

## 人体循環における静脈系の役割

† 智原栄一

明治鍼灸大学 麻酔科学教室

**要旨：**循環は生体維持に不可欠である。しかし、静脈系の役割は重要でありながら注目されることが少ない。心筋は収縮前の筋肉長に応じて収縮力が増すのでポンプとしての心臓機能を維持するためには拡張期に静脈からの血液が十分還ってくる必要がある。定量的モデルとして現わすには、循環血液量と静脈血管の緊張度によって左右される静脈還流の程度(前負荷)と動脈血管の抵抗(後負荷)及び心機能に応じた平衡点で右心房の圧力と心拍出量が決定されるというガイTONの循環モデルが有効である。成人において循環血液量は体重の約13分の1であるがその7割弱が静脈をはじめとする低圧系の血管に貯留している。心臓より低い位置にあるこれらの血液は重力に打ち勝って心臓へ還らなければならず、細く絞り込まれた下肢や筋肉ポンプなど動物に応じた形でさまざまな生理・解剖学的適応が発達してきた。心臓へ還る血液を一時的にプールするのは下肢血管だけでなく腹部内臓の血管床が重要であり、この部分の血管拡張は心臓の拡張期の充満量を低下させる。また、静脈への輸液により循環血液量は増えるが、直ちに尿として排泄されたり毛細血管から水分として血管外組織に漏出するので血液としての増加分は2-3割程度であることを計算に入れて循環管理を行う必要がある。ヒトは四足動物ほど下肢の構造が静脈うっ滞に耐性でないため、健康人であっても一日の後半ではある程度下肢の皮下水分と血液量の偏りが見られる。これらの周期的変動は生体インピーダンス法で観察でき鍼灸医学への応用も考えられる。

### はじめに

循環器疾患が増加している現代において、人々が血管としてイメージするのはコレステロールが貯まり硬くなった動脈血管であろうか。一般に言う血圧とは上腕動脈で代表される動脈血管の圧力である。血圧の上下を動脈のみと関連付けて考えよう人が医療関係者にも多いが、著者自身も医学生の時には「要するに循環器といえば心臓と動脈系。」と思っていた一人である。静脈系の循環における重要性に気づいたのは麻酔科医師として実際の患者さんでの循環管理を担当し始めてからである。一方、静脈のうっ滞などは東洋医学の瘀血などとも深い関係を持ち鍼灸医学においても静脈系の理解は重要であると考えられる。本稿では静脈系が循環生理学の中でどのような役割を果たしているのかを著者自身の実験にも触れながら紹介したい。

### I. ハーヴェイと静脈

William Harvey (英, 1578-1657) は『動物における心臓と血液の運動に関する解剖学的研究(1628)』によって血液循環の概念を確立し、静脈系と動脈系を解剖学的に連続した一つの系として理解することを可能にした<sup>1)</sup>。それまで血液とはむしろ静脈血中心であった。動脈は拍動するがゆえに古くは空気が入っていると理解されており中身が体液であることが知られた後も静脈と別のもので理解されていた。静脈血と動脈血は色も含まれるものも大きく異なり半ば独立したかのように考えられており、ガレノス以来の心室間の見えない交通によってある種の交流が行われていると考えられていた。今の人たちは血液が循環することにさほど疑問を感じないかもしれないが、毛細血管が解剖学的に確認されるより(目に見える連絡路として確認されるより)も前に静脈と動脈がつながり同じ物質が、もちろん酸素含量など多くの成分は変化しながらであるが、循環せねばならないことを論理的に結論付けたハーヴェイの洞察

Key Words : 静脈系 venous system, 前負荷 preload, 循環血液量 circulating blood volume, 重力 gravity, 生体インピーダンス bioimpedance

† 連絡先 : 〒629-0392 京都府船井郡日吉町保野田ヒノ谷6  
Tel: 0771-72-1181 Fax: 0771-72-0326

明治鍼灸大学 麻酔科学教室  
e-mail:e\_chihara@muom.meiji-u.ac.jp



は歴史的意義を持つものである。<sup>2)</sup>

動脈に見られる拍動はもちろん静脈内の血液が流れる力も心臓のポンプに由来することはハーベイの血液循環から導かれるが、静脈は動脈のように単なる導管と割り切れない性質を持っている。静脈は日常体験からも分かるように血管壁が薄く多くの血液を貯めて膨らみ単純に受け取った血流をそのまますぐに心臓に返してはくれない。動脈が底の見える浅瀬をほとぼしる沢の急流だとすれば、静脈は河口近くの淀みにも似て目を凝らさねばどちらが下流なのか分からない流れにたとえられるかもしれない。そして循環の唯一の駆動力といえる心臓ポンプはこの静脈からの返血がなければ実際には働かない。

