

運動形態の相違が筋酸素飽和度と 最高酸素摂取量の関係に及ぼす影響

The influence of different exercise modes on muscle oxygen saturation and its relationship to peak oxygen uptake

高木 俊*¹, 木目良太郎*¹, 庭山雅嗣*², 長田卓也*¹
村瀬訓生*¹, 坂本静男*³, 勝村俊仁*¹

キー・ワード：near-infrared spectroscopy, exercise mode, regional difference
近赤外分光法, 運動形態, 部位差

【要旨】 運動形態の相違が筋酸素飽和度 (SmO_2) および SmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ の関連に及ぼす影響について検討した。若年成人 8 名を対象とし、ランプ負荷法を用いた自転車運動および走歩行運動を実施した。外側広筋および腓腹筋内側頭・外側頭の SmO_2 を近赤外空間分解分光法にて測定した。 SmO_2 の推移は腓腹筋内側頭・外側頭において、運動形態の相違による影響を認めたが、外側広筋においては運動形態の相違による影響を認めなかった。 SmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ の相関関係は走歩行運動時においてのみ有意であった。運動形態および測定部位の相違は、 SmO_2 の推移に影響を及ぼし、運動形態の相違は SmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ の関連に影響を及ぼす可能性がある。

はじめに

活動筋における酸素消費量の増加は、酸素需要に見合う酸素供給の増加によって引き起こされる。しかしながら、運動強度の増大に伴い、酸素需要の増大に対する酸素供給の増大が十分に追従できなくなるため、自転車運動時の外側広筋においては、脱酸素化が亢進する¹⁾。

運動形態の相違は、動員される筋活動や循環動態に影響を及ぼす。自転車運動では大腿部前面の筋（特に外側広筋）が主働筋であるが²⁾、走歩行運動では下腿部の筋活動が大きくなると報告されている^{3,4)}。また、自転車運動と走歩行運動の循環動態を比較すると、大腿部の筋血流量には差を認めないが、下腿部における筋血流量は走歩行運動時の方が大きいと報告されている⁵⁾。したがって、走歩行運動に比べて、自転車運動では大腿部にお

る脱酸素化が亢進するものと考えられる。しかしながら、走歩行運動時の下腿部においては、自転車運動と比較して、筋活動が亢進するものの^{3,4)}、筋血流量も大きくなるため⁵⁾、脱酸素化が亢進するか否かは明らかではない。筋の動員様式には競技特性等が関連することが報告されているため⁶⁾、運動形態の影響を検討する際には、少なくとも同一個人にて運動形態の影響を検討する必要がある。しかしながら、これまでに、運動形態の相違による脱酸素化動態を大腿部および下腿部にて同時に検討した報告はない。

同一個人の最高酸素摂取量 ($\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$) もまた、運動形態によって異なることが多く報告されており、走運動時には自転車運動時に比較して高い $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ が得られる⁶⁻⁸⁾。運動形態の相違による $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ の相違は主に活動筋量の差に起因する心拍出量⁷⁾または動静脈酸素較差⁸⁾の相違であると考えられている。また、近赤外分光法にて測定した自転車最大運動時における外側広筋の筋酸素飽和度 (SmO_2) は、呼気ガス分析によって決定される $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ との間に負の相関関係を示すことも報告さ

*¹ 東京医科大学健康増進スポーツ医学講座

*² 静岡大学工学部電気電子工学科

*³ 早稲田大学スポーツ科学学術院

れている¹⁾。近赤外分光法では細動脈、毛細血管、細静脈レベルでの局所骨格筋における酸素消費と酸素供給のバランスを非侵襲的に測定できる。しかしながら、各筋の貢献度が異なる運動時において、近赤外分光法によって測定した脱酸素化動態と全身酸素摂取量が関連するとは限らない。これまでに、 SmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ の関連が、異なる運動形態および異なる測定部位においても認められるか否かについて検討した研究はない。

以上のように、運動形態および測定部位の相違によって SmO_2 および SmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ との関係が異なる可能性がある。同一個人の異なる運動形態において、運動筋の筋酸素飽和度を多箇所にて比較検討することは、局所骨格筋における酸素化動態、および酸素化動態と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ との関連を理解する上での一助になると考えられる。本研究の目的は、自転車運動および走歩行運動において、大腿部および下腿部の筋酸素動態を明らかにすること、および、 SmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ との関連を運動形態および部位別に検討することとした。

