

IWONA KOŁODZIEJCZYK

*Pracownia Psychofizjologii
Instytut Biologii Doświadczalnej PAN
Pasteura 3, 02-093 Warszawa
E-mail: i.kolodziejczyk@nencki.gov.pl*

W ZDROWYM CIELE ZDROWY DUCH? WPŁYW AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ NA FUNKCJONOWANIE POZNAWCZE W STARSZYM WIEKU

WSTĘP

Obserwowane w ostatnim stuleciu wydłużanie się życia ludzkiego sprawia, że coraz dłużej trwa okres starości. Celem, jaki staje w związku z tym przed współczesną nauką, jest więc umożliwienie starszym osobom jak najdłuższego cieszenia się zarówno zdrowiem fizycznym, jak i sprawnością intelektualną.

O przebiegu procesu starzenia decyduje cały szereg czynników (zob. np. KOŁODZIEJCZYK 2007). Na część spośród nich nie mamy wpływu, są jednak takie, które w dużej mierze zależą od nas. Należy do nich aktywność fizyczna. Wyniki wielu badań sugerują, że wysoka wydolność sercowo-naczyniowa¹ (ang. cardiovascular fitness), będąca jednym z elementów ogólnej kondycji fizycznej, wpływa pozytywnie nie tylko na funkcjonowanie organizmu, ale także na sprawność intelektualną w starszym wieku (COLCOMBE i współaut.

2003). Wydaje się więc, że jest to czynnik szczególnie obiecujący, jeśli chodzi o możliwości poprawy jakości życia starszych osób.

W niniejszym artykule omówię wyniki badań dotyczących związku między aktywnością i sprawnością fizyczną (ten termin stosować będę zamiennie z określeniem „wydolność sercowo-naczyniowa”) a starzeniem poznawczym. Opiszę wpływ aktywności fizycznej zarówno na funkcjonowanie poznawcze, jak i na budowę i pracę mózgu. Przytoczę, sformułowane na podstawie badań na zwierzętach, hipotezy dotyczące mechanizmów mózgowych leżących u podłoża zmian spowodowanych ćwiczeniem. Na zakończenie przedstawię pytania pozostające wciąż bez odpowiedzi i zagadnienia wymagające dalszych badań.

AKTYWNOŚĆ FIZYCZNA A POZIOM FUNKCJONOWANIA POZNAWCZEGO W STARSZYM WIEKU

W literaturze istnieje cały szereg badań podłużnych², w których duże (liczące od kilkuset do kilku tysięcy osób) grupy ludzi starszych (mających zazwyczaj powyżej 65 lat) badano w odstępach kilkuletnich, od-

nosząc zaobserwowane zmiany w ich funkcjonowaniu poznawczym do ich aktywności fizycznej w momencie rozpoczęcia badania. Wyniki tych prac jednoznacznie sugerują, że aktywność fizyczna związana jest z mniej-

¹Wydolność sercowo-naczyniowa definiowana jest jako efektywność serca, naczyń krwionośnych i płuc w dostarczaniu tlenu do mięśni.

²W badaniach nad starzeniem stosuje się dwa rodzaje porównań: podłużne oraz poprzeczne. Badania podłużne (ang. *longitudinal*) to wielokrotne pomiary wartości określonej zmiennej u tych samych osób, dokonywane w pewnych odstępach czasu (np. co kilka lat). Natomiast w badaniach poprzecznych (ang. *cross-sectional*) porównuje się pod względem określonej zmiennej grupy osób w różnym wieku, przy czym pomiaru owej zmiennej dokonuje się we wszystkich grupach w tym samym mniej więcej czasie (zob. np. KOŁODZIEJCZYK 2007).

szym ryzykiem pogorszenia funkcjonowania poznawczego i demencji. Na podstawie wyników 4615 starszych osób przebadanych dwukrotnie w odstępie 5-letnim stwierdzono m.in., że prawdopodobieństwo demencji jest znacznie większe u osób nie uprawiających żadnej aktywności fizycznej niż u badanych uprawiających jakąś formę ruchu (LAURIN i współaut. 2001). Przeprowadzona przez inny zespół analiza wyników 1740 osób wykazała, że częstość występowania demencji 6 lat po pierwszym badaniu jest istotnie mniejsza u osób, które ćwiczyły co najmniej 3 razy w tygodniu niż u osób, które ćwiczyły rzadziej (LARSON i współaut. 2006). Z kolei YAFFE i współaut. (2001) analizowali związek między liczbą godzin w tygodniu poświęconych na chodzenie a zmianami funkcjonowania poznawczego u 5925 kobiet na przestrzeni 6-8 lat. U kobiet, które więcej chodziły w momencie rozpoczęcia badań, zaobserwowano mniejsze pogorszenie funkcjonowania poznawczego, mierzonego testem Mini-Mental State Examination (MMSE)³. Inne badanie, obejmujące osoby w wieku 70–79 lat, doprowadziło do wniosku, że kondycja oraz aktywność fizyczna są dobrymi predyktorami poziomu funkcjonowania poznawczego 2,5 roku po pierwszym badaniu (ALBERT i współaut. 1995). Podobne wyniki uzyskali BARNES i współaut. (2003): udowodnili, że wielkość pogorszenia funkcjonowania poznawczego na przestrzeni 6 lat można przewidzieć na podstawie poziomu kondycji fizycznej na początku. Z kolei SCHUIT i współaut. (2001) podzielili 347 starszych mężczyzn na dwie grupy: w jednej znalazły się osoby uprawiające aktywność fizyczną przez ponad 1 godzinę dziennie, w drugiej – pozostali. Przedmiotem analizy była wielkość pogorszenia funkcjonowania poznawczego, mierzonego testem MMSE. Badacze uzyskali wynik sugerujący, że ryzyko pogorszenia funkcjonowania poznawczego na przestrzeni 3 lat jest dwukrotnie większe u osób uprawiających aktywność fizyczną przez mniej niż godzinę dziennie niż u osób bardziej aktywnych.

