

MODUL 03  
Neurosains  
(SFS310)

Materi 03  
Meninges, LCS & Sirkulasi Otak

Disusun Oleh  
1. Kesit Ivanali, S.Ft, M.Biomed

UNIVERSITAS ESA UNGGUL  
2018

## TOPIK / MATERI PEMBELAJARAN

### A. Pendahuluan

Sistem saraf adalah salah satu bagian dari sistem koordinasi yang mengatur aktivitas tubuh melalui rangsangan listrik secara cepat. Komponen sistem saraf terdiri atas sel saraf, sistem saraf pusat, dan sistem saraf tepi.

Otak adalah organ yang luar biasa, bekerja mengkoordinasikan seluruh yang terjadi di dalam tubuh kita, kepribadian, metabolisme, tekanan darah, emosi, hormon, ingatan, bekerja melebihi komputer manapun di dunia ini. Kelainan kecil pada otak akan mempengaruhi aktivitas tubuh, karenanya kita harus selalu menjaga nutrisinya dan menjaga kesehatannya dan mengembangkannya.

Otak manusia mempunyai berat 2% dari berat badan orang dewasa (3 pon), menerima 20% curah jantung dan memerlukan 20% pemakaian oksigen tubuh dan sekitar 400 kilokalori energi setiap harinya. Otak merupakan jaringan yang paling banyak memakai energi dalam seluruh tubuh manusia dan terutama berasal dari proses metabolisme oksidasi glukosa. Jaringan otak sangat rentan terhadap perubahan oksigen dan glukosa darah, aliran darah berhenti 10 detik saja sudah dapat menghilangkan kesadaran manusia. Berhenti dalam beberapa menit, merusak permanen otak. Hipoglikemia yang berlangsung berkepanjangan juga merusak jaringan otak.

Otak mengatur dan mengkoordinir sebagian besar gerakan, perilaku dan fungsi tubuh homeostatis seperti detak jantung, tekanan darah, keseimbangan cairan tubuh dan suhu tubuh. Otak juga bertanggung jawab atas fungsi seperti pengenalan, ingatan, pembelajaran motorik dan segala bentuk pembelajaran lainnya. Otak terbentuk dari dua jenis sel: glia dan neuron. Glia berfungsi untuk menunjang dan melindungi neuron, sedangkan neuron membawa informasi dalam bentuk pulsa listrik yang dikenal sebagai potensial aksi. Mereka berkomunikasi dengan neuron yang lain dan keseluruhan tubuh dengan mengirimkan berbagai macam bahan kimia yang disebut neurotransmitter. Neurotransmitter ini dikirimkan pada celah yang dikenal sebagai sinapsis. Vertebrata seperti serangga mungkin mempunyai jutaan neuron pada otaknya, vertebrata besar bisa mempunyai hingga seratus miliar neuron.

### B. Kompetensi Dasar

Mengetahui tentang meninges, LCS dan Sirkulasi darah otak

### C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Mahasiswa mampu memahami konsep dasar keilmuan bidang Neurosains dalam hal:

- a. Meninges pada SSP
- b. LCS pada SSP
- c. Sirkulasi darah Otak

## D. Kegiatan Belajar 1

### MENINGES (Selaput Otak)

- Selaput otak-spinal terdiri dari 3 lapis, yaitu:
  - Duramater
  - Arachnoid
  - Piamater
- Dengan adanya selaput ini, maka terbentuk ruangan-ruangan
  - Subdural
  - Sub arachnoid (tempat mengalirnya cairan otak spinal)
  - Intra cerebral
- Sistem Saraf Pusat (SSP) bersifat sangat halus dan jika sel saraf tersebut rusak, sel saraf tsb tidak dapat diganti → jaringan saraf yang rapuh yg tdk tergantung ini harus dilindungi dengan baik.
- 4 Pelindung SSP dari cedera
  1. Struktur tulang Kranium yang keras dan Kolumna Vertebra
  2. Meninges (Membran protektif dan nutritif)
  3. Cairan Cerebro Spinal (CCS)
  4. Sawar Darah Otak (SDO) sangat selektif mengatur pertukaran darah ke otak

### Urutan Meninges

- Lapisan Otak dari luar ke dalam
  1. Dura mater (dura = kuat)
  2. Araknoid mater (araknoid = seperti “sarang laba-laba”)
  3. Pia mater (pia = lembut)

#### Meningeal

Otak dan medulla spinalis dilapisi oleh lapisan yang disebut meningeal. Meningeal.

Meningeal terdiri dari 3 lapisan

1. Durameter : melekat kuat di tulang cranium
2. Arachnoid meter : diantara dura dan piameter
3. Pia meter : menempel dan mengikuti gyrus dan sulcus otak

Pada sistem saraf pusat ini juga terdapat sebuah jembatan varol yang telah tersusun atas serabut saraf yang dapat menghubungkan antara otak kecil bagian kiri dengan otak kecil bagian kanan, dan menghubungkan antara otak besar dengan sumsum tulang belakang. Jembatan varol ini akan menghantarkan rangsangan diantara kedua bagian yang saling dihubungkan tersebut.

Pada bagian otak dan sumsum yang merupakan penyusun sistem saraf pusat terdapat suatu lapisan yang menyelubungi, lapisan tersebut disebut dengan lapisan meninges. Lapisan ini terdiri atas beberapa bagian sebagai berikut :

- a) Lapisan durameter yaitu lapisan yang terdapat di paling luar dari otak dan bersifat tidak kenyal. Lapisan ini melekat langsung dengan tulang

- tengkorak. Berfungsi untuk melindungi jaringan-jaringan yang halus dari otak dan medulla spinalis.
- b) Lapisan araknoid yaitu lapisan yang berada dibagian tengah dan terdiri dari lapisan yang berbentuk jaring laba-laba. Ruangan dalam lapisan ini disebut dengan ruang subaraknoid dan memiliki cairan yang disebut cairan serebrospinal. Lapisan ini berfungsi untuk melindungi otak dan medulla spinalis dari guncangan.
  - c) Lapisan piameter yaitu lapisan yang terdapat paling dalam dari otak dan melekat langsung pada otak. Lapisan ini banyak memiliki pembuluh darah. Berfungsi untuk melindungi otak secara langsung.

