

体 液 循 環 の 概 念

西 丸 和 義

I ま え が き

自然科学に於ては、或る時を置いてこれまでの知識をまとめ一つの概念が生まれる。

これはその住む時代の知識を総括するだけではなく、自からがその一つ一つをより新しい方法によって検討し、これに自らが発見した事実を加えてまとめあげるものでなければならない。

1931年の冬、ロックフェラー財団のフェローとして、Sir. J. Barcroft の許で Cambridge 大学での研究を終えて、日本への帰途 W. Harvey (1628) が心臓を中心に血液循環を考えたものを、毛細血管から今一度考えて見ようと思った。¹⁾ (第1図)

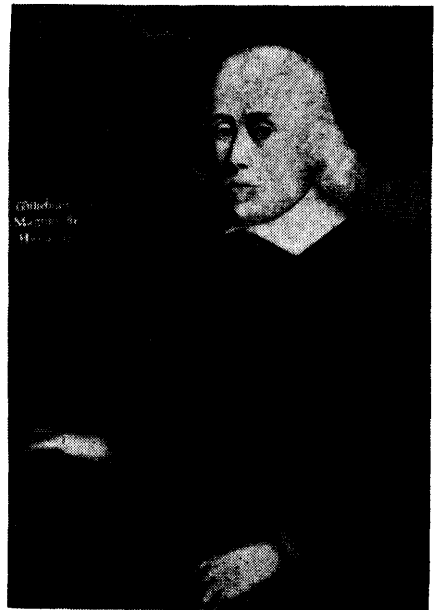
日本に帰ってから多くの共同研究者との実験と思索とが毛細血管、組織間、毛細リンパ管、リンパ管、動脈、静脈、体液と進むにつれて、次の様に血液循環に代わるに体液循環と云う概念が生れるようになった。

II 何が循環するか

体液とは身体内の細胞外の液である

体液についてはギリシヤの Hippocrates (B. C. 460-370) は血液(心臓)、粘液(脳神経)、黄胆汁(肝臓)、黒胆汁(脾臓)の4つに分けて、これが調和をもったものを健康とした。然しここには流れの概念がない。アレキサンドリヤの Erasistratus (B. C. 300-250) は屍体解剖によって体液を血液と Pneuma として、血液は静脈を流れ、Pneuma は動脈及び脳神経系を流れるとした。ここには流れの概念がある。

Harvey (1578-1657) は生体実験から、体液は血液のみで心臓から心臓へ循環するという。即ち循環の概念を得た。²⁾



第1図 William Harvey

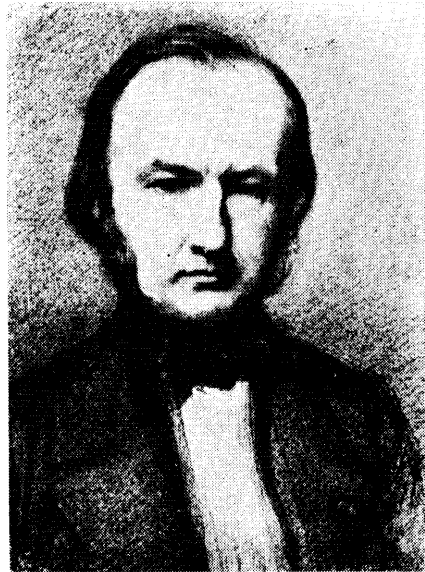
Aselli (1622) が乳糜管を発見して以来 Pequet (フランス)、Rudbeck (スウェーデン)、Joive (イギリス)、Bartholin (ベルギー) 等によって 1650 年頃リンパ管及びリンパ液が発見されて、1873 年フランスの Claude Bernard の “La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre”

即ち内的環境（血液、リンパ液）の物理化学的恒常こそ自由な生命の条件であると言う概念となった。（第 2 図）

然し今日に至るも血液循環と云う概念はあっても、体液（血液、組織液、リンパ液）の循環と云う概念は一般に全くと云えないのみならず、リンパ流は Circulation の概念にないと考えられている。それは組織間、組織腔、リンパ管並にリンパ流についての研究が充分でない事によるのであろう。³⁾

著者等が無脊椎動物の脈管系及びその流れを比較生理学的に追求して見ると、体液循環の概念は自から明らかとなる。即ち開放性脈管をもった動物では内的環境即ち体液が心臓から心臓に流れているのが、哺乳動物、人体に於ては血管と組織間及びリンパ管が隔壁によって血液、組織液、リンパ液と独立しているような概念を与えるから、血液のみが循環すると云う概念が強調されたのであろう。

血管から組織間、組織腔に出た血液はその隔壁 即ち 毛細血管壁を透過し組織代謝のために、組織液としてその成分を異にする、又組織液がリンパ管壁を透過しリンパ管を流れるためリンパ液はその性状を異にするもので、即ち血液も組織液もリンパ液も部位によって其性状を定量的、定性的にも差を有するに至るもので、例えば同一犬の各部の血液、リンパ液、組織液を同時に採集して、その蛋白質量 (P.%) 及び糖量 (G.mg%) を測定して見ると、頸動脈 P 6.6, G 262、頸静脈 P 6.8, G 194、肝静脈 P 6.7, G 427、腎静脈 P 6.7, G 253 脾静脈 P 6.7, G 198、上腸間膜静脈 P 8.4, G 219、下腿静脈 P 6.8, G 188、頸リンパ液 P 3.4, G 169、脳脊髄液 P 0.3, G 119 であった。又リンパ液の蛋白質量 (%) を犬の各部分の体液について測定して多数例を平均して見ると、頸部リンパ液 2.02 (18 例)、肝臓リンパ液 5.23 (5 例)、腎リンパ液 2.74 (20 例)、脾リンパ液 3.92 (13 例)、肺部リンパ液 4.41 (11 例)、腸リンパ液 3.36 (2 例)、骨盤腔内リンパ液 4.0 (5 例)、脚リンパ液 1.43 (2 例) であった (いずれも麻酔下)、即ち蛋白質及糖の量が著しく異なることが知られる。これらは全てその部位の機能にもとづくものであろう。

