

Unaczynienie mózgowia



6

Zarys rozdziału

Tętnice szyjne wewnętrzne i tętnice kręgowie doprowadzają krew do mózgowia

Tętnice szyjne wewnętrzne zaopatrują przeważającą część mózgu

Drobne gałęzie przeszywające zaopatrują głębokie struktury mózgu

Tętnice kręgowie i tętnica podstawna zaopatrują pień mózgowia, część mózgu oraz rdzeń kręgowy

Koło tętnicze mózgu (koło tętnicze Willisa) łączy układ tętnic szyjnych wewnętrznych z układem kręgowo-podstawnym

Specjalne techniki obrazowania umożliwiają uwidocznienie tętnic i żył mózgowia

Dopływ krwi do OUN jest ściśle kontrolowany

Wielkość całkowitego przepływu mózgowego krwi jest stała, choć występują miejscowe różnice przepływu

Udary mózgowie są wynikiem zaburzeń ukrwienia

Układ barier częściowo oddziela struktury układu nerwowego od reszty ciała

Żyły powierzchowne i głębokie odprowadzają krew z mózgowia

Większość żył powierzchownych mózgowia uchodzi do zatoki strzałkowej górnej

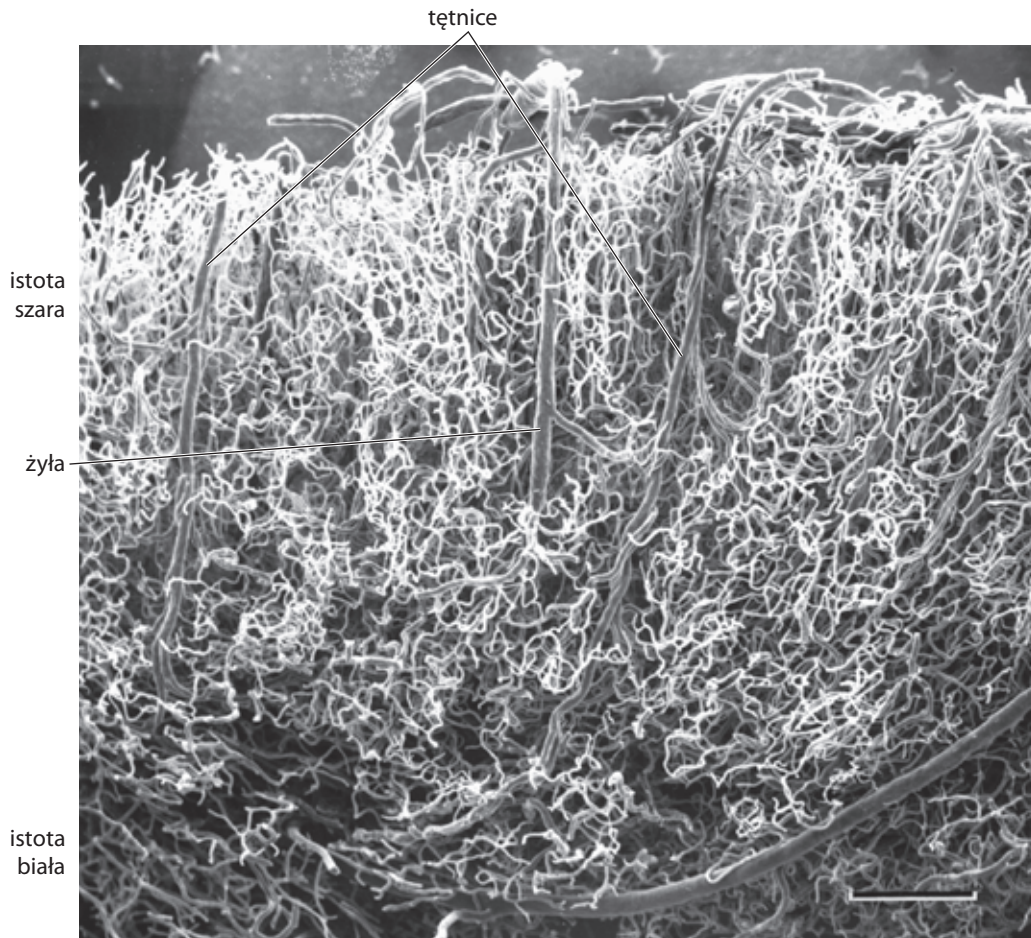
Żyły głębokie uchodzą do zatoki prostej

Żółwie mogą przetrwać wiele godzin bez uzupełniania dostaw tlenu do mózgowia. Ludzkie mózgowie natomiast jest całkowicie zależne od ciągłego dopływu dobrze natlenowanej krwi. Już po ok. 10 s od wystąpienia niedokrwienia mózgowia następuje utrata przytomności. Po 20 s ustaje aktywność bioelektryczna, a już po kilku minutach rozpoczynają się nieodwracalne uszkodzenia. Ze względu na tak wysokie wymagania metaboliczne naczynia krwionośne ośrodkowego układu nerwowego (OUN) tworzą gęstą sieć, szczególnie w istocie szarej (ryc. 6-1). Poznanie unaczynienia mózgowia ma podstawowe znaczenie dla zrozumienia jego funkcji oraz wyjaśnienia konsekwencji chorób naczyniowych. W tym rozdziale dokonano ogólnego przeglądu budowy układu naczyniowego OUN. Kolejne rozdziały zawierają bar-

dziej szczegółowe omówienie unaczynienia tętniczego określonych części OUN.

Tętnice szyjne wewnętrzne i tętnice kręgowie doprowadzają krew do mózgowia

Unaczynienie tętnicze mózgowia oraz znacznej części rdzenia kręgowego pochodzi z zakresu dwóch par naczyń – **tętnic szyjnych wewnętrznych i tętnic kręgowych** (ryc. 6-2). Tętnice szyjne wewnętrzne dostarczają ok. 80% objętości krwi, zaopatrując większą część kresomózgowia i znaczny fragment międzymózgowia. Układ



Rycina 6-1 Sieć naczyń krwionośnych w korze mózgu okolicy bieguna skroniowego u 66-letniego mężczyzny. Naczynia zostały nastrzyknięte plastikiem, otaczające tkanki rozpuszczono, a obraz powstałego odlewu utrwalono przy użyciu mikroskopu skaningowego (długość podziałki odpowiada 500 μm). Zwraca uwagę większa gęstość sieci naczyniowej w istocie szarej niż w istocie białej, co odpowiada większym potrzebom metabolicznym ciał komórek nerwowych. W istocie szarej naczynia rozmieszczone są tak gęsto, że żaden z neuronów nie jest położony dalej niż 100 μm od najbliższego naczynia włosowatego. (Z: Duvernoy HM, Delon S, Vannson JL: Brain Res Bull 7:519, 1981).

tętnic kręgowych dostarcza pozostałe 20% objętości krwi, zaopatrując pień mózgowia i mózdzek, jak również część międzymózgowia, rdzeń kręgowy oraz płaty potyliczne i skroniowe (tab. 6-1).