*Otak* merupakan alat tubuh yang sangat penting dan sebagai pusat pengatur dari segala kegiatan manusia. Otak terletak di dalam rongga tengkorak, beratnya lebih kurang 1/50 dari berat badan. Bagian utama otak adalah otak besar (*Cerebrum*), otak kecil (*Cerebellum*), dan batang otak.

Di daerah sub arachnoid terdapat ruang yang longgar dan banyak pembuluh darah serta tempat sirkulasi cairan LCS.

### **Aspek Klinis**

Beberapa kelainan yang sering melibatkan meningeal antara lain :

Infeksi : Meningitis/Meningoensefalitis

Cedera kepala : Epidural Hematom, Sub dural Hematom, Sub Arachnoid Hemoraghe

Vaskular : Stroke Sub Arachnoid Hemoraghe (SAH), Aneurisma, Arteri Vena Malformation (AVM)

Tumor : Meningioma

### **Sistem Ventrikel Otak**

Di dalam otak terdapat rongga otak yang disebut ventrikel, ada 4 Ventrikel :

- a. Ventrikel I (lateralis kiri)
- b. Ventrikel II (lateralis kanan)
- c. Ventrikel III
- d. Ventrikel IV

Antara ventrikel I dan II dihubungkan oleh foramen interventrikulare, sedangkan antara ventrikel I-II dan ventrikel III dihubungkan oleh foramen monro, ventrikel III dan IV dihubungkan dengan foramen aqueductus silvii (ini foramen terpanjang dan sering terjadi obstruksi).

Ventrikel IV dan ruangan sub arachnoid dihubungkan oleh foramen Magendi (bagian medial) dan 2 foramen Luscha (bagian lateral).

Liquor Cerebro Spinal(LCS)

Diproduksi oleh pleksus choroidalis di ventrikel I dan II masuk ke ventrikel III melalui foramen monro, di ventrikel III LCS bertambah karena disekresi pleksus choroidalis ventrikel III, setelah itu mengalir ke ventrikel IV melalui aqueductus silvii dan akhirnya dikeluarkan ke ruang sub arachnoid lewat Magendi dan Lusca.

LCS tersebut bergerak bebas di subarachnoid dan akhirnya diserap oleh tubuh melalui ductus Paccioni dan masuk ke system vena yang terutama terletak di sinus sagitalis

Dalam satu hari disekresi sekitar 400-600cc LCS, tetapi volume yang beredar di system ventrikel dan subarachnoid antara 150-200 cc.

#### Liquor Cerebro Spinal (LCS)

- Fungsi Utama LCS : cairan peredam kejut otak jika terbentur dengan tulang kranium saat terjadi gerakan mendadak dan getaran yang keras ( melindungi otak dari trauma mekanis)
- Pertukaran bahan antara sel-sel saraf dan cairan interstisium di sekitarnya
- LCS dibentuk oleh Plexus Choroid (Pleksus Koroideus) yang terdapat di Ventrikel Lateralis sebesar 70% dan Sel-sel Parenkim Otak sebesar 30%

#### Aspek klinis

Penyakit yang disebabkan oleh karena berlebihnya LCS disebut Hidrocefalus.

Hidrocefalus ada 2 tipe antara lain :

1. Hidrocefalus obstruktif  
Terjadi bila ada hambatan mekanik di aliran LCS di system ventrikel.
2. Hidrocefalus kommunikan  
Terjadi bila produksi LCS berlebihan dan bias karena penyerapan yang kurang

#### Vaskularisasi Otak

Otak mendapat darah dari system vascular yang disebut circulus Willisi yang terdiri dari :

1. Sirkulasi anterior (berasal dari arteri carotis interna)
  - a. Arteri cerebri media
  - b. Arteri cerebri anterior
2. Sirkulasi posterior (berasal dari arteri basilaris yang merupakan kelanjutan arteri basilaris) :
  - a. Arteri cerebri posterior
  - b. Arteri cerebellum
  - c. Arteri pons

#### Aspek Klinis

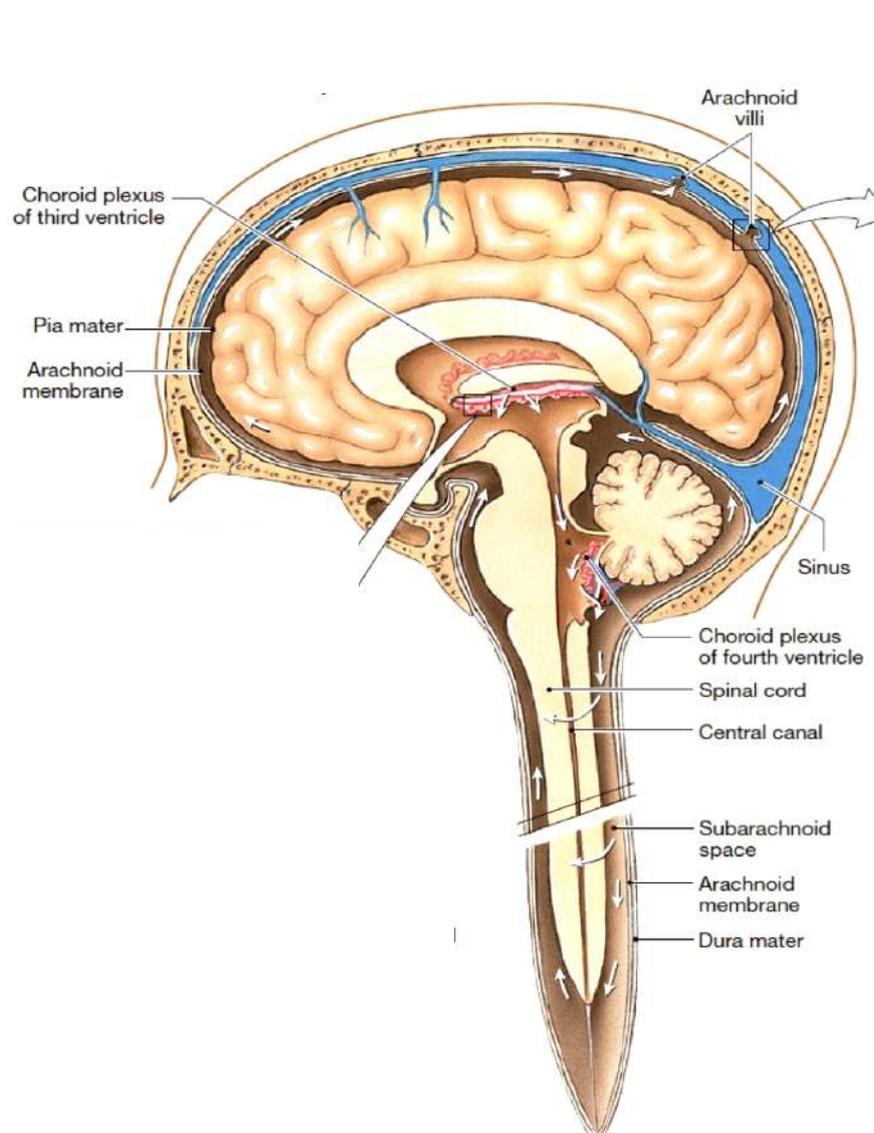
Kelainan vascular otak akan menimbulkan beberapa penyakit seperti stroke thrombosis, stroke intra cerebral hemorrhage (ICH), stroke emboli, aneurisma, arteri venous malformation (AVM).