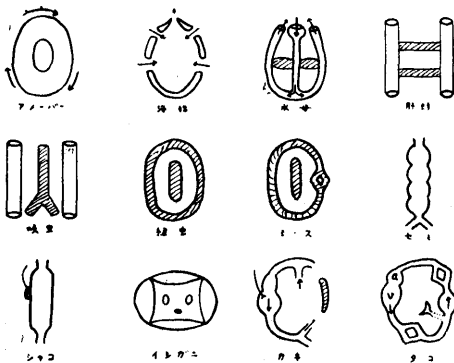


第 2 図 Claude Bernard

組織液はその時の物理、化学的性状によって、毛細血管又は毛細リンパ管へと流入するもので、このものは毛細静脈から静脈を、又リンパ管から静脈を経て再び心臓に還流する。

体液の流れについて比較生理学的に追及して見ると、心臓が出現して、心臓から心臓への循環が行われるようになるのは、第6門の疑軟体動物からであるが、これらは所謂開放性脈管であって、毛細血管は欠除して組織間の結合組織にそって体液流があり、人体における組織間と同様である。また所々に血洞がある。これ亦組織腔に類似であろう。従ってこれらの動物の体液にはその経路による名称の区別がない。これが同じ軟体動物でもタコ、イカに至ると、毛細血管、リンパ管が出現する。従ってその体液をその経路によって区別するなれば、血液、組織液、リンパ液の名称を用いるべきであろう。然しこれは只脈管系に毛細血管及び毛細リンパ管壁による隔壁が出来たに過ぎないものであろう。これが魚類、両棲類例えば蛙になると、リンパ管系はよく進化して、リンパ心臓が出現して、リンパ液の心臓への還流が著明になる。(第3図)

第3図 無脊椎動物の体液流



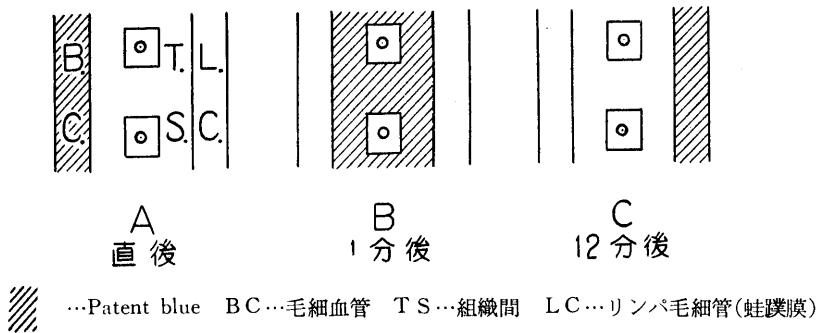
体液はアメーバ、海綿では外液であり、水母では内液で組織腔中にある。肝蛭では組織間隙にあり、吸虫では始めて脈管となる。紐虫では体液は循環し、ミミズでは毛細管が出現する。シヤミセン貝、セミでは心臓が出現する。シヤコでは心臓に神経細胞があつてその自動性に関与する。カニでは開心腔があり、カキ、タコでは副心臓と心臓調節神経が出現する。殊にタコではリンパ管の出現を見る。

蛙では Isayama (1924-1925) が24時間にリンパ心臓を流れるリンパ液は全血量の約250倍であると云う。即ちかなりのリンパ流量があると考えられる。又蛙の蹼膜で正常血行下の毛細血管と、入墨法で見得る様にした毛細リンパ管とを同一視野に観察しつつ 1% Patent blue リンゲル液を其心臓に注入すると、間もなく毛細血管が青くなり、1分後には蹼膜全体に青色が拡がり、12分後には毛細リンパ管にのみ青色が見られ、18—27分後には毛細リンパ管も退色して、リンパ囊中のみ Patent blue が見られる。(第4図)

更に丁字管の一端に墨リンゲル液を充した注射筒をつけ、他部には $\frac{1}{16}$ 皮下針を連

ね、他端にゴム管をつけコックで自由に開閉出来る様にする。この様な注射筒で蛙の蹼膜リンパ囊に墨リンゲル液を注入する事によって蹼膜網状リンパ管にこれを充す。充たし終わったらコックを開けて平圧に戻す。かくて墨リンゲル液がリンパ囊に還流する迄に平均 21秒 (20—23秒) を要したが、22秒間同側の股動脈を圧迫し続けると、此間墨粒子の還流は除々となり還流に 1分15秒を要する様になる。同様な実験で股静脈を圧迫したのでは殆んど変化

第4図 毛細血管→組織間→毛細リンパ管への体液流(Patent blue を心臓に注入)



なくむしろ促進を示す。即ち蛙では明らかに毛細血管→組織間→毛細リンパ管へのかなりの体液流があることが知られる。

然し従来考えられる哺乳動物のリンパ流については、Bollman (1948) 等によってビニール管が用いられるようになって多くの人々によって、部分的には測定されつつあるが、犬の各臓器のリンパ流量は系統的には測定されていない、自分等の系統的な実験成績のうち麻酔下での10分間のリンパ流量は胸管で6cc、右頸リンパ総管で2.2ccであった。

