

ヒト運動時の腹部内臓血流応答

県立広島大学 福場良之
(共同研究者) 同 山岡(遠藤)雅子

Differential Blood Flow Responses of Abdominal Organs during Low-intensity Cycling Exercise in Human

by

Yoshiyuki Fukuba, Masako Yamaoka Endo
*Department of Exercise Science and Physiology,
School of Health Sciences,
Prefectural University of Hiroshima*

ABSTRACT

The degree of abdominal blood flow redistribution during exercise is poorly understood. In order to investigate the regional hemodynamic responses of abdominal arteries at the onset of exercise, eight female subjects (21-30 yrs) performed semi-supine cycle ergometry at 40 W for 4 min. Blood velocity (BV) in the right renal (RA), superior mesenteric (SMA), and splenic (SA) arteries was measured by the pulsed echo-Doppler ultrasonography throughout the protocol, with heart rate (HR) and mean arterial pressure (MAP) measured beat-by-beat using Finapres. Vascular resistance index (RI) in each artery was calculated from BV/MAP . MAP and HR increased significantly during exercise compared to the resting baseline (MAP; 76 ± 9 to 83 ± 8 mmHg, HR; 60 ± 7 to 101 ± 9 bpm at 4 min). The BV of RA and SA decreased rapidly and exponentially after the onset of exercise (change in BV at 30 s; -19 ± 5 and -19 ± 12 %, respectively), reaching -27 ± 7 and -27 ± 15 % of baseline by end exercise (4 min). RI remained constant during the initial 30 s of exercise (reflecting a reduction in MAP) and then

increased towards the end of exercise (change in RI at 4 min; $+55 \pm 21$ and $+59 \pm 39$ %, respectively). In contrast, both BV and RI in the SMA remained constant throughout the protocol. We conclude that low-intensity cycling exercise resulted in differential blood flow responses in arteries supplying the abdominal organs.

要 旨

運動時に腹部内臓領域へどのように血流が配分されているのかについては不明な点が多い。そこで本研究では、動的な運動開始時の内臓血流応答の地域性について検討することを目的とした。被検者は健康な一般成人女性8名(21-30歳)で、安静3分の後、負荷40Wの自転車エルゴメータ運動を半仰臥位で4分間行った。プロトコールを通して、超音波ドップラー法による右腎動脈(RA)、上腸間膜動脈(SMA)および脾動脈(SA)の血流速度(BV)と、心拍数(HR)ならびに平均動脈血圧(MAP)を連続的に測定した。血管抵抗を示す指標として、MAPをBVで除した指数(RI)を算出した。運動時のMAP、HRは安静時と比較して共に有意な増加を示した。RAおよびSAにおけるBVは、運動が開始すると直ちに安静時の値から有意に低下し、それらのRIは運動開始30秒後から有意な増加を示した。一方、SMAにおけるBVおよびRI共に、運動による有意な変化を認めなかった。これらの結果より、低強度の動的運動時、ヒト腹部内臓血流は支配される器官・組織が異なる各動脈血管によって、その応答に差異(地域性)のあることが示唆された。

緒 言

安静時の腹部内臓血流(内臓血流, splanchnic blood flow: SBFと腎血流の総和)は、心拍出量の約50%を占めている。運動時には腹部内臓領域から活動筋へのすばやくかつ適切な血流再配分が大切な役割を担っていると考えられ、運動時の腹

