

Podstawy neuroanatomii w aspekcie procesów sensorycznych - mózdzek

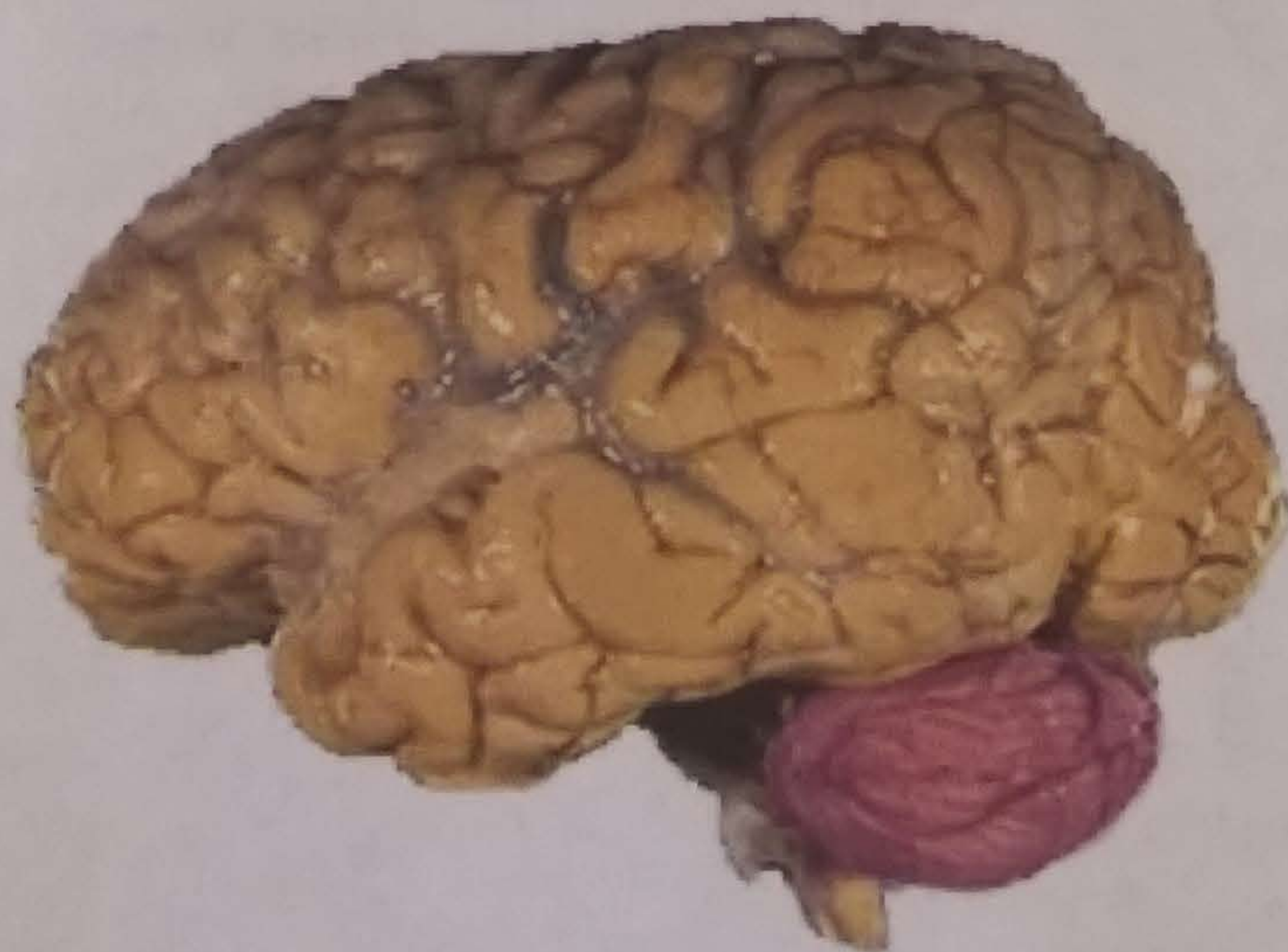
Hanna Chmura

fizjoterapeuta, terapeuta integracji sensorycznej, instruktor masażu
Shantala, członek PSTIS

Mózdzek (łac. *cerebellum*) to skomplikowana struktura, która cały czas jest dla nas tajemnicą. Ten organ przetwarza w ciągu sekundy wielką ilość informacji, kierując naszymi ruchami, koordynacją ciała i napięciem mięśniowym. Mózdzek wykorzystuje odruchy posturalne, aby móc skutecznie wypełniać swoje funkcje. Jeżeli odruchy prymitywne zachowują swoją aktywność albo też mające je zastąpić odruchy posturalne nie zostaną w pełni rozwinięte - wpłynie to na funkcjonowanie mózdzku. Ważną jego funkcją jest przetwarzanie, „zestrajanie” wrażeń przedsionkowych i proprioceptywnych, ale również innych modalności.

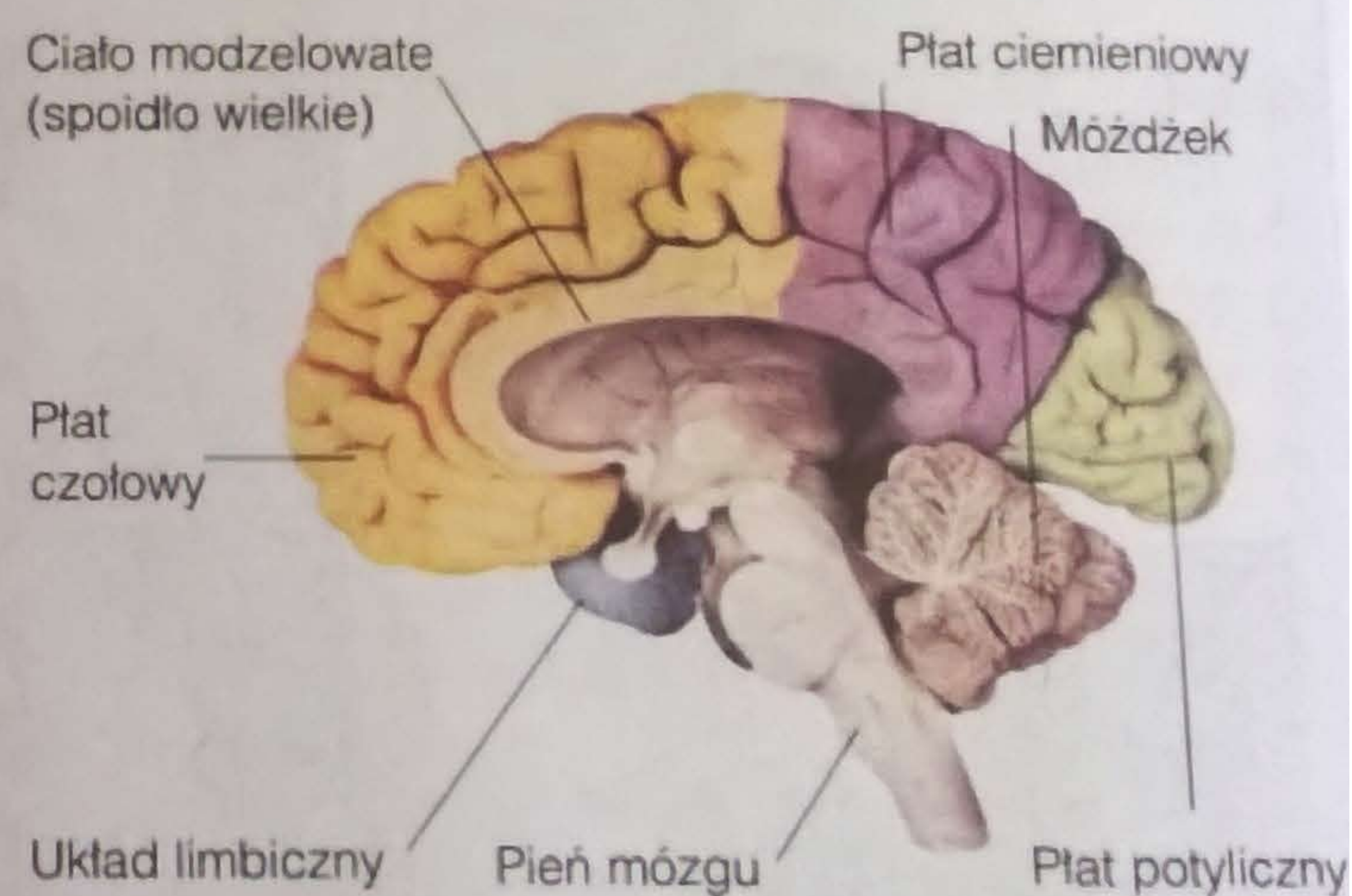
Rozwój mózdzku przebiega równolegle z rozwojem półkul mózgu. Jest on najbardziej wyróżniającą się częścią tyłomózgowia, wystaje nad środkową częścią pnia mózgu. Powierzchnia mózdzku jednak różni się w wyglądzie od kory mózgowej (posiada liczne fałdy, które są analogiczne do zakrętów kory, jednak są znacznie mniejsze). Mózdzek składa się z dwu półkul oraz z robaka mózgu umieszczonego centralnie między półkulami.