■ 対象と方法

1. 対象

健康な若年成人男性8名（年齢： 22 ± 2 歳，身長： 174.5 ± 7.2 cm，体重： 66.6 ± 7.5 kg）を対象とした。本研究は、東京医科大学倫理委員会の承認を得ると共に、研究目的と安全性に関して十分な理解を得た上で、全ての対象者の同意を得て実施した。

2. 実験デザイン

自転車エルゴメータ(B 試行)およびトレッドミル(T 試行)を用いて、ランプ負荷を用いた心肺運動負荷試験を実施した。両試行の間隔は少なくとも1週間とし、各対象の全測定は1ヶ月以内に実施した。測定前日からアルコール・カフェイン類の摂取および激しい運動の実施を禁止した。食事は測定前日から、試行間で個人ごとに同一の内容・量を摂取するように指示した。対象毎にサイコロを振り、出た目が奇数の場合はB 試行から、偶数の場合はT 試行から実施することとした。

3. 心肺運動負荷試験

(1) トレッドミル運動 (T 試行)

3分間の座位安静、30秒立位安静、1分間のW-up (1.0km/h, 0%)の後、1分毎に速度と傾斜が増加するトレッドミル用ランプ負荷法¹⁰⁾を用いて

トレッドミル運動を行った。トレッドミルはフクダ電子社製のMAT-2700を用いた。運動負荷試験のエンドポイントは、 $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ のレベリングオフ、もしくは $\text{HR} > (220 - \text{年齢})$ 、 $\text{RPE}_R > 18$ および $\text{RPE}_L > 18$ 、呼吸交換比 > 1.15 の3つの中で2つを満たした時とした。

(2) 自転車運動 (B 試行)

自転車のサドル上で1分間の座位安静、3分間のW-up (0W)の後、ランプ負荷 (20W/min)を用いた自転車運動を行った。自転車エルゴメータはフクダ電子社製のstrength ergo 8を用いた。自転車運動中のペダルの回転数は毎分60回転とした。運動負荷試験のエンドポイントは $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ のレベリングオフ、もしくは $\text{HR} > (220 - \text{年齢})$ 、 $\text{RPE}_R > 18$ および $\text{RPE}_L > 18$ 、呼吸交換比 > 1.15 、回転数 < 50 回転 (3秒以上)の4つの中で3つを満たした時とした。

(3) 呼気ガス分析および筋酸素飽和度の測定 (T 試行・B 試行)

breath-by-breath法による経時的な呼気ガス分析(ミナト医科学社製:AE300S)を行い、酸素摂取量($\dot{\text{V}}\text{O}_2$)、二酸化炭素排出量($\dot{\text{V}}\text{CO}_2$)を測定した。V-slope法によりanaerobic thresholds(AT)を決定した。Mason-Likar誘導法による12誘導心電図を記録し、経時的に心拍数(HR)を測定した。Rating of perceived exertion(RPE)を息切れ(RPE respiration; 以下 RPE_R)と足の疲れ(RPE leg; 以下 RPE_L)について1分毎に評価した。

筋酸素飽和度(SmO_2)は、左脚外側広筋(VL)、腓腹筋外側頭(GL)、および腓腹筋内側頭(GM)筋腹部に近赤外空間分解分光装置(ASTEM社製:送受光部間距離2.3cm)を装着することにより、B 試行およびT 試行中の SmO_2 を経時的に測定した。超音波Bモード装置を用いて、 SmO_2 測定部位における皮脂厚が SmO_2 に与える影響を補正した⁹⁾。測定した SmO_2 は10秒毎に平均化した後、座位安静時($\text{SmO}_{2@rest}$)、20%、40%、60%、80% $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ 、最大運動時($\text{SmO}_{2@peak}$)および安静時から最大運動時までの変化量(安静時—最大運動時; ΔSmO_2)を評価した。

4. 統計処理

試行間における SmO_2 の推移の比較においては、運動形態と運動強度を要因とした二元配置分散分析を行い、post hoc testとしてボンフェローニ検定を行った。 ΔSmO_2 の試行間の比較には、対

