

仰臥位運動による肝門脈血流量の動態

川崎医療福祉大学 矢野博己

(共同研究者) 東京学芸大学 矢野里佐

川崎医療福祉大学 宮地元彦

Changes in Hepatic Portal Venous Flow in the Supine Position During and After Exercise

by

Hiromi Yano

Kawasaki University of Medical Welfare

Lisa Yano

Tokyo Gakugei University

Motohiko Miyachi

Kawasaki University of Medical Welfare

ABSTRACT

We attempted to estimate 1) the changes in hepatic portal venous flow in healthy males ($n=5$) at different exercise intensities by using an ultrasonic Doppler method, and 2) the effect of the supine position on hepatic portal venous flow during and after exercise. Portal venous flows in both the upright and supine positions were significantly reduced at 60% ($P<0.05$) and 80% ($P<0.01$) $\dot{V}_{O_{2\max}}$ intensity of exercise as compared with the resting level. A high negative correlation between portal venous flow as the percentage of the resting value (100%) and oxygen consumption as the percentage of $\dot{V}_{O_{2\max}}$ was observed.

Fifteen min after exercise at 80% $\dot{V}_{O_{2\max}}$, portal venous flow did not completely return to the resting level with subjects in the upright

position ($P < 0.05$). However, in the supine position portal venous flow did return to the resting level ($P \geq 0.05$). These results indicate that hepatic portal venous flow as measured by the ultrasonic Doppler method was dependent on exercise intensity. We consider that the supine position could be an effective posture against a fall in portal venous flow, especially after high intensity exercise.

要 旨

本研究は健康な男子 ($n = 5$) を被検者とし、超音波ドップラー計を用いて運動強度の違いによる肝門脈血流量の変化をとらえ、さらに肝門脈血流量に及ぼす仰臥位姿勢運動の有効性について検討した。肝門脈血流量は、安静時と比較して座位運動、仰臥位運動ともに $60\% \dot{V}_{O_{2max}}$ ($P < 0.05$)、 $80\% \dot{V}_{O_{2max}}$ ($P < 0.01$) 強度で有意な低下を示した。安静時門脈血流量を 100 とした場合の %flow volume と $\dot{V}_{O_{2max}}$ との間に高い負の相関関係が見られた。運動負荷終了後 15 分経過した後でも、 $80\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 強度の座位運動の場合、安静時レベルに達する十分な回復が見られなかった ($P < 0.05$)。しかしながら、同強度仰臥位運動後では回復が観察された ($P \geq 0.05$)。以上の結果より運動時の肝門脈血流量は、超音波ドップラー計を用いた測定結果から、運動強度に依存して低下することが認められた。さらに仰臥位姿勢は、とくに高強度運動終了後の肝門脈血流量の回復に有効であることが示唆された。

緒 言

物質代謝の中心的役割を果たす肝機能の低下が、健康の維持に影響を及ぼすことに関しては、異論のないところであろう。

運動が肝機能に影響を及ぼすことは知られており、その原因として、運動時の活動筋への血液供

給の増大が、肝血流量を著しく低下させるためであると考えられる⁵⁾。これまで運動時の肝血流量の低下に関しては、ICG (indocyanine green dye) 法を用いた報告が主であった^{2,4,9)}が、ICG 法は直接的に血流の速度や流量を定量するものではなく、方法も肝静脈にカテーテルを挿入するなど、簡便さに欠けると思われる。近年、超音波ドップラー法を用いて、体表面から容易、かつ直接的に血流動態をとらえる技術が開発され、超音波ドップラー計を用いた肝門脈血流量の定量が可能となった^{5,7)}。この方法を用いることにより、運動時においても肝門脈血流動態を経時的に測定することが可能であると思われる。

一方、肝門脈血流量は姿勢変化に影響を受けることが知られている^{8,9)}。仰臥位状態では、座位状態の門脈血流量に比較して高値を示す傾向が報告されている⁸⁾。われわれは、仰臥位状態での運動は活動筋への血流抵抗が増大する反面、肝血流量を維持しながら運動を実施できる可能性を有し、とくに運動中の腹腔圧上昇から開放される回復期に、顕著に見られるのではないかとの仮説を立てた。しかしながら、この点に関する報告は見られず、検討の余地が残されている。

