

Zmiany neuroplastyczne w wyniku intensywnych treningów poznawczych: porównanie tradycyjnego podejścia i metod wykorzystujących gry komputerowe

Neuroplastic changes as a result of intensive cognitive training: a comparison of traditional and innovative approaches to cognitive training using video games

Natalia Kowalczyk¹, Aneta Brzezicka¹, Małgorzata Kossut^{1,2}

¹Wydział Psychologii, Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej w Warszawie

²Instytut Biologii Doświadczalnej im. Marcelego Nenckiego PAN w Warszawie

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2014; 9, 3–4: 104–111

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Małgorzata Kossut
Instytut Biologii Doświadczalnej im. Marcelego Nenckiego PAN
ul. Pasteura 3, 02-093 Warszawa
tel. +48 22 589 24 53, faks +48 22 822 53 42
e-mail: kossut@nencki.gov.pl

Streszczenie

Trening mózgu wykorzystujący serie specjalistycznych programów służących do polepszania funkcji poznawczych jest obecnie szeroko stosowany nie tylko przez osoby z uszkodzeniami mózgu, ale coraz częściej przez osoby zdrowe. Oprócz tradycyjnego podejścia koncentrującego się na projektowaniu specjalnych paradygmatów treningowych, coraz częściej do trenowania funkcji poznawczych wykorzystuje się gry komputerowe. Ze względu na rosnącą popularność gier badacze podejmują liczne próby weryfikowania poprawy funkcjonowania poznawczego w wyniku grania, a także wyjaśniania mechanizmów tego zjawiska. Obecny stan wiedzy jednoznacznie wskazuje, że gry komputerowe pozytywnie wpływają na szereg funkcji poznawczych, przede wszystkim na uwagę, pamięć krótkotrwałą i pamięć roboczą. Ze względu na specyfikę gier komputerowych, które dostarczają dynamicznej, multisensorycznej stymulacji, obserwuje się transfer efektów grania na nietrenowane funkcje poznawcze. Wiedza na temat neuronalnych podstaw tego rodzaju poprawy jest bardzo skąpa. W artykule podjęto próbę podsumowania i usystematyzowania obecnego stanu wiedzy dotyczącej zmian behawioralnych i neuroplastycznych w wyniku intensywnych treningów poznawczych z użyciem tradycyjnych paradygmatów oraz treningów z wykorzystaniem gier komputerowych. Artykuł koncentruje się na opisie badań weryfikujących działanie różnych programów treningowych i gier. Omówiono także wyniki prac poświęconych wyjaśnieniu neuronalnych korelatów [badania: funkcjonalny magnetyczny rezonans jądrowy (*functional magnetic resonance imaging* – fMRI) oraz obrazowanie tensora dyfuzji (*diffusion tensor imaging* – DTI)] poprawy funkcjonowania poznawczego w grupie osób intensywnie grających w gry komputerowe, zarówno na poziomie funkcjonalnym, jak i strukturalnym mózgu.

Słowa kluczowe: treningi poznawcze, gry komputerowe, zmiany neuroplastyczne.

Abstract

Specialized brain training programs aimed at improving cognitive functioning are now widely used not only by people with brain damage but also by increasing numbers of healthy individuals. In addition to the traditional approach which focuses on designing special training paradigms, there is an increasing interest in using video games for cognitive training. Due to the increasing popularity of video gaming, researchers strive to verify improvements in cognitive functioning and elucidate the mechanisms of this phenomenon. The current state of knowledge clearly indicates that video games positively influence a number of cognitive functions, including attention, short-term memory, and working memory. Due to the nature of video games, which provide dynamic multisensory stimulation, transfer effects to untrained cognitive functions can be observed. Knowledge of the neural basis of this kind of video game induced cognitive improvement is very limited. This paper attempts to summarize and systematize the current knowledge on the evolution of behavioral and neuroplastic changes as a result of intensive cognitive training using traditional paradigms and training using video games. We focus on the description of studies verifying effects of the various training programs and games. Finally, we discuss the results of studies which concentrate on explaining the neural correlates (fMRI and DTI) of improvement in cognitive functioning in the group of intensive video games players at both the functional and the structural level of brain organization.

Key words: cognitive training, video games, neuroplastic changes.

Trening poznawczy jako coraz bardziej powszechna metoda poprawy funkcji poznawczych o udowodnionej skuteczności

