

Neurodydaktyka – wybrane aspekty praktyczne

Marek Kaczmarzyk

Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Śląski

Wykład wygłoszony podczas Letniej Akademii SORE 2014 r.

Wprowadzenie

Neurobiologia jest obecnie jedną z najgwałtowniej rozwijających się dziedzin nauk o życiu. Pojawienie się nowych metod obrazowania pracy mózgu oraz silny rozwój już istniejących technologii pozwala na obserwowanie tego narządu z niespotykaną precyzją i to bez konieczności ingerencji w jego struktury. Chociaż obraz, jaki wyłania się z najnowszych badań, daleki jest od klarowności, to jednak wydaje się, że wiemy już dostatecznie dużo, żeby nie tylko przewidywać i minimalizować następstwa uszkodzeń czy zmian chorobowych, ale także podejmować próby optymalizacji warunków, w jakich pracuje mózg. Z oczywistych powodów nauczycieli i wychowawców interesuje ta druga możliwość.

Neurodydaktyka – dyscyplina zajmująca się zastosowaniem wiedzy z zakresu neurobiologii w doskonaleniu procesu dydaktycznego – jest dzisiaj projektem o ogromnym znaczeniu. Rzecz w tym, że wiedza z zakresu biologii mózgu nie należy do przekazów prostych. Z trudem poddaje się uproszczeniu. Trudno jest wyjaśnić związki pomiędzy nią a, powiedzmy, szkolną czy domową praktyką wychowawczą. Postulaty, jakie można znaleźć w wielu artykułach i książkach na ten temat, mówiące o konieczności nauczania zgodnego z zasadami funkcjonowania mózgu, są praktycznie nie do zrealizowania bez tej wiedzy. Nawet zaawansowane techniki, takie jak komputerowe systemy neurodydaktyczne (KSN) wykorzystujące zasady neurofeedbacku, choć mogą być przydatne, rozwiązują tylko część problemów i to w sposób daleki od stanu możliwego do zaakceptowania przez praktyków.

Celem neurodydaktyki nie jest tworzenie szkół, w których zamknijemy ucznia w naszpikowanej elektroniką komorze, gdzie odpowiednio stymulowany wyrafinowanym zbiorem bodźców rozwinie szybko i bezpiecznie wszystkie niezbędne w życiu kompetencje. Wiedza na temat pracy mózgu może być jednak z powodzeniem wykorzystywana do zrozumienia tego, co z innej perspektywy jest niezrozumiałe. Może pozwolić na eliminowanie błędów, poprawienie wydajności procesu dydaktycznego i komfortu, w jakim się odbywa. Postarajmy się przyjrzeć kilku przykładom, które mogą przynieść taki właśnie efekt.

„Mowa trawa...”

Zdolności językowe to nowy wynalazek, patrząc z perspektywy wyznaczanej historią zmian ewolucyjnych. Wielu badaczy uważa, że to właśnie mowa różni nas od innych organizmów zwierzęcych w sposób zasadniczy. To dzięki niej rozwijamy i utrwalamy relacje społeczne. Szybka i precyzyjna wymiana informacji pozwala godzić indywidualizm z interesem grupy, chociaż mechanizmy regulujące taką dynamiczną równowagę wcale nie muszą działać bezboleśnie zarówno dla jednostek, jak i dla złożonych z nich grup.

Zdolność do rozumienia mowy innych, a także do wyrażania własnych stanów wewnętrznych za pomocą odpowiednich dźwięków, związana jest z aktywnością ośrodków korowych, zlokalizowanych u większości z nas w lewej półkuli mózgu. To ciekawe, że dominuje ona w tym zakresie u wszystkich osób praworęcznych (większość szlaków nerwowych łączących kory półkul mózgowych ulega skrzyżowaniu, więc kontrola prawej części ciała jest domeną lewej półkuli i odwrotnie) oraz u zdecydowanej większości leworęcznych. Używać języka potrafi więc najczęściej lewa półkula. Prawa jest niema, chociaż może komunikować się za pomocą gestów, a także... śpiewu. To dlatego wielu ludzi mających problemy z płynnym wypowiadaniem zdań (jąkanie) nie „zacina się” w czasie śpiewu.