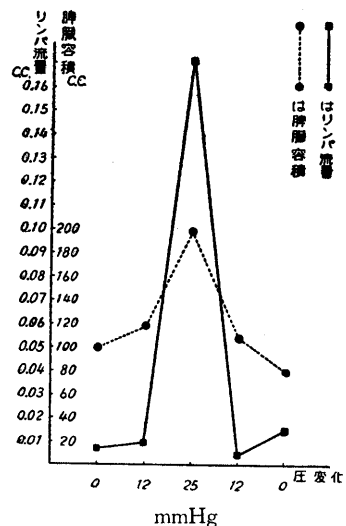
最近 Steggerda⁴⁾は無麻酔下で16時間飢餓にした犬の胸管からのリンパ流量を測定して5分間2.5ccであったと云う。

リンパ流は各器官の機能亢進によって著しく増加することは明かであるから、麻酔下および飢餓安静時のこの量は非常に少いものであろうことは容易に推定される処である。

そこで蛙の腸血管を Ringer-Sozi 液で灌流して、腸リンパ囊に流出する所謂リンパ流量を測定すると、静脈からの流出量の約 $\frac{1}{66}$ 即ち10分間にリンパ流量0.3cc に対し、静脈からの流出量19.5ccであるが、犬の場合は10分間の腸リンパ流量は9.5cc で静脈からの流出量は525ccでその割合は $\frac{1}{65}$ であって蛙の場合と殆んど差がなかった。又色素を血中に注入した場合にそれぞれの器官のリンパ管中に色素が速かに出現して来るのも蛙と犬で同様であった。

尚リンゲル液を血中に注入した場合に各器官からのリンパ流は著しく増加するのが知られる。例えば10kg の犬で100cc のリンゲル液を静脈内

第5図 脾静脈圧変動による脾臓容積およびリンパ流量の変化 (犬10kg)



に注入すると、胸管からのリンパ流は約 2.5 倍に増加する。また脾臓の静脈圧の変動（0→25mmHg）はそのリンパ流量に著しい影響（17倍）を与える。（第 5 図）

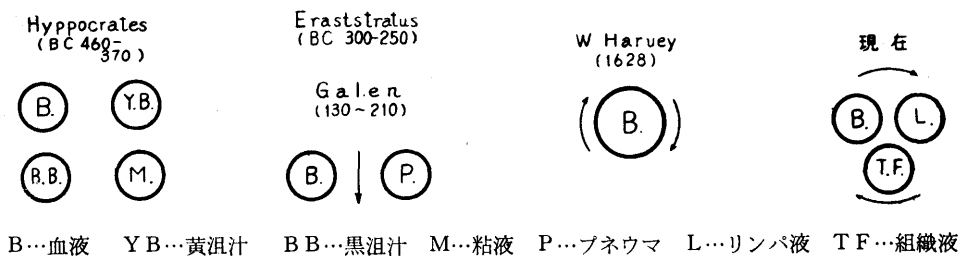
最近 K. W. Kowanow (1954) は洞神経の刺激によって胸管流が 2～4 倍増加することを見た。

W. W. Detrowski (1954) は Vena cava inferior, vena portae の狭窄によって胸管が拡張するのは静脈壁に圧受容体があることによると云う。⁵⁾

また中山 (1961) は 養において心臓からリンパ心臓への神経反射のあることを明かにした。⁶⁾

以上のことは毛細血管から組織間に流れた体液は再び毛細血管に流入する外に、更に毛細リンパ管にも流入してリンパ管を通じて静脈に流入して心臓に還流するいま一つの循環路があることを明らかにするものであって、然もこの二つの流れには神経反射等による相互関係があつたがいに調節を保ちつつあるもので、リンパ流がただ組織に溢れたものを取り去る下水作用又は吸収とする概念よりも、血液、組織液、リンパ液即ち体液は心臓から心臓へ流れると云う概念に置き換えるのが至当であると考ええる。（第 6 図）

第 6 図 体 液 循 環 の 概 念 の 推 移



血液、組織液およびリンパ液についてその組成、毛細血管及びリンパ管壁の透過性並びにその流れについて追及した結果の考察から血液、組織液及びリンパ液の総称である体液が全身を循環すると云う概念が生れる。

■ 血管、リンパ管は只の導管であるか

Harvey (1628) は du motu cordis の中に、心臓の運動および鼓動こそ唯一無二の血液循環の原因であり、動脈は心臓から運び出す血液のための導管であると述べた。しかし先進並に著者等の研究は動脈、毛細血管、毛細リンパ管、リンパ管、静脈は単なる導管ではなく、心臓から駆出された体液を組織に送り、再び心臓に還流するための圧、速度、分配、透過、還流促進、ならびに量の調節機能をもっている。これらの調節は脈管壁の収縮性及び透過性

によるものである。収縮性のうち能動的収縮性は脈管壁の筋組織によるもので、これは物理的、化学的刺激及び脈管運動神経作用によって収縮、拡張が起る。従ってその体液流に及ぼす作用は、壁の筋量と脈管内腔の大きさとの比で大体推定されるであろう。そこでこれを犬の動脈について追及して見、尙これと同様な実験を静脈、リンパ管で行って見ても動脈も静脈もリンパ管も心臓より末梢に至る程、この比筋量が大となる。即ち末梢に行く程能動的収縮性による体液流に及ぼす作用が大であることになる。

