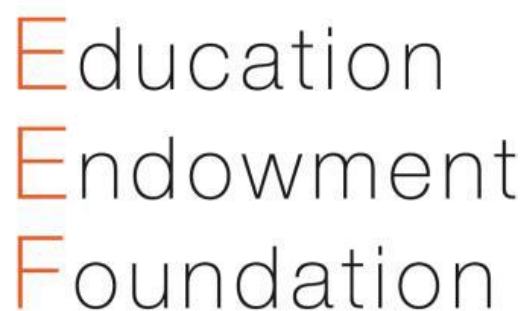




Neuronauka i Edukacja:

Przegląd Interwencji i Podejść Edukacyjnych Korzystających z Osiągnięć Neuronauki

Pełen Raport i Podsumowanie



Grafikę stworzono przy pomocy wordle.org

Paul Howard-Jones

**Graduate School of Education2
University of Bristol**

Raport dostępny na <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/5JWEH>

The Education Endowment Foundation (EEF)

The Education Endowment Foundation (EEF)

Education Endowment Foundation (EEF) jest niezależną organizacją dobroczynną przyznającą granty, mające na celu zlikwidowanie zależności między dochodami rodziny a osiągnięciami edukacyjnymi. Ma to na celu umożliwienie dzieciom ze wszystkich środowisk realizacji ich potencjału i rozwoju talentów.

Celem EEF jest poprawa osiągnięć szkolnych wśród dzieci doświadczających różnych trudności, poprzez:

- wskazywanie innowacyjnych podejść edukacyjnych skierowanych na potrzeby dzieci ze szkół podstawowych i średnich w Anglii;
- ewaluację tych podejść w celu zdobycia wiarygodnych dowodów ich skuteczności koniecznych do ich rozpowszechnienia;
- zachęcanie szkół, instytucji rządowych i organizacji pozarządowych do korzystania ze sprawdzonych metod i wprowadzania ich do codziennej praktyki edukacyjnej.

Fundacja EEF została założona przez edukacyjną organizację dobroczynną Sutton Trust. Swoją główną działalność, we współpracy z Impetus Trust, opiera na wsparciu finansowym w wysokości £125 mln przyznany przez Ministerstwo Edukacji. Dzięki inwestycjom i darowiznom ze zbiorów publicznych, do 2026 roku Fundacja EEF zamierza przyznać granty w wysokości £200 mln.

Więcej informacji:

Emily Yeomans
Grants Manager

Education Endowment Foundation
9th Floor, Millbank Tower
21-24 Millbank
SW1P 4QP



tel.: 020 7802 0644

e-mail: emily.yeomans@eefoundation.org.uk

www : www.educationendowmentfoundation.org.uk



Autor Raportu

O autorze: Dr Paul Howard-Jones jest wykładowcą w dziedzinie Neuronauki i Edukacji w Graduate School of Education na uniwersytecie w Bristolu w Wielkiej Brytanii. Jego zainteresowania naukowe łączą neuronaukę poznawczą (ang. *cognitive neuroscience*) oraz teorię, praktykę i politykę edukacyjną. Jego publikacje naukowe obejmują wszystkie te dziedziny. Jest autorem podręcznika „Introducing Neuroeducational Research” (wyd. Routledge; dosł. *Wprowadzenie do Badań Neuroedukacyjnych*) oraz kierownikiem studiów magisterskich z zakresu neuronauki i edukacji na uniwersytecie w Bristolu. Należał do zespołu zajmującego się neuronauką i edukacją, będącego częścią brytyjskiego Royal Society. Zespół ten opublikował w 2011 roku obszerny raport na temat zastosowania neuronauki w edukacji. Wcześniej dr Howard-Jones pracował jako nauczyciel, szkolił nauczycieli, a także był wizytatorem szkolnym.

Dane kontaktowe:

Dr Paul Howard-Jones

**Graduate School of Education 8JA
University of Bristol
35 Berkeley Square
Bristol BS1 8JA**

tel.: (0117) 331 4496

e-mail: paul.howard-jones@bris.ac.uk

Tłumaczenie na język polski

Krzysztof Cipora, Uniwersytet Loughborough (Wielka Brytania)

Anna Bereś, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Ewa Międzobrodzka, Vrije Universiteit Amsterdam (Holandia)

Justyna Płachetka, Uniwersytet SWPS

Przetłumaczono za zgodą autora i instytucji finansujących powstanie oryginału.

Patronat tłumaczenia na język polski



Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie



BabyLab, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu



SuperBelfrzyRP

Patronat medialny



Granice Nauki

Recenzja tłumaczenia na język polski

Prof. dr Włodzisław Duch, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Tłumaczenie powstało w ramach pracy bez honorariów. Niniejszy dokument jest przeznaczony do użytku niekomercyjnego i darmowego rozpowszechniania.

Spis treści

Przedmowa do polskiego tłumaczenia	7
Recenzja polskiego tłumaczenia	9
Podsumowanie	11
Matematyka	26
Czytanie	35
Ćwiczenia fizyczne	39
Sen, odżywianie i nawodnienie	43
Genetyka	51
Ucieleśnione poznanie	53
Treningi poznawcze funkcji wykonawczych	56
Uczenie się z przerwami (ang. <i>spaced learning</i>)	60
Przeplatanie (ang. <i>interleaving</i>)	63
Sprawdzanie wiedzy	65
Gry wspomagające uczenie się	67
Kreatywność	70
Indywidualizacja nauczania	71
Neurofeedback	73
Przezczaszkowa stymulacja elektryczna (<i>transcranial electrical stimulation, TES</i>)	76
Literatura Cytowana	78
Aneks 1: Podstawy Neuroanatomii i Ważne Terminy	98
Aneks 2: Akronimy	103
Aneks 3: Wzrost Liczby Publikacji Naukowych Łączących Tematy Neuronauki i Edukacji	104

Przedmowa do polskiego tłumaczenia

Skuteczna edukacja stanowi najlepszą inwestycję na przyszłość. Stąd też, jak najbardziej uzasadnione są formułowane wobec naukowej psychologii i neuronauki oczekiwania, by ich osiągnięcia wspomagały tę dziedzinę. Ten wątek już od kilku lat pojawia się w najbardziej uznanych branżowych czasopismach naukowych, jak na przykład *Nature Reviews Neuroscience*. Wykorzystaniu wiedzy o mózgu w tym zakresie został również poświęcony specjalny raport brytyjskiego *Royal Society* zatytułowany *Neuroscience: implications for education and lifelong learning* z 2011 roku.

Zadanie wspomagania edukacji stawia przed sobą *Educational Neuroscience*, dynamicznie rozwijająca się dziedzina nauki, w języku polskim nazywana Neuroedukacją. Jest ona jednocześnie dziedziną badań podstawowych, która podejmuje próby wyjaśnienia neuronalnych mechanizmów uczenia się. W 2016 roku na łamach prestiżowego *Psychological Review*, pojawiła się gorąca debata na temat tego, co neuronauka może zaoferować edukacji. Pomimo licznych kontrowersji, i niekiedy ostrej wymiany zdań, obie strony sporu były zgodne co do jednego: wiedza psychologiczna może być skutecznie wykorzystywana w edukacji. Ponadto zwolennicy *Educational Neuroscience* wskazywali, że dowody *stricte* neuronaukowe w sposób wartościowy uzupełniają to, co wiadomo na podstawie badań psychologicznych. Pozwalają bowiem rozbudować wyjaśnienie zjawisk obserwowanych na poziomie behawioralnym o poziom biologiczny. Jest to podejście charakterystyczne dla szerszej dziedziny wiedzy jaką jest neuronauka poznawcza (*Cognitive Neuroscience*), która według jednego z jej twórców, Michaela Gazzanigi, ma na celu zrozumienie związków między działaniem mózgu a procesami poznawczymi, czy też rozumianym szerzej zachowaniem.

Niestety, zastosowanie wyników badań psychologicznych i tych z zakresu neuronauki w praktyce szkolnej wiąże się z szeregiem problemów. Wielu badaczy zwraca uwagę na brak komunikacji między naukowcami a praktykami. Bardzo często popularność zyskują za to metody dydaktyczne czy rekomendacje, które z wiedzą naukową mają niewiele wspólnego. Bywają one określane mianem neuro- i psychomitów.

Jedną z przeszkód w transferze wiedzy naukowej do praktyki edukacyjnej jest fakt, że większość prac naukowych publikowana jest w specjalistycznych czasopismach naukowych, do których nauczyciele i inni praktycy edukacji mają ograniczony dostęp. Dodatkowo, zdecydowana większość tego rodzaju prac jest publikowana w języku angielskim, przez co polscy nauczyciele niekiedy napotykają kolejną przeszkodę w postaci braku znajomości specjalistycznego słownictwa.

W niniejszym opracowaniu, jeden z największych autorytetów w zakresie *Educational Neuroscience*, dr Paul Howard-Jones z Uniwersytetu w Bristolu dokonał szerokiego przeglądu literatury z zakresu neuroedukacji. Następnie zaklasyfikował poszczególne odkrycia pod

względem tego, jak wieloma dowodami skuteczności poszczególnych metod dysponujemy oraz jak odległe wydaje się zastosowanie ich w kontekście szkolnym.

Podjęliśmy się tłumaczenia tego opracowania na język polski ze względu na naukową rzetelność oraz przystępność dla osób, które nie dysponują fachową wiedzą w zakresie psychologii i neuronauki. W trakcie tłumaczenia zdecydowaliśmy się uzupełnić je szeregiem przypisów. Większość z nich stanowi odnośniki do prac poświęconych poruszonym przez autora tematom opublikowanych w języku polskim. W naszym przekonaniu pozwoli to niniejszemu tłumaczeniu zrealizować podobny cel do tego, który realizuje wersja oryginalna. Z jednej strony tekst stanowi przewodnik po neuroedukacji, pokazując, które odkrycia można zastosować w klasie szkolnej. Natomiast z drugiej strony, odsyła do literatury przedmiotu, do której może sięgnąć zainteresowany czytelnik, nawet jeśli nie zna wystarczająco dobrze języka angielskiego.

Neuroedukacja rozwija się bardzo dynamicznie, w związku z tym od czasu publikacji raportu w 2014 roku przeprowadzono szereg kolejnych badań, których wyniki stanowią rozwinięcie wątków poruszonych przez autora. Informacje na ich temat zamieściliśmy również w przypisach dolnych.

Mamy nadzieję, że niniejsze opracowanie będzie stanowić nie tylko rzetelną pomoc dla nauczycieli i praktyków edukacji, ale stanie się również inspiracją dla polskich badaczy i przyczyni się do rozwoju badań z zakresu neuroedukacji w naszym kraju.

K. Cipora, A. Bereś, E. Międzobrodzka i J. Płachetka

Recenzja polskiego tłumaczenia

Już przy końcu XIX wieku neurologi i pedagodzy zdawali sobie sprawę ze znaczenia badań nad mózgiem dla edukacji. Neurolog Henry Herbert Donaldson (1857–1938) napisał w 1895 roku książkę: „Rozwój Mózgu: Badanie Systemu Nerwowego w Związku z Edukacją” (*The Growth of the Brain: A Study of the Nervous System in Relation to Education*), a pedagog Reuben Post Halleck (1859–1936) w 1896 napisał książkę „Edukacja Centralnego Systemu Nerwowego: Badania Podstaw, Szczególnie Treningu Zmysłów i Motoryki” (*The Education of the Central Nervous System: A Study of Foundations, Especially of Sensory and Motor Training*). W tym czasie badania nad mózgiem były w powijkach.

Dopiero pod koniec XX wieku badania nad mechanizmami uczenia się stały się na tyle zaawansowane by można było na ich podstawie udzielać przydatnych rad nauczycielom. Chociaż na temat neuroedukacji napisano w ostatnich latach bardzo wiele nie było dotychczas równie wiarygodnego i przydatnego nauczycielom opracowania jak prezentowane tutaj. Raport doktora Paula Howarda-Jonesa z Uniwersytetu w Bristolu jest oparty na krytycznym przeglądzie literatury związanej z neuroedukacją, cytowanych i omawianych jest w nim ponad 300 publikacji.

Tłumaczenie i rozszerzoną wersję raportu przygotowały w profesjonalny sposób cztery osoby, od lat zaangażowane w popularyzację wiedzy dotyczącej psychologii i neuronauki. Krzysztof Cipora jest doktorem psychologii, zajmuje się kognitywną neuropsychologią pracując obecnie na Uniwersytecie w Loughborough, współpracuje też z Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Ewa Międzobrodzka jest absolwentką psychologii Uniwersytetu SWPS a obecnie doktorantką na Vrije Universiteit Amsterdam, prowadzi ciekawy blog Neuroedukacja.net. Anna Bereś zrobiła doktorat z psychologii w Bangor w Wielkiej Brytanii i pracuje w Zakładzie Neurokognitywistyki i Neuroergonomii Instytutu Psychologii Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Justyna Płachetka jest doktorantką na wrocławskim Wydziale Uniwersytetu SWPS, absolwentką kierunku biologia oraz ochrona środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.

Inicjatywa przetłumaczenia tego raportu bardzo mnie ucieszyła, gdyż niemal codziennie spotykam się z bezkrytycznym podejściem do doniesień publikowanych w mediach, a zwłaszcza w Internecie, podpartych pseudonaukowym żargonem i cudownymi technologiami, które nie zostały nigdy zweryfikowane. Dotyczy to szczególnie nowych metod nauki języków obcych, obiecujących „wykorzystanie całego mózgu”. Niewielu ludzi potrafi krytycznie ocenić doniesienia naukowe w tej dziedzinie (jeszcze gorzej wygląda to w medycynie), a nie brakuje w niej oszustów udających ekspertów. Pseudouczony bełkot wpływa na bezkrytyczne przyjmowanie niesprawdzonych technologii, a sceptycyzm i krytyczne myślenie pozwalające na wiarygodne oceny informacji prezentowanych w mediach czy popularnych książkach są rzadko spotykane.

Wszystkie osoby zaangażowane w prace nad tym raportem są ekspertami zajmującymi się zawodowo zagadnieniami w nim omawianymi i mają już znaczne doświadczenie w popularyzacji nauki. Wyniki badań tu przedstawionych oceniane były w oparciu o to, jak silne są dowody skuteczności różnych interwencji i jak odległe wydaje się zastosowanie ich w kontekście szkolnym. Od powstania raportu Howarda-Jonesa minęło 5 lat, więc tłumacze uzupełnili go dodatkowo o najnowsze pozycje z tej niezwykle szybko rozwijającej się dyscypliny. W ten sposób otrzymujemy naprawdę wiarygodne informacje o obecnym stanie wiedzy w zakresie zastosowań wyników neuronauki w edukacji. W najbliższych latach możemy się spodziewać w tym obszarze dużych postępów dzięki wielkim programom badawczym, takim jak BRAIN (*Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies*), czyli badań mózgu dzięki rozwojowi innowacyjnych neurotechnologii. Warto więc będzie uzupełniać ten raport o kolejne wyniki badań.

Włodzisław Duch

Laboratorium Neurokognitywne, Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Podsumowanie

Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie dotyczy tego, jak odkrycia nauk zajmujących się funkcjonowaniem ludzkiego mózgu i umysłu mogą obecnie lub w przyszłości wpłynąć na praktykę edukacyjną. Podsumowuje dostępne dowody naukowe dotyczące praktyk edukacyjnych opartych (przynajmniej w teorii) na badaniach z dziedziny neuronauki. Dzięki temu, niniejszy raport wskazuje zarówno na obszary neuronauki, które rzeczywiście miały wpływ na praktykę edukacyjną, jak i te które mogą być przydatne w przyszłości, zakładając, że zostaną podjęte dalsze prace nad ich zastosowaniem w kontekście szkolnym.

Niniejszy raport stanowi część programu stworzonego we współpracy z Wellcome Trust, który obejmuje również ankiety przeprowadzone wśród nauczycieli, rodziców i uczniów oraz przegląd badań naukowych związanych z neuronauką. Mamy nadzieję, że spojrzenie na neuronaukę i edukację z perspektywy praktyków, badaczy oraz neuronaukowców zapewni całościowy obraz obecnego wykorzystania neuronauki w kontekście szkolnym, a także pojawiających się wyzwań i pytań.

Zaprezentowane tu podsumowanie literatury ma na celu wskazanie podejść edukacyjnych opartych na wiedzy płynącej z neuronauki które:

- zgodnie z obecnym stanem wiedzy mogą pozytywnie wpłynąć na osiągnięcia szkolne, a więc są warte dalszego testowania na większą skalę;
- wymagają podjęcia dalszych badań w celu określenia ich wpływu na osiągnięcia szkolne;
- nie wydają się być obiecujące w kontekście osiągnięć szkolnych.

Opracowanie to przedstawia również badania na temat interwencji^a edukacyjnych, które bazują na wnioskach płynących z neuronauki, nawet jeśli ten związek jest mniej wyraźny lub słabiej udokumentowany. Należy zwrócić uwagę, że niektóre z przedstawionych tutaj idei wymagają głębszego zrozumienia, zanim będą mogły być zastosowane w klasie.

Praca ta została przygotowana w celu dostarczenia informacji dla osób aplikujących o wspólne projekty Education Endowment Foundation (EEF) oraz Wellcome Trust dotyczące neuronauki i edukacji. Obejmuje ona 18 tematów, z których każdy jest oceniany pod względem dowodów naukowych świadczących o jego skuteczności w edukacji oraz tego, jak realne jest

^a Termin „interwencja” odnosi się do ogółu działań (szkolenia, metody nauczania, treningów itp.), mających na celu pozytywny wpływ na określoną domenę (np. osiągnięcia szkolne, dobrostan psychiczny uczniów itp., przyp. tłum.).

zastosowanie wniosków płynących z neuronauki w kontekście edukacyjnym^b. To, na ile realne jest aktualnie zastosowanie danej techniki w kontekście edukacyjnym jest czynnikiem, który osoby aplikujące o dofinansowanie mogą wziąć pod uwagę przy wyborze podejścia i opracowywaniu odpowiedniej interwencji. Niniejszy raport jest wyłącznie wskazówką, a projekty dotyczące któregoś z poruszanych tu tematów nie będą automatycznie finansowane. Jednocześnie, finansowanie mogą otrzymać projekty, które wykraczają poza tematy tego raportu, jeśli przedstawione dowody i możliwość zastosowania w kontekście szkolnym będą przekonujące.

Niniejszy raport nie wymaga od czytelnika wysokiego poziomu specjalistycznej wiedzy. Jednakże wielu czytelników może skorzystać na zaznajomieniu się z terminami dotyczącymi anatomii mózgu, które przedstawiono w Aneksie 1. Wykaz akronimów można znaleźć w Aneksie 2.

Niniejsza praca ma kilka ograniczeń. Pomija literaturę dotyczącą tematów, których zakres publikacji naukowych nie pozwala na ich rzetelny przegląd, lub których związek z neuronauką jest niewystarczający (np. Programowanie Neurolingwistyczne; ang. *NeuroLinguistic Programming*). Ze względu na prawne i etyczne restrykcje związane z zastosowaniem leków wspierających funkcje poznawcze, niniejsze podsumowanie pomija również ten temat. Podobnie, metoda Przewodzącej Stymulacji Elektrycznej (ang. *Transcranial Electrical Stimulation*; TES) jest wspomniana jedynie szczerunkowo, gdyż nie rozwiązano dotychczas związanych z nią potencjalnych problemów natury etycznej. Pominięte zostały również interwencje (kursy, szkolenia) dotyczące tego, jak wiedza o funkcjonowaniu mózgu^{1,2} może wpływać na wyniki edukacyjne, ponieważ nie bazują one bezpośrednio na wiedzy neuronaukowej, ale wiedza ta stanowiła jedynie materiał, którego podczas nich nauczano.

Dlaczego Neuronauka i Edukacja?

Wszystko, co ma wpływ na uczenie się, ma ostatecznie swoje podłoże w mózgu: idea, że to w jaki sposób rozumiemy działanie mózgu może wpłynąć na praktykę edukacyjną wydaje się zatem ciekawa. Zyskała ona spore zainteresowanie w ostatnich 10-15 latach (w szczególności w ciągu ostatnich pięciu lat). Przejawiało się to ożywioną dyskusją i skokowym wzrostem liczby publikacji na temat mózgu i edukacji (patrz Aneks 3).

Oczekiwania, by edukacja korzystała z osiągnięć neuronauki pojawiają się po obu stronach. Neuronaukowcy podkreślają, że ich praca ma potencjał by poprawić jakość edukacji. Z kolei osoby pracujące w obszarze edukacji wyrażają chęć by dowiedzieć się, co ma do zaoferowania neuronauka. Niemniej jednak entuzjazm oznacza, że do tematu należy podchodzić ostrożnie.

^b Polskie tłumaczenie niniejszego raportu nie ma związku z programem grantowym oferowanym przez Education Endowment Foundation. Autorzy tłumaczenia nie mają wiedzy na temat obecnych / przyszłych projektów ani ewentualnych możliwości finansowania takich projektów poza Wielką Brytanią. Wybór niniejszego dokumentu do tłumaczenia na język polski był podyktowany wyłącznie jego zawartością merytoryczną i przystępnością dla praktyków (przyp. tłum.).

Trzeba mieć pewność, że rozwiązania proponowane przez neuronaukę nie są wprowadzane zbyt wcześnie, czy też zanim zostaną należycie przygotowane do praktycznego zastosowania. Entuzjazm oznacza również, że interwencje posiadające etykietkę „neuro” bez względu na to, czy mają coś wspólnego z neuronauką i na to czy mają jakiekolwiek rzeczywiste oddziaływanie edukacyjne, będą zyskiwały dużą popularność. W konsekwencji konieczne jest zarówno uważne eliminowanie mitów jak i rzetelne popularyzowanie wyników badań naukowych.

Jest to zatem obszar edukacji, który wymaga zaangażowania wszystkich stron – neuronaukowców, psychologów poznawczych, specjalistów w zakresie badań edukacyjnych i nauczycieli. Konieczna jest współpraca, która powinna obejmować szczególną troskę to, by odkrycia neuronaukowe były poprawnie interpretowane i stosowane w interwencjach i podejściach edukacyjnych, które są sensowne i możliwe do wykorzystania w praktyce. Powinny być one starannie sprawdzone pod względem znaczenia dla edukacji.

Pogranicze neuronauki i edukacji jest zatem obszarem o bardzo dużym potencjale, w którym EEF i Wellcome Trust mogą odegrać znaczącą rolę wspierając interdyscyplinarne inicjatywy i przyczyniając się do uzyskiwania wysokiej jakości dowodów naukowych.

Główne Odkrycia

Przegląd uwzględnia 18 tematów, w obszarze których neuronauka może zostać wykorzystana w edukacji. Pięć z nich dotyczy obszarów nauczania takich jak matematyka i czytanie, w ramach których zgromadzono pokaźną ilość dowodów naukowych. Pozostałe tematy obejmują obszary neuronauki mające bardziej ogólne znaczenie: nie można ich ograniczyć do pojedynczych przedmiotów szkolnych. Warto zaznaczyć, że kwestie związane z matematyką podzielono na cztery osobne tematy ze względu na ilość i różnorodność dostępnych badań i możliwości zastosowania każdego z nich.

Omówienie każdego z 18 tematów zawiera dwie części: pierwsza, zatytułowana *Procesy neuropoznawcze*, podsumowuje odkrycia naukowe, a druga, *Zastosowania edukacyjne*, podsumowuje aktualny zakres lub to jak odległe są zastosowania edukacyjne.

Główne wnioski opisane w przeglądzie podsumowano w kolejnych częściach oraz w Tabeli 3. Każdy z 18 tematów oceniono pod względem tego, jak silne są dowody naukowe świadczące o jego efektywności w edukacji, a także pod względem tego, jak odległe jest jego zastosowanie w edukacji. Kryteria, według których dokonywano tych ocen przedstawiono w Tabelach 1 i 2. Na podstawie siły dowodów naukowych oraz tego jak odległe jest ich zastosowanie w praktyce edukacyjnej, 18 tematów podzielono na trzy grupy, które mają odzwierciedlać stopień ich zaawansowania i ilość pracy badawczej, którą należy wykonać, aby w pełni zrozumieć dany obszar.

Grupa 1: Obejmuje pięć tematów, które są najbardziej zaawansowane pod względem zastosowań w edukacji, a dowody ich wpływu na osiągnięcia szkolne są najbardziej obiecujące.

Grupa 2: Dziewięć tematów w tej grupie ma mocne podstawy naukowe, ale wymaga dalszej pracy, aby upewnić się, że są one odpowiednio stosowane w praktyce szkolnej. Zyskałyby również, gdyby pojawiły się kolejne badania potwierdzające ich efektywność w edukacji.

Grupa 3: Cztery tematy, w zakresie których dysponujemy najmniejszą ilością dowodów co do ich wpływu na osiągnięcia edukacyjne i które wymagają największej ilości pracy mającej na celu przygotowanie ich do praktycznego zastosowania.

Grupa 1

Pięć tematów z tej grupy bazuje na podstawach teoretycznych, które są jasno sformułowane na podstawie literatury naukowej. Badania laboratoryjne pokazują poprawę w zadaniach mierzących umiejętności istotne dla osiągnięć szkolnych oraz w próbach przeprowadzanych w warunkach zbliżonych do sytuacji szkolnej. Jednak zarówno jakość dowodów naukowych jak i ilość eksperymentów przeprowadzonych w warunkach szkolnych różnią się. Niektóre z nich wymagają przeprowadzenia dalszych badań w celu określenia najlepszych praktyk w stosowaniu wiedzy neuronaukowej w kontekście szkolnym.

- **Matematyka – Lęk przed matematyką.** Zaangażowanie obwodów neuronalnych do poznawczej kontroli lęku negatywnie wpływa na pamięć roboczą i przetwarzanie liczb.
Sporo wyników badań świadczy o wpływie stresu na procesy uczenia się. Możliwe jest w chwili obecnej tworzenie adekwatnych modeli teoretycznych w tym obszarze. Na ich podstawie stworzono proste, możliwe do zastosowania w klasie szkolnej i potencjalnie skuteczne interwencje. Jednak jak dotąd, przeprowadzono tylko jedno badanie w warunkach klasy szkolnej.
- **Czytanie.** Łączenie litery z dźwiękiem oraz rozumienie znaczenia.
Przeprowadzono wiele badań naukowych w celu zrozumienia neuropoznawczych procesów związanych z umiejętnością czytania. Badania te pozwalają na rzetelną i dokładną analizę teoretyczną. Ponadto, przeprowadzono wiele badań zarówno laboratoryjnych, jak i tych w kontekście szkolnym. Stworzono również bazujące na nich programy komputerowe. Mimo to, wciąż wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi. Ponadto konieczne jest potwierdzenie tych wyników w prowadzonych na szerszą skalę badaniach.
- **Ćwiczenia fizyczne.** Zaangażowanie w aktywność fizyczną w celu zwiększenia efektywności obwodów neuronalnych.
W literaturze z zakresu neuronauki można znaleźć mocne uzasadnienie interwencji w formie ćwiczeń fizycznych. Przeprowadzono również szereg badań nad wpływem ćwiczeń fizycznych na osiągnięcia szkolne. Ich wyniki są jednak zróżnicowane. Nadal nie zidentyfikowano specyficznych czynników związanych z ćwiczeniami fizycznymi wpływających na poziom osiągnięć akademickich. W związku z tym, przyszłe badania powinny się skoncentrować na wyizolowaniu tych czynników.
- **Uczenie się z przerwą.** Wielokrotne przyswajanie wiedzy z przerwami pomiędzy sesjami uczenia się.

Ta strategia może już teraz być stosowana w szkole. Chociaż ostatnie doniesienia w tej dziedzinie były mocno związane z neuronauką, należy pamiętać, że przeważająca ilość wiedzy jaką w tym temacie dysponujemy bazuje na literaturze psychologicznej. Spójne wyniki wielu badań w tej dziedzinie dostarczają jasnych wytycznych w kwestii optymalnego zastosowania tej strategii, w tym idealnej długości okresów uczenia się i przerw między nimi. Pewne pytania wciąż pozostają bez odpowiedzi, między innymi to, w jakim zakresie ta strategia rzeczywiście wspiera proces uczenia się, a nie jedynie zapamiętywania.

- **Sprawdzanie wiedzy.** Sprawdzanie wiedzy z danego materiału pomaga w zapamiętywaniu.

Istnieją rzetelne dowody edukacyjne i naukowe wskazujące na to, że sprawdzanie wiedzy wpływa na poprawę efektywności uczenia się. Dalsza praca w tym zakresie mogłaby skupić się na tym, jak najlepiej wykorzystać to oddziaływanie oraz jakie czynniki determinują jego efektywność.

Grupa 2

Tematy z tej grupy wykorzystują podstawy teoretyczne, które wynikają bezpośrednio z odkryć opisanych w literaturze naukowej. Chodzi zarówno o raporty z badań laboratoryjnych, w których wykazano poprawę w zakresie uczenia się i/lub z badań eksploracyjnych przeprowadzonych w klasach szkolnych. Tematy te wymagają jednak dalszego opracowania oraz przeprowadzenia badań pilotażowych w celu sprawdzenia możliwości ich wykorzystania w praktyce edukacyjnej.

- **Matematyka – niesymboliczne i symboliczne reprezentacje liczb.** Szacowanie wielkości liczbowych i rozumienie reprezentacji liczb takich jak „3”, a także wiązanie ze sobą tych dwóch zdolności jest istotne dla rozwoju umiejętności matematycznych.

Interwencje w tym obszarze są ugruntowane na coraz liczniejszych badaniach nad wczesnym rozwojem umiejętności matematycznych. Obiecujące wyniki przyniosły badania przeprowadzone z udziałem małych dzieci. Niemniej jednak, nie przedstawiają one spójnego obrazu najbardziej istotnych reprezentacji umysłowych, na których powinny się koncentrować interwencje. Aby określić potencjalną skuteczność tego typu interwencji w klasach szkolnych potrzeba dalszych badań.

- **Matematyka – trening gnozji palców.** Rozróżnianie palców i wykorzystywanie ich podczas liczenia.

Spora liczba publikacji naukowych wskazuje na duże znaczenie palców w liczeniu, jednak wpływ treningu gnozji palców na uczenie się matematyki pokazano tylko w jednym badaniu przeprowadzonym w warunkach klasy szkolnej. Nie sprawdzano również długoterminowych skutków tej interwencji.

- **Sen, odżywianie i nawodnienie.** Zapewnienie prawidłowego funkcjonowania poznawczego i utrwalenie codziennej nauki poprzez prawidłowy sen, odżywianie i nawodnienie.

Ten temat ma solidne podstawy teoretyczne, szczególnie w odniesieniu do snu. Również zdrowy rozsądek podpowiada zasadność interwencji w tym zakresie. Nie zostały jednak jeszcze jasno pokazane efekty takich interwencji w zakresie poprawy osiągnięć szkolnych. Interwencje w tym temacie mogą obejmować taką adaptację harmonogramu szkolnego, aby dopasować go do potrzeb biologicznych i cykliów okołodobowych nastolatków. Miałoby to umożliwić im dłuższy sen lub edukację nastolatków na temat snu oraz tego, w jaki sposób mogą zapewnić sobie jego wystarczającą ilość.

- **Treningi poznawcze funkcji wykonawczych.** Wykorzystanie specjalnych programów mających na celu poprawę funkcji poznawczych takich jak rozumowanie, pamięć robocza czy hamowanie poznawcze.

Dowody na rzecz efektów treningu funkcji wykonawczych są sprzeczne. Jeszcze mniej dowodów wskazuje na ich pozytywny wpływ na poziom osiągnięć szkolnych. Sporo badań pokazuje skuteczność treningów w zakresie poprawy sprawności funkcji wykonawczych. Wiadomo również, że sprawność funkcji wykonawczych koreluje z poziomem osiągnięć szkolnych. Wydaje się zatem zasadne prowadzenie badań nad skutecznością takich treningów jako narzędzia mającego służyć poprawie osiągnięć szkolnych.

- **Ucieleśnione poznanie.** Wpływanie na procesy poznawcze i uczenie się poprzez działanie i obserwowanie działania innych osób.

Neuronauka pomaga określić podstawy teoretyczne zastosowania koncepcji ucieleśnionego poznania w interwencjach polegających na stosowaniu przez nauczyciela odpowiednich gestów. Jednak dowody świadczące o wpływie takich interwencji na osiągnięcia szkolne są ograniczone do badania interakcji jeden na jeden.

- **Przeplatanie.** Przeplatanie różnych tematów, tak jak w przypadku uczenia się z przerwą (z grupy 1) sprawia, że treści są wielokrotnie powtarzane.

Dowody płynące zarówno z badań naukowych, jak i z zajęć w klasie szkolnej pokazują wyraźnie wartość niektórych technik przeplatania. Istnieje również kilka badań wskazujących na potencjalne neuropoznawcze podstawy tego procesu. Jednak różnorodność możliwych sposobów przeplatania pokazuje, że bardzo liczne pytania z zakresu edukacji i neuronauki dotyczące tej techniki wciąż pozostają bez odpowiedzi.

- **Gry wspomagające uczenie się.** Stosowanie nieprzewidywalnych nagród w grach komputerowych w celu zwiększenia zaangażowania w uczenie się.

Istnieją jasne podstawy teoretyczne i dowody z badań laboratoryjnych na użyteczność tego podejścia w kontekście szkolnym. Przeprowadzono też kilka badań eksploracyjnych w klasach. Odkrycia te mogą być użyteczne w kontekście pedagogicznym. Dowody na możliwy wpływ gier na zwiększenie zaangażowania oraz lepsze wyniki w nauce pochodzą jedynie z badań z udziałem osób w okresie wczesnej dorosłości.

- **Kreatywność.** Tworzenie nowych pomysłów i ocenianie ich adekwatności.
Neuronauka dostarcza wiedzy na temat strategii mogących zwiększyć poziom kreatywności w szkole. Brakuje jednak badań pokazujących ich wpływ na poprawę wyników w zadaniach blisko związanych z osiągnięciami szkolnymi. Zanim będzie możliwa ewaluacja skuteczności przeprowadzanych w szkole interwencji, potrzeba dalszych badań naukowych wyjaśniających związki między poziomem kreatywności a osiągnięciami szkolnymi.
- **Neurofeedback.** Obserwowanie aktywności swojego mózgu z możliwością wpłynięcia na nią.
Technologie umożliwiające zastosowanie neurofeedback'u w szkole stają się coraz tańsze, a badania z udziałem studentów i dzieci wskazują, że jest to efektywna metoda poprawy osiągnięć naukowych. Jednak wciąż nie do końca opracowane podstawy teoretyczne takich oddziaływań i brak informacji na temat optymalnych parametrów stosowania neurofeedbacku sprawiają, że tego rodzaju interwencje mają nadal charakter eksploracyjny.

Grupa 3

Tematy w tej grupie borykają się z problemami natury teoretycznej lub z niewystarczającą ilością dowodów świadczących, że mogą one w realny sposób wpłynąć na uczenie się dzieci. Oznacza to, że należy odpowiedzieć na dodatkowe pytania lub przeprowadzić więcej prac rozwojowych, aby umożliwić zastosowanie tych koncepcji w klasie szkolnej.

- **Matematyka – sprawność rotacji mentalnych.** Zdolność wyobrażania sobie, jak wygląda dany obiekt, jeśli zostałby odwrócony względem swojego aktualnego położenia, jest związana z poziomem inteligencji ogólnej.
Sprawność wykonywania rotacji mentalnych jest silnym predyktorem^c osiągnięć w zakresie przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM). Jak dotąd wyniki jednego badania pokazały, że poprawa w zakresie sprawności rotacji mentalnych prowadzi do poprawy osiągnięć w zakresie tych przedmiotów. Badanie to przeprowadzono jednak na grupie dorosłych studentów. Innym sposobem trenowania wspomnianych tu

^c Czyli zmienną, na podstawie wartości której, można przewidywać wartości innej zmiennej. W tym przypadku wiedząc jak dana osoba wykonuje zadanie rotacji mentalnych, można przewidywać jakie będą osiągnięcia tej osoby w zakresie przedmiotów matematyczno-technicznych (przyp. tłum.).

umiejętności jest wykorzystanie gier wideo. Niemniej jednak dotychczas nie przeprowadzono badań nad ich efektami w zakresie wspomagania kształcenia w obszarze STEM.

- **Genetyka.** Poznawcze wpływy genów.

Wydaje się, że obecny stan wiedzy pozwala dostarczyć informacji o wrażliwości poszczególnych grup na interwencje edukacyjne bez względu na ich charakter. Może to pomóc w doborze prób badawczych, w których takie interwencje mają być testowane. Jednak ta wiedza nie jest jeszcze gotowa do zastosowania w klasie szkolnej.