Komponen terakhir yang melindungi SSP adalah cairan ekstraseluler yang berperan sebagai bantalan jaringan saraf yang lembut. Volume bagian dalam kranium adalah sebesar 1,4 L, yang sekitar 1 L-nya ditempati oleh sel-sel SSP. Volume sisanya terbagi menjadi dua kompartemen ekstraseluler: darah (100-150 ml), dan cairan *serebrospinal* serta cairan interstitial (250-300 ml). Cairan serebrospinal dan cairan interstitial bersama-sama membentuk lingkungan ekstraseluler bagi neuro-neuron. Cairan interstitial terletak di

dalam pia mater. Cairan serebrospinal ditemukan dalam ventrikel-ventrikel dan di ruang antara pia mater dan membran araknoid. Kompartemen cairan serebrospinal dan interstitial saling berkomunikasi melalui taut celah pia mater dan lapisan endim yang melapisi ventrikel.

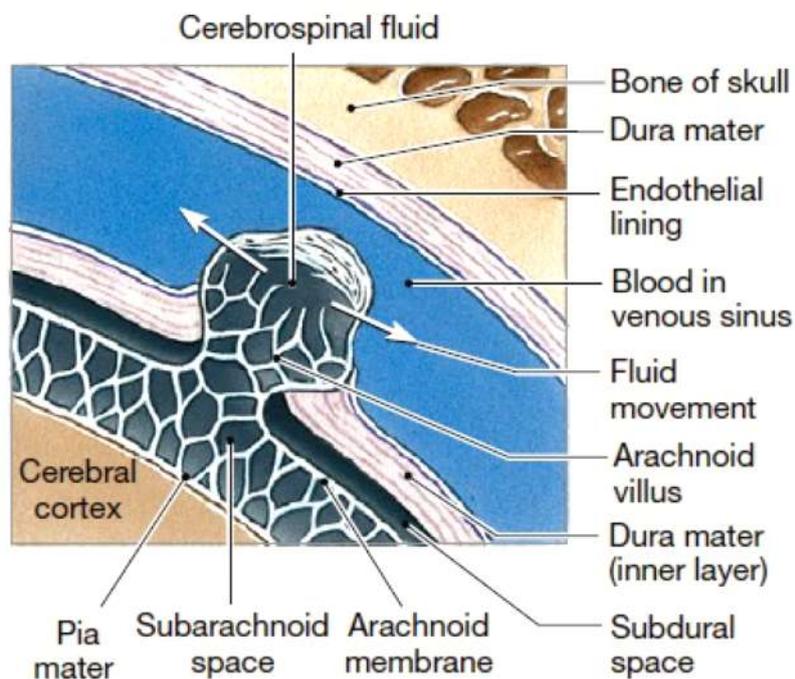
### Otak Terendam dalam Cairan Serebrospinal

Cairan serebrospinal (*cerebrospinal fluid*), atau CSF, adalah larutan bersifat asin yang disekresi secara terus menerus oleh **pleksus koroideus**, suatu regio khusus pada dinding ventrikel (lih. Gambar 1). Pleksus koroideus sangat mirip dengan jaringan ginjal dan terdiri dari kapiler-kapiler serta epitel mirip transpor yang berasal dari endim. Sel-sel pleksus koroideus memompa sodium dan zat terlarut lainnya dari plasma ke ventrikel sehingga menghasilkan gradien osmotik yang menarik air bersama-sama dengan zat terlarut.



Gambar 1. Sekresi Cairan Serebrospinal

Dari ventrikel, cairan serebrospinalis mengalir ke dalam **ruang subaraknoid** di antara pia mater dan membran araknoid, melingkupi seluruh otak dan korda spinalis (Lih. Gambar 1). Cairan serebrospinal tersebut mengalir di sekeliling jaringan saraf dan akhirnya diabsorpsi kembali ke darah oleh **villi** khusus (rambut tak teratur) pada membran araknoid di kranium (Lih. Gambar 2).



Gambar 2. Reabsorpsi Cairan Serebrospinal

Cairan serebrospinal mempunyai dua peran: perlindungan secara fisik dan perlindungan secara kimia. Otak dan korda spinalis terendam dalam lapisan tipis cairan diantara membran-membran. Ayunan cairan serebrospinalis mengurangi bobot otak sebesar hampir 30 kali. Bobot yang lebih ringan berarti juga mengurangi tekanan pada pembuluh darah dan saraf yang melekat pada SSP.

