

## Wpływ aktywności fizycznej na funkcjonowanie układu nerwowego i procesy poznawcze – przegląd badań

### The influence of physical activity on the functioning of the nervous system and cognitive processes – research review

Karolina Dyrła-Mularczyk, Wioletta Giemza-Urbanowicz

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2019; 14, 3–4: 84–91

#### Adres do korespondencji:

dr n. o kult. fiz. Karolina Dyrła-Mularczyk  
Katedra Psychiatrii Dorosłych  
Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego  
ul. Szpitalna 27/33, 60-572 Poznań  
e-mail: [kdyrla-mularczyk@ump.edu.pl](mailto:kdyrla-mularczyk@ump.edu.pl)

#### Streszczenie

Aktywność fizyczna ma niekwestionowany wpływ na zdrowie fizyczne i psychiczne człowieka, co dowiedziono w licznych badaniach. Szczególnie interesującym zagadnieniem wydaje się wpływ ruchu na funkcjonowanie poznawcze. Badania dowodzą, że regularne treningi, zwłaszcza o charakterze aerobowym o umiarkowanej intensywności, usprawniają funkcjonowanie poznawcze osób dorosłych i wpływają na poprawę zdolności szkolnych w grupie dzieci i młodzieży. Ruch sprzyja także lepszemu funkcjonowaniu poznawczemu osób z zaburzeniami psychicznymi. Ponadto ćwiczenia fizyczne stanowią istotną pozafarmakologiczną metodę leczenia łagodnych zaburzeń poznawczych czy chorób neurodegeneracyjnych.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wybranych badań nad wpływem aktywności fizycznej na funkcjonowanie poznawcze człowieka. W artykule omówiono wpływ wysiłku fizycznego na wybrane czynniki neurofizjologiczne i rozwój struktur układu nerwowego oraz na procesy poznawcze osób w każdym wieku, ze szczególnym uwzględnieniem prac opublikowanych w ostatnich latach. Przywołano badania, w których dowiedziono, że aktywność fizyczna pozytywnie oddziałuje na funkcjonowanie pamięci, uwagi, a także na szybkość podejmowania decyzji. Wskazano również rolę aktywności fizycznej w procesie spowolnienia rozwoju i łagodzenia objawów chorób neurodegeneracyjnych.

Aktywność fizyczna wpływa na funkcjonowanie poznawcze osób w każdym wieku. Ponadto ma działanie neuroprotektoryjne, wpływa na kontrolę procesów neurodegeneracyjnych. Istnieją istotne wskazania do kontynuowania badań dotyczących związku aktywności fizycznej z osiągnięciami szkolnymi.

**Słowa kluczowe:** aktywność fizyczna, funkcje poznawcze, choroby neurodegeneracyjne.

#### Abstract

Physical activity has an unquestionable impact on human physical and mental health, which has been proven in numerous studies. Against this background, the impact of movement on cognitive functioning seems to be of particular interest. Studies show that regular workouts – especially moderate-intensity aerobic exercise – improve the cognitive functioning of adults and improve school abilities in the group of children and adolescents. Movement also promotes better cognitive functioning of people with mental disorders. In addition, physical activity is an important non-pharmacological method of treatment for mild cognitive impairment or neurodegenerative diseases.

The purpose of this work is to present selected studies in the area of the impact of physical activity on human cognitive functioning. The article presents the influence of physical effort on selected neurophysiological factors and development of nervous system structures. In addition, the impact of physical activity on the cognitive processes of people of all ages is presented, with particular emphasis on papers published in recent years. Studies are cited in which it was proved that physical activity positively influences the functioning of memory and attention, and also improves the speed of decisions. The role of physical activity in the process of slowing development and alleviating the symptoms of neurodegenerative diseases is also pointed out.

Physical activity affects the cognitive functioning of people of all ages. In addition, physical activity has neuroprotective significance, and affects the control of neurodegenerative processes. There are important indications for future research into the relationship between physical activity and school achievement.

**Key words:** physical activity, cognitive functions, neurodegenerative diseases.

## Wstęp

W ostatnich dwudziestu latach wiele badań potwierdziło pozytywny wpływ regularnej aktywności fizycznej o umiarkowanej intensywności na zdrowie fizyczne człowieka (Lindström i wsp. 2003; Jakicic i Otto 2005; Wannamethee i Shaper 2001; Sothorn i wsp. 1999). Osoby uprawiające sport oraz częściej podejmujące spontaniczną aktywność fizyczną są rzadziej narażone na choroby układu sercowo-naczyniowego, cukrzycę typu 2 i otyłość. Zaobserwowano także wpływ ruchu na poczucie dobrostanu i zapobieganie chorobom psychicznym (Sanchez-Villega i wsp. 2008; Peluso i Andrade 2005; Deslandes i wsp. 2009; Rosenbaum i wsp. 2015). Od kilkudziesięciu lat przedmiotem zainteresowań badaczy z obszaru nauk o sporcie i nauk o zdrowiu jest także funkcjonowanie poznawcze osób aktywnych fizycznie i wpływ ruchu na układ nerwowy. Istotna jest zwłaszcza aktywność fizyczna podejmowana na wczesnych etapach życia (Górski 2011). Kora płatów czołowych i przedczołowych intensywnie rozwija się w czasie dojrzewania (Bunge i wsp. 2009), dlatego szczególne zainteresowanie naukowców budzi wpływ wysiłku fizycznego na procesy poznawcze w grupie dzieci i młodzieży.