Treningi poznawcze już jakiś czas temu przestały być domeną neuropsychologii, gdzie wykorzystywane są w celach odbudowy utraconych lub zaburzonych w wyniku uszkodzenia mózgu funkcji poznawczych. Wymogi, jakie stawia nam dzisiejsza rzeczywistość, doprowadziły do tego, że coraz więcej osób korzysta z programów treningowych usprawniających funkcjonowanie poznawcze. Są one popularne nie tylko wśród osób starszych, które jak najdłużej chcą pozostać w dobrej kondycji, ale coraz częściej również wśród osób młodych. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele platform internetowych oferujących zestawy ćwiczeń usprawniających funkcjonowanie poznawcze człowieka. Przykładami takich platform są: „Lumosity”, „Happy-Neuron”, „Cog-med” czy polskojęzyczna „Neurogra”, które proponują program szkolenia mózgu składający się z wielu gier angażujących procesy pamięci, uwagi, elastyczności poznawczej, szybkości przetwarzania informacji i rozwiązywania problemów. Skuteczność zarówno takich komercyjnych treningów, jak i specjalnie zaprojektowanych oddziaływań treningowych jest obecnie szeroko weryfikowana przez naukowców na całym świecie. Większość z tych badaczy zadaje sobie pytanie, czy w wyniku zastosowania treningu określonych funkcji poznawczych można zaobserwować tzw. transfer niespecyficzny (daleki), czyli przeniesienie wprawy z sytuacji treningowej na szersze spektrum nietrenowanych funkcji poznawczych. Jednym z najbardziej wpływowych, ale również kontrowersyjnych badań w tym obszarze jest eksperyment przeprowadzony przez zespół Susanne Jaeggi i wsp. (2008), w którym wykorzystano trening pamięci roboczej, czyli rodzaju pamięci z ograniczoną pojemnością systemu magazynowania zaangażowanego w utrzymywanie i manipulowanie informacjami w krótkim okresie (Baddeley 2003). Autorka wykazała, że w wyniku treningu pamięci roboczej dochodzi do poprawy poziomu inteligencji ogólnej osób badanych. Fakt ten autorka tłumaczy tym, że zarówno pamięć robocza, jak i inteligencja współdzielą ten sam konstrukt poznawczy – kontrolę uwagową (*control of attention*), która jest niezbędna do sprawnego działania obu tych umiejętności. Pozytywny transfer wyników treningu pamięci roboczej na wykonanie zadań związanych z nietrenowanymi dotąd funkcjami został zaobser-

wowany również w badaniach z udziałem osób starszych (Richmond i wsp. 2011; Borella i wsp. 2010), a także dzieci (Klingberg i wsp. 2002). Transfer poprawy nietrenowanych umiejętności zanotowano także w badaniach wykorzystujących trening kontroli wykonawczej (*executive control*) (Karbach i Kray 2009; Forte i wsp. 2013). Pomimo kilku ograniczeń o charakterze metodologicznym, które mogą mieć wpływ na wiarygodność wyżej opisanych wyników, badania te zainicjowały dyskusję na temat prawdopodobnego zakresu, w jakim możemy poprawić zdolności poznawcze poprzez wykonywanie specjalnie zaprojektowanych zadań treningowych. Optymizm przedstawionych do tej pory badań kontrastuje z wnioskami wyciągniętymi przez autorów kilku metaanaliz (Lee i wsp. 2012; Melby-Lervåg i Hulme 2013; Shipstead i wsp. 2010; Morrison i Chein 2011), którzy postulują, że trening powodował jedynie krótkotrwałą poprawę oraz wyłącznie w specyficznych, uprzednio trenowanych zadaniach i okazał się nieskuteczny w przenoszeniu poprawy na nietrenowane dotąd funkcje. Niepodważalne są więc wyniki badań nad transferem specyficznym, czyli związanym z poprawą trenowanych funkcji (Brehmer i wsp. 2012; Thorell i wsp. 2009; Jaeggi i wsp. 2008; Willis i Schaie 1986), natomiast tylko nieliczne badania pokazały istnienie transferu niespecyficznego. Również badania na potrzeby komercyjne (np. badania serwisu „Lumosity”) wykazały jedynie transfer specyficzny. W wyniku trenowania *on-line* (trening za pomocą prostych gier pamięci roboczej, zdolności do przełączania się pomiędzy zmieniającymi się regułami w zadaniu oraz selekcji i integracji istotnych informacji, inspirowany dostępnymi na rynku treningami poznawczymi) zdrowych, młodych ludzi poprawę zaobserwowano jedynie w dwóch na dziewięć zastosowanych miar poznawczych do oceny zdolności kontroli poznawczej (van Muijden i wsp. 2012).

Przełomem w podejściu do treningu poznawczego okazało się badanie Green i Bavelier (2003), które zasygnalizowało początki „niekonwencjonalnych” metod treningu mózgu i dało nadzieję na stworzenie treningu skutkującego transferem niespecyficznym.

Gry komputerowe jako forma treningu poznawczego

W krajach rozwiniętych korzystanie z gier przestało już być domeną nastolatków, np. w Stanach Zjednoczonych dwie trzecie graczy stanowią obecnie osoby pełnoletnie (Entertainment Software Association, 2013). Coraz wyraźniejszej

obecności gier w kulturze towarzyszą w ostatniej dekadzie badania wskazujące, iż gry komputerowe mogą zapewnić istotne korzyści poznawcze osobom intensywnie z nich korzystającym.

