

平成 24 年度  
順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

## 最大乳酸定常状態の簡易推定法の検討

スポーツ科学領域  
スポーツ医科学専門分野

氏名 仲間 孝大  
論文指導教員 形本 静夫

合格年月日 平成 25 年 2 月 25 日

論文審査員 主査 内藤 久士

副査 鯉川 孝久

副査 形本 静夫

## 目次

	項
第1章 緒言 .....	1
第2章 関連文献の考証.....	3
第1節 最大乳酸定常状態の定義.....	3
第2節 MLSS の推定.....	4
(1) 換気閾値を用いた MLSS の推定.....	4
(2) [La] の絶対値を用いた MLSS の推定 .....	5
(3) RER (Respiratory Exchange Ratio) を用いた MLSS の推定.....	6
第3節 最大乳酸定常状態に影響を与える要因.....	6
(1) 運動様式：自転車および、ランニング間の脂質・糖質酸化率の違い .....	6
(2) 休息時間の違いが MLSS に及ぼす影響 .....	8
第3章 方法 .....	10
第1節 被験者 .....	10
第2節 実験デザイン .....	10
第3節 呼吸循環応答および血中乳酸の測定 .....	10
第4節 実験プロトコル.....	10
(1) 漸増負荷テスト .....	10
(2) MLSS 決定のための 30 分一定負荷テスト .....	11
(3) 統計処理 .....	12
第4章 結果 .....	13
第1節 漸増負荷テスト.....	13
第2節 30 分間一定負荷テスト .....	13
第3節 $VT_1$ 、 $RER=1.00$ 、 $VT_2$ および、MLSS 間の関連性 .....	13
第5章 考察 .....	14
第1節 MLSS の測定プロトコルの違いが V-MLSS に及ぼす影響.....	14
第2節 自転車とランニング間における生理学的応答の違い (糖質・脂質酸化率) ...	15
第6章 結論 .....	17

第 7 章 要約 .....	18
謝辞 .....	19
引用文献 .....	20
Summary .....	25
Table 1,2	
Fig 1,2	

## 第1章 緒言

最大乳酸定常状態 (Maximal Lactate Steady State : MLSS) は、30 分間の一定負荷テストにおける血中乳酸濃度 ([La]) の増加が 10 分目と 30 分目の間で 1mmol/L 以下となる仕事率 (W·MLSS) または走速度 (V·MLSS) の最大値として定義されている<sup>12)</sup>。MLSS 強度 (MLSS intensity : MLSS<sub>int</sub>) での運動は、糖質燃焼によるエネルギー寄与が総エネルギー需要の 50%以上となり、主なエネルギー供給が脂質代謝から糖質代謝に切り替わると考えられている<sup>14)</sup>。さらに、MLSS は運動中、長時間にわたり [La] の継続的な蓄積がみられない運動強度であることから、無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold : AT) を説明する最も合理的な生理学的指標であると考えられ<sup>8) 9) 22) 29)</sup>、持久的トレーニングにおける強度設定<sup>41)</sup>、持久的パフォーマンスの推定<sup>5) 21) 37)</sup>に有効であることが報告されている。

しかし、MLSS の測定には 30 分間一定負荷テストを複数回 (3~5 回) 繰り返すことが要求され、MLSS 決定までに多くの時間を必要とし、被験者に対する身体的な負担度も大きい。MLSS は、一回の漸増負荷テストにより持久的パフォーマンスを推定できる換気閾値 (Ventilatory Threshold : VT)、乳酸閾値 (Lactate Threshold : LT) および、OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) 等の測定の方が簡便であるが、それらは検者や研究者の主観、閾値の決定方法<sup>6) 16) 26) 30) 39)</sup>、あるいは負荷テスト方法の違いにより<sup>25) 48)</sup>値が変化する可能性がある。一方で、MLSS は、研究者の主観や、判定法の違い等により値が変化することは避けられるが、MLSS 決定までに多くの負担を要する問題がある。そのため、近年、負担軽減を目的としたより簡易な MLSS の推定法の開発が注目されるようになってきた。

これまで、換気閾値 (Ventilatory Threshold : VT)<sup>3) 20) 49)</sup> や、OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation : 4mmol/L に相当する [La] の時の運動強度)<sup>4) 7) 17) 23) 29) 32) 35) 40) 43) 48)</sup>、IAT (Individual Anaerobic Threshold)<sup>4) 47)</sup> 等の生理学的指標によって、MLSS<sub>int</sub> の推定が提案されている。しかし、VT および、OBLA は、MLSS を推定する良い指標である一方で、VT は、MLSS を過小評価し、OBLA は、MLSS を過大評価するなど、研究者間によって推定法の提案が異なり、一致した見解が得られていない。