ROGERS i współaut. (1990) badali osoby zbliżające się do wieku emerytalnego, aby określić, jak ewentualne zmiany w ich trybie życia wpłyną na funkcjonowanie poznawcze. Stwierdzili, że po upływie 4 lat osoby, które kontynuowały pracę oraz ci emeryci, którzy regularnie angażowali się w aktywność

fizyczną, osiągnęli wyższe wyniki w testach funkcjonowania poznawczego w porównaniu z osobami, które po przejściu na emeryturę nie uprawiały żadnej formy aktywności. PODEWILS i współaut. (2005), badając 3375 osób powyżej 65. roku życia zauważyli, że aktywność fizyczna związana jest z obniżonym ryzykiem zachorowania na chorobę Alzheimera po ponad 5 latach od pierwszego badania. Zależność ta istniała jednak tylko u osób nie posiadających genu *APOE4*, związanego z podwyższonym ryzykiem wystąpienia tej choroby. U osób posiadających ten gen nie stwierdzono zależności między aktywnością fizyczną a ryzykiem wystąpienia choroby Alzheimera. Również ROVIO i współaut. (2005) stwierdzili, że ryzyko demencji w wieku 65–79 lat jest mniejsze u osób, które w wieku średnim ćwiczyły co najmniej 2 razy w tygodniu. Jednak – w przeciwieństwie do PODEWILSA i współaut. (2005) – ROVIO i współaut. (2005) otrzymali wyniki sugerujące, że zależność ta jest silniejsza dla osób posiadających gen *APOE4*.

Autorzy omówionych prac, oceniając zmiany w funkcjonowaniu poznawczym, posługiwali się albo kryteriami diagnostycznymi demencji, albo też bardzo ogólnymi miarami, takimi jak test MMSE. Stosunkowo mniej badań dotyczyło związku między aktywnością lub kondycją fizyczną a miarami poszczególnych funkcji poznawczych; ponadto otrzymane wyniki są niejednoznaczne. Na przykład RICHARDS i współaut. (2003) stwierdzili, że zaangażowanie w aktywność fizyczną w wieku 36 lat jest związane z wolniejszym pogarszaniem się pamięci między 43. a 53. rokiem życia, przy czym osoby, które nadal były aktywne fizycznie w wieku 43 lat, w wieku 53 lat charakteryzowały się lepszą pamięcią niż osoby, które zaniechały tego typu aktywności. Na podstawie tej ostatniej obserwacji autorzy sformułowali wniosek, że korzyści związane z aktywnością fizyczną zanikają, jeśli zaniecha się uprawiania ruchu. CHRISTENSEN i MACKINNON (1993) otrzymali wyniki sugerujące, że wyższy poziom aktywności fizycznej związany jest z lepszymi wynikami testów inteligencji płynnej u starszych osób. Z kolei VAN BOXTEL i współaut. (1997) nie stwierdzili związku kondycji fizycznej z miarami pamięci ani inteligencji płynnej. Także EMERY i współaut. (1995) nie otrzymali zależności między czasem poświęconym na chodzenie a miarami pamięci.

³Krótką skalą służącą do ogólnej oceny funkcjonowania poznawczego starszych osób.

Zmienną stosunkowo chętnie badaną w kontekście wpływu aktywności fizycznej na starzenie poznawcze jest czas reagowania, uważany za miarę tempa opracowywania informacji w układzie nerwowym. Jedne z pierwszych badań nad związkiem aktywności fizycznej z czasem reakcji starszych osób przeprowadzone zostały w latach 70. przez Spirduso (SPIRDUSO 1975, SPIRDUSO i CLIFFORD 1978). Porównując młodych i starszych mężczyzn uprawiających sport lub prowadzących siedzący tryb życia stwierdziła ona, że czas reagowania starszych osób uprawiających sport jest istotnie krótszy niż czas reakcji osób starszych prowadzących siedzący tryb życia i podobny do czasu reakcji młodych nieaktywnych fizycznie badanych. Otrzymane przez nią wyniki zostały potwierdzone m.in. przez HATTA i współaut. (2005), chociaż np. HILLMAN i współaut. (2004) nie otrzymali istotnej zależności między aktywnością fizyczną a czasem reakcji. Z kolei EMERY i współaut. (1995), badając osoby w wieku 18-94 lata zauważyli, że spowolnienie czasu reagowania związane z wiekiem jest mniejsze u osób, które dużo chodzą niż u osób mniej aktywnych. Także DIK i współaut. (2003) zaobserwowali, że aktywność fizyczna w wieku 15-25 lat koreluje z tempem opracowywania informacji w starszym wieku; związek ten występował jednakże tylko u mężczyzn. Jednocześnie badacze ci nie stwierdzili związku między aktywnością fizyczną w młodości a ogólnym poziomem funkcjonowania poznawczego, mierzonym testem MMSE.

Przytoczone dane sugerują, że istnieje związek między aktywnością fizyczną (zarówno w młodości, jak i w starszym wieku) a poziomem funkcjonowania poznawczego starszych osób. Zależność taką otrzymano dla ogólnych miar funkcjonowania poznawczego oraz dla wskaźników częstości występowania demencji. Również szybkość reagowania na proste bodźce okazała się mieć związek z aktywnością i kondycją fizyczną. Natomiast wyniki dotyczące zależności między aktywnością fizyczną a miarami innych funkcji poznawczych, takich jak pamięć czy inteligencja, są niejednoznaczne.