Szczególnym zainteresowaniem objęte zostały tzw. *action games*, czyli gry akcji. Jest to zróżnicowany gatunek gier obejmujący zarówno gry strategiczne czasu rzeczywistego (*real time strategy* – RTS), jak i gry zręcznościowe (tzw. strzelanki, *first person shooters* – FPS). Niezależnie od szczegółowych rozwiązań stosowanych przez poszczególnych producentów, gry akcji łączy – z perspektywy psychologicznej – szereg istotnych cech. Wszystkie one wymagają od graczy bardzo wysokiego poziomu zaangażowania wielu procesów poznawczych: od podstawowych procesów percepcyjnych, takich jak zdolność do jednoczesnego monitorowania kilku szybko poruszających się przedmiotów, poprzez utrzymywanie uwagi i odpowiedni poziom czujności, aż po bardziej złożone aspekty funkcjonowania poznawczego związane z działaniem pamięci operacyjnej, np. odświeżanie informacji, przełączanie się pomiędzy różnymi zadaniami czy planowanie czynności. Oznacza to, że – wbrew stereotypowym opiniom – granie w gry komputerowe angażuje wiele złożonych funkcji poznawczych.

W ciągu ostatniej dekady przekonanie, że gry komputerowe mogą zapewnić korzyści poznawcze, doprowadziło do szybkiego wzrostu liczby działań naukowych podkreślających różnice między graczami i niegraczami (Green i Bavelier 2003; Colzato i wsp. 2010). Wśród wielokrotnie zreplikowanych wyników wymienić można m.in. te wskazujące, że gracze w porównaniu z niegraczami są sprawniejsi w zakresie zadań percepcyjnych. Szeroko rozumiane zdolności percepcyjne obejmują szereg umiejętności, takich jak dostrzeganie kontrastu (Li i wsp. 2009) czy zdolności wzrokowo-przestrzenne (Green i Bavelier 2007; Donohue i wsp. 2010). Jednym z najlepiej udowodnionych efektów poprawy funkcjonowania poznawczego w wyniku grania w gry jest poprawa w domenie uwagi obejmująca jej selektywność (Green i Bavelier 2003; Karle i wsp. 2010), jak również uwagę wzrokową (głównie dotyczącą śledzenia poruszających się przedmiotów, często na peryferyjnych obszarach pola widzenia) (Green i Bavelier 2006; West i wsp. 2008; Feng i wsp. 2007). Z drugiej jednak strony istnieją badania, które nie potwierdzają istnienia różnic w zakresie uwagi pomiędzy osobami grającymi w gry komputerowe a niegrającymi (Basak i wsp. 2008; Boot i wsp. 2008). Przypuszcza się, że to rodzaj gry ma kluczowy wpływ na możliwość zwiększe-

nia zdolności uwagowych u jej użytkowników. Trening z wykorzystaniem gier typu FPS wykazał poprawę w wykonaniu zadania *Useful Field of View*, czyli paradygmatu, który pozwala na ocenę zdolności do wykrywania, lokalizowania, identyfikowania i rozdzielania zasobów uwagi w obrębie pola widzenia (Green i Bavelier 2006; Feng i wsp. 2007), podczas gdy gry typu RTS nie wykazały wyżej opisanej poprawy (Basak i wsp. 2008; Boot i wsp. 2008).

Badania pokazują, że granie w gry poprawia także bardziej złożone funkcje poznawcze, takie jak kontrola poznawcza, zdolność do przełączania się pomiędzy zmieniającymi się zadaniami/regułami czy odświeżanie informacji w pamięci krótkotrwałej. Wielu naukowców prowadzących badania w tym obszarze wykazało m.in. pozytywny wpływ intensywnego grania na bardziej złożone funkcje dotyczące kontroli uwagi typu góra–dół (czyli aktywny charakter spostrzegania, gdzie człowiek ma dostęp do wcześniej utworzonych reprezentacji) (Chisholm i wsp. 2010; Chisholm i Kingstone 2012; Green i Bavelier 2012) czy kontroli wykonawczej (Strobach i wsp. 2012; Oei i Patterson 2013). Dodatkowo gracze w porównaniu z niegraczami lepiej wypadali w zadaniach mierzących zdolności do przełączania się między zmieniającymi się zadaniami czy regułami, czyli wymagających większej elastyczności poznawczej (Colzato i wsp. 2010; Colzato i wsp. 2013; Green i wsp. 2012; Cain i wsp. 2014) oraz zdolności do dokonywania rotacji figur w umyśle (Basak i wsp. 2008). Wielokrotnie zreplikowano również pozytywny wpływ korzystania z gier akcji na funkcjonowanie pamięci krótkotrwałej (Boot i wsp. 2008; Wilms i wsp. 2013; McDermott i wsp. 2014) czy pamięci roboczej, szczególnie w przypadku graczy FPS (Colzato i wsp. 2013). Niewiele natomiast wiadomo na temat wpływu gier na procesy hamowania nieistotnych informacji. Zespół Mishra (2011) wykazał, że gracze w porównaniu z niegraczami lepiej radzą sobie z hamowaniem dystraktorów. Istotny jest również fakt, że gracze komputerowi okazali się szybsi w przetwarzaniu informacji i reagowaniu na bodźce (Castel i wsp. 2005; Dye i wsp. 2009). Należy zaznaczyć, że obiecujące efekty związane z użytkowaniem gier odnotowywano nie tylko w badaniach realizowanych w schemacie różnicowym, lecz także w eksperymentach w schemacie podłużnym, opierających się na oddziaływaniach treningowych. Powers i wsp. (2013) w metaanalizie zestawili wyniki zarówno badań eksperymentalnych, jak i różnicowych (gdzie porównują doświadczonych graczy i osoby