上記の生理学的指標が MLSS の推定法として正確性に欠ける一方で、近年、Laplaudらは、MLSS<sub>int</sub> で運動中の呼吸交換比 (Respiratory Exchange Ratio : RER) が 1 に近い

という報告に基づき<sup>7) 14) 35)</sup>、自転車エルゴメータにおける単一漸増負荷テスト中の RER=1.00 に相当する仕事率 (W-RER<sub>1.00</sub>) が W-MLSS に一致することを報告し、単一漸増負荷テストから W-MLSS を推定できる可能性を示した<sup>36)</sup>。一方、ランニングでは、同一相対運動強度 (% $\dot{V}O_2\max$ ) 運動時の RER は、自転車運動と比較して低いことから<sup>1) 17)</sup><sup>34)</sup>、RER=1.00 に相当する走速度 (V-RER<sub>1.00</sub>) を V-MLSS が上回る可能性が考えられるが、2012 年、Leti ら<sup>38)</sup> はランニングテストにおいても両者が一致することを報告した。しかし、その研究で MLSS 測定のために設定した休息时间 (2 分) は、Laplud ら<sup>36)</sup> の自転車の研究および従来の MLSS 測定の研究<sup>4) 20) 21) 23) 41)</sup> の休息时间 (1 分) と比較して長く、この休息时间の延長は W-MLSS を有意に増大させるという報告もあることから<sup>11)</sup><sup>27)</sup>、Leti ら<sup>38)</sup> が報告した V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を過大評価している可能性が考えられる。もし、自転車および、ランニング間の MLSS 測定プロトコル (休息时间) を統一したのであれば、ランニングにおいては、V-RER<sub>1.00</sub> よりも低い走速度で V-MLSS が決定されるかもしれない。

そこで本研究の目的は、ランニングにおける単一漸増テスト中の V-RER<sub>1.00</sub> が、V-MLSS を推定できるかどうか検証することを目的とした。V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を過大評価し、V-RER<sub>1.00</sub> より低い走速度で V-MLSS が出現する仮説を立てた。

## 第2章 関連文献の考証

MLSS は、30 分間の一定負荷テストにおける血中乳酸濃度 ([La]) の増加が 10 分目と 30 分目の間で 1mmol/L 以下となる仕事率 (W·MLSS) または走速度 (V·MLSS) の最大値として定義されている<sup>12)</sup>しかし、MLSS の決定のために多くの負荷テスト (3~5 回) を必要とする。そのため、これらの負担軽減のため MLSS の簡易推定法の検討が近年多く行われている。

これまでの MLSS 推定法における研究において、自転車および、ランニングにおける漸増負荷テスト中の RER=1.00 に相当する運動強度が、MLSS と一致することが報告されているが、ランニングにおける推定法で用いた MLSS 決定のためのプロトコルには、MLSS を過大評価する可能性を示唆する問題がある。

そこで、研究に先立ち、MLSS 決定のための定義、プロトコル (休息时间) が MLSS に及ぼす影響、MLSS の推定法に関連する論文の考証を行う。次に、自転車とランニング運動間の生理学的応答の違い (脂質・糖質酸化率) について考証し、運動様式の違いが MLSS の決定に及ぼす影響について検討を行う。

### 第1節 最大乳酸定常状態の定義

MLSS という概念は、古くから存在しているものの<sup>29)</sup>、MLSS の定義は、統一されていなかった。MLSS の定義を統一するために、Beneke は<sup>12)</sup>、2003 年にそれまでの研究から、どの測定プロトコルが MLSS の定義をより反映するものとして妥当であるかを以下の 3 種類の測定法を比較検討した。1) 30 分間一定負荷テスト中の 10 分と 30 分間の [La] の差が 1mmol/L 以下時 (すなわち、[La] が 0.05 mmol/min 以下の増加) に決定された MLSS (MLSS I)。2) 20 分間一定負荷テスト中の 10 分と 20 分間の [La] の差が 0.5mmol/L 以下時 (すなわち、[La] が 0.05 mmol/min 以下の増加) に決定された MLSS (MLSS II)。3) 20 分間一定負荷テスト中の 10 分と 20 分間の [La] の差が 0.2mmol/L 以下時 (すなわち、[La] が 0.02 mmol/min 以下の増加) に決定された MLSS (MLSS III)。