Należy jednak zwrócić uwagę, że omówione badania mają charakter obserwacyjny: autorzy odnoszą poziom aktywności fizycznej badanych lub ich kondycji fizycznej do wyników różnego typu testów funkcjonowania

poznawczego. Jeśli osoby częściej uprawiające sport lub charakteryzujące się lepszą kondycją fizyczną osiągają jednocześnie lepsze wyniki w testach poznawczych, autorzy tego typu badań formułują wniosek o pozytywnym wpływie aktywności fizycznej na funkcje poznawcze. Tymczasem istnienie współzależności między omawianymi zmiennymi nie upoważnia nas do twierdzenia, że aktywność fizyczna wpływa na funkcjonowanie poznawcze. Obserwacyjny charakter niniejszych danych nie pozwala na określenie relacji przyczynowo-skutkowej. Być może, jak sugerują autorzy omówionych badań, aktywny tryb życia i dobra kondycja fizyczna sprzyjają zachowaniu wysokiego poziomu funkcji poznawczych. Może być jednak inaczej: zarówno kondycja fizyczna, jak i poziom funkcjonowania poznawczego w starszym wieku mogą zależeć od innych czynników, związanych z odpornością na procesy starzenia. Ponadto aktywność fizyczna może być związana z szeregiem innych zachowań składających się na tzw. zdrowy tryb życia, takich jak zdrowe odżywianie czy powstrzymywanie się od palenia (CHURCHILL i współaut. 2002). Omówione badania nie pozwalają na oddzielenie wpływu tych czynników od wpływu aktywności fizycznej na starzenie poznawcze.

Aby stwierdzić, czy między aktywnością fizyczną a funkcjonowaniem poznawczym w starszym wieku istnieje związek przyczynowo-skutkowy, niezbędne są więc badania eksperymentalne, w których osoby badane przypisane losowo do jednej z dwóch grup – eksperymentalnej lub kontrolnej – poddaje się różnego typu oddziaływaniom. W badaniach takich najczęściej porównuje się efekty treningu aerobowego⁴, zwiększającego wydolność sercowo-naczyniową, albo z działaniem innego typu treningu (joga, rozciąganie), albo też z brakiem jakichkolwiek oddziaływań.

Posługując się takim schematem stwierdzono, że trwający od dwóch tygodni do 3 lat trening powoduje m.in. zwiększenie zakresu pamięci bezpośredniej (HASSMEN i współaut. 1992), poprawę szybkości reagowania (RIKLI i EDWARDS 1991), poprawę wykonania zadań zależnych od funkcji wykonawczych (KRAMER i współaut. 1999) oraz poprawę wykonania szeregu testów neuropsychologicznych (DUSTMAN i współaut. 1984, BENLOUCIF i współaut. 2004). Inni badacze nie zaobser-

⁴Do ćwiczeń aerobowych zalicza się m.in. chodzenie, bieganie, jazdę na rowerze, pływanie i aerobik.

wowali jednak pozytywnych efektów treningu (BLUMENTHAL i MADDEN 1988, BLUMENTHAL i współaut. 1991, OKEN i współaut. 2006). Trudno więc o jednoznaczne rozstrzygnięcie, czy trening fizyczny w starszym wieku może przyczyniać się do poprawy funkcjonowania poznawczego.

Zagadnienie to próbowali zgłębić COLCOMBE i KRAMER (2003). Przeprowadzili oni metaanalizę uwzględniającą wyniki 18 badań opublikowanych w latach 1966–2001 i obejmujących osoby powyżej 55. roku życia, które poddano treningowi aerobowemu. Ich celem było sprawdzenie, czy trening taki poprawia funkcjonowanie poznawcze starszych osób i jaki rodzaj zadań jest najbardziej podatny na jego wpływ. Analizowali także związek obserwowanych efektów z cechami osób badanych oraz rodzajem i natężeniem treningu. Stwierdzili, że – ogólnie rzecz biorąc – trening ma pozytywny wpływ na funkcjonowanie poznawcze starszych osób. Najsilniejszy efekt ćwiczenia zaobserwowali dla funkcji wykonawczych, chociaż pozostałe analizowane zmienne (szybkość, zdolności wzrokowo-przestrzenne oraz kontrolowane – nie automatyczne – opracowywanie informacji) również ulegały poprawie pod wpływem

treningu. Stwierdzili, że korzyści zależne są od czasu trwania całego treningu i pojedynczych sesji: największą poprawę odnotowali dla programów trwających ponad pół roku, natomiast sesje trwające mniej niż 30 minut owocowały bardzo niewielkimi zmianami w funkcjonowaniu. Trening aerobowy połączony z siłowym dawał więcej korzyści niż sam trening siłowy, zaś grupą, u której obserwowano największą poprawę funkcjonowania były osoby pomiędzy 66. a 70. rokiem życia. Wyniki te potwierdzają hipotezę, że trening fizyczny w starszym wieku może wpływać pozytywnie na funkcjonowanie poznawcze.

Badania nad wpływem treningu na funkcjonowanie starszych osób doprowadziły do jeszcze jednego wniosku: stwierdzono mianowicie, że aktywność fizyczna może wpływać pozytywnie nie tylko na funkcje poznawcze, ale także na samopoczucie. Efekt taki zaobserwowali między innymi BLUMENTHAL i współaut. (1991), LEE i RUSSELL (2003), MCAULEY i współaut. (2005) oraz OKEN i współaut. (2006). Ich wyniki znalazły potwierdzenie w metaanalizie NETZA i współaut. (2005), którzy, uwzględniając wyniki 36 badań, stwierdzili, że trening, zwłaszcza aerobowy, przyczynia się do poprawy samopoczucia.

