

門脈血行の週期的変動について

銭 場 武 彦*

The Influence of Undulatory Changes in the Spleen and Liver Volume,
and of the Motility of Alimentary Canals
on the Portal Blood Flow

Takehiko SEMBA

はじめに

静脈内の血液の還流機序は、まだ充分に明らかではない。殊に門脈血行に関しては、不明な点が多い。

静脈内血行の研究に当り考慮すべき点は、次の3点である。i) 静脈の動脈側または毛細血管側の状況の変化である¹⁾。ii) 静脈の心臓側の影響で、静脈圧を変化させる主要条件は心臓である²⁾。iii) 静脈自体の収縮性で、静脈壁に血管運動神経が分布することは明らかである³⁾。

これを門脈^{4,5)} (図1) についてみると、動脈側には9mに及ぶ長大な腸管(胃・小腸・大腸)の毛細血管があり、また脾臓がある。両者とも著明な収縮性をもつ器官である。また脾臓は新陳代謝の格別盛んな器官で、僅か70gの小器官にもかかわらず、3本の流入動脈をもち、血量が多い。他方、心臓側には肝臓という大きい抵抗を介して心臓がある。

脾臓については、その収縮性は全く不明で、血行上の役割についても、これまで報告がない。しかし、腸管あるいは脾臓、また肝臓については、門脈血行調節上における役割について、早くから注目されていた。

すなわち、Barcroft⁶⁾ によって、脾臓は血液の能動的貯留所としての機能をもつことが明らかにされた。

肝臓もまた血液の貯留作用がある⁷⁾。さらに、腸管の運動が門脈血行に及ぼす影響については、Ludwig⁸⁾ が「腸は peripheral heart である」といい、腸運動を門脈血行の vis a tergo と考えた。

これら門脈血行を構成する主要器官は、また、いずれも週期的収縮性を有するという共通の特性がある。

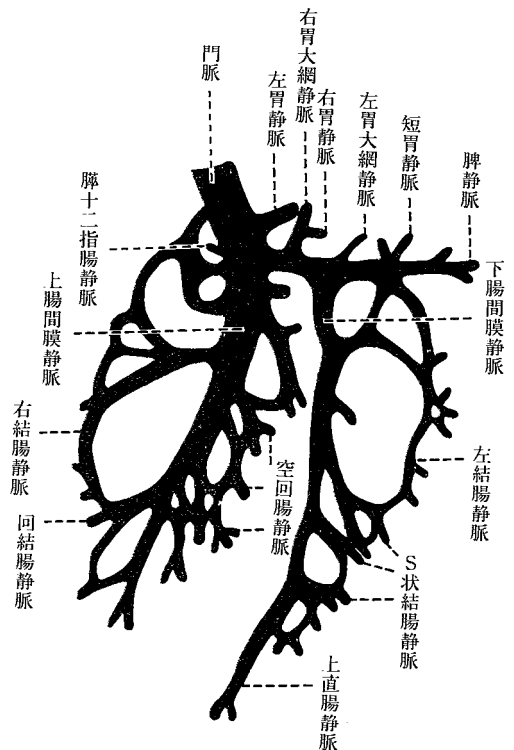


図1 門脈系 (ヒト)

週期的収縮性が、門脈血行にどのような影響を与えているかということの一つの手懸として、著者は門脈血行調節機序の解明を志した。

1 門脈圧の週期的動揺⁹⁾

図2は麻酔したイヌの門脈圧を水マンノメーターで描記、その変化を写真カイモグラフに描くとき、spon-

* 食物栄養学科

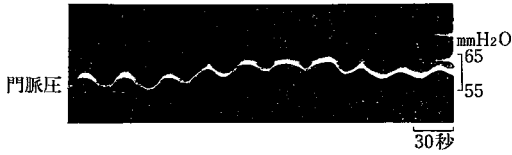


図2 門脈圧の律動的変動 (イヌ)
(銭場 1975)

taneously に得られた門脈圧の週期的動揺である。最大振幅 21 mm H₂O, 週期18~22秒である。この門脈圧の動揺は、なにに由来するものであろうか。これを追求することが、本論文の主眼目である。

2 脾臓の週期的収縮と門脈血行¹⁰⁾

脾臓は門脈血流量の10%を受持つといわれている¹¹⁾。さきに述べたように、Barcroft⁶⁾は脾臓は active な血液貯留所で、これは血管の洞様構造に基づくことを明らかにした。この事実と脾臓の週期的な容積変化がみとめられ、脾臓の収縮が動脈血圧上に、週期的変動を与えていることが明らかになり、脾臓の収縮 1 ml は動脈血圧上に 7.5 mmHg の動揺を生ずる¹²⁾。

脾臓が血液の貯留作用をもち、その収縮が動脈血圧上に、それ程の圧変化を生じておるならば、血液が駆出される静脈側にも、同様の影響を及ぼしている筈である。そしてそれは、一般循環血中に、より濃厚な血液を駆出するものである。

そこで予め小腸を全摘したイヌで、脾臓をオンコメーター (容積描写器) に入れて、その容積変化をタンプール法で描かせ、また脾静脈の血流量の変化を電磁血流計で記録させた (図3)。脱線維素血、溶血液、クエン酸ソーダ溶液の静注、脾動脈の一時的閉止、迷走神経または大腿神経の中樞端の電気的刺激等を反覆するときは、脾臓容積の週期的変動と、それに同期し

た門脈圧の変動をみることができる。

週期は24~33秒のものがもっとも多い。脾臓容積の変化と門脈圧変動の方向は逆向き、すなわち、脾臓が active に収縮したさい、門脈圧が上昇するのが、一般である。これは脾臓からの駆血による門脈圧の上昇と見做されよう。このとき、動脈血圧に対しては、抵抗の増加として示され、動脈血圧は上昇する。

