

Tętnice mózgowia

Unaczynienie mózgowia (mózgu, mózdzku, pnia mózgu) pochodzi z dwóch źródeł: od parzystych tętnic szyjnych wewnętrznych oraz parzystych tętnic kręgowych. Stanowią one dwa niezależne układy naczyniowe, które jednak są z sobą powiązane poprzez koło tętnicze mózgu Willisa. Tętnice szyjne wewnętrzne i ich gałęzie określone są jako przedni (szyjny) krąg (układ, zakres) unaczynienia, natomiast tętnice kręgowie i powstająca z ich połączenia tętnica podstawna wraz z ich gałęziami, czyli układ kręgowo-podstawny – jako tylny krąg (układ, zakres) unaczynienia. W każdym z tych układów wyróżnia się trzy odmienne pod względem strukturalnym i czynnościowym składowe: tętnice zewnętrznozaszkowe, duże tętnice wewnętrznozaszkowe oraz małe (powierzchnowe i głębokie) tętnice (tętniczki). Tętnice zewnętrznozaszkowe pełnią funkcję naczyń pojemnościowych. Ze względu na niewielką liczbę połączeń (anastomoz) między tymi naczyniami możliwości tworzenia krążenia obocznego są w obszarze tych tętnic ograniczone. Tętnice wewnętrznozaszkowe należą do tętnic typu sprężystego, mają trójwarstwową ścianę, utworzoną przez błonę wewnętrzną (*tunica intima*), środkową (*tunica media*) oraz zewnętrzną (*tunica externa*), zwaną również przydanką (*tunica adventitia*). Powierzchnia ściany naczynia zwrócona do jego światła, pokryta jest warstwą komórek śródbłonna (*endothelium*), o jądrach ułożonych w osi długiej tętnicy. Pod komórkami śródbłonna znajduje się nieregularnie pofałdowana błona sprężysta wewnętrzna, oddzielona od nich cienką łącznotkankową warstwą podśródbłonkową. Błona środkowa położona na zewnątrz od błony sprężystej wewnętrznej składa się z warstwowo, okrężnie przebiegających włókien mięśni gładkich, wśród których znajdują się nieliczne włókna kolagenowe i srebrochłonne. Położoną na zewnątrz przydankę tworzy luźny układ włókien kolagenowych i srebrochłonnych z zawartymi wśród nich fibroblastami. Ściana dużych tętnic wewnętrznozaszkowych (np. tętnica środkowa mózgu, tętnica podstawna) jest także trój-

warstwowa, jednakże różnice w budowie sprawiają, że naczynia te są sztywniejsze niż naczynia zewnętrznozaszkowe o podobnej wielkości (średnicy). Zarówno błona zewnętrzna, jak i wewnętrzna tych naczyń jest cieńsza niż naczyń zewnętrznozaszkowych, z mniejszą liczbą włókien sprężystych. Tętnice wewnętrznozaszkowe mają duże możliwości wytwarzania krążenia obocznego poprzez zlokalizowane na podstawie mózgowia koło tętnicze mózgu Willisa, przebiegające w obrębie opony miękkiej naczynia powierzchniowe, jak również poprzez krążenie naczyniówkowe. W miarę zmniejszania się kalibru tętnic zmienia się także budowa ich ścian. Dotyczy to w największym stopniu błony sprężystej wewnętrznej, która staje się coraz cieńsza, oraz błony środkowej, w której zmniejsza się liczba włókien mięśniowych na rzecz zwiększenia zawartości włókien tkanki łącznej. Ubożeje także przydanka zbudowana z nielicznych tylko włókien łącznotkankowych. Cechą charakterystyczną drobnych tętnic mózgowia jest obecność wypustek komórek śródbłonna, które przenikają przez blaszkę podstawną i błonę sprężystą wewnętrzną do błony środkowej, gdzie kontaktują się z włóknami mięśniowymi. Podobne wypustki komórek mięśniowych przebiegają w kierunku odwrotnym do komórek śródbłonna. Oba typy wypustek odgrywają rolę w regulacji szerokości światła naczynia. Wśród małych naczyń tętniczych wyróżnia się dwie grupy: powierzchniowe i głębokie (przeszywające). Te ostatnie są w większości naczyniami czynnościowo końcowymi, co sprawia, że ich potencjalne możliwości wytwarzania krążenia obocznego są bardzo ograniczone. Tętnice te pełnią funkcję naczyń oporowych. Opór naczyniowy w każdym odcinku drzewa naczyniowego jest odwrotnie proporcjonalny do gęstości naczyń, która największa jest w istocie szarej mózgu. Najmniejsze (poniżej 200 μm średnicy) naczynia tętnicze, włosowate i żyłne, łącząc się z sobą, tworzą gęstą, nieregularną, trójwymiarową sieć obejmującą cały mózg i stanowiącą znaczną część jego objętości. Przepływ krwi odbywający się w sieci tych naczyń określany jest jako tzw. mikrokrażenie mózgowe. Naczynia mikrokrażenia mózgowego odróżniają się od innych tego typu łożysk naczyniowych nieregularnym i krętym

przebiegiem oraz stosunkowo dużą szybkością przepływu krwinek czerwonych, średnio 1 mm/s (0,3–3,2 mm/s). W warunkach prawidłowych w sieci mikrokrążenia znajduje się ok. 50% objętości krwi w mózgu, ok. 45% w naczyniach żylnych, a tylko 5% w naczyniach tętniczych. Gęstość sieci mikrokrążenia wykazuje znaczne zróżnicowanie w różnych strukturach mózgu, zależne przede wszystkim od gęstości synaps oraz nasilenia metabolizmu glukozy. Z tego też względu w istocie szarej mózgu jest ona 3–4 razy większa niż w istocie białej.

Przedni krąg unaczynienia

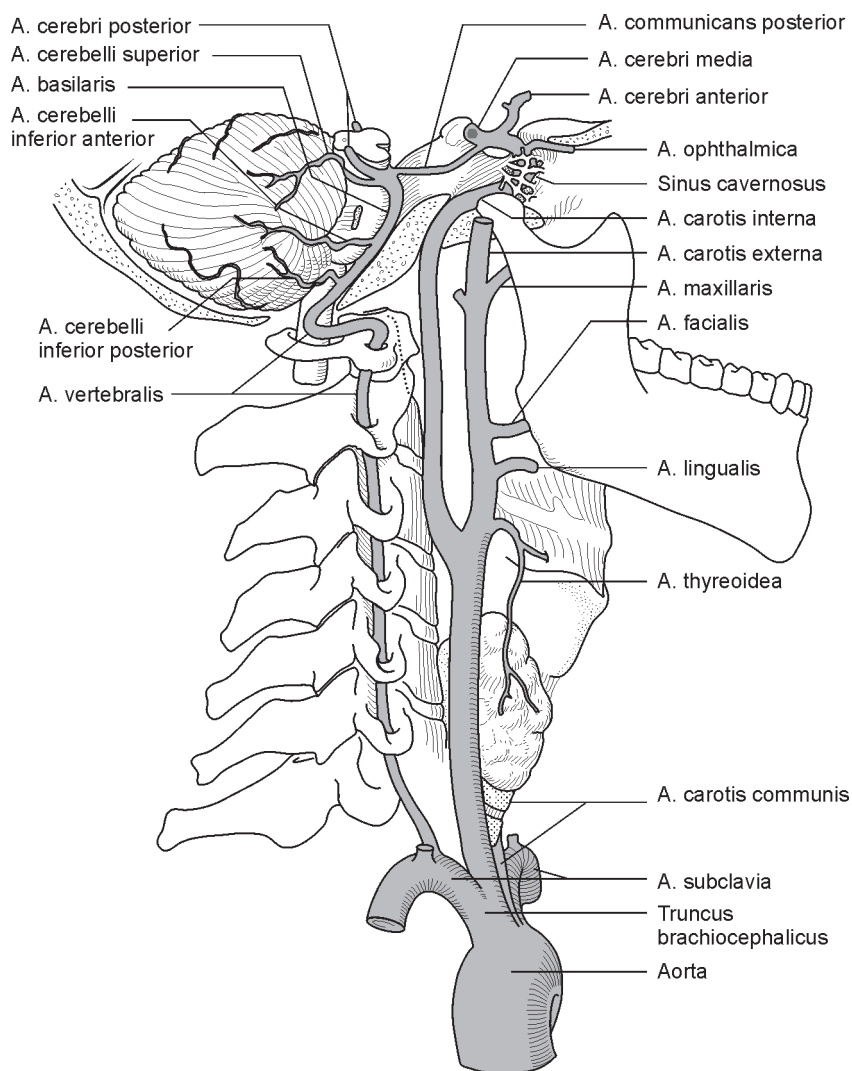
Tętnica szyjna wspólna

Tętnica szyjna wspólna (*arteria carotis communis*) prawa rozpoczyna się w miejscu podziału pnia ramienno-głowego, ku tyłowi od górnego brzegu stawu mostkowo-obojęczkowego prawego, natomiast lewa odchodzi od części wypukłej łuku aorty między pniem ramienno-głowym i tętnicą podobojczykową lewą w śródpiersiu przedtchawiczym (część piersiowa tętnicy szyjnej wspólnej) (ryc. 1). W obrębie szyi (w trójkącie przednim szyi) biegnie stromo ku górze i nieco bocznie, w części dolnej, leżąc bocznie od przełyku i tchawicy, w części górnej bocznie od przełyku, gardła i krtani. Na całym swym przebiegu przylega do przysródkowego obwodu żyły szyjnej wewnętrznej, tworząc razem z nią i nerwem błędnym (leżącym ku tyłowi od naczyń) wspólny pęczek naczyniowo-nerwowy szyi. Tętnica szyjna wspólna na swoim przebiegu nie oddaje gałęzi bocznych, stąd grubość jej, ok. 8 mm, na całym przebiegu się nie zmienia. Tętnica ta dzieli się na wysokości górnego brzegu chrząstki tarczowatej krtani (co w stosunku do szyjnego odcinka kręgosłupa odpowiada górnej części czwartego kręgu szyjnego lub dolnej trzeciego) na tętnicę szyjną zewnętrzną i tętnicę szyjną wewnętrzną. Miejsce podziału jest poszerzone i nosi nazwę zatoki szyjnej, natomiast w kącie podziału leży ciało przyzwojowe, tzw. kłębek szyjny. Na całym swym przebiegu tętnica szyjna wspólna jest otoczona włóknami współczulnymi pochodzącymi z odcinka szyjnego pnia współczulnego (włókna współczulne pozazwojowe ze zwoju szyjnego górnego), tworzącymi splot szyjno-tętniczy wspólny (*plexus caroticus communis*). Uszkodzenie tego splotu (np. w przypadku urazu czy rozwarstwienia tętnicy szyjnej wspólnej) może być przyczyną zespołu Hornera, przejawiającego się częściowym opadnięciem powieki – *ptosis* (skutek porażenia mięśnia tarczowego górnego) oraz zwężeniem źrenicy – *miosis* (porażenie mięśnia rozwiarcza źrenicy i przewaga unerwionego przywspółczulnie przez nerw okoruchowy mięśnia zwieracza źrenicy). Trze-

ci objaw zaliczany do klasycznej triady Hornera, a mianowicie niewielkie zapadnięcie gałki ocznej (*endophtalmus*) wydaje się jedynie złudzeniem wynikającym ze zwężenia szpary powiekowej, a nie jej rzeczywistym zapadnięciem, co miałoby być spowodowane uszkodzeniem mięśnia oczodołowego. Ponadto w zespole tym można stwierdzić (bo nie są to objawy stałe) brak wydzielania potu (*anhidrosis*) i rozszerzenie naczyń krwionośnych (*vasodilatatio*) w dotkniętej urazem połowie twarzy.

Zatoka szyjna (*sinus caroticus*) jest poszerzonym miejscem podziału tętnicy szyjnej wspólnej. Poszerzenie to zwykle obejmuje także początkowy odcinek tętnicy szyjnej wewnętrznej, rzadziej również tętnicy szyjnej zewnętrznej. Zatoka ta rozwija się około 4. r.ż. i występuje u 90% dorosłych. W ścianie tętnicy w tym miejscu występuje skupisko receptorów wrażliwych na ciśnienie krwi, tzw. baroreceptorów. W przypadku zwiększonego ciśnienia krwi prawidłowy odruch z zatoki tętnicy szyjnej sprawia, że w wyniku podrażnienia baroreceptorów dochodzi do zwolnienia czynności serca i rozszerzenia obwodowych naczyń krwionośnych, co prowadzi do spadku ciśnienia tętniczego krwi. Dzieje się to za pośrednictwem gałęzi zatokowych nerwu językowo-gardłowego oraz włókien współczulnych, które przekazują informacje z receptorów zatoki szyjnej do ośrodka sercowego i naczynioruchowego leżących w rdzeniu przedłużonym (w rdzeniu przedłużonym poprzez twór siatkowaty następuje przełączenie impulsacji również do jądra nerwu błędnego). Nadpobudliwość receptorów zatoki szyjnej lub ich nadmierna wrażliwość na bodźce uciskowe leży u podłoża zespołu zatoki szyjnej (omdlenie w następstwie podrażnienia zatoki szyjnej). U starszych osób przyczyną nadmiernej wrażliwości receptorów są prawdopodobnie zmiany miażdżycowe okolicy zatoki szyjnej, wśród innych przyczyn wymienia się nadciśnienie tętnicze i cukrzycę. U takich osób omdlenie (włącznie z zatrzymaniem czynności serca) może być wywołane niewielkim uciskiem zatoki szyjnej, np. przez ciasny kołnierz, czy silnym odgięciem głowy ku tyłowi. Za patologiczne uznaje się zwolnienie czynności serca o 50% lub spadek ciśnienia skurczowego o 40 mm Hg. Wyróżnia się postać kardiodepresyjną i wazodepresyjną tego zespołu, istnienie postaci trzeciej, mózgowej, jest przedmiotem kontrowersji.

Kłębek szyjny (*glomus caroticus*) leży powyżej zatoki tętnicy szyjnej. Zawiera skupisko receptorów wrażliwych na zmniejszenie pO_2 , zwiększenie pCO_2 , zmniejszenie pH, czyli tzw. chemoreceptorów. Informacje z kłębka szyjnego docierają drogą gałęzi zatokowych nerwu językowo-gardłowego oraz gałęzi gardłowych i krtaniowych nerwu błędnego głównie do ośrodka oddechowego w rdzeniu przedłużonym, wpływając na głębokość i szybkość oddechu.



Ryc. 1. Pozaczaszkowy przebieg tętnic doprowadzających krew do mózgowia

Tętnica szyjna zewnętrzna

Tętnica szyjna zewnętrzna (*a. carotis externa*) jest przednią gałęzią końcową tętnicy szyjnej wspólnej (ryc. 1). Na swoim przebiegu oddaje sześć gałęzi bocznych (tętnice: tarczowa górna, językowa, twarzowa, gardłowa wstępująca, potyliczna i uszna tylna), po czym w górnej części szyi, na wysokości głowy żuchwy, ku tyłowi od niej, dzieli się na dwie gałęzie końcowe, tj. tętnicę skroniową powierzchowną i tętnicę szczękową. Tętnica szyjna zewnętrzna w warunkach prawidłowych nie uczestniczy w unaczynieniu mózgowia, jednakże w przypadku zabu-

rzeń krążenia mózgowego jej gałęzie mogą brać udział w tworzeniu krążenia obocznego.