AKTYWNOŚĆ FIZYCZNA A STRUKTURA I FUNKCJONOWANIE MÓZGU STARSZYCH OSÓB

W literaturze znaleźć można zaledwie kilka prac analizujących relację między aktywnością fizyczną a budową ludzkiego mózgu w kontekście starzenia. Porównując osoby różniące się poziomem kondycji fizycznej stwierdzono, że typowe dla starszego wieku zmiany w budowie istoty szarej (widoczne zwłaszcza w obszarach czołowych, skroniowych i ciemieniowych kory) oraz istoty białej są mniejsze u osób bardziej sprawnych (COLCOMBE i współaut. 2003). W kolejnej pracy ci sami autorzy udowodnili, że opisany związek ma charakter przyczynowo-skutkowy: u starszych osób poddanych 6-miesięcznemu treningowi aerobowemu zaobserwowano wzrost objętości zarówno istoty białej, jak i istoty szarej, przy czym zmiany w obrębie tej ostatniej dotyczyły głównie obszarów skroniowych i przedczołowych (COLCOMBE i współaut. 2006). Trening kontrolny, obejmujący m.in. rozciąganie, nie dawał takich korzyści.

Przytoczone obserwacje potwierdzają i niejako tłumaczą wyniki metaanalizy COLCOMBE i KRAMERA (2003), opisane powyżej.

Przypomnijmy, że badacze ci porównywali wpływ treningu na wykonanie różnego rodzaju zadań i największą poprawę stwierdzili dla funkcji wykonawczych. Procesy te angażują czołowe i ciemieniowe obszary kory, a więc właśnie te struktury, dla których zaobserwowano pozytywny wpływ aktywności i kondycji fizycznej (MCAULEY i współaut. 2004).

Przyczyny wzrostu objętości mózgu w odpowiedzi na trening fizyczny nie są jasne. Opisane zmiany mogą być spowodowane np. powiększaniem się ciał komórek nerwowych, zwiększaniem się liczby lub rozmiarów komórek glejowych, albo też wzrostem liczby połączeń dendrytycznych (KRAMER i współaut. 2006).

W innych badaniach dotyczących związku między aktywnością fizyczną a zmianami w budowie i funkcjonowaniu mózgu analizowano m.in. poziom przepływu krwi przez mózg i uszkodzenia istoty białej. Wyniki nie są jednoznaczne. Za pozytywną rolę aktywności fizycznej przemawia wynik uzyskany przez ROGERSA i współaut. (1990), którzy stwierdzi-

li, że osoby, które po przejściu na emeryturę nie uprawiały żadnej formy aktywności, charakteryzowały się zmniejszonym poziomem przepływu krwi przez mózg w porównaniu z osobami kontynuującymi pracę zawodową albo regularnie ćwiczącymi. Natomiast ani w grupie osób zdrowych, ani u ludzi dotkniętych demencją nie zaobserwowano zależności między aktywnością fizyczną a uszkodzeniami istoty białej (PODEWILS i współaut. 2007).

Można przypuszczać, że różnicom w budowie mózgu związanym z aktywnością i sprawnością fizyczną towarzyszyć będą różnice wzorca aktywacji podczas wykonywania różnego typu operacji poznawczych. Jak do tej pory hipoteza ta była testowana w jednym tylko badaniu. Stosując funkcjonalny rezonans magnetyczny COLCOMBE i współaut. (2004) rejestrowali aktywność mózgów badanych osób w trakcie wykonywania zadania wywołującego konflikt poznawczy, tzw. flanker task. Badanym prezentowano strzałkę skierowaną w prawo albo w lewo, otoczoną czterema innymi strzałkami (po dwie z każdej strony), skierowanymi w tym samym kierunku co strzałka środkowa albo w kierunku przeciwnym. Zadanie badanych polegało na zareagowaniu na środkową strzałkę zgodnie z jej kierunkiem. Kierunek, w jakim skierowane były otaczające strzałki (zgodny lub niezgodny z kierunkiem strzałki środkowej) decydował o tym, czy próba miała charakter spójny, czy też nie. W pierwszym z przeprowadzonych eksperymentów autorzy porównywali aktywację mózgów osób podzielonych na dwie grupy na podstawie ich sprawności fizycznej. Osoby o wyższej wydolności sercowo-naczyniowej, poza lepszymi wynikami behawioralnymi, wykazywały silniejszą aktywację obszarów związanych z kontrolą uwagową (m.in. prawy środkowy zakręt czołowy, górny zakręt czołowy i płacik ciemieniowy górny) i słabszą aktywację przedniej kory obręczy, struktury wrażliwej na występujący w próbach niespójnych konflikt reakcji. Wyniki te zostały powtórzone w drugim eksperymencie, w którym jedną z badanych grup poddano trwającemu 6 miesięcy treningowi aerobowemu, druga zaś przez 6 miesięcy uprawiała ćwiczenia rozciągające. W grupie trenującej ćwiczenia aerobowe obserwowano silniejszą, w porównaniu z grupą kontrolną, aktywność w obszarach związanych z kontrolą uwagową i słabszą aktywację przedniej kory obrę-

czy. Na podstawie otrzymanych wyników autorzy formułują wniosek, że lepsza kondycja fizyczna przyczynia się do lepszego wykonania zadań angażujących funkcje wykonawcze oraz do silniejszej aktywacji obszarów kory istotnych dla wykonywanego zadania.

