

Wydział Pedagogiki i Psychologii
doktorantka w Zakładzie Psychologii Klinicznej i Neuropsychologii

TERESA STASZAK-WĘGLARZ

*Zmienność przebiegu procesów poznawczych u kobiet w cyklu
miesiączkowym w świetle badań nad asymetrią półkulową
i działaniem czynników hormonalnych*

Variability of the cognitive processes in women during the menstrual cycle in view of the research
on hemispheric asymmetry and the influence of sex hormones

STRESZCZENIE

Hormony płciowe wpływają na zachowania zwierząt i ludzi. Potocznie przyjmuje się, że ich rola ogranicza się do zachowań seksualnych, w rzeczywistości sięga wczesnych etapów rozwoju ludzkiego mózgu, wpływając na kształtowanie asymetrii mózgowej, a także na zdolności poznawcze w życiu dorosłym człowieka. Żeńskie hormony płciowe wpływają pozytywnie na niektóre procesy poznawcze, na przykład na pamięć werbalną, a także mogą zapobiegać procesom neurodegeneracyjnym. Steroidy mają decydującą rolę w kształtowaniu się nie tylko narządów płciowych, ale także tkanki nerwowej. W ten sposób wpływają na budowę ciała i zachowanie człowieka od momentu poczęcia przez całe życie. Zmiany hormonalne, jakie zachodzą u kobiet w czasie cyklu miesiączkowego, wpływają na poziom wykonania zadań, w których specjalizuje się lewa lub prawa półkula mózgu. Zadania językowe lub wymagające sprawności manualnej są wykonywane najlepiej w środkowej fazie cyklu, gdy poziom estrogenu i progesteronu jest najwyższy, zaś zadania przestrzenne w fazie miesiączkowej, gdy poziom tych hormonów jest niski. Podobną zmienność stwierdza się u kobiet niemiesiączkujących, poddanych zastępczej terapii hormonalnej. Kobiety niemiesiączkujące i niepoddane zastępczej terapii hormonalnej takiej zmienności nie wykazują.

Słowa kluczowe: procesy poznawcze, hormony płciowe, cykl miesiączkowy

ROLA HORMONÓW PŁCIOWYCH W KSZTAŁTOWANIU ASYMETRII MÓZGOWEJ

WPLYW TESTOSTERONU NA ROZWÓJ MÓZGU W OKRESIE PRENATALNYM

Wyniki badań (Blum 2000, Dorner 1985, Ellis, Ebertz 1998, Grabowska 2001, Hampson, Kimura 1988) pokazują, że istnieje zależność pomiędzy po-

ziomem androgenów a ręcznością, orientacją seksualną i identyfikacją płciową, a także niektórymi zaburzeniami funkcji językowych, takimi jak dysleksja czy jąkanie. Zgodnie z teorią Geschwinda i Galaburdy (Geschwind, Galaburda 1987) rozwój mózgu w okresie prenatalnym jest uzależniony przede wszystkim od oddziaływania testosteronu. Półkule w prawidłowo dojrzewającym mózgu rozwijają się nierównomiernie, to jest prawa półkula rozwija się szybciej niż lewa. Jeżeli poziom testosteronu jest zbyt wysoki, ta asymetria zwiększa się przez stymulujące działania testosteronu na rozwój prawej półkuli. Prawa półkula dominuje wówczas nad lewą półkulą silniej niż w „przeciętnym” mózgu, w efekcie czego może dojść do rozwoju leworęczności lub zaburzeń związanych z mową, zaś zdolności wzrokowo-przestrzenne mogą rozwijać się ponadprzeciętnie. Z racji, że poziom testosteronu jest generalnie wyższy u mężczyzn niż u kobiet, zarówno leworęczność, jak i zaburzenia mowy i szczególne zdolności przestrzenne obserwuje się częściej u mężczyzn. Przyczyny takiego mechanizmu działania testosteronu nie są w pełni poznane, jednak większość badań wskazuje na nierównomierny rozkład receptorów tego hormonu w obu półkulach.

WPLYW ZMIAN HORMONALNYCH NA ROZWÓJ MÓZGU W OKRESIE DOJRZEWANIA

W celu pełniejszego poznania wpływu zmian hormonalnych zachodzących w czasie dojrzewania na rozwijający się mózg ludzki zespół Hausmanna (Hausmann i in. 2009) zbadał, przy użyciu metod obrazowania mózgu, zależne od płci różnice w objętości substancji szarej u 46 uczestników w wieku 8–15 lat. U chłopców stwierdzono większą objętość substancji szarej w lewym ciele migdałowatym w stosunku do dziewcząt, zaś u dziewcząt w prążkowie prawej półkuli mózgowej i obustronnie w hipokampie w stosunku do chłopców. Zróznicowane ze względu na płeć obszary były skorelowane ze stadiami dojrzałości płciowej według Skali Tannera i poziomem hormonów płciowych we krwi 30 uczestników badania. Niezależnie od płci zmienność objętości ciała migdałowatego i hipokampa stanowiła funkcję stadiów według Tannera i zależała od poziomu testosteronu we krwi osób badanych. Przeciwnie, objętość prążkowiecia była niezależna od rozwoju płciowego i poziomu hormonów płciowych. Analiza objętości mózgu jako całości wykazała pozytywną relację pomiędzy poziomem estrogenu we krwi a objętością obszarów okołohipokampalnych, jak również pomiędzy poziomem testosteronu a strukturami międzymózgowia. Ponadto wykazano negatywną korelację pomiędzy poziomem testosteronu i objętością obszarów ciemieniowych w lewej półkuli mózgu osób badanych. Dane te stanowią podstawę do wnioskowania, że rozwój objętości substancji szarej w poszczególnych regionach mózgu jest związany z procesem dojrzewania płciowego, a hormony płciowe oddziałujące w czasie pokwitania mogą odgrywać rolę organizującą wobec rozwijającego się mózgu.

Liben i współautorzy (Liben i in. 2002) przedstawili wyniki badania dotyczące roli steroidów u 55 adolescentów (średnia wieku 13,7 lat) leczonych z powodu opóźnionego procesu dojrzewania płciowego. Steroidy stymulujące wczesny, środkowy i późny okres dojrzewania oraz placebo podawano alternatywnie uczestnikom badania przez 21 miesięcy. Co 3 miesiące przeprowadzano z ich udziałem testy mierzące zdolności przestrzenne. Stwierdzono różnice płciowe w wykonaniu testów przestrzennych, jednak nie odnotowano zmienności wyników tych testów w zależności od poziomu steroidów we krwi osób badanych.

ROLA TESTOSTERONU W KSZTAŁTOWANIU WIELKOŚCI I ASYMETRII *CORPUS CALLOSUM*

Rolę testosteronu w kształtowaniu wielkości i asymetrii *corpus callosum* w życiu płodowym człowieka badał zespół Chura (Chura i in. 2010). Wykonano badanie MRI u 28 chłopców w wieku od 8 do 11 lat, u których ekspozycja na testosteron została zmierzona *in utero* w drugim trymestrze ich rozwoju płodowego. Wprawdzie nie stwierdzono zależności pomiędzy poziomem testosteronu a wielkością *corpus callosum* w przekroju strzałkowym, jednak wykazano, że rosnący poziom testosteronu istotnie koreluje ze wzrostem asymetrii prawostronnej tylnej części spoidła wielkiego (cieśni, *isthmus*), która ma projekcje głównie do obszarów ciemieniowych i górnych skroniowych mózgu. Wpływ testosteronu na prawostronną asymetrię *corpus callosum* może mieć skutek w asymetrycznej dystrybucji aksonów spoidła. Może też odgrywać istotną rolę w kształtowaniu dymorfizmu płciowego w funkcjonowaniu i budowie mózgu, a także w realizacji funkcji poznawczych i zachowania kobiet i mężczyzn.