Na zewnętrznej części półkul mózdzku znajduje się warstwa istoty szarej (tworząca pofałdowaną korę mózdzku), a w głębi leży istota biała, w której znajdują się jądra mózdzku (*cerebellar nuclei*): jądro zębate (*dentate*), jądro wsunięte (*interpositus*) – czopowate (*emboliform*) i kulcowate (*globose*), oraz jądro wierzchu (*fastigial*). Jądra mózdzku m.in. pośredniczą w przekazywaniu informacji z komórek Purkynego poza mózdzek. Najwięcej uwagi przyciągają neurony Purkynego (lub Purkyniego), mające – co bardzo charakterystyczne – niezwykle rozbudowane i gęste drzewka dendrytyczne. Najwyższa warstwa kory mózdzku utworzona jest po przez dendryty tych komórek, zaś ich ciała komórkowe ułożone są w drugiej warstwie. Informacje dochodzące zmierzają właśnie do dendrytów komórek Purkynego. Mózdzek jest intensywnie połączony z rdzeniem kręgowym, korą ruchową półkul mózgu i wzgórzem. Jego funkcje można ogólnie określić jako związane z kontrolą czynności mięśni. To właśnie dzięki licznym połączeniom, przez kilka „stacji pośrednich”, mózdzek otrzymuje sygnały z różnych miejsc naszego ciała, np. z przedsionka ucha, kory mózgu, z proprioceptorów informujących m.in. o pozycji różnych części ciała (B. Sadowski, 2011).

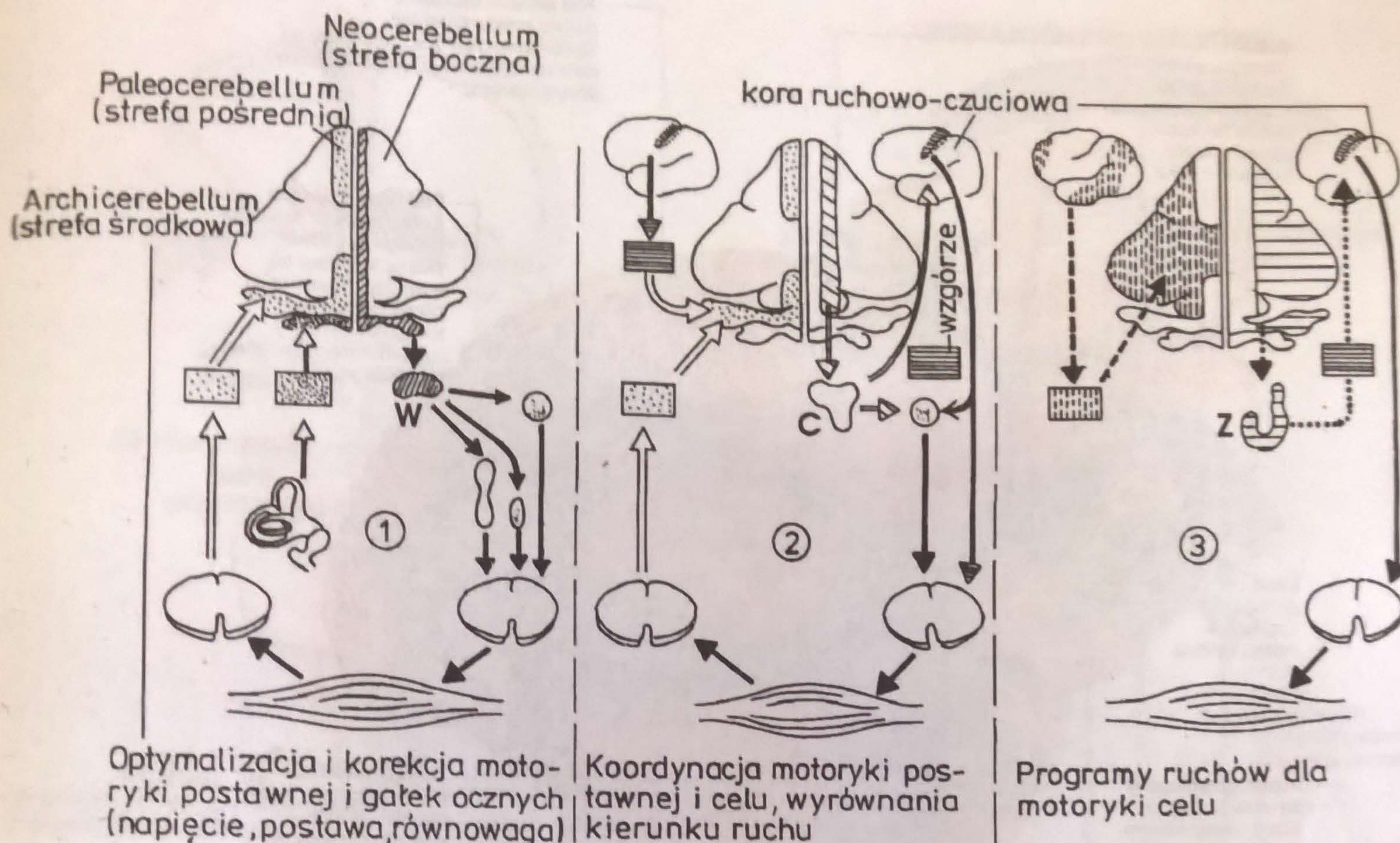


Rys.1 Mózgowie
(źródło Wikipedia)

■ Kresomózgowie ■ Mózdzek



Rys.2 Mózg - widok z boku
(źródło Wikipedia)



