

ANNA WALAWSKA-HRYCEK, EWA KRZYSTANEK
Klinika Neurologii Katedry Neurologii, Wydział Lekarski w Katowicach,
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Anatomia funkcjonalna ośrodkowego układu nerwowego, cz. 2

ABSTRACT: The subcortical structures form the middle part of the central nervous system. They create systems which are some kind of basis for performing intentional tasks with the cooperation of the cortical centers. So the extrapyramidal system provides the fluid motion by the unconscious influence on the muscle tone distribution. However, the cooperation with the pyramidal system and the cerebellum is necessary for the performance of intentional tasks. The limbic system is formed by the grey matter structures which are engaged in the control of memory and learning processes. The major transmission station for the sensory information creates the thalamus which is connected with the extrapyramidal and limbic system. The organism adaptation to the changeable external conditions is provided by the hypothalamus involving many chemoreceptors of grey matter nuclei. It supplies internal balance and the equilibrium of body fluids, making use of the antagonism of the centers located there.

KEY WORDS: extrapyramidal system, basal ganglia, diencephalon, autonomous system, limbic system

Układ pozapiramidowy

Do podstawowych funkcji układu pozapiramidowego należą: kontrolowanie współruchów, współpraca z układem piramidowym w zakresie regulacji ruchów dowolnych, kontrola postawy ciała oraz dostosowanie napięcia mięśniowego do aktualnych potrzeb ruchowych. Prawidłowe działanie tego układu pozwala na przybranie w sposób automatyczny i nieświadomy najbardziej optymalnej postawy ciała, zapewnia balans kończyn górnych i dolnych podczas chodu. Wszystkie te czynności wymagają odpowiedniego i stale regulowanego rozkładu napięcia mięśniowego, co fizjologicznie odbywa się bez udziału woli¹.

¹ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4: *Neurofizjologia*. Kraków, Wydaw. Uniwersytetu Jagiellońskiego 1998, s. 111.

Nadrzędną rolę w układzie pozapiramidowym pełni tzw. kora pozapiramidowa. Jest ona zlokalizowana w tylnej części zakrętów czołowych: górnego, środkowego i dolnego oraz częściowo w płacie ciemieniowym i płacie skroniowym. Kora ta otrzymuje informacje z wielu struktur OUN i przekazuje je do jąder podstawnych, pełniących rolę integracyjną². Nazwą tą określa się skupiska istoty szarej leżące w półkulach mózgu. Z perspektywy anatomicznej zaliczamy do nich: ciało prążkowane, przedmurze oraz wchodzące w skład układu limbicznego ciało migdałowe³. Największym jądrem podstawnym jest ciało prążkowane, zbudowane z dwóch części – jądra ogoniastego i jądra soczewkowatego, które są oddzielone od siebie torebką wewnętrzną (istota biała). Jądro ogoniaste niemal w całej swej długości leży w ścianie komory bocznej. Wyróżniamy w nim trzy części: głowę, trzon, ogon. Jądro soczewkowane jest z gałki bladej, filogenetycznie starszej, i filogenetycznie młodszej części, zwanej skorupą⁴. Funkcjonalnie skorupa i jądro ogoniaste tworzą prążkowie⁵. Pod względem biochemicznym prążkowie jest zróżnicowane, znajdują się w nim neurony wydzielające: acetylocholinę, kwas γ -aminomasłowy (GABA) i substancję P. Do prążkowania docierają informacje ze wzgórza, kory mózgu i istoty czarnej. Natomiast drogi odprowadzające są kierowane do gałki bladej i istoty czarnej⁶. Jednym z najważniejszych ośrodków układu pozapiramidowego jest gałka bladej. Łączy się ona przede wszystkim z prążkowie, wzgórzem, jądrem niskowzgórzowym, jądrem oliwki, jądrem czerwienym i two-rem siatkowatym⁷. Przedmurze jest cienką blaszką istoty szarej zlokalizowanej pomiędzy jądrem soczewkowatym a wyspą. Funkcjonalnie wyróżniamy w nim okolicę czuciową, wzrokową i słuchową. Łączą się one z odpowiednimi obszarami kory mózgu⁸.

W obrębie układu pozapiramidowego istnieją dwa typy połączeń. Pierwszy to połączenia krótkie, tworzące zamknięte pętle, w których krążą informacje pomiędzy poszczególnymi ośrodkami. Ich przebieg jest następujący: z ośrodków korowych płata czołowego do prążkowania, potem do gałki bladej i wzgórza. Z jąder wzgórza (szczególnie z jądra brzuszno-przedniego i brzuszno-pośredniego) informacja zostaje zwrótnie przekazana do kory mózgu. Pod względem funkcjonalnym pętle te dzielą się na: ruchowe, poznawcze i limbiczne. Drugi typ to połączenia otwarte. Ich przykładem są m.in. drogi czerwienno-rdzeniowe i siatkowo-rdzeniowe, umożliwiające komunikację pomiędzy układem pozapiramidowym a α -motoneuronami rdzenia kręgowego. Wzajemne relacje pomiędzy elementami jąder podstawnych są regulowane

² A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1. Warszawa, Medical Tribune Polska 2014, s. 32.

³ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4: *Układ nerwowy ośrodkowy*. Warszawa, Wydaw. Lekarskie PZWL 1997, s. 358.

⁴ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 33.

⁵ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 365.

⁶ Ibidem.

⁷ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 33.