TESTOSTERON A MÓZGOWA LATERALIZACJA U DZIECI

W innym badaniu Grimshaw i współautorzy szukali zależności pomiędzy prenatalnym poziomem testosteronu i mózgową lateralizacją u dzieci (Grimshaw i in. 1995). Odnosząc się do teorii Geschwinda i Galaburdy, Hines i Shipley oraz Witelson, skoncentrowanych wokół tematu wpływu steroidów na rozwój mózgu w krytycznym okresie życia płodowego, zespół Grimshaw poszukiwał związku pomiędzy poziomem testosteronu u płodów badanych z płynu owodniowego w drugim trymestrze ciąży a lateralizacją mowy, afektem i ręcznością tychże dzieci w wieku 10 lat. Dziewczęta z wyższym prenatalnym poziomem testosteronu były silniej praworęczne i miały mowę zlateralizowaną silniej w lewej półkuli mózgu. Chłopcy z wyższym prenatalnym poziomem testosteronu charakteryzowali się silniejszą prawopółkulową specjalizacją dla rozpoznawania emocji. Rezultaty te są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Witelson (Witelson 1991)

o roli prenatalnego testosteronu w kształtowaniu silniejszej lateralizacji funkcji w mózgu człowieka.

HORMONY PŁCIOWE A ORIENTACJA SEKSUALNA

Badania dotyczące powstawania różnic w orientacji seksualnej ludzi wskazują z dużym prawdopodobieństwem na rolę hormonów płciowych działających w życiu płodowym. Przyczyną homoseksualizmu mogą być subtelne różnice w budowie mózgu, które powstają wskutek nieprawidłowego działania androgenów w okresie prenatalnym (Dorner 1985). Meyer-Bahlburg i współautorzy (Meyer-Bahlburg i in. 1995) badali wpływ prenatalnego estrogenu na rozwój orientacji homoseksualnej. Grupa kobiet, których matki otrzymywały w czasie ciąży diethylstilbestrol (DES — syntetyczna forma estrogenu podtrzymująca ciążę) została porównana z grupą kontrolną w kontekście badań porównawczych dotyczących psychiatrycznych i psychicznych efektów ekspozycji na DES. Stwierdzono, że wśród kobiet z grupy eksperymentalnej więcej jest osób homoseksualnych i biseksualnych (punkty 2 do 6 na Skali Kinseya).

ORIENTACJA SEKSUALNA A RĘCZNOŚĆ

Zespół Lalumiere'a badał związek pomiędzy orientacją seksualną a ręcznością w metaanalizie 20 badań (Lalumiere i in. 2000). Porównano w nich proporcje osób niepraworęcznych do praworęcznych wśród 6987 homoseksualnych (6182 mężczyzn i 805 kobiet) i 16423 heteroseksualnych (14808 mężczyzn i 1615 kobiet) uczestników badań. Niepraworęczność u homoseksualnych uczestników występowała o 39% częściej niż praworęczność, w tym odpowiednio u homoseksualnych mężczyzn i kobiet 34% i 91%. Rezultaty te potwierdzają założenie, że orientacja seksualna u niektórych mężczyzn i kobiet może mieć neurorozwojowe podłoże, jednak czynniki odpowiedzialne za związek pomiędzy ręcznością i orientacją seksualną wymagają dalszych wyjaśnień. Autorzy dyskutowali trzy możliwości: lateralizację mózgową i prenatalną ekspozycję na hormony płciowe, reakcję immunologiczną matki na płód oraz niestabilność rozwojową.

RĘCZNOŚĆ A ORGANIZACJA ASYMETRII MÓZGOWEJ

RÓŻNICE W POZIOMIE TESTOSTERONU OSÓB LEWO- I PRAWORĘCZNYCH

Teoria Geschwinda zakłada prenatalnie wyższy poziom testosteronu oddziałującego na rozwijający się mózg osób leworęcznych niż praworęcznych, co jednak nie oznacza analogicznej dysproporcji hormonalnej w ich życiu dorosłym. W badaniu Moffat i Hampson (Moffat, Hampson 1996) udział wzięło 180 osób: 97 lewo- i 83 praworęcznych. Szukano związku pomiędzy indywidualnym poziomem testosteronu a wzorcem reprezentacji mowy przy użyciu metody rozdzielności słyszenia. Wśród leworęcznych uczestników istotnie wyższy poziom testosteronu wykazali badani z przewagą lewego ucha w teście rozdzielności słyszenia w stosunku do leworęcznych osób z przewagą prawego ucha. Wśród praworęcznych odnotowano odwrotną tendencję, co skutkowało statystycznie istotną interakcją. Wyniki innego badania Moffat i Hampson (Moffat, Hampson 2000) pokazały, że leworęczni mężczyźni i kobiety mają niższy poziom testosteronu badany z próbek śliny niż populacja osób praworęcznych. Wśród leworęcznych mężczyzn osoby z przewagą prawego ucha w teście rozdzielności słyszenia miały niższy poziom testosteronu niż osoby z przewagą lewego ucha, co pozostaje w zgodzie z założeniem o roli testosteronu w rozwoju preferencji ręki i lateralizacji funkcjonalnej mózgu.

2D:4D U MĘŻCZYŹN

Stosunek długości drugiego i czwartego palca (2D:4D) jest biomarkerem dla prenatalnego poziomu testosteronu. Stoyanov (Stoyanov i in. 2009) i współautorzy badali, czy 2D:4D koreluje z ręcznością u mężczyzn. Porównane zostały: stosunek 2D:4D u prawej ręki, lewej ręki, średniej 2D:4D z obu rąk i różnicy pomiędzy 2D:4D lewej i prawej ręki uczestników. Wartość różnicy pomiędzy 2D:4D lewej i prawej ręki leworęcznych uczestników była istotnie niższa niż u praworęcznych. Rezultat ten może być zinterpretowany jako dowód, że leworęczni uczestnicy badania byli poddani działaniu wyższego poziomu testosteronu w okresie prenatalnym niż osoby praworęczne.

LATERALIZACJA MOWY U OSÓB LEWO- I PRAWORĘCZNYCH

Niejednoznaczna jest kwestia lateralizacji mowy u osób prawo- i leworęcznych. Wyniki próby amyntalowej wskazują na lokalizację mowy w lewej półkuli u 95% osób praworęcznych i 70% leworęcznych. Pozostałe 30% leworęcznych osób charakteryzuje się bilateralną reprezentacją mowy (Loring i in. 1990). Dane

te pokazują, że organizacja mowy u osób lewo- i praworęcznych jest zasadniczo podobna, jednak wyniki badań klinicznych kreują bardziej skomplikowany jej obraz. Szanse wyzdrowienia z afazji są większe u osób leworęcznych, co tłumaczy się większą zdolnością prawej półkuli do przejęcia zagrożonych funkcji językowych (Subirana 1958). W eksperymentach z użyciem metody rozdzielności słyszenia i lateralnej prezentacji bodźców wzrokowych osoby leworęczne uzyskiwały wyniki wskazujące na mniejszą asymetrię międzypółkulową (Sanders, Wenmoth 1998). Przypuszcza się zatem, że funkcje językowe mogą być prezentowane bilateralnie u znacznie większej liczby osób leworęcznych, niż wskazuje na to Test Wady.

