI do oceny i mapowania odziedziczalności objętości istoty szarej kory i powiązania jej z inteligencją . Przebadali małą próbkę 10 par MZ i 10 par DZ. Szacunkowy wkład genetyczny w objętość istoty szarej oparty na podobieństwie między parami bliźniaków różnił się nieco w różnych regionach mózgu zaskakujące odkrycie w tamtym czasie. Najwyższy wkład genetyczny dotyczył obszarów

korowych płatów czołowych i ciemieniowych. Co więcej, korelacja między wynikami IQ a istotą szarą w płatach czołowych była istotna statystycznie. Opierając się na unikalnym połączeniu testów IQ i neuroobrazowania u bliźniąt, badanie to dostarczyło unikalnych dowodów na to, co podejrzewało wielu badaczy: indywidualne różnice w inteligencji wynikały, przynajmniej częściowo, z genetyki struktury mózgu, w szczególności istoty szarej kory mózgowej tom. Pomimo małej próby, znaczenie tego odkrycia zostało podkreślone przez jego publikację w znanym czasopiśmie Nature Neuroscience. W towarzyszącym komentarzu zauważono, że wysoka odziedziczalność implikowała, że rozwój istoty szarej najwyraźniej był mniej wrażliwy na doświadczenie, niż można by się spodziewać . Naukowcy z Holandii opublikowali fascynującą serię odkryć, które opierają się na większych próbkach bliźniąt. Niektóre z ich ustaleń przedstawiliśmy wcześniej ,dotyczące wspólnego i niedzielonego wpływu środowiska na inteligencję. Tutaj podsumujemy więcej ich ważnych wyników MRI, które wskazują, że istnieją wspólne geny dla inteligencji i struktury mózgu. W 2002 roku opublikowali wyniki badań dotyczących odziedziczalności i inteligencji istoty szarej i białej, również w Nature Neuroscience. Szacunki dziedziczności były wysokie dla obu, a istota biała całego mózgu była nieco bardziej dziedziczna niż istota szara całego mózgu. Co więcej, porównując bliźnięta MZ i DZ, autorzy stwierdzili, że korelacja między objętością istoty szarej a ogólną inteligencją była całkowicie spowodowana czynnikami genetycznymi. Żadnej wariancji nie można było przypisać wspólnym lub niewspółdzielonym czynnikom środowiskowym. Później rozszerzyli swoją próbę bliźniąt, aby zwiększyć moc statystyczną i zbadać korelacje między szarymi, białymi i móżdżkowymi objętościami a różnymi czynnikami inteligencji. Wszystkie trzy tomy były skorelowane z pojemnością pamięci roboczej i powiązane ze wspólną podstawą genetyczną. Szybkość przetwarzania była genetycznie związana z objętością istoty białej. Organizacja percepcyjna była powiązana zarówno genetycznie, jak i środowiskowo z objętością móżdżku. Rozumienie werbalne nie było związane z żadnym z trzech tomów. Ta grupa wykazała również, że istota szara i biała w określonych obszarach mózgu ma wspólną podstawę genetyczną z IQ. Podobne wyniki z Holandii uzyskano u 112 dziewięcioletnich par bliźniąt , co wskazuje na wczesne wpływy genetyczne na inteligencję w dojrzewającym mózgu. Podłużny MRI badanie dorosłych bliźniaków zbadało zmiany grubości kory w okresie 5 lat i stwierdziło, że stopień zmian kory (zwany także plastycznością) ma silne podłoże genetyczne . Zmiana dotyczyła IQ. Wyższe wyniki IQ były związane z przerzedzaniem kory w płatach czołowych i pogrubieniem w przyhipokampie, ważnej strukturze mózgu w płatach skroniowych związanej z pamięcią. Rzeczywiste zmiany korowe miały ułamek milimetra, ale nawet niewielkie ilości tkanki mózgowej mogą mieć znaczenie. W ostatnim rozdziale zauważyliśmy, że wcześniejsze badanie wykazało, że ścieńczenie kory we wczesnym dzieciństwie było związane z wyższymi wynikami IQ. To badanie dorosłego bliźniaka dotyczące IQ i plastyczności mózgu w płatach czołowych i przyhipokampie wykazało, że obie zmienne mogą mieć wspólną podstawę genetyczną. Jedno nowe odkrycie dotyczyło podkorowego przyhipokampu, niezwykłego, ponieważ większość badań skupiała się na korze mózgowej. W innym badaniu MRI, opartym na danych holenderskiego bliźniaka, zbadano, czy objętość kilku obszarów podkorowych była związana z IQ. Tylko objętość wzgórza, ważnego węzła połączeń obwodów mózgowych, była związana z IQ, a wspólny składnik genetyczny był zaangażowany w oba. Chociaż w kilku badaniach powiązano grubość kory z ilorazem inteligencji, istnieje również wskazanie, że powierzchnia kory może wykazywać jeszcze silniejsze powiązania ze zdolnościami poznawczymi i powiązanymi genami na podstawie badania 515 bliźniąt w średnim wieku, w którym porównano pomiary zarówno grubości, jak i pola powierzchni. Dziedzina ta jest dość dynamiczna, ponieważ nowe podejścia do analizy danych ewoluują i rozszerzają wcześniejsze ustalenia z większą dokładnością. Przyczyniają się do wagi dowodów dotyczących genów i struktury mózgu, w większości spójnych ustaleń dotyczących inteligencji. Integralność istoty białej jest szczególnym przedmiotem badań nad inteligencją, biorąc pod uwagę jej dziedziczność i wyniki DTI, które odnotowaliśmy tutaj i w poprzedniej sekcji. Zespół Thompsona wykorzystał DTI w próbie 92 australijskich bliźniąt (23 pary MZ i 23 DZ) do ilościowego określenia miary

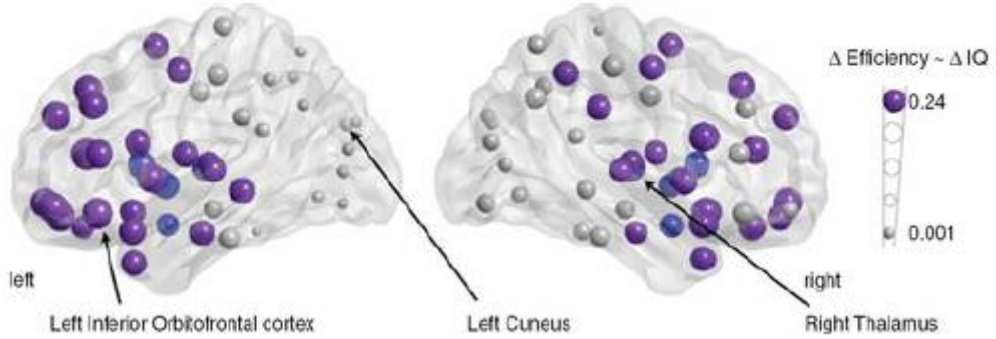
integralności włókien istoty białej zwanej anizotropią frakcyjną (FA). Zmapowali dziedziczność FA w korze mózgowej i stwierdzili najwyższe wartości w płatach czołowych i ciemieniowych (obustronnie) oraz w płacie potylicznym lewej półkuli . Wyniki IQ (FSIQ, PIQ, VIQ) skorelowano z określonymi odcinkami włókien (wyższa integralność była związana z wyższym IQ) i te korelacje również zmapowano. Na podstawie mapowania krzyżowego cech doszli do wniosku, że wspólne czynniki genetyczne pośredniczą w korelacjach między IQ a FA, co sugeruje wspólny mechanizm fizjologiczny dla obu. Gdy dane są wyświetlane jako mapy, wyniki są przekonujące. Rysunek przedstawia rozkład wariancji FA dla środowiska genetycznego, współdzielonego i niewspólnego.



Rysunek przedstawia mapowanie krzyżowe cech dla FSIQ.



W 2011 roku grupa Chiang rozszerzyła te ustalenia. Opierając się na większej próbie 705 bliźniąt i ich niebliźniaczego rodzeństwa, zbadali wpływ wieku, płci, statusu społeczno-ekonomicznego (SES) i IQ na dziedziczność miary FA . Istniały złożone interakcje dla różnych regionów mózgu, ale ogólnie wpływ genetyczny był większy u nastolatków w porównaniu z dorosłymi, większy u mężczyzn niż u kobiet, większy u osób z wysokim SES i u osób z wyższym IQ. Schmithorst i współpracownicy, odnotowali różnice wieku i płci w najwcześniejszych badaniach inteligencji DTI. Kompleksowe badanie DTI obejmujące 1070 dzieci w wieku od 6 do 10 lat z Holandii potwierdziło ustalenia Schmithorst i dodatkowo zgłosiło korelacje FA z inteligencją niewerbalną i zdolnościami wzrokowo-przestrzennymi. W trwającym trzy lata badaniu podłużnym dorastających bliźniaków i ich rodzeństwa wykorzystano DTI i analizę wykresów do mapowania dziedziczności integralności włókien istoty białej. Wydajność sieci istoty białej, oceniana za pomocą FA, była wysoce dziedziczna, a wpływy genetyczne stanowiły aż 74% wariancji. Co więcej, było prowokacyjne odkrycie związane z inteligencją. W podgrupie osób, które wykazały zmianę wyników IQ w okresie trzech lat, indywidualne wzrosty wyników były skorelowane ze wzrostem wydajności sieci lokalnej w obszarach płata czołowego i skroniowego. Wyniki te przedstawiono na rysunku.



Autorzy spekulują, że znalezienie sposobów promowania wydajności sieci istoty białej może zoptymalizować wydajność poznawczą nastolatków. Większość rodziców nastolatków spróbuje wszystkiego. Podobnie jak większość nastolatków. Obecnie istnieje tak wiele badań w tej dziedzinie, że łatwo się pomylić. Oto krótka historia. Geny wpływają na sieci mózgowe i inteligencję. Dopóki określone geny i ich ekspresja nie zostaną zidentyfikowane, nie możemy bezpośrednio rozróżnić, czy geny wpływają na morfometrię mózgu, która następnie wpływa na inteligencję, czy też geny wpływają na inteligencję, która następnie wpływa na morfometrię mózgu. Możliwe jest również, że wiele genów wpływa zarówno na morfometrię mózgu, jak i inteligencję (plejotropia), a tylko niektóre z nich są wspólne dla obu. Jak widać z tego rozdziału, ilościowa analiza neuroobrazowania stała się dość wyrafinowana dzięki złożonym, wielowymiarowym metodom statystycznym. Ilościowa analiza danych genetycznych jest również dość złożona. Obecnie badania te przeprowadzają zespoły badaczy, w skład których wchodzą matematycy, specjaliści od obrazowania i genetycy. Inteligencja jest coraz bardziej przedmiotem zainteresowania, a eksperci w dziedzinie badań wywiadowczych stają się częścią takich zespołów. Podsumowanie wyników w tym rozdziale z połączenia neuroobrazowania i ilościowych domen genetycznych bez nadmiernego uproszczenia jest wyzwaniem, ale przynajmniej postęp i ekscytacja w tej dziedzinie powinny być jasne dla wszystkich czytelników. Jesteśmy lata świetlne po wcześniejszych kontrowersjach dotyczących roli genetyki w zrozumieniu indywidualnych różnic w inteligencji. Wyzwaniem w następnej sekcji jest wyjaśnienie złożoności analizy neuroobrazowej w połączeniu z jeszcze większą złożonością analizy genetyki molekularnej. Szczegóły mogą być trudne, a nazewnictwo genów kombinacji liter/cyfr wydaje się irracjonalne. Ale oto główny punkt. Wyniki są ekscytujące i przemawiają za optymizmem, że polowanie na geny inteligencji zyskuje na popularności.

Obrazowanie mózgu i genetyka molekularna

Obecnie istnieje wiele badań, które łączą neuroobrazowanie i analizy genetyczne, więc musimy wybrać te, które najlepiej ilustrują postęp. Kontynuujmy dalej w sekwencji artykułów Chianga i współpracowników. W analizie DTI 455 bliźniąt i ich niebliźniaczego rodzeństwa odkryli związek między integralnością istoty białej a polimorfizmem ValMet związanym z BDNF, czynnikiem wzrostu mózgu zaangażowanym w normalne funkcjonowanie neuronów. Zasugerowali, że BDNF może być pośrednio związany z niektórymi wynikami intelektualnymi poprzez modulowanie rozwoju istoty białej w niektórych odcinkach włókien. W innym artykule grupa ta podążała za ideą, że genetyka okablowania istoty białej mózgu ma fundamentalne znaczenie dla inteligencji. Skoncentrowali swoje wysiłki w zakresie obrazowania w nowatorski sposób, aby pomóc zidentyfikować określone geny związane z łącznością i inteligencją mózgu. Jak zauważyliśmy wcześniej w tym rozdziale, w 2009 roku poinformowali, że istnieją wspólne geny dla integralności dróg istoty białej i inteligencji opartej na mapach krzyżowych cech odpowiedniej dziedziczności każdego z nich. Rozszerzyli to podejście, wykorzystując dane DTI i DNA z próby 472 bliźniąt i ich niebliźniaczego rodzeństwa. Podstawową ideą

było wykorzystanie statystycznych metod grupowania wielu zmiennych na podstawie ich podobieństwa. Najpierw skupiono tysiące punktów we włóknach istoty białej, aby znaleźć systemy mózgowe o wspólnej determinacji genetycznej. Miarą istoty białej był FA, jak opisano wcześniej. Następnie wykorzystali DNA w skanowaniu całego genomu i analizach sieciowych, aby zidentyfikować sieć genów, która była związana z integralnością istoty białej w głównych traktach. FA w niektórych węzłach w sieci istoty białej był powiązany z wynikami IQ (ich rysunek 9). Wyniki tej analizy są złożone i obejmują 14 konkretnych genów , wraz z tym, co było wiadomo o funkcji każdego z nich w 2012 r. . Ten rodzaj badań ilustruje zarówno złożoność zrozumienia funkcjonowania genów, jak i główny kierunek neuronauki dla przyszłych badań nad inteligencją. Od takich obserwacji do praktycznego ich wykorzystania jest długa droga. Jednak w przypadku replikacji zidentyfikowanie genów związanych z inteligencją i sposobem ich funkcjonowania może wskazać potencjalne mechanizmy poprawiające wydajność intelektualną, jeśli kaskadą wpływów genetycznych na funkcjonalne zdarzenia molekularne można manipulować na odpowiednim etapie rozwoju mózgu. Obejmuje to manipulowanie bardziej ogólną genetyką wpływ na struktury mózgu, takie jak integralność istoty białej, które mogą pośrednio wpływać na inteligencję. W szybkim rozwoju badań genetyki molekularnej kolejnym dużym postępem jest agregacja ogromnych próbek w ramach ogólnoświatowej współpracy wieloośrodkowej utworzonej w celu badania chorób mózgu i normalnego procesu poznawczego. Grupy te i wynikające z nich publikacje są triumfem osiągnięć logistycznych, politycznych i naukowych. Jedna z największych nosi nazwę ENIGMA (Enhancing Neuro Imaging Genetics through Meta-Analysis). Jeden z ich artykułów zawierał odkrycie, które powiązało indywidualne różnice w inteligencji z określonym wariantem genu o nazwie HMGA2, który jest powiązany z rozmiarem mózgu . Ich próbki odkrycia i replikacji obejmowały tysiące uczestników, którzy ukończyli neuroobrazowanie oprócz testów poznawczych i DNA. Podobnie jak w innych badaniach, odkrycie wyjaśniło tylko niewielki ułamek wariancji w inteligencji, ale ilustruje ostateczne zwycięstwo znalezienia igły genu w stogu siana DNA. Inna grupa wykorzystała część zbioru danych ENIGMA oraz dane z Konsorcjum IMAGEN Unii Europejskiej w celu zbadania powiązań genów z grubością kory ocenianą za pomocą MRI i inteligencją u 1583 nastolatków w wieku 14 lat. Miary grubości kory mózgowej (CT) mają pewne zalety techniczne w porównaniu z pomiarami VBM objętości istoty szarej, a CT powiązano z inteligencją w dużych reprezentatywnych próbach dzieci i młodzieży (Karama i in., 2009, 2011). Ten raport IMAGEN rozpoczął się od zbadania związku między CT a prawie 55 000 SNP. Jeden wariant (rs7171755) był związany z cieńszą korą w lewym płacie czołowym i skroniowym oraz w małej podpróbce z wynikami WAIS. Ponadto odkryli, że ten wariant wpływa na ekspresję genu NPTN, zaangażowanego w produkcję glikoproteiny wymaganej dla zdrowia synaptycznego. To odkrycie ilustruje, w jaki sposób zdarzenia synaptyczne mogą wpływać na dojrzewanie mózgu CT, co z kolei może wpływać na inteligencję. Kaskada pośrednich kroków z pewnością jest złożona, ale jest to również skończony problem do rozwiązania. Metodologia i złożoność analiz, które doprowadziły do tych ustaleń, wymagają zaawansowanego zaplecza technicznego. Wszystkie te badania pokazują, że zidentyfikowanie wielu genów o niewielkich skutkach, które uważa się za zaangażowane w inteligencję, nie jest wyzwaniem nie do pokonania. Gdy nastąpi większy postęp, można będzie zbadać efekty epigenetyczne dla poszczególnych genów, ale jak dotąd nie ma wystarczających danych, aby przetestować konkretne hipotezy epigenetyczne. Przynajmniej te bardzo duże próbki wykazujące powiązania DNA z miarami inteligencji powinny rozwiać wszelkie wątpliwości co do genetycznej roli inteligencji. Przypomnij sobie jeszcze raz nasze trzy prawa: żadna opowieść o mózgu nie jest prosta; żadne badanie nie jest ostateczne; a uporządkowanie sprzecznych i niespójnych ustaleń oraz ustalenie ciężaru dowodów zajmuje wiele lat. Badania podsumowane w tej sekcji ilustrują szybkie tempo postępu w zrozumieniu złożoności otaczających genetyczne aspekty inteligencji. Rozdział 3, nawiązując do naszego raportu PET z 1988 roku, rozpoczęliśmy pytaniem: „Gdzie w mózgu jest inteligencja?” Prawie 30 lat później neuroobrazowanie dostarcza danych informacyjnych na to pytanie, a samo pytanie staje się coraz bardziej wyrafinowane. Badania

genetyczne w połączeniu z neuroobrazowaniem zaczynają sugerować specyficzne mechanizmy mózgowe zaangażowane w indywidualne różnice w inteligencji. Badania neurologiczne mające na celu zrozumienie inteligencji mają solidne podstawy i postępują w szybkim tempie w oparciu o rozwijające się technologie i metody neuroobrazowania oraz genetyczne. Istnieje teraz kontekst do myślenia o tym, jak parametry mózgu mogą być wykorzystane do przewidywania, a nawet definiowania inteligencji. Istnieje również rozwijający się kontekst empiryczny do myślenia o tym, jak można manipulować mechanizmami mózgowymi w celu zwiększenia inteligencji i są to tematy następnej sekcji.

Podsumowanie

* Nowe metody neuroobrazowania, zwłaszcza analiza wykresów, ujawniły strukturalne i funkcjonalne sieci mózgowe powiązane z wynikami testów inteligencji.

* Ogólnie rzecz biorąc, sieci mózgowe zidentyfikowane w wielu badaniach inteligencji są zgodne z ramami PFIT z możliwymi modyfikacjami do rozważenia.

* Chociaż wiele badań wykazało korelacje między pomiarami mózgu a wynikami IQ, przewidywanie inteligencji na podstawie obrazów mózgu nie jest jeszcze praktyczne z kilku powodów, ale widać ekscytujący postęp.

* Ogólnie rzecz biorąc, neuroobrazowe badania rozumowania dają wyniki zgodne z badaniami inteligencji, chociaż w wielu badaniach rozumowania unika się omawiania jakiegokolwiek pokrywania się. Ściślejsza współpraca między naukowcami zajmującymi się rozumowaniem, posiadającymi wiedzę kognitywną, a badaczami inteligencji, posiadającymi wiedzę psychometryczną, to najlepszy sposób na zintegrowanie tych dwóch bogatych tradycji empirycznych.

* Połączenie genetyki ilościowej i neuroobrazowania ujawnia, że indywidualne różnice w pomiarach mózgu i inteligencji mają wspólne geny.

* Połączenie genetyki molekularnej i neuroobrazowania pozwoliło zidentyfikować określone geny i powiązane mechanizmy mózgowe, które mogą wpływać na indywidualne różnice w inteligencji.

Przejrzyj pytania

1. Jaki jest najsilniejszy dowód na to, że inteligencja zależy od wielu obszarów rozmieszczonych w mózgu?

2. Jakie są różne sposoby mierzenia wydajności mózgu?

3. Która miara mózgu wykazuje najsilniejszą korelację z wynikami IQ i dlaczego nie jest to wystarczające do przewidywania IQ na podstawie obrazów mózgu?

4. Dlaczego badania rozumowania analogicznego są powiązane z badaniami nad inteligencją?

5. Opisz, w jaki sposób połączenie genetyki ilościowej i neuroobrazowania zaowocowało zaawansowanymi badaniami nad inteligencją.

6. W jaki sposób połączenie genetyki molekularnej i neuroobrazowania przyspieszyło poszukiwania genów inteligencji?

Święty Graal: czy neuronauka może zwiększyć inteligencję?

Wstęp

Dlaczego gubernator Georgii miałby prosić legislaturę stanową o zakup płyty CD z muzyką klasyczną dla każdego noworodka w stanie? Po co uczyć się zapamiętywać coraz dłuższe ciągi losowych liczb? Dlaczego systemy szkolne z ograniczonymi funduszami kupują drogie gry komputerowe dla dzieci do grania podczas zajęć? Jakie dokładnie są 5, 7 lub 10 najlepszych wskazówek, jak zwiększyć swoje IQ o 17–40 punktów? Ten rozdział dotyczy sensu i nonsensu dotyczącego możliwości zwiększenia inteligencji. Dobrą wiadomością jest to, że pewnego dnia neuronauka może zaoferować możliwość zwiększenia inteligencji w oparciu o zrozumienie zaangażowanych mechanizmów mózgowych, w tym mechanizmów, na które można wpływać na różne sposoby. Zła wiadomość jest taka, że twierdzenia, że już wiemy, jak to zrobić, są naiwne, błędne lub wprowadzają w błąd. Twierdzenia te pojawiają się nie tylko w Internecie lub w książkach napisanych przez autorów bez szczególnej wiedzy naukowej. Niektóre z nich można znaleźć w raportach z badań opublikowanych po recenzji naukowej w bardzo szanowanych czasopismach naukowych. Jak to mogło się stać? Wyższa inteligencja jest lepsza niż niższa inteligencja; nikt poważnie się nie zgadza. Wszystkie badania wywiadowcze przemawiają za celem ulepszenia, bezpośrednio lub pośrednio. To jest godny cel; wystarczy zapytać rodziców dziecka z niskim IQ lub upośledzeniem umysłowym. Jest to również główny cel wszystkich rodziców wobec swoich dzieci, niezależnie od tego, czy jest to wyartykułowane tak dosadnie, czy nie. Być może są ludzie, którym nie zależy na byciu mądrzejszymi, ale ja nie znam żadnego z nich. Osiągnięcie celu, jakim jest zwiększenie inteligencji, będzie wymagało zrozumienia, czym są czynniki inteligencji, jak najlepiej je mierzyć, jak się rozwijają, jak odnoszą się do określonych mechanizmów mózgowych i jak te mechanizmy mogą być plastyczne. Próby zwiększenia inteligencji mają długą historię. Nie mogę tego udokumentować, ale podejrzewam, że było to przedmiotem zainteresowania alchemików, starożytnych budowniczych, a nawet wcześniejszych mistyków. Jeśli chodzi o współczesne wysiłki naukowe, nie ma znaczącego sukcesu, gdy sukces jest definiowany przez niezależną replikację wyników badań empirycznych, które trwają w czasie w oparciu o wyrafinowane oceny inteligencji w dobrze zaprojektowanych badaniach. Wcześniej zwróciliśmy uwagę na krytyczny problem pomiaru polegający na tym, że wyniki IQ nie są skalą ilorazową, przez co interpretacja wyników zmian przed i po interwencji jest prawie niemożliwa. Powtarzam, punkty IQ nie są miarami takimi jak cale czy funty. Ten kluczowy problem, leżący u podstaw twierdzeń o zwiększaniu inteligencji, jest prawie ignorowany w badaniach, które omówimy tutaj. W Części 2 dokonaliśmy przeglądu niepowodzeń szczerych programów kompensacyjnych i programów wczesnej edukacji mających na celu zwiększenie IQ. Programy te mają inne pozytywne wyniki, ale ciężar dowodów nie potwierdza żadnych twierdzeń dotyczących zwiększonej inteligencji ocenianej za pomocą IQ lub innych testów psychometrycznych. Jedna z hipotez głosi, że to niepowodzenie może być w dużej mierze spowodowane genetycznym wpływem na inteligencję, wykazanym w wielu badaniach, które omówiliśmy w Częściach 2 i 4. Niemniej jednak, najwyraźniej niezrażony przeszłymi niepowodzeniami i nieodłącznymi problemami pomiarowymi lub ich nieświadomy, istnieje to nowsze doniesienia w literaturze naukowej, które twierdzą, że radykalnie podnoszą wyniki IQ u dzieci i dorosłych. Przyjrzymy się trzem z tych konkretnych stwierdzeń pod sugerowanym nagłówkiem: „Nie pozwól, aby to ci się przytrafiło". Twierdzenia te opierają się na wykorzystaniu muzyki klasycznej, treningu pamięci i gier komputerowych do podnoszenia IQ. Pokazując, jak sceptycznie należy oceniać takie twierdzenia, mam nadzieję, że uodpornię cię na przyszłe deklaracje o rzekomych przełomowych lub przełomowych wynikach. Po tych ostrzegawczych studiach przypadków zbadamy następnie równie wątpliwe twierdzenia dotyczące leków, które zwiększają IQ. Następnie przechodzimy do ekscytującej możliwości zwiększenia inteligencji za pomocą środków neurobiologicznych, które sprawdzają granicę między nauką a fantastyką naukową.

