

dr hab. Artur Pokropek

Polska Akademia Nauk

Polskie Towarzystwo Diagnostyki Edukacyjnej

Genetyka, diagnostyka, edukacja

W pierwszym tygodniu marca 1953 roku Francis Crick i James Watson zbudowali dziwnie wyglądającą, metalową konstrukcję wielkości dorosłego człowieka. To pozornie bezładne kłębowisko drutów, różnorodnych mocowań i metalowych sześciokątów było pierwszym kompletnym modelem DNA reprezentującym dobrze dzisiaj znaną podwójną helisę. Opierając swoją pracę na badaniach Maurica Wilkinsa i Rosalind Franklin, Watson i Crick rozszyfrowali strukturę, za pomocą której opisany jest każdy żywy organizm na Ziemi. W marcu 1953 roku opisali swoje dokonanie w krótkim artykule w czasopiśmie *Nature*. Artykuł zmieścił się niemalże na jednej stronie. Zawierał jeden wykres i sześć pozycji bibliograficznych. Niespełna pół wieku później, w lutym 2001 roku, *Nature* opublikowało najdłuższy artykuł, jaki kiedykolwiek ukazał się w tym czasopiśmie. Liczył 66 tysięcy słów (równoległy artykuł pojawił się w czasopiśmie *Science*). Tym razem sama lista autorów zajęła całą stronę. Artykuł opisywał wyniki prac nad sekwencjonowaniem ludzkiego genomu (nad którym prace faktycznie zakończyły się dopiero w 2003 roku).

Symboliczna różnica w objętości tych dwóch artykułów podkreśla, jak wiele i jak szybko się nauczyliśmy oraz jak głęboka stała się nasza wiedza w zakresie genetyki. W latach 70. nauczyliśmy się klonować i sekwencjonować geny. W latach 80. pierwsze pojedyncze geny odpowiedzialne za takie choroby genetyczne jak choroba Huntingtona zostały zidentyfikowane i umiejscowione na genetycznej mapie człowieka. Obok biologicznych aspektów badań genetycznych dowiedzieliśmy się również bardzo dużo na temat wpływu genów na zachowanie, mimo narastającego sceptycyzmu części badaczy społecznych. Wiedza ta nie bazuje bezpośrednio na poziomie molekularnym, ale odwołuje się do czegoś bliższego. Czegoś, co każdy z nas zna bardzo dobrze – do rodziny i biologicznych relacji między jej członkami.

W tym samym czasopiśmie, w którym Watson i Crick opublikowali swój artykuł w 1953 roku, a Projekt Poznania Ludzkiego Genomu opublikował swoje prace poświęcone sekwencjonowaniu genomu, pojawiła się publikacja podsumowująca 50 ostatnich lat badań genetycznie wrażliwych, które wykorzystywały schematy badań bliźniaczych do analiz indywidualnych zachowań i cech ludzkich (Polderman i in., 2015). W metaanalizie, która zebrała 2748 publikacji, autorzy analizowali 17 804 zachowania i cechy ludzkie, od cech metabolicznych poprzez cechy temperamentne i inteligencję po orientacje polityczne. Średnia dziedziczność wśród wszystkich badanych cech wyniosła 49%, a zdolności poznawcze, włączając w to umiejętności szkolne, były bardzo bliskie tej średniej.

W tym artykule chcę się zastanowić, jak wiedza z zakresu genetyki oraz genetyki zachowania może zostać wykorzystana do poszerzenia horyzontów badaczy edukacyjnych. Co dla edukacji i diagnostyki edukacyjnej wynika ze wspomnianych tysięcy badań genetycznie wrażliwych? Pokróćce przedstawię również obietnice i potencjalne problemy, jakie niesie dynamiczny rozwój nauk, które przybliżają nam rolę genetyki w codziennym ludzkim życiu.

Co wiemy od wczoraj i czego uczymy się dzisiaj?

Oczywiście fakt biologicznych relacji między członkami rodziny i możliwość dziedziczenia, nie tylko cech fizycznych, lecz także psychologicznych, znany i dyskutowany był już wśród starożytnych. Nowożytna nauka, po dosyć naiwnych próbach rozpoczętych pod koniec XIX wieku, bardziej systematyczne starania podjęła w XX wieku. Jednym z pierwszych nowoczesnych badań społecznych uwzględniających aspekty genetyczne było badanie Burkusa w 1928 roku i podobne badanie Leahy'ego w 1935 roku (Plomin, 2001). W obydwu porównywano korelację między ilorazem inteligencji dzieci wychowywanych w rodzinach adopcyjnych z korelacją **między** ilorazem inteligencji dzieci dorastających w rodzinach biologicznych. Schemat tego badania był bardzo prosty. Jeśli geny nie odgrywają ważnej roli w kształtowaniu inteligencji, korelacja między dziećmi i rodzicami biologicznymi powinna być zbliżona do korelacji między opiekunami i ich adoptowanymi wychowanekami. Za wzajemne podobieństwo powinny odpowiadać cechy środowiska, a nie genetyczne związki krwi. W obydwu badaniach stwierdzono, że korelacja ilorazu inteligencji między rodzicem a dzieckiem jest silniejsza w rodzinach biologicznych, co wyraźnie sugerowało, iż czynnik genetyczny jest istotnym elementem kształtowania się inteligencji. Takie podejście, mimo że genialne w swej prostocie, niosło kilka metodologicznych problemów. Znacznie trafniejszym sposobem analizowania genetycznych uwarunkowań różnego rodzaju cech i dyspozycji ludzkich było zdanie sobie sprawy z możliwości wykorzystania naturalnego eksperymentu, który ufundowany został nam przez naturę: bliźniąt.