その結果、MLSS I (5.1±1.3 mmol/L)、MLSS II (4.9±1.3 mmol/L) および、MLSS III (4.3±1.3 mmol/L) の [La] は、それぞれ有意に異なった。また、仕事率においては、MLSS I (354±40.8 W) および、MLSS II (251±40.4 W) と比較して、MLSS III (244.8±44.8 W) は、有意に低かったが、MLSS I と MLSS II の仕事率は、統計的に有意な差はみられ

なかった。しかし、論文においては、MLSS I を MLSS に適した定義として報告している。MLSS I のプロトコルにおいては、92%の被験者が、25分から30分間で [La] 動態が変化しなかったこと。そして、MLSS II は、MLSS I と仕事率は、変化しないのにもかかわらず、MLSS 時の [La] が、有意に異なることから、MLSS II の時の [La] は、定常状態に達してない可能性がある。したがって、Beneke は、MLSS I の決定法を MLSS の定義をより反映する決定法として結論づけており、2003年以降の MLSS に関する研究においては、30分間の一定負荷テストにおける血中乳酸濃度 ([La]) の増加が10分目と30分目の間で 1mmol/L 以下となる仕事率 (W-MLSS) または走速度 (V-MLSS) の最大値として定義されている<sup>14) 21) 22) 23) 27) 33) 36) 38) 41) 43) 46) 48)</sup>。

そこで、本研究においても、30分間の一定負荷テストにおける血中乳酸濃度 ([La]) の増加が10分目と30分目の間で 1mmol/L 以下となる仕事率 (W-MLSS) または走速度 (V-MLSS) の最大値を MLSS の定義として採用した。

## 第2節 MLSS の推定

### (1) 換気閾値を用いた MLSS の推定

Yamamoto ら<sup>49)</sup> は、一般成人男性を用いて、第一の換気閾値 ( $VT_1$ ) が無氣的代謝の開始点であるのであれば、長時間 (30 分間) 運動を継続しても [La] は、定常状態を保つはずであるという仮説のもと、 $VT_1$  は、MLSS を推定できるかどうかを検討した。その結果、 $VT_1$  強度で 30 分間運動を継続しても [La] の増加はみられず、 $VT_1$  は、MLSS を推定する良い指標であることを報告した。しかし、Yamamoto らの研究は、 $VT_1$  より高い強度での検討がされていない。Aunola と Rusko ら<sup>3)</sup> は、漸増負荷テストから決定された  $VT_1$  および、 $VT_1$  より高い強度で長時間の運動を行い、 $VT_1$  より高い強度は、[La] が継続的に増加することを報告し、 $VT_1$  が、MLSS を推定するのに良い指標であることを報告している。

しかし、Dekerle ら<sup>20)</sup> は、 $VT_1$  は、MLSS を過小評価すると報告している ( $159 \pm 23$  vs.  $239 \pm 21$  W,  $p < 0.01$ )。同様に、Leti<sup>38)</sup> らも、 $VT_1$  は、MLSS を過小評価することを報告している ( $14.2 \pm 1.3$  vs.  $15.7 \pm 1.1$  km/h,  $p < 0.01$ )。これらの研究においては、持久的アスリートを対象にしたため、持久的アスリートは、非鍛錬者と比較して MLSS の相対的強度 ( $\% \dot{V}O_2\max$ ) が高く、一般人を対象として Yamamoto ら<sup>49)</sup> や、Aunola と Rusko ら<sup>3)</sup> の研究結果と異なった可能性が考えられるが、Laplaud ら<sup>36)</sup> の研究における、非鍛

錬者を対象とした研究においても、 $VT_1$ は、MLSS と有意に異なる ( $175 \pm 24$  W vs.  $220 \pm 36$  W、 $p < 0.01$ ) ことが示されている。したがって、 $VT_1$ は、長時間運動中、[La] の継続的な蓄積が見られないが、 $VT_1$ より高い強度においても [La] の蓄積なしに運動を維持することができるため、MLSS を過小評価すると考えられ、 $VT_1$ は、MLSS の推定のための有効な指標にならないことが推測される。