Funkcjonalny rezonans magnetyczny jest techniką stosunkowo młodą, czym można zapewne tłumaczyć brak większej liczby badań dotyczących wpływu kondycji fizycznej na aktywację poszczególnych struktur mózgu. Nieco więcej prac wykorzystuje metodę elektroencefalografii, stosowaną w badaniach ludzkiego mózgu od blisko 100 lat (DURKA 1999). Rejestrując aktywność elektryczną mózgu analizuje się tzw. potencjały wywołane – potencjały mózgowe zsynchronizowane w czasie z prezentacją bodźca lub wykonywaną operacją poznawczą. W badaniach tych stosunkowo wiele uwagi poświęcono fali P3, pozytywnemu komponentowi pojawiającemu się w odpowiedzi na nowy lub rzadki bodziec ok. 250 ms po jego prezentacji. W analizach bierze się pod uwagę dwie cechy tej fali: jej latencję, będącą miarą tempa opracowywania informacji o bodźcu, oraz amplitudę, odzwierciedlającą ilość zasobów uwagowych zaangażowanych w zadanie (KRAMER i HILLMAN 2006).

Badania dotyczące wpływu ćwiczenia na cechy potencjału P3 wykazały, że zarówno jego latencja, jak i amplituda może zależeć od kondycji i aktywności fizycznej badanych. Stwierdzono, że latencja P3 jest krótsza u osób aktywnych fizycznie niż u nieaktywnych (DUSTMAN i współaut. 1990, HILLMAN i współaut. 2004), a także że osoby bardziej aktywne charakteryzują się większą amplitudą tej fali (HILLMAN i współaut. 2004, HATTA i współaut. 2005).

Przytoczone wyniki sugerują istnienie związku między sprawnością fizyczną i aktywnością w starszym wieku a strukturą i funkcjonowaniem mózgu. Związek ten tłumaczy omówione wcześniej zależności między aktywnością fizyczną a funkcjonowaniem poznawczym. Na uwagę zasługuje spójność wyników poszczególnych eksperymentów: obszary mózgu, których struktura okazała się mieć związek z aktywnością fizyczną, zaangażowane są w operacje poznawcze pozostające pod szczególnie silnym wpływem ćwiczenia. Obserwacje dotyczące związku między aktywnością fizyczną a strukturą i funkcją mózgu tłumaczą więc niejako wyniki badań behawioralnych.

AKTYWNOŚĆ FIZYCZNA A ZMIANY STRUKTURALNE W MÓZGACH ZWIERZĄT

Opisane powyżej badania sugerują, że aktywność fizyczna może wiązać się ze zmianami w strukturze i w funkcjonowaniu mózgu, nie dają jednak odpowiedzi na pytanie o mechanizmy leżące u podłoża tych zmian. Tego typu informacje możemy natomiast czerpać z badań na zwierzętach.

W jednym z takich badań porównywano wpływ treningu fizycznego i „akrobatycznego” na zmiany w budowie mózgu szczurów. Zwierzęta poddane treningowi fizycznemu albo ćwiczyły na bieżni, albo też miały nieograniczony dostęp do kołowrotka. Zwierzęta z grupy „akrobatów” natomiast uczyły się pokonywać tor przeszkód złożony m.in. z lin, łańcuchów, krat i uniesionych półek. Badanie ich mózgów wykazało większą gęstość naczyń włosowatych w mózdzku szczurów poddanych wysiłkowi fizycznemu w porównaniu ze szczurami uczestniczącymi w treningu akrobatycznym oraz zwierzętami z nieaktywnej grupy kontrolnej. Z kolei w mózdkach szczurów-akrobatów stwierdzono zwiększoną liczbę synaps w porównaniu z pozostałymi grupami zwierząt. Wyniki te sugerują, że ćwiczenie fizyczne powoduje zwiększenie unaczynienia mózgu, nie ma jednak wpływu na formowanie się nowych synaps. Ta ostatnia zmiana może być natomiast indukowana przez nabywanie zdolności ruchowych (CHURCHILL i współaut. 2002, KRAMER i współaut. 2004).

Obserwacja dotycząca wzrostu unaczynienia poszczególnych struktur mózgowych pod wpływem treningu fizycznego została potwierdzona w badaniach wykorzystujących inne gatunki zwierząt. Stwierdzono m.in., że trening fizyczny przyczynia się do wzrostu unaczynienia w okolicach ruchowych mózgu małp (KRAMER i współaut. 2004).

Powstawanie nowych naczyń włosowatych z już istniejących naczyń krwionośnych nosi nazwę angiogenezy. Dawniej uważano, że zachodzi ona jedynie w okresie rozwoju oraz wskutek uszkodzeń. Obecnie jednak badacze skłaniają się do hipotezy, że angiogeneza jest naturalną konsekwencją zwiększonej aktywności fizycznej. Stwierdzono też, że powstawanie nowych

naczyń zaczyna się już w ciągu 3 dni od rozpoczęcia treningu (CHURCHILL i współaut. 2002, KRAMER i współaut. 2004).

Kolejnym procesem wywoływanym przez trening jest wzrost poziomu neurotransmiterów. Zmiany takie zaobserwowano m.in. dla układów: dopaminergicznego, serotonergicznego i cholinergicznego. W przypadku układu dopaminergicznego stwierdzono, że trening fizyczny może niwelować spadek poziomu dopaminy spowodowany chorobą Parkinsona u szczurów. Obserwacja ta doprowadziła do sformułowania hipotezy, że ćwiczenie fizyczne może być środkiem opóźniającym rozwój tej choroby (KRAMER i współaut. 2006).

Aktywność fizyczna może też sprzyjać powstawaniu nowych neuronów. Efekt taki stwierdzono w szeregu prac w, będącym częścią hipokampa, zakręcie zębatym w mózgach gryzoni (zob. KRAMER i współaut. 2006).