## Rekomendowana aktywność fizyczna dla dzieci, młodzieży i dorosłych

W literaturze naukowej aktywność fizyczna jest definiowana m.in. jako każdy ruch ciała wywołany przez mięśnie, który prowadzi do wydatku energetycznego (Caspersen i wsp. 1985; za: Osiński 2011), lub jako „ruch ciała człowieka, znajdujący swój wyraz w wydatku energii na poziomie powyżej tempa metabolizmu spoczynkowego” (Anshel i wsp. 1991; za: Osiński 2011). Do oceny intensywności wysiłku fizycznego stosuje się wskaźnik wielkości przemian metabolicznych (MET), który informuje o tempie przemian metabolicznych (Osiński 2011). Umiarkowana aktywność fizyczna to wysiłek ok. 3–6 MET, który charakteryzuje takie czynności, jak: prace domowe, prace w ogrodzie, spacer z psem itd. Intensywna aktywność fizyczna to wysiłek powyżej 6 MET, który towarzyszy bieganiu, szybkiej jeździe na rowerze, grom sportowym i ciężkim pracom fizycznym. Wojtasik i wsp. (2015) proponują podział na wysiłek o niewielkim, umiarkowanym i dużym obciążeniu:

- wysiłek o niewielkim obciążeniu (30–40%  $VO_{2max}$ ) – skurcze serca występują z częstotli-

wością od 110 do 130 razy na minutę, nasila się zużycie glikogenu wątrobowego, stężenie kwasu mlekowego we krwi pozostaje bez zmian;

- wysiłek o umiarkowanym obciążeniu (60–70%  $VO_{2max}$ ) – serce kurczy się 150–160 razy na minutę, nasilone jest zużycie glikogenu mięśniowego, we krwi następuje spadek stężenia glukozy oraz niewielki wzrost stężenia kwasu mlekowego;
- wysiłek o dużym obciążeniu (90%  $VO_{2max}$ ) – skurcze serca są bardzo częste, zbliżone do maksymalnej częstości, mięśnie zużywają glikogen i wychwytyują glukozę z krwi.

Zalecana aktywność fizyczna w grupie dzieci i młodzieży (5–17 lat) powinna mieć charakter tlenowy, umiarkowaną intensywność i powinna trwać co najmniej 60 minut każdego dnia (WHO 2014; EU Physical Activity Guidelines 2008). Z kolei osoby dorosłe (18–64 lata) powinny być aktywne przez minimum 150 minut tygodniowo, przy czym jednorazowa aktywność powinna trwać dłużej niż 10 minut. Zamiennie zalecana jest aktywność fizyczna o dużej intensywności przez minimum 75 minut tygodniowo lub 8–10 ćwiczeń siły mięśniowej (lub 8–12 powtórzeń) wykonywanych 2 lub 3 razy w tygodniu. Osoby starsze, powyżej 65. roku życia, powinny dostosować intensywność i częstotliwość aktywności fizycznej do stanu zdrowia. Dla tej grupy zalecane są ćwiczenia służące utrzymaniu gibkości ciała, a także trening oporowy (zwiększający siłę i masę mięśni) oraz usprawniający równowagę i koordynację.

W badaniach związku aktywności fizycznej z procesami poznawczymi i aktywnością układu nerwowego za zmienną niezależną często przyjmuje się wskaźnik wydolności tlenowej organizmu – poziom pułapu tlenowego  $VO_{2max}$ . Im wyższa wydolność tlenowa, tym bardziej forsowne, intensywne i dłuższe treningi można wykonywać. W badaniach eksperymentalnych wyróżnia się dwa typy aktywności: aerobowe i anaerobowe. Podczas aktywności aerobowych, nazywanych także tlenowymi, organizm zużywa tyle tlenu, ile jest w stanie pobrać. Wysiłki tlenowe wspomagają redukcję tkanki tłuszczowej – w warunkach beztlenowych nie jest możliwe utlenienie takiej ilości kwasów tłuszczowych jak w warunkach tlenowych. Ćwiczenia mają niską intensywność (np. jazda rowerem, taniec, spacer). Wysiłki anaerobowe mają charakter beztlenowy. Podczas treningu anaerobowego trudno jest zaczerpnąć oddech (należy podkreślić, że są to subiektywne odczucia), a energia jest czerpana z adenozyntrójfosforanu, glukozy, fosfokreatyny. Do aktywności beztlenowych można zaliczyć

treningi interwałowe (naprzemiennie intensywny wysiłek i krótki odpoczynek), ponieważ podczas przerwy, kiedy zmniejsza się wysiłek, większość osób trenujących nie jest w stanie obniżyć tętna do poziomu tlenowego (Mizera i Mizera 2017). Charakteryzuje je duża intensywność, przykładami takich ćwiczeń są specjalne programy, takie jak: HIIT (*high intensity interval training* – trening polegający na naprzemiennych ćwiczeniach o wysokiej intensywności z ćwiczeniami o niskiej intensywności), tabata (kilkuminutowy trening o wysokiej intensywności), a także tradycyjne formy aktywności, np. szybki bieg na krótkim dystansie.

