

Wojciech Glac

Pracownia Neurobiologii, Katedra Fizjologii Zwierząt i Człowieka, Wydział Biologii

Uniwersytet Gdański;

Centrum Doskonalenia Dydaktycznego i Tutoringu Uniwersytetu Gdańskiego

ORCID: 0000-0003-1468-0679

Neuro-granice w dydaktyce

Streszczenie

Artykuł podejmuje problem granic w dydaktyce z perspektywy neurobiologii. Granice są tu rozumiane nie tylko jako strukturalne ramy regulujące role, normy i oczekiwania, lecz także jako bodźce generujące nowość, zaskoczenie i konflikt poznawczy – a więc błędy przewidywania uruchamiające procesy neuroplastyczne. Autor omawia mechanizmy neuronalne stojące za wykrywaniem nowości (rola hipokampa, ciała migdałowatego, kory przedczołowej, układu nagrody i sieci wielkoskalowych mózgu) oraz pokazuje, w jaki sposób umiarkowany stres może pełnić funkcję katalizatora uczenia się, podczas gdy stres przewlekły i nadmierny prowadzi do reakcji unikania, utrwalania lęku i spadku motywacji. Tekst analizuje także indywidualne predyspozycje do przekraczania granic – wynikające z interakcji czynników genetycznych, neurobiologicznych i doświadczeń edukacyjnych – oraz ich konsekwencje dla eksploracji, tolerancji niepewności i elastyczności poznawczej. W zakończeniu wskazano, że odpowiednio projektowane sytuacje dydaktyczne, łączące nowość z poczuciem bezpieczeństwa i przyzwoleniem na błąd, pozwalają twórczo wykorzystać granice jako narzędzie świadomego wspierania rozwoju, ciekawości i adaptacyjnych strategii radzenia sobie z niepewnością.

Słowa kluczowe: neurodydaktyka; granice w edukacji; błąd przewidywania; stres; neuroplastyczność

Summary

The article addresses educational boundaries from a neurobiological perspective. Boundaries are understood not only as structural frames that regulate roles, norms and expectations, but also as triggers of novelty, surprise and cognitive conflict—that is, prediction errors that activate neuroplastic processes. The author discusses the neural mechanisms underlying novelty detection (the role of the hippocampus, amygdala, prefrontal cortex, reward system and large-scale brain networks) and shows how moderate stress can act as a catalyst for learning, whereas excessive or chronic stress leads to avoidance, consolidation of fear and decreased motivation. The text also analyses individual predispositions to crossing boundaries, resulting from the interaction of genetic, neurobiological and experiential factors, and their consequences for exploration, tolerance of uncertainty and cognitive flexibility. In conclusion, the article argues that carefully designed educational situations which combine novelty with a sense of safety and permission to err can harness boundaries as a tool for consciously fostering development, curiosity and adaptive strategies for dealing with uncertainty and unpredictability.

Keywords: neurodidactics; educational boundaries; prediction error; stress; neuroplasticity

W dydaktyce granice pełnią funkcję zarówno strukturalną, jak i neuropsychologiczną. Określają normy postępowania i zakres oczekiwań oraz wyznaczają role i warunkują poczucie bezpieczeństwa wszystkich uczestników procesu kształcenia. Jednakże rozwój poznawczy nie zachodzi w warunkach pełnej przewidywalności. To sytuacje wykraczające poza dotychczasowe schematy stanowią właściwy katalizator neuroplastyczności, będącej podstawą uczenia się i rozwoju.

Z perspektywy neurobiologii przekraczanie granic w dydaktyce można rozumieć jako doświadczenie nowości, zaskoczenia lub konfliktu poznawczego, które wywołuje w mózgu specyficzną kaskadę procesów: od wygenerowania błędu przewidywania, poprzez wzbudzenie czy stres oraz pobudzenie procesów poznawczych, aż po reorganizację sieci neuronalnych. Innymi słowy, ekspozycja na nowość stanowi jeden z najważniejszych czynników sprzyjających uruchamianiu procesów prowadzących do uczenia się – konstruowania tak nowej wiedzy, jak i umiejętności.