## II. ポンプとしての心臓

心臓はポンプと形容されるが、収縮期に心筋がぐっと縮んで勢い良く動脈から血液が噴き出すイメージであろうか。しかし、血液が噴出し続けるためには毎収縮前に十分な血液が心室内に流れ込んでおかねばならない。例えば浴槽の残り水を汲み出す電気モーターであれば陰圧で必要な容積を引き込むが、心臓ポンプには実質的な吸引力は無い。左心室は肺循環からの血液を受けるので自身の右心室の駆出力が肺を通して伝えられるが右心室は体全体の静脈から低い圧で還ってくる血液で

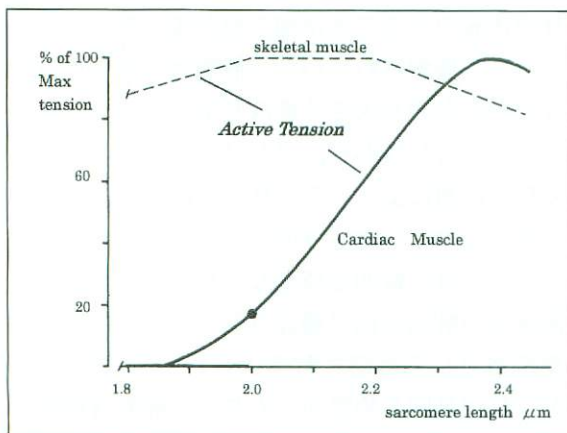


図1縦軸：等長性収縮での筋繊維の相対的収縮力を最大収縮力に対する割合(%)で示した。横軸：サルコメア長( $\mu\text{m}$ )。骨格筋(点線)はサルコメア長が2.0-2.2 $\mu\text{m}$ にプレストレッチされている状態で最大収縮力を示すのに比して、心筋(実線)は右上がりのグラフとなり収縮前に伸ばされた状態のほうがより大きな収縮力を発生することが分かる。(Honig CR<sup>3)</sup>より改変)

表 1

血液の分布	%
心臓	7
大動脈～細動脈	15
毛細血管	5
細静脈～大静脈	64
肺血管	9

充滿する必要がある(話を単純にするための心房や下肢の筋ポンプの役割は省略している)。拡張期に返血により心臓を膨らませる静脈系の圧の総体を前負荷と称し、心拍出量の制御には重要な概念である。

拡張期の膨らみが心拍出量にとって不可欠な理由は以下に示す心筋の性状によっている。心筋は骨格筋と同様にアクチン・ミオシンの相互作用により筋収縮を行う。骨格筋においては収縮前のサルコメアの長さが2.0 $\mu\text{m}$ くらいが張力を発生するのに最適でそれより短すぎても長すぎても発生張力は低下する。一方心筋では図1に示すように1.8から2.4 $\mu\text{m}$ の範囲では収縮前のサルコメア長にほぼ比例して発生張力が大きくなる。<sup>3)</sup>これが拡張終期容量が大きいほど大きな心室内圧を生むという心臓独自の(収縮時の)容積-圧力関係を生み出す。大雑把に言えばたくさん血が還ってくる時には強く収縮して勢い良く血液を全身に配分し、還ってくる血が少なく収縮前に心臓が大して膨らんでいないときは少しだけ駆出するということである。(実際の生体では一回の拍出量が低下すれば心拍数を増加させて代償しようとする反射が働く。)

## III. 静脈還流と循環血液量

体循環の静脈からの返血は右心房に先ず貯えられる。心室の収縮はその血をくみ出すのでポンプとして多く汲み出すほど右心房の血の貯まりは減り右心房圧は落ちることになる。健常の心臓であれば還ってきた血液は効率よく汲み出されるので右心房圧はほぼ0に近いことになる。"体循環を巡って静脈から右心房に多く血が還ってくれば右心房圧は上がり、それを心臓が多く駆出すれば右心房圧は下がる。駆出された血液は体循環を巡るから出血が無ければ結局静脈系から右心房に還ってき



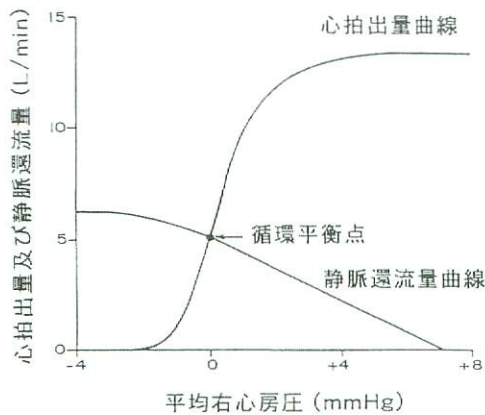
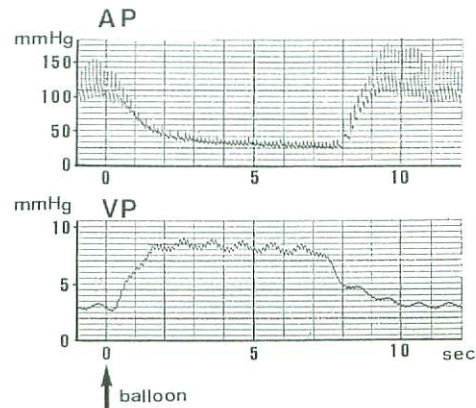