RĘCZNOŚĆ W UJĘCIU ANNETT I MCMANUSA

Ręczność jest najczęściej ujmowana jako cecha dychotomiczna. M. Annett zwraca jednak uwagę na nietrafność takiego podejścia. Według Annett ręczność stanowi kontinuum cechy indywidualnej, tak jak na przykład wzrost, i nie może być ujmowana w kategoriach wyłącznie prawo- lub leworęczności (Annett 2002). Odmienne stanowisko reprezentuje McManus (1984). Przyjmuje on, że dziedziczymy jedynie kierunek ręczności, zaś siła preferencji ręki jest wypadkową czynników środowiskowych. Podstawą oceny ręczności w tym ujęciu jest pisanie, które, jako najbardziej zlateralizowana czynność, stanowi dla wielu badaczy bazę do wnioskowania i podziału populacji pod względem ręczności. Istnieje wiele testów mierzących ręczność. Ich odmiennność rodzi pytania co do trafności i wyboru właściwego narzędzia pomiaru. Dyskusja toczy się wokół wykorzystania miar kwestionariuszowych *versus* wykonaniowych. Zwolenniczką tych drugich jest Annett, która uważa, że to właśnie możliwości ruchowe danej ręki są genetycznie uwarunkowane; preferencja ręki jest zaś cechą wtórną. Autorka wykazała w badaniach, że wyniki uzyskiwane w teście *pegboard* (*The Purdue Pegboard Test*) tworzą kontinuum i korelują z wynikami kwestionariuszy preferencji ręki. W „teorii przesunięcia w prawo” (*The Right Shift Theory*) Annett dowodzi, że w przypadku genu RS (-) asymetria lateralizacji wynika z losowej różnicy w rozwoju stron ciała, gdyż recesywna forma genu RS (-) nie determinuje ani lokalizacji mowy ani preferencji ręki (Annett 2006). Jednak obecny w części populacji gen RS (+) odpowiada za rozwój mowy w lewej półkuli, zwiększając prawdopodobieństwo, że prawa ręka będzie sprawniejsza. Teoria ta wyjaśnia zależność pomiędzy ręcznością a mózgową specjalizacją dla funkcji językowych, a także kwestię ręczności w rodzinach i parach bliźniaczych. Gen praworęczności jest dominujący, stąd niższy odsetek osób leworęcznych w populacji. Jeżeli rodzice przekazują potomstwu dwa geny leworęczności lub dwa geny praworęczności,

mówimy o ręczności zdecydowanej. W każdym innym przypadku powstający układ heterozygotyczny jest bardziej skomplikowany.

Milan Dragovic i Geoff Hammond (Dragovic, Hammond 2007) użyli Kwestionariusza Preferowanej Ręki Annett (*The Annett Hand Preference Questionnaire*) w celu podziału badanych osób ze względu na ręczność. Modele klasyfikacji ręczności w grupach od jednej do ośmiu zostały poddane pięciu analizom statystycznym. W rezultacie stwierdzono, że statystycznie uzasadniona jest klasyfikacja osób badanych w trzech grupach jako 1) zdecydowanie praworęcznych, 2) zdecydowanie leworęcznych, 3) zmiennych i mieszanych pod kątem ręczności. Poszczególne grupy oszacowane zostały kolejno na około 66,0%, 9,8%, 24,2% dla próby 352 losowo wybranych z populacji osób.

ASYMETRIA I INTEGRACJA PÓLKULOWA

W ciągu ostatnich 20 lat eksperymenty behawioralne i elektrofizjologiczne konsekwentnie wskazywały na istnienie asymetrii współdziałania między półkulami (Steinmetz i in. 1992). Niekwestionowana jest pierwszoplanowa rola *corpus callosum* w procesie komunikacji pomiędzy prawą i lewą półkulą mózgu. Okazuje się, że transmisja informacji z udziałem spoidła wielkiego odbywa się szybciej z prawej do lewej półkuli niż odwrotnie dla większości procesów behawioralnych i poznawczych. Ta asymetria jest szczególnie widoczna dla 18 i 19 pola Brodmanna po obu stronach, co jest zgodne z klasycznymi neuroanatomicznymi i neuropsychologicznymi danymi odnoszącymi się do połączeń pól wzrokowych. Przyczyn asymetrii transmisji międzypółkulowej upatruje się w asymetrycznym układzie włókien nerwowych w *corpus callosum* lub w specjalizacji półkulowej.

Barnett i Corballis (Barnett, Corballis 2005) sugerują, że asymetria ta jest rezultatem wyższej aktywności wynikającej z większej liczby szybko przewodzących zmielinizowanych włókien w prawej półkuli mózgu niż w lewej. W badaniu autorzy mierzyli czas wymiany informacji między półkulami mózgowymi (*interhemispheric transfer times* IHTTs) u 13 uczestników płci męskiej poprzez porównywanie latencji i amplitud potencjałów wywołanych ipilateralnie i kontrlateralnie z bodźcem wzrokowym prezentowanym do lewego lub prawego pola widzenia. Oszacowane czasu IHT uzyskano z trzech homologicznych par elektrod. Na podstawie analizy czasu reakcji na bodziec w każdym z pól widzenia nie stwierdzono dominacji prawej półkuli dla wykonywanego zadania. Wynioskowano, że szybszy czas transferu informacji z prawej do lewej półkuli może wynikać z wydajniejszego przewodnictwa aksonalnego w prawej półkuli w stosunku do półkuli lewej.

PŁEĆ A ASYMETRIA FUNKCJONALNA I STRUKTURALNA MÓZGU U NOWORODKÓW

Wyniki dotychczasowych badań sugerują, że organizacja OUN w regulacji różnic płciowych jest procesem rozpoczynającym się w życiu płodowym i dalej trwającym. Szczególną rolę odgrywają w nim hormony płciowe. Androgeny stymulują synaptogenezę i namnażanie się komórek oraz wzrost nerwów, a także ograniczają eliminację synaps (Grabowska 2005). Jako że w rozwijającym się mózgu neurony konkurują o możliwość utworzenia połączeń nerwowych (te, które ich nie wytworzą, giną), jest to proces kluczowy w kształtowaniu się tkanki mózgowej. Receptory androgenów i estrogenów są rozłożone w mózgu nierównomiernie. Na przykład u makaków stwierdzono, że ich rozkład w płatach czołowych jest bardziej niesymetryczny u samców niż u samiczek. W okolicach wrażliwych na dany hormon (więcej receptorów) komórki wychwytyują go więcej, a tym samym jego oddziaływanie w danym obszarze mózgu jest silniejsze. Może to oznaczać nierównomierną liczbę synaps w obu półkulach mózgu, a co za tym idzie – różnice w asymetrii i specjalizacji półkulowej u osobników obu płci. Na mózgi płodów męskich oddziałuje wyższy poziom androgenów niż na mózgi płodów kobiecych, dlatego mózgi kobiece są bardziej symetryczne niż mózgi męskie.

Materiał genetyczny kobiet i mężczyzn nie różni się niczym poza chromosomem płci; u kobiet – X, u mężczyzn – Y. Samo istnienie chromosomu męskiego lub żeńskiego nie przesądza jednak o ukształtowaniu się osobnika danej płci. Decydującą rolę odgrywają hormony płciowe, które od 6 tygodnia życia prenatalnego są wytwarzane przez jądra. Jeżeli z jakichś względów androgeny nie zadziałają, osobnik z chromosomem Y urodzi się jako dziewczynka, lub – przy nieprawidłowej sekrecji hormonów na płód żeński – chłopczyk. Zmiany mogą dotyczyć narządów płciowych zewnętrznych i wewnętrznych (Grabowska 2005). Zgodnie z teorią Geschwinda i Galaburdy, istnieje zależność pomiędzy poziomem testosteronu działającym na płód a organizacją rozwijającego się mózgu. Hipoteza ta, choć kontrowersyjna, stała się podstawą wielu badań dotyczących różnic w budowie mózgu kobiet i mężczyzn. Kobiety i mężczyźni produkują hormony żeńskie, jak i męskie, przy czym kobiety więcej hormonów żeńskich – estrogenu i progesteronu, a mężczyźni męskich – testosteronu i androgeny. Hormony kierują różnicowaniem płciowym we wczesnej fazie rozwoju zarodkowego i decydują o zachowaniach związanych z płcią. W badaniach na gryzoniach męskie osobniki pozbawione androgenów po urodzeniu wykazywały żeńskie zachowania seksualne w życiu dorosłym. Analogicznie żeńskie osobniki, którym podawano męskie hormony płciowe, cechowały się w późniejszym okresie życia zachowaniami charakterystycznymi dla samców (Collaer, Hines 1995).