Zarówno powstawanie nowych neuronów, jak i zmiany w poziomie neurotransmiterów mogą być spowodowane wzrostem poziomu mózgowo pochodnego czynnika neurotroficznego (ang. brain-derived neurotrophic factor, BDNF). Substancja ta odgrywa ważną rolę w rozwoju kory czołowej i hipokampa, wpływa na podziały komórek nerwowych i plastyczność synaptyczną (HAUSER i współaut. 2005). Ponadto, wpływając na rozwój neuronów dopaminergicznych, serotonergicznych i cholinergicznych, BDNF reguluje działanie układów neurotransmiterów (KRAMER i współaut. 2006). Stwierdzono, że poziom BDNF w hipokampie zwiększa się pod wpływem ćwiczenia (MCAULEY i współaut. 2004, KRAMER i współaut. 2006).

Badania na zwierzętach dowiodły więc, że aktywność fizyczna wywołuje szereg zmian w mózgu. Oprócz wzrostu unaczynienia zaobserwowano m.in. powstawanie nowych neuronów, a także zmiany poziomu czynników neurotroficznych oraz neurotransmiterów. Wszystkie te zmiany mogą korzystnie wpływać na funkcjonowanie mózgu, co z kolei znajduje odzwierciedlenie w wynikach testów behawioralnych.

PODSUMOWANIE

Roli aktywności fizycznej w starzeniu poznawczym poświęcono wiele badań. Ich wyniki nie są w pełni jednoznaczne, wydaje się jednak, że można na ich podstawie sformułować wniosek o pozytywnym wpływie ruchu na funkcjonowanie poznawcze starszych osób. Wykazano m.in., że osoby bardziej aktywne i sprawniejsze fizycznie charakteryzują się szybszym tempem opracowywania informacji, a także że mają większą szansę na uniknięcie demencji niż osoby nie uprawiające aktywności fizycznej. Udowodniono również, że trening fizyczny może przyczyniać się do poprawy wykonania różnego typu testów funkcjonowania poznawczego. Stwierdzono ponadto, że ruch sprzyja utrzymaniu dobrego samopoczucia.

Stosunkowo niewiele – jak do tej pory – prac poświęcono relacji między aktywnością fizyczną a starzeniem mózgu. Wyniki istniejących badań są jednak obiecujące: udowodniono, że ruch wpływa pozytywnie zarówno na budowę, jak i funkcjonowanie poszczególnych struktur mózgowych. Dokładny mechanizm tych zmian nie został jeszcze poznany, jednak na podstawie badań na zwierzętach przypuszcza się, że istotną rolę w tych procesach może odgrywać m.in. wzrost unaczynienia poszczególnych struktur mózgowych, powstawanie nowych komórek nerwowych oraz wzrost poziomu neurotransmiterów.

Ogólnie rzecz biorąc wydaje się, że aktywność fizyczna – wpływając na budowę mózgu – może być istotnym czynnikiem chroniącym przed pogorszeniem funkcjonowania poznawczego w starszym wieku. Wyniki istniejących badań sugerują, że ruch może przyczyniać się do zachowania i poprawy sprawności intelektualnej starszych osób, a nawet że może on znaleźć zastosowanie w profilaktyce i leczeniu chorób neurodegeneracyjnych. Warto przy tym wspomnieć, że – chociaż nawet podjęcie aktywności fizycznej w wieku 60 czy 70 lat może korzystnie wpłynąć na nasze funkcjonowanie – największych korzyści możemy oczekiwać, pozostając aktywnymi przez całe życie. Należy także pamiętać, że nie każdy rodzaj aktywności wpływa równie pozytywnie na nasz mózg. Aby opóźnić objawy starzenia poznawczego, szczególnie zalecany jest trening aerobowy, zwiększający wydolność sercowo-naczyniową.

Wiele kwestii dotyczących roli aktywności fizycznej w starzeniu poznawczym pozo-

staje jednak nadal nierozstrzygniętych. Jak wspomniałam wyżej, większość przeprowadzonych do tej pory badań, ze względu na swój obserwacyjny charakter, nie pozwala na stwierdzenie, czy aktywność fizyczna wpływa na funkcjonowanie poznawcze, czy też obie zmienne zależą od jakichś dodatkowych, nie uwzględnionych w badaniach czynników. Wskazane jest więc przeprowadzenie większej liczby badań w schemacie eksperymentalnym. Pomimo oczywistych trudności w prowadzeniu tego typu badań, są one najlepszym źródłem informacji o wpływie aktywności fizycznej na funkcjonowanie poznawcze starszych osób.

Nie wiemy również, jaki typ aktywności i jaka częstość sesji treningowych wpływa najkorzystniej na funkcjonowanie starszych ludzi. Zasadne wydaje się też określenie, w jaki sposób cechy osób badanych (np. wiek, płeć czy wyjściowy poziom funkcjonowania poznawczego) mogą moderować efekt ćwiczenia. Czy trening będzie wpływał jednakowo na funkcjonowanie kobiet i mężczyzn, osób 60- i 80-letnich, ludzi o wysokim poziomie funkcjonowania poznawczego i osób z pierwszymi oznakami otępienia? Nie jest także jasne, w jaki sposób czynniki genetyczne, takie jak obecność genu *APOE4*, modyfikują związek między aktywnością fizyczną a funkcjonowaniem poznawczym.

Kolejne pytanie dotyczy wpływu treningu fizycznego na poszczególne wskaźniki funkcjonowania poznawczego: które funkcje i procesy są szczególnie podatne na wpływ ćwiczenia? Czy różne rodzaje treningu będą w różny sposób oddziaływać na poszczególne funkcje?

Odpowiedzi na część z postawionych pytań możemy wprawdzie znaleźć w metaanalizie COLCOMBE i KRAMERA (2003), jednak wydaje się, że jedna praca to zbyt mało, żeby formułować wiążące wnioski.