しかし、一方に passive の変化として認められるところの、脾臓容積の拡大時 (すなわち弛緩時) に門脈圧が上昇する場合や、動脈血圧にはほとんど変化が認められなくて、門脈圧に大きい動揺がみられる例もある。これには門脈壁自体の収縮か、あるいは肝臓側よりの影響も考えられよう。

脾臓 5 ml の変化は、動脈血圧上に 25 mmHg, 脾静脈圧に 2.2 mmHg の変化を生じ、脾静脈血流量には 23.0~29.0 ml/分の変動を生じた。この血流量の変化は、安静時の 26.1% に当る変化である (表1)。

表1 脾容積の週期的変動と
脾静脈血流量の変化 (イヌ)

週期 sec	脾容積 ml	鎖動脈圧 mmHg	脾静脈圧 mmHg	脾静脈血流量 ml/min
44~52	5.0	60~85	6.3~8.5	23.0~29.0

3 消化管の運動と門脈血行

消化管の血管分布 (図1) をみると、胃では比較的大い静脈系では、大弯を流れる血液は、左胃大網静脈と右胃大網静脈に注ぎ、小弯では左胃静脈と右胃静脈とに注ぐ。

静脈血はその時の圧の勾配に従って、左右何れの方へでも流れうる。同様のことは、小腸の上腸間膜静脈起始部、大腸の下腸間膜静脈の起始部の静脈につい

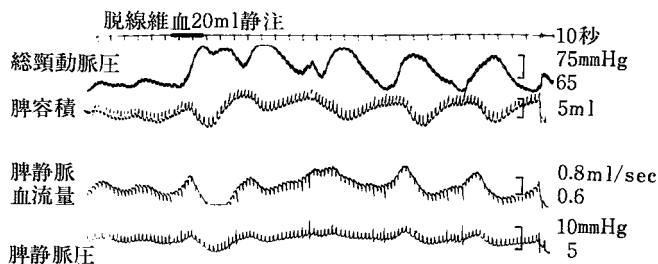


図3 脾容積の律動性変動 (イヌ)
(Semba, Fujii & Kimura, 1966)

でもいえる¹³⁾。

Grim¹¹⁾ が 15 kg のイヌについて、エーテル麻酔下で測定した腹腔臓器の血流量について、胃は門脈血流量の20%、小腸は60%を受持つという。

胃の粘膜下組織における血管網は、毛細動脈は互いに連絡枝をだして、一次吻合をつくり、さらに二次吻合を形づくり、随所に A-V 吻合（動脈から、毛細血管ぬきで、直接静脈につながる）があり、これは括約的作用を有する⁴⁾。このような血管分布は、粘膜下組織において、独特の血行調節を営む可能性を示している。粘膜の血流量の変化と胃全体の血流量の増減とは、必ずしも平行しない。これは粘膜下組織における血管網の特性によるものである。

小腸では、胃でみるような A-V 吻合は見出せないが、Venenbällchen（静脈球）¹⁵⁾ という特殊な静脈性の密な網工がある。これは血液貯留上の役割をもつものと思はれる。Lundgren¹⁶⁾ はネコの小腸全体の血流量を測定して、著しい血管拡張がおこると、安静時の血流量の5～8倍に達する。このときとくに小腸血流量の変化するのは、粘膜と粘膜下組織である。

小腸各層の血流量の配分をみると、安静時60～80%は粘膜、5～10%が粘膜下組織であるものが、血管拡張時には、粘膜下組織では毎分小腸1g当り2倍になり、全血流量の50～60%を占め、粘膜では毎分小腸1g当り3倍に増加するが、これは全血流量の25～35%を占めるにすぎず、安静時と血管拡張時とでは、粘膜と粘膜下組織の血流量の割合は逆転する。

大腸では、粘膜下組織に A-V 吻合がみられるが、胃でみられたような shunt-like のものではない。胃では A-V 吻合は1 cm² 当たり12ヶみられるのに対して、大腸では2ヶ位である¹⁴⁾。大腸の血流量の80%は粘膜および粘膜下組織で、20%は筋層である。

これらの血行調節には、外来神経が関与することは勿論であるが、外来神経によらない、消化管特有の局所的な血流調節機序がみられる。autoregulation, venous-arteriolar response, autoregulatory escape, 反応性充血などである。

autoregulation¹⁷⁾：これは動脈圧が減少したとき、組織になお定常の酸素供給を維持するためのホメオステックな機序である。動脈圧の減少に伴って、小動脈、毛細動脈の抵抗が減少する。このため血流量にはあまり変化を生じない。これは動脈側にみられる機序で、静脈側にもこの反応があるかどうか、はっきりしていない。

venous-arteriolar response¹⁸⁾：静脈圧が上昇すると、反射的に動脈側の抵抗が増大する。これは動脈および毛細血管の動脈側の血管平滑筋の緊張の増加によるもので、筋原性といわれる。

autoregulatory escape¹⁹⁾：アドレナリンの注入で、小腸血流量が減少するさい、初め1～2分間は、急速に著しい血流減少がおこり、このあとは、刺激が持続中にもかかわらず、血行はある程度回復した状態とどまる。この機序はまだよくわかっていない。

反応性充血²⁰⁾：一時的貧血や運動亢進のあとにみられる現象で、主として、骨格筋についていわれているが、腸管の場合でも認められる。2分間の動脈閉止のあと、血行が再開されたとき、一過性に動脈の流入量や静脈の流出量が増加する。代謝産物もしくは CO₂ による血管拡張であるといわれている。

これら消化管壁内血管の構造及び機能上の特殊性をふまえて、消化管運動と血行との相関をみると、従来「蠕動運動は門脈血行を促進する」という Mall²¹⁾, Usadel⁸⁾ に代表される見解と、Anrep ら²²⁾ のいう「腸管の収縮運動はかえって腸血行を妨げる」という相反する見解に分れる。これら古典的な研究につづいて、Sidky & Bean²³⁾ を除いては、腸管運動のパターンと血行との関連においては追及されていない。