Jakie są różnice w asymetrii funkcjonalnej i strukturalnej mózgu u obu płci w najwcześniejszym etapie życia człowieka? Badacze z zespołu Gilmore (Gil-

more i in. 2007) dokonali analizy obrazów struktury mózgu 74 noworodków w pierwszych tygodniach po narodzinach. Stwierdzili silniejszy wzrost objętości substancji szarej w stosunku do wzrostu substancji białej, znacznie szybszy w obszarach potylicznych niż przedczołowych. Dymorfizm płciowy mózgu jest widoczny w chwili narodzin – chłopcy mają większą ogólną objętość substancji białej i szarej niż dziewczynki. W przeciwieństwie do osób dorosłych i starszych u dzieci lewa półkula jest większa niż prawa, a czołowo-potyliczny wzorec asymetrii nie jest obecny. Regionalne różnice we wzroście objętości substancji szarej mózgu tuż po urodzeniu są prawdopodobnie związane ze zróżnicowanym dojrzewaniem systemu czuciowego i motorycznego mózgu w porównaniu ze zlokalizowanymi w obszarze przedczołowym funkcjami wykonawczymi.

Podsumowując, niektóre różnice płciowe są obecne w mózgu od momentu narodzin, inne rozwijają się później.

ROLA *CORPUS CALLOSUM* W KSZTAŁTOWANIU DYNAMIKI INTERAKCJI MIĘDZYPÓLKULOWYCH

Corpus callosum jest główną ścieżką łączącą homologiczne regiony korowe obu półkul mózgowych. Obecnie dostępne techniki neuroobrazowania umożliwiają badanie żywego zdrowego mózgu w celu ugruntowania wiedzy na temat jego funkcjonowania, w tym organizacji funkcjonalnej i strukturalnej spoidła wielkiego. Różnorodne topograficznie subregiony *corpus callosum* łączą się z określonymi, specyficznymi pod względem pełnionej funkcji obszarami mózgu. Mniejsze, wolniej przewodzące włókna łączą się z obszarami asocjacyjnymi wyższego rzędu, zaś większe, szybko przewodzące włókna z korą wzrokową, ruchową i drugorzędową korą somatosensoryczną (Doron, Gazzaniga 2008). Mniejszy rozmiar włókien nerwowych i słabsza komunikacja międzypółkulowa może wiązać się z ograniczoną potrzebą wymiany informacji między półkulami, co z kolei wynika ze zwiększonej komunikacji wewnątrzpółkulowej i specjalizacji funkcjonalnej. Ponadto zakłada się, że lateralizacja funkcji, jaką obserwujemy w ludzkim mózgu, dokonuje się zgodnie z ewolucyjnym kontinuum. Specjalizacja półkulowa ogranicza dublowanie się funkcji mózgowych. Mikrostruktura i wzorce komunikacji z udziałem *corpus callosum* stanowią podstawę zrozumienia ewolucji lateralizacji i asymetrii międzypółkulowej.

Interesująca jest kwestia roli, jaką spoidło wielkie spełnia w tej komunikacji: czy jest to rola pobudzająca, czy hamująca? Bloom i Hynd (Bloom, Hynd 2005) dokonali przeglądu studiów dotyczących kalozotomii, wrodzonej agenezji ciała modzelowatego, zaburzeń językowych, teorii lateralizacji i asymetrii międzypółkulowej w celu zbadania i porównania tych dwóch konkurujących teorii. Stwierdzono, że *corpus callosum* pełni przede wszystkim rolę pobudzającą. Jednak ist-

nieją dowody popierające obie teorie. Zatem pozostaje prawdopodobieństwo, że *corpus callosum* pełni zarówno funkcję pobudzającą, jak i hamującą w procesie komunikacji półkul mózgowych.

ASYMETRIA ANATOMICZNA *CORPUS CALLOSUM* W KONTEKŚCIE WIEKU, PŁCI I RĘCZNOŚCI

Wyniki badań dotyczących różnic w budowie *corpus callosum* kobiet i mężczyzn są sprzeczne. Zgodnie z badaniami Petersa (1988), mimo istotnych różnic w wielkości mózgów obu płci, wielkości *corpus callosum* nie różnią się proporcjonalnie. Steinmetz i współautorzy szukali zależności pomiędzy wielkością ciała modelowego a ręcznością i płcią (Steinmetz i in. 1992). Stwierdzili brak zależności pomiędzy wielkością *corpus callosum* a ręcznością oraz niezależną od ręczności relację pomiędzy wielkością cieśni a płcią (większa u kobiet), a także niewielkie różnice w wielkości całego *corpus callosum* u obu płci (część jest nieco większe u kobiet). Podobne wyniki badań uzyskała Witelson (Witelson 1995). Stwierdziła, że po uwzględnieniu masy mózgu ciało modelowe kobiet i mężczyzn nie różni się wielkością, jednak cieśń zakrętu obręczy jest proporcjonalnie większa u kobiet. Ponadto wykazała, że u mężczyzn ciało modelowe zmniejsza się wraz z wiekiem i zależy od ręczności, czego nie zanotowała u kobiet. Częściowo odmienne wnioski sformułowali Allen i Gorski (Allen i in. 1991). Analiza skanów mózgów 146 zdrowych osób wykazała istotne różnice w kształcie płata ciała modelowego (*splenium*), które u kobiet miało kształt zgrubiały, a u mężczyzn bardziej wydłużony. Istotnych różnic w ogólnej wielkości spoidła obu płci także nie znaleziono. Zespół Welcome (Welcome i in. 2009) szukał behawioralnych korelatów wielkości *corpus callosum*, analizując zmienność tej relacji w grupach osób różniących się ze względu na płeć i ręczność. Rezultaty badania pokazały, że u mężczyzn o ręczności zdecydowanej powierzchnia *corpus callosum* była negatywnie skorelowana z lateralizacją behawioralną. U mężczyzn z ręcznością mieszaną i kobiet o zdecydowanej ręczności nie znaleziono badanych zależności. Najsilniejszy związek zaobserwowano u kobiet o mieszanej ręczności, u których asymetria behawioralna była pozytywnie skorelowana z powierzchnią *corpus callosum*.

Rezultaty badania Burke i Yeo (1994) pokazały, że rozmiar *corpus callosum* może być zależny od indywidualnej zmienności lateralizacji mózgowej. Wyniki badań Burke i Yeo przeprowadzone z udziałem 97 osób pokazały, że czynniki determinujące wielkość *corpus callosum* u kobiet i mężczyzn różniły się. U mężczyzn wielkość obszaru tylnej części *corpus callosum* była zależna od siły preferencji prawej ręki i objętości tylnej części lewej półkuli mózgu (im silniejsza preferencja prawej ręki i większa objętość tylnej części lewej półkuli, tym większy obszar tylnej części *corpus callosum*). Z kolei u kobiet niepraworęcz-

ność predysponowała do większego rozmiaru *corpus callosum*, a większa objętość tylnej części lewej półkuli wiązała się z większą grubością *corpus callosum* w przekroju strzałkowym.

