

# WPŁYW AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ NA SPRAWNOŚĆ POZNAWCZĄ

## THE IMPACT OF PHYSICAL ACTIVITY ON COGNITIVE FUNCTIONS

Sylwia Sumińska

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / The Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warsaw, Poland

### STRESZCZENIE

Wraz z postępującym procesem starzenia się społeczeństwa obserwuje się zwiększenie odsetka osób, których funkcjonowanie poznawcze ulega obniżeniu. Przeciwdziałanie temu procesowi stanowi wyzwanie dzisiejszych czasów i wymaga opracowania rekomendacji w zakresie stylu życia, które pozwolą zatrzymać lub opóźnić proces spadku sprawności poznawczej. Regularna aktywność fizyczna wpływa korzystnie na zdrowie i sprawność poznawczą, a zwłaszcza na 1 z rodzajów funkcji poznawczych – funkcje wykonawcze. Dane dowodzą korzystnego wpływu ćwiczeń fizycznych – zarówno aerobowych, jak i siłowych, a także ich połączenia – na sprawność poznawczą. U podstaw efektywności ćwiczeń fizycznych leży kilka mechanizmów biologicznych: zmiany na poziomie komórkowym, uwalnianie białek, wzrost przepływu krwi przez mózg, wzrost stężenia neuroprzebieżników i proces neurogenezy. Celem niniejszego artykułu jest analiza najnowszych badań uwzględniających związek między aktywnością fizyczną a sprawnością poznawczą, prowadzonych w latach 2015–2020. Przegląd badań uwzględniał wpływ aktywności fizycznej, bez łączenia treningów fizycznych z poznawczymi, na sprawność poznawczą w grupie zdrowych dorosłych i osób starszych. Analizie poddano badania, które definiowały aktywność fizyczną jako uprawianie sportu lub zwiększanie codziennej aktywności w celu ograniczenia następstw siedzącego trybu życia. Wyniki przeglądu dostępnych danych wskazują na to, że badacze stwierdzają pozytywny wpływ zwiększania aktywności fizycznej na sprawność poznawczą, głównie funkcje wykonawcze (w tym pamięć roboczą), ale także procesy uwagi i pamięci. Tylko kilka prac nie zawiera istotnych różnic w tym zakresie. Analiza badań wskazuje jednak na brak jednolitych metod oceny natężenia aktywności fizycznej, jak również pomiaru sprawności poznawczej. Istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań w tym zakresie w celu sprawdzenia efektów długoterminowych. Kolejne badania powinny służyć opracowaniu najskuteczniejszych technik interwencyjnych i zaleceń profilaktycznych dotyczących zachowania sprawności poznawczej na dobrym poziomie. Należałoby rozszerzyć te badania o kontrolę zmiennych, które wpływają na nabywanie sprawności poznawczej oraz efektywność poznawczą pojawiających się na przestrzeni trwania interwencji. Med. Pr. 2021;72(4):437–450

**Słowa kluczowe:** sprawność poznawcza, starzenie się, funkcje wykonawcze, ćwiczenia fizyczne, treningi aerobowe, treningi siłowe

### ABSTRACT

In recent decades we have observed a progressive aging of the society. A growing number of elderly people is associated with an increase in the percentage of people whose cognitive functions are decreasing. It is important to counteract this process and develop lifestyle recommendations that will allow to delay the process of cognitive decline. Regular physical activity has a beneficial effect on health and cognitive performance, especially on executive functions. Data shows the positive impact of physical exercise, both aerobic and resistance training, and their combination, on cognitive performance. Potential biological mechanisms that may underlie the effectiveness of physical exercise include increased blood flow through the brain, changes in the release of neurotransmitters, and the process of neurogenesis. The aim of the article is to analyze the recent research taking into account the relationship between physical activity and cognitive skills. The research published in 2015–2020 was analyzed. The review concerns the effect of physical activity, not a combination of cognitive training and physical exercise, on cognitive skills in a group of healthy adults and the elderly. Studies that defined physical activity as sports, as well as increasing daily activity to reduce a sedentary lifestyle, were analyzed. The analysis of the available data indicates that researchers report positive effects of increasing physical activity on cognitive performance, mainly executive functions (e.g., working memory), but also attention and memory. Only a few studies have not reported any significant differences. However, the analysis of the research shows the lack of uniform methods of measuring the intensity of physical activity, as well as efficiency of cognitive functions. More research is needed to examine the long-term effects. Another study should be conducted to present the most effective intervention techniques and prepare recommendations for maintaining preserved cognitive functions. Further research should be conducted to control variables that affect the acquisition of cognitive skills and cognitive effectiveness during the intervention. Med Pr. 2021;72(4):437–50

**Key words:** cognitive functions, ageing, executive functions, physical exercise, aerobic training resistance training

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Sylwia Sumińska, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: sysum@ciop.pl  
Nadesłano: 21 grudnia 2020, zatwierdzono: 28 kwietnia 2021

## WSTĘP

Sprawność poznawcza ma zasadnicze znaczenie dla codziennego funkcjonowania. Pamiętanie o bieżących sprawach, planowanie i zdolność prowadzenia rozmowy są uzależnione od poziomu funkcjonowania poznawczego. Wraz z wiekiem następuje spadek sprawności poznawczej. W ostatnich latach obserwuje się postępujący proces starzenia się społeczeństwa. Wzrastająca liczba osób starszych łączy się z coraz większym odsetkiem osób doświadczających pogorszenia sprawności poznawczej w populacji [1]. Aby przeciwdziałać temu procesowi, niezbędne jest zadbanie o odpowiedni styl życia, który przyczyni się do zachowania sprawności poznawczej na dobrym poziomie i zatrzymania lub spowolnienia postępujących negatywnych zmian. Jedną z aktywności, którą można podejmować, by przeciwdziałać szybkiemu spadkowi sprawności poznawczej, jest aktywność fizyczna.

W badaniach wykazano zarówno korzystny wpływ regularnych ćwiczeń fizycznych na sprawność poznawczą w okresie, gdy pozostaje się aktywnym, jak i to, że ich efekty występują bezpośrednio po zakończonym treningu. W wielu analizach stwierdzono także, że regularna aktywność fizyczna jest korzystna dla efektywności poznawczej, zwłaszcza dla funkcji wykonawczych. Coraz więcej dowodów z badań na zwierzętach sugeruje, że aktywność fizyczna sprzyja neuroplastyczności i uczeniu się. Dla zachowania sprawności poznawczej korzystna jest wysoka wydolność tlenowa organizmu, aktywność fizyczna od umiarkowanej do intensywnej i ograniczenie siedzącego trybu życia. Zgodnie z rekomendacjami Światowej Organizacji Zdrowia z 2020 r. zaleca się, aby dorośli w wieku 18–64 lat przeznaczali tygodniowo na aktywność fizyczną 150–300 min w przypadku jej umiarkowanej intensywności lub 75–150 min – dużej intensywności. Ćwiczenia wzmacniające wszystkie grupy mięśni powinny być natomiast wykonywane min. 2 razy w tygodniu [2].

### Sprawność poznawcza

Funkcje wykonawcze odgrywają ważną rolę w codziennym funkcjonowaniu. Odnoszą się do procesów mentalnych wyższego rzędu, takich jak planowanie, wnioskowanie, podejmowanie decyzji i rozwiązywanie problemów, oraz do procesów poznawczych zaangażowanych w koordynację i kontrolę zachowania ukierunkowanego na cel [3]. Są niezbędne w wielu dziedzinach życia i mają kluczowe znaczenie dla wyników w nauce u młodych ludzi, osiągnięć w miejscu pracy u dorosłych i utrzymania

zdolności do wykonywania codziennych czynności u osób starszych.

Wymienia się 3 podstawowe aspekty funkcji wykonawczych. Są nimi:

- pamięć robocza – zdolność do jednoczesnego utrzymywania i aktywnego manipulowania informacjami przed przywołaniem odpowiednich informacji,
- hamowanie poznawcze – zdolność do tłumienia dominujących odpowiedzi lub nieistotnych informacji,
- elastyczność poznawcza – możliwość zmiany między wieloma zadaniami lub perspektywami [4].

Komponenty funkcji wykonawczych mogą obejmować aktualizację, przełączanie i hamowanie poznawcze [5]. W ramach teorii istotną rolę odgrywają pamięć robocza i jej funkcje kontrolne, które są odpowiedzialne za przełączanie między zadaniami, przetwarzanie i aktualizowanie informacji oraz hamowanie nieistotnych reakcji. Od pojemności pamięci roboczej zależy wykonanie zadań uwagowych wymagających bardziej złożonych zdolności, takich jak czytanie ze zrozumieniem, rozumowanie i rozwiązywanie problemów, a także sprawność funkcji wykonawczych w życiu codziennym.

### Spadek sprawności poznawczej wraz z wiekiem

Razem z wiekiem następuje spadek sprawności poznawczej. Pogorszeniu ulega zdolność do zapamiętywania nowych informacji, przywoływania faktów z pamięci epizodycznej i orientacji w otoczeniu, a także uwaga i pamięć robocza. Najpodatniejsza na starzenie się jest kora przedczołowa odpowiedzialna za funkcje wykonawcze, m.in. pamięć roboczą i planowanie [6].

