
Grundlagen

Blutversorgung, Hirnhüllen und Ventrikelsystem

David P. Wolfer
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

377-0107-00 Nervensystem, Fr 15.11.2019 12:45 HCI G3

Lernziele dieser Anatomievorlesung: Studierende können ...

- **Merken und Erinnern**

1. gewebliche Zusammensetzung und Schichtenbau der Hüllen des ZNS wiedergeben
2. Gliederung, Begrenzung und Verbindungen der inneren und äusseren Liquorräume wiedergeben
3. Aufbau und Lokalisation von Plexus choroideus und Arachnoidalzotten wiedergeben
4. Verlauf und Versorgungsterritorien wichtiger Arterien des Vertebralis- und Karotis-Systems, Aufbau des Circulus arteriosus cerebri wiedergeben
5. die Elemente des oberflächlichen und tiefen Venensystems des Gehirns und der Sinus durae matris aufzählen
6. strukturelle Besonderheiten intrazerebraler Blutgefässe definieren und die Strukturelemente der Bluthirnschranke nennen
7. den Aufbau des lymphatischen Systems wiedergeben

- **Verstehen und Anwenden**

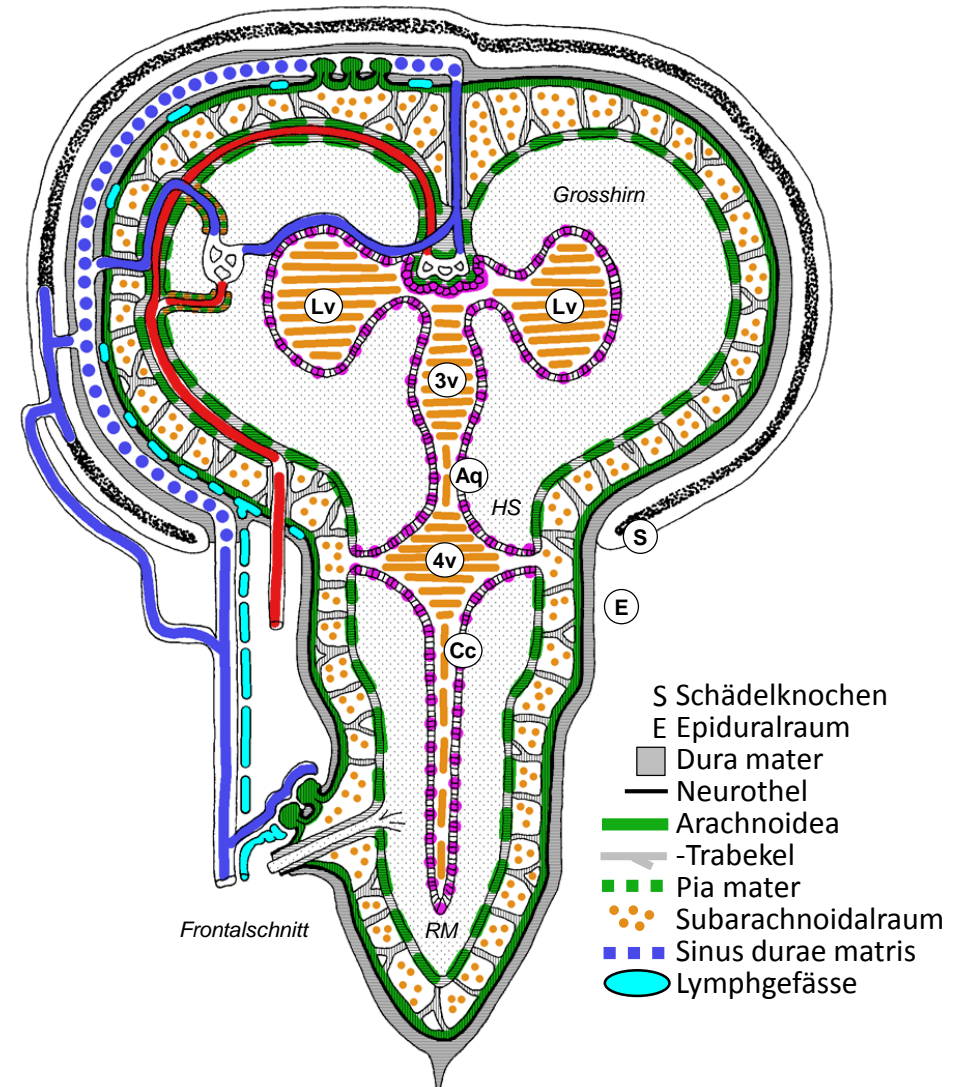
1. mechanische und nicht-mechanische Funktionen der Hüllen des ZNS beschreiben
2. die strukturellen Grundlagen der Kompartimentgrenzen des extrazellulären Milieus des ZNS erläutern
3. das Prinzip der Liquorproduktion und -Resorption und der damit verbundenen Liquorbewegungen darlegen
4. sich den räumlichen Zusammenhang zwischen dem Verlauf zerebraler Arterien und der Ausdehnung ihrer Versorgungsgebiete vorstellen
5. sich den räumlichen Zusammenhang zwischen dem Verlauf zerebraler Venen und der Ausdehnung ihrer Drainagegebiete vorstellen
6. die strukturellen Grundlagen der Zusammenarbeit von Liquor- und Lymphsystem bei der Drainage des Extrazellulärraums im ZNS darlegen
7. die Konsequenzen von Blutgefässverschlüssen im Gehirn anhand von Beispielen erläutern
8. die Konsequenzen von Blutungen aus intrakranialen Blutgefässen anhand von Beispielen erläutern