受動的収縮性は脈管壁の弾性組織及びその他の組織による伸展性に基因して居るものであって、これは脈管内圧及び外圧によって拡張、収縮するものである。これは能動的収縮とは逆に、動脈及び静脈は心臓に近いもの程その受動的収縮性は大である。

又動脈、静脈、リンパ管のもつ能動的収縮性について比較して見ると能動的収縮性は動脈>静脈>リンパ管であり、受動的収縮性はこの逆でしかもリンパ管、静脈、動脈のいずれも各々の正常体液圧の部で伸展率が最大である。

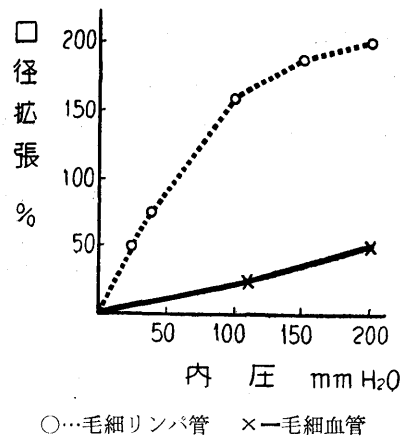
殊に毛細リンパ管の受動的収縮性は一般に著しく大であって、毛細血管に比べて約10倍の伸展性をもっている。然し洞様血管例えば脾髄の毛細血管洞のように、毛細血管でも伸展性の大きなものもある。又毛細動脈の分岐部には筋細胞の集団があって括約的作用をもっている部もある。(第7図)

脈管の筋組織を収縮、拡張させる神経には脈管運動神経がある。これには adrenergic nerve と cholinergic nerve があり、今の処動脈系にはこの二つの神経が認められるが、静脈及びリンパ管系には adrenergic nerve のみが認められる。

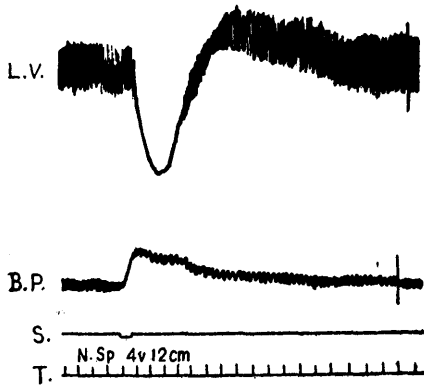
魚類、両棲類、爬虫類等に於ては、リンパ流促進のためにはリンパ心臓がある。然し哺乳類、人体に於ては、リンパ心臓の代りにリンパ節がある。このリンパ節とリンパ流との関係については明らかでなかったが、このリンパ節の筋量を測って見ると、例えば周期的収縮の盛んに起る犬の脾臓と腋窩リンパ節との比筋量(筋量/面積)の比は大体 2 : 1 の割合であるのみならず、このリンパ節を Oncometer に入れて、内臓神経の刺激、BaCl₂ 等によって周期的容積の変化(13秒)を測定することが出来る。又アドレナリンまたは神経刺激により持続的収縮を見ることも出来る。この筋量はリンパ節の位置が心臓より遠いもの程多い。

静脈とリンパ管には弁があり、静脈では細小静脈、リンパ管でも細小リンパ管にも見られ

第7図 毛細リンパ管と毛細血管との内圧による伸展性の比較(蛙)

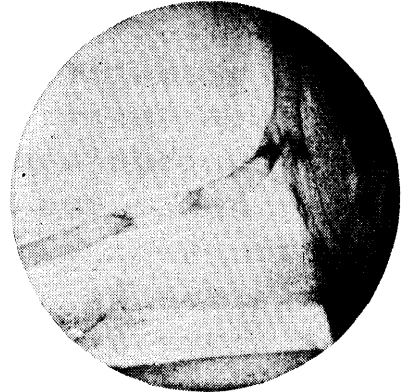


第8図 リンパ節の収縮



犬大内臓神経（左）の刺戟による
腸間膜リンパ節の収縮
T…時間6秒，S…左大内臓神経刺戟
B.P…頸動脈圧88→110（mmHg）
L.V.リンパ節容積の減少（0.33cc）

第9図 腸間膜に於ける細小静脈
（口径 145μ ）の弁（猫）



細小静脈口径 $50\sim 200\mu$ のものに
於て弁の密度は大である。

るが、一般に弁の密度は下肢>上肢>頭頸部>腹腔内であって、即ち心臓より遠いものに多い。殊に静脈では深部のものより表在のものに弁は多く、又上下大静脈では他の静脈との合流部にある。（第8図、第9図）

リンパ管では一般に弁は上肢、下肢の末梢ほど密であって、胸管では上下両部に密で中部には疎である。又関節の直下の部及びリンパ節の輸入管は密度が大である。

これらのことは静脈、リンパ管内の体液を心臓へ向けて還流する上に、脈管自体の収縮殊に周期的収縮により、又脈管外の収縮性組織による受動的収縮ことに周期的収縮が重要な役割をするものである。

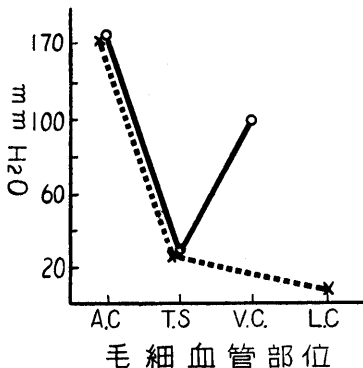
動脈、静脈及びリンパ管には弾性繊維、平滑筋等が其の壁にあって、末梢に至る程その受動的収縮性は減少するも能動的収縮性は増加する。この収縮性と脈管に分布する脈管運動神経によって、大なる動脈では圧調節、大及び中の動脈では速度調節、中及び小の動脈では分配調節を、脾、肝、大静脈、リンパ管網による量調節を、毛細脈管は透過の調節を又静脈及びリンパ管は弁の作用とこれらの脈管壁及びその周囲組織の収縮性による還流調節をする。