ZDOLNOŚCI POZNAWCZE I LATERALIZACJA MOWY A BUDOWA *CORPUS CALLOSUM*

Czy istnieje bezpośredni związek pomiędzy fluencją werbalną, zdolnościami wzrokowo-przestrzennymi i lateralizacją mowy a budową *corpus callosum*? Badaniami objęto 28 kobiet w wieku 20–45 lat, które wykonały testy mierzące zdolności poznawcze w celu porównania uzyskanych wyników z wielkością poszczególnych subregionów *corpus callosum* (Hines i in. 1992). Przy użyciu MRI zbadane zostały powierzchnie płata (*splenium*), cieśni (*isthmus*), pnia (*truncus*) i kolana (*genu*) *corpus callosum* w przekroju strzałkowym. Stwierdzono, że fluencja werbalna koreluje pozytywnie, a lateralizacja językowa negatywnie z obszarem *splenium*. Innych znaczących zależności nie znaleziono. Rezultaty te są istotne dla zrozumienia czynników zaangażowanych w rozwój zróżnicowanych ze względu na płeć funkcji poznawczych i poznania neuronalnych podstaw lateralizacji językowej i zdolności werbalnych.

DZIAŁANIE CZYNNIKÓW HORMONALNYCH A RÓŻNICE W FUNKCJONOWANIU POZNAWCZYM KOBIEC W CYKLU MENSTRUACYJNYM

Hormony płciowe odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu się różnic płciowych. Od chwili poczęcia ich poziom wpływa na rozwój nie tylko narządów płciowych, ale także tkanki mózgowej. W ten sposób hormony determinują zachowania seksualne i modyfikują funkcjonowanie człowieka na przestrzeni całego jego życia. Androgeny działają na rozwijający się płód w dwojaki sposób: defeminizująco i jednocześnie maskulinizująco. Pod wpływem androgenów mózg kształtuje się w sposób charakterystyczny dla osobników męskich – ma odpowiednio rozwinięte struktury odpowiedzialne za męskie zachowanie seksualne i jest bardziej asymetryczny oraz stymuluje rozwój obwodów wrażliwych na androgeny. Ich pobudzenie wywołuje zachowania agresywne, charakterystyczne dla samców (Grabowska 2003). Proces feminizacji i demaskulinizacji nie wymaga ekspozycji hormonów, jednakże istnieją sprzeczne dowody wskazujące na rolę hormonów żeńskich zarówno w procesie feminizacji i demaskulinizacji, jak i defeminizacji i maskulinizacji. Podanie żeńskim noworodkom gryzoni blokera estrogenu (tamoxifen) powoduje ich defeminizację, co wyraża się w ograniczeniu typowych dla samic zachowań reprodukcyjnych. Tamoxifen działa również maskulinizująco na budowę *corpus callosum* i grubość kory nowej. Podobne zmiany powoduje

usunięcie jajników we wczesnej fazie życia samic. Z drugiej strony tamoxifen podany samicom w krótkim czasie po urodzeniu powoduje zahamowanie wzrostu i zmniejszenie objętości zwojów mózgowych związanych z zachowaniami seksualnymi, a więc demaskulinizację. Kierunek działania żeńskich hormonów (feminizacja i demaskulinizacja *versus* defeminizacja i maskulinizacja) może zależeć od skali i czasu ekspozycji na estrogeny. Ludzie, podobnie jak zwierzęta, wykazują różnice płciowe od najwcześniejszych faz rozwoju płodowego. Osobniki męskie charakteryzują się podwyższonym poziomem testosteronu, w szczególności w okresie około 8–24 tygodnia ciąży do 6 miesięcy po urodzeniu. Osobniki żeńskie najprawdopodobniej produkują estrogeny w okresie prenatalnym, nie ma jednak pewności, jaka część tego hormonu jest efektem pracy jajników płodu. Poziom estradiolu wzrasta u nich istotnie po urodzeniu i wpływa na sposób funkcjonowania poznawczego przez całe życie (Collaer, Hines 1995).

Psychoneuroendokrynologia pozwala zrozumieć charakter zaburzeń psychicznych towarzyszących chorobom endokrynologicznym. Układ nerwowy i endokryny pozostają w zależności strukturalno-czynnościowej i pełnią rolę regulacyjną wobec funkcjonowania całego organizmu. Ośrodkowy układ nerwowy działa poprzez neurohormony podwzgórzowe, regulując wydzielanie hormonów obwodowych oraz działających na narządy wewnętrzne, w tym mózg. Nieprawidłowa sekrecja hormonów może powodować wiele zmian w funkcjonowaniu człowieka, takich jak trudności z kontrolą reakcji emocjonalnych i zachowań społecznych lub powodować występowanie deficytów poznawczych. Współdziałając z ośrodkowym układem nerwowym, hormony odgrywają istotną rolę w kształtowaniu zachowań seksualnych, społecznych, a także wyższych funkcji psychicznych. Hormony działają na cały organizm lub wybrane narządy, a ich poziom zmienia się w przebiegu ontogenezy oraz w zależności od fazy cyklu – dobowego, miesięcznego. Niedobór lub nadmiar hormonów może powodować choroby gruczołów wydzielania wewnętrznego. Do objawów chorobowych należą między innymi zaburzenia widzenia, bóle głowy, otyłość. Ponadto schorzeniom układu endokrynnego niejednokrotnie towarzyszą zaburzenia poznawcze. Ważną rolę w kształtowaniu poziomu funkcjonowania poznawczego jednostki odgrywają hormony płciowe. Typowy przykład różnic międzypłciowych dotyczy wykonania zadań o charakterze werbalnym i wzrokowo-przestrzennym przez kobiety i mężczyzn (kobiety wykonują zadania werbalne na wyższym poziomie niż mężczyźni, a mężczyźni lepiej wykonują zadania wzrokowo- przestrzenne). Jednak wyniki te różnią się nieznacznie.

Odmierna organizacja mózgow kobiet i mężczyzn powoduje, że skutki uszkodzeń kory mózgowej u obu płci są różne. Większa asymetria funkcjonalna mózgow męskich wiąże się zwykle z głębszym upośledzeniem określonej funkcji poznawczej w przypadku uszkodzenia struktur z nią związanych. W mózgach kobiecych te obszary są bardziej rozproszone, tak więc funkcje uszkodzonego obsza-

ru mogą być w pewnym stopniu przejęte przez inne regiony. Potwierdzeniem tej teorii są wyniki badań z udziałem osób z lewo- i prawostronnymi uszkodzeniami mózgu, przeprowadzonych przez zespół badawczy z Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN i Kliniki Neurochirurgii Akademii Medycznej w Warszawie (Grabowska i in. 1999). Stwierdzono, że uszkodzenie mózgu wiąże się z nasileniem złudzeń wzrokowych, np. czego dowodem jest złudzenie strzały Mullera-Lyera: ułożenie grotów strzał na końcach równej długości odcinków powoduje, że są one postrzegane jako różne – odcinek z grotami odwróconymi na zewnątrz wydaje się dłuższy. Nasilenie złudzeń optycznych występuje jednak u mężczyzn tylko po uszkodzeniach prawostronnych, a u kobiet zarówno po uszkodzeniach prawo-, jak i lewostronnych. To może oznaczać, że regiony związane z funkcjami wzrokowo-przestrzennymi są bardziej skoncentrowane w prawej półkuli męskich mózgów i bilateralnie w mózgach kobiecych. Niewykluczone, że ta asymetria jest podstawą przewagi mężczyzn nad kobietami w zadaniach wymagających zdolności przestrzennych. W przypadku funkcji językowych wyniki badań są analogiczne. W zadaniu oceny zlepek literowych jako rymujących się lub nie badanie MRI pokazało zwiększoną aktywność obszarów czołowych związanych z funkcjami językowymi w lewej półkuli u mężczyzn i podobnych regionów, lecz bilateralnie, u kobiet (Shaywitz 1995).