niemające kontaktu z grami) i pokazali pozytywny wpływ gier komputerowych na funkcje poznawcze. Sprawia to, że przyczynowa rola gier w wywoływaniu opisanych powyżej zmian poznawczych nie jest zasadniczo kwestionowana i ma wiarygodne wsparcie w istniejących wynikach badań (tab. 1.).

Z dotychczasowych rozważań wynika, że trening z wykorzystaniem gier jest bardziej efektywny niż tradycyjne treningi funkcji poznawczych. W tym miejscu należy zadać pytanie, z czego wynikają te różnice. Odpowiedź w świetle dostępnej literatury nie jest jednoznaczna. Niespecyficzny transfer, czyli możliwość przeniesienia zdobytych umiejętności na nietrenowane dotąd funkcje, został uzyskany w tych nielicznych badaniach, w których tradycyjny program treningowy wymagał od osób badanych wysokiej elastyczności poznawczej i był silnie zintegrowany, czyli składały się na niego ćwiczenia obejmujące kilka domen poznawczych (Bherer i wsp. 2005). Zastosowany w wyżej wymienionych badaniach program treningowy silnie angażował zdolności do przełączania się pomiędzy regułami czy zadaniami. Takie wymagania są również stawiane przed graczami gier komputerowych. Gracze, aby uzyskiwać wysokie wyniki w grze, muszą radzić sobie w bardzo złożonych środowiskach, szybko reagować na nagle pojawiające się bodźce (szczególnie w grach typu FPS) oraz przełączać się pomiędzy zadaniami w grze (głównie w grach typu RTS) (Colzato i wsp. 2010; Basak i wsp. 2008). Część

badaczy wskazuje na to, że osoby grające w gry komputerowe dzięki wielokrotnej ekspozycji na wyżej opisane wymagania cechują się lepszymi umiejętnościami efektywnej alokacji swoich zasobów poznawczych (Green i Bavelier 2012). Co więcej, to co różnicuje klasyczny trening i ten wykorzystujący gry komputerowe – to aspekt motywacji. Gry komputerowe zostały stworzone w celach rozrywki, aby zapewnić przyjemność. Gracze mogą również na bieżąco porównywać swoje wyniki z innymi, co dodatkowo mobilizuje ich do utrzymywania wysokiego poziomu wykonania zadania, a także grać z partnerami *on-line*, co wprowadza oddziaływania motywacyjne i emocjonalne. Aby utrzymać odpowiedni poziom motywacji u gracza, poszczególne etapy gry są tak konstruowane, żeby dostosowywać poziom trudności, a to z kolei przekłada się na większe wymagania poznawcze stawiane ich użytkownikom. Takie zabiegi niezwykle rzadko można odnaleźć w tradycyjnym podejściu do treningów poznawczych.

Z perspektywy neuropsychologii ciekawym pomysłem wydawałoby się przekształcenie dotychczasowych programów rehabilitacyjnych opartych na tradycyjnym systemie treningowym. Trening oparty na dostosowanym poziomie trudności grach komputerowych byłby bardziej atrakcyjny i motywujący dla osób z nich korzystających. Takie rozwiązanie jednocześnie zdaje się mniej kosztowne ze względu na fakt, że coraz więcej osób ma dostęp do komputera i Internetu w domu.

Tabela 1. Najistotniejsze udokumentowane zmiany funkcji poznawczych wywołane graniem w gry komputerowe

Zdolności	Efekt
percepcyjne	sprawniejsze działanie zdolności wzrokowo-przestrzennych (Green i Bavelier 2007); większa wrażliwość na kontrast (Li i wsp. 2009); lepsze multisensoryczne postrzeganie i integracja informacji (Donohue i wsp. 2010)
uwaga	poprawa w zakresie selektywności uwagi (Green i Bavelier 2003; Feng i wsp. 2007; Karle i wsp. 2010); pozytywna zmiana w zakresie śledzenia wielu obiektów naraz (uwaga wzrokowa) (Green i Bavelier 2006); większa wrażliwość na zewnętrzne zdarzenia sensoryczne w polu wzrokowym (West i wsp. 2008); sprawniejsze działanie zdolności uwagi typu „góra–dół” (Chisholm i wsp. 2010; Chisholm i Kingstone 2012); bardziej efektywna regulacja w alokacji zasobów uwagowych (Green i Bavelier 2012)
pamięć	lepsze zdolności do monitorowania i odświeżania elementów w pamięci roboczej (Colzato i wsp. 2013); sprawniejsze funkcjonowanie pamięci krótkotrwałej (Boot i wsp. 2008; Wilms i wsp. 2013; McDermott i wsp. 2014)
funkcje wykonawcze (przełączanie)	bardziej efektywne przełączanie się pomiędzy zmieniającymi się regułami (Colzato i wsp. 2010; Green i wsp. 2012; Cain i wsp. 2014)
funkcje wykonawcze (hamowanie)	lepsze hamowanie nieistotnych informacji (Mishra i wsp. 2011)
kontrola wykonawcza	zwiększona kontrola wykonawcza (Strobach i wsp. 2012; Oei i Patterson 2013)
szybkość przetwarzania informacji (czas reakcji)	szybsze przeszukiwanie pola wzrokowego (Castel i wsp. 2005); większa poprawność i szybkość w reagowaniu na bodźce oraz ignorowanie dystraktorów (Dye i wsp. 2009)
dokonywanie rotacji w umyśle	poprawa w zakresie rotacji figur (Basak i wsp. 2008)