これらについて、Chou²⁴⁾ の綜説がある。

A 胃の運動と門脈血行²⁵⁾

イヌの胃の運動をバルーン法で描記し、脾臓からの静脈は結紮して、左胃静脈と左胃大網静脈からの血流量を胃脾静脈で電磁血流計で測定した。胃運動の三つのパターンによって、それに対応する三種の血流量の

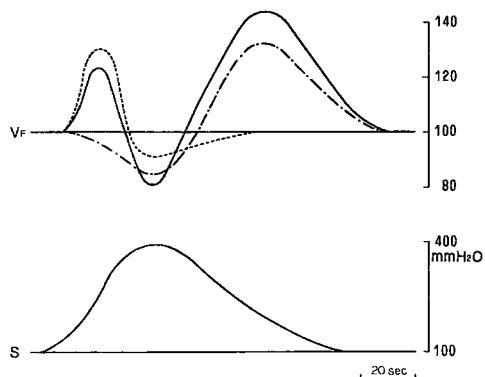


図4 胃の蠕動運動と胃脾静脈血流量の変化（イヌ）
VF：胃脾静脈血流量，S：胃の蠕動運動
……収縮相型，— · —弛緩相型，——混合型。
(Semba, Fujii, K & Fujii, Y, 1970)

表2 胃の蠕動運動と胃脾静脈血流量の変化

	安静時 ml/min	収 縮 相		弛緩相 ml/min
		前期 ml/min	後期 ml/min	
収縮相型	27.0 (100)	36.0 (133)	24.6 (91)	28.0 (103)
弛緩相型	40.8 (100)	—	34.8 (85)	54.0 (132)
混 合 型	19.2 (100)	24.0 (125)	15.6 (81)	27.6 (144)

変化を認めることができる(図4)。胃運動の各パターンにおける血流量の変化は表2に示すようである。

a) 収縮相型で、胃の収縮のはじめに、門脈血流量が一時的に増加し、収縮の極期には、血流量もっとも減少し、弛緩期に再び血流は回復する。

b) 弛緩相型で、血流量増加は弛緩期のみにおこり、収縮期では血流量は減少している。胃ではこのタイプがもっとも多く、肉眼的にも胃の収縮・弛緩に応じて、虚血期と充血期が交代して、胃壁は赤味を増したり、褪色したりするのが明らかに認められる。

c) 混合型で、収縮期のはじめと、弛緩期に血流量増加し、収縮極期には減少する。この型は横隔膜下で迷走神経を刺激したさいに多く認められる。

これを胃脾静脈血流量曲線上の変動でみると、増加する方向に44%、減少する方向に19%、という大きい幅で動揺を生じていることになる(表2)

B 大腸の運動と門脈血行²⁶⁾

イヌの下部大腸の運動をバルーン法で描記し、下腸間膜静脈の血流量を電磁血流計で測定した。図5に示すように、胃において認められたものと同様の三型がえられた。第三の混合型の変化は、骨盤内臓神経の刺激でえられる。

各パターンの各相における血流量の変化は表3に示すようである。

収縮相型及び混合型では、収縮相の前期に、もっとも血流量増加し、収縮相の極期には血流量はもっとも減少する。弛緩相には血流量は回復する。弛緩相型では、収縮期に血流著しく減少し、弛緩期には著しく増加する。これらは胃でみられた血流量の変化と経過は同じである。

これを大腸静脈血流量曲線上の動揺としてみると、血流増加する方向に310%、減少する方向に59%という大きい幅をもって変動することになる(表3)。

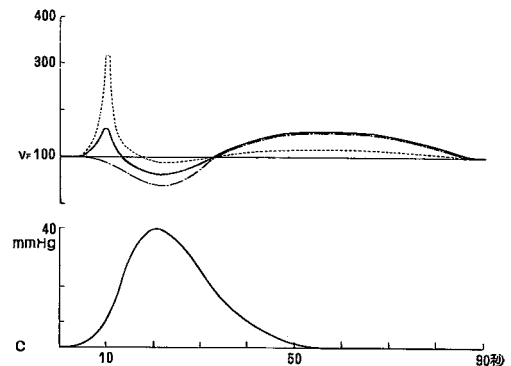


図5 大腸の蠕動運動と下腸間膜静脈血流量の変化(イヌ)

VF: は静脈血流量, C: 大腸内圧の変化

.....収縮相型, — · — 弛緩相型, ——混合型。
(Semba, Fujii, Y., 1970)

表3 大腸の蠕動運動と下腸間膜静脈血流量の変化

	安 静 時 ml/min	収 縮 相		弛 緩 相 ml/min
		前期 ml/min	後期 ml/min	
収縮相型	24.6 (100)	76.2 (310)	23.4 (95)	26.4 (107)
弛緩相型	30.6 (100)	—	12.6 (41)	47.4 (155)
混 合 型	57.0 (100)	91.8 (161)	31.8 (56)	85.2 (149)

C 小腸の運動と門脈血行

長い小腸では、収縮と弛緩が交代するために、実際の腸運動の変化と腸管各部位の内圧変化とが一致しないから、イヌの腸間膜動脈の一分枝の支配領域で、約6cm長の小腸片をえらんで、in situで用いた。この位の長さでは、腸管の運動と内圧変化とは完全に一致する。この実験では、同時に動静脈血中のO₂飽和度をも測定した。

a) 持続的収縮 (tonic contraction) の影響^{28,29,30)}

短い小腸片で持続的収縮の影響をみるため、体温と同じくした高張食塩水を、小腸片の表面に注いだ。これによって生ずる小腸片の持続的収縮によってもたらされる血流量の変化は、基本的には、胃や大腸で認められるものと同じく、腸運動と血流量との間には、三型の相関が得られる(図6)。