Obszarem umożliwiającym bardziej dogłębne poznanie roli hormonów w procesach poznawczych są badania osób z rozwojowymi nieprawidłowościami wpływającymi na poziom hormonów, ze zmniejszonym poziomem hormonów – naturalnie lub sztucznie, i z niestabilnym poziomem hormonów w przebiegu choroby np. otypcyjnej. Przykładowo u dziewcząt, które w okresie prenatalnym zostały poddane działaniu wyższej niż przeciętnie ilości androgenów (najczęściej w wyniku przerostu kory nadnerczy), następują nieodwracalne zmiany w rozwijającym się mózgu oraz maskulinizacja narządów rozrodczych. Zmiany mózgowie powodują występowanie u nich typowo chłopięcych zachowań, charakteryzują się obniżoną sprawnością pamięci krótkotrwałej i trudnościami w uczeniu się (Erlanger i in. 1999). Badania kobiet poddanych hormonalnej terapii zastępczej w okresie menopauzy pokazały, że podanie im estradiolu przez okres 1 roku spowodowało wzrost inteligencji werbalnej (brak na skali bezsłownej). Efekt ten trwał do roku po zaprzestaniu kuracji zastępczej, co wskazuje na krótkotrwały efekt działania estradiolu i wpływ jego aktualnego poziomu na jakość funkcjonowania poznawczego (Grabowska 2005b). Ponadto wykazano, że zażywanie estradiolu zmniejsza zagrożenia wystąpienia choroby otypcyjnej lub spowalnia jej rozwój, co jest widoczne w poprawie pamięci i koncentracji kobiet stosujących terapię zastępczą. Podobne efekty przyniosło podawanie estrogenu kobietom po operacji usunięcia jajników.

Badania przeprowadzone z udziałem kobiet będących w różnych fazach cyklu menstruacyjnego pokazały, że zmieniający się w czasie trwania cyklu poziom

hormonów płciowych modyfikuje wzorzec asymetrii półkulowej oraz asymetrii interakcji międzypółkulowych, wpływając w ten sposób na wykonanie zadań, w których płcie wykazują duże różnice. W badaniu Hausmanna i jego zespołu (Hausmann i in. 2002) analizowano poziom progesteronu, estradiolu, testosteronu, LH (hormon luteinizujący) i FSH (hormon folikulotropowy) z próbek krwi 12 kobiet co 3 dni. Jednocześnie badano asymetrię funkcjonalną mózgu (FCA) w zadaniach: decyzje leksykalne, rozpoznawanie figur oraz rozróżnianie twarzy poprzez prezentacje bodźców do lewego i prawego pola widzenia. Badania pokazały, że wzrost poziomu progesteronu wpływa na zwiększenie wydajności lewej półkuli, powodując redukcję asymetrii funkcjonalnej półkul w zadaniach rozpoznawania figur, w których lewa półkula jest mniej wyspecjalizowana niż półkula prawa. Wpływ estradiolu był niejednoznaczny. W badaniach poprzecznych stwierdzono niezależny od zadania istotny wpływ estradiolu na czas reakcji na bodziec w lewym i prawym polu widzenia (wydłużenie czasu odpowiedzi) podczas fazy folikularnej. Ponadto poziom estradiolu korelował dodatnio z liczbą poprawnych odpowiedzi w zadaniu porównywania figur w obu polach widzenia w fazie folikularnej i środkowej lutealnej, lecz nie wykazywał związku ze stopniem asymetrii funkcjonalnej mózgu w tychże fazach cyklu. Inne wyniki osiągnięto w badaniach longitudinalnych, gdzie wykazano wpływ estradiolu na poziom asymetrii funkcjonalnej mózgu. W zadaniach porównywania figur poziom estradiolu wpływał na redukcję asymetrii czasu odpowiedzi, zaś w zadaniach decyzji leksykalnych – na jej zwiększenie. Zależne od estradiolu zmiany w lateralizacji wykryte w badaniu longitudinalnym korespondują z badaniami z użyciem testu rozdzielności słyszenia (Peters 1995) i stanowią alternatywne wyjaśnienie zmian w asymetrii funkcjonalnej mózgu, występujących w czasie faz cyklu menstruacyjnego. Jest zatem możliwe, że zmiany w asymetrii funkcjonalnej mózgu w czasie fazy środkowej lutealnej wynikają z aktywującej roli estradiolu, nie zaś jedynie z modulującego wpływu progesteronu.

Badania wskazują na rolę hormonów żeńskich w modulacji asymetrii percepcyjnej. Uczestnicy kolejnego badania wykonali testy tachistoskopowe i rozdzielności słyszenia z użyciem bodźców werbalnych i niewerbalnych, w fazie menstrualnej i środkowej lutealnej cyklu (Mead, Hampson 1996). Analiza rezultatów badań tachistoskopowych pokazała, że trafność odpowiedzi dla lewego pola widzenia, lecz nie dla prawego pola widzenia, była istotnie niższa dla zadań werbalnych i niewerbalnych w fazie środkowej lutealnej niż w fazie menstrualnej. Wyniki dla prawego ucha w zadaniach niewerbalnych były istotnie niższe w fazie środkowej lutealnej. Wyniki te wskazują na wyższość procesów prawopółkulowych i redukcji wydajności transferu międzypółkulowego przy wyższym poziomie żeńskich hormonów płciowych.

Analogiczne rezultaty uzyskiwano w serii podobnych badań. I tak w badaniu z użyciem dwóch wersji Testu Banich-Belger (Bayer i in. 2008) zadaniem

uczestników było dopasowanie liter pod względem ich fizycznego (A i A) i semantycznego (A i a) podobieństwa. Bodźce były prezentowane w jednym lub obu polach widzenia. Ponadto określano czas wymiany informacji między półkulami mózgowymi (IHTTs) w zadaniu skonstruowanym zgodnie z paradygmatem Poffenbergera. Przebadano 17 kobiet z normalnymi cyklami menstruacyjnymi w czasie menstruacji (niski poziom progesteronu) i w fazie środkowej lutealnej (wysoki poziom progesteronu). Poziom progesteronu określano z próbek śliny. Ponadto 15 kobiet po menopauzie wykonało te same zadania w analogicznych odstępach czasowych; 28 osób z grupy kontrolnej przebadano raz. Zgodnie z rezultatami wcześniejszych badań bardziej skomplikowane (semantyczne) zadania wzmocniły integrację międzypółkulową, poprzez międzypółkulowy podział pracy optymalizujący wykonanie zadania (*across-field advantage*, AFA), we wszystkich trzech grupach. Jednakże u kobiet regularnie miesiączkujących AFA była istotnie obniżona w czasie menstruacji. IHTT nie zmieniał się w ciągu cyklu menstruacyjnego. Jednak w czasie fazy lutealnej AFA była zwiększona, co sugeruje zależność integracji międzypółkulowej od oddziałujących wówczas hormonów.

W kolejnym badaniu (Hausmann, Güntürkün 2000) uczestnicy (kobiety z regularnymi cyklami menstruacyjnymi, młodzi mężczyźni i kobiety po menopauzie) wykonali prototypowe zadanie angażujące głównie lewą półkulę (decyzje leksykalne) i dwa prawopółkulowe zadania (porównywanie figur i rozpoznawanie twarzy). We wszystkich trzech zadaniach wykazano istotną interakcję pomiędzy fazą cyklu menstruacyjnego i polem widzenia u młodych kobiet. Stwierdzono znaczący wpływ progesteronu na lateralizację w zadaniach porównywania figur w związku ze wzmacniającym wpływem tego hormonu na wydajność lewej półkuli mózgu. Na podstawie uzyskanych wyników autorzy wnioskuje, że progesteron redukuje transmisję międzypółkulową poprzez wyciszenie pobudzającego wpływu kwasu glutaminowego na neurony ruchowe, jak też poprzez wzmacnianie hamującego wpływu kwasu gamma-aminomasłowego (GABA). Ten podwójny efekt prowadzi do osłabienia współpracy półkul i tym samym przejściowej redukcji asymetrii międzypółkulowej.