- **Indywidualizacja nauczania.** Wybór sposobów nauczania różnych uczniów.

Dzięki neuronauce mamy lepszy wgląd w różnice indywidualne. Mimo tego wciąż nie wiemy, jak wykorzystać tę wiedzę przy projektowaniu technologii edukacyjnych, jak duże korzyści można osiągnąć dzięki stosowaniu tej koncepcji, ani jaki może być charakter tych korzyści.

- **Przecczaszkowa stymulacja elektryczna (TES).** Stymulowanie mózgu słabym, nieinwazyjnym napięciem elektrycznym poprzez elektrody umieszczone na powierzchni czaszki.

Tego rodzaju badania przynoszą ekscytujące wyniki i ich potencjał w zakresie poprawy osiągnięć akademickich wydaje się oczywisty. Niestety, nadal nie w pełni rozumiemy procesy leżące u podłoża takich interwencji. Nie są jeszcze wystarczająco znane efekty ani zagrożenia związane z wykorzystaniem tego typu narzędzi. Aby można było w sposób rzetelny ocenić wpływ wykorzystania tego typu interwencji na poprawę osiągnięć w nauce u dzieci w wieku szkolnym, musi się dokonać zasadniczy postęp w zakresie badań podstawowych nad TES.

Tabela 1 Kryteria oceny dowodów skuteczności oddziaływań i podejść edukacyjnych na podstawie neuronauki

Ocena dowodów na skuteczność w edukacji	Ocena
Wyniki badań eksperymentalnych są niejednoznaczne lub obecne dowody naukowe dotyczące przełożenia ich na poprawę osiągnięć szkolnych są ograniczone.	Niska
Wyniki badań są spójne pod względem wpływu na czynniki, które mogą mieć wpływ na osiągnięcia uczniów i/lub istnieją nieliczne dowody na rzeczywisty wpływ na osiągnięcia szkolne.	Średnia
Wiele badań w sposób spójny potwierdza pozytywny wpływ na poziom osiągnięć szkolnych.	Wysoka

Tabela 2. Kryteria oceny stopnia odległości do zastosowania interwencji i podejścia edukacyjnego na podstawie neuronauki

Stopień odległości aplikacji	Ocena
Istnieją znaczące wyzwania w kontekście rozwoju wiedzy i/lub w kontekście zaprojektowania i stworzenia najnowszych specjalistycznych zasobów i/lub w kontekście etycznym.	Daleka
Zastosowanie wymaga prawdopodobnie dodatkowych prac łączących wyniki badań z praktyką edukacyjną i/lub istnieją ograniczone specjalistyczne zasoby (np. specjalistyczne oprogramowanie) i/lub treningi.	Umiarkowana
Interwencje mogą zostać natychmiast wdrożone do praktyki edukacyjnej.	Bliska

Tabela 3. Procesy neuropoznawcze i ich potencjalne zastosowanie edukacyjne. Oceny dowodów na skuteczność w zastosowaniach edukacyjnych oraz odległości do zastosowania, dokonano zgodnie z kryteriami opisanymi w Tabelach 1 i 2

Temat	Procesy neuropoznawcze	Zastosowanie edukacyjne	Ocena dowodów na skuteczność edukacyjną (niska, średnia, wysoka)	Odległość do zastosowania (bliska, umiarkowana, daleka)	Nr stron
1. Matematyka – niesymboliczna i symboliczna reprezentacja liczb	Neuronauka pomogła odkryć znaczenie niesymbolicznej i symbolicznej reprezentacji ilości zarówno na początkowych jak i późniejszych etapach edukacji matematycznej. Dzieci muszą nauczyć się wiązać ze sobą te dwa rodzaje reprezentacji.	Podobnie jak w początkowych fazach badań podstawowych w tym obszarze, w interwencjach mających na celu rozwijanie reprezentacji niesymbolicznych u dzieci uzyskano zróżnicowane wyniki. Niektóre z nich wydają się pokazywać wpływ treningu na reprezentacje symboliczne i transfer na inne umiejętności związane z posługiwaniem się liczbami.	Średnia	Umiarkowana	26-34
2. Matematyka – gnozja palców	Palce mogą w sposób specyficzny być powiązane z reprezentacjami liczb.	Interwencja w formie treningu gnozji palców pokazała, że może on prowadzić do poprawy w zakresie rozwoju niektórych wczesnych umiejętności matematycznych.	Średnia	Bliska	
3. Matematyka – sprawność rotacji mentalnych	Sprawność wykonywania rotacji mentalnych stanowi predyktor osiągnięć matematycznych i z zakresu przedmiotów ścisłych. Tę sprawność można trenować m.in. poprzez komputerowe gry akcji.	Przeprowadzone na grupie studentów badanie podłużne pokazało poprawę osiągnięć w zakresie przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM) na skutek treningu umiejętności przestrzennych.	Niska	Daleka	
4. Matematyka – lęk przed matematyką	Lęk przed matematyką zaburza procesy neuropoznawcze, które mają kluczowe znaczenie dla uczenia się. Mediatorem tych efektów jest	Badanie pokazało, że negatywne efekty lęku przed matematyką u nastolatków można wyeliminować prosząc ich o napisanie kilku zdań właśnie na temat odczuwanego lęku tuż	Średnia	Bliska	

	zaangażowanie sieci neuronalnych odpowiedzialnych za kontrolę poznawczą.	przed przystąpieniem do wykonywania zadań matematycznych.			
5. Czytanie	Dzieci zaczynają czytać wiążąc symbole, jakimi są litery z określonymi dźwiękami. Poza umiejętnością przetworzenia zapisanych słów i zdań na dźwięki, dzieci muszą nauczyć się rozumieć znaczenie. Wiele umiejętności cząstkowych wchodzi w skład płynnego czytania.	Treningi z wykorzystaniem komputera skupione wokół umiejętności fonologicznych pomagają dzieciom doświadczającym trudności w rozwoju umiejętności czytania. Skuteczny okazał się również szereg wielokomponentowych interwencji, co podkreśla złożoną naturę procesu czytania i potencjalną wartość uwzględniania różnic indywidualnych w tego rodzaju interwencjach.	Średnia	Bliska	35-38
6. Ćwiczenia fizyczne	Ćwiczenia fizyczne zwiększają efektywność sieci neuronalnych istotnych dla procesów uczenia się. Pojedyncze ćwiczenia jak i programy ćwiczeń mogą poprawić funkcje poznawcze i pamięć.	Niemal zawsze badania nad wpływem ćwiczeń fizycznych na uczenie się pokazują brak wpływu bądź pozytywne efekty (proporcje tych wyników są równe). Wydaje się zatem, że stosowanie ćwiczeń fizycznych jest wartościową metodą. Do tej pory nie udało się jednoznacznie określić specyficznych czynników, które decydują o wpływie ćwiczeń fizycznych na poziom osiągnięć szkolnych.	Średnia	Bliska	39-42
7. Sen, odżywianie i nawodnienie	Sen odgrywa ważną rolę zapewniając odpoczynek, a w czasie jego trwania dochodzi do konsolidacji uczonego w ciągu dnia materiału w pamięci długotrwałej. Korzystanie z technologii, kofeina, czynniki psychospołeczne i zmiany biologiczne mogą zaburzać wzorce snu, zwłaszcza u adolescentów. Częste spożywanie kofeiny zaburza funkcjonowanie poznawcze.	Późniejsze rozpoczynanie lekcji w szkołach, które rozpoczynają lekcje wcześniej rano, wiązało się z poprawą frekwencji i zaangażowania podczas lekcji. Informowanie nastolatków na temat snu i chronobiologii podnosi ich wiedzę na ten temat, ale nie powoduje zmiany przyzwyczajeń. Większe zaangażowanie w takie działania i włączenie ich w codzienne funkcjonowanie w	Niska	Bliska	43-50

	Niewielkie odwodnienie może prowadzić do obniżenia sprawności funkcji poznawczych.	domu i kulturę, wstępnie wydaje się bardziej skuteczne. Badania nad efektami dostarczania dzieciom dodatkowych porcji wody sugerują, że ich pozytywny wpływ na osiągnięcia edukacyjne w brytyjskich szkołach jest niewielki.			
8. Genetyka	Geny mają bardzo duży wpływ na działanie i strukturę mózgu. Może to sugerować, że genetyka odgrywa ważną rolę w wyjaśnianiu różnic indywidualnych.	Niektóre markery genetyczne już dziś mają wartość praktyczną, pozwalając nam lepiej zrozumieć efekty oddziaływań edukacyjnych.	Średnia	Daleka	51-52
9. Ucieleśnione poznanie	Neuronauka pomogła w zrozumieniu, że ciało odgrywa kluczową rolę w procesach poznawczych (ucieleśnione poznanie). Ucieleśnione poznanie dostarcza podstaw teoretycznych dla zrozumienia jak działanie wpływa na uczenie się (np. efekt odtworzenia). Niektóre z naszych neuronów odzwierciedlają czynności wykonywane przez innych (tzw. neurony lustrzane). Uwzględnienie procesu odzwierciedlania może wzbogacić teorie rozumienia budowane w ramach ucieleśnionego poznania, na przykład te dotyczące tego jak działania nauczyciela wpływają na proces uczenia.	Ucieleśnione poznanie nie tylko pomaga wyjaśnić dobrze poznany efekt odtworzenia, ale również pozwala zrozumieć, jak uczniowie uczą się obserwując działania nauczyciela.	Średnia	Umiarkowana	53-55
10. Treningi poznawcze funkcji wykonawczych	Istnieje wiele badań pokazujących, że funkcje wykonawcze można trenować zarówno u osób dorosłych	Efekty treningu pod względem poprawy sprawności funkcji wykonawczych są obiecujące. Jednak nadal brakuje solidnych	Średnia	Umiarkowana	56-59

	jak i u dzieci. Zatem tego typu interwencje mają bardzo duży potencjał pod względem praktycznych zastosowań w edukacji. Z drugiej strony, nie wszystkie badania udało się zreplikować^d. Ponadto trwa debata nad tym, jak odległy może być transfer efektów treningu, czyli jego wpływ na wykonanie zadań różniących się od tych, które trenowano.	dowodów, pokazujących transfer efektów treningu na osiągnięcia szkolne / akademickie (nowsze badania pokazują stosunkowo dobre efekty takich treningów, omówiono je w przypisach do tej części raportu, przyp. tłum).			
11. Uczenie się z przerwą	Podział uczenia na krótsze, oddzielone przerwami sesje prowadzi do lepszych efektów niż uczenie się w formie skomasowanej. Wyniki badania z wykorzystaniem neuroobrazowania sugerują, że efekt ten wynika z lepszego działania mechanizmu powtarzania podtrzymującego, występującego w przypadku uczenia z przerwami a brakuje go podczas uczenia się skomasowanego.	Wpływ przerwy na zapamiętywanie jest dobrze poznany, ale korzyści płynące z przerw w nauce mogą występować również w przypadku bardziej złożonych rodzajów uczenia się.	Wysoka	Bliska	60-62
12. Przeplatanie	Przeplatanie tematów może zwiększyć efektywność z jaką uczonej materiał jest zapamiętywany, a także efektywność innych procesów uczenia. Mechanizm działania przeplatania może polegać na redukowaniu tłumienia aktywności neuronalnej w	Choć efekt ten jest mniej poznany niż efekt przerwy, kilka badań sugeruje, że przeplatanie ma potencjał zastosowania w edukacji.	Średnia	Umiarkowana	63-64

^d Czyli w niezależnym badaniu uzyskać takie same wyniki (przyp. tłum.).

	obszarach mózgu odpowiedzialnych za pamięć, do którego dochodzi podczas powtarzającej się prezentacji tych samych bodźców.				
13. Sprawdzanie wiedzy	Jak udało się udowodnić w różnych kontekstach, sprawdzanie wiedzy może poprawiać pamięć nauczzonego materiału oraz pozytywnie wpływać na inne rodzaje uczenia się. Obecnie wskazywanych jest kilka procesów neuronalnych, które mogą przyczyniać się do pozytywnego wpływu testowania na wyniki w nauce. Wszystkie te procesy mogą mieć wpływ na obserwowane wyniki.	Odkrycia z zakresu neuronauki i psychologii, szczególnie w połączeniu z odpowiednim wykorzystaniem nowoczesnych technologii mogą pomóc w lepszym wykorzystaniu korzyści płynących z testowania w praktyce szkolnej.	Wysoka	Umiarkowana	65-66
14. Gry wspomagające uczenie się	Popularne gry dostarczają nieprzewidywalnych wzmocnień według szybko zmieniających się rozkładów, co stymuluje mózgowy układ nagrody. Reakcja mózgowego układu nagrody może pozytywnie wpływać na tempo uczenia się. Poza wielkością nagrody, na aktywność układu nagrody wpływa również szereg czynników związanych z kontekstem.	Inicjatywy mające na celu rozwój i praktyczne zastosowanie gier edukacyjnych już w chwili obecnej bazują na wiedzy naukowej o mózgu i umyśle. Nadal brakuje jednak starannie kontrolowanych porównań ich skuteczności z innymi technikami nauczania.	Średnia	Umiarkowana	67-69
15. Kreatywność	Szybko rozwijająca się dziedzina badań nad procesami neuropoznawczymi, leżącymi u podłoża kreatywności pozwala lepiej zrozumieć różnice indywidualne w	Zadania stosowane w badaniach nie przypominają tych, które są oceniane w praktyce edukacyjnej, jednak dzięki neuronauce możemy zrozumieć strategie, które mogą sprzyjać kreatywności w klasie. Do chwili obecnej nie podjęto jeszcze prób	Niska	Umiarkowana	70-71

	zakresie kreatywności i strategii jej sprzyjające.	stworzenia nowych, możliwych do zastosowania w szkole strategii opartych na wynikach badań nad kreatywnością.			
16. Indywidualizacja nauczania	Dostosowywanie się do preferencji osoby uczącej się nie prowadzi automatycznie do poprawy w zakresie uczenia się. Neuronauka poznawcza pozwala lepiej zrozumieć jak różnice indywidualne mogą potencjalnie wpływać na wyniki uczenia się.	Wiadomo, że zapewnienie możliwości wyboru może zwiększać motywację. Niemniej jednak podjęto stosunkowo niewiele wysiłków mogących dostarczyć dowodów neuronaukowych, które pozwoliłyby lepiej zrozumieć indywidualizację w uczeniu.	Niska	Umiarkowana	72
17. Neurofeedback	Neurofeedback pozwala użytkownikowi na zmianę stanu własnego umysłu poprzez umożliwienie mu monitorowania aktywności własnego mózgu. Udowodniono korzystny wpływ tej metody na kreatywność, chociaż nadal nie do końca poznane są mechanizmy tego wpływu.	Technologia, która umożliwia zastosowanie neurofeedback'u w czasie zajęć szkolnych, staje się coraz tańsza i bardziej mobilna. Jej użyteczność w tym kontekście sprawdzono w badaniu, w ramach którego dzieci miały wykonać w klasie program muzyczny. Wciąż jednak nie wiadomo jak optymalnie wykorzystać tę technologię.	Średnia	Umiarkowana	73-75
18. Przeczaszkowa stymulacja elektryczna (TES)	Pomimo tego, że nadal nie w pełni rozumiemy efekty działania tej metody, aplikowanie prądu o niskim napięciu na powierzchnię czaszki może usprawniać niektóre funkcje poznawcze i procesy uczenia się.	W ostatnim czasie pokazano pozytywny wpływ stymulacji na procesy uczenia się, które mogą być interesujące z perspektywy edukacji. Nadal jednak brakuje ostatecznej odpowiedzi na pytania dotyczące ryzyka związanego z tego rodzaju interwencją. Ponadto, nierozstrzygnięte pozostają kwestie etyczne. Sprawia to, że w najbliższym czasie stosowanie w klasach szkolnych interwencji z wykorzystaniem TES jest mało prawdopodobne.	Średnia	Daleka	76-77

Matematyka

Procesy neuropoznawcze

- Neuronauka pomogła odkryć rolę zarówno niesymbolicznej jak i symbolicznej reprezentacji ilości w najwcześniejszych (a także późniejszych) etapach edukacji matematycznej
- Uczniowie muszą opanować łączenie tych dwóch reprezentacji
- Sprawność wykonywania rotacji mentalnych pozwala przewidywać osiągnięcia z matematyki i przedmiotów ścisłych i jest ona podatna na trening, między innymi wykorzystujący komputerowe gry akcji^a
- Palce mogą być w sposób szczególny powiązane z reprezentacją liczb
- Lęk przed matematyką zaburza procesy neuropoznawcze mające kluczowe znaczenie dla uczenia się, ten wpływ zachodzi poprzez zaangażowanie sieci neuronalnych odpowiedzialnych za procesy kontroli poznawczej

Niesymboliczna i symboliczna reprezentacja liczb^b

Neuronauka poznawcza w znacznej mierze przyczyniła się do rozwoju wiedzy na temat tego, w jaki sposób rozwijają się umiejętności matematyczne u dzieci. Wskazano, że niesymboliczne i symboliczne reprezentacje ilości mają kluczowe znaczenie dla nabywania formalnych umiejętności matematycznych. Aktualnie wiadomo, że zdolność operowania na wielkościach numerycznych obejmuje szereg składników takich jak:

- system niesymboliczny, który jest zdolnością rozumienia i szacowania ilości³. Przyjmuje się, że ta zdolność jest obecna u zwierząt i pojawia się bardzo wcześnie w rozwoju człowieka
- symboliczny system przetwarzania liczb, czyli zdolność rozumienia znaczenia obiektów takich jak „3” czy „trzy”, której rozwój jest ściśle powiązany z wczesnym rozwojem języka rozpoczynającym się w wieku około 2-3 lat
- zdolność tworzenia powiązań między systemami niesymbolicznym i symbolicznym, która rozwija się w trakcie wczesnego dzieciństwa i jest prawdopodobnie powiązana z wykorzystaniem palców

^a Czyli gier, w których sukces gracza jest uzależniony od szybkości i sprawności reagowania (przyp. tłum.).

^b Na temat umysłowych reprezentacji liczb i ilości w języku polskim można przeczytać w następujących pracach: (a) Cipora i Nęcka (2012). Kontinua a przestrzeń – przegląd badań nad przestrzennym komponentem poznawczej reprezentacji wielkości i nasilenia. *Psychologia-Etologia-Genetyka* (26, 7-21); (b) Cipora (2015). Rachuby ciała. *Tygodnik Powszechny*, (15/3431, 50-51).

<https://www.tygodnikpowszechny.pl/rachuby-ciala-27392>; (c) Cipora. Na oko... nie tylko „chłop w szpitalu umarł”. Czyli kilka słów o szacowaniu. *Blog Gdańskiego Wydawnictwa Oświatowego* <https://blog.gwo.pl/na-oko-nie-tylko-chlop-w-szpitalu-umarl/>; (d) Cipora (2016). Zmysł liczby. *Tygodnik Powszechny, Dodatek Wielkie Pytania 2: Człowiek a zwierzę*. (41/3509: 30-31). <https://www.tygodnikpowszechny.pl/zmysl-liczby-35941> (przyp. tłum.).

Badania z wykorzystaniem metod obrazowania mózgu sugerują, że nawet osoby dorosłe wykorzystują system niesymbolicznych liczebności (mieszczący się w części płata ciemieniowego mózgu) podczas szacowania ilości, choć podczas wykonywania obliczeń bardziej polegamy na systemie symbolicznym, zależnym od języka⁴.

Badania z udziałem normalnie rozwijających się dzieci pokazują również, że dokładność reprezentacji wielkości liczbowych jest dobrym predyktorem różnic indywidualnych w zakresie osiągnięć matematycznych np. ^{5,6,7}. Jednak cytowane badania obejmowały różnorodne działy matematyki, a osiągnięcia oceniano w zadaniach bez ograniczenia czasowego. W innym badaniu skupiono się na umiejętnościach arytmetycznych, w przypadku których problemy z przywoływaniem informacji z pamięci są często uznawane za oznakę trudności z matematyką^{8,9}. Jego wyniki wskazują, że poznawczy dostęp do znaczenia cyfr w zapisie arabskim („1”, „2”, „3”, itd.) odgrywa kluczową rolę w rozwoju strategii arytmetycznych u dzieci¹⁰. Jest to także spójne z wynikami innych prac, wskazujących podstawowe znaczenie dostępu do tych reprezentacji. Ponadto pokazują one, że warto badać skuteczność interwencji polegających na łączeniu symboli (cyfr arabskich) z ilościami, które reprezentują^{11,12}.

U osób z dyskalkulią reprezentacje liczb są poważnie zaburzone, 10 latki cierpiące na dyskalkulię radzą sobie z matematyką na poziomie normalnie rozwijających się pięcioletków¹³. Wyniki badań z wykorzystaniem neuroobrazowania potwierdzają istnienie deficytów w zakresie reprezentacji liczb, które obserwowano na poziomie behawioralnym u dzieci z dyskalkulią rozwojową^c. Wskazuje to na istnienie deficytów funkcjonalnych i zmian anatomicznych w obszarach ciemieniowych mózgu, związanych z reprezentacją liczb na tak zwanej mentalnej osi liczbowej¹⁴⁻¹⁶.

Sprawność rotacji mentalnych^d

Zdolności przestrzenne, zwłaszcza w zakresie wykonywania rotacji mentalnych są dobrze opisanymi predyktorami osiągnięć z zakresu matematyki¹⁷ i przedmiotów ścisłych¹⁸. Wydają

^c Chociaż znane są funkcjonalne i strukturalne zmiany w sieci czołowo-ciemieniowej nadal nie wiemy czy to przyczyna czy raczej skutek głębszych przyczyn dyskalkulii. Najważniejszą strukturą zaangażowaną w operacje związane z liczbami jest bruzda śródciemieniowa (IPS). Jej struktura uznawana jest za najważniejszy biologiczny marker dyskalkulii rozwojowej (De Smedt, i wsp., 2019 w: *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom*). Systematyczny przegląd metod nauczania używanych w przypadku dyskalkulii obejmuje zarówno interwencje neuropsychologiczne, różne strategie liczenia, oraz programy komputerowe (Monei i Pedro, 2017, *Educational Psychology in Practice*, przyp. tłum.).

^d Sprawność porównywania wzorów (np. figur geometrycznych czy układów trójwymiarowych bloków) i określania czy są wobec siebie jedynie odwrócone (zrotowane) czy też różnią się pod względem kształtu (np. jeden stanowi lustrzane odbicie drugiego). W takim zadaniu czas podjęcia decyzji silnie wzrasta wraz ze wzrostem kąta rotacji (przyp. tłum.).

się one również stanowiąc jeden z mediatorów^e różnic międzypłciowych w zakresie osiągnięć z przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM)¹⁹. Trenowanie sprawności rotacji mentalnych może prowadzić do trwałej poprawy wykonania tego zadania²⁰. Gry akcji poprzez procesy, które wyjaśniono odwołując się do działania neuronalnych modulatorów plastyczności mózgu^{21,22}, wydają się poprawiać sprawność rotacji mentalnych^{23,24}.

Gnozja palców^f

Inne odkrycie z zakresu neuronauki pochodzi z badań nad rolą palców w rozwoju wczesnych umiejętności matematycznych. Gnozę palców (zdolność rozróżniania tylko na podstawie informacji dotykowej czy dotknięty został jeden czy dwa różne palce), wskazano jako kolejny predyktor umiejętności matematycznych²⁵. W badaniach wykorzystujących funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI) zaobserwowano zróżnicowanie związane z wiekiem w obszarach mózgu aktywowanych, gdy osoba badana wykorzystywała palce do szacowania²⁶. U 8-latków wzrasta aktywacja w obszarach ciemieniowych związanych ze zmysłem numerycznym^g, gdy angażowane są palce. Takie zmiany nie pojawiają się natomiast u osób dorosłych. Autorzy tego badania sugerują, że palce reprezentują konkretne, ucieleśnione obiekty zaangażowane w szacowanie wielkości liczbowych. Innymi słowy, są blisko związane ze zmysłem numerycznym. Wynika z tego, że nie powinno się zniechęcać dzieci do używania palców podczas liczenia, a nauczyciele powinni lepiej wykorzystywać tę naturalną funkcję palców²⁷. W późniejszych latach edukacji w obliczeniach pojawia się nieproporcjonalnie dużo pomyłek o 5. Wynikają one z wykorzystania palców do reprezentowania pośrednich wyników podczas wykonywania obliczeń (i pominięcia danej piątki). Stanowi to kolejny dowód utrzymującego się wpływu palców na nasze myślenie matematyczne. Badanie fMRI z udziałem dzieci w wieku 6-12 lat sugeruje, że liczenie na palcach ma istotne znaczenie dla przejścia od reprezentacji niesymbolicznych do symbolicznego, dokładnego przetwarzania liczb^{28h}. Zatem

^e Czyli tak zwaną zmienną pośredniczącą. W statystyce określa się w ten sposób zmienną, która pośredniczy w zależności między innymi zmiennymi. W przedstawionym tutaj przykładzie różnice międzypłciowe w zakresie osiągnięć z przedmiotów matematyczno-technicznych mogą stanowić konsekwencję różnic płciowych w zakresie sprawności rotacji mentalnych (przyp. tłumacza).

^f W języku polskim informacje na temat roli liczenia na palcach można znaleźć w pracach: (a) Cipora, Szczygieł i Hohol (2014). Palce, które liczą: znaczenie liczenia na palcach dla poznania matematycznego u człowieka dorosłego. *Psychologia-Etologia-Genetyka* (30: 59-73). https://www.filozofiawnauce.pl/files/cipora-et-al-palce-ktore-licza_0.pdf; (b) Szczygieł, Cipora i Hohol (2015). Liczenie na palcach w ontogenezie i jego znaczenie dla rozwoju kompetencji matematycznych. *Psychologia Rozwojowa* (20,3: 23-33). <http://mateuszohol.filozofiawnauce.pl/wp-content/uploads/2012/12/Liczenie-na-palcach-ontogeneza.pdf>; (c) Cipora i Hohol (2015). Palce się liczą. *Tygodnik Powszechny* (16/3432: 50-51). <https://www.tygodnikpowszechny.pl/palce-sie-licza-27471> (przyp. tłum.).

^g Czyli wrodzoną, obecną również u wielu gatunków zwierząt zdolność operowania na przybliżonych liczebnościach (przyp. tłum.).

^h Związek używania palców stwierdzono również u dzieci w przypadku dodawania i odejmowania obserwując procesy w mózgu za pomocą neuroobrazowania, nawet w przypadkach, gdy nie wykonują one widocznych ruchów. Potwierdza to hipotezę wpływu liczenia na palcach na rozwój umiejętności liczenia (Soylu i wsp., 2018, *Journal of Numerical Cognition*, przyp. tłum.).

liczenie na palcach wydaje się być ważnym przykładem tak zwanego *ucieleśnionego poznania* (idei, że ludzkie poznanie ma swoje korzenie w procesach sensomotorycznych i nadal pozostaje pod silnym wpływem naszych doświadczeń cielesnych – patrz część *Ucieleśnione Poznanie*)²⁹.

Lęk przed matematykąⁱ

Istnieją dowody na to, że używanie liczb wywołuje lęk nawet u bardzo młodych uczniów³⁰ i utrzymuje się to na dalszych etapach edukacji³¹. Tacy uczniowie z mniejszym prawdopodobieństwem angażują się w naukę matematyki i ich problemy kumulują się w toku edukacji³². Lęk może niekorzystnie wpływać na osiągnięcia niezależnie od rzeczywistego poziomu umiejętności oraz chęci zaangażowania się w naukę³³. Może to wynikać z wpływu jaki wywiera na pamięć roboczą^{34j}. Podczas wykonywania obliczeń, w porównaniu do dzieci o niskim lęku przed matematyką, u dzieci o jego wysokim poziomie można zaobserwować zwiększoną aktywność ciała migdałowatego (struktury zaangażowanej w przetwarzanie negatywnych emocji; jej położenie przedstawiono na Rysunku A5 w Aneksie 1) oraz zmniejszoną aktywność w obszarach mózgu związanych z pamięcią roboczą i przetwarzaniem liczb³⁵. Takich różnic na poziomie neuronalnym nie powinno się uznawać za dowód na to, że lęk przed matematyką jest zdeterminowany biologicznie. Tak naprawdę wydaje się, że może zostać przeniesiony z nauczyciela na ucznia^{36 k}. Przeprowadzone niedawno badanie z wykorzystaniem neuroobrazowania pokazało, że trudności doświadczane przez dorosłych studentów, którzy odczuwali lęk przed matematyką, można było przewidzieć na podstawie tego w jak dużym stopniu angażowali oni obwody neuronalne odpowiedzialne za kontrolę poznawczą³⁷. Autorzy tego badania sugerują, że uzyskane wyniki wskazują potrzebę interwencji skoncentrowanych na kontroli negatywnych reakcji emocjonalnych na obiekty związane z matematyką^l.

ⁱ W języku polskim na temat lęku przed matematyką można przeczytać w następujących pracach:

(a) Cipora (2015). Lęk przed matematyką z perspektywy psychologicznej i edukacyjnej. *Edukacja* (1/132, 139-150). <http://www.edukacja.ibe.edu.pl/images/numery/2015/1-9-cipora-lek-przed-matematyka.pdf>; (b) Cipora. Czy można bać się matematyki? *Granice Nauki*: <https://www.granicenauki.pl/czy-mozna-bac-sie-matematyki-25908>; (c) Cipora i Szczygieł. Lęk przed matematyką i jego wpływ na poziom osiągnięć. *Instytut Rozwoju Edukacji*: <http://ire.edu.pl/lek-przed-matematyka-i-jego-wplyw-na-poziom-osiagniec2/> (przyp. tłum.).

^j Czyli strukturę pamięciową umożliwiającą przechowywanie informacji przez krótki czas i przetwarzanie jej (przyp. tłum.).

^k Wyniki wielu badań pokazują, że wysoki poziom lęku przed matematyką występuje zwłaszcza u nauczycieli edukacji wczesnoszkolnej. Podobne wyniki uzyskano również w Polsce: studentki kierunków pedagogicznych, charakteryzowały się znacznie wyższym poziomem lęku przed matematyką niż studentki innych kierunków. Badania te opisano w pracy: Szczygieł i Cipora (2016). Lęk przed matematyką przyszłych nauczycieli edukacji przedszkolnej i wczesnoszkolnej. Jak uczyć, kiedy sama się boję? *Problemy wczesnej edukacji* (2,33: 89-101). <http://www.pwe.ug.edu.pl/wp-content/uploads/2016/10/nr-33.pdf#page=89> (przyp. tłum.).

^l W innym badaniu Lyons i Beilock (2012, *PLoS One*) pokazali, że u osób o wysokim poziomie lęku przed matematyką podczas oczekiwania na pojawienie się zadania matematycznego uaktywnia się mózgowa sieć odpowiadająca za odczuwanie fizycznego bólu. Odkryto również korelację pomiędzy lękiem przed

Zastosowania edukacyjne

Czy trening usprawnia niesymboliczną reprezentację liczby u dzieci i jej związek z reprezentacją symboliczną, i czy może prowadzić do poprawy osiągnięć matematycznych?

- Odzwierciedlając aktualny stan wiedzy w tej dziedzinie, również nieliczne badania mające na celu trenowanie reprezentacji niesymbolicznych u dzieci przyniosły różnorodne wyniki. Część badań wykazała wpływ treningu na reprezentacje symboliczne i transfer efektów na inne umiejętności matematyczne
- Jedno badanie pokazuje, że trening gnozi palców może być korzystny w niektórych aspektach rozwoju wczesnych umiejętności matematycznych

W przeprowadzonym niedawno wśród 6-7 latków badaniu porównywano efekty treningu systemu przetwarzania dokładnych liczebności i treningu operowania na przybliżonych liczebnościach. Pokazano w nim, że oba podejścia przyniosły podobne efekty w zakresie poprawy umiejętności arytmetycznych. Stanowi to dowód na rzecz twierdzenia, że dwa niezależne systemy odpowiadają za reprezentowanie przybliżonej i dokładnej informacji o liczebności³⁸. Potencjalnie połączenie technologii z wiedzą naukową na temat uczenia się, może być bardzo pomocne dla edukacji w zakresie przygotowania oprogramowania komputerowego wspomagającego nauczanie. Takie oprogramowanie, oparte na solidnych podstawach teoretycznych może się dostosować do indywidualnych potrzeb ucznia. Badania nad tym, jak połączyć technologię i neuronaukę w celu rozwoju nowych metod edukacyjnych, wskazano jako ważny obszar przyszłych wysiłków³⁹. Gra *The Number Race*^m to jedno z pierwszych takich narzędzi zaprojektowane na podstawie omówionych wyżej teorii. Jej twórcy⁴⁰ są zdania, iż przeprowadzone przez nich badania pokazują, że takie oprogramowanie może pomóc w zniwelowaniu różnic w osiągnięciach matematycznych związanych ze statusem społeczno-ekonomicznym⁴¹. *The Number Race* zaprojektowano w ten sposób, aby interwencja koncentrowała się na (1) zmyśle numerycznym, łącznie z porównywaniem liczb (decydowaniem która z dwóch liczb jest większa) i powiązaniu między liczbami a przestrzenią; (2) tworzeniu i rozwijaniu powiązań między niesymbolicznymi i symbolicznymi reprezentacjami liczb; oraz (3) rozumieniu i dostępie do podstawowych działań arytmetycznych (sprawności przywoływania wyników) – dodawania i odejmowania⁴⁰. Choć w

matematyką i zmniejszoną objętością prawego ciała migdałowatego, odpowiedzialnego za stany lękowe (Kucian i wsp., 2018, *Translational Psychiatry*). Lęk może wpłynąć na operacje matematyczne na trzy sposoby, zależne od rodzaju problemu do rozwiązania: (1) redukując sprawność pamięci roboczej (hipoteza 'affective drop') (2) wpływając na symboliczne operacje specyficzne dla liczbowych relacji; (3) wpływając bezpośrednio na procesy poznawcze (Skagerlund i wsp., 2019, *PLoS ONE*, przyp. tłum.).

^m Gra *The Number Race* dostępna jest również w języku polskim i można ją bezpłatnie pobrać ze strony <http://www.thenumberrace.com/nr/home.php>. Szczegółowy opis tego narzędzia w języku polskim można znaleźć w artykule: Cipora i Szczygieł (2013). Wyścig Liczb – The Number Race – polska wersja językowa narzędzia wczesnej interwencji w przypadku ryzyka dyskalkulii rozwojowej oraz wspomagania rozwoju kompetencji arytmetycznych. *Psychologia-Etologia-Genetyka* (27: 71-85; przyp. tłum.).

pierwszym badaniu skuteczności gry wzięła udział mała próba ($N = 9$) 7-9 latków mających trudności z matematyką,⁴² to już na tym etapie zaobserwowano, że *The Number Race* spowodowało poprawę poziomu wykonania operacji matematycznych zarówno na materiale niesymbolicznym jak i symbolicznym. Kolejne badanie przeprowadzono wśród 30 dzieci w wieku przedszkolnym mających trudności z liczeniem. Dzieci korzystały z gry przez 10-15 minut dziennie przez trzy tygodnie. Zaobserwowano poprawę w zakresie porównywania liczb w zapisie arabskim, ale nie w innych obszarach umiejętności matematycznych⁴³. W kolejnym badaniu z udziałem 53 dzieci (w wieku 4-6 lat) pochodzących z rodzin o niskim statusie społeczno-ekonomicznym pokazano poprawę w zakresie porównywania liczb i liczebników, ale nie w przypadku niesymbolicznych miar zmysłu numerycznego⁴⁴. Może to sugerować, że poprawa w zakresie procesów poznawczych leżących u podłoża wykonywania zadań obejmowała dostęp do zmysłu numerycznegoⁿ, czyli powiązań między reprezentacjami niesymbolicznymi i symbolami oznaczającymi liczby^o.