## (2) [La] の絶対値を用いた MLSS の推定

多くの研究者は、MLSS と OBLA との関連性について分析している<sup>4) 7) 17) 23) 29) 32) 35) 40) 43) 48)</sup>。Heck ら<sup>29)</sup>は、16名の一般成人男性を用いて、多段階漸増負荷テスト中の  $4\text{mmol/L}$  に相当する走速度 (V-OBLA) で、約 30 分間 (28 分) 走行しても [La] の蓄積はみられず V-OBLA は、V-MLSS を推定する良い指標であることを示している。また、MLSS に関する研究ではないが、Steed ら<sup>44)</sup> および、Stoudemire ら<sup>46)</sup>の研究においても、V-OBLA で 30 分間一定走行中、[La] は、定常状態を示している。しかし、OBLA は、MLSS を過大評価することを示唆する研究も多く存在し<sup>4) 7) 22) 43)</sup>、一致した見解が得られていない。

また、Urhausen ら<sup>47)</sup>は、Stegman らによって提案された IAT (Individual Anaerobic Threshold) を用いて、MLSS を推定できるかどうかを分析した。彼らは、IAT は MLSS と一致するとした一方で、IAT は、MLSS を過大評価する場合もあると報告している。彼らは、MLSS を正確に評価するのであれば、MLSS の代替として IAT を用いることは、避けるべきであると報告している。

[La] の絶対値を用いた MLSS の推定が各研究間で異なる理由として、MLSS 強度運動時の [La] (MLSS [La]) が個人間で異なることが影響を与えていると考える。MLSS [La] は、個人間の変動が大きく ( $2 \sim 8\text{mmol/L}$ )、持久的パフォーマンスとの関連性が無いことが明らかにされている<sup>10) 42)</sup>。さらに、MLSS [La] は、持久的トレーニングを行うことにより変化する可能性も示唆されている<sup>22) 41)</sup>。これらの要因から、MLSS [La] は、個人間や、トレーニング状況に影響を受けるようである。また、MLSS [La] は、運動様式によっても異なるようである。実際、漕艇と自転車間の MLSS [La] は有意に異なることが報告されている ( $2.7 \pm 0.6$  vs.  $4.5 \pm 1.0$  mmol/L)<sup>9)</sup>。また、Tigao ら<sup>46)</sup>は、異なる 2 つの運動様式間 (ランニングおよび、自転車エルゴメータ) で、漸増負荷テスト中に決定された  $3.5\text{mmol/L}$  相当の走速度または、仕事率を用いた MLSS (V-MLSS または、W-MLSS) の推定法における両運動様式間の違いを報告している。ランニングにおいては、



3.5mmol/L 相当の走速度および、V-MLSS の両速度間に違いはなかった ( $186.0 \pm 24.0$  vs.  $192.0 \pm 36$  m/min、 $p > 0.05$ )。一方で、自転車運動においては、3.5mmol/L 相当の仕事率は、W-MLSS を過小評価すること ( $156.2 \pm 41.3$  vs.  $179.6 \pm 26.4$  W、 $p < 0.05$ ) を報告しており、運動様式の違いによっても、MLSS を推定するための目安となる [La] が異なることが明らかにされている。したがって、これらの要因から、MLSS<sub>int</sub> を推定するために [La] の絶対値を用いることは、避けるべきであると考ええる。

### (3) RER (Respiratory Exchange Ratio) を用いた MLSS の推定

Laplaud ら<sup>36)</sup> は、MLSS<sub>int</sub> で運動中の RER が 1 に近いことに着目し<sup>7)14)35)</sup>、自転車エルゴメータにおける漸増負荷テスト中の RER=1.00 に相当する仕事率 (W-RER<sub>1.00</sub>) は、W-MLSS と一致するかどうかを検討した。W-VT<sub>1</sub> および、W-VT<sub>2</sub> は、W-MLSS と有意に異なったが、W-RER<sub>1.00</sub> は W-MLSS と一致 ( $224 \pm 33$  vs.  $220 \pm 36$  W、 $p > 0.05$ ) することを報告した。

さらに、2012 年、Leti ら<sup>38)</sup> は、この研究結果をランニングにも応用できるかどうかを検討し、Laplaud らの研究結果と同様に、V-VT<sub>1</sub> および、V-VT<sub>2</sub> は、V-MLSS と有意に異なり、V-RER<sub>1.00</sub> と V-MLSS は一致することを報告した ( $262.7 \pm 18.3$  vs.  $258.3 \pm 18.3$  m/min、 $p > 0.05$ )。