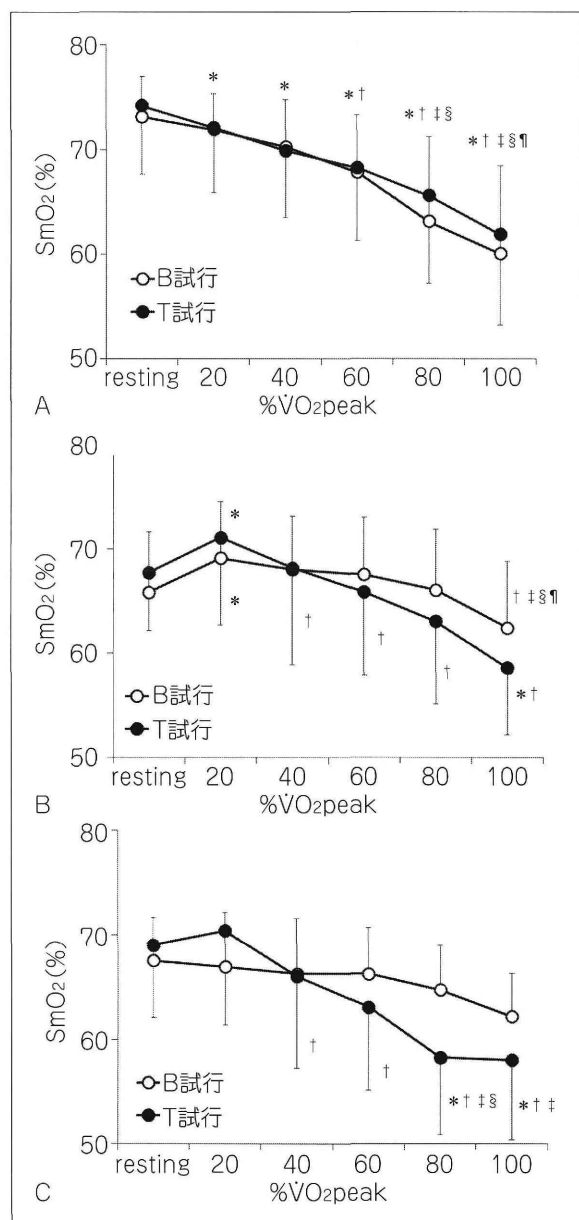


図1 外側広筋 (A), 腓腹筋外側頭 (B), および腓腹筋内側頭 (C) における SmO₂ の比較

*: $p < 0.05$ (vs. resting), †: $p < 0.05$ (vs. 20%VO₂ peak), ‡: $p < 0.05$ (vs. 40%VO₂ peak), §: $p < 0.05$ (vs. 60%VO₂ peak), ¶: $p < 0.05$ (vs. 80%VO₂ peak), ¶: $p < 0.05$ (vs. 100%VO₂ peak).

B 試行: 自転車運動, T 試行: トレッドミル運動.

応のある t 検定を用いた. SmO₂ と VO₂peak の間の関係はピアソンの相関係数を用いて検討した. すべてのデータは平均 ± 標準偏差で表し, 危険率 5% 未満を統計学的に有意とした.

結 果

1. VO₂peak, AT, 最高換気量, 最高心拍数の比較

VO₂peak は B 試行 (45.9 ± 5.7 ml/kg/min) に比較して T 試行で有意に高値を示した (49.4 ± 4.7 ml/kg/min). AT は B 試行 ($52.4 \pm 6.5\%$ VO₂peak) に比較して T 試行 ($58.7 \pm 6.1\%$ VO₂peak) で高値の傾向を示した. 最高換気量 (B 試行: 117.7 ± 18.7 L/min, T 試行: 124.1 ± 22.9 L/min), 最高心拍数 (B 試行: 183 ± 11 bpm, T 試行: 188 ± 10 bpm) は試行間で有意な差を認めなかった. T 試行の VO₂ peak を 100% とした際の B 試行の VO₂ peak は, $92.8 \pm 6.2\%$ に相当した. B 試行における最高負荷量は 247 ± 29 W であった. VO₂ のレベルリングオフは B 試行では 3 名, T 試行では 6 名で確認した. 最大運動時 RPE_R, RPE_L は B 試行で 18 ± 1 , 19 ± 2 , T 試行で 18 ± 1 , 19 ± 1 であり, 試行間に有意差を認めなかった. T 試行における歩行運動から走運動への移行は $76.5 \pm 8.9\%$ VO₂peak に相当した. VO₂peak は試行間で有意な正の相関関係を認めた ($r = 0.831$, $p < 0.05$).