Przypadek 1: Mozart i mózg

Mozart zmarł w 1791 roku, ale 202 lata później Mozart stał się przedmiotem szaleństwa. Zaczęło się od krótkiego listu opublikowanego w szanowanym czasopiśmie naukowym Nature. W liście twierdzono, że słuchanie określonej sonaty Mozarta przez 10 minut tymczasowo zwiększyło IQ o 8 punktów. Osiem punktów to mniej więcej połowa odchylenia standardowego, całkiem duży efekt jak na zaledwie 10-minutową interwencję. Badacze wywiadu natychmiast uznali, że brzmi to zbyt dobrze, aby mogło być prawdziwe. To nie była prawda, ale, co zdumiewające, zajęło sześć lat, aby stłumić powszechny entuzjazm po krytycznej recenzji. Potrzeba było kolejnych 11 lat, aby ostatecznie obalić to twierdzenie wraz z publikacją obszernego artykułu przeglądowego zatytułowanego „Efekt Mozarta – efekt Shmozarta: metaanaliza" . Tytuł mówi sam za siebie. W ciągu 17 lat istnienia tego popularnego mitu zakupiono niezliczoną ilość płyt CD z Mozartem i innymi muzykami klasycznymi w nadziei, że samo słuchanie zwiększy IQ. Szkolne programy muzyczne zyskały nowe wsparcie, a lekcje muzyki zyskały nowe uzasadnienie. Niezliczone projekty Science Fair w szkołach średnich dotyczyły różnych aspektów „Efektu Mozarta", testowanych głównie na przyjaciołach i rodzinie. Szczerze mówiąc, nie były to straszne konsekwencje złego pomysłu. Być może z wyjątkiem kilku lekcji gry na akordeonie nikomu nic się nie stało, ale też nikomu nie wzrosło IQ. Oryginalny raport z 1993 roku opierał się na 36 studentach college'u, którzy zostali przetestowani pod kątem abstrakcyjnego rozumowania po 10-minutowej ekspozycji na trzy różne warunki. Miarami rozumowania były trzy różne testy rozumowania przestrzennego z baterii testów inteligencji Stanforda-Bineta. Trzy warunki eksperymentalne to słuchanie Sonaty na dwa fortepiany D-dur Mozarta, słuchanie taśmy relaksacyjnej i słuchanie ciszy (wiem, że nie można słuchać ciszy, ale zdanie wymaga konstrukcji równoległej). Po każdym warunku podano jeden z trzech testów. W przypadku warunku Mozarta standardowy wynik testu wyniósł 57,56. Było to statystycznie wyższe niż 54,61 dla warunku relaksacji i 54,00 dla warunku ciszy. Te standardowe wyniki testów zostały „przetłumaczone" na przestrzenne wyniki IQ odpowiednio 119, 111 i 110. Autorzy stwierdzili, że „IQ osób uczestniczących w warunkach muzycznych było o 8–9 punktów wyższe od ich wyników IQ w innych warunkach". Zauważyli również, że efekt wzmacniający trwał tylko przez 10-15 minut testów. Zachęcali do dodatkowych badań nad długością czasu między słuchaniem a testowaniem, nad różnicami w czasie słuchania, nad wpływem na inne miary inteligencji i pamięci, na inne kompozycje i style muzyczne oraz na możliwe różnice między muzykami a niemuzykami. I tak narodził się Efekt Mozarta dla zwiększenia IQ, wraz z niezliczonymi projektami Science Fair. Kimkolwiek byli recenzenci Nature, najwyraźniej nie byli świadomi, że traktowanie trzech różnych testów rozumowania jako równych miar abstrakcyjnego rozumowania, opartych na fakcie, że są ze sobą skorelowane, było straszną procedurą psychometryczną. Nie wymagali również informacji o uczestnikach w odniesieniu do IQ lub doświadczenia i umiejętności muzycznych. A najbardziej niepokojące jest to, że przełożenie indywidualnych wyników testów na przestrzenne wyniki IQ i twierdzenie o ośmiopunktowym wzroście było psychometrycznie naiwne, jak omówiliśmy to w rozdziale 1. próbka z niezwykłym odkryciem nie była oparta na nadzwyczajnych dowodach i dlatego nie była gotowa do publikacji, zwłaszcza w Nature. Chociaż autorzy skupili się na przestrzennym IQ, wynikające z tego relacje w mediach nie były tak szczegółowe, a efekt Mozarta był powszechnie rozumiany jako ogólny wzrost IQ. Oprócz relacji w mediach, niektórzy badacze wywiadu w tamtym czasie wykorzystywali wszelkie odkrycia sugerujące, że IQ jest wysoce plastyczny, jako dowód przeciwko silnej roli genetycznych wpływów na inteligencję. Raport Nature mówił również o pragnieniu łatwego sposobu zdobycia większej inteligencji przy stosunkowo niewielkich kosztach i bez ryzyka. Zgodnie z artykułem w New York Times (15 stycznia 1998), gubernator Zell Miller z Georgii zaproponował wydawanie 105 000 dolarów rocznie z budżetu stanowego na zakup kaset lub płyt z muzyką klasyczną dla około 100 000 dzieci urodzonych w Georgii każdego roku (iPody były nie jest jeszcze rzeczywistością). Podczas przemówienia budżetowego do prawodawców gubernator zagrał

część Ody do radości Beethovena i zapytał: „Czy nie czujesz się już mądrzejszy?” Zauważył również, że z jego dorastania wynikało, że „Muzycy to ludzie, którzy nie tylko potrafili grać na skrzypcach, ale byli też dobrymi mechanikami”. W artykule zacytowano również sceptyka: „Znam te odkrycia i w tej chwili” — powiedziała Sandra Trehaub, profesor psychologii na Uniwersytecie w Toronto, która bada percepcję muzyki przez niemowlęta — „nie” Uważamy, że mamy dowody, aby jednoznacznie stwierdzić to stwierdzenie. Jeśli naprawdę myślimy, że możesz połknąć pigułkę, kupić płytę lub konkretną książkę lub mieć jakiekolwiek doświadczenie i że to będzie rzecz, która doprowadzi cię do Harvardu lub Princeton, to jest to złudzenie. wspomnieć o Yale. Niezależna replikacja wyników jest kamieniem węgielnym metody naukowej. Dodatkowe badania nadrabiały zaległości w Mozarcie. Pięć lat po oryginalnej publikacji w Nature ukazały się dwa krytyczne listy i odpowiedź głównego autora oryginalnej pracy. Pierwszym krytycznym listem od dr Christophera Chabrisa była metaanaliza 16 badań efektu Mozarta, które obejmowały 714 uczestników i kilka różnych testów rozumowania. Ten rodzaj analizy łączy wszystkie wyniki z badań. Ogólny efekt Mozarta był niewielki w przypadku inteligencji ogólnej i nieco większy w przypadku testów przestrzenno-czasowych. On również przeliczył wyniki poszczególnych testów na ekwiwalenty IQ i znalazł około 1,4 punktu dla ogólnej inteligencji i około 2,1 punktu dla rozumowania przestrzenno-czasowego. Te konwersje są zawsze podejrzane, jak już omówiliśmy, ale służą wąskim celom, jakim jest pokazanie, jak niewielki wydaje się efekt, ponieważ tak małe fluktuacje są prawdopodobnie spowodowane standardowymi błędami pomiaru występującymi we wszystkich testach umysłowych. Chabris doszedł do wniosku, że te niewielkie efekty były prawdopodobnie spowodowane pozytywnym nastrojem wywołanym przyjemnym doświadczeniem, takim jak słuchanie Mozarta. W jego sformułowaniu przyjemne doświadczenie zwiększa pobudzenie, zwłaszcza w prawej półkuli, która przetwarza informacje przestrzenno-czasowe. Drugi list w tym cytacie od dr Kennetha Steele i współpracowników donosi o całkowitym niepowodzeniu w powtórzeniu wyników z oryginalnego eksperymentu z 1993 roku. Niektóre z ich wyników wskazywały na gorsze wyniki testu po wysłuchaniu Mozarta. W odpowiedzi dr Rauscher zauważył, że oryginalny raport nie twierdził, że nastąpił wzrost inteligencji. Twierdziła, że roszczenie ograniczało się do zadań przestrzenno-czasowych obejmujących wyobrażenia umysłowe i porządkowanie czasowe. Zwróciła uwagę, że mniejsza liczba badań w metaanalizie Chabrisa, w których wykorzystano tylko testy rozumowania przestrzenno-czasowego, wykazała wzrost po wysłuchaniu Mozarta, i skrytykowała jego hipotezę pobudzenia przyjemności. Skrytykowała również badania grupy Steele, ponieważ nie były one dokładnymi replikacjami. Przyznała, że wyniki niezależnych badań były niespójne i doszła do wniosku: „To, że niektórzy ludzie nie mogą wyhodować chleba, nie neguje istnienia„ efektu drożdży ”. Kluczowe wyjaśnienie dr Rauschera dotyczące twierdzenia, że zwiększona ogólna inteligencja była błędnym wnioskiem z oryginalnego raportu, jest poprawne, ale zamieszanie wynikało częściowo z oznaczenia osi ich sylwetki (przedstawionej tutaj jako ryc. 5.1) jako „odpowiedników IQ”. Co więcej, komunikat prasowy Uniwersytetu, który towarzyszył oryginalnej publikacji Nature, przyczynił się do zamieszania. Mój egzemplarz tego wydania (embargo do godziny 18:00 EDT, 13 października 1993) zaczyna się od odkrycia dotyczącego „inteligencji przestrzennej”, ale potem cytuje badaczy, którzy powiedzieli: „Tak więc iloraz inteligencji osób biorących udział w warunku muzycznym wynosił 8–9 punktów powyżej ich wyników w pozostałych dwóch warunkach.” Rozróżnienie między inteligencją przestrzenną a ogólną mogłoby być wyraźniejsze. Po wymianie w Nature w 1999 r. Utrzymywały się kontrowersje dotyczące wpływu Mozarta na wszelkie testy zdolności umysłowych. Opublikowano więcej badań ze sprzecznymi i niespójnymi wynikami. Kolejna metaanaliza Argera została opublikowana w 2010 roku i ta jest powszechnie uważana za ostateczny cios. Ta wszechstronna analiza obejmowała prawie 40 badań i ponad 3000 uczestników. Ważną cechą tej analizy było włączenie nieopublikowanych badań, ponieważ badania z negatywnymi wynikami często nie są publikowane. Może to skłaniać literaturę do badań pozytywnych. Kolejną cechą były oddzielne analizy dla badań przeprowadzonych przez pierwotnych autorów raportu z 1993 r. w celu porównania

z badaniami wykonanymi przez innych badaczy. Ogólnie rzecz biorąc, ta metaanaliza wykazała niewielki wpływ Mozarta na wykonywanie zadań przestrzennych i prawie identyczny niewielki wpływ na inne warunki muzyczne. Włączenie niepublikowanych badań poprawiło ten wynik do jeszcze mniejszego efektu. Wyniki tylko tych badań przeprowadzonych przez pierwotnych badaczy generalnie wykazały większe efekty niż te z badań innych badaczy, co wskazuje na mylący wpływ przynależności do laboratorium. Autorzy metaanalizy doszli do wniosku, że „Ogólnie rzecz biorąc, niewiele zostało, co wspierałoby ideę szczególnej poprawy wykonywania zadań przestrzennych poprzez ekspozycję na sonatę Mozarta KV 448". Tytuł tej metaanalizy mówił wszystko: „Efekt Mozarta – efekt Szmozarta". Niezależnie od tego, czy noworodki w Gruzji otrzymały swoje płyty CD, czy nie, jasne jest, że publiczne zrozumienie raportu Nature z 1993 r. Wykroczyło daleko poza to, co zamierzali autorzy badania. Pierwotne badanie zostało przeprowadzone na moim uniwersytecie pod auspicjami prestiżowego Centrum Uczenia się i Pamięci, a znałem głównego autora, dr Gordona Shawa. Chociaż nie wiedziałem o badaniu przed jego opublikowaniem, odbyłem później z nim wiele uprzejmych rozmów. Fizyk z wykształcenia, interesował się mózgiem i rozwiązywaniem problemów, a przed śmiercią rozwijał teorię wiążącą złożoność kompozycji muzycznej z poznaniem. Żałował szeroko rozpowszechnionych nieporozumień dotyczących pierwotnego odkrycia i ogólnej inteligencji, ale był przekonany, że muzyka i funkcje poznawcze są ze sobą powiązane w pozytywny sposób. Znaczne badania potwierdzają ten pogląd, a jego praca z dr Rauscherem pomogła wzbudzić zainteresowanie tym ważnym obszarem. Niezależnie od wielu bogatych korzyści płynących z kontaktu z muzyką i treningu, zwiększona inteligencja, ogólna lub przestrzenna, nie jest jedną z nich. Efekt Mozarta powinien być przestrogą dla każdego badacza, który twierdzi, że po interwencji nastąpił dramatyczny wzrost IQ. Niestety, lekcji nie wzięto sobie do serca i takie twierdzenia są kontynuowane.

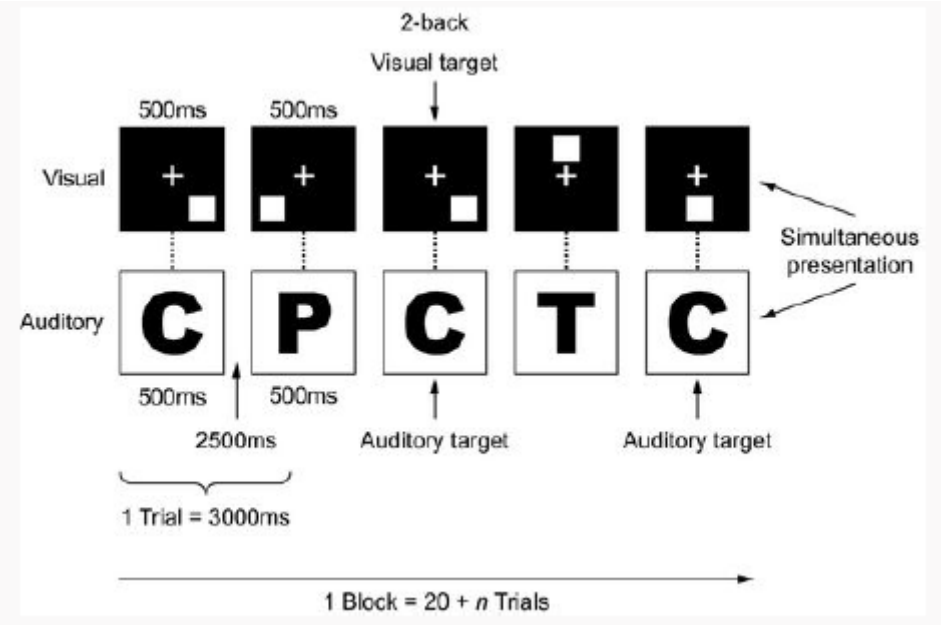
Przypadek 2: Musisz zapamiętać to, i to, i to…

Inne niezwykłe twierdzenie o zwiększaniu inteligencji zostało opublikowane jako artykuł tytułowy w Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS). Nie wspomniano o Mozarcie, ale w raporcie stwierdzono, że ćwiczenie trudnego zadania pamięci roboczej spowodowało „dramatyczną" poprawę w teście płynnej inteligencji. Jak zauważono w rozdziale 1, inteligencja płynna (często wyrażana za pomocą notacji Gf) jest silnie skorelowana ze współczynnikiem g i wielu badaczy inteligencji uważa je za synonimy. Co więcej, to zaskakujące odkrycie zostało wzmocnione dwiema ważnymi obserwacjami: efekt wzrastał wraz z większym treningiem, co sugeruje rodzaj odpowiedzi na dawkę, oraz efekt przeniesiony z zadania treningu pamięci do „całkowicie innego" testu abstrakcyjnego rozumowania. Autorzy doszli do wniosku: „Tak więc, w przeciwieństwie do wielu poprzednich badań, dochodzimy do wniosku, że możliwe jest ulepszenie Gf bez wykonywania samych zadań testowych, otwierając szeroki zakres zastosowań". Ta wypowiedź była bombą. Spotkało się to z szerokim zainteresowaniem mediów i opinii publicznej. Podobnie jak oryginalny raport Mozarta, ten raport został również wykorzystany przez badaczy, którzy chcieli wykazać, że ogólna inteligencja nie może być czymś stałym lub genetycznym, ponieważ można ją radykalnie zwiększyć dzięki ćwiczeniu pamięci. Jednak dla większości doświadczonych badaczy wywiadu twierdzenie to natychmiast przypominało twierdzenie o zimnej fuzji z 1989 r., mówiące o zdumiewającym przełomie, który większość fizyków uważał za niemożliwy. Wynik zimnej fuzji okazał się błędem pomiaru ciepła popełnionym przez wybitnych badaczy w jednej dziedzinie, którzy nie mieli doświadczenia w technicznych pomiarach wymaganych w innej dziedzinie. Czy błąd pomiaru inteligencji płynnej może być czynnikiem w raporcie PNAS? Wiesz gdzie to się dzieje. Uzasadnienie badania treningu pamięci PNAS było proste. Pamięć jest dobrze ugruntowanym składnikiem inteligencji, więc poprawa pamięci poprzez trening może poprawić inteligencję. Ignorując fakt, że oba mogą być powiązane z trzecim podstawowym czynnikiem, kluczowym elementem testowania tego prostego toku myślenia byłoby to, że zadanie szkoleniowe musi być niezależne od testu na inteligencję. Innymi słowy, efekt treningu pamięci powinien zostać przeniesiony na zupełnie

inny test, który nie wymagał pamięci. Na przykład nauczenie osoby zapamiętywania kolejności kart w talii może przenieść się na jej zdolność do zapamiętania sekwencji 52 liczb losowych, ponieważ oba są podobnymi testami pamięci. Byłoby bardziej imponujące, gdyby trening zapamiętywania kart dawał lepsze wyniki w teście analogii (testy analogii mają zwykle wysokie ładunki g). Byłoby jeszcze bardziej imponujące, gdyby cztery tygodnie treningu zapamiętywania kart przyniosły dwukrotnie większą poprawę w testach analogicznych niż dwa tygodnie treningu z kartami. W eksperymencie dotyczącym treningu pamięci PNAS 35 studentów uniwersytetu zostało losowo przydzielonych do jednego z czterech programów treningowych (jeden uczeń zrezygnował z udziału w sumie 34 uczestników), a 35 innych studentów przydzielono do czterech grup kontrolnych, które nie przeszły żadnego szkolenia. Spośród 70 uczniów stosunek liczby mężczyzn do kobiet wynosił około 50–50. Tak więc każda grupa miała bardzo małą liczbę około ośmiu uczestników płci męskiej lub żeńskiej. Każdy uczestnik został przetestowany przed i po treningu (lub w tych samych interwałach kontrolnych) albo za pomocą Raven's Advanced Progressive Matrices (RAPM, omówiony w poprzednich rozdziałach i używany tylko dla jednej grupy trenującej) lub podobnego Bochumer Matrizen-Test (BOMAT) rozumowania abstrakcyjnego wykorzystany dla trzech grup szkoleniowych. Nie było wyjaśnienia dla używania dwóch testów zamiast jednego. Każdy test miał dwa formularze, jeden do testu wstępnego i jeden do testu końcowego. Cztery programy treningowe różniły się liczbą sesji treningowych między testami przed i po: 8, 12, 17 i 19 dni. Te same interwały określały testy przed i po testach dla czterech grup kontrolnych, które nie przeszły żadnego szkolenia. Trening pamięci dla wszystkich czterech grup wykorzystywał dobrze znane zadanie w psychologii poznawczej. Nazywa się to testem n-back, gdzie n oznacza dowolną liczbę całkowitą. Pomysł polega na tym, że długa seria losowych liczb, liter lub innych elementów jest prezentowana uczestnikowi pojedynczo na ekranie komputera. Na przykład w wersji 1-tył z literami, gdy jakakolwiek litera powtarza się dwa razy z rzędu, czyli ta sama litera jest 1 wstecz w serii, uczestnik naciska przycisk. Jest to dość łatwe, ponieważ wymaga przechowywania tylko jednej litery w pamięci roboczej, aż pojawi się następna litera. Jeśli następna litera nie jest taka sama, nie naciska się żadnego przycisku i należy teraz zapamiętać nową literę, aż pojawi się następna litera. W wersji 2-tył przycisk jest wciskany, jeśli ta sama litera została przedstawiona 2 litery wcześniej. Wymaga to zachowania dwóch liter w pamięci roboczej. Wersja 3-back jest trudniejsza, a 4-, 5-, 6-back staje się znacznie trudniejsza. Zwróć uwagę, że litery (lub cyfry lub jakiekolwiek inne elementy) mogą być prezentowane wizualnie lub przez słuchawki. Na potrzeby tego badania uczestnicy zostali przeszkoleni w wykonywaniu jednocześnie wersji wizualnej i dźwiękowej. Nie żartuję. Niedoceniając oczywistości, jest to dość trudne i zaskakujące, że odpadła tylko jedna osoba. Bardziej szczegółowy opis zadania oraz link do animacji pokazującej, jak to działa, znajduje się w Ramce tekstwoej 5.1.

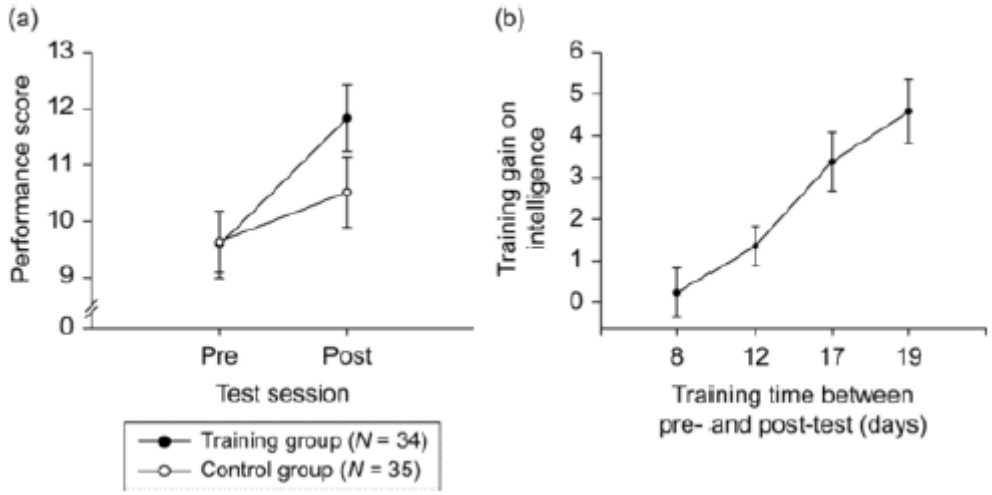
Ramka 5.1: Test n-back

Podwójny test n-back przedstawiono na rysunku .



Pokazano wersję 2-tylną, w której zastosowano pozycje przestrzenne i litery. Osoba naciska przycisk, gdy ten sam element powtarza się z jednym elementem pośrednim. Elementy położenia przestrzennego są prezentowane wizualnie pojedynczo, a litery pojedynczo przez słuchawki. W wersji podwójnej zarówno elementy przestrzenne, jak i literowe są prezentowane jednocześnie przez 500 milisekund każdy z 2500 milisekundami między elementami. Jest to zilustrowane w górnym rzędzie rysunku. Pokazuje sekwencję pozycji przestrzennych (białe kwadraty) w elementach przedstawionych pojedynczo, zaczynając od lewej strony. Środkowy element powinien wywołać naciśnięcie przycisku, ponieważ jest to powtórzenie identycznego elementu 2-back (element na lewym końcu rzędu). Dolny rząd pokazuje wersję literową. Środkowy element „C" powinien wywołać naciśnięcie przycisku, ponieważ jest to identyczne powtórzenie 2-tych „C" (na lewym końcu rzędu). „C" na prawym końcu rzędu jest również wyzwalaczem, ponieważ jest to identyczne powtórzenie środkowego „C" 2-back. Gdy dana osoba nauczy się wykonywać to trudne zadanie pamięciowe lepiej niż przypadek, przechodzi do trudniejszej wersji z 3 wstecznymi, która z kolei przechodzi do wersji z 4 i 5 wstecznymi i tak dalej, aż wydajności nie da się nauczyć lepiej niż przypadek . To wszystko jest trochę trudne do zrozumienia, gdy czytasz to po raz pierwszy, ale kiedy zrozumiesz, jak działa n-back, docenisz, jak trudny staje się trening. Pamiętaj, że twierdzenie jest takie, że trening w zakresie tego zadania zwiększa płynną inteligencję (bez przyprawiania o ból głowy). Animowane demonstracje testu 2-back mogą być Test BOMAT abstrakcyjnego rozumowania jest oparty na analogiach wizualnych i jest podobny do testu Ravena opisanego w rozdziale 1. W BOMAT macierz 5 × 3 ma cyfrę w każdej komórce z wyjątkiem jednej komórka jest pusta. Brakującą figurę należy określić na podstawie reguł logicznych wyprowadzonych z innych składowych (kształt, kolor, wzór, liczba, przestrzenny układ elementów figury). Osoba rozwiązująca test musi rozpoznać strukturę macierzy i spośród sześciu możliwych odpowiedzi wybrać tę, która pozwala na logiczne uzupełnienie macierzy. W teście Ravena wykorzystano macierz 3 × 3, więc mniej elementów trzeba zachować w pamięci roboczej podczas rozwiązywania każdego elementu w porównaniu z macierzą elementów 5 × 3 używaną w BOMAT. Dlatego BOMAT jest bardziej testem pamięci roboczej i dlatego jest podobny do n-back. To podobieństwo podważa twierdzenie, że trening na plecach przenosi się do zupełnie innego testu płynnej inteligencji.