⁸ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 368–370.

przez neurotransmitery pobudzające i hamujące: dopaminę, acetylocholinę, serotoninę, kwas glutaminowy i kwas γ -aminomasłowy⁹. Neurony zawierające glutaminian (kwas glutaminowy) tworzą połączenia biegnące z kory mózgu do prążkowiec oraz z jądra niskowzgórzowego do gałki bladej. Dodatkowo wpływają one pobudzająco na neurony cholinergiczne i GABA-ergiczne prążkowiec. Włókna GABA-ergiczne to główne włókna przewodzące informacje w układzie pozapiramidowym. Znajdują się przede wszystkim w prążkowiec, gałce bladej i części siatkowej istoty czarnej. W części zbitej istoty czarnej dominują neurony dopaminergiczne. Ich zwyrodnienie jest podstawowym procesem patofizjologicznym, który prowadzi do rozwoju choroby Parkinsona. Prawidłowe funkcjonowanie układu pozapiramidowego jest zależne od poprawnego działania połączeń z układem piramidowym za pośrednictwem układu włókien korowo-prążkowych. Niemal z każdej okolicy korowej wybiegają włókna prowadzące do prążkowiec. Efektem tego współdziałania jest modyfikacja zmian postawy i regulacja napięcia mięśniowego podczas dowolnego ruchu. Za pośrednictwem dróg, m.in.: czerwienno-rdzeniowej, siatkowato-rdzeniowej, układ pozapiramidowy łączy się z motoneuronami α i γ rdzenia kręgowego, wpływając na zmianę ich czynności. Dzięki połączeniom z mózdzkiem, za pośrednictwem jądra niskowzgórzowego, ruch staje się bardziej płynny i precyzyjny. Uszkodzenia układu pozapiramidowego powodują zaburzenia w zakresie ruchu i napięcia mięśniowego. Obserwujemy wówczas wzmożenie napięcia mięśniowego (hipertonia) lub jego zmniejszenie (hipotonia). Występują ruchy mimowolne o charakterze hiperkinetycznym (nadmiar ruchu) lub hipokinetycznym (zubożenie ruchu).

Wyróżniamy dwa podstawowe zespoły neurologiczne, hipertoniczno-hipokinetyczny oraz hipotoniczno-hiperkinetyczny. Przykładem pierwszego z wymienionych jest zespół Parkinsona. Dochodzi do niego w następstwie uszkodzenia neuronów dopaminergicznych (w konsekwencji do obniżenia stężenia dopaminy) w istocie czarnej i prążkowiec¹⁰. W obrazie klinicznym choroby Parkinsona stwierdza się zaburzenia ruchów mimowolnych, np. ograniczenie mimiki (twarz maskowata) z rzadkimi ruchami powiek, a także drobne pismo (mikrografia), dodatkowo zniekształcone z powodu drżenia rąk. Zniesienie fizjologicznych współruchów jest zauważalne podczas chodu, któremu nie towarzyszy balansujący ruch kończyn górnych. Wzrost pozapiramidowego napięcia mięśni prowadzi do charakterystycznej niestabilności sylwetki z pochyleniem do przodu oraz z zaburzeniami odruchów postawy określanymi jako propulsja lub retropulsja. Dlatego w przebiegu choroby Parkinsona zwiększona jest skłonność do upadków. W trakcie badania, w przypadku ostrożnego popchnięcia chorego można stwierdzić u pacjenta duże trudności z odzyskaniem równowagi. Podczas biernego wykonywania ruchu przez osobę badającą wyczuwalny jest plastyczny, wzmożony opór.

⁹ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 33.

¹⁰ J.D. FIX: *Neuroanatomia*. Red. wyd. pol. J. MORYS. Wrocław, Urban & Partner 1997, s. 341–342.

Określa się go mianem sztywności pozapiramidowej (*rigor*). Ruchem mimowolnym występującym typowo w chorobie Parkinsona jest drżenie spoczynkowe. Jest ono rytmiczne i regularne, zmniejsza się podczas wykonywania ruchów celowych. Zanika w trakcie snu, natomiast zwiększa się pod wpływem emocji¹¹. Zaburzenia mowy w chorobie Parkinsona mogą dotyczyć nawet 89% pacjentów. W wyniku uszkodzenia jąder podkorowych, w szczególności ciała prążkowanego i gałki bladej, osłabieniu ulegają mięśnie krtani, gardła, podniebienia miękkiego, ust i języka. W rezultacie dochodzi do zaburzenia mowy w zakresie rytmu i akcentowania, a także artykulacji spółgłosek i samogłosek. Ponadto można wysłuchać dyzartię, dysprozodię (mowa monotonna z zaburzeniami rytmu i akcentowania), zanikanie głosu, palilalię (mimowolne powtarzanie własnych słów, sylab), parafazję¹².

Zespół hipotoniczno-hiperkinetyczny charakteryzuje chorobę Huntingtona. Jest ona dziedziczona autosomalnie dominująco, wiąże się z uszkodzeniem pojedynczego genu zlokalizowanego na chromosomie 4. Manifestuje się ruchami mimowolnymi oraz postępującym otępieniem¹³. Ponadto do zespołu hipotoniczno-hiperkinetycznego zaliczamy płasawicę i hemibalizm. Płasawica to nadmierna ruchliwość, w której ruchy mimowolne nakładają się na ruchy dowolne, z towarzyszącym obniżonym napięciem mięśniowym. Hemibalizm jest spowodowany uszkodzeniem jądra niskowzgórzowego. Polega on na wystąpieniu gwałtownych ruchów mimowolnych głównie proksymalnych części kończyn i tułowia¹⁴. Chorobą, w przypadku której obserwuje się objawy uszkodzenia układu pozapiramidowego, powodowaną przez nieprawidłowy metabolizm miedzi, jest zwyrodnienie wątrobowo-soczewkowe (choroba Wilsona). U chorych podczas badania neurologicznego najczęściej stwierdza się: drżenie, sztywność, ruchy płasawiczopodobne. Ponadto występuje uszkodzenie rogówki, pod postacią złocistobrazowego przebarwienia (piersień Kaysera-Fleischera), marskość wątroby oraz uszkodzenie jądra soczewkowego¹⁵.

Międzymózgowie

Międzymózgowie to część mózgowia położona między kresomózgowiem a śródmózgowiem. Bezpośrednio sąsiaduje z komorą trzecią. Ma kształt klina skierowanego ostrzem ku przodowi. Jest otoczone półkulami mózgu od strony bocznej

¹¹ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 111–116; M. MUMENTHALER, H. MATTL: *Neurologia*. Przeł. S. BUDREWICZ et al. Wrocław, Urban & Partner 2001, s. 296–301.