Kucian i współpracownicy opracowali grę *Rescue Calcularis*, w której gracz ma za zadanie wylądować statkiem kosmicznym w określonym miejscu osi liczbowej (np. 7). Celem gry jest pomoc dzieciom w rozwinięciu własnej mentalnej osi liczbowej^p. W trwającej 5 tygodni interwencji, z udziałem 16 dzieci w wieku 8-10 lat, u których zdiagnozowano dyskalkulię, oraz złożonej z 16 dzieci grupy kontrolnej, uczestnicy mieli we własnych domach codziennie przez 15 minut grać w tę specjalnie zaprojektowaną grę⁴⁵. Rezultaty treningu oceniono przy pomocy testów behawioralnych i neuroobrazowania działania mózgu w trakcie szacowania na osi liczbowej. Pięć tygodni po zakończeniu interwencji, u obu grup (z dyskalkulią i bez niej) zaobserwowano poprawę w zakresie różnych aspektów przestrzennej reprezentacji liczb i rozumowania matematycznego. Intensywny trening doprowadził początkowo do ogólnego spadku aktywacji istotnych dla tego zadania obszarów mózgu. Prawdopodobnie wynikało to z reorganizacji i dostrojenia ich funkcji (intensywniejszego u dzieci z dyskalkulią). Następnie zaobserwowano wzrost aktywności obszarów zaangażowanych w zadanie, który nastąpił po okresie konsolidacji. Dalszą ocenę skuteczności tej gry przeprowadzono z udziałem 40 dzieci

ⁿ Należy tu jednak zaznaczyć, że w tej dziedzinie panuje dość duży chaos terminologiczny i rozróżnienie między zmysłem numerycznym a dostępem do niego nie jest uznawane przez wszystkich autorów (przyp. tłum.).

^o W opublikowanym w 2016 roku badaniu Sella i wsp. (2016, *Trends in Neuroscience in Education*) po raz kolejny pokazano skuteczność interwencji z wykorzystaniem *The Number Race*. W badaniu wzięły udział dzieci z rodzin o przeciętnym statusie społeczno-ekonomicznym. Poprawę (w stosunku do grupy kontrolnej, która wykonywała innego rodzaju zadania, również z wykorzystaniem komputera) zaobserwowano w zakresie wykonywania obliczeń w pamięci, przestrzennego mapowania liczb, a w mniejszym stopniu w zakresie semantycznej reprezentacji liczb. Nie uzyskano za to poprawy w przypadku sprawności liczenia (liczenie od 1 do 20, liczenie wstecz, uzupełnianie sekwencji, przyp. tłum.).

^p W podobnym celu została stworzona przy współpracy naukowców z toruńskiego UMK (dr M. Gut, dr hab. J. Matulewski, oraz prof. W. Duchem) gra NUMBALA. Przeprowadzone dotychczas badania również pokazały skuteczność tego narzędzia w zakresie treningu wczesnych umiejętności matematycznych. Więcej informacji oraz gra do pobrania dostępne są na stronie: <http://neurodio.com/numbala-2/> (przyp. tłum.).

mających trudności z nauką matematyki - o niższych niż przeciętnie osiągnięciach z zakresu arytmetyki⁴⁶. Codzienne 20-minutowe sesje, 5 dni w tygodniu przez okres 6 tygodni, doprowadziły do poprawy wyników w zakresie arytmetyki, zwłaszcza odejmowania, którego wykonanie wydaje się stanowić główny wskaźnik rozwoju przestrzennej reprezentacji liczb i rozumienia liczb.

Istnieją również dwa inne, wykorzystujące technologię komputerową narzędzia, które jak twierdzą ich autorzy, korzystają z osiągnięć neuronauki: *Fluency and Automaticity through Systematic Teaching with Technology* (FASTT Math; dosł. Płynność i automatyczność poprzez systematyczne nauczanie z pomocą technologii) i *Number Worlds* (dosł. Światy Liczb). Jednak, jak wskazują Kroeger i wsp.⁴⁷, trudno interpretować dostępne aktualnie raporty z badań pokazujące skuteczność tych narzędzi ze względu na niewystarczająco dokładny opis metodologii badań i wykonanych analiz⁹.

Inni badacze wykorzystywali metody niewymagające zastosowania technologii komputerowej, aby zachęcić dzieci do łączenia symboli z ich znaczeniem. Gabriel i Coché⁴⁸ zachęcili dzieci w wieku 9-11 lat ($N = 292$) do wykorzystania drewnianych patyczków jako pomocy w reprezentowaniu i manipulowaniu ułamkami, podczas grania w gry karciane. Interwencja obejmowała dwie 30-minutowe sesje w tygodniu przez okres 10 tygodni. W porównaniu ze standardowym nauczaniem, doprowadziła ona u tych dzieci do poprawy rozumienia pojęciowego ułamków i umiejętności wiązania zapisu ułamkowego (ułamki zwykłe) z wielkością liczbową. Prawdopodobnie doszło do tego na skutek uczenia się poprzez działanie. Podczas ostatniego (2012; przyp. tłum.) spotkania EARLI SIG^r, Brankaer i wsp.⁴⁹ opisał poprawę w zakresie porównywania wielkości symbolicznych przez dzieci na skutek zastosowania gry domino, zaprojektowanej w celu poprawy powiązań między konkretnymi ilościami a symbolami. Uzyskane efekty porównywał z grupą kontrolną, w której zastosowano standardowe domino⁵.

⁹ Poza opisanymi tu grami dostępnych jest szereg innych narzędzi służących do wspomaganie kompetencji matematycznych, np. *The Number Catcher* <http://www.thenumbercatcher.com/nc/home.php>, będący rozwinięciem *The Number Race* przeznaczonym dla starszych dzieci, czy też różne odmiany gry *Number bonds*. Warto wspomnieć również o opracowanej w Polsce grze *Prokalkulia 6-9* służącej do diagnozy dyskalkulii rozwojowej. Szerzej na ten temat można przeczytać na stronie <http://www.sfera.umk.pl/26418/grami-w-dyskalkulie/>, na stronie GameLab <http://gamelab.fizyka.umk.pl/html/projekty.html> oraz stronie spin-offu Neurodio, <http://neurodio.com> (przyp. tłum.).

^r *European Association for Research on Learning and Instruction* (Europejskie stowarzyszenie na rzecz badań uczenia się i nauczania) utworzyło specjalny zespół (*Special Interest Group*; EARLI SIG) zajmujący się wykorzystaniem neuronauki w edukacji (przyp. autora); więcej informacji: <https://www.earli.org/node/45> (przyp. tłum.).

⁵ Innym rodzajem interwencji, której skuteczność przetestowano również w warunkach klasy szkolnej są liczbowe gry planszowe. Ich szersze omówienie w języku polskim można znaleźć w pracy: Cipora i Szczygieł (2013). Gry planszowe jako narzędzie wspomaganie rozwoju wczesnych kompetencji matematycznych. *Edukacja* (3/2013: 60-75) <http://www.edukacja.ibe.edu.pl/images/numery/2013/3-4-cipora-szczygiel-gry-planszowe.pdf> (przyp. tłum.).

Czy trening gnozi palców może usprawnić rozwój wczesnych umiejętności matematycznych?

Punktem wyjścia innego, prowadzonego w formie interwencji badania były dane wskazujące że reprezentacje palców są powiązane z procesami operowania na liczbach. W badaniu tym sprawdzono czy trening gnozi palców może doprowadzić do poprawy umiejętności matematycznych. Jest to sprzeczne z poglądami wielu specjalistów w zakresie edukacji matematycznej, którzy rekomendują rozwijanie umysłowych reprezentacji liczb poprzez skłanianie dzieci do zrezygnowania z liczenia na palcach. W opisywanym badaniu Gracia-Bafalluy i Noel⁵⁰ ocenili gnozę palców u dzieci rozpoczynających naukę w trzech belgijskich szkołach podstawowych. Na tej podstawie sformowali trzy grupy: dzieci o słabej gnozi palców^t, u których przeprowadzono trening różnicowania palców (G1), grupę kontrolną, w której przeprowadzony został trening rozumienia historyjek (G2), i grupę o dobrej gnozi palców, która brała jedynie udział w normalnych lekcjach (G3). Początkowo dzieci z G3 radziły sobie lepiej, zarówno w zakresie gnozi palców jak i liczenia niż dzieci z G1 i G2. W trakcie interwencji dzieci z G1 brały udział w treningach gnozi palców. Obejmowały one dwie 30-minutowe sesje w tygodniu przez okres 8 tygodni. Trening składał się z gier, w czasie których na paznokciach poszczególnych palców przyczepiano kolorowe naklejki. Przykładowo, w jednej z gier dzieci śledziły danym palcem ścieżkę w labiryncie oznaczoną tym samym kolorem, co naklejka na danym paznokciu. Po treningu dzieci z G1 radziły sobie lepiej niż dzieci z G2 w zakresie gnozi palców podczas wykorzystania palców do reprezentowania liczebności (np. liczby obiektów w zbiorze), określania liczby elementów czy przetwarzania liczb w zapisie arabskim^u. Te pozytywne wyniki nie zakończyły jednak debaty między neuronaukowcami i specjalistami w zakresie edukacji matematycznej, w kwestii znaczenia palców⁵¹.

Czy trening w zakresie rotacji mentalnych może doprowadzić do poprawy osiągnięć w zakresie przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM)?

- Wyniki jednego badania podłużnego z udziałem studentów wskazują na poprawę osiągnięć w zakresie STEM na skutek treningu przestrzennego
- Do chwili obecnej nie próbowano uzyskać bezpośrednich dowodów na to, że gry wideo mogą prowadzić do poprawy osiągnięć w zakresie STEM poprzez poprawę sprawności rotacji mentalnych

Wyniki badania podłużnego przeprowadzonego wśród studentów sugerują, że trening spowodował poprawę u osób, które początkowo miały trudności w zakresie umiejętności

^t Wiedza i świadomość palców (przyp. autora).

^u Do tej pory opublikowano tylko jedną pracę pokazującą skuteczność treningu gnozi palców. Ponadto Fischer (2010, *Cortex*) wskazał problemy metodologiczne, które utrudniają jednoznaczną interpretację wyników tego badania. Zasugerował, że wyniki opisane przez autorów wynikają z tak zwanej regresji do średniej, a nie rzeczywistej poprawy w grupie eksperymentalnej. W związku z tym kwestia ta wymaga dalszych badań. Niemniej jednak już teraz można powiedzieć, że w świetle wiedzy z zakresu neuronauki zniechęcanie dzieci do liczenia na palcach nie wydaje się zasadne (przyp. tłum.).

przestrzennych. Studenci, którzy wzięli udział w tej interwencji osiągnęli wyższe oceny z kursów technicznych, matematycznych i w zakresie przedmiotów ścisłych, a postęp w nauce był u nich bardziej prawdopodobny niż u studentów, którzy nie brali udziału w treningu⁵². Pozytywny wpływ gier wideo na sprawność rotacji mentalnych i rola, którą te zdolności odgrywają dla osiągnięć w zakresie STEM, wydają się uzasadniać hipotezę, że granie w gry wideo (powszechnie dostępne i/lub specjalnie w tym celu stworzone) prowadzi do poprawy osiągnięć w zakresie STEM. Niemniej jednak obecność takich efektów i ich wielkość nie były jeszcze nigdy badane^v.

Czy rozumienie lęku przed matematyką może doprowadzić do poprawy osiągnięć w matematyce?

- Jedno badanie pokazało, że negatywny wpływ lęku przed matematyką na poziom wykonania testu u nastolatków można ograniczyć prosząc ich o opisanie odczuwanych emocji^w.

Interwencja skupiona na kontrolowaniu negatywnych reakcji emocjonalnych okazała się prowadzić do poprawy wyników w teście z matematyki. Pisanie na temat lęku może być jednym ze sposobów trenowania kontroli tych emocji. Bazując na badaniach uzyskanych w laboratorium, przeprowadzono interwencję w warunkach szkolnych u uczniów w wieku 14-15 lat ($N = 106$)⁵³. Na początku uczniowie oceniali poziom swojego lęku przed matematyką, a następnie losowo przydzielono ich do dwóch grup. Przez 10 minut, bezpośrednio przed testem z matematyki, jedna grupa pisała o swoim lęku związanym z matematyką, a druga grupa, na temat niezwiązany z matematyką i testem. Wśród uczniów o wyższym lęku przed matematyką, ci którzy mieli okazję opisać swój lęk, poradzili sobie w teście istotnie lepiej niż uczniowie z drugiej grupy. Ponadto, ich poziom wykonania testu był zbliżony do poziomu uzyskanego przez grupę o niskim lęku przed matematyką^x.

^v Meta-analizy wyników badań nad (a) zależnościami pomiędzy umiejętnościami w grach wideo i zdolnościami poznawczymi, (b) różnicami zdolności poznawczych pomiędzy graczami i osobami niegrającymi oraz (c) wpływem treningów gier wideo na zdolności poznawcze nie wykazały istotnych efektów. Badania te dotyczyły w większości osób dorosłych, tylko część z nich uwzględniała osoby poniżej 18. roku życia (Sala i wsp., 2018, *Psychological Bulletin*). Pozytywny wpływ gier wideo na takie zdolności jak sprawne przełączanie się pomiędzy zadaniami (task switching) można zauważyć u dzieci w wieku 7-11 lat (Hartanto i wsp., 2016, *Attention, Perception & Psychophysics*, przyp. tłum.).

^w Również długotrwałe interwencje wykorzystujące metody psychoterapii (zwłaszcza techniki poznawczo-behawioralne) mające na celu obniżenie lęku przed matematyką przyczyniają się do poprawy osiągnięć matematycznych (omówienie w języku polskim we wspomnianej wyżej pracy K. Cipory). Ważną rolę w kształtowaniu postaw wobec matematyki u dzieci odgrywają również rodzice np. K. Cipora: Zachęcić zamiast przestraszyć, czyli jeszcze kilka słów o lęku przed matematyką. *Blog Gdańskiego Wydawnictwa Oświatowego*. <https://blog.gwo.pl/zachecic-zamiast-przestraszyc/> (przyp. tłum.).

^x Podstawą teoretyczną tej interwencji było założenie, że opisanie aktualnie przeżywanego lęku pozwoli odciążyć pamięć roboczą, której dodatkowe zasoby uczeń może wykorzystać do wykonywania zadań, podobnie jak w przypadku lęku egzaminacyjnego (test anxiety; Ramirez i Beilock, 2011, *Science*).

Czytanie

Procesy neuropoznawcze

- Dzieci zaczynają uczyć się czytać, przyporządkowując symbole jakimi są litery do odpowiednich dźwięków
- Muszą opanować nie tylko umiejętność przekładania pisanych słów i zdań na dźwięki, ale też poznać ich znaczenia
- Na umiejętność płynnego czytania składa się wiele umiejętności cząstkowych

Symbole i dźwięki

Pierwszym kluczowym etapem uczenia się czytania jest przyporządkowywanie liter i ciągów liter do dźwięków języka (fonemów^a). Dysleksja jest najczęściej przypisywana właśnie problemom związanym z procesem „dekodowania fonologicznego”^b. Udało się opracować kilka interwencji, które zdają się skutecznie pokonywać te trudności oraz korygować działanie obszarów mózgu odpowiedzialnych za te procesy^{54,55}. Badania w tym obszarze przyczyniły się do zwiększenia świadomości znaczenia procesu dekodowania fonologicznego w uczeniu się czytania oraz utorowały drogę do powszechnego wprowadzenia metod „fonetycznych” w nauce czytania. Ponadto, dały one impuls do opracowania materiałów do nauki czytania łączących neuronaukę i najnowsze odkrycia w dziedzinie nauczania, przy wykorzystaniu technologii. Jednym z przykładów takich materiałów jest opracowany przez Uniwersytet Jyväskylä (w Finlandii) darmowy system Graphogame^c. Służy on do ćwiczenia powiązań między grafemami^d i fonemami zgodnie z częstością występowania poszczególnych grafemów i spójnością między grafemami i fonemami^e w danym języku⁵⁶. Przeznaczony jest dla dzieci młodszych^f. Zastosowane w Graphogame algorytmy na bieżąco analizują wyniki dziecka i dostosowują plany lekcji w zależności od tego, jakie popełnia błędy⁵⁷. Poziom trudności dostosowuje się w ten sposób do poziomu umiejętności dziecka. Dzięki połączeniu metod

^a Fonemy to najmniejsze i podstawowe częściki mowy, rozróżnialne dla osób posługujących się danym językiem (<http://sjp.pwn.pl/slowniki/fonem.html>; przyp. tłum.).

^b Przegląd literatury (D’Mello i wsp., 2018, *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*) wskazuje, że istotne różnice skupione są w 3 obszarach po lewej stronie mózgu, na pograniczu potyliczno-skroniowych i ciemieniowo-skroniowych płatów, oraz dolnych obszarów czołowych (w tym ośrodk Broki, przyp. tłum.).

^c Szerzej na temat Graphogame w języku polskim można przeczytać na stronie <http://kursy.operon.pl/Blogi/Blog-dra-Marcina-Szczerbinskiego/Jak-pomoc-dzieciom-wolno-czytajacym-Graphogame>. Na stronie projektu <https://www.graphogame.com> można znaleźć listę publikacji naukowych na ten temat (przyp. tłum.).

^d Grafemy są najmniejszymi jednostkami pisma, często odpowiadają fonemowi, mogą to być pojedyncze litery lub ich zestawy odczytywane jako jeden fonem (np. „sz”; przyp. tłum.).

^e Poszczególne języki znacznie różnią się pod tym względem. Przykładowo w języku polskim na podstawie pisowni stosunkowo łatwo ustalić wymowę. Zupełnie inaczej jest na przykład w języku angielskim (przyp. tłum.).

^f W wieku 5-9 lat (przyp. tłum.).

fMRI i EEG (umożliwiających uzyskanie dobrej rozdzielczości przestrzennej i czasowej pomiarów) udało się wykazać, że ćwiczenia Graphogame mogą wywołać aktywację regionów mózgu, które odgrywają kluczową rolę w rozwoju umiejętności biegłego czytania, tzw. „systemu wzrokowej formy słów”⁵⁸.

Różnorodne umiejętności cząstkowe

Przypuszcza się, że problemy z dekodowaniem fonologicznym najprawdopodobniej leżą u podstaw trudności na wczesnym etapie nauki czytania. Niemniej, umiejętność biegłego czytania wymaga zrozumienia treści, co może być kolejnym poważnym źródłem trudności dla wielu dzieci. Aby skutecznie posługiwać się umiejętnością czytania konieczne jest poprawne dekodowanie oraz płynne czytanie ze zrozumieniem⁵⁹. W badaniu z wykorzystaniem technik neuroobrazowania z udziałem osób dorosłych wykazano, że regiony mózgu związane z umiejętnością czytania reagują w różny sposób, kiedy manipuluje się biegłością czytania (np. poprzez zwiększenie szybkości wyświetlania tekstu⁶⁰). Wyniki tego badania sugerują, że zdolność do płynnego czytania powinna być rozumiana jako efekt połączenia różnych umiejętności cząstkowych. Wskazują one również, że zmienna szybkość czytania może służyć za skuteczne kryterium klasyfikacji różnych form zaburzeń płynności czytania, poprzez zastosowanie pomiarów behawioralnych i mózgowych. W ten sposób można również pomóc w doborze odpowiednich zindywidualizowanych programów terapii. Niektórzy badacze wskazują, że klasyfikacja tego typu zaburzeń powinna obejmować również wykorzystanie metod neuroobrazowania⁶¹.

Zastosowania edukacyjne^h

Czy trenowanie neuropoznawczych komponentów czytania może korzystnie wpłynąć na jego sprawność?

- Treningi z wykorzystaniem komputera (ang. computer-based training; CBT) ukierunkowane na rozwój umiejętności fonologicznych przynoszą poprawę u osób

⁵⁸ Visual Word Form Area, VWFA – obszar zlokalizowany w lewej bruździe skroniowo–potylicznej; obszar ten pełni wiele funkcji, a jego własności są szczególnie przydatne w procesie czytania (Vogel i wsp., 2014, *Frontiers in Human Neuroscience*, przyp. tłum.).

^h Ciekawy nurt badań nad dysleksją dotyczy związanych z nią deficytów percepcji wzrokowej. Wskazują one na to, że rodzaj czcionki wydaje się wpływać zarówno na szybkość jak i poprawność czytania u dzieci z dysleksją. Szczególne znaczenie mają odstępy zarówno między literami jak i między słowami (im większe tym lepiej; por. Zorzi i wsp. 2012, *PNAS*). Ważny wydaje się również krój czcionki: lepsze są czcionki bezszeryfowe (np. Arial) ze stosunkowo dużymi odstępami między literami i między słowami. Niekorzystne wydaje się natomiast zastosowanie kursywy (por. Rello & Beza-Yates, 2013, *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*). Może to wynikać z faktu, że u osób z dysleksją nasilone jest zjawisko stłoczenia percepcyjnego, czyli trudniej im rozróżniać położone bardzo blisko siebie bodźce (Callens i wsp., 2013, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*). Korzystny okazuje się również podział tekstu na krótsze linijki. Obiecujące w tym zakresie wydaje się wykorzystanie czytników E-booków. Pozwalają one dostosować krój czcionki, jej wielkość i odstępy do potrzeb uczniów z dysleksją. Przykładem takiego rozwiązania jest aplikacja Libby, <https://meet.libbyapp.com/> (por. Schneps i wsp., 2013, *PLOS one*, przyp. tłum.).

doświadczających trudności w nauce czytania

- Wykazano skuteczność kilku wieloskładnikowych interwencji, co może świadczyć o złożonym charakterze samego procesu czytania i konieczności indywidualizowania takich programów

Kilka badań potwierdziło skuteczność Graphogame we wspomaganiu nauki czytania u dzieci, które doświadczają trudności z opanowaniem tej umiejętności^{56,62}. W jednym z badań wykazano, że zaledwie 3 godziny treningu poprawiło poziom umiejętności związanych z czytaniem, a efekty treningu znalazły odzwierciedlenie w zmianach aktywności mózgu⁶³. Zastosowanie Graphogame do nauki języka angielskiego, w którym obowiązują niejednoznaczne zasady ortografii, jest trudniejsze niż w przypadku fińskiej wersji tego programuⁱ. W najnowszym badaniu porównano bezpośrednie angielskie tłumaczenie Graphogame z wersją, do której po raz pierwszy dodano największe grupy rymujących się słów charakteryzujących się najbardziej spójną pisownią⁶⁴. Nauczyciele wskazali grupę dzieci w wieku 6-7 lat mających trudności z nauką czytania. Poza zwyczajną nauką czytania, grupa ta grała w jedną z gier w ramach pięciu sesji w tygodniu przez okres 12 tygodni. Stwierdzono, że obie wersje gry korzystnie wpłynęły na rozwój umiejętności czytania, ortografii i fonologii, w porównaniu z dziećmi z grupy kontrolnej, w której nie zastosowano gry. Efekt ten utrzymywał się po czterech miesiącach po zakończeniu treningu.

Istnieją również dowody skuteczności podejść wieloskładnikowych, takich jak RAVE-O (*Retrieval, Automaticity, Vocabulary, Engagement with Language, Orthography*)^j. Twórcy tego narzędzia twierdzą, że na ich pracę znaczący wpływ miała neuronauka, jak również psychologia rozwoju człowieka i lingwistyka⁶⁵. Podczas trwającej 70 dni interwencji, oceniano skuteczność dwóch wieloskładnikowych metod interwencji (jedna z nich zawierała elementy RAVE-O) u dzieci z trudnościami w czytaniu. Trening odbywał się codziennie i każda sesja trwała 2 godziny. Obie te metody przyniosły lepsze wyniki niż jednokomponentowe metody fonologiczne⁶⁶. W kolejnym badaniu potwierdzono u dzieci zaliczanych do grupy ryzyka przyszłych trudności w czytaniu skuteczność innej interwencji wielokomponentowej w zakresie poprawy umiejętności czytania. Wykazano w nim także poprawę elektrofizjologicznych korelatów uwagi, których niższy poziom przed interwencją stwierdzono w grupie ryzyka⁶⁷.

ⁱ Badania prowadzone przez dr Marcina Szczerbińskiego, na grupie 66 polskich dzieci nie wykazały istotnej korelacji między czasem spędzonym na graniu w Graphogame a poprawą umiejętności czytania <http://kursy.operon.pl/Blogi/Blog-dra-Marcina-Szczerbinskiego/O-Graphogame-raz-jeszcze> (przyp. tłum.).

^j Kolejno: Przypomnienie, Automatyzacja, Słownictwo, Zaangażowanie w Język, Ortografia (przyp. tłum.).

Inna grupa badaczy skupiła się na roli, jaką w nauce czytania odgrywa umiejętność szybkiego słuchowego przetwarzania czasowego^k. Wykazali oni związaną z treningiem poprawę zarówno na poziomie behawioralnym jak i funkcji nerwowych⁶⁸. Badania te stały się podstawą dla stworzenia komputerowego programu ćwiczeń „FastForWord”. Jednak metaanaliza^l, w której w pierwszym etapie sprawdzono pod względem jakości 130 badań ewaluacyjnych tego narzędzia, zakwalifikowała do dalszej analizy tylko sześć z nich. Dalsza metaanaliza wyników tych badań wykazała, że nie ma dowodów na efektywność „FastForWord” jako metody terapii dzieci z deficytami w zakresie czytania lub słownictwa biernego/czynnego^m 69.

Prawdopodobnie, jeszcze większe kontrowersje może wzbudzać twierdzenie Helen Irlen, która zaproponowała, że dysleksja jest wynikiem stresu wzrokowego (ang. visual stress). Według Irlen⁷⁰, stres wzrokowy występuje u 65% dyslektyków i u zaledwie 12% pozostałej zdrowej populacji, a jego przyczyną są „deficyty strukturalne mózgu obejmujące układ nerwowy” (Irlen, 1991, str. 57). Zaproponowana przez Irlen metoda walki z problemami w nauce czytania (określanymi jako Zespół Irlen, zespół Meares-Irlen czy też Zespół Wrażliwości Skotopowejⁿ lub stres wzrokowy), polega na noszeniu przyciemnianych okularów. Brak rzetelnych dowodów na skuteczność tego typu metod skłonił McIntosh i Ritchie do przeprowadzenia badania metodą podwójnie ślepej próby^o. Badanie to nie potwierdziło pozytywnych efektów metody Irlen⁷¹. Ponadto, wyniki tego badania sugerują możliwość występowania efektu placebo wynikającego z zastosowania kolorowych nakładek na okulary, co jeszcze bardziej podważa wiarygodność wyników poprzednich badań prowadzonych według mniej rygorystycznej metodologii. W okresie rocznej obserwacji nie uzyskano żadnej istotnej poprawy w nauce czytania w grupie eksperymentalnej w porównaniu z grupą kontrolną⁷².

^k *Rapid auditory temporal processing*, czyli trudności w przetwarzaniu krótkich i szybko zmieniających się informacji słuchowych na skutek zaburzenia zdolności rozróżniania słyszanych dźwięków w czasie, który z kolei może zaburzać percepcję mowy (przyp. tłum.).

^l Czyli analiza wyników wielu wcześniej przeprowadzonych badań mająca na celu sprawdzenie czy występują w nich pewne powtarzalne wzorce (np., że dana interwencja jest skuteczna). Pozwala ona również określić jakie czynniki determinują skuteczność interwencji (przyp. tłum.).

^m Słownictwo bierne rozumiane jest jako zasób słów, które dziecko rozumie jako odbiorca, natomiast słownictwo czynne, to zasób słownika, którego dziecko aktywnie używa podczas komunikacji. Warto jednak zwrócić uwagę, na to, że rezultaty tej krytycznej analizy zostały podważone, gdyż wybranie 6 publikacji z 200 nie wydaje się zasadne. Nowsza praca wydaje się potwierdzać pozytywny wpływ „Fast ForWord” w przypadku różnych zaburzeń: dysleksji, specyficznego zaburzenia językowego, centralnych zaburzeń przetwarzania słuchowego, nauki języka angielskiego jako języka obcego (Tallal i Jenkins, 2018, w *Reading and Dyslexia: From Basic Functions to Higher Order Cognition*, przyp. tłum.).

ⁿ W literaturze polskiej określany jest również jako zespół SSS od angielskiej nazwy Scotopic Sensitivity Syndrome (przyp. tłum.).

^o To układ eksperymentu, w którym uczestnicy badania jak i prowadzący badanie pomocnicy eksperymentatora nie wiedzą, czy dana osoba badana należy do grupy eksperymentalnej czy kontrolnej (przyp. tłum.).

Ćwiczenia fizyczne

Procesy neuropoznawcze

- Ćwiczenia fizyczne zwiększają efektywność działania sieci neuronalnych, które pełnią istotne role w procesach uczenia się
- Pojedyncze sesje ćwiczeń fizycznych oraz programy treningowe mogą poprawić funkcje poznawcze i pamięć

Ćwiczenia fizyczne i sieci neuronalne

Istnieją mocne dowody na pozytywny wpływ ćwiczeń aerobowych na określone aspekty funkcjonowania mózgu⁷³. Wykazano, że u osób dorosłych regularne ćwiczenia fizyczne poprawiają efektywność działania czołowych, tylnych i ciemieniowych sieci neuronalnych istotnych dla procesów uczenia się⁷⁴, w szczególności czołowo-ciemieniowe sieci odpowiadające za kierowanie uwagą⁷⁵.

Ćwiczenia fizyczne i pamięć

Ćwiczenia fizyczne zwiększają również przepływ krwi i jakość połączeń neuronalnych w hipokampie (patrz Załącznik 1 Rys. A5), kluczowym obszarze odpowiedzialnym za tworzenie śladów pamięciowych i ich konsolidację. Objętość hipokampa jest związana ze stopniem aktywności fizycznej zarówno u dzieci⁷⁶ jak i u dorosłych⁷⁷. W badaniach z udziałem osób dorosłych pokazano, że ćwiczenia fizyczne prowadzą do wzrostu objętości różnych obszarów istoty białej i istoty szarej mózgu. Takie zwiększenie objętości w obszarze hipokampa powiązано z poprawą pamięci przestrzennej i zwiększeniem poziomu neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego (*Brain Derived Neurotropic Factor*, BDNF) we krwi^a. Wszystkie te dane w sposób spójny pokazują, że ćwiczenia fizyczne zwiększają ekspresję genu odpowiedzialnego za syntezę BDNF w hipokampie⁷⁸, co z kolei prowadzi do pozytywnego wpływu ćwiczeń fizycznych na procesy poznawcze^{79,80}. Badanie z udziałem zdrowych osób dorosłych pokazało wzrost poziomu BDNF we krwi po 3-minutowym sprincie⁸¹. Grupa ćwicząca intensywnie uzyskała o 20% lepsze wyniki w zakresie szybkości przypominania sobie słów, których nauka następowała bezpośrednio po ćwiczeniach, w porównaniu z sytuacją, gdy osoby badane nie wykonywały ćwiczeń lub ćwiczyły umiarkowanie.

Zastosowania edukacyjne

^a Białko BDNF ma wpływ na neurogenezę, tworzenie się nowych połączeń i wzrost neuronów, wspomagając procesy uczenia się i pamięci (przyp. tłum.).

Czy ćwiczenia fizyczne mogą poprawić osiągnięcia w nauce?

- Niemal zawsze interwencje w formie ćwiczeń fizycznych albo nie przynosiły skutków, albo też wiązały się pozytywnymi skutkami dla uczenia się (mniej więcej w równych proporcjach przypadków), co sugeruje duże prawdopodobieństwo wartości tej metody dla osiągnięć w nauce
- Najbardziej istotne czynniki wpływające na poprawę osiągnięć akademickich, które są związane z ćwiczeniami fizycznymi, są nadal tematem badań

Szereg badań z udziałem dzieci w wieku szkolnym, pokazał pozytywne efekty ćwiczeń fizycznych na funkcje poznawcze, mające kluczowe znaczenie dla uczenia się. W niektórych z tych badań powiązано je z poprawą w zakresie funkcjonowania mózgu. Na przykład, Kubesch i współpracownicy pokazali, że skupienie uwagi na wykonywanym zadaniu w momencie pojawiania się czynników rozpraszających było wyższe u 13-14 latków, gdy pomiar następował po 30-minutowych zajęciach wychowania fizycznego, niż po 5-minutowej przerwie obejmującej aktywność ruchową⁸². U dzieci w wieku przedszkolnym pokazano poprawę w zakresie uwagi i wzrost efektywności związanych z nią funkcji neuronalnych po 8-tygodniowej interwencji, obejmującej dwie 35-minutowe sesje ćwiczeń fizycznych tygodniowo⁸³. W dłuższej perspektywie czasowej, 9-miesięczne badanie z losowym doбором do grup i grupą kontrolną, którym objęto dzieci w wieku 7-9 lat pokazało, że ćwiczenia fizyczne prowadziły do poprawy funkcjonowania pamięci roboczej^b. Ponadto zaobserwowano również zmiany w zakresie potencjałów wywołanych w mózgu^c, powiązanych z działaniem pamięci roboczej oraz zwiększenie sprawności fizycznej⁸⁴. Poprawę w zakresie wskaźników pracy mózgu, zaobserwowano również w badaniu z udziałem 8-9 latków uczestniczących w 60 minutowych ćwiczeniach fizycznych, 5 dni w tygodniu przez 9 miesięcy⁸⁵. Ta interwencja poprawiała efektywność funkcjonowania przedczołowych^d sieci neuronalnych i poziom wykonania w zadaniach mierzących kontrolę poznawczą.

Niedawno opublikowana systematyczna analiza badań, w której testowano wpływ ćwiczeń fizycznych na poziom osiągnięć szkolnych wskazuje, że niemal dokładnie połowa z nich nie pokazała żadnego wpływu, a druga połowa - pozytywne efekty⁸⁶. Co ważniejsze, żadne badanie nie wykazało efektów negatywnych. Sugerowano, że różnica w wynikach badań może wiązać się ze zróżnicowaniem zastosowanych metod⁷³, ale Rasberry i współpracownicy pokazali, że jakość metodologiczna badań nie wpływała na uzyskiwane rezultaty. Autorzy konkludują, że istnieją poważne dowody na to, że aktywność fizyczna może wspomagać osiągnięcia szkolne. Rasberry i współpracownicy wskazują jednak na brak podstaw teoretycznych większości badań i sugerują, że kolejne interwencje powinny czerpać informacje z różnych dyscyplin, również z neurobiologii.

^b Zdolność utrzymywania informacji w świadomości (przyp. autora)

^c Elektryczna odpowiedź mózgu na określone zdarzenie (przyp. autora)

^d Przednia część płatów czołowych – patrz Aneks 1 (przyp. autora)

A co z Gimnastyką Mózgu (Brain Gym)?^e

- Przegląd podstaw teoretycznych metody Brain Gym (kinezylogii edukacyjnej) i badań nad jej skutecznością opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych nie świadczy na korzyść twierdzeń formułowanych przez zwolenników tej metody

Doniesienia na temat skrócenia czasów reakcji na skutek ćwiczeń, proponowanych w ramach kinezylogii edukacyjnej (inaczej Edu-K, czasami sprzedawanych również pod nazwą Brain Gym)^f, sugerują pewien pozytywny wpływ na procesy poznawcze⁸⁷. Z drugiej strony, jak wynika z badań omówionych w poprzednich częściach, większych korzyści można oczekiwać w przypadku ćwiczeń aerobowych.

Zwolennicy kinezylogii edukacyjnej twierdzą, że prowadzi ona do „równowagi” półkul mózgowych, która ma z kolei sprawiać, że zaczynają one pracować w sposób zintegrowany, tym samym ułatwiając uczenie się⁸⁸. Kinezylogia wyrasta z teorii zmiany wzorca połączeń neuronalnych (ang. repatterning), a konkretniej z teorii rozwoju Domana-Delcato⁸⁹, która zaleca, aby nabywanie specyficznych umiejętności motorycznych odbywało się w odpowiedniej kolejności⁹⁰. Teoria ta, według której ontogeneza (rozwój jednostki) stanowi powtórzenie filogenezy (rozwój gatunku), została porzucona przez współczesną naukę. Zgodnie z tym poglądem, jeśli dojdzie do pominięcia danego stadium rozwojowego, na przykład kiedy dziecko nauczy się chodzić zanim zacznie raczkować, może doprowadzić to do niekorzystnych skutków w trakcie późniejszego rozwoju bardziej złożonych umiejętności, takich jak posługiwanie się językiem. W takim przypadku interwencja mogłaby polegać na zachęcaniu dziecka do powtarzania ruchów wykonywanych podczas raczkowania, w celu *zmiany wzorca połączeń neuronalnych*, co miałoby prowadzić do poprawy osiągnięć szkolnych. Trudno bezpośrednio przetestować taką teorię, ale szereg przeglądów literatury kończyła konkluzja, że nie ma dowodów świadczących na korzyść tej teorii, jest ona wewnętrznie sprzeczna i bezpodstawna⁹¹⁻⁹⁴. Ponadto praktyki opracowywane na podstawie tych pomysłów okazały się nieskuteczne⁹⁵.

Gimnastyka Mózgu odwołuje się również do idei treningów percepcyjno-motorycznych, czyli założenia, że problemy w uczeniu się wynikają z nieefektywnej integracji sprawności

^e W języku polskim dostępne jest opracowanie: *Kinezylogia edukacyjna – nauka, pseudonauka czy manipulacja* (red.) Korab i wsp. (2008). Warszawa: Instytut Badań Edukacyjnych. Na temat kinezylogii edukacyjnej piszą również Cipora i Szczygieł (2014). Fałszywe przekonania na temat działania mózgu i zjawisk psychicznych, czyli neuromity i psychomity w edukacji, *Edukacja* (2, 127: 55-56): <http://www.edukacja.ibe.edu.pl/images/numery/2014/2-4-szczygiel-cipora-neuromity-i-psychomity-w-edukacji.pdf> (przyp. tłum.).