Badania empiryczne wskazywały, że związany z wiekiem spadek funkcji poznawczych dotyczy zwłaszcza zdolności płynnych, czyli tych zależnych od sprawności mózgu, niewzrastających wraz z doświadczeniem czy nabywaniem kompetencji w jakimś zakresie. Deficyty można zaobserwować w pomiarach szybkości przetwarzania informacji, hamowaniu poznawczym, procesach przełączania (między zadaniami lub zestawami zadań), tłumieniu nieistotnych informacji, kontroli poznawczej i pamięci roboczej. Poznawcze starzenie się jest procesem dynamicznym i odnosi się do osłabienia pamięci, uczenia się, uwagi, percepcji, integracji informacji płynących z różnych zmysłów, języka, kontroli motorycznej, szybkości przetwarzania i funkcji wykonawczych [7].

W licznych badaniach wykazano związek między starzeniem się a neurobiologiczną degeneracją związaną z całościowym i regionalnym spadkiem objętości mózgu, utratą istoty białej oraz zmianami funkcjonalnymi związanymi ze zmianami w aktywowaniu

neuronów podczas zaangażowania w zadania. Zmiany strukturalne i funkcjonalne, szczególnie w obrębie kory przedczołowej, mają związek z gorszą wydajnością przy wykonywaniu zadań poznawczych wymagających funkcji wykonawczych. Ponadto w badaniach stwierdzono następujący z czasem spadek objętości korowej i podkorowej u osób starszych [8].

### Aktywność fizyczna

Ćwiczenia fizyczne można podzielić na kilka rodzajów. Obejmują one treningi aerobowe, siłowe (oporowe), elastyczności, równowagi i koordynacji. Istnieje też podział na treningi fizyczne i motoryczne. Trening fizyczny (np. jazda na rowerze, pływanie) to przede wszystkim ćwiczenia aerobowe, ale również trening siłowy. Działania te są powtarzalne, automatyczne i wymagają wysokiej energii metabolicznej oraz względnie niskiego wysiłku nerwowo-mięśniowego. Treningi motoryczne (np. joga, tai-chi, spokojny taniec) polegają na poprawie równowagi i koordynacji. Wiążą się z wysokimi wymaganiami nerwowo-mięśniowymi i stosunkowo niskimi – metabolicznymi. W szczególności wymagają percepcji i zaangażowania procesów poznawczych wyższego rzędu, takich jak uwaga. Kombinacja aktywności fizycznej i motorycznej to np. tenis, koszykówka lub energiczny taniec. Treningi aerobowe łączą się z wysokimi wymaganiami metabolicznymi, a siłowe – z nerwowo-mięśniowymi [9].

Treningi fizyczny i motoryczny w różny sposób wpływają na sprawność poznawczą. Ten pierwszy oddziałuje na poznanie poprzez poprawę wydolności sercowo-naczyniowej, podczas gdy trening motoryczny – bezpośrednio na funkcje poznawcze. Trening fizyczny wpływa na neurogenezę i funkcje poznawcze w sposób globalny, podczas gdy trening motoryczny zwiększa neuroplastyczność dla swoistych zadań. Z perspektywy treningu fizycznego istotna jest jego intensywność, wpływająca na neuroplastyczność, a treningu motorycznego – złożoność zadania [9].

### Biologiczne podłoże wpływu aktywności fizycznej na sprawność poznawczą

Kilka mechanizmów może wyjaśniać korzyści płynące z ćwiczeń fizycznych. Badacze uważają, że odpowiedzialnymi za to mechanizmami mogą być: wzrost przepływu krwi w mózgu, wzrost stężenia neuroprzekazników i modulacja czynników neurotroficznych. Podkreślają oni także rolę białek – neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego (*brain-derived neurotrophic factor* – BDNF) i czynnika wzrostu śródbłonka naczyniowego (*vascular*

*endothelial growth factor* – VEGF) [10]. Kolejnym czynnikiem wzrostu, który może działać w ośrodkowym układzie nerwowym (OUN), jest hormon insulinopodobny czynnik wzrostu (*insulin-like growth factor-1* – IGF-1) [11].

Neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego jest jednym z głównych modulatorów plastyczności mózgu. Jest istotny nie tylko dla układu nerwowego, ale także dla procesów związanych z metabolizmem i homeostazą. Insulinopodobny czynnik wzrostu działa natomiast jak czynnik neurotroficzny w OUN, ponieważ jest odpowiedzialny za powstawanie komórek nerwowych oraz bierze udział w procesie różnicowania komórek, proliferacji, plastyczności synaps i neurogeniezie. Oprócz tego jest bezpośrednio i pośrednio zaangażowany w uczenie się oraz pamięć przestrzenną. Może być stymulowany przez hormon wzrostu lub działać od niego niezależnie. Z kolei VEGF to czynnik wzrostu biorący udział w tworzeniu sieci naczyń krwionośnych. Badacze wyjaśniają, że właśnie te czynniki – BDNF, VEGF i IGF-1 – wzmacniają proces neurogenyzy, który pojawia się także w wyniku ćwiczeń fizycznych [11].

W badaniu Dinga i wsp. [12] u szczurów, które zostały poddane 5-dniowym ćwiczeniom fizycznym, zaobserwowano podwyższone stężenia BDNF i IGF-1 w hipokampie w stosunku do wartości przed treningami. Badacze ci podjęli próbę sprawdzenia, który czynnik wpływa na pamięć, i zablokowali IGF-1 w hipokampie. Okazało się, że szczury, u których dokonano tych zabiegów, miały trudności w pokonywaniu labiryntu. Insulinopodobny czynnik wzrostu jest powiązany z zaangażowaniem procesów pamięciowych w wykonywanie ćwiczeń fizycznych i może stanowić wyjaśnienie korzystnego wpływu aktywności fizycznej na sprawność poznawczą.

Wpływ treningów aerobowych i siłowych na sprawność poznawczą może być powiązany ze wzrostem przepływu krwi przez mózg [13]. Wykazano, że po ćwiczeniach siłowych obserwowane jest wysokie stężenie hormonu stresu, co łączy się z wyższym poziomem pobudzenia, psychofizjologicznym stanem czujności i uwagi oraz znajduje odzwierciedlenie w sprawności mózgu [14]. Zwiększenie przepływu krwi w mózgu oznacza lepsze zaopatrzenie jego obszarów w tlen i składniki odżywcze.

### Wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą

Dane dostępne w literaturze wskazują, że czynniki zwiększające ryzyko zachorowania na chorobę Alzheimera i inne typy otępienia to właśnie brak aktywności fizycznej

nej oraz zachodnie wzorce żywieniowe, czyli spożywanie tłuszczów nasyconych i złożonych węglowodanów oraz niskie spożycie owoców i warzyw [15]. W metaanalizie badań stwierdzono, że większe zaangażowanie w aktywność fizyczną wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem zachorowania na chorobę Alzheimera i inne typy otępienia, a u osób, które regularnie ćwiczą, ryzyko to spada o 40% [16].

Colcombe i Kramer [17] wykazali w metaanalizie, że ćwiczenia fizyczne są związane z lepszym funkcjonowaniem poznawczym u starszych osób. Ich efekty widać w wielu aspektach funkcjonowania poznawczego – szybkości przetwarzania informacji oraz funkcjach przestrzennych, kontrolnych i wykonawczych. W licznych badaniach stwierdzono, że interwencje ruchowe – zwłaszcza treningi aerobowe lub połączenie treningów aerobowych i siłowych – poprawiają zdolności poznawcze. Wykazano także, że ćwiczenia fizyczne najbardziej usprawniają funkcje wykonawcze. Trening aerobowy największe korzyści przynosi ogólnie funkcjom wykonawczym, podczas gdy trening oporowy – takim aspektem jak hamowanie poznawcze i wzrokowa pamięć robocza. Połączenie 2 form ćwiczeń (aerobowych i siłowych) powoduje największą poprawę w zakresie wzrokowej pamięci roboczej [18].

Wykazano także dwukierunkowy związek między ćwiczeniami fizycznymi a samokontrolą, czyli zdolnością do hamowania impulsów. Zarówno lepsza samokontrola przynosi korzystne efekty w sporcie, jak i długotrwałe uczestnictwo w ćwiczeniach fizycznych zwiększa samokontrolę [19]. Ćwiczenia o umiarkowanej intensywności zwiększają samokontrolę natychmiast po ich zakończeniu, natomiast efekty ćwiczeń o wysokiej intensywności są bardziej opóźnione i ujawniają się do 1 godz. po nich [20]. Wysoki poziom samokontroli jest pomocny w przestrzeganiu zaleceń dotyczących ćwiczeń [19].

Uczeni przeprowadzili systematyczny przegląd badań [21], którego celem było sprawdzenie bezpośrednich efektów treningu siłowego na sprawność poznawczą u osób dorosłych w porównaniu z osobami niećwiczącymi. W analizowanych badaniach bezpośrednio po zakończeniu aktywności fizycznej oceniano sprawność poznawczą poprzez pomiar uwagi, pamięci roboczej, kontroli hamowania i elastyczności poznawczej. W analizie wyników 20 badań, których metodologię uznano za wysokiej jakości, wykazano, że pojedyncza sesja treningu siłowego w porównaniu z sytuacją, gdy ćwiczenia fizyczne nie były podejmowane, wpływa na ogólną zdolność poznawczą, ale także na kontrolę

hamowania i elastyczność poznawczą. Nie zaobserwowano wpływu treningu na uwagę i pamięć roboczą. Badacze nie stwierdzili różnic między treningiem siłowym a aerobowym we wpływie na analizowane funkcje poznawcze.