Fakultative Lernmaterialien für diese Vorlesung

- Lehrbuch: Trepel, «Neuroanatomie»
 - 11 Blutversorgung des Gehirns
- LernAtlas: Prometheus
«Kopf, Hals und Neuroanatomie»
B Neuroanatomie
 - 1.5 Nervensystem in Situ
 - 1.9 Blutversorgung von Gehirn und Rückenmark
 - 4.1-3 Hirn- und Rückenmarkshäute
 - 5.1-4 Liquorräume
 - 10.1-10 Blutgefäße des Gehirns
- Studiensammlung
 - Studiensaal I,
Vitrine 4: Frontalschnitte Kopf
 - Studiensaal II,
Sagittalschnitte durch den Kopf (beim Fenster)
 - Studiensaal II,
Vitrine 41: Hirnbasis mit Arterien
 - Studiensaal II,
Vitrine 42: Seitenventrikel, 43 4. Ventrikel, 44 3. Ventrikel
 - Studiensaal II,
Vitrine 50: Hirnhäute und Blutversorgung des Kopfes

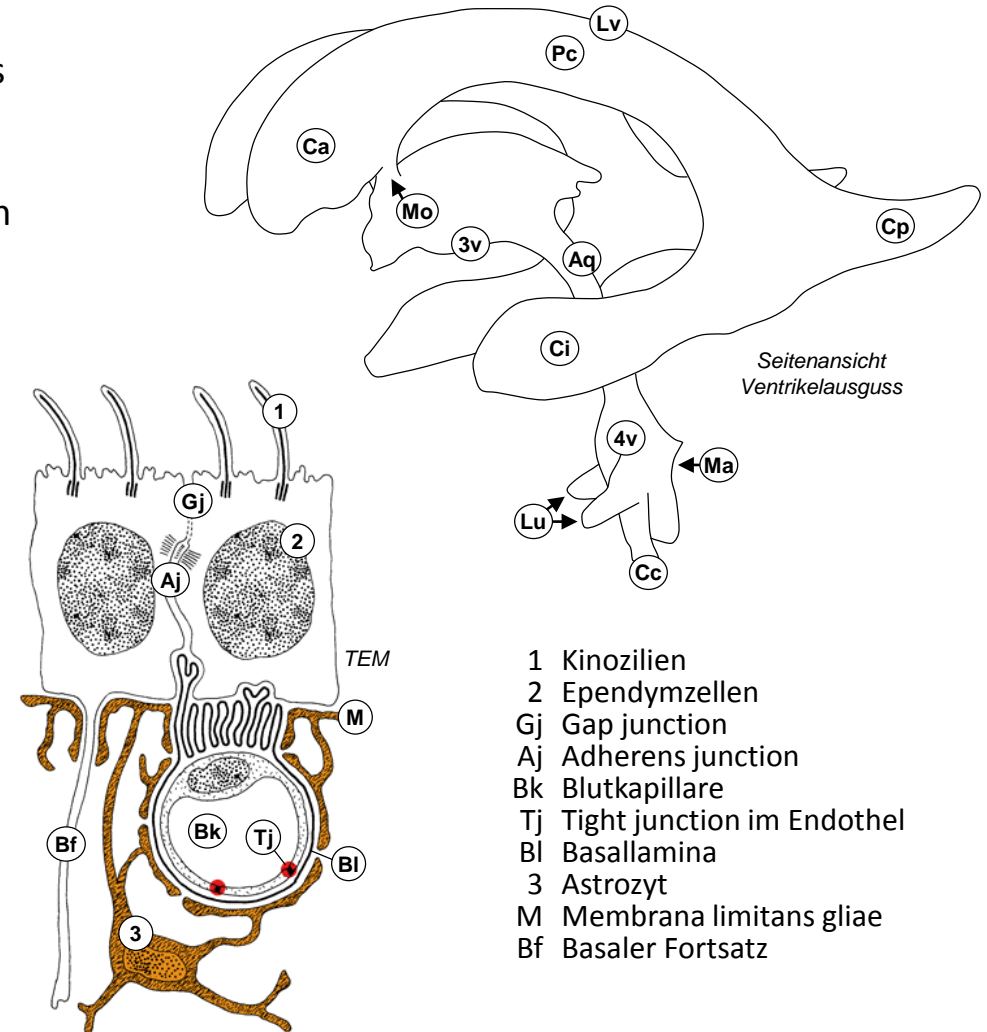
Äussere Liquorräume, Hirn- und Rückenmarkshäute

- Funktionen
 - mechanischer Schutz (Bindegewebe & Flüssigkeit)
 - arachnoidale Stoffwechselbarriere (Tight Junctions)
 - Immunabwehr (im ZNS selbst nur Mikrogliazellen)
- Pachymeninx (harte Hirn- und Rückenmarkshaut)
 - Dura mater: aussen straffes kollagenes Bindegewebe mit Blut- und Lymphgefässen (Stratum fibrosum), lockeres mehrschichtiges Plattenepithel innen (Neurothel = Stratum neurotheliale)
 - Schädel: Stratum fibrosum gleichzeitig auch Periost, ausser bei Auffaltungen = Durasepten (Falx cerebri, Tentorium cerebelli, Diaphragma sellae). Spinalkanal: freier Durasack, umgeben von Epiduralraum (Fettgewebe, Venengeflecht)
- Leptomeninx (weiche Hirn- und Rückenmarkshaut)
 - Arachnoidea mater: aussen epitheliale Barriere-Schicht mit Tight Junctions, lockeres Bindegewebe innen (Stroma)
 - Pia mater: lockeres Bindegewebe über Basallamina in Kontakt mit Membrana limitans gliae (Astrozytenfortsätze) der ZNS Oberfläche
 - dazwischen Subarachnoidalraum mit Liquor cerebrospinalis, ausgekleidet durch flaches Leptomeninx-Mesothel, überbrückt durch feine Trabekel der Arachnoidea («vertäuen» ZNS). Weite Stellen = Zisternen (Cisternae).