しかし、自転車および、ランニングにおける同一相対運動強度 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) 運動時の生理学的応答の違い (糖質・脂質酸化率)<sup>1)17)34)</sup>により、MLSS<sub>int</sub> 運動時の RER の応答が異なる可能性がある。さらに、Laplaud らと Leti らの研究間で 30 分間一定テスト中に設定される採血のための休息時間が異なり、両運動様式間における MLSS 決定のためのプロトコルの違いによって、V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS の過大評価した可能性が考えられる。実際、Leti らの研究は、Laplaud ら<sup>36)</sup>をはじめとする従来のプロトコルより休息時間 (5 分毎 2 分、通常 1 分または継続的) が長く、V-MLSS を過大評価している可能性が考えられる。したがって、Laplaud らの測定プロトコルと統一した MLSS 測定プロトコルにおいて、V-RER<sub>1.00</sub> を用いた V-MLSS の推定を再検討する余地がある。

## 第 3 節 最大乳酸定常状態に影響を与える要因

### (1) 運動様式：自転車および、ランニング間の脂質・糖質酸化率の違い

$\dot{V}O_{2max}$  を基準とした相対的な運動強度 ( $\% \dot{V}O_{2max}$ ) が同じであっても、自転車運動

は、ランニングと比較して糖質酸化率が高く、脂質酸化率が低いことが明らかにされている<sup>1) 17) 34)</sup>。この脂質・糖質酸化率の違いが両運動様式間の RER の違いを説明することができ、両運動様式間における MLSS の推定の指標となる RER 値に影響を与える可能性が考えられる。

しかし、これまで両運動様式間における糖質・脂質酸化率を比較した研究は、同一% $\dot{V}O_{2max}$  を基準としており、LT や VT の% $\dot{V}O_{2max}$  は、自転車よりもランニングの方が高くなることが報告されている<sup>15)</sup>。実際、MLSS 強度における両運動様式間を比較した研究においても、自転車よりもランニングの方が MLSS<sub>int</sub> 運動時の% $\dot{V}O_{2max}$  が高いことが報告されている（約 85 vs. 90% $\dot{V}O_{2max}$ 、 $p < 0.05$ ）<sup>24)</sup>。これまでの両運動様式間の糖質・脂質酸化率（または、RER）を比較した研究においては、同一% $\dot{V}O_{2max}$  における比較であるため、この両運動様式間の MLSS<sub>int</sub> における% $\dot{V}O_{2max}$ （5%程度）の違いによって、自転車および、ランニングにおける MLSS<sub>int</sub> 運動時の RER が同一になる可能性が考えられる。

しかし、Cheneviere ら<sup>17)</sup>の研究において、自転車および、ランニングにおける漸増負荷テスト中の 20~90% $\dot{V}O_{2max}$  間の RER の動態から、糖質・脂質酸化率を比較した研究においては、自転車における 60% $\dot{V}O_{2max}$  の RER は、ランニングにおける 70% $\dot{V}O_{2max}$  程度の RER と同等であり、自転車における 70% $\dot{V}O_{2max}$  の RER は、83% $\dot{V}O_{2max}$  程度の RER と同等であった。% $\dot{V}O_{2max}$  を基準とした両運動様式間の RER が等しくなるまでの差は、10% $\dot{V}O_{2max}$  程度である。Fontana ら<sup>24)</sup>らによって示された同一被験者による MLSS<sub>int</sub> 運動時の両運動様式間の% $\dot{V}O_{2max}$  の違いは、5%程度での差あることから、両運動様式間の MLSS<sub>int</sub> 強度運動時の RER は、ランニングと比較して自転車の方が高くなる可能性が考えられる。

したがって、両運動様式間の MLSS<sub>int</sub> 運動時の RER 応答は異なる可能性が考えられ、ランニングにおいては、 $V-RER=1.00$  より低い走速度と、 $V-MLSS$  が一致する可能性が考えられる。自転車および、ランニングにおける MLSS<sub>int</sub> 運動時の RER 応答の違いにより、ランニングにおける漸増負荷テスト中の  $V-RER_{1.00}$  が  $V-MLSS$  を過大評価する可能性があり、 $RER=1.00$  を用いた MLSS の推定法は、自転車および、ランニングの両運動様式間で異なることが推測される。しかし、先行研究においては両運動様式間で  $W-RER_{1.00}$  と  $W-MLSS$  および、 $V-RER_{1.00}$  と、 $V-MLSS$  間の一致が報告されている<sup>36) 38)</sup>。この両運動様式間の RER を用いた推定法の一致は、自転車と比較してランニングの研究における休