Rozumienie mowy związane jest z niewielkim fragmentem kory zlokalizowanym w obrębie płata skroniowego (tzw. ośrodek Wernickiego), zaś mówienie, jeśli rozumiemy przez to zmianę

myśli w odpowiednie słowa, z płatem czołowym (ośrodek Broki). Oba te ośrodki pracują zapewne równie szybko, jednak pojawienie się słowa, jako konkretnej sekwencji dźwięków wydawanych przez ludzki aparat mowy, wymaga czegoś więcej. Działanie pola Broki ma sens, jeśli powstające w nim „słowo” zostanie następnie przetworzone w instrukcje dla mięśni związanych z aparatem mowy. Krtań, gardło, język – wszystkie te elementy muszą układać się odpowiednio, żeby możliwe było wydawanie zrozumiałych dźwięków.

Chwila zastanowienia wystarczy, żeby uświadomić sobie, że przetwarzanie informacji w obu kierunkach różni się szybkością. Mówiący, przykładowo wykładowca uniwersytecki, i słuchacz, jego student, nie przetwarzają informacji w równym tempie. Z powodu konieczności angażowania aparatu mowy, wypowiedzianie tego, co chcemy przekazać, możliwe jest u przeciętnego mówcy z szybkością około 100–150 słów na minutę. Słuchacz może jednak bez trudu dekodować przekaz językowy z szybkością 500 słów w tym samym czasie. Słuchający wykładu posiada dzięki temu spory margines potencjalnych możliwości, których nie może zagospodarować głos wykładowcy, a ponieważ wykład nie odbywa się w próżni, z głosem nauczyciela konkurują setki innych bodźców i robią to, niestety, zazwyczaj bardzo skutecznie.

Badania dydaktyków i doświadczenia praktyków są zgodne: dorosły, przychylny słuchacz jest w stanie skupić swoją uwagę na wywodzie wykładowcy nie dłużej niż 10–15 minut. Po tym czasie „nić porozumienia” zostanie prawdopodobnie zerwana. Oczywiście może zostać nawiązana ponownie, ale jeśli zerwanie nastąpi w kluczowym momencie wykładu, ucierpi treść przekazu.

Ze znajomości tych faktów wypływa kilka wniosków. Po pierwsze, skupieni początkowo słuchacze, „odpływający” po kilkudziesięciu minutach, są zjawiskiem naturalnym jak zachody słońca albo trzęsienia ziemi. Możemy je przewidywać, ale nie potrafimy im zapobiegać. Jeśli chcemy, żeby dłuższy wykład miał sens, musimy zaplanować odpowiednią reakcję na te zjawiska i tak skonstruować przekaz, żeby było w nim miejsce na coś, co „zresetuje” uwagę słuchaczy. Zmiana głosu, klaśnięcie w dłonie, zabawna dygresja, zmiana tematu, zmiana zachowania – istnieją setki prostych sposobów, które pozwalają w tym specyficznym znaczeniu zacząć wykład od nowa. Zbiór takich czynników „resetujących” uwagę znajduje się w zestawie kompetencji każdego dobrego wykładowcy.

Po drugie, choć to sprzeczne z tym, co podpowiada nam intuicja, jeśli widząc brak skupienia słuchaczy zaczniemy mówić wolniej i dobitniej, mając nadzieję, że to pozwoli łatwiej zrozumieć, co mamy do powiedzenia, to efekt będzie dokładnie odwrotny. Mówiąc wolniej, pozostawiamy jeszcze więcej miejsca dla czynników konkurujących o uwagę słuchaczy i tracimy ją szybciej. Powinniśmy więc mówić tak szybko, jak to tylko jest możliwe. Oczywiście musimy brać pod uwagę swoje własne możliwości. Sprzymierzeńcem może też okazać się gest, pod warunkiem, że nie będzie dla studenta ciekawszy niż słowo.

