



WSPOMAGANIE MOCY UMYŚLU – FAKTY, MITY I PERSPEKTYWY

Elżbieta Szelağ (Warszawa)

Streszczenie

Sprawne *funkcjonowanie poznawcze* ma zasadnicze znaczenie dla współczesnego człowieka. Obejmuje ono procesy komunikacji językowej, percepcji, pamięci, uwagi, uczenia się, aktywności ruchowej, podejmowania decyzji, itp. Optymalne działanie tych procesów ma priorytetową rolę w kształtowaniu naszego zachowania, warunkuje prawidłowy rozwój psychiczny i emocjonalny jednostki, ma zasadnicze znaczenie dla jakości życia oraz utrzymania więzi rodzinnych i społecznych. Codzienne obserwacje, a także wyniki badań jednoznacznie wskazują, że *zaburzenia funkcjonowania poznawczego* stanowią plagę naszych czasów i występują zarówno u dzieci (deficyty *neurorozwojowe*), jak i u osób dorosłych, w następstwie biologicznego starzenia się (deficyty *neurodegeneracyjne*). Rehabilitacja neuropsychologiczna stanowi więc wyzwanie dla współczesnej nauki.

Badania w tym kierunku prowadzimy od blisko dwudziestu lat w naszym Zespole. Głównym naszym osiągnięciem było udokumentowanie, że u podłoża działania umysłu leży dynamika czasowa. Specyficzne deficyty '*zegara neuronalnego*' kształtującego czasowe przetwarzanie informacji towarzyszą różnorodnym zaburzeniom poznawczym, jak: opóźnienie rozwoju mowy, poudarowa afazja, autyzm wczesnodziecięcy, ośrodkowe zaburzenia słuchu, jąkanie, dysleksja oraz inne choroby neurologiczne i psychiczne.

Przełomowym wynikiem naszych badań było wykazanie, że deficyty przetwarzania czasowego można zredukować poprzez odpowiedni trening, co owocuje transferem poprawy z usprawnianej domeny czasu na zaburzone funkcjonowanie poznawcze, które nie podlegało ćwiczeniom podczas terapii. Wyniki te znalazły zastosowanie w opracowanym przez nasz Zespół we współpracy z firmą HARPO innowacyjnym programie terapeutycznym Dr Neuronowski® (www.neuronowski.com), który koncentruje się na usprawnianiu działania neuronalnych mechanizmów leżących u podłoża funkcjonowania poznawczego dzieci i dorosłych.

Abstract

Effective cognitive skill is of a fundamental importance for human beings. It comprises language, perception, memory, attention, learning, motor activity, decision making, etc. Optimal function of these processes is essential in controlling human behaviour, proper psychical and emotional development of an individual, as well as for our life quality, social and family relations.

Both everyday observations and results of experimental studies indicate often disordered cognitive function in children (neurodevelopmental deficits), as well as in elderly (neurodegenerative deficits) resulting from biological aging. Thus, neuropsychological rehabilitation constitutes a central topic in neuroscience.

Experimental studies focussed on this issue have been conducted in our Laboratory for approx. twenty years. Our main achievement is the indication that temporal information processing constitutes a working platform for mental activity. Specific deficits of the cerebral clock controlling time perception are evidenced in various cognitive deficits, like language learning impairment, post stroke aphasia, infantile autism, central auditory processing disorders, stuttering as well as in the other neurological or psychiatric diseases.

Our crucial result was the indication that the deficits in temporal processing may be reduced by the specific training. Its application results in a transfer of improvement from the trained time domain to the cognitive domain which remains untrained during the intervention. These results were applied in elaboration in our Laboratory in cooperation with the Harpo company the innovative therapy program Dr Neuronowski® (www.neuronowski.com) focussed on amelioration of neural mechanisms underlying cognitive function in children and adults.

Mózg człowieka, określane jako nasz „*półtorakiogramowy Wszczęświat*”, stanowi biologiczne podłoże działania umysłu. Jego sprawne funkcjonowanie (określane również poznawczym) jest dziś wysoko cenioną wartością i dla współczesnego człowieka ma zasadnicze znaczenie. Obejmuje procesy komunikacji językowej, percepcji, pamięci, uwagi, uczenia się nowych informacji, aktywności ruchowej, podejmowania decyzji, planowania działań, kreatywności myślenia, itp. Optymalne działanie tych procesów ma priorytetową rolę w kształtowaniu naszego zachowania, warunkuje prawidłowy rozwój psychiczny i emocjonalny jednostki, ma zasadnicze znaczenie dla jakości życia, sukcesów zawodowych oraz utrzymania więzi rodzinnych i społecznych. U podłoża wymienionych procesów leżą skomplikowane mechanizmy neuronalne.