Rys 3. Podział mózdzku i drogi łączące mózdzek z kora mózgową i wzgórzem (poprzez jądra zębate(Z)) z rdzeniem i jądrami przedśionkowymi poprzez jądra wierzchu(W) i z jądrem czerwonym i tworem siatkowatym poprzez jądra czopowate(C) (wg Despopoulusa i Sinbernagla za: S.Konturek *Fizjologia człowieka t.IV Neurofizjologia* Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego)

Budowa anatomiczna mózdzku

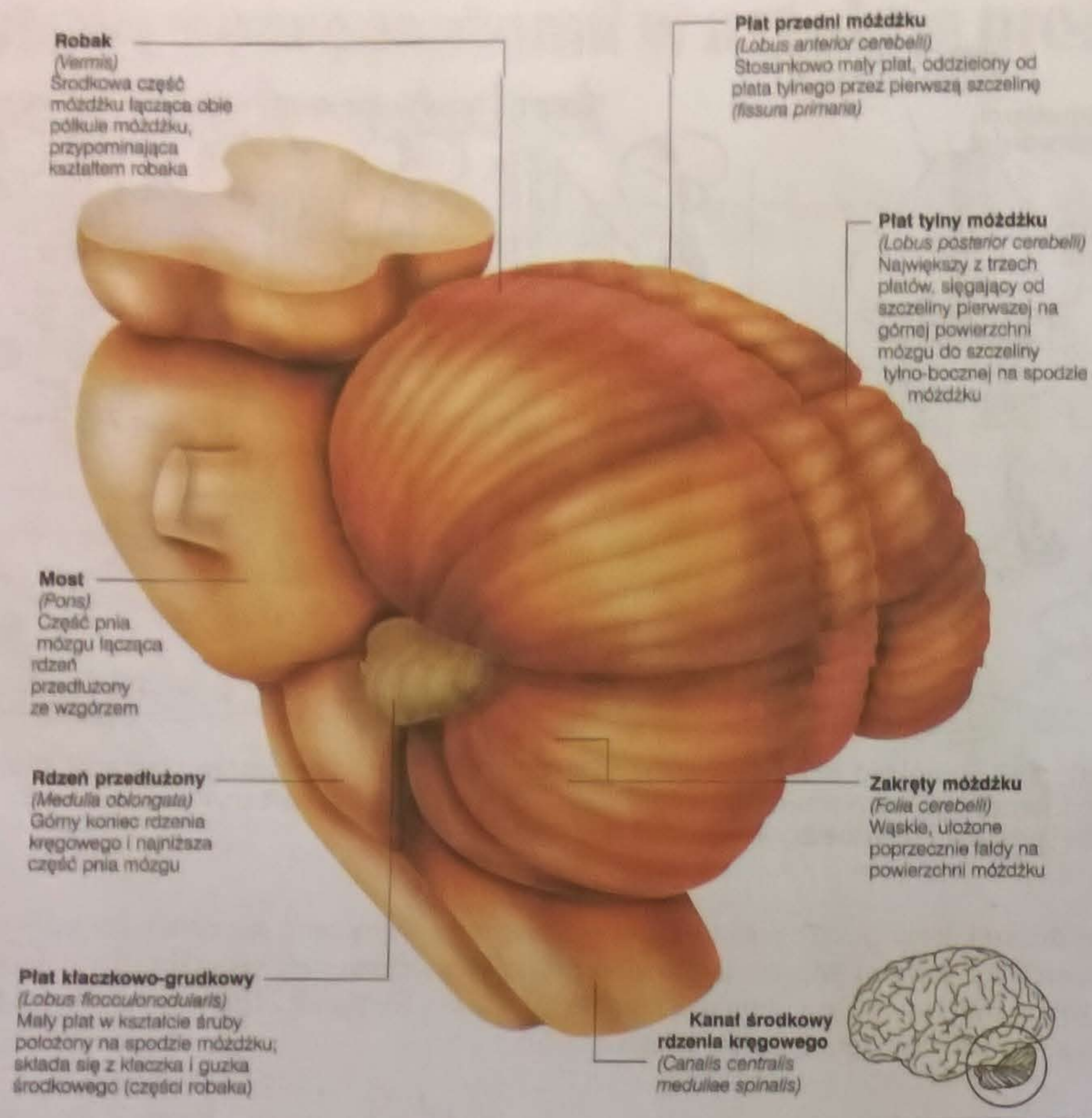
Anatomicznie w mózdzku wyróżnia się płaty: przedni, tylny i kłaczkowo-grudkowy. Płaty przedni i tylny rozdzielone są szczeliną pierwszą.

Ze względu na rozwój mózdzku oraz pełnione przez niego funkcje wyróżniony został dodatkowy podział na:

- mózdzek przedśionkowy (mózdzek stary *archicerebellum*) - odpowiadający za zachowanie równowagi i ruchy gałek ocznych. Poprzez narząd przedśionkowy otrzymuje informacje o pozycji głowy w przestrzeni (w stosunku do otoczenia, jak również w stosunku do samego ciała).
- mózdzek rdzeniowy (mózdzek dawny *paleocerebellum*) - odpowiadający za koordynację ruchową,
- mózdzek nowy (*neocerebellum*) - odpowiadający za planowanie ruchów i napięcie mięśniowe.

Informacja z mięśni i rdzenia kręgowego dociera do mózdzku bezpośrednio drogami rdzeniowo-mózdzkowymi, pozostała zaś za pośrednictwem jądra dolnego

oliwki, jąder mostu i tworów siatkowatego. Aksony jądra dolnego oliwki (nazwane włóknami pnącymi, inne włóknami kiciastymi) pobudzają jądra mózdzku, a potem komórki Purkiniego, które ostatecznie hamują jądra mózdzku. Sekwencja taka (pobudzania i hamowania jąder mózdzku) umożliwia szybkie przerwanie ruchu, który spełnił swe zadanie. O wzajemnym położeniu części ciała, o ruchu właśnie wykonywanym, o zakłóceniach równowagi, o stanie pobudzenia ośrodków nerwowych niosą informacje impulsy nerwowe z mięśni, stawów, więzadeł i skóry, a impulsy z receptorów dotyku informują o skutkach ruchu np. że stopa dotknęła podłogi, że dłoń objęła kubek. Mózdzek rozpoznaje też stan wstępnego pobudzenia ośrodków ruchowych rdzenia kręgowego i na podstawie zintegrowanej informacji (od interneuronów - które otrzymały rozkaz ruchu, ale nie przekazały jeszcze pobudzenia do motoneuronów α) o sytuacji w otoczeniu, otrzymanej z narządu słuchu i wzroku oraz o stanie pobudzenia obszarów kory mózgu, mózdzek szybko i skutecznie modyfikuje wydany przez korę rozkaz ruchu i koryguje ostateczny ruch.



