

## 異なる運動様式における筋活動レベルの違いが最大酸素借に及ぼす影響

吉岡利貢\*・中垣浩平\*\*・鍋倉賢治\*\*\*

## Influence of the muscular activity level on the difference of maximal accumulated oxygen deficit between running and cycling.

YOSHIOKA Toshitsugu, NAKAGAKI Kohei, NABEKURA Yoshiharu

## I. 緒言

エネルギー系の体力を評価する際、有酸素性能力の代表的な指標として最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) が用いられる。一方、無酸素性能力の代表的指標としては、最大酸素借 (Maximal accumulated oxygen deficit: MAOD) が用いられる。MAOD は、2～4分程度で疲労困憊にいたるような超最大強度での運動中の総酸素借として測定される。その概念は 1920 年に Krogh and Lindhard<sup>2)</sup> によって紹介されているが、測定方法の確立が遅かったため、MAOD についての研究はまだまだ十分ではなく、明らかになっていない点が多い。

MAOD を決定する要因は、量的には活動筋量、質的には筋での乳酸産生量およびクレアチンリン酸の分解量であると考えられている。量的要因としての活動筋量と MAOD の関係については、これまでいくつかの研究がおこなわれている。すなわち、Weyand et al.<sup>5)</sup> は、片脚ペダリングと両脚ペダリングでは、活動筋量の多い両脚ペダリングにおいて MAOD が有意に高くなることを報告している。一方、質的要因を決定すると考えられる筋活動レベルと MAOD の関係について検討した研究はない。これまでに Hill et al.<sup>1)</sup> は、筋の活動様相 (活動筋量および主な筋の収縮様式) が異なる走運動と自転車運動の MAOD を比較し、自転車運動で約 50%

高値を示すことを報告しているが、活動筋量と相反するその結果に対して、主に走運動時の酸素需要量の推定方法に問題があったと結論付けている。

これまでに著者ほか<sup>6)</sup> は、筋機能的磁気共鳴画像法を用いて、最大漸増負荷運動における筋活動レベルを自転車運動と走運動で比較し、短縮性筋収縮を主体とする自転車運動では、伸張性筋収縮を含む走運動と比較して大腿部の大筋群の筋活動レベル (横緩和時間: T2) が顕著に高くなることを明らかにしている。ともに疲労困憊にいたる運動でありながら、この T2 に運動様式間で差が生じるという結果は、運動様式間の MAOD の差を活動筋量のみでは説明できないことを示唆している。

そこで本研究では、運動様式の異なる運動間の MAOD の差には、活動筋量のみならず、筋活動レベルの差も関与すると考え、1) 走運動と自転車運動の MAOD を比較すること、2) 大腿部および下腿部の筋活動レベルと MAOD の関係を明らかにすること、を目的とした。

## II. 方法

## A. 被検者

被検者は、週に 3～5 回程度のランニング習慣のある健康な成人男子 7 名 ( $27.0 \pm 5.1$  歳、 $170.4 \pm 5.9$  cm、 $60.6 \pm 6.5$  kg) とした。実験に

\* 筑波大学体育センター

\*\* 国立スポーツ科学センター

\*\*\* 筑波大学大学院人間総合科学研究科

先立ち、実験の主旨、内容および危険性について被検者へ説明し、実験参加の同意を得た。

## B. 測定項目および測定方法

### 1. 最大下間欠的漸増負荷テストと MAOD の決定

各被検者に対し、自転車運動および走運動による最大下間欠的漸増運動負荷テストおよび超最大定常負荷テストをおこない、MAOD を決定した。負荷テストには、電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ（コンビウエルネス社、PowerMax VII）およびトレッドミル（西川鉄工社）を用いた。自転車運動と走運動によるテストは、48 時間以上の間隔をあけて実施した。また、両運動の実施順序はランダムとした。

運動中の呼気ガス指標は呼気ガス分析器（Mijnhardt 社、Oxycon Alpha）を用いて、breath-by-breath 法により分析した。また運動中、HR モニタ（Polar 社、S610i）を用いて、心拍数（HR）を観察および記録した。

両運動を用いて、最大下強度での 4 分間の運動を 2 分間の休息をはさんで 5～6 回おこなった。その後、20 分程度の休息をはさみ、2～4 分程度で疲労困憊に達する強度での超最大定常負荷テストをおこなった。自転車運動におけるペダル回転数は 90 rpm に規定し、維持できなくなった時点で運動を終了させた。走運動においては、設定速度での走行が不可能になり、被検者が後方へ移動した時点で運動を終了させた。

