

PIOTR SWORNOWSKI

PRÓBA OCENY UDZIAŁU ŚRODOWISKOWYCH SKŁADOWYCH WARIANCJI FENOTYPOWEJ WŁAŚCIWOŚCI MOTORYCZNYCH CZŁOWIEKA

Problem do jakiego stopnia obserwowana zmienność i ostateczne ukształtowanie poszczególnych cech organizmu determinowane są genetycznie, a do jakiego stopnia modyfikowane są wpływem środowiska doczekał się wielu opracowań, zarówno teoretycznych jak i empirycznych. Brak jest jednak, jak dotąd, ostatecznego rozwiązania tej kwestii. [Falconer 1974, Płochiński 1968, Henneberg, Henneberg 1980].

W procesie epigenetyki ma miejsce realizacja fenotypu osobnika na bazie określonego genotypu. W procesach tych następuje zgranie ze sobą działalności poszczególnych genów lub ich zespołów oraz interakcja tegoż genotypu z otaczającym środowiskiem. Możliwość realizowania swej struktury przez organizm są kodowane genetycznie, lecz ze względu na konieczność dostosowania jego funkcji do zmieniających się warunków środowiska kodowanie to nie jest całkowicie sztywne. Środowisko, poprzez owe zmieniające się warunki na różnych etapach życia osobniczego, stymuluje i modyfikuje realizację fenotypu. Obserwowane u badanego osobnika ukształtowanie danej cechy jest wynikiem procesów, które określa się mianem przystosowawczych, a które można podzielić na trzy grupy: adaptacyjne, adaptabilne i adiustacyjne [Strzałko i in. 1976].

Procesy adaptacyjne odnoszą się do materiału dziedzicznego i ich wyniku nie można zmienić w trakcie życia osobniczego. Zmiany adaptabilne są to procesy nieodwracalne, niedziedziczne i odnoszą się do przemian zachodzących w życiu osobniczym, a ich wynikiem jest kompromis pomiędzy genotypem a wpływem środowiska, uwidaczniający się w postaci konkretnie wyrażonej cechy, procesy adiustacyjne natomiast regulują odwracalnie stan ukształtowanych już cech, zależnie od zmieniających się czynników środowiska.

Obserwowana zmienność natężenia cech fenotypowych osobników wchodzących w skład danej populacji jest wynikiem działania tych czynników. Ogólnie stosowaną miarą zmienności natężenia cechy fenotypowej jest wariancja. Całkowitą, obserwowaną w danej zbiorowości wariancję cechy można podzielić na części wynikające ze zróżnicowania genotypów i warunków środowiska [Falconer 1974]:

$$V_p = V_G + V_E$$

gdzie: V_p oznacza wariancję fenotypową, V_G – wariancję genetyczną i V_E – wariancję środowiskową.

Powyższą zależność można zapisać w nieco innej formie, przyjmując że:

$$V_G = V_a + V_d + V_i \quad \text{oraz} \quad V_E = V_{Eg} + A_{Es} + V_{Er}$$

stąd:

$$V_p = V_G + V_{Eg} + V_{Es} + V_{Er}$$

gdzie: V_{Eg} oznacza wariancję stałych efektów oddziaływania środowiska, V_{Es} – wariancję specyficznych efektów oddziaływania środowiska (specyficzna wariancja środowiskowa), V_{Er} – wariancję błędu pomiarowego, V_a – wariancję addytywnych efektów alleli, V_d – wariancję dominacji i V_i – wariancję interakcji alleli różnych loci.

Najczęściej stosowanym miernikiem udziału czynników dziedzicznych, opartym na badaniu wariancji cech osobników o znanym stopniu pokrewieństwa, jest współczynnik odziedziczalności h^2 , będący stosunkiem wariancji addytywnych efektów alleli V_a do wariancji fenotypowej cechy V_p , określane czasem na podstawie całego zakresu zmienności genetycznej V_G .