図2：心臓は静脈系と動脈系の連絡ポイントであるので、時間当たりに静脈から心臓へ流れ込む血液（静脈還流量）と動脈へ駆出される血液（心拍出量）は同じ値になる。ガイトンらが行った右心バイパスを用いた実験で個々に決定された心拍出量曲線と静脈還流曲線を同一座標軸にプロットすることで平衡点が決定される。<sup>4)</sup>

て右心房圧を上げる。”とまさに循環構造になっている。この時の平衡状態を定量的に扱えるように静脈還流曲線と心拍出量曲線をいったん独立させその交点で平衡状態を表すことでさまざまな病態を記述しやすくしたのが1950年代のガイトンの仕事である<sup>4)</sup> (図2)。それぞれの曲線がどのような要因で変化するかを理解すれば新しい病態での循環の平衡点が見出せる。簡略に言えば心機能曲線は心筋の能力と駆出時の抵抗となる動脈血管抵抗(後負荷)によって決定され、もう一方の静脈還流曲線は循環血液量と静脈血管壁の緊張度などの性状に左右される。

成人の循環血液量はおよそ体重の13分の1である。65kgの人であれば約5リットルの血液を保持しているということである。この5リットルが全身の血管系にどのように分布しているかは表1<sup>5)</sup>に示すようである。組織内の毛細血管から集められた血が細静脈から静脈へと流出するがこのあたりの血管内圧は20mmHg以下と低く、巨視的にも水を貯めた皮袋のようなもので手で押さえれば簡単に圧平し得るものである。このペタンとした感じが多くの血液を貯められることの裏返しであり循環血液量の65%がこの静脈血管に貯留されている。静脈系は低圧であるが少しの圧変化で容積は大きく変動するので容量血管と呼ばれる。一方断面積が小さいため容積への影響は少な



$$Pms = VPP + K(FAP - VPP)$$

VPP : venous plateau pressure

FAP : final arterial pressure

K : ratio of arterial to venous compliance

図3：ラットの右心房にバルーンカテーテルを入れて心房を一時的(約8秒間)に閉塞させて循環停止を行い腹部大動脈圧(上段AP)と総頸静脈(下段VP)を同時に記録した(自験例)。繰り返し実験を行うため、動静脈の圧が完全に一致するほど長く待てないため、それぞれのプラトー圧と両血管系のコンプライアンス比から平均循環充満圧を算出する。<sup>6)</sup>

いが流れやすさ(抵抗)と圧力が体全体に影響する動脈は抵抗血管と呼ばれる。

心臓が停止した時血圧はどのように変化するか想像していただきたい。血圧は低下し拍動は無くなってしまうがゼロになるわけではない。動脈・毛細血管・静脈からなる血管系という容器に5リットル程度の血液が閉じ込められており循環が停止しても充満圧が存在する。この充満圧は通常は血管の緊張度であればおよそ8mmHg程度である。<sup>6)</sup> (図3) 容量血管である静脈に血液がこの程度の圧で貯められており心臓が動けば此処から血液が動脈側へ汲み出されて弾力の高い血管に分布し、汲みだされた血液の分だけは静脈側の圧は低下する。静脈系の緊張が(たとえば交感神経系の賦活などで)高まれば同じ血液量でも充満圧は高まりより心臓へ血液は返血されやすくなり心筋が正常に機能すれば心拍出量は増加する。心拍出量が高まれば動脈側の血液量が増加し静脈側の充満圧は低下し適当な平衡点で落ち着くことになる。このように心臓が拍動している時の末梢静脈圧は血液量に対する充満圧と心筋機能に依存した心拍出量に関係した部分があるので心停止状態でない



限り血液の溜まり具合を静脈圧から推測することは困難である。このあたりがヒトを対象とする臨床医学において循環血液量や静脈系の性質が議論しにくい原因である。しかし動物実験の場合は循環血液量を変化させるたびに心臓を一時停止させ静脈圧の上昇プラトー値を求め容量血管系の圧-容量関係を算出することができ、様々な病態における静脈系の性状が明らかにされてきた。