Tętnice szyjne wewnętrzne zaopatrują przeważającą część mózgu

Tętnica szyjna wewnętrzna przebiega po obu stronach szyi. Wyżej przechodzi przez część skalistą kości skroniowej i zatokę jamistą, aż w końcu dociera do przestrzeni podpajęczynówkowej w okolicy dolnej powierzchni mózgowia (zob. ryc. 6-15). Zaraz po opuszczeniu zatoki jamistej oddaje **tętnicę oczną**, biegnącą wzdłuż nerwu wzrokowego do oczodołu, w którym zaopatruje gałkę oczną oraz pozostałe struktury, a także kilka innych położonych w sąsiedztwie. Następnie tętnica szyjna wewnętrzna przebiega ku górze, bocznie od skrzyżowania wzrokowego (ryc. 6-3). W końcu dzieli

się na dwie gałęzie końcowe – **tętnicę środkową mózgu** i **tętnicę przednią mózgu**. Przed ostatecznym podziałem na wymienione dwa naczynia oddaje dwie mniejsze gałęzie boczne: **tętnicę naczyniówkową przednią** i **tętnicę łączącą tylną**. Tętnica naczyniówkowa przednia jest długim i cienkim naczyniem o istotnym znaczeniu klinicznym ze względu na rozległy obszar zaopatrzenia i częsty udział w chorobach naczyniowych mózgu. Na swym przebiegu (zob. ryc. 6-6) zaopatruje: pasmo wzrokowe, splot naczyniówkowy rogu dolnego komory bocznej, niektóre struktury głęboko położone, np. część torebki wewnętrznej, wzgórze i hipokamp (zob. ryc. 6-22), a czasami również część konara mózgu. Tętnica łącząca tylna przebiega ku tyłowi, poniżej pasma wzrokowego. Łączy się ostatecznie z **tętnicą tylną mózgu** (należącą do układu kręgowo-podstawnego) w okolicy konara mózgu.

Tętnica przednia mózgu przebiega w kierunku przyśrodkowym oraz ku górze, ponad nerwem wzrokowym, i wstępuje do szczeliny podłużnej mózgu (ryc. 6-3). Jej



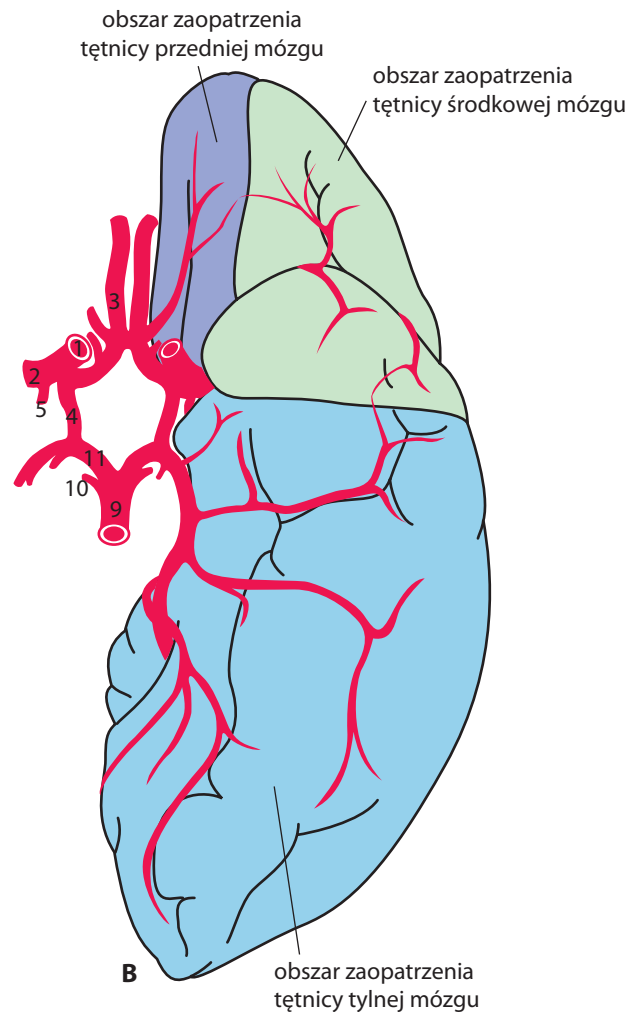
gałęzie zginają się ku tyłowi, wokół ciała modzelowatego, zaopatrując przyśrodkowe części płata czołowego i ciemieniowego (ryc. 6-4 A). Część jej mniejszych gałęzi dociera na powierzchnię grzbietowo-boczną półkuli mózgu (ryc. 6-4 B). Dwie tętnice przednie mózgu, blisko miejsca wejścia do szczeliny podłużnej mózgu, łączą się za pośrednictwem **tętnicy łączącej przedniej** (zob. ryc. 6-6 i 6-11). Dalszy ciąg tętnicy przedniej mózgu stanowi **tętnica okołospoidłowa**, przebiegająca wokół spoidła wielkiego. W pobliżu kolana ciała modzelowatego od tętnicy okołospoidłowej oddziela się **tętnica spoidłowo-brzeźna**, biegnąca wzdłuż zakrętu obręczy (ryc. 6-4 A). Części zakrętów przedśrodkowego i zaśrodkowego (zawierające, zgodnie z układem somatotopowym przedstawionym na ryc. 3-30, reprezentację kończyny dolnej) rozciągają się na przyśrodkowej powierzchni płata czołowego i ciemieniowego. Zamknięcie tętnicy przedniej mózgu wywoła więc ubytki funkcji ruchowych i czuciowych ograniczone do reprezentacji przeciwstronnej kończyny dolnej.

Duża tętnica środkowa mózgu biegnie w kierunku bocznym, wstępując do bruzdy bocznej (ryc. 6-3). Dzieli się ona na liczne zaopatrujące wyspę gałęzie, których część wydostaje się poprzez brzdę boczną i zaopatruje większość bocznej powierzchni półkuli mózgu (ryc. 6-4 B i 6-5). Przeważające części zakrętów przedśrodkowego i zaśrodkowego są położone w obszarze zaopatrzenia tych gałęzi, tak więc zamknięcie tętnicy środkowej mózgu wywołuje rozległe ubytki ruchowe i czuciowe. Ponadto, jeśli dochodzi do upośledzenia dopływu krwi do lewej półkuli mózgu, zazwyczaj występują również zaburzenia mowy.

Drobne gałęzie przeszywające zaopatrują głębokie struktury mózgu

Na swym przebiegu w kierunku bruzdy bocznej tętnica środkowa mózgu oddaje ok. 12 bardzo drobnych gałęzi, które zaopatrują głęboko położone struktury międzymózgowia i kresomózgowia (ryc. 6-6 i 6-8). Gałęzie te nazywane są **tętnicami soczewkowo-prążkowiowymi**. Podobne drobne gałęzie odchodzące od wszystkich tętnic znajdujących się na powierzchni podstawnej mózgowia

Rycina 6-2 Źródła unaczynienia mózgowia, zaprezentowane na niezwykłym angiogramie wykonanym metodą rezonansu magnetycznego po podaniu środka kontrastowego (zob. ramka 6-1) z jednoczasowym uwidocznieniem całego ciała 56-letniego zdrowego mężczyzny. Widoczne są tętnice: kręgową (1) i szyjną wspólną (2) w swym przebiegu na szyi. Dwie tętnice kręgowe łączą się, tworząc tętnicę podstawną (*), a każda tętnica szyjna wspólna dzieli się na tętnicę szyjną zewnętrzną (3) i wewnętrzną (4). Każda tętnica szyjna wewnętrzna kończy się w rejonie podstawnej powierzchni mózgowia, dzieląc się na tętnicę: środkową (5) i przednią (6) mózgu. (Z: Nael K et al: Radiology 242:865, 2007).