各パターンの各相における血流量の変化は表4に示すようである。

収縮の初期にみられる静脈血流量の増加時に、O₂

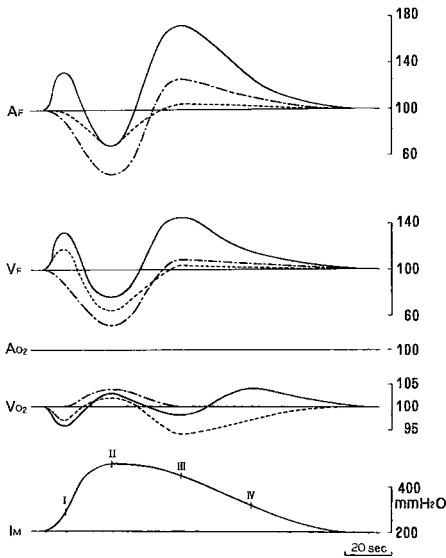


図 6 6～9 cm の小腸片の持続的収縮と動・静脈血流量、 O_2 飽和度の変化 (イヌ)

AF: 動脈血流量, VF: 静脈血流量, AO_2 : 動脈血中 O_2 飽和度, VO_2 : 静脈血中 O_2 飽和度, IM: 小腸片の運動, I, II-収縮相, III, IV-弛緩相。

……収縮相型, —・—弛緩相型, ——混合型 (Semba, Fujii, Mizonishi, 1973)

飽和度は減少しているから、この時期は、腸壁内に保有されている血液の駆出期であるといえる。収縮の極期は、静脈血流量がもっとも減少していて、腸壁の収縮による機械的な血流の阻血期といえる。しかもこの時期に静脈血の O_2 飽和度は増加しているから、血流は腸壁内の shunt を介して、あるいは血流の自己調節機序によって維持されていることを示している。このとき動脈血流量は減少しているから autoregulation 機序も働いているといわねばならない。弛緩期のはじめの著しい静脈血流量の増加は、腸壁は弛緩しつつあり、機械的な血流阻止が解かれて、血流の回復期に入っているからである。このときに、 O_2 飽和度が減少するのはさきの阻血期に腸壁内で停滞していた血液が流入するためである。弛緩期の後期の血流増加は血管拡張に基づく血流量増加である。また機械的な阻血が解かれて、血流量も O_2 飽和度も増加してくる反応性充血ともいえる。

門脈曲線上における血流量の変動の幅は、安静時の値を100とすると、収縮相型で+18～-36%，弛緩相

表 4 6～9 cm の小腸片の持続的収縮と動・静脈血流量、 O_2 飽和度の変化

		安静時	収縮相		弛緩相	
			前期 (I)	後期 (II)	前期 (III)	後期 (IV)
収縮相型	AF (ml/min/100 g)	17.9 (100)	17.7 (98)	12.4 (69)	18.9 (105)	
	VF (ml/min/100 g)	24.1 (100)	28.6 (118)	15.6 (64)	25.1 (104)	
	AO_2 (%)	93.9 (100)	93.9 (100)	93.9 (100)	93.9 (100)	
	VO_2 (%)	83.4 (100)	81.8 (97)	85.8 (102)	79.1 (94)	
弛緩相型	AF (ml/min/100 g)	14.7 (100)	6.3 (43)		18.7 (127)	
	VF (ml/min/100 g)	23.6 (100)	12.3 (52)		25.8 (109)	
	AO_2 (%)	94.7 (100)	94.7 (100)		94.7 (100)	
	VO_2 (%)	79.5 (100)	82.8 (104)		80.1 (100)	
混合型	AF (ml/min/100 g)	11.6 (100)	15.6 (133)	8.1 (69)	20.2 (173)	14.8 (127)
	VF (ml/min/100 g)	18.6 (100)	24.6 (132)	14.1 (75)	27.3 (146)	21.5 (115)
	AO_2 (%)	93.8 (100)	93.8 (100)	93.8 (100)	93.8 (100)	93.8 (100)
	VO_2 (%)	79.6 (100)	76.8 (96)	82.8 (103)	78.4 (98)	82.9 (104)

AF: 動脈血流量, VF: 静脈血流量, AO_2 : 動脈血中 O_2 飽和度, VO_2 : 静脈血中 O_2 飽和度

型で+9～-48%，混合型で+46～-25%に達することになる (表 4)。

b) 律動的収縮 (rhythmic contraction) の影響^{28,29,30)}

小腸では分節運動という 5 秒前後の周期をもった律動的収縮がある。この種の収縮が静脈血行に及ぼす影響を 6 cm 長の小腸で検討してみると、腸壁の収縮相で、動脈血流量が減少するにもかかわらず、静脈血流量が増加する収縮相型と、腸壁の弛緩相で静脈血流量が増加し、動脈血流量も平行して増加している弛緩相型とに区分される (図 7) (表 5)。

静脈血の O_2 飽和度との関係を見ると、各相でそれぞれ二つの相がある。すなわち、静脈血流増加時に O_2 飽和度が減少する R 型 (reversed pattern) と、静脈血流増加時にそれに平行して O_2 飽和度も増加する P 型 (parallel pattern) である。収縮相型の R 型は駆出によるもので、P 型は autoregulation 機序がはたら

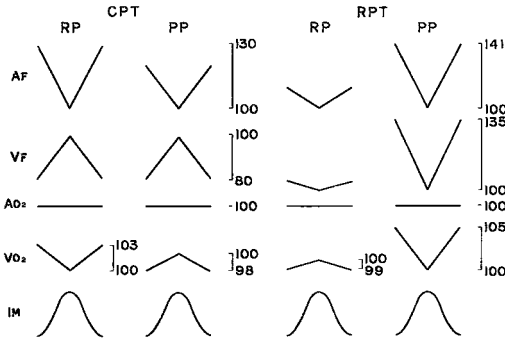


図7 6～9 cmの小腸片の律動的収縮(IM)と動・静脈血流量(AF, VF), O₂飽和度(AO₂, VO₂)の変化(イヌ)

CPT: 収縮相型, RPT: 弛緩相型。

(Semba, Fului, Mizonishi, 1973)