¹² A.P. KRYSIAK: *Zaburzenia języka, mowy i komunikacji w chorobie Parkinsona*. „Neuropsychiatria i Neuropsychologia” 2011, t. 6, nr 1, s. 36–42.

¹³ J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 343.

¹⁴ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 111–116.

¹⁵ J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 343.

i strony przedniej. Najważniejsze struktury wchodzące w jego skład to: komora trzecia, nadwzgórze, wzgórze, podwzgórze, niskowzgórze oraz – istotne dla działania układów wzrokowego i endokrynnego – ciała suteczkowate, przysadka, skrzyżowanie wzrokowe, pasmo wzrokowe, ciało kolankowate boczne i szyszynka¹⁶. Wąska przestrzeń położona pośrodkowo w międzymózgowiu to komora trzecia¹⁷. Od przodu łączy się ona z komorami bocznymi poprzez otwór międzykomorowy, od tyłu przechodzi w wodociąg mózgu.

Nadwzgórze zawiera m.in. szyszynkę. Jest ona zbudowana z płacików zawierających pinealocyty. Funkcjonalnie należy do narządów dokrewnych, wydziela melatoninę. Jej zasadniczą funkcją jest regulacja rytmu snu i czuwania. Ma wpływ na prawidłowe działanie gonad¹⁸.

Wzgórze

Wzgórze jest największym skupiskiem istoty szarej międzymózgowia. Zasadniczą funkcją tego ośrodka podkorowego jest integracja wszystkich bodźców czuciowych, z wyjątkiem węchowych, a następnie przesłanie ich do kory mózgu. Jest to możliwe dzięki istnieniu układu jąder istoty szarej. Wzgórze ma bardzo liczne połączenia z mózdzkiem, prążkowiec, podwzgórzem, a przede wszystkim – z korą mózgu. Dlatego też mówi się o istnieniu układu wzgórzowo-korowego. W obrębie istoty szarej wzgórza wyróżniamy:

- jądra swoiste (korowo zależne) – posiadają połączenia ze ściśle określonymi obszarami kory mózgu; zaliczamy do nich jądra: przednie, przyśrodkowe, brzuszno-boczne, tylne;
- jądra nieswoiste (korowo niezależne) – łączą się z wieloma obszarami kory, otrzymują informacje z tworów siatkowatego, podwzgórza i układu limbicznego; wśród nich wyróżniamy jądra: śródblaszkowe, pośrodkowe, siatkowate¹⁹.

Należy nadmienić, że do jąder tylnych należą jądra ciała kolankowatego przyśrodkowego i bocznego, które są istotnym elementem, odpowiednio, drogi słuchowej i wzrokowej²⁰. Największym jądrem wzgórza jest poduszka. Integruje ona bodźce wzrokowe, słuchowe oraz czuciowe dzięki obukierunkowym połączeniom z korą kojarzeniową płatów: potylicznego, ciemieniowego i skroniowego. Dlatego w przypadku uszkodzenia w półkuli dominującej może wystąpić afazja czuciowa²¹.

¹⁶ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 249–253.

¹⁷ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 109.

¹⁸ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 270; A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 109–110.

¹⁹ Ibidem, s. 110–111. J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 262.

²⁰ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 259, 265.

²¹ J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 264.

Ten skomplikowany układ jąder ma liczne połączenia z korą mózgu. Są one nazywane promienistością wzgórzową. Włókna istoty białej z jąder przednich kierują się do płata czołowego, z jąder bocznych – do płata ciemieniowego, z jąder brzuszných, poprzez promienistość wzrokową – do płata potylicznego. Poza tym istnieją jeszcze połączenia do płata skroniowego, zawierające promienistość słuchową, oraz do podwzgórza, mózdzku i ciała prążkowanego²².

Wzgórze nadaje niektórym bodźcom czuciowym charakter afektywny, przez co są one odczuwane jako przykre. Pojawienie się patologicznych ruchów mimowolnych może wynikać z uszkodzenia grupy jąder brzuszných pośrednich i przednich. Mają one połączenia z ciałem prążkowanym i korą ruchową, dlatego odgrywają rolę w działaniu mechanizmów ruchowych. Wzgórze ma również połączenia nieswoiste, które poprzez układ siatkowaty pobudzający wpływają na całą korę mózgu. Tak liczne funkcje oraz mnogość połączeń powodują, że w przypadku uszkodzenia wzgórza powstaje zespół o zróżnicowanej symptomatyce. Najczęstszą przyczyną uszkodzenia wzgórza jest zamknięcie tętnicy wzgórzowo-dziurkowanej tylnej. Po raz pierwszy zostało ono opisane w 1906 roku przez Josepha J. Déjerine'a i Gustave'a Roussy'ego. Głównym objawem jest zniesienie czucia powierzchniowego i głębokiego w przeciwległej połowie ciała. Często towarzyszą temu samoistne, napadowe, palące bóle o dużym natężeniu (bóle wzgórzowe), które nie ustępują po lekach przeciwbólowych. Nieprzyjemne odczucia mogą powodować niektóre bodźce, głównie zimno i dźwięk. Dodatkowo ze względu na nieprawidłowe działanie grupy jąder brzuszných, pośrednich, przednich i ich połączeń z korą ruchową mogą wystąpić następujące objawy ruchowe: hemiataksja, ruchy choreoatetotyczne, drżenie zamiarowe, charakterystyczne ustawienie ręki ze zgięciem palców w stawach śródrečno-paliczkowych (ręka położnika, ręka wzgórzowa). Ponadto mogą współistnieć: hiperpatia (przezczulica), astereognozja, niedowidzenie połowicze, zaburzenia mowy. Uszkodzenie wzgórza może przebiegać z towarzyszącymi zaburzeniami afektu, takimi jak przymusowy śmiech, płacz. Objawy te wynikają z uszkodzenia jąder wzgórza, mających połączenia z układem limbicznym. Towarzyszący niedowład połowiczny jest spowodowany zajęciem przez proces chorobowy torebki wewnętrznej, przez którą przechodzą włókna drogi piramidowej²³.