息時間の延長が、影響している可能性がある。

## (2) 休息時間の違いが MLSS に及ぼす影響

MLSS は、血中乳酸濃度 ([La]) を用いて有酸素性作業能を評価する生理学的指標である。したがって、運動中に採血を実施する必要がある。自転車エルゴメータを用いた運動においては、30 分間運動を中断することなく、運動を継続して採血することが可能である。しかし、ランニングにおいては、運動を継続しながらの採血は困難であることから、30 分間一定負荷テスト中、採血のために一時的な中断を余儀なくされる。

この中断が、MLSS の走速度 (V-MLSS) に影響を与える可能性が考えられる。そこで、Beneke ら<sup>11)</sup> は、自転車エルゴメータを用いて 30 分間継続して測定された MLSS (MLSS<sub>con</sub>) と、5 分毎に 30 秒および、90 秒の休息を挟んで測定された MLSS (MLSS<sub>30s</sub> および、MLSS<sub>90s</sub>) を比較し、継続的および、間欠的に測定されたときのプロトコルの違いがどの程度、MLSS に及ぼす影響を検討した。

その結果、MLSS [La] においては、MLSS<sub>con</sub> (5.7±1.5mmol/L)、MLSS<sub>30s</sub> (5.7±1.3mmol/L) および、MLSS<sub>90s</sub> (5.9±1.7mmol/L) と、3 条件間に有意差はみられなかった。しかし、MLSS の仕事率 (W-MLSS) においては、MLSS<sub>con</sub> (277.8±24.4 W) と比較して、MLSS<sub>30s</sub> (300.4±30.4 W) および、MLSS<sub>90s</sub> (310.0±31.2 W) の方が有意に高く (p < 0.01)、さらに、MLSS<sub>30s</sub> よりも、MLSS<sub>90s</sub> の W-MLSS の方が有意に高いことが示された (p < 0.01)。

実際、2012 年に Grossl ら<sup>27)</sup> の研究においても、MLSS<sub>con</sub> の仕事率と比較して、30 分間一定負荷テスト中に 5 分毎 1 分間の休息条件 (MLSS<sub>60s</sub>) の方が、6.5%程度、仕事率が有意に高いことが明らかにされている (251±29 vs. 268±29 W、p < 0.0001)。

これより、継続的と間欠的に測定された MLSS は、MLSS [La] には影響を与えないが W-MLSS には影響を及ぼすことが示唆された。さらに、間欠的測定の休息時間の延長も、W-MLSS に影響を及ぼすことから、休息時間の選択も重要である。

これまで、MLSS 推定法に関する研究の 30 分間一定負荷テストのプロトコルは、30 分間継続的または、5 分毎に 1 分間の休息をとり、5 分毎に採血を実施するプロトコルを採用している研究が多い<sup>4) 20) 21) 23) 41)</sup>。MLSS 推定における先行研究で、自転車および、ランニング間における漸増負荷テスト中の RER=1.00 相当する運動強度は、W-MLSS および、V-MLSS と一致することが明らかにされている<sup>36) 38)</sup>。しかし、この両研究間の 30 分間一定負荷テストの休息時間が異なり、ランニングにおける研究は、自転車における研究より

休息時間が長く、5分毎に2分の休息を設けている。この休息時間の違いが、V-MLSSの過大評価につながった可能性が考える。

## 第3章 方法

### 第1節 被験者

本研究は、10名の大学生男子中・長距離選手を対象に実施した（中距離2名、長距離8名、年齢 $20 \pm 2$ 歳、身長 $170.9 \pm 5.0$ cm、体重 $58.5 \pm 2.8$ kg）。実験に先立ち、各被験者に対して研究内容に関する目的、内容、手順についての説明を行い、口頭および、書面にて同意を得た。被験者は実験期間中、激しい運動は避けるように指示した。なお、本研究は、順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科倫理委員会の承諾を得た。

### 第2節 実験デザイン

すべての被験者は、電動式トレッドミルを用いて $\dot{V}O_2\max$ 、 $VT_1$ 、 $RER=1.00$ 、 $VT_2$ に相当する走速度を決定するために漸増負荷テストを行い、続いてMLSSの決定のため、30分間一定負荷テストを実施した。トレッドミルの傾斜は、1%に設定した<sup>31)</sup>。各テスト間は、48～72時間の間隔を設け、次の負荷テストを行った。