Proporcje liczby bliźniaków różnią się w zależności od kraju i regionu. Na przykład w Polsce w 2010 roku 2,5% noworodków stanowiły bliźniaki (GUS, 2002–2011), podczas gdy w Stanach Zjednoczonych – 4% (Plomin i in., 2013). Istnieją dwa rodzaje bliźniąt. Bliźnięta jednojajowe (MZ – monozygotyczne) są skutkiem tego, że zapłodniona komórka jajowa z nieznanymi przyczynami dzieli się na dwie lub więcej identycznych jednostek. Bliźnięta monozygotyczne są zatem identyczne pod względem genetycznym. Bliźnięta dwujajowe (DZ – dwuzygotyczne) są tak samo podobne genetycznie jak zwykłe rodzeństwo; średnio rzecz biorąc, dzielą około 50% genów segregujących, czyli różniących się w obrębie gatunku ludzkiego (Plomin, 2011). Posiadanie bliźniąt dwujajowych jest samo w sobie dziedziczne i do pewnego stopnia uwarunkowane przez cechy środowiskowe. Na przykład środki antykoncepcyjne i późne planowanie dzieci są czynnikami zwiększającymi prawdopodobieństwo pojawienia się ciąży bliźniaczej dwujajowej, stąd też różnice w proporcjach urodzeń bliźniaczych między różnymi kulturami. Pojawienie się ciąży bliźniaczej monozygotycznej jest losowe, a odsetek bliźniąt jednojajowych jest względnie stały między populacjami na całym świecie (Bortolus i in., 1999). Około 0,4% wszystkich urodzeń stanowią bliźniaki monozygotyczne.

Istnienie fenomenu bliźniąt pozwala na dokonanie bardziej systematycznych porównań bazujących na schemacie rodzinnym. Po pierwsze, można porównywać podobieństwo bliźniąt jednojajowych wychowujących się w jednej rodzinie (dzielą wszystkie geny i większość cech środowiskowych) z podobieństwem bliźniąt dwujajowych (50% genów i większość cech środowiskowych). Po drugie, możliwe jest porównywanie bliźniąt dwujajowych (dzielących połowę genów i większość cech środowiskowych) z rodzeństwem adopcyjnym (te same cechy środowiskowe, brak podobieństwa genetycznego). Po trzecie, możliwa jest analiza cech bliźniąt jednojajowych, które zostały rozdzielone po urodzeniu i wychowywały się osobno. W tym wypadku bliźnięta jednojajowe mają wszystkie geny wspólne, a różnice, jakie dzielą rodzeństwo jednojajowe, można przypisać wyłącznie środowisku. Wszystkie trzy opisane schematy dają możliwość wyrażenia stopnia dziedziczności za pomocą pojedynczego ilościowego wskaźnika. Dziedziczność tutaj rozumie się w sposób szeroki, czyli jako to wszystko, co jednostka dostaje w uposażeniu genetycznym. A trzeba pamiętać, że uposażenie genetyczne, mimo iż pochodzi od rodziców, nie jest prostą sumą genów ojca i matki, a raczej przetasowanym zbiorem stanowiącym nową jakość.

Dla najpopularniejszego schematu bliźniaczego opartego na porównaniach bliźniąt MZ i DZ wychowywanych w jednej rodzinie wskaźnik dziedziczności (h^2) to podwojona różnica korelacji danej cechy między bliźniętami MZ i DZ. Ponadto schemat badań bliźniaczych umożliwia przypisanie środowisku wspólnemu (c^2) części zróżnicowania badanej cechy. Środowisko wspólne jest konceptem teoretycznym wielkiej wagi, gdyż przez wielu badaczy utożsamiane jest ze środowiskiem rodzinnym. Pozostałą część zmienności badanej cechy przypisuje się najczęściej tak zwanemu środowisku specyficznemu (e^2). Dzięki badaniom genetycznie wrażliwym możemy zatem dokonać dekompozycji zróżnicowania danej cechy, czyli spróbować wyjaśnić, jaka część zróżnicowania, na przykład w umiejętnościach szkolnych uczniów, może zostać przypisana czynnikom genetycznym (h^2), indywidualnym doświadczeniom poszczególnych jednostek (e^2) oraz wspólnym doświadczeniom środowiskowym (c^2), takim jak środowisko rodzinne czy szkolne (współdzielone w przypadku większości bliźniąt).