Codziennie obserwacje, dane demograficzne, a także wyniki badań naukowych jednoznacznie wskazują, że *zaburzenia poznawcze* są plagą naszych czasów i występują zarówno u dzieci (deficyty *neurorozwojowe*), jak i u osób dorosłych, w następstwie biologicznego starzenia się i chorób charakterystycznych dla tego okresu (deficyty *neurodegeneracyjne*). Stąd też świat nauki zafascynowany jest możliwością usprawniania mocy umysłu. Terminem *moc umysłu* określa się taki jego stan, w którym występuje wysoka koncentracja uwagi, zdolność jej utrzymania i podzielności, optymalna reaktywność na bodźce, wysoka sprawność procesów percepcji, opracowywania informacji, kreatywność myślenia, itp. Duży nacisk, jaki kładzie się dziś na sprawność umysłową, co owocuje eksplozją badań naukowych, w których poszukuje się nowych, skutecznych metod wspierających terapie klasyczne. Rehabilitacja neuropsychologiczna stanowi więc ważne wyzwanie dla neurologii. Badania w tym kierunku od lat są prowadzone w Pracowni Neuropsychologii Instytutu Nenckiego PAN w Warszawie. W niniejszym artykule chcielibyśmy przedstawić Czytelnikom najnowsze możliwości usprawniania mocy umysłu, które zasadzają się w zmianach działania zegara neuronalnego, kształtującego nasze zachowanie w normie i patologii.

Rewolucja demograficzna z perspektywy neuronauki

Powołując się na dane demograficzne w większości krajów Europy, w tym również w Polsce, obserwuje się rewolucję demograficzną, wynikającą z postępujących zmian struktury wiekowej społeczeństwa i wyraźnego wzrostu populacji osób w podeszłym wieku. Stanowi to efekt spadku narodzin i wzrostu długości życia. Stąd proporcjonalny udział ludzi starych

poza okresem produktywności rośnie, co ma implikacje w zakresie ekonomii, opieki zdrowotnej i emerytalno-rentowej. Rewolucja demograficzna na całym świecie inspirowała badania naukowe nad problematyką starzenia z perspektywy neuronauki. Badaniom tym przyświecają cele poznawcze wyrażające się poszukiwaniem odpowiedzi na pytanie, jak działa mózg seniora w porównaniu do mózgu osoby młodej? Na tym gruncie wyzwaniem jest pytanie, czy można „ograć starość” oraz jak „podkreślić mózg” seniora, aby poprawić działanie jego umysłu, w konsekwencji żyć w optymalnym zdrowiu psychicznym i utrzymać jak najdłuższą dobrą jakość życia.

Podstawowe pytanie brzmi: ile dziś żyje statystyczny Polak. Wg danych podawanych przez Rocznik Demograficzny (Dmochowska, 2014), przeciętny mężczyzna w Polsce żyje 73,1 lat, a kobieta 81,1 lat. Dobrą informacją jest to, że od kilku lat rośnie w Polsce wskaźnik długości życia, a prognozy napawają optymizmem. Przy niezmiennych warunkach wymierania ludności w 2050 r. średnia długość życia mężczyzny ma wzrosnąć do 83 lat, a kobiety do 88,4 lat (Waligórska i wsp. 2014). Dla porównania – w roku 1950 statystyczny Polak żył średnio 56 lat, a statystyczna Polka 61,6 lat. Według prognoz wskaźnik długości życia w Polsce i na świecie będzie nadal wykazywał tendencję wzrostową. Stąd problematyka starzenia się jest dziś bardzo na czasie.

Jak zmienia się funkcjonowanie mózgu i umysłu w podeszłym wieku?

Starzenie to problem nieuchronny i wielowymiarowy. Jest nieodłączną częścią naszego życia i obejmuje szereg anatomicznych i fizjologicznych zmian w strukturze i funkcji organizmu. W niniejszym artykule skoncentrujemy się wyłącznie na starzeniu poznawczym, tj. zmianach funkcjonowania umysłu, które nieuchronnie występują w tzw. zdrowym starzeniu się, czasem określanym też jako pomyślnym (ang. *healthy* lub *successful aging*). Terminem tym określa się postępujące zmiany funkcjonowania pod nieobecność związanych z wiekiem chorób.

Między metryką osoby a funkcjonowaniem umysłu nie ma ścisłego związku. Starzenie charakteryzuje się indywidualną dynamiką uzależnioną od warunków życia i posiadanych zasobów poznawczych, określonych jako rezerwa poznawcza. Zarówno istniejące stereotypy, jak i wyniki badań wskazują, że działanie umysłu pogarsza się wraz z wiekiem. Choć ze względu na wspomniane różnice indywidualne trudno jednoznacznie wyznaczyć granicę między dorosłością a starością, tradycyjny pogląd zakłada, że stanowi ją

65 rok życia. Zgodnie z tym stanowiskiem, udokumentowanym wieloma badaniami, uważa się, że po 65 roku życia następują ubytki funkcjonowania poznawczego.

Odnosnie tego wyniku mamy dla Czytelnika dobrą wiadomość. Po przesiewowym przebadaniu w naszej Pracowni kilkuset wolontariuszy w wieku od 65 do 70 roku życia wykazaliśmy, że średnio tylko co piąty z tej grupy przejawiał pewne deficyty poznawcze, które weryfikować można było klasycznymi testami neuropsychologicznymi, dostępnymi na rynku i rekomendowanymi w literaturze specjalistycznej. Według naszej opinii granicę między dorosłością i starością w przypadku zdrowego starzenia się należałoby więc przesunąć na osi czasu o dobre kilka lat. Pozostawiając nierozstrzygniętą kwestię granicy między dorosłością i starością, chcielibyśmy scharakteryzować zmiany następujące wraz z wiekiem.