W odniesieniu do cech motoryki człowieka podejmowano próby oceny udziału zmienności genetycznej, współczynników odziedziczalności h^2 posługując się badaniami bliźniąt (Skład 1973). Nie podejmowano jednak prób oceny pozostałych składników wariancji fenotypowej, a więc V_{Eg} , V_{Es} i V_{Er} .

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oszacowania poszczególnych komponentów wariancji wybranych cech motoryki człowieka, posługując się metodą zaproponowaną przez M. Henneberga i R. Hennebergową [1980]. Materiał badawczy do tego opracowania stanowiły pomiary właściwości motorycznych 41 mężczyzn w wieku 20 - 23 lat – studentów AWF w Poznaniu. Pomiary przyjętych do analizy cech prowadzono w sali gimnastycznej. Dokonano szczegółowych pomiarów następujących cech:

- 1) czasu reakcji prostej na bodziec akustyczny [Osiński 1979],
- 2) siły izometrycznej ocenianej indukcyjnym dynamometrem nożno-grzbietowym [Osiński 1979],
- 3) gibkości (głębokości skłonu w przód),
- 4) wysokości dosiężnego [Drozdowski 1968],
- 5) wydolności ogólnej organizmu mierzonej przy użyciu step-testu Mastera dla wytrenowanych [Rozynek-Łukanowska 1967],
- 6) prędkości w biegu na 10 m ze startu niskiego.

Pomiary powtarzano 3 - 5 razy. Z 41 badanych u 13 dokonano pomiarów pięciokrotnie, u pozostałych trzykrotnie. Taki sposób wykonania pomiarów pozwala na uchwycenie zmian zachodzących w wartościach właściwości motorycznych w krótkich odstępach czasu oraz błędów pomiarowych wynikających ze specyfiki tego typu badań motoryki. Pomiary prowadzono przy zachowaniu wszelkich ogólnie przyjętych zasad, szczególną uwagę zwracając na kwestię motywacji do wykonywania określonych zadań ruchowych. Zebrany materiał opracowano statystycznie wyliczając dla każdej cechy podstawowe charakterystyki statystyczne, odpowiednio

dla pomiarów powtórzonych oraz jednostkowych. Dla oceny różnic wariancji V_p i $V_{p(n)}$ zastosowano ponadto test F -Suedecwa.

W celu oszacowania składników zmierzonej ogólnej wariancji cechy posłużono się metodą polegającą na wyliczeniu z n -krotnego powtórzenia pomiarów danej cechy współczynnika powtarzalności r .

$$r = \frac{1}{(n-1)} \left(\frac{nV_{p(n)}}{V_p} - 1 \right)$$

gdzie: n – liczba powtórzeń pomiarów danej cechy, V_p – wariancja fenotypowa, $V_{p(n)}$ – wariancja uzyskanych średnich indywidualnych z n -krotnych powtórzeń. Współczynnik r jest korelacją między powtórzeniami tej samej cechy u tego samego osobnika. Praktycznie współczynnik ten oblicza się przez wyznaczenie dla każdego badanego średniej arytmetycznej z n -krotnego powtórzenia pomiarów danej cechy i oszacowania wariancji uzyskanych tą drogą średnich indywidualnych. Wtedy formuła wariancji fenotypowej przedstawiać się będzie następująco [Henneberg, Henneberg 1980]:

$$V_{p(n)} = V_G + V_{Eg} + \frac{1}{n} (V_{Es} + V_{Er})$$

Współczynnik powtarzalności określać będzie w tym przypadku górną granicę współczynnika odziedziczalności gdyż:

$$r = \frac{V_G + V_{Eg}}{V_p}$$

Oznacza to, że h^2 będzie równać się wartości współczynnika powtarzalności wtedy, gdy wariancja stałych efektów oddziaływania środowiska będzie równa zeru. Jednocześnie z powyższego wynika, że

$$1 - r = \frac{V_{Es} + V_{Er}}{V_p}$$

Mając do dyspozycji wartości r i h^2 oraz błędu pomiarowego, można określić wartości poszczególnych elementów wariancji fenotypowej [Henneberg, Henneberg 1980]

$$h^2 = \frac{V_G}{V_p}, \quad \frac{V_{Eg}}{V_p} = r - h^2, \quad \frac{V_{Es}}{V_p} = 1 - r - \frac{V_{Er}}{V_p}$$