Znacząca liczba badań genetycznych, powtarzające się wnioski i wielokrotne walidacje zachęciły badaczy do formułowania silnych wniosków na temat dziedziczenia różnych cech behawioralnych. Turkheimer i Waldron (2000, s. 160), podsumowując przedstawione wyniki badań genetyki zachowania, sformułowali trzy prawa genetyki zachowania, które zasadniczo nie zostały po dziś dzień podważone (Pinker 2005):

1. Wszystkie ludzkie cechy behawioralne są dziedziczne.
2. Wpływ dorastania w jednej rodzinie jest słabszy od wpływu genów.
3. Znacznej części wariacji złożonych ludzkich cech behawioralnych nie tłumaczy ani działanie genów, ani wpływ rodziny.

Dodatkowo bliższy wgląd w wyniki sugeruje, że wpływ wspólnego środowiska na zdolności poznawcze zmniejsza się znacząco od okresu dzieciństwa do okresu dorastania, a wpływ genów rośnie. Osiągnięcia szkolne są dziedziczne w podobnym stopniu jak inne cechy behawioralne oraz są silnie związane z ogólnymi zdolnościami poznawczymi.

Przyjrzyjmy się trochę bliżej osiągnięciom szkolnym. De Zeeuw i koledzy (2015) zebrali wyniki 61 badań z 11 kohort bliźniaków i przeanalizowali osiągnięcia edukacyjne u dzieci ze szkół podstawowych (w wieku 6–13 lat). Metaanaliza wskazała następujące wartości dla udziału genów w zróżnicowaniu osiągnięć szkolnych (h^2): 73% dla czytania, 49% dla czytania ze zrozumieniem, 57% dla matematyki, 44% dla pisowni, 64% dla umiejętności językowych i 66% dla ogólnych osiągnięć edukacyjnych. Znaczenie efektów genetycznych dla osiągnięć edukacyjnych różniło się w poszczególnych krajach. Dziedziczność była stale wysoka w Holandii w różnych domenach edukacyjnych, podczas gdy nie zawsze tak było w przypadku USA i Wielkiej Brytanii. Autorzy konkludowali, że zmienność genetyczna jest niezwykle ważnym czynnikiem wpływającym na indywidualne różnice w osiągnięciach edukacyjnych. Pokropek i Sikora (2015) dokonali przeglądu badań z ostatnich pięćdziesięciu lat, które wykorzystywały dane bliźniacze i skupiały się na osiągnięciach edukacyjnych, rozumianych jako wyniki testów lub oceny szkolne. Pokazali oni, że mediana oszacowania zmienności wyników edukacyjnych przypisywanych odziedziczalności wynosi 55%, a szacunki wokół niej wahają się od 30% do 90%. Natomiast mediana oszacowania wspólnego środowiska stanowi jedynie połowę tego, tj. 22%, z zakresu wartości w różnych badaniach od 0% do 60%. Autorzy ponadto zauważyli, iż geny mają większe znaczenie dla matematyki niż dla czytania i umiejętności związanych z przedmiotami humanistycznymi. Ponadto pokazali, iż wpływ wspólnego środowiska na wyniki edukacyjne uczniów maleje wraz z wiekiem na rzecz odziedziczenia. Wspólne środowisko jest najważniejsze w szkole podstawowej, a później znacznie mniej. Może wydawać się sprzeczne z intuicją, ale zapewne można to przypisać egalitarnym praktykom nowoczesnej edukacji (Shakeshaft i in., 2013).

Pokropek i Sikora (2015) oszacowali wskaźniki dziedziczności również dla polskich egzaminów zewnętrznych oraz relatywnych przyrostów umiejętności (będących bazą do szacowania wskaźnika EWD; Pokropek, 2009).

Tabela 1. Dekompozycja wariancji osiągnięć szkolnych dla polskich egzaminów zewnętrznych (2002–2011)

Egzamin/Wskaźnik	Odziedziczalność (h^2)		Środowisko wspólne (c^2)		Środowisko specyficzne (e^2)	
	Wsp. (%)	S.E. (%)	Wsp. (%)	S.E. (%)	Wsp. (%)	S.E. (%)
Sprawdzian po szkole podstawowej	64,0	1,9	24,4	1,6	11,6	0,5
Egzamin gimnazjalny część matematyczno-przyrodnicza	57,0	1,5	34,3	8,7	8,7	0,4
Egzamin gimnazjalny część humanistyczna	60,6	1,5	30,5	8,9	8,9	0,3
Relatywny wskaźnik postępu: matematyczno-przyrodniczy	66,3	1,0	0,0	33,7	33,7	1,1
Relatywny wskaźnik postępu: humanistyczny	65,9	1,0	0,0	34,1	34,1	1,1

Źródło: Pokropek i Sikora (2015).