Starzenie poznawcze z perspektywy neuronauki

Wraz z wiekiem w strukturze mózgu następują charakterystyczne zmiany. Starzejący się mózg kurczy się, jednak nie z powodu ubytku neuronów, ale ubytku wody. Towarzyszy temu zwiększanie ilości płynu mózgowo-rdzeniowego, wzrost objętości komórek mózgowych, poszerzanie bruzd, wygładzanie naturalnie pofałdowanej powierzchni kory, redukcja połączeń neuronalnych (synaps) i neuroprzekaźników (np. acetylocholino i dopaminy, co wiąże się z deficytami pamięci), obniżenie przepływu korowego krwi, spadek pobudliwości (badania elektrofizjologiczne) oraz zmiany aktywacji (badania neuroobrazowe).

Starzejący się mózg to jednocześnie starzejący się umysł. Następujące tu zmiany są opisywane w wielu pracach, zbiorcze ich zestawienie podsumowano np. w pracach Kennedy & Raz 2015, Rabbitt 2015, wykazaliśmy je również w naszych wcześniejszych publikacjach (Szlag i wsp. 2010, 2012, Nowak i wsp. 2016).

Jest długa lista związanych z wiekiem zmian w funkcjonowaniu poznawczym. Najważniejsze z nich dotyczą uczenia się i zapamiętywania nowych informacji oraz przechowywania śladów pamięciowych. Tu wyraźnie zaznacza się dysocjacja pomiędzy problemami z pamięcią krótkotrwałą (typu: gdzie położyłem klucze lub okulary? Jaki jest mój PIN do bankomatu?), przy stosunkowo dobrze zachowanej pamięci długotrwałej, zwłaszcza pamięci deklaratywnej, epizodycznej i autobiograficznej. Często przytacza się tzw. *zjawisko reminiscencji*, polegające na perfekcyjnym pamiętaniu zdarzeń sprzed wielu lat przy problemach z przypomnieniem zdarzeń sprzed chwili. Deficyty dotyczą także procesów uwagowych

(szybkości reagowania, czujności, zdolności utrzymania, podzielności i przerzutności uwagi), zmian w narządach zmysłów i procesach percepcyjnych, koordynacji wzrokowo-ruchowej (częste upadki), ogólnego spowolnienia ruchowego, problemów w planowaniu działań i podejmowaniu decyzji, wyobraźni przestrzennej i myślenia indywidualnego. Stosunkowo odporne na starzenie się są kompetencje werbalno-pojęciowe i rozumowanie arytmetyczne. Wyjątkową funkcją jest mądrość życiowa, która jako jedyna funkcja poznawcza poprawia się w ciągu życia wraz z nabywaną wiedzą i doświadczeniami jednostki. To dlatego osoby starsze cieszą się autorytetem w naszych rodzinach i w społeczeństwie, zwracamy się do nich o radę, zasiadają w ważnych radach i gremiach doradczych.

Wiadomo również, że poziom deterioracji poznawczej modyfikuje wiek (wraz z wiekiem deterioracja postępuje), poziom wykształcenie (lata edukacji), intelekt (rezerwa poznawcza), aktywny tryb życia (włączając aktywność poznawczą, fizyczną i socjalną), typ osobowości, stan psychiczny, aspiracje, wyznaczone cele życiowe oraz aktualny stan zdrowia, w tym przebyte choroby.

Tradycyjny pogląd zakładał, że związane z wiekiem deficyty poznawcze są nieodwracalne, gdyż stanowią konsekwencję zmian strukturalnych i funkcjonalnych w mózgu. Ogromnym sukcesem nowoczesnej neuronauki jest zmiana tego poglądu i wykazanie, że u ludzi starszych, wskutek zachodzących zmian neuroplastycznych możliwe jest usprawnianie funkcjonowania poznawczego poprzez odpowiedni trening. Dotychczasowa opieka diagnostyczno-terapeutyczna nad tą grupą osób jest w Polsce ciągle ograniczona. Biorąc pod uwagę znaczny odsetek Seniorów we współczesnym społeczeństwie, usprawnianie poznawcze ludzi w podeszłym wieku jest wielkim wyzwaniem dla współczesnej nauki. W dalszej części artykułu przedstawimy wyniki naszych badań w tym zakresie.

Zaburzenia neuropoznawcze u dzieci

Niezmiernie ważnym aspektem zdrowego i aktywnego starzenia się jest inwestycja w zdrowie obywateli już od urodzenia. Alarmujące dane wskazują na znaczący odsetek dzieci, których rozwój odbiega od najczęściej obserwowanych wzorców w ich grupie wiekowej. Zaburzenia neurorozwojowe pojawiają się w dzieciństwie i niosą poważną dezorganizację funkcjonowania w różnorodnych sferach poznawczych. Stanowią polietiologiczne zespoły zaburzeń, zróżnicowane pod względem epidemiologii oraz cech diagnostycznych.

Czołowe miejsce w statystykach medycznych u dzieci na całym świecie zajmują zaburzenia mowy. Według danych statystycznych podsumowanych przez Jastrzębowską (2003), wśród 5–9-latków odsetek dzieci wykazujących zaburzenia mowy waha się w Polsce, w zależności od cytowanego źródła, od 10% do nawet 35%. Wymienić tu należy deficyty związane z opóźnieniem rozwoju mowy, a także z wadami mowy, jak zaburzenia artykulacyjne, deficyty związane z ubytkiem słuchu czy jąkaniem. Częstość występowania zaburzeń mowy u dzieci w przedziale wiekowym 5–9 lat wskazuje na społeczny wymiar problemu. Dzieci o nieprawidłowym rozwoju mowy wymagają specjalistycznej opieki logopedycznej. Biorąc pod uwagę dane demograficzne, w Polsce mamy obecnie ok. 2 mln dzieci w wieku 5–9 lat (Dmochowska 2014). Skoro blisko jedna trzecia z nich wykazuje zaburzenia mowy, szacować należy, że corocznie opieką logopedyczną powinno być objęte ok. 600–700 tysięcy dzieci. Jest to wielkie wyzwanie dla systemu edukacyjnego i systemu opieki zdrowotnej.