Aby móc ocenić wpływ poszczególnych komponentów zmienności fenotypowej należałoby posiadać oszacowane dla tego samego materiału wartości współczynników odziedziczalności. Nie dysponujemy tak obliczonymi wartościami h^2 . Dane takie dla wybranych właściwości motorycznych podał M. Skład [1973]. Z tych wybranych wartości do analizy można wykorzystać jedynie trzy: wartości h^2 dla wyskoku dostępnego, siły izometrycznej i czasu reakcji. Należy zwrócić uwagę na fakt, że

Tabela 1. Charakterystyki statystyczne wybranych właściwości motorycznych oraz wartości obliczonych miar w zadanym zespole

Cecha	\bar{X}	V_p	\bar{X}_n	$V_{p(n)}$	r	h^{2*}	$V_{Es} + V_{Er}$	$\frac{V_{Eg}}{V_p}$	$\frac{V_{Es} + V_{Er}}{V_p}$	P_g	D_{Eg}	D_e
Czas reakcji (s)	0,272	0,002	0,250	0,001	0,47	0,45	0,001	0,02	0,53	0,11	0,03	0,12
Prędkość biegu na 10 m (m/s)	5,90	0,09	5,89	0,07	0,71		0,03		0,29	0,04		0,03
Gibkość (w cm)	12,20	20,68	12,18	16,16	0,70		4,87		0,30	0,31		0,20
Wysokość dosiężny (cm)	56,22	46,71	55,47	36,25	0,69	0,68	14,48	0,01	0,31	0,10	0,01	0,07
Siła izometryczna (kg)	135,10	504,33	135,13	449,70	0,85	0,83	54,63	0,02	0,15	0,15	0,03	0,05
Wydolność ogólna ustroju	82,51	92,08	83,03	66,51	0,62		13,25		0,38	0,09		0,07

* Wartości h^2 przyjęto za M. Składem [1973].

takie poczynania są możliwe tylko w celach ilustracyjnych. Na podstawie powyższych wartości współczynników odziedziczalności wyliczono także mierniki polimorfizmu genetycznego i ekosensytywności (odpowiednio P_g i D_e) [Henneberg, Lewicki 1978]. Charakterystyki te zebrano i podano w tabeli 1.

We wszystkich przypadkach współczynniki powtarzalności są wysokie. Wyjątek stanowi tutaj jedynie czas reakcji. Największe wartości współczynników r zaobserwowano w przypadku siły izometrycznej ($r=0,85$) i prędkości biegu na 10 m ($r=0,71$), najmniejsze natomiast w przypadku czasu reakcji ($r=0,47$). We wszystkich przypadkach test F na zgodność wariacji V_p i $V_{p(n)}$ przy poziomie istotności $P=0,05$ nie przekraczał wartości krytycznej, co świadczy o dużym udziale procesów adaptacyjnych i adaptabilnych w zmienności badanych cech. Zestawienie oszacowanych wartości wariacji „fluktuacyjnej” (V_{Es} i V_{Er}) wskazuje, że udział procesów adiustacyjnych w ogólnej zmienności analizowanych właściwości motorycznych jest niewielki. Analiza wartości D_{eg} ze względu na ich bardzo szacunkowy charakter nie jest możliwa. Warto zwrócić jednak uwagę na najwyższe wartości miernika D_{eg} w odniesieniu do siły izometrycznej, co świadczyć może o znacznej podatności tej cechy na kierunkowe wpływy środowiska w trakcie rozwoju osobniczego. Otrzymane wartości mierników ekosensytywności i polimorfizmu genetycznego omawianych właściwości motorycznych porównano z obliczonymi tą samą metodą parametrami P_g i D_e dla wybranych cech antropometrycznych i fizjologicznych (parametrów równowagi kwasowo-zasadowej [Henneberg, Henneberg 1980]). Dane te zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Dane porównawcze współczynników powtarzalności oraz mierników polimorfizmu genetycznego i ekosensytywności cech antropometrycznych i fizjologicznych (za Henneberg, Henneberg [1980])