Tętnica szyjna wewnętrzna

Tętnica szyjna wewnętrzna (*a. carotis interna*) odchodzi od tętnicy szyjnej wspólnej i nie oddając w obrębie szyi żadnych gałęzi, biegnie obustronnie ku tyłowi od tętnicy szyjnej zewnętrznej do podstawy czaszki (część szyjna – *pars cervicalis*) (ryc. 1). Następnie przez kostny kanał tętnicy szyjnej wchodzi do dołu środkowego czaszki (część

skalista – *pars petrosa*), gdzie biegnąc ku górze w bruzdzie tętnicy szyjnej na trzonie kości klinowej, wchodzi do zatoki jamistej (część jamista – *pars cavernosa*), w której jest opleciona przez współczulny splot nerwowy – splot jamisty oraz splot żylny. Z części skalistej tętnicy szyjnej wewnętrznej odchodzi gałąź szyjno-bębenkowa (wchodząca do jamy bębenkowej) oraz gałąź kanału skrzydłowego Widiusza (zespalająca się z tętnicą kanału skrzydłowego od tętnicy szczękowej), natomiast część jamista tej tętnicy oddaje gałęzie zatoki jamistej, zaopatrujące zwój trójdzielny, przysadkę mózgową oraz ściany zatoki jamistej. W zatoce jamistej tętnica szyjna wewnętrzna przebiega esowato, zataczając skierowany wypukłością ku przodowi łuk określany mianem syfonu tętnicy szyjnej wewnętrznej (*siphon caroticum*). Przyśrodkowo od wyrostka pochyłego przedniego kości klinowej tętnica ta przebiega oponę twardą, wychodząc z zatoki jamistej (tu rozpoczyna się część mózgową – *pars cerebialis*), po czym przebiega oponę pajęczą i w przestrzeni podpajęczynówkowej oddaje tętnicę oczną, tętnicę łączącą tylną i tętnicę naczyniówkową przednią, a następnie dzieli się na dwie gałęzie końcowe: tętnicę przednią mózgu i tętnicę środkową mózgu.

Tętnica łącząca tylną

Tętnica łącząca tylną (*a. communicans posterior*) jest krótkim naczyniem (12–15 mm), które zespala tętnicę szyjną wewnętrzną z tętnicą tylną mózgu (ryc. 1, 2, 11). Poprzez gałęzie środkowe zwane tętnicami guzowo-wzgórzowymi (*aa. tuberothalamicae*) zaopatruje pasmo wzrokowe, guz popielaty oraz częściowo wzgórze, ponadto oddaje drobne tętniczki unaczyniające odnógę mózgu. Tętnica łącząca tylną jest stosunkowo częstym miejscem występowania tętniaków (ok. 25% wszystkich tętniaków). Tętniak zlokalizowany w początkowym odcinku tej tętnicy może być przyczyną bolesnej neuropatii okoruchowej (z zaburzeniami gałkoruchowymi i źrenicznymi) lub – w przypadku jego pęknięcia – krwotoku podpajęczynówkowego.

Tętnica naczyniówkowa przednia

Tętnica naczyniówkowa przednia (*a. choroidea anterior*) (ryc. 2, 11) biegnie wzdłuż haka zakrętu przyhipokampowego, krzyżując pasmo wzrokowe i zbliżając się do odnogi mózgu. W pobliżu ciała kolankowatego bocznego zagina się w bok, krzyżując dolną powierzchnię pasma wzrokowego i wnika do rogu dolnego komory bocznej, gdzie dzieli się na gałęzie naczyniówkowe (*rami choroidei*) prowadzące krew do splotu naczyniówkowego ko-

mory bocznej. Poprzez te gałęzie tętnica naczyniówkowa przednia może wytwarzać zespolenia z tętnicą naczyniówkową tylną (krążenie naczyniówkowe). Ponadto na swoim przebiegu oddaje:

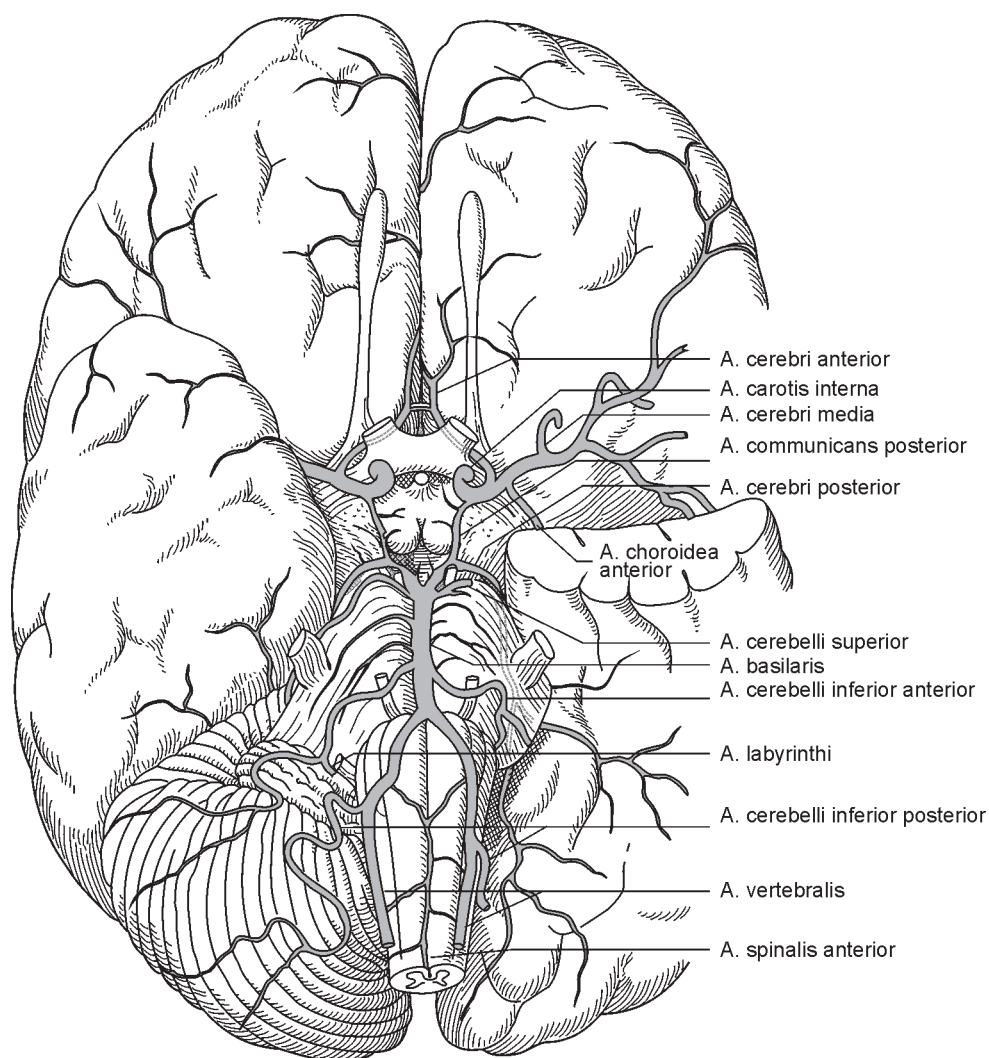
- gałęzie środkowe (*rami centrales*), czyli tętnice środkowe przednio-przyśrodkowe (*aa. centrales antero-mediales*), a dawniej tętnice prążkowiowo-torebkowe (*aa. striatocapsulares*) zaopatrujące odnogę tylną torebki wewnętrznej i jej część zasoczewkową, jądro soczewkowane (głównie gałkę bładą) oraz ogon jądra ogoniastego;
- gałęzie do śródmózgowia zaopatrujące konar mózgu (istota czarna, jądro czerwienne);
- gałęzie do międzymózgowia zaopatrujące boczną część wzgórza, podwzgórze (głównie ciało migdałowe, guz popielaty, jądra podwzgórza), pasmo wzrokowe oraz zawzgórze (głównie ciało kolankowate boczne).

Tętnica przednia mózgu

Tętnica przednia mózgu (*a. cerebri anterior*) odchodzi prawie pod kątem prostym z przedniego obwodu tętnicy szyjnej wewnętrznej, jako jej przednia gałąź końcowa (ryc. 1–3, 5, 6, 11, I kolor). W przebiegu tętnicy przedniej mózgu wyróżnia się krótki odcinek początkowy – część przedspoidłową oraz dalszy, dłuższy – część zaspoidłową. Część przedzespoleniowa (*pars precommunicalis*) – A_1 , rozciąga się od miejsca odejścia od tętnicy szyjnej wewnętrznej do miejsca połączenia z tętnicą łączącą przednią, biegnie na powierzchni istoty dziurkowanej przedniej nad nerwem wzrokowym, oddając tu liczne gałęzie środkowe. Część zazespoleniowa (*pars postcommunicalis*) – A_2 , biegnąc w szczelinie podłużnej mózgu, zatacza łuk wokół kolana ciała modelowatego, a następnie kieruje się ku tyłowi wzdłuż górnej powierzchni jego pnia. Tętnica przednia mózgu najczęściej dzieli się tętnicę okołospoidłową – A_3 , (*a. pericallosa*), która stanowi bezpośrednie przedłużenie naczynia i biegnie na górnej powierzchni pnia, a następnie płata ciała modelowatego, oraz tętnicę spoidłowo-brzeżną – A_4 (*a. callosomarginalis*), która wnika do bruzdy obręczy i biegnie w niej ku tyłowi.

Na swoim przebiegu tętnica przednia mózgu oddaje:

- tętnicę łączącą przednią (*a. communicans anterior*) – krótkie naczynie (długości ok. 4 mm) łączące obie tętnice mózgu przednie. W obrębie tętnicy łączącej przedniej lokalizuje się ok. 30% tętniaków, a kolejne 5–10% w obrębie tętnicy mózgu przedniej. Duży tętniak tętnicy łączącej przedniej może uciskać nerw wzrokowy lub skrzyżowanie wzrokowe, powodując ograniczenie pola widzenia;
- gałęzie środkowe (*rami centrales*), czyli tętnice środkowe przednio-przyśrodkowe (*a. centrales antero-mediales*) lub tętnice prążkowiowe przyśrodkowe (*aa.*

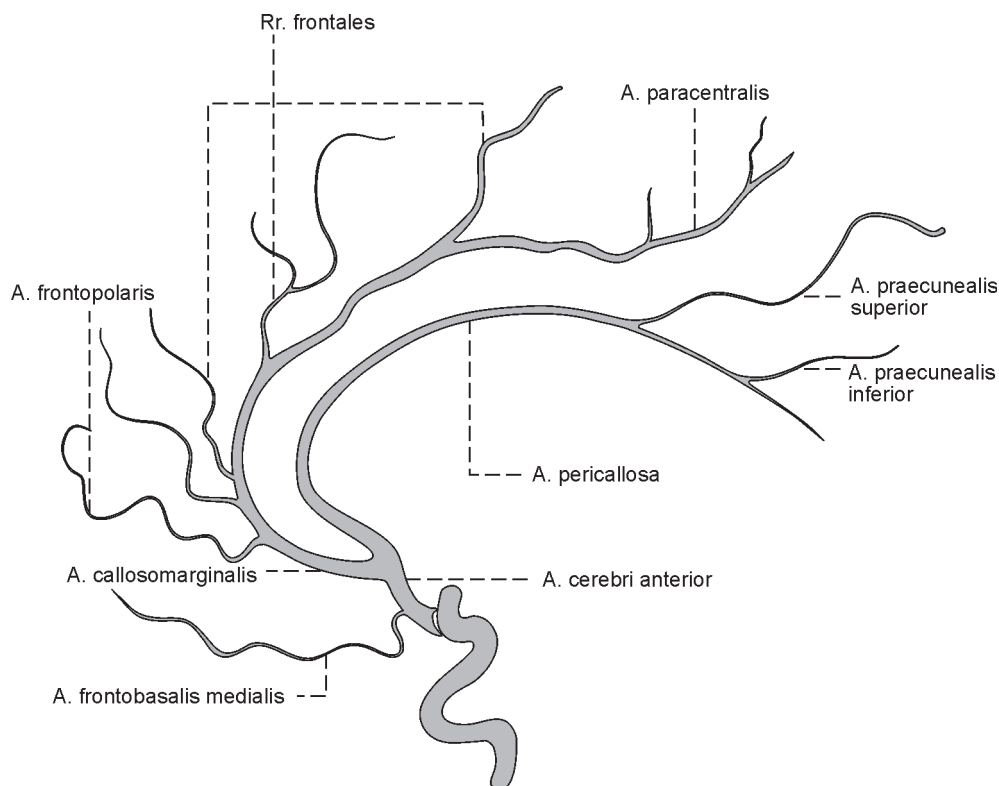


Ryc. 2. Tętnice na powierzchni podstawnej mózgowia. Usunięto część płata skroniowego oraz półkulę mózdzku

striatae mediales), a dawniej tętnice prążkowiowo-torebkowe (*a. striatocapsulares*), wśród nich największa – tętnica wsteczna Heubnera (*a. recurrens Heubneri*), czyli tętnica prążkowiowa przyśrodkowa dalsza (*a. striata medialis distalis*). Ta ostatnia odchodzi najczęściej na wysokości tętnicy łączącej przedniej i biegnie wstecznie, biorąc udział w unaczynieniu głowy jądra ogoniastego, odnogi przedniej torebki wewnętrznej oraz podwzgórza. Charakterystycznym zespołem klinicznym wywołanym zamknięciem tętnicy wstecznej Heubnera jest niedowład twarzowo-ramienny z dyzartrią (Critchley, 1930, cyt. za Warlow i wsp., 2001). Gałęzie środkowe biorą udział

w unaczynieniu głowy jądra ogoniastego oraz odnogi przedniej (i niekiedy kolana) torebki wewnętrznej. W 5–23% przypadków tętnica przednia mózgu nie bierze udziału w unaczynieniu torebki wewnętrznej, zwykle wówczas zwiększa się udział tętnicy środkowej mózgu w jej unaczynieniu (van der Zwan i wsp., 1992).