Innere Liquorräume

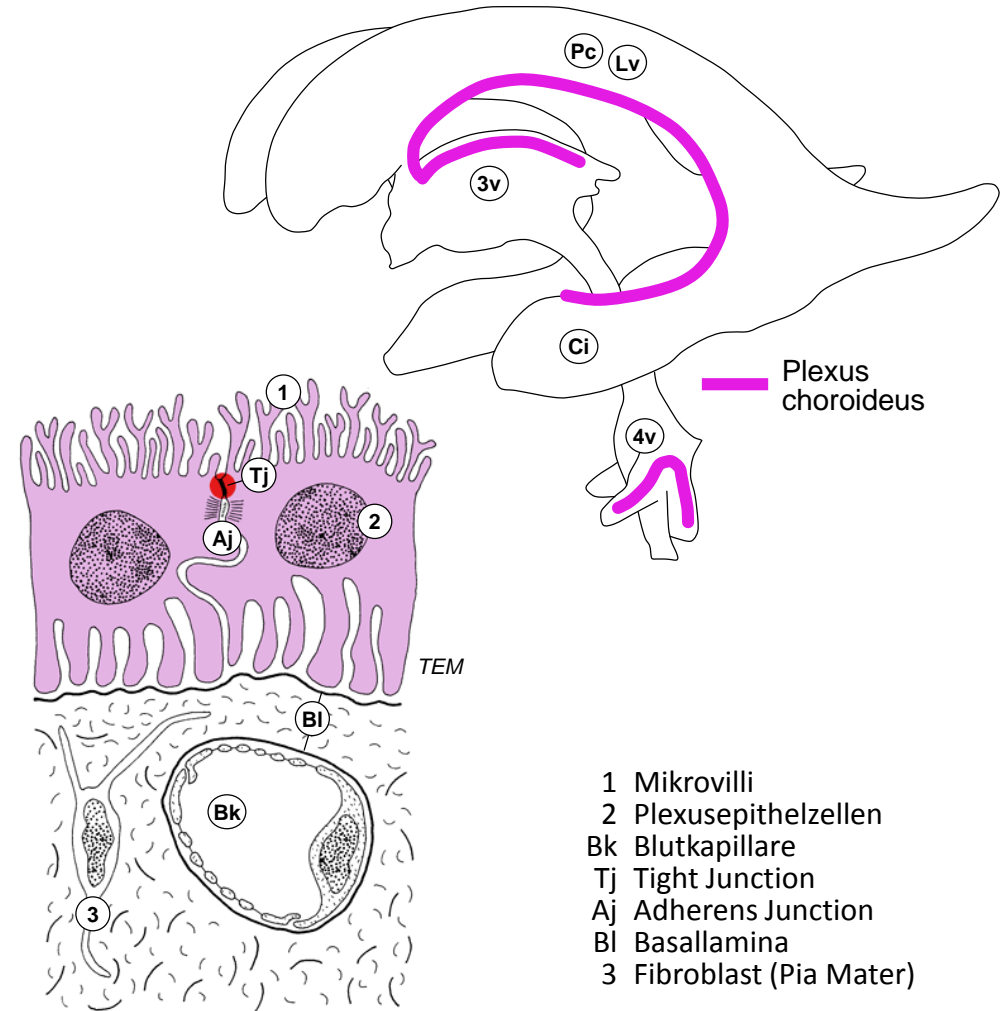
- Ventrikel (weit)
 - Ventriculus lat. (Lv) im Telencephalon: ausgehend von Pars centralis (Pc)(→ Parietallappen): Cornu ant. (Ca)(→ Frontallappen), post. (Cp)(→ Okzipitallappen), temporal inf. (Ci)(→ Temporallappen)
 - Ventriculus tertius (3v) im Diencephalon. Ventriculus quartus (4v) in Medulla oblongata und Pons (Boden = Fossa rhomboidea)
- Verbindungen / Kanäle (eng)
 - Foramina Monroi (Mo)
 - Aqueductus cerebri (Aq) im Mesencephalon
 - Foramina Magendie (Ma) et Luschkae (Lu): einzige Verbindung zu Subarachnoidalraum
 - Canalis centralis (Cc) des Rückenmarks
- 95% der Ventrikeloberfläche: Ependym
 - einschichtiges Epithel aus Gliazellen mit Kinozilien, ohne Tight Junctions: Interzellularraum durchlässig
 - ruht ohne Basallamina auf Membrana limitans gliae
 - Liquor-Kontakt-Neurone (va. Canalis centralis): Soma unterhalb Ependym im Nervengewebe, Dendrit erreicht durch Ependym Liquor, vermutlich mechanische oder chemische Sensoren



- 1 Kinozilien
- 2 Ependymzellen
- Gj Gap junction
- Aj Adherens junction
- Bk Blutkapillare
- Tj Tight junction im Endothel
- Bl Basallamina
- 3 Astrozyt
- M Membrana limitans gliae
- Bf Basaler Fortsatz