2. SmO₂ の比較 (図 1)

VL においては, 分散分析の結果, 運動強度の有意な主効果が認められた. 多重比較の結果, SmO₂ は運動強度の増大に伴い有意に減少した. しかしながら, 運動形態には有意な主効果を認めなかった. VL における SmO₂@rest は B 試行で $73.1 \pm 3.9\%$, T 試行で $74.2 \pm 6.5\%$, SmO₂@peak は B 試行で $60.0 \pm 8.5\%$, T 試行で $61.0 \pm 8.2\%$ であった (図 1A). VL における Δ SmO₂ は B 試行と T 試行の間に有意差を認めなかった (B 試行: $13.1 \pm 5.8\%$, T 試行: $12.3 \pm 6.8\%$).

GL においては, 分散分析の結果, 有意な交互作用が認められた. 両試行共に安静時から 20%VO₂ peak 時に有意に増加した. B 試行では 80%VO₂ peak まで SmO₂ に有意な減少を認めなかったが, 100%VO₂peak 時に有意に減少した. T 試行では, 40%VO₂peak 時に有意に 20%VO₂peak と比較して有意な減少を認め, 100%VO₂peak 時には, SmO₂@rest と比較しても有意に低値を示した. しかしながら, SmO₂@rest (B 試行: $65.8 \pm 5.7\%$, T 試行: $67.7 \pm 5.7\%$) および SmO₂@peak (B 試行: $62.4 \pm 6.4\%$, T 試行: $58.6 \pm 6.4\%$) に有意な差を認めなかった (図 1B). GL における