### Wpływ wysiłku na czynniki neurofizjologiczne

Wpływ aktywności fizycznej na sprawne funkcjonowanie układu nerwowego został dowiedziony w badaniach, które podkreślają neuroprotektoryjne właściwości ruchu. Wysiłek fizyczny stymuluje uwalnianie neurotrofin w ośrodkowym układzie nerwowym (OUN), które odpowiadają za procesy neurogenezy, angiogenezy i synaptogenezy (Pałasz i wsp. 2017). Neurotrofiny należą do grupy polipeptydów, wpływają na plastyczność mózgu, regulują proces różnicowania i przeżycia neuronów w ośrodkowym i obwodowym układzie nerwowym, tym samym oddziałując na procesy poznawcze, takie jak uczenie się i pamięć (Kalinowska-Łyszczarz i Losy 2012; Stadelman i wsp. 2002). Do neurotrofin należą: neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego (*brain-derived neurotrophic factor* – BDNF), czynnik neurotroficzny pochodzenia glejowego (*glial cell line-derived neurotrophic factor* – GDNF), neurotrofina 3, neurotrofina 4, neurotrofina 5, neurotrofina 6, neurotrofina 7, czynnik wzrostu nerwów (*nerve growth factor* – NGF). Głównym miejscem syntezy BDNF są komórki nerwowe, komórki tkanki łącznej i komórki układu immunologicznego – limfocyty T i B, granulocyty (Kalinowska-Łyszczarz i Losy 2012). Największe stężenie BDNF obserwuje się w mózdzku, hipokampie, jądrze migdałowatym, korze nowej (Park i Poo 2013). Neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego jest wydzielany przez dopaminergiczne neurony istoty czarnej i prądkowia (Ventriglia i wsp. 2013). Mechanizm wpływu BDNF na procesy poznawcze najprawdopodobniej opiera się na poprawie szlaków transdukcji sygnałów (Ziemia 2014). Jego ekspresja w synapsach zwiększa się pod wpływem wysiłku, co prowadzi do usprawnienia transmisji synaptycznej i stymulacji procesów transkrypcji

genów (Cotman i Berchtold 2002; Wang i wsp. 2015). Ponadto BDNF zwiększa liczbę synaps i wzmacnia rozgałęzienia aksonalne w korze (Vicario-Abejon i wsp. 1998; Liu i Nusslock 2018). Jest także jednym z najważniejszych mediatorów plastyczności synaptycznej w hipokampie, który odgrywa kluczową rolę w procesach pamięci. Zablokowanie ekspresji BDNF w mózgu szczurów skutkowało upośledzeniem procesów uczenia się i zapamiętywania (Mu i wsp. 1999). W badaniach przedklinicznych na myszach stwierdzono, że aktywność fizyczna wpływa również na obniżenie kumulacji  $\beta$ -amyloidu ( $A\beta$ ) w OUN (Lazarov i wsp. 2005). Badania kliniczne nie potwierdziły jednak tego spostrzeżenia (Jensen i wsp. 2016). Pacjenci brali udział w 16-tygodniowym programie ćwiczeń o umiarkowanej i wysokiej intensywności. Biomarkery ( $p$ -tau,  $t$ -tau, sAPP) w płynie mózgowo-rdzeniowym nie wskazały na obniżenie stężenia  $A\beta$  po przeprowadzeniu treningu.

Umiarkowany wysiłek fizyczny prowadzi do zmniejszenia ekspresji czynnika martwicy nowotworów  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), co z kolei stanowi ważny czynnik obniżający ryzyko rozwoju choroby Alzheimera (Phillips i wsp. 2014). Rola BDNF i wzrostu jego stężenia na skutek aktywności fizycznej została dowiedziona w badaniach na szczurach (Gomez-Pinilla i wsp. 2011). BDNF i wysiłek fizyczny wpływają na przeżycie i wzrost neuronów substancji czarnej, z kolei zwiększona ekspresja BDNF w neuronach dopaminergicznych może zmniejszać ryzyko wystąpienia choroby Parkinsona (Razgado-Hernandez i wsp. 2015).

Umiarkowana aktywność fizyczna wpływa nie tylko na neuroplastyczność mózgu, lecz także na strukturę istoty białej i szarej mózgowia. Badania przeprowadzone wśród dzieci wykazały, że dzieci aktywne fizycznie miały istotnie większą integralność istoty białej w ciele modzelowatym, promieniach koronowych i pęczku podłużnym górnym (Chaddock i wsp. 2014). W badaniach wykonanych za pomocą morfometrii opartej na wkselach (*voxel based morphometry*) stwierdzono większą objętość istoty szarej w hipokampie i zwojach podstawy (Chaddock i wsp. 2010).

Wykazano, że wysiłek fizyczny o średniej intensywności ma silny i korzystny wpływ na szybkość odpowiedzi w zadaniach wykorzystujących pamięć roboczą, ale jednocześnie wpływa negatywnie na dokładność odpowiedzi (McMorris i wsp. 2011). Prawdopodobnie jest to związane ze wzrostem stężenia katecholamin (dopaminy, adrenaliny, noradrenaliny), co sprzyja szybszemu przetwarzaniu informacji. Dopamina wpływa na

koncentrację, procesy zapamiętywania i uczenia się. Stężenie dopaminy w korze przedczołowej ma szczególne znaczenie dla sprawnego funkcjonowania pamięci roboczej, a w hipokampie – dla pamięci długotrwałej (Williams i Goldman-Rakic 1993; Shohamy i Adock 2010). Wydzielanie katecholamin może mieć także wpływ na pamięć emocjonalną. Podczas zapamiętywania zdarzeń szczególnie ważnych dla jednostki dochodzi do aktywacji osi podwzgórze–przysadka–nadnercza, a co za tym idzie – zwiększonego wydzielania noradrenaliny i adrenaliny.