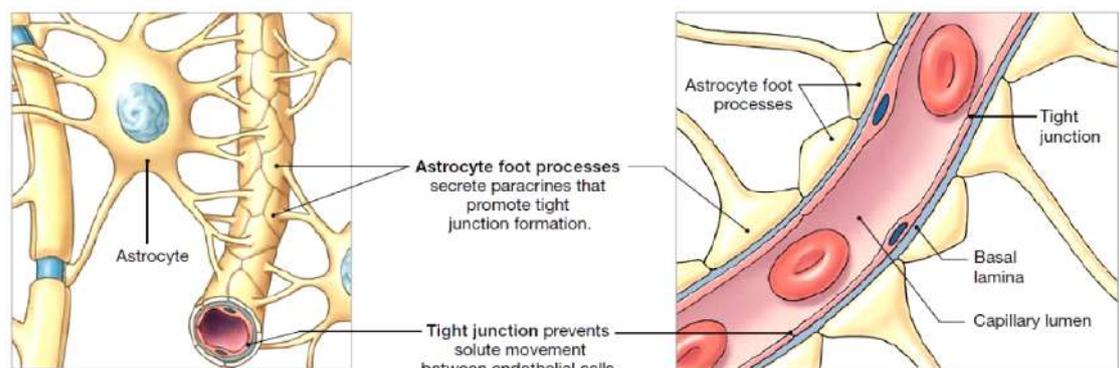
Cairan serebrospinal juga berperan sebagai abntalan protektif. Bila ada benturan kepala, CSF terkompresi sebelum otak dapat membentur bagian dalam kranium. Air sangat sedikit kemungkinannya terkompresi, oleh sebab itu CSF membantu membantali otak. Untuk demonstrasi dramatik mengenai kekuatan protektif cairan serebrospinal, kocoklah sepotong tahu (merekpresentasikan otak) dalam wadah kosong (tanpa air). Kemudian kocoklah potongan tahu yang lain dalam wadah yang penuh air untuk melihat peran cairan serebrospinal dalam mengamankan otak.

Selain sebagai perlindungan secara fisik terhadap jaeingan SSP yang lembut, cairan serebrospinal juga menghasilkan lingkungan ekstraseluler yang diatur secara ketat bagi neuron. Pleksus koroideus bersifat selektif dalam mentranspor zat ke ventrikel dan sebgai hasilnya, komposisi cairan serebrospinal berbeda dengan plasma. Konsentrasi K<sup>+</sup> lebih rendah di cairan serebrospinalis dan konsentrasi H<sup>+</sup> lebih tinggi daripada di dalam plasma. Konsentrasi Na<sup>+</sup> di CSF sama dengan di dalam darah. Secara normal cairan serebrospinal sangat sedikit mengandung protein dan tidak mengandung sel darah.

Cairan serebrospinal bertukar zat terlarut dengan cairan interstitial SSP dan merupakan jalur eliminasi cairan interstitial SSP dan merupakan jalur eliminasi membuang zat sampah. Secara klinis, sampel cairan serebrospinal diduga dapat menjadi indikator lingkungan kimiawi otak. Prosedur pengambilan sampel disebut pungsi lumbal, pada umumnya dilakukan dengan menyedot cairan dari ruang subaraknoid antarvertebra pada ujung akhir bawah korda spinalis. Adanya protein atau sel-sel darah di cairan serebrospinal dapat merupakan tanda adanya infeksi.

### Sawar Darah-Otak Melindungi Otak

Lapisan terakhir pelindung otak adalah sawar fungsional antara cairan interstitial dan darah. Sawar ini penting untuk mengisolasi pusat utama pengendali tubuh dari zat-zat berbahaya dalam darah dan materi patogen yang menyebar melalui darah seperti bakteri. Untuk menghasilkan perlindungan yang demikian, hampir seluruh dari 400 mil kapiler otak membentuk **sawar darah-otak** (Lih. Gambar 3). Walaupun bukan suatu sawar yang harafiah, selektivitas pada permeabilitas kapiler otak dapat melindungi otak dari toksin dan fluktuasi hormon, ion-ion, serta substansi neuroaktif seperti neurotransmitter dalam darah.



Gambar 3. Sawar Darah-Otak

Mengapa kapiler otak sangat tidak permeabel dibandingkan dengan kapiler lain? Pada kapiler lain, taut antar sel-sel yang bocor dan pori-pori memungkinkan pertukaran bebas berbagai zat terlarut antara plasma dan cairan interstitial. Pada kapiler otak, sel endotel membentuk taut erat antara satu dengan lainnya, taut yang mencegah perpindahan zat terlarut di antara sel-sel. Pembentukan taut erat tampaknya diinduksi oleh sinyal parakrin dari astrosit di sekitarnya yang tonjolan kakinya melingkupi kapiler. Jadi, jaringan saraf sendirilah yang membentuk sawar darah otak.

Permeabilitas selektif sawar darah otak merupakan bagian fungsinya dalam transpor zat. Endotel kapiler menggunakan karier dan kanal pada membran selnya untuk memindahkan nutrisi dan material lain yang berguna dari darah ke cairan interstitial otak. Transporter lain memindahkan zat sampah dari cairan interstitial otak ke plasma. Molekul larut air yang tidak ditranspor oleh salah satu dari karier-karier tersebut, tidak dapat menembus sawar darah-otak.

Salah satu ilustrasi yang menarik tentang cara kerja sawar darah otak adalah seperti terlihat pada *penyakit parkinson*, suatu gangguan neurologis

yang disebabkan oleh rendahnya neurotransmitter dopamin karena neuron dopaminergik rusak atau mati. Dopamin dalam bentuk pil/tablet atau suntikan tidak efektif karena dopamin tersebut tidak dapat menembus sawar darah otak. Namun, prekursor dopamin, *L-dopa*, dapat ditranspor menembus sel-sel sawar darah otak dengan menggunakan transporter asam amino. Pada saat neuron dapat mengakses *L-dopa* pada cairan interstitial, neuron tersebut akan memetabolismenya menjadi dopamin, dengan demikian defisiensi dapat diatasi.