Celem niniejszej pracy jest omówienie tych mechanizmów w kontekście edukacji, wskazanie neurobiologicznych predyspozycji sprzyjających lub utrudniających przekraczanie edukacyjnych granic oraz scharakteryzowanie zarówno pozytywnych, jak i negatywnych zmian funkcjonowania mózgu, do jakich prowadzić może przekroczenie edukacyjnych granic.

Przekroczenie granicy jako błąd przewidywania

Jedną z podstawowych funkcji mózgu jest zdolność do nieustannego tworzenia przewidywań dotyczących przyszłych zdarzeń (Grupe i Nitschke, 2013). W podstawowym wymiarze proces predykcji zachodzi niezależnie od woli w ramach zautomatyzowanych i nieuświadomionych czynności realizowanych przez współpracujące ze sobą struktury korowe i podkorowe. Oczywiście również każda sytuacja dydaktyczna stanowi podstawę do tworzenia przez mózg predykcji – student_ka przewiduje na przykład przebieg zajęć, reakcje nauczyciela_ki, treść i trudności zadania, a z kolei nauczyciel_ka reakcje studentów, ich zaangażowanie i trudności z wykonaniem zadania itd. W tym kontekście jako przekroczenie granicy rozumieć można cokolwiek, co stanowi odstępstwo od poczynionych przez mózg predykcji – sprzeczny z przekonaniem fakt naukowy, nietypowa forma zadania, odbiegające od oczekiwań pytanie lub odpowiedź, reakcje emocjonalne studentów czy nauczycieli. Stwierdzenie przez mózg niezgodności prowadzi do powstania specyficznej reakcji zwanej błędem przewidywania (Schultz, 2016).

W mózgu za wykrywanie nowości sytuacji odpowiada przede wszystkim hipokamp, który porównuje napływające informacje z zapamiętanymi wzorcami. Gdy poziom nowości jest odpowiednio wysoki, dochodzi do pobudzenia ciała migdałowatego, który nadaje sytuacji znaczenie emocjonalne oraz kory przedczołowej, która decyduje o wyborze strategii działania, modyfikując lub tworząc zupełnie nowy wzorzec odpowiedzi (Watabe-Uchida i in., 2017). Przygotowanie bieżącej, ale i przyszłych odpowiedzi na błąd przewidywania monitorowane jest przez korę przedniego zakrętu obręczy.

Kluczową rolę w reakcji na nowość oraz niewspółmierność oczekiwań i rzeczywistości odgrywają dopaminowe neurony śródmózgowia, szczególnie należące do układu nagrody. Kodują one błąd przewidywania – zarówno jego wielkość, jak i znak (korzystne lub niekorzystne odchylenie od oczekiwań), a także uczestniczą w nadawaniu sytuacji istotności motywacyjnej. To pobudzenie układu

nagrody i dopamina wysiewana z zakończeń aksonów zlokalizowanych w różnych obszarach korowych i podkorowych otwiera „okno neuroplastyczności”, pozwalające na uczenie się zarówno na pozytywne, jak i negatywne błędach przewidywania (Sinclair i Barense, 2019).

Z punktu widzenia funkcjonowania sieci wielkoskalowych mózgu, pod wpływem przekroczenia granicy dochodzi do silnego wzbudzenia i dynamicznego przełączenia aktywności między trzema podstawowymi systemami: siecią stanu podstawowego, główną siecią wykonawczą oraz siecią istotności. Sieć istotności ma kluczowe znaczenie w przełączaniu przepływu informacji między systemem rozwiązywania problemów i działania (główna sieć wykonawcza) a systemem autorefleksji i interpretacji (sieć stanu podstawowego). Sieć istotności nadając zdarzeniu odpowiednią wagę i charakter, decyduje również o sile pobudzenia stresowego towarzyszącego przekroczeniu granicy (Ham i in., 2013).

Stres jako katalizator i regulator odpowiedzi na nowość

Wzbudzenie lub pełnowymiarowa reakcja stresowa stanowią integralne komponenty odpowiedzi na nowość. Z neurobiologicznego punktu widzenia stres może mieć charakter adaptacyjny lub nieadaptacyjny.