### Aktywność fizyczna a funkcjonowanie poznawcze

Istnieje wiele dowodów na wpływ aktywności fizycznej na rozwój mózgu i funkcjonowanie poznawczego w najmłodszych latach życia (Singh i wsp. 2019; Donnelly i wsp. 2016). Badania przeprowadzone w grupie 7–9-letnich dzieci pokazały, że zwiększona aktywność fizyczna (uczestnictwo w specjalnych pozalekcyjnych zajęciach sportowych – *Fitness Improves Thinking in Kids*) wpływa na zwiększenie mikrostruktury istoty białej w kolanie ciała modzelowatego (Chaddock-Heyman i wsp. 2018). Metaanaliza badań dotyczących aktywności fizycznej i jej oddziaływania na funkcjonowanie poznawcze dzieci wskazuje na korzystny wpływ wysiłku fizycznego na zdolności matematyczne (Singh i wsp. 2019). Istnieją jednak badania wykazujące brak związku między wysiłkiem a procesami poznawczymi. Badania kohortowe przeprowadzone w Brazylii na reprezentatywnej grupie 3235 urodzonych w 1993 r. pokazały, że umiarkowana aktywność fizyczna koresponduje z lepszymi wynikami funkcji poznawczych mierzonymi WAIS-III (Esteban-Cornejo i wsp. 2015). Zauważono jednak, że badani najbardziej aktywni fizycznie osiągnęli niższe wyniki w teście WAIS-III niż osoby z grupy najmniej aktywnej fizycznie. Aktywność fizyczna dzieci i młodzieży od 6. do 18. roku życia mierzona akcelerometrem negatywnie koreluje z osiągnięciami szkolnymi mierzonymi ocenami, ale korelacja ta jest słaba (Esteban-Cornejo i wsp. 2015). Krótkie sesje ćwiczeń o niskiej i umiarkowanej intensywności realizowane podczas zajęć lekcyjnych okazują się nie mieć wpływu na poprawę selektywności uwagi i szybkości przetwarzania informacji (van den Berg i wsp. 2016). Niemniej jednak wcześniejsze badania potwierdzają pozytywny wpływ 10-minutowych sesji ćwiczeń koordynacyjnych na selektywność uwagi nastolatków (Budde i wsp. 2008).

Aktywność fizyczna poprawia funkcjonowanie poznawcze, nawet jeśli jest to pojedynczy umiarkowany wysiłek (Landers i Arent 2007; McMorris i wsp. 2011). Przyczyną tej zależności należy upatrywać w lepszym zaopatrzeniu naczyń mózgowych w tlen, poprawie profilu lipidowego i parametrów hemodynamicznych, zwiększeniu unaczynienia oraz zmniejszeniu stresu oksydacyjnego (Schmidt i wsp. 2013; Vuori i wsp. 2013). Już umiarkowana jednorazowa aktywność poprawia umiejętność zapamiętywania, a także skraca czas podejmowania decyzji (McMorris i wsp. 2011; Lambourne i Tomporowski 2010). Jednorazowy trening siłowy zwiększa selektywność uwagi i szybkość podejmowania decyzji (Chang i wsp. 2014). U osób po 50. roku życia skuteczna w usprawnieniu procesów poznawczych jest aktywność fizyczna w postaci treningów aerobowych i oporowych o umiarkowanej intensywności, trwających co najmniej 45 minut (Northey i wsp. 2018). Longitudinalne badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii w grupie 10 652 starszych dorosłych pokazały, że osoby niebędące aktywne fizycznie uzyskiwały gorsze wyniki w testach pamięci i funkcji wykonawczych od osób aktywnych (Hamer i wsp. 2018). Dotychczasowe badania nie przynoszą jednak jednoznacznych rezultatów. Metaanaliza badań pokazała, że w grupie zdrowych dorosłych aktywność fizyczna w niewielkim stopniu wpływała na poprawę pamięci i funkcji wykonawczych (Sanders i wsp. 2019).

Badania wykazały, że już 60-minutowy trening (jazda na rowerze lub bieganie wraz z ćwiczeniami rozciągającymi) wykonywany 2 razy w tygodniu wpływa na zwiększenie m.in. objętości hipokampa (Mueller i wsp. 2015). Podobne korzyści uzyskały dorosłe osoby badane po 40-godzinnym treningu golfa (Bezzola i wsp. 2011), a nawet półrocznym treningu z wykorzystaniem roweru stacjonarnego (Kleemeyer i wsp. 2016). Badania osób dorosłych wykazały także szczególny wpływ treningów aerobowych na zwiększenie objętości istoty szarej i istoty białej w korze przedczołowej i skroniowej (Colcombe i wsp. 2006).