Zaburzenia neurorozwojowe mogą również przejawiać się deficytami w przetwarzaniu bodźców sensorycznych w obrębie analizatora słuchowego lub wzrokowego, dysfunkcją lub opóźnieniem rozwoju psychoruchowego, zaburzoną integracją sensoryczną, trudnościami szkolnymi w opanowaniu czytania i pisanania, trudnościami w uczeniu się matematyki, a także zaburzeniami o globalnym charakterze, które ograniczają możliwości prawidłowego funkcjonowania społecznego dziecka, jak zespół nadpobudliwości psychoruchowej (ADHD), upośledzenie umysłowe, czy całościowe zaburzenia rozwoju, w tym autyzm lub zespół Aspergera. Zaburzenia neuropoznawcze mogą też wynikać z wad genetycznych lub patologii mózgu powstałej na różnych etapach kształtowania układu nerwowego, także w następstwie nabytych uszkodzeń mózgu (Borkowska, Domańska, 2006).

Zaburzony rozwój uniemożliwia komunikację językową, zdobywanie umiejętności czytania i pisanania, powoduje problemy w uczeniu się, prawidłowym działaniu i współdziałaniu zmysłów, opanowywaniu emocji, itd. W konsekwencji utrudnia to (lub czasem wręcz uniemożliwia) prawidłowe relacje z rówieśnikami, powoduje problemy w codziennym funkcjonowaniu w domu lub w grupie rówieśniczej w przedszkolu, na podwórku, w szkole. Dzieci wykazujące zaburzenia rozwoju wymagają wczesnej i zazwyczaj długotrwałej, kompleksowej rehabilitacji, która powinna skupiać działania różnych specjalistów: lekarzy, psychologów, logopedów i pedagogów. Zapotrzebowanie na taką rehabilitację jest ogromne. Stąd nagląca potrzeba tworzenia programów

wspomagających klasyczną terapię, osadzonych w stymulowaniu neuronalnych mechanizmów kontrolujących opracowywanie informacji w mózgu człowieka.

Podsumowując, efektywna czyli skuteczna, szybka, ogólnie dostępna i nisko kosztowa terapia stanowi wyzwanie dla nauki i znajduje się w centrum zainteresowania praktyków.

Mózg działa z taktem – zegar mózgu

Nie trzeba nikogo przekonywać, że funkcje poznawcze, jak np. mowa i język, percepcja, pamięć, uwaga, ocena emocjonalna, planowanie i wykonywanie ruchów celowych, podejmowanie decyzji charakteryzuje specyficzna dynamika czasowa. Oznacza to, że rozpatrując wymienione funkcje można wyodrębnić elementy składowe o określonym czasie trwania. Ta segmentowana (a więc nieciągła) dynamika funkcjonowania umysłu wyraźnie zaznacza się w przypadku komunikacji językowej. Codzienna obserwacja wskazuje, że elementy wypowiedzi słownych można sprowadzać do procesów zachodzących w interwałach czasowych, które mają kluczowe znaczenie zarówno dla ekspresji jak i recepcji naszych wypowiedzi. Należy tu wymienić przede wszystkim poziom kilkudziesięciu i kilkuset milisekund oraz kilku sekund.

Pierwszy z wymienionych tworzy ramę czasową dla pojedynczych głosek. Spółgłoski zwarte, niezależnie od języka, są ograniczone w czasie do ok. 40 ms, co wiąże się z szybkimi zmianami formantów składowych i ruchami narządów artykulacyjnych. Na podobnej ramie czasowej osadzone jest różnicowanie nagłosowej dźwięczności w parach wyrazów typu 'Tomek vs. domek'. Na początku wyrazu wybrzmiewa albo spółgłoska dźwięczna albo jej bezdźwięczny odpowiednik w zależności od relacji czasowej między plozją powietrza w wyniku zwania artykulatorów i rozpoczęciem wibracji strun głosowych w krtani (Szeląg i Szymaszek, 2014). Relacja ta dotyczy zmian następujących w ciągu kilkudziesięciu milisekund i ma zasadnicze znaczenie dla zrozumienia znaczenia wyrazu (czy Tomek czy domek?).

Z kolei poziom kilkuset milisekund odpowiada trwaniu sylab, a kilku sekund fraz, czyli grup wyrazów tworzących logiczną całość. Wymienione przedziały czasowe mają zatem kluczowe znaczenie dla naszej komunikacji językowej, co dokładnie omówiono w naszych wcześniejszych publikacjach (np. Szeląg 2005, Szeląg i wsp. 2015).

Interesujące jest, że podobna milisekundowa i sekundowa matryca kształtuje również inne obszary funkcjonowania poznawczego, na przykład aktywność ruchową, w tym planowanie i wykonywanie ruchów celowych.