Liquorproduktion

- 4x täglich ausgetauscht
 - Totalvolumen ca. 150 ml
 - Täglich ca. 600 ml durch Plexus choroideus sezerniert
- Plexus choroideus
 - ca. 5% der Ventrikeloberfläche statt Ependym
 - in allen Ventrikeln (Seitenventrikel ohne Cornu ant. et post.), nicht im Aqueductus cerebri & nicht im Can. centralis
 - gesamtes Nervengewebe der Ventrikelwand reduziert auf eine Zellschicht = einschichtiges Plexusepithel: apikale Membran in Kontakt mit Liquor, basale Membran via Basallamina mit Pia mater verbunden
 - in Pia mater zahlreiche Blutgefäße (Tela choroidea) und Blutkapillaren mit fenestriertem Endothel ausnahmsweise ohne Abdichtung durch Tight Junctions (Blutkapillaren der Pia mater besitzen sonst als Teil der Bluthirnschranke wie jene im ZNS-Nervengewebe Tight Junctions)
 - starke Zottenbildung gegen Ventrikellichtung
 - aktiver transzellulärer Transport: parazelluläre Abdichtung (Blut-Liquor-Schranke), apikale Oberflächenvergrößerung, basale Membranfalten (basales Labyrinth) mit Mitochondrien (ähnlich proximaler Tubulus der Niere)



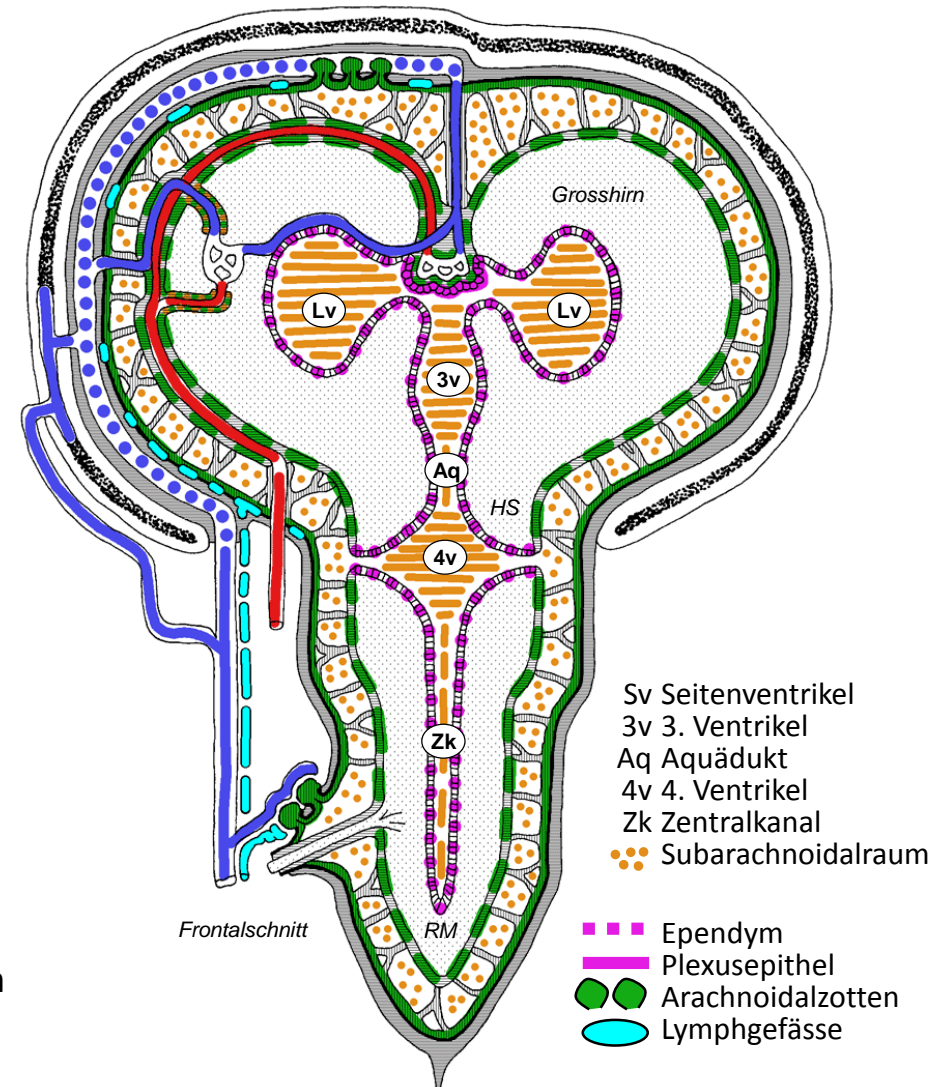
Liquorresorption & Zirkulation

• Liquorresorption

- aus Subarachnoidalraum in Venen oder Lymphgefäße im Gleichgewicht mit Liquorsekretion: Dura mater und Arachnoidea stellenweise ausgedünnt und ohne Tight Junctions
- Arachnoidalzotten: Arachnoidea ± zottig nach aussen gestülpt, in Kontakt mit Sinus durae matris (Pacchioni-Granulationen entlang Sinus sagittalis superior im Scheitelbereich) oder epiduralem Venengeflecht (Duratrichter der Spinalnerven)
- mit oder ohne Zottenbildung stellenweise starke Annäherung der Arachnoidea an Lymphgefäße der Dura mater (va Schädelbasis bei Austritt der Hirnnerven, Duratrichter der Spinalnerven)