Aby lepiej zrozumieć, z czego wynika ta niezwykle skuteczność treningu poznawczego z użyciem gier komputerowych, w dalszej części artykułu przyjrzymy się zmianom neuronalnym, do których dochodzi pod wpływem treningu z wykorzystaniem gier akcji.

Zmiany neuroplastyczne pod wpływem treningów z użyciem gier komputerowych

Współczesnymi metodami badania procesów neuroplastyczności mózgu są głównie nieinwazyjne techniki neuroobrazowe, które pozwalają na analizę zmian wzorca jego aktywności (fMRI), analizę objętości poszczególnych struktur (dzięki technice morfometrii opartej na woksela; *voxel based morphometry* – VBM) oraz na badanie uprządkowania włókien nerwowych oraz stopnia ich mielinizacji (obrazowanie tensora dyfuzji; *diffusion tensor imaging* – DTI).

Opisane tu techniki zostały wykorzystane do analizy zmian zachodzących w mózgu osób poddawanych klasycznym treningom poznawczym oraz w mózgu graczy.

Zmiana wzorca aktywacji mózgu zaobserwowana została po tradycyjnym treningu funkcji poznawczych, w szczególności pamięci operacyjnej. W badaniu Olesen i wsp. (2004) odnotowano wzrost aktywacji w obszarach kluczowych dla działania pamięci operacyjnej, takich jak: zakręt czołowy środkowy oraz dolne obszary ciemieniowe. Co więcej, w wyniku treningu zanotowano także wzrost aktywacji w prążkowie (Dahlin i wsp. 2008). W innych badaniach odnotowano spadek aktywacji, w czasie kodowania i wydobycia elementów z pamięci, w obszarach czołowo-ciemieniowych (Landau i wsp. 2007) i w zakręcie obręczy (Garavan i wsp. 2000). Wyniki przedstawionych badań sugerują, że zmiany w aktywności mózgu mogą odzwierciedlać elastyczność w kodowaniu informacji i strategii wydobywania elementów z pamięci w wyniku treningu pamięci roboczej. A jak gry komputerowe wpływają na mózg?

Zmiany funkcjonalne w mózgu w efekcie grania w gry komputerowe

Podczas gry aktywują się rejony kluczowe dla procesów selektywności uwagi i kompleksu procesów wzrokowo-przestrzennych (okolica przedczołowa, głównie zakręt przedśrodkowy i zakręt czołowy środkowy) (Haier i wsp. 2009). Stwierdzono również wzrost aktywacji w okolicach zakrętu obręczy i kory oczodołowo-czołowej

(obszary związane z procesami pamięci roboczej). Oznacza to, że zmiany w aktywacji mózgu podczas grania w gry występują w obszarach zaangażowanych w wyższe funkcje poznawcze. Co więcej, wykazano, że aktywacje w korze przedczołowej (szczególnie zakręt przedśrodkowy i zakręt czołowy środkowy) są silniejsze (Haier i wsp. 2009) w przypadku użytkowników gier. Dodatkowo zaobserwowano, że aktywacja kory spada wraz z nabywaniem przez gracza umiejętności i wprawy (Granek i wsp. 2010; Bavelier i wsp. 2012). Co ciekawe, Bavelier i wsp. (2012) oceniali wpływ grania w gry komputerowe na system uwagi i zaobserwowali, że poruszające się dystraktory na ekranie aktywowały okolice zakrętu środkowego kory skroniowej (okolice wzrokowe MT) w mniejszym stopniu w grupie graczy niż niegraczy, sugerując tym samym lepsze wczesne filtrowanie nieistotnych informacji. W tej samej grupie zarejestrowano również zredukowaną aktywację sieci czołowo-ciemieniowej obejmującą obszary bruzdy czołowej górnej, środkowej i dolnej zakrętu czołowego, kory obręczy oraz bruzdy śródcieniowej (odpowiedzialnych za sprawne działanie funkcji poznawczych wyższego rzędu, czyli kontroli uwagi oraz pamięci operacyjnej). Na podstawie uzyskanych wyników autorzy sugerują, że gracze bardziej automatycznie lokują zasoby uwagi oraz efektywniej filtrują nieistotne informacje. Ponadto analiza połączeń sieci funkcjonalnych pomiędzy obszarami czołowo-ciemieniowymi a skroniowymi wykazała silną korelację siły tych połączeń z wyższym poziomem uczenia w grupie użytkowników gier komputerowych (Voss i wsp. 2012).

