

DEPARTAMENTO DE ANATOMIA DA FACULDADE DE MEDICINA
DA UNIVERSIDADE DE S. PAULO (Prof. R. Locchi)
SECCÃO DE NEURANATOMIA

SÔBRE A CIRCULAÇÃO CEREBRAL (Preleção)

Dr. ORLANDO AIDAR
Assistente

O encéfalo é dos órgãos diferenciados por excelência. Para a normalidade de suas funções é indispensável que sua irrigação sanguínea seja abundante, ininterrupta e estável. Esses requisitos são de necessidade vital, não sendo de se admirar portanto que sejam salvaguardados por todos os meios de que dispõe o organismo.

Para se ter uma idéia da relativa quantidade de O_2 fornecida aos treze e meio bilhões aproximados de células nervosas do cérebro, basta lembrar que elas constituem apenas cerca de 1% do peso do órgão, o qual por sua vez representa perto de 2% do peso total do corpo humano; no entanto, demonstrou-se, em cães, que esse órgão consome cerca de 10% de todo o O_2 utilizado pelo organismo.

Sabe-se também que o sangue de retôrno da v. jugular interna tem cerca de 60% de saturação residual de oxigênio, em indivíduos acordados e atentos; quando porém, por qualquer motivo, esse grau de oxigenação cae para 25% o indivíduo desfalece.

Doutro lado, segundo Weil e colaboradores, o sangue representa 8% do volume do encéfalo.

Esses dados sugerem bem a importância da questão que nos ocupa no momento.

A regulação da circulação cerebral é permitida e garantida por disposições anatômicas especiais e por mecanismos fisiológicos particulares. Entre as primeiras estão a (1) proteção oferecida pela caixa craniana, (2) sinuosidades, angulações e ramificações das grandes artérias, (3) os diversos sistemas anastomóticos das aa. cerebrais, não só de umas com as outras mas também com as aa. da dura-máter e com

as extra-cranianas, (4) além de algumas importantes características estruturais desses vasos. Os mecanismos fisiológicos reguladores da circulação cerebral são, dum lado, a pressão arterial sistêmica (por sua vez com seus próprios reflexos reguladores) e, doutro, os mecanismos intrínsecos do cérebro, controladores do calibre de seus vasos arteriais, independentemente da pressão sistêmica.

Lembraremos aqui, rapidamente, apenas alguns desses fatores de regulação, começando com as comunicações anastomóticas.

O encéfalo é irrigado pelos sistemas das aa. carótidas internas e vertebrais, que confluem ao nível do círculo de Willis.

Por sua vez, êsses sistemas comunicam-se com os seus vizinhos, como acontece, por ex., com os das carótidas interna e externa. De fato, os territórios destes dois sistemas superpõem-se parcialmente, pois como se sabe, a circulação da região craniana depende do sistema carótida externa, desde a superfície até o nível da dura-máter; e, nesses territórios, distribuem-se também vasos do sistema da carótida interna, como a a. meníngea anterior, a supra-orbitária e a frontal, ramos da a. oftálmica.

Em casos especiais, outros grupos anastomóticos podem entrar em jogo, procurando restabelecer uma circulação interrompida. Por exemplo, após a ligadura de uma carótida comum, o sangue pôde continuar circulando pela carótida interna do mesmo lado, vindo do sistema da subclávia, depois de correr retrôgradamente pelo da carótida externa, também do mesmo lado.

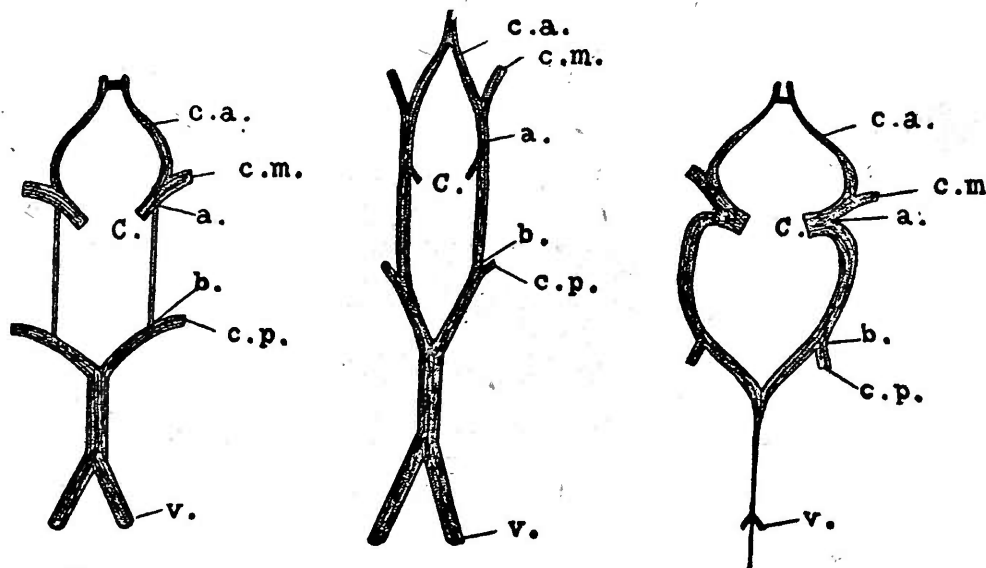


Fig. 1 — Tipos extremos de círculo de Willis. a. b., comunicante posterior; C., carótida interna; c. a., cerebral anterior; c. m., cerebral média; c. p., cerebral posterior; v., vertebral. (Wolff, 1938; mod. de Tandler, 1898).

O círculo de Willis resulta da confluência de dois sistemas arteriais, cujos graus de participação oscilam na série animal (Fig. 1). De fato, em alguns as aa. vertebrais são muito calibrosas, em detrimento das carótidas internas, ao passo que, em outros, as últimas predominam amplamente. No homem, os dois sistemas são bem calibrosos e anastomosam-se pelas aa. comunicantes posteriores. Esses três tipos fundamentais apresentam porém toda sorte de combinações, do que resultam as inúmeras variações do grau de participação de cada um dos elementos daqueles sistemas e, conseqüentemente, da forma do círculo de Willis.

O cérebro difere de muitos outros órgãos já pelo fato de ser envolvido por seus vasos, que o penetram por toda a superfície, ao invés de o fazerem por um hilo. Das artérias do círculo de Willis saem ramos, direta ou indiretamente, para os gânglios da base e plexos corioides; mas a grande maioria dos ramos das seis artérias cerebrais espalha-se na periferia do córtex, constituindo uma vasta rede pial de ramos gradativamente menores.

Essa rede pial emite ramos perpendiculares, centrípetos, que se aprofundam na substância nervosa, se ramificam e anastomosam, e se resolvem em redes capilares. Estas por sua vez se unem para formar uma única e vasta rede contínua em toda a extensão do órgão, compreendendo ambos os lados. Uma hemácia com meios próprios de locomoção poderia transportar-se perfeitamente de pólo a pólo de um hemisfério, e de um lado para o outro. Segundo Pfeifer, algumas dessas artérias servem mais especialmente o córtex ou a substância branca, porém, nenhum vaso serve exclusivamente essa ou aquela substância.

Alexander e Putnam classificam os vasos cerebrais em 7 categorias, de acordo com suas ramificações e calibres (Fig. 2). Os capilares formam a 1.^a ordem, os pré-capilares a 2.^a, os ramos intracerebrais médios a 3.^a e os grandes a 4.^a; e, na periferia, os vasos menores da rede pial pertencem à 5.^a ordem, os grandes ramos extracerebrais à 6.^a e, finalmente, os grandes troncos que entram e saem da cavidade craniana, à 7.^a categoria. Essa classificação se aplica não só às artérias como também às veias.

De modo geral, pode-se dizer que as anastomoses são comuns entre as artérias de 2.^a bem como entre as de 5.^a ordem, e menos frequentes entre artérias dos outros calibres. Como já dissemos, os capilares formam uma rede comum, apesar de cada grande núcleo nervoso apresentar uma rede capilar mais ou menos distinta, relativamente pouco ligada com a rede circundante.

Fay injetou mercúrio em cérebros humanos e verificou que a injeção nunca se limita ao campo de distribuição de uma única arté-

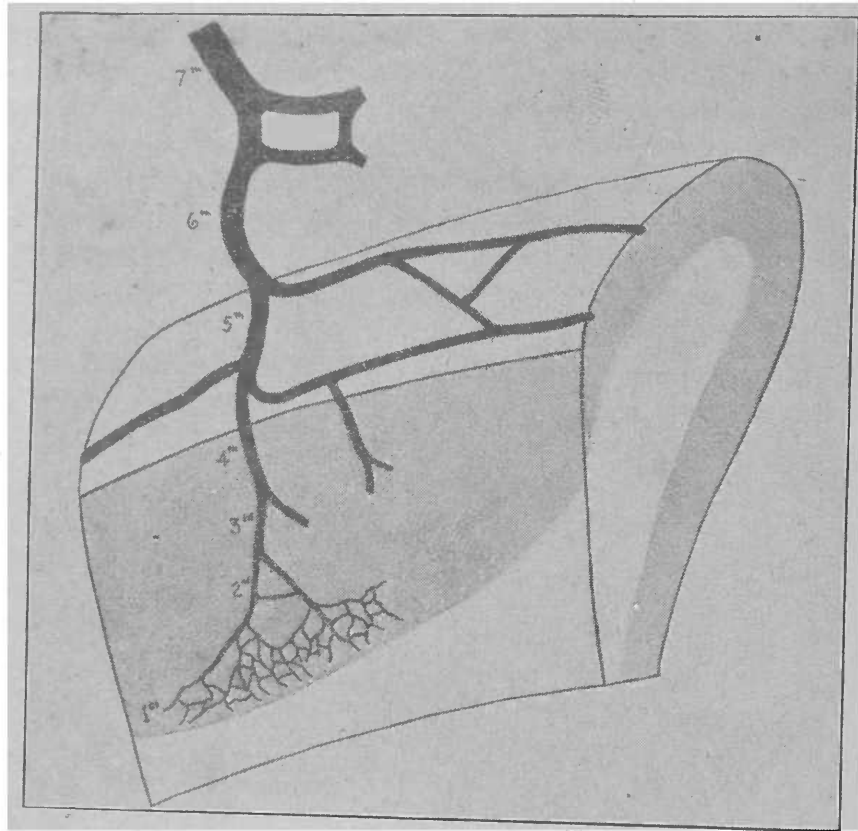


Fig. 2 — Classificação dos vasos cerebrais segundo seus calibres relativos. Estão também representados os níveis de anastomoses arteriais mais frequentes, i. e., entre vasos da 2.ª ordem, pré-capilares, e 5.ª ordem, da rede pial. (Alexander e Putnam, 1938; mod. de Wislocki.)

ria, contanto que se exerça pressão durante um tempo suficiente para que todos os pequenos vasos se abram. O mercúrio injetado numa artéria passa então para todos os grandes troncos cerebrais. Como outros, também êsse A. descreveu, além de finas anastomoses, diversas outras de calibres apreciáveis entre as aa. cerebrais anteriores, médias e posteriores, mas não as encontrou entre as aa. dos núcleos da base. Em 1935, porém, estudando as aa. estriadas anteriores, o Prof. Locchi demonstrou, entre outros fatos, a existência de anastomoses periféricas das aa. estriadas anteriores entre si, com as aa. estriadas médias, e com as aa. corticais vizinhas; de tôdas essas uniões resulta uma rede pial ao nível da substância perfurada anterior, comparável ao resto da rede pial do cérebro, e a ela unida, mostrando que o "Rindebezirk" e o "Basalbezirk" de Heubner são na realidade partes de uma rede única.

Cohnheim inferiu que as aa. do cérebro são terminais pelo fato da ligadura de uma a. cerebral resultar em isquemia da região correspondente. Mas Pfeifer lembrou muito bem que a ocorrência de isquemia e infartos não prova a existência de artérias terminais, pois, apesar da franca intercomunicação ao nível do círculo de Willis, no homem a ligadura de uma carótida pôde resultar em uma grave isquemia do lado correspondente, como acontece em 20-30% dos casos, com tonturas, desfalecimento, vômitos, suor frio, zumbidos nos ouvidos, cefaléia homolateral, afasia e, às vezes, hemiplegia e morte. Watts ligou o tronco ou ramos da a. cerebral anterior de macacos normais e, à autópsia, não encontrou evidências acentuadas de falta de nutrição no território correspondente. Além disso, a injeção de um corante na carótida de um gato resulta em sua distribuição mais densa no mesmo lado do cérebro, e muito pequena nos órgãos das fossas posteriores. Aliás, normalmente, as aa. cerebrais anteriores e médias recebem sangue principalmente das carótidas, sendo as cerebrais posteriores alimentadas pelas vertebrais. Em outras palavras, anastomoses francas como as do círculo de Willis não implicam em igual distribuição do sangue para tôdas as regiões do órgão.

Campbell fez uma revisão do assunto e apresentou os resultados de suas pesquisas perante a "Association for Research in nervous and mental Disease", em 1938. Esse A. comprovou a existência de anastomoses entre as grandes artérias da periferia do órgão, mas especialmente entre as da rede pial. Poucas artérias penetrantes se unem por anastomoses antes de atingirem a categoria de pré-capilares. Nos gânglios da base e na substância branca existem anastomoses entre arteríolas, porém em menor número do que no córtex; mas, para Campbell, essas anastomoses existentes nos núcleos da base não parecem ser suficientes para uma rápida compensação de uma circulação interrompida.

Cobb é de opinião que no cérebro as anastomoses só são suficientes até um certo ponto, depois do qual elas não mais conseguem evitar uma lesão. Naturalmente, entram aí em jogo os fatores físico-mecânicos e biológicos que regem a circulação colateral em todo o organismo, cuja análise exorbitaria no momento e por isso deixamos de lado.

As veias intracerebrais têm mais ou menos o mesmo tipo de distribuição das artérias, mas são mais ricas em anastomoses. Da confluência dos vasos venosos das primeiras categorias resultam veias gradativamente maiores que se colocam em dois grupos; as do grupo profundo drenam pela grande veia cerebral de Galeno, e as do superficial emanam pela periferia do órgão. Ambos desaguam em seios venosos que, de modo geral, convergem para as vv. jugulares internas, na base do crânio.

Em relação à estrutura, os vasos cerebrais diferem muito pouco dos outros, mas de modo significativo para a função.

As paredes das veias são muito finas em relação ao calibre desses vasos; são constituídas principalmente por tecido conectivo, sendo muito pobres em fibras musculares.

A mais significativa particularidade estrutural das artérias cerebrais é a distribuição do tecido elástico, que também parece ser mais abundante do que nas artérias de outras regiões. Nas aa. intracranianas, quase todo o tecido elástico se condensa na membrana elástica interna, que é por isso muito espessa. As poucas fibras elásticas da camada média têm apenas disposição circular; não existe uma membrana elástica externa; e, a adventícia, muito reduzida, é desprovida daquelas fibras.

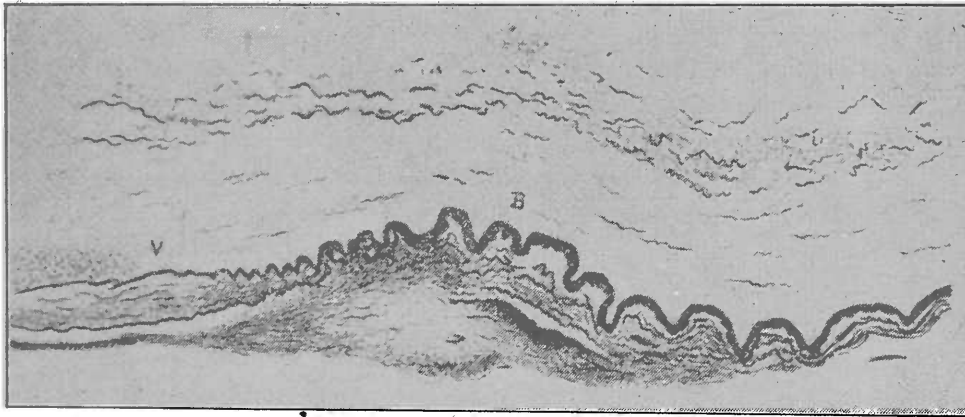


Fig. 3 — Diferença de disposição do tecido elástico em artérias dos tipos extra (aa. vertebrais, V) e intracraniano (a. basial, B). (Triepel, 1897.)

Essa diferença na distribuição do tecido elástico é muito evidente quando se comparam segmentos intra e extracranianos de artérias que penetram nessa caixa óssea (Fig. 3). As artérias dessa cavidade parecem ter uma construção apropriada para resistir apenas a pressões exteriores. Doutro lado, aquela construção parece adequada à proteção do tecido nervoso contra os constantes e excessivos choques das ondas sanguíneas. Comparado à musculatura lisa, o tecido elástico é relativamente rígido, tanto mais quando disposto em uma só camada.

Graças à arquitetura das artérias cerebrais, o choque da onda sanguínea só atinge os elementos nervosos depois de passar por três camadas de graus muito diversos de rigidez: elástica interna, média e tecido ou espaço perivascular. O amortecimento do choque da onda sanguínea é, assim, muito mais eficiente do que em outras artérias,

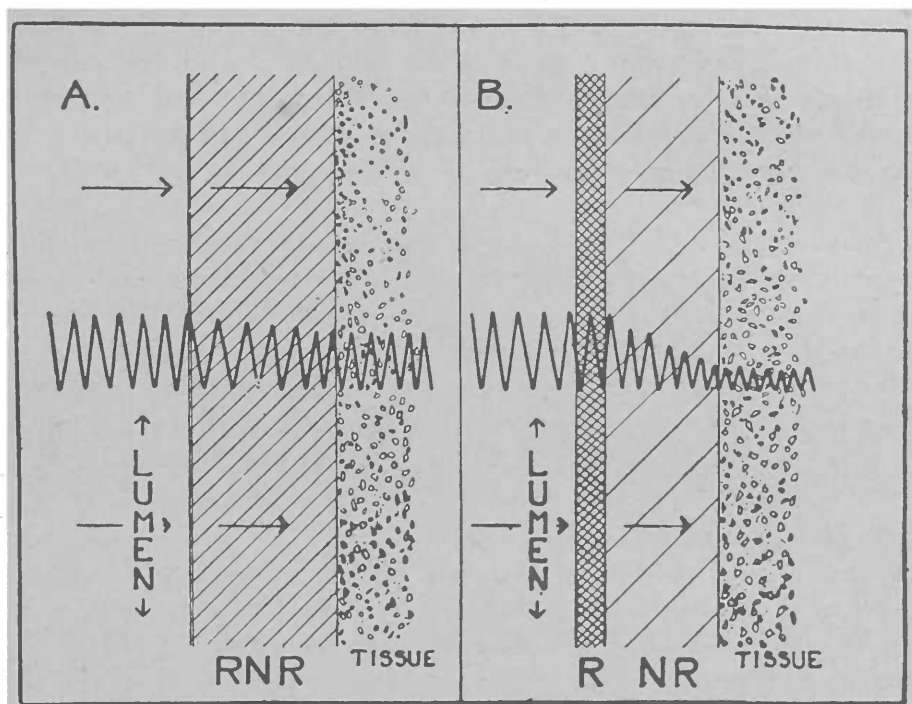


Fig. 4 — Amortecimento de pulsações sistólicas em artérias dos tipos extra (A) e intracraniano (B). R, material rígido, e NR, material relativamente não rígido, estão perfeitamente separados em B, e homogêneamente distribuídos (RNR) em A. (Wolff, 1938).

onde o tecido elástico é mais uniformemente distribuído (Fig. 4). Ao contrário do que se passa com estas últimas, no que se refere a pulsações, há uma surpreendente constância de calibre dos vasos da pia, demonstrada por Forbes e confirmada por Clark e Wenstler, que os inspecionaram durante dias e semanas através de janelas de celulóide colocadas no crânio de coelhos. Aquela estabilidade de diâmetro era mantida mesmo após moderadas variações da temperatura ambiente, e durante reações do animal denotando medo ou ira. Fotografias com exposição de 2 minutos e ampliadas 200 vezes mostraram perfeita nitidez dos contornos vasculares. Contudo, ao nível dos acotovelamento, as artérias maiores parecem pulsar com cada sístole cardíaca, diminuindo e aumentando a angulação; as pequenas artérias periféricas movem-se menos, e as menores são imóveis.

Além de reduzir os choques, essa relativa rigidez dos tubos arteriais concorre para melhor assegurar, nos capilares, uma corrente sanguínea de grande velocidade e alta pressão, importantíssimas no caso do cérebro.

Com o correr dos anos as fibras elásticas não mais se renovam suficientemente para substituir as que se vão destruindo. Tecido co-

nectivo colágeno passa então a preencher as lacunas, de modo que, com o tempo, começam a aparecer na camada elástica interna septos conjuntivos de substituição. Esse processo progride das artérias maiores para as menores e pode acarretar múltiplas manifestações, como de hábito acontece em indivíduos de idade avançada.

A vascularização das diversas porções do cérebro tem sido estudada morfológica e fisiologicamente, tendo-se determinado assim a riqueza vascular das diferentes regiões, núcleos, etc. Determinou-se, por exemplo, que 1 mm³ de substância branca tem, em capilares, cêrca de 200-300 mm de comprimento, enquanto que o córtex tem de 600 a 1000 mm. Além disso, como os capilares da substância branca são de maior calibre, o sangue é menos exposto ao contacto com suas paredes e, portanto, às trocas metabólicas com o tecido irrigado.

A densidade capilar das diversas regiões é diretamente relacionada com a superfície total de suas células e dendritos, do que se deduz que o consumo de oxigênio é tanto mais intenso quanto maior fôr aquela área e, conseqüentemente, quanto mais numerosas as sinapses aí existentes.

Essas determinações morfológicas foram confirmadas por medidas termo-elétricas, principalmente por Lennox, Gibbs e colaboradores, e por Gerard.

Este último A. encontrou também alterações locais da temperatura de diversos centros corticais (visual, olfactório e sômato-sensitivo) após estímulos fisiológicos dos receptores correspondentes (da retina pela luz, da mucosa olfativa por vapores de amônia, e das terminações tácteis por atritos), alterações essas que indicam aumento do fluxo sanguíneo e, também, permeabilidade de maior número de capilares. Essas experiências também mostraram, portanto, que o cérebro possui um certo número de capilares em repouso, ainda que em muito menor proporção que os outros órgãos.

O organismo humano dispõe de dois conjuntos integradores que gozam de quase absoluta ubiqüidade. De fato, as fibras nervosas e o sangue alcançou praticamente tôdas as partes vivas do corpo. Ambos têm relações recíprocas da maior importância, e controlam-se mutuamente.

Os contrôles extracerebrais da circulação do encéfalo foram cuidadosamente estudados por Heymans e colaboradores. Além desses, existem os mecanismos locais, intrínsecos do cérebro. De todos êsses mecanismos reguladores depende a nutrição do cérebro, cuja atividade é continuamente quase máxima. Ele deve ser servido, mesmo às expensas dos outros órgãos.

O controle extracerebral se faz por intermédio de reflexos que se iniciam nos receptores do seio carotídeo, do arco aórtico, do coração, da a. pulmonar, de aa. viscerais, etc., e atingem os centros bulbares vasomotores, cardíaco e respiratórios, dos quais partem impulsos centrífugos para o miocárdio, artérias, músculos respiratórios, cápsulas supra-renais e baço. Mas êsses impulsos centrífugos também podem ser desencadeados pela ação direta do CO₂ e oxigênio do sangue sobre aquêles centros. Êste é, aliás, o mais importante mecanismo regulador da pressão sistêmica.

Os mecanismos intrínsecos manifestam-se pelo controle do calibre dos vasos arteriais de tôdas as grandezas. As alterações de calibre dêsses vasos cerebrais podem ser passivas ou ativas. Serão passivas, evidentemente, quando as variações da pressão sistêmica forem bastante acentuadas para predominar sobre as ativas.