Wyniki treningu przedstawiono na rysunku



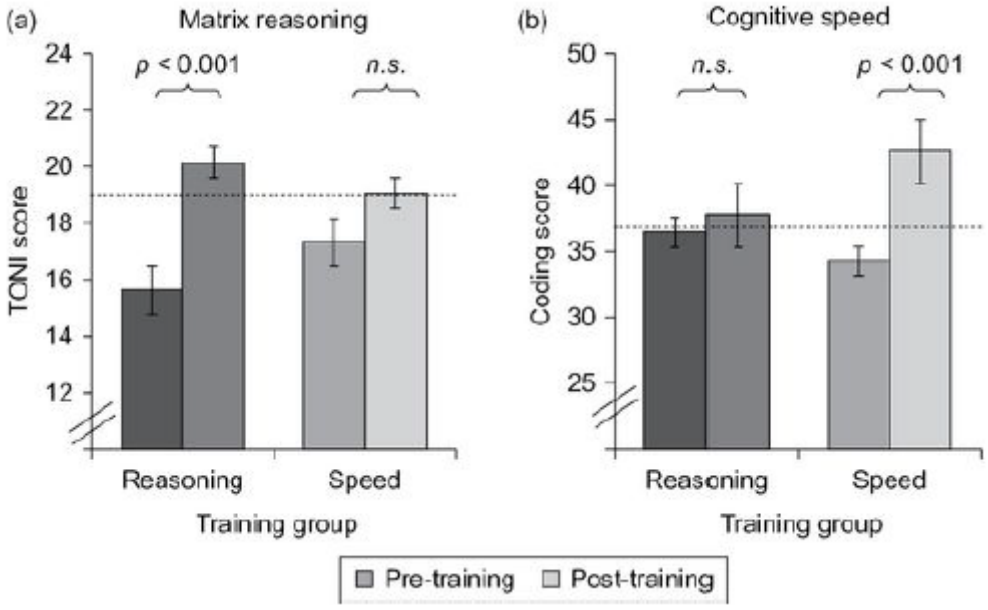
Pojawiły się jasne dla autorów, ale dla większości badaczy wywiadu ich znaczenie było znacznie mniej jasne. Wszystkich uczestników szkoleń połączono w jedną grupę (N = 34), a wszystkie kontrolne w drugą grupę (N = 35). Średnia trudność n-back wzrosła dla grupy trenującej z około 3-back na początku do około 5-back na końcu. Grupy nie różniły się pod względem wstępnego testu rozumowania abstrakcyjnego. Obie grupy wykazały średnio podwyższone wyniki rozumowania abstrakcyjnego po teście. Był to wzrost o około 1 punkt dla grupy kontrolnej i około 2 punktów dla grupy ćwiczącej. Zauważ, że nie są to punkty IQ; są to liczba poprawnych odpowiedzi na pytania w teście. Ta niewielka zmiana była istotna statystycznie i została opisana jako „zasadniczo lepsza". Kiedy wzrost wyniku testu inteligencji został wykreślony w stosunku do dni praktyki, grupa z 8 dniami wykazała mniej niż 1-punktowy wzrost, podczas gdy grupa z 19 dniami praktyki wykazała prawie 5-punktowy wzrost. Autorzy odważnie podsumowali: „Odkrycie, że trening poznawczy może poprawić Gf [płynną inteligencję], jest przełomowym wynikiem, ponieważ twierdzono, że ta forma inteligencji jest w dużej mierze niezmienna. Zamiast traktować Gf jako niezmienną cechę, nasze dane dostarczają dowodów na to, że przy odpowiednim szkoleniu istnieje potencjał poprawy Gf. Ponadto dostarczamy dowodów na to, że wielkość przyrostu Gf w sposób krytyczny zależy od ilości czasu treningu. Biorąc pod uwagę fundamentalne znaczenie Gf w życiu codziennym i jego moc predykcyjną dla wielu różnych zadań intelektualnych i sukcesu zawodowego, wierzymy, że nasze odkrycia mogą mieć duże znaczenie dla zastosowań w edukacji". Nie wiem, czy z tą wiadomością skontaktowali się z gubernatorem Georgii, czy jakimkolwiek innym stanem, ale wywołali szał treningu pamięci. Pierwsza druzgocąca krytyka nadeszła szybko. Dr Moody zwrócił uwagę na kilka poważnych błędów w artykule na okładce PNAS, które uniemożliwiły interpretację wyników. Najważniejsze było to, że BOMAT używany do oceny płynnego rozumowania został zastosowany w wadliwy sposób. Przedmioty ułożone są od łatwych do bardzo trudnych. Zwykle zdający ma 45 minut na rozwiązanie jak największej liczby z 29 zadań. Ten ważny fakt został pominięty w raporcie PNAS. Badanie PNAS pozwoliło tylko na 10 minut na ukończenie testu, więc jakakolwiek poprawa była ograniczona do stosunkowo łatwych pozycji, ponieważ limit czasu wykluczał dotarcie do trudniejszych pozycji, które są najbardziej predykcyjne dla Gf, zwłaszcza w próbie studentów z ograniczonym zakresem. To niestandardowe przeprowadzenie testu przekształciło BOMAT z testu inteligencji płynnej w test łatwych analogii wizualnych z co najwyżej nieznanym związkiem z inteligencją płynną. Co ciekawe, jedna grupa treningowa, która została przetestowana na RAPM, nie wykazała poprawy. Zasadnicza różnica między tymi dwoma testami polega na tym, że BOMAT wymaga, aby badający przechowywał w pamięci roboczej 14 figur wizualnych w celu rozwiązania każdego problemu, podczas gdy RAPM wymaga przechowywania w pamięci roboczej tylko ośmiu (jeden element w każdej macierzy jest pusty, dopóki problem nie zostanie rozwiązany). W związku z tym wydajność BOMAT jest bardziej zależna od pamięci roboczej. Taka jest dokładna natura

zadania n-back, zwłaszcza że wersja użyta do trenowania zawierała przestrzenne położenie elementów macierzy, dość podobne do formatu używanego w problemach BOMAT . Jak zauważył Moody: „Zamiast „całkowicie różnić się" od pozycji testowych w BOMAT, to zadanie [n-back] wydaje się dobrze zaprojektowane, aby ułatwić wykonanie tego testu". Gdy weźmie się pod uwagę tę wadę wraz z małymi próbkami i problemami związanymi z niewielkimi wynikami zmian pojedynczych testów, trudno jest zrozumieć recenzowanie i procesy redakcyjne, które doprowadziły do wyróżnionej publikacji w PNAS, w której stwierdzono niezwykłe odkrycie, które było sprzeczne z wagą dowodów z setek poprzednich raportów. Późniejsze badania n-back/inteligencja przebiegały etapami podobnymi do tych w historii Efektu Mozarta. Dr Jaeggi i współpracownicy opublikowali serię artykułów poświęconych niektórym kluczowym wadom projektowym pierwotnego badania i przedstawili wyniki zgodne z ich oryginalnym raportem, podobnie jak kilku innych badaczy. Znacznie więcej badań przeprowadzonych przez innych badaczy nie potwierdziło pierwotnego twierdzenia o zwiększonym Gf, zwłaszcza gdy wykorzystali bardziej wyrafinowane projekty badawcze, które obejmowały większe próby i wiele testów poznawczych w celu oszacowania Gf jako ukrytej zmiennej wraz z innymi czynnikami inteligencji, aby określić, czy poprawiona n -powrót wydajność przeniesiona do wyższych wyników inteligencji. Niezrażony tymi niezależnymi niepowodzeniami w replikacji, grupa Jaeggiego opublikowała własną metaanalizę, w tym badania negatywne. Ich analiza potwierdziła 4-punktowy wzrost IQ dzięki treningowi n-back. Zignorowali ostrzeżenia o konwersjach IQ i zmianach wyników i nie zauważyli, że 4 punkty to szacowany błąd standardowy testów IQ. Inni badacze szybko ponownie przeanalizowali tę metaanalizę. Doszli do wniosku, że niewielki efekt zgłoszony przez Au i współpracowników prawdopodobnie wynikał z małych rozmiarów próbek większości badań włączonych do metaanalizy, ponieważ były one statystycznie niedostateczne i stronnicze w kierunku fałszywego wyniku. Dlatego ostrzegali, że niewielki wpływ treningu na Gf może być artefaktem. W innej kompleksowej, niezależnej metaanalizie 47 badań stwierdzono, że nie ma trwałych efektów transferu dla treningu pamięci, chociaż autorzy zachęcali do dalszych badań z lepszymi projektami badań. Wreszcie, istnieją również dowody na to, że niewielki widoczny wzrost wyników testów po treningu pamięci może wynikać raczej z ulepszonych strategii zadań niż ze zwiększonej inteligencji (Hayes i in., 2015). Osiem lat po wstępnym raporcie PNAS, ciężar dowodów z niezależnych badań zasadniczo nie stwierdza efektów transferu z treningu pamięci do wyników inteligencji, które są naprawdę niezależne od metody treningu. Na tym etapie najbardziej pozytywne wyniki dotyczące treningu n-back i inteligencji pochodzą od Jaeggi i jej współpracowników. Większość badaczy pozostaje bardzo sceptyczna i przeszła do innych projektów pomimo wcześniejszego entuzjazmu dla możliwości zwiększenia Gf poprzez trening pamięci. Artykuł Shmozarta skutecznie zakończył większość badań nad efektem Mozarta. Nie jest jeszcze jasne, czy przekonujące raporty Bogga i Laseckiego oraz Redicka będą miały taki sam wpływ na historię wywiadowczą n-back, shman-back. Ciekawym zbiegiem okoliczności jest to, że Jaeggi kilka lat temu przeniósł się na moją uczelnię do School of Education i zaprzyjaźniliśmy się pomimo całkowitej różnicy zdań co do tego, czy trening pamięci zwiększa inteligencję. Opierając się na historii podobnych twierdzeń z przeszłości, podejrzewam, że badania nad treningiem pamięci będą mniej ukierunkowane na poprawę inteligencji, a bardziej na inne zmienne poznawcze i edukacyjne. W rzeczywistości rośnie zainteresowanie szerszym treningiem poznawczym z wykorzystaniem gier komputerowych w celu poprawy osiągnięć szkolnych, jak widać w następnym przypadku.

Przypadek 3: Czy gry komputerowe dla dzieci mogą podnieść IQ?

Istnieje obszerna literatura naukowa i poważne kontrowersje dotyczące tego, czy gry komputerowe mogą mieć jakiekolwiek korzystne efekty poznawcze (w 2014 r. opublikowano dwa otwarte listy za i przeciw „konsensusu"). Jakikolwiek wpływ mogą mieć gry komputerowe na uczenie się, uwagę lub pamięć, skupiamy się tutaj na wąskim pytaniu, czy szkolenie z gier komputerowych jest zwiększa

inteligencję. Jedna grupa badawcza z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley stwierdziła 10-punktowy wzrost IQ wydajności po treningu gier komputerowych w zakresie podstawowych umiejętności poznawczych związanych z rozumowaniem i szybkością przetwarzania w badaniu dzieci z niskich środowisk społeczno-ekonomicznych. Wspominając badanie PNAS n-back z 2008 r., naukowcy z Berkeley bez ogródek doszli do wniosku, że „wbrew powszechnemu przekonaniu wyniki te wskazują, że zarówno płynne rozumowanie, jak i szybkość przetwarzania można modyfikować poprzez trening". Zobaczmy. W badaniu wzięło udział 28 dzieci w wieku od 7 do 10 lat. Studenci zostali losowo przydzieleni do jednej z dwóch grup szkoleniowych. Jedna grupa (n = 17) szkoliła się w zakresie komercyjnych gier komputerowych, które miały wspierać płynne rozumowanie (tj. Każda interwencja szkoleniowa miała miejsce w szkole przez godzinę przez dwa dni w tygodniu przez osiem tygodni, chociaż średnia liczba dni szkoleniowych wynosiła około 12 dla każdej grupy. W dni treningowe (dwa razy w tygodniu) każda grupa pracowała nad czterema różnymi grami komputerowymi przez około 15 minut każda. Oceny przedtreningowe i potreningowe rozumowania płynnego (FR) dokonano na podstawie Testu Inteligencji Niewerbalnej (TONI – wersja 3), a dla szybkości przetwarzania (PS) wykorzystano dwa testy: Cross Out z baterii testowej Woodcock–Johnson Revised oraz Kodowanie B ze Skali Inteligencji Wechslera dla dzieci IV. Szczegóły testu nie są konieczne do zrozumienia wyników. Grupa szkolona na FR wykazała około 4,5-punktowy wzrost w skali TONI inteligencji niewerbalnej w teście post-testowym i brak istotnego wzrostu w testach PS. W przypadku grupy przeszkolonej na PS stwierdzono coś przeciwnego: nastąpił znaczny wzrost wyniku kodowania, ale brak zmiany wyniku FR. Autorzy przełożyli surowy wzrost wyniku o 4,5 punktu na wzrost IQ o 9,9 punktu, czyli ponad połowę odchylenia standardowego. Czwórka dzieci najwyraźniej wzrosła o ponad 20 punktów IQ. Doszli do wniosku, że głównym przesłaniem była nadzieja, że luki poznawcze u dzieci w niekorzystnej sytuacji, zwłaszcza tych związanych z FR, można zamknąć za pomocą „zaledwie 8 tygodni grania w gry dostępne na rynku". Śledzono relacje w wiadomościach. Podobnie było z dotacjami. Kluczowe ustalenie przedstawiono na rysunku.



Jest kilka problemów, które już powinny być Ci znane. Wielkość próby jest bardzo mała, a wyniki IQ w tym wieku często wahają się o kilka punktów. Pozorny wzrost IQ może łatwo wynikać z przypadkowych efektów o nadmiernym wpływie w małych próbkach. Jest to bardziej prawdopodobne, biorąc pod uwagę, że dzieci, które najbardziej poprawiły się w niektórych zadaniach treningowych, nie były

dziećmi, które wykazały największe przyrosty FR. W rzeczywistości dzieci, które miały najniższy FR przed treningiem, wykazywały największy wzrost po treningu, co sugeruje, że efekt był spowodowany, przynajmniej częściowo, regresją do średniej (statystycznie, średnie wyniki powtórek mają tendencję do cofania się do średniej grupy). Ogólnie rzecz biorąc, wyniki są interesujące, ale zaufanie, że wskazują, że nowe odkrycie „sprzeczne z powszechnym przekonaniem" jest wątpliwym wnioskiem, zwłaszcza gdy powszechne przekonanie opiera się na ciężarze dowodów z setek innych badań. To badanie może być podstawą niektórych ogólnych twierdzeń komercyjnych, że gry komputerowe mogą zwiększać IQ (bez konkretnego przypisania do tego badania). Nie są mi znane żadne badania replikacyjne wyników UC Berkeley, pozytywne lub negatywne, przeprowadzone przez oryginalnych autorów lub przez innych badaczy. Jest to dziwne, biorąc pod uwagę rzekomy potencjał tych odkryć do obalenia powszechnie panujących przekonań. Większość badaczy inteligencji pozostaje bardzo sceptyczna co do 10-punktowego wzrostu IQ przypisanego ogólnemu treningowi poznawczemu. Na przykład ostatnie kompleksowe badanie wykazało praktycznie brak związku między doświadczeniem w grach wideo a płynną inteligencją w dużej próbie młodych dorosłych. Wiele firm komercyjnych oferuje rodzicom i systemom szkolnym komputerowe programy szkoleniowe, których jawnym lub dorozumianym celem jest zlikwidowanie luk poznawczych, zwłaszcza w przypadku uczniów ze środowisk defaworyzowanych (więcej informacji na temat SES i inteligencji można znaleźć w rozdziale 6). Większość renomowanych firm stara się unikać wyraźnych twierdzeń o zwiększaniu inteligencji. Jednak jedna firma twierdzi w swoim raporcie z 2014 roku (pobranym z Internetu), że ich program treningu mózgu podnosi IQ średnio o 15 punktów dla swoich klientów. Ich klienci, którzy rozpoczynają program z „poważną słabością poznawczą", wykazują średni wzrost o 22 punkty IQ. Raport zawiera wiele stron imponująco wyglądających analiz statystycznych, tabel i wykresów, które pokazują najwyraźniej niesamowite wyniki dla użytkowników ich programu, ale nie wymienia ani jednej publikacji, w której statystyki i twierdzenia zostały poddane niezależnej recenzji. Inne firmy czasami cytują opublikowane raporty z badań, zwłaszcza na małych próbkach, jako dowód na słuszność komputerowych programów szkoleniowych w celu zwiększenia wydajności umysłowej. Ten rodzaj selekcji jest dość powszechny, gdy odnotowuje się tylko badania potwierdzające twierdzenie, ignorując inne badania, które tego nie robią. Neuroedukacja i uczenie się oparte na mózgu to atrakcyjne koncepcje dla nauczycieli, ale moim zdaniem nie ma jeszcze przekonujących dowodów na ich skuteczne zastosowania, dlatego wymagana jest duża ostrożność. Potencjalnym nabywcom takich programów, zwłaszcza tym, którzy twierdzą, że zwiększają inteligencję, zaleca się zapamiętanie trzech słów przed podpisaniem umowy lub dokonaniem zakupu: wymagana jest niezależna replikacja. Mówiąc o niezależnej replikacji, żadne z trzech omówionych do tej pory badań (Efekt Mozarta, trening n-back i trening komputerowy) nie zawierało próby replikacji w oryginalnych raportach. Istnieją inne interesujące podobieństwa między tymi badaniami. Każdy twierdził, że odkrycie obaliło wieloletnie ustalenia z wielu wcześniejszych badań. Każde badanie opierało się na małych próbkach. W każdym badaniu mierzono domniemane korzyści poznawcze za pomocą pojedynczych wyników testu, a nie wydobywając ukryty czynnik, taki jak g, z wielu pomiarów. Głównym autorem każdego badania był młody badacz, a starsi autorzy mieli kilka wcześniejszych publikacji, które zależały od psychometrycznej oceny inteligencji. Z perspektywy czasu, czy jest zaskakujące, że liczne późniejsze badania przeprowadzone przez niezależnych, doświadczonych badaczy nie potwierdziły pierwotnych twierdzeń? Istnieje pewna chęć pokazania, że inteligencja jest plastyczna i można ją zwiększyć za pomocą stosunkowo prostych interwencji. Ta gorliwość wymaga od badaczy szczególnej ostrożności. Recenzowana publikacja nadzwyczajnych twierdzeń wymaga nadzwyczajnych dowodów. Moim zdaniem podstawowe wymagania dotyczące publikowania „przełomowych" odkryć zaczynałyby się od uwzględnienia danych replikacji wraz z oryginalnymi ustaleniami. Oszczędziłoby to wielu lat wysiłków i wydatków związanych z powielaniem prowokacyjnych twierdzeń opartych na fundamentalnie błędnych badaniach i słabych wynikach. Jest to skromna propozycja, ale prawdopodobnie

nierealistyczna, biorąc pod uwagę presję akademicką dotyczącą publikowania i uzyskiwania grantów. Zanim opuścimy tę sekcję dotyczącą zwiększania inteligencji u dzieci, warto rozważyć jeszcze jeden interesujący i bardziej optymistyczny raport. Podczas gdy trzy omówione do tej pory przypadki przedstawiono jako ostrzegawcze przykłady, ten jest pozytywną ilustracją tego, w jaki sposób postęp w tej dziedzinie może być bardziej rozważny. Ten raport opiera się na metaanalizach „prawie każdej dostępnej interwencji z udziałem dzieci od urodzenia do przedszkola" w celu zwiększenia inteligencji. Ci badacze z New York University (NYU) prowadzą bazę danych Raising Intelligence. Ta baza danych zawiera badania mające na celu zwiększenie inteligencji, które składają się z następujących elementów: próba pobrana z ogólnej populacji nieklinicznej; czysty, randomizowany, kontrolowany projekt eksperymentalny; trwała interwencja; oraz powszechnie akceptowaną, znormalizowaną miarą inteligencji jako zmienną wynikową. Przedstawiono cztery metaanalizy dotyczące wpływu suplementacji diety na ciężarne matki i noworodki, wczesnoszkolnych interwencji, interaktywnego czytania i wysyłania dziecka do przedszkola. Oto podsumowanie głównych wyników dla każdej z tych czterech analiz. Badania żywieniowe ograniczały się głównie do badań nad długołańcuchowym kwasem tłuszczowym zwanym PUFA (nie pytajcie, skąd ta nazwa), składnikiem mleka kobiecego niezbędnym do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania mózgu. Ta analiza została zainspirowana wcześniejszymi dowodami wyższego IQ u dzieci karmionych piersią w porównaniu z dziećmi karmionymi butelką. Metaanaliza z 2013 roku obejmowała 10 innych badań obejmujących łącznie 844 uczestników. Analiza sugeruje, że wzrost IQ o 3,5 punktu był związany z długołańcuchowymi PUFA, gdy był stosowany jako suplement diety. Jednak przegląd 84 powiązanych badań sugeruje kilka możliwych czynników zakłócających, w tym fakt, że rodzice z wyższym IQ częściej karmią piersią. Wniosek był taki, że niewielki wzrost IQ u dzieci przypisywany karmieniu piersią może w rzeczywistości wynikać z czynników zakłócających, w tym genetyki IQ. Taki był również wniosek z wcześniejszego prospektywnego badania par rodzeństwa, z których jedno było karmione piersią, a drugie nie (Der i in., 2006). Zatem ciężar dowodów nie przemawia za karmieniem piersią jako sposobem na zwiększenie IQ dziecka. Podobne analizy żelaza, cynku, witaminy B6 i suplementów multiwitaminowych były mniej zachęcające do zwiększania IQ w oparciu o dostępne dowody. Druga metaanaliza dotyczyła wczesnej edukacji. Opisaliśmy kilka kluczowych badań interwencyjnych, w których nie udało się wykazać trwałego wzrostu IQ. Analizy przeprowadzone na Uniwersytecie Nowojorskim obejmowały 19 badań sięgających 1968 roku. Niektóre z nich miały interwencje trwające ponad 3 lata. Chociaż niektóre indywidualne badania wykazały wzrost IQ u niektórych niemowląt, cała metaanaliza wykazała, że nie ma zauważalnego wpływu na IQ. Trzecia metaanaliza skupiała się na czytaniu interaktywnym i obejmowała 10 badań obejmujących łącznie 499 uczestników. W przypadku dzieci poniżej 4 roku życia metaanaliza wykazała około 6-punktowy wzrost IQ, gdy dziecko było aktywnym uczestnikiem czytania. Autorzy spekulują, że ta interwencja może wpływać na rozwój języka, który następnie pośrednio wpływa na IQ. Aktywne czytanie jest obecnie powszechnie zalecane rodzicom. Czwarta metaanaliza skupiała się na przedszkolach i obejmowała 16 badań z udziałem 7370 uczestników, głównie z rodzin o niskich dochodach. W sumie analiza wykazała 4-punktowy wzrost IQ, ale do 7-punktowego wzrostu dla podzbioru programów, które obejmowały szczególny nacisk na rozwój języka. Co ciekawe, dłuższe uczęszczanie do przedszkola nie wiązało się z większym przyrostem punktów IQ. Jak długo może trwać którykolwiek z domniemanych wzrostów i mechanizmy mózgowe, które mogą być istotne, nie są jeszcze znane. Nawet jeśli są statystycznie istotne, zgłaszane wzrosty IQ nadal są w większości zbliżone do wielkości błędu standardowego testów IQ, zwłaszcza biorąc pod uwagę, że wyniki testów inteligencji w tym młodym przedziale wiekowym są mniej wiarygodne i często zmieniają się z wielu powodów w krótkich okresach czasu. Wiele badań zawartych w czterech metaanalizach ma te same problemy z małymi próbkami, które charakteryzowały trzy studia przypadków i metaanalizę n-back przeprowadzoną przez Au i współpracowników na temat badań nad treningiem pamięci. Jest zbyt wcześnie, aby wiedzieć, czy metaanalizy NYU utrzymają się, gdy dostępnych będzie więcej danych, więc

uzasadniony jest dalszy sceptycyzm co do jakiegokolwiek wpływu, jaki te interwencje mogą mieć na inteligencję. Niemniej jednak naukowcy z NYU dostarczyli systematycznych, empirycznych podstaw dla swoich wniosków i sugestii dotyczących dodatkowych badań interwencyjnych u dzieci.

Gdzie są pigułki IQ?

Badania genetyczne i neuroobrazowe dostarczają przekonujących dowodów na to, że inteligencja ma silne podstawy w neurobiologii, neurochemii i neurorozwoju. Rzeczywiste mechanizmy mózgowe, które wpływają na struktury mózgu i funkcje związane z inteligencją lub je kontrolują, nie są zrozumiałe w żadnym znaczącym stopniu. Jeśli na przykład okaże się, że niektóre neuroprzekaźniki odgrywają kluczową rolę w odpowiednich mechanizmach poznawczych (np. pamięć robocza), wówczas leki, które zwiększają lub zmniejszają aktywność tych neuroprzekaźników, mogą wykazywać wpływ na wyniki testów inteligencji. Miejscem interwencji mogą być zdarzenia synaptyczne regulowane przez neuroprzekaźniki. Obejmują one zmianę poziomu neuroprzekaźnika lub szybkość uzupełniania neuroprzekaźnika lub wrażliwość receptorów reagujących na neuroprzekaźniki. Z drugiej strony, jeśli przypadkowo okaże się, że leki zwiększają wyniki testów IQ, wnioski o tym, jak te leki działają na neuroprzekaźniki w synapsach, mogą wygenerować nowe hipotezy dotyczące tego, jakie mechanizmy mózgowe mogą być najbardziej istotne dla inteligencji. Ta logika dla efektów leków jest taka sama, jak zastosowana w badaniach interwencyjnych, które omówiliśmy wcześniej w tym rozdziale. Narkotyki wpływają na mechanizmy mózgowe bardziej bezpośrednio niż na przykład trening pamięci, więc mogą mieć większy potencjał zwiększania inteligencji. Kryteria badania mające na celu wykazanie wpływu dowolnego leku na inteligencję są również takie same: próbka obejmująca zakres normalnych wyników IQ, wiele miar inteligencji w celu wyodrębnienia ukrytego czynnika g, podwójnie ślepe próby kontrolowane placebo z losowym przydziałem , zależną od dawki odpowiedź na każdy efekt krótkoterminowy (większa dawka oznacza większe wzmocnienie), okres obserwacji w celu określenia wszelkich trwałych skutków oraz niezależną replikację. I, oczywiście, skala ilorazowa inteligencji sprawiłaby, że wzrost byłby najbardziej przekonujący, chociaż żaden jeszcze nie istnieje. Internet zawiera niezliczone wpisy na temat leków zwiększających IQ i istnieje wiele recenzowanych badań na temat wpływu poprawiających funkcje poznawcze na uczenie się, pamięć i skupienie, takich jak narkotyki nikotyna. Leki psychostymulujące stosowane w leczeniu zespołu nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi (ADHD) i innych klinicznych zaburzeń mózgu są szczególnie ulubionymi kandydatami do stosowania przez uczniów szkół średnich, studentów i uniwersytetów oraz przez dorosłych bez schorzeń klinicznych, którzy pragną poprawy funkcji poznawczych w celu osiągnięcia osiągnięć akademickich lub zawodowych . Wiele badań pokazuje, że narkotyki są już szeroko stosowane w celu poprawy aspektów poznawczych i omówiono szereg powiązanych kwestii etycznych. Niektóre z tych zagadnień przedstawiono w ramce tekstowej 5.2. Ogólnie rzecz biorąc, dobrze zaprojektowane badania naukowe nie wspierają silnie takiego stosowania. Jeszcze mniej badań jest specjalnie zaprojektowanych aby badać wpływ leków bezpośrednio na wyniki testów inteligencji w próbkach osób, które nie mają problemów klinicznych. Nie mogłem znaleźć żadnej odpowiedniej metaanalizy, która mogłaby wspierać takie użycie. Krótko mówiąc, nie ma jeszcze przekonujących dowodów naukowych na pigułkę IQ. Jednak w miarę jak dowiadujemy się coraz więcej o mechanizmach mózgowych i inteligencji, istnieją wszelkie powody, by sądzić, że możliwe będzie wzmocnienie odpowiednich mechanizmów mózgowych za pomocą leków, być może już istniejących lub nowych. Na przykład badania nad leczeniem choroby Alzheimera mogą ujawnić specyficzne mechanizmy mózgowe związane z uczeniem się i pamięcią, które można wzmocnić za pomocą nowych leków znacznie lepiej niż istniejące leki. Ta perspektywa napędza intensywne badania w wielu międzynarodowych firmach farmaceutycznych. Jeśli takie leki staną się dostępne w celu poprawy uczenia się i pamięci u pacjentów z chorobą Alzheimera, z pewnością wpływ tych leków będzie badany u osób niebędących pacjentami w celu zwiększenia funkcji poznawczych. Ponieważ istnieje niewiele

empirycznych dowodów na zwiększenie inteligencji, a leki psychoaktywne często mają poważne skutki uboczne, zwłaszcza gdy lekarz nie monitoruje ich stosowania, w tej książce nie pojawia się żadna lista leków, które rzekomo zwiększają inteligencję. Moim zdaniem nie ma kogo wymieniać. Potencjał leków do zwiększania inteligencji jest jednak bezpośrednio skorelowany ze stopniem, w jakim ujawniane są biologiczne podstawy inteligencji, a tempo odkrywania wzrasta, jak opisano w poprzednich rozdziałach. Jednak leki mogą nie być jedynym sposobem na ulepszenie procesów neurobiologicznych. Istnieją fascynujące wskazówki dotyczące innych metod. Przechodzimy teraz do działań, które mogą brzmieć jak science fiction, mających na celu zwiększenie inteligencji i związanych z nią funkcji poznawczych. Nie są fikcją i są oszałamiające, niemal dosłownie.