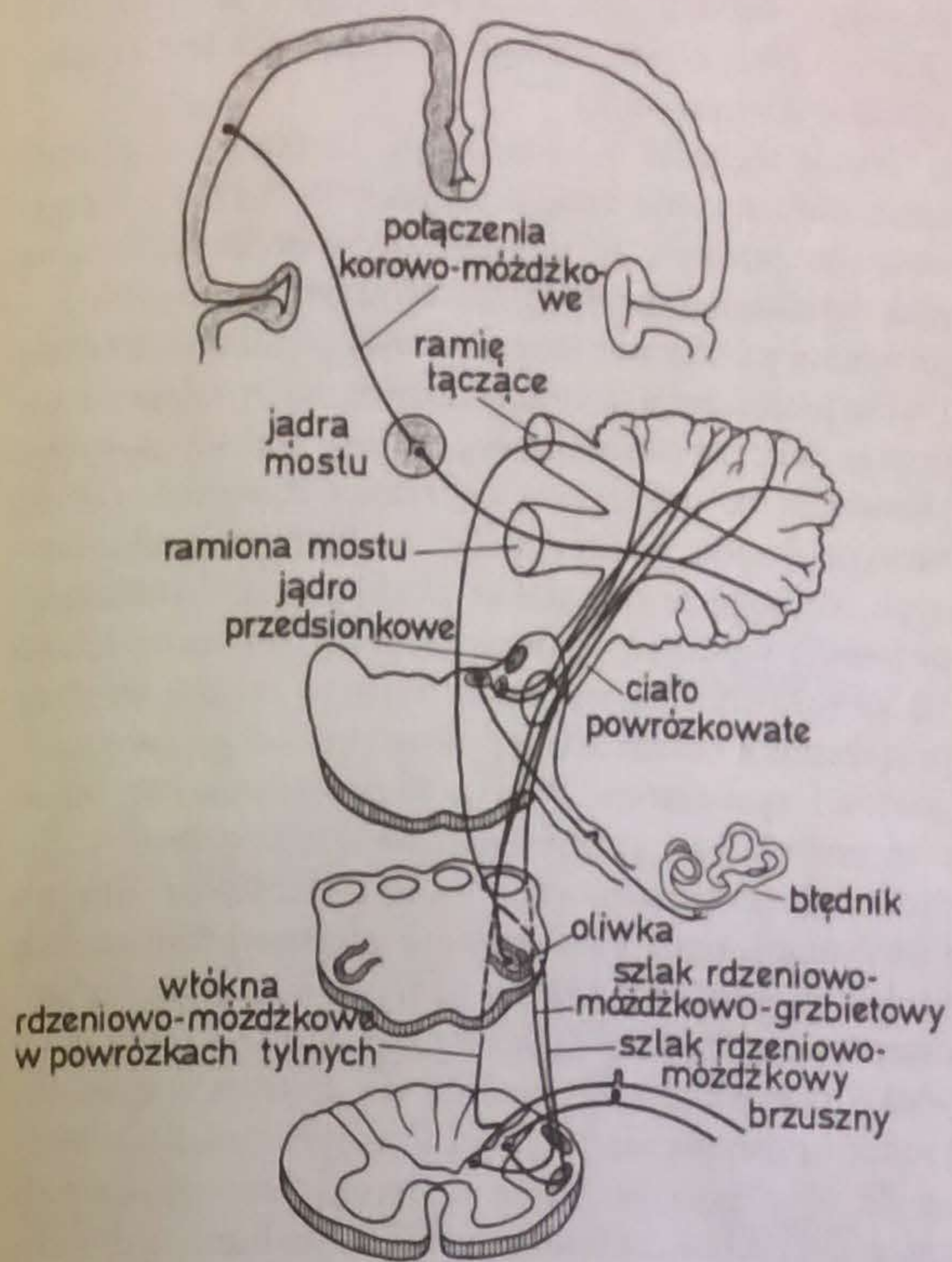
Rys 4. Budowa mózdzku za: P. Abrahams Atlas anatomii. Ciało człowieka: Budowa i funkcjonowanie

Modyfikacja czynności ruchowych przez mózdzek polega na:

- tłumieniu ruchów oscylacyjnych,
- korekcji ruchu aktualnie wykonywanego,
- korekcji ruchu zamierzonego,
- kontroli ruchów szybkich (balistycznych).

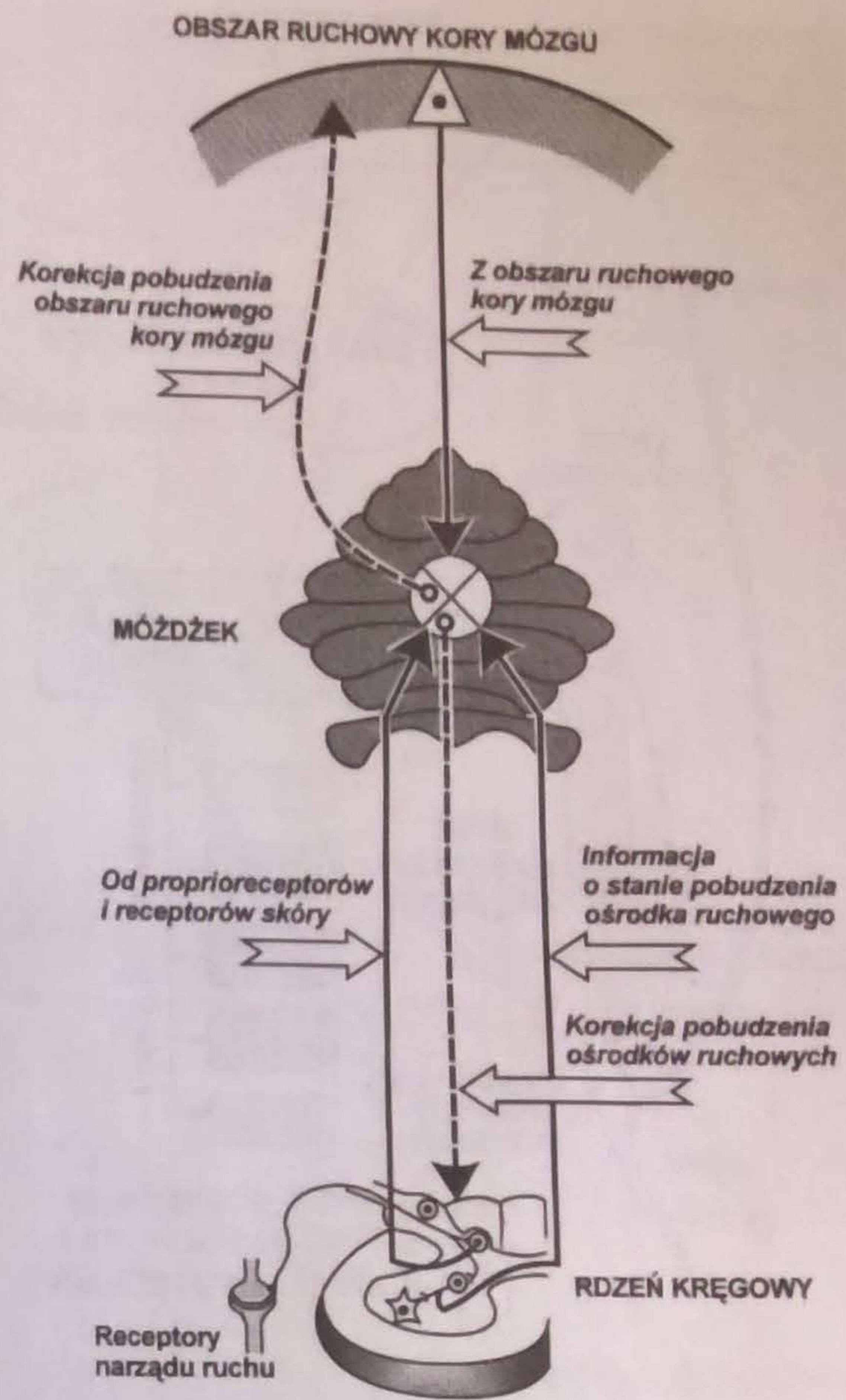
Mózdzek jest strukturą mózgu, która ściśle współpracuje z układem przedsionkowym, mięśniami antygrawitacyjnymi oraz narządem wzroku. Na podstawie zintegrowanej informacji z tych źródeł o sytuacji w otoczeniu, otrzymanej z narządu słuchu i wzroku, oraz o stanie pobudzenia obszarów kory mózgu, mózdzek może szybko i skutecznie zmodyfikować wydany przez korę rozkaz ruchu i skorygować ostateczny ruch. Ruchy często przekraczają niezbędny zakres i powtarzają się (oscylują), zwłaszcza przed osiągnięciem celu. Mózdzek przeciwdziała temu. Według teorii integracji