Kulturowo nabyte i często wykonywane przez nas ruchy, typu uścisk dłoni na powitanie, machanie ręką na pożegnanie, gest głowy na ‘tak’ lub na ‘nie’ u ludzi z różnych kultur i grup etnicznych są ograniczone w czasie do około kilku sekund.

Segmentacja w przedziałach zbliżonych do tu omawianych występuje również w procesach percepcyjnych. Można tu odwołać się do segmentacji czasowej klasycznych dzieł muzycznych Chopina, Beethovena, Mozarta, a także do dynamiki czasowej w poezji. Jako przykład można przytoczyć naszą epopeję narodową z elementami gawędy szlacheckiej „Pan Tadeusz” pisaną trzynastozgłoskowcem, w którym każdy wers wiersza trwa kilka sekund. Taka struktura pozwala nam integrować zawarte w wersie informacje w kilkusekundowych oknach czasowych, co umożliwia przeżywanie ekspresji artystycznej wyrażonej przez autora dzieła.

Co nastąpi, kiedy matryca czasowa zostanie zaburzona? Wyobraźmy sobie, że słuchamy wypowiedzi osoby jękającej się, u której długość frazy z powodu przerywania i przedłużania brzmienia dźwięków znacznie przekracza ów limit kilku sekund, charakterystyczny dla frazy u płynnie mówiących. Albo osobę, która zbyt długo przetrzymała naszą dłoń w geście powitania, albo podała nam tzw. miękką rękę. Niechętnie słuchamy wypowiedzi tej pierwszej, mamy również niechętny stosunek do tej drugiej. Dzieje się tak nie z powodu naszych braków wychowania lub niecierpliwości. Inna rama narzucona przez osobę z otoczenia odbiega od tej, w której typowo działa nasz mózg. Niechętnie wypadamy z typowej matrycy, kształtowanej przez neuronalne mechanizmy.

Wyniki przytoczonych obserwacji, a także badań eksperymentalnych opublikowanych w literaturze, w tym również badań wykonanych w naszej Pracowni wykazują, że u podstaw segmentacji czasowej zachowania leżą mechanizmy percepcji czasu. Terminem tym określa się aktywny odbiór, analizę i interpretację zjawisk, w których czasowe aspekty informacji są przetwarzane na podstawie zarejestrowanej w pamięci wiedzy o świecie. Ponieważ brak analizatora wyspecjalizowanego w percepcji czasu, opracowywanie informacji odbywa się na podstawie wrażeń dostarczanych poprzez nasze narządy zmysłów (Szelaż i Szymaszek 2016).

Psychologia czasu opisuje wiele modeli wyjaśniających, jak czas dociera do człowieka i jak w naszym umyśle tworzy się poczucie czasu. W obecnym artykule odwołamy się do modelu percepcji czasu opracowanego przez klasyka badań nad mózgiem – Ernsta Pöppela (1998, 2009) z Uniwersytetu Monachijskiego. Z uczonego tym nasz Zespół od lat prowadzi ożywioną współpracę naukową.

Według tego autora percepcja czasu ma nieciągły segmentowany charakter, a wyodrębnione poziomy zwane są również *elementarnymi zjawiskami czasowymi* lub *oknami czasowymi*. Percepcja czasu obejmuje mechanizmy działające w przedziale kilku milisekund (postrzeganie jednoczesności vs. niejednoczesności zdarzeń, określane także jako *okno jednoczesności*), kilkudziesięciu milisekund (postrzeganie sekwencji zdarzeń, czyli sekwencjonowanie napływających bodźców), kilku sekund (wyznaczające ramy dla naszego subiektywnego przeżywania terażniejszości, czyli poczucia ‘teraz’) oraz poczucie trwania w czasie (bez wyraźnego limitu czasowego).

W toku naszej współpracy opracowaliśmy kilkanaście modelowych paradygmatów eksperymentalnych do badania sprawności percepcji czasu na wymienionych poziomach. Paradygmaty te zostały zweryfikowane empirycznie, a wyniki są przedmiotem naszych ponad 70 publikacji w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. Należy zwrócić uwagę, że kolejne zjawiska wyróżnione w omawianym tu modelu operują w podobnych oknach czasowych jak te, które są charakterystyczne dla segmentacji czasowej zachowania, którą omówiliśmy powyżej. Biorąc pod uwagę, że wiele funkcji poznawczych (np. pamięć, uwaga, mowa) ma określoną dynamikę czasową, można ogólnie stwierdzić, że czasowe opracowywanie informacji stanowi podstawowy proces, tzw. matrycę neuronalną, na której kształtowane są poszczególne funkcje szczegółowe. Stąd percepcję i przeżywanie czasu określa się jako *funkcję logistyczną*, stanowiącą bazę dla działania umysłu. Podsumowując można więc stwierdzić, że specyfiką naszych mózgów jest „działanie z taktem”.