Podwzgórze

Podwzgórze jest położone w dolnej części międzymózgowia. Obejmuje ścianę oraz struktury dna komory III (skrzyżowanie wzrokowe, guz popielaty, lejek,

²² A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 111.

²³ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 267–270; A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 110–111; J.D. FIX: *Neuroanatomia*..., s. 267.

ciała suteczkowate)²⁴. Od góry graniczy ze wzgórzem, od przodu przechodzi w pole przedwzrokowe, które należy do kresomózgowia. W części przedniej leży guz popielaty, którego przedłużeniem jest przysadka. Natomiast część tylna podwzgórza łączy się z nakrywką konarów. Bocznie od niego są położone: niskowzgórze, torebka wewnętrzna oraz pasmo wzrokowe. Podwzgórze jest zbudowane z kory filogenetycznie starej. Według klasycznego podziału w jego obrębie wyróżniamy trzy części:

- część wzrokową – okolica przednia;
- część guzową – okolica pośrednia;
- część suteczkową – okolica tylna.

W budowie wewnętrznej zwraca uwagę układ wielu jąder zbudowanych z istoty szarej. Wyróżniamy grupę jąder przednich (inaczej okolica nadwzrokowa), położonych w okolicy wzrokowej podwzgórza. Dwa z nich, przykomorowe i nadwzrokowe, to jądra neurosekrecyjne, funkcjonalnie połączone z tylnym płatem przysadki. Wydzielają one wazopresynę, która reguluje gospodarkę wodną organizmu. W przypadku uszkodzenia rozwija się moczówka prosta, czyli stan, w którym zwiększonemu spożywaniu płynów, wynikającemu ze wzmożonego pragnienia, towarzyszy oddawanie dużych objętości rozcieńczonego moczu. Kolejnym hormonem uwalnianym przez wspomniane jądra jest oksytocyna. Wpływa ona na przebieg akcji porodowej i mechanizm laktacji. Obkurcza naczynia krwionośne macicy, zapobiegając krwotokom poporodowym. Do tej samej grupy należy jądro przednie, którego zadaniem jest regulacja temperatury organizmu. Ostatnie, jądro skrzyżowania, otrzymuje włókna biegnące wprost z siatkówki. Bierze ono udział w regulacji rytmów biologicznych.

W grupie środkowej (okolica guzowa) wyróżniamy jądra: lejka (łukowate), brzuszno-przyśrodkowe, grzbietowo-przyśrodkowe. Jądro brzuszno-przyśrodkowe kojarzone jest z ośrodkiem sytości. Jego obustronne uszkodzenie prowadzi do hiperfagii, otyłości i napadów wściekłości. Szczególnie istotne w regulacji osi narządów dokrewnych jest jądro lejka, ponieważ poprzez syntezę podwzgórzowych hormonów uwalniających oddziałuje na przedni płat przysadki. W grupie tylnej (okolica suteczkowa) najistotniejsze są jądra suteczkowe – przyśrodkowe i boczne. Otrzymują one informacje m.in. z zespołu hipokampa, a przesyłają je do jądra przedniego wzgórza.

Podwzgórze ma rozbudowaną sieć dróg komunikujących je z innymi obszarami mózgu. Dla uporządkowania anatomicznego wyróżnia się szlaki: doprowadzające, odprowadzające oraz spoidłowe. Do podwzgórza docierają informacje ze wzgórza, za pośrednictwem włókien przykomorowych, oraz ze śródmózgowia i układu limbicznego, z pnia mózgu i rdzenia kręgowego. Wśród połączeń eferentnych (odprowadzających) podwzgórza wyróżniamy takie, które wpływają na czynność położonych niżej ośrodków wegetatywnych i somatycznych. Ich przykładem jest droga

²⁴ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 265, 271.

podwzgórzowo-przysadkowa. Aksony tej drogi przesyłają produkowane w podwzgórzu hormony, których zadaniem jest pobudzenie syntezy hormonów przedniego płata przysadki: kortykotropowego (ACTH), tyreotropowego (TSH), wzrostu (GH), folikulotropowego (FSH), luteinizującego (LH). Hamowana jest natomiast synteza prolaktyny (PRL). Do włókien aferentnych (doprowadzających) należą włókna biegnące do jąder nakrywki, konaru mózgu. Trzecim rodzajem połączeń są drogi spoidłowe. Zaliczamy do nich spoidło nadwzrokowe grzbietowe (Meynerta) oraz spoidło nadwzrokowe brzuszne (Gerdalena)²⁵.

Prawidłowe funkcjonowanie podwzgórza jest możliwe dzięki obfitemu zaopatrzeniu w krew dopływającą naczyniami koła tętniczego Willisa. Najbogatsze łożysko kapilar znajduje się w obrębie jądra nadwzrokowego. Zmiany charakteru fizycznego i chemicznego dopływającej tu krwi są bodźcem dla receptorów centralnych, położonych w ośrodkach podwzgórza. Sprawne funkcjonowanie osmoreceptorów, termoreceptorów, glukoreceptorów i hormonoreceptorów zapewnia dostosowanie się organizmu do zmiennych warunków otoczenia.

Bogaty schemat połączeń podwzgórza z innymi obszarami OUN powoduje, że wywiera ono duży wpływ na aktywność ośrodków kory, pnia mózgu i rdzenia kręgowego. Najważniejszą i zasadniczą funkcją podwzgórza jest zapewnienie homeostazy wewnętrznej organizmu. Odbywa się to przez kierowanie mechanizmami aktywności somatycznej, czyli zachowaniem, oraz czynnością gruczołów dokrewnych i układu autonomicznego. Charles Sherrington określił podwzgórze jako naczelny zwój układu autonomicznego. Część przednią podwzgórza traktuje się jako ośrodek przywspółczulny. Natomiast część środkową i tylną uważa się za ośrodek współczulny. Drażnienie tych okolic wywołuje charakterystyczne reakcje somatyczne, tj. zwolnienie perystaltyki lub przyspieszenia akcji serca.