血管、リンパ管は只の導管ではなく、体液の流れの上に重要な循環調節機能を有するものである。

Ⅳ 体液循環の末梢は何か

毛細血管と毛細リンパ管壁は透過膜であって水、晶質、高分子および有形成分を透過せしめるが身体部位によってその透過性に差がある。又毛細血管と毛細リンパ管とを比較すれば、毛細リンパ管の透過性は著しく大であり、例えば墨粒子は毛細リンパ管では容易に透過する部分があるが、毛細血管では Congo red 粒子が透過するしないの境である。又これら毛細脈管壁を通じての物質交換量増減に関係する因子としては、毛細脈管壁の透過性を増減するものと、脈管壁によって境された体液間の物理的、化学的性状の差異に基づくものがある。前者には脈管の拡張、収縮によるその壁の伸び縮みによるものと、壁の物理化学的变化によるものがある。後者には水力学的圧差、濃度差、荷電、分圧差、膠質滲透圧差等がある。然し白血球のような大きなものが透過するが如き不明の機転もある。次に体液が組織間に出てからは主として組織内の結合織を流れるが、この他に身体部位例えば肝臓、脳には脈管周囲腔があり、又脳脊髄腔、前眼房の如き組織腔を流れ、器官の間の組織溝をも流れる。而して細胞又はこれを取りまく間質との間に物質交換を行うと考えられる。かくして一部は毛細血管へ、一部は毛細リンパ管へ流入する。この流は毛細血管へは主として膠質滲透圧によって、毛細リンパ管へは水力学的圧差によるもので、例えば毛細動脈圧は 140mm H₂O、組織間圧は 27mm H₂O、毛細静脈圧は 100mm H₂O、毛細リンパ管圧は 7 mm H₂O (蛙) であった。(第10図、第11図)

第10図 毛細血管、組織間、毛細リンパ管の体液圧 (蛙)



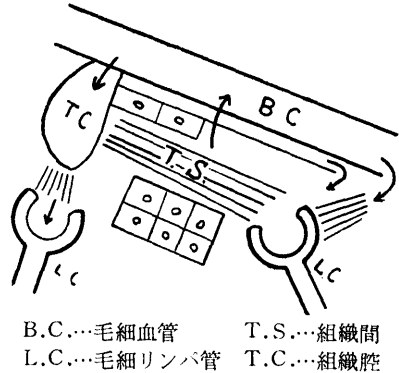
A.C. … 毛細動脈, T.S. … 組織間
V.C. … 毛細静脈, L.C. … 毛細リンパ管

体液には、循環しつつあるものと、滯溜しているものとがあつて、この滯溜所として脾臓、肝臓、皮下血管叢、大静脈叢、漿液膜にある毛細リンパ管網、リンパ管叢、大リンパ管等が考えられるが、殊に脾臓は能動的な滯溜所でありまたその周期的収縮性による門脈血流の促進器官でもある。他は主として受動的な滯溜所であろう。又右心房への直接の体液滯溜所として考えられるものは胸腔内の上下大静脈である。即ち犬では下大静脈は胸部と腹部で筋量も前者は後者に比べて著しく少く、殊に縦走筋量にそれを見る。又これら静脈の内圧 0 mm H₂O の時の内腔は 10mm H₂O の時のそれに比して、前者は 20—7 % であったのに、後者では 0—7 % で、前者の伸展性は著しく大である。内圧 30 mm H₂O の時の血液保有量は胸腔内大静脈で一回の心臓搏出量の大体 3 倍前後であつて、又大静脈内の血圧をカテーテル法で各部を測定して見ると、腹腔内大静脈では其圧勾配が 1 cm につい

て $3\text{ mmH}_2\text{O}$ で、胸腔外の上大静脈 1 cm について $4\text{ mmH}_2\text{O}$ であったが、胸腔内上下大静脈では其前房までの圧勾配は頗る僅少で 1 cm 毎に $1\text{ mmH}_2\text{O}$ 内外であって、血液は淀んだ状態にあることが知られる。

従来考えられた如く血液のみが循環するとすれば、末梢は毛細血管であるが、体液循環の概念に立てば、循環の末梢は組織間即ち血管周囲腔、結合組織、組織溝及び組織腔である。

第11図 毛細血管、組織間及び毛細リンパ管における体液流の模図



V 体液は如何にして末梢を循環するか

今末梢循環の機転についてこれまでの研究を総括して見ると、大動脈に駆出された血液の圧によって大動脈は拡張する。大動脈では弾性組織を主体とした血管壁の伸展性によって先ず血圧が調整されるが、これで不十分な場合には大動脈にある大動脈神経 (Cyon and Ludwig, 1866) 及び頸動脈洞にある洞神経 (H. E. Hering, 1917) 等の受容装置が刺激されて、ここに於ける血管及び心臓反射によって低ければ高い方に、高ければ低い方に、血圧を恒常ならしめる方向に血圧調節をする。次いで血液は大動脈幹から各器官へ分配動脈によって送られる。分配動脈は大動脈幹よりも滑平筋量の割合が急に増加して、能動的収縮性が大となる。殊に末梢に行くに従ってその分岐部には強い能動的収縮性があり、これらの滑平筋の持続的収縮によって血量の分配調節が行われ、又血管壁の周期的収縮性によって血流の促進調節が行われる。尚動脈壁の伸展性に基因する張力によって、心臓から駆出される時血流が間歇的であるものが恒常流となる、即ち速度の調節を受ける。