Postęp wiedzy w obszarze neuronauki umożliwia badanie mechanizmów neuronalnych kontrolujących działanie umysłu. Najnowsze odkrycia z badań nad percepcją czasu przy zastosowaniu wspomnianych paradygmatów jednoznacznie wskazują, że w przypadku wielu deficytów poznawczych u dzieci i dorosłych występuje zaburzona percepcja czasu. Słuszność tego stanowiska potwierdzają wyniki badań wykonanych w naszej Pracowni, w których na przestrzeni od 20 do 100 roku życia człowieka wykazaliśmy postępujące deficyty czasowego opracowywania informacji, zarówno na poziomie milisekundowym (w określaniu porządku czasowego postrzeganych bodźców), jak i sekundowym (w ocenie czasu trwania bodźca). Deficyty percepcji czasu wykazaliśmy także u pacjentów z zaburzeniami neuropsychiatrycznymi, neurologicznymi lub audiologicznymi (Teixeira i wsp. 2013). Występują one również u dzieci ze specyficznym zaburzeniem

rozwoju mowy i języka, centralnymi zaburzeniami słuchu, dysleksją lub autyzmem wczesnodziecięcym (Szelaż i wsp. 2005). Podsumowując można ogólnie stwierdzić, że mechanizmy percepcji czasu kształtują działanie umysłu w normie, a ich nieprawidłowe działanie obserwuje się w eksperymentalnych badaniach osób z zaburzeniami neurodegeneracyjnymi lub neurorozwojowymi.

Dla podkreślenia rangi tego wyniku warto przytoczyć nasze badania międzykulturowe, wykonywane we współpracy z naukowcami z Uniwersytetu Monachijskiego, także z Uniwersytetu w Pekinie (Szelaż i wsp. 2012, Bao i wsp. 2014). Porównywaliśmy w nich dynamikę czasowego opracowywania informacji u ludzi z różnych kultur na świecie. Głównym osiągnięciem tych badań było wykazanie ponadkulturowych uniwersaliów charakteryzujących percepcję czasu, niezależne od specyfiki języka ojczystego. Warto tu zwrócić uwagę, że języki polski, niemiecki czy angielski należą do języków fonetycznych, gdzie wyróżniamy fonemy, a w piśmie ich znaki graficzne, czyli litery. Natomiast język chiński to tzw. język tonalny, gdzie każda sylaba, a czasem cały wyraz ma przypisany pewien ton wyrażający się odpowiednią modulacją głosu. Mimo tych zasadniczych różnic mechanizmy percepcji czasu działają w podobnych oknach czasowych i podlegają modyfikacjom w procesie starzenia się.

Wynika stąd, że segmentacja czasowa jest osadzona w podstawowych procesach neuronalnych. Badania w tym kierunku nie dały jeszcze ostatecznych rozstrzygnięć. Na przykład elektrofizjologiczne badania neuroosylacyjnej aktywności mózgu wykazują cykliczność jednego z podstawowych rytmów, a mianowicie fal gamma, rzędu ok. 40 Hz. Oznacza to, że co ok. 25–30 ms następuje płozja aktywności gamma. Zwraca uwagę fakt, że okresowość pojedynczego cyklu jest zbliżona do zakresu charakteryzującego sekwencjonowanie bodźców.

Interesujące, choć ciągle nierozstrzygnięte, jest pytanie o neuroanatomiczną reprezentację zegara mózgowego. Odpowiedzi na nie poszukiwano w badaniach pacjentów z ogniskowymi uszkodzeniami mózgu, w badaniach neuroobrazowych z zastosowaniem fMRI, także w wykonanych metaanalizach. Ogólnie biorąc badania te nie dały spójnych wyników odnośnie mózgowej reprezentacji zegara mózgowego i wykazały udział wielu obszarów, zależnie od badanego zakresu czasowego (sekundowego/milisekundowego) i zastosowanego paradygmatu eksperymentalnego (Szelaż i wsp. 2009). Należy tu wymienić obszary klasycznie związane z ruchem, w tym mózdzek, jądra podstawy, okolicę przedruchową

(włączając pole Broki) i ruchową kory. Wykazano także znaczący udział kory skroniowej, w tym zakrętu skroniowego środkowego i górnego, zwłaszcza po stronie lewej, klasycznie związanych ze słuchem fonematycznym i rozumieniem mowy. Niektóre badania wskazują też udział kory przedczołowej i ciemieniowej.

Te z pozoru rozbieżne i niespójne wyniki dobitnie wskazują na udział mechanizmów percepcji czasu w wielu aspektach funkcjonowania poznawczego. Stąd poszukiwania mózgowego generatora czasu nie można izolować od innych procesów poznawczych (mowy, ruchu, uwagi, planowania), które angażuje badany paradygmat. Wniosek ten potwierdza wykonany przez nas eksperyment dotyczący sekwencjonowania dźwięków w zadaniu fMRI (Lewandowska i wsp. 2010). Zastosowana przez nas analiza regresji wykazała, że neuronalna reprezentacja zegara milisekundowego zmienia się dynamicznie, zależnie od poziomu trudności zadania. Utrudnienie zadania powodowało obustronną aktywację dolnej części płata ciemieniowego i czołowego, a więc obszarów klasycznie związanych z procesami pamięci operacyjnej i uwagi. Natomiast ułatwienie zadania skutkowało spadkiem aktywacji w tych obszarach, przy jednoczesnym jej wzroście w zakręcie czołowym środkowym i w mózdzku. Wynik ten dokumentuje działanie dynamicznej sieci neuronalnej zaangażowanej w czasowe opracowywanie informacji na poziomie milisekundowym, która podlega reorganizacji zależnie od trudności zadania.