そこで本研究は、超音波ドップラー計を用いた運動時の肝門脈血流量の定量を試み、運動強度の違いによる肝血流量の変化をとらえ、さらに仰臥位姿勢運動の有効性について検討することを目的とした。

1. 方 法

被検者は健康な男子大学生5名であった(表1)。運動負荷は自転車エルゴメータ(Monark社製)を使用した座位姿勢運動, ハンドエルゴメータ(Monark社製)にペダルを装着したものをを用いた仰臥位姿勢運動とした。座位姿勢運動による $\dot{V}_{O_{2max}}$ を, 間欠的多段階定常法を用いて測定し(57.30 ± 2.70 ml/min/kg; mean \pm SE), 運動強度と酸素摂取量の直線性を確認した後, 30%, 60%, および80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 強度を設定した。酸素摂取量の測定はDouglasバッグ法を用いた。ガスメータはShinagawa Seiki社製を使用し, ガス分析には質量分析器(Westron社製)を用いた。

実験前夜10時間以上の絶食後, 早期より実験を行った。安静状態の座位および仰臥位肝門脈血流量を測定後, 各運動強度を座位および仰臥位下でおのおの負荷した。各運動強度における肝門脈血流量動態を, 10分間の運動中および運動終了

後, 回復期15分間経時的に測定した。なお, 各強度, 各姿勢における運動負荷テストはそれぞれ別な日に行った。門脈血流量の測定には, アロカ社製2次元超音波血流映像装置(超音波ドップラー血流計SSD-870型およびSSD-2000型)を使用した(図1)。プローブにはコンベックス型(3.5MHz)を使用し, 心窩部から上腹部矢状操作により, Bモードで門脈本幹中央部を長軸に写しだした^{5,7)}。ドップラービームは血管走行に対して, 測定誤差の少ない60度以下で入射した³⁾。また運動時の腹部の揺れにより, ビームが血管壁に触れ, 生じるノイズを少なくするためサンプリングマーカ(ビーム幅)は2mmとした。門脈血流速度の測定と同時に, 血管断面の楕円の短軸の直径より門脈本幹中央部の血管断面積を算出した(図2)。運動強度の監視はECGテレメータ(日本光電社製)を用いて心拍数で随時行った。

結果は平均値 \pm 標準誤差で表示し, 平均値の差の検定は, ANOVAにより分散に有意性の認められたものについて, ScheffeのF-testを用いて

表1 被検者の身体的特徴

n	age (yr)	height (cm)	body weight (kg)	$\dot{V}_{O_{2max}}$ (ml/min/kg)	hepatic portal venous flow in a sitting (ml/min)
5	20 \pm 0.4	173.28 \pm 3.99	61.76 \pm 2.57	57.30 \pm 2.70	602.66 \pm 12.73

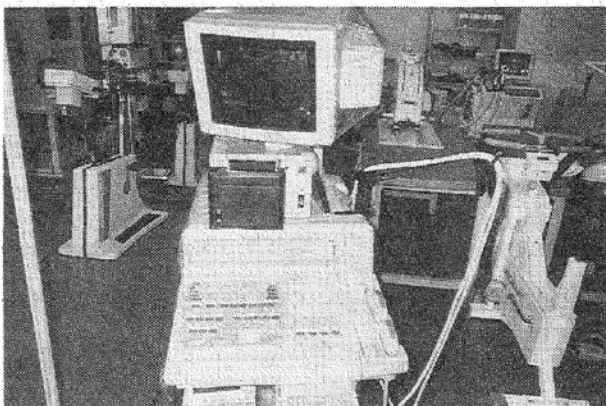


図1 アロカ社製2次元超音波血流映像装置(超音波ドップラー血流計SSD-2000型)