• Komplexe Liquorbewegungen

- Massenfluss Seitenventrikel → 3. Ventrikel → Aqueductus → 4. Ventrikel → Subarachnoidalraum → Arachnoidalzotten
Behinderung führt zu Stau & Druckanstieg (Hydrocephalus)
- Pendelbewegung 4. Ventrikel ↔ Zentralkanal
- ventrikuläre Mikrozirkulation durch Zilienschlag des Ependyms
- Austausch (va im Tiefschlaf) Liquorräume ↔ Nervengewebe via Ependym, Pia mater und va. via glymphatisches System (Spalträume zwischen Membrana limitans Gliae und intrazerebralen Blutgefäßen als Ersatz für die im Nervengewebe fehlenden Lymphgefäße)



Arterielle Blutversorgung von Telencephalon und Diencephalon

■ Carotis-System

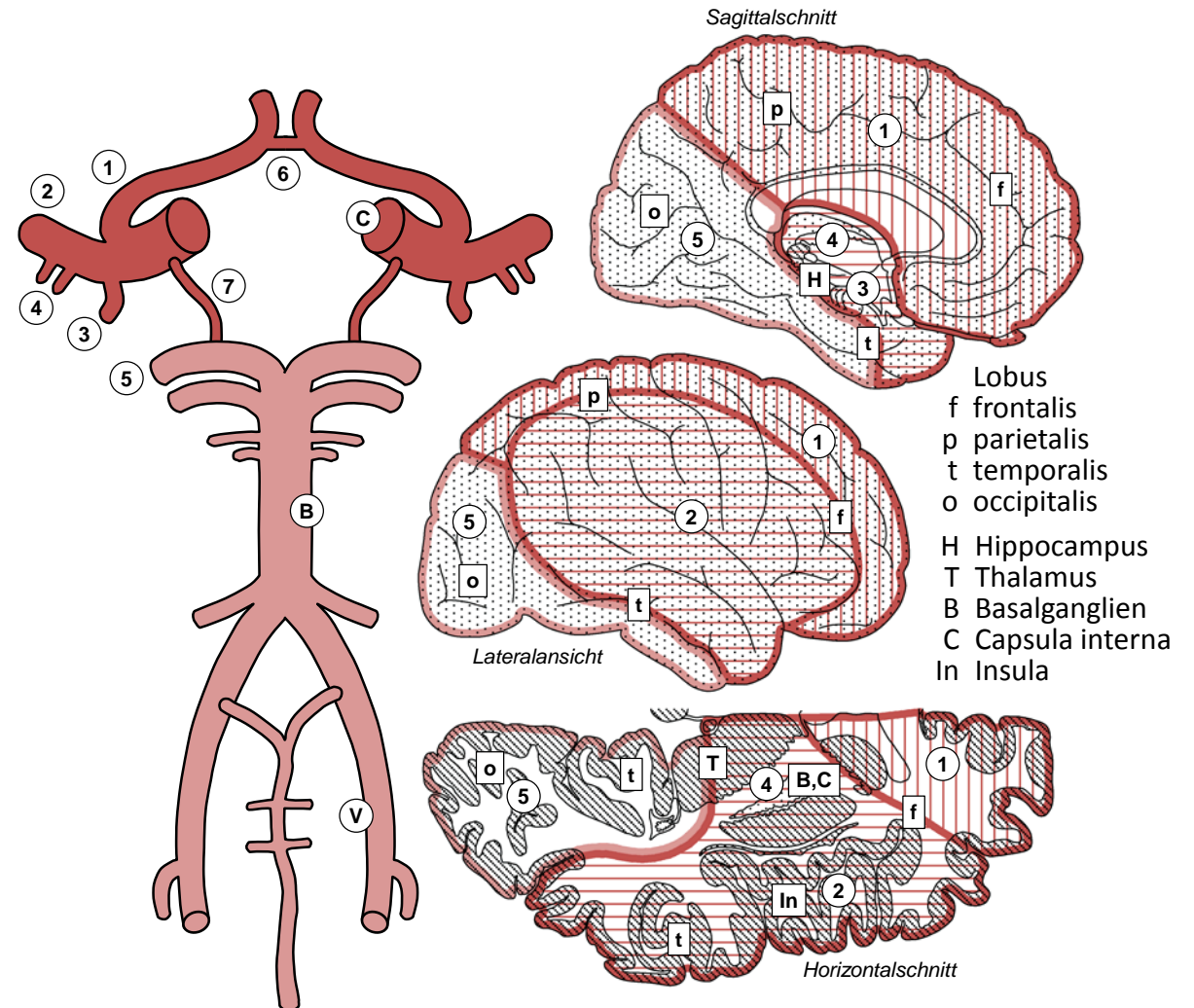
- A carotis int (C): Eintritt durch Canalis caroticus, Karotissiphon im Sinus cavernosus, Endäste A cerebri anterior (1) und media (2). Aus A cerebri media: A choroidea anterior (3) entlang Tractus opticus, Aa centrales anterolaterales (4) = lenticulostriatae
- versorgt Frontal- und Parietallappen, Teile des Temporallappens, Basalganglien, Capsula interna (Risikozone: Hemiplegie!), Teile des Diencephalon (via A choroidea ant auch Corpus geniculatum laterale)

■ Vertebralis-System

- Aa vertebrales (V): Eintritt durch Foramen occipitale magnum, Vereinigung zu unpaarer A basilaris (B)
- A cerebri post (5) versorgt Okzipitallappen, Teile des Temporallappens und dorso-kaudales Diencephalon