Rycina 6-3 Tętnice na powierzchni podstawnej mózgowia (A) i źródła zaopatrzenia tętniczego obszarów korowych (B). Tętnica szyjna wewnętrzna (1) dzieli się na tętnicę środkową (2) i przednią (3) mózgu po oddaniu tętnicy łączącej tylnej (4) i tętnicy naczyniówkowej przedniej (5). Tętnice te wspólnie zaopatrują przednią i boczną część mózgu. Tętnice kręgowo- (6) łączą się, tworząc tętnicę podstawną (9) powyżej odejścia tętnicy dolnej tylnej mózdzku (7). Tętnica podstawna z kolei oddaje gałęzie w postaci tętnicy dolnej przedniej mózdzku (8) i tętnicy górnej mózdzku (10) przed swym końcowym podziałem na dwie tętnice tylne mózgu (11). Podsumowując, układ kręgowo-podstawny zaopatruje pień mózgowia, większość międzymózgowia i dolną oraz tylną część półkul mózgu. Widoczna na tym preparacie bardzo duża lewa tętnica łącząca tylna stanowi w rzeczywistości stosunkowo częsty wariant unaczynienia, w którym tętnica tylna mózgu po jednej stronie odgałęzia się od tętnicy szyjnej wewnętrznej zamiast od tętnicy podstawnej (zob. ryc. 6-12). (A, Z: Nolte J, *Angevine JB Jr: The human brain in photographs and diagrams, ed 3, St. Louis, 2007, Mosby*; zgoda na publikację preparatu: Grant Dahmer, University of Arizona College of Medicine. B, Na podstawie: Mettler FA: *Neuroanatomy, ed 2, St. Louis, 1948, Mosby*).

określone są wspólnym mianem **gałęzi przeszywających** (lub **środkowych**). Gałęzie przeszywające są szczególnie liczne w okolicach powierzchni dolnej mózgowia, sąsiadujących ze skrzyżowaniem wzrokowym oraz konarami mózgu. Dlatego miejsca te noszą nazwy **istoty dziurkowanej przedniej i tylnej**, przy czym pierwsza z nich jest strukturą parzystą. Cienkościenne naczynia w okolicy istoty dziurkowanej przedniej są często przyczyną udarów mózgowych (ryc. 6-9). Objawy neurologiczne wywołane uszkodzeniem struktur głębokich mózgowia zaopatrywanych przez te naczynia są nieproporcjonalnie duże w stosunku do wielkości tych struktur. Na przykład projekcja somatosensoryczna zmiernająca ze wzgórze do zakrętu zaśrodkowego przebiega przez torebkę wewnętrzną; uszkodzenie niewielkiego obszaru torebki wewnętrznej na skutek pęknięcia lub zamknięcia światła

tętnicy przeszywającej może powodować ubytki podobne do uszkodzenia znacznego obszaru kory mózgu.

Tętnice kręgowo- i tętnica podstawna zaopatrują pień mózgowia, część mózgu oraz rdzeń kręgowy

Dwie tętnice kręgowo- biegną wzdłuż rdzenia przedłużonego i łączą się na wysokości pogranicza opuszki i mostu, tworząc położoną w linii pośrodkowej **tętnicę podstawną**. Biegnie ona dalej w kierunku dogłowym, wzdłuż brzusznej powierzchni mostu (ryc. 6-3).

Przed połączeniem z tętnicą podstawną każda z tętnic kręgowych oddaje trzy gałęzie: **tętnicę rdzeniową tylną, tętnicę rdzeniową przednią i tętnicę dolną tylną mózdzku**. Tętnica rdzeniowa tylna biegnie ku dołowi,

Tabela 6-1

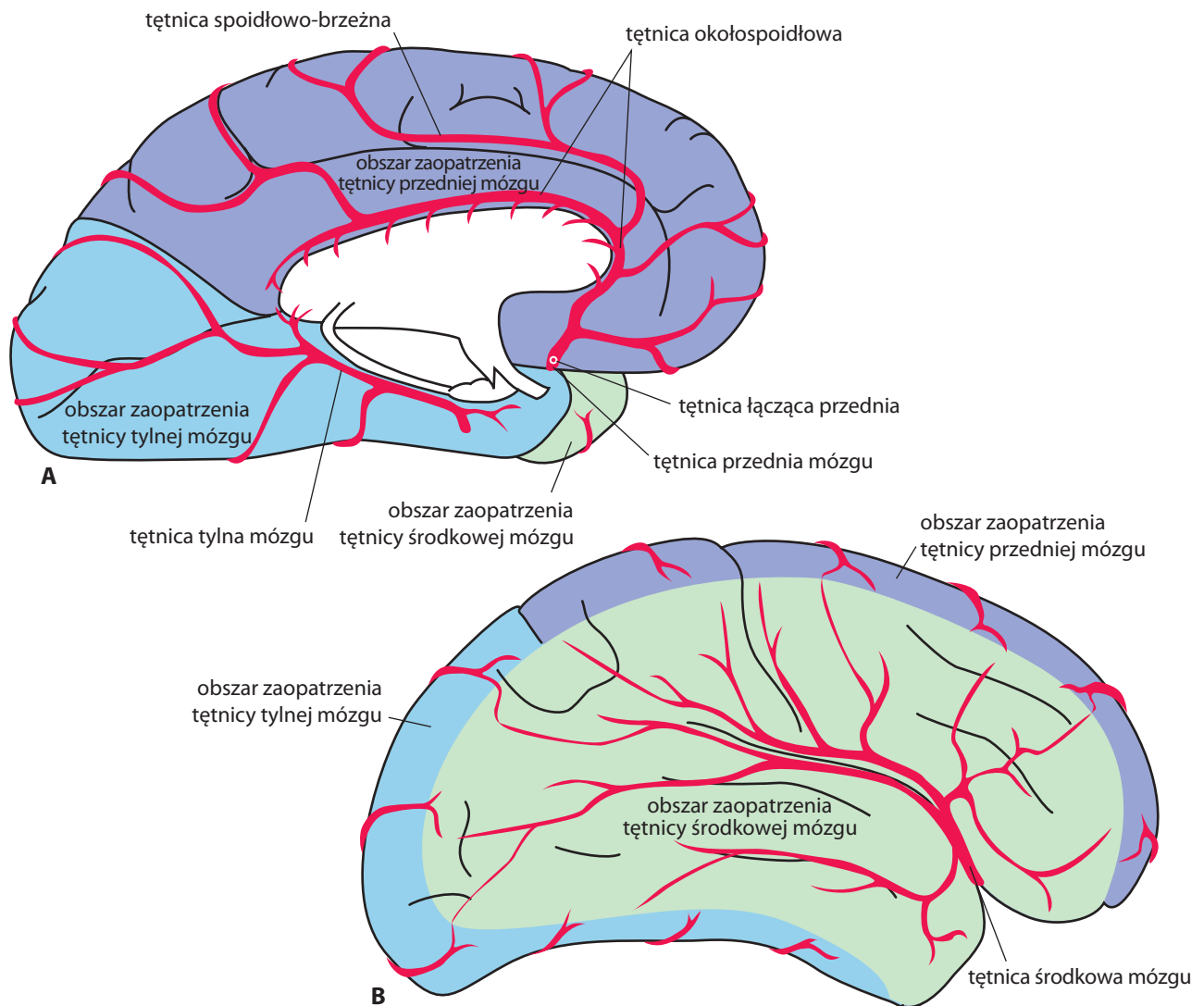
Zaopatrzenie tętnicze struktur OUN*

Okolica anatomiczna	Nazwa tętnicy
<i>półkula mózgu</i>	
obszary korowe	
płat czołowy	
powierzchnia boczna	MCA
powierzchnia przyśrodkowa	ACA
powierzchnia dolna	ACA, MCA
płat ciemieniowy	
powierzchnia boczna	MCA
powierzchnia przyśrodkowa	ACA
płat potyliczny	
powierzchnia boczna	MCA†
powierzchnia przyśrodkowa i dolna	PCA
płat skroniowy	
powierzchnia boczna	MCA
powierzchnia przyśrodkowa i dolna	PCA
biegun skroniowy	MCA
płat limbiczny	
zakręt obręczy	ACA
zakręt przyhipokampowy	PCA
wyspa	MCA
<i>zwoje podstawne</i>	
jądro ogoniaste (głowa)	ACA _p , MCA _p
skorupa	MCA _p , ACA _p
gałka błada	AChA, MCA _p
<i>struktury układu limbicznego</i>	
ciało migdałowe	AChA
hipokamp	PCA, AChA
<i>torebka wewnętrzna</i>	MCA _p , AChA, ACA _p , ICA _p
<i>ciało modzelowate</i>	
kolano, trzon	ACA
płat	ACA, PCA
<i>międzymózgowie</i>	
wzgórze	PCA _p , PComp, AChA
podwzgórze	PComp, ICA _p , AComp
<i>mózdzek</i>	
powierzchnia górna	SCA
powierzchnia dolna i przednia	PICA, AICA
<i>pień mózgowia</i>	
śródmózgowie	PCA, SCA, BA
most	BA, AICA
rdzeń przedłużony	VA, PICA
<i>rdzeń kręgowy</i>	
przednie 2/3	ASpA
tylna 1/3	PspA