部内臓領域への血流ならびに血管抵抗の変化といった循環調節応答は非常に興味深い研究テーマである。

ヒトを対象とした研究で、最大運動時にSBFおよび腎血流は、安静時の20%程度まで減少することがすでに報告されている^{15, 16)}。しかし、従来の腹部内臓領域への血流測定方法は、クリアランス法を用いた侵襲的な方法が主流であり、結果として時間分解能(経時的な連続測定)が極めて劣る、いいかえると定常状態の値しか測定できず、運動開始直後の変化などは観察できないという問題点が存在していた。近年、超音波ドップラー法の急速な技術進歩によって、腹部内臓血管の描画とその血流の連続的な測定が可能となりつつあり、この方法を用いて、動的脚運動時の上腸間膜動脈(superior mesenteric artery: SMA)の血流応答について検討した研究がすでにいくつか報告されている^{1, 8, 11, 12, 13)}。しかし、それらを概観すると、SMAの血流量は減少する、増加する、あるいは変化しないといった結果で、一致した見解はえられていない。また最近、Sinowayたちのグループ^{4, 5, 6)}では、静的掌握運動中の腎動脈(renal artery: RA)の血流応答に焦点をあてた研究を集中して行っているが、自転車エルゴメータ運動のような、日常生活の中での運動に近い、動的で全身性な運動中のRA血流応答を超音波ドップラー法によって、運動開始時も含めて検討した研究は、現在までのところほとんど存在しないと思われる。

腹部内臓血管は異なった機能を持つ臓器へ血液を供給するために分岐しているにもかかわらず、

これまでの研究において腹部内臓血流応答を検討する目的で超音波ドップラー法によって測定されてきた対象血管は、SBFとしてSMAあるいは門脈、または腎血流となるRAといったように、単一の血管のみを取り上げ評価してきている^{1, 8, 11, 12, 13, 14}。そこで本研究では、超音波ドップラー法を用いて自転車エルゴメータ運動中のRA、SMAおよび脾動脈 (splenic artery: SA) の血流応答を同時に測定し比較することで、腹部内臓血流応答の地域性について検討することを目的とした。あわせて、これらの血流応答を連続的に測定することで、特に運動開始時の腹部内臓血流応答について検討を加えた。

1. 研究方法

1. 1 被検者

本実験を開始するに先立って、23名の健康な一般女性を対象に、腎動脈 (RA)、上腸間膜動脈 (SMA)、および脾動脈 (SA) それぞれの血管の描画と血流速度の測定を試みたが、血管の形状、腸内ガスの存在、運動に伴う血管の動きなどの諸問題により、血流速度測定の困難な場合が多く生じた。その結果、対象とする3つの血管すべてにおいて血流速度測定が比較的容易であった8名を被検者として以降の本実験を行うこととした。すべての被検者は実験の目的、方法および危険性について十分な説明を受けた。彼女らは実験を途中で辞退できることを周知理解の上、実験に参加することに承諾し同意書に署名した。また、動的運動以外の因子による血流応答への影響を最小とするために、実験開始前3時間以内の食事および水分摂取は禁止した。被検者の年齢、身長、体重の範囲は、それぞれ21 - 30歳、157 - 168cm、49 - 56kgであった。特に高い運動習慣やトレーニング歴といった身体活動性を有した被検者はいなかった。

1. 2 実験プロトコール

運動負荷は、電磁ブレーキ式の自転車エルゴメータ (ANGIO, Lode社製) を用いて半仰臥位姿勢で行った。プロトコールは自転車エルゴメータ上での3分間安静の後、半仰臥位姿勢のまま比較的軽い強度である40Wの運動を4分間行い、その後、再び回復期として3分間の安静を保った。運動中を通して回転数はメトロノームによって毎分60回転が維持された。なお、1回の試行で複数の血管の血流速度を同時に測定することができないため、同じプロトコールをランダムな順序で3回繰り返し、測定対象血管である3つの動脈血管の血流速度をそれぞれ測定した。同一プロトコールは、少なくとも30分の間隔をおいて行った。

1. 3 測定項目

各血管の血流速度 (BV)、ならびに心拍数 (HR) と動脈平均血圧 (MAP) はプロトコール中を通して連続的に測定した。BV測定は、電子走査超音波断層装置 (EUB-6500, 日立メデイコ製) を用いて超音波パルスドップラー法によって連続測定した。HRは心電計 (BP-306, コーリン社製) を用いて胸部双極誘導法により測定した。MAPは右手中指から非観血的連続自動血圧計 (Finapres2300, Ohmeda社製) を用いてbeat-by-beatで測定した。この血圧値は、左腕にマンシェットを巻いた通常の自動血圧計 (BP-306, コーリン社製) で1分毎に測定された血圧値によって校正された。