Sawar darah otak secara efektif menahan banyak zat yang terlarut dalam air tetapi molekul kecil yang larut lemak dapat berdifusi melalui membran sel. Ini merupakan salah satu alasan mengapa beberapa antihistamin memimbulkan kantuk, sedangkan yang lain tidak. Antihistamin jenis lama merupakan amina yang larut-lemak yang dapat menembus sawar darah otak dan bekerja pada pusat-pusat otak yang mengendalikan kesiagaan. Obat-obat yang lebih baru sifat kelarutannya dalam lemak jauh lebih rendah sehingga sifat sedatifnya juga jauh lebih rendah.

Beberapa area di otak dan kapilernya mempunyai epitel yang bocor seperti kapiler pada umumnya. Pada area-area otak tersebut, fungsi neuron dalam beberapa hal bergantung pada kontak langsung dengan darah. Contohnya, hipotalamus melepaskan hormon neurosekretorik yang harus menembus kapiler *sistem portal hipotalamus-hipofisis* untuk didistribusikan ke hipofisis anterior.

Regio lain yang tidak mempunyai sawar darah otak adalah pusat muntah di medulla oblongata. Neuron-neuron di regio ini memonitor adanya zat asing yang toksik, misalnya obat-obatan. Bila neuron-neuron tersebut mendeteksi sesuatu yang berbahaya, mereka akan memulai refleks muntah. Muntah membuang isi saluran pencernaan dan membantu mengeleminasi racun yang tertelan.

### **Jaringan Saraf Membutuhkan Metabolisme Khusus**

Ciri khas sistem saraf pusat adalah adanya metabolisme yang khusus. Neuron membutuhkan pasokan oksigen dan glukosa secara konstan untuk pembentukan ATP yang diperlukan untuk transpor aktif ion-ion dan neurotransmitter. Oksigen secara bebas menembus sawar darah otak dan transporter pada membran sel memindahkan glukosa dari plasma ke cairan interstitial otak. Kadar zat-zat tersebut yang sangat rendah dapat membahayakan fungsi otak.

Karenanya kebutuhan oksigen yang tinggi, otak menerima sekitar 15% darah yang dipompa oleh jantung. Jika aliran darah ke otak terputus, terjadi kerusakan otak setelah hanya beberapa menit tanpa oksigen. Neuron juga sangat peka terhadap kekurangan glukosa. Dalam lingkungan normal, sumber satu-satunya energi bagi neuron adalah glukosa.

Diperkirakan, otak menggunakan sekitar separuh dari konsumsi glukosa tubuh. Oleh sebab itu, tubuh menggunakan beberapa jalur homeostasis untuk memastikan bahwa konsentrasi glukosa darah tetap adekuat sesuai dengan kebutuhan otak. Jika homeostasis gagal, **hipoglikemia** (kadar glukosa darah rendah) progresif dapat menimbulkan kebingungan, ketidaksadaran, dan akhirnya kematian.

## **Peredaran Darah Menuju Otak**

Otak menerima darah yang dipompakan dari jantung melalui **arkus aorta** yang mempunyai 3 cabang:

1. Arteri brakhiosefalik (arteri innominate)
2. Arteri karotis komunis kiri (interna)
3. Arteri subklavia kiri

Arteri brakhiosefalik dan arteri karotis komunis kiri dan arteri subklavia kiri berasal dari kanan arkus aorta. Arteri brakhiosefalik selanjutnya bercabang dalam arteri karotis komunis kanan dan arteri subklavia kanan. Arteri karotis komunis kiri dan kanan masing-masing bercabang menjadi arteri karotis interna dan eksterna (kiri dan kanan) dan arteri subklavia kiri dan kanan masing-masing mempunyai salah satu cabang vertebralis kiri dan kanan. Aliran darah menuju ke otak yang melalui arteri vertebralis beserta cabang-cabangnya disebut sistem vertebrobasiler, dan yang melalui arteri karotis interna beserta cabang-cabangnya disebut sistem karotis.

Sistem karotis terdiri dari tiga arteri mayor, yaitu:

1. Arteri karotis komunis
2. Karotis interna
3. Karotis eksterna

Sitem karotis memperdarahi:

1. Mata
2. Ganglia basalis
3. Sebagian besar hipotalamus
4. Lobus frontalis
5. Lobus parietalis
6. Sebagian besar temporal serebrum

Gangguan yang ditimbulkan dari insufisiensi arteri karotis interna:

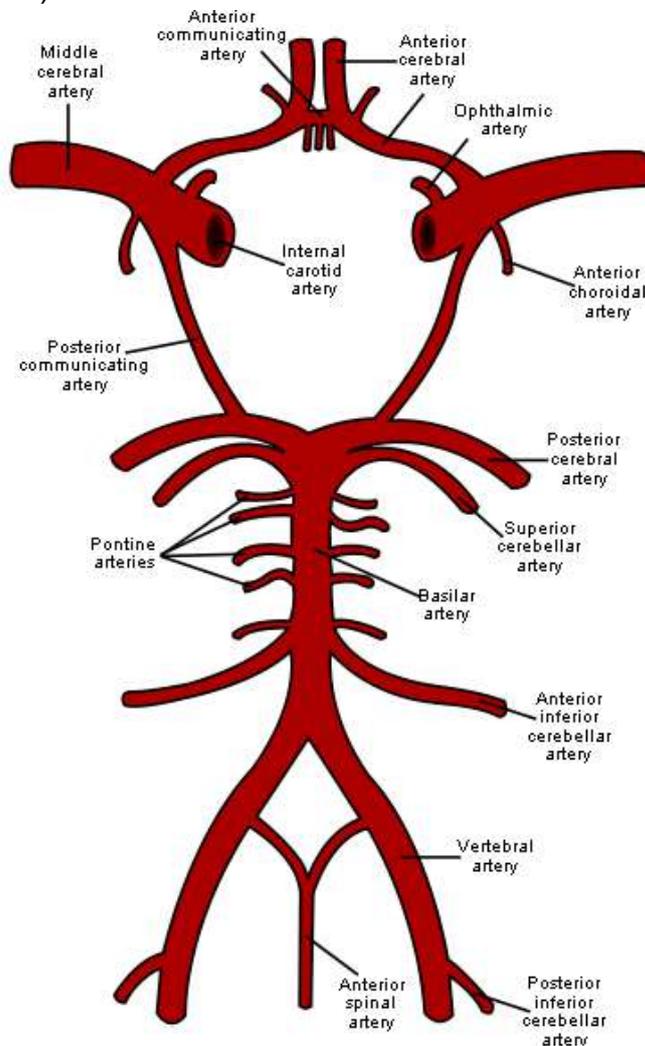
1. Hemiparalisis atau paresis sementara (utama wajah dan lengan)
2. Disestesia ringan (mati rasa/ kesemutan) pada ekstremitas kontralateral.
3. Gangguan bicara sementara (bila lesi hemisfer dominan)
4. Amaurosis fugax
5. Sakit kepala ipsilateral dalam area frontal agak sering ditemukan.