#### IV. ヒト・ヘビ・カモシカ

静脈血液量の変動が心拍出量へ影響を与えるのは決して病的な特殊状況だけではない。われわれの循環系は重力という厄介なストレスと日々戦っており、この重力の影響をもっとも受けやすいのが低圧系である静脈血管系である。身近な例では、小学校などの朝の集会で立ったまま校長先生の話聞いて立ちくらみを起こす学童が昔からいたものである。俗に貧血というのが正確には起立性低血圧である。血管を血液で満ちた容器と考えると立位においてその重心はおよそみぞおちの少し下あたりで総血液量の70%が心臓より下に位置することになる。両脚と腹部内臓からなる下半身の静脈壁には血液を循環させる圧に加え心臓より低い分の静水圧(重力が作り出す圧)がかかるため外側からの圧力が無ければ容易に多くの血液が貯留

してしまふ。われわれが簡単に立ちくらみを起こさないのは ①血管周囲の筋肉収縮で血液を搾り出す筋肉ポンプが働くこと、②その血が下方に逆流しないための静脈弁が存在すること、③静脈の血管壁平滑筋が交感神経の働きにより緊張を増すこと、という3つの働きが無意識的に働いているためである。しかし、③の交感神経の働きは個人差もあり"校長先生の話"が長くなる間に緊張が保てなくなり心臓へ還る血液量が低下し、血圧が低くなり脳血流が不足して目の前が真っ暗になったりするわけである。交感神経がうまく静脈壁の緊張を保つことによってわれわれは寝たり座ったり立ったりと自由に行動できるわけである。

このような重力への生理学的対応は生物が水中から陸上へと住処が変わるに従い備わっていったと考えられている。このあたりの事情を理解するには動物学者のLillywhiteが生息圏の異なる3種のヘビを用いて行った有名な実験がある(図4)。第一のタイプは海中にいるウミヘビ(ウミヘビには魚類と爬虫類の両方があり、ここでいうのはたとえばイイジマウミヘビのような爬虫類)、第二のタイプはいつも地上を這いたまに鎌首を持ち上げるマムシのような種類、第三番目は樹上生活を基本とするタイプでよく知られたアオダイショウなどもこのグループである。まず体型を見ると一番スマートでしまっているのが樹上タイプでずん胴な感じなのが地上タイプで特徴が無いのが海中型である。解剖してみると心臓の位置が体の真ん中近くにあるのが海中型で頭部に最も近いのが樹上タイプである。樹上タイプは木を上る時は体が垂直になるわけでこんな時でも血液が効率よく脳へ送れるように心臓が頭部近くに位置していると考えられている。海中にいるタイプは上下左右さまざまな体位を取るが体を包む静水圧が血液にかかる重力の影響を打ち消すため血液分布の偏りが生まれず、心臓は血液の分布中心辺りに位置するのが合理的といえる。

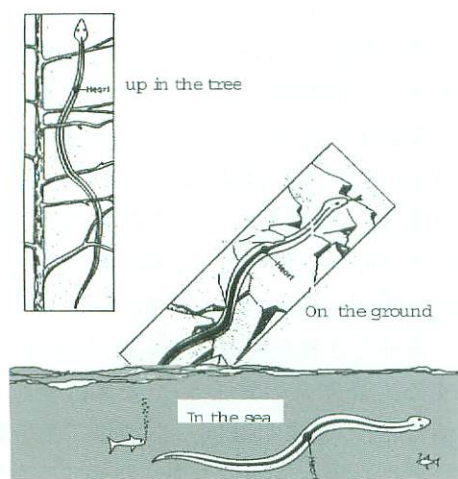


図4：ヘビは生息場所に応じて循環系を含めた身体的適応をしている。四肢がない分心臓と血管分布の関係が分かりやすいともいえる。樹上で生活するものは引き縮まった体躯と頭部に近い位置に心臓を持つが、海中にいるものは重力の影響を受けず体のほぼ中心に心臓が位置している。(Lillywhite1988<sup>7)</sup>を参考に作成)

Lillywhiteらはさらにこれらのヘビをガラスの筒に入れて固定し、頸動脈の血圧をモニターしながら筒ごと水平から垂直までのいろいろな体位にして、それに対する反応を実験している。樹上生活のヘビは日ごろから逆さにぶら下がったり木を登ったりしているので当然ながらこのような体位変換に対して血圧はほぼ恒常性を保つことができ



る。彼らの細く締まった体は下半身に血液が貯留することを防ぐのである。ところが海中にいるヘビはガラスの筒の中では日ごろ体を外から押さえてくれた水圧が無いとため心臓より下方になった部分に血液がたまってしまい前負荷が減少して極端な低心拍出量状態となり失神状態におちいってしまう。地上型のヘビはしばらくは垂直でも大丈夫であるが時間が長くなると徐々に血圧が低下するという中間の反応を示す。<sup>7)</sup>