各血管のBVは腹部前方から2.5MHzのコンベックス型プローブを標的血管にあて、血流に対するドップラー入射角度が45~65度になるよう設定し、beat-by-beatで測定した。超音波が血液中の赤血球にあたり反射してくる順行流と逆行流それぞれの音声信号と心電図波形を、20kHzでA/D変換してデータサンプリングし、えられた音声信号を周波数解析 (256ポイントごとにFFT解析)

することによって、BVを算出した。右RAのBVは、上腹部横走査により、腹大動脈から分岐した後の1~3cmの血管部位へサンプルボリューム(測定位置)を設定し測定した。SMAのBVは、上腹部正中縦走査により、腹大動脈から分岐した後の約2cm付近のSMAへサンプルボリュームを設定し測定を行った。SAのBVは、上腹部正中縦走査により、腹腔動脈から分岐した場所より約1cm以内のSAにサンプルボリュームを設定し測定を行った。各血管の血流速度は、超音波Bモード法によって常に血管の縦断画像をリアルタイムで描画し確認しながら連続測定した。

1. 4 データの処理と解析

血管形状の個体差でSAにおけるBVの測定が1名の被検者ではどうしても困難であったため、最終的にSAでは7名のデータとなった。BV、HRおよびMAPのデータは、beat-by-beatから1秒値データに変換してその後の解析に供した。また腹部内臓血管は呼吸に伴って規則的な変動を示すため、各血管のBVのデータは実際にえられたデータの吸気相あるいは呼気相のどちらかの呼吸相(被検者によって固定)におけるピーク値のみをBVとしてその後の解析に用いた。Sinowayのグループ^{4,5,6)}の方法に準じて、血管抵抗を示す指標として、MAPをBVで除することにより血管抵抗指数(resistance index: RI)を算出した。全ての時系列的測定データは、以下のような平均処理によって要約された。安静時のデータは、安静3分間のうち最初の2分30秒までの期間の平均値を用いた。運動中のデータは、運動開始直後(5秒間)のデータは除き、その後5秒から10秒の平均値、10秒から1分目までは10秒毎の平均値、1分から2分目までは20秒毎の平均値、2分目から運動終了時までは30秒毎の平均値、をそれぞれ算出した。回復期のデータは、運動終了直後の1分間は10秒毎の平均値、終了後1分から2分目ま

では20秒毎の平均値、2分から3分目までは30秒毎の平均値、をそれぞれ算出した。

各測定項目は、平均値と標準偏差で示した。各パラメータにおける経時変化の有意性の検定は、繰り返しのある一元配置の分散分析によって行い、有意差が認められたパラメータについてはDunnettの方法によって安静値に対する有意差検定を行った。運動に対する各血管の応答の差異については、繰り返しのある一元配置の分散分析によって検定を行い、有意差が認められた時刻については、さらにTukeyの方法によるpost-hoc testで検定した。これらすべての統計解析はSPSS for Windows-Ver12.0によって行った。いずれの場合にも有意水準の判定は5%未満とした。

2. 結果

MAPは運動開始直後、一過性の減少を示し、その後は上昇に転じ、運動開始100秒目付近から運動終了時までの期間は、安静時に対して有意な上昇を示したが、運動が終了すると直ちに安静時の値に戻った(図1)。HRは運動開始するとすぐに安静時から有意に増加し、その後、約60秒付近以降は約100bpmの定常状態を示した。運動終了後約1分間は、運動前安静時との間に有意差が認められた(図2)。また本研究では、各血管のBV測定のための同一プロトコルを各被検者でランダムに3回繰り返して行ったが、MAPおよ