Ramka 5.2: Leki poprawiające funkcje poznawcze

Czasopismo Nature opublikowało komentarz na temat kwestii etycznych dotyczących przypuszczalnych leków poprawiających funkcje poznawcze (CE) w 2007 r. oraz komentarz z 2008 r. oparty na nieformalnej ankiecie przeprowadzonej wśród 1400 naukowców z 60 krajów na temat używania takich narkotyków. Kwestie etyczne poruszone w komentarzu z 2007 r. dotyczyły tego, czy stosowanie leków CE u zdrowych osób bez zaburzeń neurologicznych lub psychiatrycznych było oszustwem lub było uczciwe, czy leki CE powinny być dostępne bez nadzoru lekarza oraz czy ktoś może odczuwać nadmierną presję, aby stosować leki CE dla siebie lub dla swoich dzieci, jeśli wiedzieli, że inni robią to w szkole lub w pracy. Badanie z 2008 r. naukowcy ujawnili, że 20% stosowało już leki poprawiające koncentrację; 70% zaryzykowałoby łagodne skutki uboczne, aby zwiększyć siłę intelektualną; 80% broniło swojego prawa do przyjmowania takich dopalaczy; a ponad 33% odczuwałoby presję, by podawać swoim dzieciom wzmacniacze mózgu, gdyby inne dzieci je stosowały. Raport z ankiety zawierał cztery konkretne komentarze respondentów, które ilustrowały podstawowe kwestie etyczne: Bezpieczeństwo: „Łagodne skutki uboczne sumują się we właściwym czasie i mogą nawet wymagać silniejszej terapii, aby kontrolować uzależnienie" — napisał młody człowiek z Nigerii . Erozja charakteru: „Nie używałbym leków poprawiających funkcje poznawcze, ponieważ uważam, że byłoby to nieuczciwe wobec mnie i wszystkich ludzi, którzy uważają mnie za wzór do naśladowania" — napisał młody człowiek z Gujany. Sprawiedliwość dystrybucyjna: „Moralnie szkodzi ludziom bez dostępu" — napisała osoba w średnim wieku z USA. Presja rówieśników: „Jako profesjonalista, moim obowiązkiem jest wykorzystywanie moich zasobów z największą korzyścią dla ludzkości. Jeśli używasz „wzmacniaczy", możesz przyczynić się do tej humanitarnej służby, jest to moim obowiązkiem" – napisał senior z USA. Autorzy komentarza Nature z 2008 roku argumentowali, że „Społeczeństwo musi odpowiedzieć na rosnące zapotrzebowanie na poprawę funkcji poznawczych. Ta odpowiedź musi zaczynać się od odrzucenia idei, że „ulepszenie" to brzydkie słowo". Od czasu opublikowania tych trzech artykułów na całym świecie pojawiło się wiele nowych ankiet dotyczących używania narkotyków CE. Różne metodologie badań i różne próbki utrudniają ustalenie wskaźników regularnego i okazjonalnego używania lub motywacji do używania. Niemniej jednak panuje powszechna zgoda co do tego, że używanie narkotyków CE wzrasta, zwłaszcza wśród uczniów szkół średnich i studentów w Ameryce, pomimo ograniczonych dowodów na skuteczność. W jednej z niedawnych prezentacji rozważań etycznych dotyczących farmakologicznej poprawy funkcji poznawczych (PCE) sformułowano sześć głównych kwestii: „(1) Profil bezpieczeństwa medycznego PCE uzasadnia ograniczenie lub zezwolenie na ich fakultatywne lub wymagane użycie. (2) Wzmocniony umysł może być umysłem „autentycznym". (3) Osoby fizyczne mogą być zmuszane do korzystania z PCE. (4) Należy dokonać znaczącego rozróżnienia między efektem leczenia a efektem wzmocnienia tego samego PCE. (5) Nierówny dostęp do PCE miałby wpływ na sprawiedliwość dystrybucyjną. (6) Używanie PCE stanowi oszustwo w kontekście rywalizacji" (Maslen i in., 2014). Dyskusje na temat ulepszeń i tych zagadnień w większości ograniczają się do kognitywnych elementów uwagi, uczenia się i pamięci. Konkretne zwiększanie inteligencji nie jest jeszcze przedmiotem programu etycznego. Jeśli, jak wierzę, więcej

inteligencji jest lepsze niż mniej, to czy nie istnieje moralny obowiązek na rzecz ulepszeń? Co sądzisz o tych problemach? Film „Limitless” z 2011 roku może wywołać pewne pomysły.

Pola magnetyczne, wstrząsy elektryczne i zimne lasery celują w procesy mózgowe

Ta sekcja pokrótce przedstawia pięć dziwnie brzmiących technologii, które zmieniają procesy mózgowe i mogą mieć wpływ na poprawę funkcji poznawczych i inteligencji. Co najważniejsze, techniki te pozwalają na eksperymentalną manipulację aktywnością korową w celu zbadania wpływu na funkcje poznawcze. Ta umiejętność zapewnia ekscytujące i ważne możliwości określania związków przyczynowo-skutkowych, które wykraczają poza badania opisujące korelacje między zmiennymi mózgu a wynikami testów umysłowych. Zwiastują początek nowej fazy badań nad inteligencją/mózgiem. Pierwszą techniką jest przezczaszkowa stymulacja magnetyczna (TMS). TMS wykorzystuje podobne do różdżki urządzenie zawierające metalową cewkę do wytwarzania silnych impulsów pola magnetycznego, gdy elektryczność jest przykładana w krótkich seriach. Kiedy cewka jest umieszczona na części skóry głowy, fluktuacje pola magnetycznego przechodzą przez skórę głowy i czaszkę bez zniekształceń do mózgu. Fluktuacje indukują prądy elektryczne, które depolaryzują neurony w leżącej poniżej korze mózgowej. Szybkość impulsów i ich intensywność może zmieniać się, aby zwiększyć lub zmniejszyć pobudzenie korowe. Jako narzędzie badawcze, TMS można wykorzystać do sprawdzenia, czy określony region kory mózgowej jest zaangażowany w zadanie poznawcze. Na przykład indukowanie dezaktywacji korowej może skutkować gorszą wydajnością, a indukowanie aktywacji może skutkować lepszą wydajnością lub, w przypadku wydajności, odwrotnie. Przegląd ponad 60 badań TMS przeprowadzonych w ciągu ostatnich 15 lat wykazał, że ta technika jest obiecująca w zakresie poprawy zakresu zadań poznawczych, chociaż inteligencja nie jest szczegółowo omawiana, a ten przegląd nie jest ilościową metaanalizą . Według autorów TMS może wpływać na mechanizmy mózgowe w celu zwiększenia wydajności zadania na co najmniej dwa ogólne sposoby: albo poprzez bezpośredni wpływ na neurony, który zwiększa wydajność przetwarzania istotnego dla zadania, albo poprzez zakłócanie przetwarzania, które jest nieistotne dla zadania i rozprasza jego wydajność . Niektóre efekty wzmacniające przypisane do pierwszej kategorii dotyczą między innymi zadań obejmujących niewerbalną pamięć roboczą, wizualne rozumowanie analogiczne, rotację umysłową i przestrzenną pamięć roboczą (z ich tabeli 1). Efekty wzmacniające przypisane do drugiej kategorii obejmują zadania werbalnej pamięci roboczej, uwagi przestrzennej i sekwencyjnej pamięci elementów . Oprócz eksperymentów laboratoryjnych autorzy omawiają również niektóre rzeczywiste zastosowania TMS, w tym rehabilitację poznawczą po urazie mózgu. Jak dotąd waga dowodów nie jest jasna, ale jest to obszar, w którym należy szukać dodatkowych badań i metaanaliz. Drugą techniką jest przezczaszkowa stymulacja prądem stałym (tDCS). Innymi słowy, powoduje to porażenie prądem głowy. Prądy są dość łagodne, a wstrząsy ledwo zauważalne. Nie stosuje się ich jako wstrząsów karnych za niewłaściwe reakcje na zadanie poznawcze ani jako terapii elektrowstrząsowej (ECT), która wywołuje drgawki, które łagodzą głęboką depresję kliniczną. Prądy tDCS są generowane przez 9-woltową baterię i przechodzą między elektrodami na skórze głowy. W zależności od zastosowanych parametrów, prąd ten może zwiększać lub zmniejszać pobudliwość neuronów pod elektrodami, podobnie jak efekt TMS. Wczesne badania tDCS były zachęcające. Jedna z grup badawczych napisała o efektach wzmocnienia zarówno dla TMS, jak i tDCS: „Techniki te prawdopodobnie najlepiej nadają się do dziedzin kariery, w których pewne umiejętności poznawcze, takie jak czujność i wykrywanie zagrożeń, są niezbędne do zachowania ludzkiego życia. Ponieważ takich zawodów jest mnóstwo w wojsku, nie jest niespodzianką, że Siły Powietrzne Stanów Zjednoczonych zaczęły ostatnio inwestować w nieinwazyjną stymulację mózgu ze względu na jej skuteczność w poprawie zdolności poznawczych człowieka”. Inna grupa dokonała przeglądu efektów wzmocnienia tDCS z wielu badań uwagi, uczenia się i pamięci u zdrowych osób dorosłych. Ten przegląd jakościowy wykazał, że „myśl zasilana baterią” ma znaczny potencjał dla pewnych zadań poznawczych, chociaż przegląd nie dotyczył bezpośrednio

inteligencji. Ten przegląd obejmował niektóre badania dotyczące wpływu tDCS na mechanizmy mózgowe leżące u podstaw ulepszeń poznawczych. Zauważyli możliwe role dla aspektów regulacji i funkcji glutaminianu, GABA, NAA, NMDA i BDNF (patrz podobne wyniki z badań genetyki molekularnej odnotowane w Rozdziale 4). Jednak zgodnie z przewidywaniami nowsza kompleksowa analiza ilościowa tDCS i funkcji poznawczych u zdrowych osób dorosłych była bardziej zniechęcająca. Nie znaleźli zasadniczo żadnych efektów dla miar wyników funkcji wykonawczych, języka lub pamięci. Nie znaleźli również wiarygodnych efektów neurofizjologicznych. Dalsze wątpliwości co do jakiegokolwiek wzmacniającego wpływu na inteligencję wyrażono w badaniu, które wykazało zmniejszoną wydajność baterii testowej inteligencji WAIS-IV po stymulacji tDSC. Autorzy ci zgłosili dwa badania (w sumie 41 osób dorosłych), oba z podwójnie ślepą próbą, projekt międzyosobniczy (tj. te same osoby badane przed i po tDCS), z wykorzystaniem warunku kontroli pozorowanej stymulacji (fałszywe połączenia, które wyglądają jak prawdziwe urządzenie, ale nie ma prądu). tDSC zastosowano obustronnie w obszarach płatów czołowych w jednym badaniu i jednostronnie w drugim badaniu. W obu badaniach stan tDCS porównano ze stanem pozorowanym. W obu badaniach tDCS wiązało się z pogorszeniem wyników w niektórych podskalach WAIS. Nie zaobserwowano poprawy wydajności. To jest lekcja wyciągnięta z praktycznie wszystkich dotychczasowych twierdzeń o poprawie funkcji poznawczych: wczesne obiecujące odkrycia muszą być wiarygodnie odtwarzane przez niezależnych badaczy i przetrwać kompleksowe analizy ilościowe. Istnieją inne potencjalnie pouczające badania na wczesnych etapach, które można opisać w kontekście tego rozdziału, aczkolwiek z ostrożnością, że badania replikacyjne pozostają do wykonania. Zamiast bezpośredniej stymulacji, wariant tej techniki wykorzystuje łagodny prąd przemienny, zwany przezczaszkową stymulacją prądem przemiennym (tACS). To nasza trzecia technika. Podczas gdy tDCS powoduje ogólną stymulację mózgu, tACS można skierować na określone obszary. Interesujące tutaj są dwa badania, które wykazały wzmocnienie wywołane przez tACS, szczególnie w testach płynnej inteligencji. W pierwszym badaniu tACS zastosowano eksperymentalnie do zmiany naturalnych częstotliwości oscylacji, które są generowane przez aktywność neuronów. Częstotliwości oscylacji w mózgu są związane z wykonywaniem zadań umysłowych, ale pytanie, czy są one przyczyną, czy konsekwencją, pozostaje kwestią otwartą. Uczestnikami było 20 młodych dorosłych, a niedostrzegalny „tACS" został zastosowany za pomocą elektrody na skórze głowy na lewym środkowym płacie czołowym. W porównaniu ze stymulacją pozorowaną (warunek kontrolny), rytmiczna stymulacja w paśmie gamma (o określonej częstotliwości) wywołana przez tACS skutkowała szybszym czasem rozwiązania tylko w przypadku trudniejszych pozycji, takich jak te w teście matryc Ravena. Sugerowało to związek przyczynowy między oscylacjami a wpływem na test. Należy zauważyć, że efekt wzmocnienia został oceniony na podstawie krótszych czasów do rozwiązania, gdzie czas jest skalą ilorazową. Autorzy doszli do wniosku, że ich odkrycie „potwierdza bezpośredni udział aktywności oscylacyjnej gamma w mechanizmach leżących u podstaw ludzkiego poznania wyższego rzędu". W innym badaniu inteligencji u 28 młodych dorosłych porównano tACS w paśmie theta (inna częstotliwość) w lewym płacie czołowym lub lewym płacie ciemieniowym; pozorowaną stymulację zastosowano również jako kontrolę. tACS podawano przez 15 minut przed ukończeniem dwóch testów płynnej inteligencji. Testy były zmodyfikowaną wersją RAPM oraz testu składania i cięcia papieru (PF&C) zdolności przestrzennych z baterii testowej Stanford-Binet IQ. Podczas obu badań uzyskano również EEG. Autorzy doszli do wniosku, że „tACS lewego płata ciemieniowego zwiększyło wyniki w trudnych pozycjach testowych obu testów (RAPM i PF&C), podczas gdy tACS lewego płata czołowego zwiększyło wyniki tylko w łatwych elementach testowych jednego testu (RAPM). Obserwowanym behawioralnym wpływom tACS towarzyszyły również zmiany aktywności neuroelektrycznej. Dane behawioralne i neuroelektryczne wstępnie wspierają neurobiologiczny model inteligencji PFIT". Istnieją pewne niespójności i sprzeczności w wynikach tych dwóch niezależnych badań inteligencji płynnej tACS oraz w badaniach wykorzystujących tDCS, ale mogą one dostarczyć wskazówek na temat najistotniejszych mechanizmów mózgowych. Ponadto demonstrują potencjał

technik stymulacji mózgu do systematycznej manipulacji aktywnością neuronów u ludzi w celu określenia wpływu na wydajność poznawczą. Z pewnością pojawi się więcej badań z wyrafinowanymi projektami eksperymentalnymi, które obejmują większe próbki i nacisk na indywidualne zmienne różnicujące, takie jak wiek, płeć i istniejąca wcześniej pobudliwość mózgu. Stymulacja mózgu za pomocą tych technik jest eksperymentalna, ale mechanika budowy urządzeń tDCS i tACS jest dość prosta. Istnieją doniesienia o domowych urządzeniach do „szoku mózgowego", używanych przez graczy i inne osoby poszukujące lepszego poznania. Niektóre firmy komercyjne sprzedają takie urządzenia do różnych zastosowań. Niezależne badania replikacji wspierające ich twierdzenia, jeśli takie istnieją, byłyby ważne do oceny. Stosowanie domowych lub komercyjnych urządzeń elektrycznych do mózgu może mieć niezamierzone konsekwencje. Proszę nie konkurować o nagrodę Darwina, próbując tego w domu. Głęboka stymulacja mózgu (DBS), czwarta technika, jest koncepcyjnym odpowiednikiem rozrusznika serca. DBS stosuje łagodną stymulację elektryczną mikroelektrod wszczepionych chirurgicznie w określone obszary mózgu przez zespół lekarzy specjalistów. Jest to poważna procedura inwazyjna, która nie jest łatwa do wykonania w większości domów. Stymulacja może być stała lub stosowana w razie potrzeby. DBS ma widoczne zastosowania kliniczne w łagodzeniu objawów choroby Parkinsona i depresji klinicznej, a także jest badany pod kątem innych zaburzeń mózgu. Istnieje również szereg badań DBS dotyczących uczenia się i pamięci, które sugerują możliwe ulepszenia w pewnych warunkach. Nie ma jeszcze badań DBS dotyczących inteligencji. Istnieje interesujące pytanie, czy obszary mózgu związane z efektami poprawy funkcji poznawczych zidentyfikowane za pomocą TMS, tDCS lub tACS można dokładniej zlokalizować za pomocą neuroobrazowania specyficznego dla danej osoby, a następnie precyzyjnie zlokalizować elektrody DBS. Czy stała DBS w wielu obszarach może zwiększyć współczynnik g, szczególnie u osób z niskim IQ, czy też DBS na żądanie w określonym obszarze może poprawić określone zdolności umysłowe u każdego z nas? To daleka droga od słuchania Mozarta czy treningu nback. Czy te możliwości brzmią bardziej kusząco niż edukacja wyrównawcza? Takie spekulacje rangowe są oferowane tylko w tej sekcji, aby pobudzić twoją wyobraźnię na temat znaczenia i potencjału neuronaukowych podejść do badań nad inteligencją. Kiedy o tym myślisz, oto jeszcze jedna nieinwazyjna technika stymulacji mózgu, która zachęca do spekulacji. Nasza piąta technika opiera się na laserach. Światło z „zimnych" laserów małej mocy w zakresie bliskiej podczerwieni przenika przez skórę głowy i czaszkę i może wpływać na funkcjonowanie mózgu. Jedna grupa badaczy zgłosiła wstępne dowody na to, że ta technika może poprawić niektóre rodzaje funkcji poznawczych, gdy jest skierowana na różne obszary mózgu. Opisują, jak światło lasera wpływa na mózg w ten sposób: „Fotoneuromodulacja polega na absorpcji fotonów przez określone cząsteczki w neuronach, które aktywują bioenergetyczne szlaki sygnałowe po ekspozycji na światło czerwone do bliskiej podczerwieni". Wyobraź sobie to specjalne światło laserowe skierowane z odległości na mózg niczego niepodejrzewającej osoby, aby poprawić lub zakłócić funkcje poznawcze. Brzmi jak pomysł na scenariusz. Dość spekulacji. Dane są wstępne, a lasery mogą być dość niebezpieczne. Nie próbuj tego również w domu.

Brakująca waga dowodów na wzmocnienie

Ciężar dowodów empirycznych wspierał odpowiednio: koncepcję współczynnika g; ważną rolę w genetyce wyjaśnianie indywidualnych różnic w inteligencji; sieci związane z inteligencją rozmieszczone w mózgu; oraz, w mniejszym stopniu, pomysł, że efektywny przepływ informacji w mózgu był związany z inteligencją. W tym rozdziale, pomimo wielu prowokacyjnych twierdzeń i intrygujących ustaleń, nie ma jeszcze dowodów potwierdzających jakiekolwiek środki lub metody wzmacniania inteligencji. Od czasu do czasu autorzy czasopism zajmujących się zdrowiem proszą mnie o wskazówki dotyczące zwiększania IQ. Moja odpowiedź jest zawsze taka sama i zwykle wywołuje długie milczenie pisarza. Nie ma takich wskazówek – nawet takich, które są poparte ciężarem dowodów. Jedz lepiej? Ćwiczenia?

Angażować się w aktywność wymagającą umysłowo? Wszystkie są dobrymi sugestiami dla ogólnego zdrowia i dobrego samopoczucia, ale nie można uzasadnić żadnego konkretnego wpływu na zwiększenie inteligencji. Nic dziwnego, że ci autorzy nigdy mnie nie cytują, chociaż pisarze naukowi czasami to robią w bardziej treściwych artykułach. Cieszę się, że mogę być głosem rozsądnego sceptycyzmu, który pomoże powstrzymać rozprzestrzenianie się złych informacji. W pewnym internetowym czasopiśmie wymieniono 10 wskazówek, jak zwiększyć IQ, w tym słuchanie muzyki klasycznej, trening pamięci, granie w gry komputerowe i nauka nowego języka. Przy każdej wskazówce wymieniono domniemany wzrost IQ, o który ktoś twierdził, a następnie zsumowali wszystkie punkty, aby poprzeć bezsensowny nagłówek obiecujący sposoby na zwiększenie IQ o 17–40 punktów. Naprawdę. Chociaż poprawa inteligencji jest ważnym celem badań neurologicznych, dotychczasowa waga dowodów wskazuje, że przed osiągnięciem tego celu droga jest długa i kręta za pomocą leków, genetyki, stymulacji elektrycznej lub magnetycznej lub laserów. Droga nie wydaje się krótsza w przypadku podejścia do edukacji i treningu poznawczego. Na tych drogach nie ma ograniczeń prędkości ani barier ochronnych, więc wypadki są nieuniknione. Co więcej, moje twierdzenie, że doskonalenie jest ważnym celem, nie jest powszechnie uznawane. Gdyby tak było, znacznie więcej funduszy federalnych i fundacji zostałoby skierowanych na osiągnięcie tego celu, a nie tylko na dzieci znajdujące się w niekorzystnej sytuacji. W końcu wiele wyzwań krajowych, od innowacji technologicznych i ekonomicznych po cyberprzestępczość i cyberwojnę, stawia najmądrzejszych przeciwko najmądrzejszym. To poważna sprawa. Głupie porady z czasopism nie są pomocne. Gdybym miał się założyć, najbardziej prawdopodobną drogą do zwiększenia inteligencji byłaby droga genetyczna. W rozdziale 2 omówiliśmy myszy Doogie, odmianę wyhodowaną w celu uczenia się rozwiązywania problemów w labiryncie szybciej niż inne myszy. W rozdziale 4 wymieniliśmy kilka konkretnych genów, które można zakwalifikować jako istotne dla inteligencji, i dokonaliśmy przeglądu niektórych możliwych sposobów, w jakie te geny mogą wpływać na mózg. Nawet jeśli zostaną odkryte setki genów związanych z inteligencją, z których każdy ma niewielki wpływ, najlepszym przykładem ulepszenia byłoby, gdyby wiele genów działało na ten sam system neurobiologiczny. Innymi słowy, wiele genów może wywierać wpływ poprzez ostateczną wspólną ścieżkę neurobiologiczną. Ścieżka ta byłaby celem wysiłków udoskonalających. Podobne podejście stosuje się w badaniach genetycznych nad zaburzeniami takimi jak autyzm i schizofrenia oraz wieloma innymi złożonymi cechami behawioralnymi, które są poligenetyczne. Znalezienie określonych genów, choć trudne, to tylko pierwszy krok. Poznanie sposobu funkcjonowania tych genów w złożonych systemach neurobiologicznych jest jeszcze większym wyzwaniem. Ale kiedy istnieje pewne zrozumienie na poziomie systemu funkcjonalnego, można przetestować sposoby interwencji. Jest to krok, na którym najlepiej można wyjaśnić wpływy epigenetyczne. Jeśli myślisz, że polowanie na geny inteligencji jest powolne i złożone, polowanie na funkcjonalną ekspresję tych genów jest koszmarem. Niemniej jednak, jesteśmy coraz lepsi w dochodzeniach w sprawie poziomu funkcjonalnym molekularnym i jestem optymistą, że prędzej czy później tego rodzaju badania zastosowane do inteligencji zaowocują możliwymi do zastosowania możliwościami ulepszeń. Koszmary neuronaukowców są siłą napędową postępu. Żadne z dotychczas zgłoszonych odkryć nie jest na tyle zaawansowane, aby rozważać faktyczną inżynierię genetyczną w celu wyprodukowania wysoce inteligentnych dzieci. Ostatnio nastąpił jednak godny uwagi rozwój technologii inżynierii genetycznej, który ma wpływ na możliwości ulepszeń. Nowa metoda edycji ludzkiego genomu nosi nazwę CRISPR/Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/Cas genes). Nie rozumiem też nazwy, ale ta metoda wykorzystuje bakterie do edycji genomu żywych komórek poprzez wprowadzanie zmian w docelowych genach (Sander i Joung, 2014). Jest to godne uwagi, ponieważ wielu badaczy może rutynowo stosować tę metodę, dzięki czemu edycja całego ludzkiego genomu jest możliwa jako działalność głównego nurtu. Po zidentyfikowaniu genów odpowiedzialnych za inteligencję i sposobie ich funkcjonowania, tego rodzaju technologia może zapewnić środki do udoskonalenia na dużą skalę. Być może dlatego

nazwa metody została wybrana jako niezrozumiała dla większości z nas. Miej to też na swoim radarze. Większość tego rozdziału dotyczy tego, co nie działa w celu zwiększenia inteligencji. Można śmiało powiedzieć, że po wielu latach skoordynowanych wysiłków podejścia edukacyjne i kognitywne poczyniły niewielkie widoczne postępy, a podejścia neuronaukowe są stosunkowo młode. Nie powinniśmy się zniechęcać, tak jak nie zniechęca nas to, że polowanie na geny inteligencji postępuje powoli. Mózg jest złożony, a jego tajemnice nie są łatwe do ujawnienia. Cała nauka opiera się na technologii, a badania wywiadowcze nie są wyjątkiem. Jak omówiono w tym rozdziale i poprzednich, istnieją ekscytujące możliwości poprawy inteligencji w oparciu o nowe technologie mózgowe i nowe informacje na temat struktury, funkcji i rozwoju mózgu. Z mojej perspektywy prawie 45 lat w tej dziedzinie tempo odkryć przyspiesza. Nie ma jasnej mapy drogowej na przyszłość, ale następny i ostatni rozdział przedstawi pewne neuronaukowe perspektywy dotyczące pojawiających się podejść do uczenia się jeszcze więcej o inteligencji i mózgu.

Podsumowanie

Pomimo wielu twierdzeń, nie ma jeszcze sposobu na zwiększenie jakiegokolwiek czynnika inteligencji, który przetrwa niezależną replikację i stworzy przekonującą wagę dowodów. Badania, które twierdziły, że są ulepszane, mają poważne wady, w tym „uczenie pod test", uogólnianie na podstawie małych próbek i traktowanie niewielkich zmian wyników w pojedynczych testach jako oznak dużych zmian podstawowych czynników inteligencji. Leki psychoaktywne i różne nielekowe metody stymulacji mózgu mogą mieć potencjał do poprawy poznawczej uwagi, uczenia się i pamięci, ale nie ma jeszcze dowodów na to, że metody te zwiększają inteligencję. Ostatecznie wzmocnienie może zależeć nie tylko od znalezienia konkretnych genów związanych z inteligencją, ale także od trudniejszego problemu zrozumienia, w jaki sposób te geny funkcjonują na poziomie molekularnym, w tym wpływów epigenetycznych

Przejrzyj pytania

Dlaczego koncepcja „ciężaru dowodów" jest szczególnie ważna w przypadku twierdzeń o zwiększaniu inteligencji?