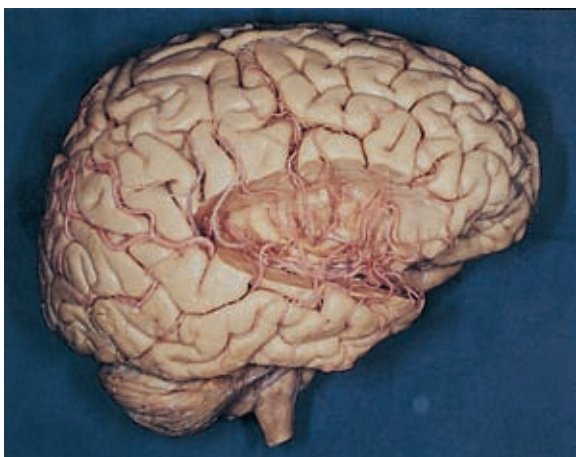
* Tabela zawiera tylko większe gałęzie tętnicze; nie zawiera obszarów nakładania się zaopatrzenia tętniczego, np. ACA-MCA na bocznej powierzchni półkuli, blisko szczeliny podłużnej. Prezentację graficzną przedstawiono na ryc. 6-22. Więcej danych dotyczących zaopatrzenia poszczególnych obszarów zamieszczono w następujących rozdziałach.

† Obszary unaczynienia przez tętnicę środkową mózgu i tętnicę tylną mózgu nakładają się w okolicy bieguna potylicznego. Ma to istotne znaczenie dla charakteru zaburzeń wzrokowych występujących po udarach obejmujących tętnicę tylną mózgu (zob. ryc. 17-33).

ACA (*anterior cerebral artery*) – tętnica przednia mózgu; AChA (*anterior choroidal artery*) – tętnica naczyniówkowa przednia; ACom (*anterior communicating artery*) – tętnica łącząca przednia; AICA (*anterior inferior cerebellar artery*) – tętnica dolna przednia mózdzku; ASpA (*anterior spinal artery*) – tętnica rdzeniowa przednia; BA (*basilar artery*) – tętnica podstawna; ICA (*internal carotid artery*) – tętnica szyjna wewnętrzna; MCA (*middle cerebral artery*) – tętnica środkowa mózgu; p (*perforating*) – gałęzie przesywające odpowiedniej tętnicy; PCA (*posterior cerebral artery*) – tętnica tylna mózgu; PCom (*posterior communicating artery*) – tętnica łącząca tylna; PICA (*posterior inferior cerebellar artery*) – tętnica dolna tylna mózdzku; PSpA (*posterior spinal artery*) – tętnica rdzeniowa tylna; SCA (*superior cerebellar artery*) – tętnica górna mózdzku; VA (*vertebral artery*) – tętnica kręgową.

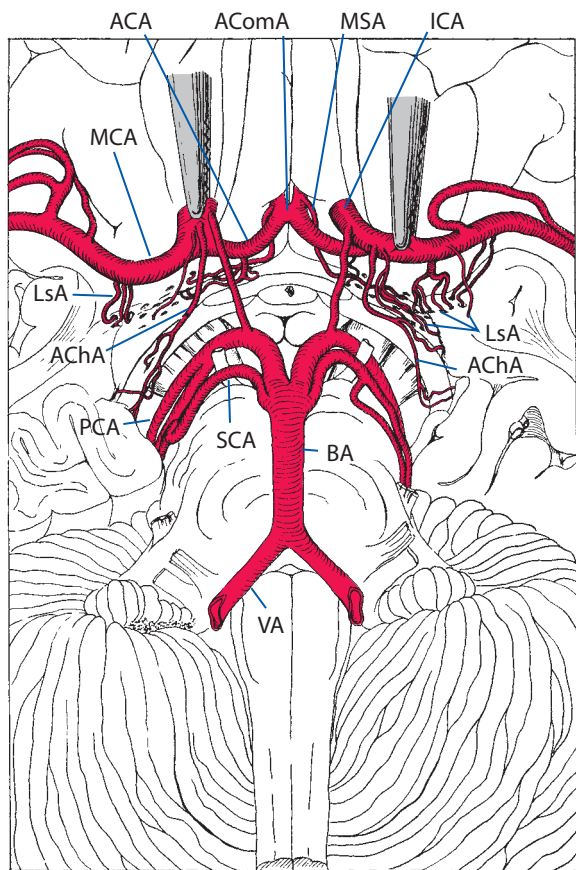


Rycina 6-4 Tętnice na powierzchni przyśrodkowej (A) i bocznej (B) mózgowia wraz z obszarami ich zaopatrzenia. (Na podstawie: Mettler FA: Neuroanatomy, ed 2, St. Louis, 1948, Mosby).



Rycina 6-5 Gałęzie prawej tętnicy środkowej mózgu na powierzchni wyspy, przedstawione po usunięciu wieczek prawej półkuli. (Z: Yaşargil MG: Microneurosurgery, vol 4A, CNS tumors: surgical anatomy, neuropathology, neuroradiology, neurophysiology, clinical considerations, operability, treatment options, New York, 1994, Thieme Medical Publishers).

wzdłuż tylno-bocznej powierzchni rdzenia kręgowego, zaopatrując po każdej stronie tylną 1/3 jego przekroju. Tętnica rdzeniowa przednia łączy się z odpowiednią tętnicą przeciwnej strony, tworząc pojedynczą tętnicę rdzeniową przednią, która biegnie ku dołowi, w linii pośrodkowej, wzdłuż przedniej powierzchni rdzenia kręgowego, zaopatrując przednie 2/3 części jego przekroju. Te stosunkowo drobne tętnice dostarczają krew potrzebną do zaopatrzenia jedynie szyjnych segmentów rdzenia kręgowego. Unaczynienie na niższych poziomach musi być uzupełnione z innych źródeł (zagadnienie to omówiono w rozdz. 10). Tętnica dolna tylna mózdzku (**PICA** – *posterior inferior cerebellar artery*) zaopatruje znaczną część dolnej powierzchni półkuli mózdzku (ryc. 6-10), chociaż oddaje także gałęzie do innych struktur. Na swym krętym przebiegu po powierzchni pnia mózgowia oddaje gałęzie zaopatrujące boczną część rdzenia przedłużonego, jak również splot naczyniówkowy komory czwartej. Po drodze do struktur docelowych tętnice układu kręgowo-podstawnego oddają gałęzie do pnia