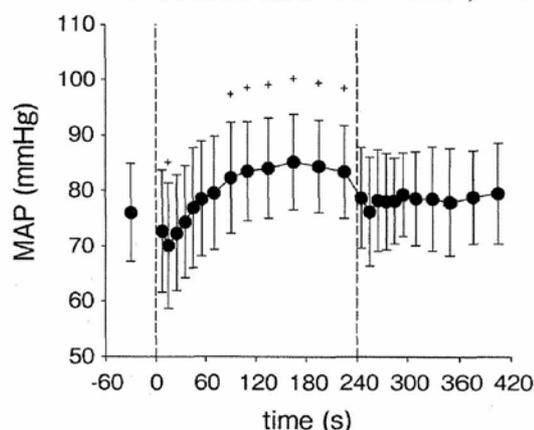


図1 プロトコル中の平均動脈血圧の経時変化
+; 安静時との有意差

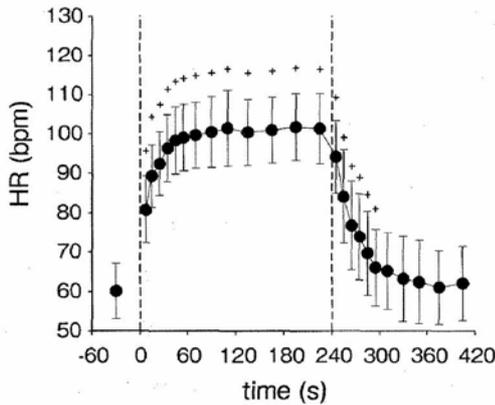


図2 プロトコール中の心拍数の経時変化
+; 安静時との有意差

びHRの応答は各プロトコール間でほぼ同一の応答を示すことを確認した。

RAとSAにおけるBVは、運動を開始すると安静時に対して急速で有意な低下を示し、その後、両者共に運動中は低下したままであった。運動が終了すると、RAでは終了後40秒目まで、SAでは10秒目まで有意な低下が認められ、その後は安静レベルへ回復していった。一方、SMAのBVには運動中に有意な変化が認められなかった(図3)。

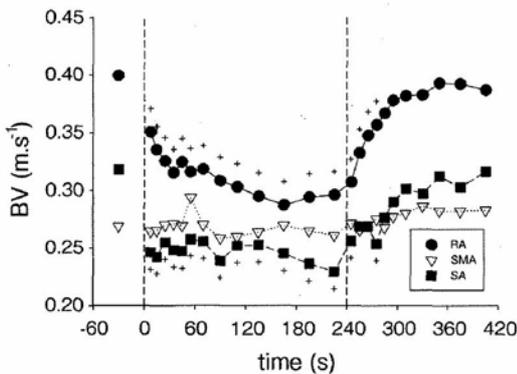


図3 プロトコール中の腹部内臓血流速度の経時変化
RA; 腎動脈, SMA; 上腸間膜動脈,
SA; 脾動脈, +; 安静時との有意差

RAとSAにおけるRIは、運動開始直後30秒までは安静時に対して有意な変化が認められなかったものの、その後は、両者共に有意な上昇を示した。運動終了後は、RAで30秒目まで、SAでは10秒目まで有意な血管抵抗の増加が持続した(図4)。一方、SMAのRIは、運動中に増加傾向