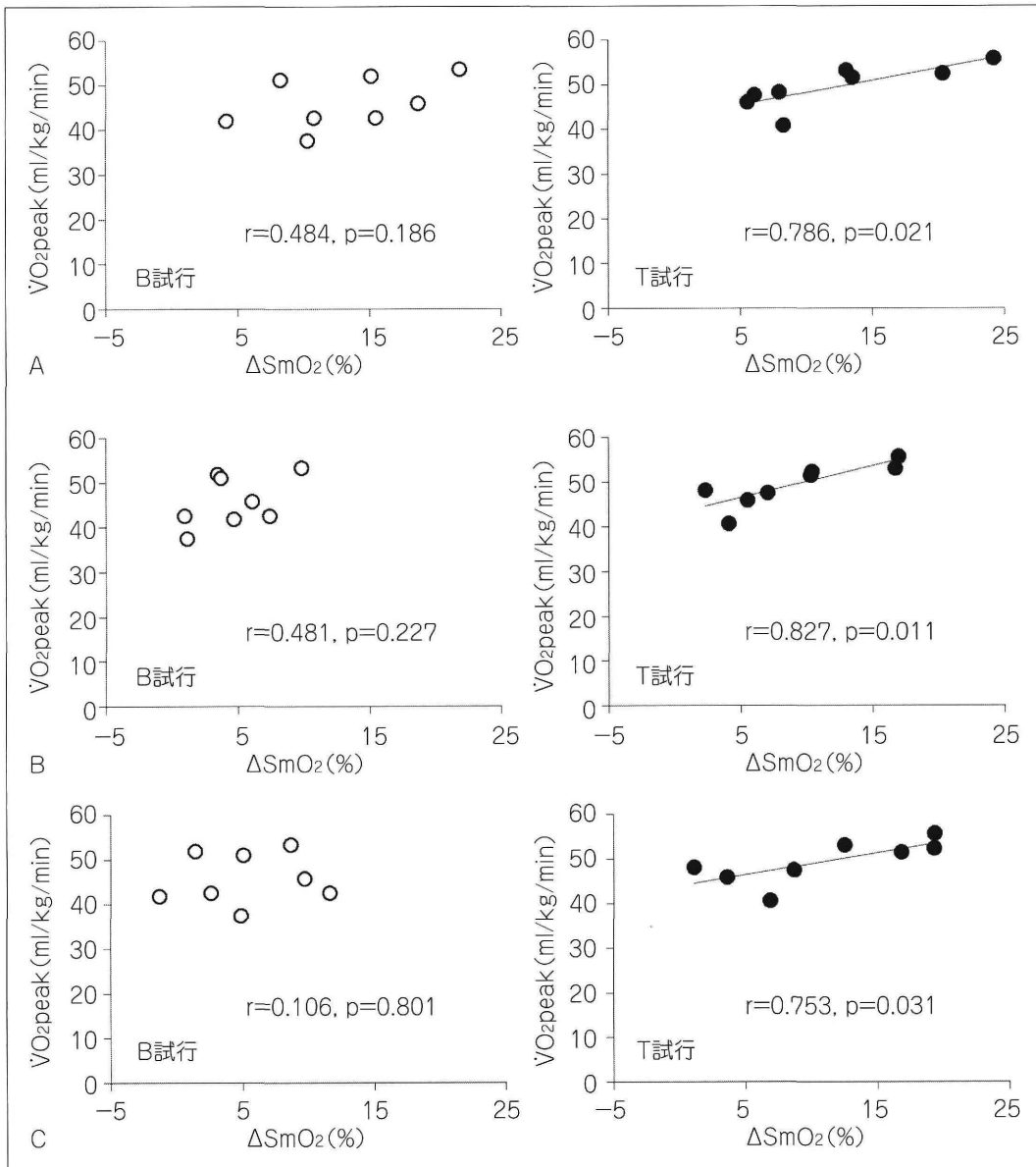


図2 外側広筋 (A), 腓腹筋外側頭 (B), および腓腹筋内側頭 (C) における $\dot{V}O_{2peak}$ と ΔSmO_2 の関連

ΔSmO_2 : $SmO_2@rest - SmO_2@peak$, B 試行: 自転車運動, T 試行: トレッドミル運動。

ΔSmO_2 は, B 試行 ($3.4 \pm 3.0\%$) に比較して T 試行 ($9.1 \pm 5.5\%$) で有意に高値を示した。

GM においては, 分散分析の結果, 有意な交互作用が認められた。T 試行においては運動強度の増大に伴い SmO_2 が有意に減少したが, B 試行ではすべての運動強度において有意な減少を認めなかった。 $SmO_2@rest$ においては, B 試行で $67.5 \pm 4.1\%$, T 試行で $69.0 \pm 6.9\%$ であり有意な差を認めなかったが, $SmO_2@peak$ においては T 試行で低値の傾向を示した (B 試行: $62.2 \pm 4.1\%$, T 試行: $58.0 \pm 7.6\%$) (図 1C)。GM における ΔSmO_2 は, B 試行 ($5.4 \pm 3.9\%$) に比較して T 試行 (11.0

$\pm 5.8\%$) で有意に高値を示した。

$SmO_2@AT$ は VL (B 試行: $70.0 \pm 4.4\%$, T 試行: $68.6 \pm 6.3\%$), GL (B 試行: $67.3 \pm 5.7\%$, T 試行: $67.8 \pm 8.8\%$), GM (B 試行: $67.0 \pm 4.2\%$, T 試行: $65.4 \pm 11.1\%$) のすべての部位で試行間に有意差を認めなかった。

3. SmO_2 および ΔSmO_2 と $\dot{V}O_{2peak}$ の関係 (図 2)

$SmO_2@peak$ と $\dot{V}O_{2peak}$ の相関関係は, B 試行では VL で $r = -0.486$ ($p = 0.222$), GL で $r = -0.430$ ($p = 0.287$), GM で $r = 0.145$ ($p = 0.732$) と有意な相関関係は認められなかった。T 試行では

VL で $r = -0.638$ ($p = 0.088$), GL で $r = -0.634$ ($p = 0.092$), GM で $r = -0.560$ ($p = 0.149$) であり, VL および GL で有意な負の相関傾向を認めた. T 試行においては, すべての部位で, ΔSmO_2 と $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ peak の間に有意な正の相関関係を認めたが (VL : $r = 0.786$, $p < 0.05$, GL : $r = 0.827$, $p < 0.05$, GM : $r = 0.753$, $p < 0.05$), B 試行ではすべての部位において, 有意な相関が得られなかった (VL : $r = 0.484$, $p = 0.220$, GL : $r = 0.461$, $p = 0.251$, GM : $r = 0.106$, $p = 0.801$).