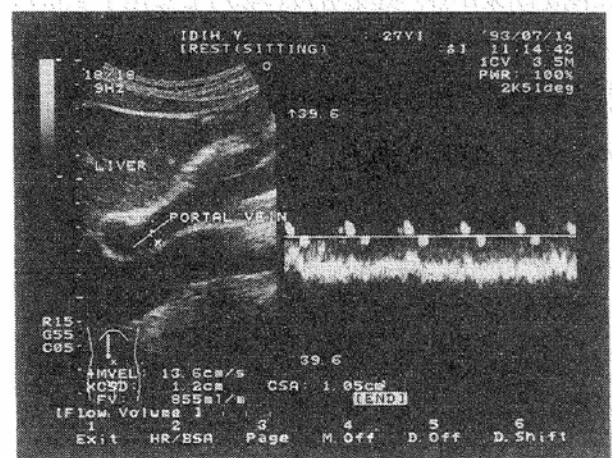


図2 肝門脈本幹部B-モードスキャン(左)および肝門脈本幹部からのドップラー信号(右)

行った。また各項目間の相関関係については、Pearson の積率相関係数を用いて行った。すべて 5% 水準をもって有意な差があるとした。

2. 結 果

門脈血流量は座位安静時 (602.67 ± 12.72 ml/min) と比較して、30% $\dot{V}_{O_{2max}}$ では 404.26 ± 26.07 ml/min であったが、60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ で 347.48 ± 29.27 ml/min ($P < 0.05$)、80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ で 260.84 ± 18.84 ml/min ($P < 0.01$) と有意な低下であった。仰臥位運動において、門脈血流量は安静時 (627.87 ± 41.08 ml/min) と比較して、30% $\dot{V}_{O_{2max}}$ (468.86 ± 44.83 ml/min) では有意な低下は見られなかったが、60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ (322.82 ± 77.48 ml/min, $P < 0.05$)、80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ (246.70 ± 44.28 ml/min, $P < 0.01$) で座位と同様に有意な低下が見られた。仰臥位運動は座位運動と比較した場合、どの強度においても門脈血流量に統計的な有意差は認められなかった。座位運動終了後 15 分では 30% $\dot{V}_{O_{2max}}$ で 509.95 ± 58.02 ml/min、60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ では 468.24 ± 56.21 ml/min まで回復したが、80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ では 369.07 ± 35.23 ml/min ($P < 0.05$) に留まった。しかし、仰臥位運動終了後 5 分で 30%、60%、80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ とも回復した (図 3)。

3. 考 察

これまで、超音波ドップラー法を用いた運動中の経時的な肝門脈血流量の定量に関する報告は見られない。今回用いた超音波ドップラー法による肝門脈血流量の定量は、Gill³⁾ の報告をもとに、Ohnishi ら^{7,8)} が用いた方法を使って行った。方法上、とくに高強度運動負荷時の測定に関しては、検者に熟練が要求されるものと思われた。すなわち、自転車運動にともなう下肢の移動による腹部の揺れが測定誤差を招来するからである。一般に臨床で利用される場合には、検者 1 名で測定が行

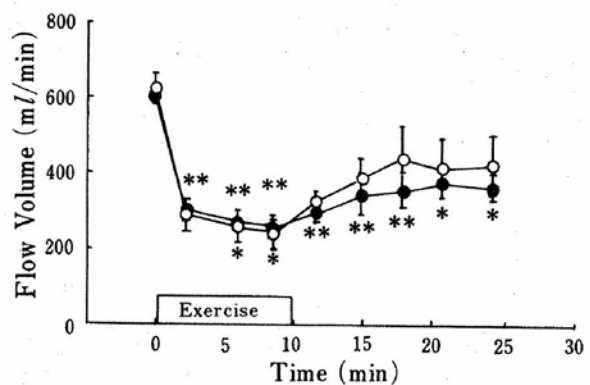
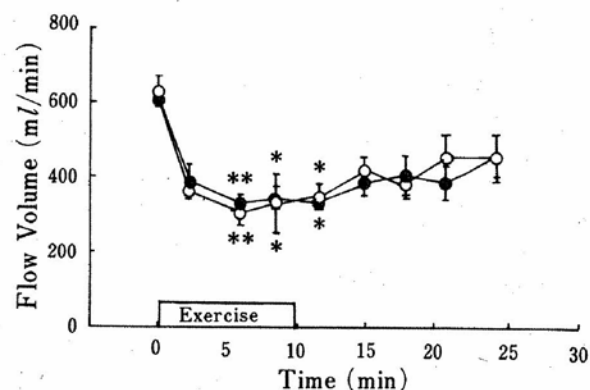
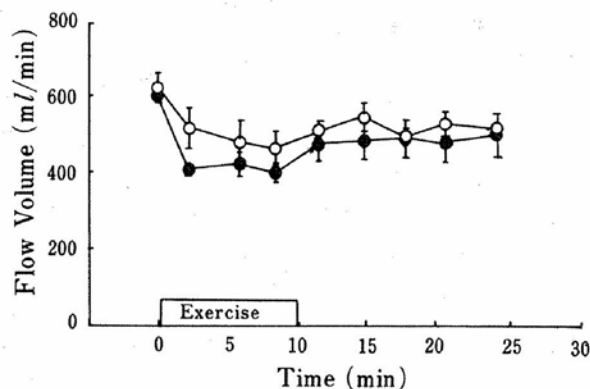