Jakie są trzy przykłady wyników badań, które wykazały znaczny wzrost IQ, a które okazały się błędne?

Wyjaśnij pojęcia „przeniesienia" i „niezależnej replikacji". Jakie jest pięć metod stymulacji mózgu, które mogą wpływać na funkcje poznawcze?

Jakie jest sześć kwestii etycznych dotyczących stosowania leków poprawiających funkcje poznawcze?

Wraz z postępem neuronauki, co dalej z badaniami nad inteligencją?

Wstęp

Paradoksalnie, w każdej dziedzinie badań naukowych im więcej się uczymy, tym więcej nie rozumiemy. Odpowiedź na jedno pytanie często prowadzi do nowego pytania, nigdy wcześniej nie sformułowanego. Postęp zależy od naszego intelektu i wyobraźni, aby nadać sens nowym obserwacjom empirycznym uzyskanym dzięki kreatywnym metodom i technologiom, które są stale ulepszane w celu dostarczania nowych rodzajów danych. Pomyśl o eksperymentalnej walidacji Modelu Standardowego w fizyce cząstek elementarnych w wyniku obserwacji przeprowadzonych za pomocą akceleratorów wartych wiele miliardów dolarów. Te ogromne, ogólnoświatowe wysiłki ujawniły również nowe tajemnice, takie jak ciemna energia, której nie można rozwiązać istniejącymi metodami, więc trzeba wymyślić nowe. Każde pokolenie badaczy opiera się na niedawnej przeszłości i rozciąga się na niedaleką przyszłość. Pierwsi badacze, którzy badali podstawowe deficyty językowe i percepcyjne u pacjentów z uszkodzeniem mózgu, nie mogli sobie wyobrazić dostępnych obecnie narzędzi neurobiologicznych do odpowiedzi na pytania dotyczące inteligencji i mózgu. Wszystkie postępy w genetyce i metodach obrazowania oraz możliwości zrozumienia i być może ulepszenia inteligencji omówione do tej pory w poprzednich rozdziałach to dopiero początek. Jest jeszcze więcej do zrobienia, ale tempo zależy od tego, czy istnieje zobowiązanie do hojnego finansowania, które jest rozsądnie rozdzielane. Skupienie się na badaniach, które prawdopodobnie przyniosą praktyczne wyniki, niekoniecznie jest mądre, ponieważ historia pokazuje wiele przykładów nieprzewidzianych korzyści płynących z pozornie tajemnych badań podstawowych. Jest to prawie niemożliwe do wyobrażenia, ale co by było, gdyby kraj zignorował eksplorację kosmosu i ogłosił, że jego głównym celem naukowym jest osiągnięcie możliwości zwiększenia współczynnika g każdego obywatela o odchylenie standardowe? Pod koniec tego rozdziału możesz nie myśleć, że jest to takie niemożliwe. W każdej dziedzinie nauki każdy etap postępu staje się bardziej kosztowny i skomplikowany logistycznie, a interpretacja wyników staje się bardziej skomplikowana. W przypadku neuroobrazowania tomografia komputerowa jest bardziej złożona niż zdjęcia rentgenowskie; strukturalny MRI jest bardziej złożony niż CAT. PET jest bardziej złożony niż EEG; funkcjonalny MRI jest bardziej złożony niż strukturalny MRI; Spektroskopia MRI i obrazowanie tensora dyfuzji (DTI) są bardziej złożone niż strukturalny lub funkcjonalny MRI; MEG jest bardziej złożony niż MRI. Każda nowa technologia zapewnia lepszą rozdzielczość przestrzenną i czasową oraz gromadzi coraz większe pliki danych, które wymagają bardziej zaawansowanej mocy obliczeniowej komputera do przetwarzania i analiz. MRI pokazuje tkankę mózgową w milimetrach, ale nawet to jest o wiele za duże, aby pokazać pojedyncze neurony lub synapsy. MEG pokazuje zmiany aktywności mózgu co milisekundę, ale jest to o wiele za wolno, aby pokazać nanosekundowe zdarzenia neurochemiczne w synapsie. Dostępne są techniki neurobiologiczne do badania mózgu na poziomie pojedynczych neuronów i synaps, więc nie jest poza wyobraźnią, że techniki te można zastosować do pytań dotyczących inteligencji. Postępy w dziedzinie inteligencji prawdopodobnie będą pochodzić z integracji wyników badań podstawowych nad klinicznymi zaburzeniami mózgu, starzeniem się i normalnymi procesami poznawczymi, takimi jak uczenie się, pamięć i uwaga, zarówno z badań na zwierzętach, jak i na ludziach, które ujawniają zdarzenia mniejsze i mniejsze, coraz szybsze i coraz głębiej w mózgu. W tym rozdziale podkreślę sześć rozwijających się linii dociekań związanych z wywiadem. Zanim je omówimy, oto krótkie podsumowanie trzech głównych punktów rozwiniętych w poprzednich rozdziałach. (1) Na podstawie wagi dowodów inteligencja jest czymś, co można zdefiniować, zmierzyć i zbadać naukowo, zwłaszcza współczynnik g, który koreluje z wieloma rzeczywistymi wynikami, strukturą i funkcją mózgu oraz ma silne podstawy genetyczne. (2) Badania neuroobrazowe zaczynają identyfikować specyficzne cechy mózgu związane z różnicami w inteligencji między ludźmi, a badania genetyczne zaczynają identyfikować określone geny związane z inteligencją. Te postępy, napędzane przez technologię,

przesuwają badania nad inteligencją w kierunku bardziej neurologicznym. (3) Nie wiadomo jeszcze, w jaki sposób cechy mózgu związane z inteligencją rozwijają się z czynników genetycznych, biologicznych i środowiskowych oraz ich interakcji. Ale kiedy już lepiej zrozumiemy, jak te czynniki działają w mózgu, powinniśmy być w stanie manipulować nimi, aby zwiększyć inteligencję, aby zlikwidować wszelkie luki między grupami lub podnieść wszystkich, być może radykalnie. Opierając się na tych trzech punktach i idąc naprzód, oto sześć ekscytujących obszarów, w których należy obserwować postępy, każdy w swojej własnej sekcji.

Od testów psychometrycznych do testów chronometrycznych

Po jednej stronie równania, które łączy dane genetyczne i neuroobrazowe z inteligencją, mamy najnowocześniejszy sprzęt o wartości wielu milionów dolarów i zespoły specjalistów do gromadzenia i analizowania złożonych zestawów danych. Po drugiej stronie równania mamy wynik testu psychometrycznego, często z pojedynczego testu, który kosztuje kilka dolarów. To spore niedopasowanie, a dokładniej przepaść. Dziesiątki lat temu najwcześniejsze obrazowe badania inteligencji oraz najwcześniejsze ilościowe i molekularne badania genetyczne inteligencji wykorzystywały te same testy inteligencji, które są nadal używane. Aby rozwinąć tę dziedzinę, badanie inteligencji nie może już ograniczać się do wyników testów psychometrycznych. Jak zauważono w rozdziale 1, bardzo potrzebny jest wyrafinowany pomiar inteligencji, aby dopasować go do powszechnie dostępnych wyrafinowanych ocen genetycznych i neuroobrazowych. Wymagane jest co najmniej podejście do zmiennych ukrytych, które wyodrębnia czynnik z baterii testów. Optymalna ocena inteligencji będzie wymagała skali ilorazowej, jak wspomniano w rozdziale 1. Przyjrzyjmy się, dlaczego tak jest, używając nowego przykładu. Załóżmy, że masz interwencję, która ma na celu zwiększenie szczęścia (wybierz dowolną interwencję, którą lubisz). Mierzysz szczęście, prosząc uczestników o ocenę swojego szczęścia w skali od 1 do 10, gdzie 10 oznacza największe szczęście. Przeciętny wynik zadowolenia grupy przed interwencją wynosi 4. Po interwencji średnia grupowa wzrosła do 8. Jeśli naiwnie podchodzisz do mierzenia konstruktów takich jak szczęście, możesz dojść do wniosku, że twoja interwencja spowodowała, że ludzie stali się dwa razy bardziej szczęśliwi na podstawie zmiany z 4 na 8. Błędny byłby wniosek Ten. Twoja skala szczęścia to skala interwałowa, w której punkty nie są równoważne, a każda osoba ma subiektywne wyobrażenie o tym, co oznacza 4 lub 8. Osiem na skali interwałowej to nie dosłownie 2 × 4. Osiem funtów to jednak dosłownie 2 × 4 funty, ponieważ funty to skala proporcji ograniczona przez rzeczywisty punkt zerowy bez wagi. Funt cegieł waży tyle samo, co funt piór. Funt to funt, niezależnie od tego, co jest mierzone. Wyniki testów na inteligencję, podobnie jak wszystkie miary szczęścia, są oparte na skalach interwałowych. Twój wynik ma znaczenie tylko w odniesieniu do innych osób, zwykle wyrażany jako percentyl. Jeśli jesteś na 95. percentylu, o ile jesteś bardziej inteligentny niż ktoś na 90. percentylu? Nie jesteś ani o 5% inteligentniejszy. Nie mamy miary inteligencji jako ilości. W rozdziale 4 dyskutowaliśmy, czy inteligencję można zdefiniować, określając ilościowo cechy mózgu, takie jak ilość istoty szarej, grubość kory mózgowej, łączność sieci lub integralność istoty białej. To wszystko są potencjalne skale ilorazowe, ale obrazowanie nie jest praktyczną podstawą do szerokiego zastosowania jako test inteligencji w większości ustawień. Inny sposób na stworzenie ilorazowego pomiaru inteligencji polega na pomiarze czasu (8 sekund to dosłownie dwa razy 4 sekundy). Koncepcja polega na stworzeniu standardowej baterii testów umysłowych, w których podstawą pomiaru jest czas potrzebny na uzyskanie odpowiedzi, a nie liczba poprawnych odpowiedzi. Inteligencję można zatem zdefiniować jako szybkość przetwarzania informacji podczas standardowego zestawu pozycji testowych. Osoba, która miała średni czas 4 sekund na baterii elementów testowych przetwarzania informacji, byłaby dosłownie dwa razy szybsza niż osoba ze średnią 8 sekund. Ważność szybkości przetwarzania informacji jako alternatywnej definicji inteligencji wymagałaby badań ustalających, co ta miara może przewidywać pod względem osiągnięć akademickich lub innych. W rzeczywistości znaczna liczba takich badań już istnieje.

W swojej ostatniej książce przed śmiercią Arthur Jensen podsumował te badania i rozważał techniczne przeszkody, które należy pokonać, aby opracować nowy rodzaj testu inteligencji opartego na czasie przetwarzania informacji. Nazwał to podejście „chronometrią". Chronometryczne urządzenie badawcze jest obecnie w fazie rozwoju i jest opisane w ramce 6.1. Zauważ, że pozycje testowe znacznie różnią się od tych z testów psychometrycznych. Na przykład jeden test ma półkole ośmiu przycisków, które mogą się świecić. Dla każdej próby zapalają się jednocześnie trzy przyciski. Jak najszybciej naciskasz podświetlony przycisk znajdujący się najdalej od pozostałych dwóch podświetlonych przycisków. Po serii prób na tym teście niewiele osób popełnia wiele błędów, a wyniki testu są mierzone w jednostkach czasu, więc wyniki chronometryczne są na skalach ilorazowych. Jeśli badania potwierdzą ważność i wiarygodność podejścia chronometrycznego poprzez ustalenie korelacji z wynikami testów inteligencji, jego zastosowanie w przyszłych badaniach genetycznych i neuroobrazowych może zmniejszyć lukę w wyrafinowaniu pomiaru. Jensen wyraził optymistyczny pogląd, że podejście chronometryczne może podnieść badania inteligencji do rangi nauk przyrodniczych. W połączeniu z innymi podejściami neurobiologicznymi tempo odkryć z pewnością wzrosłoby dzięki tego rodzaju pomiarom. Możliwe jest nawet zdefiniowanie inteligencji na podstawie cech mózgu, takich jak szybkość przetwarzania informacji lub ilość tkanki istoty szarej w określonych obszarach. Zaletą takich definicji byłoby to, że są one ilościowe w skali wskaźnikowej. Wyobraź sobie, że twoja szybkość przetwarzania informacji na standardowej baterii testowej jest dwa razy szybsza niż u kogoś innego. To, czy może to przewidywać coś o twoim przyszłym sukcesie akademickim lub innych zmiennych lepiej niż wynik IQ, jest kwestią otwartą do badań empirycznych.

Ramka 6.1: Chronometryczna ocena inteligencji

Zgodnie z propozycją Jensena (2006), chronometria umysłowa opiera się na dwóch podstawowych koncepcjach. Po pierwsze, czas potrzebny do podjęcia decyzji jest miarą szybkości przetwarzania danych przez mózg. Jest to często określane jako czas reakcji (RT) lub czas odpowiedzi. Badania RT mają długą historię w psychologii, sięgającą ponad 100 lat wstecz. W badaniach RT wykorzystano wiele zadań poznawczych. Często nazywane są podstawowymi zadaniami poznawczymi (ECT). Jednym z najczęściej powtarzanych odkryć jest to, że RT wzrasta wraz ze złożonością zadania. Innym kluczowym odkryciem jest to, że ludzie z szybszymi RT na ogół mają wyższe wyniki IQ. Dlatego pomiar RT może być wykorzystany do pomiaru inteligencji, a RT jest szczególnie atrakcyjną miarą, ponieważ czas jest skalą ilorazową. RT dla większości EW jest mierzony w milisekundach lub sekundach, w zależności od zadania. Drugim podstawowym pojęciem jest standaryzacja. Różni badacze często wykonują badania RT przy użyciu różnych urządzeń. Ten brak jednolitości wprowadza wariancję metod, która zakłóca ocenę RT poszczególnych osób i utrudnia porównywanie badań lub łączenie danych z różnych badań w duży zbiór danych. Jensen zaproponował zbudowanie standardowego urządzenia do testowania RT ze standardowym zestawem różnych ECT. Jensen uważał, że połączenie pomiarów RT ze znormalizowaną metodą testowania EW posunęłoby badania nad inteligencją poza ograniczenia testów psychometrycznych, takich jak WAIS. Instytut Chronometrii Psychicznej (IMC) został założony i sfinansowany przez Jensena w celu opracowania i rozpowszechnienia takiego urządzenia. W tej chwili opracowywany jest prototyp. Urządzenie posiada połączony ekran wyświetlacza oraz panel reakcji na przyciski z ośmioma przyciskami ułożonymi w półokręgu oraz przyciskiem home pod półokręgiem. Można podłączyć klawiaturę i mysz, aby badacz mógł ustawić parametry dowolnego eksperymentu. Na przykład jeden ECT obejmuje osiem przycisków. Aby rozpocząć test, osoba testowana naciska palec na przycisk home, przytrzymując go. Następnie zaświecą się trzy z ośmiu przycisków jednocześnie. Jeden z nich będzie dalej od pozostałych dwóch. Tak szybko, jak to możliwe, osoba zwalnia przycisk Home i naciska podświetlony przycisk znajdujący się najdalej od pozostałych dwóch. Nazywa się to „zadaniem Odd Man Out". Po serii takich prób obliczany jest średni RT danej osoby. Inny ECT wymaga od osoby zapamiętania ciągu cyfr (lub liter lub kształtów) po zobaczeniu ich przez krótki czas na ekranie

wyświetlacza. Następnie pojawia się liczba docelowa (lub litera lub kształt) i jeśli cel był w zapamiętanym łańcuchu, naciskany jest wyznaczony przycisk tak. Jeśli cel nie znajduje się w łańcuchu, naciskany jest przycisk no. W miarę kontynuowania prób łańcuch staje się dłuższy, więc skanowana jest większa ilość pamięci w celu podjęcia decyzji tak lub nie. Zwiększa to RT, a osoby o wyższym IQ generalnie skanują pamięć szybciej niż osoby o niższym IQ. Inny EW pokazuje jednocześnie dwa słowa na ekranie. Jeśli są to synonimy, naciskany jest jeden przycisk; jeśli nie, zostanie naciśnięty inny przycisk. Istnieje wiele odmian tych zadań i wiele innych EW. Badania ustalą, które ECT będą generować RT, które w połączeniu tworzą dobrą baterię do oceny inteligencji. Jest wiele problemów technicznych do rozwiązania. Przed tymi badaniami długa droga, zanim chronometria umysłowa zastąpi psychometryczne testy inteligencji. Na końcu swojej książki Jensen podsumował: „… chronometria dostarcza naukom behawioralnym i naukom o mózgu uniwersalną skalę absolutną [stosunkową] do uzyskiwania bardzo czułych i często powtarzalnych pomiarów wydajności jednostki w specjalnie opracowanych zadaniach poznawczych. Nadszedł jego czas. Bierzmy się do pracy!” . Ta metoda oceny inteligencji może ustalić rzeczywiste zmiany wynikające z wszelkiego rodzaju proponowanych ulepszeń w projekcie badawczym przed i po. Wyrafinowanie tej metody pomiaru inteligencji zmniejszyłoby lukę w stosunku do wyrafinowanych metod genetycznych i neuroobrazowania.

Neuronauka poznawcza pamięci i superpamięci

Zauważyliśmy, że jedną z definicji inteligencji są indywidualne różnice w poznawczych procesach uczenia się, pamięci i uwagi. Większość badań z zakresu neuronauki poznawczej nie obejmuje żadnej oceny inteligencji jako zmiennej niezależnej lub zależnej. Jak omówiliśmy w Części 4, wyniki każdego badania dotyczącego uczenia się, pamięci, języka lub uwagi mogą się różnić, jeśli uczestnicy zostaną wybrani na podstawie niezależnej zmiennej wysokiego lub niskiego IQ lub wyniku g-factor. Jak zauważono w Części 5, gdy inteligencja jest uwzględniona jako zmienna zależna, jak w badaniach treningu n-back, ocena zazwyczaj opiera się na pojedynczym wyniku testu, a nie na ukrytej zmiennej wyodrębnionej z zestawu testów. Wszystko to stare złe wieści. Nowszą dobrą wiadomością jest to, że psychologowie poznawczy coraz bardziej interesują się związkami między językiem, pamięcią, uwagą i inteligencją. Jednym z obszarów, w których przeprowadzono znaczące badania, jest związek między pamięcią roboczą a współczynnikiem g. W niektórych badaniach psychometrycznych są one empirycznie praktycznie identyczne . W innych badaniach nakładają się na siebie, ale są odrębnymi konstruktami . Badania obrazowe sugerują pewne nakładanie się obszarów mózgu dla obu i oba mogą mieć wspólne geny , ale kwestie te nie zostały jeszcze rozstrzygnięte. Ostatecznym celem jest zrozumienie, w jaki sposób inteligencja może integrować podstawowe procesy poznawcze, takie jak pamięć i uwaga, oraz sposób, w jaki wpływają one na język i uczenie się. Będzie to wymagało współpracy między różnymi grupami badawczymi z dostępem do wielu próbek osób z pełnym zakresem inteligencji, które ukończyły dużą, zróżnicowaną baterię testów poznawczych, analizy DNA i neuroobrazowania metodami strukturalnymi i funkcjonalnymi. Dopiero zaczynamy dostrzegać tak kompleksowe projekty. Przypadki superpamięci również cieszą się coraz większym zainteresowaniem. W Części 1 wspomnieliśmy o wyrecytowaniu przez Daniela Tammeta z pamięci 22 514 cyfr liczby pi. Jednak według Księgi Rekordów Guinnessa rekord recytowania liczby pi z pamięci to niesamowite 67 890 cyfr. Ten zapis jest w posiadaniu osoby (CL), która nie jest uczonym. Używa metod mnemonicznych (tj. sztuczek pamięciowych – patrz Ramka 6.2), które pozwalają na przechowywanie i odzyskiwanie dużych ilości informacji. W jednym badaniu fMRI zrekrutowano kilku uczestników Mistrzostw Świata w Pamięci i stwierdzono, że kilka obszarów mózgu zostało aktywowanych, gdy zastosowano procedury mnemoniczne. Niestety, każdy uczestnik stosował inną strategię mnemoniczną, więc wyniki obrazowania nie były łatwe do interpretacji. W wieku 28 lat CL, rekordzista Guinnessa w zapamiętywaniu 67 890 cyfr pi, był badany za pomocą fMRI, podczas gdy on wykorzystywał swoją strategię i strategię zaprojektowaną przez naukowców jako warunek kontrolny . CL przez wiele lat

trenował swoją metodę mnemoniczną, którą autorzy opisali w ten sposób: „CL użył mnemonika cyfrowo-obrazowego do studiowania i przywoływania list cyfr, a mianowicie kojarzenia 2-cyfrowych grup od '00' do '99' z obrazami i generowania z nich żywych historii”. Przykład tej metody jest tworzony w ramce 6.2. Zeskanowano i przetestowano również jedenastu studentów płci męskiej w grupie kontrolnej w tych samych warunkach strategii. Według autorów wyniki sugerują, że CL polegał na obszarach mózgu związanych z pamięcią epizodyczną, a nie na próbach werbalnych. Wyniki obrazowania są w rzeczywistości dość złożone i otwarte na interpretację .

Ramka 6.2: Sztuczka pamięciowa

Oto, jak możesz nauczyć się zapamiętywać długi ciąg liczb, takich jak pi, na wypadek gdybyś zdecydował się to zrobić. Przed zapamiętaniem cyfr utwórz listę słów reprezentujących 100 par kolejnych cyfr. Na przykład, jeśli sekwencja zawiera 0,0, zostanie zapamiętana jako pies. Gdyby sekwencja zawierała 0,1, zostałaby zapamiętana jako ryba. Przypisz słowo do kombinacji 0,2 i inne słowo do 0,3 i tak dalej do 0,4 … 5,0, 5,1 … 9,9. Słowa mogą być na przykład zwierzętami, narzędziami, znanymi postaciami historycznymi lub czymkolwiek innym. Gdy zaczniesz zapamiętywać długi ciąg liczb, przekształć kolejne pary w zapamiętaną wcześniej listę 100 słów i utwórz historię łączącą każde kolejne słowo. Im bardziej szokująca historia, tym łatwiej ją zapamiętać. Załóżmy, że to jest Twoja standardowa lista słów dla każdej dwucyfrowej kombinacji (pokazuje tylko 8 ze 100 par):

00 pies

01 ryba

02 Lincoln

03 młotek

29 rudzik

51 samolot

86 but

99 bank

Oto ciąg 18 liczb do zapamiętania:

860229000299000151. Zamień ten ciąg na pary, a następnie zamień pary na wcześniej przypisane słowo dla każdej pary: 86 to but; 02 to Lincoln; 29 to rudzik; 00 to pies; 02 to Lincoln; 99 to bank; 00 to pies; 01 to ryba; 51 to samolot. Następnie zapamiętujesz stworzoną przez siebie historię, która jest bogata w wizualne obrazy, na przykład: Mój but pasuje do Lincolna, a on kopie rudzika zjedzonego przez psa, ale Lincoln zabiera go na brzeg, gdzie pies zjada rybę w samolocie. Z praktyką to zdanie jest łatwiejsze do zapamiętania, a po zapamiętaniu możesz zamienić słowa z powrotem na dwucyfrowe pary. Może się to wydawać dość niezręczne, ale tego rodzaju strategia mnemoniczna może być skutecznie stosowana do zapamiętywania wielu rzeczy, od liczb po nazwiska. Wymaga to sporej praktyki i wyobraźni, ale niektórzy ludzie są w tym niezwykle dobrzy, a kilka osób jest wyjątkowych. W ten sposób CL zapamiętał 67 890 cyfr pi. W przeciwieństwie do niektórych technik elektrycznych lub wzmacniających narkotyki omówionych w rozdziale 5, jest to jedna rzecz, którą możesz wypróbować w domu. Nie ma jednak dowodów na to, że zwiększenie zdolności zapamiętywania w ten sposób zwiększa inteligencję . Otwarte jest pytanie, czy osoby, które uczą się doskonalić w zapamiętywaniu za pomocą tej metody, to osoby, które już zaczynają z wysokimi wynikami inteligencji.

Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) została wykorzystana w podobnym badaniu cudownego dziecka obliczeniowego . Kalkulatory mentalne są wyjątkowo dokładne i szybkie w rozwiązywaniu skomplikowanych obliczeń w swoich głowach. Podczas gdy niektórzy uczeni najwyraźniej mają tę umiejętność bez treningu, osoba badana w tym raporcie, 26-letni R. Gamm, jest osobą zdrową, a nie uczonym. Jednak „ćwiczył swoją pamięć w zakresie faktów arytmetycznych i algorytmów obliczeniowych przez kilka godzin dziennie przez około sześć lat", począwszy od wieku 20 lat. Na przykład potrafił obliczać liczby dwucyfrowe do różnych potęg (np. 995 równa się 9 509 900 499 lub 539 równa się 3 299 763 591 802 133). Mógł również wykonywać pierwiastki, sinusy, dzielenie liczb pierwszych i stosować algorytm do wykonywania obliczeń kalendarzowych, aby nazwać dzień tygodnia dla dowolnej daty (kolejna umiejętność występująca u sawantów). Gamm porównano z sześcioma studentami płci męskiej, którzy nie byli ekspertami, zeskanowanymi jako grupa kontrolna wykonująca te same zadania podczas określania regionalnego przepływu krwi metodą PET. Skany PET uzyskano podczas zadania obliczeniowego i zadania odzyskiwania pamięci. Wyniki wykazały aktywacje mózgu w kilku obszarach wspólnych zarówno dla Gamm, jak i dla grupy kontrolnej, ale Gamm wykazał również unikalne aktywacje, gdy skontrastowano dwa warunki zadania. Gamm wykazywał większą aktywację w przyśrodkowej części czołowej i zakręcie przyhipokampowym, górnej części przedniego zakrętu obręczy, połączeniu potyliczno-skroniowym w prawej półkuli i lewym płatku przyśrodkowym (patrz, gdzie znajdują się te obszary na rycinie 6.1). Autorzy doszli do wniosku, że „… ekspertyza obliczeniowa nie wynikała ze zwiększonej aktywności procesów, które istnieją u osób niebędących ekspertami; raczej ekspert i nie-eksperci używali różnych obszarów mózgu do obliczeń. Odkryliśmy, że ekspert może przełączać się między krótkotrwałym wysiłkiem wymagającym strategii przechowywania a wysoce wydajnym kodowaniem i odzyskiwaniem pamięci epizodycznej, procesem, który był podtrzymywany przez prawe przedczołowe i środkowe obszary skroniowe". Innymi słowy, mózg Gamma działał inaczej. Obrazowanie tak rzadkich osób o wyjątkowych zdolnościach umysłowych uzyskanych dzięki treningowi może dostarczyć wglądu w wpływ intensywnego treningu strategicznego na przestrzeni lat na sieci mózgowe lub wgląd w niezwykłe połączenia mózgowe, które najwyraźniej wynikają z przypadku lub nieznanych czynników w przypadku sawantów. Nic nie wskazuje na to, że CL lub R. Gamm wykazali wzrost g związany z ich odpowiednim intensywnym treningiem pamięci.