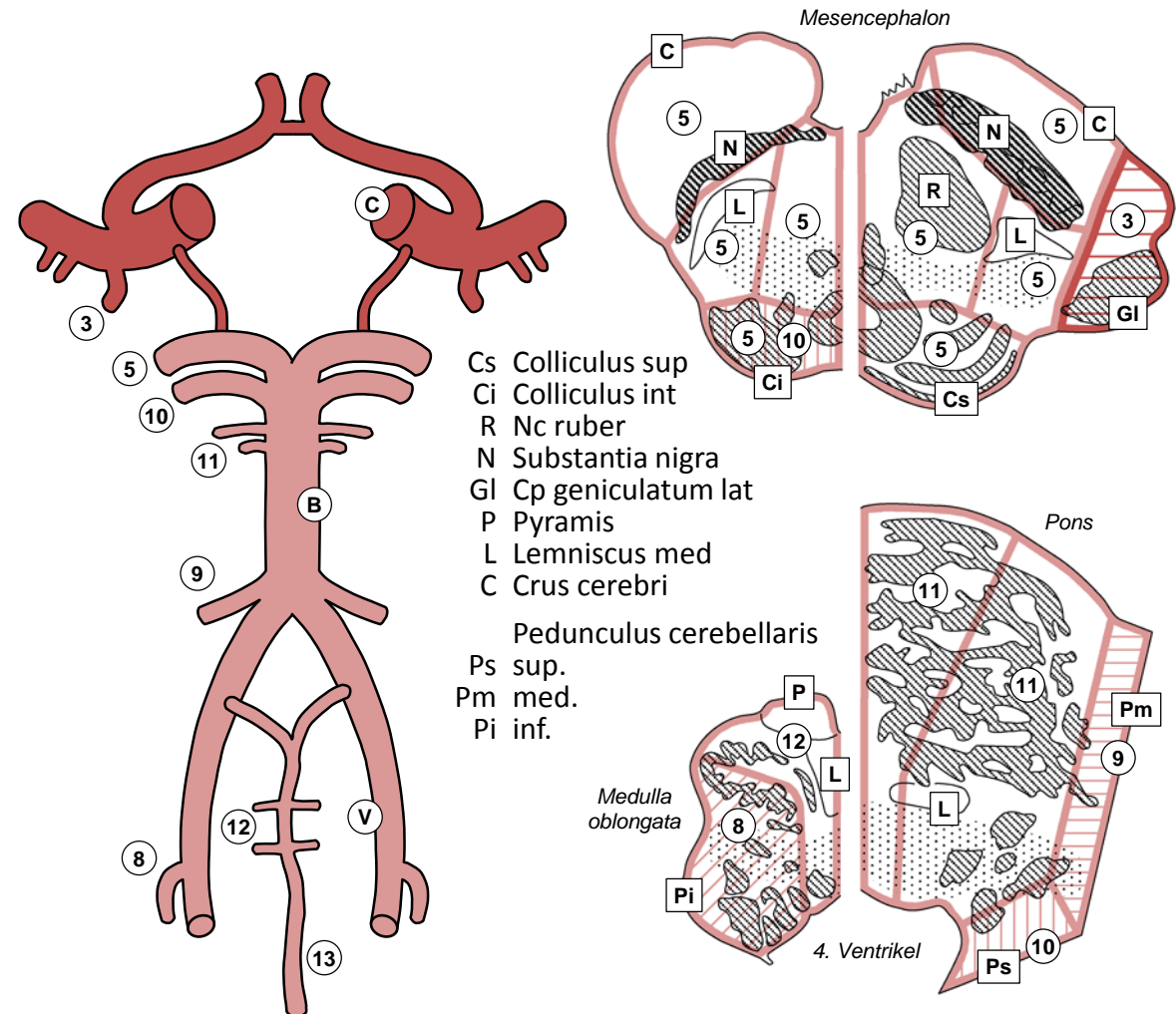
■■ Circulus arteriosus cerebri (Willisii)

- A communicans ant (6), Aa communicantes post (7): normal wenig durchblutet, Erweiterung bei langsamer Stenose eines Zuganges (über Wochen, Monate)
- Abgänge des Circulus arteriosus sind Endarterien, Verschluss bewirkt Infarkt des Versorgungsgebiets