W tym kontekście nic nie robi lepiej naszej dydaktycznej samoświadomości, niż obejrzenie nagrania wideo własnej lekcji. Zapewne każdy pamięta zdziwienie, jakie towarzyszyło mu, kiedy po raz pierwszy miał okazję usłyszeć własny głos odtworzony z jakiegoś urządzenia. Brzmiał obco, czasami nawet mógł nie zostać rozpoznany. Jest tak, ponieważ na co dzień słyszymy go z wnętrza naszej głowy. Do naszych uszu trafia nie tylko przeniesiony falą zgęstniałego powietrza, ale także za pośrednictwem naszych kości i mięśni, które również przewodzą dźwięk powstały w aparacie mowy. Jednak to właśnie głos z nagrania jest naszym głosem dla innych. Tak właśnie jesteśmy przez nich odbierani. Bardzo podobnie rzecz się ma z mimiką, gestami, mową ciała. Wiemy, że mają one w przekazie ogromne znaczenie, a mimo to niemal instynktownie unikamy weryfikacji. Najczęściej niechętnie oglądamy filmy, na którym nas widać. Dlatego obejrzenie siebie „zewnętrznym okiem” kamery jest tak cenne dla nauczyciela/wychowawcy.

Po tej samej stronie lustra

W ostatniej dekadzie XX wieku neurobiolodzy zajmujący się obszarami mózgu odpowiedzialnymi za wykonywanie ruchów dowolnych (czyli tych zależnych od naszej woli) zauważyli, że zanim w korze ruchowej pojawi się zestaw pobudzeń, które są instrukcjami dla mięśni, inne grupy neuronów wykazują aktywność, którą można interpretować jako rodzaj wyprzedzającego sam ruch planowania. Wzorce pobudzeń są w tych częściach kory adekwatne

do następującego po nich konkretnego ruchu i pojawiają się zawsze przed właściwym pobudzeniem obszarów ruchowych. Z powodu położenia, tę planującą ruchy część kory mózgowej nazwano przedruchową¹. Okazało się, że aktywność kory przedruchowej wyprzedza pojawienie się właściwej instrukcji o około 100–200 milisekund.

Jednym z zespołów badających to zjawisko była grupa Giacomo Rizzolattiego, a obiektem jej zainteresowań były ośrodki ruchowe makaków. Metody opracowane przez tych włoskich badaczy były bardzo dokładne. Pozwalały na uchwycenie aktywności małych Obszarów kory, a często nawet pojedynczych neuronów. Możliwe było dzięki temu ustalenie, które neurony są aktywne, kiedy małpa wykonuje jakiś ruch (przykładowo, sięga po leżący przed nią na stole orzech). Badania trwały już od jakiegoś czasu, kiedy, nieco przypadkowo, badacze dokonali ciekawego odkrycia. W czasie przerwy, kiedy nie prowadzono obserwacji, ale też nie odłączano małp od skomplikowanej aparatury, jeden z członków zespołu sięgnął po orzech leżący na stole. O dziwo, urządzenia wykazały aktywność tych samych obszarów, które ulegają pobudzeniu, kiedy zwierzę samo wykonuje taki ruch. Badacze z grupy Rizzolattiego szybko zmienili profil swoich badań. Stało się jasne, że trafili na coś bardzo istotnego².

W pierwszej dekadzie XXI wieku wykazano, że także kora ludzkiego mózgu pełna jest neuronów o podobnym charakterze. Reagują one pobudzeniem nie tylko wtedy, kiedy wykonujemy jakąś czynność, ale też wtedy, gdy patrzymy jak robią to inni, a nawet kiedy słyszymy o tym, że ktoś to robi.