Łączenie badań na ludziach i zwierzętach za pomocą nowych narzędzi Neuron firmy Neuron

W znacznie mniejszych skalach przestrzennych neuronów i synaps inteligencja nie jest głównym przedmiotem zainteresowania większości badaczy neuronauki. Istnieją pewne próby powiązania neuroprzekaźników i innych aspektów funkcji synaps z inteligencją w badaniach genetyki molekularnej. Wiele pytań czeka na zbadanie. Na przykład, czy liczba lub typ mitochondriów wewnątrz neuronów (z dowolnego konkretnego obszaru mózgu) ma jakikolwiek związek z indywidualnymi różnicami w współczynniku g lub innych zdolnościach umysłowych? Starsze badanie pośmiertne na ludziach sugerowało związek między złożonością dendrytów a poziomem wykształcenia (pośrednia miara inteligencji) (Jacobs i in., 1993), ale kierunek związku może iść w obie strony i wymagana jest replikacja. Istnieje wiele możliwości badania inteligencji na tym poziomie, zwłaszcza jeśli technologia kiedykolwiek rozwinie się do punktu, w którym będzie można dokonywać nieinwazyjnych pomiarów pojedynczych neuronów i synaps u ludzi. Do tego czasu badania na zwierzętach są intrygujące obserwacje, które sugerują wstępny pomost do badań na ludziach. Na przykład systematyczne badanie uszkodzeń na szczurach wykazało, że kilka odrębnych obszarów mózgu było powiązanych z ogólną zdolnością rozwiązywania problemów, ponieważ uszkodzenia tych obszarów obniżały wydajność kilku różnych zadań związanych z rozwiązywaniem problemów. Uszkodzenia innych obszarów obniżały wydajność tylko w przypadku określonych zadań. Obszary zaangażowane w to badanie porównano z wczesnymi badaniami PET dotyczącymi rozumowania u ludzi, ale wykazano jedynie ograniczone nakładanie się . Niemniej jednak ta kombinacja zadań polegających na rozwiązywaniu problemów i

uszkodzeń dostarczyła zwierzęcego modelu relacji mózg/inteligencja, który rozszerzył pionierską pracę Karla Lashleya (1964) i wskazał, że czynnik g nie jest unikalny dla ludzi. Badania nad genetycznie zróżnicowanymi (pokrewnymi) myszami uczącymi się różnych zadań również wskazują na czynnik g. Wyniki jednego z badań na myszach brzmią uderzająco podobnie do wyników badań na ludziach: „Wskazuje na wspólne źródło wariancji, stwierdzono dodatnie korelacje między wynikami poszczególnych osób we wszystkich zadaniach. Podczas testowania na wielu bateriach testowych ogólne stopnie wydajności poszczególnych osób okazały się wysoce wiarygodne i miały „normalny" rozkład. Analiza czynnikowa zmiennych wydajności uczenia się wykazała, że pojedynczy czynnik odpowiadał za 38% całkowitej wariancji u zwierząt. Poziomy rodzimej aktywności i masy ciała zwierząt miały niewielki wpływ na zmienność w uczeniu się, chociaż skłonność zwierząt do eksploracji była silnie obciążona (i była dodatnio skorelowana) ze zdolnościami uczenia się. Wyniki te wskazują, że na zróżnicowane zdolności uczenia się myszy laboratoryjnych ma wpływ wspólne źródło wariancji, a ponadto, że ogólne zdolności uczenia się poszczególnych myszy można określić w odniesieniu do próby rówieśników" . Pokazują również znaczenie podejścia do różnic indywidualnych, nawet u myszy. Kontynuując ten kierunek badań, Matzel i Kolata podsumowali badania obrazowania pamięci/inteligencji ludzi oraz eksperymenty na myszach, które testowały związki przyczynowe między aspektami selektywnej uwagi, pamięci roboczej i ogólnych zdolności poznawczych. Doszli do wniosku, że dane sugerują, że „wspólne struktury mózgu (np. kora przedczołowa) pośredniczą w skuteczności selektywnej uwagi i wynikach jednostek na testach inteligencji. W sumie dowody te sugerują ewolucyjną konserwację procesów, które współzmieniają się i/lub regulują „inteligencję" i zapewniają ramy dla promowania tych zdolności zarówno u młodych, jak i starszych zwierząt". Posiadanie tak potężnych zwierzęcych modeli inteligencji może pomóc w prowadzeniu przyszłych eksperymentów neuronaukowych, zwłaszcza w przechodzeniu w dół skal przestrzennych i czasowych od skumulowanej aktywności mózgu w określonych obszarach do bardziej precyzyjnych pomiarów w neuronach i synapsach przy użyciu metod, których nie można zastosować u ludzi. Istnieją na przykład sugestie, że trening fizyczny i umysłowy myszy może zwiększyć liczbę neuronów i ich przeżywalność w określonych obszarach mózgu . Istnieją również pewne sugestie u myszy, że skuteczność sygnalizacyjna receptora dopaminy D1 w korze przedczołowej może odnosić się zarówno do zadań pamięciowych, jak i testów inteligencji . Jest zbyt wcześnie, aby ocenić, czy te odkrycia stanowią wystarczającą ilość dowodów, ale te badania pokazują, w jaki sposób zwierzęcy model inteligencji pomoże skierować postęp neuronauki na poziom neuronów i synaps. Innym pouczającym przykładem jest użycie białek fluorescencyjnych, które dosłownie oświetlają neurony i synapsy. Pierwsze białko fluorescencyjne odkryto w meduzie kilkadziesiąt lat temu, a odkrycie to przekształciło się w niesamowite techniki tworzenia nowych białek fluorescencyjnych i niezwykłe sposoby wprowadzania ich do komórek. Wewnątrz neuronu białka fluorescencyjne mogą śledzić aktywność elektryczną i mapować obwody nerwowe w mózgu. Różne białka fluorescencyjne przyłączają się do różnych neurochemikaliów i wytwarzają różne kolory. Oznacza to, że można zmapować rozmieszczenie poszczególnych neuroprzekaźników. W rzeczywistości poszczególne neurony mogą mieć unikalny kolor, dzięki czemu można mapować ścieżki poszczególnych neuronów i ich sygnały neurochemiczne. Fluorescencyjne badania inteligencji u myszy byłyby fascynujące. Doogie spotyka Mickeya w nowym filmie Fantasia. W poprzednim rozdziale pokrótce przedstawiliśmy jedną metodę fotoneuromodulacji, która wykorzystywała czerwone światło laserowe do aktywacji lub dezaktywacji neuronów. Nowsze metody optogenetyczne i chemogenetyczne są bardziej specyficzne i opierają się na modyfikacji receptorów synaptycznych, dzięki czemu neurony reagują na specjalne światłoczułe substancje chemiczne. Obie metody zostały użyte do modyfikacji zachowania myszy poprzez włączenie światła. W trakcie badań eksperymentalnych ujawniono obwody nerwowe zaangażowane w złożone zachowania i zasugerowano sposoby ich modyfikacji. Metoda optogenetyczna zasadniczo działa w ten sposób. Zwykle neurony aktywują się, gdy otrzymują krótki impuls elektryczny przez synapsy z sąsiednich

neuronów. Ten impuls zmienia neurochemię neuronu odbierającego, tworząc kolejny impuls, który dociera do sąsiednich neuronów w obwodzie. Kluczowa zmiana neurochemiczna dotyczy białek w neuronie. Impuls elektryczny stymuluje białko do wytworzenia nowego impulsu do odpalania kolejnych neuronów w obwodzie, a ta kaskada odpalania trwa, dopóki sygnały hamujące nie zmniejszą się lub nie zatrzymają odpalania. Techniki optogenetyczne tworzą światłoczułe białka w określonych populacjach neuronów. Te klastry neuronów można wywoływać, stosując światło w kontrolowanych eksperymentach. Światło jest dostarczane bezpośrednio do neuronów za pomocą cienkiej jak włos nici światłowodowej po genetycznym wprowadzeniu światłoczułych białek do neuronów będących przedmiotem zainteresowania. Na przykład w mysim modelu depresji stymulacja światłem neuronów w przyśrodkowej korze czołowej łagodzi objawy. Objawy uzależnienia od kokainy u myszy można odwrócić poprzez stymulację światłem neuronów, które wystają do jądra półleżącego . Agresywne lub seksualne zachowania u myszy mogą być aktywowane, gdy wybuch światła stymuluje różne neurony w podwzgórzu. Metody optogenetyczne można łączyć z metodą edycji genów CRISPR-Cas9 , dzięki czemu specyficzna ekspresja genów (włączanie i wyłączanie genów) może być ukierunkowana światłem . Ta niesamowita dziedzina rozwija się szybko i istnieje wiele przykładów eksperymentów, które mogą ostatecznie doprowadzić do terapii zaburzeń mózgu i być może do poprawy zdolności umysłowych . Brzmi to jak science fiction, ale dzieje się to teraz w laboratorium w pobliżu. Scenarzyści, uważajcie. Metoda chemogenetyczna jest uzupełniającym podejściem do włączania i wyłączania neuronów. Technika ta opiera się na tworzeniu „projektantów receptorów aktywowanych wyłącznie przez dopalacze", znanych pod akronimem DREADD ; jak oni znajdują te nazwy? Niedawno naukowcy opracowali odmianę DREADD, która umożliwiała włączanie i wyłączanie neuronów, zamiast wcześniejszego ograniczania technik włączania i wyłączania. Umożliwiło to naukowcom włączanie i wyłączanie poziomu głodu i aktywności u myszy na okresy dłuższe niż można to zrobić za pomocą metod optogenetycznych. Metody neuroobrazowania dają naukowcom widok mózgu podobny do widoku miasta z lecącego wysoko samolotu; unikalny i pouczający widok, który nie był możliwy przed wynalezieniem samolotu. Te nowe techniki neurobiologiczne dają naukowcom eksperymentalną kontrolę nad poszczególnymi neuronami. To jest jak widok z lotu ptaka, który pozwala zobaczyć poszczególne samochody na ulicy miasta i ewentualnie kto jest w samochodzie i jak szybko bije jego serce. Możemy sobie tylko wyobrazić dalsze udoskonalenia, nowe DREADDY i nowe eksperymenty. Istnieje zapierający dech w piersiach potencjał wyjaśnienia mózgowych obwodów inteligencji, jeśli techniki te zostaną zastosowane do zwierzęcych modeli inteligencji, takich jak te opisane w tej sekcji przez Matzela i współpracowników. Jeśli takie metody są dostępne u ludzi, potencjał badań neuronauki/inteligencji powala wyobraźnię. Gotowy do zmiany tematu głównego lub pracy magisterskiej?

Łączenie obwodu inteligencji człowieka i maszyny po obwodzie

Celem badań nad sztuczną inteligencją (AI) jest stworzenie oprogramowania i sprzętu komputerowego naśladującego ludzką inteligencję. Istnieje wiele niezwykle udanych zastosowań „inteligentnej" technologii, które nadal zmieniają codzienne życie na całym świecie. Istnieją programy komputerowe, które pokonują szachowych arcymistrzów, mistrzów Jeopardy i pokerzystów. Inżynierowie opracowali większość postępów w sztucznej inteligencji przy ograniczonym udziale neuronaukowców, głównie związanych z metodami opartymi na modelach obliczeniowych sieci neuronowych. Jednak jeszcze bardziej ambitnym celem jest stworzenie inteligentnych maszyn z algorytmami opartymi na tym, jak neurony komunikują się w rzeczywistych obwodach mózgowych, wyjaśnionych przez badaczy zajmujących się podstawowymi neuronaukami. To jest „prawdziwa" inteligencja. Popularna książka autorstwa inżyniera komputerowego i przedsiębiorcy Jeffa Hawkinsa przedstawia przekonujące argumenty przemawiające za budową inteligentnej maszyny przy użyciu podejścia opartego na neuronauce. Kluczową kwestią jest to, że komputery i mózgi działają na zupełnie innych zasadach. Na

przykład komputery muszą być zaprogramowane, a mózgi same się uczą. Jego główną ideą jest to, że kora mózgowa działa zasadniczo jako hierarchiczny system przechowywania i stosowania pamięci, zwłaszcza pamięci sekwencji, do przewidywania świata, i że ten system jest istotą inteligencji. Jednym z kluczowych spostrzeżeń jest to, że elementy tego systemu są zintegrowane za pomocą jednego, uniwersalnego algorytmu uczenia korowego (CLA). Dlatego Hawkins uważa, że podejście AI do projektowania oddzielnych elementów systemu dla maszyn jest z natury ograniczone. Uważa, że możliwe jest zaprojektowanie maszyn opartych na uniwersalnym CLA i że takie maszyny mogą przekraczać ludzkie możliwości umysłowe. Oto jak przedstawia wyzwanie: „Przez pół wieku wykorzystywaliśmy całą moc znacznej sprytu naszego gatunku, próbując zaprogramować inteligencję w komputerach. W trakcie tego procesu stworzyliśmy edytory tekstu, bazy danych, gry wideo, Internet, telefony komórkowe i przekonujące animowane komputerowo dinozaury. Ale inteligentnych maszyn wciąż nie ma na tym obrazie. Aby odnieść sukces, będziemy musieli mocno czerpać z naturalnego silnika inteligencji, kory nowej. Musimy wydobyć inteligencję z wnętrza mózgu. Żadna inna droga nas tam nie zaprowadzi". Hawkins stworzył Redwood Neurosciences Institute i firmę o nazwie Numenta, aby urzeczywistnić inteligentne maszyny oparte na mózgu. Numenta sprzedaje oprogramowanie oparte na algorytmach, które identyfikują wzorce, trendy i anomalie w dużych zbiorach danych. Podejście to jest kontrowersyjne, zwłaszcza dlatego, że rzuca wyzwanie metodom obliczeniowym AI, szeroko stosowanym przez firmy takie jak Facebook, Microsoft i Google. Jest zbyt wcześnie, aby oceniać, w jaki sposób hierarchiczna koncepcja CLA może odnosić się do hierarchicznego czynnika g, ale wyraźnie pasuje do tematu podejść neurobiologicznych do inteligencji i dokąd mogą one prowadzić . Koncepcja budowy maszyn oparta na sposobie działania mózgumwpływa również na projektowanie mikroczipów. Wiele grup badawczych pracuje nad budową mikroczipów do wykonywania funkcji mózgu, zwłaszcza związanych z percepcją, w oparciu o rzeczywiste dane z obwodów neuronowych. Ogólny wysiłek jest znany jako technologia chipów neuromorficznych. Niektóre z tych chipów są zaprojektowane tak, aby miały bezpośredni interfejs z mózgiem. Chipy poprawiające słuch i wzrok są już dostępne. Te wysiłki mogą pewnego dnia rozszerzyć się na procesy poznawcze, ale jak dotąd nie są mi znane żadne sukcesy neuromorficzne związane z określonymi zdolnościami umysłowymi, nie mówiąc już o ogólnej inteligencji. To także jest obszar dojrzały dla płodnej wyobraźni. Przedstawiliśmy kilka wieloośrodkowych konsorcjów, które gromadzą dane genetyczne w celu utworzenia bardzo dużych próbek do analiz statystycznych, które maksymalizują odkrycie małych efektów związanych z inteligencją, które są trudne do wykrycia w mniejszych próbkach typowych dla poszczególnych badań. Istnieją również inne duże programy badawcze oparte na współpracy, które udostępniają dane z wielu źródeł w celu mapowania struktury i funkcji ludzkiego mózgu oraz tego, jak się rozwija. Obecna technologia może tworzyć mapy na poziomie obwodów neuronowych. Mapy te mogą dostarczać informacji do badań nad starzeniem się, zaburzeniami mózgu i chorobami mózgu. Mogą również informować o pytaniach dotyczących uczenia się, pamięci i innych procesów poznawczych. Takie badania byłyby wstępem do zajęcia się tym, w jaki sposób indywidualne różnice w zdolnościach umysłowych, w tym czynniki inteligencji, wynikają z różnic między mózgami. Odważny cel został ogłoszony w 2005 roku przez grupę naukowców pracujących w Szwajcarii. Podjęli się stworzenia sztucznego mózgu, budując biologicznie realistyczne modele neuronów i sieci. Pracując z superkomputerem IBM Big Blue, symulowali aktywność mózgu, zaczynając od około 10 000 wirtualnych neuronów. Ten ambitny projekt „Blue Brain" znacznie się rozwinął w 2009 r., kiedy Unia Europejska zapewniła dodatkowe fundusze w wysokości 1,3 miliarda dolarów, a wielu dodatkowych współpracowników dołączyło do przedsięwzięcia, przemianowanego na Human Brain Project. Deklarowanym celem jest symulacja ludzkiego mózgu, wszystkich 80–100 miliardów neuronów ze 100 bilionami połączeń. Żaden projekt neuronaukowy nie otrzymał nigdy takiego wsparcia. Nie brakuje kontrowersji wokół każdego aspektu tego projektu, ale najważniejszą dla nas kwestią jest wykluczenie z projektu neuronauki kognitywnej. To prawdopodobnie ulegnie odwróceniu, biorąc pod uwagę

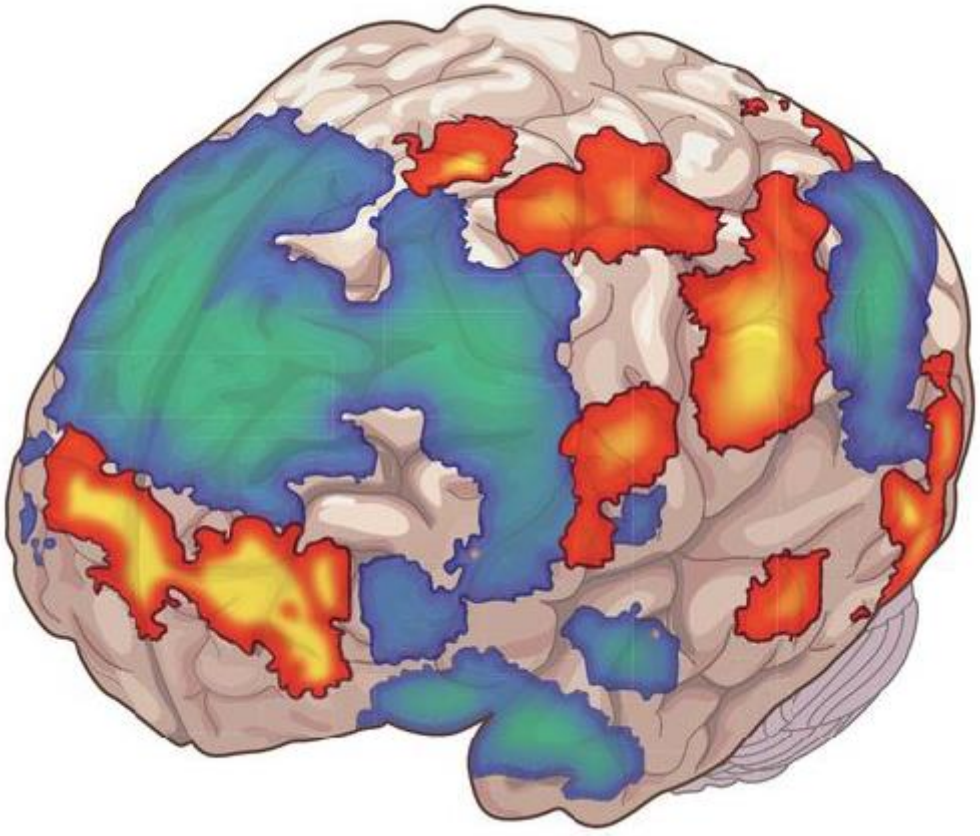
oburzenie społeczności neuronauki poznawczej. Jednak nawet po ich powrocie badania wywiadowcze nie są na porządku dziennym. Miejmy nadzieję, że w pewnym momencie ktoś z dostępem do symulowanego mózgu będzie się zastanawiał, jak inteligentny może być wirtualny mózg. W USA są skromniejsze inicjatywy, których celem jest budowanie symulowanych mózgów. DARPA (Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych Obrony) sfinansowała program SyNAPSE (Systemy neuromorficznej adaptacyjnej plastikowej skalowalnej elektroniki) w latach 2008-2016 (brzmi to tak, jakby ktoś bardzo chciał nazwać to SYNAPSE i pracował wstecz z komitetem). Ostatecznym celem jest zbudowanie systemu mikroprocesorowego, który naśladuje mózg ssaka. W 2013 roku Biały Dom ogłosił BRAIN Initiative (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies), która zapewniła fundusze na projekty, które doprowadzą do szczegółowych map funkcjonalnych i strukturalnych mózgu. Inicjatywa ta opiera się na innych już finansowanych projektach współpracy, takich jak Human Connectome Project, który jako jeden z nielicznych obejmuje testy poznawcze, z których można wyprowadzić współczynnik g. Intrygujący pierwszy raport z projektu Human Connectome Project dotyczący inteligencji opiera się na fMRI stanu spoczynku 461 uczestników. Obliczenia funkcjonalnej łączności między 200 obszarami mózgu obejmowały 158 zmiennych demograficznych i psychometrycznych w jednej analizie. Nie wyprowadzono współczynnika g, ale główny wynik pokazał, że zmienne inteligencji były jednymi z najsilniej powiązanych z ogólną łącznością między obszarami mózgu, tak że większa łączność była związana z wyższymi wynikami testów (Smith i in., 2015). To jest krótki raport, ale ich wyrafinowane analizy sugerują, że inteligencja jest związana z łącznością w stanie spoczynku w sieci domyślnej i w obszarach PFIT. Kiedy kończyłem ostateczną wersję tej książki, opublikowano kolejne badanie z Human Connectome Project, które rozszerzyło opisane badanie fMRI. To zapierające dech w piersiach badanie nie tylko ze względu na wyniki, ale także dlatego, że spełnia moje marzenie od 40 lat o używaniu profili mózgowych do opisywania jednostek i ich zdolności umysłowych. Oto, co zgłosili na podstawie analiz wzorców połączeń między obszarami mózgu. Zaczęli od danych fMRI od 126 osób zebranych podczas sześciu sesji, w tym czterech zadań i dwóch warunków spoczynku. Typowa analiza porównałaby średnią łączność dla całej grupy między warunkami zadania i odpoczynku. Badacze ci skupili się jednak na różnicach indywidualnych. Proste pytanie dotyczyło tego, czy wzorce łączności są stabilne u danej osoby. Aby odpowiedzieć na to pytanie, wzorce połączeń funkcjonalnych między 268 węzłami mózgowymi (tworzącymi 10 sieci) zostały obliczone dla każdej osoby osobno dla każdej sesji. Nie tylko wzorzec łączności był stabilny u osoby, gdy porównano dwa warunki spoczynku, ale był również stabilny w przypadku czterech różnych zadań. Ponadto wzór każdej osoby był na tyle unikalny, że można go użyć do identyfikacji osoby. Ponieważ te niezwykłe wyniki łączyły stabilność i wyjątkowość, wzorzec łączności został scharakteryzowany jako odcisk palca mózgu. Szczególnie interesujące dla nas odciski palców poszczególnych mózgów przewidywały indywidualne różnice w płynnej inteligencji. Staje się jeszcze lepszy. Najsilniejsze korelacje z inteligencją płynną występowały w sieciach czołowo-ciemieniowych. A co najważniejsze, w raporcie uwzględniono walidację krzyżową. Autorzy zauważają: „Wyniki te podkreślają potencjał odkrycia opartych na fMRI„neuromarkerów" łączności obecnych lub przyszłych zachowań, które mogą ostatecznie zostać wykorzystane do personalizacji praktyk edukacyjnych i klinicznych oraz poprawy wyników". Dochodzą do wniosku: „Razem te odkrycia sugerują, że analiza poszczególnych danych fMRI jest możliwa i rzeczywiście pożądana.

Świadomość i kreatywność

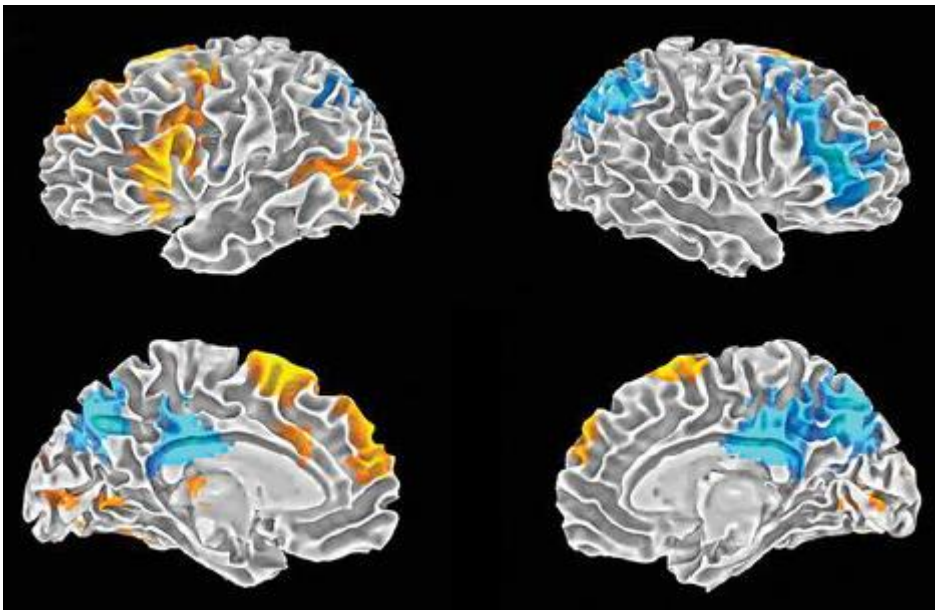
To dobre miejsce na krótki komentarz na temat świadomości i kreatywności. Podobnie jak inteligencja, obie należą do najwyższych funkcji ludzkiego mózgu. Jeśli można symulować inteligencję, dlaczego nie symulować kreatywności lub świadomości? Pomysł, że świadomość ma podstawy neuronaukowe, stał się głównym nurtem, w dużej mierze oparty na popularności książki Francisa Cricka, The Astonishing Hypothesis (Crick, 1994); Crick otrzymał Nagrodę Nobla za odkrycie molekularnej struktury DNA.