図 3 各運動強度の肝門脈血流動態に及ぼす座位および仰臥位姿勢の影響

30% $\dot{V}_{O_{2max}}$ (上), 60% $\dot{V}_{O_{2max}}$ (中),
80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ (下) ●; 座位, ○; 仰臥位

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$; 安静時との有意性

われるのが普通であるが、運動時の測定に関しては、ドップラービームのサンプリング位置を常に門脈本幹中央部の血管中心部付近にするためには、プローブ操作および画面上の計測は分担して、2名の検者により行う方が適切かと思われた。

3. 1 運動強度との関係

空腹安静時, 門脈血流量を 100 とした場合の各強度終了直前における %flow volume は, $\dot{V}_{O_{2max}}$ との間に高い負の相関関係を示した (図 4). この結果は, ICG 法を用いて総肝血流量を間接的に測定した, Rowell ら⁹⁾の報告と非常によく一致する傾向のものであった. また運動強度に依存して, 肝門脈血流量の低下が生じることを支持していると思われる. 本結果は, 運動による肝門脈血流量低下の原因について明らかにするものではないが, 肝微小循環の能動的な収縮による変化¹⁰⁾, あるいは運動強度にともなう骨格筋への血流配分の増加^{5, 11)}による受動的な減少の 2 つが考えられる. 肝門脈血流量は, 運動強度に依存するものの, $30\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 程度の低い強度での運動は座位, 仰臥位運動中および回復期, とともに運動開始前の門脈血流量との有意な差が観察されず (図 3), 肝血流量を維持しながらの運動が可能な強度であると思われる. これは, 肝血流量の維持を必要とするヒトに対する, 運動処方を目安となる可能性も考えられる.

3. 2 姿勢との関係

仰臥位運動における門脈血流量の減少は, 座位運動と比較した場合, どの強度においても統計的な有意差は認められなかった. しかしながら, 座位での運動では $80\% \dot{V}_{O_{2max}}$ で, 運動終了後 15 分