Pokropek i Sikora (2015) oszacowali wartości współczynników dziedziczności dla polskich egzaminów na 57–66%, w zależności od egzaminu. Wariancja wyników egzaminu przypisana środowisku wspólnemu wynosiła od 24% do

34% zmienności. Wyniki te pokrywają się z wynikami uzyskiwanymi w większości krajów anglojęzycznych i nordyckich. Ciekawym dodatkowym faktem pokazanym dzięki polskim danym jest to, że przyrost umiejętności jest silnie dziedziczny. To, czy polski uczeń osiągnie więcej w kolejnym stadium kształcenia, jest w największym stopniu wyjaśniane przez geny i nie jest zależne od środowiska wspólnego, czyli rodziny. Nie jest to sprzeczne z intuicją. Prawdopodobnie wpływy rodzinne do pewnego stopnia i we wczesnym wieku mogą ustalać poziom bazowy umiejętności. Jeżeli rodzice nauczą czytać swoje dzieci przed pójściem do szkoły lub pošlą do takiego przedszkola, które zrobi to za nich, w oczywisty sposób ukształtują osiągnięcia szkolne. Okazuje się jednak, że to, czy dziecko wykorzysta ten potencjał, czy będzie zyskiwało, czy traciło względem swoich rówieśników w zdecydowanej mierze zależy od genów, a nie warunków rodzinnych.

Co z tego wynika dla edukacji, a przede wszystkim dla oceniania edukacyjnego i ewaluacji pracy szkół? Czy możemy oceniać szkołę i pracę samego ucznia na podstawie ilościowych danych testowych, jeśli wiemy, że wyniki ewaluacji na podstawie egzaminów czy Edukacyjnej Wartości Dodanej (EWD) w zdecydowanym stopniu uzależnione są od genów?

Jest to trudne pytanie. Aby na nie odpowiedzieć, musimy skoncentrować się na zrozumieniu genów w ich kontekście środowiskowym. Ani efekty genetyczne, ani środowiskowe nie działają w izolacji, ale są uwikłane w ciągłe wzajemne oddziaływanie. Geny istnieją w środowisku, a środowisko bez genów nie ma dla nas żadnego znaczenia. Badania zależności między genami a środowiskiem zazwyczaj zawierają się w dwóch pytaniach: w pytaniu o znaczenie interakcji gen \times środowisko ($G \times E$) i w pytaniu o znaczenie korelacji genotyp–środowisko (rGE).

Zjawisko interakcji $G \times E$ opisuje proces, w którym efekt genetyczny jest zmieniony przez obecność określonego środowiska lub wpływ środowiskowy jest zmieniony przez obecność konkretnego wariantu genetycznego. Jeden z najlepiej zbadanych obszarów interakcji dotyczy zmienności genetycznej w regionie promotora genu 5HTT, który – jak wykazano – powoduje niższą dostępność transportera serotoniny, co ma zwiększać wrażliwość na doświadczenia życiowe (Caspi i wsp., 2010). Badania sugerują, że osoby posiadające pewne warianty genu 5HTT są bardziej wrażliwe na stres wywołany przeciwnościami społeczno-ekonomicznymi. Stres u osób z konkretnymi wariantami tego genu odczuwalny jest poprzez silniejsze reakcje emocjonalne i behawioralne (Caspi i wsp., 2010). O podobnych interakcjach w sferze edukacyjnej wiemy jeszcze stosunkowo niewiele. Ale istnieją pewne przesłanki, iż środowisko rodzinne może wchodzić w interakcje z wariantami genetycznymi odpowiedzialnymi za inteligencję (i prawdopodobnie osiągnięcia szkolne). W badaniach genetycznie wrażliwych w USA stwierdzono, iż odziedziczalność inteligencji w rodzinach bogatszych, bardziej wykształconych i bardziej uprzywilejowanych społecznie jest wyższa. Sugeruje to, że rodziny o wyższym statusie społecznym mogą być bardziej skuteczne w wydobyciu potencjału genetycznego ich dzieci – dochodzi do interakcji między środowiskiem a ekspresją genów (Turkheimer i wsp., 2003). Prawdopodobnie ta została zaobserwowana na danych z USA i nie potwierdzono jej w żadnych

innych badaniach przeprowadzanych poza tym krajem. Obszar badania interakcji między genami i środowiskiem jest gorącym i ekstensywnie eksplorowanym elementem badań wrażliwych genetycznie, choć póki co brak silnych wniosków mogących nieść praktyczne przesłanki (Plomin i von Stumm, 2018).