Inne badanie zespołu Hausmanna (Holländer i in. 2005) dotyczyło wpływu modulacji hormonalnej na asymetrię międzypółkulową w kontekście zjawiska znanego jako *attentional blink* (refrakcja uwagi, „mrugnięcie uwagowe”, ograniczona zdolność do spostrzeżenia bodźca eksponowanego 200 ms po bodźcu poprzedzającym). Zanotowano *attentional blink* w obu polach widzenia w fazie środkowej lutealnej, ale tylko w prawym polu widzenia w czasie menstruacji. Wyciągnięto wnioski, że niski poziom steroidów ogranicza mrugnięcie uwagowe do lewej półkuli, a wysoki poziom estradiolu i progesteronu w fazie środkowej lutealnej obniża asymetrię funkcjonalną poprzez selektywny wzrost *attentional blink* w prawej półkuli. Ten efekt wydaje się w większym stopniu zależny

od zmian poziomu estradiolu niż progesteronu i jest zgodny ze stwierdzeniem o związanym z poziomem hormonów tłumieniu aktywności prawej półkuli w czasie fazy środkowej lutealnej.

Celem kolejnego badania (Hausmann i in. 2000) było wykazanie różnic w poziomie wykonania trzech zadań angażujących zdolności przestrzenne w fazie środkowej lutealnej i podczas menstruacji oraz stwierdzenie, które z oddziałujących wówczas hormonów mają wpływ na te zmiany. Największe różnice zanotowano w wykonaniu testu wyobraźniowej rotacji figur (*The Mental Rotation Test*) – kobiety osiągnęły w nim najwyższe wyniki w czasie menstruacji, a najniższe w fazie środkowej lutealnej. Stwierdzono silny pozytywny wpływ testosteronu i negatywny estradiolu na wykonanie tego testu. Te rezultaty jednoznacznie wskazują na modulujący wpływ testosteronu i estradiolu na zdolności przestrzenne w czasie cyklu menstruacyjnego.

Oprócz zdolności przestrzennych Hampson i Kimura analizowały zdolności motoryczne kobiet w czasie cyklu menstruacyjnego (Hampson, Kimura 1988). Użyto trzech testów: *Manual Sequence Box*, *Purdue Pegboard* i uderzeń palcem wskazującym (*finger-tapping*) w celu zmierzenia koordynacji manualnej kobiet. Stwierdzono zwiększoną prędkość koordynacji ruchowej w fazie środkowej lutealnej, co pozostaje w zgodzie z hipotezą o lepszym wykonaniu typowo kobiecych zadań w czasie podwyższonego poziomu żeńskich hormonów płciowych.

Przytoczone powyżej badania są jednymi z wielu poruszających tematykę funkcjonowania poznawczego kobiet w cyklu menstruacyjnym. Formułowane na podstawie uzyskiwanych wyników wnioski są podobne; stwierdza się istotne statystycznie różnice w poziomie zdolności werbalnych i wzrokowo-przestrzennych kobiet w fazie menstrualnej i środkowej lutealnej cyklu. Wiążą się one z poziomem hormonów płciowych – różnym w poszczególnych fazach cyklu menstruacyjnego. Fluktuacje poziomu hormonów wywołują zmiany w nasileniu transferu między półkulami mózgu oraz powodują wzmożenie aktywności jednej z nich, skutkując różnym sposobem wykonywania zadań typowo męskich i typowo kobiecych.

Sposób funkcjonowania poznawczego kobiety zmienia się zarówno cyklicznie – w okresie jej aktywności rozrodczej, jak i w czasie całego życia w związku z okresem menopauzalnym. Wiedza zdobyta dzięki badaniom dotyczącym roli hormonów płciowych w kształtowaniu sposobu funkcjonowania poznawczego kobiet pozwala im na optymalne przygotowanie się do zmian w sposobie ich funkcjonowania i, dzięki osiągnięciom medycyny, jak najlepsze wykorzystanie zasobów zdrowia fizycznego i psychicznego, tak szczególnych w przypadku przedstawicielek płci pięknej.

SUMMARY

Sex hormones influence behavior of animals and humans. We are used to think that their role is connected exclusively with sexual behavior. In fact, sex hormones play an important role in early stages of humans' brain development, shape the asymmetry of a brain and influence significantly cognitive functions in an adult human life. Female sex hormones enhance verbal memory and prevent some neurodegenerative diseases. Steroids are crucial for forming the gonads and nervous tissue; they influence human life from the very beginning until its end.

The changes in the level of femal sex hormones during the menstrual cycle influence the abilities in different tasks specific to the left or the right hemisphere. Verbal and manual skills are better performed by women at the midluteal phase of the menstrual cycle, when the level of estrogen and progesterone is high. At the menstrual phase, when the level of these hormones is lower, tasks demanding spatial skills are better performed. Analyses revealed the similar variability in performance in postmenopausal women taking hormone replacement therapy.

Key words: cognitive processes, sex hormones, menstrual cycle

BIBLIOGRAFIA

- Allen L., Richey M., Chai Y., Gorski R. (1991). *Sex differences in the corpus callosum of the living human being*, „Journal of Neuroscience”, 11, s. 933–942.
- Annett M. (2002). *Handedness and Brain Asymmetry. The Right Shift Theory*, New York: Taylor and Francis Inc.
- Annett M. (2006). *The right shift theory of handedness and brain asymmetry in evolution, development and psychopathology*, „Cognition, Brain, Behavior”, X, 2, s. 235–250.
- Barnett K. J., Corballis M. C. (2005). *Speeded right-to-left information transfer: the result of speeded transmission in right-hemisphere axons?*, „Neuroscience Letters”, 380, s. 88–92.
- Bayer U., Kessler N., Güntürkün O., Hausmann M. (2008). *Interhemispheric interaction during the menstrual cycle*, „Neuropsychologia”, 46, s. 2415–2422.
- Bloom J. S., Hynd G. W. (2005). *The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition?*, „Neuropsychology Review”, 15, 2, s. 59–71.
- Blum D. (2000). *Mózg i płeć. O biologicznych różnicach między kobietami a mężczyznami*, Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Burke H. L., Yeo R. A. (1994). *Systematic variations in callosal morphology: the effects of age, gender, hand preference, and anatomic asymmetry*, „Neuropsychology”, 8; 4, s. 563–571.
- Chura L. R., Lombardo M. V., Ashwin E., Auyeung B., Chakrabarti B., Bullmore E. T., Baron-Cohen S. (2010). *Organizational effects of fetal testosterone on human corpus callosum size and asymmetry*, „Psychoneuroendocrinology”, 35, s. 122–132.
- Collaer M. L., Hines M. (1995). *Human behavioral sex differences: a role of gonadal hormones during early development?*, „Psychological Bulletin”, 118, s. 55–107.
- Dorner G. (1985). *Sex-specific gonadotrophin secretion, sexual orientation and gender role behaviour*, „Exp. Clin. Endocrinol.”, 86, 1–6.
- Doron K. E., Gazzaniga M. S. (2008). *Neuroimaging techniques offer new perspectives on callosal transfer and interhemispheric communication*, „Cortex”, 44, s. 1023–1029.
- Dragovic M., Hammond M. (2007). *A classification of handedness using the Annett Hand Preference Questionnaire*, „British Journal of Psychology”, 98, s. 375–387.
- Ellis L., Ebertz L. (red.) (1998). *Males, Females and Behavior: Toward Biological Understanding*, Westport, CT: Praeger.