Zjawiska o podobnym charakterze mają, jak dzisiaj wiemy, znacznie szerszy zakres. Dotyczą nie tylko ruchów, ale także nastrojów, reakcji emocjonalnych a nawet uczuć. Neurony reagujące w opisany sposób nazwano neuronami lustrzanymi, ponieważ odwzorowują wewnętrzne stany obserwowanych osób. Kopiuje je i pozwalają nam w pewnym stopniu poznać aktualne stany innych. Neurony czy raczej mechanizmy³ lustrzane służą nam do kopiowania stanów świata 2 w naszym własnym drugim świecie.

Możemy w tym miejscu założyć, z konieczności nieco upraszczając zagadnienie, że część procesu socjalizacji polega na odpowiednim skalowaniu aktywności mechanizmów lustrzanych.

Wyobraźmy sobie potencjalny obszar lustrzany w korze mózgowej dziecka. Niech to będzie ta jego część, która odpowiada za kopiowanie wrażeń związanych z współodczuwaniem bólu. Dorosła osoba widząca grymas bólu na twarzy aktora grającego w reklamie nowego środka przeciwbólowego jest w stanie, dzięki mechanizmom lustrzanym, mniej więcej ocenić natężenie bólu. Widząc cierpiącą osobę, dorosły może określić w przybliżeniu, jak silne jest jego cierpienie. Skąd bierze się ta umiejętność?

Dziecko przychodzi na świat z kompletem mechanizmów o charakterze lustrzanym. Okazały się one przystosowawczo korzystne na tyle, że zostały utrwalone przez dobór naturalny. Ich działanie jest jednak ostatecznie uzależnione od czynników zewnętrznych.

Obserwowane reakcje innych osób mają w określonych warunkach pewne natężenie. Konkretny bodziec (przykładowo uraz ciała) wywołuje adekwatne zachowanie, świadczące o sile bólu. To zachowanie jest z kolei sygnałem dla mechanizmów lustrzanych obserwatora, który wywołuje reakcję lustrzaną. W tym przypadku następuje porównanie rodzaju reakcji z doświadczeniem podobnych obserwacji w przeszłości, co daje reakcję lustrzaną o adekwatnej sile.

U dziecka w trakcie pierwszych obserwacji może dochodzić do swoistego „skalowania” mechanizmów lustrzanych. W ten sposób rodzaj urazu, reakcja na niego osoby zranionej oraz intensywność odczuwanego bólu tworzy w miarę stałą triadę. Silny ból powoduje adekwatną reakcję, odpowiednio stymuluje mechanizmy lustrzane obserwatora, który współodczuwa ból o adekwatnej sile. Jednak jeśli osoby znajdujące się w środowisku obserwatora, który dopiero skaluje mechanizmy lustrzane, będą reagowały nieadekwatnie (na przykład zbyt intensywnie

¹ Leży ona w kierunku przednim w stosunku do neuronów kory ruchowej.

² V. Gallese, C. Keysers, G. Rizzolatti, *A unifying view of the basis of social cognition*, „Trends in Cognitive Sciences” 2004, Vol. 8, No. 9.

³ Grupa Rizzolattiego badała pojedyncze neurony, stąd to określenie. Szybko stało się jasne, że podobny charakter i możliwości mają grupy neuronów, a nawet całe obszary kory mózgu. Dzisiaj mechanizmy lustrzane uważane są za podłoże empatii.

w stosunku do odczuwanego bólu), istnieje prawdopodobieństwo, że taka reakcja zostanie przyporządkowana jako adekwatna. Niewielki uraz wywoła bardzo intensywną reakcję, a może i rzeczywisty, znaczny ból. Dotyczy to oczywiście także reakcji opiekunów na uraz dziecka. Taka zwrotna reakcja staje się punktem odniesienia, pozwalającym umieścić intensywność własnego wrażenia bólu na skali wrażeń odczuwanych przez innych ludzi. Jeśli opiekun reaguje histerycznie na niewielki uraz małego dziecka, jego reakcja może zostać na trwałe sprzężona z reakcją dziecka na taki właśnie uraz, a być może także z intensywnością jego subiektywnie odczuwanego bólu.