## **Pengukuran Aliran Darah Otak**

Menentukan aliran darah sesungguhnya ke suatu bagian tertentu dari otak. Adolfo Fick menyatakan bahwa jumlah substansi yang diserap oleh suatu organ tertentu berhubungan dengan perbedaan konsentrasi dari substansi tersebut dan aliran darah ( yang membawa substansi tersebut) antara arteri dan vena. Penggunaan Nitrous Oksida, suatu substansi yang tidak diserap maupun disekresi oleh otak, dan dengan menerapkan teori dari Fick, Kety dan Schmidt menerbitkan.

## Circulus Arteriosus Willisii

Circulus arteriosus willisi (circulus arteriosus cerebri) adalah sistem anastomotic arteri yang berada di dasar otak. "Circulus" dinamai oleh muridnya Richard Lower sesuai dengan nama gurunya, Thomas Willis. Circulus arteriosus willisi mengelilingi batang kelenjar hipofisis dan menyediakan komunikasi penting antara suplai darah dari otak depan dan otak belakang (yaitu, antara karotid internal dan vertebrobasilar sistem setelah penghapusan koneksi embrio primitif). Circulus arteriosus willisi terbentuk ketika arteri karotis interna (ICA) masuk rongga tengkorak bilateral dan membagi ke dalam arteri serebri anterior (ACA) dan arteri serebral tengah (MCA). Arteri serebri anterior kemudian disatukan oleh arteri anterior berkomunikasi (ACOM). Koneksi ini membentuk setengah bagian depan (sirkulasi anterior) dari circulus arteriosus willisi. Posterior, arteri basilar, yang dibentuk oleh arteri vertebralis kiri dan kanan, cabang ke kiri dan kanan arteri serebral posterior (PCA), membentuk sirkulasi posterior. Para PCAs menyelesaikan circulus arteriosus willisi dengan bergabung dalam sistem karotid internal anterior melalui berkomunikasi posterior (PCOM) arteri. (Lihat gambar di bawah.)



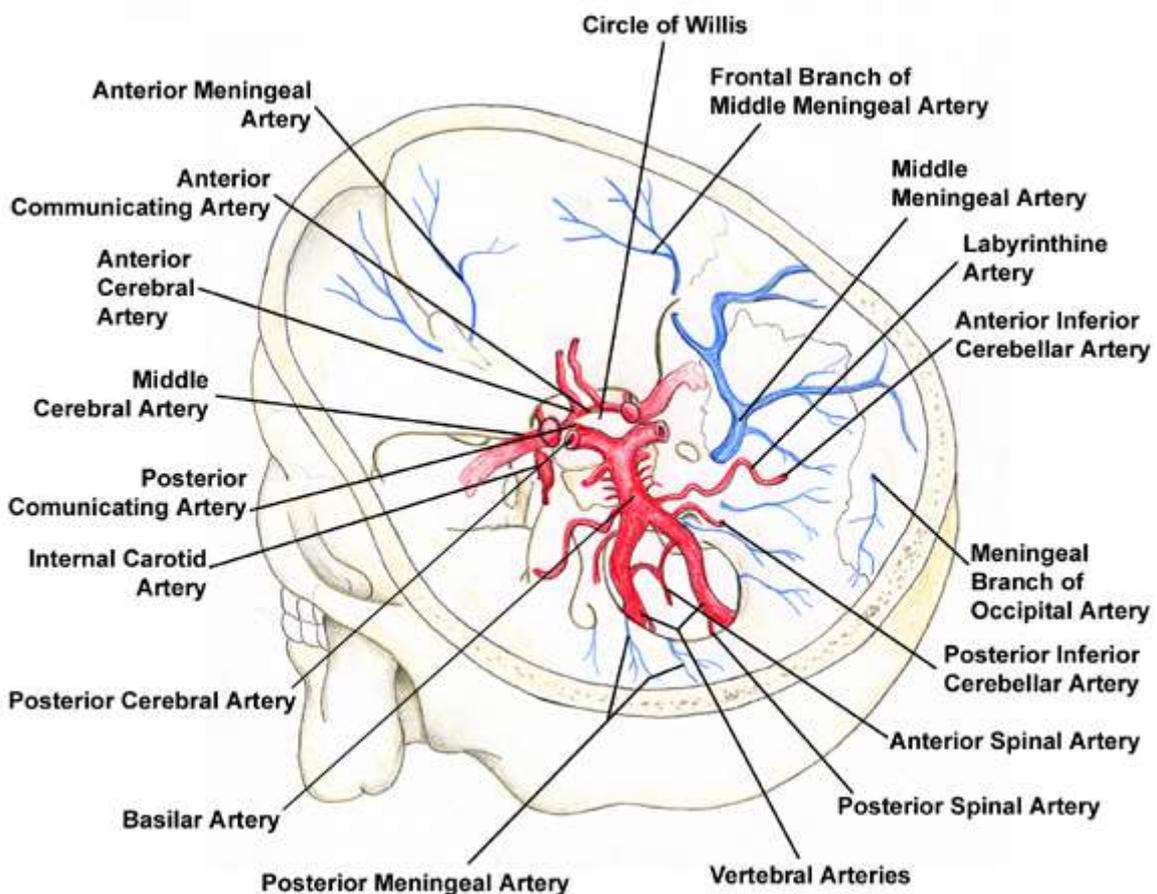
Gambar 6. Skema representasi dari Circulus arteriosus Willisii, arteri otak, dan batang otak