- gałęzie korowe (*rami corticales*) (ryc. 3) – zmieniają co do liczby, miejsca odejścia i przebiegu. Wśród nich wyróżnia się gałęzie czołowe (*rami frontales*) i ciemniowe (*rami parietales*). Do gałęzi czołowych zalicza się wyróżniającą się wielkością tętnicę czołowo-podstawną przyśrodkową (*a. frontobasalis medialis*), tętnicę czoło-



Ryc. 3. Tętnica przednia mózgu i jej gałęzie. Schemat na podstawie zdjęcia angiograficznego tętnicy szyjnej wewnętrznej

wo-biegunową (*a. frontopolaris*) i zlokalizowaną najbardziej z tyłu tętnicę okołosrodkową (*a. paracentralis*) dla płacika okołosrodkowego. Wśród gałęzi ciemieniowych unaczyniających głównie przedklinek wyróżnia się tętnicę przedklinek górną i dolną (*a. praecunealis superior et inferior*). Gałęzie korowe unaczyniają na powierzchni przyśrodkowej mózgu przedklinek i wszystkie części leżące do przodu od niego, na powierzchni górno-bocznej zakręt czołowy górny oraz przylegające do górnego brzegu półkuli mózgu części zakrętu przedśrodkowego, zakrętu zaśrodkowego oraz płacika ciemieniowego górnego, natomiast na powierzchni dolnej zakręt prosty oraz przednio-przyśrodkową część zakrętów oczodołowych.

Tętnica środkowa mózgu

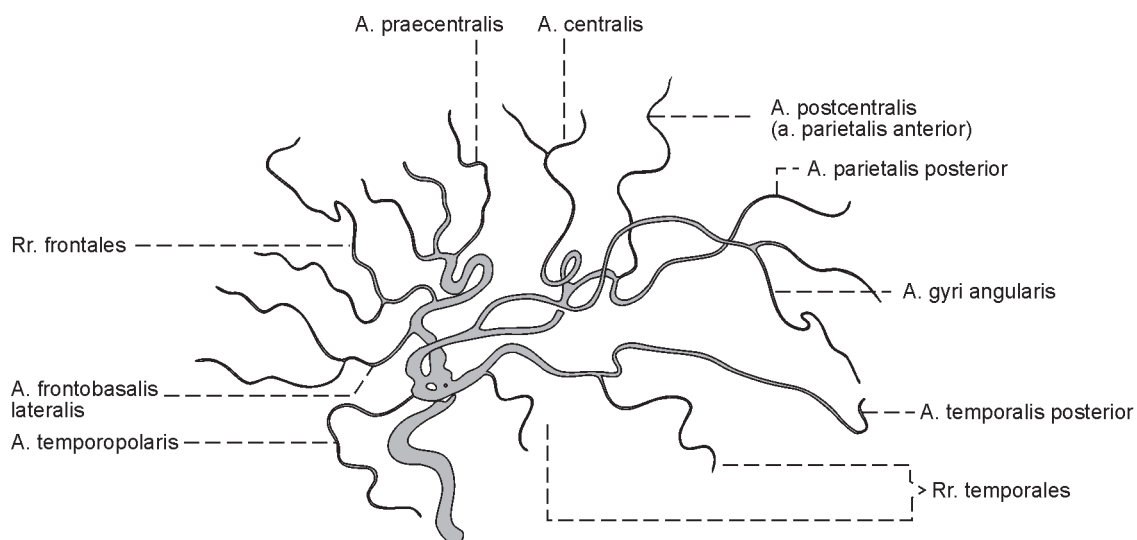
Tętnica środkowa mózgu (*a. cerebri media*) jest bezpośrednim przedłużeniem pnia tętnicy szyjnej wewnętrznej (ryc. 1, 2, 4–6, 11, I kolor). W jej przebiegu wyróżniamy cztery części: klinową, wyspową, wieczkową i korową.

Część klinowa (*pars sphenoidalis*) – M_1 , rozpoczyna się w pobliżu skrzyżowania wzrokowego i biegnie w bok wzdłuż istoty dziurkowanej przedniej, wnikając do bruzdy bocznej (po progu wyspy); następnie poprzecznie wzdłuż skrzydła mniejszego kości klinowej. Na pograniczu części klinowej i wyspowej tętnica środkowa mózgu dzieli się na dwa, rzadziej trzy główne pnie tętnicze.

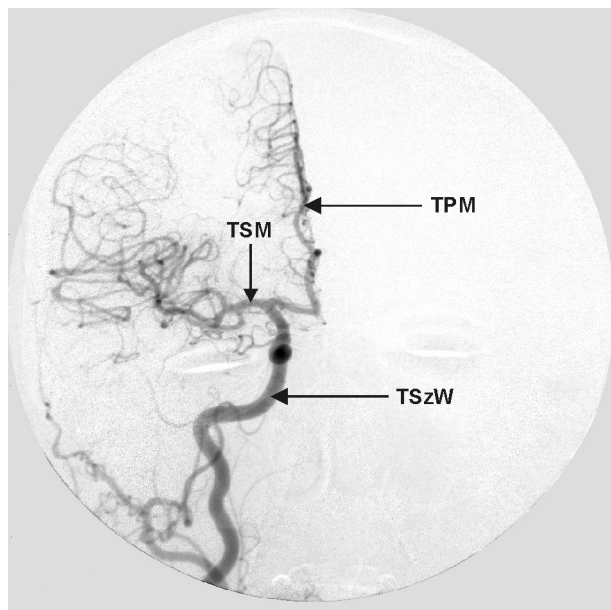
Część wyspowa (*pars insularis*) – M_2 , w tym odcinku tętnica środkowa mózgu nie tworzy pojedynczego pnia, lecz najczęściej dwa pnie tętnicze, które biegną ku tyłowi wzdłuż bruzdy bocznej, przylegając do powierzchni wyspy.

Część wieczkowa (*pars opercularis*) – M_3 , biegnie w postaci kilku pni tętniczych między wieczkiem czołowo-ciemieniowym a skroniowym, wychodząc na powierzchnię górno-boczną półkuli mózgu.

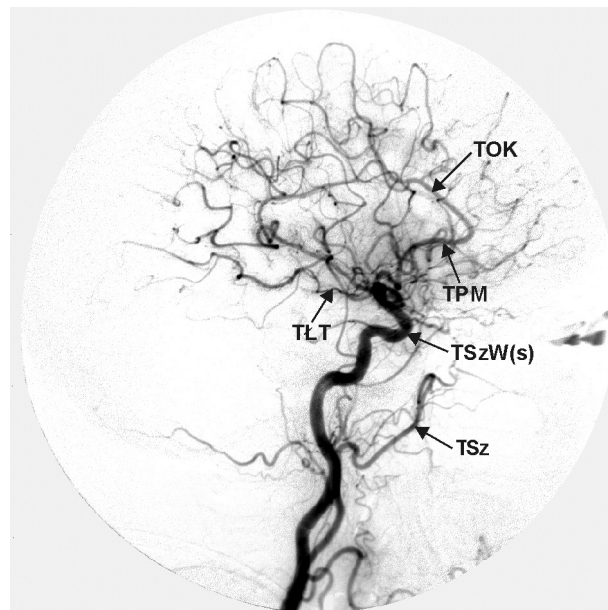
W części korowej (*pars corticalis*), czyli końcowej (*pars terminalis*) – M_4 , gałęzie końcowe tętnicy środkowej mózgu (tętnica ciemieniowa tylna, tętnica zakrętu kątoowego i tętnica skroniowa tylna) biegną na powierzchni górno-bocznej półkuli mózgu.



Ryc. 4. Tętnica środkowa mózgu i jej gałęzie. Schemat na podstawie zdjęcia angiograficznego tętnicy szyjnej wewnętrznej



Ryc. 5. Angiogram ukazujący przedni krąg unaczynienia. Projekcja przednio-tylna. TPM – tętnica przednia mózgu, TSM – tętnica środkowa mózgu, TSzW – tętnica szyjna wewnętrzna



Ryc. 6. Angiogram ukazujący przedni krąg unaczynienia. Projekcja boczna. TŁT – tętnica łącząca tylna, TOK – tętnica okołospoidłowa, TPM – tętnica przednia mózgu, TSz – tętnica szczękowa, TSzW(s) – syfon tętnicy szyjnej wewnętrznej

Na swoim przebiegu tętnica środkowa mózgu oddaje gałęzie środkowe oraz gałęzie korowe:

- gałęzie środkowe (*rami centrales*), czyli tętnice środkowe przednio-boczne (*aa. centrales anterolaterales*) lub tętnice prążkowiowe boczne (*aa. striatae laterales*), a dawniej tętnice prążkowiowo-torebkowe (*aa. striatocapsulares*) biorą udział w unaczynieniu ciała prążkowanego, tj. jądra ogoniastego i jądra soczewkowatego (głównie skorupy) oraz torebki wewnętrznej (główne naczynie zapopatrujące kolano torebki wewnętrznej oraz przylegające do niego części odnóg przedniej i tylnej). Tętnice prążkowiowe boczne są częstym źródłem krwotoków w przebiegu nadciśnienia tętniczego, uszkadzających torebkę wewnętrzną, powodując porażenie i niedoczulicę połowicze przeciwstronne do ogniska uszkodzenia. Charcot uważał, że jedna z tętnic prążkowiowych bocznych, odchodząca pod kątem prostym od tętnicy środkowej mózgu, jest szczególnie często źródłem krwawienia (stąd dawniej określana była jako tętnica krwotoków mózgowych Charcota). Wyniki obecnych badań nie potwierdzają istnienia jednego takiego naczynia szczególnie predysponowanego do pęknięcia, wskazując, że wszystkie długie gałęzie środkowe tętnicy środkowej mózgu bywają stosunkowo często źródłem krwotoków mózgowych;

- gałęzie korowe (*rami corticales*) (ryc. 4), a wśród nich gałęzie czołowe (*rami frontales*) [tętnica oczodołowa (*a. orbitalis*), tętnica czołowo-oczodołowa (*a. fronto-orbitalis*), tętnica przedśrodkowa (*a. precentralis*) i tętnica środkowa (*a. centralis*)], gałęzie ciemieniowe (*rami parietales*) [tętnica ciemieniowa przednia (*a. parietalis anterior*), czyli tętnica zaśrodkowa (*a. postcentralis*), tętnica ciemieniowa tylna (*a. parietalis posterior*) i tętnica zakrętu kąтового (*a. gyri angularis*)] oraz gałęzie skroniowe (*rami temporales*) unaczyniają przednią część płata skroniowego (biegun skroniowy), ponadto na powierzchni górnobocznej półkuli mózgu przeważającą część płata czołowego i ciemieniowego oraz zakręty skroniowe górny i środkowy i płat wyspowy oraz na powierzchni dolnej tylnoboczną część zakrętów oczodołowych.

Tyłny krąg unaczynienia

Tętnica kręgową

Tętnica kręgową (*a. vertebralis*) odchodzi od tętnicy podobojczykowej (ryc. 1, 2, 8–10). W jej przebiegu wyróżnia się trzy części: szyjną, szczytową i śródczaszkową. Część szyjna (*pars cervicalis*) biegnie w otworach wyrostków poprzecznych kręgów szyjnych. Część szczytowa (*pars atlantica*) biegnie w bruździe tętnicy kręgowej na powierzchni górnej kręgu szczytowego, a następnie

przebija błonę szczytowo-potyliczną tylną i przez otwór wielki dostaje się do dołu tylnego czaszki. Część śródczaszkowa (*pars intracranialis*) biegnie wzdłuż brzusznej powierzchni rdzenia przedłużonego, kieruje się do góry i przyśrodkowo, i na poziomie dolnego brzegu mostu łączy się z drugostronną tętnicą w tętnicę podstawną (*a. basilaris*). W dole tylnym czaszki tętnica kręgową oddaje:

- tętnicę rdzeniową tylną (*a. spinalis posterior*) – unaczynia część grzbietową rdzenia przedłużonego wraz z pęczkami smukłym i klinowatym oraz pasmem rdzeniowym nerwu trójdzielnego;

- tętnicę rdzeniową przednią (*a. spinalis anterior*) (ryc. 2) – w odcinku czaszkowym jej gałęzie unaczyniają głównie piramidy rdzenia przedłużonego (wraz z końcowymi odcinkami tętnic kręgowych, początkowe odcinki tętnic rdzeniowych przednich tworzą tzw. koło tętnicze rdzenia przedłużonego);

- tętnicę dolną tylną mózdzku (*a. cerebelli inferior posterior*) (ryc. 1, 2, 10) – unaczynia rdzeń przedłużony, korzenie nerwów czaszkowych IX i X, mózdzek oraz splot naczyniówkowy komory IV. Duże znaczenie praktyczne mają przypadki niskiego odejścia tej tętnicy, która może odchodzić od tętnicy kręgowej nawet na poziomie otworu wielkiego. Tętnica dolna tylna mózdzku biegnie wówczas na znacznym odcinku przez zbiornik mózdkowordzeniowy, co stwarza zagrożenie jej uszkodzenia przy nakłuciu podpotylicznym.

Tętnica podstawna

Tętnica podstawna (*a. basilaris*) biegnie w bruździe podstawnej mostu i kończy się w dole międzykonarowym, gdzie dzieli się na dwie tętnice mózgu tylne (ryc. 2, 8–11, I kolor). Na swoim przebiegu oddaje:

- tętnicę dolną przednią mózdzku (*a. cerebelli inferior anterior*) – unaczynia boczną część rdzenia przedłużonego i mostu, korzenie nerwów czaszkowych VI, VII, VIII, mózdzek oraz splot naczyniówkowy komory IV;

- tętnicę błędnika (*a. labyrinthi*) – unaczynia ucho wewnętrzne;

- gałęzie do mostu (*rami ad pontem*) – unaczyniają most, korzenie nerwów czaszkowych VI, VII i VIII;

- tętnicę górną mózdzku (*a. cerebelli superior*) – unaczynia brzuszną część mostu i śródmózgowia (konary mózgu) oraz mózdzek. Tętniaki tętnicy górnej mózdzku mogą uciskać nerw trójdzielny (neuropatia trójdzielna), a także nerw twarzowy (napadowy skurcz mięśni twarzy).