W badaniach zaobserwowano poprawę rezultatów pod wpływem treningu aerobowego w zakresie przywoływania oraz reprodukcji materiału werbalnego i słuchowego, szybkości wzrokowo-ruchowej oraz elastyczności poznawczej. Trening aerobowy poprawiał czas reakcji w testach mierzących przełączanie między zadaniami, powodował wzrost objętości hipokampa, prowadząc do lepszego funkcjonowania pamięci przestrzennej i epizodycznej, szybkości przetwarzania, aktualizacji oraz funkcji wykonawczych [9]. Wykazano także, że wyższa wydolność sercowo-naczyniowa jest powiązana z lepszym wykonaniem zadań angażujących funkcje wykonawcze, takich jak test Stroopa mierzący kontrolę wykonawczą oraz test Flankera badający uwagę i kontrolę poznawczą oraz zadania w paradygmacie podwójnego zadania [22].

W metaanalizie badań dotyczących efektów ćwiczeń (tj. treningów aerobowych, siłowych i mieszanych, tai-chi i jogi) na sprawność poznawczą u dorosłych >50. r.ż. stwierdzono znaczący wpływ ćwiczeń na uwagę, funkcje wykonawcze i pamięć roboczą [23]. Wyniki badań wskazują, że korzystne może być łączenie treningów siłowych z ćwiczeniami aerobowymi [24].

Ponadto dowiedziono, że udział w programach zwiększających aktywność fizyczną poprawia wydajność poznawczą niezależnie od wyjściowego stanu poznawczego uczestników [25]. Wykazano także, że pod wpływem treningu siłowego, podejmowanego raz lub 2 razy w tygodniu przez 12 miesięcy, u kobiet w starszym wieku nastąpiła poprawa w zakresie uwagi selektywnej, rozwiązywania konfliktów i kontroli uwagi w stosunku do grupy porównawczej. Poprawa była widoczna także po 2 latach. Dodatkowo wykazano, że trening prowadzony 2 razy w tygodniu usprawniał pamięć i redukował atrofię istoty białej mózgu [26]. Stwierdzono także, że po 12 tygodniach treningów siłowych u kobiet w podeszłym wieku, które prowadziły siedzący tryb życia, doszło do wzrostu siły górnej i dolnej części ciała oraz poprawy zarówno sprawności poznawczej mierzonej testem przesiewowym, jak i jakości życia [27].

W polskich badaniach z udziałem kobiet, które dodatkowo stosowały suplementację witaminą D, podjęto próbę sprawdzenia, czy ćwiczenia nordic walking mogą wpływać na sprawność poznawczą. Wykazano

znaczącą poprawę w zakresie sprawności poznawczej mierzonej *Testem łączenia punktów* oraz *Testem uwagi D2*. Ponadto pod wpływem interwencji obserwowano zmiany w zakresie szybkości przetwarzania, ogólnej zdolności percepcji, koncentracji, koordynacji wzrokowo-ruchowej i elastyczności poznawczej, a także spadek objawów depresyjnych [28].

W analizie odpowiedzi elektrofizjologicznej mózgu rejestrowanej za pomocą elektroencefalografu (EEG) podczas wykonywania zadań poznawczych wykazano, że częstotliwość podejmowania aktywności fizycznej wpływa na przebieg potencjału P300. Hillman i wsp. [29] stwierdzili, że podczas zadania hamowania poznawczego większą amplitudę potencjału P300 obserwuje się u osób starszych z wysokim i umiarkowanym poziomem aktywności fizycznej w porównaniu z osobami młodszymi. Amplituda potencjału P300 odzwierciedla stopień zaangażowania uwagi. Wyższa amplituda oznacza, że więcej zasobów poznawczych jest zaangażowanych w przetwarzanie bodźca [30]. Wyniki te sugerują, że aktywność fizyczna poprawia aspekt funkcji wykonawczych, jakim jest hamowanie poznawcze, poprzez wzrost zaangażowania zasobów poznawczych i zwiększenie szybkości przetwarzania poznawczego [29]. Wyniki badań przeglądowych wskazują, że u osób starszych aktywnych fizycznie obserwuje się krótszą latencję i wyższą amplitudę potencjału P300. W wielu badaniach wykazano korzystny wpływ regularnych ćwiczeń zarówno aerobowych, jak i siłowych na sprawność poznawczą osób starszych. Ponadto zaobserwowano wyższą amplitudę 2 składowych potencjału P300 – potencjałów P300a i P300b – w grupie osób aktywnych fizycznie w porównaniu z osobami nieaktywnymi fizycznie [31].

Sprawdzano także bezpośrednie efekty ćwiczeń aerobowych lub siłowych na sprawność poznawczą. Wykazano, że po 30 min odpoczynku po ćwiczeniach zarówno aerobowych, jak i siłowych nastąpiło skrócenie czasu potrzebnego na udzielenie odpowiedzi w zadaniach typu *switching task*, mierzących jeden z aspektów funkcji poznawczych – przełączanie, względem grupy porównawczej. Zaobserwowano także wyższą amplitudę potencjału P300b, ale bez różnic dla amplitudy potencjału N100, który odzwierciedla wcześniejszy etap przetwarzania informacji i wstępną identyfikację bodźca, co sugeruje, że bezpośrednie efekty ćwiczeń fizycznych mogą nie obejmować początkowego etapu przetwarzania poznawczego [32].

Podobne wyniki otrzymano u osób, które jeździły na rowerze przed badaniem sprawności poznawczej. Zaobserwowano u nich wyższą amplitudą potencjału

P300 względem grupy porównawczej niećwiczącej w zadaniu uwagowym, a dokładniej w zadaniu, w którym badane były 3 sieci uwagowe. Wyższą amplitudę potencjału P300 obserwowano w obszarach czołowych, centralnych i ciemieniowych w częściach zadania powiązanego z siecią wzbudzającą uwagę oraz siecią wykonawczą. Ponadto poprawę poziomu wykonania zadania po ćwiczeniach względem grupy kontrolnej obserwowano w bardziej złożonych częściach zadania [33].

Wykazano także, że osoby, które przez 6 miesięcy 3 razy w tygodniu ćwiczyły aerobowo, charakteryzowały się znaczącym wzrostem objętości istoty białej oraz istoty szarej mózgu, mierzonych za pomocą magnetycznego rezonansu jądrowego, w obszarach czołowych i skroniowych powiązanych z funkcjami wykonawczymi (w odniesieniu do badania przed interwencją) w porównaniu z grupą osób biorących udział w treningach siły i elastyczności [34]. Inni badacze wykazali, że 12 miesięcy treningów aerobowych prowadzi do istotnego wzrostu objętości hipokampa – struktury odpowiedzialnej za procesy pamięciowe – u osób starszych, co było powiązane z poprawą pamięci przestrzennej [35].

### Cel pracy

W ostatnich dekadach w wielu badaniach udało się potwierdzić korzystne efekty ćwiczeń fizycznych na sprawność poznawczą. Jak dowodzą przytaczane dane, u podłoża tego zjawiska leży kilka mechanizmów biologicznych. Badacze oprócz analizy zmian na poziomie komórkowym wykazali także związek między ćwiczeniami fizycznymi lub aktywnością fizyczną a sprawnością mózgu, co obserwowano w postaci zarówno poziomu wykonania zadań poznawczych, jak i aktywności mózgu mierzonej za pomocą oceny odpowiedzi elektrofizjologicznej oraz utlenowania mózgu w konkretnych obszarach.

Celem niniejszej pracy było dokonanie przeglądu najnowszych badań, które uwzględniają wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą, głównie funkcje wykonawcze. Jak wynika z omawianych badań, to właśnie funkcje wykonawcze są najpodatniejsze na korzyści płynące z podejmowanej aktywności fizycznej. Analiza badań z ostatnich lat umożliwi zarówno określenie kierunku obecnych badań, jak i poznanie aktualnych doniesień w tematyce, w której badania są podejmowane od dawna. Aktywność fizyczną rozumiano jako uprawianie sportu lub zwiększenie codziennej aktywności fizycznej. Przegląd badań obejmował jedynie wpływ aktywności fizycznej bez łączenia treningów poznawczych z fizycznymi.

## METODY PRZEGLĄDU

Dokonano przeglądu najnowszych badań dotyczących związku aktywności fizycznej ze sprawnością poznawczą. Objęto nim prace anglojęzyczne, bezpłatne, dostępne w bazie PubMed i opublikowane w latach 2015–2020. Przegląd przeprowadzono w styczniu 2021 r. z użyciem słów kluczowych: „cognitive skills”, „cognitive functions”, „executive functions”, „working memory”, „cognitive efficiency” i „physical activity”.

Do przeglądu włączono prace, które uwzględniały badania z udziałem osób dorosłych w różnym wieku, od wczesnej dorosłości do wieku podeszłego, bez zaburzeń poznawczych, objawów otępiennych, chorób psychicznych i fizycznych oraz ograniczeń sprawności ruchowej.

Z analiz wyłączono prace, które uwzględniały badania w grupie osób z zespołem Downa, zakażonych HIV, z chorobami Alzheimera lub Parkinsona, po przebytym udarze mózgu, z historią chorób nowotworowych lub cierpiących na cukrzycę, stwardnienie rozsiane, schizofrenię, choroby metaboliczne, zapalenie kości i stawów, a także uzależnionych od substancji psychoaktywnych.