## Anatomi

### Arteri cerebral anterior

#### *A1 segmen dan arteri anterior berkomunikasi*

Segmen A1 dari arteri serebri anterior (ACA) memanjang dari arteri karotid internal (ICA) bifurkasi dalam arah medial dan superior persimpangan ACA dengan arteri anterior berkomunikasi (ACOM) dalam fisura longitudinal. Cabang termasuk arteri lenticulostriate medial (A1) yang memasok hipotalamus anterior, commissure anterior, forniks, striatum, kiasme optik, dan saraf optik . Cabang ACOM termasuk perforator yang memasok hipotalamus dan kiasme optik. (Lihat gambar di bawah.)



**Meningeal arteries, intracranial view.**

Skema gambar dari circulus arteriosus willisi seperti yang ditemukan di dasar tengkorak

#### *A2 segmen*

Bagian dari ACA memanjang dari arteri ACOM ke divisi ACA ke dalam arteri dan pericallosal callosomarginal, pada genu dari corpus callosum. Cabang termasuk perforator pada lobus frontal, serta arteri berulang Heubner, yang merupakan pembuluh darah lenticulostriate. Pembuluh darah ini yang terakhir memasok inti berekor, kapsul internal, dan putamen. Cabang lain dari A2 termasuk arteri orbitofrontal dan frontopolar.

#### *A3 segmen*

Segmen ini mencakup semua cabang ACA distal dengan asal arteri pericallosal dan callosomarginal, tapi subdivisi lainnya telah digunakan. Anastomoses Banyak terjadi dengan cabang-cabang distal dari arteri serebral tengah (MCA) dan arteri serebral posterior (PCA). A. pericallosal perjalanan posterior lebih corpus callosum dan anastomoses dengan arteri splenial. Kursus arteri callosomarginal lebih cingulate gyrus. Sebuah arteri paracentral muncul dari arteri pericallosal atau callosomarginal dan memasok lobulus paracentral. Segmen A3 berakhir dengan menyediakan arteri parietal untuk corpus callosum dan precuneus.

### **Arteri cerebral tengah**

Kebanyakan skema klasifikasi membagi AMK menjadi 4 segmen, termasuk M1 (dari ICA ke bifurkasi [atau trifurcation]), M2 (dari bifurkasi AMK dalam sulkus melingkar dari insula), M3 (dari sulkus melingkar pada aspek dangkal dari fisura Sylvian), dan M4, yang terdiri dari cabang kortikal.

#### *M1 segmen*

Kebanyakan penelitian anatomi menentukan segmen M1 sebagai berakhir dimana cabang MCA berbelok miring kanan dalam celah Sylvian, namun titik pembagian batang MCA dianggap oleh kebanyakan dokter menjadi persimpangan M1/M2. The MCA paling sering bifurkasio tetapi juga dapat bercabang tiga atau quadfurcate. Cabang termasuk arteri lenticulostriate, yang memasok commissure anterior, kapsul internal, berekor inti, putamen dan globus pallidus, dan arteri temporalis anterior, yang memasok lobus temporal anterior.

#### *M2 segmen*

Segmen M2 memanjang dari titik divisi utama dari segmen M1, selama insula dalam fisura Sylvian, dan berakhir pada margin insula.

#### *M3 segmen*

Segmen M3 dimulai pada sulkus melingkar dari insula dan berakhir di permukaan retakan Sylvian. Bagian ini dikirimkan melalui permukaan opercula frontal dan temporal untuk mencapai permukaan eksternal dari celah Sylvian. Segmen M3 dan M2 menimbulkan berasal arteri dari mana cabang kortikal berasal.

#### *M4 segmen*

Segmen M4 dimulai pada permukaan celah Sylvian dan meluas di atas permukaan belahan otak. Cabang kortikal, yang memasok parietal, frontal, temporal, dan lobus oksipital, meliputi berikut ini:

- Orbitofrontal
- Prefrontal
- Precentral
- Pusat
- Anterior dan posterior parietal
- Kurus
- Temporo-oksipital
- Sementara
- Temporopolar cabang

Cabang-cabang MCA yang membentuk apa yang disebut "lilin" adalah arteri prefrontal, precentral, dan pusat.

#### **Arteri serebral posterior**

Sebuah subdivisi umum digunakan untuk kapal ini termasuk membaginya menjadi segmen P1 dari bifurkasi arteri basilar untuk persimpangan dengan arteri berkomunikasi posterior (PCOM), segmen P2 dari arteri PCOM pada aspek posterior otak tengah, segmen P3 dari aspek posterior otak tengah ke celah calcarine, dan segmen P4 yang menggambarkan cabang terminal dari PCA distal pada aspek anterior dari celah calcarine.

#### *P1 segmen posterior dan arteri berkomunikasi*

Segmen P1 memasok cabang perforantes ke batang otak. Ini disebut thalamoperforators posterior untuk membedakan mereka dari thalamoperforators anterior, yang timbul dari arteri PCOM. Perforator langsung memasok thalamus, batang otak, dan kapsul internal. Arteri sirkumfleksa pendek dan jangka panjang pasokan thalamus dan otak tengah. Sebuah cabang meningeal dapat menyediakan permukaan inferior cerebelli tentorium.