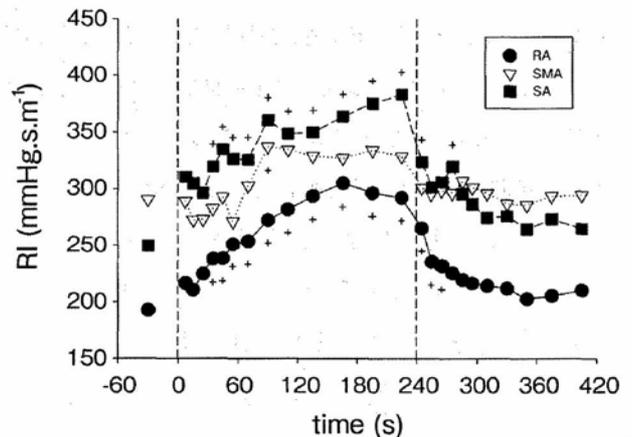


図4 プロトコール中の腹部内臓血管抵抗の経時変化
RA; 腎動脈, SMA; 上腸間膜動脈,
SA; 脾動脈, +; 安静時との有意差

は認められたが、BVの結果と同様に有意な変化ではなかった(図4)。

本研究で対象とした3つの腹部内臓血管の地域性を検討するために、各被検者の安静時の値を100として、運動中のBVおよびRIの変化を相対値で表示し比較したものが図5および図6である。RA, SAの両血管では、BVおよびRI共に運動中は類似な応答を示し、運動の後半ではBVが安静時の約20%程度低下し、RIが約60%増加した。SMAはBVおよびRI共に安静時の値から有意な変化は認められなかった。また、RAならびにSAの応答(BVとRI)の間に有意な違いはみられなかった。

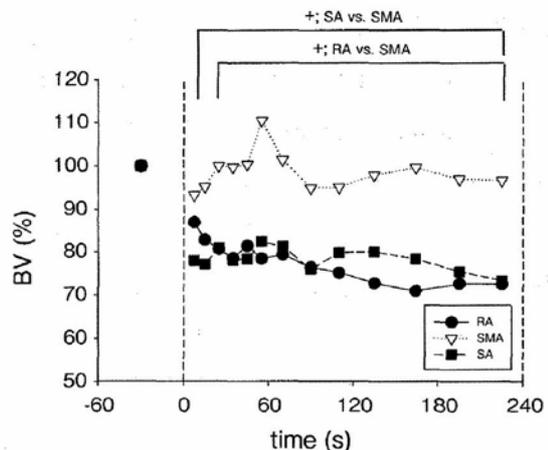


図5 運動時の腹部内臓血流速度の地域性
(安静時を100として相対表示)
RA; 腎動脈, SMA; 上腸間膜動脈,
SA; 脾動脈, +; SMAとの有意差

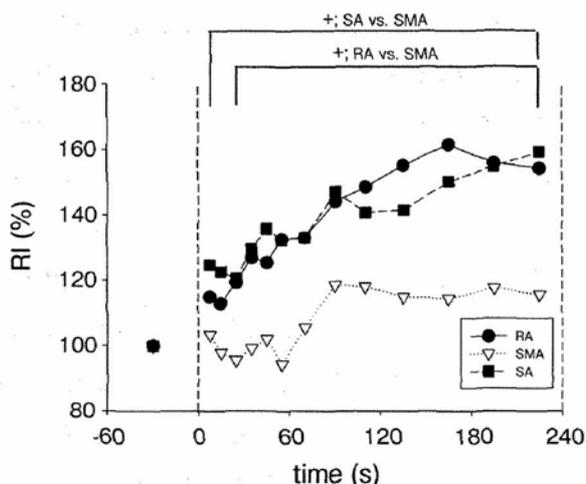


図6 運動時の腹部内臓血流速度の地域性 (安静時を100として相対表示)
RA ; 腎動脈, SMA ; 上腸間膜動脈,
SA ; 脾動脈, +; SMAとの有意差

3. 考 察

本実験でえられた主な知見をまとめると以下のようになる。1) RAとSAにおけるBVは、軽い強度の脚自転車エルゴメータ運動を開始するとすぐに減少し、4分間の運動中、その減少は持続したままであった。2) RAとSAにおけるRIは、運動開始直後には変化しなかった。これはMAPが運動開始直後、一過性に減少したことに起因していた。その後、両RIは運動開始30秒後あたりから有意な増加を示した。このことから運動開始して数十秒経過すると、両血管が支配する臓器内において強い血管収縮の起こっていたことが示唆された。3) 腸管への血液供給を主とするSMAでは、BVおよびRI共に運動時に有意な変化は認められなかった。つまり、本実験で用いたような程度の低強度脚自転車エルゴメータ運動では、少なくとも腹部内臓血流の応答が血管によって異なる、すなわち地域性の存在することが示唆された。