Tętnica tylna mózgu

Tętnica tylna mózgu (*a. cerebri posterior*) jest parzystą gałęzią końcową tętnicy podstawnej (ryc. 1, 2, 7–11, I kolor), aczkolwiek w 7–14% przypadków odchodzi ona od tętnicy szyjnej wewnętrznej (płodowy typ tętnicy tylnej mózgu). Jej początkowy odcinek między miejscem odejścia od tętnicy podstawnej a miejscem połączenia z tętnicą łączącą tylną – część przedzespoleńiowa (*pars precommunicalis*) – P_1 leży w dole międzykonarowym, wstępując na przyśrodkową powierzchnię odnogi mózgu. Część zazespoleńiowa (*pars postcommunicalis*) – P_2 biegnie w zbiorniku okalającym bocznie i ku tyłowi, dookoła konara mózgu i przez wcięcie namiotu mózdzku przechodzi na powierzchnię przyśrodkową płata skroniowego, gdzie przechodzi w część korową (*pars corticalis*) – P_3 , która po krótkim przebiegu wzdłuż zakrętu przyhipokampowego dzieli się na tętnice potyliczną przyśrodkową i boczną (*a. occipitalis medialis et lateralis*). Tętnica potyliczna boczna jako tętnica skroniowo-potyliczna (*a. temporooccipitalis*) – P_4 biegnie na powierzchni dolnej płatów skroniowego i potylicznego. Tętnica potyliczna przyśrodkowa, czyli tętnica ciemieniowo-potyliczna (*a. parietooccipitalis*) – P_5 , będąca przedłużeniem pnia tętnicy tylnej mózgu, oddaje tętnicę ostrogową (*a. calcarina*) i wraz z nią wchodzi na powierzchnię przyśrodkową płata potylicznego i wnikają do jednoimiennych bruzd. Bardzo często brakuje tętnicy potylicznej bocznej, wówczas główny pień tętnicy tylnej mózgu dzieli się na tętnicę ciemieniowo-potyliczną i tętnicę ostrogową. Tętnica tylna mózgu na swoim przebiegu oddaje:

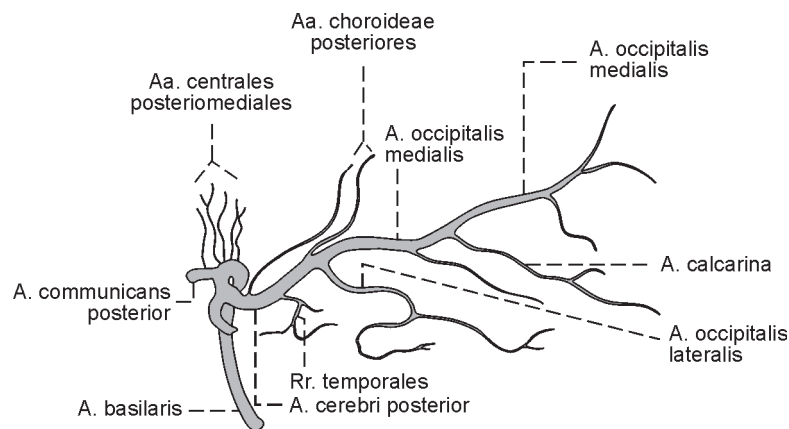
- gałęzie naczyniówkowe tylne (*rami choroidei posteriores*), boczne i przyśrodkowe – prowadzą krew do

splotu naczyniówkowego komory trzeciej i komory bocznej (zespalaając się z tętnicą naczyniówkową przednią), a ponadto biorą udział w unaczynieniu śródmózgowia, szyszynki, wzgórza;

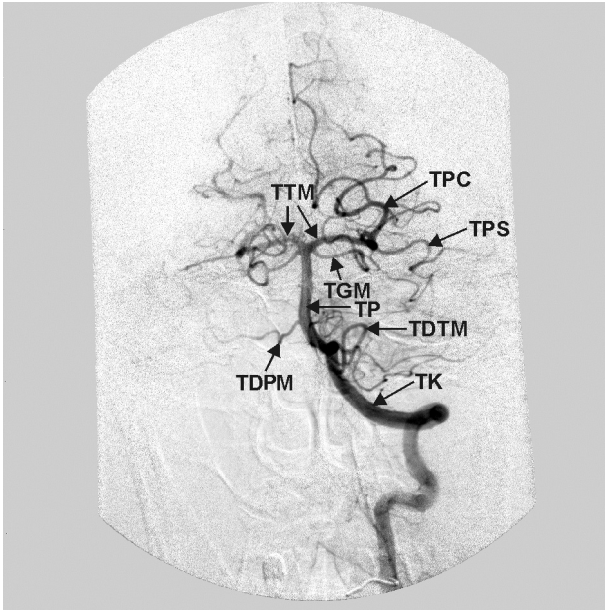
- gałęzie środkowe, które dzieli się na dwie grupy: grupę przyśrodkową czyli tętnice środkowe tylno-przyśrodkowe (*aa. centrales posteromediales*), dawniej tętnice wzgórzowo-dziurkowane (*aa. thalamoperforatae*) i grupę boczną, czyli tętnice środkowe tylno-boczne (*aa. centrales posterolaterales*), dawniej tętnice wzgórzowo-kolanekowe (*aa. thalamogeniculatae*) unaczyniające wzgórze, niskowzgórze, dolną część torebki wewnętrznej i jądra ogoniastego oraz tylną część podwzgórza;

- gałęzie korowe (*rami corticales*) (ryc. 7): skroniowe (*rami temporales*) i potyliczne (*rami occipitales*), unaczyniają na powierzchni przyśrodkowej półkuli mózgu kliniek, tylną część przedklinka, cieśń zakrętu obręczy, na powierzchni górnobocznej półkuli płat potyliczny, tylną część płacika ciemieniowego dolnego, zakręt skroniowy dolny, natomiast na powierzchni dolnej zakręty potyliczno-skroniowe i zakręt hipokampa.

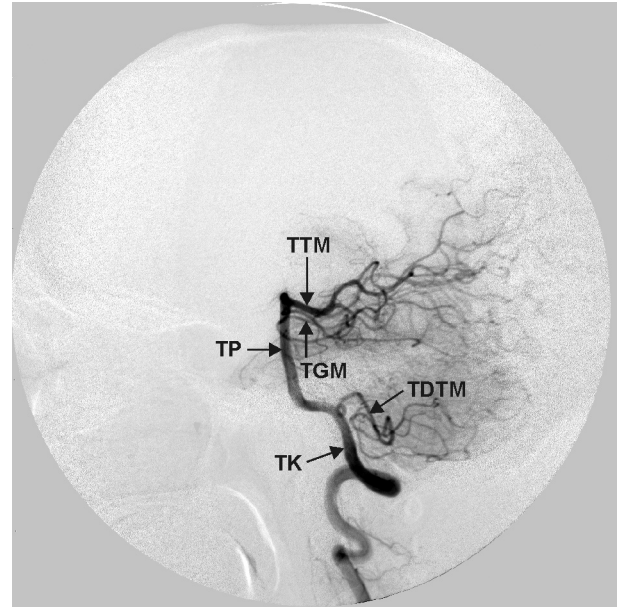
W warunkach prawidłowych tętnica tylna mózgu stanowi parzyste, końcowe rozgałęzienie tętnicy podstawnej. Jednakże w ok. 7–15% przypadków w wieku dorosłym pozostaje płodowy typ unaczynienia, w którym źródłem unaczynienia niemal całego kresomózgowia (włącznie z płatem potylicznym) jest tętnica szyjna wewnętrzna. W takich przypadkach tętnica łącząca tylna jest zdecydowanie lepiej wykształcona niż słabo rozwinięta część przedzespoleńiowa (P_1) tętnicy tylnej mózgu, w związku z czym ta ostatnia prowadzi krew głównie (a niekiedy wyłącznie) od tętnicy szyjnej wewnętrznej.



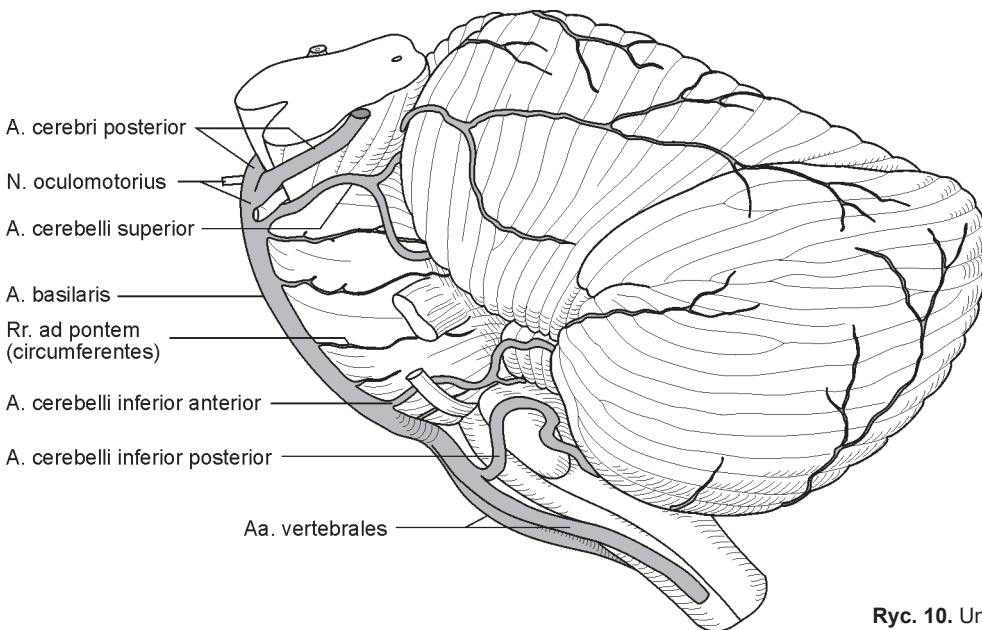
Ryc. 7. Tętnica tylna mózgu i jej gałęzie. Schemat na podstawie zdjęcia angiograficznego tętnicy kręgowej



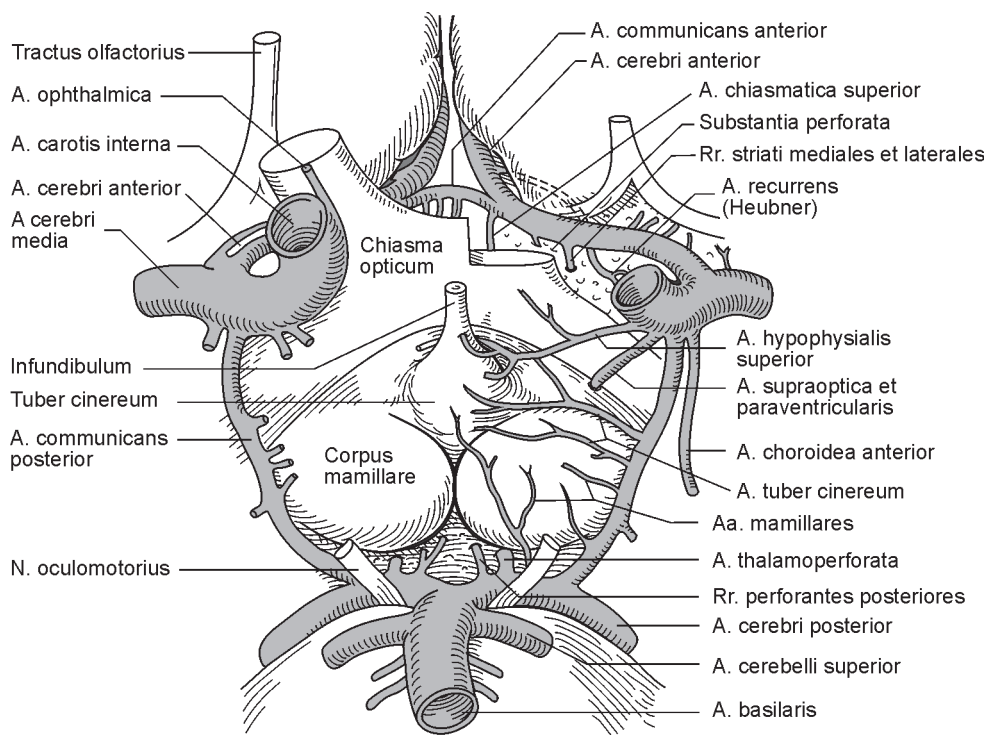
Ryc. 8. Angiogram ukazujący tylny krąg unaczynienia. Projektcja przednio-tylna. TDPM – tętnica dolna przednia mózdzku, TDTM – tętnica dolna tylna mózdzku, TGM – tętnica górna mózdzku, TK – tętnica kręgowa, TP – tętnica podstawna, TPC – tętnica potyliczno-ciemieniowa (t. potyliczna boczna), TPS – tętnica potyliczno-skroniowa (t. potyliczna przyśrodkowa), TTM – tętnica tylna mózgu



Ryc. 9. Angiogram ukazujący tylny krąg unaczynienia. Projektcja boczna. TDTM – tętnica dolna tylna mózdzku, TGM – tętnica górna mózdzku, TK – tętnica kręgowa, TP – tętnica podstawna, TTM – tętnica tylna mózgu



Ryc. 10. Unaczynienie tętnicze mózdzku



Ryc. 11. Koło tętnicze mózgu Willisa

Unaczynienie tętnicze poszczególnych części mózgowia

Unaczynienie kory mózgu przedstawiają ryciny 14, 15, i 16, natomiast unaczynienie struktur głębokich półkuli mózgu opisane jest w tabeli 1.

Międzymózgowie

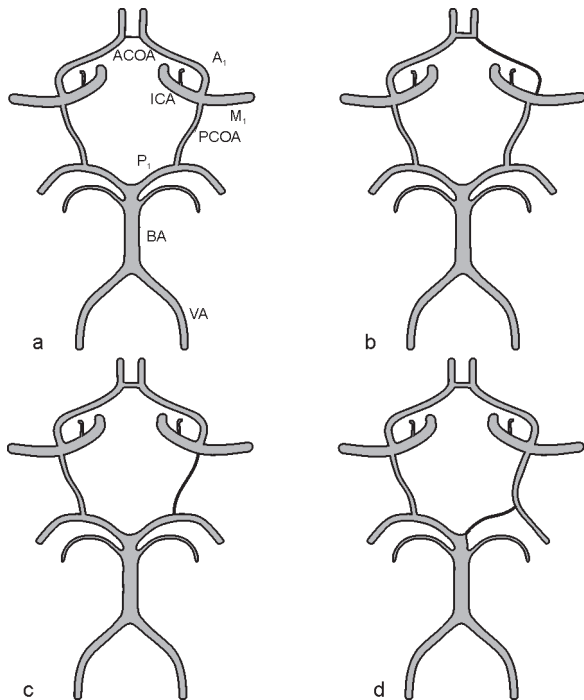
W uproszczeniu można przyjąć, że unaczynienie $\frac{1}{3}$ przedniej wzgórza pochodzi od tętnicy szyjnej wewnętrznej (poprzez tętnicę naczyniówkową przednią i tętnicę guzowo-wzgórzową od tętnicy łączącej tylnej), natomiast źródłem unaczynienia $\frac{2}{3}$ tylnych wzgórza jest tętnica mózgu tylna (poprzez tętnicę naczyniówkową tylną, tętnice wzgórzowo-dziurkowane i tętnice wzgórzowo-kolankowe) (tab. 2).

Pień mózgu

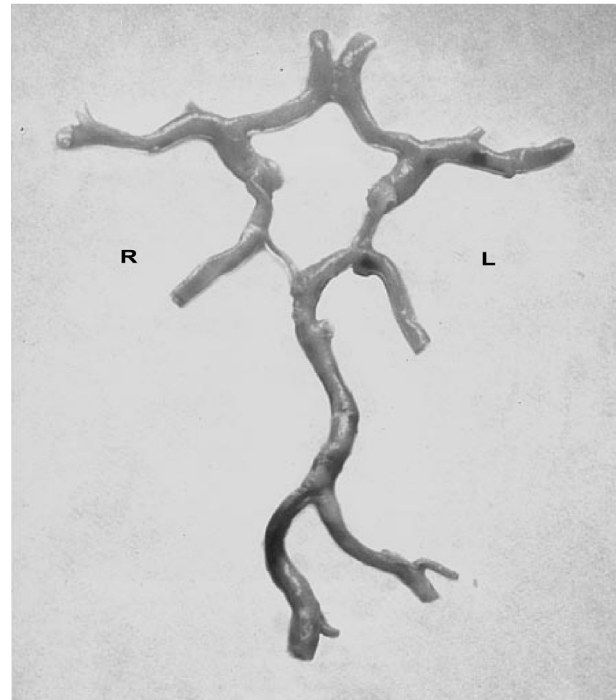
Pień mózgu otrzymuje krew wyłącznie od tętnic układu kręgowo-podstawnego, które biegnąc powierzchownie, oddają wnikaające do pnia mózgu gałęzie przeszywające. Naczynia te ze względu na położenie i obszar unaczynienia można podzielić na trzy grupy: tętnice przyśrodkowe, tętnice boczne i tętnice tylne (tab. 3).