Ponadto, neurony lustrzane u ludzi związane z planowaniem ruchów pokrywają się w znacznym stopniu z ośrodkiem Broki. Być może więc mowa jest, w pewnym stopniu, rodzajem uzupełnienia mechanizmów lustrzanych albo ich przedłużeniem. Wydaje się, że tylko ludzie rozwinęli ten specyficzny mechanizm w takim stopniu, choć zapewne nie jest on naszym autorskim wynalazkiem.

Jak widać, zachowania innych ludzi mają na nas wpływ nie tylko poprzez efekty, jakie wywołują w naszym środowisku. Obserwowanie jakiejś czynności wykonywanej przez inną osobę wywołuje w nas stany, które tej czynności towarzyszą.

Artyści intuicyjnie od wieków wykorzystywali obecność mechanizmów lustrzanych, czego dzisiaj najlepszym przykładem jest film. To właśnie mechanizmy lustrzane każą nam się bać na horrorach, a śmiać i wzruszać na romantycznych komediach.

Patrzeć na to, jak ktoś zjada ze smakiem kanapkę z naszym ulubionym gatunkiem sera, nie zastąpi oczywiście posiłku, ale to, co zjemy wtedy z konieczności, będzie nam zapewne bardziej smakowało.

Nauczyciel przygotowuje takie właśnie, tyle że mentalne kanapki. Jeśli jego postawa/zachowanie sugeruje, że nie jest to jego ulubione danie, uczeń też w to nie uwierzy. Wyobraźmy sobie kelnera podającego nam potrawy na wyciągniętej przed siebie ręce, który zatyka sobie nos palcami wolnej dłoni...

Znajomość zasad działania systemów lustrzanych daje nam kilka praktycznych wskazówek. Po pierwsze, okazuje się, że być może równie ważne jak to, co mówimy, jest to, jak to robimy. Jeśli postawa nauczyciela, jego gesty, brzmienie głosu zdradzają zaangażowanie, neurony lustrzane uczniów mogą wzbudzić analogiczne stany w ich mózgach.

Starajmy się więc mówić i działać tak, jakby to, co mówimy i robimy miało dla nas duże znaczenie. Niekoniecznie musimy wyjaśnić uczniowi znaczenie tego, czego właśnie się uczy (choć to zawsze daje dobry efekt, jednak nie zawsze jest od razu możliwe), mogą ich do tego przekonać ich systemy lustrzane, jeśli tylko będą miały co „odbijać”.

Zrób to albo choć pomyśl, że robisz.

O dydaktycznym znaczeniu emulatorów ruchu

Ludzkie ciało to fenomenalnie złożony układ mechaniczny. Ponad dwieście kości połączonych ze sobą w różny sposób i poruszanych grupami mięśni, których wzajemne zależności, mimo tysięcy lat obserwacji anatomów, wciąż nie są całkowicie jasne. Precyzja i płynność ruchów mają jednak swoje źródło nie tyle w złożoności tego układu, ile w dokładności sterowania, a tym właśnie zajmuje się znaczna część naszego mózgu. Narząd ten odbiera ogromne ilości informacji dotyczących położenia, stopnia napięcia, wzajemnego nacisku poszczególnych części, ciśnienia panującego wewnątrz narządów i wielu innych parametrów. Z oczywistych powodów informacja ta może być użyteczna, jeśli zestawimy ją z bodźcami dopływającymi do nas ze środowiska zewnętrznego.

Przetworzenie takich danych wymaga gigantycznej mocy obliczeniowej oraz czasu. Mózg spełnia ten pierwszy warunek, jednak czas pozostaje nieubłagany. Sytuacja przypomina tu próby ścigania się z własnym cieniem. Nigdy nie wyprzedzimy jego ruchu, a takie właśnie wyprzedzenie byłoby tutaj konieczne.

Kontrola ruchu, w określonych warunkach otoczenia, odbywa się więc z pewnym poślizgiem względem czasu rzeczywistych wydarzeń, ponieważ obraz świata, który wytwarza mózg w postaci naszego świadomego perceptu, ukazuje jego stany sprzed chwili jakiej potrzeba, żeby

taki model wytworzyć. A skoro tak, to jak to się dzieje, że tak rzadko obserwujemy u siebie i innych zachowania nieadekwatne do warunków? Jakim cudem łapiemy piłkę z nienacką rzuconą w naszym kierunku?