Zmiany strukturalne w mózgu w wyniku grania w gry komputerowe

Z przeglądu bardzo skąpej literatury wynika, że doświadczeni gracze mają większą objętość istoty szarej w okolicach brzuszno-prążkowiego (Kühn i wsp. 2011). Ten sam zespół badaczy wykazał, że trening z wykorzystaniem gry „Super Mario” doprowadził do wzrostu objętości istoty szarej w obszarach zaangażowanych w procesy nawigacji przestrzennej, planowanie oraz pamięć roboczą (głównie hipokamp oraz grzbietowo-boczna część kory przedczołowej) (Kühn i wsp. 2013). Ponadto w badaniu różnicowym wykazano, że grubość kory w okolicach czołowych (grzbietowo-boczna kora przedczołowa i okoloruchowe pole BA8) silnie pozytywnie korelowała z długością czasu poświęconego na granie w gry (Kühn i wsp. 2014). Liczbaostęp-

nych badań dotyczących zmiany w istocie białej w mózgu graczy jest jeszcze bardziej ograniczona. Badanie DTI pokazuje, że osoby intensywnie grające w gry komputerowe mają podwyższony wskaźnik anizotropii frakcjonowanej, świadczący o większej spójności wiązek włókien i gęstości upakowania aksonów, w obszarze wzgórza oraz kory tylnej części zakrętu obręczy w porównaniu z grupą kontrolną (Dong i wsp. 2012). Inne struktury okazały się zmienione w badaniu (Lee i wsp. 2010), w którym osoby badane trenowały z wykorzystaniem gry typu *GO*. Okazało się, że osoby grające w gry komputerowe w porównaniu z grupą kontrolną miały podwyższony wskaźnik anizotropii frakcjonowanej głównie w przedniej części zakrętu obręczy oraz w prawym górnym i dolnym zakręcie czołowym, jak również w okolicach wzgórza, czyli w obszarach związanych z uwagą, pamięcią roboczą oraz procesami kontroli wykonawczej (Lee i wsp. 2010). W kontekście wyników z poprzedniego badania spójne wydaje się jedno z najnowszych badań, w którym wykazano, że krótkotrwały trening z wykorzystaniem gier powoduje zmiany w strukturze hipokampa. Znalezione zmiany w mikrostrukturze mózgu w wyniku krótkoterminowego treningu (120 min) z użyciem gry wyścigowej *Car racing game* (Sagi i wsp. 2012; Hofstetter i wsp. 2013). Wykazano, że u osób trenujących doszło do istotnego zmniejszenia wartości wskaźnika średniej dyfuzyjności (*mean diffusivity* – MD) (wskaźnik dostarczający informacji na temat średniego przemieszczania się cząsteczek wody oraz występowania przeszkód w dyfuzji) w obszarze istoty szarej hipokampa i w istocie białej sklepienia (zawierającej włókna wychodzące z hipokampa). Na podstawie wyników badań opisanych w artykule można zauważyć, że zmiany mikrostruktury mózgu wywołane na skutek uczenia się w trakcie grania pojawiają się bardzo szybko.

Podsumowanie

Celem artykułu było pokazanie, iż w wyniku treningu poznawczego, zarówno w ujęciu tradycyjnym, jak i z wykorzystaniem gier, dochodzi do zmian w funkcjonowaniu poznawczym. Co równie ważne, do zmian dochodzi także na poziomie funkcji i struktury mózgu. Sugeruje to ważną rolę procesów neuroplastyczności mózgu w poprawie funkcjonowania poznawczego po treningach. Studia literaturowe pozwalają na sformułowanie wniosku, że gry komputerowe w porównaniu z klasycznym podejściem do treningów poznawczych w sposób bardziej efek-

tywny usprawniają niektóre funkcje poznawcze. W wielu z przedstawionych badań można zaobserwować występowanie niespecyficznego transferu, czyli przenoszenia zdobytych umiejętności na szersze niż w przypadku tradycyjnego treningu spectrum funkcji poznawczych. Transfer zachodzi prawdopodobnie ze względu na fakt, że gry komputerowe dostarczają dynamicznej, multisensorycznej stymulacji, która wymaga od ich użytkowników efektywnego zarządzania swoimi zasobami poznawczymi. Wzrosty w objętości istoty szarej i zmiany mikrostruktury kory i istoty białej sugerują wzmocnienie synchronizacji i komunikacji między obwodami neuronalnymi. Obserwowane modyfikacje wzorca aktywności mózgu mogą świadczyć o efektywniejszym przetwarzaniu informacji w grupie osób korzystających z gier komputerowych. Należy jednak podkreślić, że badań sprawdzających neuronalne podłoże poprawy funkcjonowania osób grających w gry jest niewiele i stanowią jedynie fragmentaryczny obraz wyjaśnianego mechanizmu poprawy. Z pewnością można jednak stwierdzić, iż gry dostarczają inspiracji jako unikatowe narzędzie nie tylko do badania ludzkiego funkcjonowania poznawczego, ale przede wszystkim do poznania mechanizmów neuroplastyczności mózgu – w tym kontekście stanowią również potencjalny środek do przeciwdziałania procesom starzenia się, odbudowy funkcji poznawczych wskutek zaburzeń czy uszkodzeń mózgu. Jest to obszar do prowadzenia dalszych kompleksowych badań, które powinny wykorzystywać najnowsze techniki neuroobrazowe mózgu.