sensorycznej główne znaczenie dla właściwej modulacji aktywności neuronalnej całego systemu nerwowego mają informacje docierające do receptorów narządu przedsionkowego i receptorów propriocepcji. Bodźce docierające do receptorów proprioceptywnych (mieszczących się w mięśniach, stawach, ścięgnach) oraz receptorów narządu przedsionkowego (mieszczących się w uchu wewnętrznym) są przesyłane przez rdzeń kręgowy właśnie do mózdzku oraz pnia mózgu (tworu siatkowatego, jąder przedsionkowych), układu limbicznego (wzgórza) i ośrodków somatosensorycznych i ruchowych w korze mózgowej. Większość tych ośrodków bierze udział w procesach modulacji sensorycznej. Przyjmuje się, że mechanizm właściwej modulacji wpływający na prawidłowy poziom aktywności neuronalnej w dużej mierze zależy od odpowiedniego poziomu neurotransmiterów: dopaminy, adrenaliny i seroto-



Rys 5. Schemat dośrodkowych i odśrodkowych dróg łączących mózdzek z kora mózgową, jądrami przedsionkowymi i rdzeniem kręgowym za: S. Konturek *Fizjologia człowieka t. IV Neurofizjologia* Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

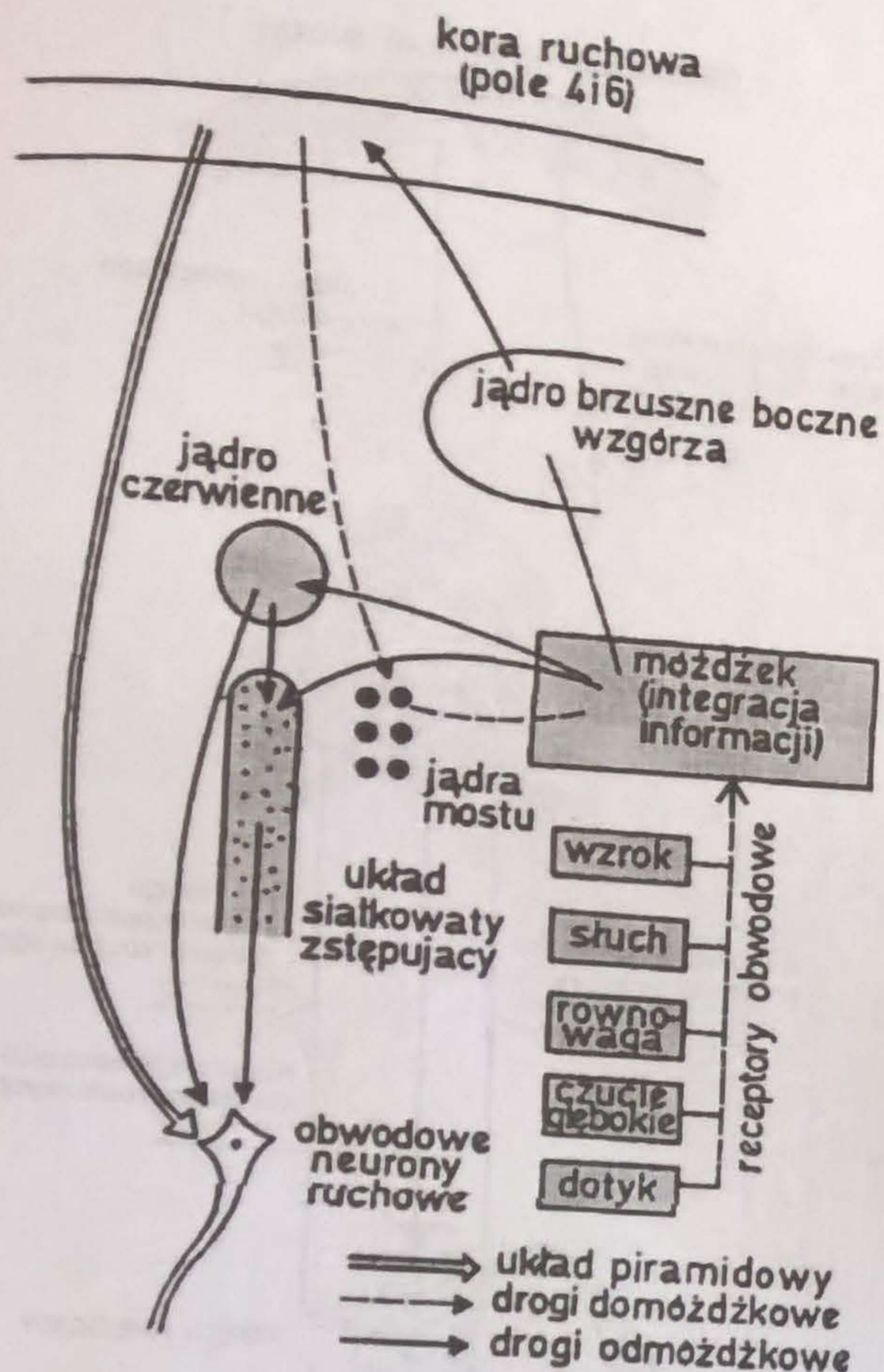
niny. Właściwie wysoki poziom tych neurotransmiterów powoduje ogólne wyciszenie systemu nerwowego. Dostarczanie bodźców proprioceptywnych podnosi poziom neurotransmiterów i może mieć wpływ na zmniejszenie aktywności ruchowej i ogólne wyciszenie systemu nerwowego a także poprawę koncentracji uwagi. Układ przedsionkowy (błędnik i jądra przedsionkowe w pniu mózgu) znajduje się w uchu wewnętrznym człowieka i według założeń integracji sensorycznej stanowi ramę do stymulacji innych zmysłów, gdyż inne rodzaje doznań sensorycznych są przetwarzane w odniesieniu do układu przedsionkowego. Jest ważny, bo ma połączenia z mózdzkiem, z mięśniami gałek ocznych, z tworem siatkowatym, oraz neuronami ruchowymi rdzenia nerwowego, mięśniami



Czynności ruchowe i utrzymanie równowagi ciała

Rys 6. Regulacja czynności ruchowych przez mózdzek za: B. Sadowski *Układ nerwowy i narządy zmysłów* (pod red. S. J. Konturka *Podstawy fizjologii człowieka*) Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

prostownikami kończyn, mięśniami prostownikami okolic karku, szyi i odcinka piersiowego, narządem słuchu - ślimakiem poprzez wspólny nerw przedsionkowo-ślimakowy, korą mózgową (płatem skroniowym, a szczególnie obszarami odpowiadającymi za słuch i mowę). Mowa to nic innego jak sekwencyjne skurcze odpowiednich mięśni artykulacyjnych. Mowa ulega - tak jak inne czynności - automatyzacji. Wykazano również, że mózdzek staje się aktywny, nie tylko w czynnościach związanych z ruchem, ale też np. podczas zapamiętywania ciągu liczb.