表5 6～9 cmの小腸片の律動的収縮と動・静脈血流量, O₂飽和度の変化

		Reversed pattern		Parallel pattern	
		収縮相	弛緩相	収縮相	弛緩相
収縮相型	AF (ml/min/100 g)	16.7 (100)	21.6 (129)	15.3 (100)	18.4 (120)
	VF (ml/min/100 g)	24.6 (100)	19.6 (80)	21.4 (100)	16.9 (80)
	AO ₂ (%)	96.1 (100)	96.1 (100)	97.7 (100)	97.7 (100)
	VO ₂ (%)	76.5 (100)	79.1 (103)	81.3 (100)	79.5 (98)
弛緩相型	AF (ml/min/100 g)	14.0 (100)	16.1 (115)	16.6 (100)	23.4 (141)
	VF (ml/min/100 g)	14.6 (100)	15.1 (104)	17.2 (100)	23.2 (135)
	AO ₂ (%)	95.0 (100)	95.0 (100)	96.0 (100)	96.0 (100)
	VO ₂ (%)	84.7 (100)	83.7 (99)	77.7 (100)	81.8 (105)

いている。弛緩相型のR型は阻血によるもので、このP型は反応性充血で説明できる。

これらの律動的収縮によって、門脈血流量曲線上には、安静時の値を100とすると、減少の方向(収縮相型)に20%, 増加の方向(弛緩相型)に35%の動搖が生じていることになる(表5)。

D 腸反射と門脈血行^{31,32)}

6 cm長の小腸片を灌流した静脈血流量の変動は、以上のようなものであるが、長い小腸全体を流れる静脈血流量の変化については、まだ明らかでない。小腸各部におこる運動は、必ずしも同期しないのが普通であるか

ら、ある場合には静脈血流量の変動を相殺し、他の場合には相乗されよう。

いま120 cm長(イヌの全腸の約1/2位)の小腸について、腸運動が反射的に抑制あるいは促進される場合をみてみた。このときは、腸運動は全般的にtoneが減少するか、あるいはtoneが上昇する。

a) 抑制反射³¹⁾

血流量測定に無関係な小腸片をえらび、この腸壁に加圧伸展刺激(内圧を急上昇させる)により、120 cm小腸全体の運動抑制反射(運動の消失, toneの減少)が生ずる。

門脈血流量は二相性の変化を示す。初め腸壁のtoneのとれる弛緩期20秒間は、血流量は著しく減少する。弛緩期の極期には、逆に血流量はもっとも増加し、刺激前よりも高くなる。toneの回復の半ばに再び血流量減少したのちもとに戻る。この変化は動脈血流量及び一般血圧の変化に対応するものである。

抑制反射においては、一般血圧の上昇は避けられないため、血圧をなるべく定常に保つ目的で、二頭交叉灌流実験を行った。Aのイヌの120 cm小腸は、Bのイヌの動脈より血液供給をうけて、再びBイヌに戻る。

このさいはAイヌの抑制反射によるtoneの減少に平行して、血圧の変化(供血イヌB)は余りなく、Aイヌの門脈血流量は一樣に減少を示した(図8)。toneの回復期には一旦血流量は著しく増加を来して回復した。この間、静脈血のO₂飽和度には、門脈血流量曲線に平行する変化をするもの(P型)と反対向きの変化をするR型とを区別する。P型は血流減少に伴うO₂飽和度の減少であり、R型は短絡的に血行が維持されていることを示す(表6)

門脈曲線上における血流変動の幅は増加する方向へ10%, 減少する方向へ20%の変化である。

b) 促進反射³²⁾

120 cm小腸において、前庭迷路の電氣的刺激により、小腸運動の全般的な促進反射を惹起させた場合の門脈血流量の変動は三型がみとめられたが、いづれも一般血圧に平行する変化である。この血圧変動の影響を除くため、二頭交叉灌流実験を行った。前庭迷路の刺激により著しい腸運動の亢進が起ると共に、一般血圧の低下と、動脈血流の増加が起る。門脈血流量は動脈血流と平行して増加し、腸壁のtoneがもとに回復すると共に一過性に血流減少して回復する。初めの血流量増加は明らかに血管拡張に基づく(図9, 表7)。

促進反射による門脈血流量の増加は16%であった。

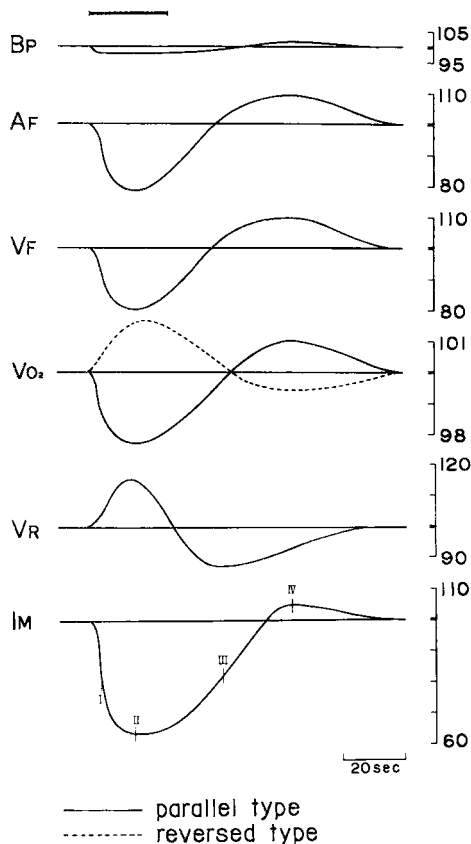


図8 小腸運動抑制反射と血流量（二頭交叉灌流実験）

IM：120 cm 小腸 VR：血管抵抗

BP：供血イヌの頸動脈圧

VO₂：静脈血の O₂ 飽和度

(Semba, Mizonishi, Ikeda & Nagao, 1977)

