

I バスキュラーアクセスの基礎

1. シャントの解剖

AVF

内シャント, arteriovenous fistula (AVF) とは、透析治療の際に使用する目的で患者の体内に造設される、非生理的血行動態の小循環である。本項では、動脈と静脈の基本的な構造・種類・特徴、内シャント造設に用いる動脈と静脈、内シャントの構造と機能について述べる。

1 全身の血液分布 (図1)¹⁾

全身の血液の分布状態を図1に示す。体重62.5kgの健常成人を想定した場合、全血液量は体重の8%に相当する5,000mLである。それは肺循環500mLと体循環4,500mLとして分布しており、体循環は動脈血900mLと静脈血3,600mLとして流れている。

2 動脈・静脈の種類、血管径、血管壁厚、特徴、名称 (図2, 表1)^{1,2)}

動脈と静脈の基本的な構造を図2に示す。

正常な動脈および静脈は、いずれも1層の扁平な内皮細胞の内膜、輪走する平滑筋細胞の中膜、結合組織の外膜の3層をなしている。動脈では中膜が厚く発達しており、静脈には血液の逆流を防ぐ静脈弁が存在するのが特徴である。

表1には、心臓を出てから心臓に戻るまでの動静脈の特徴をまとめている。

1) 弾性型動脈

まず、心臓左室を出てすぐの動脈は弾性型動脈である。これは中膜の平滑筋が厚く、そしてその平滑筋の中に板状の弾性線維が何層にも重なって

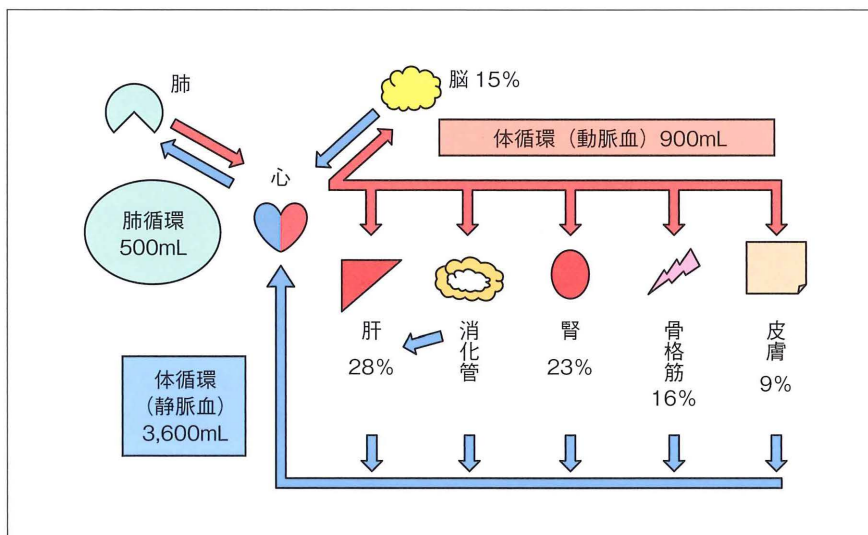


図1 全身の血流分布¹⁾

体重 62.5kg の健常成人の血流分布を示す。
 健常成人の血液量は体重の8% = 5,000mL。
 全血液量 5,000mL = 肺循環 500mL + 体循環 4,500mL。
 体循環 4,500mL = 動脈血 900mL + 静脈血 3,600mL。
 心拍出量 = 5,000mL/min。