Inaczej jest w przypadku korelacji genotyp–środowisko (rGE). Tutaj wiemy dużo więcej, choć jeszcze wiele pozostało do zbadania. Dowody empiryczne dla rGE odnoszą się do dużej liczby badań empirycznych pokazujących, że zaplecze środowiskowe (np. doświadczenia domowe i szkolne) są prawie tak dziedziczne jak inne cechy behawioralne. Co to znaczy, że środowisko jest dziedziczne? Jak można dziedziczyć środowisko? Takie wyniki sugerują, że ludzie wybierają i modyfikują swoje środowisko na podstawie skłonności genetycznych. Niesie to ważną implikację dla interpretacji współczynnika dziedziczności. Sugeruje to, że wpływ genetyczny uwidacznia się za pośrednictwem środowiska (w terminologii badawczej mówimy o zjawisku mediacji). Także elementy korelacji genotyp–środowisko są zawarte we wskaźniku odziedziczalności obliczonym na podstawie genetycznie wrażliwych badań bliźniąt lub rodzin adopcyjnych. Skoro zmienne „środowiskowe” są silnie uzależnione od genów, prawdopodobne jest, że wpływ genetyczny jest często zależny od mechanizmu środowiskowego. Zakłada się tutaj, że przyczyną zróżnicowania są geny, a mechanizmem różnicującym – dobór środowiska. Na przykład uzdolnione muzycznie dzieci chętnie uczą się gry na instrumentach i prawdopodobnie angażują się w aktywności środowiskowe, które rozwijają ich talenty. A nawet więcej: bardzo uzdolnione muzycznie dzieci namawiane są przez rodziców do doskonalenia swoich umiejętności, a nauczyciele muzyki wybierają je do szkolnych orkiestr i narzucają rygor prób. Genetycznie uwarunkowane zdolności uruchamiają kaskadę zdarzeń, wywołującą dopasowanie środowiska do uzdolnień. Z drugiej strony środowisko umożliwia ekspresję genów. Bez instrumentów, bez nauczycieli i bez publiczności trudno o muzykę. Podobnie jest z nowoczesnymi systemami szkolnymi, które mają działać jako merytokracyjne maszyny promujące osiągnięcia. W nowoczesnych, dobrze funkcjonujących systemach szkolnych dziedziczność osiągnięć szkolnych powinna być wysoka. Dobra szkoła, jak się wydaje, powinna wykorzystywać potencjał ucznia i dawać mu możliwości takiego wyboru środowiska (szkoły, ścieżki kształcenia, studiów), które maksymalizowałoby jego potencjał. Potencjał jest genetyczny. Możliwości realizowane są w środowisku szkolnym.

Duża odziedziczalność przyrostów umiejętności uczniów może być zatem czymś pożądanym dla szkół. Dobra szkoła gwarantuje możliwość wykorzystania genów. Gdy popatrzymy na tabelę 1, wydaje się, że miary oparte na przyroście umiejętności (EWD) spełniły przynajmniej jedną ze swoich obietnic. Część wariacji wytłumaczona przez środowisko wspólne dla obydwu miar przynosi wynik równy zero. Status społeczno-ekonomiczny rodziny (utożsamiany ze środowiskiem wspólnym) jest tutaj wytracony, czego nie można powiedzieć o surowych wynikach. EWD jako miara wyników szkolnych wydaje się zatem trafniejsza od wyników egzaminacyjnych (choć miary te są silnie skorelowane). Pozostaje jednak pytanie, na ile możemy oceniać pracę szkoły na podstawie EWD, wiedząc, że jest ona silnie uzależniona od genetycznych uwarunkowań. Z drugiej strony, owe uwarunkowania realizowane są w szkołach, które starają się potencjał genetyczny jeszcze bardziej uwydatnić. W określonych

warunkach właśnie takich wyników powinniśmy się spodziewać. Wydaje się, że jest to pytanie, na które obecnie nie potrafimy satysfakcjonująco odpowiedzieć. W świetle przedstawionych wyników koncepcja EWD jako miary efektywności nauczania powinna być ponownie przemyślana. Bezpieczniej byłoby ją nazwać miarą skorygowanych osiągnięć szkolnych. Osiągnięć, które zależą zarówno od pracy szkoły, jak i od biologicznych uwarunkowań uczniów.