Wyniki najnowszych badań wskazują, że w trakcie rozwoju ewolucyjnego systemów przetwarzania informacji związanych z kontrolą Ruchu, pojawiły się w mózgu swoiste symulatory, których zadania polegają na wytwarzaniu stanów, które są rodzajem przewidywania tego, co może się wydarzyć. Rzeczywista reakcja w postaci konkretnej sekwencji ruchów jest odpowiedzią na takie właśnie przewidywanie stanów emulatora, a bieżące potrzeby dotyczą jedynie ewentualnej korekty adekwatnej do kolejnych informacji środowiskowych⁴.

Działanie emulatora oparte jest o informacje pochodzące z aktualnych perceptów oraz uśrednionych informacji o analogicznych ruchach wykonywanych do tej pory. To drugie źródło możemy nazwać pamięcią ruchową. Nie jest do końca jasne, jakie obszary mózgu zaangażowane są w te procesy. Wiadomo, że mechanizmy te działają nie tylko w czasie wykonywania ruchów, ale też wtedy, kiedy tylko o nich myślimy.

Doskonalenie jakiejś określonej czynności ruchowej polega, zgodnie z tym punktem widzenia, na takim kształtowaniu emulatora ruchowego, żeby rozbieżności pomiędzy jego symulacją a rzeczywistymi potrzebami w realnych warunkach ruchu były możliwie jak najmniejsze. Daje to pewne wskazówki dydaktykom, zwłaszcza nauczycielom wychowania fizycznego oraz gry na instrumentach muzycznych. Okazuje się bowiem, że „wykonywanie” jakiegoś ćwiczenia fizycznego jedynie w głowie, ma dobry wpływ na jakość jego wykonania w rzeczywistości. Aktywność kory mózgowej w trakcie wyobrażania sobie czynności jest w zasadzie taka sama, jak w czasie rzeczywistego ruchu.

Dlaczego więc nie zastąpić żmudnych ćwiczeń wykonywaniem mentalnych symulacji? Może cały trening można przenieść do klimatyzowanych sal na wygodne fotele? Niestety, jak już powiedzieliśmy, prawidłowe działanie emulatora ma podstawy we wcześniejszych stanach percepcyjnych. Czynność nie może być całkiem „wymyślona”. Takie działanie emulatora byłoby, z przystosowawczego punktu widzenia, pozbawione sensu. Mentalny trening może więc pomagać w doskonaleniu jakiejś czynności pod warunkiem, że generowane w nim stany będą odpowiednio często weryfikowane w trakcie rzeczywistego ruchu.

Wielu doskonałych sportowców na kilka chwil przed występem wyobraża sobie ruch, który mają wykonać. Czasem widzimy nawet objawy takiego mentalnego przygotowania. W czasie kolejnej transmisji z zawodów lekkoatletycznych przypatrzmy się dokładnie skoczkom w dal, wżwyz albo sprinterom przed startem. Zauważymy delikatne, ledwie widoczne ruchy, które towarzyszą ich wewnętrznej symulacji.

Dziecko, dla którego nauka gry na pianinie jest jedynie przymusem wynikającym z ambicji rodziców, kończy lekcję z chwilą, kiedy opuszcza pokrywę instrumentu. To, które pokocha muzykę, zabiera za sobą instrument wszędzie, a położone na brzegu szkolnej ławki, stołu czy biurka palce same szukają tam klawiszy i poruszają się tak, jakby wciąż na nich spoczywały. Gra odbywa się wtedy w głowie takiego małego muzyka. Nietrudno zgadnąć, u którego z dzieci postępy w nauce gry na pianinie będą szybsze.

Ku pamięci...