よくカモシカのようにすらっと伸びた足というが、本当の鹿たちは木の枝のように細い下肢をしている。筋肉は尻と肩に当たる体幹部分にしっかりとついていて体幹より下の部分の皮膚は堅くしまりついて皮下に血液や水が溜まること無い。長時間立ち続けようと血液が四肢にたまって静脈還流量が低下したりはしない。われわれの下肢といえば大腿や膝下にも筋肉があり皮膚もそれほど堅くないので静脈圧が高くなれば血液や水が皮下に溜まり得る構造をしている。というわけで何の工夫も無くぼやっとたちんぼうを続けていれば血圧が下がりいわゆる立ちくらみを起こすのである。



図5 Cocktail Party Position：立食パーティなどの長時間の立位において下肢のむくみを減らし立ちくらみを起こさないためには、足全体を交差気味にして筋・皮膚共にある程度の緊張が続くことが好ましい。

時々足踏みをすると筋肉が静脈をマッサージして心臓に血液が返りやすくしてくれるし、また図5のように脚を少し交差させ自然に筋緊張を高めておくと皮膚も締まり血液貯留を起こしにくい。この足の形は外国に多い立食パーティなどで有効なポーズでありcocktail party position という名前までついている。クラシックバレエでは似たような脚の姿勢を5番の足型と言ひ基本姿勢のひとつであることをご存知かもしれない。多くのバレエダンサーはプリマが中央で踊る間姿勢を変えず立ち続けねばならず自然と工夫された姿勢なのかもしれない。

### V. 腹部内臓血管床

下肢の静脈うっ滞は直観的に理解されやすいと考えられるが、隠れた血液プールとして忘れてならないのが腹部内臓血管床である。食物を消化する作業は目に見えないが一日のかなりの時間を占めており平均すれば心拍出量の25%程度は腹部臓器に振り分けられていて、循環血液量の20から25%は腹部に分布している。<sup>8)</sup> これらの門脈流域の血管は静脈型の容量系血管であるが、循環血液量が低下した際には交感神経の緊張により血液を心臓へ向けて搾り出す貴重な血液リザーバーである。

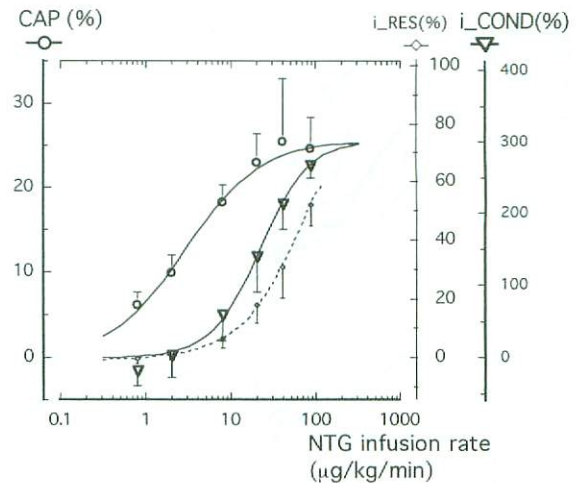


図6：血管拡張薬のニトログリセリンに対するイヌ腹部血管床のCapacitance (容量)とConductance (コンダクタンス：抵抗の逆数で流れやすさの大きさ)の相対的变化を横軸のニトログリセリン投与濃度に対して表したもの。横軸は対数軸である。○Capacitanceのグラフが▽Conductanceより左方にあるので、濃度上昇とともに起こる血管拡張が静脈側から優位に起こり抵抗血管への作用より10倍程度早いことが読み取れる。<sup>9)</sup>



著者はカナダ留学中に大型犬であるシベリアンハスキーを用いて血管拡張薬のひとつであるニトログリセリンがこの腹部内臓血管床の容量と抵抗をどのように変化させるかを研究した。ニトログリセリンは血管拡張薬でも静脈系への作用が強いとされているが、実験によって有意な血管抵抗低下に先立って血液貯留が生じることが明らかとなり、治療薬としては心臓への後負荷よりも前負荷軽減となることが示された(図6)。<sup>9)</sup> さらにこの腹部内臓血管への血液量の増加と左心室の拡張終期圧の低下にはしっかりとした相関があり、心不全などで心臓への返血分を十分駆出できない時のニトログリセリン治療的使用の実験的裏づけが明らかとなった(図7)。これらの結果は、逆に腹部内臓などの異状により血液が門脈流域にうっ滞した場合には直ちに心臓の前負荷減少による低心拍出量状態に陥ることを意味しており、東洋医学で腹部所見と全身状態を関連付けることの医学的な背景となっている可能性のひとつである。