### 第3節 呼吸循環応答および血中乳酸の測定

心拍数(HR)は、テレメトリー方式心拍計を用いて測定し(RS800CX、Polar、Finland)、各分45～60秒間の心拍数を1分間の平均心拍数とした。呼気ガス分析は、呼吸代謝測定器(AE-300、ミナト医科学、日本)を用いて、換気量( $\dot{V}_E$ )、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )および、二酸化炭素排出量( $\dot{V}CO_2$ )を運動中、継続して測定した。負荷テスト中に得られた呼気ガスデータは、15秒毎に平均化された。なお、呼気ガス分析器は、各測定前に標準ガスを用いて校正を行った。

血中乳酸濃度([La])は、各運動終了後の休息期間中の15～30秒間に、 $20 \mu l$ のキャピラリーチューブに耳朶から血液を採取し、乳酸分析器を用いて分析した(BIOSEN S-line、EFK DIAGNOSTICS、Germany)。実験室は、気温 $20 \pm 1$ ℃、湿度 $56 \pm 1\%$ であった。

### 第4節 実験プロトコル

#### (1) 漸増負荷テスト

$\dot{V}O_2\max$  および、第一の換気閾値( $VT_1$ ) および、第二の換気閾値( $VT_2$ ) に相当する

走速度 ( $V\text{-}VT_1$  および、 $V\text{-}VT_2$ )、 $RER=1.00$  に相当する走速度 ( $V\text{-}RER_{1.00}$ ) を測定するために、漸増負荷テストを行った。初期負荷 180m/min (中距離選手) または、200 m/min (長距離選手) において、2 分間のランニング後、1 分毎に 10m/min ずつ疲労困憊に至るまで速度を増加させた。

$\dot{V}O_{2\max}$  は、以下の定義を 3 つ以上満たしたときと定義した。

①  $\dot{V}O_2$  のプラトー (150 ml/min 以下の増加) ②  $RER > 1.10$  ③ 予測される最大心拍数 ( $HR_{\max}$ )  $\pm 10$  bpm に到達 (220 - 年齢) ④ 疲労困憊まで達した直後の RPE が 18 以上。

$VT_1$ 、 $VT_2$ 、 $RER=1.00$  に相当する走速度の決定は、グラフ化したデータから視覚的に決定された。 $V\text{-}VT_1$  および、 $V\text{-}VT_2$ 、 $V\text{-}RER_{1.00}$  は、以下の定義によって決定された。

- $V\text{-}VT_1$  は、 $\dot{V}E / \dot{V}CO_2$  の増加が見られず、 $\dot{V}E / \dot{V}O_2$  および、呼気終末酸素 (Partial Pressure of  $O_2$ :  $PETO_2$ ) における増加が観察されたとき。
- $V\text{-}VT_2$  は、 $\dot{V}E / \dot{V}O_2$  と  $\dot{V}E / \dot{V}CO_2$  の両方の増加および、呼気終末二酸化炭素 (Partial Pressure of  $CO_2$ :  $PETCO_2$ ) の減少が観察されたとき。
- $V\text{-}RER = 1.00$  は、Laplud らの決定法にしたがって<sup>36)</sup>、 $RER=1.00$  が走行中の負荷段階の 0~15 秒間中に到達したら、1 つ前の負荷段階の走速度を  $V\text{-}RER = 1.00$  と設定した。15~30 秒間で到達したら、前負荷段階の走速度にプラス 2.5 m/min、30~45 秒間で到達したら、前負荷段階プラス 5 m/min、45~60 秒間で到達したら、前負荷段階プラス 7.5 m/min を  $V\text{-}RER=1.00$  として設定した<sup>38)</sup>。

## (2) MLSS 決定のための 30 分一定負荷テスト

漸増負荷テストの 48~72 時間後、MLSS を決定するために 30 分間一定負荷テストを行った。30 分間一定負荷テストは、1 セット 5 分間とし、6 セット行った。各セット間において、採血のため 1 分間の休息を設けた。採血は、各セット終了後 (15~30 秒後間) すぐに、耳朶より採血を行った。初めの 30 分間一定負荷テストは、 $V\text{-}RER = 1.00$  の 95 % に相当する走速度 ( $95\%V\text{-}RER_{1.00}$ ) に設定された。先行研究においては<sup>38)</sup>、 $V\text{-}RER = 1.00$  の走速度から実施しているが、予備実験の段階で、 $V\text{-}RER = 1.00$  の走速度から実施した結果、4 人中 3 人の被験者が 30 分間走行することができず、実験の中止を余儀なくされたため、 $95\%V\text{-}RER_{1.00}$  から実施した。もし、 $95\%V\text{-}RER_{1.00}$  強度での 30 分間一定負荷テス