Mózdzek

Mózdzek, podobnie jak pień mózgu, otrzymuje krew wyłącznie od tętnic układu kręgowo-podstawnego poprzez trzy parzyste tętnice: tętnicę dolną tylną mózdzku od tętnicy kręgowej, unaczyniającą część dolno-tylną mózdzku, tętnicę dolną przednią mózdzku od tętnicy podstawnej dla części dolno-przedniej mózdzku oraz tętnicę górną mózdzku od tętnicy podstawnej dla części górnej mózdzku (ryc. 2, 10). Oprócz trzech wymienionych wyżej par zasadniczych tętnic, z których każda dzieli się na dwie gałęzie przyśrodkową i boczną, mózdzek może być zapatrywany przez: tętnicę migdałka mózdzku od tętnicy



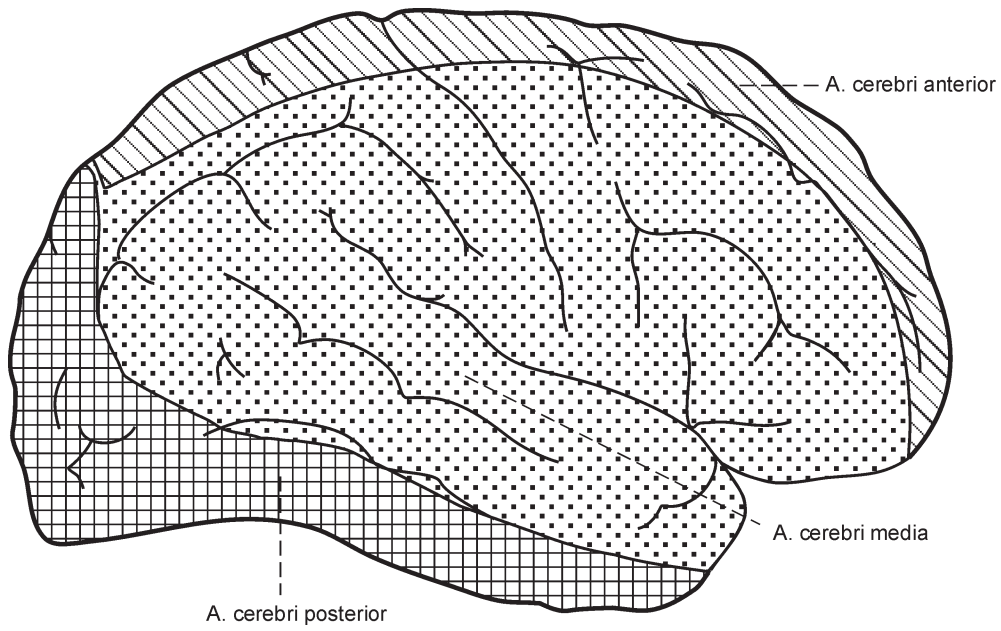
Ryc. 12. Warianty anatomiczne koła tętniczego mózgu Willisa: a) hipoplazja tętnicy łączącej przedniej, b) hipoplazja tętnicy przedniej mózgu, c) hipoplazja tętnicy łączącej tylnej, d) hipoplazja tętnicy tylnej mózgu. A₁ – część przeddespoleniowa tętnicy przedniej mózgu, ACOA – tętnica łącząca przednia, BA – tętnica podstawna, ICA – tętnica szyjna wewnętrzna, M₁ – część klinowa tętnicy środkowej mózgu, P₁ – część przeddespoleniowa tętnicy tylnej mózgu, PCOA – tętnica łącząca tylna, VA – tętnica kręgową



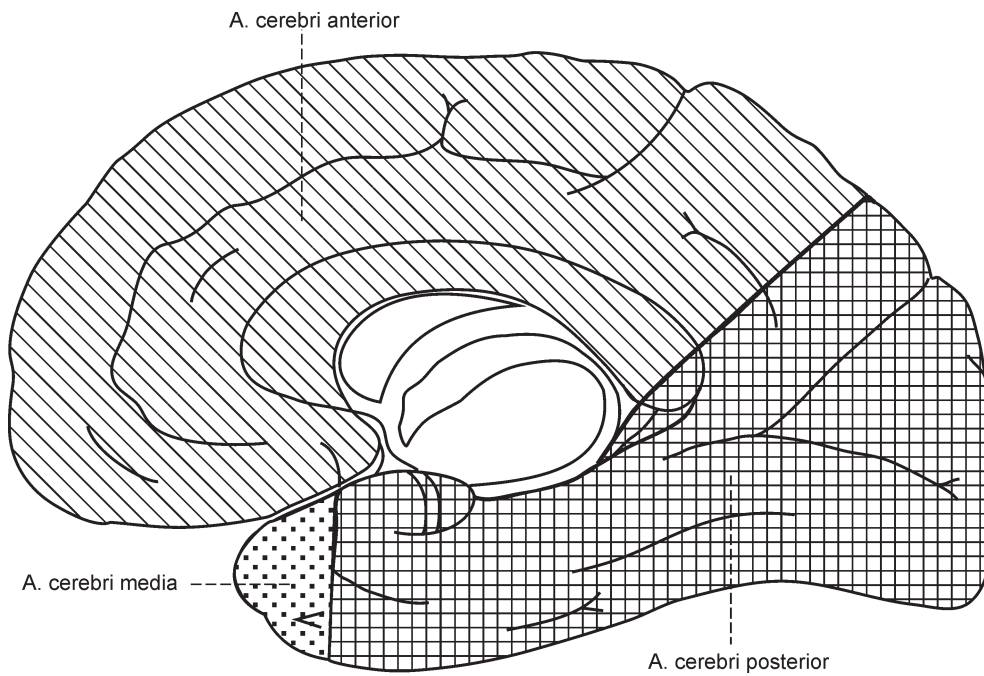
Ryc. 13. Koło tętnicze mózgu Willisa – płodowy typ odejścia prawej tętnicy tylnej mózgu

Tabela 1. Źródła unaczynienia tętniczego struktur podkorowych (głębokich) kresomózgowia

Część kresomózgowia		Źródła unaczynienia
Torebka wewnętrzna	odnoga przednia	gałęzie tętnicy przedniej mózgu (głównie tętnicy Heubnera) i tętnicy środkowej mózgu
	kolano	tętnice prażkowiowo-torebkowe od tętnicy środkowej mózgu, też tętnica Heubnera
	odnoga tylna	tętnica guzowo-wzgórzowa od tętnicy łączącej tylnej od tętnicy szyjnej wewnętrznej, tętnica naczyniówkowa przednia od tętnicy szyjnej wewnętrznej oraz tętnice prażkowiowo-torebkowe od tętnicy środkowej mózgu
Jądro ogoniaste	głowa	głównie tętnica przednia mózgu, w mniejszym stopniu tętnica środkowa mózgu
	trzon	głównie tętnica środkowa mózgu, w mniejszym stopniu tętnica przednia i tylna mózgu
	ogon	głównie tętnica tylna mózgu, w mniejszym stopniu tętnica środkowa mózgu
Jądro soczewkowate	część przednia	głównie tętnica przednia mózgu, też tętnica środkowa mózgu
	część środkowa	tętnica środkowa mózgu – główne naczynie zaopatrujące jądro soczewkowate
	część tylna	głównie tętnica tylna mózgu, też tętnica środkowa mózgu

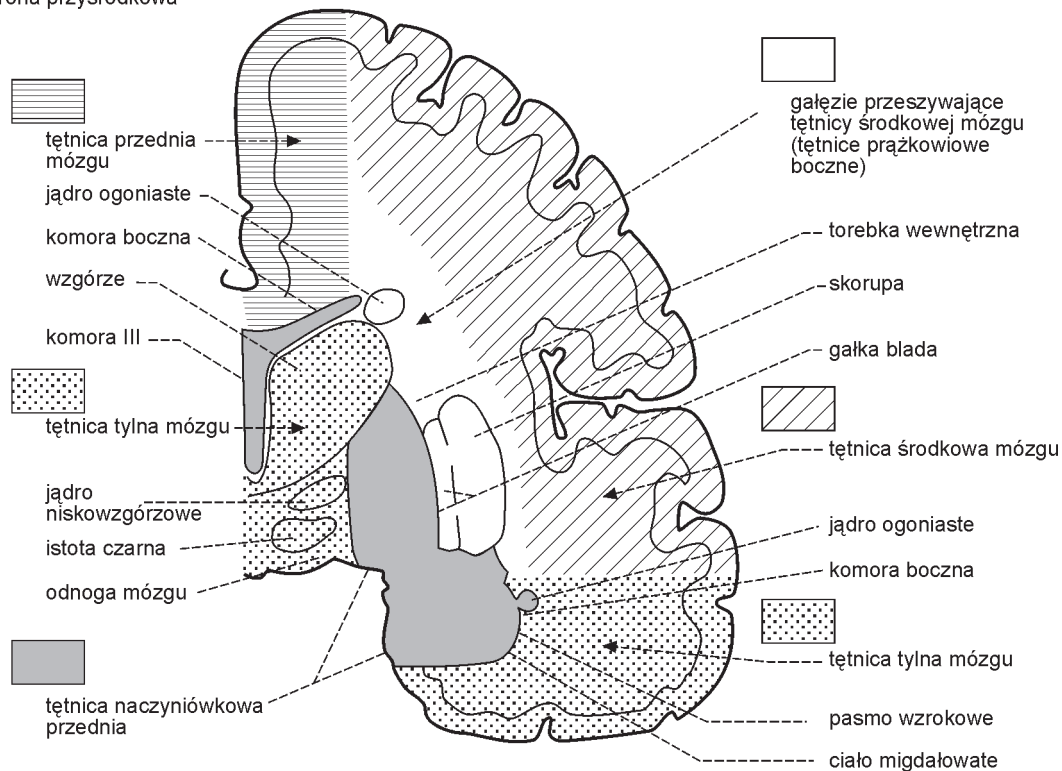


Ryc. 14. Źródła unaczynienia kory mózgu na powierzchni górnobocznej półkuli mózgu



Ryc. 15. Źródła unaczynienia kory mózgu na powierzchni przyśrodkowej półkuli mózgu

Strona przysrodkowa



Ryc. 16. Przekrój poprzeczny przez półkulę mózgu. Zakres unaczynienia poszczególnych tętnic mózgu

Tabela 2. Źródła unaczynienia tętniczego międzymózgowia

	Tętńce	Zakres unaczynienia
	tętńce guzowo-wzgórzowe od tętńcy łączącej tylnej	przednia część wzgórza
	tętńca naczyniówkowa przednia od tętńcy szyjnej wewnętrznej	przednia część wzgórza
Wzgórze	tętńce wzgórzowo-dziurkowane od tętńcy tylnej mózgu	tylno-przysrodkowa część wzgórza
	tętńce wzgórzowo-kolankowe od tętńcy tylnej mózgu	brzuszo-boczna część wzgórza
	tętńca naczyniówkowa tylna od tętńcy tylnej mózgu	tylna część wzgórza
Nadwzgórze	gałęzie naczyniówkowe tętńcy tylnej mózgu	
Zawzgórze	gałęzie do międzymózgowia tętńcy naczyniówkowej przedniej	
Podwzgórze	gałęzie pochodzące od naczyń koła tętniczego mózgu (tętńca łącząca przednia, tętńca przednia mózgu, tętńca szyjna wewnętrzna, tętńca łącząca tylna, tętńca tylna mózgu) oraz od tętńcy naczyniówkowej przedniej	
Niskowzgórze	gałęzie środkowe tętńcy tylnej mózgu	

Tabela 3. Źródła unaczynienia tętniczego pnia mózgu

	Grupa gałęzi	Główne źródło gałęzi	Dodatkowe źródło gałęzi	Zakres unaczynienia
Śródmózgowie	tętnice przyśrodkowe	tętnica podstawna tętnica tylna mózgu	tętnica łącząca tylna	przyśrodkowe części odnóg mózgu, pośrodkowa część nakrywki wraz z istotą czarną oraz jądrami nerwów czaszkowych III i IV
	tętnice boczne	tętnica tylna mózgu tętnica górna mózdzku	tętnica naczyniówkowa przednia	boczna część konarów mózgu
	tętnice tylne	tętnica tylna mózgu	tętnica górna mózdzku	blaszka pokrywy
Most	tętnice przyśrodkowe	tętnica podstawna		przyśrodkowe obszary części brzusznej i grzbietowej mostu
	tętnice boczne, czyli gałęzie okalające krótkie	tętnica podstawna	tętnica dolna przednia mózdzku tętnica górna mózdzku	część brzuszno-boczna mostu
	tętnice tylne, czyli gałęzie okalające długie	tętnica podstawna		część grzbietowo-boczna mostu
Rdzeń przedłużony	tętnice przyśrodkowe	tętnica rdzeniowa przednia	końcowe odcinki tętnic kręgowych, początkowy odcinek tętnicy podstawnej	część przyśrodkowa rdzenia przedłużonego
	tętnice boczne	tętnica dolna przednia mózdzku	tętnica dolna tylna mózdzku tętnice kręgowe tętnica podstawna	część boczna rdzenia przedłużonego
	tętnice tylne	tętnica dolna tylna mózdzku	tętnica rdzeniowa tylna	część grzbietowo-boczna rdzenia przedłużonego

kręgowej oraz tętnicę dolną środkową mózdzku od tętnicy podstawnej. Zakres unaczynienia tętnic mózdzku jest bardzo zmienny, niekiedy liczba tętnic mózdzku jest mniejsza, brakuje wtedy najczęściej tętnicy dolnej przedniej mózdzku. Ze względu na dobrze rozwinięte krążenie oboczne między naczyniami mózdzku, w wypadku zamknięcia pojedynczego naczynia, przeważnie powstaje tylko małe ognisko rozmiękania, nierzadko ognisko takie jest nieme pod względem klinicznym.