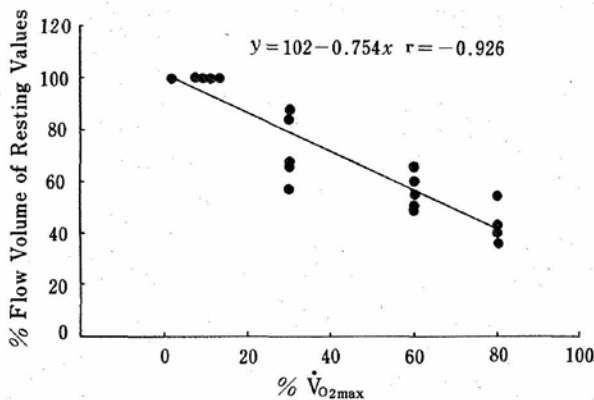


図 4 座位姿勢時の酸素摂取量と肝門脈血流量との関係

経過した後においても, 門脈血流量は安静時に比較して有意に低値を示したが, 仰臥位運動後の回復期においては, 安静時と比較して有意な差は認められなかった. この結果は, 運動後回復時における仰臥位の姿勢が, 肝血流量の回復を促進する可能性を示唆している. すなわち, 仰臥位によって, 運動後の筋から心臓への静脈還流に対する静水圧が均等になることで, 一回拍出量が増大した結果ではないかと思われる. $80\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 強度の運動時および回復期において, 心拍数に有意な差は見られなかった. 同じ心拍数では, 座位に比較すると, 仰臥位でより静脈還流が大きく, 心拍出量も多いことが指摘されている¹⁾ことから, 仰臥位による心臓への静脈還流量の増加が, 回復期の肝門脈血流量の増加に影響したと考えられる.

以上の結果, 超音波ドップラー血流計を用いた, 肝門脈血流量の定量が, 運動中でもある程度可能であることが示唆された. 超音波ドップラー血流計の活用により, 無侵襲かつ経時的な測定が可能になるものと期待される. また, 肝門脈血流量の低下は, 運動強度に強く依存する傾向を認めた. さらに, 仰臥位姿勢が高強度運動後の門脈血流量の回復を促進することが示された.

謝 辞

本研究は, 株式会社アロカ 岡山営業所の協力によるものであり, ここに記して感謝の意を表わす. 本稿は第 48 回日本体力医学会 (1993 年) において一部発表したものである.

文 献

- 1) Bevegard, S., Holmgren, A., Jonsson, B.; The effect of body position on the circulation at rest and during exercise, with special reference to the influence on the stroke volume, *Acta Physiol. Scand.*, **49**, 279-298 (1962)
- 2) Felig, P., Wahren, J.; Amino acid metabolism in exercising men, *J. Clin. Invest.*, **50**, 2703-2714 (1971)

- 3) Gill, R. W. ; Pulsed Doppler with *B*-mode imaging for quantitative blood flow measurement, *Ultrasound in Med. & Biol.*, **5**, 223-235 (1979)
- 4) Lundbergh, P., Strandell, T. ; Changes in hepatic circulation at rest, during and after exercise in young males with infectious hepatitis compared with controls, *Acta Med. Scand.*, **196**, 315-325 (1974)
- 5) 森安史典, 伴 信之, 五十嵐昭夫, 山本富一, 塩村惟彦, 洲崎 剛, 兼松雄象, 岡崎和一, 三宅健夫, 内野治人 ; リニア電子スキャン・パルスドップラー複合血流計による門脈血流量の測定, *肝臓*, **24**, 537-543 (1983)
- 6) Musch, T. I., Friedman, D. B., Pitetti, K. H. ; Regional distribution of blood flow of dog during graded dynamic exercise, *J. Appl. Physiol.*, **63**, 2269-2277 (1987)
- 7) Ohnishi, K., Saito, M., Koen, H., Nakayama, F., Nomura, F., Okuda, K. ; Pulsed Doppler flow as a criterion of portal venous velocity : Comparison with cineangiographic measurements, *Radiology*, **154**, 495-498 (1985)
- 8) Ohnishi, K., Saito, M., Nakayama, T., Iida, S., Nomura, F., VO, H., Okuda, K. ; Portal venous hemodynamics in chronic liver disease : Effects of posture change and exercise, *Radiology*, **155**, 757-761 (1985)
- 9) Rowell, L. B., Blackmon, J. R., Bruce, R. A. ; Indocyanine green clearance and estimated hepatic blood flow during mild to maximal exercise in upright, *J. Clin. Invest.*, **43**, 1677-1690 (1964)
- 10) 斉藤雅文 ; 肝の神経性血管運動調節に関する実験的研究 : 正常肝と硬変肝との比較, *肝臓*, **24**, 740-751 (1983)
- 11) Strangé, S., Rowell, L. B., Christensen, N. J., Saltin, B. ; Cardiovascular responses to carotid sinus baroreceptor stimulation during moderate to severe exercise in man, *Acta Physiol. Scand.*, **138**, 145-153 (1990)