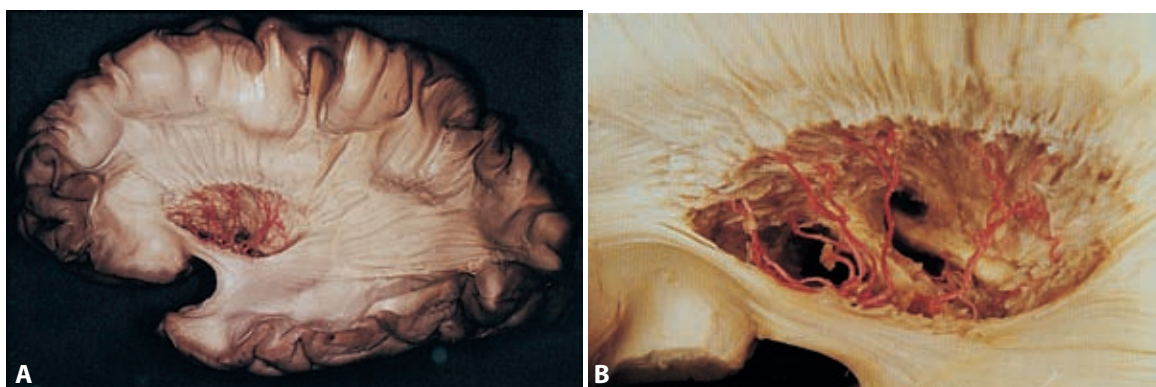
Rycina 6-6 Tętnice soczewkowo-prążkowiowe (LsA – *lenticulo-striate arteries*), wraz z gałęziami przeszywającymi tętnicy przedniej mózgu (ACA – *anterior cerebral artery*) i tętnicy naczyniówkowej przedniej (AChA – *anterior choroidal artery*), wnikające poprzez istotę dziurkowaną przednią. Podobne gałęzie przeszywające odchodzą od innych tętnic tworzących koło Willisa i od tętnicy podstawnej (BA – *basilar artery*), lecz nie przedstawiono ich na rycinie. Tętnica prążkowiowa przyśrodkowa (MSA – *medial striate artery*), nazywana też tętnicą wsteczną (Heubnera) ze względu na jej powrotny przebieg wzdłuż tętnicy przedniej mózgu, jest większą gałęzią przeszywającą, ważną ze względu na zaopatrzenie zwojów podstawnych (zob. ryc. 6-8). AComA (*anterior communicating artery*) – tętnica łącząca przednią; ICA (*internal carotid artery*) – tętnica szyjna wewnętrzna; MCA (*middle cerebral artery*) – tętnica środkowa mózgu; PCA (*posterior cerebral artery*) – tętnica tylna mózgu; SCA (*superior cerebellar artery*) – tętnica górna mózdzku; VA (*vertebral artery*) – tętnica kręgowca. (Z: Alexander L: *Res Pub Assoc Res Nerv Ment Dis* 21:77, 1942).

mózgowia. Jest to stała i charakterystyczna cecha układu kręgowo-podstawnego, porównywalna z występowaniem gałęzi przeszywających pochodzących np. od tętnicy środkowej mózgu. Wiedząc, na jakiej wysokości pnia mózgowia odgałęziają się określone naczynia, można dość precyzyjnie określić źródło unaczynienia danej struktury mózgowia (zob. ryc. 11-29 i 11-30).

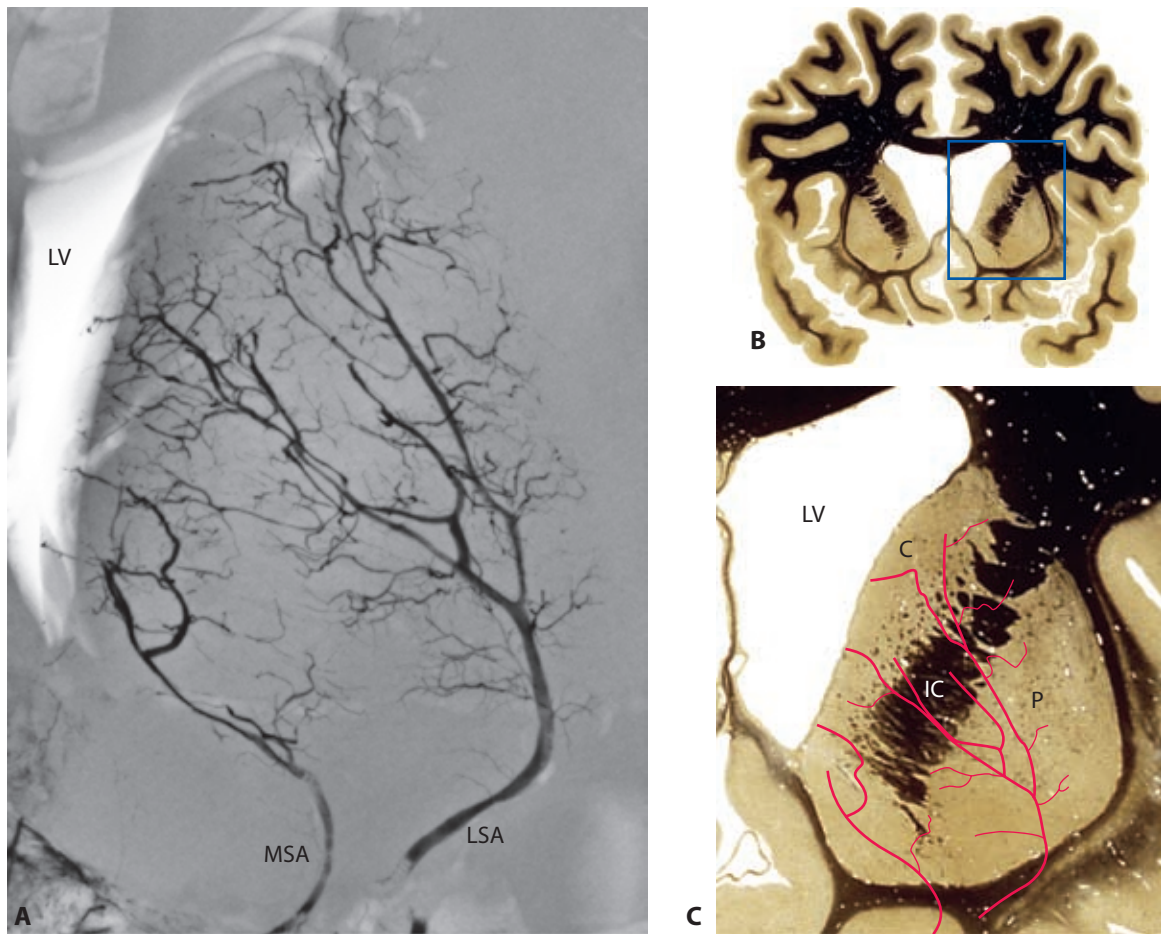
Tętnica podstawna przebiega w kierunku dogłowym. Na wysokości śródmózgowia dzieli się na dwie końcowe gałęzie – **tętnice tylne mózgu**. Przed swym

ostatecznym podziałem oddaje liczne drobniejsze gałęzie, które nie mają nazw, oraz dwie pary większych i ważniejszych gałęzi: **tętnice dolne przednie mózdzku** i **tętnice górne mózdzku**.

Tętnica dolna przednia mózdzku (**AICA** – *anterior inferior cerebellar artery*) odgałęzia się tuż powyżej miejsca powstania tętnicy podstawnej i zaopatruje przedni fragment dolnej powierzchni mózdzku (m.in. kłaczek), jak również część dolną mostu. Tętnica górna mózdzku powstaje tuż poniżej końcowego podziału tętnicy pod-



Rycina 6-7 Małe (A) i duże (B) powiększenie preparatu po wypreparowaniu i usunięciu wyspy oraz jądra soczewkowatego. Pozostały tętnice soczewkowo-prążkowiowe, przebiegające w miejscu poprzednio zajmowanym przez jądro soczewkowate i wchodzące w torebkę wewnętrzną. (Z: Yaşargil MG: *Microneurosurgery, vol 4A, CNS tumors: surgical anatomy, neuropathology, neuroradiology, neurophysiology, clinical considerations, operability, treatment options, New York, 1994, Thieme Medical Publishers*).