Neurorehabilitacja – spojrzenie w przyszłość

Przedstawione tu badania jednoznacznie wskazują, że u podłoża deficytów poznawczych u dzieci i dorosłych leży zaburzona percepcja czasu. Biorąc pod uwagę, że wiele funkcji poznawczych ma określoną dynamikę czasową, można ogólnie stwierdzić, że percepcja czasu stanowi podstawowy proces, tzw. *'matrycę neuronalną'*, kształtująca poszczególne funkcje szczegółowe. Powstaje więc kolejne pytanie o zasadniczym znaczeniu: czy percepcję czasu można usprawniać przez odpowiedni trening? A jeśli tak, to czy poprawie tej będzie towarzyszył transfer poprawy z usprawnianej podczas terapii percepcji czasu na niepoddane ćwiczeniom inne funkcje poznawcze? Rosnące zainteresowanie tą tematyką wynika z przytoczonych na wstępie statystyk dotyczących rewolucji demograficznej i częstości występowania nieprawidłowego rozwoju u dzieci.

Odpowiedzi na te pytania były dla nas prawdziwym wyzwaniem i zajęły nam kilkanaście lat pracy. Punktem wyjścia było opracowanie kilku procedur

treningowych oraz pakietu testów oceniających poziom funkcjonowania przed i po zastosowanej terapii. Na początkowym etapie we współpracy z naukowcami z Human Science Center Uniwersytetu Monachijskiego opracowaliśmy prototypowe narzędzie terapeutyczne, w którym zastosowaliśmy stosunkowo prostą procedurę usprawniania zegara milisekundowego, bazującą na sekwencjonowaniu dwóch dźwięków prezentowanych w szybkim następstwie. Przełomowym wynikiem badań z zastosowaniem tego prototypu było wykazanie, że deficyty percepcji czasu można zredukować poprzez odpowiedni trening, co owocuje transferem poprawy z usprawnianej domeny czasu na zaburzone funkcjonowanie językowe, a także inne funkcje poznawcze (poza językowymi), które nie podlegały ćwiczeniom podczas terapii. Taki transfer poprawy udokumentowaliśmy w przypadku chorych z afazją poudarową stosując w kolejnych eksperymentach różnorodną intensywność ćwiczeń terapeutycznych (Szelaąg i wsp. 2014, 2015).

Kolejnym kamieniem milowym było wykazanie, że obserwowany transfer poprawy występuje nie tylko w przypadku pacjentów z uszkodzonym mózgiem i zaburzoną komunikacją językową, ale także u osób zdrowych po 65 roku życia, bez uszkodzeń ośrodkowego układu nerwowego, u których występowały związane z wiekiem deficyty poznawcze. W przypadku tej grupy osób transfer poprawy dotyczył usprawnienia trwałości i podzielności uwagi, pojemności pamięci operacyjnej, procesów uwagi, pamięci roboczej i funkcji wykonawczych (Szelaąg i Skolimowska, 2012).

Wyniki te stanowiły inspirację do opracowania przez nasz Zespół we współpracy z firmą HARPO innowacyjnego programu terapeutycznego Dr Neuronowski® (www.neuronowski.com), który koncentruje się na usprawnianiu zegara mózgowego i neuronalnych mechanizmów leżących u podłoża wielu aspektów funkcjonowania poznawczego dzieci i dorosłych.

Dr Neuronowski – pomysł na bystry umysł i płynną mowę

Program Dr Neuronowski® powstał w ramach grantu badawczo-rozwojowego NCBR INNOTECH-K1/IN1/30/159041/NCBiR//12 i będzie dostępny na rynku w najbliższych tygodniach (więcej informacji na www.neuronowski.com). Trening prowadzony jest w formie atrakcyjnych gier komputerowych z bogatą grafiką (Szelaąg i Szymaszek 2016). Składa się z dziesięciu modułów, każdy moduł adresowany jest do usprawniania określonych funkcji poznawczych. Zestaw terapeutyczny obejmuje 46 gier bazowych,

które zostały sklonowane do wielu gier terapeutycznych, adresowanych różnym grupom odbiorców.

Program przeznaczony jest dla osób od 5 roku życia aż do późnej starości. Ma dwie podstawowe wersje dedykowane dzieciom lub osobom dorosłym. Choć obie wersje bazują na podobnych podstawach teoretycznych i założeniach merytorycznych, atrakcyjność terapii dla użytkowników o tak szerokiej rozpiętości wieku zapewnia m.in. odpowiedni scenariusz ćwiczeń, zastosowana grafika, stopień trudności wykonywanych zadań, w tym parametry ekspozycji bodźców.

Wersja dla dzieci adresowana jest osobom z zaburzeniem rozwoju językowego, ośrodkowego przetwarzania słuchowego, upośledzeniem umysłowym w stopniu lekkim, dysleksji, problemom analizy i syntezy dźwiękowej wyrazu, problemom wczesnoszkolnym, a także niektórym zaburzeniom typu całościowego, m.in. z zakresu szeroko rozumianego spektrum autyzmu (z zastrzeżeniem wyższego poziomu funkcjonowania dziecka i występowania stosunkowo łagodnych deficytów). Zaleca się także stosowanie programu w przypadku zdrowych dzieci na etapie wczesnoszkolnym, bez wyraźnych deficytów poznawczych, w celu ogólnej stymulacji i optymalizacji rozwoju.

Wersja dla dorosłych adresowana jest seniorom po 65 roku życia aż do późnej starości w celu usprawnienia funkcjonowania poznawczego, które często jest obniżone na tym etapie życia, a także osobom z łagodnymi deficytami poznawczymi o różnorodnej etiologii. Zaleca się stosowanie programu również w przypadku osób młodszych, w wieku produkcyjnym, w celu osiągnięcia lepszej sprawności poznawczej.