Umiarkowany poziom pobudzenia stresowego pełni mobilizacyjną, podnosząc ogólny poziom aktywności i motywacji, nasilając uwagę i inne procesy poznawcze czy wspierając integrację informacji pamięciowych i percepcyjnych (Yuen i in., 2011). W kontekście edukacji umiarkowaną reakcją stresową uznać więc można jako czynnik niezwykle sprzyjający konstruowaniu nowej wiedzy czy umiejętności.

Kiedy jednak stres przekracza optymalny poziom, dochodzić może do zaburzenia funkcji wykonawczych. Osłabienie zdolności analitycznych, elastyczności i poznawczej kontroli nad emocjami i zachowaniem sprawia, że nieunikniona staje się rezygnacja z eksploracji i zastąpienie jej reakcją obronną, skierowaną na ucieczkę (Grupe i Nitschke, 2013). W przebiegu procesu dydaktycznego wystąpienie takiej nieadaptacyjnej reakcji stresowej ogranicza lub zamyka możliwość konstruowania nowej wiedzy czy umiejętności związanych z meritum, a kodowaniu w pamięci ulegają głównie te okoliczności, które w przyszłości pozwolą na wyprzedzające unikanie powtórzenia się sytuacji z punktu widzenia takiej osoby zagrażającej (McEwen i Morrison, 2013).

Wydaje się więc, że przekraczanie granic w dydaktyce może być rozwojowe tylko wtedy, gdy intensywność stresu jest regulowana m.in. poprzez odpowiednie wsparcie, jasność celu, przyzwolenie na błąd, adekwatne do możliwości ramy zadania i poczucie kontroli nad sytuacją. Kluczowym czynnikiem kształtującym wielkość i czas trwania reakcji stresowej w odpowiedzi na nowość jest zmienność międzyosobnicza mająca podłoże biologiczne i środowiskowe (Varela i in., 2012).

Predyspozycje do przekraczania granic

Indywidualne predyspozycje do eksploracji, podejmowania ryzyka i wchodzenia w interakcję z nowością zależą zarówno od czynników genetycznych, jak i od wcześniejszych doświadczeń.

Za zróżnicowaną tendencją do preferowania i poszukiwania nowości oraz odmienną wrażliwość na potencjalne i rzeczywiste nagrody związane z doświadczeniem nowości w istotny sposób odpowiadają polimorfizmy genów związanych z funkcjonowaniem systemów dopaminowych (Gjedde i in., 2010). Z kolei uwarunkowana biologicznie zróżnicowana reaktywność ciała migdałowatego oraz funkcjonowanie różnych systemów modulatorowych regulujących odpowiedź emocjonalną i stresową związane są z podłożem skłonności do wytwarzania lęku w odpowiedzi na nowość i łatwością formowania reakcji lękowych, prowadzących do unikania nowości i nietolerancji niepewności i przyjmowania w obliczu nowych sytuacji postawy defensywnej (Hur i in., 2020). Obydwie skłonności pozostają pod silnym wpływem kontrolnym różnych obszarów korowych, w tym kory przedczołowej. Biologiczne równice dotyczące architektury sieci w obrębie różnych obszarów kory, szlaków łączących je ze sobą, jak również łączących korę przedczołową z układem emocjonalnym stanowiąc mogą o przesunięciach równowagi pomiędzy układami napędowo-emocjonalnymi a poznawczymi w kształtowaniu odpowiedzi na nowość i błąd przewidywania (Watabe-Uchida i in., 2017).

Na predyspozycje do przekraczania granic wpływają także czynniki środowiskowe, w tym charakter wcześniejszych sytuacji edukacyjnych, doświadczenia porażki lub sukcesu, emocje towarzyszące procesowi dydaktycznemu, które kształtują m.in. kierunek i siłę odpowiedzi emocjonalnej i stresowej na błąd przewidywania. Wszystko to sprawdzić można do skojarzeń, jakie mózg wytwarza wobec edukacji, przedmiotu, osoby nauczyciela_ki. Skojarzenia te uruchamiane są automatycznie po rozpoznaniu kontekstu i prowadzą do wzbudzenia określonych emocji oraz reakcji nawykowych, które z kolei kształtować będą postawy oraz zachowania uczestnika procesu dydaktycznego. Skojarzenia te kształtują odpowiedzi struktur mózgu takich jak ciało migdałowe i prążkowie, które nadają sytuacji określoną rangę i charakter, a także promują określoną postawę wobec nowości.