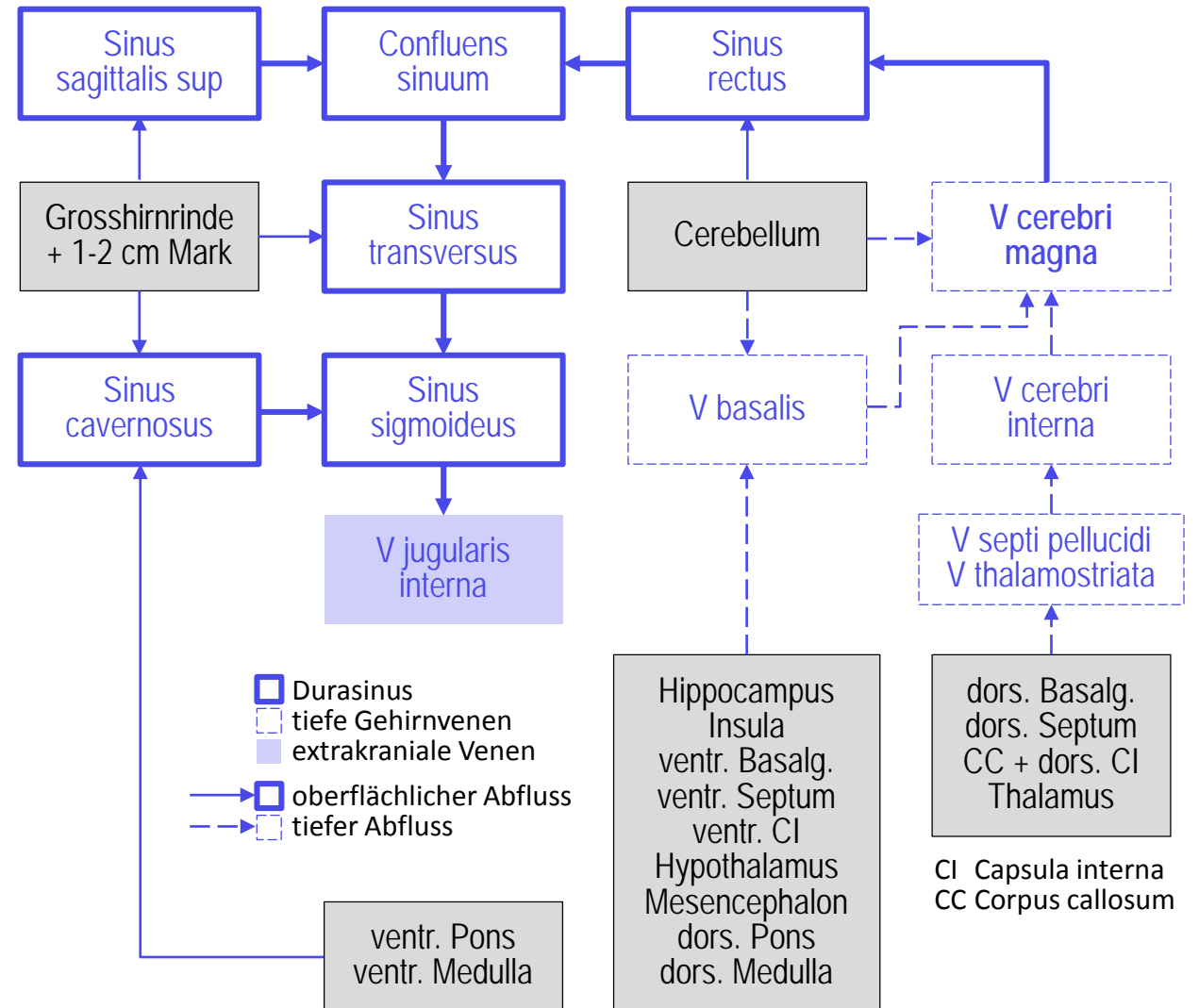
Arterielle Blutversorgung von Cerebellum und Hirnstamm

- Cerebellum + Pedunculi cerebellares
 - Aa inf post (8), inf ant (9), sup (10) cerebelli
- Mesencephalon
 - multiple Äste der A cerebri post (5): Hauptversorgung
 - A choroidea ant (3): laterale Teile von Tegmentum und Crus cerebri (einziger Beitrag des Karotis-Systems!)
 - A sup cerebelli (10): Teile des Colliculus inf
- Pons
 - Aa pontis med & lat (11) aus A basilaris (B): sektorweise medial und basolateral (Pars basilaris und Tegmentum)
 - A sup cerebelli (10): Gebiet um Pedunculus cerebellaris sup, A inf ant cerebelli (9): Gebiet um Pedunculus cerebellaris med
- Medulla oblongata
 - Rr medullares (12) va. aus A spinalis ant (13), zT. aus Aa vertebrales: sektorweise medial und basolateral
 - A inf post cerebelli (8): dorsolaterales Gebiet um Pedunculus cerebellaris inf bis Ncc olivares inf