#### *P2 segmen*

Segmen P2 dimulai di persimpangan arteri PCOM dan perjalanan di seluruh aspek lateral otak tengah. Perforator langsung memasok thalamus, kapsul internal, dan saluran optik. Cabang termasuk arteri Choroidal posteromedial, yang memasok otak tengah, kelenjar pineal, thalamus, dan tubuh geniculate medial, dan arteri Choroidal posterolateral, yang memasok koroid pleksus, thalamus, tubuh geniculate, forniks, gagang bunga otak, tubuh pineal, corpus callosum, tegmentum, dan korteks oksipital temporal. Sebuah arteri hippocampal mungkin ada.

Arteri temporalis rendah membentuk anastomosis dengan cabang temporalis anterior dari AMK. Arteri parieto-oksipital muncul sebagai batang tunggal dari segmen P2 lebih umum daripada dari segmen P3. Arteri ini memasok wilayah parasagittal posterior, cuneus, precuneus, dan gyrus oksipital lateral.

#### *P3 segmen*

Segmen P3 memanjang dari tectum untuk aspek anterior dari celah calcarine. PCA sering membagi menjadi 2 cabang terminal, arteri calcarine dan arteri parieto-oksipital tersebut.

#### *P4 segmen*

Segmen P4 dimulai pada batas anterior dari celah calcarine dan sering termasuk salah satu dari 2 cabang terminal utama PCA, arteri calcarine. Cabang terminal lain utama dari PCA, arteri parieto-oksipital, sering muncul dari segmen P2 atau P3. Arteri splenial muncul dari arteri parieto-oksipital di sebagian besar individu dan biasanya anastomoses dengan arteri pericallosal.

### **Basilar artery**

Arteri basilar berasal di persimpangan antara arteri vertebralis kiri dan kanan dan perjalanan anterior ke batang otak. Cabang termasuk arteri cerebellar unggul (SCA) dan arteri cerebellar anterior inferior (AICA). Para SCA muncul dari arteri basilar segera sebelum bifurkasi basilar. SCA sering datang ke dalam kontak dengan saraf trigeminal dan biasanya target dekompresi mikrovaskuler bedah untuk neuralgia trigeminal .

Arteri mengirim cabang ke tectum, vermis, dan aspek medial belahan cerebellum. Para AICA melaju menuju sudut cerebellopontine. Arteri cerebellar posterior inferior (PICA) adalah yang terbesar dari arteri cerebellar dan muncul dari arteri vertebralis. Ini memasok, amandel medula cerebellar dan vermis, dan belahan cerebellum inferolateral.

## **Alam Varian**

### **Anterior sirkulasi**

Arteri serebri anterior dapat bersatu dalam batang tunggal, yang berjalan di celah membujur, memberikan cabang ke kedua belahan otak. Segmen A1 kiri dan kanan asimetris dalam ukuran di sebagian besar individu dan mungkin tidak ada atau fenestrated. Jarang, segmen ini mungkin perjalanan kalah dengan atau melalui saraf optik. Arteri serebral anterior aksesori (ACA) mungkin ada, dan segmen A1 mungkin timbul dari gua atau kontralateral dalam arteri karotid (ICA).

Para ACAS kanan dan kiri dapat berjalan sebagai 1 kapal (azigos), untuk membagi distal, atau mungkin cabang dari arteri kontralateral. Variasi lain dari arteri anterior berkomunikasi (ACOM) meliputi aplasia, fenestration, dan duplikasi. Kapal ini dapat melengkung, tertekuk, atau berbelit-belit. Arteri ini jarang ada.

Satu segmen A2 mungkin hipoplasia, dengan demikian, A2 kontralateral memasok kedua belahan otak. A2 dapat diduplikasi. Dalam ACA azigos, kedua segmen A1 bergabung untuk membentuk segmen A2 tunggal. Cabang ke belahan kontralateral dapat ditemukan.

### **Posterior sirkulasi**

Ketika posterior janin berkomunikasi (PCOM) arteri hadir, P1 ipsilateral biasanya hipoplasia. Variasi dari segmen P1 termasuk duplikasi, fenestration, dan asal bersama bilateral dari arteri serebral posterior (PCA) dan arteri cerebellar unggul (SCA). Sebuah cabang perforantes menonjol dapat menyuplai bagian thalamus ipsilateral dan kontralateral dan, berpotensi, otak tengah. Kursus serebral posterior mungkin di bawah, bukan di atas, saraf oculomotor, atau mungkin tidak ada dan digantikan oleh sebuah kapal kontralateral aksesori. Para serebral posterior dapat menimbulkan ACA. PCA mungkin timbul dari karotid internal.

Arteri PCOM mungkin tidak ada, atau cabang mewakili mungkin gagal untuk bergabung dengan serebral posterior. Fenestration dari arteri basilar ditemukan dalam kurang dari 1% kasus. Arteri basilar mungkin ada sebagai 2 batang memanjang bersatu di garis tengah. SCA dapat diduplikasi atau tidak ada. Arteri internal auditory seringnya adalah cabang dari arteri cerebellar anterior inferior (AICA), tetapi mungkin timbul dari SCA (dalam hingga 25% kasus) atau arteri basilar (dalam waktu kurang dari 20% kasus).

### **Pathophysiologic**

Asimetri dari circulus arteriosus willisi hasil secara signifikan asimetri aliran dan merupakan faktor penting dalam pengembangan intrakranial aneurisma dan stroke iskemik . Pasien dengan aneurisma yang lebih mungkin telah asimetri atau anomali lingkaran, dan adanya jalur jaminan nonfunctional anterior dalam circulus arteriosus willisi pada pasien dengan arteri karotid internal (ICA) penyakit oklusi sangat terkait dengan stroke iskemik.

Jarang, kegigihan anastomoses janin yang melibatkan circulus arteriosus willisi ditemukan, termasuk trigeminal gigih, otic, hypoglossal, dan arteri proatlantal. Pembuluh nadi kurang lebih menyatukan sistem karotis dan vertebrobasilar internal.

Daftar Pustaka:

1. Silverthorn De Unglaub, Human Physiology. 7<sup>th</sup> ed. 2016.
2. Tubbs RS. Circle of willis anatomy. 2011.