Podobnie jak w przypadku wielu innych cech, również predyspozycje do przekraczania granic w kontekście edukacyjnym zależą od interakcji pomiędzy czynnikami biologicznymi a środowiskowymi. Indywidualna kompozycja cech biologicznych oraz doświadczeń utrwalonych w postaci skojarzeń i wzorców odpowiedzi współdecydują o konsekwencjach przekroczenia granic w określonych sytuacjach.

Pozytywne i negatywne konsekwencje przekraczania granic

Doświadczenie przekroczenia granicy w dydaktyce może stosunkowo łatwo wywołać szerokie i trwałe zmiany w funkcjonowaniu mózgu, dzięki nasileniu procesów neuroplastycznych. Charakter tych zmian zależy jednak od nasilenia nowości, naturalnych predyspozycji oraz skutków podjętej przez mózg decyzji.

W warunkach optymalnych nowość prowadzić może zarówno do konstrukcji nowej wiedzy i umiejętności, jak również – zwłaszcza w przypadku wielokrotnych pozytywnych doświadczeń – do zwiększenia tolerancji na niepewność, zwiększenia elastyczności poznawczej i kreatywności, a także wewnętrznego poczucia kontroli. Pozytywne doświadczenia mogą dodatkowo prowadzić do wytworzenia skojarzeń kontekstu edukacyjnego z nagrodą, co skutkować może trwałym wzrostem motywacji do uczenia się i ciekawości świata (Sinclair i Barense, 2019).

Z kolei w warunkach przeciwstawnych, reakcja na nowość, oparta na lęku i silnym stresie prowadzić może do negatywnych zmian wpływających niekorzystnie na przyszłe odpowiedzi. Silny stres towarzyszący reakcji na nowość może ograniczać funkcje poznawcze i tym samym zmniejszać prawdopodobieństwo uzyskania oczekiwanego celu. Negatywny błąd przewidywania występujący w przypadku porażki może kodować podjęte działania jako prowadzące do straty i tym samym zwiększyć w przyszłości prawdopodobieństwo wyzwolenia reakcji ucieczki lub unikania próby aktywnego zmierzenia się z wyzwaniem nowości. Reakcja unikania lub ucieczki może ulegać dodatkowo wzmocnieniu, jeżeli tylko prowadzą one do uniknięcia straty, nawet jeżeli obiektywnie ryzyko to było niewielkie. Występowanie chronicznego stresu może promować zmiany plastyczne w obrębie układu limbicznego, a jednocześnie prowadzić do atrofii dendrytów neuronów kory mózgowej, co może utrwalac reakcje lękowe i nawyki oparte na lęku z jednoczesnym osłabieniem funkcji poznawczych utrudniając podjęcie adaptacyjnej odpowiedzi na nowość w przyszłości (Shansky i in., 2009). W takich warunkach przekraczanie granic staje się źródłem blokad poznawczych, spadku motywacji, a nawet negatywnych skojarzeń z samym procesem uczenia.

Intensywność i charakter odpowiedzi na nowość zależy od skali nowości, lecz określenie jak duży może i jak duży powinien być walor nowości danej sytuacji dydaktycznej, aby reakcja była optymalna, jest niezwykle trudne. Co więcej, zakres stopnia nowości w jakim ta nowość wyzwała optymalne reakcje wykazuje dużą zmienność indywidualną, w zależności od cech warunkujących skłonność do poszukiwania nowości, lękliwość, siłę reakcji stresowej oraz sprawność mechanizmów poznawczych. Jakkolwiek charakter odpowiedzi w dużym stopniu wpływa na prawdopodobieństwo odniesienia sukcesu lub porażki w próbie podejmowanej w obliczu nowości, to poziom trudności zadania jest w dużym stopniu parametrem niezależnym, współdecydującym o charakterze błędu przewidywania, sukcesie lub porażce i w konsekwencji strategii, jaką mózg wybierze i jaką może utrwalić w odpowiedzi na nowość w kontekście edukacyjnym.