自転車運動および走運動のいずれにおいても、MAOD の算出は、まず最大下運動で求めた負荷あるいは速度と各ステージの最後の 2 分間の  $\dot{V}O_2$  の平均値との一次回帰直線を用いて、超最大定常負荷テストにおける酸素需要量を外挿法によって求めた。この酸素需要量に運動時間を乗じて総酸素需要量を算出し、総酸素需要量から運動中の総  $\dot{V}O_2$  を引いた値を総酸素借とした。総酸素借は、体重 1 kg あたりの相対値で示すこととした。

### 2. MRI-T2 値

MRI の T2 値の測定には、永久磁石型 MRI 装置（日立メディコ社、Airis mate）を用いた。撮影部位は、右脚の大腿部近位 50% 部、およ

び下腿部近位 30% 部および臍位での腹部とした。上記の各部位を中心に、近位および遠位方向にそれぞれ 2 枚、スライス厚 10 mm、スライス間隔 20 mm の設定でおこない、計 15 枚の横断像を得た（TR: 1500 ms、TE: 30/60 ms、FOV: 320 mm、matrix: 256 × 180、NSA: 1 回、撮像時間各 2 分 39 秒）。以上の撮影を椅坐位による 10 分間の安静後および最大漸増負荷テスト直後におこなった。運動後の撮影は、大腿部、下腿部の順におこない、大腿部の撮影は運動終了 2 分後に開始し、すべての撮影を運動終了後 10 分以内に済ませることを条件とした。得られた横断像のうち、大腿部および下腿部はそれぞれ近位 50% 部および 30% 部の画像を解析に用いた。横断像はパーソナルコンピュータに取り込み、画像処理ソフトウェア（NIH Image J; National Institute of Health, USA）により大腿部および下腿部の平均 T2 値を安静時および運動直後それぞれ算出した。

$$T2(\text{ms}) = 30 / [\ln(SI(30) / SI(60))] \cdots \text{式 1}$$

※ ln: Natural log, SI: Signal Intensity

T2 値の分析には、脂肪、血管および腱を含まないようにおこなった。安静および運動後の T2 値から式 2 によって T2 値変化率 ( $T2_{\%}$ ) を算出し、活動レベルの指標とした（式 2）。

$$T2_{\%} = (\text{運動後 } T2 / \text{安静時 } T2 - 1) \times 100 \cdots \text{式 2}$$

## C. 統計解析

統計量は、平均値 ± 標準偏差で示した。両運動間の  $T2_{\%}$  および MAOD の比較には、対応のある t-検定を用いた。項目間の相関関係の検討には、Pearson の積率相関係数を用いた。統計的有意性は、危険率 5% 未満で有意差ありと判定した。

## III. 結果および考察

最大酸素借は自転車運動で  $55.3 \pm 8.6 \text{ ml/kg}$ 、走運動で  $42.8 \pm 11.7 \text{ ml/kg}$  と自転車運動で有意に高値を示した（図 1）。同様に両運動間の MAOD を比較した Hill et al.<sup>1)</sup> の研究においても、自転車運動の MAOD は走運動より 50% 程

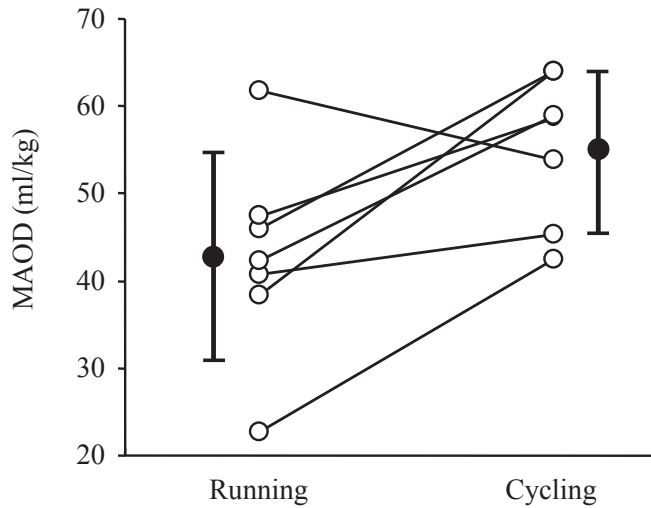


Fig. 1 Relationship between muscular activity level and maximal accumulated oxygen deficit for running and cycling.