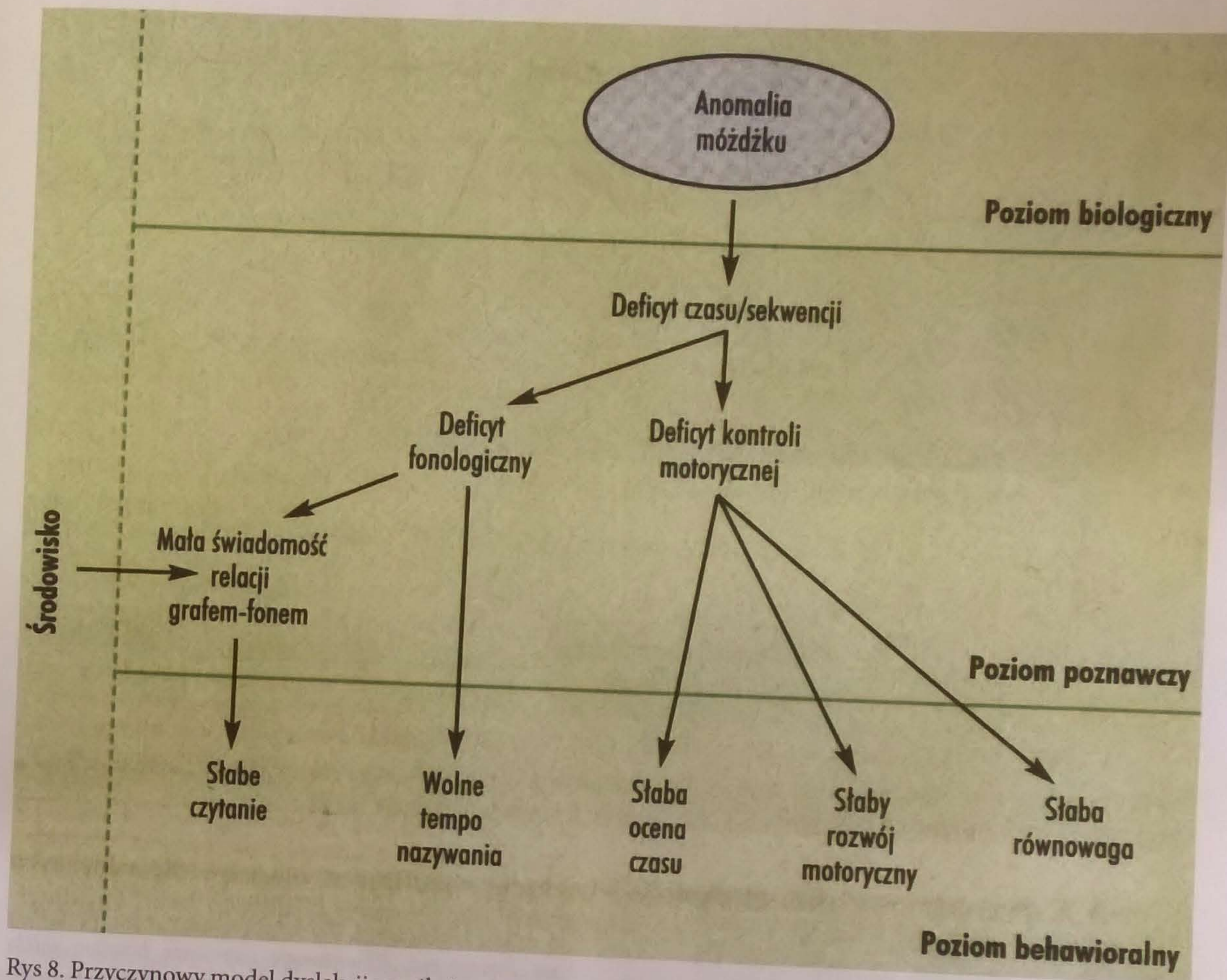


Rys 7. Schemat połączeń mózdzku z receptorami na obwodzie, kora mózgową i ośrodkami podkorowymi za: S. Konturek Fizjologia człowieka t. IV Neurofizjologia Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

Mózdzek spełnia bardzo ważną rolę w mózgu, to on dostaje informacje z wielu ośrodków mózgu, szybko je analizuje i odpowiednio moduluje, aby ruchy były płynne i dokładne. Decyduje, które mięśnie mają się kurczyć, a których odruch rozciągania ma być zahamowany, z jaką siłą. Mózdzek także stale kontroluje przebieg ruchu i wprowadza do niego automatyczne poprawki. Zmienia także napięcie innych mięśni szkieletowych, aby przywrócić równowagę. Mózdzek zajmuje się więc koordynacją i precyzyjnym zgraniem czasowym wszystkich ruchów. Składa się on z niewiarygodnie gęstej sieci neuronów. Chociaż ze względu na swoje rozmiary mózdzek stanowi jedną dziesiątą część mózgu, zawiera prawie połowę jego neuronów. Odbiera on informacje z kory ruchowej (o tym jakie-

go rodzaju ma być ruch), jak i informacje z narządów zmysłu - wzroku, słuchu, równowagi i propriocepcji (które mówią o tym jakiego rodzaju ruch jest rzeczywiście wykonywany).

Nowe techniki w neurologii, genetyka i metody neuroobrazowania mózgu przyczyniły się do nadzwyczajnego postępu w teoretycznych badaniach m.in. nad dysleksją. Szukając ukrytej przyczyny dysleksji - problemy z utrzymaniem równowagi ciała, szybkością i umiejętnościami fonologicznymi wypracowano hipotezę deficytu mózdkowego, który stał się głównym „kandydatem” na ukrytą przyczynę dysleksji. Dzięki nowym danym pochodzącym ze Stanów Zjednoczonych (całkowicie niezależne od badań nad dysleksją) pozwoliły wysunąć hipotezę, że mózdzek może łączyć się ze sprawnością językową poprzez bogate wewnętrzne połączenia z obszarami językowymi mózgu (w szczególności z obszarem Broki). Przetestowano tę hipotezę pośrednio - przeprowadzono szereg testów klinicznych sprawdzających tonus i stabilność mięśni, i otrzymano dane świadczące o nieprawidłowościach funkcjonowania mózdzku - których wcześniej nie podejrzewano. Dzieci z dysleksją wskazują na zaburzenia wielu umiejętności, w tym deficyty sensoryczne, motoryczne i poznawcze. Ruchy oczu dzieci dyslektycznych są do złudzenia podobne do tych, prezentowanych przez chorych z uszkodzeniami cerebellum, a dyslektycy również wypadają gorzej w niemal wszystkich badaniach, w których uczestniczy mózdzek. Dyslektycy mają problem z wykonywaniem kilku czynności jednocześnie (łatwo ich rozproszyć), a musimy o tym pamiętać, że mózdzek odpowiada za automatyzację różnych czynności. Mózdzek kontroluje ruchy oczu, które są niezbędne podczas czytania. Ułatwia nam tzw. mowę wewnętrzną - czytanie w myślach. Dzieci na początkowym etapie uczenia się czytać, wypowiadają słowa na głos, ponieważ określone czynności zostaną dopiero udoskonalone. Mózdzek pozwala skupić wzrok na tekście i przesuwać go zgodnie z indywidualnym tempem. Obserwacje dzieci dyslektycznych pokazują, że nawet jeśli czytają one poprawnie, to jednak niezupełnie płynnie i wymaga to od nich znacznie większego nakładu czasu i większego wysiłku niż od ich zdrowych rówieśników. Dyslektycy w ogóle mają problem z automatyzacją i uwewnętrznianiem różnych czynności, zarówno poznawczych jak i ruchowych. Zbadano zdolność do utrzymywania równowagi u dyslektyków i osób, które nie wykazywały tego deficytu. Obie grupy równie dobrze radziły sobie z tym zadaniem. Różnice jednak pojawiły się, gdy badani musieli jednocześnie starać się utrzymać równowagę i wykonywać jakąś dodatkową czynność (np. liczenie). W tej sytuacji wyniki