Ponadto nie uwzględniono w analizie badań, które aktywność fizyczną łączyły z gramami wideo, zastosowaniem nowych technologii, w tym wirtualnej rzeczywistości, oraz które obejmowały aspekty biologiczne, czyli związek genów, hormonów i kortyzolu. Interwencje, które polegały na połączeniu treningów fizycznych z treningami poznawczymi, także zostały wyłączone. Przegląd obejmuje prace dotyczące jedynie aktywności sportowej lub codziennej aktywności fizycznej bądź jej braku.

## WYNIKI PRZEGLĄDU

Do analiz włączono 25 prac, które zaprezentowano w kolejności chronologicznej. Uwzględniały one głównie ocenę aktywności fizycznej od umiarkowanej do intensywnej oraz innego rodzaju aktywności codziennych. Omawiano w nich wpływ interwencji różnej długości i bezpośrednie efekty ćwiczeń fizycznych na sprawność poznawczą. Badacze oceniali także zmienne moderujące wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą, porównując różne formy aktywności. Pomiar natężenia aktywności odbywał się za pomocą metod kwestionariuszowych lub mierników zamocowanych na nadgarstku (akcelerometrów).

W pierwszym badaniu wykazano, że siedzący tryb życia i bierne spędzanie czasu wolnego – opisane jako korzystanie z komputera, granie w gry karciane lub udział w kolacji z przyjaciółmi – wiązały się z obniżeniem

funkcji wykonawczych. Z kolei aktywność fizyczna od umiarkowanej do intensywnej (*moderate to vigorous physical activity*) w postaci jazdy na rowerze, gry w tenisa czy golfa, tańca, szybkiego spaceru lub aerobiku łączyła się z wysokimi wynikami w miarach pamięci. Poprawę pamięci roboczej zaobserwowano także u osób, które były aktywne fizycznie, ale nie ćwiczyły regularnie, a ich aktywność obejmowała m.in. podlewanie roślin doniczkowych i spaceru podczas zakupów. W badaniu wzięło udział 125 osób zdrowych, bez obniżonej sprawności poznawczej, u których częstotliwość podejmowania różnych typów aktywności oceniano kwestionariuszowo. Za pomocą kwestionariusza oceniano także ekwiwalent metaboliczny przy użyciu specjalnie opracowanego algorytmu [36].

Sprawdzono także wpływ 24-tygodniowego programu ćwiczeń aerobowych o umiarkowanej intensywności na poziom stresu oksydacyjnego i markery stanu zapalnego, które są powiązane z wydajnością poznawczą, u zdrowych osób w starszym wieku. Sto zdrowych osób zostało losowo przydzielonych do grupy biorącej udział w ćwiczeniach lub do grupy porównawczej. Wykazano, że osoby aktywne fizycznie wykazywały wyższą wydajność poznawczą w porównaniu z uczestnikami nieaktywnymi. Stwierdzono znaczną poprawę m.in. zdolności myślenia oraz uwagi i koncentracji, a także redukcję stanu zapalnego i stresu oksydacyjnego [37].

W innym badaniu podjęto się sprawdzenia, czy u osób, które są w wieku, gdy sprawność poznawcza jest najwyższa (młodzi dorośli), następuje poprawa w zakresie pamięci jawnej i niejawnej oraz funkcji wykonawczych pod wpływem aktywności fizycznej. Wykazano, że aktywność fizyczna, mierzona za pomocą akcelerometrów, była dodatnio związana z jawną pamięcią relacyjną, która obejmuje zdolność wykorzystania elementów z pamięci jako całości jakiegoś wydarzenia lub sceny i dostrzegania relacji między nimi oraz z kontrolą wykonawczą. Stwierdzono także – zwłaszcza u kobiet – jej ujemny związek z niejawnym uczeniem się. Wyższa aktywność fizyczna wiązała się z mniejszą liczbą błędów w zadaniu oceniającym pamięć relacyjną oraz ze zmniejszonym wskaźnikiem interferencji Stroopa. Wyniki te oznaczają, że aktywność fizyczna korzystnie wpływa na niektóre procesy poznawcze, a także że płęć moderuje wpływ aktywności fizycznej na niejawne uczenie się [38].

W kolejnym badaniu wykazano, że zastąpienie siedzącego trybu życia (30 min siedzenia) aktywnością fizyczną od umiarkowanej do intensywnej (trwającą także 30 min) w grupie osób starszych wiązało się z większą

dokładnością wykonania zadania w jego trudniejszych wariantach, które mierzyły funkcjonowanie przestrzennej pamięci roboczej, oraz wpłynęło na czasy reakcji w wariantach prostszych, a także w zadaniu przełączania. Efekt ten zaobserwowano już po tygodniu ćwiczeń, chociaż osoby badane zostały zaproszone do udziału w treningach trwających 6 miesięcy. Aktywność fizyczną mierzono za pomocą akcelerometrów. Osoby wcześniej nieaktywne fizycznie zostały losowo przydzielone do grup. Sprawdzano także, jak sen wpływa na poprawę sprawności poznawczej. Okazało się, że wykorzystanie na sen czasu przeznaczonego na bierne (siedzące) zajęcia łączyło się z nieznacznym przyspieszeniem czasów reakcji w niektórych zadaniach [39].

Wyniki innego badania sugerują także, że wyższy poziom wydolności tlenowej wiąże się z większą objętością istoty białej, co wpływa na zachowanie na dobrym poziomie wydajności pamięci przestrzennej u osób starszych [40]. Wyniki te potwierdziły wcześniejsze doniesienia [22,34].

Celem następnego badania było sprawdzenie wpływu 1 sesji ćwiczeń na procesy poznawcze istotne w życiu codziennym, których spadek jest obserwowany wraz z wiekiem – percepcję audiowizualną i pamięć bezpośrednią. Badani zostali podzieleni na 3 grupy na podstawie ich typowej aktywności, czyli grupę, która ćwiczyła aerobik, grała w tenisa lub tańczyła, grupę, która pływała lub ćwiczyła na siłowni, oraz grupę prowadzącą siedzący tryb życia i w ramach czasu wolnego spotykającą się ze znajomymi bądź grającą w gry karciane. Pomiaru sprawności poznawczej dokonano podczas 2 sesji – przed udziałem w aktywności fizycznej, a następnie po zakończeniu aktywności fizycznej. Ocena po 60–80 min aktywności wykazała poprawę percepcji audiowizualnej w grupie, która uczestniczyła w zajęciach z aerobiku, tenisa lub tańca, oraz poprawę w 1 z miar pamięci bezpośredniej w obu grupach ćwiczących [41].

Badacze z Niemiec ocenili, czy program powszechnie wykorzystywany w ich kraju i skierowany do pacjentów z otępieniem wpływa na funkcjonowanie poznawcze osób starszych (>60 r.ż.). Program obejmuje typowe aktywności, takie jak chodzenie, zabawa i taniec, ale jego istotnymi aspektami – jak podkreślali badacze – są interakcja z innymi uczestnikami zajęć, np. poprzez kontakt fizyczny w tańcu, oraz element poznawczy w postaci zapamiętywania kolejności kroków. Przez 12 tygodni osoby badane ćwiczyły raz w tygodniu, a ich wyniki porównano z aktywną grupą, która praktykowała gimnastykę lub trening poznawczy.

Badacze podsumowali, że chociaż program powodował wzrost aktywności fizycznej względem aktywnej grupy kontrolnej, to nie przyniósł poprawy w funkcjonowaniu poznawczym względem grupy porównawczej w stosunku do pomiarów przed interwencją [42].

Inni badacze wykazali, że pojedynczy wysiłek fizyczny (35 min aktywności fizycznej) ma znacznie większy wpływ na stężenie BDNF w surowicy niż trening poznawczy lub praktyka uważności u tych samych osób [43]. Na rolę białek przy wpływie ćwiczeń fizycznych na sprawność poznawczą zwracano uwagę w wielu badaniach [10–12].

Z kolei w badaniu, którego uczestnicy brali udział w 12-tygodniowym treningu obejmującym ćwiczenia aerobowe, wykazano, że po jego zakończeniu u osób ćwiczących mózgowe stężenie choline pozostawało stabilne, a w grupie porównawczej wzrosło, co może stanowić ważny czynnik efektywności treningów aerobowych. Zwiększone stężenie choline często występuje u pacjentów z otępieniem, głównie chorobą Alzheimera. Jego podwyższenie może stanowić marker dysfunkcji cholinergiczej, a ćwiczenia fizyczne mogą spowalniać proces neurodegeneracji. Nie zaobserwowano natomiast zmian ani stężenia BDNF, ani objętości istoty szarej w odpowiedzi na ćwiczenia aerobowe [44].

Porównano także 6-miesięczny program taneczny, który był wymagający poznawczo i łączył się z koniecznością zapamiętywania kolejnych, złożonych choreografii, z typowym treningiem fitness dopasowanym intensywnością do możliwości uczestników. W badaniu dokonano pomiaru przed interwencją w celu oceny wyjściowych różnic międzygrupowych. W pomiarze przeprowadzonym po interwencji wykazano, że obie interwencje w tym samym stopniu poprawiły sprawność fizyczną. Taniec w porównaniu z zajęciami fitness doprowadził do większego wzrostu objętości różnych obszarów mózgu, w tym kory zakrętu obręczy, wyspy, ciała modzelowatego i kory czuciowo-ruchowej, a także był powiązany ze wzrostem stężenia BDNF w osoczu. W obu grupach zaobserwowano poprawę w zakresie uwagi i pamięci przestrzennej, bez istotnych różnic między grupami [45].