Podwzgórze reguluje gospodarkę hormonalną poprzez oddziaływanie na obie części przysadki mózgowej. Sterowanie czynnością hormonalną przedniego płata przysadki jest możliwe dzięki pośrednictwu podwzgórzowych neurohormonów peptydowych o działaniu pobudzającym. Zaliczamy do nich: hormon uwalniający tyreotropinę (TRH), hormon uwalniający LH i FSH, hormon uwalniający hormon wzrostu (GRF), hormon uwalniający kortykotropinę (CRF). Istnieją również podwzgórzowe peptydy o działaniu hamującym, tj. somatostatyna i dopamina. Pod wpływem tych substancji narządy docelowe uwalniają hormony regulujące środowisko wewnętrzne organizmu.

Kolejnym zadaniem podwzgórza jest regulacja gospodarki wodnej oraz przyjmowania pokarmu. W części bocznej podwzgórza jest położony ośrodek głodu (łaknienia). Jego drażnienie powoduje nadmierne pobieranie pokarmu, natomiast obustronne zniszczenie – całkowitą utratę łaknienia, która może prowadzić do śmierci

²⁵ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 271–278; A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 112–113; S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 268, 269; J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 310–311.

głodowej. W okolicy przyśrodkowej jest zlokalizowany wspomniany już ośrodek sytości. Układ limbiczny zmienia potrzebę przyjmowania pokarmu w odpowiednie zachowanie oraz wpływa na odczucia z nim związane.

Podwzgórze reguluje gospodarkę wodną poprzez działanie dwóch antagonicznych ośrodków – pragnienia i gaszenia pragnienia. Ośrodek pragnienia jest bezpośrednio pobudzany przez wzrost stężenia sodu i osmolarności w płynie zewnątrzkomórkowym. Reaguje on na suchość błony śluzowej jamy ustnej i gardła, co precyzyjnie odmierza ilość płynów potrzebnych do ugaszenia pragnienia. Drażnienie powoduje przyjmowanie zbyt dużej ich ilości, co prowadzi do nadmiaru wody w organizmie. Ośrodek pragnienia współpracuje z ośrodkiem termoregulacyjnym.

W części przedniej podwzgórza, w okolicy przedwzrokowej, znajdują się ośrodki chroniące przed przegrzaniem (ośrodek termostatyczny, termostat biologiczny). Funkcjonując prawidłowo, regulują utratę ciepła przez rozszerzenie naczyń skóry, pocenie się. Jeśli dojdzie do obustronnego zniszczenia tych ośrodków, następuje znaczne podwyższenie temperatury ciała. W części tylnej podwzgórza jest zlokalizowany ośrodek zapobiegający nadmiernemu oziębieniu organizmu. Uaktywnia on mechanizmy pozwalające zachować ciepło i zwiększyć jego produkcję, np. drżenie mięśniowe i skurcz naczyń. W przypadku obustronnego uszkodzenia dochodzi do obniżenia temperatury ciała.

Podwzgórze, wpływając na przedni płąt przysadki mózgowej, doprowadza do uwalniania przysadkowych hormonów gonadotropowych (LH, FSH). Uszkodzenie skutkuje zaburzeniem cyklu miesięczkowego i czynności rozrodczych.

Poprzez związek z układem limbicznym podwzgórze bierze udział w procesie odczuwania silnych emocji, takich jak wściekłość, strach, agresja, chęć ucieczki.

Dalszych badań wciąż wymaga udział podwzgórza w regulacji snu i czuwania. U chorych z uszkodzonym międzymózgowiem obserwuje się zaburzenia snu, o charakterze narkolepsji lub bezsenności²⁶.

Uszkodzenie podwzgórza nazywane jest podwzgorzycą. W jej przebiegu obserwuje się nieprawidłowe działanie układu autonomicznego i endokrynnego. Często dochodzi do rozwoju otyłości, moczówki prostej, hipogonadyzmu i hiperprolaktynemii²⁷.

Niskowzgórze

Niskowzgórze to część międzymózgowia położona poniżej wzgórze. Od strony przyśrodkowej i od przodu sąsiaduje z podwzgorzem. Jest oddzielone włóknami

²⁶ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 278–279; S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 270–278.

²⁷ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 112–113.

torebki wewnętrznej od gałki bladej. W budowie wewnętrznej wyróżniamy pęczki istoty białej oraz skupiska istoty szarej. Istota biała tworzy pola Forela (H, H1, H2). Ich włókna biegną głównie do wzgórza i do struktur układu pozapiramidowego: jądra soczewkowatego i gałki bladej. Istota szara tworzy następujące jądra: niskowzgórzowe, pola Forela, warstwę niepewną oraz pole przedczerwienne.

Z klinicznego punktu widzenia najistotniejsze jest jądro niskowzgórzowe, wykorzystywane w leczeniu parkinsonizmu z zastosowaniem głębokiej stymulacji mózgu. Jest ono położone na granicy pomiędzy torebką wewnętrzną a konarami mózgu. Funkcjonalnie należy do układu pozapiramidowego. Tworzy połączenia z gałką bladą o charakterze sprzężenia zwrotnego. Jądro niskowzgórzowe jest uważane za rozrusznik, który wywiera wpływ na jądra podstawy, jednocześnie pozostając w zależności od prążkowania. Uszkodzenie tej struktury objawia się hemibalizmem.