^f W Polsce czasami funkcjonuje również pod nazwą metody Dr Dennisona. Pomimo braku przekonujących dowodów jej skuteczności jest to metoda popularna, oferowana jako terapia dysleksji, obiecuje się poprawę pamięci, sprawności czytania, mowy, pisanie, twórczego rysowania itd. (przyp. tłum.).

wzrokowych, słuchowych i motorycznych. Pogląd ten stanowił podstawę programów treningowych, mających na celu łagodzenie trudności w uczeniu się poprzez ćwiczenia, polegające na próbach integracji umiejętności percepcyjnych i motorycznych. Brak efektywności takich podejść wykazano w licznych badaniach prowadzonych w latach 70. i 80. XX wieku⁹⁶⁻¹⁰¹, a jednak metody te są nadal stosowane. Stosunkowo niedawno, bo w roku 2003 i 2007 roku, w renomowanym czasopiśmie *Dyslexia*, opublikowano dwa artykuły pokazujące skuteczność takich ćwiczeń^{102,103}. Owe artykuły przyciągnęły uwagę uznanych badaczy dysleksji, którzy wskazali poważne problemy metodologiczne takie jak: (1) brak wykorzystania wystandaryzowanego testu czytania; (2) nieodpowiednie analizy statystyczne; (3) brak kontroli wpływu efektu placebo; (4) mniejszą proporcję uczniów do nauczycieli w grupie eksperymentalnej; (5) fakt, że grupy eksperymentalna i kontrolna nie były zbalansowane⁸; (6) uwzględnienie grupy eksperymentalnej, w której w znacznej mierze nie występowały trudności, które miał łagodzić trening; (7) nieadekwatne przedstawienie kluczowych wyników ze względu na „wrażliwość komercyjną”¹⁰⁴⁻¹⁰⁹.

Poza niedoskonałościami podstaw teoretycznych, brakuje też badań opublikowanych w dobrej jakości czasopismach naukowych, na podstawie których można by określić praktyczną skuteczność programów takich jak Gimnastyka Mózgu przynajmniej w kontekście poprawy osiągnięć szkolnych. W innych opublikowanych badaniach, krytycy podważyli wiarygodność tej metody wskazując na brak informacji na temat tego, jakie ćwiczenia wykorzystano i/lub niewystarczającą czy też nieodpowiednią analizę wyników¹¹⁰. Biorąc pod uwagę niedociągnięcia zarówno w zakresie trafności teoretycznej jak i dowodów praktycznej wartości, utrzymująca się popularność Gimnastyki Mózgu wciąż wywołuje wątpliwości wśród specjalistów w zakresie edukacji^{111,112}.

⁸ Czyli innymi słowy oprócz zastosowanej interwencji różniły się od siebie również pod wieloma innymi względami (przyp. tłum.).

Sen, odżywianie i nawodnienie

Procesy neuropoznawcze

- Sen umożliwia odpoczynek oraz konsolidację^a śladów pamięciowych w pamięci długotrwałej
- Użytkowanie nowoczesnych technologii, kofeina, czynniki psychospołeczne i biologiczne mogą zakłócać cykl snu, zwłaszcza u młodzieży
- Regularne spożywanie kofeiny ma niekorzystny wpływ na funkcje poznawcze^b

Sen a uczenie się

Sen to nie tylko forma odpoczynku, dzięki której rano odzyskujemy czujność, koncentrację i energię. Sen to również proces, w wyniku którego codzienne doświadczenia zostają uporządkowane i zapisują się trwale w pamięci długotrwałej, dzięki czemu możemy je dłużej pamiętać i łatwiej je sobie przypominać. W stanie czuwania mózg koduje w formie biologicznej w pamięci nowe informacje. Zgodnie ze stanem wiedzy z zakresu neuronauki, sen jest stanem, w którym mózg potrafi najskuteczniej utrwalać (konsolidować) wspomnienia¹¹³. Zanim wspomnienia zostaną przetworzone, zintegrowane i zapisane w pamięci długotrwałej, proces konsolidacji rozpoczyna się od wtórnego aktywowania neuronalnej reprezentacji (wspomnień) zachodzącego w fazie snu wolnofalowego (SWS, ang. *slow-wave sleep*). Proces ten jest doskonale zauważalny w badaniach z wykorzystaniem technik neuroobrazowania. W jednym z nich udało się pokazać, w jaki sposób podczas snu mózg odtwarza aktywność neuronów, która odzwierciedla niedawne przeżycia i doświadczenia w stanie czuwania¹¹⁴. W kolejnej fazie, snu paradoksalnego (REM, ang. *rapid eye movement*), najprawdopodobniej dochodzi do ustabilizowania przetworzonych wspomnień. Sen poprzez zapewnienie odpoczynku i lepszego działania pamięci długotrwałej, ułatwia odtwarzanie z pamięci luźno powiązanych pojęć, przez co poprawia kreatywność¹¹⁵. Regularny i odpowiednio długi sen jest konieczny dla skutecznego uczenia się i kreatywności. Ważnym komponentem systemu odpowiedzialnego za sen jest melatonina, substancja regulująca procesy odpowiedzialne za regularne wzorce snu (tzw. rytmy dobowe). Jest ona wydzielana przez szyszynkę - jeden z gruczołów w mózgu.

^a Konsolidacja to „obróbka” i utrwalanie przyswojonych treści. Doświadczamy jej na przykład w momencie, gdy uczymy się czegoś bardzo intensywnie i choć wkładamy w to wiele wysiłku, nie jesteśmy zbytnio zadowoleni. Zrezygnowani, poddajemy się i idziemy spać i nagle następnego dnia okazuje się, że nauka idzie nam z dużo większą łatwością. Dochodzi zatem do przetwarzania przyswojonych informacji „po” nauce (por. Spitzer, 2011, „Jak uczy się mózg” Wyd. PWN s. 97, przyp. tłum.).

^b W przypadku osób dorosłych wpływ może być niekorzystny tylko w dużych dawkach lub u osób uczulonych na kofeinę; w dawkach rzędu 4 mg/kg masy ciała kofeina wzmacnia podstawowe funkcje poznawcze i nie prowadzi do negatywnych efektów ubocznych (McLellan i wsp. 2016, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, przyp. tłum.).

Problemy ze snem wśród młodzieży

Przyczyną deficytów snu u nastolatków jest najczęściej późne zasypianie. Do pewnego stopnia jest to warunkowane czynnikami biologicznymi, gdyż dojrzewanie płciowe może wywoływać zaburzenia wydzielania melatoniny, oraz czynnikami psychospołecznymi (większa swoboda). Dodatkowo, efekt niewyspania pogłębia konieczność wczesnego wstawania do szkoły¹¹⁶. W efekcie, wśród młodzieży powszechne jest bycie niewyspanym, wynikające z niego ograniczenie sprawności funkcji poznawczych. Uważa się również, że jedną z przyczyn niskiej jakości snu¹¹⁷⁻¹¹⁹ jest korzystanie z mediów elektronicznych do późnej nocy. W amerykańskim badaniu dotyczącym sposobu korzystania przez młodzież z nowoczesnych technologii po godzinie 21 wykazano, że średni jego czas wynosi 55 minut korzystania z Internetu i 25 minut grania w gry wideo¹²⁰.

Sen a technologia

Nadmierne granie w gry wideo można po części zidentyfikować poprzez to, że zaangażowanie w nie zaburza inne obszary funkcjonowania, takie jak sen czy odżywianie. Rzeczywiście nadmierne granie w gry wideo niekorzystnie wpływa na różne aspekty zdrowia i wyniki w nauce^{121,122} c. W dwuletnim badaniu podłużnym¹²³ z udziałem dzieci i młodzieży (w wieku 8-14 lat) zaobserwowano, że występowanie patologicznych zachowań związanych z grami wideo wiąże się ze zwiększoną agresją, podwyższonym ryzykiem bycia ofiarą agresji i gorszymi

^c Inne badania również potwierdzają negatywny związek między czasem korzystania z mediów (telewizji, filmów i gier komputerowych) i wynikami w nauce wśród dzieci i młodzieży (Prot i wsp., 2014, w: *Media and the Well-Being of Children and Adolescents*, Oxford University Press). Związek ten może być wyjaśniony przez hipotezę zastąpienia. Zgodnie z nią, media elektroniczne mogą negatywnie wpływać na wyniki w nauce poprzez zastąpienie czasu, który mógłby być poświęcony na inne czynności związane z uczeniem się (Gentile i wsp., 2004, *Journal of Adolescence*). Niektóre badania potwierdzają tę hipotezę, pokazując, że młodzież grająca w gry wideo spędza 30% mniej czasu na czytaniu i 34% mniej czasu na odrabianiu pracy domowej niż adolescenti nie grający w gry wideo (Cummings i Vandewater, 2007, *Archives of Pediatric and Adolescent Medicine*). Warto jednak podkreślić, że jest to jedynie korelacja, a nie związek przyczynowo-skutkowy. Możliwe jest też, że te dzieci, które mają problemy w szkole (z innych powodów), spędzają więcej wolnego czasu na gry wideo. Ponadto, problemy z uwagą mogą być przyczyną zarówno preferencji gier wideo, jak i gorszych wyników w nauce (Prot i wsp., 2014, przyp. tłum.).

wynikami w nauce^d. Wyniki tego rodzaju badań oraz dane na temat zaburzeń koncentracji^e, o których mowa powyżej, świadczą o słuszności wytycznych opracowanych przez American Academy of Pediatrics (AAP), zgodnie z którymi, dzieci nie powinny spędzać więcej niż 2 godzin dziennie przed komputerem^{124,125 f}. Nawet umiarkowane korzystanie z mediów może powodować, że wzrost pobudzenia związany z graniem w godzinach wieczornych (zwłaszcza w ciągu tygodnia) wpłynie na jakość snu. W małym badaniu eksperymentalnym¹²⁶, 10 dzieci w wieku szkolnym (średni wiek 13,5 lat) jednego wieczoru w tygodniu grało w gry komputerowe przez 60 minut, przez tyle samo czas oglądało telewizję innego wieczoru, a jeden wieczór spędziło nie korzystając z technologii (warunek kontrolny). Granie w gry komputerowe wywoływało istotne zaburzenia snu (m.in. o ok. 20 minut późniejsze zasypianie)^g. Co

^d Wspomniany negatywny wpływ gier dotyczy szczególnie brutalnych gier komputerowych i wideo, w których gracz może wcielić się w rolę agresora i dokonywać wirtualnych aktów przemocy. Wyniki największej jak dotąd meta-analizy, która porównała wyniki 140 badań korelacyjnych, eksperymentalnych i podłużnych z udziałem ponad 130 tysięcy osób (Anderson i wsp., 2010, *Psychological Bulletin*), wskazują, że granie w brutalne gry może być czynnikiem ryzyka dla wzrostu zachowań agresywnych, agresywnych myśli i afektu oraz czynnikiem obniżającym empatię i zachowania prospołeczne. Warto wyjaśnić negatywny wpływ antyspołecznych mediów na młodzież i dzieci. Badanie przeprowadzone w grupie ponad 800 holenderskich nastolatków pokazało, jak od bycia ofiarą offline można stać się oprawcą online: negatywne doświadczenia w rzeczywistości prowadzą do odczuwania złości i frustracji, co następnie przekłada się na częstsze sięganie po antyspołeczne media (np. granie w brutalne gry wideo), a to z kolei zwiększa szanse na zostanie sprawcą cyberprzemocy – dręczenie rówieśników online. (den Hamer i wsp., 2014, *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, przyp. tłum.).

^e Pomimo wspomnianego negatywnego wpływu grania w gry komputerowe / wideo na koncentrację u dzieci, warto wspomnieć kilka pozytywnych skutków gier. Umiarkowane korzystanie z gier komputerowych i wideo może mieć wiele pozytywnych skutków, na przykład na funkcje poznawcze takie jak uwaga selektywna (Green & Bavelier, 2006, *Cognition*). Ponadto, gry wideo i komputerowe mogą mieć dużą wartość edukacyjną, patrz część *Gry wspomagające uczenie się* poniżej (przyp. tłum.).

^f Zgodnie z zaleceniami AAP z 2016 roku, dzieci poniżej 18 miesięcy powinny unikać korzystania z mediów elektronicznych innych niż czat wideo. Dzieci w wieku od 2 do 5 lat powinny mieć ograniczony dostęp do korzystania z mediów cyfrowych do 1 godziny dziennie programów o wysokiej jakości edukacyjnej. Dla dzieci w wieku 6 lat i starszych zaleca się wprowadzenie stałych limitów na czas korzystania z mediów oraz rodzaj mediów. Ponadto, powinno się upewnić, że media nie zastępują odpowiedniego snu, aktywności fizycznej oraz innych zachowań niezbędnych dla zdrowia. Podsumowanie zaleceń AAP (2016):

<https://www.aap.org/en-us/about-the-aap/aap-press-room/pages/american-academy-of-pediatrics-announces-new-recommendations-for-childrens-media-use.aspx>. Pełen raport AAP (2016, *Pediatrics*, przyp. tłum.).

^g Późniejsze badanie nie potwierdza negatywnego wpływu gier na sen u młodzieży. W eksperymencie Weaver i wsp. (2010, *Journal of Clinical Sleep Medicine*) w modelu wewnątrzgrupowym porównano zasypianie u 13 nastolatków (średni wiek 16,6 lat), którzy przed zaśnięciem grali w gry wideo (warunek eksperymentalny) lub też biernie oglądali film na DVD (warunek kontrolny). Granie w gry wideo związane było ze zmianą pobudzenia poznawczego w falach alfa mierzonych pomocy EEG, ale nie było związane z pobudzeniem fizjologicznym mierzonym częstotliwością uderzeń serca na minutę. Granie w gry wideo nie miało też wpływu na fazę snu REM jak i SWS, co przeczy wcześniejszym wynikom badań. W związku z tym, potrzebne są kolejne badania eksperymentalne, aby ostatecznie potwierdzić bądź wykluczyć negatywny wpływ gier wideo na sen u młodzieży. Inne badanie (Dimitriou i wsp., 2015, *Frontiers in Psychology*) z udziałem 47 adolescentów, wykazało negatywny związek między

znamienne, dzieci gorzej zapamiętały materiał, którego uczyły się po graniu w gry komputerowe. Oglądanie telewizji pochłania taką samą ilość energii, jak spokojne siedzenie, natomiast granie w gry wideo wywołuje większe pobudzenie ośrodkowego układu nerwowego¹²⁷. Oglądanie telewizji nie miało aż tak negatywnego wpływu na sen i pamięć.

Małe ekrany mogą być szczególnie szkodliwe ze względu na jasne wyświetlacze^h, które zmniejszają wydzielanie melatoniny w nocy¹²⁸. Van den Bulck w badaniu przeprowadzonym w Belgii na grupie nastolatków w wieku 13-16 lat¹²⁹ pokazał, że powszechnie korzystają one z telefonów komórkowych po wyłączeniu światła (większość uczestników badania korzystała z telefonów komórkowych w ten sposób wiele razy w miesiącu). W istotny sposób korelowało to z nadmiernym zmęczeniem, zarówno w czasie badania, jak i w ponownym badaniu rok późniejⁱ.

Korzystanie z technologii wśród dzieci, rodzi wiele obaw, które pojawiają się również w mediach. Niemniej jednak wciąż brakuje adresowanych do uczniów, nauczycieli i rodziców w Wielkiej Brytanii^j porad, w zakresie korzystania z technologii dotyczących jej wpływu na stan

korzystaniem z mediów elektronicznych przed zaśnięciem a wynikami w nauce (roczną średnią ocen) – im więcej badani korzystali mediów przed snem, tym gorsze osiągalni wyniki w nauce. Ponadto, związek ten był pośredniczony przez sumaryczny czas spania w czasie tygodnia: korzystanie z mediów przed snem było związane z mniejszą ilością snu w ciągu tygodnia, natomiast większa ilość snu związana była z lepszymi wynikami w nauce. Należy jednak zauważyć, że badanie to zostało przeprowadzone na dosyć małej próbie. Jedno z najnowszych badań (Dube i wsp., 2017, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*), przeprowadzone na reprezentatywnej próbie ponad 2 tysięcy dzieci i ich rodziców z Kanady wykazało, że długość snu wśród dzieci mających dostęp do urządzeń elektronicznych przed zaśnięciem była krótsza. Ponadto, dobra jakość snu u tych dzieci była zaburzona przez korzystanie mediów elektronicznych (telewizor, telefon komórkowy, tablet i gry wideo) przed snem. Wykazano również, że ryzyko otyłości u dzieci korzystających z telewizora i komputera przed snem było dwukrotnie wyższe (przyp. tłum.).

^h Chang i wsp (2014, *PNAS*) wykazali, że korzystanie z urządzeń elektronicznych emitujących tzw. niebieskie światło (np. smartfony, tablety) może zaburzać rytm okołodobowy i przyczyniać się do problemów z zasypianiem. Kilka programów oferuje obecnie filtry takiego światła do wykorzystania wieczorem. Więcej na temat tego badania języku polskim: <http://www.crazynauka.pl/patrzenie-przed-snem-na-ekran-telefonu-tabletu-czy-komputera-moze-byc-niebezpieczne-dla-zdrowia/> (przyp. tłum.).

ⁱ W Wielkiej Brytanii trwają badania w ramach projektu TABLET (http://www.bbk.ac.uk/tablet_project/) nad wpływem korzystania z ekranów na rozwój niemowląt. Pierwsze wyniki badań tego projektu wskazują, że częste korzystanie przez dzieci w wieku od 6 do 36 miesięcy z ekranów dotykowych w ciągu dnia związane jest problemami ze snem: mniejszą ilością snu i późniejszym zasypianiem (Cheung i wsp., 2017, *Scientific Reports*; przyp. tłum.).

^j Porady odnośnie profilaktyki uzależnień od nowych technologii można znaleźć w opracowaniu Krzyżak-Szymańskiej (2018) – „Uzależnienia technologiczne wśród dzieci i młodzieży. Teoria, profilaktyka, terapia – wybrane zagadnienia”, dostępne na stronie: www.kbnp.gov.pl/portal?id=15&res_id=7862074. Ponadto, porady nie tylko dla rodziców odnośnie korzystania z gier komputerowych przez młodzież i dzieci można znaleźć w opracowaniu Borkowskiej (2016): <https://akademia.nask.pl/publikacje/Dzieci-w-%C5%9Bwiecie-gier-komputerowych.pdf>. Najlepszą profilaktyką zagrożeń związanych z nowymi technologiami może być odpowiednia edukacja dzieci i młodzieży. W Polsce mamy wielu nauczycieli (m.in. grupę około 150 SuperBelfrów RP) zaangażowanych w uczenie, jak właściwie wykorzystywać nowe technologie (przyp. tłum.).

zdrowia^k. W większości dostępne porady obejmują bezpieczeństwo w sieci i cyberprzemoc. Pojawiają się głosy, że zagadnienia higieny w korzystaniu z technologii^l można włączyć do programów interwencyjnych dotyczących snu, adresowanych do dzieci w wieku szkolnym i ich rodziców^{130 m}.

Kofeina

Kofeina podobnie jak technologia zaburza sen. W jednym z badań wykazano, że dzieci pijące napoje z kofeiną, śpią każdej nocy średnio 15 minut krócej^{119 n}. Oprócz skrócenia czasu snu, kofeina może też na inne sposoby niekorzystnie wpływać na funkcjonowanie poznawcze. Nawykowe spożywanie kofeiny nie powoduje wzrostu pobudzenia, a raczej wydaje się osłabiać funkcje poznawcze. Wracają one na krótki czas do normalnego poziomu dopiero po spożyciu kolejnej dawki kofeiny¹³¹. Kofeina to jedyna substancja psychoaktywna, którą mogą w legalny sposób spożywać dzieci, a jej konsumpcja jest bardzo rozpowszechniona. Butelka coli o pojemności 500 ml, dostępna w automatach, zawiera taką samą ilość kofeiny, jak filiżanka kawy. U wielu dzieci występują objawy odstawienia kofeiny¹³². W badaniu z udziałem dzieci w wieku 9-10 lat, które regularnie piły nie więcej niż 2 puszki dziennie, wykazano obniżony poziom czujności w porównaniu do dzieci, które piły mniejsze ilości takich napojów¹³³. Podobnie jak w badaniach nad działaniem kofeiny u osób dorosłych, poziom czujności wśród badanych dzieci wzrastał do wartości wyjściowych, dopiero po spożyciu kolejnej dawki kofeiny. Wydaje się zatem, że zamiast energetyzować dzieci do udziału w lekcjach, „zastrzyk kofeiny” pod postacią coli powoduje jedynie chwilowy powrót do stanu pobudzenia, który jest typowy dla stylu życia pozbawionego kofeiny. Przegląd badań klinicznych potwierdził wyraźną zależność pomiędzy spożywaniem kofeiny a sennością w ciągu dnia, zarówno u dorosłych, jak i u dzieci. Jego autorzy dochodzą do wniosku, że opisywane efekty są w dużym stopniu niedoszacowane zarówno przez laików jak i przez lekarzy¹³⁴. Kofeina może wpływać na wyniki w nauce bezpośrednio ograniczając funkcje poznawcze, jak również zakłócać sen w godzinach nocnych wywołując zmęczenie oraz – jak wspomniano powyżej – zakłócać procesy konsolidacji (utrwalania) pamięci^o.

^k Prot i wsp. (2012, *Pediatric Clinics of North America*, Box 3, s. 654) radzą pediatrom, rodzicom i innym opiekunom, jak wybierać i korzystać z gier wideo. Zalecają między innymi zwracać uwagę na to ile, i w jakie gry gra dziecko (samodzielne sprawdzanie treści gier, wyznaczanie limitów czasu, który może być przeznaczony na gry i egzekwowanie tych zasad (przyp. tłum.).

^l Na temat higieny cyfrowej (zwanej często higieną informacyjną), można więcej przeczytać m.in. na stronie <https://edukacjamedialna.edu.pl/lekcje/higiena-informacyjna/> (przyp. tłum.).

^m AAP rekomenduje, aby rodzice wspólnie z dziećmi planowali czas korzystania z mediów przez dzieci poprzez aplikację Family Media Plan, dostępną w wersji językowej po angielsku i hiszpańsku: www.healthychildren.org/MediaUsePlan (przyp. tłum.).

ⁿ Średnia długość snu badanych dzieci (6-10 lat) wynosiła 9.5 godziny, więc jest to skrócenie o 2.6%. Źródłem kofeiny była raczej coca-cola lub herbata a nie kawa, a wysoki poziom cukru (czego nie zbadano) był zapewne jedną z przyczyn nadwagi (przyp. tłum.).

^o Picie kawy przed snem może być bardzo niebezpieczne dla ludzkiego organizmu, również dlatego, że powoduje zakłócenia rytmu dobowego (Burke i wsp., 2015, *Science Translational Medicine*). Wpływ kofeiny na zaburzenia snu, poranne zmęczenie i zaburzenia zachowania u dzieci w wieku 8-12 lat został potwierdzony w nowszych publikacjach, np: Watson i wsp. (2017, *Journal of Clinical Sleep Medicine*).

Woda

Prawdą jest, że nawet nieznaczne odwodnienie może powodować obniżenie sprawności poznawczej. Przeprowadzono bardzo niewiele badań nad wpływem odwodnienia na dzieci. Wszystkie te badania podobnie jak badania z udziałem osób dorosłych¹³⁵, potwierdzają szkodliwe skutki nawet nieznacznego odwodnienia na sprawność myślenia. Jednak w badaniu z udziałem dorosłych wykazano, że picie wody, gdy nie odczuwamy pragnienia, również może negatywnie wpływać na funkcje poznawcze¹³⁶. Ponadto, podobnie jak w przypadku ekstremalnego odwodnienia, picie zbyt dużej ilości wody może być niebezpieczne prowadząc do zatrucia, a nawet śmierci¹³⁷. Wyniki niektórych badań wskazują, że dzieci nie zawsze wypijają zalecane ilości płynów¹³⁸. Jednak z wyjątkiem okoliczności takich jak upał lub intensywny wysiłek fizyczny, nie ma dowodów na to, że normalnie funkcjonujące dzieci są narażone na „dobrowolne” odwodnienie. Dwa dostępne badania dotyczyły dzieci, które uczęszczały do szkół w regionie Morza Martwego¹³⁹ (najniższy punkt na Ziemi o bardzo wysokich temperaturach) i na Sycylii, w których badacze opisują, że dzieci „żyją w gorącym klimacie”¹⁴⁰. W kilku badaniach wykazano poprawę funkcji poznawczych po podaniu uczniom dodatkowych porcji wody, ale ze względu na zastosowany w nich układ eksperymentalny, wyniki te można zakwestionować. Na przykład, w raporcie z badania przeprowadzonego w Wielkiej Brytanii pojawia się stwierdzenie, że po godzinie od wypicia butelki wody o objętości 500 ml u dzieci w wieku 6-7 lat, deklarowane przez nie pragnienie było mniejsze, a radość większa. Zaobserwowano również poprawę w zakresie miar uwagi wzrokowej i przeszukiwania pola wzrokowego (ang. *visual attention*, *visual search*)¹⁴¹. Niemniej jednak próba badawcza była bardzo mała ($n = 11$ w grupie eksperymentalnej). Ponadto badacze nie kontrolowali korzystnego wpływu dobrego nastroju (który mogli wywołać wręczając dzieciom drobne upominki) na funkcje poznawcze¹⁴². W innym badaniu zaobserwowano podobne efekty, ale nie uwzględniono poprawki na wielokrotne porównania^p podczas różnorodnych analiz wykonywanych na tym samym zbiorze danych¹⁴³. Konkluzje omówionych wyżej badań wydają się równoważyć wyniki pokazujące obniżenia sprawności funkcji poznawczych po spożyciu dodatkowej porcji wody¹³⁶, nawet w gdy uczestnicy badania byli lekko odwodnieni¹⁴⁰. Często zachęca się do picia wody jako sposobu na poprawę zdolności uczenia się, a niektóre szkoły entuzjastycznie promują picie wody jako sposób na poprawę osiągnięć. W BBC pojawił się raport zatytułowany „Woda poprawia wyniki egzaminów”, w którym dyrektor szkoły w Edynburgu oznajmia: „Ludzki mózg wykorzystuje wodę do przesyłania

Nie stwierdzono natomiast negatywnych skutków kofeiny u dorosłych osób, badacze przechylają się raczej do oceny pozytywnej. Reakcje na kofeinę mogą być bardzo zindywidualizowane, więc efekty trudno jest uśredniać, wpływ jest bardzo złożony i trudno tu oddzielić wszystkie czynniki (O’Callaghan i wsp., 2018, *Risk Management and Healthcare Policy*, przyp. tłum.).

^p Czyli stosowanej w takich przypadkach procedury statystycznej, która ma na celu zapobieganie uznania losowej zmienności obserwowanej w danych za efekt manipulacji eksperymentalnej (przyp. tłum.).

wiadomości neuronalnych... jeżeli dzieci są odpowiednio nawodnione, ich mózgi są lepiej fizycznie przygotowane by się uczyć”¹⁴⁴. Naturalnie wszystkie dzieci muszą mieć dostęp do dobrej jakości wody. Niemniej jednak badania, w których próbowano ocenić efekty zapewnienia dodatkowej wody nie uzasadniają twierdzeń na temat korzyści edukacyjnych, jakie mogłyby zapewnić takie działania w Wielkiej Brytanii^q.

Zastosowania edukacyjne

Czy młodzież w wieku nastoletnim mogłaby osiągać lepsze wyniki, gdyby pozwolono im dłużej spać rano?

- Wyniki badań wskazują, że późniejsze rozpoczynanie lekcji w szkołach, w których normalnie nauka rozpoczyna się wcześniej rano, poprawia frekwencję i poziom zaangażowania na lekcjach

Istnieją dowody naukowe pochodzące z kilku różnych krajów, które wskazują na to, że nauka na dwie zmiany ułatwia zaspokojenie potrzeby snu wśród nastolatków. W Wielkiej Brytanii nie przeprowadzono dotąd interwencji polegającej na późniejszym rozpoczynaniu zajęć. Niemniej jednak, korzyści płynące z takiego rozwiązania potwierdzono w dwóch wartych odnotowania badaniach prowadzonych w Stanach Zjednoczonych. W pierwszym z nich przesunięcie rozpoczęcia pierwszej lekcji z 7:15 na 8:40 korzystnie wpłynęło na poziom frekwencji i obniżyło liczbę „zasypiających” uczniów w biorących udział w badaniu szkołach podstawowych i średnich¹⁴⁵. W nowszym badaniu przesunięcie rozpoczęcia lekcji z 8:00 na 8:30 dla uczniów w wieku 14-18 lat poprawiło poziom deklarowanej przez nich motywacji oraz frekwencję¹⁴⁶. Należy jednak zaznaczyć, że uwzględnione w tych badaniach późniejsze godziny rozpoczęcia nauki są zbliżone, a często nawet wcześniejsze niż godziny, o których zwykle zaczyna się dzień szkolny w Wielkiej Brytanii^r.

Czy edukacja w zakresie stylu życia obejmująca informowanie o procesach neurobiologicznych, może korzystnie wpłynąć na wyniki w nauce?

- Przekazanie nastolatkom informacji na temat snu i chronobiologii podnosi ich świadomość, ale nie powoduje zmian utrwalonych nawyków

^q W Wielkiej Brytanii stosunkowo powszechne są błędne przekonania na tematy związane z nawadnianiem. Przykładowo Howard-Jones (2014, *Nature Reviews Neuroscience*) podaje, że 29% brytyjskich nauczycieli uważa, że wypijanie mniej niż 6-8 szklanek wody dziennie powoduje obkurczanie się mózgu. W Polsce ogólnie ten odsetek był mniejszy, choć paradoksalnie z takim twierdzeniem zgodziło się więcej polskich nauczycieli niż osób, które nie pracują w tym zawodzie (por. Międzobrodzka i Cipora, *Neuromity* w wersji polskiej. <https://www.granicenauki.pl/neuromity-w-wersji-polskiej-68316>). Niestety wpływ nawadniania na funkcjonowanie mózgu dzieci nadal nie został dobrze zbadany, dotychczasowe publikacje nie pozwalają na wyciąganie jednoznacznych wniosków (Westfall i wsp., 2019, *Annals of Nutrition and Metabolism*, przyp. tłum.).

^r Warto zwrócić uwagę, że w Polsce zazwyczaj lekcje rozpoczynają się wcześniej rano, zazwyczaj między godziną 7 a 8 (przyp. tłum.).

- Bardziej obiecujące wydają się metody interwencji odnoszące się do stylu i kultury życia

Zamiast zmian w organizacji lekcji w szkole, można wprowadzić zagadnienia dotyczące chronobiologii snu do programu nauczania, w nadziei, że zaopatrzy to w niezbędną wiedzę i zachęci uczniów do podejmowania mądrzejszych decyzji w zakresie kształtowania nawyków snu w godzinach nocnych. Interwencje tego typu mogą być skuteczną metodą upowszechniania wiedzy na temat snu. Choć uczniowie wydają się zapamiętywać te informacje, to nie wpływają na zmianę ukształtowanych już nawyków dotyczących snu¹⁴⁷⁻¹⁵². Pojawiają się głosy o konieczności dalszych badań dotyczących m.in. tego, w jaki sposób ukształtować zmianę kulturową w zakresie świadomości znaczenia snu dla młodzieży¹⁵³. Zakrojone na szerszą skalę interwencje obejmujące rozpowszechnianie plakatów, magnesów na lodówkę, tabel podsumowujących postępy i rozmów telefonicznych co dwa tygodnie wydają się przynosić bardziej pozytywne efekty, choć te wyniki trzeba traktować z pewną ostrożnością¹⁵⁴.

Sugerowano również, że programy interwencyjne dotyczące snu mogą być skuteczniejsze, jeżeli zostaną w nich uwzględnione zależności pomiędzy rytmem dobowym a nawykami żywieniowymi. Przykładem może być jedzenie późnego śniadania w szkole, które jest równoznaczne z przesunięciem pory spożycia pokarmu do kolejnej fazy rytmu dobowego, kiedy zarówno apetyt, jak i układ trawienny są już pobudzone, co może sprzyjać jedzeniu większych posiłków, bogatszych w składniki odżywcze. Może to wpływać na lepsze wyniki w szkole, które obserwowano niekiedy u uczniów biorących udział w programach obejmujących zapewnienie im szkolnych śniadań¹⁵⁵. Czynniki i procesy, leżące u podstaw tych korzystnych efektów, są przedmiotem aktualnie prowadzonych badań¹⁵⁶.

Jedzenie lub niejedzenie śniadania jest ważnym czynnikiem wpływającym na funkcje poznawcze u dzieci¹⁵⁷⁻¹⁵⁸, pojawiały się sugestie, że konkretne produkty spożywcze mogą wspomagać działanie mózgu, a ich jedzenie może przełożyć się na lepsze wyniki w nauce. Do najbardziej znanych produktów tego typu należą suplementy diety zawierające tłuszcze Omega-3 (np. olej rybi). Obecnie prowadzonych jest szereg badań w zakresie wpływu takiej suplementacji na funkcjonowanie poznawcze u prawidłowo rozwijających się dzieci, a dotychczasowe wyniki wydają się rozczarowujące^{159-163s}.

^s Kwestia wpływu kwasów Omega-3 nadal stanowi obiekt licznych badań. Jak dotąd nie przynoszą one rozstrzygających wyników. Część badań sugeruje korzystny wpływ suplementacji (Stonehouse, 2014, *Nutrients*), z kolei w innych badaniach nie zaobserwowano takiego wpływu (Montgomery i wsp., 2018, *PLoS one*; przyp. tłum.).

Genetyka

Procesy neuropoznawcze

- Geny w znacznym stopniu determinują wyniki w nauce. To z kolei oznacza, że genetyka może odgrywać ważną rolę w zrozumieniu różnic indywidualnych

Uniwersalne geny^a

DNA posiada wyjątkowy status jako czynnik sprawczy wpływający na wyniki w nauce. W czasie, gdy związki przyczynowe między funkcjonowaniem mózgu a środowiskiem mogą przebiegać w obu kierunkach, to zachowanie, biologia mózgu i środowisko nie mogą powodować zmian w sekwencji DNA^{164b}. Według hipotezy „uniwersalnych genów^c” Plomina, te same geny odpowiadają za umiejętność uczenia się, jak i problemy z nim, a dany gen wpływający na wyniki w jednej dziedzinie najprawdopodobniej odgrywa też rolę w innych¹⁶⁵. Tego typu hipotezę może potwierdzać fakt, że geny mające znaczący wpływ na funkcjonowanie poznawcze, oddziałują na podstawowe funkcje neuronalne. Może to świadczyć o ich rozległym wpływie na mózg, zarówno jego strukturę, jak i funkcję. Są to między innymi geny odpowiadające za BDNF^d i COMT (katecholo-O-metylotransferaza), czyli kodujące białka, które wpływają na rozwój nerwów i aktywację licznych neuroprzekaźników.

Zastosowania edukacyjne

Czy genetyka może znaleźć praktyczne zastosowanie w edukacji?

- Niektóre markery genetyczne już teraz mają wartość praktyczną, dostarczając wiedzy na temat efektów interwencji edukacyjnych

Choć musi minąć kilka lat, zanim będzie można opracować programy nauczania „skrojone na miarę” na podstawie indywidualnego profilu genetycznego, to już dziś w ocenie efektów konkretnych interwencji można wykorzystywać wybrane markery genetyczne. Przykładem

^a W Polsce dostępne jest tłumaczenie książki „Geny i edukacja” Asbury i Plomina (2015, PWN) w przystępny sposób opisującej te zagadnienia (przyp. tłum.).

^b Za to wpływ środowiska może zmienić ekspresję genów, czyli sposób ich aktywacji. Badaniem tych zjawisk zajmuje się nowa dziedzina, behawioralna epigenetyka rozwojowa. Środowisko oddziałuje na materiał genetyczny za pomocą mechanizmów wpływających na wykorzystanie genów, czyli epigenetycznych. Dotychczasowe publikacje skupiają się głównie na psychopatologii, zaburzeniach osobowości, odporności na stres, receptorach dopaminy i oksytocyny (np. Jzendoorn i wsp., 2011, *Child Development Perspectives*). Szerzej te zagadnienia traktują autorzy książki o „biospołecznej edukacji”: Youdell i wsp. (2018). *Biosocial Education: The Social and Biological Entanglements of Learning* (przyp. tłum.).