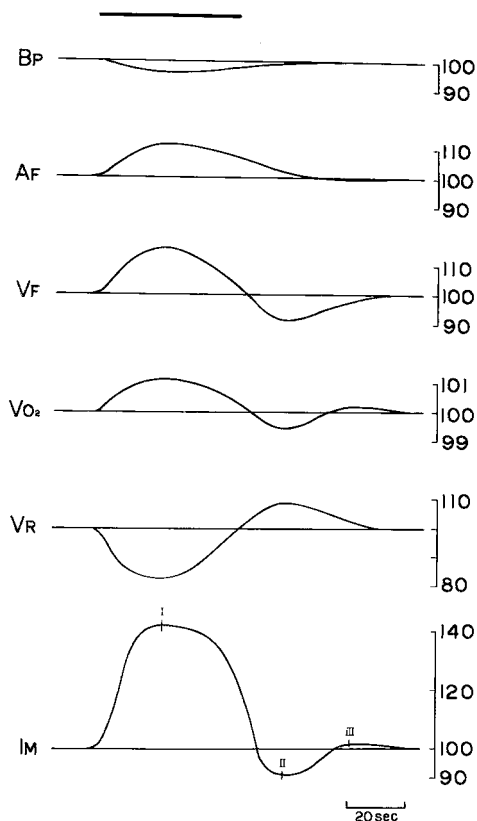


図9 120 cm 小腸の交叉灌流実験，小腸促進反射

I, II, IIIは小腸運動 (IM) の各期

BP：は供血イヌの頸動脈圧

VR：血管抵抗，VO₂：静脈血の O₂ 飽和度
(錢場，溝西，池田，1978)

表6 抑制反射における門脈血流量，O₂ 飽和度の変化
(120 cm の小腸) (二頭交叉灌流実験)

安 静 時		I	II	III	IV	
BP*	124.2 mmHg (100)	121.8 (98.0)	121.7 (97.9)	123.2 (99.1)	126.1 (101.5)	
AF	20.0 ml/min/100 g (100)	19.1 (95.8)	15.7 (78.4)	20.4 (102.0)	21.8 (109.0)	
VF	20.0 ml/min/100 g (100)	19.5 (97.5)	16.0 (80.0)	20.6 (103.0)	21.9 (109.5)	
VO ₂	74.7% (100)	74.0 (99.0)	73.0 (97.7)	74.5 (99.7)	75.5 (101.0)	P-Pattern
VO ₂	75.9% (100)	76.3 (100.5)	76.9 (101.3)	75.5 (99.4)	75.8 (99.8)	R-Pattern
IM	145.2 mmH ₂ O (100)	120.5 (82.9)	93.1 (64.1)	120.0 (82.6)	152.7 (105.1)	

* 供血イヌの頸動脈圧

表7 促進反射における門脈血流量、 O_2 飽和度の変化
(120 cm の小腸) (二頭交叉灌流実験)

安 静 時	I	II	III
BP* 127 mmHg (100)	121 (95)	125 (98)	126 (99)
AF 33.6 ml/min/100 g (100)	37.5 (111)	34.2 (101)	33.4 (99)
VF 32.7 ml/min/100 g (100)	38.0 (116)	29.7 (90)	31.8 (97)
VO_2 77.0% (100)	77.9 (101)	76.6 (99)	77.2 (100)

* 供血イヌの頸動脈圧

4 肝臓の週期的収縮と門脈血行³³⁾

門脈系の心臓側の要素として、肝臓という複雑な血行がある。肝臓は、これまで血行上では、受動的な変化をするものといわれているが、肝臓の血管に血管運動神経が分布することは明らかである³⁴⁾。またアドレナリンで収縮することは Clark³⁵⁾ ほか多くの成績がある。アドレナリンで肝重量の1/2の血液が駆出されるという³⁶⁾。しかし、血液の貯留所としては、肝臓は脾臓のように淀んだ血流をもつという構造上の特長はなく、単に洞様血管である。このため肝臓は脾臓とは、またちがった型の血液貯留所であるといわれている。

著者ら³⁷⁾ はイヌについての肝臓オンコメーターを考案し、門脈圧を水マンオメーターで測定し、これを写真カイモグラフで記録した。

脾臓の週期的収縮を惹起したものと同じ刺激を加えるときは、肝臓においても週期的容積変動を生じさせることができる。同時に門脈圧曲線上に律動的変動を見出すことができる (図10)。

肝臓の容積変動と門脈圧の週期的変動とは、正反対の方向の変化で、肝臓が収縮する時は門脈圧は上昇したから、明らかに肝臓の収縮は門脈血行の抵抗となったことを示している。

図10は5%クエン酸ソーダ1ml 静注後生じた肝容積の週期的変動で、週期15~24秒、肝臓の容積変化は0.65~1.0 ml で、門脈圧上の変化の振幅は6~16 mm H_2O である (表8 例1)。これは安静時門脈圧の11.9%に相当する。週期25秒前後のものがもっとも多かった。

表8 肝容積の能動的収縮と門脈圧

例	週期 sec	頸動脈圧 mmHg	門脈圧 mm H_2O	肝容積 ml
1	15-24	54-55	134-150	1-0.65
2	15	54	—	0.3
3	33	50	148-154	0.37
4	25	50	191-199	0.5
5	25	58-60	150-166	0.54
6	20	58-60	185-190	0.56
7	26	68-80	166-169	0.15
8	20	80	172-173	0.15
9	24	106	144-146	0.14
10	28	82-85	172-176	0.3
11	28	92	155-158	0.3

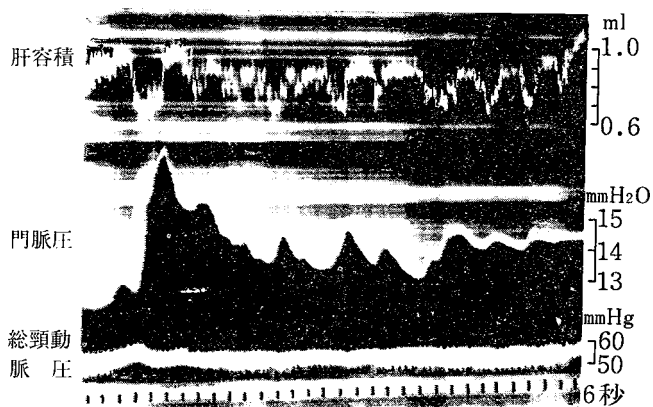


図10 肝容積の律動性変動 (イヌ). 肝容積 0.65~1.0 ml, 門脈圧 134~150 mm H_2O , 頸動脈圧 54~55 mmHg (Semba & Kishi, 1952).