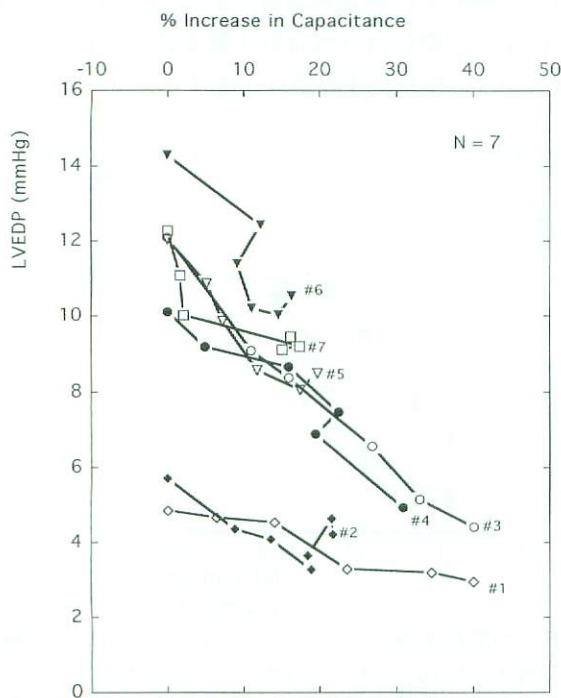


図7：図6と同じ実験でニトログリセリンにより内臓血管の容量の増加に応じて左心室拡張終期圧がどの個体でも低下していくことが示されている(自験例)。ニトログリセリン投与により心臓の前負荷が減少するメカニズムとして内臓血管床の血液貯留があることが分る。

## VI. 輸液と循環血液量

循環血液量の増減を考える時誤解しやすい点は静脈内に入れたものは全て血管内容積として残るわけでないということである。循環系で動脈と静脈は組織での毛細血管によって連絡されているがこの毛細血管は物質交換のためきわめて管壁が薄く広大な血管断面積を持つ血管床である。毛細血管レベルでは血管内と血管外の水や電解質は自由に行き来ができる。それであれば圧がかかって流れ込んだ水がすべて血管外へと漏れ出てしまいそうであるが、アルブミンなどの巨大分子(電解質と比較して巨大なのだが)が血管内部にありこれが膠質浸透圧を作り水を血管内に引き付け保持しており適当なバランスを保っている。静脈内に投与された生理食塩水は毛細血管からある程度漏れ出て細胞外液と血液の両方が増加することになる、細胞外液の余分はリンパ液として結局は静脈系に戻ってくるがそれは静脈系の圧の様子を見ながらということになる。心拍出量の20%は腎血流となり余分の水分は尿として体外に排出される。図8はラットの赤血球を放射性同位元素でラベルすることで経時的に測定しながら輸液を行った時の推移を示している。輸液に伴い心拍出量を反映した腎血流の増加により尿量が増えると共に血管外への移動も同時に始まるので血液として増量するの

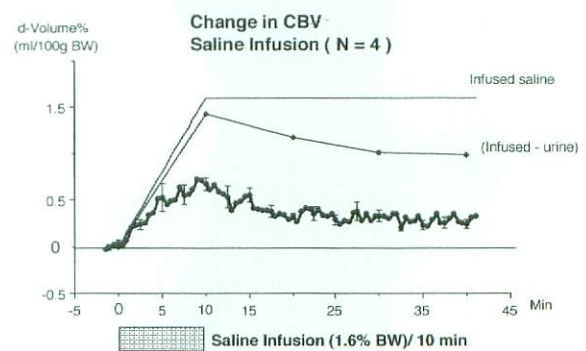


図8：ラットの体重の1.6%にあたる生理食塩水を静脈内投与した際の循環血液量の推移を放射性同位元素で赤血球をラベルすることで経時的に追跡した(自験例)。実線は上から、投与した生理食塩水がすべて静脈内に残存するとした際の血液量 (infused saline)。2番目は実測された尿量を差し引いて血管内に残存する上限量 (infused - urine)。循環血液量 (CBV: circulating blood volume) の実測データが一番下のグラフになる。静脈投与しても投与後30分で約4割は尿として体外に排出され、残ったものの4割程度(最初の投与量の2から3割)しか血管内には保たれない。



は輸液した分の約2から3割にしか過ぎない。血液量増加の観点からは輸液の効率として悪いように思えるかもしれないが、臨床的には輸液した分がそのまま心臓への負担にならないおかげで安心して輸液負荷できるという見方もできる。さらに、いったん増えた血液量に対して静脈系の血管はその壁張力や血液分布の調整を行い血管内圧を緩やかに低下させてそれらの余分の血液を保持し易くする性質があることも実験的に示されている。<sup>10)</sup> 逆に出血が起こった場合出血した分だけの循環血液量の減少が実際に起こるのではなく水分が血管外の間質から血管内に補給され心臓へ還る血液が一気に減らないよう緩衝している。出血を補う時にはこれらを考え晶質液（アルブミンなどの蛋白を含まない体液に近い電解質液）であれば出血量の少なくとも倍の量を投与するが、これは血管内だけでなく一時的に移動した間質の水分量を補う意味もあるわけである。