Podziękowania dla mgr. Macieja Skorko oraz mgr. Pawła Dobrowolskiego za merytoryczne wsparcie podczas pisania artykułu.

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2013/11/N/HS6/01335.

Piśmiennictwo

1. Baddeley A. Working memory and language: an overview. *J Commun Disord* 2003; 36: 189-208.
2. Basak C, Boot WR, Voss MW, Kramer AF. Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychol Aging* 2008; 23: 765-777.
3. Bavelier D, Achtman RL, Mani M, Föcker J. Neural bases of selective attention in action video game players. *Vision Res* 2012; 61: 132-143.
4. Bherer L, Kramer AF, Peterson MS, et al. Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychology Aging* 2005; 20: 695-709.
5. Boot WR, Kramer AF, Simons DJ, et al. The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychol (Amst)* 2008; 129: 387-398.

6. Borella E, Carretti B, Riboldi F, De Beni R. Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychol Aging* 2010; 25: 767-778.
7. Brehmer Y, Westerberg H, Bäckman L. Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Front Hum Neurosci* 2012; 6: 63.
8. Cain MS, Prinzmatal W, Shimamura AP, Landau AN. Improved control of exogenous attention in action video game players. *Front Psychol* 2014; 5: 69.
9. Castel AD, Pratt J, Drummond E. The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta Psychol (Amst)* 2005; 119: 217-230.
10. Chisholm JD, Hickey C, Theeuwes J, Kingstone A. Reduced attentional capture in video game players. *Atten Percept Psychophys* 2010; 72: 667-671.
11. Chisholm JD, Kingstone A. Improved top-down control reduces oculomotor capture: the case of action video game players. *Atten Percept Psychophys* 2012; 74: 257-262.
12. Colzato LS, van den Wildenberg WP, Zmigrod S, Hommel B. Action video gaming and cognitive control: playing first person shooter games is associated with improvement in working memory but not action inhibition. *Psychol Res* 2013; 77: 234-239.
13. Colzato LS, van Leeuwen PJ, van den Wildenberg WP, Hommel B. DOOM'd to Switch: Superior Cognitive Flexibility in Players of First Person Shooter Games. *Front Psychol* 2010; 1: 1-5.
14. Dahlin E, Neely AS, Larsson A, et al. Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science* 2008; 320: 1510-1512.
15. Dong G, DeVito E, Huang J, Du X. Diffusion tensor imaging reveals thalamus and posterior cingulate cortex abnormalities in internet gaming addicts. *J Psychiatr Res* 2012; 46: 1212-1216.
16. Donohue SE, Woldorff MG, Mitroff SR. Video game players show more precise multisensory temporal processing abilities. *Atten Percept Psychophys* 2010; 72: 1120-1129.
17. Dye MW, Green CS, Bavelier D. The development of attention skills in action video game players. *Neuropsychologia* 2009; 47: 1780-1789.
18. Entertainment software association 2013. Essential facts about Computer and Video Game Industry. Theesa. Stronainternetowa: http://www.theesa.com/facts/pdfs/esa_ef_2013.pdf.
19. Feng J, Spence I, Pratt J. Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychol Sci* 2007; 18: 850-855.
20. Forte R, Boreham CA, Leite JC, et al. Enhancing cognitive functioning in the elderly: multicomponent vs resistance training. *Clin Interv Aging* 2013; 8: 19-27.
21. Garavan H, Kelley D, Rosen A, et al. Practice-related functional activation changes in a working memory task. *Microsc Res Tech* 2000; 51: 54-63.
22. Granek JA, Gorbet DJ, Sergio LE. Extensive video-game experience alters cortical networks for complex visuomotor transformations. *Cortex* 2010; 46: 1165-1177.
23. Green CS, Bavelier D. Action video game modifies visual selective attention. *Nature* 2003; 423: 534-537.
24. Green CS, Bavelier D. Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition* 2006; 101: 217-245.
25. Green CS, Bavelier D. Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision. *Psychol Sci* 2007; 18: 88-94.
26. Green CS, Bavelier D. Learning, attentional control, and action video games. *Curr Biol* 2012; 22: 197-206.
27. Green CS, Sugarman MA, Medford K, et al. The effect of action video game experience on task-switching. *Comput Human Behav* 2012; 28: 984-994.
28. Haier RJ, Karama S, Leyba L, Jung RE. MRI assessment of cortical thickness and functional activity changes in adolescent girls following three months of practice on a visual-spatial task. *BMC Res Notes* 2009; 2: 174.
29. Hofstetter S, Tavor I, Tzur Moryosef S, Assaf Y. Short-term learning induces white matter plasticity in the fornix. *J Neurosci* 2013; 33: 12844-12850.
30. Jaeggi SM, Buschkuhl M, Jonides J, Perrig WJ. Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2008; 105: 6829-6833.
31. Karbach J, Kray J. How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev Sci* 2009; 12: 978-990.
32. Karle JW, Watter S, Shedden JM. Task switching in video game players: Benefits of selective attention but not resistance to proactive interference. *Acta Psychol (Amst)* 2010; 134: 70-78.
33. Klingberg T, Forssberg H, Westerberg H. Training of working memory in children with ADHD. *J Clin Exp Neuropsychol* 2002; 24: 781-791.
34. Kühn S, Romanowski A, Schilling C, et al. The neural basis of video gaming. *Transl Psychiatry* 2011; 1: e53.
35. Kühn S, Gleich T, Lorenz RC, et al. Playing Super Mario induces structural brain plasticity: grey matter changes resulting from training with a commercial video game. *Mol Psychiatry* 2013; 19: 265-271.
36. Kühn S, Lorenz R, Banaschewski T, et al. Positive association of video game playing with left frontal cortical thickness in adolescents. *PLoS One* 2014; 9: e91506.
37. Landau SM, Garavan H, Schumacher EH, D'Esposito M. Regional specificity and practice: dynamic changes in object and spatial working memory. *Brain Res* 2007; 1180: 78-89.
38. Lee B, Park JY, Jung WH, et al. White matter neuroplastic changes in long-term trained players of the game of "Baduk" (GO): a voxel-based diffusion-tensor imaging study. *NeuroImage* 2010; 52: 9-19.
39. Lee H, Boot WR, Basak C, et al. Performance gains from directed training do not transfer to untrained tasks. *Acta Psychol (Amst)* 2012; 139: 146-158.
40. Li R, Polat U, Makous W, et al. Enhancing the contrast sensitivity function through action video game training. *Nat Neurosci* 2009; 12: 549-551.
41. McDermott AF, Bavelier D, Green CS. Memory abilities in action video game players. *Comput Human Behav* 2014; 34: 69-78.
42. Melby-Lervåg M, Hulme C. Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Dev Psychol* 2013; 49: 270-291.
43. Mishra J, Zinni M, Bavelier D, Hillyard SA. Neural basis of superior performance of action videogame players in an attention-demanding task. *J Neurosci* 2011; 31: 992-998.
44. Morrison AB, Chein JM. Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychon Bull Rev* 2011; 18: 46-60.
45. Oei AC, Patterson MD. Enhancing cognition with video games: a multiple game training study. *PLoS One* 2013; 8: e58546.
46. Olesen PJ, Westerberg H, Klingberg T. Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nat Neurosci* 2004; 7: 75-79.