Jakie inne wnioski płyną z tych wyników dla edukacji? Asbury i Plomin (2015) oraz Asbury, Rimfeld i Krapohl (2017) wskazują, iż w świetle wyników genetyki zachowania obowiązkowe kształcenie powinno być ograniczone do umiejętności niezbędnych do odniesienia sukcesu w społeczeństwie, takich jak czytanie i podstawowe umiejętności matematyczne. Szkoła powinna kierować się w stronę indywidualizacji kształcenia. Wyrównanie uczniów pod względem wachlarza umiejętności jest według autorów po prostu niemożliwe. W efektywnej szkole uczniowie powinni mieć możliwość wyboru przedmiotów nauczania zgodnie z własnymi zainteresowaniami. Szczególnie na późniejszych poziomach kształcenia. Współczesna szkoła powinna nauczyć każdego ucznia czytać i pisać, a dalej pozwolić na realizację swoich zdolności. Propozycja ta wydaje się z gruntu dobra. Diabeł oczywiście tkwi w szczegółach, na których omawianie zabrakło tu miejsca.

Do tego momentu podsumowywałem istniejącą i dobrze ugruntowaną wiedzę na temat genetyki zachowania, próbując wpisać ją w kontekst edukacji i problemów diagnostyki edukacyjnej. Wydaje się, że jest to istotna część wiedzy naukowej, która powinna dotrzeć do świadomości badaczy oraz wszystkich zainteresowanych losami edukacji. Zrozumienie i krytyczne ustosunkowanie się do wiedzy dostarczanej nam przez genetykę leży w obowiązku wszystkich tych, którzy edukacją, a może nawet szerzej – zachowaniem ludzi, chcą się zajmować na poważnie. Człowiek, w tym wypadku uczeń, jest jednostką budowaną zarówno przez swoje otoczenie, jak i podstawowe uwarunkowania biologiczne. Żaden poważny pedagog, socjolog czy psycholog nie może o tym zapomnieć. Dzisiaj, wreszcie, mamy sprawdzone narzędzia, które pozwalają nam lepiej to zrozumieć. Ale jeszcze wiele rzeczy pozostało do zbadania.

Co przyniesie nam jutro?

W tej części pozwolę sobie zabawić się w futurologa. Ale tylko trochę. Zgadzam się w pełni ze stanowiskiem Poppera, że daleka przyszłość jest nieprzewidywalna, a udana predykcja jest zazwyczaj wyrazem ślepych szans. Wydaje się jednak, że myślenie o przyszłości, a przynajmniej przyszłości najbliższej, jest jak najbardziej naturalne. Mało tego, jest potrzebne, bo właśnie rozważanie stojących przed nami różnych możliwości pozwala pokierować nas w przyszłość, w której chcielibyśmy żyć, albo przynajmniej spróbować popchnąć nas w kierunku, który nie będzie oczywistą katastrofą.

Dynamiczny rozwój genetyki i naszej wiedzy o uwarunkowaniach genetycznych otwiera kilka możliwych scenariuszy. Scenariusze te rysowane są przez trzy zasadnicze fakty. Po pierwsze, rozwój naukowy ostatnich lat pozwala nam przewidzieć wybrane cechy ludzkie z coraz większą dokładnością. Po drugie, koszty badań genetycznych znacząco maleją. Po trzecie, eksplozja rozwoju bioinżynierii otwiera możliwości, które jeszcze kilka lat temu były nie do

pomyślenia. Te trzy aspekty rozwoju nowoczesnej technologii stawiają przed nami wiele problemów praktycznych, etycznych, moralnych, prawnych, politycznych i edukacyjnych, przed którymi będziemy musieli niedługo stanąć. Wydaje się zatem, że warto być przygotowanym zawnazu.

Mimo iż w latach 70. nauczyliśmy się klonować i sekwencjonować geny, a w latach 80. potrafiliśmy zlokalizować geny odpowiedzialne za niektóre choroby genetyczne, to poszukiwania genów odpowiedzialnych za cechy psychologiczne, a przede wszystkim za zdolności poznawcze, zakończyły się fiaskiem. Nie znaleziono żadnego genu odpowiedzialnego za inteligencję ani genu odpowiedzialnego za introwertyczność, ani za żadne inne uwarunkowania psychologiczne. Mimo iż od czasu do czasu prasa szumnie ogłaszała, iż znaleziono gen odpowiedzialny za utrzymywanie swojego domu w czystości czy poczucie humoru, to ustalenia te nie pozostały niczym więcej jak śmiesznym żartem naukowców, zbyt bardzo pragnących opublikować swoje prace. Większość złożonych cech psychologicznych, w tym inteligencja, uwarunkowana jest przez wiele genów (setki, może tysiące) oraz relacje i interakcje między nimi. I tu pojawia się problem. Statystyczne narzędzia, jakimi dysponują naukowcy, nie są dobre w modelowaniu relacji, w których wiele niewielkich efektów genetycznych współgra, by stworzyć złożoną cechę behawioralną. Jeszcze dziesięć lat temu na podstawie próbki genetycznej naukowcy byli w stanie wyjaśnić nie więcej niż 1% wariacji inteligencji. To dosyć mało, zważywszy na to, iż z badań bliźniaczych (nie operujących bezpośrednio na materiale genetycznym) z dużą pewnością wiemy, że geny potrafią wyjaśnić co najmniej 50% wariacji. Gdzie podziało się pozostałe 49%? Naukowcy nazwali to problemem brakującej dziedziczności (Maher, 2008).