5 門脈壁の律動的収縮³⁸⁾

図11は摘出したイヌの門脈自体の律動的収縮を示している。門脈片長さ5 cmを摘出し、マグヌスの法で懸垂し、リンゲル・ロック氏液で灌流し、その灌流量の変化をslit 液量計で描記させた。灌流圧15 mm H₂Oで、流量は律動的に変化した。週期は23.2~40.2秒である。この間、流量の変化は0.06~0.105 mlであった。この週期的収縮には縦走筋の収縮による縦の収縮と、輪走筋による横の収縮とがある。週期的収縮は35~41℃でもっとも出現しやすく、灌流圧10~20 cm H₂Oが適度である。アドレナリンやアセチルコリンでtoneを変化させた場合、あまりtoneが高まると、リズムは消失する。門脈の週期的収縮はin situでも認められる(Naito³⁸⁾)。

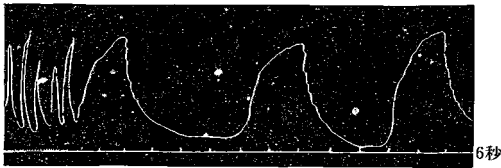


図11 摘出した門脈片の自発的収縮 (イヌ) 門脈片の長さ5 cm, 灌流圧15 mmH₂O, 時間間隔6秒。(Naito, 1954)

おわりに

心臓は動脈に拍動という律動性影響を与えて、血行の推進力となっている。毛細血管では、分岐毛細管などに著しい律動的収縮性があり、常に毛細血管内の血流を変更している。静脈では、多くの弁によって骨格筋運動を血液還流に役立たせている。さらに大静脈では、胸腔内陰圧は呼吸運動のリズムで、静脈血を吸上げて血行を促進している。

門脈系には、逆流を防止する弁が多く、かつ血管壁には平滑筋が多い³⁾。このことは、門脈系を構成する各器官の週期的収縮性と相まって、門脈血行の推進にかかわっていることを示している。著者は脾臓、胃・大腸・小腸及び肝臓、さらに門脈壁自体の週期的収縮性を取り上げて、門脈血行動態解明の一つの手懸とした。

静脈血流量の測定にレーザー光線³⁹⁾などをとり入れた新しい機器が開発されると共に、この方面の研究の進展は期待されるものがある。

献 辞

温血動物実験手技の手ほどきを受けた故東北大名誉教授和田正男先生に、本論文を捧げる。

謝 辞

本稿執筆の機縁を与えられた坂田正二学長、荒谷孝昭編集長に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Bayliss, W.M. & Starling, E.H., Observations on venous pressure and their relationship to capillary pressure. *J. Physiol.*, 1984, 16, 159-202.
- 2) Plumier, L., Etude expérimentale des variations de la pression veineuse. *Arch. Int. Physiol.*, 1909, 8, 1-58.
- 3) Franklin, K.J., A monograph on veins. 1937, 62, 64-75, 89-91, 130-267. C.C. Thomas, Springfield.
- 4) Ferner, H. & Staubesand, J., Sobotta-Figge, Atlas of human anatomy, 2. Visceral anatomy. 1977, 106, 115. Urban & Schwarzenberg, Baltimore.
- 5) Mitchell, G. A. G., Anatomy of the autonomic nervous system. 1953, 274, 279. E. & S. Livingstone, Edinburgh.
- 6) Barcroft, J., Features in the architecture of physiological function. 1934, 141-156, Cambridge Univ. Press.
- 7) Eckardt, P., Blutgehalt und Durchblutung der Leber bei Splanchnicusreizung. *Pflügers Arch. ges. Physiol.*, 1935, 236, 361-366.
- 8) Usadel, W., Die Kreislaufstörung bei der freien eitrigen Bauchfellentzündung und Einfluss der Darmbewegung auf den Pfortaderkreislauf. *Arch. klin. Chir.*, 1926, 142, 423-444.
- 9) 銭場武彦, 門脈循環とくに消化管運動と血行, 脈管学 1975, 15, 147-153,
- 10) Semba, T., Fujii, K. and Kimura, N., The undulatory changes in the spleen volume and their effects on the blood flow in the splenic vein. *Tohoku J. exp. Med.*, 1966, 90, 331-336.
- 11) Grim, E., The flow of blood in the mesenteric vessels. *Handbook of Physiology*, Sec. 2. Circulation. 1963, 2, 1439-1456, Amer. Physiol. Soc., Washington, D. C.
- 12) Barcroft, J. & Nisimaru Y., Undulatory changes of

