ESTUDO MICRO-MESOSCÓPICO DAS GRANULAÇÕES ARACNÓIDES HUMANAS

MARCILIO HUBNER DE MIRANDA NETO* — WALTER BIAZOTO*
RENATO PAULO CHOPARD** — GUILHERME ARAÚJO LUCAS**

RESUMO — A anatomia funcional das granulações aracnóides do seio sagital superior foi estudada por técnicas micro-mesoscópicas a fim de contribuir para esclarecimentos de vias de drenagem do líquido cerebrospinal através de seus componentes fibrosos. A disposição dos elementos fibrosos foi analisada na base do pedículo, pedículo, centro e ápice da granulação. A análise dos cortes seriados mostra na base do pedículo, malhas de colágeno com morfologia predominantemente circular orientando-se longitudinalmente no sentido do maior eixo do pedículo. Estes feixes emergem no centro da granulação, ramificando-se a seguir em direção ao ápice e à periferia da granulação. Os feixes elásticos possuem disposição semelhante à descrita para feixes colágenos e delimitam, com estes, canais intercomunicantes desde a base do pedículo ao ápice da granulação. Encontramos, na base do pedículo, feixes de fibras reticulares dispostos entre as malhas de colágeno. A cápsula fibrosa da granulação encontra-se constituída de feixes colágenos e de pequena quantidade de fibras elásticas.

A micromesoscopic study of human arachnoid granulations.

SUMMARY — The functional anatomy of the arachnoid granulations of the upper sagittal sinus was studied by means of micromesoscopic techniques in order to contribute to elucidating aspects of drainage pathways of the cerebrospinal fluid through their fibrous components. The arrangement of fibrous elements was analysed at the base of the peduncle, peduncle, middle and apex of granulation. The analysis of seriate sections shows collagen bundles at the base of the peduncle with a predominantly circular morphology, longitudinally directed towards the peduncle's longest axis. These bundles arise in the middle of the granulation, then branch off towards its apex and periphery. The elastic bundles present an arrangement similar to that described for collagen bundles, delimiting with such bundles intercommunication channels from the base of the peduncle up to the apex of the granulation. Bundles of reticular fibers arranged in between the collagen meshes were found at the base of the peduncle. The fibrous capsule of granulation is composed of collagen bundles and a small number of elastic fibers.

A antiga controvérsia no que tange à forma de drenagem do líquido cerebrospinal (LCR) através de estruturas que constituem as granulações aracnóides assenta-se, basicamente, sobre duas hipóteses diferentes. Em 1902, Cushing propôs a existência de comunicações livres entre o espaço subaracnóide e o seio sagital superior através das granulações aracnóides, atribuindo a estas estruturas função valvular⁴. Weed atribuiu a absorção do LCR a processo de filtração, negando a existência de canais abertos de comunicações entre o espaço subaracnóide e o seio sagital¹⁵⁻¹⁷. A hipótese da existência de canais abertos de comunicação continua sendo aceita por alguns autores, como Gomez et al.⁶, Jayatilaka⁷, Potts et al.¹⁰, Potts & Deonarine¹¹, Upton

* Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá; ** Departamento de Anatomia, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo (USP).

et al.¹⁴. Entre os autores mais recentes que propõem a existência do mecanismo de filtração encontram-se Shabo & Maxwell¹², Shabo & Abbott¹³ e Alksne & Lovings¹.

Esta controvérsia suscitou em nós a curiosidade de estudar a constituição e a distribuição arquitetônica dos elementos fibrosos e sua interpretação morfofuncional.

MATERIAL E MÉTODOS

O material consistiu de 30 peças anatómicas, macroscopicamente normais, obtidas de cadáveres adultos de ambos os sexos, sendo 18 melanodermos e 12 leucodermos, com idade variando entre 20 e 40 anos. As peças retiradas incluíam o seio sagital superior, a folhe do cérebro e a massa encefálica adjacente e eram fixadas em solução de formalina a 10% por 96 horas; após este período a massa encefálica era retirada cuidadosamente com auxílio de pinça anatómica, preservando-se as meninges; a seguir este material era reduzido a pequenos blocos com aproximadamente 1cm, contendo o seio sagital superior e as estruturas adjacentes. No material assim obtido sistematizou-se o exame, dissecação e documentação fotográfica desde a transição da aracnóide para o pedículo até o ápice da granulação, registrando-se a constituição e disposição espacial dos elementos fibrosos.

Após a fixação e redução, 5 blocos foram submetidos a técnicas de preparados totais, segundo Van Gieson. Este material era examinado dissecado com auxílio de estereomicroscópio sob epi-iluminação. Após fixação e redução, 25 blocos foram incluídos em parafina e submetidos a cortes seriados espessos, transversais e longitudinais, de 20 a 30 μ m, corados alternadamente e em seqüência pelos métodos de: Azan modificado segundo Heidenhain, para evidenciar fibras colágenas; resorcina-fucsina Weigert, para fibras elásticas; Weigert modificado por Van Gieson, para evidênciação simultânea dos componentes elásticos e colágeno; Gomori, para evidênciação de fibras reticulares. Os preparados de cortes espessos selecionados para as ilustrações foram fotografados em fotomicroscópio Zeiss.

RESULTADOS

Os resultados serão apresentados na seqüência de observação, desde a transição aracnóide-pedículo até o ápice, percorrendo-se base, pedículo, centro e periferia da granulação.

As disseções sob estereomicroscópio dos preparados totais segundo Van Gieson mostram traves fibrosas da dura-máter, com espessuras variáveis, entrecruzando-se e cercando em diferentes direções os pedículos das granulações. Removendo-se estas granulações, notam-se espaços irregulares entre estas traves, correspondentes às diferentes formas e dimensões das granulações. Examinando-se o contorno de um espaço trabecular observa-se, ainda, a existência de uma membrana fibrosa em forma de cúpula. Entre esta membrana e a periferia da granulação observa-se espaço virtual que constitui prolongamento do espaço subdural (Fig. 1).

A análise dos cortes seriados espessos mostra, na região de transição aracnóide-pedículo da granulação, que o colágeno dispõe-se em redes de malhas irregulares, que deixam espaços de diâmetros variáveis com morfologia predominantemente circular (Fig. 1). Os feixes de fibras elásticas têm a mesma disposição que o colágeno. Ainda a este nível notamos a presença de feixes de fibras reticulares, entrecruzando-se em várias direções, formando redes, assentadas nos espaços delimitados pelo trabeculado colágeno (Fig. 1). Os feixes reticulares diminuem progressivamente a sua concentração, à medida que ascendem em direção ao pedículo, chegando a estar ausentes no centro da granulação. Nos cortes seriados, nota-se que os feixes de colágeno que penetram na região pedicular provenientes da região de transição mencionada sofrem rearranjo, agrupando-se em feixes orientados segundo o maior eixo da granulação. Estes emergem no centro da granulação com aspecto concentrado; a partir do centro ramificam-se progressivamente em direção ao ápice e à periferia, formando redes de malhas frouxas. Essas malhas entrecruzam-se em várias direções delimitando espaços canaliculares tortuosos, conferindo à granulação aspecto arboriforme (Fig. 2). Os feixes de fibras elásticas, além de acompanharem o trajeto do colágeno, dispõem-se em torno dos espaços canaliculares. Na periferia da granulação nota-se condensação dos feixes de fibras elásticas, formando revestimento elástico para a porção da granulação aracnóide que se projeta na luz do seio (Fig. 2).

Examinando-se o colágeno da cápsula que envolve a granulação, observa-se que se acha constituído de feixes circulares. Em alguns locais dessa cápsula notam-se emanções colágenas que se espalham sobre a periferia da granulação, provocando interrupção do espaço subdural.

Fig. 1 — À esquerda, preparado total de Van Gieson: vista frontal do seio sagital superior; observar em (a) granulação aracnóide, (b) pedículo da granulação, (c) trabécula da dura-máter, (d) aracnóide, (e) cápsula fibrosa da granulação; a seta indica espaço subdural ($\times 30$). À direita, região aracnóide-pedículo: corte transversal ($20\mu\text{m}$) mostrando (ce) malhas de fibras colágenas e elásticas, (r) fibras reticulares; a seta indica o sentido da transição aracnóide-pedículo da granulação (Gomori; $\times 400$).

Fig. 2 — À esquerda, interior da granulação aracnóide: corte longitudinal ($30\mu\text{m}$) mostrando aspecto arboriforme do tecido colágeno, em (a) feixes colágenos baso-pediculares, (b) feixes colágenos centro-apicais, (c) feixes colágenos periféricos (Azan; $\times 160$). À direita, granulação aracnóide, corte longitudinal ($30\mu\text{m}$) mostrando a disposição dos feixes de fibras elásticas, em (a) no pedículo, (b) centro, (c) ápice (Weigert; $\times 400$).

COMENTARIOS

O entrecruzamento das traves fibrosas da dura-máter, cercando o pedículo da granulação, não é citado na literatura compulsada, os autores apenas mencionam o fato de as granulações se projetarem através da dura-máter^{11-13,20-22}. A existência da cápsula fibrosa refletindo-se da dura-máter e delimitando o espaço subdural é citada pela maioria dos autores que estudaram as granulações aracnóides em humanos²⁰⁻²². Kida et al.⁸ admitem a existência do espaço subdural fibroso, não admitindo entretanto a existência do espaço subdural em torno da granulação.

A composição de imagem, através da análise dos cortes seriados, demonstra a continuidade dos espaços existentes entre os feixes colágenos predominantemente circulares: delimitam espaços canaliculares tortuosos que se continuam entre os feixes, a que denominamos baso-pediculares, orientando-se no sentido do maior eixo, emergindo, a seguir, no centro da granulação. A partir do centro, os espaços acompanham as tortuosidades descritas pelos feixes colágenos, a que denominamos centro-apicais e periféricos (Fig. 2). Este aspecto não é descrito pelos autores, sendo sumariamente mencionado por Portela-Gomes⁹ e Upton et al.¹⁴.

A quantificação dos feixes colágenos não fez parte do objetivo deste estudo, porém, nossos resultados são semelhantes aos achados de Gomez et al.⁶ no macaco e em ovelhas, no que tange à grande quantidade de colágeno encontrado nas granulações. Entretanto, não concordamos com a função de distensão que estes autores atribuem ao colágeno isoladamente; acreditamos que esta função deve ser atribuída ao componente elástico.

A presença de feixes colágenos na cápsula fibrosa que envolve as granulações é mencionada por Yamashima²¹ e por Kida et al.⁸. Entretanto, as conexões entre os feixes colágenos da cápsula e a periferia da granulação não são referidos na literatura. É possível que se tratem das mesmas conexões fibrosas encontradas por Wolpaw & Schaumburg²⁰. Acreditamos, ainda, serem estes os pontos de abertura da cápsula onde os elementos celulares da granulação e do seio estão em contato direto, conforme descrito por Zaki²², Upton et al.¹⁴ e Kida et al.⁸.

A presença de fibras elásticas, no interior das granulações, é citada por Clark (1920), segundo Upton et al.¹⁴ e Bargmann². Entretanto, a disposição dos feixes de fibras elásticas, acompanhando o trajeto dos feixes colágenos na base do pedículo, no pedículo e no interior da granulação, bem como suas condensações na periferia, não são referidos na literatura. A existência de fibras elásticas, em pequena quantidade na cápsula fibrosa, foi notada por Yamashima²¹ e por Kida et al.⁸. Estes autores, contudo, não mencionam o fato de os feixes elásticos da cápsula acompanharem a disposição dos feixes colágenos.

Sobre o tecido reticular, apenas Bargmann² fez referência a sua existência sem, contudo, caracterizar a morfologia. Nossos achados mostram feixes de fibras reticulares formando redes apoiadas nas margens do trabeculado colágeno. Isto ocorre, principalmente, na base da granulação, onde septam os espaços delimitados pelo colágeno, o que poderia, a nosso ver, diminuir a velocidade de difusão do LCR, adequando sua corrente à penetração no pedículo (Fig. 1).

A disposição trabeculada dos componentes fibrosos constitui arranjo morfo-funcional para adaptar a dinâmica do LCR aos gradientes pressóricos. A pressão, positiva no espaço subaracnóide e negativa no seio sagital superior, atuaria sobre a cápsula criando condições para que os componentes fibrosos da granulação se distendessem e facilitassem a difusão do LCR nos espaços canaliculares. Assim, o líquido poderia ganhar a luz do seio sagital através de mecanismos de filtração^{1.12,13,15-17}, bem como através de tubos^{1.4,7,10,11,18,19} ou, ainda, através da associação entre os dois mecanismos^{5,6,14}. Acreditamos que, nas inversões de pressão, tornando-se a do seio maior que a do espaço subaracnóide, a retração do tecido elástico diminuiria os espaços existentes entre as malhas do colágeno, mantendo o estado fisiológico de válvulas unidirecionais, conforme já proposto^{4,5,10,11,14,18,19}.

Conclusões — 1. Os feixes de colágeno, percorrendo o centro e ápice das granulações aracnóides, apresentam as seguintes características: (a) na base do pedículo formam redes irregulares predominantemente circulares; (b) no centro da granulação esses feixes ramificam-se progressivamente em direção à periferia e ao ápice da granulação. 2. Na base da granulação o tecido elástico acompanha as malhas dos feixes

colágenos, desde a base do pedículo até o ápice da granulação. 3. No centro da granulação os feixes elásticos cercam os espaços canaliculares delimitados pelos feixes colágenos, enquanto na periferia condensam-se significativamente. 4. Na base do pedículo existe entrecruzamento de fibras reticulares no interior das malhas de colágeno, que diminuem progressivamente em direção ao pedículo. 5. As descrições de morfologias das redes podem corresponder aos momentos funcionais do sistema.

REFERÊNCIAS

1. Alksne JF, Lovings ET — The role of the arachnoid villus in the removal of red blood cells from the subarachnoid space: an electron microscope study in the dog. *J Neurosurg* 36:192, 1972.
2. Bargmann W — *Histologia y Anatomia Microscópica Humana*. Ed 3. Labor, Rio de Janeiro, 1968, pg 930.
3. Clark LC — On the pacchioniam bodies. *J Anat* 55:40, 1920.
4. Cushing H — Some experimental and clinical observations concerning the states of increased intra-cranial tension. *Am JA Med Sci* 124:373, 1902.
5. D'Avella D, Cicciarello R, Albiero A, Andriolo G — Scanning electron microscope study of human arachnoid villi. *J Neurosurg* 59:620, 1983.
6. Gomez DG, Potts DG, Deonaraine V — Arachnoid granulations of the sheep. *Arch Neurol* 30:169, 1974.
7. Jayatilaka ADP — An electron microscopic study of sheep arachnoid granulations. *J Anat* 99:635, 1965.
8. Kida S, Yamashima T, Kubota T, Ito H, Yamamoto S — A light and electron microscopic and immunohistochemical study of human arachnoid villi. *J Neurosurg* 69:429, 1988.
9. Portela-Gomes F — Granulações de Pacchioni e vilosidades aracnóides. *Gaz Méd Port* 17:223, 1964.
10. Potts DG, Kenneth FR, Deonaraine V — Morphology of the arachnoid villi and granulations. *Radiology* 105:333, 1972.
11. Potts DG, Deonaraine V — Effect of positional changes and jugular vein compression on the pressure gradient across the arachnoid villi and granulations of the dog. *J Neurosurg* 38:722, 1973.
12. Shabo A, Maxwell DS — The morphology of the arachnoid villi: a light and electron microscopic study in the monkey. *J Neurosurg* 29:464, 1968.
13. Shabo A, Abbott MM — The response of the arachnoid villus to an intracisternal injection of autogenous brain tissue. *Neurology* 19:724, 1969.
14. Upton ML, Weller RO, Path FRC — The morphology of cerebrospinal fluid drainage pathways in human arachnoid granulations. *J Neurosurg* 63:867, 1985.
15. Weed LH — Studies on the cerebrospinal fluid: II. The theories of drainage of cerebrospinal fluid with an analysis of the methods of investigation. *J Med Res* 31:21, 1914.
16. Weed LH — An anatomical consideration of the cerebrospinal fluid. *Anat Res* 12:641, 1917.
17. Weed LH — Meninges and cerebrospinal fluid. *J Anat* 72:180, 1938.
18. Welch K, Friedman V — The cerebrospinal fluid valves. *Brain* 83:454, 1960.
19. Welch K, Pollay M — Perfusion of particles through arachnoid villi of the monkey. *Am J Physiol* 201:651, 1961.
20. Wolpaw ER, Schaumburg HH — Structure of the human arachnoid granulation. *J Neurosurg* 37:724, 1972.
21. Yamashima T — Functional ultrastructure of cerebrospinal fluid drainage channels in human arachnoid villi. *J Neurosurg* 22:633, 1988.
22. Zaki W — Developement des granulations arachnoidennes. *Bull Assoc Anat* 161:283, 1977.