Zdolność do uczenia się jest jedną z kluczowych cech układu nerwowego. To proces zdobywania i gromadzenia doświadczeń, którego efektem jest zmiana zachowania. Z proponowanej przez nas w tej książce perspektywy, jest to proces przyswajania memów oraz ich porządkowania w zespoły warunkujące konkretne kompetencje.

Nadal dokładnie nie wiemy, czym jest pamięć na poziomie komórkowym. Wciąż trwają poszukiwania engramu (śladu pamięciowego), tj. grupy komórek (lub mechanizmu ich działania) przechowujących określone informacje. Nadal nie rozumiemy co to znaczy, że zapamiętaliśmy np. jabłko. Czy istnieją gdzieś w korze mózgu zespoły neuronów reprezentujące

⁴ P. Francuz, *Wyobrażenia jako wytwór aktywności mózgowego emulatora procesów motorycznych i percepcyjnych*, [w:] *Obrazy w umyśle. Studia nad percepcją i wyobraźnią*, red. P. Francuz, Warszawa 2007, Wydawnictwo Naukowe Scholar.

ten owoc? A może nasz mózg tworzy właściwy percept, kiedy sygnał z kory wzrokowej spowoduje pobudzenie, jakie jest dla widzenia jabłka właśnie specyficzne?

Prawdopodobnie nie istnieje w mózgu określone miejsce, w którym lokowane są nasze wspomnienia. Panuje przekonanie, że informacje są zapisywane głównie w obszarach, które zajmują się ich analizą. To dlatego uważamy, że ośrodki pamięci wzrokowej skupione są w płacie potylicznym, a słuchowej i językowej – w płacie skroniowym. Obszarami mózgu, z którymi wiąże się pamięć długotrwała faktograficzna, są płaty czołowe i ciemieniowe. Pamięć proceduralna⁵ związana jest z mózdzkiem i prążkowiem, natomiast rola hipokampa jest bardziej złożona. Jest on konieczny do przekształcenia świeżych wspomnień w trwałe ślady pamięciowe. Odpowiada też prawdopodobnie za pamięć o charakterze przestrzennym. Ciało migdałowe zarządza z kolei pamięcią emocjonalną (utajoną). Zróżnicowane osiągnięcia w zakresie różnych rodzajów uczenia się mogą być związane z osobniczo specyficzną wrażliwością opisanych obszarów mózgu. Co ciekawe, jakość różnych rodzajów pamięci u tej samej osoby bywa bardzo różna.

Pamięć opisowa, ściśle związana z mową i świadomością, jest młodszą ewolucyjnie. To dlatego właśnie ten typ pamięci wydaje się „trudniejszy w obsłudze”. Nasza uwaga musi skupić się na istotnych informacjach i przetworzyć je, jesteśmy także w stanie łatwo je zwerbalizować. Pamięć opisowa wymaga silnej motywacji i uwagi. Badania pokazują, że płaty czołowe, z którymi związany jest ten rodzaj pamięci, rozwijają się długo. Są to części kory, które dojrzewają najpóźniej, co tłumaczy problemy z zapamiętywaniem faktograficznym i opisowym u dzieci. Praktycy doskonale wiedzą, że warto silnie wiązać naukę z emocjami, szczególnie na wczesnych etapach edukacji.

Co ciekawe, informacje specyficzne dla pamięci świadomej i nieświadomej biegną innymi drogami, które są od siebie względnie niezależne. Osoby z uszkodzonym hipokampem, u których zaburzona jest pamięć epizodyczna (pamięć zdarzeń) i świadome zapamiętywanie, nie mają problemu z uczeniem proceduralnym (pamięcią nieopisową), mimo że nie pamiętają, żeby takie uczenie w ogóle miało miejsce. Z kolei osoby z chorobą Parkinsona, u których zaburzone jest funkcjonowanie prążkowie, wykazują prawidłową pamięć opisową, ale mają problemy z pamięcią proceduralną (nieopisową).