Wciąż także niewiele wiemy o tym, co dokładnie dzieje się w mózgu pod wpływem ćwiczenia. Z czego wynika zaobserwowany przez COLCOMBE i współaut. (2006) wzrost objętości tkanki? Które struktury znajdują się pod szczególnie silnym wpływem aktywności fizycznej? Rozwijające się wciąż techniki badania budowy i pracy mózgu pozwolą zapewne wkrótce znaleźć odpowiedzi na te pytania.

THE INFLUENCE OF PHYSICAL ACTIVITY ON THE COGNITIVE FUNCTIONING IN OLD AGE

Summary

Physical activity is one of the factors influencing the process of aging. It has been demonstrated that high level of cardiovascular fitness and regular engagement in physical activity may reduce the risk of developing age-related cognitive decline and dementia. High level of physical activity has been shown to correlate with the speed of information processing as measured by reaction time, however, the results concerning the association between activity and other measures of cognitive abilities are inconsistent. In several studies long-lasting fitness training was applied to evaluate its influence on brain and cognition. Participation in training program resulted in the improvement of both cognitive functioning and

well-being. Moreover, several advantageous changes have been observed in brain structure and function as a result of aerobic fitness training. The exact neural basis of these changes has not been discovered yet, but on the basis of animal research it may be assumed that neurogenesis, increasing brain vasculature and neurotransmitters level changes play an important role in these processes. To sum up, it seems that regular and whole-life lasting engagement in physical activity, especially activity that increases cardiovascular fitness, may constitute an important factor delaying or even preventing age-related cognitive decline.

LITERATURA

- ALBERT M. S., JONES K., SAVAGE C. R., BERKMAN L., SEEMAN T., BLAZER D. i współaut., 1995. *Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur studies of successful aging*. Psychol. Aging 10, 578-589.
- BARNES D. E., YAFFE K., SATARIANO W. A., TAGER I. B., 2003. *A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults*. J. Am. Geriatr. Soc. 51, 459-465.
- BENLOUCIF S., ORBETA L., ORTIZ R., JANSSEN I., FINKEL S. I., BLEIBERG J., ZEE P. C., 2004. *Morning or evening activity improves neuropsychological performance and subjective sleep quality in older adults*. Sleep 27, 1542-1551.
- BLUMENTHAL J. A., MADDEN D. J., 1988. *Effects of aerobic exercise training, age, and physical fitness on memory-search performance*. Psychol. Aging 3, 280-285.
- BLUMENTHAL J. A., EMERY C. F., MADDEN D. J., SCHNIEBOLK S., WALSH-RIDDLE M., GEORGE L. K., MCKEE D. C., HIGGINBOTHAM M. B., COBB F. R., COLEMAN R. E., 1991. *Long-term effects of exercise on psychological functioning in older men and women*. J. Gerontol. 46, P352-P361.
- CHRISTENSEN H., MACKINNON A., 1993. *The association between mental, social and physical activity and cognitive performance in young and old subjects*. Age Ageing 22, 175-182.
- CHURCHILL J. D., GALVEZ R., COLCOMBE S., SWAIN R. A., KRAMER A. F., GREENOUGH W. T., 2002. *Exercise, experience and the aging brain*. Neurobiol. Aging 23, 941-955.
- COLCOMBE S., KRAMER A. F., 2003. *Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study*. Psychol. Sci. 14, 125-130.
- COLCOMBE S. J., ERICKSON K. I., RAZ N., WEBB A. G., COHEN N. J., MCAULEY E., KRAMER A. F., 2003. *Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans*. J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci. 58, 176-180.
- COLCOMBE S. J., KRAMER A. F., ERICKSON K. I., SCALF P., MCAULEY E., COHEN N. J., WEBB A., JEROME G. J., MARQUEZ D. X., ELAVSKY S., 2004. *Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 3316-3321.
- COLCOMBE S. J., ERICKSON K. I., SCALF P. E., KIM J. S., PRAKASH R., MCAULEY E., ELAVSKY S., MARQUEZ D. X., HU L., KRAMER A. F., 2006. *Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans*. J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci. 61, 1166-1170.
- DIK M., DEEG D. J., VISSER M., JONKER C., 2003. *Early life physical activity and cognition at old age*. J. Clin. Exp. Neuropsychol. 25, 643-653.
- DURKA P. J., 1999. Elektroencefalogram i adaptacyjne aproksymacje sygnałów. http://brain.fuw.edu.pl/~durka/EEG_postepy/node1.html stan z 05.07.2007
- DUSTMAN R. E., RUHLING R. O., RUSSELL E. M., SHEARER D. E., BONEKAT H. W., SHIGEOKA J. W., WOOD J. S., BRADFORD D. C., 1984. *Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals*. Neurobiol. Aging 5, 35-42.
- DUSTMAN R. E., EMMERSON R. Y., RUHLING R. O., SHEARER D. E., STEINHAUS L. A., JOHNSON S. C., BONEKAT H. W., SHIGEOKA J. W., 1990. *Age and fitness effects on EEG, ERPs, visual sensitivity, and cognition*. Neurobiol. Aging 11, 193-200.
- EMERY C. F., HUPPERT F. A., SCHEIN R. L., 1995. *Relationships among age, exercise, health, and cognitive function in a British sample*. Gerontologist 35, 378-385.
- HASSMEN P., CECI R., BACKMAN L., 1992. *Exercise for older women: a training method and its influences on physical and cognitive performance*. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 64, 460-466.
- HATTA A., NISHIHARA Y., KIM S. R., KANEDA T., KIDA T., KAMIJO K., SASAHARA M., HAGA S., 2005. *Effects of habitual moderate exercise on response processing and cognitive processing in older adults*. Jpn. J. Physiol. 55, 29-36.
- HAUSER J., LESZCZYŃSKA-RODZIEWICZ A., SKIBIŃSKA M., 2005. *Wspólne podłoże genetyczne schizofrenii i choroby afektywnej dwubiegunowej?* Psychiatria 2, 145-153.
- HILLMAN C. H., BELOPOLSKY A. V., SNOOK E. M., KRAMER A. F., MCAULEY E., 2004. *Physical activity and executive control: implications for increased cognitive health during older adulthood*. Res. Q. Exerc. Sport 75, 176-185.
- KOŁODZIEJCZYK I., 2007. *Neuropsychologia starzenia poznawczego*. Kosmos 56, 49-62.
- KRAMER A. F., HILLMAN C. H., 2006. *Aging, physical activity, and neurocognitive function*. [W:] *Psychobiology of physical activity*. ACEVEDO E. O., EKKEKIAKIS P. (red.). Human Kinetics, 45-59.
- KRAMER A. F., HAHN S., COHEN N. J., BANICH M. T., MCAULEY E., HARRISON C. R., CHASON J., VAKIL E.,