Inni badacze wykorzystali EEG do oceny związku między intensywnością przypadkowej aktywności fizycznej a sprawnością poznawczą u 97 zdrowych osób w starszych wieku, bez zaburzeń poznawczych. Na podstawie wyników kwestionariusza aktywności fizycznej badanych klasyfikowano do grupy aktywnej lub nieaktywnej. Wykazano, że grupa aktywna fizycznie uzyskała lepsze wyniki m.in. w testach na inteligencję, testach mierzących szybkość przetwarzania, rozumowanie,

dopasowywanie obrazków oraz kodowanie cyfrowo-symboliczne. Ponadto osoby aktywne fizycznie wykazywały mniejszą moc w paśmie  $\delta$  i  $\theta$  EEG, a wyższą moc w paśmie  $\alpha$  głównie w obszarach czołowo-skroniowych podczas stanu spoczynkowego niż osoby nieaktywne fizycznie, co wskazuje, że ćwiczenia fizyczne wpływają na aktywność elektryczną mózgu [46].

Ponadto porównywano interwencje w postaci treningów wodnych i lądowych we wpływie m.in. na pamięć roboczą u osób starszych, a wyniki tych osób odniesiono do grupy porównawczej, która nie ćwiczyła. Treningi trwały 12 tygodni i obejmowały 30 min aktywności 2 razy w tygodniu. Okazało się, że po 12 tygodniach badani, którzy uczestniczyli w treningach wodnych, osiągnęli wyższe wyniki w testach mierzących werbalną i wzrokowo-przestrzenną pamięć roboczą, co może być wyjaśniane z perspektywy poprawy pracy mózgu po zanurzeniu ciała w wodzie. Dużym ograniczeniem badania był jednak brak randomizacji [47].

Podjęto się także sprawdzenia pośredniczącej roli snu we wpływie aktywności fizycznej na sprawność poznawczą, a zwłaszcza kontrolę wykonawczą, u młodych i starszych dorosłych. Efektywność snu, jego długość oraz aktywność fizyczną mierzono za pomocą akcelerometru przez tydzień bez przerwy. Pomiaru sprawności poznawczej dokonano na początku badania oraz po tygodniu noszenia akcelerometrów. Wykazano, że jakość snu, ale nie jego długość, pośredniczyła między aktywnością fizyczną a funkcjami wykonawczymi, kontrolą wykonawczą, pamięcią roboczą mierzona zadaniami N-back i Sternberga, zdolnością przełączania, płynnością werbalną oraz zdolnością przypomnienia [48].

Celem innego badania było porównanie wpływu ćwiczeń aerobowych o umiarkowanej intensywności oraz napojów zawierających kofeinę na pamięć roboczą. Wykazano, że ćwiczenia aerobowe o umiarkowanej intensywności oraz napoje z kofeiną znacznie poprawiły funkcjonowanie pamięci roboczej mierzonej zadaniem N-back zarówno u osób, które regularnie piją takie napoje, jak i u tych, którzy nie piją ich wcale, i porównywalnie zredukowały objawy odstawienia kofeiny. Wydajność pamięci roboczej po odstawieniu kofeiny nie zmniejszyła się [49].

W innym badaniu również oceniano związek między aktywnością fizyczną lub siedzącym trybem życia a funkcjonowaniem poznawczym. Aktywność fizyczną lub jej brak oceniano za pomocą akcelerometrów. Pomiaru sprawności poznawczej przeprowadzono przed rozpoczęciem noszenia akcelerometrów

i po 8 tygodniach korzystania z nich. Wykazano, że czas spędzony na aktywności fizycznej od umiarkowanej do intensywnej nie był związany z żadnym z mierzonych procesów poznawczych. Osoby, które prowadziły siedzący tryb życia i wykonywały prace biurowe, miały lepsze wyniki w zakresie zdolności przypomnienia słów. Osoby te z uwagi na charakter pracy mogły być bardziej zaangażowane w niej w złożone zadania poznawcze. Okazało się jednak, że osoby mniej sprawne fizycznie osiągały większe korzyści z podejmowanej aktywności fizycznej w zakresie wpływu aktywności na takie procesy poznawcze jak kontrola wykonawcza mierzona za pomocą testu Stroopa, natomiast osoby bardziej sprawne fizycznie pod wpływem aktywności fizycznej osiągały gorsze wyniki w zakresie rozpoznawania. Wyniki tych badań nie pozwalają na stwierdzenie, że więcej czasu spędzonego na aktywności fizycznej i mniej siedzącego trybu życia wiąże się z wyższą sprawnością poznawczą [50]. Istotne pozostaje to, że badani byli w ramach pracy zaangażowani w działanie stymulujące poznawczo, co mocniej wpływało na ich sprawność poznawczą niż podejmowana aktywność fizyczna.

Porównano także spaceru w różnym otoczeniu i ich związek ze sprawnością poznawczą w tej samej grupie uczestników. Badani spacerowali przez 50 min leśną ścieżką lub wzdłuż ruchliwej ulicy, a pomiar sprawności poznawczej odbywał się po 2 godz. codziennej aktywności. Nie wykazano znaczącej poprawy pojemności pamięci roboczej w wyniku spacerów w zależności od lokalizacji w stosunku do pomiaru przed spacerem ani w porównaniu z pomiarami po codziennych aktywnościach [51].

W kolejnej pracy opisano badanie podłużne z udziałem 862 Portorykańczyków, w którym przez 2 lata oceniano wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą. W badaniu uwzględniono dzienne natężenie aktywności fizycznej (sen, aktywność lekką oraz od umiarkowanej do intensywnej) mierzone kwestionariuszowo. Okazało się, że aktywność fizyczna nie była związana ze zmianami w sprawności funkcji wykonawczych. Porównując jednak osoby o niskiej wyjściowej aktywności fizycznej z osobami o aktywności umiarkowanej, stwierdzono, że prawdopodobieństwo spadku funkcji pamięci w ciągu 2 lat było o 48% mniejsze u osób bardziej aktywnych [52].

W innym badaniu sprawdzano, czy wzrost aktywności fizycznej do poziomu lekkiego lub od umiarkowanego do intensywnego wpłynie na funkcjonowanie poznawcze u osób starszych bez diagnozy otępienia.



Badani byli losowo przydzielani do grupy aktywnej, która ćwiczyła, lub do grupy porównawczej, w której nie zwiększano aktywności fizycznej, i przez tydzień nosili akcelerometry. Pomiar przeprowadzono przed interwencją oraz po 6 i 12 miesiącach jej trwania. Nie wykazano różnic w sprawności poznawczej między grupami ćwiczącą a porównawczą, która uczestniczyła w programie nieobejmującym ćwiczeń fizycznych. Zauważono jednak, że w grupie interwencyjnej efekt moderuje intensywność podejmowanej aktywności fizycznej. Wykazano, że właśnie aktywność fizyczna od umiarkowanej do intensywnej łączyła się z poprawą funkcjonowania poznawczego po 12 miesiącach ćwiczeń u osób, które taką aktywność podejmowały. Poprawę oceniono na podstawie wyników w *Teście łączenia punktów* i zadaniu przeszukiwania symboli [53].

Badacze ze Szwecji spróbowali natomiast odpowiedzieć na pytanie, w jakim stopniu wydolność tlenowa, aktywność fizyczna od umiarkowanej do intensywnej oraz siedzący tryb życia są związane z wydajnością poznawczą osób dorosłych. Badanie przeprowadzono z udziałem 216 uczestników, którzy przez 7 dni nosili akcelerometry. Wykazano, że wyższy odsetek aktywności fizycznej od umiarkowanej do intensywnej nie był powiązany z żadnym z wyników testów uwagi wykonawczej, łączył się natomiast z lepszą zdolnością werbalną. Więcej czasu spędzonego na aktywności siedzącej, która – co warto zaznaczyć – obejmowała też czytanie, łączyło się z lepszą sprawnością poznawczą w wielu domenach, z wyjątkiem wyników w 1 teście uwagi wykonawczej i pamięci werbalnej. Wykazano ponadto, że wyższa wydolność tlenowa, mierzona podczas aktywności fizycznej, jest powiązana z lepszym funkcjonowaniem uwagi wykonawczej i większą szybkością [54].

Zbadano także wpływ jednej 10-minutowej sesji aktywności fizycznej w postaci biegania na funkcje poznawcze, a konkretnie uwagę wzrokową, w porównaniu z siedzącym trybem życia w populacji studentów uprawiających sport. Pięćdziesiąt jeden osób zostało losowo podzielonych na 2 grupy. W badaniu pomiaru dokonano bezpośrednio przed ćwiczeniem, bezpośrednio po ćwiczeniu oraz 30 min po zakończonym treningu. Grupa interwencyjna charakteryzowała się lepszą uwagą wzrokową mierzoną *Testem łączenia punktów* po ćwiczeniu niż grupa porównawcza, która ten czas spędziła, siedząc. Bezpośrednio po ćwiczeniu grupa interwencyjna cechowała się również wyższą subiektywnie postrzeganą sprawnością uwagi i wyższym poziomem pobudzenia niż grupa porównawcza,

ale efektu tego nie wykazano w pomiarze 30 min po ćwiczeniu [55].