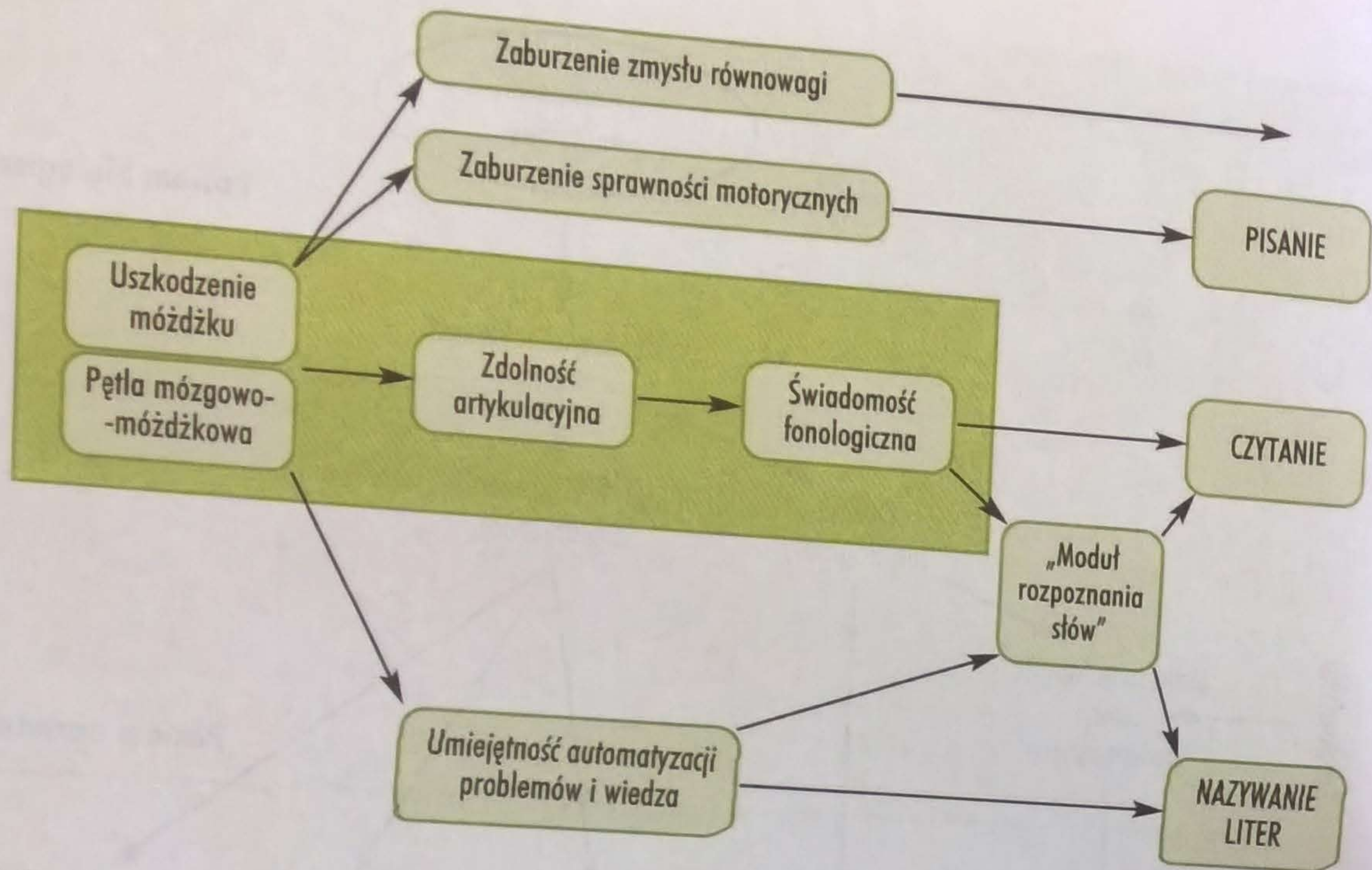


Rys 8. Przyczynowy model dysleksji wynikającej z anomalii mózdku Za: „Dysleksja. Teoria i praktyka.” Opracowanie na podstawie R.I Nicolson, A. J. Fawcett „Dyslexia” 1999

dyslektyków znacznie się pogarszały, co zdaniem badaczy dowodzi, że nawet tak bardzo zautomatyzowana i nieuświadomiana zdolność jak utrzymywanie równowagi może być w przypadku dysleksji zakłócana, gdy równolegle trzeba wykonać inne zadania. Wniosek stąd, że osoby cierpiące na dysleksję mają trudność z wykonywaniem kilku czynności jednocześnie. Osobom zdrowym często udaje się taka „podzielność uwagi”, właśnie ze względu na możliwość zautomatyzowania licznych działań, w czym niestrudzenie pomaga nam zbudowana z trzech miliardów neuronów niewielka struktura z tyłu głowy.

Mózdek otrzymuje informacje z wielu ośrodków mózgu, szybko je analizuje i odpowiednio moduluje, aby ruchy były płynne i dokładne. Decyduje, które

mięśnie mają się uruchomić, które pozostać w bezruchu. To on decyduje, które mięśnie mają się kurczyć, a których odruch rozciągania ma być zahamowany, z jaką siłą itp. Na przykład, gdy widzimy duży karton lub walizkę, więc automatycznie myślimy, że będzie to ciężkie. Nie wiemy jednak, że jest coś puste w środku. Mózdek decyduje, że do przeniesienia pudła lub walizki potrzebna będzie duża siła. Gdybyśmy z dużą siłą chwycili karton, zamiast podnieść go spokojnie, podrzucimy go do góry. Ale tak się nie dzieje. W ułamku sekundy mózdek redukuje przyłożoną siłę. Zmienia napięcie mięśni szkieletowych, aby przywrócić równowagę ruchu, właściwe napięcie mięśni itd.



Rys 9. Ontogenetyczny łańcuch przyczynowy dysleksji od urodzenia do ósmego roku życia za: „Dysleksja. Teoria i praktyka.” Opracowanie na podstawie R.I Nicolson, A. J. Fawcett „Dyslexia” 1999

Mózdek także stale kontroluje przebieg ruchu i wprowadza do niego automatyczne poprawki, odpowiada za:

- koordynację ruchową,
- równowagę,
- tonus (napięcie mięśniowe),
- uczenie się zachowań motorycznych,
- decyduje o płynności i precyzji ruchów dowolnych (współpracuje z okolicą ruchową kory mózgowej).