血液が毛細血管に流れつくと、毛細動脈の分岐部の筋細胞集団が収縮、拡張するため、その毛細血管網中の血行は部分的に変化する流れを生ずる。又毛細血管全体の周期的収縮及び拡張によって毛細血管内の血流が促進される。尚毛細血管網の連絡枝によって、その血流の方向は、自由に何れの方へでも血圧の高い方から低い方へと絶えず変化して流れる。即ち循環血量の少い安静時にも毛細血管内血行がかくの如く調整されて、万遍なく血液が毛細管内を流れることになる。組織の活動時にはその部分の血流量が大となると、全ての毛細動脈分岐部の拡張によって、毛細血管全体に同時に同方向に血流を生ずる。又血圧が急に上昇すると、毛細動脈及び分岐部は強く収縮して、時には全く血行が停止する。然し持続的血圧上昇の場合には、これに次いで毛細血管全体が拡張する。尚静脈側に血行障害がある場合には、

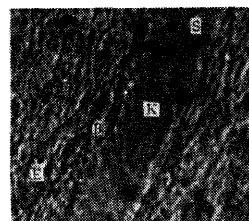
毛細動脈及び分岐部は強く収縮して毛細血管内への血流を止める。即ち血行異常の場合には毛細血管壁の破綻を防止する方向に調節する。(第12図)

一方動脈及び毛細血管には Claude Bernard (1851) が最初に気づいた脈管運動神経が分布していて、その収縮神経は終末からアドレナリンを、拡張神経はアセチルコリンを遊離すると考えられる。これらの神経を通じて脈管反射が起る。脈管神経反射は血管以外の部位からも、又脈管から脈管へと起るもので、かかる神経反射が動脈、毛細血管の血行調節に大きな役割をなしている。こうして血液が毛細血管に流れつくと、主として内皮細胞間質から赤血球をのぞいた成分が組織間へ透過して行く。

この際前述の透過に関する種々な因子が時には同じ方向に、時には反対の方向に作用して、その代数和として透過量を左右する。こうして毛細血管から物質は組織間へ透過し、組織液となって、脈管周囲腔、組織内結合織、器官の間等にある組織溝、組織腔等に流れつく、細胞及び間質と物質交換をなしつつ、その水の一部は膠質浸透圧差により毛細血管内へ、一部は水力学的圧差により毛細リンパ管内へ流入する。品質および膠質は拡散等により、また有形成分もその両毛細管に透過する。この際毛細リンパ管壁は一層の内皮細胞と間質からなる閉鎖管であるから、体液の透過については毛細血管壁透過の概念と同じであるが、その壁の透過性は大であり、又その壁には能動的収縮性はないが、その伸展性が甚だ大であるから、受動的収縮、拡張による透過性の増減にも著しいものがあるのみならず、身体部位によれば開放性でさえある。かくして毛細リンパ管中の体液即ちリンパ液はリンパ管、リンパ節を流れ、胸管、右頸管から静脈中に流入する。即ち毛細血管から静脈に流れた血液と共に右心房に還流する。尚静脈及びリンパ管には弁装置があって末梢への逆流を防いでいる。又この弁装置と相俟って、呼吸運動殊に横隔膜運動、全身の骨骼筋系統の収縮、内臓筋の収縮、心臓収縮による心嚢内圧の変化(久野、1915)等が静脈血、リンパ液の還流に大きな役割をなす。即ちこれらは脈管外収縮組織による還流促進作用の一つである。(第13図)

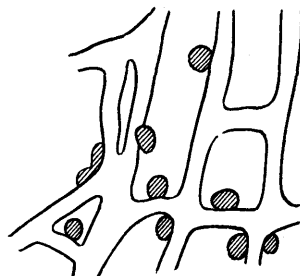
尚この外に静脈、リンパ管では体液の重量(Lower, 1669)及び脈管壁自身の能動的収縮

第12図 毛細動脈分岐部における血行調節



毛細動脈(S)の分岐部(B)の収縮により赤血球(K)が咬えられて、分岐毛細管(E)の血行が停止した。間もなく分岐部(B)は拡張して分岐毛細管(E)の血行が旺盛となる。

第13図 毛細リンパ管から色素粒子が最初は点状に透過する



この実験では粒子が主として細胞間質から透過すると考えられる。

性が重要な役割をなす。リンパ管系にはこの他に魚類、両棲類ではリンパ心臓、哺乳動物、人体ではリンパ節の滑平筋による周期的収縮とその部分の弁との作用が相俟って、リンパ液の還流調節をすると考えられる。然も壁筋には内圧の上昇が適合刺激であるから、流れの悪い場合には周期的収縮がよりよく起るのが見られる。

四肢では骨骼筋の収縮が体液の還流を促進する外、この部のリンパ管には滑平筋と弁とが多くこれによる筋の周期的収縮と弁の作用とによる促進が大きな役割を演ずると考えられる。