^c Czasami termin ten tłumaczony jest jako „geny generalistów” (przyp. tłum.).

^d Bardziej szczegółowe informacje na temat roli BDNF można znaleźć w pracy Respondek i Buszman: Regulacja procesu neurogenezy: czynniki wpływające na powstawanie nowych komórek nerwowych w mózgu dorosłych ssaków. *Postępy Hig Med Dosw* 69, 1451-1461 (przyp. tłum.).

takiego markera genetycznego jest gen receptora dopaminowego typu D4^e (DRD4 7-repeat). Na podstawie analizy wczesnej interwencji dotyczącej nauki czytania z wykorzystaniem komputerów, przeznaczonej dla dzieci w wieku od 2 do 5 lat, udowodniono, że bez względu na poziom zdolności poznawczych, dzieci będące nosicielami tego genu mogą być bardziej podatne na wpływ rodziców oraz oddziaływań edukacyjnych i środowiskowych, w porównaniu do dzieci, które nie są jego nosicielami¹⁶⁶. Innymi słowy, nawet jeśli określona interwencja nie wywołuje efektów na poziomie całej grupy, albo jej efekty są bardzo niewielkie, to jej efekty mogą być silne i istotne w określonej podgrupie dzieci „podatnych”. Jest to zupełnie inna perspektywa, odmienna od dotychczasowego podejścia opierającego się na zasadzie „różni ludzie mają różne talenty”. Rzuca nowe światło na kwestię zrozumienia różnic pomiędzy efektami interwencji edukacyjnych u poszczególnych dzieci. Być może dzieci dzielą się na te bardziej podatne (ang. *'orchids'* dosł. storczyki), u których efekty kształcenia w znacznym stopniu zależą od jakości i nauczania, oraz dzieci mniej wrażliwe (ang. *'dandelions'* dosł. dmuchawce¹⁶⁷), które łatwiej dostosowują się do środowiska nauczania, a jakość tego środowiska nie ma decydującego wpływu na osiągnięte przez nie wyniki. O roli tego genu jako ogólnego mediatora środowiskowego świadczą wyniki badań, według których dzieci w wieku nastoletnim, będące nosicielami tego genu, są w nieproporcjonalnie wysokim stopniu dotknięte zarówno negatywnymi, jak i pozytywnymi skutkami^f kontroli rodzicielskiej dotyczącej zażywania marihuany¹⁶⁸.

^e Gen DRD4 bywa nazywany liberalnym genem. Więcej w języku polskim w przystępnym tekście M. Kosakowskiego dostępnym na stronie <http://badania.net/liberalny-gen/> (przyp. tłum.).

^f Badanie przeprowadzone przez Gornick'ego i wsp. (2007, *American Journal of Medical Genetics Part B*) w grupie nastolatków wykazało, że nosiciele allelu 7-repeat allelu DRD4 są bardziej skłonni do stosowania marihuany przy mniejszej kontroli rodzicielskiej, i mniej skłonni do stosowania marihuany przy wysokiej kontroli rodziców, w porównaniu do nastolatków nie będących nosicielami tego genu. Allel ten był związany z lepszą zdolnością poznawczą (mierzoną przez WISC-III; przyp. tłum.).

Ucieleśnione poznanie^a

Procesy neuropoznawcze

- Neuronauka pomogła nam w zrozumieniu, że nasze ciało odgrywa kluczową rolę w procesach poznawczych (tzw. *ucieleśnione poznanie*)^b
- Ucieleśnione poznanie dostarcza ram teoretycznych dla zrozumienia, jak nasze działanie wpływa na proces uczenia się (np. efekt odtworzenia, ang: *enactment effect*)
- Niektóre z naszych neuronów odzwierciedlają czynności wykonywane przez innych (tzw. *neurony lustrzane*). Wiedza o ich działaniu może być wykorzystana do zrozumienia ucieleśnionego poznania i tego w jaki sposób, na przykład, działania nauczyciela mogą wpływać na zdobywanie wiedzy przez uczniów

Efekt odtworzenia (ang. *enactment effect*)

Teorie ucieleśnionego poznania sugerują, że nie możemy uważać systemów neuropoznawczych zaangażowanych w uczenie się w szkole za oddzielne od tych, które są zaangażowane w działanie. Mówiąc o zastosowaniach edukacyjnych, zwolennicy ucieleśnionego poznania poza wynikami badań behawioralnych, coraz częściej odwołują się do wyników badań z zakresu neuronauki^{169,170}. Ucieleśnione poznanie dostarcza teoretycznych ram dla dobrze poznanego *efektu odtworzenia* polegającego na tym, że łatwiej nam zapamiętać nazwy czynności, kiedy są one wykonywane, niż kiedy je po prostu przeczytamy¹⁷¹.

Neurony lustrzane^c

Kolejny przykład ucieleśnionego poznania dotyczy procesów uczenia się pośredniego^d, w które mamy coraz lepszy wgląd dzięki obrazowaniu mózgu. Kiedy obserwujemy wykonywanie określonych czynności przez inne osoby, obszary korowe, które są wtedy aktywowane w naszym mózgu częściowo pokrywają się z tymi, które są aktywne, gdy sami wykonujemy te czynności¹⁷². Uważa się, że tak zwany system neuronów lustrzanych (ang. mirror neuron system; MNS) pośredniczy w uczeniu się poprzez imitację, co z kolei mogło rozwinąć się jako pewien rodzaj “czytania umysłu” (ang. *mind reading*). Nasz system neuronów lustrzanych może nie być “wrodzony”, ale wynikać z uczenia się sensomotorycznego, które nabywamy poprzez obserwację siebie i innych¹⁷³. Nie mniej jednak, funkcjonowanie systemu neuronów

^a W polskiej literaturze używa się również terminu ucieleśnienie, lub pozostawia się oryginalny angielski termin *embodiment* (przyp. tłum.).

^b Obszerny tekst popularnonaukowy w języku polskim na temat ucieleśnionego poznania autorstwa Winkielmana, Kwiatka i Hohola: *Czy w ciebie da się znaleźć umysł?* dostępnego na: <https://www.granicenauki.pl/czy-w-ciebie-da-sie-znalezc-umysl-26260> (przyp. tłum.).

^c W języku polskim dostępna jest książka Hickoka *Mit neuronów lustrzanych* (CC Press, 2016). Autor podejmuje krytykę teorii neuronów lustrzanych. Znaleźć tam można również szczegółową charakterystykę teorii ucieleśnionego poznania (przyp. tłum.).

^d Czyli na przykład wynikającego z obserwacji, a nie z bezpośredniej instrukcji (przyp. tłum.).

lustrzanych dostarcza dowodów na to, że nasze neuronalne reprezentacje czynności wykonywanych przez inne osoby są związane z naszym osobistym ucieleśnionym doświadczeniem tych czynności^{174,175}.

Zastosowania edukacyjne^e

Czy perspektywa ucieleśnionego poznania może przewidywać i postulować istnienie efektów, które są przydatne w edukacji?

- Ucieleśnione poznanie pomaga w wytłumaczeniu dobrze poznanego efektu odtworzenia. Może również dostarczyć wglądu w to, jak uczniowie uczą się na podstawie zachowań swoich nauczycieli

Efekt odtworzenia został z powodzeniem zastosowany w badaniach nad uczeniem się języka obcego^{176,177}. Na przykład, badanie eksperymentalne z powtarzaniem pomiarem na próbie 20 niemieckojęzycznych osób dorosłych, które uczyły się abstrakcyjnych włoskich słów wykazało, że lepiej zostały zapamiętane słowa nabywane wraz z gestami, oraz że częściej stosowane były zadaniach wymagających transferu wiedzy do innego kontekstu, co sugeruje lepszą dostępność tych słów w zasobach pamięciowych¹⁷⁸. Polepszenia zapamiętywania wynikającego z obserwacji nauczyciela, który używa gestów, nie można wytłumaczyć efektem odtworzenia (jednak takie wyniki wskazywały badania z udziałem dorosłych i dzieci¹⁷⁹). Można je jednak przewidzieć z perspektywy ucieleśnionego poznania^f. Ucieleśnione pojęcia mogą mieć też dalsze zastosowania. Na przykład, kiedy nauczyciel imitował zachowanie uczniów podczas wspólnej interakcji, wskazywali oni później na znacząco większy poziom odczuwanych wzajemnych dobrych relacji, większą pewność siebie oraz satysfakcję z wyników nauki jak również osiągnęli znacząco lepszy wynik w późniejszym teście¹⁸⁰. Powstały też teorie dotyczące różnych sposobów, w jakie gesty mogą ucieleśniać pojęcia matematyczne¹⁸¹. Jednak badania eksperymentalne skierowane na weryfikację testowalnych hipotez w tym zakresie są rzadkością. Wzajemna zależność pomiędzy palcami a matematyką została już opisana (patrz: część *Matematyka* powyżej), i jest to jeden z przykładów ucieleśnionego poznania, który doprowadził do stworzenia interwencji edukacyjnych. Rozwinięciem tego podejścia jest wykorzystanie mat tanecznych dla dzieci w celu poznania osi liczbowej przy pomocy swojego całego ciała. W niewielkim badaniu ($N = 22$), przedszkolaki porównywały

^e W ostatnich latach intensywnie bada się skuteczność wspomaganych komputerowo treningów, których idea wywodzi się z ucieleśnionego poznania w zakresie edukacji matematycznej. Anglojęzyczny przegląd literatury w tym zakresie można znaleźć w pracy Moellera i wsp. (2015, *Computers in Human Behavior*). Choć uzyskiwane wyniki wydają się obiecujące, skuteczność większości z tych narzędzi jest wciąż badana i jak dotąd nie są one szeroko udostępniane praktykom (przyp. tłum.).

^f Kodowanie informacji w pamięci jest tym lepsze im więcej różnych modalności (typów bodźców) jest w to zaangażowanych. Gesty pomagają dodać aktywację w obszarach ruchowych i czuciowych kory mózgu, a to pozwala na łatwiejsze przypominanie (np. Macedonia i wsp., 2019, *Frontiers in Psychology*). Na temat ucieleśnionego poznania warto polecić znakomitą książkę: M. Johnsona *Znaczenie ciała. Estetyka rozumienia ludzkiego* (WUŁ, 2016, przyp. tłum.).

wielkość liczb wykonując ruchy całym ciałem na cyfrowej macie tanecznej¹⁸². Taki przestrzenny trening okazał się bardziej efektywny niż trening nie-przestrzenny: zaobserwowano większą poprawę w zadaniu polegającym na szacowaniu liczb na osi liczbowej oraz w podteście standardowej oceny zdolności matematycznych^g.

^g Nowsze badania, w których rozróżniono nie tylko kierunek ruchu (lewo vs. prawo), ale uczestnicy poruszając wzdłuż zaznaczonej na podłodze osi liczbowej mieli stanąć w miejscu, gdzie na osi znajduje się określona liczba, również przyniosły obiecujące wyniki w zakresie wzrostu umiejętności matematycznych (Link i wsp., 2013, *Trends in Neuroscience and Education*. Artykuł przeglądowy dotyczący tego tematu w języku polskim: Ciechalska i Gut (2018). Komputerowe versus papierowe narzędzia oceny umiejętności matematycznych dzieci. *Neuropsychiatria i Neuropsychologia* (13,3, 104–113, przyp. tłum.).

Treningi poznawcze funkcji wykonawczych

Procesy neuropoznawcze

- Wiele badań wskazuje, że funkcje wykonawcze można trenować zarówno u osób dorosłych jak i u dzieci. Istnieje duży potencjał zastosowania takich treningów do wspomagania edukacji.
- Z drugiej strony, nie zawsze udawało się zreplikować wyniki badań pokazujących pozytywne efekty tego rodzaju treningów. Aktualnie toczy się debata na temat tego, jak odległy może być transfer efektów na zadania różne od trenowanych.

Geneza i charakterystyka treningów poznawczych^h

Treningi poznawcze (czasem określane mianem treningów mózgu) zdefiniowano w sposób ogólny w opublikowanej w 2012 roku pracy przeglądowej jako „zaangażowanie w specyficzny program lub czynność, które mają na celu poprawę określonych umiejętności poznawczych lub ogólnej sprawności poznawczej w efekcie ich wykonywania przez określony czas”¹⁸³. Biorąc pod uwagę stopień, w jakim sprawność funkcji wykonawczych (*executive functions, EF*) pozwala przewidywać sukces edukacyjny, ich trenowanie wydaje się szczególnie interesujące. Funkcje wykonawcze odgrywają kluczową rolę w przypadku koncentracji, myślenia i kontroli zachowań impulsywnych, które w danym momencie mogą być niepożądane. Obejmują rozumowanie, pamięć roboczą oraz hamowanie poznawcze.

Treningi poznawcze mają swoje korzenie w neuropsychologicznych treningach uwagi, stosowanych u osób z uszkodzeniami mózgu. Sukcesy w neuror rehabilitacji funkcji poznawczych w tej populacji, doprowadziły do prób zastosowania podobnych technik u dzieci mających problemy z kontrolą impulsów. Istnieją przykładowo dowody na to, że treningi uwagi mogą poprawić efektywność uwagi u dzieci autystycznych¹⁸⁴, a także sprawność kierowania uwagą przez dzieci z ADHD i efektywność ich kształcenia¹⁸⁵. To z kolei doprowadziło do badań, mających na celu sprawdzenie możliwości wspomagania normalnie rozwijających się funkcji poznawczych poprzez treningi. Często towarzyszyły im badania z wykorzystaniem neuroobrazowania, mające na celu określenie zmian w funkcjonowaniu mózgu związanych z tego rodzaju interwencją.

^h W języku polskim na temat treningów poznawczych dostępnych jest kilka tekstów, między innymi: Wieczorek-Taraday i Taraday, Krytycznie o treningach mózgu – czy potrzebujesz wisienki na torcie, *Crazy Nauka*: <http://www.crazynauka.pl/krytycznie-o-treningach-mozgu-czy-potrzebujesz-wisienki-na-torcie/> Jak skutecznie trenować starzejący się mózg. Wywiad z Brzezicką i Wieczorek-Taraday, *Gazeta Wyborcza*: <http://wyborcza.pl/7,75400,21112654,jak-skutecznie-trenowac-starzejacy-sie-mozg.html> Cipora (2016), Mózg na skakance, *Tygodnik Powszechny* (35/3503, 46-47): <https://www.tygodnikpowszechny.pl/mozg-na-skakance-35145>. Temu tematowi poświęcona jest również w całości książka Nęcki (2018), *Trening poznawczy*. Wyd. Smak Słowa (przyp. tłum.).

Transfer – najważniejszy test treningów poznawczych

Obecnie możemy zaobserwować wzrost zainteresowania próbami rozwoju i oceny skuteczności komputerowych treningów poznawczych. Jednak szereg twierdzeń na ich temat jest poważnie kwestionowanych. Podczas gdy niewiele komercyjnych treningów poznawczych w formie gier zostało przetestowanych w sposób przekonujący, szereg prac badawczych wskazuje, że zdolności rozumowania czy pamięć robocza są podatne na treningi komputerowe. Na przykład badania nad komputerowym narzędziem „Cogmed” pokazały transfer efektów treningu pamięci roboczej na nietrenowane zadania^{186,187}. Pewne dowody wskazują na to, że trening pamięci roboczej może doprowadzić do długotrwałych (trwających 6 miesięcy) efektów i transferu na poprawę umiejętności matematycznych u 10 i 11 latków^{188,189}. Obecność transferu ma kluczowe znaczenie dla entuzjastów treningów poznawczych, ponieważ ostatecznym celem jest wywołanie poprawy nie tylko w zakresie zadania, które było wykorzystywane w treningu. Zasadniczym celem są korzystne efekty obejmujące nietrenowane zadania, których wykonywanie jest zależne od trenowanej funkcji. Z drugiej strony, opublikowana w 2012 roku metaanaliza dołącza do innych opinii¹⁹⁰ wskazujących błędy metodologiczne tych badań i podtrzymuje wniosek, że brakuje przekonujących dowodów na cokolwiek poza krótkoterminowymi, specyficznymi efektami treningów, które nie ulegają generalizacji¹⁹¹. Sceptycy wskazywali również, że w eksperymentach¹⁹², których autorzy zastosowali ulepszony lub rozszerzony plan badawczy, nie udało się zreplikować wyników wcześniejszych badań¹⁹³. Chociaż czasami następuje transfer poza trenowane zadanie, wydaje się, że jest on ograniczony do zadań, które są podobne do trenowanego (czyli tak zwany bliski transfer). Przykładowo, trenowanie rozumowania poprawia poziom wykonania nietrenowanych zadań wymagających rozumowania, ale nie poprawia szybkości przetwarzania informacji¹⁹⁴. Krótko mówiąc, w renomowanych recenzowanych czasopismach naukowych, publikowanych jest coraz więcej badań pokazujących skuteczność treningów, jednak jak dotąd wszystkie zostały mniej lub bardziej skrytykowane¹. Badania nad treningami hamowania poznawczego i samoregulacji są stosunkowo nieliczne i skupiają się głównie na dzieciach, a ich wyniki wskazują jedynie na bliski transfer. Takie wnioski przedstawiają na przykład Dowsett i Livesey w przypadku hamowania

¹ Wiele nowszych badań pokazało ograniczony transfer nabywanych umiejętności. Diamond i Ling (2016, *Developmental Cognitive Neuroscience*) pokazują, że trening pamięci roboczej ma stosunkowo niewielki wpływ na kreatywność, skupianie uwagi czy inteligencję płynną. Ponadto, meta-analizy wyników treningu funkcji poznawczych zdrowych starszych osób pokazały istotną poprawę funkcji wykonawczych, długofalowe skutki takich treningów utrzymujące się przez lata, a nawet polepszenie się wyników działań, które nie były bezpośrednio związane z treningami (efekty określane jako „far transfer”, Mowszowski i wsp., 2016, *Neuropsychology Review*). Wysunięto wiele sugestii dotyczących poprawy metodologii prowadzenia badań w przypadku dzieci. Treningi wielu aspektów funkcji wykonawczych przeprowadzone metodą podwójnej ślepej próby dały dobre rezultaty w przypadku dzieci z ADHD, (Dovis i wsp., 2015, *PlosOne*). Niedawno opublikowana meta-analiza efektów transferu Kassai i wsp. (2019, *Psychological Bulletin*) pokazała poprawę trenowanych składowych, ale brak istotnych zmian odmiennych składowych funkcji wykonawczych. Z tych badań można zatem wyciągnąć wnioski, że należy stosować treningi obejmujące różne składowe, a nie tylko wybrane (przyp. tłum.).

poznawczego¹⁹⁵. Z drugiej strony, odległy transfer na zadania mierzące inne funkcje wykonawcze oraz na inteligencję płynną, zaobserwowano u dziewięciolatków oraz młodszych i starszych osób dorosłych ćwiczących przełączanie się między zadaniami^{196,197}. Dopiero zaczynamy rozumieć czynniki decydujące o wynikach poszczególnych badań laboratoryjnych nad treningami poznawczymi. Wydaje się, że w przyszłych badaniach dbałość o kwestie metodologiczne odegra szczególną rolę dla pełnego zrozumienia tych czynników^j.

Treningi poznawcze nie wykorzystujące technologii

Trenowanie funkcji wykonawczych z wykorzystaniem aktywności fizycznych, które nie wymagają wykorzystania zaawansowanych technologii, takie jak gry z wykorzystaniem obiektów dostępnych w typowych klasach edukacji wczesnoszkolnej, również przyniosło obiecujące efekty¹⁹⁸. Pokazano również pozytywny wpływ na funkcje wykonawcze dwóch programów edukacji wczesnoszkolnej: Montessori¹⁹⁹ i Tools of the Mind²⁰⁰. Mają one wiele cech wspólnych, między innymi podkreślanie znaczenia wielokrotnego powtarzania zadań wymagających funkcji wykonawczych oraz redukowanie stresu²⁰¹. Starannie przeprowadzana, randomizowana próba „Tools of the Mind” jest aktualnie prowadzona przez Peabody Research Institute. Badanie to nie zostało jeszcze opublikowane^k, jednak przedstawiona ostatnio prezentacja badaczy z PRI sugeruje, że wyniki są raczej rozczarowujące²⁰².

Zastosowania edukacyjne

Czy można zastosować treningi poznawcze do poprawiania osiągnięć edukacyjnych?

- Brakuje wysokiej jakości badań nad wpływem treningów funkcji wykonawczych na osiągnięcia akademickie.

Stworzenie komputerowych treningów poznawczych prowadzących do odległego transferu na osiągnięcia edukacyjne jest bardzo prawdopodobne. W chwili obecnej brakuje jednak dowodów na skuteczność aktualnie dostępnych narzędzi. W 2013 roku pojawiły się doniesienia, że komercyjna gra „Dr Kawashima’s Brain Training Game”, powodowała poprawę

^j Pamięć robocza w przypadku zarówno cyfr jak i słów jest związana z szybkością ich wymowy, wzrastającą z wiekiem ale nieco różną dla różnych języków. Dla większości języków zachodnich pojemność pamięci roboczej to koło 7 cyfr (około 6 w języku Walijskim, który ma dłuższe sylaby), podczas gdy w języku chińskim jest to około 9 cyfr. Podobne różnice są dla słów. Używanie prostych symboli matematycznych upraszcza operacje matematyczne (Mattys i wsp., 2018, *Memory & Cognition*, przyp. tłum).

^k Obecnie dostępny jest manuskrypt przedstawiający wyniki tego badania. Zostało ono przeprowadzone na dużą skalę (wzięło w nim udział 877 dzieci). Program „Tools of the Mind” nie przyniósł pozytywnych efektów ani w żadnym z obszarów osiągnięć szkolnych, ani w zakresie ocenianych przez nauczyciela zdolności językowych, samoregulacji czy zachowań społecznych. Raport (w języku angielskim) dostępny jest pod adresem: <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED591050.pdf> (przyp. tłum.).

Warto też polecić stronę projektu: *Executive Function Think Tank*, gdzie zamieszczono rezultaty badań naukowych jak i aplikacje pomagające w trenowaniu funkcji poznawczych. <https://www.executivefunctionthinktank.com> (przyp. tłum.).

sprawności funkcji wykonawczych, pamięci roboczej i szybkości przetwarzania informacji u młodych osób dorosłych²⁰³. W badaniu przeprowadzonym w klasie szkolnej, uzyskano pozytywny wpływ na wyniki w matematyce u 10-11 latków, którzy grali w tę grę po 20 minut dziennie przez 10 tygodni. Jednak było ono bardzo szeroko krytykowane za błędy w zakresie planu eksperymentalnego, analizy statystycznej i sposobu przedstawienia wyników²⁰⁴. Należy również zwrócić uwagę, że sama gra wprost wymaga od gracza korzystania z umiejętności matematycznych.

Sugerowano również, że skoro same ćwiczenia fizyczne były związane z poprawą sprawności funkcji wykonawczych (patrz część *Ćwiczenia* powyżej), aktywności łączące ćwiczenia fizyczne z rozwojem umysłowym, mogą być skuteczną alternatywą dla treningów z wykorzystaniem komputerów²⁰⁵. W jednym z badań pokazano, że trzymiesięczny program taekwondo wiązał się z poprawą poznawczej i emocjonalnej samoregulacji, zachowań prospołecznych, zachowania w klasie i poziomem wykonania zadań matematycznych w pamięci. Ową poprawę zaobserwowano względem grupy kontrolnej, zaangażowanej w interwencję obejmującą inne ćwiczenia fizyczne²⁰⁶.

¹ W oryginale wkradła się pewna niespójność. Cytowana przez autora pod numerem 204 praca z 2010 jest w rzeczywistości krytyką innego badania z wykorzystaniem gry Dr Kawashimy opublikowanego w 2010, a nie cytowanego przez autora pod numerem 203 badania z 2013 roku (przyp. tłum.).

Uczenie się z przerwami (ang. *spaced learning*)^a

Procesy neuropoznawcze

- Robienie przerw między kolejnymi sesjami uczenia pozwala uzyskać lepsze efekty niż uczenie się w formie skumulowanej
- Wyniki badania z wykorzystaniem neuroobrazowania sugerują, że ten efekt wynika z lepszego działania powtarzania podtrzymującego (ang. *maintenance rehearsal*) w porównaniu do tego, jak działa ono w przypadku skumulowanej prezentacji materiału

Dowody na istnienie efektu przerwy i procesy leżące potencjalnie u jego podłoża

Od kiedy w roku 1885 Ebbinghaus odkrył „efekt przerwy” (ang. *spacing effect*), późniejsze badania konsekwentnie potwierdzają, że wyniki uczenia się są lepsze, jeżeli jego kolejne sesje są oddzielone w czasie, niż wtedy, gdy nauka ma formę pojedynczej skumulowanej sesji. Efekt przerwy można zaobserwować u dorosłych²⁰⁷, u dzieci w wieku przedszkolnym, u niemowląt²⁰⁸⁻²¹⁰, u dzieci ze szkoły podstawowej^{210,211} i średniej²¹². Wyniki badania z wykorzystaniem neuroobrazowania sugerują, że efekt przerwy w uczeniu się materiału werbalnego, wynika ze wzmocnienia tzw. powtarzania podtrzymującego (ang. *maintenance rehearsal*), tj. dodatkowego myślenia o materiale, które ma miejsce w przypadku rozłożonego w czasie uczenia się, a nie pojawia podczas uczenia się skumulowanego²¹³.^b

Zastosowania edukacyjne

Jak zastosować efekt przerwy w edukacji?

- Efekt przerwy i jego wpływ na zapamiętywanie jest bezsporny, a korzyści płynące z wykorzystania tego zjawiska w edukacji mogą dotyczyć bardziej złożonych rodzajów uczenia się
- Zastosowanie efektu przerwy w edukacji nie jest powszechne z powodu rozpowszechnienia metod nauczania, które nie odzwierciedlają najnowszego stanu wiedzy naukowej

^a Problem odpowiedniego rozłożenia w czasie powtórek stanowi istotną część szerszej kwestii optymalizacji procesu uczenia się tak, by wykorzystywał naturalne walory ludzkiej pamięci. Szerzej na ten temat w języku polskim można przeczytać w książce Bąbła i Wiśniak (2014) *12 zasad skutecznej edukacji, czyli jak uczyć, żeby nauczyć*, Wydawnictwo GWP, a także Baddeley’a (1998) *Pamięć – poradnik użytkownika*, wydawnictwo Prószyński i S-ka (przyp. tłum.).

^b W Polsce już od 1991 roku działa firma komercyjna SuperMemo (<https://www.supermemo.pl>) zajmująca się oprogramowaniem pomagającym w optymalizacji odstępów czasu między powtórkami w oparciu o badania naukowe, np. Wozniak i Gorzelańczyk (1994, *Acta Neurobiologiae Experimentalis*). Jednakże ostatnie publikacje naukowe na ten temat są z 2000 roku i brakuje porównań eksperymentalnych pokazujących skuteczność tego podejścia (przyp. tłum.).

Pomimo tego, że zdecydowana większość badań dotyczyła pamięci^c, efekt przerwy może mieć wpływ na wiele innych rodzajów uczenia się. W badaniu z udziałem studentów uczących się składni języka obcego zastosowanie 14-dniowej przerwy przełożyło się na lepsze wyniki testu przeprowadzonego 60 dni później, niż zastosowanie 3-dniowej przerwy²¹⁴. We wczesnym badaniu skuteczności nauczania biologii w szkołach średnich, zastosowanie przerwy sprawiło, że uczniowie potrafili lepiej opisywać biologiczny proces mitozy²¹⁵. Korzystne efekty przerwy pokazano również w badaniu skuteczności nauczania czytania 5-latków w warunkach szkolnych²¹⁶. Podobne efekty zaobserwowano w kontrolowanym eksperymencie badającym efektywność kształcenia podczas kursu chirurgii dla studentów medycyny (uwzględniano m.in. czas, liczbę ruchów ręką i ocenę ogólną dokonywaną przez ekspertów)²¹⁷. Podział sesji nauczania wiązał się również z poprawą efektów uczenia się procedur matematycznych przez studentów. Uczestnicy badania mieli za zadanie obliczyć liczbę permutacji sekwencji liter z co najmniej jednym powtórzeniem litery (np. sekwencja abbbcc ma 60 permutacji, m.in. abbcbc, abcbcb, bbacbc, itd.)^{218,219}. Podobnie jak w większości działań matematycznych, obliczenia tego typu wymagały użycia pamięci, gdyż należało odtworzyć sekwencję odpowiednich kroków. Zadanie charakteryzowało się pewnym poziomem abstrakcji, a każdy problem przedstawiano uczestnikom nie więcej niż raz, tak aby nie mogli po prostu zapamiętać rozwiązań.

Metody nauczania uwzględniające przerwy nie są powszechne^{220d}, choć temat ten zyskał w ostatniej dekadzie rozgłos w brytyjskich mediach, gdy dyrekcja szkoły Monkseaton uznała „efekt przerwy” za kluczową koncepcję nauczania²²¹⁻²²³. Dyrektor tej szkoły podjął taką decyzję po przeczytaniu artykułu Fieldsa²²⁴ o „odkryciach w obszarze chemicznych i genetycznych procesów tworzenia śladów pamięciowych”, opublikowanym w czasopiśmie *Scientific American*²²¹. Na tej podstawie opracował zalecenia, by stosować 10-minutowe przerwy pomiędzy kolejnymi sesjami nauczania. Najnowsze badania wskazują jednak, że przerwy powinny być tym dłuższe, im bardziej oddalony w czasie ma być test. Wyznaczanie stałego optymalnego czasu przerwy nie znajduje uzasadnienia. W badaniu wskazano również, że konsekwencje zbyt krótkiej przerwy między kolejnymi sesjami są znacznie poważniejsze niż konsekwencje zbyt długiej przerwy^{225,226}.

Wyniki badania z wykorzystaniem neuroobrazowania²²⁷ sugerują, że korzystny efekt stosowania przerw w nauce działa poprzez wzmocnienie powtarzania podtrzymującego (ang. maintenance rehearsal). To z kolei rodzi pytanie o to, jak różne rodzaje aktywności podejmowanych w czasie przerwy mogą wpływać na efekty zapamiętywania, wchodząc w interakcje z procesami powtarzania. Uczniowie szkoły Monkseaton w przerwie między kolejnymi sesjami czasem wykonywali ćwiczenia fizyczne. Jak wiadomo aktywność fizyczna poprawia efektywność działania sieci neuronalnych oraz może korzystnie wpływać na pamięć i funkcje poznawcze, które odgrywają ważną rolę w procesie uczenia się. Z kolei

^c W badaniach tego typu skupiano się zwłaszcza na czynnikach wpływających na skuteczność zapamiętywania bezsensownego materiału (syłab itp.; przyp. tłum.).

^d Pomimo, że są one często polecane, np. Kang (2016, *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*) (przyp. tłum.).

podejmowanie innych aktywności związanych z uczeniem się może w sposób pozytywny lub negatywny wpływać na proces powtarzania podtrzymującego uprzednio wyuczonego materiału. Jak opisano w kolejnej części, istnieją dowody wskazujące na to, że w odpowiedni sposób „przeplatane” uczenie się może wzmocnić skuteczność zapamiętywania. Zrozumienie leżących u jego podłoża procesów neuronalnych i poznawczych pozwoli nam przewidywać, a także zidentyfikować konfiguracje różnych metod nauczania optymalnie wykorzystujące efekty przerwy i przeplatania.

Przeplatanie (ang. *interleaving*)

Procesy neuropoznawcze

- Przeplatanie różnych tematów może zwiększyć skuteczność zapamiętywania nowego materiału oraz korzystnie wpływać na efektywność innych procesów uczenia się
- Skuteczność przeplatania może wynikać z tego, że powoduje ono zmniejszenie tłumienia aktywności neuronalnej w obszarach mózgu odpowiedzialnych za pamięć. Do takiego tłumienia dochodzi, gdy powtarza się prezentację tego samego materiału

Dowody na skuteczność i prawdopodobne procesy, leżące u podstaw tego zjawiska

Standardowa strategia przeplatania polega na tym, że po każdej lekcji następują ćwiczenia obejmujące materiał z kilku poprzednich lekcji, aby uniknąć powtarzania tego samego tematu. Przykładowo na koniec lekcji o elektryczności nauczyciel zamiast pytać o elektryczność zadaje pytania o ciepło, światło, czy ruch (jeśli zagadnienia te były omawiane na poprzednich lekcjach). Osiągana w ten sposób poprawa efektywności uczenia jest określana mianem „efektu przeplatania” (ang. *interleaving effect*). Efekt ten zaobserwowano po raz pierwszy podczas obserwacji uczenia motorycznego^{a 228-231}, ale wciąż słabo rozumiemy procesy leżące u podstaw tego zjawiska.

Niektóre wyniki badań psychologicznych jako wyjaśnienie efektu przeplatania proponują hipotezę „kontrastu wyróżniającego” (ang. *discriminative-contrast*). Wyróżniający kontrast może być pomocny w rozpoznawaniu różnic między różnymi kategoriami, co sprzyja procesowi uczenia się indukcyjnego^{b 232,233}.^c Zdaje się to sugerować, że przeplatanie lepiej sprawdza się w uczeniu się indukcyjnym niż strategia uczenia z przerwami. Wyniki badań z wykorzystaniem neuroobrazowania wskazują, że procesy zaangażowane w to zjawisko mają charakter automatyczny (tj. nie podlegają kontroli ze strony świadomości). Pokazują ponadto, że przeplatanie powoduje zmniejszenie hamowania aktywności neuronalnej w regionach mózgu odpowiedzialnych za zapamiętywanie, do której dochodzi podczas wielokrotnego prezentowania tych samych bodźców^{234,235}. Może to przynosić korzyści na poziomie percepcyjnym. Trzeba jednak pamiętać, że pełna weryfikacja tych hipotez wymaga dalszych badań, które umożliwią lepsze zrozumienie procesów leżących u podłoża efektów przeplatania, a także pozwolą ukierunkować prace nad optymalnymi metodami nauczania.^d

^a Ang. *motor learning*, czyli uczenie się wykonywania nowych czynności ruchowych, np. rysowania w lustrze (przyp. tłum.).

^b Czyli „od szczegółu do ogółu” tj. poprzez uogólnianie pozyskiwanych informacji (przyp. tłum.).

^c W badaniu Birnbauma i wsp. (2013, *Memory and Cognition*) studenci uczyli się rozpoznawania ptaków i motyli na podstawie zdjęć różnych gatunków, pokazywanych po zgrupowaniu zdjęć danego gatunku lub przeplatanych, co miało zwiększać wyróżniający kontrast. Przeplatanie istotnie zmniejszało liczbę błędów, ale przerwy mogą popsuć ten efekt jeśli nastąpi interferencja z procesem dyskryminacji uczonych kategorii (przyp. tłum.).

^d Protokół takich badań został niedawno opublikowany w: Firth i wsp. (2019). *A Systematic Review of Interleaving as a Concept Learning Strategy. Social Science Protocols*, 2, 1–7 (przyp. tłum.).

Zastosowania edukacyjne

Czy można zastosować efekt przeplatania w edukacji?

- Choć efekt przeplatania jest dużo słabiej poznany niż efekt przerwy, to jego potencjał edukacyjny potwierdzono w kilku przeprowadzonych dotychczas badaniach

W porównaniu z efektem przerwy, zastosowanie efektu przeplatania w edukacji było przedmiotem mniejszej liczby badań, które zresztą przeprowadzono stosunkowo niedawno. Jedno z nich poświęcono nauczaniu ułamków w grupie 10-12-latków²³⁶. Jego wyniki wskazują na lepszą skuteczność i wydajność nauczania, gdy przeplatano rodzaje zadań (a reprezentacje problemu były prezentowane w oddzielnych blokach^e), w porównaniu z przeplataniem reprezentacji problemu (kiedy poszczególne rodzaje zadań były prezentowane w oddzielnych blokach). W innym badaniu z udziałem osób dorosłych uczestnikom prezentowano wiele wykonanych w podobnym stylu obrazów namalowanych przez 12 różnych malarzy posługujących się podobnym stylem. Podczas prezentacji obrazy mogły być pogrupowane według autora lub prezentowane w nieuporządkowany sposób (przeplatanie). W warunku z przeplataniem uczestnicy badania poprawniej wskazywali autorów obrazów, których wcześniej nie widzieli oraz lepiej rozróżniali poszczególne style²³⁷.