全身性の動的運動時、腹部内臓領域への血流量が減少することはすでに古くからヒトで観察されている^{2, 15, 16)}。これは、酸素を必要としている活動筋への血流再配分のための合目的な応答であるといえる。しかし、動的運動時にRA, SMAおよ

びSAの血流量を、超音波ドップラー法を用いて同時に測定し、それらの地域性について検討した研究はほとんど存在しない。まず、SMAの応答について考察する。本研究と同様、超音波ドップラー法を用いて動的運動時のSMAの血流応答を検討した先行研究によると、その血流量は減少する^{11, 12, 13)}、増加する¹⁾、あるいは変化しない⁸⁾といった結果にわかれ、一致した見解はえられていない。Qamarら¹³⁾は、トレッドミル運動中にSMAの血流量は減少すると報告している。しかし、彼らは運動直後の仰臥位姿勢において測定したSMAの血流量を運動時の血流量とみなしており、本研究とは血流の測定方法や運動様式が異なっている。Perkoら⁸⁾は、75% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で15分から30分間の自転車運動を行い、その時のSMAの血流量を検討し、運動中には変化しないことを報告した。この結果は、運動の強度や時間は異なるけれども、本研究の結果と一致している。

食物の消化吸収を行う器官である腸管（主に小腸）へ血液を供給しているSMAの血流量が、食事によって増加することはすでによく知られている。従って、運動前の摂食状態の違いによって、運動中のSMAの血流応答が異なることは十分に予想され、運動時のSMAの血流応答に対する食事の影響を検討した研究はいくつか報告されている^{1, 8, 14)}。例えば、自転車エルゴメータによる低強度および高強度運動中（4分間）のSMA血流量について、絶食および摂食後で検討したEriksenら¹⁾の研究がある。絶食条件下（12時間の絶食）、両運動強度共に安静時と比較して、SMAの血流量は運動中にわずかに増加したが、摂食条件（食後30分から40分後に運動を開始する条件）では変化しなかった。加えて両条件それぞれの運動強度間ではSMAの血流応答に違いのないことを示した。この結果¹⁾と本研究の結果、すなわち実験開始前少なくとも3時間は飲食を禁止した後の運動時のSMA血流に変化が認められ

なかったことを考え併せると、食後30分から3時間程度経過した後に行う運動時のSMAの血流には変化が起こらないものと思われる。

体液恒常性の維持を行う臓器である腎臓への血流は、安静時、心拍出量の約20%を占めていることから、SBFと同様、運動時の活動筋への血流再配分に対しては大切な役割を果たしている。すでに、ヒトにおいて動的運動時、RAの血流量は運動強度に依存して減少することが示されている^{15, 16)}。しかし、現在まで行われてきた血流測定方法のほとんどがp-アミノ馬尿酸を用いた侵襲的なクリアランス法であり、経時的な連続測定が極めて困難な方法であった。そこでSinowayらのグループ^{4, 5, 6)}は、超音波ドップラー法を用いて、静的掌握運動時のRAの血流応答について検討している。彼らの結果によると、30%MVCより高い強度での静的掌握運動中、RAの血管抵抗指数(RI)は運動開始6秒後には有意な増加、すなわち運動開始直後に腎の血管収縮が引き起こされることを示した。本研究では、運動開始直後にRAのBVは減少したが、RIは運動開始30秒後あたりから有意な増加を示した。これらの結果の相違は、MAP応答の差異に起因している。つまり、静的掌握運動と異なり、本研究で負荷した全身性の動的な運動では、その開始直後に一過性のMAP減少が起こりRAのBVは減少を示したが、その期間のRIは変化しておらず、その後、中心血圧を維持するために、より強い血管収縮が引き起こされたと考えられる。ヒトでの動的運動時のRAの血流応答の経時変化を詳細に検討した研究はほとんどなく、本実験でえられた結果は非常に重要な知見である。