47. Powers KL, Brooks PJ, Aldrich NJ, et al. Effects of video-game play on information processing: a meta-analytic investigation. *Psychon Bull Rev* 2013; 20:1055-1079.
48. Richmond LL, Morrison AB, Chein JM, Olson IR. Working memory training and transfer in older adults. *Psychol Aging* 2011; 26: 813-822.
49. Sagi Y, Tavor I, Hofstetter S. Learning in the fast lane: new insights into neuroplasticity. *Neuron* 2012; 73: 1195-1203.
50. Shipstead Z, Redick TS, Engle RW. Does working memory training generalize? *Psychol Belg* 2010; 50: 245-276.
51. Strobach T, Frensch PA, Schubert T. Video game practice optimizes executive control skills in dual-task and task switching situations. *Acta Psychol (Amst)* 2012; 140: 13-24.
52. Thorell LB, Lindqvist S, Bergman Nutley S, et al. Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Dev Sci* 2009; 12: 106-113.
53. van Muijden J, Band GPH, Hommel B. Online games training aging brains: limited transfer to cognitive control functions. *Front Hum Neurosci* 2012; 6: 221.
54. Voss MW, Prakash RS, Erickson KI, et al. Effects of training strategies implemented in a complex videogame on functional connectivity of attentional networks. *Neuroimage* 2012; 59: 138-148.
55. West GL, Stevens SA, Pun C, Pratt J. Visuospatial experience modulates attentional capture: Evidence from action video game players. *J Vis* 2008; 8: 1-9.
56. Willis SL, Schaie KW. Training the elderly on the ability factors of spatial orientation and inductive reasoning. *Psychol Aging* 1986; 1: 239-247.
57. Wilms IL, Petersen A, Vangkilde S. Intensive video gaming improves encoding speed to visual short-term memory in young male adults. *Acta Psychol (Amst)* 2013; 142: 108-118.