Metaanaliza badań dotyczących wpływu wysiłku aerobowego na poprawę funkcjonowania poznawczego osób starszych z rozpoznaniem łagodnych zaburzeń poznawczych wykazała, że taki typ treningu istotnie wpływał na poprawę wyników testów MMSE (*Mini-Mental State Examination*) i MoCA (*Montreal Cognitive Assessment*) (Zheng i wsp. 2016). Pozytywne oddziaływanie treningu aerobowego (polegającego na regularnych spacerach) potwierdziły badania prze-

prowadzone wśród kobiet w wieku 70–80 lat, cierpiących na łagodne zaburzenia poznawcze (Davis i wsp. 2013). Z kolei badania Liu-Ambrose i wsp. (2010) dowiodły pozytywnych efektów treningu wytrzymałościowego m.in. w zakresie selektywności uwagi w grupie kobiet w wieku 65–70 lat. Metaanaliza badań wykazała pozytywny wpływ wysiłku fizycznego na procesy poznawcze osób zdrowych. U zdrowych dorosłych zauważono poprawę pamięci, uwagi i szybkości przetwarzania, a w grupie seniorów podejmujących trening aerobowy odnotowano lepsze wyniki w testach pamięci przestrzennej i znacznie większą objętość hipokampa i istoty szarej w porównaniu z osobami niepodjętymi aktywności fizycznej (Ahlskog i wsp. 2011).

Pozytywny wpływ aktywności fizycznej na funkcjonowanie poznawcze osób w średnim i starszym wieku wykazano także w polskich badaniach. Osoby aktywne uzyskały lepsze wyniki w testach pamięci roboczej, wzrokowo-przestrzennej, a także w testach mierzących szybkość psychomotoryczną oraz miały lepszą podzielność uwagi niż osoby nieaktywne fizycznie lub aktywne jedynie w średnim stopniu (Łojko i wsp. 2014).

Metaanaliza badań longitudinalnych dotyczących długotrwałego wpływu regularnej aktywności fizycznej na procesy poznawcze osób po 65. roku życia wykazała, że regularny umiarkowany wysiłek fizyczny wiązał się ze zmniejszeniem upośledzenia procesów poznawczych aż o 50%, a także obniżał ryzyko wystąpienia otępienia lub opóźniał wystąpienie objawów otępiennych (Paterson i Warburton 2010).

Na podstawie metaanalizy badań stwierdzono, że kontrolowany trening fizyczny może mieć pozytywny wpływ na stężenie BDNF u osób z chorobą Parkinsona (Hirsch i wsp. 2018). Szczególne znaczenie dla zmniejszenia objawów choroby neurodegeneracyjnej mają treningi wytrzymałościowe, oporowy lub interwałowo-wytrzymałościowy o dużej intensywności (np. HIIT) (Seifert i wsp. 2010).

Jak dowiedziono, hipokamp odgrywa kluczową rolę w procesach zapamiętywania, a jego zanik jest szczególnie widoczny u osób z chorobą Alzheimera i łagodnymi zaburzeniami poznawczymi (Morra i wsp. 2009). Regularne ćwiczenia (zwłaszcza aerobowe) pełnią funkcję neuroprotekcyjną, opóźniają wystąpienie deficytów w obszarze funkcji poznawczych i zmniejszają ryzyko rozwoju otępienia (Hamer i Chida 2009; Ahlskog i wsp. 2011). W grupie 138 osób powyżej 50. roku życia zgłaszających problemy z pamięcią (*memory problems*), ale niespełniających kryteriów

demencji zauważono niewielką poprawę funkcji poznawczych wyrażoną wynikiem testu *Alzheimer Disease Assessment Scale-Cognitive Subscale* (Lautenschlager i wsp. 2008).

## Czy każda aktywność fizyczna pozytywnie wpływa na funkcjonowanie poznawcze?

Należy pamiętać, że nie każdy typ podejmowanego wysiłku w jednakowy sposób wpływa na struktury mózgowe. Badanie przeprowadzone wśród osób starszych pokazało, że ćwiczenia aerobowe przyniosły istotnie lepsze efekty, jeśli chodzi o objętość hipokampa i poziom pamięci przestrzennej, w porównaniu ze stretchingiem (Erickson i wsp. 2011). Stwierdzono także, że joga może pozytywnie wpływać na procesy hamowania i przełączania się między zadaniami, ale nie wpływa na procesy planowania i rozwiązywania problemów (Moore i wsp. 2019).

Aktywność fizyczna nie zawsze ma pozytywny wpływ na ludzki organizm. Należy podkreślić, że intensywny i długotrwały wysiłek fizyczny skutkuje wzmożonym wydzielaniem glikokortykoidów, m.in. kortyzolu, który obniża stężenie BDNF (Ploughman 2008). Intensywny trening może być interpretowany przez organizm jako nadmierne obciążenie, choroba czy deprywacja snu, które również obniżają stężenie BDNF. Obniżona sekrecja BDNF skutkuje wstrzymaniem neurogenezy, zmniejszeniem neuroplastyczności mózgu, nasileniem apoptozy i procesów neurodegeneracyjnych w obszarze limbicznym mózgu, a zwłaszcza w hipokampie. Intensywny i obciążający organizm wysiłek może spowodować wzrost stężenia interleukiny 8 i białka C-reaktywnego (*C-reactive protein*) we krwi, a więc może wpływać na obniżenie odporności oraz na procesy zapalne w organizmie (Woods i wsp. 2012).

## Aktywność fizyczna a zdrowie psychiczne

Systematyczna aktywność fizyczna jest istotnym czynnikiem zmniejszającym ryzyko chorób psychicznych (Biddle i Asare 2011; Jansen i LeBlanc 2010). Aktywność fizyczna stanowi jedną z metod terapii chorych na schizofrenię (Rybakowski i Drews 2017). Uznawana jest też za element leczenia osób z rozpoznaniem depresji (Gomez-Pinilla i Hillman 2013). Brak aktywności fizycznej wraz ze wciąż zwiększającym się czasem spędzonym przed komputerem, tabletem itd. (*screen time*) stanowi istotny czynnik ryzyka wystąpienia objawów lękowych,

depresyjnych i zaburzeń snu w grupie młodych dorosłych (Wu i wsp. 2015). Aktywność fizyczna redukuje objawy depresji, choroby afektywnej dwubiegunowej, schizofrenii, zaburzeń lękowych (Rosenbaum i wsp. 2016).