Kolejne dowody na to, że u podstaw efektu przerwy i przeplatania leżą zupełnie inne procesy, uzyskano w przeprowadzonym niedawno badaniu z udziałem dzieci w wieku 10-11 lat, które uczono rozwiązywać problemy matematyczne²³⁸. W badaniu wykazano, że strategia przeplatania negatywnie wpływała na wyniki podczas treningów, ale w późniejszym teście wyniki były lepsze. Może to świadczyć o tym, że przeplatanie sprzyja łączeniu danego typu zadania z odpowiednią procedurą jego rozwiązania.

^e Ułamki tłumaczono posługując się różnymi graficznymi reprezentacjami: części koła (jak wykresy kołowe), części odcinka, części zbioru kropek (przyp. tłum.).

Sprawdzanie wiedzy

Procesy neuropoznawcze

- Zostało udowodnione, w wielu różnych kontekstach, że sprawdzanie wiedzy może poprawiać pamięć dotyczącą przyswojonego materiału, a także rozwijać inne rodzaje uczenia się
- Obecnie wiadomo, że kilka procesów neuronalnych może przyczynić się do efektów wynikających ze sprawdzania wiedzy, jednak nie jest znany główny proces za nie odpowiedzialny

Dowody naukowe na efekt sprawdzania wiedzy i możliwe procesy za niego odpowiedzialne

Wiele badań pokazało, że sprawdzenie wiedzy z danego materiału pozytywnie wpływa na pamiętanie jego treści na końcowym teście, lepiej niż kolejne czytanie tego samego materiału^{239,240}. Inne badania wykazały, że sprawdzanie wiedzy spowalnia stopień zapominania materiału nawet po upływie długiego czasu²⁴¹. Efekt ten jest silny dla szerokiego zakresu materiału i w różnych kontekstach²⁴², zaliczając do niego rozumienie przez osoby dorosłe wyjaśnień naukowych przedstawianych za pomocą technologii multimedialnych²⁴³, testów wielokrotnego wyboru podczas wykładów na studiach²⁴⁴, quizów naukowych dla 13-14-latków²⁴⁵. Podczas kursów dla młodych naukowców efekty sprawdzania wiedzy były lepsze niż efekty tworzenia map pojęć²⁴⁶.^a Badania behawioralne sugerują, że efekt sprawdzania wiedzy może wynikać w większym stopniu z wielokrotnych prób wyszukiwania zapamiętanych informacji²⁴⁷, niż ze stanu podwyższonej uwagi. Ponadto, sprawdzanie wiedzy może polepszyć pamięć materiału, który nie jest bezpośrednio testowany, a jest jedynie związany z materiałem objętym sprawdzeniem^{248, 249}. Może też poprawić wyniki poprzez stosowanie nauczanej informacji w celu wyciągnięcia wniosków^{246, 250} i ułatwia tworzenie sensownych powiązań między pojęciami²⁵¹. Mimo tego, inne badania wskazują, że efekt sprawdzania wiedzy może nie mieć zastosowania dla opanowywania umiejętności rozwiązywania problemów²⁵². Współczesne badania z wykorzystaniem neuroobrazowania próbują zidentyfikować procesy, które mogą leżeć u podstaw efektu sprawdzania wiedzy. Ich wyniki mogą przyczynić się do jego optymalnego wykorzystania. Proponowane wyjaśnienia odnoszą się do: (1) zwiększonej uwagi podczas ponownego uczenia się w celu sprawdzania wiedzy, co może przyczynić się do lepszego kodowania informacji, a w konsekwencji do lepszego wyniku²⁵³; (2) możliwej roli nagrody w sprawdzaniu wiedzy (patrz część *Gry wspomagające uczenie się* poniżej); (3) różnych procesów semantycznych, które są zaangażowane w wyszukiwanie informacji i

^a Mapy pojęć, zwane również mapami umysłu lub myśli, to popularna technika tworzenia diagramów pokazujący relacje pomiędzy różnymi pojęciami. https://pl.wikipedia.org/wiki/Mapa_myśli (przyp. tłum.).

ponowne uczenie się²⁵⁴; (4) mniejszej potrzeby przetwarzania informacji w obrębie funkcji wykonawczych przy jednoczesnym wzmacnianiu reprezentacji semantycznych²⁵⁵.^b

Zastosowania edukacyjne

Czy zrozumienie efektu sprawdzania wiedzy może zostać wykorzystane na nowe sposoby?

- Wiedza płynąca z neuronauki i psychologii, szczególnie w połączeniu z technologią, może pomóc w lepszym zastosowaniu efektu sprawdzania wiedzy we współczesnej klasie szkolnej

Komunikacja między studentami i nauczycielami poprzez media cyfrowe stwarza w klasie “online” nowe możliwości zastosowania naukowego zrozumienia procesu uczenia się w edukacji. Na przykład, systemy, które były pierwotnie zaprojektowane do zbierania reakcji od widowni, umożliwiają wszystkim uczniom udzielania odpowiedzi na pytania nauczyciela oraz wyświetlanie przeanalizowanego wyniku z ich odpowiedziami na tablicy. Badania z udziałem studentów wykazały, że korzystanie z tak zwanej “metody przyciskowej” (ang. *clicker technique*) może skrócić czas nauki²⁵⁶ oraz poprawić wyniki^{244,257–259}. Niedawno przeprowadzone badanie wyraźnie pokazuje zależność pomiędzy korzystaniem z narzędzia do udzielania odpowiedzi (tzw. clickera), a “efektem sprawdzania wiedzy”²⁶⁰. Metoda ta jest jednym z przypadków, kiedy głębsze zrozumienie wyników badań naukowych może pomóc w rozwoju lepszych praktyk i wyników w klasie szkolnej. Dzieje się to dzięki połączeniu wyników z badań behawioralnych na temat skuteczności tej metody²⁶¹ z wynikami badań neuroobrazowania. Badania te wykazały, jak reakcje naszego mózgu na nagrodę wpływają na proces uczenia się (patrz część *Gry wspomagające uczenie się* poniżej) oraz jaki jest wpływ czynników sytuacyjnych (takich jak obecność rówieśników²⁶²) na te reakcje.

^b Reaktywacja pamięci w czasie sprawdzania wiedzy sprzyja jej konsolidacji. Zostało to pokazane za pomocą metod neuroobrazowania (Antony i wsp., 2017, *Trends in Cognitive Sciences*; Ferreira i wsp., 2018, *BioRxiv*). W wyniku sprawdzania wiedzy aktywacje w rejonie hipokampa stają się coraz słabsze, natomiast aktywacje obszarów związanych z pamięcią długotrwałą, takich jak przyśrodkowa kora przedczołowa, coraz silniejsze (przyp. tłum.).

Gry wspomagające uczenie się

Procesy neuropoznawcze

- Popularne gry dostarczają trudnych do przewidzenia nagród w zmiennych konfiguracjach, co stymuluje układ nagrody w naszym mózgu
- Reakcja układu nagrody może pozytywnie wpływać na tempo uczenia się
- Poza wielkością nagrody, inne czynniki związane z kontekstem wpływają na aktywność układu nagrody

Dopamina, nagroda i zaangażowanie w proces uczenia się

Do końca nie rozumiemy tego, w jaki sposób gry angażują graczy oraz jak proces zaangażowania związany jest z procesem uczenia się. Utrudnia to próby połączenia procesów uczenia się i grania. Trudności te doprowadziły niektórych komentatorów do stwierdzenia, że „jedyny możliwy konsensus w tym natłoku badań jest taki, że gry edukacyjne są pewnego rodzaju porażką”²⁶³. Wiedza płynąca z neuronauki poznawczej, która pozwala zrozumieć motywacyjną rolę nieprzewidywalnych nagród w grach (również tych edukacyjnych) może poniekąd uzasadniać sens grania w gry. Wychwyt dopaminy w obszarach śródmózgowia jest ściśle związany z różnymi naszymi motywacjami oraz niepewnością wyniku wynikającą z losowości. Powoduje to wzrost poziomu dopaminy aż do momentu, kiedy znany jest rezultat. Proces ten wyjaśnia, dlaczego nieprzewidywalne nagrody są bardziej stymulujące niż całkowicie przewidywalne lub całkowicie niespodziewane nagrody, dostarczając wyjaśnienia atrakcyjności gier. Podczas gdy w grach odpowiedź na nagrodę osiągana jest już na poziomie 50% pewności, uczniowie wolą dużo wyższy poziom pewności w zadaniach szkolnych²⁶⁴, co przypuszczalnie związane jest z czynnikami społecznymi oraz samooceną. Badania w dziedzinie neuronauki poznawczej pokazały, że zapisywanie informacji w pamięci deklaratywnej jest silnie związane z reakcją mózgu na nagrodę²⁶⁵. Oznacza to, że odpowiedź neuronalna na nagrodę, powinna być przedmiotem zainteresowania edukacyjnego nie tylko w kontekście motywowania nas i tworzenia bardziej nagradzających lekcji, ale też dlatego, że nagrody wydają się mieć bardziej bezpośredni wpływ na tempo uczenia się. W skrócie, nasza reakcja na nagrodę (1) jest egocentryczna, więc reagujemy na stratę naszego przeciwnika jako nasz zysk²⁶⁶ (2) może być zwiększona w obecności rówieśników²⁶² oraz (3) wzrasta z wielkością nagrody. Zależy ona również od kontekstu; jest skalowana względem maksymalnej możliwej nagrody w konkretnym kontekście²⁶⁷. Sugeruje to na przykład, że całkowita wartość nagrody zwycięzcy może nie mieć znaczenia dla zaangażowania. Jednak te procesy neuronalne (będące u podłoża reakcji na nagrody; tłum.) są wciąż przedmiotem badań naukowych. Na przykład, dokładny mechanizm, poprzez który reakcja na nagrodę poprawia kodowanie informacji w pamięci deklaratywnej, wymaga dokładniejszego wyjaśnienia^a. Ponadto wiadomo, że reakcja

^a System nagrody określa wartość danej informacji na podstawie oczekiwanej nagrody (zwiększa aktywność) lub kary (zmniejsza aktywność). Sieć określająca istotność informacji zwiększa aktywność w obu przypadkach. Oczekiwanie nagrody reaktywuje zapamiętane wzorce pamięci, dzięki czemu są

ta jest pośredniczona przez różne czynniki wymienione powyżej i jeszcze inne oprócz nich. W związku z tym ich relatywne znaczenie dla edukacji, a także efekty łącznych wpływów tych czynników, pozostają tematem badań neuronaukowych, psychologicznych oraz edukacyjnych.

Zastosowania edukacyjne

Czy wyniki badań mogą pomóc w zaprojektowaniu i zastosowaniu bardziej angażujących i efektywnych gier edukacyjnych?

- Wysiłki, by rozwijać i stosować gry edukacyjne opierają się już na wiedzy o mózgu i umyśle, jednak brakuje dobrze kontrolowanych porównań ich skuteczności z innymi podejściami w nauczaniu

Poza zaspokojeniem ciekawości naukowej²⁶⁸ zrozumienie pojęć z zakresu neuronauki takich jak nieprzewidywalność nagrody, może dostarczyć naukowych podstaw projektowania gier wspierających proces uczenia się²⁶⁹. W skrócie, wyniki te sugerują stosowanie podejścia do uczenia się opartego na grach, które wzmacnia reakcje emocjonalne/motywacyjne poprzez wprowadzenie losowości do związku między uczeniem się a nagrodą. Celem tego podejścia jest zachęcenie do większej aktywności związanej z nagrodą bez narażania samooceny i szacunku społecznego. Podejście to, z relatywnie spójnymi nagrodami, preferowane było przez dzieci w wieku od 10 do 11 lat, które wzięły udział w badaniu. Pokazało ono także zwiększenie reakcji emocjonalnych podczas nauki w badaniu z osobami dorosłymi²⁷⁰. Niedawne badanie z udziałem studentów informatyki uczących się o koncepcjach baz danych potwierdziło, że niepewność nagrody może poprawić motywację i efekty uczenia się. Co ważniejsze, badanie to również pokazało potencjał tego podejścia, które autorzy określają jako „głębokie uczenie się” (ang. *deep learning*) w znaczeniu dogłębnego zrozumienia niż faktycznego przypominania²⁷¹.

Opisane powyżej koncepcje stanowią podstawę dla dostępnych bezpłatnie aplikacji dla nauczycieli, które pozwalają uczniom na równoczesne udzielanie odpowiedzi poprzez własne telefony komórkowe (jest to tańsza i bardziej elastyczna opcja niż używanie przyrządów do przyciskania omówionych wcześniej)²⁷². W tym przypadku naukowcy pracowali nad stworzeniem i połączeniem wniosków naukowych z doświadczeniem praktyków. Stworzyli oni pedagogikę dla wykorzystywania niepewnych nagród w odpowiedzi na pomiar wyników w nauce całej klasy²⁷³, jednak nie udało się przeprowadzić na dużą skalę systematycznych badań skuteczności tej pedagogiki w klasach szkolnych. Brakuje danych dotyczących długotrwałego korzystania ze strategii nauczania poprzez gry^b.

wzmocniane. Kluczową rolę pełni tu kora okołoczołowa (OFC, Kahnt, 2018, *NeuroImage*, przyp. tłum.).

^b Wykorzystanie gier komputerowych w nauce ma bardzo duży potencjał edukacyjny również ze względu na to, że jest to aktywność, którą uczniowie podejmują w sposób spontaniczny, i jak wskazuje wiele badań, często poświęcają więcej czasu grom niż indywidualnej nauce w domu. W trakcie gier, grający podejmują liczne próby rozwiązywania napotykaných problemów, uczą się poprzez doświadczenie. Odpowiednie wykorzystanie tego potencjału w edukacji (np. poprzez tworzenie

wartościowych edukacyjnie, a jednocześnie atrakcyjnych dla graczy gier) może przynieść bardzo korzystne rezultaty (por. Mayo, 2009, *Science*). Nowsze badania sugerują, że różnorodne gry wspomagające uczenie z zakresu przedmiotów matematyczno-technicznych mogą być pomocne zarówno w przypadku uczniów szkół podstawowych (Fokides, 2017, *Education and Information Technologies*) jak również w przypadku przygotowania zawodowego przyszłych nauczycieli edukacji wczesnoszkolnej (Van Eck i wsp., 2015, *Technology, Knowledge and Learning*; przyp. tłum.).

Kreatywność

Procesy neuropoznawcze

- Gwałtownie rozwijająca się dziedzina kreatywnego neuropoznania dostarcza wglądu w różnice indywidualne związane z kreatywnością oraz w strategię sprzyjające kreatywności

Kreatywność jest ważną cechą myślenia, cenioną w wielu rodzajach przedsiębiorstw, od nauki, przez biznes, do sztuki. Postępy w rozwijającej się dziedzinie twórczego neuropoznania potwierdzają, że kreatywność obejmuje niesamowicie szeroki zakres złożonych procesów²⁷⁴. Postępy te wspierają model kreatywności postulujący przechodzenie pomiędzy generatywnym procesem ułatwiającym tworzenie nowych pomysłów a procesem ewaluacyjnym, umożliwiającym ocenę ich adekwatności²⁷⁵. Chociaż uważa się, że ewaluacja wymaga wąsko skoncentrowanej uwagi krytycznej, wydaje się, że generowanie pomysłów czerpie korzyści z szerszego zakresu uwagi. Badanie wykonane przy pomocy EEG wykazało, że różnice indywidualne w tym zakresie można wyjaśnić poprzez spoczynkowy stan uwagi (czyli czy osoby są w większym lub mniejszym stopniu skoncentrowane)²⁷⁶. Również technika fMRI została użyta do sprawdzenia i zbadania strategii uznawanych za sprzyjające kreatywności. Według jednej z takich strategii dzielenie się pomysłami z innymi może zwiększyć naszą kreatywność poprzez zmniejszenie naszej potrzeby tłumienia własnych automatycznych skojarzeń²⁷⁷. Badanie dotyczące wpływu wprowadzenia niepowiązanych bodźców sugeruje, że strategia ta zwiększa kreatywność poprzez automatyczne zwiększanie aktywności neuronalnej w obszarach związanych z twórczym wysiłkiem i poprzez tworzenie znaczących połączeń²⁷⁸.^a

^a Psychologiczna teoria kreatywności według Campbella (1960, *Psychological Review*) oparta jest na idei ślepej wariacji (procesów łączących różne kombinacje pobudzonych przez opis problemu wzorców) i selektywnego wyboru (ciekawe kombinacje są zachowywane, pobudzają mechanizmy nagrody), stąd skrót BVSR (Blind Variation Selective Retention). Badania eksperymentalne różnych aspektów kreatywności za pomocą EEG i biofeedback prowadzone są w Laboratorium Neurokognitywnym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (przyp. tłum.).

Zastosowania edukacyjne^b

Czy zrozumienie twórczego poznania wspiera promowanie kreatywności w kontekście szkolnym?

- Neuronauka pomaga zrozumieć strategie, które sprzyjają kreatywności w kontekście szkolnym, jednak nie podjęto jeszcze próby ewaluacji strategii, które opracowano na podstawie wyników badań z zakresu neuronauki

Podjęto próbę opracowania strategii nauczania podczas zajęć teatralnych opartej na neuronauce twórczości. Jednak podjęto niewiele prób sprawdzenia użyteczności strategii opartych na neuronauce podczas zajęć szkolnych (ale patrz część *Neurofeedback* poniżej). Na przykład, przeprowadzone w klasach badania wskazują, że pozytywny wpływ na poziom kreatywności u dzieci ma stosowanie strategii zwiększających zakres uwagi²⁷⁹. Efektywność podobnej strategii mającej na celu poszerzenie uwagi została również zbadana u osób dorosłych przy użyciu techniki fMRI²⁷⁸. Brak jest jednak badań terenowych dotyczących strategii, których działanie i/lub zastosowanie opierałoby się na obecnym stanie wiedzy w dziedzinie neuronauki.

Indywidualizacja nauczania

Procesy neuropoznawcze

- Wychodzenie naprzeciw preferencjom osoby uczącej się nie prowadzi automatycznie do lepszego zdobywania przez nią wiedzy
- Neuronauka poznawcza dostarcza wglądu w różnice indywidualne, które mają szansę wpływać na wyniki w nauce

Różnice indywidualne z perspektywy neuronalnej

Wiedza na temat różnic indywidualnych płynąca z neuronauki może pomóc w doborze odpowiednich metod nauczania dla różnych uczniów. Do przykładów badań z wykorzystaniem metod neuroobrazowania, które mogą być tu przydatne, należą prace dotyczące reakcji na różnego rodzaju gry w kontekście różnic płciowych²⁸⁰ oraz reakcji na różnego rodzaju informacje zwrotne w zależności od wieku²⁸¹. Na niedawnej konferencji EARLI SIG dotyczącej neuronauki i edukacji, Lee i inni²⁸² zaprezentowali badania na temat neuronalnej aktywności związanej z dokonywaniem wyboru u osób dorosłych, pokazujące, że wybór wiąże się z wysokim poziomem zaangażowania poznawczego, a wpływ wyboru jest tym silniejszy im większe jest zainteresowanie danym tematem.

^b W języku polskim dostępna jest bardzo rozległa literatura na temat kreatywności i możliwości jej rozwijania. Wymienić tu można między innymi liczne prace E. Nęcki i jego współpracowników. Na szczególną uwagę zasługuje książka *Trening Twórczości* (E. Nęcka, J. Orzechowski, A. Słabosz i B. Szymura, kilka wydań, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne). Zawiera ona opisy szeregu ćwiczeń stymulujących kreatywność, które mogą być wykorzystywane w kontekście edukacyjnym (przyp. tłum.).

Zastosowania edukacyjne

Czy istnieją dowody na to, że indywidualne podejście poprawia wyniki w szkole?

- Wiadomo, że możliwość wyboru może wpływać korzystnie na motywację, lecz jak dotąd podjęto niewiele kroków mających na celu dostarczenie szerszej wiedzy z zakresu neuronauki w tym obszarze

Określenie preferencji ucznia nie zawsze gwarantuje zwiększenie korzyści płynących z nauki. Na przykład, wyraźnie brakuje dowodów naukowych łączących efektywność nauczania ze stylami uczenia się (patrz:²⁸³ jako przykład). Z drugiej strony wykazano, że dawanie pewnych możliwości wyboru może samo w sobie wpływać na motywację²⁸⁴. Nie istnieją zweryfikowane empirycznie próby zastosowania neuropoznawczego zrozumienia różnic indywidualnych (w kontekście płci, wieku, itd.) w zindywidualizowanym nauczaniu czy w tworzeniu zindywidualizowanych materiałów.

Neurofeedback

Procesy neuropoznawcze

- Neurofeedback pozwala na samodzielną zmianę stanu umysłowego poprzez monitorowanie własnej aktywności mózgowej

Neurofeedback przy użyciu EEG^a

Neurofeedback polega na monitorowaniu własnej aktywności mózgowej z możliwością wpływu na nią. Niedawne badania naukowe pokazały, że mając zamknięte oczy i polegając na dźwiękowej informacji zwrotnej osoby badane potrafiły zwiększyć stosunek fal mózgowych theta do fal alfa. Procedura ta była oryginalnie stworzona by wzbudzić hipnagogię^b, czyli stan historycznie kojarzony z kreatywnością.^c

Zastosowania edukacyjne

W jaki sposób można stosować neurofeedback w kontekście szkolnym i co można dzięki niemu osiągnąć?

- Badania pokazują, że neurofeedback przy użyciu EEG korzystnie wpływa na kreatywność
- Technologia umożliwiająca wykorzystanie metody neurofeedback w edukacji jest coraz tańsza i przenośna, lecz jej wartość w kontekście szkolnym wciąż jest niezbadana

W badaniu dotyczącym metody neurofeedback z wykorzystaniem EEG pokazano poprawę w występach muzycznych uczniów, której nie stwierdzono w wyniku innych rodzajów metody biofeedback bądź innych interwencji. W ramach tego badania uczniowie muzycznego konserwatorium wzięli udział w szkoleniu z wykorzystaniem neurofeedbacku, a poprawa w zakresie jakości wykonywania utworów muzycznych była silnie skorelowana z ich zdolnością do progresywnego wpływania na sygnały neuronowe związane z uwagą i relaksacją^{286, 287}.

^a EEG – elektroencefalografia jest nieinwazyjną metodą badania bioelektrycznej czynności mózgu, polegającą na rejestracji zmian potencjału elektrycznego na powierzchni skóry przy pomocy elektrod rozmieszczonych na głowie. Więcej informacji: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektroencefalografia> (przyp. tłum.).

^b Hipnagogia jest stanem fizjologicznym w trakcie zasypiania, podczas którego można doświadczyć wyrazistych wyobrażeń (przyp. tłum.).

^c Najczęstszym zastosowaniem neurofeedbacku jest obecnie trening uwagi w przypadku ADHD i innych zaburzeń. Dotychczas stosowane procedury neurofeedback opierają się na monitorowaniu dominujących częstotliwości neuronalnych oscylacji i nie są zbyt efektywne (Rogala i wsp., 2016, *Frontiers in Human Neuroscience*). Znacznie lepsze rezultaty daje neurofeedback oparty na lokalizacji źródeł aktywności mózgu jak i wzmacnianiu aktywności wyróżnionych po sieci, wykorzystujące fMRI (np. Watanabe i wsp., 2018, *Trends in Cognitive Sciences*). Nie jest to jednak metoda praktyczna ze względu na koszty. Trwają prace nad stworzeniem analogicznego systemu wykorzystującego EEG, ale jest to zagadnienie trudne (przyp. tłum.).

Podobne wyniki badań uzyskano w przypadku tancerzy^{288 d}. Powiązane mechanizmy neuronalne leżące u podstaw tego zjawiska są przedmiotem aktywnych badań. Istnieją dowody, że auto-indukowane zmiany w rytmach neuronalnych mogą nadal być widoczne po upływie 20 i więcej minut²⁸⁹. Potwierdza to potencjalną skuteczność neurofeedbacku jako narzędzia pośredniczącego w plastyczności mózgu, ale pozostaje wiele pytań dotyczących związanych z tym procesów i sposobu ich najlepszego wykorzystania do celów edukacyjnych. Jednakże, niedawno pierwsze badania z udziałem 11-latków wykazały poprawę w zakresie jakości występów muzycznych, twórczej improwizacji i uwagi. Poprawę tę uzyskano w wyniku 10 sesji neurofeedback'u trwających po 30 minut²⁹⁰. Badanie z udziałem osób dorosłych wykazało również poprawę umiejętności rotacji mentalnych²⁹¹, które przyczyniają się do zdolności matematycznych i ścisłych (patrz część *Matematyka* powyżej).^e

Neurofeedback może być również udostępniany nauczycielowi. Oprócz zrozumienia wykorzystania technologii przez dzieci, praca przeglądowa Battro na temat zdolności mózgu do nauczania^f wskazuje, że z przenośnych technologii obrazujących aktywność mózgu korzystanie w kontekście szkolnym jest drugim największym wyzwaniem w dziedzinie Umysłu, Mózgu, i Edukacji (Mind, Brain, and Education)²⁹².

Podczas gdy badania takie jak wymienione wyżej używały wysokiej jakości aparatury EEG z wieloma elektrodami, proste urządzenia EEG można kupić już za około 50 funtów. Ich producenci twierdzą, że są one w stanie „bezpiecznie mierzyć sygnały płynące z mózgu i monitorować poziom uwagi uczniów podczas ich interakcji z matematyką, zadaniami pamięciowymi i rozpoznawaniem wzorców”²⁹³. Chociaż urządzenia te są prymitywne w stosunku do tych, które są zazwyczaj używane w środowiskach badawczych, nawet nie do końca dokładny wskaźnik poziomu uwagi może mieć pozytywny wpływ na uczenie się. Może to wynikać z autoobserwacji swoich stanów poznawczych poprzez osobę uczącą się, bądź też z przekazywania nauczycielowi informacji dotyczącej indywidualnego bądź globalnego poziomu uwagi w klasie. W przeprowadzonym niedawno badaniu wykorzystano takie urządzenie do przesłania informacji zwrotnej adaptacyjnemu automatycznemu systemowi nauczania, aby przy pomocy werbalnych i niewerbalnych komunikatów podjął próby odzyskania uwagi uczniów. Udało się w ten sposób uzyskać znaczną poprawę w przypominaniu sobie przez uczniów wcześniej zdobytej wiedzy^{294g}.

^d W tym przypadku stosowano również biofeedback oparty na analizie zmienności rytmu serca (heart-rate variability, HRV).

^e Przeprowadzone niedawno polskie badania (Pinkowicka, 2015) wskazały, że trening EEG-biofeedback poprawia zdolność do skupienia uwagi oraz pamięć krótkotrwałą, będąc skuteczną metodą wspierającą podstawową terapię dzieci cierpiących na ADHD. Dostęp do artykułu: <https://journals.viamedica.pl/psychiatria/article/view/44247> (przyp. tłum.).

^f Battro wskazuje, że zdolność do nauczania nie występuje u innych gatunków, stąd trudno stworzyć adekwatne modele zwierzęce tego, w jaki sposób mózg dostosowuje się do nauczania innych (przyp. tłum.).

^g Innym przykładem zastosowania neurofeedback'u jest tworzenie gier edukacyjnych, w których osoba badana uczy się regulować swój stan pobudzenia, dzięki czemu może osiągać postęp w grze. Ostatnie

badania holenderskich badaczy z zespołu prof. Granic ze specjalnie zaprojektowaną grą *MindLight* udowodniły, że trening neurofeedback z tą grą zredukował poziom lęku u dzieci i ich rodziców (Schoneveld i wsp., 2016). Dostęp do artykułu: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563216303296>; strona zespołu prof. Isabeli Granic: <https://gemhlab.com/> (przyp. tłum.).

Przecczaszkowa stymulacja elektryczna (*transcranial electrical stimulation, TES*)

Procesy neuropoznawcze

- Chociaż nie do końca rozumiemy, dlaczego tak się dzieje, to zastosowanie niewielkiego prądu elektrycznego lub impulsów elektrycznych^a na powierzchni czaszki, może powodować poprawę niektórych funkcji poznawczych i efektywności uczenia się

Historia i ostatnie odkrycia

Eksperymenty nad wpływem niewielkiego napięcia aplikowanego na powierzchnię czaszki mają bardzo długą historię, sięgającą początku XIX wieku²⁹⁵. W ostatnich latach, gdy naukowcy zaczęli identyfikować rodzaj i wielkość napięcia oraz miejsce, w którym powinno być aplikowane, aby uzyskiwać różnorodne efekty stymulacji, tego rodzaju działania zyskały sporo na wiarygodności. Efekty stymulacji są przypisywane zmianie potencjałów spoczynkowych neuronów korowych na skutek aplikowanego niewielkiego napięcia²⁹⁶. W przeprowadzonym niedawno badaniu, sprawdzano możliwości zastosowania TES do celów wojskowych. W badaniu zastosowano odbywający się w rzeczywistości wirtualnej trening-gre, wykorzystywany do zaznajamiania personelu wojskowego z zagrożeniami obecnymi na Bliskim Wschodzie przed wyjazdem na misję. Dorośli ochotnicy, których poddano działaniu prądu o natężeniu dwóch miliamperów, uzyskali dwukrotnie lepsze efekty w zakresie uczenia się i radzenia sobie w grze, w porównaniu z osobami, które poddano dwudziestokrotnie niższemu natężeniu²⁹⁷.

Zastosowania edukacyjne

Czy TES można zastosować w ramach interwencji w klasach szkolnych?

- W ostatnich latach pokazano pozytywne efekty w przypadku zadań, które mogą być użyteczne w edukacji^b. Pozostaje jednak wiele nierozwiązanych kwestii, jeśli chodzi o

^a Można wyróżnić kilka odmian przecczaszkowej stymulacji elektrycznej: (1) *Transcranial Direct Current Stimulation* (tDCS) – najpopularniejsza z metod, w której stałe napięcie jest podawane na powierzchnię czaszki przy pomocy dwóch elektrod, wyróżnia się anodalne i katodalne tDCS; (2) *Transcranial Random Noise Stimulation* (TRNS), w której podawane jest szybko zmieniające się napięcie o różnych częstotliwościach, umożliwia stymulowanie dwóch obszarów mózgu jednocześnie; (3) *Transcranial Alternating Current Stimulation* (TACS), w której stymuluje się przy pomocy stałego napięcia, jednak zmienia się kierunek prądu, zatem elektrody służą zamiennie jako anoda i katoda (przyp. tłum.). Artykuł w Wikipedii dobrze podsumowuje informacje na ten temat. https://en.wikipedia.org/wiki/Transcranial_direct-current_stimulation

^b Badano między innymi użyteczność TES w zakresie wspomagania kompetencji matematycznych. Warto w tym kontekście obejrzeć poniższe wideo (w języku angielskim): <https://www.youtube.com/watch?v=QoHZ5b-aaX4> (przyp. tłum.).

potencjalne ryzyko związane z TES oraz pytań natury etycznej. Sprawia to, że wykorzystanie TES w klasach szkolnych nie jest zbyt realne w najbliższych latach.

Kilka innych badań nad wykorzystaniem TES, które pojawiło się w ostatnim czasie, dotyczyło bardziej konwencjonalnych obszarów edukacji. W jednym z nich, w grupie, w której zastosowano TES, trzykrotnie więcej dorosłych osób badanych zdołało rozwiązać problemy wymagające wglądu²⁹⁸. W innym badaniu również z udziałem osób dorosłych 6-dniowy trening z wykorzystaniem TES, doprowadził do poprawy umiejętności matematycznych, a jego efekty były obecne także 6 miesięcy później^{299c}. Podobne badanie pokazało poprawę poziomu wykonania zadania utrzymującą się również przez 6 miesięcy. Dodatkowo towarzyszyła jej poprawa ukrwienia tkanki nerwowej w stymulowanym obszarze^d. Prostota interwencji oraz wielkość i trwałość efektów wydają się wręcz nadzwyczajne, jednak ryzyko³⁰⁰ i kwestie etyczne³⁰¹ wymagają dalszej eksploracji^{e, f}.

^c Opublikowana niedawno metaanaliza sugeruje, że wyniki stymulacji (w tym przypadku autorzy uwzględnili anodálną TES) są bardziej korzystne, jeżeli jest ona prowadzona w trakcie uczenia się materiału niż wtedy, gdy stosuje się ją podczas samego testu (Simonsmeier i wsp., 2018, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*). Warto jednak wspomnieć, że w ostatnim czasie opublikowano wyniki dużego badania, w którym nie stwierdzono jakiegokolwiek oddziaływania stymulacji na obserwowane procesy poznawcze (Boayue i wsp. 2019, *European Journal of Neuroscience*; przyp. tłum.).

^d Warto zaznaczyć, że wykorzystanie tDCS nie zawsze prowadzi do poprawy funkcjonowania poznawczego. W przeprowadzonym niedawno przez Steenbergen i wsp. (2016; *Experimental Brain Research*) badaniu wykorzystany został dostępny komercyjnie zestaw do tDCS. W kontrolowanym eksperymencie autorzy pokazali, że stymulacja powodowała pogorszenie sprawności pamięci roboczej (inne badania wskazywały, że stymulacja może prowadzić do poprawy funkcjonowania tego rodzaju pamięci). Oznacza to, że uzyskiwane wyniki mogą być zależne od szeregu specyficznych czynników, które nie zostały dotychczas w pełni scharakteryzowane i skłania do jeszcze większego sceptycyzmu w kwestii szerokiego zastosowania tDCS w praktyce edukacyjnej (przyp. tłum.).

^e W przypadku osób dorosłych praktycznie nie stwierdzono negatywnych skutków ubocznych stymulacji (poza stosunkowo rzadkimi przypadkami podrażnienia skóry). Niestety nadal nie wiadomo czy tak samo jest w przypadku dzieci i adolescentów, których mózgi zmieniają się bardzo dynamicznie. Ze względów etycznych praktycznie nie ma badań nad skutecznością TES u dzieci i młodzieży. Równie problematyczne są kwestie etyczne dotyczące tego kto i na jakich warunkach powinien mieć dostęp do tego rodzaju narzędzi. Na ile ich wykorzystanie można traktować jako odpowiednik środków dopingujących w sporcie? Czy ewentualne upowszechnienie tych narzędzi, nie spowoduje wzrostu nierówności w zakresie dostępu do edukacji (przyp. tłum.).

^f Połączenie treningu kognitywnego (pamięć robocza, hamowanie, elastyczności poznawczej) przy użyciu gier z stymulacją TES w różnej formie przyczyniło się do podwyższenia inteligencji płynnej i efektów odległego transferu (Brem i wsp., 2018, *Neuropsychologia*, przyp. tłum.).

Literatura Cytowana

- 1 Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H. & Dweck, C. S. Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development* 78, 246- 263 (2007).
- 2 Dommett, E. J., Devonshire, I. M., Sewter, E. L. & Greenfield, S. A. Immediate effects of teaching pupils about the learning brain in the classroom: Improving students' motivation to learn. *Society for Neuroscience Abstract Viewer and Itinerary Planner* 40 (2010).
- 3 Dehaene, S. Precise of the number sense. *Mind Lang.* 16, 16-36, doi:10.1111/1468-0017.00154 (2001).
- 4 Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R. & Tsivkin, S. Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 284, 970-974 (1999).
- 5 De Smedt, B., Verschaffel, L. & Ghesquiere, P. The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *J. Exp. Child Psychol.* 103, 469-479, doi:10.1016/j.jecp.2009.01.010 (2009).
- 6 Halberda, J., Mazocco, M. M. M. & Feigenson, L. Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature* 455, 665-U662, doi:10.1038/nature07246 (2008).
- 7 Holloway, I. D. & Ansari, D. Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *J. Exp. Child Psychol.* 103, 17-29, doi:10.1016/j.jecp.2008.04.001 (2009).
- 8 Geary, D. C. Mathematical disabilities: Reflections on cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Learning and Individual Differences* 20, 130-133, doi:10.1016/j.lindif.2009.10.008 (2010).
- 9 Jordan, N. C., Hanich, L. B. & Kaplan, D. Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *J. Exp. Child Psychol.* 85, 103-119, doi:10.1016/s0022-0965(03)00032-8 (2003).
- 10 Vanbinst, K., Ghesquière, P. & De Smedt, B. Numerical Magnitude Representations and Individual Differences in Children's Arithmetic Strategy Use. *Mind, Brain, and Education* 6, 129-136, doi:10.1111/j.1751-228X.2012.01148.x (2012).
- 11 Kolkman, M. E., Kroesbergen, E. H. & Leseman, P. P. M. Early numerical development and the role of non-symbolic and symbolic skills. *Learning and Instruction* 25, 95-103, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.12.001 (2013).
- 12 Rousselle, L. & Noel, M. P. Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition* 102, 361-395, doi:10.1016/j.cognition.2006.01.005 (2007).
- 13 Piazza, M. *et al.* Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition* 116, 33-41, doi:10.1016/j.cognition.2010.03.012 (2010).
- 14 Kaufmann, L. *et al.* Developmental dyscalculia: compensatory mechanisms in left intraparietal regions in response to nonsymbolic magnitudes. *Behavioral and Brain Functions* 5, doi:10.1186/1744-9081-5-35 (2009).