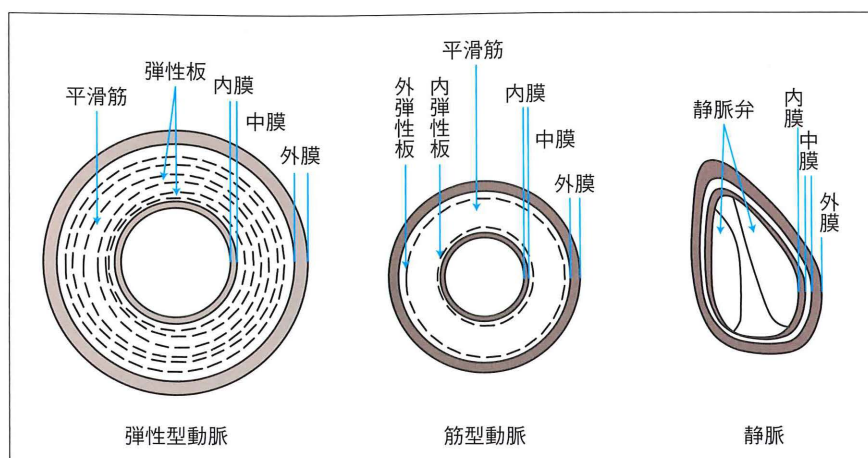


図2 動脈，静脈の断面図

動静脈とも，1層の扁平な内皮細胞の内膜，輪走する平滑筋細胞の中膜，結合組織の外膜よりなる。動脈は中膜が発達している。静脈には静脈弁がある。

表1 動脈～静脈の血管径，血管壁厚，名称，特徴

	血管内腔	血管壁厚	名 称	特 徴
心臓から ↓ 心臓へ	弾性型動脈 (上行大動脈) (25mm)	2mm	大動脈，腕頭動脈，総頸動脈，鎖骨下動脈など	中膜に弾性線維が多い。心室収縮期に弾性型動脈が拡大し圧を調整，心室拡張期には弾性型動脈が収縮し血液を末梢に押し出す。運搬動脈
	筋型動脈	4mm	上腕動脈，橈骨動脈，尺骨動脈，大腿動脈など	中膜に平滑筋が多い。活動量，体温調節などの必要により，平滑筋の収縮，弛緩によって血管腔の広さを変え，身体各部への供給血液量を調整。分配動脈
	細動脈	20 μ m	個別名称なし	平滑筋の収縮，弛緩により毛細血管床の血液量を調整
	毛細血管	5 μ m	個別名称なし	1層の内皮細胞で構成。O ₂ ，CO ₂ ，栄養分，水分などの物質交換の場
	細静脈	20 μ m	個別名称なし	容量血管，血液のプール
	静脈	5mm	橈側皮静脈，尺側皮静脈，大伏在静脈など	静脈弁あり，血液の逆流を防ぐ
	大静脈	30mm	上大静脈，下大静脈	広い縦走する平滑筋束と，よく発達した外膜をもつ

いる。このような弾性のある血管壁構造なので，心収縮期には動脈壁が押し広げられることで血圧を調整緩和し，一方心拡張期には動脈壁が収縮して血液を末梢に押し出す機能がある。弾性型動脈に相当するのは大動脈，腕頭動脈，総頸動脈，鎖骨下動脈などである。

2) 筋型動脈

もう少し末梢にいくと筋型動脈となる。これは中膜に平滑筋が多く，中膜と内膜の間に1層の内弾性板，中膜と外膜の間に1層の外弾性板がある。中膜の平滑筋が身体活動量や体温調節などの必要に応じて収縮・弛緩して血管腔の広さを変え，身体各部への供給血液量を調整している。全身の血流分配を司っているため，分配動脈ともよばれる。

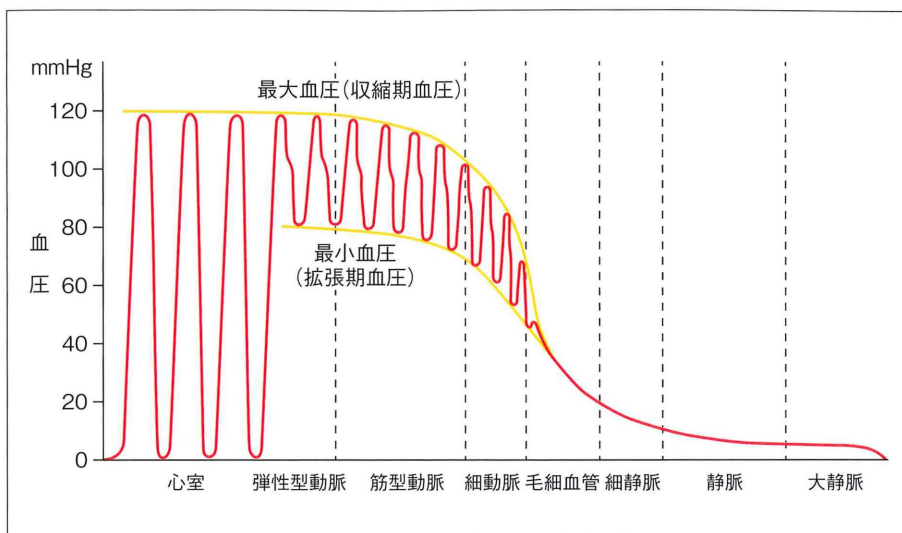


図3 体循環の各部位における血圧¹⁾

中枢動脈→末梢動脈→末梢静脈→中枢静脈へと向かうにつれ、血圧は徐々に下がっていく。このように、循環の上流と下流に血圧差があることにより血液は全身を循環している。

この筋型動脈に相当するのが上腕動脈、橈骨動脈、尺骨動脈などであり、これらの動脈は内シャントを造設する時に用いる。

3) 細動脈、毛細血管、細静脈

これ以降の、細動脈、毛細血管、細静脈には個別の名称はない。細動脈は中膜平滑筋の収縮弛緩により毛細血管床の血液量を調整し、毛細血管は酸素、二酸化炭素、栄養分、水分の物質交換の場となっている。細静脈および後述する静脈には血液全体の2/3が存在しており、血液のプール、容量血管としての役割を果たしている。