■ 考 察

1. 運動形態の相違が SmO_2 および ΔSmO_2 に及ぼす影響

本研究の主な結果は, 同一被験者においても, 運動形態および測定部位の相違により, SmO_2 の推移が異なったことである.

本研究における VL では, T 試行と B 試行間共に, 低強度運動時から, 運動強度の増加に伴い SmO_2 が直線的に減少し, 結果として試行間で SmO_2 の推移に差を認めなかった. Hiroyuki らはトレッドミルにおける低強度歩行運動時において SmO_2 は減少しなかったが, 高強度走運動時には VL における SmO_2 が直線的に減少したことを報告している¹¹⁾. 同様に Quaresima らは低強度トレッドミル歩行運動時においては, VL における SmO_2 の減少は小さいが, 速歩および走運動に移行すると, 統計学的に有意ではないものの直線的に減少したことを報告している¹²⁾. 本研究では, 走行開始後に歩行運動時に比較して有意な減少を認めてはいるものの, 低強度歩行運動時においても有意な減少を認めた. T 試行の VL における SmO_2 の推移が先行研究の結果と一致しない原因の一つとして, 運動負荷プロトコルの相違が考えられる. 先行研究において用いられた運動負荷プロトコルは運動強度の増加に伴い, トレッドミル速度のみが大きく増加するものであったが, 本研究で用いたプロトコルは運動開始後初期から傾斜が大きく増加するものであった. 比較的傾斜が急峻な歩行運動では, 膝関節伸展に対する VL の筋活動 (酸素需要) が高くなるため, 本研究の T 試行では SmO_2 が大きく減少したものと考えられる. 一方で Kime らは, trained athletes を対象として, 自転車運動時の VL における SmO_2 が安静時から最大運動時まで約 21% 減少

したことを報告している¹¹⁾. 本研究では B 試行の VL における ΔSmO_2 は $13.1 \pm 5.8\%$ であり, Kime らの報告に比べて低値であった. 本研究では $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ peak が $45.9 \pm 5.7 \text{ ml/kg/min}$ のレクリエーショナルな運動習慣を有する若年成人を対象としたため, Kime らの対象者に比較して最大負荷量が小さかったことが要因であると推測される. 本研究では筋活動および筋血流を測定していないため明らかにすることはできないが, 運動中の VL への筋血流および筋活動が試行間でほぼ同等であり, 酸素消費と酸素供給のバランスに試行間で差を認めなかったため, SmO_2 の推移に差を認めなかったものと考えられる.

本研究の T 試行における GL および GM では, 低強度運動時に静脈還流量の増大および動脈血の流入により SmO_2 がわずかに増加した後, 運動強度の増加に伴い有意に減少した. Hiroyuki らは, 走歩行運動中の GL における SmO_2 は, 本研究と同様に, 運動開始時から直線的に減少することを報告している¹¹⁾. しかしながら, Lee らは, 水平トレッドミル運動中には低強度から高強度運動時にかけて GL における SmO_2 が比較的維持されたことを報告している¹³⁾. 一方で, Quaresima らは低強度トレッドミル歩行運動時においては, GM における SmO_2 の減少は小さいが, 速歩および走運動に移行すると, 有意に減少し, その後ほぼ一定であったことを報告している¹²⁾. 本研究においても, 低強度の歩行運動時より SmO_2 が減少し, 走運動移行後の 80% から 100% $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ peak にかけてほぼ一定であった. 研究の結果が一致しない要因は明らかではないが, VL と同様に運動負荷プロトコルの相違および対象の最大負荷量による相違であると推測される. 一方で, B 試行における GL・GM では, SmO_2 の減少は大腿部に比較して小さく, GL では高強度運動時においてのみ減少し, GM では高強度運動時においても有意な減少には至らなかった. 先行研究において, 自転車運動中の下腿部では血流量が小さく, かつ筋活動も大腿部に比較して小さいことが報告されている⁵⁾. したがって, 本研究の B 試行における GM および GL では絶対量としての酸素供給は大腿部に比べて小さいものの, 酸素需要も小さいため, 運動中を通して酸素需要に見合った酸素供給が比較的維持されたものと推測される. さらに Ericson らは, 自転車運動時と歩行運動時の筋活動を比較した際