Obszary graniczne tętniczego unaczynienia mózgowia

Obszary graniczne tętniczego unaczynienia mózgowia określane także jako pola ostatniej łąki to obszary mózgo-

wia leżące na granicy zakresów unaczynienia dwóch lub więcej głównych tętnic mózgowia. Kliniczne znaczenie tych obszarów związane jest z ich potencjalnie większym narażeniem na niedokrwienie prowadzące do wystąpienia udaru niedokrwiennego mózgu, najczęściej o przyczynie hemodynamicznej, określanego mianem zawału ostatniej łąki (*last meadow infarct*), zawału z pogranicza stref (*border-zone infarct*) lub zawału wodnodziałowego (*watershed infarct*). Biorąc pod uwagę kryterium lokalizacji, wyróżnia się dwa rodzaje obszarów granicznych: powierzchniowe i głębokie (wewnętrzne).

Obszary graniczne powierzchniowe w obrębie mózgu leżą na granicy zakresów unaczynienia gałęzi korowych tętnic mózgu przedniej, środkowej i tylnej, natomiast w mózdzku na granicy zakresów unaczynienia tętnic mózdzku. Są to naczynia wytwarzające liczne połączenia (anastomozy) tętnicze, a obszary graniczne unaczynienia występują w miejscach, gdzie wyrównuje się ciśnienie

nie krwi pomiędzy zespalającymi się układami naczyń. Zmiany ciśnienia krwi w jednym z układów prowadzą do przesunięcia zakresu unaczynienia w kierunku układu tętniczego, w którym przepływ krwi jest upośledzony. Anatomicznie obszar graniczny unaczynienia tętnic mózgu przedniej i tylnej na powierzchni przyśrodkowej półkuli mózgu zlokalizowany jest w 48% przypadków w obrębie przedklinka lub nieco bardziej ku tyłowi w sąsiedztwie bruzdy ciemieniowo-potylicznej (34% przypadków wg van der Zwana i wsp., 1992), z kolei na powierzchni górnobocznej w obrębie płacika ciemieniowego górnego (lub nieco ku tyłowi w okolicy końcowego odcinka bruzdy ciemieniowo-potylicznej zlokalizowanego już na powierzchni górnobocznej półkuli) i bruzdy potylicznej poprzecznej. Obszar graniczny unaczynienia tętnic mózgu przedniej i środkowej na powierzchni dolnej półkuli zlokalizowany jest w obrębie płata czołowego, nieco bocznie od bruzdy wężowej, natomiast na powierzchni górnobocznej niejednokrotnie w sąsiedztwie bruzdy czołowej górnej. Obszar graniczny unaczynienia tętnic mózgu środkowej i tylnej na powierzchni górnobocznej najczęściej obejmuje zakręt skroniowy dolny (64% przypadków wg van der Zwana i wsp., 1992), rzadziej sięga wyżej do bruzdy skroniowej dolnej lub niżej, leżąc już na powierzchni dolnej półkuli mózgu w sąsiedztwie bruzdy ciemieniowo-potylicznej bocznej. Na powierzchni górnobocznej półkuli mózgu zlokalizowany jest tzw. trójkąt trzech ziem. Jest to obszar w obrębie płata ciemieniowego zaopatrywany przez gałęzie korowe tętnic mózgu przedniej, środkowej i tylnej. W obszarze tym stosunkowo częściej występuje udar hemodynamiczny. Ognisko niedokrwienia ma kształt trójkąta podstawą skierowanego ku powierzchni mózgu, a szczytem do kąta trójkąta komorowego. W mózdzku niedokrwienie w obszarze granicznym unaczynienia tętnicy górnej mózdzku i tętnicy tylnej dolnej mózdzku prowadzi do powstania ogniska niedokrwiennego w kształcie trójkąta z podstawą sięgającą do kory mózdzku, a szczytem skierowanym do jądra zębatego. Należy podkreślić, że przedstawiona powyżej lokalizacja anatomiczna obszarów granicznych charakteryzuje się znaczną zmiennością uwarunkowaną zróżnicowanymi osobniczo zakresami unaczynienia poszczególnych tętnic mózgowia, a ponadto modyfikowana jest przez czynniki hemodynamiczne.

Obszary graniczne wewnętrzne zlokalizowane są na pograniczu zakresów unaczynienia gałęzi głębokich (przeszywających) zaopatrujących głębokie struktury podkorowe i naczyń pochodzących od gałęzi korowych dużych tętnic mózgowia unaczyniających korę mózgu wraz z istotą białą podkorową. Ponieważ tętnice zaopatrujące głębokie struktury mózgowia czynnościowo są naczyniami końcowymi, niewytwarzającymi zespoleń, głębokie obszary graniczne są bardziej stałe niż powierzchowne. Anatomicznie wewnętrzny obszar graniczny

obejmuje istotę białą wieńca promienistego oraz zewnętrzne części jąder podkorowych.

Podstawy anatomiczne krążenia obocznego mózgowia

Poznanie istoty krążenia obocznego jest ważne dla zrozumienia mechanizmu udaru niedokrwiennego mózgu. Stopień jego wydolności ma decydujące znaczenie dla następstw zamknięcia danej tętnicy zaopatrującej mózgowie. Krążenie oboczne uruchamiane w przypadku obecności zwężenia lub zamknięcia tętnic mózgowych może bowiem zabezpieczyć zagrożone niedokrwieniem obszary mózgu. Im lepiej jest rozwinięte krążenie oboczne, a z drugiej strony im dłużej postępowało zwężenie (lub zamknięcie) tętnic mózgowych, tym bardziej jest ono tolerowane. Układem krążenia obocznego o największej wydolności jest koło tętnicze mózgu opisane po raz pierwszy w 1664 r. przez Thomasa Willisa. Koło tętnicze mózgu (*circulus arteriosus cerebri*) jest wieńcem naczyniowym zlokalizowanym w przestrzeni podpajęczynówkowej podstawy mózgu, który łączy naczynia układu szyjnego i kręgowo-podstawnego. Otacza ono twory leżące na powierzchni brzusznej podwzgórza, tj. skrzyżowanie wzrokowe, guz popielaty, ciała suteczkowate oraz istotę dziurkowaną tylną. W skład tego koła wchodzi (w kierunku od przodu ku tyłowi): tętnica łącząca przednia, tętnica przednia mózgu, tętnica szyjna wewnętrzna, tętnica łącząca tylna, tętnica tylna mózgu i tętnica podstawna (ryc. 11, I kolor). W warunkach fizjologicznych nie ma wymiany krwi pomiędzy tętnicą podstawną a tętnicą szyjną wewnętrzną, każda z nich zaopatruje w krew określony obszar mózgu. Strumienie krwi z obu układów tętnic spotykają się w połowie długości tętnicy łączącej tylnej, gdzie ciśnienie krwi się wyrównuje. Nie ma także wymiany krwi pomiędzy obiema tętnicami przednimi mózgu; strumienie krwi z tych tętnic spotykają się w połowie długości tętnicy przedniej mózgu. Jeśli dojdzie do zamknięcia światła obu tętnic szyjnych wewnętrznych lub obu tętnic kręgowych (lub tętnicy podstawnej), wówczas dzięki istnieniu tętnicy łączącej tylnej dochodzi do rozwoju krążenia obocznego: albo ku przodowi z tętnicy podstawnej (w razie zamknięcia tętnic szyjnych wewnętrznych), albo ku tyłowi z tętnic szyjnych wewnętrznych (w przypadku niedrożności tętnicy podstawnej). Podobnie w przypadku zamknięcia jednej tętnicy szyjnej wewnętrznej krew dopływa do obszaru zaopatrywanego przez tę tętnicę poprzez tętnicę łączącą tylną (od tętnicy mózgu tylnej od tętnicy podstawnej) oraz poprzez tętnicę łączącą przednią (od drugostronnej tętnicy szyjnej wewnętrznej). Prawidłowo wykształcone koło tętnicze jest bardzo wydolne pod względem krążenia obocznego,

tak że nawet niedrożność tętnicy szyjnej wewnętrznej może nie wywołać żadnych istotnych objawów klinicznych. Jednakże należy zaznaczyć, że koło tętnicze charakteryzuje się ogromną zmiennością budowy, czego następstwem może być zmniejszenie możliwości krążenia obocznego na tym poziomie lub nawet brak takiej możliwości. Z klinicznego i czynnościowego punktu widzenia niezmiernie istotne są przypadki, w których ciągłość koła tętniczego jest przerwana wskutek niewytworzenia któregoś z jego odcinków. Prowadzi to do wytworzenia tzw. otwartego koła tętniczego występującego w ok. 6% przypadków. Różnego rodzaju nieprawidłowości dotyczące budowy koła tętniczego zależnie od przyjętych kryteriów stwierdzane są w 50–80% przypadków (Riggs, Rupp, 1963; cyt. za Warlow i wsp., 2001). Badania prowadzone przez Riggsa i Rupp na materiale sekcyjnym 994 przypadków ujawniły zmiany rozwojowe (hipoplazja) przedniej części koła tętniczego w 13% przypadków (ryc. 12a, b), w zakresie tylnej części koła w 32% (ryc. 12c, d), natomiast zmiany obu jego części w kolejnych 36% przypadków. W obrębie przedniej części koła zmiany rozwojowe najczęściej dotyczą tętnicy łączącej przedniej. Tętnica ta może być podwójna, występować w postaci litery V lub Y, natomiast stosunkowo rzadko stwierdza się zupełny brak tętnicy łączącej przedniej. Rzadką wadą rozwojową jest także połączenie obu tętnic przednich mózgu z wytworzeniem wspólnego pnia tętniczego, dzielącego się następnie na gałąź prawą i lewą. Dużej zmienności podlega także tętnica łącząca tylna. Często wadą jest wąskie światło tętnicy łączącej tylnej (mniejsze niż 1 mm), jej brak lub odejście tętnicy tylnej mózgu od tętnicy szyjnej wewnętrznej zamiast od tętnicy podstawnej (ryc. 12, 13). W ostatnim przypadku tętnica szyjna wewnętrzna jest źródłem unaczynienia całego kresomózgowia po danej stronie. W nielicznych przypadkach stwierdza się obustronny brak tętnicy łączącej tylnej i wiążące się z tym oddzielenie przedniego i tylnego układu unaczynienia mózgowia. Fakt ten ma istotne implikacje kliniczne; zaburzenia przepływu krwi w zakresie tylnego układu unaczynienia mogą bowiem wywołać zdecydowanie większy deficyt neurologiczny niż u pacjentów z prawidłowo ukształtowanym kołem tętniczym mózgu zapewniającym odpowiednie krążenie oboczne. Oprócz zmian wrodzonych (anomalia rozwojowe, warianty anatomiczne) istotnie ograniczających możliwości wytworzenia krążenia obocznego, ograniczenia te wiążą się także ze zmianami nabytymi (np. miażdżycowymi) naczyń koła tętniczego Willisa. Ponadto w obrębie naczyń wchodzących w skład koła tętniczego mózgu stosunkowo często zlokalizowane są patologiczne ich rozszerzenia – tętniaki, występując najczęściej w miejscach, gdzie tętnice się rozgałęziają.

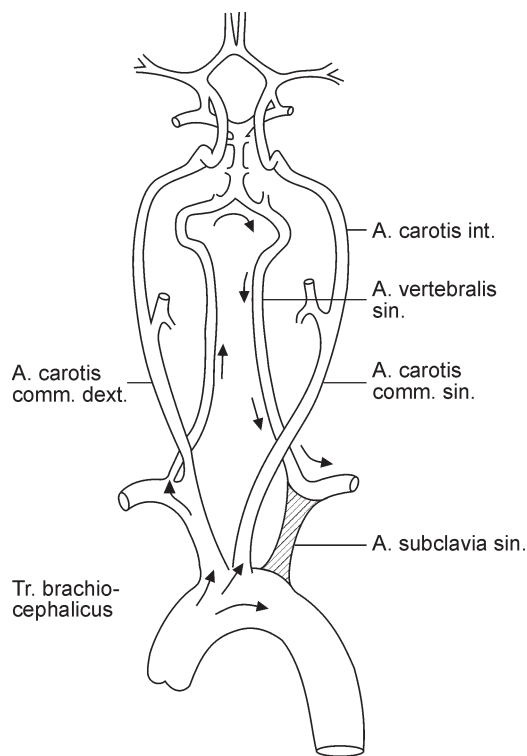
Koło tętnicze mózgu tworzy najważniejsze, ale nie jedyne, połączenie między tętnicami mózgu. Krążenie

oboczne może się także rozwinąć za pośrednictwem połączeń między gałęziami korowymi tętnic mózgowia. Są one niekiedy tak dobrze rozwinięte, że stopniowe zamykanie światła jednej z tętnic mózgu może przebiegać bezobjawowo. Na powierzchni mózgu i mózdzku istnieją połączenia między tętnicami o średnicy 0,2–0,6 mm, których zadaniem jest zmniejszenie lub wyrównanie niedostatku ukrwienia powstałego w obszarze zaopatrywanym przez jedną z gałęzi korowych. Największe połączenie znajduje się między tętnicą przednią a środkową mózgu w obszarze środkowym, a ponadto między tętnicą środkową a tylną mózgu w obrębie bruzdy ciemieniowo-potylicznej oraz między przednimi i tylnymi tętnicami mózgu w obrębie przedklinka. Połączenia te funkcjonują tak dobrze, że kora bieguna potylicznego może pozostać niezmienniona, mimo że pozostała część kory potylicznej ulega martwicy w następstwie zamknięcia tętnicy ostrogowej. Fakt ten wyjaśnia też dlaczego w przypadku połowicznego niedowidzenia pozostaje widzenie płamkowe.

Kolejną możliwość rozwoju krążenia obocznego dają połączenia, które istnieją pomiędzy tętnicą szyjną zewnętrzną a wewnętrzną. Wśród nich wyróżnia się połączenia pomiędzy tętnicą oczną a tętnicą twarzową, pomiędzy tętnicą nadoczodołową (od tętnicy ocznej) a tętnicą skroniową powierzchowną oraz pomiędzy tętnicami sitowymi (od tętnicy ocznej) a tętnicą klinowo-podniebienną (od tętnicy szczękowej).

Zespół podkradania podobojczykowego

Zespół podkradania podobojczykowego (*subclavian steal syndrome*) (Fisher, 1961), czyli zespół kręgowo-podobojczykowy, powstaje wskutek zamknięcia lub dużego zwężenia tętnicy podobojczykowej przed odejściem od niej tętnicy kręgowej. Zmniejszenie ciśnienia krwi w tętnicy podobojczykowej w jej odcinku dystalnym w stosunku do zwężenia powoduje odwrócenie kierunku przepływu krwi (z dogłowego w doogonowy) w odpowiedniej tętnicy kręgowej. Krew do tętnicy kręgowej po stronie zwężenia dopływa przez połączenie z tętnicą kręgową strony przeciwnej (ryc. 17), czego następstwem jest zmniejszenie dopływu krwi do tętnicy podstawnej. Następstwem tego może być niedokrwienie w obszarze unaczynienia układu kręgowo-podstawnego, którego nasilenie (czas trwania i rozległość, a co za tym idzie, następstwa kliniczne) w dużym stopniu zależne jest od wydolności krążenia obocznego oraz czasu, w którym doszło do zwężenia (zamknięcia) tętnicy podobojczykowej. Objawy kliniczne niedokrwienia nieradko występują wówczas, gdy chory wykonuje pracę fizyczną górną po stronie zwężenia. Powoduje to zwiększenie dopływu



Ryc. 17. Schemat przedstawiający zespół podkradania podobojczykowego. Na skutek niedrożności początkowego odcinka prawej tętnicy podobojczykowej krew do dalszego odcinka tej tętnicy i dalej do prawej pachowej napływa z prawej tętnicy kręgowej

krwi do naczyń kończyny górnej i zarazem, na skutek „kradzieży” krwi z tętnicy kręgowej, zmniejszenie dopływu krwi do tętnicy podstawnej. Badaniem stwierdza się różnice tętna i ciśnienia krwi w kończynach górnych; po stronie zwężenia tętno jest słabsze, a ciśnienie krwi jest niższe, zwykle co najmniej o 30 mm Hg. Ponadto niekiedy można wysłuchać szmer w okolicy nadobojczykowej. Zespół podobny do opisanego może także powstać na skutek zwężenia lub zamknięcia pnia ramiennie-głowego.