Warstwa niepewna to pasmo istoty szarej, położone pomiędzy wzgórzem a jądrem niskowzgórzowym. Posiada liczne połączenia m.in.: z podwzgórzem, wzgórzem, śródmózgowiem, prążkowiec oraz korą mózgu. Włókna doprowadzające docierają głównie z kory czuciowej płata ciemieniowego i dróg czuciowych wstępujących pnia mózgu. Włókna odprowadzające kierują się głównie do śródmózgowia. Funkcjonalnie, podobnie jak jądro niskowzgórzowe, pasmo to należy do układu pozapiramidowego. Uszkodzenie warstwy niepewnej objawia się wystąpieniem hemibalicznych ruchów mimowolnych²⁸.

Torebka wewnętrzna

Poszczególne jądra podkorowe są otoczone pasmami istoty białej (włókien zmieulinizowanych). Tworzą one torebki: wewnętrzną, zewnętrzną oraz ostatnią. Z klinicznego punktu widzenia największe znaczenie ma torebka wewnętrzna, ponieważ przez ten niewielki obszar przebiega bardzo dużo dróg, zarówno wstępujących, jak i zstępujących. Dlatego nawet niewielkie uszkodzenie w tej okolicy może spowodować wystąpienie istotnych objawów neurologicznych. Torebka wewnętrzna oddziela jądro soczewkowate od wzgórza oraz jądra ogoniastego. Ku dołowi przechodzi w odnogę mózgu. Od góry gęsto upakowane pęczki włókien wnikają do istoty białej półkul mózgu, tworząc wieniec promienisty. Anatomicznie torebkę wewnętrzną dzielimy na odnogę przednią (leży między jądrem ogoniastym a jądrem soczewkowatym) i odnogę tylną (oddziela wzgórze od jądra soczewkowatego), a miejsce

²⁸ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 112; A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 280–282.

ich połączenia to kolano torebki wewnętrznej²⁹. Odnoga tylna przewodzi włókna: drogi korowo-rdzeniowej, promienistości wzrokowej i słuchowej oraz promienistości czuciowej (ból, temperatura, dotyk). Unaczynienie torebki wewnętrznej w większości pochodzi od tętnicy przedniej i środkowej mózgu oraz tętnicy szyjnej wewnętrznej³⁰.

Węchomózgowie

Część kresomózgowia, która odpowiada za odbiór i przekazywanie wrażeń węchowych, to węchomózgowie. Pierwszorzędowa kora węchowa otacza hak zakrętu przyhipokampowego, korę przedgruszkową i przymigdałową. Droga węchowa jako jedyna nie posiada jądra przekaźnikowego we wzgórzu. Wrażenia węchowe powstają, gdy cząsteczki zawarte we wdychanym powietrzu zadziałają na komórki zmysłowe nabłonka węchowego.

W skład węchomózgowia wchodzi: opuszka węchowa, pasmo węchowe, trójkąt i prążki węchowe, istota dziurkowana przednia, zakręt półksiężycowaty i okalający. Opuszka węchowa to przednia część węchomózgowia, położona na blaszce sitowej w jamie nosowej. Tworzące ją receptorowe komórki węchowe są chemoreceptorami. Komórki te dają początek niciom węchowym, które przechodzą w pasmo węchowe. Jest ono położone w bruzdzie płata czołowego. Następnie, po przekroczeniu trójkąta węchowego, pasmo dzieli się na prążki węchowe, które dochodzą do istoty dziurkowanej przedniej, zakrętu przykrańcowego, zakrętu zębatego i hipokampa. Drogi węchowe dzielą się na doprowadzające, odprowadzające, odruchowe i spoidłowe. Droga doprowadzająca jest dwuneuronowa. Drogi odprowadzające są utworzone przez dwa szlaki – drogę korowo-suteczkową i hipokampowo-uzdeczkową. Drogi odruchowe biegną z węchomózgowia do jąder nerwów czaszkowych oraz do podkorowych ośrodków węchowych. Ich zasadniczą funkcją jest reakcja powstająca przy zetknięciu się z zapachem. Węchomózgowie obu półkul jest funkcjonalnie połączone drogami spoidłowymi.

Zapachy mogą wpływać na sferę behawioralną w zakresie odżywiania się i orientacji przestrzennej, ponieważ niektóre elementy kory węchowej funkcjonalnie należą do układu limbicznego. Dlatego odbiór wrażeń węchowych wiąże się z powstawaniem emocji i odruchów³¹.

²⁹ Ibidem, s. 370–371.

³⁰ J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 266–267.

³¹ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 341–347; A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 115–116; S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 261–264; J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 323–324.

W wyniku uszkodzenia nerwu węchowego może wystąpić anosmia, czyli utrata węchu. Najczęściej dochodzi do niej w przypadku złamania blaszki sitowej, guzów płata czołowego oraz zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych. Następstwem uszkodzenia kory haka zakrętu przyhipokampowego mogą być halucynacje węchowe³².

Układ limbiczny (rąbkowy)

Pojęcie to zostało wprowadzone w 1948 roku przez Paula MacLeana. Wcześniej, na podstawie danych klinicznych i doświadczalnych, teorię o istnieniu układu limbicznego stworzył James Papez³³. Zasadniczą funkcją układu limbicznego jest kontrola zachowania popędowo-emocjonalnego. W jego skład wchodzi ośrodek zarówno korowy, jak i podkorowy. Wśród ośrodków korowych znajduje się, już wspomniana, struktura węchomózgowia, tj. opuszka węchowa, a ponadto: hipokamp, zakręt hipokampa, okolice wyspy, płata skroniowego i zakrętów oczodołowych. W większości zbudowane są one z kory starej. Ich czynność polega na wpływie na aktywność ruchową, wydzielanie dokrewne i funkcjonowanie układu autonomicznego. Do struktur podkorowych tworzących układ limbiczny należą: ciało migdałowate, niektóre jądra wzgórza, podwzgórze, śródmózgowie i przegrodę przezroczystą. Ciało migdałowate odgrywa rolę w czynnościach motywacyjno-popędowych, wegetatywnych, pokarmowych. Bierze udział w regulacji zachowań seksualnych i macierzyńskich³⁴, jest elementem OUN zawierającym najwięcej receptorów opiatowych i estradiolowych. Jego drażnienie powoduje przyjmowanie pokarmu w zbyt dużych ilościach. Uszkodzenie prowadzi do nadmiernej łagodności, utraty poczucia strachu, żarłoczności, nadpobudliwości seksualnej oraz agnozji wzrokowej³⁵.