Mózdek otrzymuje informację z:

- narządów ruchu – mięśni, stawów i więzadeł (proprioceptorów),
- ze skóry, narządów wzroku, słuchu, równowagi, rąk, stóp,
- z okolicy ruchowej kory mózgu,
- z ośrodków ruchowych rdzenia kręgowego.

Aby człowiek mógł utrzymać równowagę, do mózgu muszą być przekazane informacje z różnych narządów: mięśnie i kończyny informują o położeniu ciała, oko o pozycji głowy, a narząd równowagi w uchu wewnętrznym rejestruje wszelkie ruchy głowy. Zaburzenia w funkcjonowaniu któregoś z tych narządów

wywołują zawroty głowy lub strach przed odrywaniem nóg od podłoża. Układ przedsionkowy, inaczej błędnik, to zmysł równowagi. Ta ostatnia nazwa nie do końca jest precyzyjna. Równowagę zapewnia bowiem ścisła współpraca błędnika z mózdzkiem. Sam zmysł natomiast, a ściślej jego receptory informują o tym, co dzieje się z głową w stosunku do ciężenia ziemskiego. Pozwala więc na usytuowanie głowy w stosunku do grawitacji i określenie, czy głowa znajduje się w ruchu, czy w spoczynku w stosunku do ziemi. Dobre funkcjonowanie tego zmysłu, podobnie jak propriocepcji, przyspiesza rozwój mowy.

Najważniejsze dla rozwoju mowy jest nie działanie poszczególnych zmysłów, ale cały proces integracji sensorycznej. Dokonuje się on w rdzeniu przedłużonym i moście mózgu (części pnia mózgu) oraz mózdzku, a dopiero w dalszej kolejności na wyższych poziomach ośrodkowego układu nerwowego. W moście mózgu znajdują się między innymi jądra przedsionkowe i ślimakowe. Łączą się one z różnymi strukturami układu nerwowego, a także z jądrami nerwów mięśni oka i jądrami nerwów mięśni szyi (V. Mass, 1998).

Poziomy integracji sensorycznej

Integracja sensoryczna dokonuje się na kilku poziomach:

- Poziom I – powiązaniu ulegają bodźce dotykowe, co pozwala dziecku na ssanie, jedzenie, przyjemne odczuwanie dotyku i wytworzenie więzi z matką. Integracja błędnikowych i proprioceptywnych bodźców umożliwia dziecku koordynację ruchów gałek ocznych, utrzymanie postawy, napięcia mięśniowego, równowagi i poczucia pewności w stosunku do sił grawitacji.
 - Poziom II – łączeniu podlegają bodźce systemu błędnikowego, proprioceptywnego i dotykowego (zmysły podstawowe), co z kolei warunkuje koordynację i napięcie uwagi, planowanie ruchu, świadomość i percepcję własnego ciała oraz koordynację czynności obu stron ciała.
 - Poziom III – obejmuje bodźce wzrokowe i słuchowe. Poprzez powiązanie bodźców przedsionkowych, słuchowych i proprioceptywnych, dających odczucia ciała rozwija się zdolność rozumienia mowy i jej uczenia się. Współgranie bodźców optycznych z bodźcami zmysłów podstawowych umożliwia dokładną i drobiazgową percepcję wzrokową, a co za tym idzie koordynację oko-ręka. Dzięki temu dziecko może włożyć kurtkę, nalać sobie mleka, budować dom z klocków, malować.
 - Poziom IV – integrowane są bodźce ze wszystkich kanałów zmysłowych, powstają produkty końcowe procesów przetwarzania, które odbywały się na poprzednich trzech poziomach. Poczucie własnej wartości, samokontrola, poczucie zaufania do siebie samego rozwijają się w oparciu o świadomość, że ciało egzystuje jako godny zaufania twór sensomotoryczny i wywodzą się z dobrej integracji systemu nerwowego.
- Objawy uszkodzenia mózdzku
- obniżenie napięcia mięśniowego, spowodowane brakiem działania mózdzku na część mostową tworzącego siatkowatego i na korę mózgu,
 - jednostronne obniżenie napięcia mięśniowego - przy jednostronnym uszkodzeniu jąder mózdzku,
 - dysmetria – trudności trafienia do celu (można stwierdzić to szczególnie wyraźnie przy próbie palce-nos),
 - trudności w utrzymaniu równowagi ciała,
 - ssynergia- brak współdziałania mięśni synergistycznych i antagonistycznych,
 - oczopląs w postaci drżenia gałek ocznych podczas oglądania przedmiotu(zakłócenie stałości percepcji wzrokowej),
 - mowa skandowana(nadmierne akcentowanie wyrazów i części zdania z jednoczesnym niewyraźnym

mówieniem, jest to rezultat nieskoordynowanej czynności mięśni oddechowych, krtani oraz jamy ustnej),

- drżenie zamiarowe (ruchy oscylacyjne kończyn, które nasilają się w miarę zbliżania do celu, np. do przedmiotu na stole),
- adiadochokineza- niemożność sprawnego wykonywania naprzemiennych ruchów odwracania i nawracania kończyny górnej,
- zespół mózdzkowy : choroba objawiająca się zaburzeniami chodu oraz niezbornością ruchową (atak-sją). Dodatkowo często występuje drżenie zamiarowe, skandowana mowa, oczopląs i obniżone napięcie mięśniowe. Przyczyną może być krwotok do mózdzku lub zwyrodnienie mózdzku.
- astazja (zaburzenie równowagi podczas stania) - jest rezultatem uszkodzenia płata grudkowo-kłaczkowego,
- abazja (zaburzenie równowagi podczas chodzenia) - również jest rezultatem uszkodzenia płata grudkowo-kłaczkowego.

Mózdzek, czyli „mały mózg”, cały czas jest dla nas tajemnicą. To dzięki niemu biegamy, jeździmy na rolkach i rowerze, płynnie czytamy i mówimy, a to tylko część ze wszystkich jego funkcji. Prawdopodobnie wpływa też na nasze emocje i bierze udział w procesie uczenia się.

Bibliografia:

- Sokołowska-Pituchowa, J. (red.). (2005). *Anatomia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny*. Warszawa: PZWL
- Goddard Blythe, S. (2011). *Jak osiągnąć sukcesy w nauce? Uwaga, równowaga i koordynacja*. Warszawa: PWN
- Sadowski, B. (2011). *Układ nerwowy i narządy zmysłów (pod red. S.J.Konturka Podstawy fizjologii człowieka)* Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego
- Konturek, S. (1996). *Fizjologia człowieka t. IV Neurofizjologia* Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego
- Maas, V. (1998). *Uczenie się przez zmysły. Wprowadzenie do teorii integracji sensorycznej*
- Abrahams, P. (2009). *Atlas anatomii. Ciało człowieka: Budowa i funkcjonowanie*. Warszawa: Świat Książki
- Sadowski, B. (2011). *Biologiczne mechanizmy zachowania się zwierząt i ludzi*. Warszawa: PWN
- Reid, G., Wearmouth, J. (2008). *Dysleksja. Teoria i praktyka*. Gdańsk: GWP
- Krechowiecki, A., Czerwiński, F. (2004). *Zarys anatomii człowieka*. Warszawa: PZWL