W trakcie nieświadomego uczenia się najczęściej wiemy, że przyswajamy jakąś umiejętność, jednak dane, które przetwarzamy, nie są nam w pełni dostępne. Dobrym przykładem jest tu uczenie się jazdy na rowerze. Nie mamy wtedy bezpośredniego dostępu do wielu informacji dotyczących, przykładowo mechaniki mięśni i równowagi, a tym samym trudno te procesy zwerbalizować. Wydaje się, że ten typ pamięci ma nieograniczoną pojemność, wymaga mniejszej ilości powtórzeń i mniejszej motywacji.

Spośród różnych typów pamięci uwagę pedagogów zwraca pamięć robocza (*working memory*, WM). Jest tak, ponieważ każda informacja, która ma być włączona w system doświadczeń jednostki, musi przejść przez swoisty bufor tego rodzaju pamięci. Bez niej niemożliwe byłyby rozmowa, czytanie czy dodawanie w pamięci. Pozwala także na wykonywanie kilku zadań równocześnie. Jest ściśle związana z uwagą, motywacją i świadomością. To właśnie przestrzeń pamięci roboczej stanowi nasze świadome „tu i teraz”. Każda myśl, każde w danej chwili uświadomione wrażenie, emocja czy percept, wszystko to mieści się w tym chwilowym magazynie.

W literaturze fachowej funkcjonuje kilkanaście różnych modeli opisujących funkcjonowanie pamięci roboczej. Wiemy, że jej pojemność jest mocno ograniczona, choć klasyczne badania

⁵ Czyli wykonaniowa. To rodzaj pamięci związany z umiejętnością wykonywania określonych czynności. Można wyróżniać wiele rodzajów pamięci, zależnie od kryterium, jakie przyjmujemy. Ze względu na trwałość śladu pamięciowego możemy mówić o pamięci krótko- i długotrwałej. Mówimy o pamięci świadomej (deklaratywnej, opisowej), kiedy w przypominaniu uczestniczy świadomy akt i niejawnej (nieopisowej), jeśli taki akt nie jest konieczny. Pamięć semantyczna zawiera fakty niezależne od kontekstu, epizodyczna – informacje o zdarzeniach. Dla nas, zainteresowanych przebiegiem procesów uczenia się, najważniejszy wydaje się podział ze względu na typ zapamiętywanych informacji.

sprowadzają się najczęściej do stwierdzenia, że pamięć robocza może pomieścić jednocześnie 7 (± 2) elementów lub angażować się w rozwiązywanie 2 do 3 zadań równocześnie⁶.

Wraz z grupą współpracowników staraliśmy się określić bitową pojemność WM. Choćby wyniki wykazują pewną jej elastyczność, w zależności od trudności zadania, wydaje się, że pojemność bitowa buforu WM mieści się w zakresie 30–40 bitów. To niewiele, zważywszy na zadania, jakie stoją przed uczniem w trakcie przeciętnej lekcji. Już sama elokwencja i złożoność języka, jakim posługuje się nauczyciel, może powodować przekroczenie pojemności WM. W efekcie, kiedy nauczyciel kończy zdanie (na przykład podawaną po raz pierwszy definicję jakiegoś pojęcia), uczeń może nie pamiętać jego początku. To samo dotyczy pytań zadawanych w czasie powtórek lub egzaminów, zwłaszcza tych ustnych, kiedy pytany nie ma szansy ponownego wglądu w ich treść.

Neurodydaktyka praktyczna dopiero powstaje, a być może jej prawdziwe narodziny mamy jeszcze przed sobą. Wiedza na temat najnowszych osiągnięć neuronauk jest wśród nauczycieli niewielka. Jednocześnie oceniają oni ją jako bardzo cenną z praktycznego punktu widzenia. Daje to podstawy do silnej i niezbędnej w tym przypadku współpracy pomiędzy praktykami a naukowcami zajmującymi się biologią mózgu.

Marek Kaczmarzyk

⁶ H.D. Zimmer, *Visual and spatial working memory*, From boxes to networks, "Neuroscience and Biobehavioral Reviews" 2008, 32, s. 1373–1395.