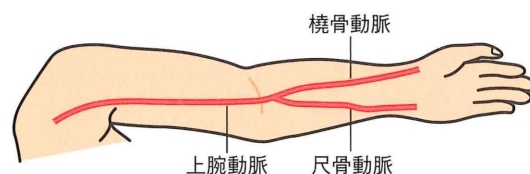
4) 静脈

静脈になると中膜が薄くなるために、圧がかかると血管壁が伸展しやすくなる。このレベルの太さの静脈としては橈側皮静脈、尺側皮静脈などがあり、内シャント造設時に用いる血管である。

5) 大静脈

最終的に上下大静脈に集まった静脈血は、心臓の右房、右室に還流していく。

a AVF 造設に用いる動脈



b 動脈側副血行路

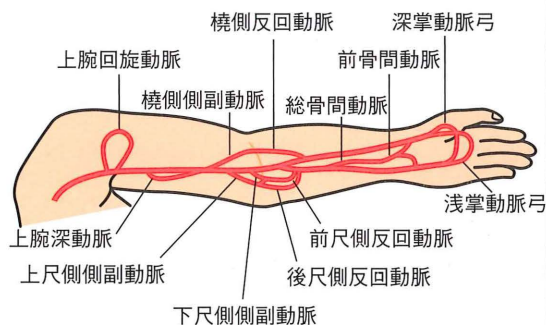


図4 VA 造設に用いる動脈 (a) および上肢動脈の本幹同士を連結する側副血行路 (b)

上腕動脈が橈骨動脈と尺骨動脈に分岐する位置は、肘関節部から2～3cm末梢。上腕動脈が2本存在する変異が約10%の症例で認められる。

上腕/橈骨/尺骨動脈など、上肢動脈本幹のいずれかの部位の流れが途絶しても、複数存在する側副血行路が上腕-前腕、前腕-前腕-前腕尺側の間の連続性を保つ構造になっている。上腕深動脈分岐より中枢で動脈損傷があった場合には、同側上肢虚血となる危険性が高い。

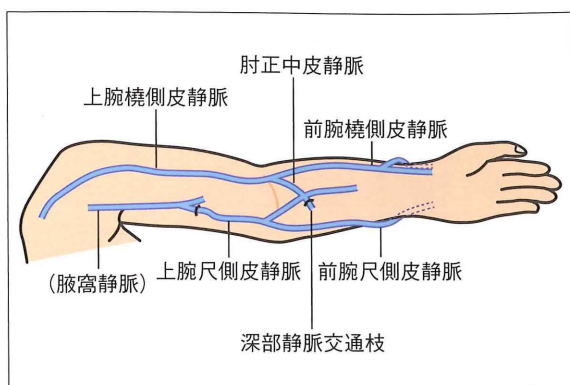


図5 VA造設に用いる皮静脈

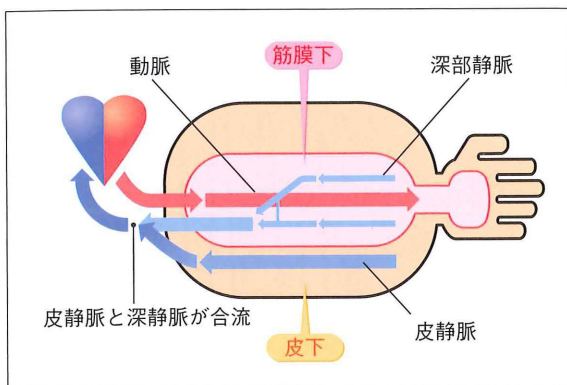


図6 動脈、皮静脈、深部静脈

動脈と深部静脈（動脈と同名の静脈）は筋膜下を走行する。皮静脈は皮下を走行し、動脈と併走はしていない。

3 心臓および動静脈各部位での血圧 (図3)¹⁾

図3は、心臓および前述の各動静脈での血圧を示している。筋型動脈での収縮期および拡張期血圧は、細静脈、毛細血管へといくと徐々に下がり、静脈のレベルでは10mmHg程度となる。