Niektóre z wysiłków badawczych mających na celu zrozumienie neuronalnych podstaw świadomości obejmują badania neuroobrazowe ludzi w różnym stopniu świadomości wywołanej różnymi lekami znieczulającymi. Mój przyjaciel i kolega Michael Alkire, anestezjolog, i ja opublikowaliśmy niektóre z najwcześniejszych badań obrazowych PET, które to badały. Próbowaliśmy ustalić, które obwody mózgowe dezaktywowały się jako ostatnie, gdy uczestnik stracił przytomność. Na podstawie tych badań mieliśmy nadzieję wywnioskować mechanizmy działania różnych leków znieczulających i wskazać mechanizmy mózgowe odpowiedzialne za świadomość. Jak dotąd bez powodzenia, ale ten ambitny cel pozostaje największą nierozwiązaną zagadką neuronauki. Poruszyłem ten temat tutaj pokrótce, ponieważ podczas naszych wczesnych eksperymentów PET zastanawialiśmy się, czy może istnieć związek między świadomością a inteligencją. Mamy tendencję do uważania każdego, kto się obudził, za świadomego, ale czy istnieją stopnie „przebudzenia”? Czy niektórzy ludzie są bardziej świadomi niż inni i czy takie różnice mogą być związane z inteligencją? Nie mamy jasnego sposobu oceny indywidualnych różnic w świadomości u osób, które nie śpią. Jedną z hipotez, którą można przetestować, jest to, czy osoby o wysokim IQ potrzebują więcej (lub mniej) środka znieczulającego, aby pozbawić ich przytomności przed operacją, zakładając, że istnieje miara głębokości znieczulenia. Nie zajmowaliśmy się tym pytaniem, ale uzasadnione wydaje się podejrzenie, że dwie czynności ludzkiego mózgu najwyższego rzędu mogą mieć wspólne obwody. Mechanizmy działania leków znieczulających pozostają niejasne, ale jeśli istnieją wspólne obwody między świadomością a inteligencją, możemy spekulować, że nowe leki, które działają w przeciwny sposób niż leki znieczulające, mogą powodować nadświadomość lub nadświadomość, możliwe aspekty wyższej inteligencji . Podobnie, chcę pokrótce omówić neuronaukowe badania kreatywności w odniesieniu do inteligencji. Mój przyjaciel i współpracownik Rex Jung jest neuropsychologiem specjalizującym się w neuroobrazowych badaniach nad kreatywnością. Badaliśmy, czy inteligencja i kreatywność mogą mieć wspólne obwody nerwowe. Kreatywność i inteligencja w pewnym stopniu się pokrywają. Kreatywność i proces twórczy są jeszcze trudniejsze do zdefiniowania i oceny w badaniach empirycznych niż inteligencja i rozumowanie. Zastosowanie ma jednak to samo ogólne podejście. Podaje się zestaw testów, które oceniają różne aspekty kreatywności, a wskaźnik kreatywności uzyskuje się albo przez zsumowanie wyników poszczególnych testów (takich jak wyniki IQ), albo przez wyodrębnienie ukrytej zmiennej kreatywności, takiej jak współczynnik g. Aspekty kreatywności obejmują na przykład miary oryginalności, płynność pomysłów i rozbieżne myślenie. Jednak to, czy istnieje czynnik podobny do g ogólnej kreatywności, który wykracza poza różne dziedziny specjalistyczne, pozostaje nadal kwestią otwartą. Twórcze zdolności artystyczne w tańcu, malarstwie lub muzyce mogą mieć zupełnie inne elementy neuronowe i mogą w ogóle nie pokrywać się z neuronalnymi aspektami kreatywności w dziedzinach nauki, literatury czy architektury. Istnieje również kwestia geniuszu, pojęcia równie trudnego do zdefiniowania dla badań. Czy kreatywny geniusz może mieć IQ niższe od przeciętnego, jak się wydaje niektórym uczonym? Czy geniusz intelektualny może nie mieć kreatywności? Czy rzadki „prawdziwy” geniusz wymaga zarówno wysokiej inteligencji, jak i dużej kreatywności? Nie ma jeszcze jasnych empirycznych odpowiedzi, ale podejścia neurobiologiczne mogą pomóc rozwiązać te podstawowe problemy. Badania nad kreatywnością to obszerna dziedzina, więc ograniczymy się tutaj do przykładowych badań neuroobrazowych. Nie znam żadnych zweryfikowanych przypadków, w których uszkodzenie mózgu lub choroba spowodowały zwiększenie zdolności intelektualnych. Istnieją jednak najwyraźniej rzadkie przypadki, w których ludzie wykazali się dramatyczną nową zdolnością twórczą, często artystyczną, po tym, jak rozwinęła się u nich otępienie czołowo-skroniowe (FTD), choroba zwyrodnieniowa podobna do choroby Alzheimera. Ta obserwacja nie jest typowa dla pacjentów z FTD. Jest to intrygujące, ponieważ stwarza prawdopodobieństwo, że kreatywność mogłaby zostać uwolniona u większej liczby osób, gdyby tylko zmieniły się pewne warunki w mózgu, chociaż demencja nie jest zmianą pozytywną. Ogólna idea jest jednak taka, że odhamowanie (tj. dezaktywacja) obwodów i sieci neuronowych spowodowane procesem chorobowym jest kluczowym

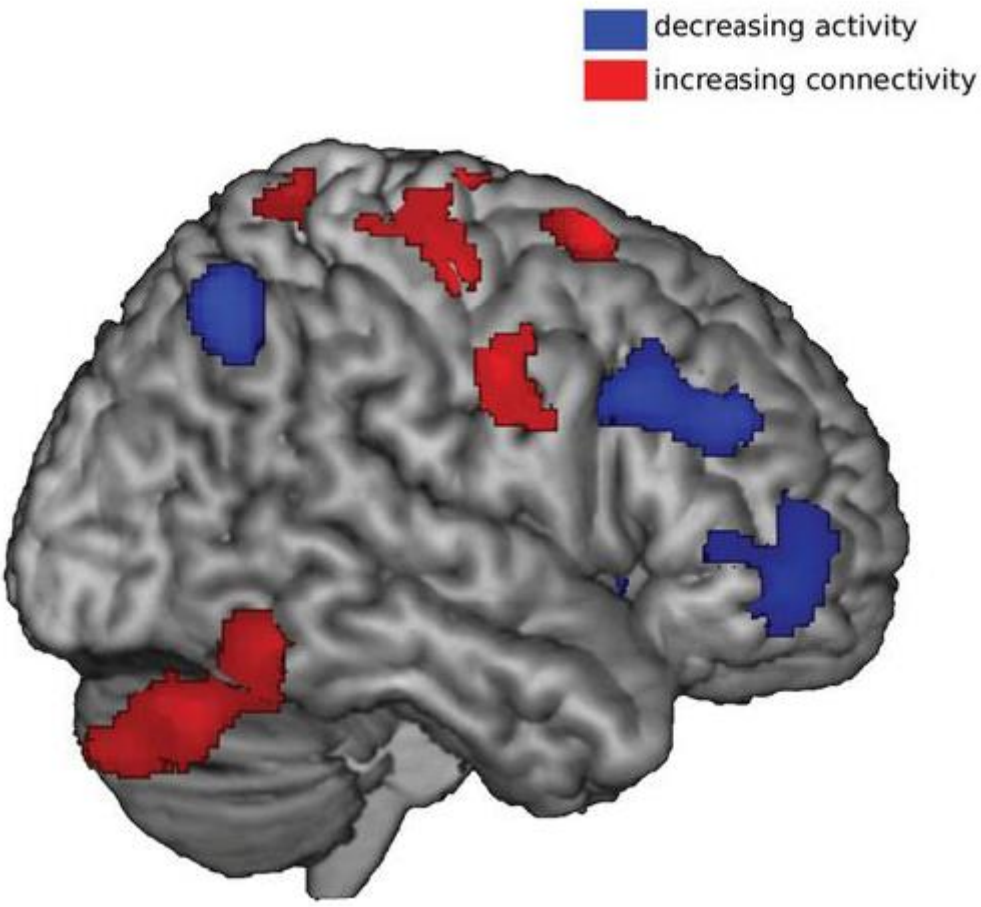
czynnikiem, ponieważ odhamowanie umożliwia więcej skojarzeń między obszarami mózgu, które nie komunikują się rutynowo. Istnieje wiele sposobów ogólnego odhamowania mózgu, takich jak picie alkoholu lub rozwój FTD, ale odhamowanie ukierunkowane na określone sieci neuronowe związane z kreatywnością może być możliwe bez wpływu na inne sieci niezbędne do zachowania równowagi, koordynacji, pamięci i osądu. Czy w mózgu istnieją sieci kreatywności? Funkcjonalne badania neuroobrazowania próbowały uchwycić aktywność mózgu podczas procesu twórczego. Na przykład istnieje obecnie wiele badań, które obrazowały ludzi za pomocą fMRI podczas improwizacji muzycznej jako wyrazu kreatywności . Improwizacja muzyczna jest możliwym do opanowania paradygmatem w badaniach eksperymentalnych, podczas gdy badania obrazowania procesu twórczego w tańcu, architekturze i innych dziedzinach nie są tak praktyczne. Na przykład w jednym z wczesnych badań przeskanowano fMRI sześciu profesjonalnych pianistów jazzowych, którzy wykonywali dwa zadania, które wymagały albo improwizacji, albo zbyt wyuczonych sekwencji muzycznych (Limb i Braun, 2008). Wyniki tego niewielkiego badania sugerują, że w porównaniu z nadmiernie wyuczoną sekwencją, improwizacja była związana z kombinacją obustronnej dezaktywacji w niektórych obszarach, zwłaszcza części kory przedczołowej (w tym BA 8, 9 i 46), wraz z obustronną aktywacją w innych obszarach rozmieszczonych w mózgu, w tym w płacie czołowym (BA 10). Wyniki te przedstawiono na rysunku.



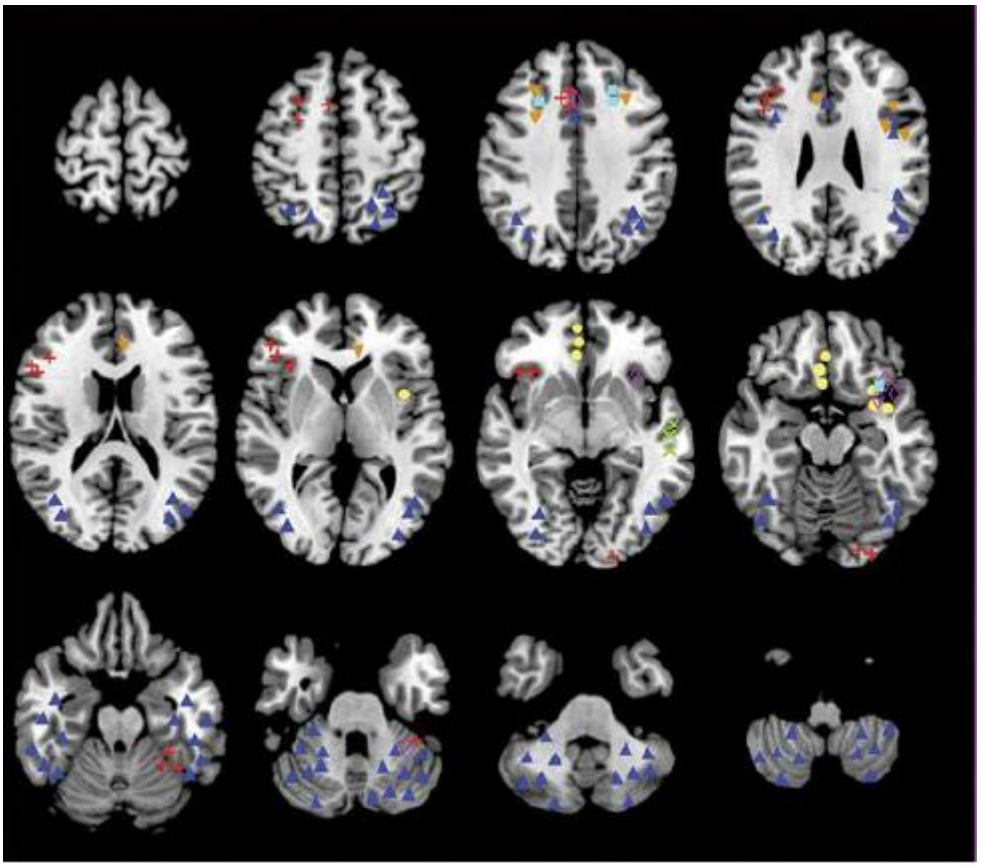
Podobne badanie fMRI przeprowadzone na 12 męskich muzykach rapujących w stylu freestyle porównywało spontaniczne tworzenie tekstów rapowych z wcześniej zapamiętanymi sekwencjami, przy czym oba warunki wykorzystywały to samo tło muzyczne. Wyniki sugerują również wzór dezaktywacji i aktywacji, jak pokazano na rysunku, który jest w większości zgodny z wynikami badania pianistów jazzowych Limb i Braun.



Inne badanie 39 pianistów o różnym stopniu doświadczenia w improwizacji wykazało związek między długością doświadczenia a łącznością między obszarami mózgu, co sugerowało bardziej efektywny przepływ informacji podczas twórczej ekspresji u bardziej doświadczonych muzyków. Mniejsza aktywność w obszarach czołowych i ciemieniowych była związana z większym doświadczeniem w improwizacji, jak pokazano na rysunku.

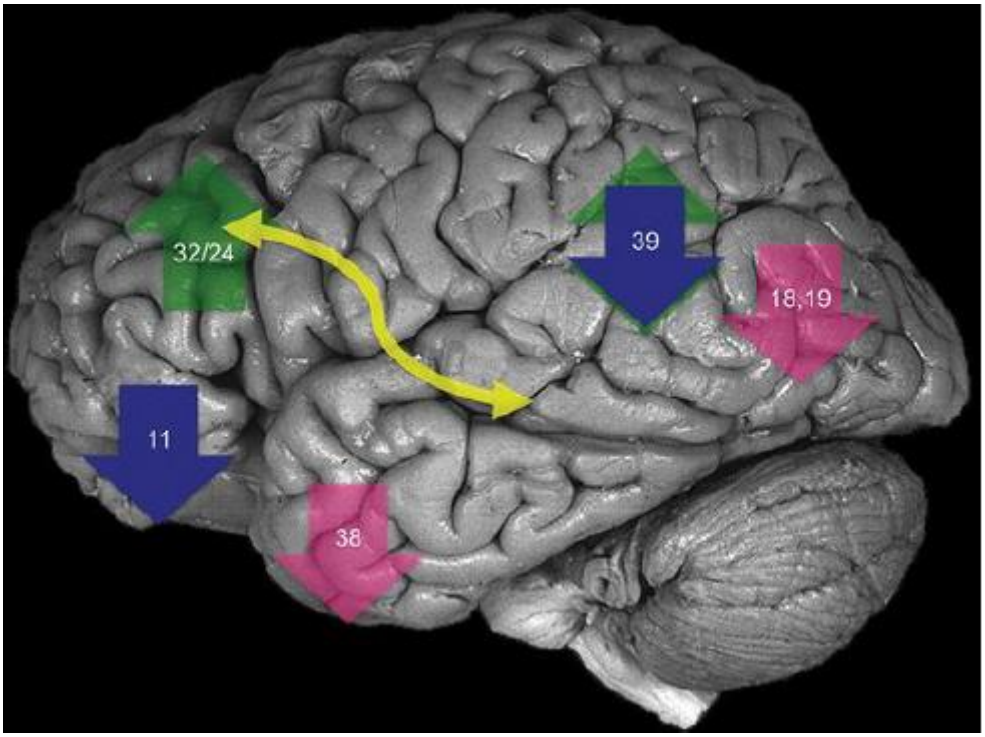


Metaanaliza badania improwizacji muzycznej, takie jak te, próbowały zintegrować wyniki i wyjaśnić niespójności między badaniami , ale badania te są wciąż na wczesnym etapie i widać niewielką spójność. To, czy będzie stanowić model dla kreatywności w ogóle, dopiero się okaże. Kompleksowy przegląd 45 funkcjonalnych i strukturalnych badań neuroobrazowania twórczego poznania (nie ograniczających się do improwizacji muzycznej) przyniósł podobny wniosek. W badaniach stosowano szereg różnych miar kreatywności, często tylko jeden wynik testu na badanie i stosowano różne metody obrazowania. Być może nie jest zaskakujące, że wyniki wykazały rozczarowująco małe nakładanie się badań. Na przykład rysunek pokazuje niespójności między siedmioma badaniami fMRI.



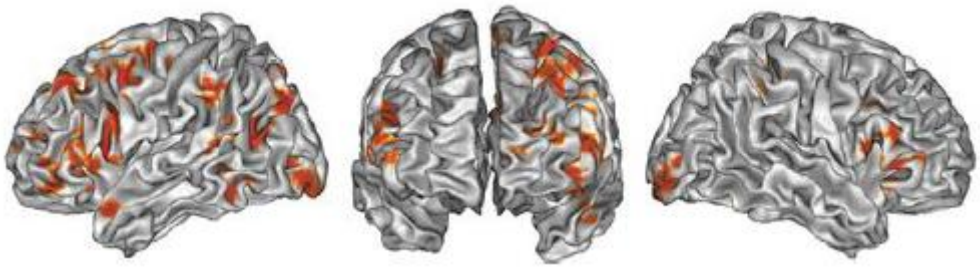
Autorzy doszli do wniosku, że dla jakiegokolwiek postępu konieczne jest bardziej ustandaryzowane podejście do oceny kreatywności. Zaproponowali osiem sugerowanych celów i działań, aby je osiągnąć: „(1) Cel: odkrycie, czy poznanie twórcze jest specyficzne dla domeny. Działanie: przetestuj ludzi fenotypowo w wielu domenach kreatywnej produkcji, aby określić ilościowo powszechną wariancję. (2) Cel: zwiększenie wiarygodności pomiaru. Działanie: wykorzystaj eksploracyjną analizę czynnikową – zastosuj różnorodne zestawy testów kreatywnego poznania w dużych próbach (N > 2000). (3) Cel: poprawa trafności dyskryminacyjnej. Działanie: uwzględnij inteligencję (wskazaną za pomocą wiarygodnego testu typu IQ) i otwartość na doświadczenia (ocenianą za pomocą wiarygodnego testu osobowości) jako współzmienne. (4) Cel: poprawa ważności ekologicznej kryterium. Działanie: wykorzystaj teorię ewolucji do informowania lub kierowania rozwojem testów. (5) Cel: zbadać etiologię twórczego poznania. Działanie: przeprowadzić kreatywne testy poznawcze na genetycznie pouczających próbkach, takich jak bliźnięta. (6) Cel: zwiększyć zaufanie do naszych wyników. Działanie: zwiększyć rozmiary próbek. (7) Cel: zwiększenie porównywalności między badaniami. Działanie: zbieżne ze wspólną nomenklaturą mózgów. (8) Cel: zwiększyć moc wykrywania efektów. Działanie: przejdź do badania projektów, które wykorzystują ciągłe miary zamiast dychotomii, takich jak kontrola przypadków”. W innym równoczesnym obszernym przeglądzie odnotowano pewne ogólne zgodności

między badaniami nad kreatywnością, w tym wzorzec aktywacji i dezaktywacji obejmujący obszary czołowe, jak również inne obszary rozmieszczone w mózgu na obu półkulach (w przeciwieństwie do popularnego poglądu, że kreatywność jest głównie funkcja prawej półkuli). Kolejna krytyczna recenzja doszła do podobnych wniosków i wymieniła sugestie dotyczące przyszłych badań, które podkreśliły ważną rolę współpracy między badaczami kreatywności i neurobiologami kognitywnymi . Rex Jung i ja próbowaliśmy zintegrować wyniki neuroobrazowania z badań nad inteligencją i kreatywnością i powiązać je z geniuszem . Skoncentrowaliśmy się na spójności z badań obrazowania strukturalnego i uszkodzeń kreatywności, ponieważ unikają one problemów z wynikami specyficznymi dla zadania, które zakłócają badania obrazowania funkcjonalnego i są głównym źródłem niespójnych wyników. Jedno badanie 40 pacjentów z uszkodzeniami, którzy ukończyli testy kreatywności, było szczególnie pouczające, ponieważ zmiany w niektórych obszarach były związane z deficytami w różnych aspektach kreatywności. Badania FTD, omówione wcześniej w tym rozdziale, również miały charakter informacyjny. W oparciu o połączenie tych badań zaproponowaliśmy model kreatywności z odhamowaniem czołowym (F-DIM) . Rysunek przedstawia ten model, zaprojektowany w celu łatwego porównania z inteligentnym modelem PFIT .



Tylko cztery obszary FDIM pokrywają się z PFIT (BA 18/19, 39 i 32), co sugeruje głównie niezależne sieci inteligencji i kreatywności. W porównaniu z 37 badaniami, które zostały poddane przeglądowi dla PFIT, F-DIM jest bardziej niepewny, ponieważ opiera się na mniejszej liczbie badań obrazowania wyłącznie strukturalnego. Istotą F-DIM jest to, że sieci związane z kreatywnością są głównie odhamowujące, szczególnie w obszarach czołowych i skroniowych, które wpływają na inne części płatów czołowych, jądra podstawy (część układu dopaminowego) i wzgórze (część układu dopaminowego). ważna stacja przekaźnikowa dla przepływu informacji) przez połączenia istoty białej. W odniesieniu do tego, jak F-DIM i PFIT mogą odnosić się do geniuszu, spekulowaliśmy, że „…musimy patrzeć nie tylko na zwiększoną tkankę nerwową lub aktywność w kluczowych obszarach mózgu (np. płatach czołowych), ale być może także na pewne niedopasowanie między wzajemnie pobudzającymi i hamującymi obszarami mózgu (np. płatami skroniowymi), które tworzą sieć podporządkowaną tak złożonym

ludzkim zachowaniom, jak kreatywność (np. planowanie, wgląd, inspiracja). To pojęcie delikatnej interakcji zarówno wzrostu, jak i spadku masy nerwowej, organizacji istoty białej, składu biochemicznego, a nawet funkcjonalnych aktywacji w obrębie i między płatami mózgu i półkulami jest ważną koncepcją. Rzeczywiście, to rzadki mózg ma wysoko rozwinięte sieci obszarów mózgu obsługujących inteligencję i (jednocześnie) nieco słabo rozwiniętą sieć obszarów mózgu związanych z odhamowującymi procesami mózgu związanymi z kreatywnym poznaniem. Taka precyzyjnie dostrojona huśtawka złożonej wierności wyższego i niższego mózgu, zrównoważona w dynamicznej opozycji, prawie gwarantowałaby rzadkie występowanie geniuszu" . Lub, jak mówimy prywatnie, tak naprawdę nie wiemy, jak inteligencja i kreatywność są powiązane z geniuszem na poziomie mózgu. Inny kompleksowy przegląd badań nad kreatywnością opierał się na metaanalizie 34 funkcjonalnych badań euroobrazowania, które obejmowały 622 zdrowych dorosłych . W głównej analizie zbadano, czy obszary mózgu były konsekwentnie aktywowane pomimo różnorodności zadań związanych z kreatywnością wykonywanych podczas obrazowania. Analiza była jednak ograniczona, ponieważ nie obejmowała obszarów dezaktywacji. Wyniki aktywacji dla wszystkich badań łącznie wskazują na pewną spójność, jak pokazano tu.



Powstała mapa kreatywności jest zgodna z F-DIM i innymi badaniami, pokazując rozmieszczenie najistotniejszych obszarów, w tym obszarów czołowych i ciemieniowo-skroniowych, zwłaszcza bocznej kory przedczołowej. Niektóre z zadań kreatywnych wymagały generowania pomysłów, a inne wymagały łączenia elementów. Oddzielne analizy dla obu rodzajów zadań sugerowały, że przednie regiony były zaangażowane w kreatywne łączenie pomysłów, a bardziej tylne regiony były zaangażowane w swobodne generowanie nowych pomysłów. Wystąpiły również pewne różnice między zadaniami werbalnymi i niewerbalnymi. Zarówno w przypadku wspólnej mapy kreatywności , jak i wyników dwóch rodzajów zadań (niepokazanych), obszary zarówno w prawej, jak i lewej półkuli są powiązane z kreatywnością, dostarczając dodatkowych dowodów na to, że kreatywność nie jest funkcją wyłączną prawej części mózgu. Ponowna analiza obejmująca obszary dezaktywacji byłaby pouczająca dla pełniejszego obrazu, biorąc pod uwagę inne ustalenia związane z odhamowaniem. W rzeczywistości, nowsza metaanaliza dziesięciu małych prób fMRI badań rozbieżnego myślenia, opublikowana w chwili ukończenia tej książki, pokazuje rozległe obszary dezaktywacji, chociaż w niewytłumaczalny sposób analiza Gonen-Yaacovi nie jest cytowana . Również niedawno opublikowane badanie strukturalnego rezonansu magnetycznego przeprowadzone na 135 dorosłych wykazało korelacje między istotą szarą a testem płynności twórczej i testem oryginalności twórczej. Każdy test był skorelowany z istotą szarą w różnych obszarach, a interakcja z inteligencją dotyczyła tylko płynności . Dziedzina ta przyciąga nowe zainteresowanie, a liczba obrazowych badań nad kreatywnością szybko rośnie. Ten obszar zbliża się do uzyskania dowodów na niektóre ustalenia, więc bądźcie czujni. Oto ostateczna spekulacja dla tej sekcji. Jeśli głęboki poziom odhamowania w pewnych obwodach mózgu powoduje utratę przytomności, być może nieco mniej odhamowania może zwiększyć kreatywność. Postrzeganie zwiększonej kreatywności jest często subiektywną reakcją na narkotyki „rozszerzające umysł", takie jak LSD. Odhamowanie kory czołowej jest również związane ze snami podczas snu .

Oczywiście sen jest stanem nieświadomości, a sny często mają dość twórczą treść i narrację. Połączenie badań nad kreatywnością i świadomością w oparciu o obwody nerwowe dodatkowo pokazałoby, że istnieje neuronalna podstawa kreatywności. Istnieją również dowody genetyczne dotyczące kreatywności, sugerujące, że może istnieć potencjał zwiększania kreatywności poprzez oddziaływanie na mechanizmy mózgowe. Wiele leków zostało opisanych subiektywnie jako wzmacniacze kreatywności, ale nie znam przekonujących badań empirycznych, które potwierdzają takie obserwacje. Zwiększoną kreatywność odnotowano w kilku badaniach, w których manipulowano mózgiem bez leków oraz przeprowadzono małe badanie tDCS , ale jak dotąd nie ma dowodów na to, poprzeć te wstępne sprawozdania. To, w jaki sposób inteligencja może być powiązana z kreatywnością i świadomością na poziomie neuronowym, jest intrygującym pytaniem, które stwarza możliwości dla pomysłowych projektów badawczych i innowacyjnych neuronaukowców.