に、GLにおいては自転車運動時に大きく、GMにおいては歩行運動時に大きいことを報告している³⁾。よって、B試行中のGM・GLにおける SmO_2 の相違は運動形態に特異的な筋活動によってもたらされた可能性がある。

2. 運動形態の相違が $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ と SmO_2 および ΔSmO_2 の関連に及ぼす影響

$\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ と $\text{SmO}_2\text{@peak}$ の間には、T試行のVLおよびGLにおいて負の相関(有意傾向)を認めたが、T試行のGMおよびB試行の全ての部位で有意な相関関係を認めなかった。一方で $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ と有酸素代謝の指標である $\Delta\text{SmO}_2^{14)}$ の間においては、T試行においてVL、GL、GMともに有意な正の相関関係を認めたが、B試行においてはVL、GL、GMすべてで有意な相関関係が得られなかった。

T試行においてより良好な相関関係が得られたことに関する詳細なメカニズムは明らかではない。しかしながら、走・歩行運動時には自転車運動時に比較して大腿部の筋血流量には差を認めないが、下腿部における筋血流量は大きいことが報告されている⁵⁾。さらに、本研究では、GLおよびGMにおいては自転車運動に比較して脱酸素化が亢進し、VLにおいては自転車運動と同等に脱酸素化が亢進した。走運動時において $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ と ΔSmO_2 の間に有意な相関が得られた本研究の結果は、自転車運動時に比較して、各測定部位における筋血流量が比較的維持される一方で、酸素利用がより亢進したためであると解釈できる。一方で、自転車運動時にはすべての部位で有意な相関関係が得られなかった。自転車運動時の主働筋は大腿四頭筋であり²⁾、大腿直筋や内側広筋の貢献も高いことが予想される³⁾。実際に、自転車運動中のVLにおける SmO_2 は大腿部の他の筋の相補的な貢献により変化する可能性が報告されている¹⁵⁾。自転車運動中のVLが主働筋であるにもかかわらず有意な相関関係を検出できなかった原因は明らかではないが、少なくとも他の筋の貢献がその一要因として考えられる。また、Kimeらは最大自転車運動時の外側広筋における SmO_2 と $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ の間に弱い負の相関(相関係数: -0.3 程度)を報告している¹⁾。本研究のB試行では、全ての部位で $\text{SmO}_2\text{@peak}$ と $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ の間に有意な相関関係が得られなかったが、VLおよびGLにおいては -0.4 程度の相関係数であった。これらの部位に関

しては、対象数を増やすことによって、有意性を検出できる可能性がある。

3. 本研究の限界と展望

本研究の自転車運動時には $\text{SmO}_2\text{@peak}$ および ΔSmO_2 と $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ には有意な相関関係は得られなかった。また、 $\dot{V}\text{O}_2$ のレベリングオフの有無によって、 $\text{SmO}_2\text{@peak}$ および ΔSmO_2 と $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ の関連が異なる可能性も考えられる。今後対象数を増やした更なる検討が必要である。加えて、本研究では、B試行における $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ が 45.9 ± 5.7 ml/kg/min、最高負荷量が 247 ± 29 Wである、競技目的の運動習慣を持たない者を対象とした。しかしながら、運動トレーニング習慣により運動中の筋の動員様式が異なる可能性がある⁶⁾。本研究の結果を、そのまま、異なる運動習慣を有する者、 $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ が高い者、もしくは低い者に適応できるか否かに関しては今後の課題である。

結 論

運動形態の相違により、 SmO_2 の推移が異なることが確認された。自転車運動時に比較して、トレッドミル運動では SmO_2 と $\dot{V}\text{O}_2\text{peak}$ の間に良好な相関関係が認められる可能性が示唆された。

文 献

- 1) Kime, R. et al.: Muscle oxygenation heterogeneity in a single muscle at rest and during bicycle exercise. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 55 (Suppl): S19-S22, 2006.
- 2) Akima, H. et al.: Recruitment of the thigh muscles during sprint cycling by muscle functional magnetic resonance imaging. *Int J Sports Med* 26: 245-252, 2005.
- 3) Ericson, M.O. et al.: Muscular activity during ergometer cycling. *Scand J Rehabil Med* 17: 53-61, 1985.
- 4) 吉岡利貢ほか: 走運動および自転車運動における最大酸素摂取量の差を決定する要因～MRI画像からみた筋活動レベルに着目して～. *体力科学* 58: 265-274, 2009.
- 5) Matsui, H. et al.: Oxygen uptake and blood flow of the lower limb in maximal treadmill and bicycle exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 40: 57-62, 1978.
- 6) Busset, F.A., Boulay, M.R.: Specificity of treadmill