Cecha	r	P_g	D_{eg}	$D_{e(s+r)}$
ciężar ciała	0,87	0,10	0,06	0,04
$B-v$	1,08	0,03	0,01	0,00
$a-a$	0,39	0,02	0,03	0,05
$ic-ic$	0,88	0,06	0,00	0,02
obwód ramienia (max)	0,76	0,08	0,03	0,04
pH	0,32	—	—	0,0030
pCO ₂	0,04	—	—	0,0834
pO ₂	0,09	—	—	0,1201

Porównując powyższe wartości stwierdzono, że najwyższym udziałem zmienności typu adiustacyjnego w całkowitej wariacji cech sprawności fizycznej, antropometrycznych i fizjologicznych cechują się: gibkość ($D_e=0,20$), czas reakcji ($D_e=0,12$) oraz prężność gazów — pO₂ ($D_e=0,1201$) i pCO₂ ($D_e=0,0834$). Mierniki ekosensytywności w odniesieniu do wysokości dosiężnego, siły izometrycznej i wydolności ogólnej ustroju przewyższają te same parametry dla cech morfologicznych i wartości pH. Jedynie prędkość w biegu na 10 m ze startu niskiego pod względem omawianych wartości zbliża się do cech antropometrycznych ($D_e=0,03$).

Takie wyniki zgadzają się z założeniami teoretycznymi, gdyż obserwowane natężenia cech sprawnościowych zależne są w dużym stopniu od czynników środowiskowych i w znacznym stopniu odzwierciedlają chwilowe stany organizmu. Znajduje to potwierdzenie również w stopniu ekosensytywności parametrów równowagi kwasowo-zasadowej krwi, gdyż stałe w określonych granicach stężenie jonów wodorowych ma swój związek ze sprawnym pełnieniem przez krew swych funkcji. Prężność gazów O_2 i CO_2 we krwi natomiast jest związana z procesami regulacji stanu już ukształtowanych cech zależnie od zmieniających się warunków środowiska i jest odbiciem stanu fizjologicznego organizmu.

Osobnym zagadnieniem, które wymaga omówienia, jest porównanie wartości P_g w obrębie cech motorycznych. Największym polimorfizmem genetycznym charakteryzuje się gibkość ($P_g=0,31$), siła izometryczna ($P_g=0,15$) oraz w kolejności: czas reakcji ($P_g=0,11$), wyskok dosiężny ($P_g=0,10$), wydolność ogólna organizmu ($P_g=0,09$) i prędkość biegu na 10 m ze startu niskiego ($P_g=0,04$). Tak wysokie wartości P_g świadczą o dużym polimorfizmie genetycznym w tworzeniu się właściwości motorycznych człowieka. Na uwagę zasługuje fakt, że z wyjątkiem prędkości w biegu na 10 m, wszystkie omawiane wartości miernika polimorfizmu genetycznego są większe od analogicznych mierników obliczonych dla cech morfologicznych. Pomiar tych cech informuje o łącznym efekcie wszystkich genów decydujących o proporcjach ciała i motoryce człowieka. W przypadku większej liczby loci i alleli można oczekiwać, że nastąpi większa liczba ich kombinacji, a co za tym idzie, poszczególni osobnicy rzadziej będą posiadali identyczne genotypy pod względem całego branego pod uwagę zespołu cech. W tym miejscu należy poczynić jedno zastrzeżenie, a mianowicie: przedstawione powyżej porównania wartości P_g i D_e mają charakter informacyjny, a ich dokładna interpretacja możliwa by była jedynie wtedy, gdyby dysponowano oszacowaniami P_g i D_e dla wszystkich cech, wykonanymi na tej samej grupie badanych.