Należy pamiętać, że aktywność fizyczna poprawia funkcjonowanie osób cierpiących na wiele zaburzeń psychicznych i mimo że wciąż jest niedoceniana jako element terapii, powinna być standardem lekarskich zaleceń (Górniak i Rybakowski 2015).

## Podsumowanie

Wiele przytoczonych badań potwierdza wpływ aktywności fizycznej na funkcjonowanie poznawcze człowieka, a także na jego zdrowie fizyczne. Metaanalizy badań wskazują na znaczenie regularnego uprawiania sportu, ze szczególnym wskazaniem na treningi aerobowe o częstotliwości rekomendowanej przez WHO. Wysiłek fizyczny ma wpływ nie tylko na profilaktykę chorób, lecz także na lepsze funkcjonowanie osób dotkniętych schorzeniami neurodegeneracyjnymi. Aktywność fizyczna ma znaczenie neuroprotektoryjne, wpływa na kontrolę procesów neurodegeneracyjnych, sprzyja procesom tworzenia się neuronów w mózgu. Wciąż jednak pozostaje wiele obszarów wymagających dalszych wnikliwych eksploracji, np. epigenetyczne zmiany ekspresji genów pod wpływem wysiłku fizycznego.

Krytycznie należy spojrzeć na badania, w których nie było grupy kontrolnej lub badana próba była nieliczna. Należy zwrócić także uwagę na niemożność kontroli wielu zmiennych mających potencjalnie wpływ na poprawę funkcjonowania poznawczego. Niejednokrotnie trudno wykluczyć efekt farmakoterapii w badanej grupie pacjentów, która także może wpływać na ostateczny wynik testów poznawczych (podobnie jak zwyczajnie żywieniowe, choroby towarzyszące, wsparcie społeczne, trening funkcji poznawczych i wiele innych zmiennych). Ostrożnie należy spojrzeć także na prace, w których osoby badane proszono o ocenę swoich możliwości poznawczych w kwestionariuszach samoopisowych. Badania w tym zakresie powinny być kontynuowane, z uwzględnieniem szczególnej dbałości metodologicznej w projektowaniu badań eksperymentalnych.

Istotne wydaje się poszukiwanie związków między aktywnością fizyczną a wynikami szkolnymi, co może mieć kluczowe znaczenie w tworzeniu programów nauczania akcentujących rolę sportu uprawianego na wczesnych etapach

życia. Niniejsze opracowanie nie wyczerpuje omawianego tematu. Niemniej jednak wskazuje na wysiłek fizyczny jako istotny czynnik profilaktyki i terapii w przypadku chorób neurodegeneracyjnych i zaburzeń psychicznych, co znalazło potwierdzenie w wielu dotychczasowych badaniach.

## Piśmiennictwo

- Ahlskog JE, Geda YE, Graff-Radford NR, Petersen RC. Physical exercise as a preventive or disease-modifying treatment of dementia and brain aging. *Mayo Clin Proc* 2011; 86: 876-884.
- Anshel MH, Freedson P. *Dictionary of the sport and exercise sciences*. Human Kinetics Books, Champaign, Ill 1991.
- Bezzola L, Mérillat S, Gaser C, Jäncke L. Training-induced neural plasticity in golf novices. *J Neurosci* 2011; 31: 12444-12448.
- Biddle SJH, Asare M. Physical activity and mental health in children and adolescents: A review of reviews. *Br J Sports Med* 2011; 45: 886-895.
- Budde H, Voelcker-Rehage C, Pietrabyk-Kendziorra S i wsp. Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neurosci Lett* 2008; 441: 219-223.
- Bunge SA, Dudukovic NM, Thomason ME i wsp. Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: Evidence from fMRI. *Neuron* 2002; 33: 301-311.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports* 1985; 100: 126.
- Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS i wsp. Neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in pre-adolescent children. *Brain Res* 2010; 1358: 172-183.
- Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Holtrop JL i wsp. Aerobic fitness is associated with greater white matter integrity in children. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 584.
- Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Kienzler C i wsp. Physical activity increases white matter microstructure in children. *Front Neurosci* 2018; 12: 950.
- Chang YK, Tsai ChL, Huang Ch i wsp. Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: General or specific improvement? *J Sci Med Sport* 2014; 17: 51-55.
- Colcombe SJ, Erickson KI, Scalf PE i wsp. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006; 61: 1166-1170.
- Cotman CW, Berchtold NC. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends Neurosci* 2002; 25: 295-301.
- Davis JC, Bryan S, Marra CA i wsp. An economic evaluation of resistance training and aerobic training versus balance and toning exercises in older adults with mild cognitive impairment. *PLoS One* 2013; 8: e63031.
- Deslandes A, Moraes H, Ferreira C i wsp. Exercise and mental health: many reasons to move. *Neuropsychobiology* 2009; 59: 191-198.
- Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D i wsp. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 2016; 48: 1197-1222.

17. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS i wsp. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci* 2011; 108: 3017-3022.
18. Erickson KI, Hillman CH, Kramer AF. Physical activity, brain, and cognition. *Curr Opin Behav Sci* 2015; 4: 27-32.
19. Esteban-Cornejo I, Hallal PC, Mielke GI i wsp. Physical activity throughout adolescence and cognitive performance at 18 years of age. *Med Sci Sports Exerc* 2015; 47: 2552-2557.
20. EU Physical Activity Guidelines 2008. Retrieved from: <https://eacea.ec.europa.eu/sites/eacea-site/files/eu-physical-activity-guidelines-2008.pdf>
21. Gomez-Pinilla F, Zhuang Y, Feng J i wsp. Exercise impacts brain-derived neurotrophic factor plasticity by engaging mechanisms of epigenetic regulation. *Eur J Neurosci* 2011; 33: 383-390.
22. Gomez-Pinilla F, Hillman CH. The influence of exercise on cognitive abilities. *Compr Physiol* 2013; 3: 403-428.
23. Górniak M, Rybakowski J. The effect of physical activity on psychiatric disturbances. *Farmakoter Psychiatr Neurol* 2015; 31: 113-119.
24. Górski J. Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2011.
25. Hamer M, Chida Y. Physical activity and risk of neurodegenerative disease: a systematic review of prospective evidence. *Psychol Med* 2009; 39: 3-11.
26. Hamer M, Muniz Terrera G, Demakakos P. Physical activity and trajectories in cognitive function: English Longitudinal Study of Ageing. *J Epidemiol Community Health* 2018; 72: 477-483.
27. Hirsch MA, van Wegen EE, Newman MA, Heyn PC. Exercise-induced increase in brain-derived neurotrophic factor in human Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Transl Neurodegener* 2018; 7: 7.
28. Jakicic JM, Otto AD. Physical activity considerations for the treatment and prevention of obesity. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 226-229.
29. Janssen I, LeBlanc AG. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2010; 7: 1-16.
30. Jensen CS, Portelius E, Siersma V i wsp. Cerebrospinal fluid amyloid beta and tau concentrations are not modulated by 16 weeks of moderate-to high-intensity physical exercise in patients with Alzheimer disease. *Dementia Geriatr Cogn Dis* 2016; 42: 146-158.
31. Kalinowska-Lyszczarz A, Losy J. The role of neurotrophins in multiple sclerosis – pathological and clinical implications. *Int J Mol Sci* 2012; 13: 13713-13725.
32. Kleemeyer MM, Kühn S, Prindle J i wsp. Changes in fitness are associated with changes in hippocampal microstructure and hippocampal volume among older adults. *Neuroimage* 2016; 131: 155-161.
33. Lambourne K, Tomporowski P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res* 2010; 1341: 12-24.
34. Landers DM, Arent SM. Physical activity and mental health. *Handbook Sport Psychology* 2007; 2: 740-765.
35. Lautenschlager NT, Cox KL, Flicker L i wsp. Effect of physical activity on cognitive function in older adults at risk for Alzheimer disease: a randomized trial. *JAMA* 2008; 300: 1027-1037.
36. Lazarov O, Robinson J, Tang YP i wsp. Environmental enrichment reduces A $\beta$  levels and amyloid deposition in transgenic mice. *Cell* 2005; 120: 701-713.
37. Lindström J, Louheranta A, Mannelin M i wsp. The Finnish Diabetes Prevention Study (DPS): Lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity. *Diabetes Care* 2003; 26: 3230-3236.
38. Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Graf P i wsp. Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 2010; 170: 170-178.
39. Liu PZ, Nusslock R. Exercise-mediated neurogenesis in the hippocampus via BDNF. *Front Neurosci* 2018; 12: 52.
40. Łojko D, Pałys W, Czajkowska A i wsp. Association of cognitive performance with the physical activity and body mass index in middle-aged and older rural inhabitants. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2014; 18: 3645-3652.
41. McMorris T, Sproule J, Turner A, Hale BJ. Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiol Behav* 2011; 102: 421-428.
42. Mizera K, Mizera K. *Dietetyka sportowa*. Galaktyka, Łódź 2017.
43. Moore SM, Peterson E, Welsh MC. The effects of acute yoga versus aerobic exercise on executive function: a pilot study. *N Am J Psychol* 2019; 21.
44. Morra JH, Tu Z, Apostolova LG i wsp. Automated mapping of hippocampal atrophy in 1-year repeat MRI data from 490 subjects with Alzheimer's disease, mild cognitive impairment, and elderly controls. *Neuroimage* 2009; 45: S3-S15.
45. Mu JS, Li WP, Yao ZB, Zhou XF. Deprivation of endogenous brain-derived neurotrophic factor results in impairment of spatial learning and memory in adult rats. *Brain Res* 1999; 835: 259-265.
46. Mueller K, Möller HE, Horstmann A i wsp. Physical exercise in overweight to obese individuals induces metabolic- and neurotrophic-related structural brain plasticity. *Front Hum Neurosci* 2015; 9: 372.
47. Northey JM, Cherbuin N, Pampa KL i wsp. Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: a systematic review with meta-analysis. *J Sports Med* 2018; 52: 154-160.
48. Osiński W. *Teoria wychowania fizycznego*. Akademia Wychowania Fizycznego, Poznań 2011.
49. Pałasz E, Bąk A, Gąsiorowska A, Niewiadomska G. Rola czynników troficznych i procesów zapalnych w neuroprotekcji indukowanej wysiłkiem w chorobie Parkinsona. *Adv Hygiene Exp Med* 2017; 71: 713-726.
50. Park H, Poo MM. Neurotrophin regulation of neural circuit development and function. *Nat Rev Neurosci* 2013; 14: 7-23.
51. Paterson DH, Warburton DE. Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2010; 7: 38.
52. Peluso MAM, Andrade LHS. Physical activity and mental health: the association between exercise and mood. *Clinics* 2005; 60: 61-70.
53. Phillips C, Baktir MA, Srivatsan M, Salehi A. Neuroprotective effects of physical activity on the brain: a closer look at trophic factor signaling. *Front Cell Neurosci* 2014; 8: 170.
54. Ploughman M. Exercise is brain food: the effects of physical activity on cognitive function. *Dev Neurorehabil* 2008; 11: 236-240.
55. Razzago-Hernandez LF, Espadas-Alvarez AJ, Reyna-Velazquez P i wsp. The transfection of BDNF to dopamine neurons potentiates the effect of dopamine D3 receptor agonist recovering the striatal innervation, dendritic spines and motor behavior in an aged rat model of Parkinson's disease. *PLoS One* 2015; 10: e0117391.