Żyły mózgowia

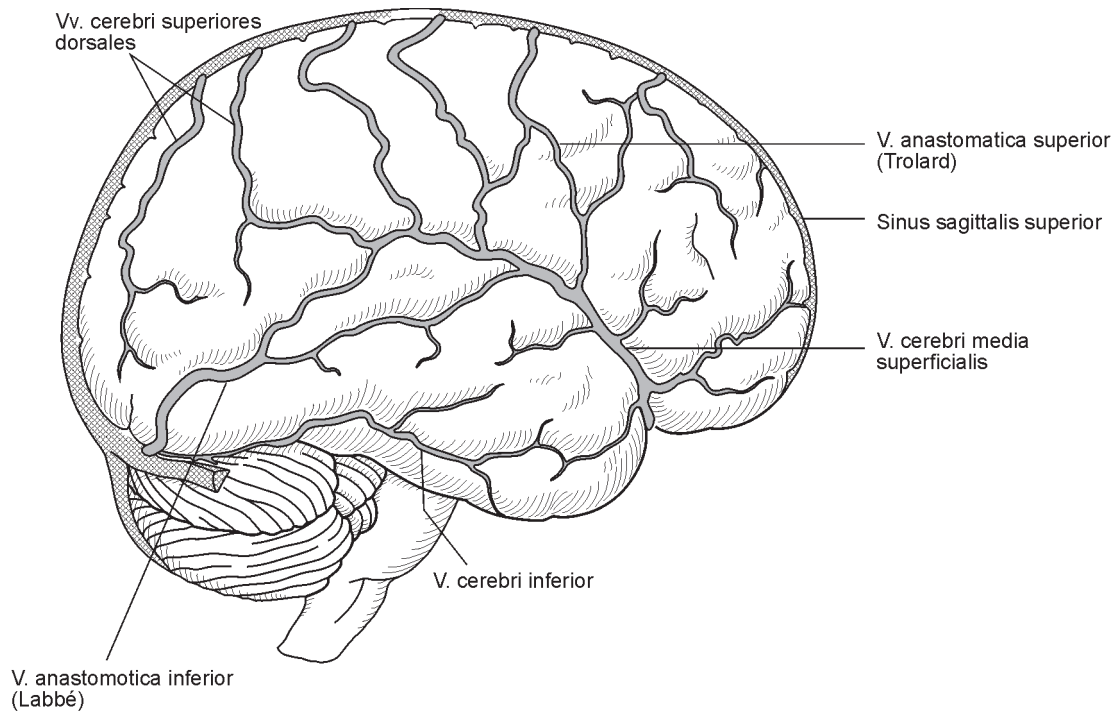
Krew żylna z mózgowia odpływa przez dwa większe układy żylny: żyły mózgu i żyły mózdzku oraz drobne żyłki (cechujące się wybitną zmiennością dotyczącą zarówno liczby, jak i ich przebiegu) do zatok żylnych opony twardej, skąd odpływa do żył szyjnych wewnętrznych. W krążeniu żylnym odpływ krwi z mózgowia i opony twardej

jest wspólny, w przeciwieństwie do układu tętniczego, w którym unaczynienie mózgowia i opony twardej pochodzi od naczyń biegnących całkowicie oddzielnie. Cechą charakterystyczną żył mózgowia w porównaniu z żyłami innych narządów jest dysproporcja grubości ich ścian w stosunku do średnicy światła. Wszystkie warstwy ściany tych naczyń są stosunkowo cienkie. Błona wewnętrzna zredukowana jest do pojedynczej warstwy komórek śródbłonka. Głównym składnikiem błony środkowej są włókna kolagenowe i srebrochłonne, a tylko w większych naczyniach występują dodatkowo pojedyncze, okrężnie ułożone włókna mięśniowe. Błona zewnętrzna cechuje się luźniejszym utkaniem włóknistym. Ściana drobnych żyłek utworzona jest przez warstwę komórek śródbłonka i nieliczne włókna łącznotkankowe. Zatoka żylna opony twardej różni się od żyły brakiem mięśniówki, natomiast opisywany przez wielu autorów brak zastawek w naczyniach żylnych mózgu, zatok opony twardej i opony stożkowej w sprzeczności z doniesieniami innych autorów, w tym także polskich (Kędzia, 2004), którzy w badanym materiale stwierdzali ich obecność.

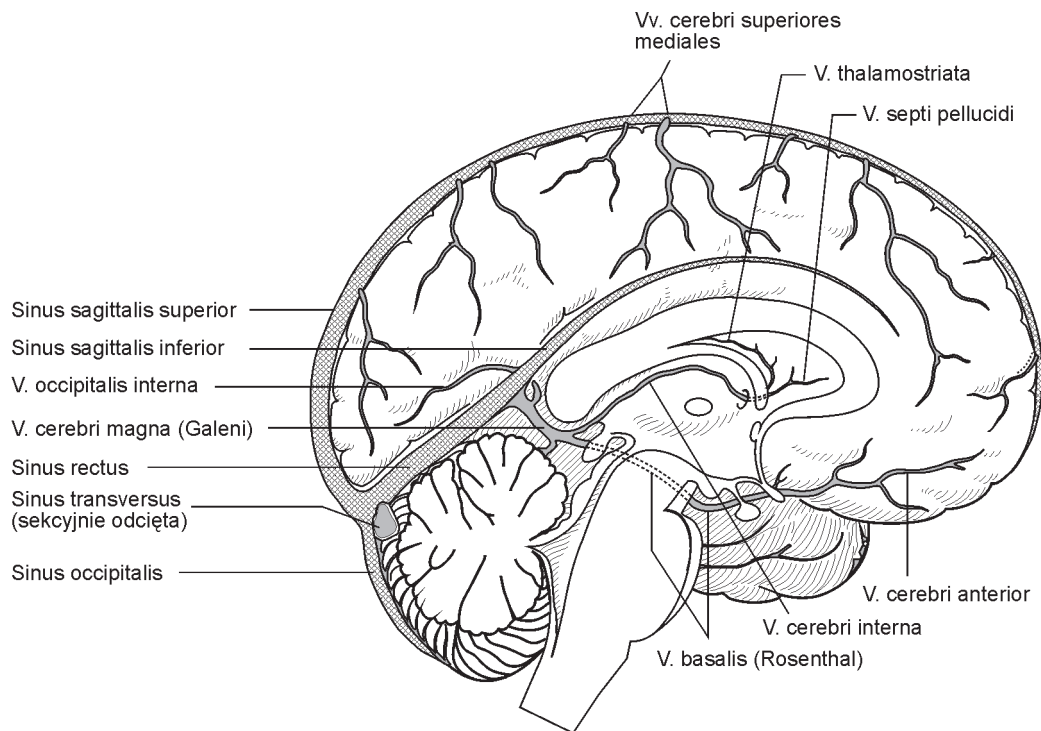
Żyły mózgu

Krew żylna odpływa z mózgu przez dwa zespalające się z sobą układy naczyń żylnych: głęboki (żyły głębokie) i powierzchowny (żyły powierzchowne). Znaczna liczba połączeń między obu układami uniemożliwia dokładne odgraniczenie dorzecza obu układów, a najczęstszym miejscem styku układu powierzchownego i głębokiego jest okolica bruzdy bocznej mózgu. Z naczyń obu tych układów krew odpływa bezpośrednio, a także przez żyłę podstawną do zatok żylnych opony twardej.

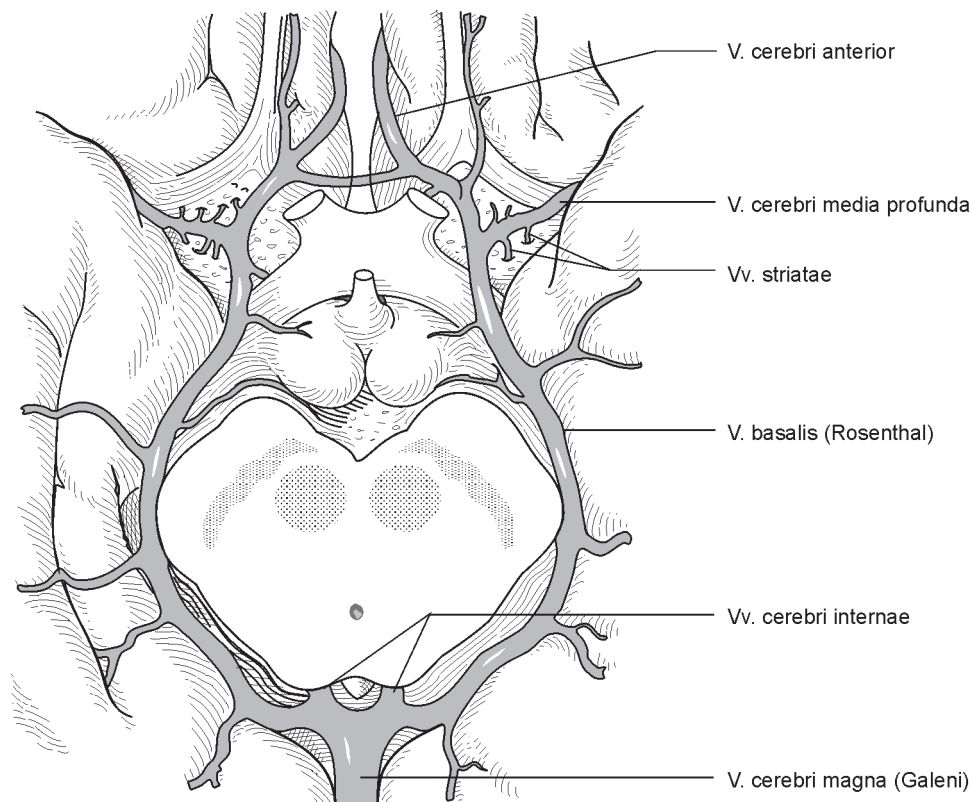
Żyły głębokie mózgu zbierają krew ze znacznej części jąder podkorowych, z otaczającej je istoty białej, z międzymózgowia oraz ze ścian i splotów komory III i komór bocznych. Z połączenia trzech żył, tj. żyły przedniej przegrody przezroczystej (*v. septi pellucidi anterior*), żyły wzgórzowo-prądkowicowej górnej (*v. thalamostriata superior*) (dawniej żyła krańcowa – *v. terminalis*) i żyły naczyniówkowej górnej (*v. choroidea superior*) w pobliżu otworu międzykomorowego Monrogo obustronnie powstaje żyła wewnętrzna mózgu (*v. cerebri interna*) (ryc. 19, 20). Miejsce, w którym żyła ta powstaje, określane jest mianem kąta żylnego; w radiologii ma znaczenie topograficzne, wyznacza bowiem położenie otworu międzykomorowego. Żyła wewnętrzna mózgu biegnie następnie ku tyłowi w tkance naczyniówkowej w górnej ścianie komory trzeciej i w okolicy szyszynki łączy się z drugostronną żyłą, tworząc żyłę wielką mózgu (*v. cerebri magna Galeni*). Ta ostatnia łączy się z zatoką strzałkową dolną w zatokę prostą, która uchodzi do spływu zatok (ryc. 21, 22).



Ryc. 18. Żyły mózgu na powierzchni górnobocznej półkuli mózgu



Ryc. 19. Żyły mózgu na powierzchni przyśrodkowej półkuli mózgu



Ryc. 20. Żyły mózgu na powierzchni podstawnej mózgowia

Do żył powierzchownych mózgu zalicza się żyły górne i dolne mózgu, żyły mostkowe oraz żyły zespalające (zaliczane przeważnie do grupy żył mostkowych) (ryc. 18–20). Żyły górne mózgu (*vv. cerebri superiores*), ze względu na swój przebieg zwane również wstępującymi, biegną w bruzdach i na powierzchni zakrętów ku górze i uchodzą do zatoki strzałkowej górnej. Wyróżniamy wśród nich żyły górne boczne i przyśrodkowe zbierające krew z odpowiednich powierzchni półkul mózgu. Wśród żył dolnych mózgu (*vv. cerebri inferiores*) wyróżniamy trzy grupy: przednią, środkową i tylną. Naczynia grupy przedniej to niewielkie żyły zbierające krew z przedniej części zakrętów oczodołowych. Grupa tylna to także niewielkie żyły, które zbierają krew z dolnej części płata skroniowego oraz potylicznego i uchodzą do zatoki prostej i poprzecznej. Do grupy środkowej oprócz licznych drobnych naczyń zalicza się także trzy większe żyły, są to: żyła przednia mózgu i żyła środkowa głęboka mózgu – uchodzące do żyły podstawnej oraz żyła środkowa powierzchowna mózgu uchodząca do zatoki jamistej lub zatoki skalistej górnej. Żyła podstawna (*v. basalis*) (Rosenthala)

la) powstaje w okolicy istoty dziurkowanej przedniej z połączenia żyły przedniej mózgu (*v. cerebri anterior*) z żyłą środkową głęboką mózgu (*v. cerebri media profunda*) (ryc. 20). Biegnie ku tyłowi, zataczając łuk dookoła śródmózgowia i uchodzi do żyły wielkiej mózgu lub do żyły wewnętrznej mózgu. Do żyły podstawnej spływa krew z torebki wewnętrznej, jąder podstawnych, międzymózgowia i śródmózgowia, kory wyspy oraz spletu naczyniówkowego komory bocznej. Obie żyły podstawne wraz z ich początkowymi dopływami – żyłami przednimi mózgu – są połączone z sobą poprzez dwie krótkie, poprzecznie biegnące żyły łączące; przednią (*vena communicans anterior*) leżącą ku przodowi od skrzyżowania wzrokowego i tylną (*vena communicans posterior*) biegnącą wzdłuż górnego brzegu mostu. W ten sposób żyły powierzchowne biegnące w oponie naczyniowej na podstawie mózgu tworzą tzw. koło żyłne mózgu Ridleya (*circulus venosus cerebri Ridleyi*). Żyły mostkowe są końcowymi odcinkami żył powierzchownych mózgu w miejscu ich ujścia do zatok opony twardej. Odgrywają one istotną rolę w patomechanizmie krwiaków pod-

twardówkowych, co wiąże się m.in. z faktem, że w wieku starszym dochodzi do naciągania żył mostkowych i ich pęknięcia. Wyróżnia się żyły mostkowe nadnamiotowe: sklepiści mózgu (uchodzą głównie do zatoki strzałkowej górnej) i podstawy mózgu (uchodzą przede wszystkim do zatoki klinowo-ciemieniowej i jamistej) oraz żyły mostkowe podnamiotowe (uchodzą do zatoki skalistej górnej, zatoki prostej, zatoki poprzecznej oraz do żyły wielkiej mózgu) (Kędzia, 2004). Specyficzną formą silnie rozwiniętych żył mostkowych są żyły zespalające górna i dolna (*venae anastomoticae superior et inferior*), łączące żyły powierzchowne mózgu z zatokami opony twardej (ryc. 18, 21). Żyła zespalająca górna (przednia) Trolarda biegnie od żyły środkowej powierzchownej mózgu do zatoki strzałkowej górnej, dzięki czemu zatoka ta zyskuje połączenie z zatoką jamistą. Żyła zespalająca dolna (tylna) Labbeego, biegnąc od żyły środkowej powierzchownej mózgu do zatoki poprzecznej, umożliwia przepływ krwi między zatoką poprzeczną i zatoką jamistą.