Układ limbiczny scala współdziałanie struktur korowo-podkorowych oraz kieruje czynnościami popędowo-emocjonalnymi, w szczególności pobieraniem wody i pokarmu, reakcjami obronnymi, wyzwalaniem agresji oraz czynnościami seksualnymi. Kontroluje emocje i niejako dostraja do nich działanie układu autonomicznego i somatycznego, co dzieje się za pośrednictwem podwzgórza i pnia mózgu. Ponadto układ limbiczny, w zależności od sytuacji, uaktywnia mechanizm zdobywania lub unikania. Wpływa na powstawanie śladów pamięci świeżej i uczenia się. Przy współdziałaniu z układem siatkowatym reguluje rytm snu i czuwania.

³² J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 324.

³³ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 346–347.

³⁴ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 279–284.

³⁵ J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 329.

Charakterystyczną cechą układu limbicznego jest istnienie kręgów funkcjonalnych, np. kręgu Papeza. Oprócz tego istnieją wielosynaptyczne sieci neuronalne, które przekazują informacje za pomocą neuronów katecholaminergicznych. Przykładem jest układ nagrody, w którym funkcję przekaźnika pełni dopamina, oraz cholinergiczny układ kary³⁶.

Strukturą wymagającą osobnego omówienia jest hipokamp. Jest on położony w ścianie rogu dolnego komory bocznej. Szersza część przednia jest nazywana stopą, ku tyłowi zwęża się ona w wąski strzępek. Hipokampowi towarzyszy wąskie pasmo istoty szarej o charakterystycznym wyglądzie – zakręt zębaty. Czynnościowo hipokamp łączy się z korą mózgu, w szczególności z płatem skroniowym i ciemieniowym, oraz z jądrami podkorowymi. Początkowo czynność hipokampa wiązano jedynie ze zmysłem powonienia, później – także z wyrażaniem emocji (składowa kręgu Papeza), natomiast aktualnie dominuje pogląd, że hipokamp jest strukturą odgrywającą decydującą rolę w zapamiętywaniu. W przypadku uszkodzenia tej okolicy niemożliwe jest utrwalenie bieżących wydarzeń, bardzo dobrze zaś są pamiętane fakty z przeszłości. W przypadku choroby Alzheimera, w której dominują ciężkie zaburzenia pamięci, stwierdza się zanik hipokampu³⁷.

Układ autonomiczny

Zasadniczym zadaniem układu autonomicznego jest unerwienie mięśni gładkich, serca i gruczołów wydzielniczych. Nazwę tę zaproponował w 1889 roku angielski fizjolog John Newport Langley, chcąc podkreślić jego niezależność funkcjonalną. Większość czynności układu autonomicznego odbywa się bez udziału woli³⁸. Układ autonomiczny różni się od układu somatycznego: nierównomiernym rozmieszczeniem ośrodków w mózgowiu i rdzeniu kręgowym, wolnym przewodzeniem impulsów nerwowych, wydzielaniem acetylocholin i noradrenaliny w synapsach³⁹. Integracja czynności układu autonomicznego odbywa się na różnych piętrach OUN, m.in. w układzie limbicznym, podwzgórz i korze mózgu. Poprzez połączenia z układem limbicznym niektóre przeżywane emocje, takie jak strach, radość, wywołują niekontrolowane reakcje, np. czerwienienie się, blednięcie, uczucie przyspieszonego bicia serca⁴⁰. Pod względem anatomicz-

³⁶ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 279–284.

³⁷ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 349–355; A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 115.

³⁸ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 248; A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 57.

³⁹ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 57.

⁴⁰ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka*. T. 4..., s. 250–253.

nym wyróżniamy następujące elementy układu autonomicznego: zwoje (np. zwoje pnia współczulnego, który biegnie obustronnie wzdłuż kręgosłupa od czaszki do kości krzyżowej, zwoje spłotów układu autonomicznego, zwoje przywspółczulnych nerwów czaszkowych: III, VII, IX, X), neurony przedzwojowe i zazwojowe oraz włókna zazwojowe. Neurony przedzwojowe budują ośrodki współczulne i przywspółczulne rdzenia kręgowego i pnia mózgu. Wychodzące z nich włókna tworzą włókna przedzwojowe. Docierają one do zwojów układu autonomicznego, gdzie za pośrednictwem acetylocholiny przekazują sygnał do neuronów zazwojowych, które są zasadniczym elementem zwojów układu autonomicznego. Do narządów efektorowych dochodzą włókna zazwojowe, które wydzielają odpowiednie neuroprzekazniki: włókna przywspółczulne – acetylocholinę, włókna współczulne – noradrenalinę.

Układ autonomiczny jest zróżnicowany czynnościowo. Dzieli się na część współczulną i część przywspółczulną⁴¹. Niektórzy autorzy wyróżniają jeszcze część jelitową⁴². Części współczulna i przywspółczulna działają antagonistycznie względem siebie. Funkcjonowanie części współczulnej (zwanej inaczej układem piersiowo-lędźwiowym lub adrenergicznym) można określić jako „mobilizujące” dla organizmu. Powoduje ona m.in. przyśpieszenie akcji serca, wzrost ciśnienia krwi, rozszerzenie oskrzeli i zwiększenie przemiany materii. Wszystkie te wymienione fizjologiczne reakcje mają przygotować organizm do sytuacji stresu. Działanie części przywspółczulnej (inaczej układ czaszkowo-krzyżowy lub cholinergiczny) jest ukierunkowane na gromadzenie i oszczędzanie energii. Pod wpływem unerwienia przywspółczulnego obserwujemy zwolnienie pracy serca, obniżenie ciśnienia tętniczego krwi, zwężenie oskrzeli i źrenic, przyśpieszenie pracy jelit. Przeciwnie działaniem obu układów jest widoczne w rytmie dobowym. W ciągu dnia przeważa funkcjonalnie część współczulna, natomiast w nocy – część przywspółczulna⁴³.