度高値を示すことが報告されており、本研究の結果はそれを支持するものであった。しかしながら Hill et al.<sup>1)</sup> は、活動筋量の少ない自転車運動で高値を示した結果について、その要因を説明できないとし、MAODの算出方法に問題点を見出している。すなわち、走運動において、酸素摂取量と速度の関係は直線にならない場合があり、直線回帰式から走運動における超最大運動時の酸素需要量を推定すると、MAODを過小評価する可能性があるとしている。その背景として、MAODと活動筋量間の関係性を示唆するいくつかの研究が挙げられる。すなわち Saltin<sup>4)</sup> は、自転車運動に腕クランク運動を加えた場合、通常の自転車運動よりMAODは60～70%高値を示すことを、Ogita et al.<sup>3)</sup> は、水泳運動時に腕あるいは脚の運動を制限することによってMAODが低下することを明らかにしている。一方本研究では、筋活動レベルの指標として用いたT2値変化率が大腿部において自転車運動(23.4 ± 5.4%)で走運動(12.1 ± 3.0%)より有意に高値を示した。また走運動において、大腿部のT2値変化率とMAODの間に有意な正の相関関係( $r = 0.903$ )が認められた(図2)。これらの結果は、MAODには活動筋量のみならず、筋活動レベルも関与するとした本研究の仮説を支持するものであった。自転車運動において大腿部の筋活動レベル

とMAODの間には有意な相関関係は認められなかったが、このことには自転車運動において確認された下腿部の筋活動レベルのばらつきが関与していると考えられる。すなわち、走運動における下腿部の筋活動レベルの変動係数が21.0%であったのに対して、自転車運動では52.1%と顕著に高い値を示した。この下腿部の筋活動レベルのばらつきがMAODの高低に関与した結果、大腿部の筋活動レベルでMAODの高低を説明できなかったものと考えられる。

#### IV. 引用文献

- 1) Hill DW, Davey KM, and Stevens EC (2002) : Maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit in running and cycling. *Can J Appl Physiol* 27: 463-478.
- 2) Krogh A and Lindhard J (1920) : The changes in respiration at the transition from work to rest. *J Physiol* 18: 431-439.
- 3) Ogita F, Hara M and Tabata I (1996) : Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand* 157: 435-441.
- 4) Saltin B (1990) : Anaerobic capacity: past, present and prospective. In: Taylor AW (ed) *Biochemistry of exercise, VII. Human Kinetics*, Champaign, Ill., pp. 387-412.
- 5) Weyand PG, Cureton KJ, Conley DS and Hig-

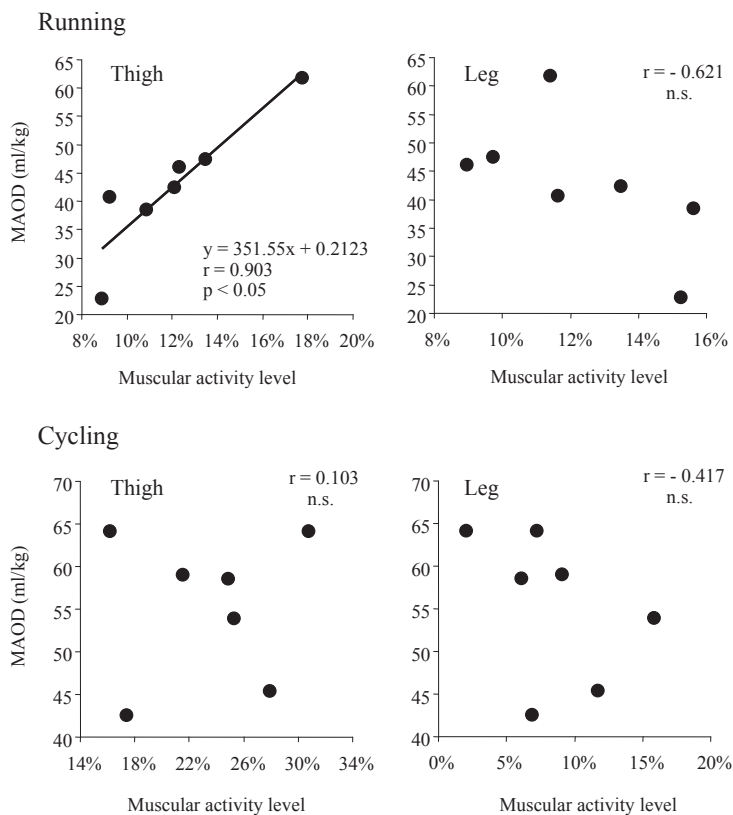


Fig. 2 Maximal accumulated oxygen deficit for running (1% grade) and cycling.

bie EJ. (1993) Peak oxygen deficit during one- and two-legged cycling in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 25: 584-591.

6) 吉岡利貢, 中垣浩平, 鍋倉賢治 (2009) :

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.