イヌやヒツジ、ウマといった動物では、運動時に脾臓からの赤血球放出が酸素運搬系に重要な役割を果たすことが知られている^{2, 16, 17)}。ヒトにおいて、自転車運動時の全身の血液量分布を核シンチ法によって検討した研究²⁾によると、脾臓の

血液量は運動強度に依存して減少し、最大強度では、安静時の50%程度まで減少することが報告されている。その時、肝臓においては14%程度の減少しかなく、腸管領域ではほとんど減少しないことが示されている。一方、超音波ドップラー法を用いて、SAへ分岐する手前の腹腔動脈の血流量を測定した研究⁸⁾によると、75% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での自転車運動中に約50%減少したことが報告されている。本研究においても、比較的軽い運動強度であったにもかかわらず、運動開始直後にSAのBVは安静時の20%程度減少し、RIの有意な増加がみられた。従来、動物では脾臓の血管収縮は筋原性で生じると考えられているが、ヒトではまだその詳細なメカニズムが明らかにされていない。しかし、ヒトでも類似な収縮機構が存在するという報告⁹⁾もあり、本研究の結果もこのような機構に起因していたのかもしれない。

内臓の血管は、主に内臓神経由来の交感神経線維によって神経支配が豊富になされている^{7, 16)}。したがって、SBFの減少は、交感神経活動の増加による血管抵抗の増加に起因していると考えられているが、種による違いも含めて、まだ多くの議論が残されている^{7, 10, 11, 16)}。一方、内分泌系を介したメカニズムとして想定される主要なものとして、アンギオテンシンIIの増大が内臓血管の収縮を引き起こし、運動時のSBFを調節しているのではないかという考え方が提案されている¹⁷⁾。しかし本研究では、運動開始直後(30秒後)からSAのRIは有意な増加を示しており、何らかの内分泌性要因が運動開始時の内臓血管収縮に果たす役割は大きくないという考え方を支持するものであった。

一般的にいわれている運動時のSBF減少は、腸管への減少ではなく、主に脾臓への血流減少に起因していることを本研究の結果は示唆している。この理由としては、上述したような筋原性の血管調節機構が脾臓には存在すること、安静時のBV

自体がSMAで最も小さいことから理解されるように、実験前の3時間の絶食で運動開始前にすでに生理的な下限レベルのBVになっていたことなどが想定される。

腎臓の輸入細動脈は交感神経線維によってかなり高密度に支配されている。一方、腎の輸出細動脈は、比較的疎な神経支配がなされている。安静時の腎臓は、その血流調節が神経緊張性ではなく自動調節能による臓器として知られている^{4, 16)}。また、薬理的に血管平滑筋を最大拡張させても、安静時の血流量レベル以上にはほとんど増加しないことから、通常の安静条件下で腎臓の血管緊張はすでに最大拡張に近い状態にあると考えられている^{3, 16)}。そのことは、運動時といった活動筋への血流増大が急遽必要となった場合に、その強い血管収縮作用が生じることで大きく寄与できることを意味する。本研究の結果も、軽い運動でさえ、その開始時からRAの血管収縮は活動筋への血流再配分ならびに血圧の維持に多大な貢献を行っていることを示している。

本研究では、低強度の自転車運動中にRAおよびSAではBVの減少およびRIの上昇が起こったにもかかわらず、SMAではその両者ともに変化が生じなかった。つまり、運動時の腹部内臓血流応答には地域性があることが明らかとなった。その理由として、各臓器間で、交感神経活動自体に定量的な差異がある、あるいは同一神経活動に対する血管応答性に違いがある、さらには血管固有の自動調節能が存在する・しないといった違いがある、などが可能性としてあげられるが^{4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 16)}、詳細なメカニズムの解明は今後の検討課題である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、多大なる貢献をいただいた本研究室の鈴木理恵ならびに長畑奈緒美両君に心より感謝の意を表します。また、本研究