Wszystkie uwagi mające na celu biologiczną interpretację powyższych wyników należy traktować jako rozważania teoretyczne, odnoszące się tylko do badanej grupy, z dużą ostrożnością. Trzeba bowiem pamiętać, że oprócz omawianych komponentów wariacji fenotypowej, w jej skład wchodzi także wariacja błędów pomiarowych, który w wypadku pomiarów właściwości motorycznych może być wyjątkowo duży, a także o tym, że na natężenie badanych cech duży wpływ wywierają też czynniki psychologiczne oraz fakt, że omawiane cechy charakteryzuje duży stopień wyuczalności i wytrenowalności, które w warunkach niesprzyjających mogą znacznie zaciemniać obserwowany obraz. Odpowiedzi na te wątpliwości będzie można udzielić dopiero po oszacowaniu wielkości wariacji wywołanej błędem pomiarowym. Oprócz tego konieczna wydaje się uwaga, iż w celu otrzymania spójnych biologicznie wyników istnieje potrzeba przeprowadzenia dokładnie zaplanowanych badań kompleksowych obejmujących cechy antropometryczne, fizjologiczne i właściwości motoryczne człowieka. Dopiero takie badania pozwolą na ustalenie bardziej szczegółowych wniosków i wyłonienie konkretnych ustaleń praktycznych.

PIŚMIENNICTWO

- Drozdowski S., 1965, *Uwagi metodyczne w sprawie badania skoczności*. Roczn. Nauk. WSWF w Poznaniu, 10, 171.
- Falconer D. S., 1974, *Dziedziczenie cech ilościowych*, Warszawa.
- Henneberg M., R. Henneberg, 1980, *Ocena wpływu różnych źródeł na zmienność fenotypową człowieka*, Przegł. Antrop., 46, 297.
- Henneberg M., P. K. I. Lewicki, 1978, *Ekosensytywność cech metrycznych, próba innego ujęcia metodycznego*, Przegł. Antrop., 44, 81.
- Osiński W., 1979, *Analiza wpływu wybranych form ćwiczeń siłowych w kształceniu sprawności motorycznej chłopców*, Roczn. Nauk. AWF w Poznaniu, 28, 23.
- Płochiński N., 1968, *Odziedziczalność*, Warszawa.
- Rożynek-Łukanowska W., 1967, *Metody fizjologiczne określenia formy sportowej*, Monografie WSWF w Poznaniu, 20, 17.
- Skład M., 1973, *Rozwój fizyczny i motoryczność bliźniąt*, Mat. i Prace Antrop., 85, 3.
- Strzałko J., M. Henneberg, J. Piontek, 1976, *Wstęp do ekologii populacyjnej człowieka*, Poznań.

Zakład Antropologii Sportu AWF
Marchlewskiego 27/39
61-871 Poznań

AN ATTEMPT AT ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS
OF PHENOTYPICAL VARIANCE OF HUMAN MOTOR CHARACTERISTICS

by PIOTR SWORNOWSKI

The paper presents an attempt at estimation of the size of environmentally induced parts of a total phenotypical variance of human motoric characteristics: isometric strength, flexibility, velocity in 10 m dash, standing high jump, reaction time to an acoustic stimulus and general efficiency. The group examined consisted of 41 males, students of physical education who repeated relevant tests several times each. During analysis of the data fluctuating variance ($V_{E_s} + V_{E_r}$) and coefficient of replicability (being a maximum estimate of heritability — h^2) were determined. Furthermore values of measures of genetic polymorphism (P_g) and ecosensitivity ($D_{e,s+r}$) were determined. Obtained results allow to conclude that human motoric characteristics are mostly determined, with respect to their variability, by variability of genetic endowment while environmentally induced processes of adaptability and adjustment are less important for determining their total variability.