Ⅶ. 生体インピーダンスで見る下肢のむくみ

普通の生活では常に下肢の筋肉の運動を繰り返したり、前述のようなバレエダンサーのような足組みをしたりあるいは一日中寝転んだりしているわけでは無いので、下肢の静脈にはいつも静水圧がかかりじわじわと水分漏出が起こっている。よく立ち仕事を一日していると夕方には靴がきつくなる由縁である。皮下の水分（静脈の血液や血管外に滲みだした水分）が増加すると生体の電気抵抗（実際には高周波電流で測定するのでインピーダンスである）が低下する。これは市販の体脂肪測定器を利用して比較的簡単に測定できる。われわれは以前人工心肺による手術後の浮腫傾向がこの生体インピーダンスを測定することで追跡でき、その回復の度合いと予後に関連があることを報告した<sup>11)</sup> が、健康な人においてもこのインピーダンスは目に見えて変動を示している。図9は両下肢の生体インピーダンスの日内変動を数日にわたって記録したものである。一日働いて帰宅するとかなり足がむくみ、夜眠っている間に水分分布が元に戻り下肢のインピーダンスが高くなるという周期的な動きを示していることがわかる。<sup>12)</sup> この変動は一日中臥床していたり、スペースシャトルのように重力から開放されると無くなることが知られている。通常的生活では重力によりいつも血液

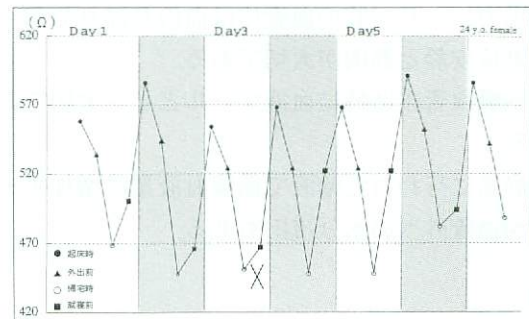


図9：市販の体脂肪測定器を利用して下肢の生体インピーダンスの日内変動と一週間の経日変化を同一被験者(20代女性、企業勤務者)で追跡したもの。外出から帰宅までの活動時に下肢への血液・水分貯留が起こるためインピーダンス値は大きく低下し、夜横になって就寝している間に前日の起床時と同レベルまで値が上昇する。<sup>12)</sup>

は体の下半分にたまりやすくなっていて生体はこれに対抗して交感神経系を緊張させる鍛錬を日々繰り返しているといえる。健康な人でも少し体調を崩して数日横になってしまうと次に立ち上がる時には立ちくらみが起き易くなる。(スペースシャトルの隊員は、当初は特別な対策を採らなかったこともあり地球に帰ってくるとしばらくまともに生活できなかつたと言われている。) 逆に立位の活動を一日中していたら交感神経は緊張をずっと強いられることになってしまうわけで、無理な徹夜作業などで翌日体がだるかったり足のむくみがあったりすることは交感神経系を含めて体にかかる負担の現れである。夜横になってゆっくり休むことで(下肢と心臓の高さの差がなくなり)下肢に溜まった血液や水分を心肺周辺を中心循環系へ戻す作業は循環系の健康の上でも大変重要であることがわかる。非侵襲的な生体インピーダンス測定に反映される下肢などの皮下水分の変動は生体内の循環血液量の体内分布の変動を間接的に示している。一方、四肢などのむくみや静脈うっ滞などは東洋医学的にも意味のあるサインであり双方の関係を医学的に明らかにすることは今後の課題であろう。

以上本稿で述べてきた循環生理学から見た静脈系の役割をまとめると、以下のようである。

1. 心拍出量を保つためには静脈系の張り（前負荷）を保つことが重要である。



2. 静脈系は懐の深い貯水槽である。(容量血管)
3. 重力により下肢の血管には血液が滞りやすく臥位安静と筋肉が大切である。
4. 内臓血管床は特に血液プールとして大切である。
5. 静脈に行われた輸液で循環血液量は増加するが血管外への水分流出もある。