Rycina 6-8 **A**, Unaczynienie fragmentu jąder podstawnych przez gałęzie przesywające tętnicę przednią i środkową mózgu, przedstawione na zdjęciu radiologicznym przekroju mózgowia po iniekcji siarczanu baru. Tętnica prążkowiowa przyśrodkowa (MSA – *medial striate artery*) jest gałęzią tętnicy przedniej mózgu, a tętnice wzgórzowo-prążkowiowe, z których jedna jest widoczna (LSA – *lenticulostriate artery*), stanowią gałęzie tętnicy środkowej mózgu. **B**, Przekrój mózgowia na podobnym poziomie jak na ryc. **A**, z zaznaczonym obszarem powiększonym na ryc. **C**. C (*caudate nucleus*) – jądro ogoniaste; IC (*internal capsule*) – torebka wewnętrzna; LV (*lateral ventricle*) – komora boczna; P (*putamen*) – skorupa. (A, Z: Feekes JA et al: *Ann Neurol* 58:18, 2005).



Rycina 6-9 Obraz badania TK 39-letniego mężczyzny chorującego na nadciśnienie tętnicze, u którego doszło do pęknięcia jednej z tętnic soczewkowo-prążkowiowych. Wystąpiło krwawienie śródmózgowe (*), przede wszystkim w okolicy jąder podstawnych. C (*caudate nucleus*) – jądro ogoniaste; L (*lenticular nucleus*) – jądro soczewkowate; T (*thalamus*) – wzgórze. (Zgoda na publikację: dr Raymond F. Carmody, University of Arizona College of Medicine).

stawnej i zaopatruje górną powierzchnię mózdzku oraz znaczny fragment tylnej części śródmózgowia i górną część mostu. Liczne drobniejsze gałęzie tętnicy podstawnej, wspólnie określane mianem **gałęzi mostowych**, zaopatrują pozostałą część tej struktury. Jedną z takich gałęzi, **tętnica błędnikowa** (która często odgałęzia się od tętnicy dolnej przedniej mózdzku), chociaż jest trudna do odróżnienia od sąsiadujących drobnych naczyń, ma istotne znaczenie czynnościowe ze względu na zaopatrzenie struktur ucha wewnętrznego. Jej zamknięcie może prowadzić do wystąpienia zawrotów głowy i głuchoty po stronie uszkodzonego naczynia.

Tętnica tylna mózgu przebiega w przestrzeni podjąęczynówkowej, wokół śródmózgowia, i dociera na górną jego powierzchnię. Jej gałęzie zaopatrują przyśrodkową i dolną powierzchnię płata potylicznego oraz skroniowego (ryc. 6-3, 6-4 A i 6-10). Na swym przebiegu oddaje ona gałęzie do górnej części śródmózgowia oraz tylnej części międzymózgowia. Odchodzi od niej także **tętnice naczyniówkowe tylne**, zaopatrujące splot naczyniówkowy komory trzeciej oraz części środkowej komory bocznej. Tętnica naczyniówkowa przednia i tylna

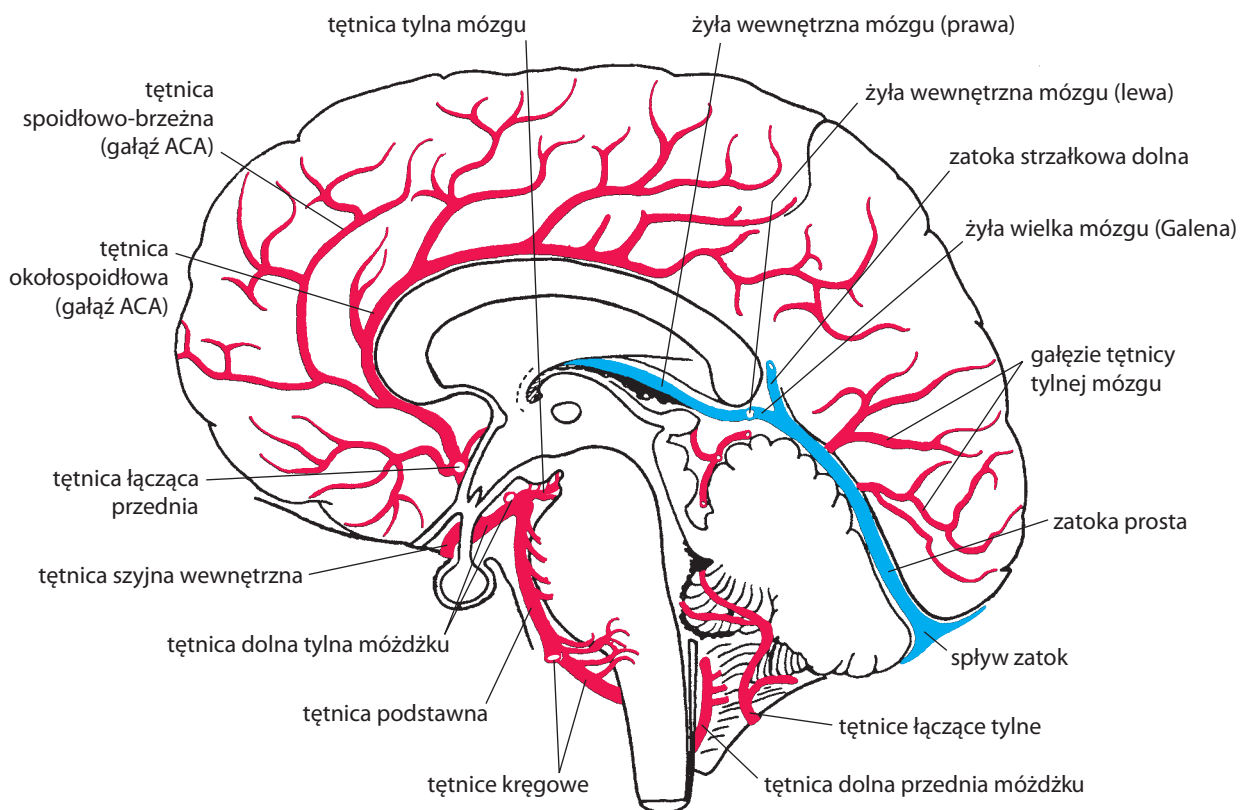
tworzą zespolenia w obrębie splotu naczyniówkowego. Pierwszorzędowa kora wzrokowa znajduje się w płacie potylicznym, a więc zamknięcie tętnicy tylnej mózgu w jej początkowej części prowadzi do ubytku pola widzenia oraz innych objawów związanych z uszkodzeniem śródmózgowia i międzymózgowia.

Koło tętnicze mózgu (koło tętnicze Willisa) łączy układ tętnic szyjnych wewnętrznych z układem kręgowo-podstawnym