Mimo iż próby badawcze były pokaźne, sięgające nawet 50 tysięcy jednostek, okazało się to zbyt mało. Przełom w badaniach pojawił się po tym, jak istotnie zwiększono liczebność próby i badaną cechę. Jeszcze na początku tego wieku głównym celem badań była inteligencja. Koszty badań, w których zbierano zarówno informacje o inteligencji, jak i genach, były zbyt duże. Naukowcy postanowili zatem wziąć na celownik inną zmienną związaną z inteligencją, czyli przyjrzeć się edukacji. A precyzyjniej, spróbować przewidzieć na podstawie genów liczbę ukończonych lat edukacji. Jako że zmienna ta odnotowywana jest niemalże w każdym badaniu, otworzyło to drogę do prób badawczych o niespotykanej dotąd w badaniach społecznych liczebności.

W 2013 roku próba 125 tysięcy badanych pozwoliła statystycznie wyjaśnić 2% wariacji w edukacji, w 2016 roku 294-tysięczna próba pozwoliła na wyjaśnienie 3% wariacji w latach edukacji. Natomiast najnowsze wyniki, oparte na próbach zbliżonych liczebnością do jednego miliona, pozwoliły na wyjaśnienie 10% wariacji w edukacji. Równolegle rozwój analiz statystycznych pozwolił na wyjaśnienie 7% wariacji inteligencji na mniejszych próbach. Naukowcy twierdzą, że nie jest to koniec, i podkreślają, że nowe badania pozwolą na jeszcze większą precyzję predykcji inteligencji (Plomin i von Stumm, 2018).

Ponadto koszty badań genetycznych istotnie spadły. Proste badania genetycznie można wykonać za około 100 dolarów. Sekwencjonowanie pierwszego ludzkiego genomu wymagało natomiast pracy około 2000 badaczy i 3 miliardów

dolarów. Pytanie jest następujące: Czy ktoś będzie chciał oddać trochę śliny, by poznać swoją inteligencję? Zdecydowanie tak. Mimo iż dokładność takiego oszacowania jest bardzo mała, przynajmniej trzy firmy w USA oferują już taką możliwość (np. *GenePlaza*). Kto jednak chciałby pluć do plastikowej probówki i płacić 100 dolarów, żeby poznać z grubsza oszacowanie swojej inteligencji, skoro taniej, łatwiej i dokładniej jest zrobić sobie zwykły test inteligencji? W przypadku dorosłych, nastolatków i dzieci w wieku szkolnym, przynajmniej w tej chwili, bardziej sensowny okazuje się zwykły test. Wydaje się jednak, iż już teraz informacja pobrana z badania genetycznego może być bardziej dokładna niż testy na inteligencję dla bardzo młodych dzieci. Możliwe jednak, że jakiś bardzo przewidujący, żeby nie powiedzieć nadgorliwy, rodzic będzie chciał zaplanować przyszłość swoich dzieci. Czy zainwestować w dobre przedszkole? Czy może z tym materiałem genetycznym jest to bez sensu? A może da się przewidzieć uzdolnienia w sztuce? Już dzisiaj oferowane są komercyjne testy genetyczne mające na celu zidentyfikowanie predyspozycji sportowych dzieci. Implikacje etyczne, społeczne, a może i prawne takiego scenariusza są bardzo poważne i wydaje się, że wymagają już w tej chwili większego namysłu.

Można pójść jeszcze odrobinę dalej. W procesie zapładniania *in vitro* zazwyczaj hoduje się kilka zarodków, które później testowane są pod względem chorób genetycznych. Znana jest też płeć zarodków. Z praktycznego punktu widzenia już teraz możliwe jest przybliżone oszacowanie przyszłej inteligencji danego zarodka, jeśli wykorzystana zostanie informacja, o których pisałem wcześniej. „Poprosimy brunetkę, wolną od chorób genetycznych, z wysokim ilorazem inteligencji”. To zdanie nie musi być wcale zdaniem rodem z filmu fantastycznonaukowego. Może ktoś je w tej chwili wypowiada. Nie trzeba bardzo podkreślać, jak wiele problemów rozwój technologii genetycznej może ze sobą przynieść. Łatwo sobie wyobrazić sytuację, w której uprzywilejowani (bogaci) będą mogli wybierać dzieci z odpowiednio dobrymi genami, podczas gdy inne warstwy społeczne pozostawione zostaną ślepemu losowi. I znowu nie jest to narracja z prozy fantastycznonaukowej, ale możliwe, że ten proces już się zaczyna.