Komercjalizację produktu poprzedziły obszerne badania walidacyjne wykonane w dwóch grupach odbiorców, tj (1) dzieciach ze specyficznymi zaburzeniami rozwoju mowy i języka oraz (2) seniorach po 65 roku życia bez zaburzeń ośrodkowego układu nerwowego (tzw. zdrowe starzenie się). Jednakże na podstawie wiedzy, istniejącej literatury, a także naszych poprzednich badań dokumentujących występowanie podobnych deficytów percepcji czasu i czasowego przetwarzania informacji jak w grupach walidowanych, również u osób z zaburzeniami ośrodkowego układu nerwowego o innej etiologii (np. Teixeira i wsp. 2013), rekomendujemy niniejszy program szerszemu spektrum użytkowników wymienionych powyżej.

Powstaje tu kolejne pytanie o zasadniczym znaczeniu: jakie zmiany w działaniu sieci nerwowej powoduje program terapeutyczny Dr Neuronowski® i jakie jest uzasadnienie uzyskanych benefitów poznawczych? Odpowiedzi na te pytania są zakotwiczone

w wieloletnich badaniach naukowych naszego Zespołu, popartych danymi literaturowymi, które skrótowo opisaliśmy w niniejszym artykule. Podsumowując nasze główne tezy: (1) percepcja czasu stanowi ramy dla przetwarzania informacji i działania umysłu; (2) matryca czasowa kształtuje procesy językowe, a także inne procesy poznawcze; (3) deficytem neurorozwojowym lub neurodegeneracyjnym towarzyszą zaburzenia percepcji czasu, które przejawiają się zaburzoną rozdzielczością zegara milisekundowego lub zaburzoną integracją informacji w opisanych oknach

czasowych. A więc stymulując procesy percepcji czasu poprzez odpowiednio dobrane ćwiczenia terapeutyczne w skutek działania mechanizmów neuroplastyczności mózgu możliwe jest modyfikowanie działania sieci nerwowej na poziomie przedjęzykowym. Usprawniona rama czasowa w konsekwencji powoduje optymalizację zachowania, które, jak udokumentowano powyżej, zasada się na tej ramie. Usprawnianie zegara neuronalnego ma naukowe podstawy i może być szansą dla wielu pacjentów wspomagając klasyczne oddziaływania terapeutyczne.

Bibliografia

1. Bao Y., Szymaszek A., Wang X., Oron A., Pöppel E. & Szlag E.: *Temporal Order Perception of Auditory Stimuli is Selectively Modified by Tonal and Non-tonal Language Environments*. *Cognition*, 2013, 129(3), 579–85.
2. Borkowska A. i Domańska Ł.: *Neuropsychologia kliniczna dziecka*, Warszawa: PWN, 2006.
3. Dmochowska H., red. *Rocznik Demograficzny*, Warszawa: GUS, 2014.
4. Jastrzębowska G.: *Podstawowe problemy logopedii*, W: *Logopedia pytania i odpowiedzi*, red. T. Gałkowski i G. Jastrzębowska, Opole: Uniwersytet Opolski, 2003.
5. Kennedy K. M., & Raz N.: *Normal aging of the brain*, red.: A. W. Toga, *Brain Mapping: An Encyclopaedic Reference*, 2015, 3, 603–617.
6. Lewandowska M., Piatkowska-Janko E., Bogorodzki P., Wolak T. & Szlag E.: *Changes in fMRI BOLD response to increasing and decreasing task difficulty during auditory perception of temporal order*. *Neurobiology of Learning and Memory*, 2010, 94(3), 382–391.
7. Nowak K., Oron A., Szymaszek A., Leminen M., Näätänen R., Szlag E.: *The mismatch negativity (MMN) as an indicator of aging in duration discrimination in millisecond time domain*. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2016 (w druku).
8. Pöppel E.: *Mózg – tajemniczy kosmos*, Warszawa: PIW, 1998.
9. Pöppel E.: *Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing*. *Philos T R Soc B*, 2009, 364, 1887–1897.
10. Waligórska M., Kostrzewa Z., Potyra M., Rutkowska L., red.: *Prognoza ludności na lata 2014–2050*, Warszawa: GUS, 2014.
11. Rabbitt P.: *The aging mind*, London and New York: Routledge, 2015.
12. Teixeira S., Machado S., Paes F., Velasques B., Silva J.G., Sanfim A.L., Minc D., Anghinah R., Menegaldo L.L., Salama M., Cagy M., Nard A.E., Pöppel E., Bao Y., Szlag E., Ribeiro P. & Arias-Carrión O.: *Time Perception Distortion in Neuropsychiatric and Neurological Disorders*. *CNS & Neurological Disorders – Drug Targets*, 2013, 12, 567–582.

Pozostałe prace zacytowane w niniejszym artykule zostały wykonane w naszym Zespole. Szczegółowe dane bibliograficzne znajdują się na stronie www.elzbietaszlag.pl oraz na stronie www.neuronowski.com

Prof. dr hab. Elżbieta Szlag^{1,2}

¹⁾ Pracownia Neuropsychologii, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN w Warszawie (www.elzbietaszlag.pl, www.pracownia-neuropsychologii.nencki.gov.pl). E-mail: e.szlag@nencki.gov.pl

²⁾ SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny.