

弾性型動脈と筋型動脈の弾性膜の窓について

岡山大学医学部第一解剖学教室（主任：大塚長康教授）

埼玉医科大学解剖学教室（指導：金子丑之助教授）

諏 訪 喜 一

（昭和50年10月29日受稿）

緒 言

心臓に近い大きい動脈は弾性型動脈といわれ、それから離れた比較的小さい動脈は筋型動脈と呼ばれている。前者には、弾性成分が多く、弾性膜がほぼ層状に壁内に配列し、後者では内弾性膜と、時に外弾性膜の存在を見る。両型の動脈壁内のいわゆる弾性膜が、窓という小孔を持つことはよく知られた事実である。弾性型動脈の内弾性膜の窓については、先にBenningshoff¹⁾(1930)の、また筋型動脈の内弾性膜については、Hassler²⁾(1962)、Lang³⁾(1960)、LangとNordvig⁴⁾(1966)等の報告があるが、内弾性膜の窓の大きさ及び窓が内弾性膜に占める面積等において、所見が一致していない。そこで著者は、諸種の方法を用いて弾性型動脈と筋型動脈の弾性膜の窓を光顕的に調べた。また対照として、両型の動脈壁の弾性膜の窓を電顕的に調べ、光顕的所見と電顕的所見が一致するかどうかをも調べた。

実験材料と実験方法

材料として、イエウサギの総頸動脈と内頸動脈を用いた。方法として光顕的に、主として2%の苛性ソーダ溶液中に、上記材料の厚さ約20 μ の凍結切片を1日乃至数日浸した後、ピペットでそれを吸引し、オブゼクト・ガラス上に載せ、空気乾燥した後、ホルマリン蒸気で固定し、レゾルチン・フクシン、オルチェイン、アルデヒド・フクシン等の弾性線維染色を施した。また、上記材料を10%ホルマリンに固定した後、パラフィンに包埋し、切線方向の縦断切片に弾性染色を施した。

なお、生きたイエウサギの右側の総頸動脈を結紮し、体重1kgにつき約5ccの乳酸鉄の飽和溶液を隔日に15回耳静脈に注入し、パラフィン切片において

ベルリン青反応を施し、動脈壁の弾性膜に見られるベルリン青の存在により弾性膜の窓の形態、大きさ、数等について調べた。

電顕的には、上記材料を0.1M phosphate bufferでpH 7.4にした5%グルタル・アルデヒド溶液によって4時間前固定をし、次に0.1M phosphate bufferで1%に希釈したオスミウム酸で2時間後固定した。固定後はエタノール系列により脱水し、Epon 812に包埋し、薄切後、酢酸ウラニールとクエン酸鉛(Reynolds⁵⁾1963)により重染色をした。観察は、日立電子顕微鏡HU11型によった。

結 果

写真1、2と4-7は、総頸動脈の凍結切片を苛性ソーダ溶液で腐蝕させたもので、写真3は、総頸動脈壁のパラフィン切片に、アツアン染色を行ったものである。図1と2は、著者⁶⁾(1962)が既に発表したものを模式的に示したもので、乳酸鉄溶液を、生きたイエウサギに注入して、その動脈壁の弾性膜に沈着するベルリン青により、その窓の形態と大きさ、数等を示し、また、内膜側から外膜側に向かいながら、動脈壁に拡散する鉄物質の存在を示す。写真8は総頸動脈の凍結切片にアルデヒド・フクシン染色を施し、外膜側よりみたものである。写真9は、その内頸動脈を切線方向に縦断し、オルチェイン染色を施したもので、写真10と11は、その内頸動脈の内弾性膜を苛性ソーダで腐蝕した際に見られた窓を示す。写真12と13は、夫々イエウサギの総頸動脈と内頸動脈壁、特にそれらの内弾性膜を示す。

得られた結果を述べると、弾性型の総頸動脈においては、弾性膜の窓は、内弾性膜においては縦長の

楕円形であるが(写真1, 2), 次の隣接の弾性膜では, 横長の楕円形の窓となり, 中膜の弾性膜の窓の形態は, 縦と横との大きさの比率が, 内層から外層へと段階的に大きくなっている(写真5, 6, 7). 写真6は, 中膜の外層の弾性膜を, 写真7は, その内層の弾性膜を示す. 写真5において, 外層のものに縦長の窓となる傾向を見る.

弾性膜の窓の大きさについて述べると, 内弾性膜の窓は, $2.5-10\mu$ ぐらいで, 6μ のものが最も多く, その間隔は平均に約 6μ である(写真2, 10). 中膜のものは $2.5-6\mu$ ぐらいで約 3μ のものが最も多く, その間隔は平均に約 3μ である. 従って, 内弾性膜の窓の表面積の和も, 中膜の弾性膜のものも, 夫々の弾性膜の表面積の約15%を占める. また内弾性膜の窓の大きさから考え, 赤血球は, 内弾性膜の小孔を潜行することができる(写真3). また各弾性膜の窓は, 単なる小孔ではなく, 窓の中層を弾性線維が横切っているのが多く(写真2, 4, 5, 6, 7, 10, 11), これ等は電顕的に, 弾性膜の島として現われてくるものと思える. 次に, 内頸動脈の内弾性膜の窓においても(写真10, 11), 総頸動脈のもの(写真1, 2)と同様に縦長の楕円形を示している. 苛性ソーダ溶液で充分腐蝕されていない内弾性膜(写真1)と充分腐蝕された内弾性膜(写真11)とでは, その窓の大きさと数に, 大きい差をみる. 即ち, 充分内弾性膜が腐蝕された場合には, 内弾性膜を作る内層と外層が, 先ず腐蝕され, 次に中層が現われてくる. この中層は, 発生学的に極めて疎な大きい網目状の弾性線維で形成されていると著者は考えているが, その中層の出現により, 多くの隙腔が現われてくる. これは, ほんとうの弾性膜の窓ではない. 特記すべきは写真8に見る外弾性膜の組織像であり, 生まの切り離された総頸動脈壁を, アルデヒド・フクシン染色したものであり, 螺旋上昇の弾性線維と縦走の弾性線維により形成されている弾性膜のところどころに, 横長の楕円形成は横長に扁平な弾性膜の窓を辛うじてみることが出来る.

次に, 動脈壁の電顕像をみると, 総頸動脈の(写真12)内弾性膜において, その断裂した部位が, いわゆる弾性膜の窓に一致する. その窓の部位には島状に弾性成分が存在する. この所見は, イエウサギの内頸動脈(写真13)においてもまた同様である. 一般に, この島の弾性成分の厚さは, 内弾性膜の厚さの2分の1の場合が多い. また, 総頸動脈の中膜の弾性膜においても同様の所見がみられる.

以上要するに, 切片でみる弾性膜の窓の大きさは, 苛性ソーダ腐蝕のものに比べて非常に小さく, 従ってそれが弾性膜を占める面積は少なく, ほぼ2%前後と解せられる. 然るに苛性ソーダで腐蝕された弾性膜の窓は大きく, その占める面積は, 各弾性膜のほぼ15-20%である. また弾性型動脈の中膜の弾性膜の窓の形は, 内層から外層へと向かうにつれ, 横長の楕円形から縦長の楕円形へと移行する.

考 察

上述の実験結果を考察すると, 切片における内弾性膜の窓の表面積は, 同じく切片による Gessmer⁷⁾ (1952)の約6.5%と Hassler⁸⁾ (1962)の2-3%の記載とほぼ一致する. 一方Langと Nordvig⁹⁾ (1966)の蛋白融解酵素を用いての実験による窓の表面積の12-28%の結果と著者の苛性ソーダによる腐蝕の成績とほぼ一致する.

実際, 動脈壁を切り取った場合, 最も窓の多い外弾性膜の小孔は, 殆ど潰れた状態に見える. 生体の弾性膜は, 著者⁶⁾ (1969)の考えでは, 動脈壁の収縮期に円形の大きい窓となる. この際, 勿論, 弾性膜は縦と横に引き伸ばされている. 動脈壁を切り取る場合, 壁の縦の長さはほぼ半減する. この際, 弾性膜の窓が壁と同様に半減するのではなく, 既述のごとく, 比率的に非常に小さいものとなっているに違いない. 従って切片において弾性膜の窓の表面積を論ずるに当たり, 光顕と電顕の写真により, その百分率を示しても, それはほんとうの数値でなく, 苛性ソーダによって適度に弾性膜を腐蝕し, 弾性膜が生体のものに近い状態に引き伸ばすことによって生体のものの近以値を算出することができる. 苛性ソーダ溶液を用いての著者の実験によれば, 弾性膜の窓の表面積は, 15-20%となるのである. この面積比率は著者⁶⁾ (1972)が述べた弾性膜の窓の理論的な面積比率とほぼ一致する. 各弾性膜において, その窓に島を形成するのは, 窓に平滑筋細胞或は内皮細胞が突起を出して, その突起により島状の弾性成分を作るものと解せられる. 従って, 一般に島は遊離して存在するのではなく, その一部は弾性膜に接着しているものと考えられる. また各弾性膜の中層の内外の部位に縦走性或は輪走性の弾性成分が横切れれば, 切片では島状に現われる.

結 語

イエウサギの総頸動脈と内頸動脈の弾性膜の膜が, 光顕的と電顕的に検索された. 光顕的には, 生まの

「記材料の凍結切片と固定した上記材料の切片によ
り、弾性膜の窓の形態と大きさを調べ、一方生まの
材料を凍結切片にし、それを苛性ソーダ溶液の中に入
れて腐蝕した後、弾性線維染色を施して弾性膜の窓
について調べた。切り取った生まの上記の材料に弾
性線維染色をし、外膜と内膜側の弾性膜の窓を見ら
ると、窓は極めて縮小されており、従って切片におい
てみる弾性膜の窓の形と、その表面積は、生体のも
のとは非常に異っている。切片によるものでは、窓
の表面積は2-5%である。

一方、苛性ソーダ溶液中に、生まの材料の凍結切
片を浸した場合、弾性膜は縦と横に拡張し、その
腐蝕日数が、適当な場合、弾性膜の窓の表面積は、
弾性膜の15-20%を占める。但し、その腐蝕日数が
多いと、弾性膜の中層が現われてきて、その中層の
弾性成分は、大きな網目をもって形成されているた
め、弾性膜の窓は50%にもなる。著者の弾性膜の形
成機構によれば、各弾性膜の窓の表面積は、各弾性
膜の約15-20%を占めることから、苛性ソーダ腐蝕
において、弾性膜を造る縦層と輸走の線維が充分隔
解しない状態において、その窓の表面積が夫々15-
20%を占めるときが生体の弾性膜の窓の状態に近い
ものと考えらる。

苛性ソーダ溶液で弾性膜を腐蝕する場合、内弾性
膜の窓の大きさと中膜の弾性膜の窓の大きさを比
べれば、一般に内弾性膜のものにその大小の範囲
が大である。しかし内弾性膜の窓の表面積の和も中
膜の弾性膜のものも夫々の弾性膜の表面積の約20%
を占める。内弾性膜の窓は直径2.5-10 μ ぐらいで約6
 μ ぐらいのものが最も多く、その間隔は平均に約6 μ
である。中膜のものは直径2.5-6 μ ぐらいで約3 μ ぐ
らいのものが最も多く、その間隔は平均に約3 μ ぐ
らいである。従って赤血球は内弾性膜の小孔を比較
的容易に潜行することができ、その像がみられた。弾
性膜の窓は単なる空隙ではなく、窓の表面や内面を
弾性線維が横切っており、多かれ少なかれ膠原線維
がその窓を貫通している。

次に、内弾性膜の窓の形は、弾性型動脈でも筋型
動脈でも縦長の楕円形である。弾性型動脈の中膜の
弾性膜の窓の形は、その内層のものでは横に長い楕

円形で、外膜側に向かうにつれ、階段的に横幅より
も縦の方向に長くなり、外層のものでは縦長の楕円
形となっている。

写真と図の説明

- 写真1：総頸動脈の内弾性膜、凍結切片、苛性ソー
ダ溶液で腐蝕、オルチェイン染色、130 \times
写真2：写真1に同じ、但しレゾルチン・フクシン
染色、590 \times
写真3：総頸動脈、パラフィン切片、アツアン染色、
 \times
写真4：総頸動脈、凍結切片、オルチェイン染色(苛
性ソーダ溶液で腐蝕)、内弾性膜に隣接する中膜の
弾性膜、300 \times
写真5：総頸動脈、凍結切片、苛性ソーダ溶液で腐
蝕、縦断、レゾルチン・フクシン染色、130 \times
写真6、7：上記と同じ、240 \times
写真8：総頸動脈、切り離した生まのものをアルデ
ヒド・フクシン染色、外膜側からみる、250 \times
写真9：内頸動脈、パラフィン切片、切線方向の縦
断、外弾性膜、オルチェイン染色、250 \times
写真10：内頸動脈、内弾性膜、苛性ソーダ溶液にて
腐蝕、レゾルチン・フクシン染色、250 \times
写真11：写真10と同じ、但しアルデヒド・フクシン
染色、250 \times
写真12：電顕像、総頸動脈、IEL：内弾性膜、Fe：
窓、I：島、En：内皮細胞、Lu：内腔、Sm：平滑筋
細胞、N：平滑筋細胞の核、EL：中膜の弾性膜、
Co：膠原線維

写真13：電顕像、内頸動脈

図1：生きたイエウサギに乳酸鉄溶液を静注し、その
総頸動脈のパラフィン切片にベルリン青反応を行う。

図2：乳酸鉄溶液が生きたイエウサギに静注された
場合、鉄物質が内皮細胞を経て各弾性膜の窓を
通り、内膜側から外膜側へ向かう方向を示す。

本論文の要旨は第72回日本解剖学会総会(昭和42
年3月)において発表した。

稿を終るに当たり、御指導を賜った埼玉医科大学
解剖学教室、金子丑之助教授に深謝すると共に、
御協力して頂いた当教室、菅篤氏に感謝致します。

文 献

- 1) Benninghoff, A. : Blutgefäße und Herz. In: Möllendorffs Handb. d. mikrosk. Anat. d. Mensch.,

- Springer, Berlin, 1930
- 2) Hassler, O. : The windows of the internal elastic lamella of the cerebral arteries. *Virchows Arch. path. Anat.*, 335 : 127, 1962
 - 3) Lang, I. : Über das Gleitgewebe der Sehnen, Muskeln, Fascien und Gefäße. *J. Anat. Entwickl. Gesch.*, 122 : 197, 1960
 - 4) Lang, I. und Nordwig, A. : Über die Membrana elastica interna von Arterien des muskulären typus. *Zeits. für Zellforsch.*, 73 : 313, 1966
 - 5) Reynolds, E. S. : The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy. *J. Cell. Biol.*, 50 : 172, 1963
 - 6) Suwa, K. : Light and electron microscope studies on the entrance of colloidal iron compounds and silver nitrate into the tunica media across the endothelium of elastic arteries in rabbits with the light and electron microscopes. *Acta med. Okayama*, 16 : 55, 1962
 - 7) Gessner, J. : Untersuchungen über die Porenöffnung der Membrana elastica interna der Armarterien. *Wiss. Z. Fr. Schiller-Univ. Jena*, 3 : 387, 1954
 - 8) 誼訪喜一 : 想定された生体の動脈壁と切り離された動脈壁の弾性膜の窓の形と大きさの相違. *解剖学雑誌*, 45 : 10, 1969
 - 9) 誼訪喜一 : 動脈壁の弾性膜の形成機序について. *解剖学雑誌*, 48 : 165, 1972

ABSTRACT

The fenestration of the elastic membrane of elastic-type and muscle-type arteries

Kiichi SUWA

By extracting the a. carotis communis and the a. carotis interna of rabbit, frozen sections of about 30μ in thickness were prepared. These were immersed in diluted caustic soda solution, and the conditions of the fenestration of elastic membrane were studied. On the other hand, some of the above specimens were fixed with 10% formalin solution, and after staining elastic fibers they were observed under light microscope as the control. In addition, they were also observed electron microscopically. In the internal elastic membranes of both arterial walls in the case of the ones immersed in caustic soda solution for several days, the surface area of the fenestration was about 15-20% which is much more than the area of 2-5% seen in the section specimens, and their size ranged $2.5-10\mu$ and most of them were about 6μ and the morphology revealed that the fenestrations shift from a cross-wise elliptic shape to a longitudinal elliptic shape from the inner layer to the middle layer. The above-mentioned fenestration is not a simple space but it contains elastic fibers crossing longitudinally and cross-wise within it.