4 上肢の動脈 (図4)³⁾

バスキュラーアクセス (VA) 造設に直接用いる動脈は、図4aに示している橈骨動脈、尺骨動脈、上腕動脈である。橈骨動脈と尺骨動脈が分岐するのは、肘の曲がるところから約2cm末梢である。上腕動脈が腋窩あるいは上腕部のレベルから早期分岐して2本あり、それぞれが橈骨動脈、尺骨動脈になる変異が約10%の症例で認められる。

いずれの動脈も、筋膜下の深いところを走行している。手関節部近傍で橈骨動脈、肘部で上腕動脈の拍動を触知でき血管走行を確認できるが、それ以外の部では触診のみではその位置はわかりにくい。

図4bに示すのは、VA造設には直接用いることとはない動脈で、上腕および前腕の動脈血流を連結している肘周囲動脈網である。この動脈網が存在するため、上腕／橈骨／尺骨動脈など上肢動脈本幹のいずれかの部位の流れが途絶しても、複数存在する側副血行路が上腕-前腕、前腕橈側-前腕

5 上肢の静脈 (図5, 6)

内シャントを造設する時に用いる上肢の静脈を図5に示す。

前腕／上腕、橈側／尺側、肘正中／前腕正中のそれぞれの部位に皮静脈がある。皮静脈とは表皮真皮の下、皮下脂肪に埋もれる深さに存在し、筋膜よりも浅い位置にある。したがって、駆血して手を握ったり開いたりすると静脈が徐々に拡張し、皮膚上から視診・触診で静脈の走行が確認できる。

上肢の静脈としては、動脈のすぐ両脇を並走する、動脈と同名の深部静脈がある。これは内シャント造設時には用いず、人工血管移植の際に使用することがある。

6 内シャントの構造

ここまでは、内シャントの構造を理解するために必要な、動脈と静脈の血管壁構造の違い、圧較差、走行する深さの違いについて述べてきた。ここからは、本論の内シャント構造を説明する。

内シャントとは、上肢の動脈と静脈を皮下で吻

合することにより、深いところを走行する高圧(筋型動脈で120/80mmHg)の動脈血が、皮膚直下の浅いところを走る低圧(静脈で10mmHg)で血管壁が柔軟な静脈に流入することによって、多数の静脈ネットワークを形成している状態のことをいう。1966年、Brescia, Cimino, Appelらによって世界ではじめて報告された内シャント造設術の原法は、手関節部で橈骨動脈と橈側皮静脈を側側吻合するものであったが⁴⁾、1968年にはLarsが橈骨動脈と橈側皮静脈の側端吻合の内シャント造設術の発表をしており⁵⁾、この術式が今日まで最も標準的な内シャントとして使用されてきている。その他の動静脈の組み合わせとしては、尺骨動脈と尺側皮静脈、橈骨動脈あるいは上腕動脈と肘正中皮静脈を吻合することもある。

内シャント血流量≒上腕動脈血流量は、少なければ200mL/min以下、多いと2,000mL/min以上になることがある。内シャントは前述のように非生理的血行動態であるがゆえに、特に静脈にはシェアストレスがかかり、血管内膜肥厚による血

管内腔狭小化、あるいは血管壁菲薄化・脆弱化による血管瘤形成が発生することはまれでない。その機能形態の評価には、本書のメインテーマであるVA超音波検査が有効である。

参考文献

- 1) 大谷 修, 堀尾嘉幸: II 循環器. カラー図解人体の正常構造と機能(坂井建雄, 河原克雅総編集). 第2版, 日本医事新報社, 2012.
- 2) 日本脈管学会編: 脈管専門医のための臨床脈管学. メディカルトリビューン, 2010.
- 3) 廣谷紗千子: AVF—標準的AVF作製. バスキュラーアクセス治療学(大平整爾監修, 春口洋昭編集). 中外医学社, 2013.
- 4) Brescia, M.J., Cimino, J.E., Appel, K., et al.: Chronic hemodialysis using venipuncture and a surgically created arteriovenous fistula. *N. Engl. J. Med.*, **275**: 1089 ~ 1092, 1966.
- 5) Röhl, L., Franz, H.E., Möhring, K., et al.: Direct arteriovenous fistula for hemodialysis. *Scand. J. Urol. Nephrol.*, **2**: 191 ~ 195, 1968.

(廣谷紗千子)