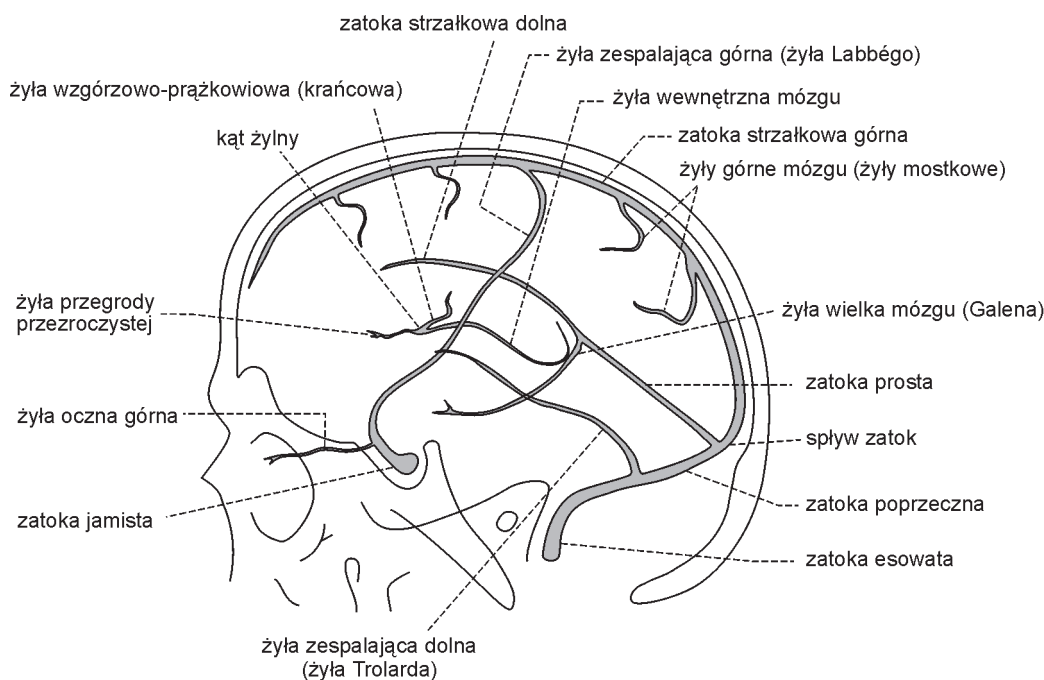
Żyły mózdzku i pnia mózgu

Żyły mózdzku cechują się większą zmiennością niż żyły mózgu. Tradycyjnie wyróżnia się żyły górne mózdzku, tj.

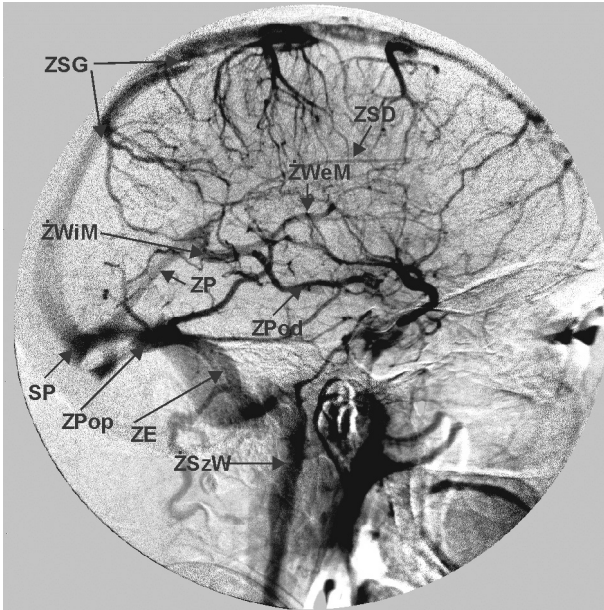
żyłę górną robaka (*v. superior vermis*) i żyły górne półkuli mózdzku (*vv. hemisphaerii cerebelli superiores*) oraz żyły dolne mózdzku, a wśród nich żyłę dolną robaka (*v. inferior vermis*) i żyły dolne półkuli mózdzku (*vv. hemisphaerii cerebelli inferiores*). Żyły te uchodzą głównie do zatok żylnych tylnego dołu czaszki (zatoka poprzeczna, esowata, potyliczna, prosta, skalista dolna), a także do żyły wielkiej mózgu.

Zatoki żyłne opony twardej

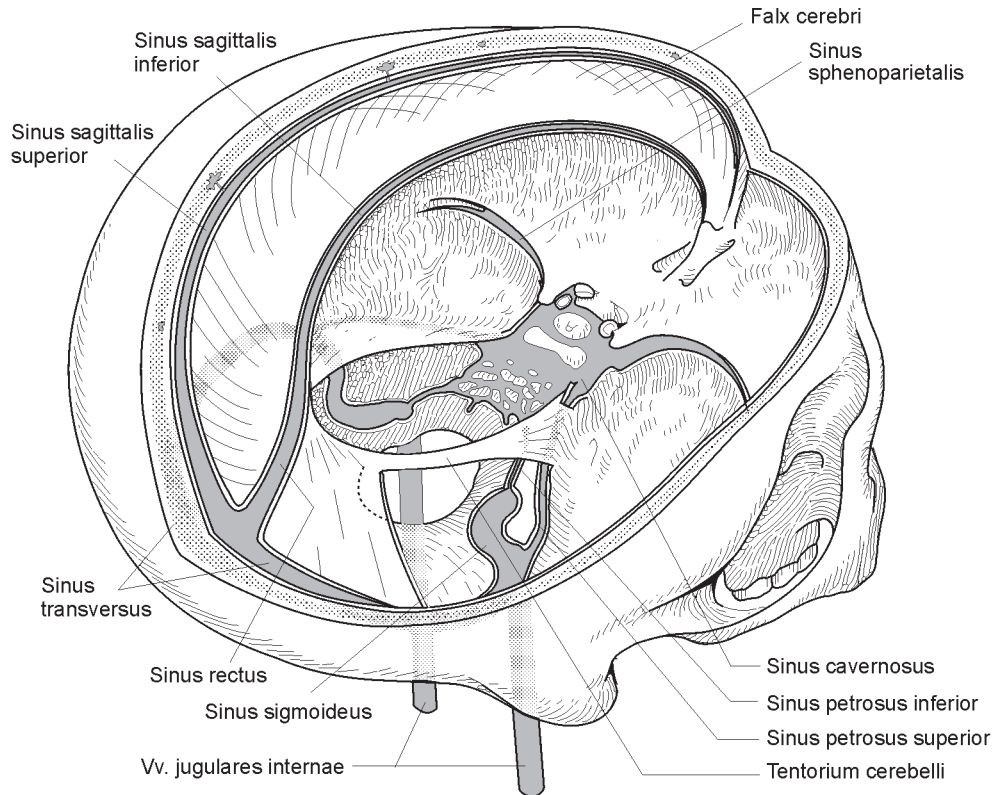
Zatoka żylna opony twardej (*sinus venosus durae matris*) to przestrzeń pomiędzy dwiema blaszkami opony twardej wysłana śródbłonkiem i wypełniona krwią żylną. Wyróżnia się dwa zespoły zatok: górny i dolny (ryc. 22, 23). Punktem centralnym górnego zespołu zatok jest spływ zatok (*confluens sinuum*) leżący na guzowatości potylicznej wewnętrznej. Uchodzi do niego zatoka strzałkowa górna (*sinus sagitalis superior*), która biegnie w górnym, wypukłym brzegu sierpa mózgu, oraz zatoka prosta (*sinus rectus*) biegnąca na granicy sierpa mózgu i namiotu mózdzku. Zatoka prosta powstaje przez połączenie biegnącej w dolnym brzegu sierpa mózgu zatoki strzałkowej dolnej i żyły wielkiej mózgu. Krew odpływa



Ryc. 21. Żyły wewnątrzczaszkowe i zatoki żyłne opony twardej. Schemat na podstawie zdjęcia angiograficznego; faza żylna angiografii tętnicy szyjnej wewnętrznej



Ryc. 22. Angiogram ukazujący żyły wewnątrzczaszkowe. Projektcja boczna. SP – splot zatok, ZE – zatoka esowata, ZP – zatoka prosta, ZPod – zatoka podstawna, ZPop – zatoka poprzeczna, ZSD – zatoka strzałkowa dolna, ZSG – zatoka strzałkowa górna, ŻSzW – żyła szyjna wewnętrzna, ŻWeM – żyła wewnętrzna mózgu, ŻWiM – żyła wielka mózgu



Ryc. 23. Zatoki żyłne opony twardej

ze spływu zatok poprzez parzyste zatoki poprzeczne (*sinus transversi*), które przedłużają się w zatoki esowate (*sinus sigmoidei*), a te przechodzą w opuszki żył szyjnych wewnętrznych oraz przez zatokę potyliczną (*sinus occipitalis*), która biegnie wzdłuż grzebienia potylicznego wewnętrznego, po czym dzieli się na dwie zatoki brzeżne (*sinus marginalis*) otaczające otwór wielki i uchodzące do spłotów żylnych kręgowych wewnętrznych i częściowo do żył szyjnych wewnętrznych. Z całego zespołu górnego krew odpływa również do żył powierzchownych czaszki przez tzw. żyły wypustowe oraz spłoty żyłne. Układ dolny zatok jest parzysty. Centralnym jego punktem jest zatoka jamista, która łączy się z drugostronną poprzez zatoki międzymiastowe przednią i tylną (*sinus intracavernosi anterior et posterior*), leżące na przednim i tylnym obwodzie dołu przysadki. Zatoka jamista (*sinus cavernosus*) leży na trzonie kości klinowej, po obu stronach siodła tureckiego, w bruzdzie tętnicy szyjnej. Przez światło zatoki jamistej przechodzi tętnica szyjna wewnętrzna, spłot współczulny wokół tej tętnicy zwany spłotem jamistym oraz nerw odwodzący (VI). Twory te objęte śródbłonkiem otacza krew zatoki jamistej. W ścianie bocznej zatoki jamistej biegną nerwy czaszkowe: okoruchowy (III), błoczkowy (IV) oraz pierwsza i druga gałąź nerwu trójdzielnego, tj. nerw oczny (V_1) i nerw szczękowy (V_2). Do zatoki jamistej uchodzi zatoka klinowo-ciemieniowa (*sinus sphenoparietalis*) biegnąca wzdłuż wolnego brzegu skrzydła mniejszego kości klinowej oraz żyła oczna górna, gałąź górna żyły ocznej dolnej, żyły przysadki i często żyła środkowa siatkówki. Krew z zatoki jamistej odpływa głównie przez zatokę skalistą górną (*sinus petrosus superior*) do zatoki esowatej oraz przez zatokę skalistą dolną (*sinus petrosus inferior*) do opuszki żyły szyjnej wewnętrznej, a ponadto poprzez spłot żylny podstawny (*plexus venosus basilaris*) do spłotów żylnych kręgowych wewnętrznych oraz przez drobniejsze naczynia (spłot żylny otworu owalnego, spłot żylny szyjno-tętniczy, żyła wypustowa otworu poszarpanego) do spłotu żylnego skrzydłowego. Ponieważ do zatoki jamistej uchodzą naczynia żyłne oczodołu i jego okolic, proce-

sy ropne dotyczące zatok obocznych nosa, oczodołu i/lub górnej części twarzy mogą się przenosić do zatoki jamistej i dalej na pozostałe naczynia żyłne wewnątrzczaszkowe lub uogólnić się, prowadząc do ropnego zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych. Głównymi objawami zamknięcia światła zatoki jamistej (np. w następstwie jej zakrzepu) są bóle i w okolicy oczodołu obrzęk powiek i nastrzyknięcie spojówek, wytrzeszcz gałki ocznej, objawy zajęcia nerwów czaszkowych przebiegających w obrębie tej zatoki (nerwy III, IV, VI oraz pierwsza i druga gałąź nerwu trójdzielnego), a także obrzęk tarczy nerwu wzrokowego z osłabieniem ostrości wzroku aż do ślepoty włącznie.

Piśmiennictwo uzupełniające

- Bochenek A., Reicher M. (1993a), *Anatomia człowieka*. T. III. *Ośrodkowy Układ Nerwowy*. Łasiński W. (red.), PZWL, Warszawa.
- Bochenek A., Reicher M. (1993b), *Anatomia człowieka*. T. IV. *Układ nerwowy ośrodkowy*. Łasiński W. (red.), PZWL, Warszawa.
- Duus P. (1989), *Diagnostyka topograficzna w neurologii*. PZWL, Warszawa.
- Fisher C.M. (1961), *A new vascular syndrome – „the subclavian steal”*. N. Engl. J. Med., 265, 912–913.
- Fix J.D. (1997), *Neuroanatomia*. Urban & Partner, Wrocław.
- Kędzia A. (2004), *Układ żylny mózgu człowieka i jego znaczenie kliniczne*. Urban & Partner, Wrocław.
- Mumenthaler M., Mattle H. (2001), *Neurologia*. Urban & Partner, Wrocław.
- Narkiewicz O., Moryś J. (2001), *Neuroanatomia czynnościowa i kliniczna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
- van der Zwan A., Hillen B., Tulleken C.A.F., Dujovny M., Dragovic L. (1992), *Variability of the territories of the major cerebral arteries*. J. Neurosurg., 77, 927–940.
- Wald I., Członkowska A. (1987), *Neurologia kliniczna*. PZWL, Warszawa.
- Warlow C.P., Dennis M.S., van Gijn J., Sandercock P.A.G., Bamford J.M., Wardlaw J. (2001), *Stroke: A Practical Guide to Management*. Blackwell, Oxford.