- BARDELL L., BOILEAU R. A., COLCOMBE A., 1999. Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature* 400, 418-419.
- KRAMER A. F., BHERER L., COLCOMBE S. J., DONG W., GREENOUGH W. T., 2004. *Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging*. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 59, M940-M957.
- KRAMER A. F., ERICKSON K. I., COLCOMBE S. J., 2006. *Exercise, cognition, and the aging brain*. *J. Appl. Physiol.* 101, 1237-1242.
- LARSON E. B., WANG L., BOWEN J. D., MCCORMICK W. C., TERI L., CRANE P., KUKULL W., 2006. *Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older*. *Ann. Intern. Med.* 144, 73-81.
- LAURIN D., VERREAULT R., LINDSAY J., MACPHERSON K., ROCKWOOD K., 2001. *Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons*. *Arch. Neurol.* 58, 498-504.
- LEE C., RUSSELL A., 2003. *Effects of physical activity on emotional well-being among older Australian women: cross-sectional and longitudinal analyses*. *J. Psychosom. Res.* 54, 155-160.
- MCAULEY E., KRAMER A. F., COLCOMBE S. J., 2004. *Cardiovascular fitness and neurocognitive function in older adults: a brief review*. *Brain Behav. Immun.* 18, 214-220.
- MCAULEY E., ELAVSKY S., JEROME G. J., KONOPACK J. F., MARQUEZ D. X., 2005. *Physical activity-related well-being in older adults: social cognitive influences*. *Psychol. Aging* 20, 295-302.
- NETZ Y., WU M. J., BECKER B. J., TENENBAUM G., 2005. *Physical activity and psychological well-being in advanced age: a meta-analysis of intervention studies*. *Psychol. Aging* 20, 272-284.
- OKEN B. S., ZAJDEL D., KISHIYAMA S., FLEGAL K., DEHEN C., HAAS M., KRAEMER D. F., LAWRENCE J., LEYVA J., 2006. *Randomized, controlled, six-month trial of yoga in healthy seniors: effects on cognition and quality of life*. *Altern. Ther. Health Med.* 12, 40-47.
- PODEWILS L. J., GUALLAR E., KULLER L. H., FRIED L. P., LOPEZ O. L., CARLSON M., LYKETSOS C. G., 2005. *Physical activity, APOE genotype, and dementia risk: findings from the Cardiovascular Health Cognition Study*. *Am. J. Epidemiol.* 161, 639-651.
- PODEWILS L. J., GUALLAR E., BEAUCHAMP N., LYKETSOS C. G., KULLER L. H., SCHELTENS P., 2007. *Physical activity and white matter lesion progression: assessment using MRI*. *Neurology* 68, 1223-1226.
- RICHARDS M., HARDY R., WADSWORTH M. E., 2003. *Does active leisure protect cognition? Evidence from a national birth cohort*. *Soc. Sci. Med.* 56, 785-792.
- RIKLI R. E., EDWARDS D. J., 1991. *Effects of a three-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women*. *Res. Q. Exerc. Sport* 62, 61-67.
- ROGERS R. L., MEYER J. S., MORTEL K. F., 1990. *After reaching retirement age physical activity sustains cerebral perfusion and cognition*. *J. Am. Geriatr. Soc.* 38, 123-128.
- ROVIO S., KAREHOLT I., HELKALA E. L., VIITANEN M., WINBLAD B., TUOMILEHTO J., SOININEN H., NISSINEN A., KIVIPILTO M., 2005. *Leisure-time physical activity at midlife and the risk of dementia and Alzheimer's disease*. *Lancet Neurol.* 4, 705-711.
- SCHUIT A. J., FESKENS E. J., LAUNER L. J., KROMHOUT D., 2001. *Physical activity and cognitive decline, the role of the apolipoprotein e4 allele*. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33, 772-777.
- SPIRDUSO W. W., 1975. *Reaction and movement time as a function of age and physical activity level*. *J. Gerontol.* 30, 435-440.
- SPIRDUSO W. W., CLIFFORD P., 1978. *Replication of age and physical activity effects on reaction and movement time*. *J. Gerontol.* 33, 26-30.
- VAN BOXTEL M. P., PAAS F. G., HOUX P. J., ADAM J. J., TEEKEN J. C., JOLLES J., 1997. *Aerobic capacity and cognitive performance in a cross-sectional aging study*. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29, 1357-1365.
- YAFFE K., BARNES D., NEVITT M., LUI L. Y., COVINSKY K., 2001. *A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women: women who walk*. *Arch. Intern. Med.* 161, 1703-1708.