- 15 Kucian, K. *et al.* Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behavioral and brain functions : BBF* 2, 31-31, doi:10.1186/1744-9081-2-31 (2006).
- 16 Mussolin, C. *et al.* Neural Correlates of Symbolic Number Comparison in Developmental Dyscalculia. *Journal of Cognitive Neuroscience* 22, 860-874, doi:10.1162/jocn.2009.21237 (2010).
- 17 Casey, M. B., Pezaris, E. & Nuttall, R. L. Spatial ability as a predictor of math achievement - the importance of sex and handedness patterns. *Neuropsychologia* 30, 35-45, doi:10.1016/0028-3932(92)90012-b (1992).
- 18 Tracy, D. M. Toy-playing behavior, sex-role orientation, spatial ability, and science achievement. *J. Res. Sci. Teach.* 27, 637-649, doi:10.1002/tea.3660270704 (1990).
- 19 Geary, D. C., Saults, S. J., Liu, F. & Hoard, M. K. Sex differences in spatial cognition, computational fluency, and arithmetical reasoning. *J. Exp. Child Psychol.* 77, 337-353, doi:10.1006/jecp.2000.2594 (2000).
- 20 Uttal, D. H. *et al.* The Malleability of Spatial Skills: A Meta-Analysis of Training Studies. *Psychological Bulletin* 139, 352-402, doi:10.1037/a0028446 (2013).
- 21 Bavelier, D., Levi, D. M., Li, R. W., Dan, Y. & Hensch, T. K. Removing Brakes on Adult Brain Plasticity: From Molecular to Behavioral Interventions. *Journal of Neuroscience* 30, 14964-14971, doi:10.1523/jneurosci.4812-10.2010 (2010).
- 22 Howard-Jones, P. A., Demetriou, S., Bogacz, R., Yoo, J. H. & Leonards, U. Toward a science of learning games. *Mind, Brain and Education* 5, 33-41 (2011).
- 23 Boot, W. R. *et al.* Transfer of skill engendered by complex task training under conditions of variable priority. *Acta Psychol.* 135, 349-357, doi:10.1016/j.actpsy.2010.09.005 (2010).
- 24 Feng, J., Spence, I. & Pratt, J. Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science* 18, 850-855 (2007).
- 25 Noel, M.-P. Finger gnosis: A predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology* 11, 413- 420 (2005).
- 26 Kaufmann, L. *et al.* A developmental fMRI study of nonsymbolic numerical and spatial processing. *Cortex* 44, 376-385 (2008).
- 27 Kaufmann, L. Dyscalculia: Neuroscience and education. *Educational Research* 50 (2008).
- 28 Krinzinger, H. *et al.* The role of finger representations and saccades for number processing: an fMRI study in children. *Frontiers in Psychology* 2, doi:10.3389/fpsyg.2011.00373 (2011).
- 29 Moeller, K. *et al.* Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive Processing* 13, S271- S274, doi:10.1007/s10339-012-0457-9 (2012).
- 30 Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C. & Beilock, S. L. Math Anxiety, Working Memory, and Math Achievement in Early Elementary School. *J. Cogn. Dev.* 14, 187-202, doi:10.1080/15248372.2012.664593 (2012).
- 31 Devine, A., Fawcett, K., Szucs, D. & Dowker, A. Gender differences in mathematics anxiety and the

- relation to mathematics performance while controlling for test anxiety. *Behavioral and Brain Functions* 8, doi:10.1186/1744-9081-8-33 (2012).
- 32 Hembree, R. The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *J. Res. Math. Educ.* 21, 33-46, doi:10.2307/749455 (1990).
 - 33 Ashcraft, M. H., Krause, J. A. & Hopko, D. R. in *Why is math so hard for some children? The nature and origins of mathematical difficulties and disabilities* eds D.B. Berch & M.M.M. Mazzocco) 329-348 (Paul H. Brookes Publishing., 2007).
 - 34 Vukovic, R. K., Kieffer, M. J., Bailey, S. P. & Harari, R. R. Mathematics anxiety in young children: Concurrent and longitudinal associations with mathematical performance. *Contemporary Educational Psychology* 38, 1-10, doi:10.1016/j.cedpsych.2012.09.001 (2013).
 - 35 Young, C. B., Wu, S. S. & Menon, V. The Neurodevelopmental Basis of Math Anxiety. *Psychol. Sci.* 23, 492-501, doi:10.1177/0956797611429134 (2012).
 - 36 Beilock, S. L., Gunderson, E. A., Ramirez, G. & Levine, S. C. Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107, 1860-1863, doi:10.1073/pnas.0910967107 (2010).
 - 37 Lyons, I. M. & Beilock, S. L. Mathematics Anxiety: Separating the Math from the Anxiety. *Cereb. Cortex* 22, 2102-2110, doi:10.1093/cercor/bhr289 (2012).
 - 38 Obersteiner, A., Reiss, K. & Ufer, S. How training on exact or approximate mental representations of number can enhance first-grade students' basic number processing and arithmetic skills. *Learning and Instruction* 23, 125-135, doi:10.1016/j.learninstruc.2012.08.004 (2013).
 - 39 Royal_Society. Brain Waves Module 2: Neuroscience:implications for education and lifelong learning. (Royal Society, London, 2011).
 - 40 Wilson, A. J. *et al.* Principles underlying the design of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions* 2 (2006).
 - 41 Jordan, N. C. & Levine, S. C. Socioeconomic variation, number competence, and mathematics learning difficulties in young children. *Dev. Disabil. Res. Rev.* 15, 60-68, doi:10.1002/ddrr.46 (2009).
 - 42 Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L. & Dehaene, S. An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and brain functions : BBF* 2, 20, doi:10.1186/1744-9081-2-20 (2006).
 - 43 Rasanen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P. & Dehaene, S. Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cogn. Dev.* 24, 450-472, doi:10.1016/j.cogdev.2009.09.003 (2009).
 - 44 Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O. & Fayol, M. Effects of an Adaptive Game Intervention on Accessing Number Sense in Low-Socioeconomic-Status Kindergarten Children *Mind, Brain, and Education* 3, 224-234 (2009).
 - 45 Kucian, K. *et al.* Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage* 57, 782-795, doi:10.1016/j.neuroimage.2011.01.070 (2011).

- 46 Käser, T. *et al.* in *EARLI meeting of the Special Interest Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 47 Kroeger, L. A., Brown, R. D. & O'Brien, B. A. Connecting Neuroscience, Cognitive, and Educational Theories and Research to Practice: A Review of Mathematics Intervention Programs. *Early Educ. Dev.* 23, 37-58, doi:10.1080/10409289.2012.617289 (2012).
- 48 Gabriel, F. *et al.* Developing Children's Understanding of Fractions: An Intervention Study. *Mind, Brain, and Education* 6, 137-146, doi:10.1111/j.1751-228X.2012.01149.x (2012).
- 49 Brankaer, C., Ghesquière, P. & De Smedt, B. in *EARLI meeting of the Special Interest Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 50 Gracia-Bafalluy, M. & Noel, M.-P. Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex* 44, 368-375 (2008).
- 51 Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., Engel, J. & Nuerk, H.-C. Effects of finger counting on numerical development - the opposing views of neurocognition and mathematics education. *Frontiers in Psychology* 2, 328, doi:10.3389/fpsyg.2011.00328 (2011).
- 52 Sorby, S. Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *Int. J. Sci. Educ.* 31, 459-480, doi:10.1080/09500690802595839 (2009).
- 53 Ramirez, G. & Beilock, S. L. Writing About Testing Worries Boosts Exam Performance in the Classroom. *Science* 331, 211-213, doi:10.1126/science.1199427 (2011).
- 54 Shaywitz, B. A. *et al.* Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically- based intervention. *Biological Psychiatry* 55, 926-933 (2004).
- 55 Temple, E. *et al.* Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100, 2860-2865, doi:10.1073/pnas.0030098100 (2003).
- 56 Lyytinen, H., Ronimus, M., Alanko, A., Poikkeus, A. M. & Taanila, M. Early identification of dyslexia and the use of computer game-based practice to support reading acquisition. *Nord. Psychol.* 59, 109-126 (2007).
- 57 McCandliss, B. D. Educational neuroscience: The early years. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107, 8049-8050, doi:10.1073/pnas.1003431107 (2010).
- 58 Brem, S. *et al.* Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107, 7939-7944, doi:10.1073/pnas.0904402107 (2010).
- 59 Snowling, M. J. & Hulme, C. Evidence-based interventions for reading and language difficulties: Creating a virtuous circle. *British Journal of Educational Psychology* 81, 1-23, doi:10.1111/j.2044-8279.2010.02014.x (2011).
- 60 Benjamin, C. F. A. & Gaab, N. What's the story? The tale of reading fluency told at speed. *Human Brain Mapping* 33, 2572-2585, doi:10.1002/hbm.21384 (2012).
- 61 Heim, S. & Grande, M. Fingerprints of developmental dyslexia. *Trends in Neuroscience and Education* 1, 10-14, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2012.09.001 (2012).

- 62 Saine, N. L., Lerkkanen, M.-K., Ahonen, T., Tolvanen, A. & Lyytinen, H. Predicting word-level reading fluency outcomes in three contrastive groups: Remedial and computer-assisted remedial reading intervention, and mainstream instruction. *Learning and Individual Differences* 20, 402-414, doi:10.1016/j.lindif.2010.06.004 (2010).
- 63 Lovio, R., Halttunen, A., Lyytinen, H., Naatanen, R. & Kujala, T. Reading skill and neural processing accuracy improvement after a 3-hour intervention in preschoolers with difficulties in reading-related skills. *Brain Research* 1448, 42-55, doi:10.1016/j.brainres.2012.01.071 (2012).
- 64 Kyle, F., Kujala, J., Richardson, U., Lyytinen, H. & Goswami, U. Assessing the Effectiveness of Two Theoretically Motivated Computer-Assisted Reading Interventions in the United Kingdom: GG Rime and GG Phoneme. *Reading Research Quarterly* 48, 61-76, doi:10.1002/rrq.038 (2013).
- 65 Wolf, M. *et al.* The RAVE-O Intervention: Connecting Neuroscience to the Classroom. *Mind Brain and Education* 3, 84-93, doi:10.1111/j.1751-228X.2009.01058.x (2009).
- 66 Morris, R. D. *et al.* Multiple-Component Remediation for Developmental Reading Disabilities: IQ, Socioeconomic Status, and Race as Factors in Remedial Outcome. *Journal of Learning Disabilities* 45, 99-127, doi:10.1177/0022219409355472 (2012).
- 67 Stevens, C. *et al.* Examining the Role of Attention and Instruction in At-Risk Kindergarteners: Electrophysiological Measures of Selective Auditory Attention Before and After an Early Literacy Intervention. *Journal of Learning Disabilities* 46, 73-86, doi:10.1177/0022219411417877 (2013).
- 68 Temple, E. *et al.* Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: Evidence from functional MRI. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 97, 13907-13912, doi:10.1073/pnas.240461697 (2000).
- 69 Strong, G. K., Torgerson, C. J., Torgerson, D. & Hulme, C. A systematic meta-analytic review of evidence for the effectiveness of the 'Fast ForWord' language intervention program. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 52, 224-235, doi:10.1111/j.1469-7610.2010.02329.x (2011).
- 70 Irlen, H. *Reading by the colors: Overcoming dyslexia and other reading disabilities through the Irlen method.*, (Avery Publishing Group, 1991).
- 71 McIntosh, R. D. & Ritchie, S. J. in *Neuroscience in Education: The good, the bad and the ugly* eds S. Della Sala & M. Anderson) 230-243 (Oxford University Press, 2012).
- 72 Ritchie, S. J., Della Sala, S. & McIntosh, R. D. Irlen Colored Filters in the Classroom: A 1-Year Follow-Up. *Mind, Brain, and Education* 6, 74-80, doi:10.1111/j.1751-228X.2012.01139.x (2012).
- 73 Hillman, C. H., Erickson, K. I. & Framer, A. F. Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience* 9, 58-65 (2008).
- 74 Voss, M. W. *et al.* Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Front. Aging Neurosci.* 2, doi:10.3389/fnagi.2010.00032 (2010).
- 75 Colcombe, S. J. *et al.* Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 101, 3316-3321 (2004).
- 76 Chaddock, L. *et al.* A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research* 1358, 172- 183, doi:10.1016/j.brainres.2010.08.049 (2010).

- 77 Erickson, K. I. *et al.* Aerobic Fitness is Associated With Hippocampal Volume in Elderly Humans. *Hippocampus* 19, 1030-1039, doi:10.1002/hipo.20547 (2009).
- 78 Neeper, S. A., Gomezpinilla, F., Choi, J. & Cotman, C. Exercise and brain neurotrophins. *Nature* 373, 109-109, doi:10.1038/373109a0 (1995).
- 79 Gomez-Pinilla, F., Vaynman, S. & Ying, Z. Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *European Journal of Neuroscience* 28, 2278-2287, doi:10.1111/j.1460-9568.2008.06524.x (2008).
- 80 Vaynman, S., Ying, Z. & Gomez-Pinilla, F. Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience* 20, 2580-2590, doi:10.1111/j.1460-9568.2004.03720.x (2004).
- 81 Winter, B. *et al.* High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory* 87, 597-609 (2007).
- 82 Kubesch, S. *et al.* A 30-Minute Physical Education Program Improves Students' Executive Attention. *Mind, Brain, and Education* 3, 235-242, doi:10.1111/j.1751-228X.2009.01076.x (2009).
- 83 Chang, Y.-K., Tsai, Y.-J., Chen, T.-T. & Hung, T.-M. The impacts of coordinative exercise on executive function in kindergarten children: an ERP study. *Exp. Brain Res.* 225, 187-196, doi:10.1007/s00221-012-3360-9 (2013).
- 84 Kamijo, K. *et al.* The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Dev. Sci.* 14, 1046-1058, doi:10.1111/j.1467-7687.2011.01054.x (2011).
- 85 Chaddock-Heyman, L. *et al.* The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention. *Front. Hum. Neurosci.* 7, doi:10.3389/fnhum.2013.00072 (2013).
- 86 Rasberry, C. N. *et al.* The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance: A systematic review of the literature. *Prev. Med.* 52, S10-S20, doi:10.1016/j.ypmed.2011.01.027 (2011).
- 87 Siffert, J. M. & Khalsa, G. C. K. Effect of educational kinesiology upon simple response-times and choice response-times. *Perceptual and Motor Skills* 73 1011-1015 (1991).
- 88 Dennison, P. E. *Switching on: A guide to Edu-Kinesthetics.* (Edu-Kinesthetics, 1981).
- 89 Dennison, P. E. & Dennison, G. E. *Brain Gym teacher's edition - revised.* (Edu-Kinesthetics, 1994).
- 90 Doman, C. H. *The diagnosis and treatment of speech and reading problems.* (Thomas, 1968).
- 91 Chapanis, N. P. in *Brain Dysfunction in Children: Etiology, Diagnosis, and Management* (ed P. Black) 265-280 (Raven Press, 1982).
- 92 Cohen, H. J., Birch, H. G. & Taft, L. T. Some considerations for evaluating the Doman-Delecatto "patterning" method. *Pediatrics* 45, 302-314 (1970).
- 93 Cummins, R. A. *The Neurologically Impaired Child: Doman-Delacato Techniques Reappraised.* (Croom Helm, 1988).

- 94 Robbins, M. P. & Glass, G. V. in *Educational Therapy* (ed J. Hellmuth) (Special Child Publications, 1968).
- 95 AAP. Learning disabilities, dyslexia, and vision: A subject review. *Pediatrics* 103, 1217-1219 (1998).
- 96 Arter, J. A. & Jenkins, J. R. Differential diagnosis - prescriptive teaching: A critical appraisal. *Review of Educational Research* 49, 517-555 (1979).
- 97 Bochner, S. Ayres, sensory integration and learning disorders: A question of theory and practice. *Australian Journal of Mental Retardation* 5, 41-45 (1978).
- 98 Cohen, S. A. Studies in visual perception and reading in disadvantaged children. *Journal of Learning Disabilities* 2, 498-507 (1969).
- 99 Hammill, D., Goodman, L. & Wiederholt, J. L. The Reading Teacher. 27, 469-478 (1974).
- 100 Kavale, K. A. & Forness, S. R. Substance over style: Assessing the efficacy of modality testing and teaching. *Exceptional Children* 54, 228-239 (1987).
- 101 Sullivan, J. The effects of Kephart's perceptual motor-training on a reading clinic sample. *Journal of Learning Disabilities* 5, 32-38 (1972).
- 102 Reynolds, D., Nicolson, R. I. & Hambly, H. Evaluation of an exercise-based treatment for children with reading difficulties. *Dyslexia* 9, 48-71 (2003).
- 103 Reynolds, D. & Nicolson, R. I. Follow-up of an exercise-based treatment for children with reading difficulties. *Dyslexia* 13, 78-96, doi:10.1002/dys.331 (2007).
- 104 Rack, J. The who, what, why and how of intervention programmes: Comments on the DDAT Evaluation. *Dyslexia* 9, 137-139 (2003).
- 105 Richards, I. L. *et al.* Science, sophistry and 'commercial sensitivity': Comments on the 'Evaluation of an exercise-based treatment for children with reading difficulties', by Reynolds, Nicolson and Hambly. *Dyslexia* 9, 146-150 (2003).
- 106 Singleton, C. & Stuart, M. Measurement mischief: A critique of Reynolds, Nicolson and Hambly. *Dyslexia* 9, 151-160 (2003).
- 107 Snowling, M. J. & Hulme, C. A critique of claims from Reynolds & Hambly (2003) that DDAT is an effective treatment for children with reading difficulties - 'lies, damned lies and (inappropriate) statistics?'. *Dyslexia* 9, 127-133 (2003).
- 108 Stein, J. Evaluation of an exercise based treatment for children with reading difficulties. *Dyslexia* 9, 122- 126 (2003).
- 109 Bishop, D. V. M. Curing dyslexia and attention-deficit hyperactivity disorder by training motor co-ordination: Miracle or myth? *J. Paediatr. Child Health* 43, 653-655, doi:10.1111/j.1440-1754.2007.01225.x (2007).
- 110 Hyatt, K. J. Brain Gym: Building stronger brains or wishful thinking? *Remedial and Special Education* 28, 117-124 (2007).
- 111 Spaulding, L. S., Mostert, M. P. & Beam, A. P. Is Brain Gym (R) an Effective Educational

- Intervention? *Exceptionality* 18, 18-30, doi:10.1080/09362830903462508 (2010).
- 112 Stephenson, J. Best practice? Advice provided to teachers about the use of Brain Gym (R) in Australian schools. *Australian Journal of Education* 53, 109-124 (2009).
- 113 Rasch, B. & Born, J. About Sleep's Role in Memory. *Physiological Reviews* 93, 681-766, doi:10.1152/physrev.00032.2012 (2013).
- 114 Maquet, P. *et al.* Experience dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nature Neuroscience* 3, 831-836 (2000).
- 115 Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R. & Born, J. Sleep inspires insight. *Nature* 427, 352-355 (2004).
- 116 Kirby, M., Maggi, S. & D'Angiulli, A. School Start Times and the Sleep-Wake Cycle of Adolescents: A Review and Critical Evaluation of Available Evidence. *Educational Researcher* 40, 56-61, doi:10.3102/0013189x11402323 (2011).
- 117 Suganuma, N. *et al.* Using electronic media before sleep can curtail sleep time and result in self-perceived insufficient sleep. *Sleep Biol. Rhythms* 5, 204-214, doi:10.1111/j.1479-8425.2007.00276.x (2007).
- 118 Mesquita, G. & Reimao, R. Quality of sleep among university students Effects of nighttime computer and television use. *Arq. Neuro-Psiquiatr.* 68, 720-725 (2010).
- 119 Calamaro, C. J., Yang, K., Ratcliffe, S. & Chasens, E. R. Wired at a Young Age: The Effect of Caffeine and Technology on Sleep Duration and Body Mass Index in School-Aged Children. *J. Pediatr. Health Care* 26, 276-282, doi:10.1016/j.pedhc.2010.12.002 (2012).
- 120 Calamaro, C. J., Mason, T. B. A. & Ratcliffe, S. J. Adolescents Living the 24/7 Lifestyle: Effects of Caffeine and Technology on Sleep Duration and Daytime Functioning. *Pediatrics* 123, E1005-E1010, doi:10.1542/peds.2008-3641 (2009).
- 121 Weinstein, A. & Lejoyeux, M. Internet Addiction or Excessive Internet Use. *American Journal of Drug and Alcohol Abuse* 36, 277-283, doi:10.3109/00952990.2010.491880 (2010).
- 122 Bener, A., Al-Mahdi, H. S., Vachhani, P. J., Al-Nufal, M. & Ali, A. I. Do excessive internet use, television viewing and poor lifestyle habits affect low vision in school children? *J. Child Health Care* 14, 375-385, doi:10.1177/1367493510380081 (2010).
- 123 Gentile, D. A. *et al.* Pathological Video Game Use Among Youths: A Two-Year Longitudinal Study. *Pediatrics* 127, E319-E329, doi:10.1542/peds.2010-1353 (2011).
- 124 AAP. American Academy of Pediatrics: Children, adolescents, and television. *Pediatrics* 107, 423-426 (2001).
- 125 AAP. American Academy of Pediatrics: Policy statement--Media violence. *Pediatrics* 124, 1495-1503 (2009).
- 126 Dworak, M., Schierl, T., Bruns, T. & Struder, H. K. Impact of singular excessive computer game and television exposure on sleep patterns and memory performance of school-aged children. *Pediatrics* 120, 978-985, doi:10.1542/peds.2007-0476 (2007).

- 127 Wang, X. W. & Perry, A. C. Metabolic and Physiologic responses to video game play in 7-to 10-year-old boys. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 160, 411-415 (2006).
- 128 Higuchi, S., Motohashi, Y., Liu, Y., Ahara, M. & Kaneko, Y. Effects of VDT tasks with a bright display at night on melatonin, core temperature, heart rate, and sleepiness. *Journal of Applied Physiology* 94, 1773-1776, doi:10.1152/jappphysiol.00616.2002 (2003).
- 129 Van den Bulck, J. Adolescent use of mobile phones for calling and for sending text messages after lights out: Results from a prospective cohort study with a one-year follow-up. *Sleep* 30, 1220-1223 (2007).
- 130 Garby, P., Nyberg, P. & Jakobsson, U. Sleep and Television and Computer Habits of Swedish School- Age Children. *J. Sch. Nurs.* 28, 469-476, doi:10.1177/1059840512444133 (2012).
- 131 James, J. E. & Rogers, P. J. Effects of caffeine on performance and mood: withdrawal reversal is the most plausible explanation *Psychopharmacology* 182 1-8 (2005).
- 132 James, J. E. *Understanding Caffeine: A biobehavioural analysis*. (Sage, 1997).
- 133 Heatherley, S. V., Hancock, K. M. F. & Rogers, P. J. Psychostimulant and other effects of caffeine in 9- to 11-year-old children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 47, 135-142 (2006).
- 134 Roehrs, T. & Roth, T. Caffeine: Sleep and daytime sleepiness. *Sleep Medicine Reviews* 12, 153-162 (2008).
- 135 Cian, C. *et al.* Influence of variations in body hydration on cognitive function: effect of hyperhydration, heat stress, and exercise-induced dehydration. *Journal of Psychophysiology* 14, 29-36 (2000).
- 136 Rogers, P. J., Kainth, A. & Smit, H. J. A drink of water can improve or impair mental performance depending on small differences in thirst, . *Appetite* 36, 57-58 (2001).
- 137 Vreeman, R. C. & Carroll, A. E. Mixed messages: medical myths. *British Medical Journal* 335, 1288-1289 (2007).
- 138 Sichert-Hellert, W., Kersting, M. & Manz, F. Fifteen year trends in water intake in German children and adolescents: Results of the DONALD Study. *Acta Paediatrica* 90, 732-737, doi:10.1111/j.1651- 2227.2001.tb02797.x (2001).
- 139 Bar-David, Y., Urkin, J. & Kozminsky, E. The effect of voluntary dehydration on cognitive functions of elementary school children. *Acta Paediatrica* 94, 1667-1673 (2005).
- 140 Fadda, R. *et al.* Effects of drinking supplementary water at school on cognitive performance in children. *Appetite* 59, 730-737, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2012.07.005 (2012).
- 141 Edmonds, C. J. & Jeffes, B. Does having a drink help you think? 6–7-Year-old children show improvements in cognitive performance from baseline to test after having a drink of water. *Appetite* 53, 469-472, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2009.10.002 (2009).
- 142 Martin, E. A. & Kerns, J. G. The influence of positive mood on different aspects of cognitive control. *Cogn. Emot.* 25, 265-279, doi:10.1080/02699931.2010.491652 (2011).
- 143 Edmonds, C. J. & Burford, D. Should children drink more water? The effects of drinking water on

- cognition in children. *Appetite* 52, 776-779, doi:10.1016/j.appet.2009.02.010 (2009).
- 144 BBC. *Water improves test results*, <<http://news.bbc.co.uk/1/hi/education/728017.stm>> (2000).
- 145 Wahistrom, K. Changing Times: Findings From the First Longitudinal Study of Later High School Start Times. *NASSP Bulletin* 86, 3-21, doi:10.1177/019263650208663302 (2002).
- 146 Owens, J. A., Belon, K. & Moss, P. Impact of Delaying School Start Time on Adolescent Sleep, Mood, and Behavior. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 164, 608-614 (2010).
- 147 Azevedo, C. V. M. *et al.* Teaching Chronobiology and Sleep Habits in School and University. *Mind Brain and Education* 2, 34-47, doi:10.1111/j.1751-228X.2008.00027.x (2008).
- 148 Bakotic, M., Radosevic-Vidacek, B. & Koscec, A. Educating Adolescents About Healthy Sleep: Experimental Study of Effectiveness of Educational Leaflet. *Croatian Medical Journal* 50, 174-181, doi:10.3325/cmj.2009.50.174 (2009).
- 149 Brown, F. C., Buboltz, W. C. & Soper, B. Development and evaluation of the sleep treatment and education program for students (STEPS). *J. Am. Coll. Health* 54, 231-237, doi:10.3200/jach.54.4.231-237 (2006).
- 150 Cain, N., Gradisar, M. & Moseley, L. A motivational school-based intervention for adolescent sleep problems. *Sleep Med.* 12, 246-251, doi:10.1016/j.sleep.2010.06.008 (2011).
- 151 Cortesi, F., Giannotti, F., Sebastiani, T., Bruni, O. & Ottaviano, S. Knowledge of sleep in Italian high school students: Pilot-test of a school-based sleep educational program. *Journal of Adolescent Health* 34, 344-351, doi:10.1016/s1054-139x(03)00267-2 (2004).
- 152 de Sousa, I. C., Araujo, J. F. & Macedo de Azevedo, C. V. The effect of a sleep hygiene education program on the sleep-wake cycle of Brazilian adolescent students. *Sleep Biol. Rhythms* 5, 251-258, doi:10.1111/j.1479-8425.2007.00318.x (2007).
- 153 Blunden, S. L., Chapman, J. & Rigney, G. A. Are sleep education programs successful? The case for improved and consistent research efforts. *Sleep Medicine Reviews* 16, 355-370, doi:10.1016/j.smr.2011.08.002 (2012).
- 154 Tan, E., Healey, D., Gray, A. R. & Galland, B. C. Sleep hygiene intervention for youth aged 10 to 18 years with problematic sleep: a before-after pilot study. *BMC Pediatr.* 12, doi:10.1186/1471-2431-12-189 (2012).
- 155 Kleinman, R. E. *et al.* Diet, breakfast, and academic performance in children. *Ann. Nutr. Metab.* 46, 24-30, doi:10.1159/000066399 (2002).
- 156 Hoyland, A., Dye, L. & Lawton, C. L. A systematic review of the effect of breakfast on the cognitive performance of children and adolescents. *Nutr. Res. Rev.* 22, 220-243, doi:10.1017/s0954422409990175 (2009).
- 157 Bellisle, F. Effects of diet on behaviour and cognition in children. *British Journal of Nutrition* 92, S227- S232 (2004).
- 158 Cooper, S. B., Bandelow, S. & Nevill, M. E. Breakfast consumption and cognitive function in adolescent schoolchildren. *Physiol. Behav.* 103, 431-439, doi:10.1016/j.physbeh.2011.03.018 (2011).

- 159 Benton, D., Donohoe, R. T., Clayton, D. E. & Long, S. J. Supplementation with DHA and the psychological functioning of young adults. *British Journal of Nutrition* 109, 155-161, doi:10.1017/s0007114512000566 (2013).
- 160 Jackson, P. A., Deary, M. E., Reay, J. L., Scholey, A. B. & Kennedy, D. O. No effect of 12 weeks' supplementation with 1 g DHA-rich or EPA-rich fish oil on cognitive function or mood in healthy young adults aged 18-35 years. *British Journal of Nutrition* 107, 1232-1243, doi:10.1017/s000711451100403x (2012).
- 161 Karr, J. E., Grindstaff, T. R. & Alexander, J. E. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cognition in a College-Aged Population. *Exp. Clin. Psychopharmacol.* 20, 236-242, doi:10.1037/a0026945 (2012).
- 162 Kirby, A., Woodward, A., Jackson, S., Wang, Y. & Crawford, M. A. A double-blind, placebo-controlled study investigating the effects of omega-3 supplementation in children aged 8-10 years from a mainstream school population. *Res. Dev. Disabil.* 31, 718-730, doi:10.1016/j.ridd.2010.01.014 (2010).
- 163 Ryan, A. S. & Nelson, E. B. Assessing the effect of docosahexaenoic acid on cognitive functions in healthy, preschool children: A randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Clin. Pediatr.* 47, 355- 362, doi:10.1177/0009922807311730 (2008).
- 164 Plomin, R., Kovas, Y. & Haworth, C. M. A. Generalist genes: Genetic links between brain, mind, and education. *Mind, Brain and Education* 1, 11-19 (2007).
- 165 Plomin, R. Genetics and the Future Diagnosis of Learning Disabilities. (Government Office for Science, London, 2008).
- 166 Kegel, C. A. T., Bus, A. G. & van Ijzendoorn, M. H. Differential Susceptibility in Early Literacy Instruction Through Computer Games: The Role of the Dopamine D4 Receptor Gene (DRD4). *Mind, Brain, and Education* 5, 71-78, doi:10.1111/j.1751-228X.2011.01112.x (2011).
- 167 Herbert, W. On the Trail of the Orchid Child. *Scientific American Mind* November (2011).
- 168 Otten, R., Barker, E. D., Huizink, A. C. & Engels, R. The Interplay between Parental Monitoring and the Dopamine D4 Receptor Gene in Adolescent Cannabis Use. *PLoS ONE* 7, doi:e49432 10.1371/journal.pone.0049432 (2012).
- 169 Kiefer, M. & Trumpp, N. M. Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education* 1, 15-20, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2012.07.002 (2012).
- 170 Price, T. F., Peterson, C. K. & Harmon-Jones, E. The emotive neuroscience of embodiment. *Motiv. Emot.* 36, 27-37, doi:10.1007/s11031-011-9258-1 (2012).
- 171 Engelkamp, J., Seiler, K. & Zimmer, H. Memory for actions: Item and relational information in categorized lists. *Psychological Research* 69, 1-10, doi:10.1007/s00426-003-0160-7 (2004).
- 172 Rizzolatti, G. & Craighero, L. The mirror neuron system. *Annual Review of Neuroscience* 27, 169-192 (2004).
- 173 Catmur, C. *et al.* Through the looking glass: counter-mirror activation following incompatible sensorimotor learning. *European Journal of Neuroscience* 28, 1208-1215, doi:10.1111/j.1460-

- 9568.2008.06419.x (2008).
- 174 Rizzolatti, G. The mirror neuron system and its function in humans. *Anatomy and Embryology* 210, 419- 421, doi:10.1007/s00429-005-0039-z (2005).
- 175 Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B. & Keysers, C. The anthropomorphic brain: The mirror neuron system responds to human and robotic actions. *Neuroimage* 35 (2007).
- 176 Tellier, M. The effect of gestures on second language memorisation by young children. *Gesture* 8, 219- 235, doi:10.1075/gest.8.2.06tel (2008).
- 177 Kelly, S. D., McDevitt, T. & Esch, M. Brief training with co-speech gesture lends a hand to word learning in a foreign language. *Language and Cognitive Processes* 24, 313-334, doi:10.1080/01690960802365567 (2009).
- 178 Macedonia, M. & Knösche, T. R. Body in Mind: How Gestures Empower Foreign Language Learning. *Mind, Brain, and Education* 5, 196-211, doi:10.1111/j.1751-228X.2011.01129.x (2011).
- 179 So, W. C., Chen-Hui, C. S. & Wei-Shan, J. L. Mnemonic effect of iconic gesture and beat gesture in adults and children: Is meaning in gesture important for memory recall? *Language and Cognitive Processes* 27, 665-681, doi:10.1080/01690965.2011.573220 (2012).
- 180 Zhou, J. The Effects of Reciprocal Imitation on Teacher–Student Relationships and Student Learning Outcomes. *Mind, Brain, and Education* 6, 66-73, doi:10.1111/j.1751-228X.2012.01140.x (2012).
- 181 Alibali, M. W. & Nathan, M. J. Embodiment in Mathematics Teaching and Learning: Evidence From Learners' and Teachers' Gestures. *J. Learn. Sci.* 21, 247-286, doi:10.1080/10508406.2011.611446 (2011).
- 182 Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U. & Nuerk, H.-C. Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychon. Bull. Rev.* 18, 177-183, doi:10.3758/s13423-010-0031-3 (2011).
- 183 Rabipour, S. & Raz, A. Training the brain: Fact and fad in cognitive and behavioral remediation. *Brain and Cognition* 79, 159-179, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.006 (2012).
- 184 Whalen, C. & Schreibman, L. Joint attention training for children with autism using behavior modification procedures. *J. Child Psychol. Psychiatry Allied Discip.* 44, 456-468, doi:10.1111/1469-7610.00135 (2003).
- 185 Kerns, K. A., Eso, K. & Thomson, J. Investigation of a direct intervention for improving attention in young children with ADHD. *Developmental Neuropsychology* 16, 273-295, doi:10.1207/s15326942dn1602_9 (1999).
- 186 Klingberg, T. *et al.* Computerized training of working memory in children with ADHD - A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 44, 177-186 (2005).
- 187 Thorell, L. B., Lindqvist, S., Nutley, S. B., Bohlin, G. & Klingberg, T. Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Dev. Sci.* 12, 106-113, doi:10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x (2009).