- Erlanger D. M., Kutner K. C., Jacobs A. R. (1999). *Hormones and cognition: Current concepts and issues in neuropsychology*, „Neuropsychology Review”, 9, s. 175–206.
- Geschwind N., Galaburda A. M. (1987). *Cerebral Lateralization: Biological Mechanisms, Associations and Pathology*, Cambridge: MIT Press, MA.
- Gilmore J. H., Lin W., Prastawa M. W., Looney C.B., Vetsa Y. S. K., Knickmeyer R. C., Evans D. D., Smith J. K., Hamer R. M., Lieberman J. A., Gerig G. (2007). *Regional gray matter growth, sexual dimorphism, and cerebral asymmetry in the neonatal brain*, „The Journal of Neuroscience”, 27, 6, s. 1255–1260.
- Grabowska A., Nowicka A., Szymańska O. (1999). *Sex related effect of unilateral brain lesions on the perception of the Mueller-Lyer illusion*, „Cortex”, 35, 2, s. 231–41.
- Grabowska A. (2001). *Neurobiologiczne korelaty różnic psychicznych między płciami*, „Kołokwia Psychologiczne”, 9, 47–76.
- Grabowska A. (2003). *Mózg w mocy hormonów*, „Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych”, 1 (258), s. 29–42.
- Grabowska A. (2005). *Mózg pleć i hormony*, [w:] T. Górka, A. Grabowska, J. Zagrodzka (red.), *Mózg a zachowanie* (s. 525–543). Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Grabowska A. (2005b). *Czy hormony kierują naszym zachowaniem?*, [w:] K. Jodzio (red.), *Neuralny świat umysłu* (s. 41–62). Kraków: Wydawnictwo Impuls.
- Grimshaw G. M., Bryden M. P., Finegan J-A. K. (1995). *Relations between prenatal testosterone and cerebral lateralization in children*, „Neuropsychology”, 9, 1, s. 68–79.
- Hampson E., Kimura D. (1988). *Reciprocal effects of hormonal fluctuations on human motor and perceptual-spatial skills*, „Behavioral Neuroscience”, 102, 3, s. 456–459.
- Hausmann M., Becker C., Gather U., Güntürkün O. (2002). *Functional cerebral asymmetries during the menstrual cycle: a cross-sectional and longitudinal analysis*, „Neuropsychologia”, 40, s. 808–816.
- Hausmann M., Güntürkün O. (2000). *Steroid fluctuations modify functional cerebral asymmetries: the hypothesis of progesterone-mediated interhemispheric decoupling*, „Neuropsychologia”, 38, s. 1362–1374.
- Hausmann M., Slabbekoorn D., Van Goozen S. H. M., Cohen-Ketteni P. T., Güntürkün O. (2000). *Sex hormones affect spatial abilities during the menstrual cycle*, „Behavioral Neuroscience”, 114, 6, s. 1245–1250.
- Hines M., McAdams L. A., Chiu L., Bentler P. M., Lipcamon J. (1992). *Cognition and the corpus callosum: verbal fluency, visuospatial ability, and language lateralization related to midsagittal surface areas of callosal subregions*, „Behavioral Neuroscience”, 106, 1, s. 3–14.
- Holländer A., Hausmann M., Hamm J. P., Corballis M.C. (2005). *Sex hormonal modulation of hemispheric asymmetries in the attentional blink*, „Journal of The International Neuropsychological Society”, 11, s. 263–272.
- Kimura D. (1996). *Sex, sexual orientation, and sex hormones influence human cognitive function*, „Current Opinion in Neurobiology”, 6, s. 259–263.
- Lalumiere M. L., Blanchard R., Zucker K. J. (2000). *Sexual Orientation and Handedness in Men and Women: A Meta-Analysis*, „Psychological Bulletin”, 126, 4, s. 575–592.
- Liben L. S., Susman E. J., Finkelstein, J. W., Chinchilli V. M., Kunselman S., Schwab J., Dubas J. S., Demers L. M., Lookingbill G., D’Arcangelo M. R., Krogh H. R., Kulin H. E. (2002). *The effects of sex steroids on spatial performance: a review and an experimental clinical investigation*, „Developmental Psychology”, 38, 2, s. 236–253.
- Loring D. W., Meador K., Lee G., Murro A., Smith J., Flaning H., Gallagher B., King D. (1990). *Cerebral language lateralization: evidence from intracarotid Amobarbitol testing*, „Neuropsychologia”, 28, s. 831–838.
- Marzi C. A. (2010). *Asymmetry of Interhemispheric Communication*, John Wiley & Sons, Ltd. WIREs Cogn Sci 2010, 1, s. 433–438.

- McManus C. (1984). *Genetics of handedness in relation to language disorder*, „Adv. Neurol.”, 42, s. 125–138.
- Mead L. A., Hampson E. (1996). *Asymmetric effects of ovarian hormones on hemispheric activity: Evidence From Dichotic and Tachistoscopic Tests*, „Neuropsychology”, 10, 4, s. 578–587.
- Meyer-Bahlburg H. F. L., Ehrhardt A. A., Rosen L. R., Gruen R. S., Veridiano N. R., Vann F. H., Neuwalder H.F. (1995). *Prenatal estrogens and the development of homosexual orientation*, „Developmental Psychology”, 31, 1, s. 12–21.
- Moffat S. D., Hampson E. (1996). *Salivary testosterone levels in left- and right-handed adults*, „Neuropsychologia”, 34, 3, s. 225–233.
- Moffat S. D., Hampson E. (2000). *Salivary testosterone concentrations in left-handers: an association with cerebral language lateralization?*, „Neuropsychology”, 14, 1, 71–81.
- Neufang S., Specht K., Hausmann M., Güntürkün O., Herpertz-Dahlmann B., Fink G. R., Konrad K. (2009). *Sex differences and the impact of steroid hormones on the developing human brain*, „Cerebral Cortex”, 19, s. 464–473.
- Peters M. (1988). *The size of the corpus callosum in males and females: implications of a lack of allometry*, „Canadian Journal of Psychology”, 42, 3, s. 313–324.
- Peters M. (1995). *Handedness and Its Relation to Other Indices of Cerebral Lateralization*, [w:] R. Davidson, K. Hugdahl (red.), *Brain Asymmetry* (s.183–215), Cambridge: MIT Press, MA.
- Sanders G., Wenmoth D. (1998). *Verbal and music dichotic listening tasks reveal variations in functional cerebral asymmetry across the menstrual cycle that are phase and task dependent*, „Neuropsychologia”, 36; 9, s. 869–874.
- Shaywitz B. A., Shaywitz S.E., Pugh K. R., Constable R. T. et al. (1995). *Sex differences in the functional organization of the brain for language*, „Nature”, 373, 6515, s. 607–609.
- Steinmetz H., Jancke L., Kleinschmidt A., Schlaug G., Volmann J., Huang Y. (1992). *Sex but no hand difference in the isthmus of the corpus callosum*, „Neurology”, 42, s. 749–752.
- Stoyanov Z., Marinov M., Pashalieva I. (2009). *Finger length ratio (2D:4D) in left- and right-handed males*, „Journal of Neuroscience”, 119, 1006–1013.
- Subirana A. (1958). *The prognosis in aphasia in relation to cerebral dominance and handedness*, „Brain”, 81, s. 415–425.
- Welcome S. E., Chiarello C., Towler S., Halderman L. K., Ottoc R., Leonard C. M. (2009). *Behavioral correlates of corpus callosum size: Anatomical/behavioral relationships vary across sex/handedness groups*, „Neuropsychologia”, 47, s. 2427–2435.
- Witelson S. F. (1991). *Neural sexual mosaicism: Sexual differentiation of the human temporo-parietal region for functional asymmetry*, „Psychoneuroendocrinology”, 16, s. 131–154.
- Witelson S. F. (1995). *Neuroanatomical bases of hemispheric functional specialization in the human brain: possible developmental factors*, [w:] F. L. Kitterle (red.), *Hemispheric Communications: Mechanisms and Models* (s. 61–85), Hillsdale: Erlbaum, NJ.