- blood pressure. *J. Physiol.*, 1932, 74, 311-320.
- 13) Wiedeman, M. P., Patterns of the arteriovenous pathways. *Handbook of Physiology*, Sec. 2. Circulation 2, ed. by Hamilton, W. F., 1963, 891-933, Amer. Physiol. Soc., Washington D. C.
 - 14) Barlow, T. E., Bentley, F. H. and Walder, D. N., Arteries, veins and arteriovenous anastomoses in the human stomach. *Surg. Gynecol. Obstet.*, 1951, 93, 657-671.
 - 15) Spanner, R., Neue Befunde über die Blutwege der Darmwand und ihre funktionelle Bedeutung. *Jahr. f. Morph. u. Mikroskop. Anat.*, 1932, 69, 394-454.
 - 16) Lundgren, O., Studies on blood flow distribution and countercurrent exchange in the small intestine. *Acta Physiol. Scand.*, 1968, 72, Suppl. 303, 1-42.
 - 17) Johnson, P. C., Origin, localization and homeostatic significance of autoregulation in the intestine. *Cir. Res.*, 1964, 15, Suppl. 1, 225-232.
 - 18) Johnson, P. C., Myogenic nature of increase in intestinal vascular resistance with venous pressure elevation. *Cir. Res.*, 1959, 7, 992-999.
 - 19) Folkow, B., Lewis, D. H., Lundgren, O., Mellander, S., and Wallentin, L., The effect of the sympathetic vasoconstrictor fibres on the distribution of capillary blood flow in the intestine. *Acta Physiol. Scand.*, 1964, 61, 458-466.
 - 20) Selkurt, E. E., Gastrointestinal circulation. *Physiology. Blood Vessels and Lymphatics*, ed. by Abramson, D. I., 1962, 333-340, Academic Press, New York.
 - 21) Mall, F. P., The contraction of the vena portae and its influence upon circulation. *Johns Hopkins Hospital Reports.*, 1896, 1, 111-156.
 - 22) Anrep G. V., Cerqua, S., and Samaan, A., The effects of muscular contraction upon the blood flow in the skeletal muscle, in the diaphragm and in the small intestine. *Proc. Roy. Soc. B.*, 1934, 114, 245-257.
 - 23) Sidky, M and Bean, J. W., Influence of rhythmic and tonic contraction of intestinal muscle on blood flow and blood reservoir capacity in dog intestine. *Amer. J. Physiol.*, 1958, 193, 386-392.
 - 25) Semba, T., Fujii, K., and Fujii, Y., Influence of peristaltic contraction of the stomach on blood flow through the gastrosplenic vein. *Hiroshima J. med. Sci.*, 1970, 19, 87-97.
 - 26) Semba, T., Fujii, Y., Relationship between venous flow and colonic peristalsis. *Jap. J. Physiol.*, 1970, 20, 408-416.
 - 27) Semba, T. and Sasaki, Y., The effects of intestinal contraction on the portal venous pressure. *Jap. J. Physiol.*, 1952, 3, 18-24.
 - 28) Semba, T., Fujii, K., and Fujii, Y., The influence of rhythmic and tonic contraction of the small intestine on blood flow through the intestinal segment. *Jap. J. Physiol.*, 1971, 21, 1-14.
 - 29) Semba, T., Fujii, K., and Mizonishi, T., Relation of intestinal motility to venous outflow and saturation of blood O₂ through mesenteric blood vessels. *Jap. J. Physiol.*, 1973, 23, 541-557.
 - 30) Semba, T., The influence of intestinal movements on blood flow and oxygen saturation through on intestinal segment. *Folia Angiologica*, 1976, 24, 109-112.
 - 31) Semba, T., Mizonishi, T., Ikeda, Y. & Nagao, Y., Influence of intestinal inhibitory reflex on mesenteric blood flow through an intestinal segment of the dog. *Jap. J. physiol.*, 1977, 27, 439-450.
 - 32) 錢場武彦・溝西 亘, 池田禎仁, 小腸運動促進反射が門脈血行に及ぼす影響, 広島医学 1978, 31, 556-563.
 - 33) Semba, T., Kishi, Y., Periodic changes in the liver volume and changes in the portal venous pressure. *Jap. J. Physiol.*, 1952, 2, 296-302.
 - 34) Griffith, F. R. & Emery, F. E., The vasomotor control of the Liver circulation. *Amer. J. Physiol.*, 1930, 95, 20-34.
 - 35) Clark, G. A., A comparison of the effects of adrenaline and pituitrin on the portal circulation. *J. Physiol.*, 1928, 66, 274-280.
 - 36) Grab, W., Janssen, S. & Rein, H., Über die Grösse der Leberdurchblutung. *Z. Biol.*, 1929, 89, 324-331.
 - 37) 錢場武彦・岸 良尚・山内 功, 肝臓容積描記法について, 広島医学 1951, 4, 383-385.
 - 38) Naito, Y., Studies on the rhythmic contraction

of the portal vein of a dog. Hiroshima J. med. Sci.,
1954, 3, 29-37.

侵襲末梢血流計測法, レーザー法ならびに熱勾
配法の評価, 脈管学 1988, 28, 1281-1286.

39) 横山和則・田村俊世・戸川達男・渡辺 勲: 無

Summary

The effects of undulatory changes in the spleen and liver volume, and the effects of tonic and rhythmic contraction of the gut on portal venous flow were investigated in anesthetized dogs.

Following results were obtained.

1. The rhythmical contraction of period of 12-57 sec. were observed on the portal vein. It was obtained on extracted preparation and in situ.

2. Active periodic changes in the liver volume caused by injection of Ringer's solution and sod. citrate solution were observed in the dog. Active contraction of liver caused about 10% changes in portal venous pressure.

3. The undulatory changes in the spleen volume effects on the blood flow in the splenic vein. Normal splenic blood flow averaged 27.7 ml/min, but increased to 32.2 ml/min during the period of rhythmic contraction of spleen. This increase corresponded to 16.2% of the normal splenic blood flow.

4. Intestinal contraction caused periodicity not only in venous outflow but also in oxygen saturation in venous blood. It was observed in tonic contraction that augmentation of venous outflow synchronized with reduction of oxygen saturation in venous blood and that diminution of venous outflow produced an increase of oxygen saturation in venous blood.

In rhythmic contraction, the correlation between venous outflow and oxygen saturation in venous blood could be classified into two patterns. In the first pattern fluctuations of venous outflows corresponded reciprocally to fluctuations of oxygen saturation, and in the second pattern both curves fluctuated parallel to each other.

Experiments were also performed influence of the intestinal reflexes on the portal venous flow. It was observed on experiments of cross-circulation system that venous outflow diminished parallel to the loss of intestinal tone during the intestinal inhibitory reflexes, but venous outflow augmented constantly during the intestinal excitatory reflexes.

The mechanisms of the correlation between venous outflow and oxygen saturation in venous blood is discussed on the basis of the particularity of distribution of minute blood vessels and of the autoregulatory systems.