- 188 Holmes, J., Gathercole, S. E. & Dunning, D. L. Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Dev. Sci.* 12, F9-F15, doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00848.x (2009).
- 189 Holmes, J. *et al.* Working Memory Deficits can be Overcome: Impacts of Training and Medication on Working Memory in Children with ADHD. *Appl. Cogn. Psychol.* 24, 827-836, doi:10.1002/acp.1589 (2010).
- 190 Shipstead, Z., Redick, T. S. & Engle, R. W. Is Working Memory Training Effective? *Psychological Bulletin* 138, 628-654, doi:10.1037/a0027473 (2012).
- 191 Melby-Lervag, M. & Hulme, C. Is Working Memory Training Effective? A Meta-Analytic Review. *Dev. Psychol.* 49, 270-291, doi:10.1037/a0028228 (2013).
- 192 Chooi, W. T. & Thompson, L. A. Working memory training does not improve intelligence in healthy young adults. *Intelligence* 40, 531-542, doi:10.1016/j.intell.2012.07.004 (2012).
- 193 Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J. & Perrig, W. J. Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 105, 6829-6833 (2008).
- 194 Mackey, A. P., Hill, S. S., Stone, S. I. & Bunge, S. A. Differential effects of reasoning and speed training in children. *Dev. Sci.* 14, 582-590, doi:10.1111/j.1467-7687.2010.01005.x (2011).
- 195 Dowsett, S. M. & Livesey, D. J. The development of inhibitory control in preschool children: Effects of "executive skills" training. *Dev. Psychobiol.* 36, 161-174, doi:10.1002/(sici)1098-2302(200003)36:2<161::aid-dev7>3.0.co;2-0 (2000).
- 196 Karbach, J. & Kray, J. How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev. Sci.* 12, 978-990, doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00846.x (2009).
- 197 Karbach, J. in *EARLI meeting of the Special Interest Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 198 Rothlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E. & Roebers, C. M. Improving executive functions in 5- and 6-year-olds: Evaluation of a small group intervention in prekindergarten and kindergarten children. *Infant Child Dev.* 21, 411-429, doi:10.1002/icd.752 (2012).
- 199 Lillard, A. & Else-Quest, N. The early years: Evaluating Montessori education. *Science* 313, 1893-1894, doi:10.1126/science.1132362 (2006).
- 200 Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J. & Munro, S. The early years - Preschool program improves cognitive control. *Science* 318, 1387-1388, doi:10.1126/science.1151148 (2007).
- 201 Diamond, A. & Lee, K. Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science (New York, N.Y.)* 333, 959-964 (2011).
- 202 Farran, D. C., Wilson, S. J. & Lipsey, M. W. in *Society for Research on Educational Effectiveness* (Washington, 2013).
- 203 Nouchi, R. *et al.* Brain Training Game Boosts Executive Functions, Working Memory and Processing Speed in the Young Adults: A Randomized Controlled Trial. *PLoS ONE* 8, doi:e55518

- 10.1371/journal.pone.0055518 (2013).
- 204 Logie, R. H. & Della Sala, S. Brain training in schools, where is the evidence? *Br. J. Educ. Technol.* 41, E127-E128, doi:10.1111/j.1467-8535.2010.01101.x (2010).
- 205 Diamond, A. Activities and Programs That Improve Children's Executive Functions. *Curr. Dir. Psychol.* 21, 335-341, doi:10.1177/0963721412453722 (2012).
- 206 Lakes, K. D. & Hoyt, W. I. Promoting self-regulation through school-based martial arts training. *J. Appl. Dev. Psychol.* 25, 283-302, doi:10.1016/j.appdev.2004.04.002 (2004).
- 207 Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T. & Rohrer, D. Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychol. Bull.* 132, 354-380, doi:10.1037/0033-2909.132.3.354 (2006).
- 208 Toppino, T. C. & Digeorge, W. The spacing effect in free-recall emerges with development. *Mem. Cogn.* 12, 118-122, doi:10.3758/bf03198425 (1984).
- 209 Toppino, T. C. The spacing effect in young children's free-recall - support for automatic-process explanations. *Mem. Cogn.* 19, 159-167, doi:10.3758/bf03197112 (1991).
- 210 Rea, C. P. & Modigliani, V. The spacing effect in 4-year-old to 9-year-old children. *Mem. Cogn.* 15, 436-443, doi:10.3758/bf03197733 (1987).
- 211 Sobel, H. S., Cepeda, N. J. & Kapler, I. V. Spacing Effects in Real-World Classroom Vocabulary Learning. *Appl. Cogn. Psychol.* 25, 763-767, doi:10.1002/acp.1747 (2011).
- 212 Carpenter, S. K., Pashler, H. & Cepeda, N. J. Using Tests to Enhance 8th Grade Students' Retention of US History Facts. *Appl. Cogn. Psychol.* 23, 760-771, doi:10.1002/acp.1507 (2009).
- 213 Callan, D. E. & Schweighofer, N. Neural Correlates of the Spacing Effect in Explicit Verbal Semantic Encoding Support the Deficient-Processing Theory. *Human Brain Mapping* 31, 645-659, doi:10.1002/hbm.20894 (2010).
- 214 Bird, S. Effects of distributed practice on the acquisition of second language English syntax. *Appl. Psycholinguist.* 31, 635-650, doi:10.1017/s0142716410000172 (2010).
- 215 Reynolds, J. H. & Glaser, R. Effects of repetition and spaced review upon retention of a complex learning-task. *J. Educ. Psychol.* 55, 297-308, doi:10.1037/h0040734 (1964).
- 216 Seabrook, R., Brown, G. D. A. & Solity, J. E. Distributed and massed practice: From laboratory to classroom. *Appl. Cogn. Psychol.* 19, 107-122, doi:10.1002/acp.1066 (2005).
- 217 Moulton, C. A. E. *et al.* Teaching surgical skills: What kind of practice makes perfect? A randomized, controlled trial. *Ann. Surg.* 244, 400-409, doi:10.1097/01.sla.0000234808.85789.6a (2006).
- 218 Rohrer, D. & Taylor, K. The effects of overlearning and distributed practise on the retention of mathematics knowledge. *Appl. Cogn. Psychol.* 20, 1209-1224, doi:10.1002/acp.1266 (2006).
- 219 Rohrer, D. & Taylor, K. The shuffling of mathematics problems improves learning. *Instr. Sci.* 35, 481-498, doi:10.1007/s11251-007-9015-8 (2007).
- 220 Dempster, F. N. The Spacing effect - a case-study in the failure to apply the results of psychological

- research. *American Psychologist* 43, 627-634 (1988).
- 221 Kelley, P. One hour: time it took Year 9 to crack GCSE. *Times Educational Supplement* (2009).
- 222 Braid, M. Why today's graduates don't make the grade. *The Sunday Times, Appointments*, 25 February, 4–15 (2007).
- 223 Kellaway, K. Give kids the space to learn. *The Observer*, 30 May (2010).
- 224 Fields, R. D. Making memories stick. *Scientific American* 292, 74-81 (2005).
- 225 Cepeda, N. J. *et al.* Optimizing Distributed Practice Theoretical Analysis and Practical Implications. *Exp. Psychol.* 56, 236-246, doi:10.1027/1618-3169.56.4.236 (2009).
- 226 Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T. & Pashler, H. Spacing Effects in Learning: A Temporal Ridgeline of Optimal Retention. *Psychol. Sci.* 19, 1095-1102, doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02209.x (2008).
- 227 Callan, D. E. & Schweighofer, N. Positive and negative modulation of word learning by reward anticipation. *Human Brain Mapping* 29, 237-249, doi:10.1002/hbm.20383 (2008).
- 228 Carson, L. M. & Wiegand, R. L. Motor schema formation and retention in young-children - test of Schmidt's schema theory. *J. Mot. Behav.* 11, 247-251 (1979).
- 229 Hall, K. G., Domingues, D. A. & Cavazos, R. Contextual interference effects with skilled baseball players. *Percept. Mot. Skills* 78, 835-841 (1994).
- 230 Landin, D. K., Hebert, E. P. & Fairweather, M. The effects of variable practice on the performance of a basketball skill. *Res. Q. Exerc. Sport* 64, 232-237 (1993).
- 231 Shea, J. B. & Morgan, R. L. Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology-Human Learning and Memory* 5, 179-187, doi:10.1037//0278-7393.5.2.179 (1979).
- 232 Birnbaum, M. S., Kornell, N., Bjork, E. L. & Bjork, R. A. Why interleaving enhances inductive learning: The roles of discrimination and retrieval. *Mem. Cogn.* 41, 392-402, doi:10.3758/s13421-012-0272-7 (2013).
- 233 Kang, S. H. K. & Pashler, H. Learning Painting Styles: Spacing is Advantageous when it Promotes Discriminative Contrast. *Appl. Cogn. Psychol.* 26, 97-103, doi:10.1002/acp.1801 (2012).
- 234 Xue, G. *et al.* Spaced Learning Enhances Subsequent Recognition Memory by Reducing Neural Repetition Suppression. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 1624-1633, doi:10.1162/jocn.2010.21532 (2011).
- 235 Xue, G. *et al.* Facilitating Memory for Novel Characters by Reducing Neural Repetition Suppression in the Left Fusiform Cortex. *PLoS One* 5, doi:e13204 10.1371/journal.pone.0013204 (2010).
- 236 Rau, M. A., Aleven, V. & Rummel, N. Interleaved practice in multi-dimensional learning tasks: Which dimension should we interleave? *Learn Instr.* 23, 98-114, doi:10.1016/j.learninstruc.2012.07.003 (2013).
- 237 Kornell, N. & Bjork, R. A. Learning concepts and categories: Is spacing the "Enemy of Induction"? *Psychol. Sci.* 19, 585-592, doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02127.x (2008).

- 238 Taylor, K. & Rohrer, D. The Effects of Interleaved Practice. *Appl. Cogn. Psychol.* 24, 837-848, doi:10.1002/acp.1598 (2010).
- 239 Roediger, H. L. & Karpicke, J. D. The Power of Testing Memory Basic Research and Implications for Educational Practice. *Perspect. Psychol. Sci.* 1, 181-210, doi:10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x (2006).
- 240 McDaniel, M. A., Roediger, H. L. & McDermott, K. B. Generalizing test-enhanced learning from the laboratory to the classroom. *Psychon. Bull. Rev.* 14, 200-206, doi:10.3758/bf03194052 (2007).
- 241 Roediger, H. L. & Karpicke, J. D. Test-enhanced learning - Taking memory tests improves long-term retention. *Psychol. Sci.* 17, 249-255, doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x (2006).
- 242 Rohrer, D. & Pashler, H. Recent Research on Human Learning Challenges Conventional Instructional Strategies. *Educ. Researcher* 39, 406-412, doi:10.3102/0013189x10374770 (2010).
- 243 Johnson, C. I. & Mayer, R. E. A Testing Effect With Multimedia Learning. *J. Educ. Psychol.* 101, 621-629, doi:10.1037/a0015183 (2009).
- 244 Campbell, J. & Mayer, R. E. Questioning as an Instructional Method: Does it Affect Learning from Lectures? *Appl. Cogn. Psychol.* 23, 747-759, doi:10.1002/acp.1513 (2009).
- 245 McDaniel, M. A., Agarwal, P. K., Huelser, B. J., McDermott, K. B. & Roediger, H. L. Test-Enhanced Learning in a Middle School Science Classroom: The Effects of Quiz Frequency and Placement. *J. Educ. Psychol.* 103, 399-414, doi:10.1037/a0021782 (2011).
- 246 Karpicke, J. D. & Blunt, J. R. Retrieval Practice Produces More Learning than Elaborative Studying with Concept Mapping. *Science* 331, 772-775, doi:10.1126/science.1199327 (2011).
- 247 Kang, S. H. K., McDermott, K. B. & Roediger, H. L. Test format and corrective feedback modify the effect of testing on long-term retention. *Eur. J. Cogn. Psychol.* 19, 528-558, doi:10.1080/09541440601056620 (2007).
- 248 Chan, J. C. K., McDermott, K. B. & Roediger, H. L. Retrieval-induced facilitation: Initially nontested material can benefit from prior testing of related material. *J. Exp. Psychol.-Gen.* 135, 553-571, doi:10.1037/0096-3445.135.4.553 (2006).
- 249 Chan, J. C. K. Long-term effects of testing on the recall of nontested materials. *Memory* 18, 49-57, doi:10.1080/09658210903405737 (2010).
- 250 Butler, A. C. Repeated Testing Produces Superior Transfer of Learning Relative to Repeated Studying. *J. Exp. Psychol.-Learn. Mem. Cogn.* 36, 1118-1133, doi:10.1037/a0019902 (2010).
- 251 Karpicke, J. D. Retrieval-Based Learning: Active Retrieval Promotes Meaningful Learning. *Curr. Dir. Psychol.* 21, 157-163, doi:10.1177/0963721412443552 (2012).
- 252 van Gog, T. & Kester, L. A Test of the Testing Effect: Acquiring Problem-Solving Skills From Worked Examples. *Cogn. Sci.* 36, 1532-1541, doi:10.1111/cogs.12002 (2012).
- 253 Vestergren, P. & Nyberg, L. in *EARLI meeting of the Special Interest Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 254 van den Broek, G., Takashima, A., Segers, E. & Verhoeven, L. in *EARLI meeting of the Special Interest*

- Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 255 Wiklund-Hörnqvist, C., Karlsson, L., Eriksson, J., Jonsson, B. & Nyberg, L. in *EARLI meeting of the Special Interest Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 256 Anderson, L. S., Healy, A. F., Kole, J. A. & Bourne, L. E. Conserving time in the classroom: The clicker technique. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 64, 1457-1462, doi:10.1080/17470218.2011.593264 (2011).
- 257 Donovan, W. An Electronic Response System and Conceptests in General Chemistry Courses. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 27, 369-389 (2008).
- 258 Kennedy, G. E. & Cutts, Q. I. The association between students' use of an electronic voting system and their learning outcomes. *J. Comput. Assist. Learn.* 21, 260-268, doi:10.1111/j.1365-2729.2005.00133.x (2005).
- 259 Mayer, R. E. *et al.* Clickers in college classrooms: Fostering learning with questioning methods in large lecture classes. *Contemporary Educational Psychology* 34, 51-57, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cedpsych.2008.04.002 (2009).
- 260 Anderson, L. S., Healy, A. F., Kole, J. A. & Bourne, L. E. The Clicker Technique: Cultivating Efficient Teaching and Successful Learning. *Appl. Cogn. Psychol.* 27, 222-234, doi:10.1002/acp.2899 (2013).
- 261 Roediger, H. L., Putnam, A. L. & Smith, M. A. in *Psychology of Learning and Motivation: Cognition in Education* Vol. 55 *Psychology of Learning and Motivation* eds J. P. Mestre & B. H. Ross) 1-36 (Elsevier Academic Press Inc, 2011).
- 262 Chein, J., Albert, D., O'Brien, L., Uckert, K. & Steinberg, L. Peers increase adolescent risk taking by enhancing activity in the brain's reward circuitry. *Dev. Sci.* 14, F1-F10, doi:10.1111/j.1467-7687.2010.01035.x (2011).
- 263 Zimmerman, E. & Fortugno, N. *Soapbox: Learning to Play to Learn – Lessons in Educational Game Design*, <http://www.gamasutra.com/view/feature/2273/soapbox_learning_to_play_to_learn_.php> (2005).
- 264 Clifford, M. M. Failure tolerance and academic risk-taking in ten- to twelve-year-old students. *British Journal of Educational Psychology* 58, 15-27 (1988).
- 265 Shohamy, D. & Adcock, R. A. Dopamine and adaptive memory. *Trends Cogn. Sci.* 14, 464-472, doi:10.1016/j.tics.2010.08.002 (2010).
- 266 Howard-Jones, P. A., Bogacz, R., Yoo, J. H., Leonards, U. & Demetriou, S. The neural mechanisms of learning from competitors. *Neuroimage* 53, 790-799 (2010).
- 267 Nieuwenhuis, S. *et al.* Activity in human reward-sensitive brain areas is strongly context dependent. *Neuroimage* 25, 1302-1309 (2005).
- 268 Jirout, J. & Klahr, D. Children's scientific curiosity: In search of an operational definition of an elusive concept. *Dev. Rev.* 32, 125-160, doi:10.1016/j.dr.2012.04.002 (2012).
- 269 Howard-Jones, P., Demetriou, S., Bogacz, R., Yoo, J. H. & Leonards, U. Toward a Science of Learning

- Games. *Mind Brain Educ.* 5, 33-41, doi:10.1111/j.1751-228X.2011.01108.x (2011).
- 270 Howard-Jones, P. A. & Demetriou, S. Uncertainty and engagement with learning games. *Instr. Sci.* 37, 519-536, doi:10.1007/s11251-008-9073-6 (2009).
- 271 Ozcelik, E., Cagiltay, N. E. & Ozcelik, N. S. The effect of uncertainty on learning in game-like environments. *Comput. Educ.* 67, 12-20, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.009 (2013).
- 272 Holmes, W. *et al.* in *7th European Conference on Games Based Learning* (Portugal, 2013).
- 273 Howard-Jones, P. A. & Fenton, K. D. *Brains, Minds and Teaching With Immersive Gaming*. (Neuroeducational Services, 2012).
- 274 Abraham, A. The promises and perils of the neuroscience of creativity. *Front. Hum. Neurosci.* 7, doi:246 10.3389/fnhum.2013.00246 (2013).
- 275 Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M. & Christoff, K. Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *NeuroImage* 59, 1783-1794, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.008 (2012).
- 276 Kounios, J. *et al.* The origins of insight in resting-state brain activity. *Neuropsychologia* 46, 281-291 (2008).
- 277 Fink, A. *et al.* Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study. *Neuroimage* 52, 1687-1695, doi:10.1016/j.neuroimage.2010.05.072 (2010).
- 278 Howard-Jones, P. A., Blakemore, S. J., Samuel, E., Summers, I. R. & Claxton, G. Semantic divergence and creative story generation: An fMRI investigation. *Cognitive Brain Research* 25, 240-250 (2005).
- 279 Howard-Jones, P. A. & Murray, S. Ideational productivity, focus of attention and context. *Creativity Research Journal* 15, 153-166 (2003).
- 280 Hoeft, F., Watson, C. L., Kesler, S. R., Bettinger, K. E. & Reiss, A. L. Gender differences in the mesocorticolimbic system during computer game-play. *Journal of Psychiatric Research* 42, 253-258 (2008).
- 281 van Duijvenvoorde, A. C. K., Zanolie, K., Rombouts, S., Raijmakers, M. E. J. & Crone, E. A. Evaluating the negative or valuing the positive? Neural mechanisms supporting feedback-based learning across development. *Journal of Neuroscience* 28, 9495-9503, doi:10.1523/jneurosci.1485-08.2008 (2008).
- 282 Lee, K., Kim, S. & Bong, M. in *EARLI meeting of the Special Interest Group on Neuroscience and Education* (EARLI, London, 2012).
- 283 Kratzig, G. P. & Arbuthnott, K. D. Perceptual learning style and learning proficiency: A test of the hypothesis. *Journal of Educational Psychology* 98, 238-246 (2006).
- 284 Patall, E. A., Cooper, H. & Robinson, J. C. The effects of choice on intrinsic motivation and related outcomes: A meta-analysis of research findings. *Psychological Bulletin* 134, 270-300, doi:10.1037/0033-2909.134.2.270 (2008).

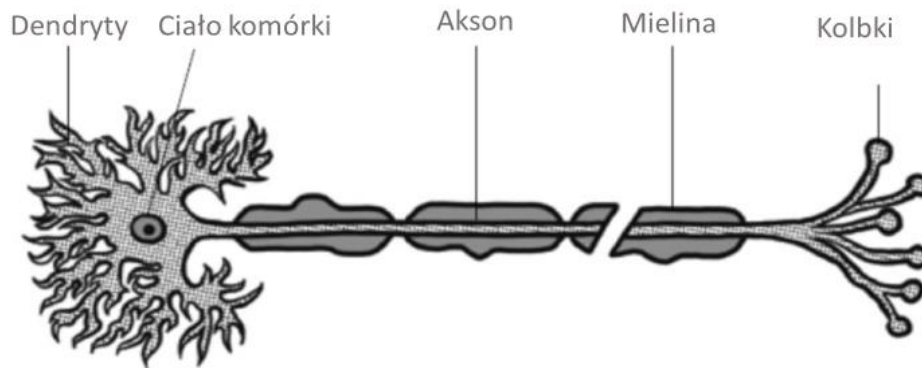
- 285 Gruzelier, J. A theory of alpha/theta neurofeedback, creative performance enhancement, long distance functional connectivity and psychological integration. *Cognitive Processing* 10, S101-S109, doi:10.1007/s10339-008-0248-5 (2009).
- 286 Gruzelier, J. H. & Egner, T. in *Musical Excellence* (ed A. Williamon) 197-219 (Oxford University Press, 2004).
- 287 Egner, T. & Gruzelier, J. H. Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *Neuroreport* 14, 1221-1224, doi:10.1097/01.wnr.0000081875.45938.d (2003).
- 288 Raymond, J., Sajid, I., Parkinson, L. & Gruzelier, J. H. The beneficial effects of alpha/theta and heart rate variability training on dance performance. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 30, 65-73 (2005).
- 289 Ros, T., Munneke, M. A. M., Ruge, D., Gruzelier, J. H. & Rothwell, J. C. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. *European Journal of Neuroscience* 31, 770-778, doi:citeulike-article-id:8030871 (2010).
- 290 Gruzelier, J. H., Foks, M., Steffert, T., Chen, M. J. L. & Ros, T. Beneficial outcome from EEG-neurofeedback on creative music performance, attention and well-being in school children. *Biological Psychology*, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.04.005 (2013).
- 291 Doppelmayr, M. & Weber, E. Effects of SMR and Theta/Beta Neurofeedback on Reaction Times, Spatial Abilities, and Creativity. *Journal of Neurotherapy* 15, 115-129, doi:10.1080/10874208.2011.570689 (2011).
- 292 Battro, A. M. The Teaching Brain. *Mind, Brain, and Education* 4, 28-33, doi:10.1111/j.1751-228X.2009.01080.x (2010).
- 293 NeuroSky. *Brain Wave Sensors for Every Body*, <<http://www.neurosky.com/Education.aspx>> (2013).
- 294 Szafir, D. & Mutlu, B. in *ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012, Austin, Texas, 2012)*.
- 295 Fox, D. Neuroscience BRAIN BUZZ. *Nature* 472, 156-158 (2011).
- 296 Utz, K. S., Dimova, V., Oppenlander, K. & Kerkhoff, G. Electrified minds: Transcranial direct current stimulation (tDCS) and Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology-A review of current data and future implications. *Neuropsychologia* 48, 2789-2810, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.06.002 (2010).
- 297 Clark, V. P. *et al.* TDCS guided using fMRI significantly accelerates learning to identify concealed objects. *Neuroimage* 59, 117-128, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.036 (2012).
- 298 Chi, R. P. & Snyder, A. W. Facilitate Insight by Non-Invasive Brain Stimulation. *PLoS ONE* 6, doi:e16655 10.1371/journal.pone.0016655 (2011).
- 299 Cohen Kadosh, R., Soskic, S., Iuculano, T., Kanai, R. & Walsh, V. Modulating Neuronal Activity Produces Specific and Long-Lasting Changes in Numerical Competence. *Curr. Biol.* 20, 2016-2020, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2010.10.007 (2010).

- 300 Iuculano, T. & Cohen Kadosh, R. The Mental Cost of Cognitive Enhancement. *The Journal of Neuroscience* 33, 4482-4486, doi:10.1523/jneurosci.4927-12.2013 (2013).
- 301 Heinrichs, J. H. The promises and perils of non-invasive brain stimulation. *Int. J. Law Psychiatr.* 35, 121- 129, doi:10.1016/j.ijlp.2011.12.006 (2012).

Aneks 1: Podstawy Neuroanatomii i Ważne Terminy ^a

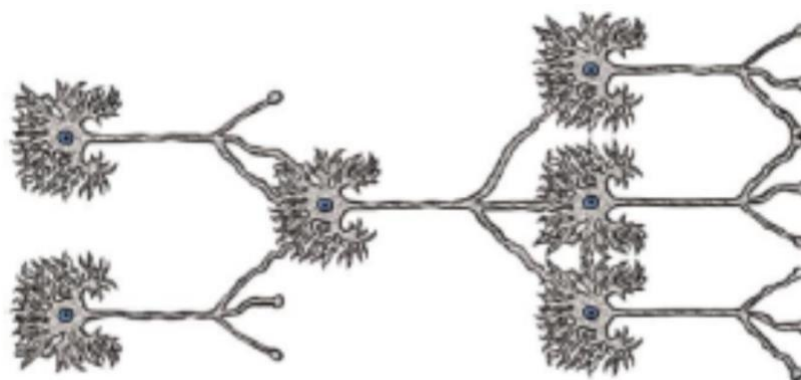
Neurony

W dojrzałym mózgu znajduje się około 90 miliardów komórek nerwowych – *neuronów*. Każdy neuron, tak jak pokazano na Rysunku A1, składa się z ciała komórki, z którym połączone są *dendryty* i *akson*.



Rysunek A1. Każdy neuron w mózgu składa się z ciała komórki, z którym połączone są dendryty i akson. Akson kończy się kolbkami, które tworzą połączenia (synapsy) z dendrytami innych neuronów (patrz rysunek A2).

Kolbki na zakończeniach aksonu mają kontakt z dendrytami innych neuronów i umożliwiają tworzenie połączeń między neuronami – *synapsy*. W ten sposób mogą się tworzyć złożone sieci neuronalne. Prostą sieć pokazano na Rysunku A2.



Rysunek A2 Neurony łączą się ze sobą tworząc sieci.

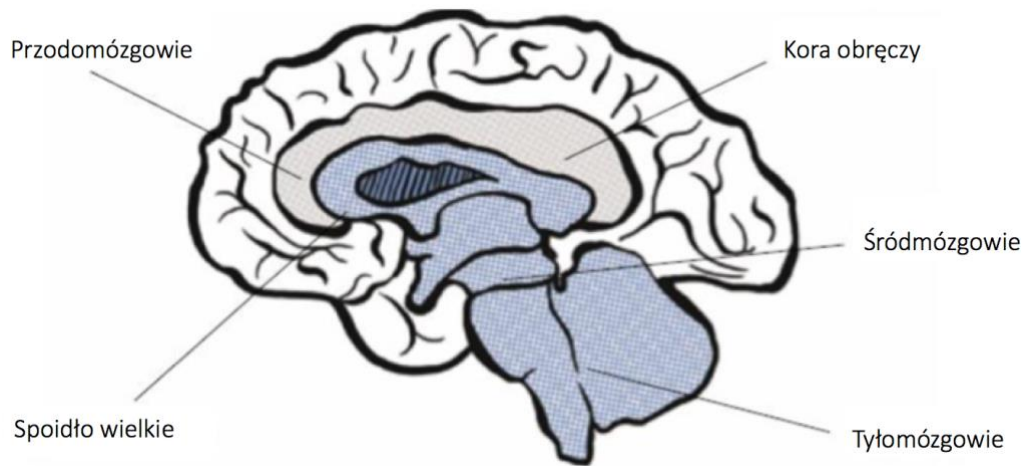
^a W języku polskim w przystępny sposób na temat budowy mózgu można przeczytać w materiałach udostępnianych przez prof. W. Ducha (https://www.fizyka.umk.pl/%7Educh/Wyklady/Kog_plan.html zwłaszcza „Część II - Mózg, umysł i zachowanie), użyteczny może też okazać się słowniczek terminów anatomicznych (<https://www.fizyka.umk.pl/~duch/Wyklady/Mozg/Slovnicek.htm>; przyp. tłum.).

Informacje wewnątrz takich sieci mogą płynąć wzdłuż aksonów jednego neuronu i potem poprzez synapsy do kolejnych neuronów. Pozwala to neuronom na wzajemną komunikację. Impuls poruszający się wzdłuż aksonu ma formę elektryczną, a jego rozprzestrzenianie powstrzymuje otaczająca neuron izolacja zwana *mieliną*. Z kolei proces, który umożliwia przekazywanie sygnału z kolbek synaptycznych do dendrytów kolejnego neuronu ma bardziej charakter chemiczny niż elektryczny. Obejmuje transmisję specjalnych substancji zwanych *neuroprzekaźnikami* (np. dopamina) poprzez synapsę. Neuroprzekaźniki przedostają się przez szczelinę synaptyczną i są rozpoznawane przez receptory po jej drugiej stronie.^b

Przdomózgowie, śródmózgowie i tyłomózgowie

Nasze mózgi, podobnie jak to jest w przypadku innych kręgowców, składają się z trzech głównych części: *przdomózgowia*, *międzymózgowia* i *tyłomózgowia*. Pokazano to na Rysunku A3. Tyłomózgowie obejmuje struktury odpowiedzialne za kontrolę funkcji ciała takich jak sen czy krążenie krwi. Zawiera również przypominającą kształtem kalafiora strukturę zwaną *mózdzkiem*. Jest on zaangażowany w wiele procesów poznawczych, które wymagają dokładnej synchronizacji w czasie, takich jak posługiwanie się językiem, muzyka czy ruch. Międzymózgowie obejmuje struktury przekazujące informacje sensoryczne i motoryczne. Znajdują się w nim również ważne struktury, które kontrolują reakcje na nagrody. U ludzi przdomózgowie wyewoluowało na największą część mózgowia. Obejmuje ono *korę mózgu*. Obszary najsilniej związane z procesami umysłowymi wyższego rzędu, znajdują się w pobliżu pożądananej powierzchni kory. Tę część mózgu często określa się mianem dwóch półkul mózgowych, lewej i prawej, połączonych ze sobą ogromną liczbą włókien zwaną *spoidłem wielkim* (inaczej *ciałem modzelowatym*).

^b Ściślej rzecz ujmując neuroprzekaźniki otwierają kanały (szczeliny) na powierzchni neuronów umożliwiając przepływ dodatnio naładowanych jonów sodu, co zmienia potencjał błony komórkowej i umożliwia powstanie potencjału czynnościowego, impulsu elektrycznego rozchodzącego się wzdłuż aksonu komórki (przyp. tłum.).



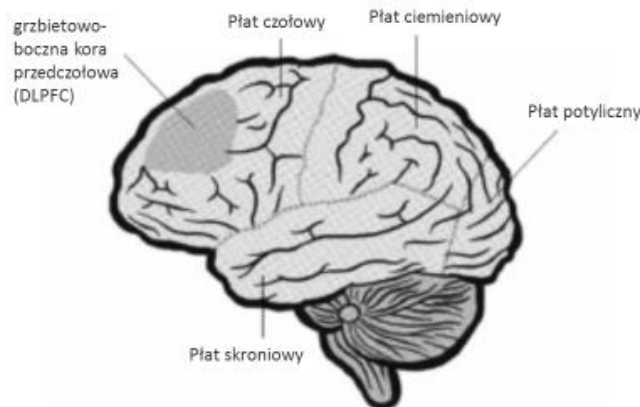
Rysunek A3: Przekrój przez mózg ukazujący podział na przodomózgowie, śródmózgowie i tyłomózgowie. Schemat przedstawia również położenie spoidła wielkiego, które łączy półkule oraz kory zakrętu obręczy.

Płaty mózgu

Korę można podzielić na cztery płaty: *czołowy*, *ciemieniowy*, *potyliczny* i *skroniowy*, jak pokazano na rysunku A4^c. Powierzchnia kory (czasem określana mianem *kory nowej*) jest bardziej pomarszczona u ludzi niż u jakiegokolwiek innego gatunku. Uznaje się, że ta właściwość odzwierciedla większą rolę jaką dla naszego gatunku odgrywają złożone zachowania społeczne. Każdy z płatów można powiązać z określonymi funkcjami poznawczymi. Płaty czołowe (lewy i prawy) mogą prawdopodobnie być szczególnie interesujące dla nauczycieli, ponieważ oprócz kierowania ruchem są odpowiedzialne za różne aspekty rozumowania. Mieści się w nich również grzbietowo-boczna kora przedczołowa (*dorsolateral prefrontal cortex*, DLPFC). Jest ona ważnym ośrodkiem odpowiedzialnym za pamięć roboczą – naszą zdolność przechowywania kilku informacji, które są łatwo dostępne naszej uwadze. Płaty skroniowe są zaangażowane w procesy pamięciowe oraz w przetwarzanie informacji słuchowych. Płaty ciemieniowe są odgrywają ważną rolę w integrowaniu informacji pochodzących z różnych źródeł oraz obejmują obszary związane z niektórymi rodzajami zdolności matematycznych. Płaty potyliczne odgrywają kluczową rolę w przetwarzaniu informacji wzrokowych. Trzeba jednak pamiętać, że żadna z części mózgu (czy półkula) nie jest w całości przeznaczona, albo samodzielnie odpowiedzialna za jakikolwiek proces umysłowy. Fakt, że określone rodzaje funkcji poznawczych bardziej niż inne funkcje można powiązać z określonymi obszarami w mózgu jest czasami błędnie interpretowany w ten sposób, że uznaje się, iż różne czynności, które wykonujemy w ciągu dnia można dokładnie przypisać poszczególnym częściom mózgu. Przyjmuje się błędnie, że jeden kawałek ma odpowiadać za kreatywność, inny za matematykę, inny za muzykę. Każde zadanie dnia

^c Kora zakrętu obręczy, znajdująca się w przyśrodkowej, ukrytej części mózgu, jest częścią większego płata limbicznego, piątej dużej struktury kory mózgu (przyp. tłum.).

codziennego angażuje dużą liczbę rozproszonych sieci neuronalnych, które w złożony sposób przekazują sobie nawzajem informacje. Zatem różne obszary mózgu odpowiadają za różne funkcje poznawcze, ale rzeczywiste myślenie i działanie angażuje procesy rozproszone po całym mózgu.



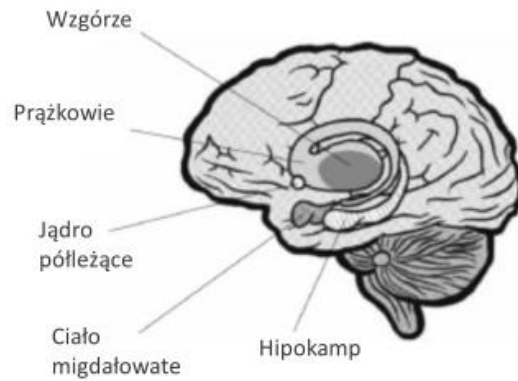
Rysunek A4. W każdej z półkul można wyróżnić cztery płaty. Na rysunku wskazano również obszar nazywany grzbietowo - boczną korą przedczołową (DLPFC).

Presja ewolucyjna w kierunku zmaksymalizowania powierzchni kory doprowadziła do tego, że niektóre jej części znajdują się niżej powierzchni zewnętrznej. Wartym odnotowania przykładem jest tutaj kora obręczy (patrz Rysunek A3). Przednia część kory obręczy zostaje aktywowana, gdy wykonujemy różne rodzaje zadań i wydaje się odgrywać ważną rolę zakresie tego jak i gdzie kierujemy naszą uwagę.

Struktury podkorowe

Poruszając się w głąb płatów skroniowych natkniemy się na *hipokamp* – część mózgu, która odgrywa kluczową rolę w procesie konsolidacji śladów pamięciowych, oraz *ciało migdałowe* (*amygdala*), które odgrywa ważną rolę w przeżywaniu emocji (patrz Rysunek A5). Bliskość tych dwóch struktur (każda z nich występuje w mózgu podwójnie to znaczy zarówno w lewej jak i prawej półkuli) nie jest przypadkiem. Połączenia między nimi umożliwiają tworzenie nasyconych emocjonalnie wspomnień. Obie te struktury należą do układu zwanego mezolimbicznym szlakiem dopaminergicznym, który odgrywa szczególną rolę w mechanizmie reakcji na nagrodę. Może on również wpływać na uwagę i uczenie się. Jest to jeden ze szlaków dopaminergicznym w mózgu, które zapewniają przemieszczanie dopaminy – jednego z neuroprzekaźników – z jednego obszaru mózgu do drugiego. W układzie mezolimbicznym, dopamina przemieszcza się z obszarów śródmózgowia do obszarów kory czołowej, hipokampu, ciała migdałowego, a także do obszaru zwanego **brzusznym prążkowiem** (w tym przypadku brzuszny oznacza „dolny”) do małej (wielkości ziarenka grochu) gęsto upakowanej grupy neuronów zwanej **jądrem półleżącym**. Również ta struktura występuje zarówno w lewej

jak i prawej półkuli. Aktywność dopaminy w jądrze półleżącym wydaje się pełnić kluczową rolę dla motywacji dążenia do różnego rodzaju nagród.



Rysunek A5: Niektóre ważne struktury podkorowe (czyli leżące poniżej kory), między innymi wzgórze, na rysunku zaprezentowano również struktury lewej półkuli: hipokamp, ciało migdałowe i jądro półleżące (NAcc) znajdujące się brzusznej części prążkowie.

Aneks 2: Akronimy

ADHD	Zespół nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi
BDNF	Mózgowy czynnik neurotroficzny
EARLI SIG	Europejskie Stowarzyszenie Badań nad Uczeniem się i Instrukcją – Grupa Szczególnego Zainteresowania (dedykowana badaniom związanym z neuronauką i edukacją) ^d
EEG	Elektroencefalografia
EF	Funkcje wykonawcze
fMRI	Funkcjonalny rezonans magnetyczny
MNS	System neuronów lustrzanych
STEM	Przedmioty matematyczno-techniczne
tDCS	Przeznaczaskowa stymulacja magnetyczna

^d EARLI ma 27 grup szczególnych zainteresowań, zajmujących się wszystkimi aspektami edukacji, w tym grupa SIG 22 - Neuroscience and Education. Co dwa lata grupa ta organizuje konferencję, prezentacje referatów na niej przedstawianych są na stronie: <https://www.sig22neuroeducation.com/presenter-slides-and-videos.html> (przyp. tłum.).

Aneks 3: Wzrost Liczby Publikacji Naukowych Łączących Tematy Neuronauki i Edukacji

Liczbę artykułów opublikowanych w danym roku określono korzystając z bazy Web of Knowledge. Jako hasła wyszukiwania wpisano („neuroscience OR brain) and education”. Warto zaznaczyć, że wiele z tych artykułów wykracza poza zakres niniejszego opracowania (na przykład prace poświęcone programom neurorehabilitacji po uszkodzeniu mózgu). Mimo to wykres przedstawia trend nasilający się w okolicy roku 2005, zgodnie z którym coraz częściej docenia się powiązania między neuronauką a edukacją.