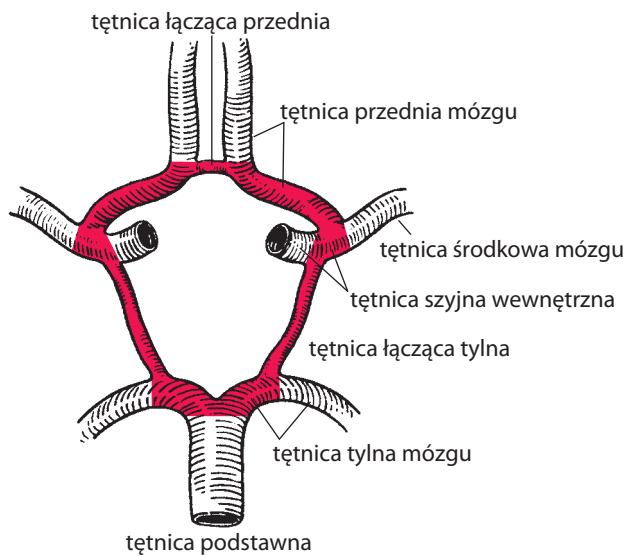
Tętnica tylna mózgu łączy się z tętnicą szyjną wewnętrzną poprzez tętnicę łączącą tylną. To połączenie tworzy wielokąt nazywany kołem tętniczym mózgu lub **kołem tętniczym Willisa** (ryc. 6-3 i 6-11). Przez koło tętnicze Willisa tętnice przednie mózgu, tętnice szyjne wewnętrzne i tętnice tylne mózgu łączą się ze sobą po obu stronach. W warunkach prawidłowych przez koło tętnicze mózgu przepływa tylko niewielka ilość krwi, ponieważ różnice ciśnień w jego wnętrzu nie są duże: ciśnienie w tętnicach szyjnych wewnętrznych jest niemal takie samo jak w tętnicach tylnych mózgu, a więc niewiele krwi przepływa przez tętnice łączące tylne. Jeśli

jednak zostanie zamknięte jedno z większych naczyń w obrębie koła tętniczego lub naczyń do niego docierających, tętnice łączące mogą zapewnić zespolenie, które doprowadza wystarczającą ilość krwi i w ten sposób zabezpiecza przed wystąpieniem ubytków neurologicznych. Dzięki temu mechanizmowi istnieje teoretyczna (choć mało prawdopodobna w rzeczywistości) możliwość, iż całe mózgowie będzie zaopatrzone w krew poprzez jedną z czterech głównych tętnic zaopatrujących je w normalnych warunkach. Tętnica łącząca przednia i tętnice łączące tylne mają bardzo zróżnicowane średnice (zob. dalej). Wytworzenie wystarczającego przepływu drogą tych zespolień w przypadku zamknięcia innego naczynia tętniczego może być uzależnione od czasu, w jakim rozwija się obliteracja naczynia. Mała tętnica łącząca może powoli zwiększyć swą średnicę, aby skompensować powoli rozwijające się zamknięcie innego naczynia, lecz nagłe jego zamknięcie może doprowadzić do dramatycznych konsekwencji.

Kształt koła tętniczego Willisa przedstawiony na ryc. 6-11 jako „typowy” obraz tej struktury jest jedynie przybliżeniem – w takiej postaci koło tętnicze występuje u niecałej połowy badanych przypadków. Kilka częstszych wariantów ukształtowania koła tętniczego przed-



Rycina 6-10 Przekrój mózgowia przedstawiający unaczynienie tętnicze jego przyśrodkowej powierzchni (oraz częściowo drogi odpływu krwi żyłnej). ACA (*anterior cerebral artery*) – tętnica przednia mózgu. (Na podstawie: Mettler FA: *Neuroanatomy*, ed 2, St. Louis, 1948, Mosby).

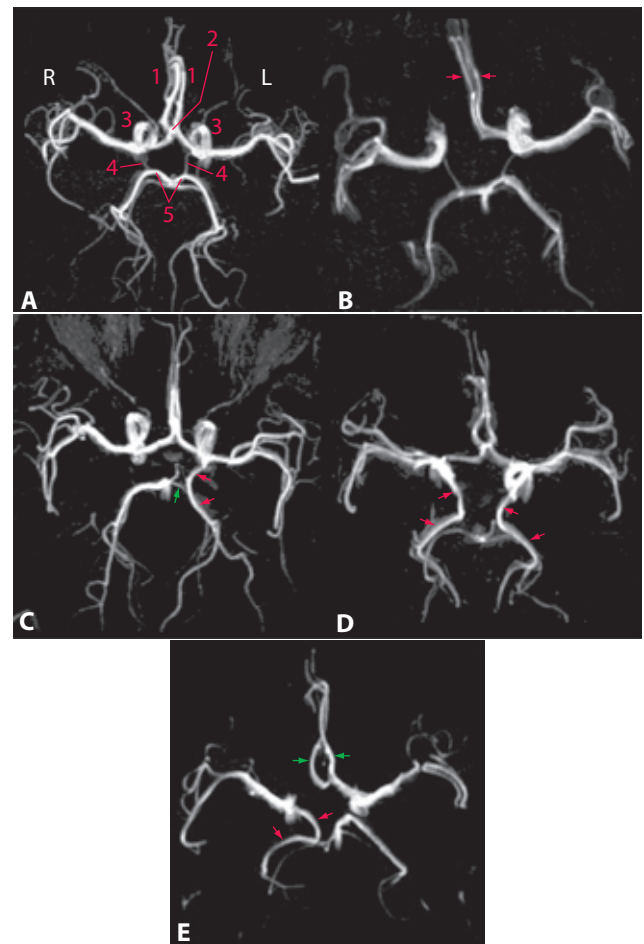


Rycina 6-11 Prawidłowy kształt koła tętniczego Willisa, zawierającego tętnice przednie mózgu, tętnicę łączącą przednią oraz dwie tętnice łączące tylne, a także krótkie fragmenty tętnic szyjnych wewnętrznych i tętnic tylnych mózgu. Tętnica środkowa mózgu, będąca głównym źródłem zaopatrzenia w krew bocznej powierzchni półkuli mózgu, znajduje się poza kołem. (Na podstawie: Hodes PJ et al: AJR Am J Roentgenol 70:61, 1953).

stawiono na ryc. 6-12. Często spotyka się asymetryczne ukształtowanie naczyń (tak jak w przypadku pokazanym na ryc. 6-3 A) – jedna lub dwie tętnice łączące mogą być bardzo małe (hipoplastyczne) lub nieobecne*. Jedna z tętnic przednich mózgu może mieć znacznie mniejszą średnicę w swym początkowym odcinku niż druga. Jedna z tętnic tylnych mózgu może zachować swój płodowy wariant ukształtowania, odgałęziając się od tętnicy szyjnej wewnętrznej, a jednocześnie może być połączona z tętnicą podstawną poprzez tętnicę łączącą tylną. Te elementy asymetrycznego ukształtowania koła tętniczego Willisa prowadzą do powstania asymetrii w wielkości przepływu naczyniowego w poszczególnych częściach mózgowia (ryc. 6-13).

Chociaż koło tętnicze Willisa jest najważniejszą drogą krążenia obocznego, istnieją także inne. Spotyka się zespolenia naczyniowe pomiędzy drobnymi tętniczkami i naczyniami włosowatymi końcowych gałęzi tętnic mózgowych. U osób dorosłych są one jednak najczęściej niewystarczające do utrzymania prawidłowego krążenia krwi w całym obszarze zaopatrywanym przez daną tętnicę w przypadku jej zamknięcia. Czasami wystarczają jedynie do utrzymania prawidłowego ukrwienia w części zaopatrywanego obszaru. Dobrze rozwinięte zespolenia tętnicze mogą ponadto znacznie się powiększać i kom-

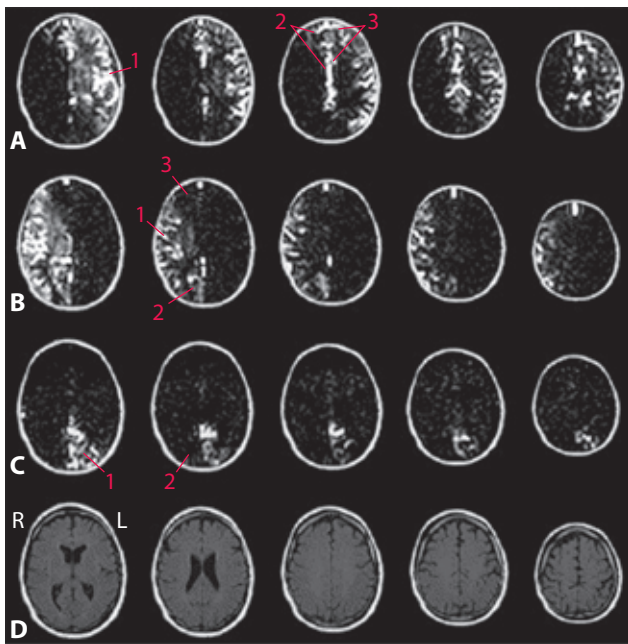
*Chociaż całe fragmenty koła tętniczego są rzadko nieobecne, naczynia o średnicy mniejszej niż 0,5–1 mm pozwalają na przepływ tak małej ilości krwi, że nie mają istotnego znaczenia czynnościowego i mogą być uważane za „nieobecne”.