- and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol* 81: 214-221, 2000.
- 7) Miyamura, M., Honda, Y.: Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 32: 185-188, 1972.
 - 8) Hermansen, M., Saltin, B.: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycling exercise. *J Appl Physiol* 26: 31-37, 1969.
 - 9) 庭山雅嗣ほか：空間分解 NIRS を用いた筋組織酸素濃度計測における誤差範囲とその補正法. *脈管学* 47: 17-20, 2007.
 - 10) 日本循環器学会・運動に関する診療基準委員会：1990 年度報告：日本人の運動時呼吸循環指標の標準値. *Jpn Cir J* 56 (Suppl V): 1514-1523, 1992.
 - 11) Hiroyuki, H. et al.: Oxygenation in vastus lateralis and lateral head of gastrocnemius during treadmill walking and running in humans. *Eur J Appl Physiol* 87: 343-349, 2002.
 - 12) Quaresima, V. et al.: Difference in leg muscle oxygenation during treadmill exercise by a new infrared frequency-domain oximeter. *Proc Soc Photo-Opt Instrum Eng* 3194: 116-120, 1998.
 - 13) Lee, S.M. et al.: Near infrared spectroscopy-derived interstitial hydrogen ion concentration and tissue oxygen saturation during ambulation. *Eur J Appl Physiol* 111: 1705-1714, 2011.
 - 14) Ding, H. et al.: Non-invasive quantitative assessment of oxidative metabolism in quadriceps muscles by near infrared spectroscopy. *Br J Sports Med* 35: 441-444, 2001.
 - 15) Takagi, S. et al.: Muscle oxygen saturation heterogeneity among leg muscles during ramp exercise. *Adv Exp Med Biol* 765: 273-278, 2013.

(受付：2012 年 7 月 12 日，受理：2012 年 12 月 4 日)

The influence of different exercise modes on muscle oxygen saturation and its relationship to peak oxygen uptake

Takagi, S.^{*1}, Kime, R.^{*1}, Niwayama, M.^{*2}, Osada, T.^{*1}
Murase, N.^{*1}, Sakamoto, S.^{*3}, Katsumura, T.^{*1}

^{*1} Department of Sports Medicine for Health Promotion, Tokyo Medical University

^{*2} Department of Electrical and Electronic Engineering, Shizuoka University

^{*3} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: near-infrared spectroscopy, exercise mode, regional difference

[Abstract] The purpose of this study was to examine the influence of different exercise modes on muscle oxygen saturation (SmO_2) and its relationship to peak oxygen uptake ($\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$).

Subjects and Methods: Eight healthy, moderately active men who do not regularly work out, performed two ramp exercise tests using a bicycle ergometer (B-trial) and a treadmill (T-trial) in randomized order. Expiratory gas analysis was performed during the tests to determine the $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ in each subject. SmO_2 was also monitored continuously at the belly of the vastus lateralis (VL), gastrocnemius lateralis (GL), and gastrocnemius medialis (GM) muscle using near infrared spatial resolved spectroscopy. The change in SmO_2 from rest to peak (ΔSmO_2) was calculated as an indicator of oxidative metabolism in the local muscles.

Results and Discussion: $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ was significantly higher in the T-trial than the B-trial. SmO_2 both at rest and at peak exercise was not significantly different between exercise modes at any measurement sites. In contrast, the ΔSmO_2 both at GL and GM was significantly higher in the T-trial than the B-trial, although ΔSmO_2 at VL was not significantly different. Significant correlation was observed between $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$ and ΔSmO_2 in the T-trial (VL: $r = 0.786$, $p < 0.05$, GL: $r = 0.827$, $p < 0.05$, GM: $r = 0.753$, $p < 0.05$), but not in the B-trial. These results suggest that exercise mode affects the SmO_2 responses and its relationship to $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{peak}}$.