As alterações ativas do calibre dos vasos arteriais do encéfalo podem ser causadas por:

- (1) variações químicas do sangue arterial, especialmente do CO₂,
- (2) retardamento do fluxo sanguíneo, causando asfixia dos tecidos,
- (3) maior atividade cerebral localizada, exigindo maior fluxo de sangue, e provávelmente devidas ao acúmulo de CO₂,
- (4) atividade de fibras simpáticas, causando vasoconstricção,
- (5) impulsos parassimpáticos, causando vasodilatação,
- (6) trauma direto das paredes vasculares.

Dêsses fatores intrínsecos de regulação, os mais importantes são os químicos, especialmente o CO₂ que, no cérebro, é um poderoso vasodilatador.

A inervação simpática tem aí um papel muito modesto; sua ação sobre vasos da pia-máter é 10 vezes menor do que em outros territórios do organismo, além de ser sua distribuição no cérebro muito irregular. Existem evidências, porém, de casos de hiperfunção dêsses neurônios, ocasionando espasmos arteriais no cérebro, comparáveis aos da moléstia de Raynaud. Por exemplo, foi estabelecido pela angiografia cerebral — e aqui devemos lembrar o nome de Egas Moniz, o ilustre pioneiro dêste método de estudo — que o tempo de circulação no órgão é de 3 a 4 segundos; mas, em alguns casos anormais pode passar a 8 e 9 segundos.

As fibras parassimpáticas são muito escassas no encéfalo, mas foram evidenciadas em relação com algumas artérias. Elas emergem do tronco cerebral com o n. facial, correm pelo n. petroso superficial maior e seu ramo de comunicação com o plexo carotídeo interno, e com êste seguem a arborescência da a. carótida interna.

Com a participação de todos êsses dispositivos anatômicos e fisiológicos ficam normalmente asseguradas para o cérebro a constante abundância e a estabilidade de sua circulação, que, por meio da temperatura, oxigênio, dióxido de carbono, açúcar, potássio e cálcio, etc., mantém o equilíbrio iônico dos neurônios, sem o qual eles não seriam capazes de uma atividade ordenada.

Esta preleção baseia-se principalmente em artigos das "Research Publications of the Association for Research in nervous and mental Diseases", vol. 18, 1938, e em especial nos seguintes:

- ALEXANDER, L. and PUTNAM, T. J. — Pathological alterations of cerebral vascular patterns. *Res. Publ. Ass. Res. nerv. ment. Dis.* — 18: 471-543, 1938.
- CAMPBELL, A. C. P. — The vascular architecture of the cat's brain. *Ibid.* — pp. 69-93.
- CLARK, E. R. and WENSTLER, N. E. — Pial circulation studied by long-continued direct inspection. *Ibid.* — pp. 218-228.
- COBB, S. — Cerebral circulation. A critical discussion of the symposium. *Ibid.* — pp. 719-752.
- FORBES, H. S. and COBB, S. — Vasomotor control of cerebral vessels. *Ibid.* — pp. 201-217.
- GERARD, R. W. — Brain metabolism and circulation. *Ibid.* — pp. 316-345.
- KENNEDY, F.; WORTIS, S. B., and WORTIS, H. — The clinical evidence for cerebral vasomotor changes. *Ibid.* — pp. 670-681.
- LENNOX, W. G.; GIBBS, F. A., and GIBBS, E. L. — The relationship in man of cerebral activity to blood flow and to blood constituents. *Ibid.* — pp. 277-298.
- LOCCHI, R. — Questões geraes e observações pessoais relativas à anatomia das arterias do "Corpus striatum" humano. *Rev. neurol. psychiat. S. Paulo* — 1:3, 297-322, 1935.
- McNAUGHTON, F. L. — The innervation of the intracranial blood vessels and dural sinuses. *Res. Publ. Ass. Res. nerv. ment. Dis.* — 18:178-200, 1938.
- WEISS, S. — The regulation and disturbance of the cerebral circulation through extracerebral mechanisms. *Ibid.* — pp. 571-604.
- WOLFF, H. G. — The cerebral blood vessels. Anatomical principles. *Ibid.* — pp. 29-68.