Na część współczulną składają się: część ośrodkowa, pnie i nerwy współczulne. Część ośrodkową tworzy skupisko istoty szarej w rdzeniu kręgowym od poziomu C8 do L3. Neurony te dają początek włóknom współczulnym przedzwojowym. Pnie współczulne są położone na bocznej powierzchni trzonów kręgow. Każdy z nich jest zbudowany z wielu zwojów. Biegają one od podstawy czaszki do kości guzicznej. W przebiegu pnia współczulnego wyróżniamy części: szyjną, piersiową, lędźwiową i miedniczną. Do narządów unerwianych tylko współczulnie należą: naczynia powłok tułowia i kończyn, naczynia mięśniowe, mięśnie przywłosowe, mięśnie gładkie powiek i oczodołu, mięsień rozwieracz źrenicy, naczynia wątroby i jej komórki, rdzeń nadnerczy, mięśnie gładkie narządów płciowych męskich, mięsień

⁴¹ Ibidem.

⁴² J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 293.

⁴³ A. BOCHENEK, M. REICHER: *Anatomia człowieka. T. 4...*, s. 250–253; J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 293, 296.

macy⁴⁴. Włókna przedzwojowe układu współczulnego uwalniają acetylocholinę, która pobudza receptory cholinergiczne typu N (nikotynowe) w neuronach pozazwojowych. Zakończenia synaptyczne włókien współczulnych pozazwojowych zawierają liczne pęcherzyki synaptyczne uwalniające noradrenalinę, która łączy się z receptorami adrenergicznymi⁴⁵.

Ośrodki części przywspółczulnej położone są w pniu mózgu i części krzyżowej rdzenia kręgowego. Komponentę przywspółczulną zawierają również nerwy czaszkowe: III, VII, IX, X oraz niektóre gałęzie nerwów krzyżowych. Anatomicznie część przywspółczulna dzieli się na części: głowową, krzyżową i śródścienną. Do struktur unerwionych tylko przywspółczulnie zaliczamy: gruczoły dna żołądka, mięsień zwieracz źrenicy, gruczoły jelitowe, część zewnątrzwydzielniczą trzustki, komórki α wysp trzustkowych⁴⁶. Synapsy włókien pozazwojowych uwalniają m.in.: acetylocholinę, cholecystokininę, enkefalinę. Jednak głównym neurotransmiterem pozostaje acetylocholina, działająca na receptory cholinergiczne M (muskarynowe) lub N (nikotynowe) w narządach efektorowych⁴⁷.

Część jelitowa jest zbudowana ze śródściennych zwojów oraz splotów przewodu pokarmowego. Jej działanie jest regulowane przez włókna współczulne zazwojowe, a przywspółczulnie – przez przedzwojowe włókna cholinergiczne. Odpowiada ona za kontrolę motoryki przewodu pokarmowego. Część jelitowa jest w pełni niezależna funkcjonalnie, działa prawidłowo nawet po odnerwieniu⁴⁸.

Elementem autonomicznego układu nerwowego są również sploty zawierające włókna współczulne i przywspółczulne. Trzy największe są położone w jamach ciała: splot sercowy – w klatce piersiowej, splot trzewny – w jamie brzusznej, splot podbrzuszny – w miednicy. W obrębie układu autonomicznego funkcjonują łuki odruchowe złożone z ramion dośrodkowych i odśrodkowych (neurony przedzwojowe i zazwojowe). Przykładem odruchów autonomicznych jest odruch opróżniania pęcherza moczowego oraz zatrzymania moczu. Ze względu na szerokie unerwienie układu autonomicznego jego uszkodzeniu towarzyszą zróżnicowane objawy kliniczne. Wiążą się one z nieadekwatnym funkcjonowaniem układu krążenia, nieprawidłową motoryką przewodu pokarmowego, zaburzonym działaniem zwieraczy i wydzielaniem łez, śliny, potu⁴⁹.

W pierwszej i drugiej części niniejszej publikacji scharakteryzowano anatomie funkcjonalną struktur podkorowych, pnia mózgu, mózdzku i rdzenia kręgowego. Przedmiotem kolejnej części będzie kora mózgu i główne drogi nerwowe.

⁴⁴ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 58–62.

⁴⁵ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 322.

⁴⁶ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 60–61.

⁴⁷ S. KONTUREK: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa*. T. 4..., s. 325–327.

⁴⁸ J.D. FIX: *Neuroanatomia...*, s. 298.

⁴⁹ A. STĘPIEŃ: *Neurologia*. T. 1..., s. 57–63.

Bibliografia

- BOCHENEK A., REICHER M.: *Anatomia człowieka. T. 4: Układ nerwowy ośrodkowy*. Warszawa, Wydaw. Lekarskie PZWL 1997.
- FIX J.D.: *Neuroanatomia*. Red. wyd. pol. J. MORYŚ. Wrocław, Urban & Partner 1997.
- KONTUREK S.: *Fizjologia człowieka. Część szczegółowa. T. 4: Neurofizjologia*. Kraków, Wydaw. Uniwersytetu Jagiellońskiego 1998.
- KRYSIAK A.P.: *Zaburzenia języka, mowy i komunikacji w chorobie Parkinsona*. „Neuropsychiatria i Neuropsychologia” 2011, t. 6, nr 1, s. 36–42.
- MUMENTHALER M., MATTLE H.: *Neurologia*. Przeł. S. BUDREWICZ et al. Wrocław, Urban & Partner 2001.
- STĘPIEŃ A.: *Neurologia*. T. 1. Warszawa, Medical Tribune Polska 2014.