Neuro-ubóstwo i status neuro-społeczno-ekonomiczny (SES): Implikacje dla polityki publicznej w oparciu o neuronaukę inteligencji

Pomieszanie SES z inteligencją zostało wprowadzone w częścu drugiej. Teraz rozważamy to dalej, ponieważ pozostaje ważnym problemem, który często prowadzi do błędnych wniosków z badań naukowych. Oto powszechny tok myślenia na temat znaczenia SES: Wyższe dochody umożliwiają mobilność w górę, zwłaszcza możliwość przeniesienia się z biednych środowisk do lepszych. Lepsze sąsiedztwo zazwyczaj obejmuje lepsze szkoły i więcej zasobów wspierających rozwój dzieci, dzięki czemu dzieci mają teraz wiele zalet. Jeśli dzieci mają wysoką inteligencję i większy sukces naukowy i ekonomiczny, można stwierdzić, że wyższy SES był kluczowym czynnikiem napędzającym ten łańcuch zdarzeń. Oto alternatywny tok myślenia: Ogólnie rzecz biorąc, osoby o wyższej inteligencji dostają pracę, która wymaga większego współczynnika g, a te prace są zazwyczaj płatne. Składa się na to wiele czynników, ale badania empiryczne pokazują, że g jest najsilniejszym pojedynczym czynnikiem predykcyjnym dla uzyskania dobrze płatnej pracy wymagającej złożonego myślenia. Wyższe dochody umożliwiają mobilność w górę, zwłaszcza zdolność do przemieszczania się z biednych środowisk do lepszych. Często obejmuje to lepsze szkoły i więcej zasobów wspierających rozwój dzieci, dzięki czemu dzieci mają teraz wiele zalet. Jeśli dzieci mają wysoką inteligencję i większy sukces akademicki i ekonomiczny, można stwierdzić, że wyższa inteligencja rodziców była kluczowym czynnikiem napędzającym ten łańcuch wydarzeń, w dużej mierze z powodu silnego wpływu genetycznego na inteligencję. Ten ostatni tok myślenia nie jest niczym nowym. Zostało to wyjaśnione ponad 40 lat temu w kontrowersyjnej książce wspomnianej wcześniej , IQ in the Meritocracy (Herrnstein, 1973). Argument został sprowadzony do najprostszej postaci w sylogizmie: „(1) Jeśli różnice w zdolnościach umysłowych są dziedziczone i (2) jeśli sukces wymaga tych zdolności, oraz (3) jeśli zarobki i prestiż zależą od sukcesu, (4) to pozycja społeczna (która odzwierciedla zarobki i prestiż) będzie w pewnym stopniu oparta na odziedziczonych różnicach między ludźmi". Kiedy opublikowano to w 1973 r., dowody na genetyczną rolę w inteligencji były mocne, ale nie przytłaczające i było miejsce na sceptycyzm; dzisiaj dowody są przytłaczające i przekonujące. Dr David Lubinski napisał obszerną recenzję problemu zakłócania SES/wywiadu. Chociaż kontekstem jego artykułu jest epidemiologia kognitywna, argument dotyczy wszystkich badań wykorzystujących SES jako zmienną. Zasadniczo, jeśli badanie obejmuje pomiary zarówno SES, jak i inteligencji, metody statystyczne mogą pomóc w rozwikłaniu ich odpowiednich skutków. Interpretacja wyników dowolnego badania SES nie może rozstrzygnąć, który czynnik wpływa na wynik, chyba że w badaniu uwzględniono miarę inteligencji. Badania inteligencji bez uwzględnienia SES są również problematyczne. Kiedy obie zmienne są uwzględnione w badaniach wielowymiarowych na dużych próbach, wyniki zazwyczaj pokazują, że ogólne miary zdolności poznawczych korelują z konkretną zmienną będącą przedmiotem zainteresowania, nawet po statystycznym usunięciu skutków SES. Na przykład w badaniu 641 brazylijskich dzieci w wieku szkolnym SES nie przewidywał osiągnięć szkolnych, ale wyniki testów

inteligencji tak. Jeszcze większe klasyczne badanie obejmowało 155 191 studentów z 41 amerykańskich szkół wyższych i uniwersytetów. Ich analizy wykazały, że wyniki SAT przewidywały mniej więcej takie same wyniki w nauce, nawet po kontroli SES; to znaczy SES nie dodał żadnej dodatkowej mocy predykcyjnej . Inne badanie przeprowadzone na 3233 nastolatkach w Portugalii wykazało, że poziom wykształcenia rodziców był predyktorem inteligencji dzieci niezależnie od dochodów rodziny . Badacze ci sformułowali prosty wniosek: „Młodzież z zamożniejszych rodzin jest zwykle bystrzejsza, ponieważ ich rodzice są bystrzy, a nie dlatego, że mają lepsze środowisko rodzinne". Badania z równie dużymi próbami wykazujące efekty SES pozostające po usunięciu efektów inteligencji są rzadsze, chociaż jedna metaanaliza sugerowała, że SES niezależnie przewiduje sukces ekonomiczny na poziomie inteligencji . Ilustrującym przykładem wykorzystania zarówno SES, jak i IQ jest badanie 110 dzieci w wieku gimnazjalnym znajdujących się w niekorzystnej sytuacji. Obejmował IQ matki wraz ze złożonymi pomiarami opieki rodzicielskiej i stymulacji środowiskowej . W głównej analizie opieka rodzicielska była związana z pamięcią, a stymulacja środowiskowa była związana z językiem, po statystycznym usunięciu wszelkich skutków matczynego IQ. Zakres IQ matki był jednak ograniczony do dolnej granicy rozkładu normalnego (średnia = 83, odchylenie standardowe = 9), co prawdopodobnie wyjaśnia brak wyniku IQ, ale to badanie ilustruje, dlaczego ważne jest uwzględnienie IQ środków podczas badania określonych czynników SES. Replikacja w innej próbie dzieci w niekorzystnej sytuacji byłaby ważna wraz z uzyskaniem IQ ojców. Replikacja w próbie dzieci z wyższymi poziomami SES byłaby również pouczająca, podobnie jak badania dzieci w różnym wieku, ponieważ wpływ SES na dziedziczność inteligencji może się różnić w zależności od wieku. Szczególnie interesujące jest to, że pojawiają się dowody na to, że sam SES ma silny komponent genetyczny. Oczywiście istnieje wiele pytań, na które należy odpowiedzieć, aby ustalić wagę dowodów dotyczących tego, w jaki sposób SES i IQ odnoszą się do siebie. Jednym z powszechnych poglądów w psychologii poznawczej jest to, że relacje SES / poznawcze zależą od tego, jak zmienne SES wpływają na rozwój mózgu we wczesnym dzieciństwie. Inni badacze postrzegają takie relacje jako bardziej związane z neuronauką, zwłaszcza gdy próbują powiązać takie odkrycia z edukacją . Jak można sobie wyobrazić, granica między psychologią poznawczą a neurobiologią jest płynna (Hackman i in., 2010; Neville i in., 2013). Termin „neuronauka poznawcza" odnosi się do obu. Nic na temat głównego składnika genetycznego inteligencji i powiązanych mechanizmów neurobiologicznych nie neguje ani nie minimalizuje znaczenia wpływu SES na zmienne psychologii poznawczej. Z pewnością SES jest konsekwencją wielu czynników, ale rozważmy tylko tę część SES, która jest pomieszana z genetyczną częścią inteligencji. Nazywam tę część terminem „neuro-SES" i moim zdaniem należy ją uznać za przedmiot badań i dyskusji. Powtarzając główny punkt, badania, które formułują twierdzenia dotyczące zmiennych SES bez uwzględniania miar inteligencji, są trudne do interpretacji i muszą przynajmniej uznać problem zakłócający, zanim wyciągną wniosek lub zasugerują, że SES odgrywa przyczynową rolę. To był główny punkt poruszony dwie dekady temu w The Bell Curve. Niemniej jednak uprzedzenia w kierunku wyjaśnień opartych wyłącznie na SES pozostają powszechne. Dwa niedawne przykłady ighprofile ilustrują ten problem. Oba badania wykorzystują neuroobrazowanie ze strukturalnym MRI. Pierwszy artykuł pochodzi z MIT i został opisany przez dr Mackeya i współpracowników (2015) (Mackey odnotował również 10-punktowy wzrost IQ u dzieci znajdujących się w niekorzystnej sytuacji po krótkiej grze komputerowej w szkole). Badacze ci postanowili zbadać neuroanatomiczne korelaty luki w osiągnięciach akademickich między studentami o wyższych i niższych dochodach (odpowiednio n = 35 i 23). Średni roczny dochód rodziny w grupie wyniósł 145 465 USD (95% przedział ufności między 122 461 a 168 470 USD). Średnia rodzinna w niższej grupie wyniosła 46 353 USD (95% CI między 22 665 USD a 70 041 USD). Można dyskutować, czy dochody rodziny przekraczające 50 000 USD stanowią gospodarstwo domowe w niekorzystnej sytuacji, ale kluczowe odkrycie jest nadal interesujące. Strukturalny MRI wykazał większą grubość kory mózgowej w kilku obszarach w grupie o wysokich dochodach, chociaż inne pomiary mózgu tego nie wykazały (np. pole powierzchni korowej, objętość istoty białej kory mózgowej). Różnice w grubości

korowej między grupami w niektórych obszarach były związane z różnicami w wynikach testu standardowego. Autorzy podsumowali: „Przyszłe badania pokażą, w jaki sposób skuteczne praktyki edukacyjne wspierają osiągnięcia akademickie i czy praktyki te zmieniają anatomię kory mózgowej". Jest to dość sprawiedliwe iz pewnością potwierdza powszechnie panujący pogląd. Jednak bez oceny zdolności poznawczych rodziców nie możemy być pewni, czy różnica grubości kory jest związana z dochodami rodziny, czy z genetyką inteligencji. Wyniki tego badania byłyby znacznie bardziej przekonujące, gdyby uwzględniono jakieś oszacowanie lub miarę inteligencji rodziców, aby pomóc oddzielić efekty SES od efektów inteligencji. Drugi artykuł to wieloośrodkowa współpraca opisana w Nature Neuroscience przez dr Noble i współpracowników (2015). To badanie MRI obejmowało dużą próbę 1099 dzieci i młodzieży. Dane obejmowały dochód rodziny, wykształcenie rodziców i pochodzenie genetyczne. Dochód był związany z powierzchnią mózgu nawet po uwzględnieniu wykształcenia rodziców. Edukacja rodziców związana z innymi strukturalnymi cechami mózgu, nawet po kontrolowaniu dochodów. Powiązania te stwierdzono niezależnie od pochodzenia genetycznego. Autorzy stwierdzają, że „… w naszych korelacyjnych, nieeksperymentalnych wynikach nie jest jasne, co napędza powiązania między SES a strukturą mózgu. Takie powiązania mogą wynikać z ciągłych rozbieżności w doświadczeniach lub ekspozycjach poporodowych, takich jak stres rodzinny, stymulacja poznawcza, toksyny środowiskowe lub odżywianie, lub z odpowiednich różnic w środowisku prenatalnym. Jeśli to dowody korelacyjne odzwierciedlają możliwy leżący u podstaw związek przyczynowy, wówczas polityki ukierunkowane na rodziny z dolnej części rozkładu dochodów mogą najprawdopodobniej doprowadzić do zauważalnych różnic w mózgu dzieci i rozwoju poznawczym". Nie jest to nierozsądne stwierdzenie, ale jedną z implikacji tego toku myślenia może być eksperyment, który zapewnił skromne lub duże miesięczne płatności rodzinom o niskich dochodach w celu poprawy codziennego życia z oczekiwaniem, że wynikające z tego zmiany w życiu mogą mieć późniejszy wpływ na ich dzieci rozwój mózgu i poznawczy. Pewne rozpoznanie i omówienie neuronaukowych aspektów inteligencji i jej powiązań z SES byłoby ważnymi czynnikami do rozważenia, gdyby taki eksperyment został podjęty. W dyskusji na temat tych wyników MRI nie wspomniano o inteligencji. Przekonanie o pustej karcie, omówione w rozdziale 2, promuje SES i inne wpływy społeczne/kulturowe jako krytyczne dla inteligencji i jej rozwoju. Jak zauważono w tej książce, ciężar dowodów nie potwierdza prymatu tego poglądu nad poglądem genetycznym. Rośnie również świadomość, że pogląd ten nie zdołał ożywić skutecznej polityki publicznej mającej na celu zlikwidowanie powszechnie uznanych luk w osiągnięciach edukacyjnych i umiejętnościach poznawczych wykazywanych przez wiele dzieci znajdujących się w niekorzystnej sytuacji. Główną konsekwencją tej książki jest to, że dowody empiryczne zdecydowanie przemawiają za zwróceniem większej uwagi na neurobiologię jako podstawę do zmiany status quo. Jak argumentowano w poprzednich rozdziałach, neurobiologię można modyfikować, nawet jeśli w grę wchodzą silne komponenty genetyczne. Ten prosty fakt w połączeniu z postępami w badaniach neuronaukowych, takimi jak te omówione w tym rozdziale, dostarcza nowego optymizmu w rozwiązywaniu poważnych problemów, które utrzymują się od dziesięcioleci. Jakie są możliwe implikacje polityczne wprowadzenia perspektyw neurobiologicznych do badań nad tymi problemami? Nie wszystkie jednostki mają taki wzorzec mocnych stron poznawczych, które pozwalają na ledwie minimalny sukces w nowoczesnym, złożonym społeczeństwie. Jest to oczywiste w odniesieniu do g i innych czynników inteligencji. W zakresie, w jakim różne wzorce mocnych i słabych stron poznawczych są bardziej zakorzenione w neurobiologii i genetyce niż w doświadczeniach z dzieciństwa, błędne jest obwinianie braku sukcesu ekonomicznego lub edukacyjnego wyłącznie za słabą motywację, słabe wykształcenie lub inne czynniki społeczne. Wszystkie te rzeczy mają znaczenie, ale w odniesieniu do inteligencji nie wydają się mieć większego znaczenia, na co wskazuje ciężar dowodów. Oto moja orientacja polityczna. Uważam, że rząd ma właściwą rolę i moralny imperatyw, aby zapewnić zasoby ludziom, którym brakuje zdolności poznawczych wymaganych do edukacji, pracy i innych możliwości, które prowadzą do sukcesu gospodarczego i zwiększonej SES. Wykracza to poza

zapewnienie możliwości ekonomicznych, które mogą być nierealne dla osób pozbawionych wymaganych zdolności umysłowych. Wykracza poza wymaganie bardziej złożonego myślenia i wyższych oczekiwań wobec każdego ucznia, niezależnie od jego możliwości (wymaganie, które może uwydatnić luki poznawcze). Wykracza nawet poza wspieranie programów wczesnej edukacji, szkoleń zawodowych, przystępnej cenowo opieki nad dziećmi, pomocy żywnościowej i dostępu do szkolnictwa wyższego. Nie ma przekonujących dowodów na to, że którakolwiek z tych rzeczy zwiększa inteligencję, ale popieram wszystkie te wysiłki, ponieważ pomogą one wielu ludziom zrobić postęp w inny sposób i ponieważ są one słuszne. Jednak nawet jeśli to wsparcie stanie się powszechnie dostępne, będzie wiele osób na dolnym końcu rozkładu g, które nie odniosą dużych korzyści, pomimo najlepszych starań. Przypomnijmy sobie z rozdziału 1, że rozkład normalny wyników IQ ze średnią 100 i odchyleniem standardowym równym 15 szacuje, że 16% ludzi uzyska wynik poniżej IQ 85 (minimum dla służby wojskowej w USA). W USA około 51 milionów ludzi ma iloraz inteligencji niższy niż 85 bez własnej winy. Istnieje wiele przydatnych, afirmujących miejsc pracy dostępnych dla tych osób, zwykle za niskie wynagrodzenie, ale generalnie nie są one silnymi kandydatami do college'u lub szkolenia technicznego w wielu dziedzinach zawodowych. Czasami mówi się o nich jako o permanentnej podklasie, chociaż termin ten prawie nigdy nie jest jednoznacznie definiowany przez niską inteligencję. Ubóstwo i stan bliski ubóstwa jest dla nich stanem, który może mieć pewne korzenie w neurobiologii inteligencji, na którą nikt nie ma wpływu. Zdanie, które właśnie przeczytałeś, jest najbardziej prowokującym zdaniem w tej książce. Może to być głęboko niewygodna prawda lub głęboko błędna. Ale jeśli dane naukowe potwierdzają tę koncepcję, czy nie jest to wstrząsający powód, aby finansować programy wspierające, które nie piętnują ludzi jako leniwych lub niegodnych? Czy nie jest to powód, aby nadać priorytet badaniom neuronauki nad inteligencją i sposobami jej ulepszenia? Termin „neuroubóstwo" ma skupiać się na tych aspektach ubóstwa, które wynikają głównie z genetycznych aspektów inteligencji. Termin może zawyżać sprawę. To trudna i niewygodna koncepcja, ale mam nadzieję, że przyciągnie twoją uwagę. Ta książka dowodzi, że inteligencja jest silnie zakorzeniona w neurobiologii. W zakresie, w jakim inteligencja jest głównym czynnikiem przyczyniającym się do zarządzania codziennym życiem i zwiększania prawdopodobieństwa sukcesu życiowego, neuroubóstwo jest koncepcją, którą należy wziąć pod uwagę, myśląc o tym, jak złagodzić poważne problemy związane z namacalnymi ograniczeniami poznawczymi, które charakteryzują wiele osób poprzez brak z własnej winy. Debaty na temat porządku publicznego i sprawiedliwości społecznej mogą być bardziej rzeczowe, jeśli to, co wiemy o inteligencji, zwłaszcza w odniesieniu do genetyki, będzie częścią rozmowy. W przeszłości próby dokonania tego spotykały się głównie z zajadłością, o czym świadczy ostra krytyka Arthura Jensena , Richarda Herrnsteina (1973) i Charlesa Murraya . Po artykule Jensena z 1969 roku, zarówno IQ in the Meritocracy, jak i The Bell Curve dość szczegółowo omówiły tę perspektywę. Postępy w badaniach neurologicznych nad inteligencją oferują teraz inny punkt wyjścia do dyskusji. Biorąc pod uwagę, że podejścia pozbawione wkładu neuronauki przez 50 lat zawodziły w minimalizowaniu pierwotnych przyczyn ubóstwa i związanych z nim problemów, czy nie nadszedł czas, aby rozważyć inną perspektywę? Oto drugie najbardziej prowokacyjne zdanie w tej książce: Moim zdaniem niewygodna koncepcja „leczenia" neuroubóstwa poprzez wzmacnianie inteligencji w oparciu o neurobiologię stanowi alternatywną, optymistyczną koncepcję pozytywnych zmian w miarę postępów w badaniach neuronaukowych. Stoi to w sprzeczności z poglądem, że programy ukierunkowane wyłącznie na społeczne/kulturowe wpływy na inteligencję mogą zmniejszać luki poznawcze i przezwyciężać wpływy biologiczne/genetyczne. Waga dowodów sugeruje, że podejście neuronaukowe może być jeszcze skuteczniejsze, gdy dowiemy się więcej o korzeniach inteligencji. Nie twierdzę, że sama neurobiologia jest jedynym podejściem, ale nie należy jej dłużej ignorować na korzyść podejścia opartego wyłącznie na SES. Najlepiej sprawdza się pytanie empiryczne, chociaż nie można ignorować kontekstu politycznego. Na poziomie politycznym pomysł leczenia neuroubóstwa tak, jakby to było zaburzenie neurologiczne, jest wyjątkowo naiwny. Może się to zmienić na dłuższą metę, jeśli badania

neurologiczne doprowadzą kiedykolwiek do sposobów na zwiększenie inteligencji, a wierzę, że tak się stanie. Na razie epigenetyka jest jedną z koncepcji, która może łączyć podejście neuronauki i nauk społecznych. Nic nie przyspieszy badań epigenetycznych szybciej niż identyfikacja konkretnych genów związanych z inteligencją, tak aby można było określić, w jaki sposób czynniki środowiskowe wpływają na te geny. Istnieje wspólny grunt do przedyskutowania, w tym to, co wiemy o neuronauce inteligencji na podstawie dowodów empirycznych. Czas przywrócić „inteligencję" z 45-letniego wygnania i prowadzić rozsądne dyskusje o edukacji i polityce społecznej bez zaciekłości. Niedawno wydana książka bada tę możliwość. Punktem wyjścia, autorstwa dwóch badaczy genetyki behawioralnej, jest uznanie, że wszyscy uczniowie wchodzą do systemu edukacji z różnymi genetycznymi skłonnościami do nauki czytania, pisania i arytmetyki . Autorzy proponują idee polityki dotyczące dostosowywania środowiska edukacyjnego, aby pomóc każdemu uczniowi w nauce podstawowego materiału w sposób, który prawdopodobnie najlepiej pasuje do wyposażenia genetycznego ucznia. Daleko temu do błędnego założenia, że geny są deterministyczne; w rzeczywistości geny są punktami wyjścia. Jak zauważają autorzy, wyniki badań genetycznych są wyjątkowo wykluczone z dyskusji o edukacji, a jednocześnie badania genetyczne zmieniły aspekty medycyny, zdrowia publicznego, rolnictwa, energii i prawa. Zindywidualizowana edukacja jest długoterminowym celem nauczycieli, a badania genetyczne wspierają ten cel. Asbury i Plomin podsumowują: „Chcemy traktować wszystkie dzieci z równym szacunkiem i zapewniać im równe szanse, ale nie wierzymy, że wszyscy nasi uczniowie są tacy sami. Dzieci mają różne kształty i rozmiary, mają różne talenty i osobowości. Nadszedł czas, aby wykorzystać lekcje genetyki behawioralnej do stworzenia systemu szkolnego, który celebruje i zachęca do tej wspaniałej różnorodności" .Ten pogląd jest uderzająco podobny do konkluzji Jensena sprzed ponad 45 lat (Jensen, 1969): „Różnorodność, a nie jednolitość podejść i celów wydaje się być kluczem do uczynienia edukacji i nagradzanie dzieci o różnych wzorcach zdolności. Rzeczywiste różnice indywidualne nie muszą zatem oznaczać nagrody edukacyjnej dla niektórych dzieci oraz frustracji i porażki dla innych". Oba poglądy są powszechne wśród neuronaukowców, którzy badają inteligencję i rozumieją probabilistyczną naturę genów. Niemniej jednak brak uznania rozstrzygających ustaleń dotyczących roli genetyki w indywidualnych różnicach w inteligencji i innych zdolnościach poznawczych utrwala nieskuteczne podejście „jeden rozmiar dla wszystkich" do reformy edukacji. Łatwo zauważyć, jak ignorowanie tego, co wiemy o inteligencji, prowadziło i nadal prowadzi do frustracji i niepowodzeń w rozwiązywaniu każdego problemu, w którym inteligencja ma znaczenie. Niemniej jednak w rozmowach publicznych nadal brakuje inteligencji. Na przykład w USA znaczna uraza przenika dyskusje na temat reformy edukacji, nawet bez jakiegokolwiek odniesienia do różnic w inteligencji wśród uczniów. Pomysł, aby każdy uczeń szkoły średniej, niezależnie od zdolności umysłowych, miał ukończyć czteroletnią szkołę wyższą, jest naiwny i rażąco niesprawiedliwy w stosunku do tych uczniów, dla których takie oczekiwanie jest nierealne. Pamiętaj, że statystycznie połowa populacji uczniów szkół średnich ma IQ na poziomie 100 lub niższym, co znacznie utrudnia pracę w college'u nawet wysoce zmotywowanym osobom. Podobnie naiwne i niesprawiedliwe jest ocenianie nauczycieli na podstawie zmian w wynikach testów uczniów, podczas gdy wiele testów jest w dużej mierze de facto miarą ogólnej inteligencji, a nie ilości materiału kursu przyswojonego w krótkim czasie. Być może największą niedźwiedzią przysługą dla uczniów będzie celowe zwiększanie trudności testów ewaluacyjnych poprzez wymaganie bardziej złożonego myślenia w celu uzyskania właściwych odpowiedzi. Istnieje prawdopodobieństwo, że sama ta zmiana zwiększy luki w wydajności, ponieważ testy są teraz bardziej przeciążone. [Ostatnie zdanie zostało zredagowane na kilka miesięcy przed tym, jak Los Angeles Times opublikował na pierwszej stronie artykuł z nagłówkiem: „Nowe wyniki pokazują szerszą przepaść etniczną" (12 września 2015 r.)]. W zasadzie nie ma nic złego w testowaniu ewaluacyjnym lub w posiadaniu wysokich oczekiwań i standardów. Te przykłady ilustrują jednak konsekwencje ignorowania tego, co wiemy o inteligencji z badań empirycznych, podczas tworzenia dobrych intencji polityki edukacyjnej, zwłaszcza takiej, która zakłada, że umiejętności myślenia można nauczyć wszystkich

uczniów w takim samym stopniu, lub że kupowanie iPadów dla wszystkich w systemie edukacji zwiększą osiągnięcia szkolne. Jak większość nauczycieli zdaje sobie sprawę, maksymalizacja mocnych stron poznawczych ucznia, niezależnie od tego, jakie one są, jest wartościowym celem. Wszystko, co wiemy z literatury naukowej na temat inteligencji, potwierdza ten pogląd, w tym dlaczego czynnik g jest ważny, jak rozwija się mózg i główną rolę odgrywa genetyka w wyjaśnianiu różnic w inteligencji między jednostkami. W przyszłości potencjał zwiększania inteligencji w oparciu o badania neurologiczne może po prostu sprawić, że cel ten będzie bardziej osiągalny dla wszystkich uczniów i zaowocuje lepszymi osiągnięciami szkolnymi i życiowymi. Wraz z postępem XXI wieku wszyscy musimy być świadomi wyników badań neurobiologicznych dotyczących inteligencji i ich znaczenia dla naszego życia.

Podsumowanie

* Chronometria odnosi się do metody pomiaru przetwarzania informacji w mózgu podczas wykonywania standardowych zadań poznawczych. Pomiary są dokonywane w jednostkach czasu (milisekundy) i dlatego zapewniają ilościową ocenę inteligencji w skali ilorazowej.

* Pamięć jest kluczowym elementem inteligencji, a neuronaukowe badania pamięci mogą identyfikować obwody mózgowe, które pomagają wyjaśnić różnice indywidualne.

* Nowe techniki neurobiologiczne, takie jak optogenetyka i chemogenetyka, umożliwiają badania na zwierzętach neuronów i obwodów, które mogą być ważne dla badań nad inteligencją u ludzi.

* Neuronaukowe zrozumienie rzeczywistych obwodów mózgowych może prowadzić do głębokich postępów w budowaniu naprawdę inteligentnych maszyn opartych na tym, jak działa mózg.

* Odciski palców mózgu wykonane z neuroobrazowania są stabilne i unikalne dla poszczególnych osób i przewidują inteligencję.

* Neuroobrazowe badania świadomości i kreatywności dostarczają pewnych informacji na temat inteligencji.

* Status społeczno-ekonomiczny (SES), uważany za kluczowy przez wielu badaczy wywiadu, może być mylony z inteligencją na poziomie neuronowym. Konsekwencje tego są prowokacyjne dla porządku publicznego.

* W zakresie, w jakim różne wzorce mocnych i słabych stron poznawczych są bardziej zakorzenione w neurobiologii i genetyce niż w doświadczeniach z dzieciństwa, błędne jest obwinianie braku sukcesu ekonomicznego lub edukacyjnego wyłącznie za słabą motywację, słabe wykształcenie lub inne czynniki społeczne.

* Postęp neuronauki oferuje ekscytujące możliwości badaczom inteligencji. To świetny czas, aby wejść w pole.