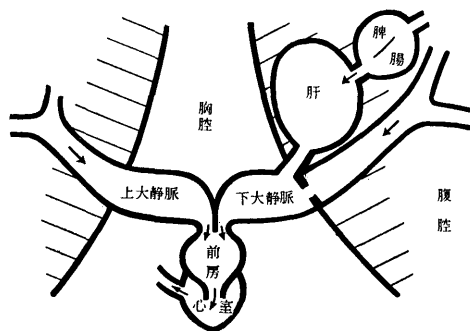
頭部では体液の重力が関与する。又腹腔内の静脈には滑平筋殊に縦走筋量が大であり、この部には胃、腸、脾、腎の様な周期的に収縮する器官があり血液及びリンパ液の還流を促進する。胸腔内では上下大静脈へ急な勾配で流入した血液が一度凝んで、これが右心房の拡張によって上下大静脈との圧差を生じ、右心房内に流入する。この時大静脈にある不随意横紋筋の自動的収縮によって、逆流を防ぐことになる。この静脈およびリンパ管の還流調節作用の上への脈管運動神経の作用は能動的収縮性への調節である。

肺循環についても大体同様であるが、右心室から駆出された血液は、肺泡を囲む内皮細胞の只一層のバスケット状の毛細血管網を流れる時、 CO_2 と水とを両側の肺泡内に透過せしめ、両肺泡から O_2 が血管中に透過して、血液は左心房に流入するが、これには肺動脈及び静脈も滑平筋量が比較的大量であって、容易に周期的収縮が考えられる。然し毛細血管には能動的収縮性は殆んど考えられないが、受動的収縮性は大である。即ちこの部では呼吸運動による受動的収縮、拡張が体液流促進の上に大きな役割をなすと考えられる。尙肺循環における脈管運動神経による調節を示唆する水亀の実験がある。

こうして体液は左右心室の収縮及び拡張による圧と、左右心房内の圧との水力学的圧差を主因として、動脈、静脈、リンパ管による圧調節、速度調節、分配調節、還流促進調節等を受けつつ、全身を循環することになる。かくして体液が全身を循環する間、殊に安静時には或量の血液が脾臓に滯溜していることについては、J. Barcroft (1923) が指摘した処である。これは安静時には循環体液量、即ち単位時間に心臓から駆出される体液量が、活動時よりも著しく少いのである。これは循環体液量と滯溜体液量との比が、身体の状態によって異なることによるものである。

この体液を滯溜せしめる器官に脾臓、肝

第14図 脾臓、腸管、肝臓（門脈系）
による胸腔内の大静脈内血流量調節



臓、大静脈、静脈叢、皮下小血管叢、肺臓、毛細リンパ管、リンパ管叢及び組織腔等が考えられる、殊に肝臓では門脈系から絶えず送り込まれた血液が滯溜して胸腔内の大静脈血量調節をなしつつある。とにかくこれらの部位の能動的又は受動的収縮により、循環量の調節を受けつつ体液は全身を循環するものである。(第14図)

以上によって体液は、収縮及び拡張による左右心室内の圧と、左右心房内の圧との水力学的圧差を主因として、動脈では圧調節、速度調節、分配調節を受け、毛細脈管では体液の水力学的圧差、生物学的浸透圧差等及び管壁の透過性の関与によって組織間に流入し、更らに組織間から毛細血管並に組織間から毛細リンパ管へと2つの流れを生じ、又体液滯溜所により量の調節を受け、静脈、リンパ管では、還流促進調節を受けつつ、心臓から心臓へと全身を循環するものである。

体液が身体を循環し、その体液の循環に於ける中心は心臓であり、末梢は組織間である。
動脈、静脈、リンパ管は只の導管ではなく、体液の圧、速度、分配、量、還流の調節の上に重要な役割を有する。

Ⅵ 体液は循環する

体液とは細胞外の液であって、これが心臓から心臓へと各組織間を流れ、全身を循環するものである。この流れは、主として心臓並びに脈管壁とその周囲組織との収縮性に基因する水力学的圧差、並びに膠質浸透圧による水の流れにほかならない。

引 用 文 献

- 1) Franklin, K. J. (1957) William Harvey, Englishman, Macgibbon & Kee, London.
- 2) Harvey, W. (1628) ANATOMICA DE MOTV CORDIS ET SANGVINIS IN ANIMALIBVS, FRANCOFVRTI, GVILIELMI FITZERI.
 暉峻義等訳 (1961) 生物の心臓並に血液の運動に関する解剖学的研究、岩波書店、東京.
- 3) Finerty, J. C. and Cowdry, E. V. (1960) A Text Book of Histology, Functional Significance of Cells and Intercellular Substances, Lea & Febiger, Philadelphia.
- 4) Steggerda, F. R. (1961) Lymph Flow Studies in Unanesthetized Dogs with External Thoracic Duct-venous Shunts, 総合医学、11月号.
- 5) Ruzsnyák, I. M. Földi und G. Szabó (1957) Physiologie und Pathologie des Lymphkreislaufs. Ungarischen Akademie der Wissenschaften Budapest, p. 501.
- 6) 中山公弘 (1961) 心臓—リンパ心臓反射、米子医学、12巻2号 52.

- 7) 西丸和義 (1960) 脈管生理学研究回顧、医学のあゆみ、13巻、337.
- 8) 西丸和義 (1961) 脈管の形態と機能との研究推移、最新医学、16、1303.
- 9) 西丸和義 (1960) 脈管の比較生理学的研究、広島女学院大学論集、第10集、129.
- 10) 西丸和義 (1948) 毛細脈管の研究、学術書院、東京.
- 11) 西丸和義 (1961) リンパ管の構造と機能、広島医学、14、914.
- 12) 西丸和義 (1954) 血管に至る脈管運動神経に関する研究、日新医学、41、53.
- 13) 西丸和義 (1961) 脈管運動神経の分布、総合医学、11月号.
- 14) 西丸和義 (1959) 末梢循環の機構、日本の医学の1959年 (第15回日本医学総会学術集会記録) 4、445.
- 15) 西丸和義、入沢宏 (1957) リンパ液—組織液、臨床病態生理大系、6巻、113、中山書店、東京.
- 16) 西丸和義 (1952) 体液循環の研究、医学書院、東京.
- 17) 西丸和義 (1960) 脈管生理学の研究、東京慈恵会脈管学研究所、呉.
- 18) 西丸和義と共同研究者 (1922~1961) 脈管生理学論文集、1巻~14巻、東京慈恵会脈管学研究所、呉.