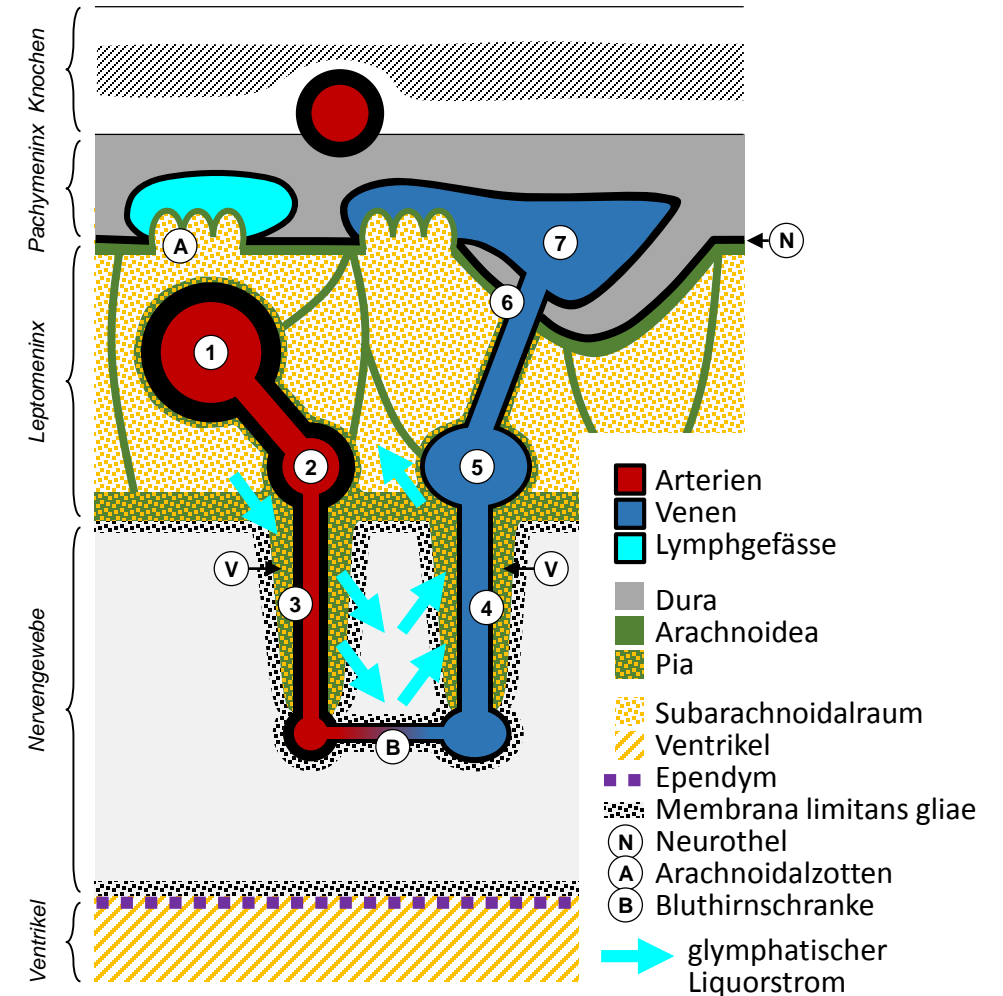
Venöser Abfluss aus dem Gehirn

- grosse Variabilität, viele Anastomosen
- **Oberflächlicher venöser Abfluss**
 - Grosshirnrinde + 1-2 cm weisse Substanz, Teile des ventralen Hirnstamms, Teile des Kleinhirns
 - oberflächliche Gehirnvenen via Brückenvenen direkt → Sinus durae matris
- **Tiefer venöser Abfluss**
 - Hippocampus & Sockel der Grosshirn-Hemisphären, Diencephalon, Grossteil Hirnstamm
 - Blut aus tiefem Venensystem gesammelt in unpaarer V cerebri magna = V Galeni, aus dieser → Sinus rectus
- **Sinus durae matris**
 - klappenlose Blutleiter mit fester Wand aus 2 Blättern der Dura, Endothel, kaum Muskulatur
 - Abfluss aus Schädel → V jugularis interna, alternativ → Pl venosus vertebralis internus, oder via Vv emissariae → Kopfhautvenen
 - via Vv ophthalmica sup & inf und Pl pterygoideus aus Gesicht Einstrom → Sinus cavernosus: Infektionen!



Intrazerebrale Blutgefäße und glymphatisches System

- Schichtenweise Abfolge der Gefäßkaliber
 - Circulus arteriosus und grosse Äste subarachnoidal (1) mit Pia-Hülle
 - Arterien mittleren Kalibers auf Gehirnoberfläche (2) in Pia mater
 - kleine Arterien und Arteriolen penetrieren (3) Nervengewebe
 - kleine Venen im Nervengewebe (4) → mittlere in Pia mater (5) oder unter Ependym → Brückenvenen (6) → grosskalibrige Durasinus (7)
- Membrana limitans Gliae
 - parazellulär Liquor-durchlässiges Geflecht von Astrozyten-Fortsätzen an Grenze von Nervengewebe zu Pia oder Ependym, sowie perivaskulär
 - transzellulärer H₂O Transport durch Aquaporin(Wasser)-Kanäle
 - Astrozyten → Tight Junctions im Endothel der Kapillaren (Ausnahme!) → Blut-Hirn-Schranke (B) (trennt Blut von Nervengewebe + Liquor)
- Glymphatisches System: Lymphgefässersatz im ZNS
 - von Liquor als **Lymph**ersatz durchströmter Raum zwischen Wand intrazerebraler Blutgefäße und perivaskulärer Membrana limitans **Gliae**
 - um Arterien und Venen Liquor in Virchow-Robin-Räumen (V) = Strumpf aus sehr lockerem Piagewebe, um Kapillaren Liquor in Basallamina
 - entlang arteriellem Schenkel Liquor-Einstrom in Nervengewebe, entlang venösem Schenkel Rückstrom in Subarachnoidalraum
 - Reinigung des extrazellulären ZNS-Milieus im Schlaf («Gehirnwäsche»)



Raumforderung durch intrakranielle Blutungen

- Intrazerebrale Blutung
 - kleine Arterien (3) im Gehirngewebe
 - Spontanruptur bei Arteriosklerose → Schlaganfall (15%)
(auch Gefäßverschluss → Schlaganfall (85%): Differentialdiagnose!)
- Subarachnoidalblutung
 - grosse Arterien (1): Circulus arteriosus Willisii und abgehende Äste
 - Trauma oder Spontanruptur eines angeborenen Aneurysmas (dünnwandige Erweiterung) → akute oft tödliche Massenblutung mit krampfhafter Verengung der Hirnarterien
- Subduralblutung
 - Brückenvenen (6)
 - Abriss der Einmündung in Durasinus durch Scherkräfte → Hämatom (Bluterguss) zwischen Dura und Arachnoidea
 - akut bei schwerem Schädelhirntrauma
 - chronisch nach Bagateltrauma bei älteren Leuten
- Epiduralblutung
 - Arteria meningea media (M) ausserhalb Dura mater
 - Schädelfraktur → Hämatom zwischen Schädelknochen und Periost/Dura, Eintrübung des Bewusstseins innert Stunden