Podsumowując, neurobiologiczne spojrzenie na przekraczanie granic w dydaktyce pozwala wydaje się pomocne w zrozumieniu, dlaczego niektóre sytuacje edukacyjne sprzyjają rozwojowi, a inne prowadzą do wycofania i oporu. Granice są doświadczeniami generującymi błędy przewidywania, które uruchamiają złożone interakcje między układami odpowiedzialnymi za emocje i stres, nagrodę oraz kontrolę poznawczą. Ich efekt zależy zarówno od predyspozycji jednostki, jak i od warunków, w których doświadczenie nowości zachodzi. Odpowiednio zaprojektowane sytuacje dydaktyczne, które łączą nowość ze znanymi schematami oraz utrwaloną wiedzą, a także poczuciem bezpieczeństwa i otwartością wszystkich jej uczestników na błędy prowadzące do rozwoju pozwalają uaktywniac procesy neuroplastyczne, które prowadząc do reorganizacji sieci neuronalnych, warunkują konstruowanie nowej wiedzy i umiejętności (van Kesteren i in., 2012). Dzięki temu dydaktyka może wykorzystywać granice nie jako barierę, lecz jako narzędzie świadomego kształtowania kompetencji, ciekawości, ciągłego rozwoju i budowania adaptacyjnych strategii radzenia sobie z nowością i nieprzewidywalnością.

Bibliografia

- Gjedde, A., i in. (2010). *Inverted-U-shaped correlation between dopamine receptor availability in striatum and sensation seeking*. „Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America”, nr 8, s. 3870–3875. doi: 10.1073/pnas.0912319107
- Grupe, D. W., Nitschke, J. B. (2013). *Uncertainty and anticipation in anxiety: an integrated neurobiological and psychological perspective*. „Nature Reviews Neuroscience”, nr 7, s. 488–501. doi: 10.1038/nrn3524
- Ham, T., i in. (2013). *Cognitive control and the salience network: an investigation of error processing and effective connectivity*. „Journal of Neuroscience”, nr 16, s. 7091–7098. doi: 10.1523/jneurosci.4692-12.2013
- Hur, J., i in. (2020). *Anxiety and the neurobiology of temporally uncertain threat anticipation*. „Journal of Neuroscience”, nr 41, s. 7949–7964. doi: 10.1523/jneurosci.0704-20.2020
- McEwen, B. S., Morrison, J. H. (2013). *The brain on stress: vulnerability and plasticity of the prefrontal cortex over the life course*. „Neuron”, nr 1, s. 16–29. doi: 10.1016/j.neuron.2013.06.028
- Schultz, W. (2016). *Dopamine reward prediction error coding*. „Dialogues in Clinical Neuroscience”, nr 1, s. 23–32. doi: 10.31887/DCNS.2016.18.1/wschultz
- Shansky, R. M., i in. (2009). *Stress-induced dendritic remodeling in the prefrontal cortex is circuit specific*. „Cerebral Cortex”, nr 10, s. 2479–2484. doi: 10.1093/cercor/bhp003
- Sinclair, A. H., Barense, M. D. (2019). *Prediction error and memory reactivation: how incomplete reminders drive reconsolidation*. „Trends in Neurosciences”, nr 10, s. 727–739. doi: 10.1016/j.tins.2019.08.007
- van Kesteren, M. T., i in. (2012). *How schema and novelty augment memory formation*. „Trends in Neurosciences”, nr 4, s. 211–219. doi: 10.1016/j.tins.2012.02.001
- Varela, J. A., i in. (2012). *Control over stress, but not stress per se increases prefrontal cortical pyramidal neuron excitability*. „Journal of Neuroscience”, nr 37, s. 12848–12853. doi: 10.1523/jneurosci.2669-12.2012
- Watabe-Uchida, M., Eshel, N., Uchida, N. (2017). *Neural circuitry of reward prediction error*. „Annual Review of Neuroscience”, nr 40, s. 373–394. doi: 10.1146/annurev-neuro-072116-031109
- Yuen, E. Y., i in. (2011). *Mechanisms for acute stress-induced enhancement of glutamatergic transmission and working memory*. „Molecular Psychiatry”, nr 2, s. 156–170. doi: 10.1038/mp.2010.50