あ と が き

昭和7年11月23日(1932)、竹田宮昌子内親王殿下の主催された白菊会の補助により東京で始まったこの研究も、第二次世界大戦後広島に移り、東京慈恵会との精神的関連において研究の継続を希望された。

昭和23年、3万円の補助をもとに呉市梅木町2に脈管学研究所を新築、昭和30年7月9日(1955)総裁高松宮喜久子妃殿下のお成りを得てその後の研究経過をお話申し上げた。

この間 昭和7年(1932)に毛細血管、昭和10年(1935)に心臓、昭和16年(1941)に静脈、昭和19年(1944)に動脈、昭和21年(1946)にリンパ管の研究が始まり、血管生理学から脈管生理学となり昭和25年(1950)に組織間及び無脊椎動物の体液流、昭和27年(1952)に体液の研究が始まり、体液循環の研究は体液循環の研究となった。

これまでに発表された論文は850余篇、共同研究者134人を数えるに至った。ここに述べた体液循環の概念はその一つの総括であり、しかも明年は脈研創立30年にあたる。

[ABSTRACT]

Concept of the Body Fluid Circulation

✧
Yasuyosi N SIMARU

Body Fluid is extracellular fluid which leaves the heart and returns again to the heart after circulating through various tissues. The flow of this fluid is due to no other action than the difference in fluid pressure, which is mainly caused by the contractile action of heart, vascular walls and of the surrounding tissues, and effective osmosis.

Preface

Hippocrates of Greece (460-370 B.C.) believed that the body fluid consists of four kinds of fluid, namely, blood, mucus, yellow bile and black bile and that health is maintained by harmony of these four fluids. There was, however, no concept of flow of body fluid. Then, Erasistratus of Alexandria (300-250 B.C.), from the results of autopsy, considered that the body fluid consists of two kinds of fluid; blood which flows through the venous system, and pneuma which flows through the arterial and nervous systems. There is a concept of flow in this theory. William Harvey (1628) considered that the body fluid only consists of blood which leaves the heart, circulates through the body and returns again to the heart, through his observations of living body. In other word, he arrived at the concept of blood circulation. This idea is the basic concept in modern physiology. On the other hand, Claude Bernard (1873) used another expression for the body fluid: "La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre."

What Fluid is Circulating?

Harvey believed that only the blood in the vessels circulates. This concept should be replaced by the more recent concept that the body fluids, which is the comprehensive term for blood, lymph and tissue fluids, circulate through the whole body. This concept was proven by many observations on the flow, on the physical and chemical nature of the fluid, and on the permeability of the blood and lymph capillaries.

What is the Most Peripheral Field of Circulation?

According to the concept of Harvey, the most peripheral field of circulation would be the blood capillaries, since the blood is the only circulating fluid in the body. On the other hand, recent experiments disclosed the fact that the most peripheral parts of the circulation is the tissue spaces: perivascular spaces, connective tissues, cleft in tissue and tissue cavity.

Are Blood and Lymph Vessels only Tubes?

There are many elastic fibers and smooth muscle cells in the wall of arteries, veins and lymphatics. Less passive contractility is found in the more peripheral parts of the vessels, while active contractility is increased.

The contractility and the vasomotor nerve innervation in the vessels walls play the major role in control of the body fluid pressure in large arteries, in the regulation of the velocity in the large and middle size arteries, and in the regulation of the distribution in the middle and small size arteries. The circulating body fluid volume is controlled by spleen, liver, large veins and lymphatics. A control of back flow from capillaries to the heart is maintained by the contractility of the veins and lymphatics wall and of the surrounding tissues with aid of their valvular function. Consequently, these functions of regulation indicate that the blood and lymph vessels are not simply tubes, but they should be considered to be an important regulatory organ for the body fluid circulation.

Conclusion

From the above mentioned description, the body fluid leaves the heart, circulates through the whole body and returns again to the heart changing the velocity, pressure, distribution, volume and back flow under the control of many regulatory mechanisms of the circulation system. The main force of circulation is originated by the difference in fluid pressure produced by contraction and dilatation of atriums and ventricles of the heart. The flow of body fluid receives further control of pressure, velocity and distribution in the arterial system. In the capillary area, the body fluid perfuses the tissue cells by means of difference in fluid pressure, the effective osmosis and the permeability of vessel walls. In the tissues, the body fluid flows in two ways; one is from blood

capillary to tissue space to blood capillary and the other way is from blood capillary to tissue space to lymph capillary. Then, the volume of this circulating fluid is regulated by the spleen, liver, large veins and lymphatic network. The returning flow from the capillaries to the heart is regulated during the passage through the venous and lymphatic systems.

In summary, the heart is the center of circulation of the body fluid, and tissue space is the most peripheral part. All vessels; arteries, veins and lymphatics are not simply tubes. These vessels themselves have an important role in the control of the pressure, velocity, distribution, volume and returning flow to the heart.