に対して助成をいただいた、(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に篤く御礼を申し上げます。

文 献

- 1) Eriksen M., Waaler B.A.; Priority of blood flow to splanchnic organs in humans during pre- and post-meal exercise. *Acta. Physiol. Scand.*, 150, 363-372 (1994)
- 2) Flamm S.D., Taki J., Moore R., Lewis S.F., Keech F., Maltais F., Ahmad M., Callahan R., Dragotakes S., Alpert N.; Redistribution of regional and organ blood volume and effect on cardiac function in relation to upright exercise intensity in healthy human subjects. *Circulation*, 81, 1550-1559 (1990)
- 3) Mellander S., Johansson B.; Control of resistance, exchange, and capacitance functions in the peripheral circulation. *Pharmacol. Rev.*, 20, 117-196 (1968)
- 4) Momen A., Bower D., Leuenberger U.A., Boehmer J., Lerner S., Alfrey E.J., Handly B., Sinoway L.I.; Renal vascular response to static handgrip exercise: sympathetic vs. autoregulatory control. *Am. J. Physiol.*, 289, H1770-H1776 (2005)
- 5) Momen A., Leuenberger U.A., Handly B., Sinoway L.I.; Effect of aging on renal blood flow velocity during static exercise. *Am. J. Physiol.*, 287, H735-H740 (2004)
- 6) Momen A., Leuenberger U.A., Ray C.A., Cha S., Handly B., Sinoway L.I.; Renal vascular responses to static handgrip: role of muscle mechanoreflex. *Am. J. Physiol.*, 285, H1247-H1253 (2003)
- 7) Pan H.L., Deal D.D., Xu Z., Chen S.R.; Differential responses of regional sympathetic activity and blood flow to visceral afferent stimulation. *Am. J. Physiol.*, 280, R1781-R1789 (2001)
- 8) Perko M.J., Nielsen H.B., Skak C., Clemmesen J.O., Schroeder T.V., Secher N.H.; Mesenteric, coeliac and splanchnic blood flow in humans during exercise. *J. Physiol.*, 513, 907-913 (1998)
- 9) Pinkus G.S., Warhol M.J., O'Connor E.M., Etheridge C.L., Fujiwara K.; Immunohistochemical localization of smooth muscle myosin in human spleen, lymph node, and other lymphoid tissues.

- Unique staining patterns in splenic white pulp and sinuses, lymphoid follicles, and certain vasculature, with ultrastructural correlations. *Am. J. Pathol.*, 123, 440-453 (1986)
- 10) Pricher M., Holowantz A., Williams J.T., Lockwood J.M., Halliwill J.R.; Regional hemodynamics during postexercise hypotension. I. Splanchnic and renal circulations. *J. Appl. Physiol.*, 97, 2065-2070 (2004)
 - 11) Puvirajasingham S., Smith G.D., Akinola A., Mathias C.J.; Abnormal regional blood flow responses during and after exercise in human sympathetic denervation. *J. Physiol.*, 505, 841-849 (1997)
 - 12) Puvirajasingham S., Wijeyekoon B., Natarajan P., Mathias C.J.; Systemic and regional (including superior mesenteric) haemodynamic responses during supine exercise while fasted and fed in normal man. *Clin. Auton. Res.*, 7, 337-338 (1997)
 - 13) Qamar M.I., Read A.E.; Effects of exercise on mesenteric blood flow in man. *Gut*, 28, 583-587 (1987)
 - 14) Rehner N.J., Goes E., DuGardeyn C., Reynaert H., DeMeirleir K.; Effect of carbohydrate on portal vein blood flow during exercise. *Int. J. Sports Med.*, 26, 171-176 (2005)
 - 15) Rowell L.B.; Regulation of splanchnic blood flow in man. *Physiologist*, 16, 127-142 (1973)
 - 16) Rowell L.B.; *Human Cardiovascular Control*, Oxford Univ Press, Oxford (1993)
 - 17) Symons J.D., Stebbins C.L.; Effects of angiotensin II receptor blockade during exercise: comparison of losartan and saralasin. *J. Cardiovasc. Pharmacol.*, 28, 223-231 (1996)