Rycina 6-12 Warianty ukształtowania koła tętniczego Willisa, przedstawione przy użyciu metody angiografii rezonansu magnetycznego (zob. ramka 6-1). **A**, Prawidłowy kształt koła tętniczego: 1, tętnica przednia mózgu; 2, tętnica łącząca przednią; 3, tętnica szyjna wewnętrzna; 4, tętnica łącząca tylną; 5, tętnica tylna mózgu. **B**, Koło tętnicze z hipoplastycznym początkowym odcinkiem prawej tętnicy przedniej mózgu; obie tętnice przednie mózgu (czerwone strzałki) odchodzą od lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej. Taki wariant występuje u 5–10% populacji. **C**, Lewa tętnica tylna mózgu (czerwone strzałki) odchodzi od tętnicy szyjnej wewnętrznej, a tętnica łącząca tylną (zielona strzałka) łączy ją z tętnicą podstawną i drugą tętnicą tylną mózgu. Taki wariant występuje u ok. 20% populacji. **D**, Obie tętnice tylne mózgu (czerwone strzałki) odchodzą od tętnic szyjnych wewnętrznych. Taki wariant występuje w ok. 5% ogółu przypadków. **E**, Obie tętnice przednie mózgu (zielone strzałki) odchodzą od lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej, a prawa tętnica tylna mózgu (czerwone strzałki) odchodzi od prawej tętnicy szyjnej wewnętrznej. (**A-D**, Z: Hendrikse J et al: Radiology 235:184, 2005. **E**, Z: van Laar PJ et al: Neurolmage 29:136, 2006).

pensować powoli rozwijające się zamknięcie jednego z naczyń. Znane są przypadki, w których jedna z tętnic tylnych mózgu była zaopatrywana w krew przez tętnicę szyjną wewnętrzną po tej samej stronie dzięki przepływowi przez tętnicę naczyniówkową przednią, a następnie przez tętnicę naczyniówkową tylną, do obszaru zaopatrzenia tętnicy tylnego mózgu.

Występują także zespolenia pomiędzy naczyniami położonymi zewnątrz- i wewnątrzczaszkowo, które mogą



Rycina 6-13 Wykonane przy użyciu metody MR mapy obszarów mózgowia zaopatrywanych w krew przez różne tętnice w przypadku wariantu koła tętniczego Willisa przedstawionego na ryc. 6-12E. **A**, Lewa tętnica szyjna wewnętrzna zaopatruje obszar lewej tętnicy środkowej mózgu (1) oraz prawej (2) i lewej (3) tętnicy przedniej mózgu. **B**, Prawa tętnica szyjna wewnętrzna zaopatruje obszary prawej tętnicy środkowej (1) i tylnej (2) mózgu, lecz nie prawej tętnicy przedniej mózgu (3). **C**, Układ kręgowo-podstawny zaopatruje obszar lewej (1), lecz nie prawej (2) tętnicy tylnej mózgu. **D**, Mapy przekrojów mózgowia. (Z: van Laar PJ et al: NeuroImage 29:136, 2006).

się powiększać i uzyskiwać istotne znaczenie czynnościowe. Najważniejsze wśród nich są zespolenia w obrębie oczodołu, pomiędzy tętnicą oczną i gałęziami tętnicy szyjnej zewnętrznej. Jeśli dojdzie do zamknięcia tętnicy szyjnej wewnętrznej, istnieje możliwość przepływu krwi z dorzecza tętnicy szyjnej zewnętrznej ku tyłowi, poprzez tętnicę oczną, do tętnicy szyjnej wewnętrznej.

Specjalne techniki obrazowania umożliwiają uwidocznienie tętnic i żył mózgowia*

Naczynia krwionośne mogą być badane dzięki odpowiednim technikom obrazowania, polegającym na uwidocznieniu przepływającej w nich krwi na skutek jej zróżnicowania w stosunku do otaczających tkanek. W **angiografii mózgowej** wykorzystuje się znaczniki jodowe podawane drogą dożylną w celu zwiększenia

absorpcji promieni rentgenowskich przez przepływającą krew w stosunku do otaczającego mózgowia. Angiogram mózgowy wykonuje się najczęściej po wprowadzeniu odpowiedniego cewnika do tętnicy udowej, a następnie przeprowadzeniu go (pod kontrolą fluoroskopii) wzdłuż aorty do jej łuku oraz umieszczeniu końca cewnika w odpowiednim naczyniu. W ten sposób środek cieniujący może być wprowadzony do tętnicy kręgowej lub tętnicy szyjnej wewnętrznej. Po podaniu znacznika do odpowiedniego naczynia wykonuje się bardzo szybko serię zdjęć radiologicznych, które uwidaczniają przepływający strumień wymieszanego z krwią znacznika w tętnicach, naczyniach włosowatych i żyłach (ryc. 6-14). Ponadto stosuje się różne techniki fotograficzne* lub cyfrowe (jak na ryc. 6-14) pozwalające na usunięcie obrazu struktur kostnych i uwidocznienie dobrze wyodrębnionych naczyń krwionośnych.

Angiografia była pierwszą spośród technik badawczych opracowanych w celu uwidocznienia prawidłowych oraz zmienionych chorobowo naczyń mózgowych. Przez dziesiątki lat stanowiła główne narzędzie pozwalające na pośrednie przedstawienie zmian patologicznych w obrębie mózgowia powodujących przemieszczenie naczyń. Ciągle jeszcze umożliwia uzyskanie najdokładniejszego obrazu unaczynienia mózgowia (ryc. 6-15). Techniki tomografii komputerowej (TK) oraz rezonansu magnetycznego (MR) są jednak mniej inwazyjne i pozwalają na jednoczesne uwidocznienie struktur OUN. Znajdują więc szerokie zastosowanie w obrazowaniu naczyń krwionośnych (ramka 6-1).

Dopływ krwi do OUN jest ściśle kontrolowany

Mózgowie charakteryzuje się wysoką aktywnością metaboliczną, lecz nie ma możliwości gromadzenia tlenu ani glukozy. Wymaga więc stabilnego i obfitego zaopatrzenia w krew. Mózgowie, które stanowi tylko 2% całkowitej masy ciała, zużywa ok. 15% objętości wyrzutowej serca i blisko 25% tlenu wykorzystywanego przez organizm. Całkowita wielkość przepływu mózgowego w warunkach normalnych jest utrzymywana na stałym poziomie, lecz może się zmieniać w określonych rejonach mózgowia w sposób skorelowany z aktywnością poszczególnych struktur.

*Przed podaniem jodowego środka cieniującego wykonuje się zdjęcie radiologiczne, które przekształca się w pozytyw (polega to na takim odwróceniu kontrastu, że struktury kostne uzyskują ciemną barwę). Zdjęcie takie nakłada się na zdjęcia wykonane po podaniu kontrastu, a następnie łączy się te dwa obrazy za pomocą techniki cyfrowej. Kontrastujące ze sobą odpowiednie struktury na obu zdjęciach tworzą względnie jednolite tło (ich obrazy znoszą się nawzajem). Na takim tle naczynia krwionośne są dobrze widoczne.

*Fragmenty tego omówienia pochodzą z: Nolte J, Angevine JB Jr: *The human brain in photographs and diagrams*, ed 3, St. Louis, 2007, Mosby.