## 謝 辞

著者は京都府立医科大学麻酔学教室において周術期の循環管理を学び、大学院生時代には臨床における疑問を少しでも解決するために動物実験を第一生理学教室の指導下において行いました。そのような機会に病院や実験室などにおいて多くの先輩や教官の指導をいただきました。この場を借りて心より感謝を申し上げます。特に京都府立医大麻酔学教室田中義文教授、第一生理学教室(元)教授森本武利教授には一方ならないご指導を賜りました。また、カナダCalgary大学循環生理学教室JVTyberg教授には滞在中大変有意義な議論とニトログリセリン関係の実験でのご指導をいただきました。重ねて感謝申し上げます。

- 7) Lillywhite, HB: Snakes, blood circulation and gravity. *Sci.Am* (Dec.), 92-98, 1988
- 8) Smith JS and Kampine JP: 特殊部位への循環(小林明芳 訳). 村松準 監訳: 循環の生理第二版, 医学書院, 東京, pp220-222, 1989
- 9) Chihara E, Manyari DE, Isaac DL, Tyberg JV: Comparative effects of nitroglycerin on intestinal capacitance and conductance. *Can J Cardiol* 18(2) 165-176 2002
- 10) Chihara E, Morimoto T, Shigemi K, et al: Vascular viscoelasticity of perfused rat hind-quarters. *American Journal of Physiology* 260(Heart Circ Physiol.29) H1834-H1840, 1991
- 11) Shime N, Ashida H, Chihara E, et al: Bioelectrical impedance analysis for assessment of severity of illness in pediatric patients after heart surgery. *Crit Care Med* 30(3) 518-520 2002
- 12) 智原栄一, 梅内貴子, 田村美恵, 志馬伸朗: 静脈圧の変化が下肢生体インピーダンス測定に与える影響について. *体液・代謝管理* 18: 41-45, 2002

## 参考文献

- 1) 川喜田愛郎: 序章 近代医学の出発点4 ウィリアム・ハーベィとその業績. 近代医学の史的基盤上, 岩波書店, 東京pp12-23, 1977年
- 2) 中村禎里: 血液循環の発見(岩波新書青992), 岩波書店, 東京, 1977年
- 3) Honig CR: Cardiac Mechanics (Chapt 1) *Modern cardiovascular Physiology* 2nd ed. Little, Brown and Company, Boston, p6, 1988
- 4) Guyton AC: Cardiac Output, Venous return, and their regulation(Chapt23). In *Textbook of Medical Physiology* 7th ed., WBSaunders, Philadelphia, pp278-283, 1986
- 5) Guyton AC: The systemic circulation (Chapt. 19). In *Textbook of Medical Physiology* 7th ed. , WBSaunders 1986, Philadelphia, p218, 1986
- 6) Chihara E, Hashimoto S, Kinoshita T, et al: Elevated mean systemic filling pressure due to intermittent positive-pressure ventilation. *American Journal of Physiology* 262(Heart Circ. Physiol,31) H1116-H1121, 1992



## What role does the venous system play in human circulation?

†Chihara Eiichi M.D., PhD.

*Department of Anesthesiology, Meiji University of Oriental Medicine*

### Abstract

Sufficient end-diastolic distension is necessary for the heart to output good amount of arterial blood to each organ. Guyton presented a graphical model to calculate right atrial pressure balancing venous return curve and cardiac output curve. The venous return curve is determined by venous vascular tonus and the amount held in the blood reservoir, whereas the cardiac output curve depends on myocardial performance and arterial resistance. The circulating blood volume is one-thirteenth of human body weight, and about 65% of the blood stays in venous vessels. The relationship between circulating blood volume and venous tonus is expressed as mean circulatory filling pressure, which can be determined only when the cardiac pump is temporarily arrested in animal experiments. As the capacitance vessel can hold a large amount of the blood with low intramural pressure, they are sensitive to increase in hydrostatic pressure. Animals living on land evolutionally developed various kinds of both physiological and anatomical tactics to stabilize circulation against gravity. For example, The hard hide of the horse legs are resistant to gravity-induced edema in subdermal tissue. The visceral vascular bed plays an important role to adjust cardiac preload as well as veins of the lower extremities. Dilating visceral vessels with nitroglycerin is very potent treatment to reduce cardiac overload of the patients in heart failure. It is noteworthy that only 20-30% amount of the electrolyte infused intravenously is left in the blood vessel, while the escaping fluid becomes urine and interstitial fluid. Human lower extremities are susceptible to the venous pressure elevation while standing, so that physiological edema of the legs can be seen in the evening. Bed rest at night helps restoring the fluid distribution to the central circulation, which also helps reducing leg edema. Changes in bioimpedance reflecting subdermal fluid retention can be both physiologically and pathologically to monitor the therapeutic effect on peripheral circulation and venous congestion.

---

† To whom correspondence should be addressed.

Meiji University of Oriental Medicine, Hiyoshi-cho, Funaigun, Kyoto 629-0392, Japan