56. Rosenbaum S, Tiedemann A, Stanton R i wsp. Implementing evidence-based physical activity interventions for people with mental illness: an Australian perspective. *Australas Psychiatry* 2016; 24: 49-54.
57. Rybakowski F, Drews K. Wpływ aktywności fizycznej na funkcje poznawcze u pacjentów chorujących na schizofrenię. *Neuropsychiatria i Neuropsychologia* 2017; 13: 170-175.
58. Sanchez-Villegas A, Ara I, Guillen-Grima F i wsp. Physical activity, sedentary index, and mental disorders in the SUN cohort study. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40: 827-834.
59. Sanders LMJ, Hortobágyi T, la Bastide-van Gemert S i wsp. Dose-response relationship between exercise and cognitive function in older adults with and without cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2019; 14: 0210036.
60. Schmidt W, Endres M, Dimeo F, Jungehulsing GJ. Train the vessel, gain the brain: physical activity and vessel function and the impact on stroke prevention and outcome in cerebrovascular disease. *Cerebrovasc Dis* 2013; 35: 303-312.
61. Seifert T, Brassard P, Wissenberg M i wsp. Endurance training enhances BDNF release from the human brain. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2009; 298: R372-R377.
62. Shohamy D, Adcock RA. Dopamine and adaptive memory. *Trends Cogn Sci* 2010; 14: 464-472.
63. Singh AS, Saliassi E, Van Den Berg V i wsp. Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: A novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *Br J Sports Med* 2019; 53: 640-647.
64. Sothern MS, Loftin M, Suskind RM i wsp. The health benefits of physical activity in children and adolescents: implications for chronic disease prevention. *Eur J Pediatr* 1999; 158: 271-274.
65. Stadelmann C, Kerschensteiner M, Misgeld T i wsp. BDNF and gp145trkB in multiple sclerosis brain lesions: neuroprotective interactions between immune and neuronal cells? *Brain* 2002; 125: 75-85.
66. Van den Berg, Saliassi, de Groot i wsp. Physical activity in the school setting: Cognitive performance is not affected by three different types of acute exercise. *Front Psych* 2016; 17: 723.
67. Ventriglia M, Zanardini CB, Zanetti O i wsp. Serum brain-derived neurotrophic factor levels in different neurological diseases. *Biomed Res Int* 2013; ID 901082.
68. Vicario-Abejon C, Collin C, McKay RD, Segal M. Neurotrophins induce formation of functional excitatory and inhibitory synapses between cultured hippocampal neurons. *J Neurosci* 1998; 18: 7256-7271.
69. Vuori IM, Lavie CJ, Blair SN. Physical activity promotion in the health care system. *Mayo Clin Proc* 2013; 88: 1446-1461.
70. Wang L, Chang X, She L i wsp. Autocrine action of BDNF on dendrite development of adult-born hippocampal neurons. *J Neurosci* 2015; 35: 8384-8393.
71. Wannamethee SG, Shaper AG. Physical activity in the prevention of cardiovascular disease. *Sports Med* 2011; 31: 101-114.
72. WHO. Physical Activity and Older Adults (16.10.2014). [http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet\\_olderadults/en/](http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_olderadults/en/)
73. Williams SM, Goldman-Rakic PS. Characterization of the dopaminergic innervation of the primate frontal cortex using a dopamine-specific antibody. *Cereb Cortex* 1993; 3: 199-222.
74. Wojtasik W, Szulc A, Kołodziejczyk M, Szulc A. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka. *J Edu Health Sport* 2015; 5: 350-372.
75. Woods JA, Wilund KR, Martin SA, Kistler BM. Exercise, inflammation and aging. *Aging Dis* 2012; 3: 130-140.
76. Wu X, Tao S, Zhang Y i wsp. Low physical activity and high screen time can increase the risks of mental health problems and poor sleep quality among Chinese college students. *PLoS One* 2015; 10: e0119607.
77. Ziemba AW. Rola aktywności ruchowej w zapobieganiu zaburzeniom poznawczym. *Aktualności Neurologiczne* 2014; 3: 175-180.
78. Zheng G, Xia R, Zhou W i wsp. Aerobic exercise ameliorates cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med* 2016; 50: 1443-1450.