Ponadto wykazano, że mierzony za pomocą kwestionariusza poziom aktywności fizycznej wpływał umiarkowanie na funkcje wykonawcze i czas reakcji w bardziej złożonych częściach zadania Stroopa, jakim jest przełączanie, u zdrowych młodych mężczyzn. Ponadto aktywność fizyczna w umiarkowanym stopniu oddziaływała na aktywność w prawym i lewym obszarze przedczołowym w najbardziej złożonym warunku zadania, co mierzono za pomocą funkcjonalnej spektroskopii bliskiej podczerwieni [56].

Stwierdzono również, że osoby starsze o wysokim poziomie aktywności fizycznej (pomiar za pomocą kwestionariusza) osiągają wyższą dokładność w zadaniach mierzących funkcjonowanie pamięci roboczej niż osoby starsze o niskim poziomie aktywności fizycznej w warunkach niskiego obciążenia pamięci roboczej, natomiast nie w warunkach wysokiego jej obciążenia. Zaobserwowano także różnice między grupami w odpowiedzi elektrofizjologicznej mózgu [57].

Oceniono też funkcjonowanie poznawcze kobiet przed rozpoczęciem treningów oraz po 3 i 6 miesiącach ćwiczenia zumbi 2 razy w tygodniu względem grupy porównawczej, której zadaniem było utrzymanie dotychczasowej aktywności. Wykazano, że względem grupy porównawczej kobiety ćwiczące zumbę po 3 miesiącach cechowały się wyższą jakością życia, a po 6 miesiącach lepszą pamięcią wzrokowo-przestrzenną i zdolnością hamowania poznawczego [58].

Podjęto także próby opracowania równania wykonywanego parametry aktywności fizycznej do przewidywania funkcjonowania poznawczego zdrowych osób w starszym wieku. Ujawniono, że wiek, sprawność poznawcza mierzona baterią do pomiaru różnych funkcji poznawczych i zdolność chwytu ręcznego korelowały z wynikami *Krótkiej skali oceny stanu psychicznego (Mini Mental State Examination)* oraz przygotowano równanie uwzględniające otrzymane wartości w zakresie badanych zmiennych [59].

Wykazano wreszcie, że częstsza aktywność fizyczna o intensywnym lub umiarkowanym nasileniu w porównaniu z aktywnością o niskiej intensywności (np. chodzeniem), mierzona kwestionariuszowo, była związana z lepszymi wynikami w zakresie zdrowia psychicznego i poznawczego u zdrowych młodych mężczyzn. Aktywność fizyczna o intensywnym lub umiarkowanym nasileniu łączyła się z lepszym radzeniem sobie w trudnych sytuacjach niż aktywność trwająca 10 min i podejmowana raz lub 2 razy w tygodniu [60].

## WNIOSKI

Wiele danych wskazuje na korzystny wpływ ćwiczeń fizycznych – zarówno aerobowych, jak i siłowych, a także ich połączenia – na sprawność poznawczą. W licznych badaniach dowiedziono, że treningi różnej długości przyczyniają się do poprawy sprawności funkcji wykonawczych – hamowania poznawczego, elastyczności poznawczej, kontroli poznawczej i rozwiązywania konfliktów. Wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą znajduje wyjaśnienie w mechanizmach biologicznych, procesach odbywających się na poziomie komórkowym oraz w OUN. Trening fizyczny, który angażuje funkcje poznawcze, sprawia, że aktywowane są określone obszary mózgu odpowiedzialne za te funkcje. Zapamiętywanie kroków w tańcu, podążanie za instruktorem i naśladowanie go, planowanie kolejnych ruchów czy poruszanie się w terenie sprzyja poprawie umiejętności zapamiętywania, orientacji w miejscu i koordynacji wzrokowo-ruchowej. Stosowanie strategii radzenia sobie w sporcie znajduje odzwierciedlenie w liczbie strategii poznawczych, które stosuje się w codziennym życiu.

W omawianych badaniach podejmowana aktywność fizyczna była powiązana z wyższą wydajnością poznawczą i uwagą [37,54,55], jawną pamięcią relacyjną [38], wysokimi wynikami w miarach pamięci [36], poprawą funkcjonowania przestrzennej pamięci roboczej [39,47], poprawą pamięci przestrzennej [40,45,58] i bezpośredniej [41], a także funkcji wykonawczych [38,39,53,55,56,58], w tym pamięci roboczej [49,57].

Wyniki badań ujawniają, że korzyści przynosi już 1 sesja ćwiczeń fizycznych. Na przykład po 10 min bieganina zaobserwowano lepszą uwagą wzrokową mierzoną bezpośrednio po zakończeniu aktywności względem grupy porównawczej [55]. Wykazano także poprawę percepcji audiowizualnej i częściowo pamięci bezpośredniej w grupie, która uczestniczyła w zajęciach z aerobiku, tenisa lub tańca, w porównaniu z grupą, która nie ćwiczyła [41].

W badaniach oceniających sprawność poznawczą w grupach interwencyjnych poddanych treningom fizycznym i w grupach porównawczych, które nie były zaangażowane w dodatkową aktywność fizyczną, wykazano, że w grupach interwencyjnych po 24 tygodniach treningów aerobowych nastąpiła poprawa zdolności myślenia oraz uwagi i koncentracji u starszych osób [37] oraz że już po tygodniu treningów trwających 30 min i zastępujących siedzenie nastąpiło lepsze

wykonanie zadań dotyczących przestrzennej pamięci roboczej [39]. Poprawę zauważono także u kobiet po 6 miesiącach ćwiczeń zumbi w zakresie pamięci wzrokowo-przestrzennej i zdolności hamowania poznawczego względem grupy porównawczej [58].

Ponadto wykazano poprawę w zakresie uwagi i pamięci przestrzennej zarówno u osób, które przed 6 miesiący uczyły się tańca ze złożoną choreografią, jak i u osób uczestniczących w zajęciach fitness, bez istotnych różnic między grupami [45]. Okazało się także, że 12 tygodni treningów w wodzie może skuteczniej poprawiać pamięć roboczą niż treningi na lądzie [47].

W badaniach, w których oceniano częstotliwość podejmowanej aktywności fizycznej, dowiedziono, że osoby aktywniejsze fizycznie lepiej funkcjonują poznawczo. Związek ten obserwowano w zadaniach złożonych poznawczo u zdrowych osób dorosłych [36], osób młodych [38], osób starszych, u których oprócz lepszej sprawności poznawczej zaobserwowano inną odpowiedź elektryczną mózgu [46,57], oraz zdrowych mężczyzn [56]. Ponadto wyższy poziom wydolności tlenowej wiązał się z większą objętością istoty białej i zachowaniem na dobrym poziomie wydajności pamięci przestrzennej u osób starszych [40] oraz lepszym funkcjonowaniem uwagi wykonawczej i lepszą szybkością u osób dorosłych [54].

Wykazano, że efekty przynosi aktywność fizyczna od umiarkowanej do intensywnej, ale nie lekka aktywność fizyczna [53,60]. Ponadto stwierdzono, że na to, czy osiągamy korzystne efekty aktywności fizycznej na sprawność poznawczą, wpływa jakość snu [48], a także że spożywanie kofeiny oddziałuje na pamięć roboczą podobnie jak aktywność fizyczna [49].

Spośród analizowanych badań tylko 1 odnosiło się do oceny efektów długoterminowych. Wykazano w nim, że osoby umiarkowanie aktywne fizycznie cechowały się mniejszym prawdopodobieństwem wystąpienia spadku funkcjonowania pamięci w ciągu 2 lat w porównaniu z osobami aktywnymi fizycznie w stopniu lekkim [52].

W niektórych badaniach nie wykazano wpływu aktywności fizycznej na sprawność poznawczą lub niektóre procesy poznawcze, ale były one prowadzone z udziałem osób, które na co dzień w ramach realizacji obowiązków zawodowych były zaangażowane w działania stymulujące poznawczo, co może przynosić większe korzyści niż aktywność fizyczna [50,54].

Siedzący tryb życia okazał się powiązany z obniżeniem funkcji wykonawczych [36], ale rodzaj podejmowanych biernych czynności, np. czytanie, stymulująca praca, wpływa na to, że poprawiają się niektóre aspekty

funkcjonowania poznawczego [50,54]. Wykazano, że program powszechnie stosowany w Niemczech – mimo że pod jego wpływem zaobserwowano wzrost aktywności fizycznej względem aktywnej grupy porównawczej – nie spowodował większej poprawy w funkcjonowaniu poznawczym w stosunku do pomiaru przed interwencją, jednak badacze postanowili utworzyć grupę kontrolną z uczestników treningów poznawczych lub ćwiczących gimnastykę [42]. Nie zaobserwowano natomiast zmian stężenia BDNF ani zmian objętości istoty szarej w odpowiedzi na ćwiczenia aerobowe względem grupy porównawczej oczekującej na treningi [44], przy czym te wyniki okazały się sprzeczne z wynikami innych badań [10–12,43].

W niniejszym przeglądzie badań wykazano, że większość wyników wskazuje na korzystny wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą. Brak jednoznacznie potwierdzonych korzyści pojawił się tylko w sytuacji, gdy grupę kontrolną stanowili uczestnicy zajęć z gimnastyki czy treningów poznawczych, nawet mniej aktywni fizycznie niż członkowie badanego programu, to jednak zaangażowani w ćwiczenia [42], oraz w sytuacji, gdy badanie prowadzono w grupie osób pracujących umysłowo [50,54]. W pojedynczym badaniu wykazano także, że spacerowanie nie powoduje większych zmian niż codzienna aktywność fizyczna [51].