Możemy pójść jeszcze dalej. Kilkanaście lat po udanej próbie sekwencjonowania genomu techniki takie jak CRISPR-Cas9 pozwalają na relatywnie łatwe wymazywanie, poprawianie czy zamienianie genomu w precyzyjnie wybranych miejscach. Metoda ta pozwala na zmianę genomu żywych organizmów i skutecznie zaaplikowana została myszom, małpom, a nawet ludzkim embrionom. Wydaje się, że nieuleczalne dotąd choroby genetyczne w niedalekiej przyszłości będzie można leczyć, zmieniając problematyczną część genomu w ciele chorego. A dlaczego by nie poprawić nieznacznie pamięci, inteligencji, odporności na stres i jeszcze kilku innych cech przyszłemu potomkowi? Oczywiście używam tu znacznej nuty sarkazmu, ale wydaje się, że nie jest to całkiem nieprawdopodobny scenariusz.

Technologie genetyczne mogą otworzyć nam wiele użytecznych możliwości. Dostępność dobrze zrozumiałych informacji genetycznych może pomóc nauczycielom, rodzicom i politykom w optymalizacji środowiska edukacyjnego w taki sposób, aby zaspokoić indywidualne potrzeby edukacyjne każdego dziecka (Asbury, Rimpfeld i Krapohl, 2017) i przy tym podnieść jakość edukacji i życia

dorastających ludzi. Informacje genetyczne mogą jednak generować nowe problemy, nowe nierówności, nowe stygmatyzacje, nowe zagadnienia moralne i polityczne. Wydaje mi się, że warto być na taką debatę przygotowanym, a nie jest to proste.

Bibliografia

- Asbury K., Plomin R. (2015). *Geny i edukacja*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Asbury, K., Rimfeld, K., & Krapohl, E. (2017). *Can (and Should) We Personalize Education Along Genetic Lines? Lessons from Behavioral Genetics*. [W:] S. Bouregy, E. Grigorenko, S. Latham, & M. Tan (red.), *Genetics, Ethics and Education (Current Perspectives in Social and Behavioral Sciences)*, ss. 63–85. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316340301.00
- Bortolus, R., Parazzini, F., Chatenoud, L., Benzi, G., Bianchi, M. M., & Marini, A. (1999). The epidemiology of multiple births. *Human Reproduction Update*, 5(2), 179–187.
- Caspi, A., Hariri, A. R., Holmes, A., Uher, R., & Moffitt, T. E. (2010). Genetic sensitivity to the environment: the case of the serotonin transporter gene and its implications for studying complex diseases and traits. *Focus*, 8(3), 398–416.
- de Zeeuw, E. L., de Geus, E. J., & Boomsma, D. I. (2015). Meta-analysis of twin studies highlights the importance of genetic variation in primary school educational achievement. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(3), 69–76.
- Maher, B. (2008). Personal genomes: The case of the missing heritability. *Nature News*, 456(7218), 18–21.
- Pinker, S., & Nowak, A. (2005). *Tabula rasa: spory o naturę ludzką*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Plomin, R. (2001). *Genetyka zachowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Plomin, R., & von Stumm, S. (2018). The new genetics of intelligence. *Nature Reviews Genetics*, 19(3), 148.
- Pokropek, A. (2009). Metody statystyczne wykorzystywane w szacowaniu trzyletnich wskaźników egzaminacyjnych. 137–153. [W:] Niemierko B., Szmigel M.K. (red.). *Badania międzynarodowe i wzory zagraniczne w diagnostyce edukacyjnej*.
- Pokropek, A. (2013). *Efekt rówieśników w nauczaniu szkolnym*. Warszawa: Wydawnictwo IBE.
- Pokropek, A., i Sikora, J. (2015). Heritability, family, school and academic achievement in adolescence. *Social science research*, 53, 73–88.
- Polderman, T. J., Benyamin, B., De Leeuw, C. A., Sullivan, P. F., Van Bochoven, A., Visscher, P. M., & Posthuma, D. (2015). Meta-analysis of the heritability of human traits based on fifty years of twin studies. *Nature genetics*, 47(7), 702.
- Shakeshaft, N. G., Trzaskowski, M., McMillan, A., Rimfeld, K., Krapohl, E., Haworth, C. M., ... & Plomin, R. (2013). Strong genetic influence on a UK nationwide test of educational achievement at the end of compulsory education at age 16. *PloS one*, 8(12), e80341.
- Turkheimer, E., i Waldron, M. (2000). Nonshared environment: a theoretical, methodological, and quantitative review. *Psychological Bulletin*, 126(1), 78–108.
- Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., d'Onofrio, B., i Gottesman, I. I. (2003). Socioeconomic status modifies heritability of IQ in young children. *Psychological science*, 14(6), 623–62.