Warto zwrócić uwagę na to, że ocena intensywności aktywności fizycznej opierała się często na miarach kwestionariuszowych [36,46,52,56,57,60], gdzie badani subiektywnie wskazywali intensywność swojej aktywności fizycznej. Tylko w niektórych badaniach wykorzystywano akcelerometrię do pomiaru aktywności fizycznej [38,39,48,50,53,54] i np. długości i jakości snu, co wydaje się nowym trendem. Analiza dostępnych badań wskazuje też na brak jednolitych metod pomiaru sprawności poznawczej. W znacznej części z nich oceniano funkcjonowanie poznawcze na podstawie standardowych testów neuropsychologicznych, mimo że zdecydowanie dokładniejszy byłby pomiar komputery z uwagi na precyzyjniejszą ocenę czasów reakcji i popełnianych błędów. Ponadto czułe zmiany w funkcjonowaniu mózgu mogą zostać wychwycone za pomocą technik neuroobrazowych, np. podczas badań z wykorzystaniem EEG i oceny aktywności elektrycznej mózgu. Obserwowano różnice między osobami aktywnymi fizycznie a nieaktywnymi w potencjałach P300, na których podstawie można wnioskować o zaangażowaniu zasobów poznawczych w przetwarzanie bodźca.

Badacze oceniali wpływ interwencji różnej długości, zazwyczaj trwających kilka miesięcy, bez kontroli

innych zmiennych, które w sposób dynamiczny mogłyby wpływać na efektywność aktywności fizycznej i sprawność poznawczą. Kontrola dodatkowych czynników jest niezbędna, by móc ocenić wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą.

Regularna aktywność fizyczna wpływa jednak korzystnie na zdrowie i sprawność poznawczą. Stanowi konieczny element działań profilaktycznych w celu utrzymywania sprawności poznawczej na dobrym poziomie. Podejmowanie działań interwencyjnych w zakresie treningów fizycznych i analiza wyników tych badań jest nowym trendem. Chociaż badania w tym obszarze były podejmowane już wcześniej, to w ostatnich latach zyskały na popularności. Obecne możliwości technologiczne powodują, że mogą być one prowadzone przy użyciu metod neuroobrazowania mózgu.

Podejmowanie badań dotyczących wpływu ćwiczeń fizycznych na sprawność poznawczą jest istotne z perspektywy ogólnospołecznej. Uzyskane wyniki wskazują na efektywność ćwiczeń fizycznych i ich wpływ na sprawność poznawczą, a tym samym stanowią odpowiedź na potrzebę przeciwdziałania procesowi obniżenia sprawności poznawczej pojawiającego się wraz z wiekiem, istotną w społeczeństwach starzejących się. Konieczne są dalsze badania mające na celu opracowanie skuteczniejszych technik interwencyjnych i określenie zaleceń profilaktycznych służących zachowaniu sprawności poznawczej na dobrym poziomie.

## PIŚMIENNICTWO

1. Lutz W., Sanderson W., Scherbov S.: The coming acceleration of global population ageing. *Nature* 2008;451(7179): 716–719, <https://doi.org/10.1038/nature06516>
2. World Health Organization [Internet]. Organization, Genewa 2020 [cytowany 3 kwietnia 2021]. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Adres: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>
3. Titz C., Karbach J.: Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychol. Res.* 2014;78(6):852–868, <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0537-1>
4. Diamond A.: Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.* 2013;64:135–168, <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
5. Miyake A., Friedman N.P., Emerson M.J., Witzki A.H., Howerter A., Wager T.D.: The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cogn. Psychol.* 2000;41(1):49–100, <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

6. Nyberg L., Salami A., Andersson M., Eriksson J., Kalpozos G., Kauppi K. i wsp.: Longitudinal evidence for diminished frontal cortex function in aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2010;107(52):22682–22686, <https://doi.org/10.1073/pnas.1012651108>
7. Salthouse T.A.: When does age-related cognitive decline begin?. *Neurobiol. Aging* 2009;30(4):507–514, <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023>
8. Nguyen L., Murphy K., Andrews G.: Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Res. Rev.* 2019;53:100912, <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>
9. Netz Y.: Is There a Preferred Mode of Exercise for Cognition Enhancement in Older Age? – A Narrative Review. *Front. Med. (Lausanne)* 2019;6:57, <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00057>
10. Deslandes A., Moraes H., Ferreira C., Veiga H., Silveira H., Mouta R. i wsp.: Exercise and mental health: many reasons to move. *Neuropsychobiology* 2009;59(4):191–198, <https://doi.org/10.1159/000223730>
11. Cassilhas R.C., Tufik S., de Mello M.T.: Physical exercise, neuroplasticity, spatial learning and memory. *Cell Mol. Life Sci.* 2016;73(5):975–983, <https://doi.org/10.1007/s001018-015-2102-0>
12. Ding Q., Vaynman S., Akhavan M., Ying Z., Gomez-Pinilla F.: Insulin-like growth factor I interfaces with brain-derived neurotrophic factor-mediated synaptic plasticity to modulate aspects of exercise-induced cognitive function. *Neuroscience* 2006;140(3):823–833, <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.02.084>
13. Ogoh S., Ainslie P.N.: Cerebral blood flow during exercise: mechanisms of regulation. *J. Appl. Physiol.* 2009;107(5):1370–1380, <https://doi.org/10.1152/japphysiol.00573.2009>
14. Tsai C.L., Wang C.H., Pan C.Y., Chen F.C., Huang T.H., Chou F.Y.: Executive function and endocrinological responses to acute resistance exercise. *Front. Behav. Neurosci.* 2014;8:262, <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00262>
15. Leher P., Villaseca P., Hogervorst E., Maki P.M., Henderson V.W.: Individually modifiable risk factors to ameliorate cognitive aging: a systematic review and meta-analysis. *Climacteric* 2015;18(5):678–689, <https://doi.org/10.3109/13697137.2015.1078106>
16. Kobayashi-Cuya K.E., Sakurai R., Suzuki H., Ogawa S., Takebayashi T., Fujiwara Y.: Observational Evidence of the Association Between Handgrip Strength, Hand Dexterity, and Cognitive Performance in Community-Dwelling Older Adults: A Systematic Review. *J. Epidemiol.* 2018;28(9):373–381, <https://doi.org/10.2188/jea.JE20170041>
17. Colcombe S., Kramer A.F.: Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychol. Sci.* 2003;14(2):125–130, <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01430>
18. Sprague B.N., Freed S.A., Webb C.E., Phillips C.B., Hyun J., Ross L.A.: The impact of behavioral interventions on cognitive function in healthy older adults: A systematic review. *Ageing Res. Rev.* 2019;52:32–52, <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.04.002>
19. Boat R., Cooper S.B.: Self-Control and Exercise: A Review of the Bi-Directional Relationship. *Brain Plast.* 2019;5(1):97–104, <https://doi.org/10.3233/BPL-190082>
20. Chang Y.K., Labban J.D., Gapin J.I., Etnier J.L.: The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res.* 2012;1453:87–101, <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
21. Wilke J., Giesche F., Klier K., Vogt L., Herrmann E., Banzer W.: Acute Effects of Resistance Exercise on Cognitive Function in Healthy Adults: A Systematic Review with Multilevel Meta-Analysis. *Sports Med.* 2019;49(6):905–916, <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01085-x>
22. Pentikäinen H., Savonen K., Ngandu T., Solomon A., Komulainen P., Paajanen T. i wsp.: Cardiorespiratory Fitness and Cognition: Longitudinal Associations in the FINGER Study. *J. Alzheimers Dis.* 2019;68(3):961–968, <https://doi.org/10.3233/JAD-180897>
23. Northey J.M., Cherbuin N., Pampa K.L., Smee D.J., Rattray B.: Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: a systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(3):154–160, <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096587>
24. Smith P.J., Blumenthal J.A., Hoffman B.M., Cooper H., Strauman T.A., Welsh-Bohmer K.: Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosom. Med.* 2010;72(3):239–252, <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181d14633>
25. Morris J.K., Vidoni E.D., Johnson D.K., Van Sciver A., Mahnken J.D., Honea R.A. i wsp.: Aerobic exercise for Alzheimer’s disease: A randomized controlled pilot trial. *PLoS ONE* 2017;12(2):e0170547, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170547>
26. Best J.R., Chiu B.K., Liang Hsu C., Nagamatsu L.S., Liu-Ambrose T.: Long-term effects of resistance exercise training on cognition and brain volume in older women: results from a randomized controlled trial. *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 2015;21:745–756, <https://doi.org/10.1017/S1355617715000673>
27. Smolarek Ade C., Ferreira L.H., Mascarenhas L.P., McAnulty S.R., Varela K.D., Dangui M.C. i wsp.:

- The effects of strength training on cognitive performance in elderly women. *Clin. Interv. Aging.* 2016;11:749–754, <https://doi.org/10.2147/CIA.S102126>
28. Lipowski M., Walczak-Kozłowska T., Lipowska M., Kortas J., Antosiewicz J., Falcioni G. i wsp.: Improvement of Attention, Executive Functions, and Processing Speed in Elderly Women as a Result of Involvement in the Nordic Walking Training Program and Vitamin D Supplementation. *Nutrients* 2019;11(6):1311, <https://doi.org/10.3390/nu11061311>
29. Hillman C.H., Belopolsky A.V., Snook E.M., Kramer A.F., McAuley E.: Physical activity and executive control: implications for increased cognitive health during older adulthood. *Res. Q. Exerc. Sport.* 2004;75(2):176–185, <https://doi.org/10.1080/02701367.2004.10609149>
30. Polich J.: Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin. Neurophysiol.* 2007;118(10):2128–2148, <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
31. Pedroso R.V., Fraga F.J., Ayán C., Cancela Carral J.M., Scarpari L., Santos-Galduróz R.F.: Effects of physical activity on the P300 component in elderly people: a systematic review. *Psychogeriatrics.* 2017;17(6):479–487, <https://doi.org/10.1111/psyg.12242>
32. Wu C.H., Karageorghis C.I., Wang C.C., Chu C.H., Kao S.C., Hung T.M.: Effects of acute aerobic and resistance exercise on executive function: An ERP study. *J. Sci. Med. Sport.* 2019;22(12):1367–1372, <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.07.009>
33. Chang Y.K., Pesce C., Chiang Y.T., Kuo C.Y., Fong D.Y.: Antecedent acute cycling exercise affects attention control: an ERP study using attention network test. *Front. Hum. Neurosci.* 2015;9:156, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00156>
34. Colcombe S.J., Erickson K.I., Scalf P.E., Kim J.S., Prakash R., McAuley E. i wsp.: Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* 2006;61(11):1166–1170, <https://doi.org/10.1093/gerona/61.11.1166>
35. Erickson K.I., Voss M.W., Prakash R.S., Basak C., Szabo A., Chaddock L. i wsp.: Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2011;108(7):3017–3022, <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
36. Steinberg S.I., Sammel M.D., Harel B.T., Schembri A., Policastro C., Bogner H.R.: Exercise, sedentary pastimes, and cognitive performance in healthy older adults. *Am. J. Alzheimers. Dis. Other Dement.* 2015;30(3):290–298, <https://doi.org/10.1177/1533317514545615>
37. Alghadir A.H., Gabr S.A., Al-Eisa E.S.: Effects of Moderate Aerobic Exercise on Cognitive Abilities and Redox State Biomarkers in Older Adults. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2016;2545168, <https://doi.org/10.1155/2016/2545168>
38. Stillman C.M., Watt J.C., Grove G.A. Jr., Wollam M.E., Uyar F., Mataro M. i wsp.: Physical Activity Is Associated with Reduced Implicit Learning but Enhanced Relational Memory and Executive Functioning in Young Adults. *PLoS ONE* 2016;11(9):e0162100, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162100>
39. Fanning J., Porter G., Awick E.A., Ehlers D.K., Roberts S.A., Cooke G. i wsp.: Replacing sedentary time with sleep, light, or moderate-to-vigorous physical activity: effects on self-regulation and executive functioning. *J. Behav. Med.* 2017; 40(2):332–342, <https://doi.org/10.1007/s10865-016-9788-9>
40. Oberlin L.E., Verstynen T.D., Burzynska A.Z., Voss M.W., Prakash R.S., Chaddock-Heyman L. i wsp.: White matter microstructure mediates the relationship between cardiorespiratory fitness and spatial working memory in older adults. *Neuroimage* 2016;131:91–101, <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.053>
41. O'Brien J., Ottoboni G., Tessari A., Setti A.: One bout of open skill exercise improves cross-modal perception and immediate memory in healthy older adults who habitually exercise. *PLoS ONE.* 2017;12(6):e0178739, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178739>
42. Streber A., Abu-Omar K., Hentschke C., Rütten A.: A multicenter controlled study for dementia prevention through physical, cognitive and social activities – GESTALT-kompakt. *Clin. Interv. Aging* 2017;12:2109–2121, <https://doi.org/10.2147/CIA.S141163>
43. Håkansson K., Ledreux A., Daffner K., Terjestam Y., Bergman P., Carlsson R. i wsp.: BDNF Responses in Healthy Older Persons to 35 Minutes of Physical Exercise, Cognitive Training, and Mindfulness: Associations with Working Memory Function. *J. Alzheimers Dis.* 2017; 55(2):645–657, <https://doi.org/10.3233/JAD-160593>
44. Matura S., Fleckenstein J., Deichmann R., Engeroff T., Füzéki E., Hattingen E. i wsp.: Effects of aerobic exercise on brain metabolism and grey matter volume in older adults: results of the randomised controlled SMART trial. *Transl. Psychiatry* 2017;7(7):e1172, <https://doi.org/10.1038/tp.2017.135>
45. Rehfeld K., LuÈders A., HoÈkelmann A., Lessmann V., Kaufmann J., Brigadski T. i wsp.: Dance training is superior to repetitive physical exercise in inducing brain plasticity in the elderly. *PLoS ONE* 2018;13(7):e0196636, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196636>
46. Sanchez-Lopez J., Silva-Pereyra J., Fernandez T., Alatorre-Cruz G.C., Castro-Chavira S.A., Gonzalez-Lopez M. i wsp.: High levels of incidental physical activity are positively associated with cognition and EEG activity in aging.

- PLoS ONE 2018;13(1):e0191561, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191561>
47. Nissim M., Livny A., Barmatz C., Tsarfaty G., Berner Y., Sacher Y. i wsp.: Effects of aquatic physical intervention on fall risk, working memory and hazard-perception as pedestrians in older people: a pilot trial. *BMC Geriatr.* 2020;20(1):74, <https://doi.org/10.1186/s12877-020-1477-4>
48. Wilckens K.A., Erickson K.I., Wheeler M.E.: Physical Activity and Cognition: A Mediating Role of Efficient Sleep. *Behav. Sleep Med.* 2018;16(6):569–586, <https://doi.org/10.1080/15402002.2016.1253013>
49. Morava A., Fagan M.J., Prapavessis H.: Effects of Caffeine and Acute Aerobic Exercise on Working Memory and Caffeine Withdrawal. *Sci. Rep.* 2019;9:19644, <https://doi.org/10.1038/s4159801956251-y>
50. Bojsen-Møller E., Boraxbekk C.J., Ekblom Ö., Blom V., Ekblom M.M.: Relationships between Physical Activity, Sedentary Behaviour and Cognitive Functions in Office Workers. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019;16(23):4721, <https://doi.org/10.3390/ijerph16234721>
51. Koselka E.P.D., Weidner L.C., Minasov A., Berman M.G., Leonard W.R., Santoso M.V. i wsp.: Walking Green: Developing an Evidence Base for Nature Prescriptions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019;16(22):4338, <https://doi.org/10.3390/ijerph16224338>
52. Loprinzi P.D., Scott T.M., Ikuta T., Addoh O., Tucker K.L.: Association of physical activity on changes in cognitive function: Boston Puerto Rican Health Study. *Phys. Sports Med.* 2019;47(2):227–231, <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1547087>
53. Zlatar Z.Z., Godbole S., Takemoto M., Crist K., Sweet C.M.C., Kerr J. i wsp.: Changes in Moderate Intensity Physical Activity Are Associated With Better Cognition in the Multilevel Intervention for Physical Activity in Retirement Communities (MIPARC) Study. *Am. J. Geriatr. Psychiatry* 2019;27(10):1110–1121, <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2019.04.011>
54. Ekblom M.M., Ekblom Ö.B., Börjesson M., Bergström G., Jern C., Wallin A.: Device-Measured Sedentary Behavior, Physical Activity and Aerobic Fitness Are Independent Correlates of Cognitive Performance in Healthy Middle-Aged Adults-Results from the SCAPIS Pilot Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019;16(24):5136, <https://doi.org/10.3390/ijerph16245136>
55. Niedermeier M., Weiss E.M., Steidl-Müller L., Burtscher M., Kopp M.: Acute Effects of a Short Bout of Physical Activity on Cognitive Function in Sport Students. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020;17(10):3678, <https://doi.org/10.3390/ijerph17103678>
56. Goenarjo R., Bosquet L., Berryman N., Metier V., Perrochon A., Fraser S.A. i wsp.: Cerebral Oxygenation Reserve: The Relationship Between Physical Activity Level and the Cognitive Load During a Stroop Task in Healthy Young Males. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020;17(4):1406, <https://doi.org/10.3390/ijerph17041406>
57. Alatorre-Cruz G.C., Sanchez-Lopez J., Silva-Pereyra J., Fernández T.: Effects of incidental physical activity on morphosyntactic processing in aging. *PLoS ONE* 2020; 15(9):e0239727, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239727>
58. Stonnington C.M., Krell-Roesch J., Locke D.E.C., Hentz J.G., Dueck A.C., Geda Y.E. i wsp.: Impact of Zumba on Cognition and Quality of Life is Independent of APOE4 Carrier Status in Cognitively Unimpaired Older Women: A 6-Month Randomized Controlled Pilot Study. *Am. J. Alzheimers Dis. Other Demen.* 2020;35, <https://doi.org/10.1177/1533317519868370>
59. Emerenziani G.P., Vaccaro M.G., Izzo G., Greco F., Rotundo L., Lacava R. i wsp.: Prediction equation for estimating cognitive function using physical fitness parameters in older adults. *PLoS ONE* 2020;15(5):e0232894, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232894>
60. Nakagawa T., Koan I., Chen C., Matsubara T., Hagiwara K., Lei H. i wsp.: Regular Moderate- to Vigorous-Intensity Physical Activity Rather Than Walking Is Associated with Enhanced Cognitive Functions and Mental Health in Young Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020;17(2):614, <https://doi.org/10.3390/ijerph17020614>