ト中に [La] の定常状態または、減少が観察された場合、 $2.5\%V\cdot RER_{1.00}$  増加させた走速度を次の負荷に設定した。[La] の上昇が観察された場合、 $2.5\%V\cdot RER_{1.00}$  減少させた走速度を次の負荷に設定し、[La] の定常状態（10分目と30分目の La が  $1\text{ mmol/L}$  差が  $1\text{ mmol/L}$  以下）が得られるまで、 $\pm 2.5\%V\cdot RER_{1.00}$  で走速度を調整し、30分間一定負荷テストを行った。なお、各テスト間における間隔は、48～72時間設け、軽い運動または、休息に当てるよう指示した。V-MLSS は、30分間の一定負荷テストにおける血中乳酸濃度（[La]）の増加が10分目と30分目の間で  $1\text{ mmol/L}$  以下となる走速度（V-MLSS）の最大値として定義した<sup>12)</sup>。

### (3) 統計処理

全てのデータは、平均±標準偏差（SD）で示した。漸増負荷テストまたは、30分間一定負荷テスト中から得られたデータの平均値の差の検定は、繰り返しのある一元配置分散分析を用いて分析し、群間の比較のためボンフェローニ法を用いたポストホックテストを行った。また、V-MLSS と、3つの各最大下生理学的指標（V-VT<sub>1</sub>、V-RER<sub>1.00</sub> および、V-VT<sub>2</sub>）間の関連性は、単回帰分析および、Bland-Altman 分析によって、分析した。なお、統計的有意水準は、 $p < 0.05$  とした。

## 第4章 結果

### 第1節 漸増負荷テスト

漸増負荷テスト中に得られた生理学的データを表1に示した。被験者の $\dot{V}O_{2max}$ は、 $72.4 \pm 5.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $63.7 \sim 77.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )であった。

### 第2節 30分間一定負荷テスト

30分間一定負荷テスト中から得られたデータを表2に示した。 $V \cdot MLSS$ は、 $289.1 \pm 23.7 \text{ m/min}$  ( $239 \sim 321 \text{ m/min}$ )、 $MLSS [La]$ は、 $3.7 \pm 1.0 \text{ mmol/L}$  ( $2.0 \sim 5.0 \text{ mmol/L}$ )であった。 $V \cdot MLSS$ と $V \cdot RER_{1.00}$ は、有意に異なった ( $289.1 \pm 23.7$  vs.  $303.5 \pm 26.4 \text{ m/min}$ 、 $p < 0.01$ )。

### 第3節 $VT_1$ 、 $RER=1.00$ 、 $VT_2$ および、 $MLSS$ 間の関連性

$V \cdot MLSS$ は、 $V \cdot VT_1$  ( $r = 0.89$ 、 $p < 0.01$ )、 $V \cdot RER_{1.00}$  ( $r = 0.99$ 、 $p < 0.01$ )、 $V \cdot VT_2$  ( $r = 0.93$ 、 $p < 0.01$ )間の各生理学的指標間と有意な正の相関関係を示した。中でも、 $V \cdot MLSS$ と $V \cdot RER_{1.00}$ 間の相関係数は、非常に高かった ( $r = 0.99$ ) (図1)。Bland-Altman分析においても、 $V \cdot MLSS$ と3つの各最大下生理学的指標間は、95%信頼区間内 (limits of agreement : LOA)におさまり、良好な一致性を示した (図2)。とくに、Bland-Altman分析で、 $V \cdot MLSS$ と95% $V \cdot RER_{1.00}$ 間が最も良い一致を示した (図2)。



## 第5章 考察

本研究の目的は、ランニングにおける単一漸増負荷テスト中の V-RER<sub>1.00</sub> が、V-MLSS と一致するかどうかを検証することを目的とした。本研究では、乳酸値の測定のための 5 分毎の休息時間を 1 分間として V-MLSS 測定した。漸増負荷テスト中に測定された V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を過大評価し、V-MLSS は、95%V-RER<sub>1.00</sub> と一致することを明らかにした。

これまでの先行研究においては、自転車および、ランニングにおける W-MLSS および、V-MLSS は、RER=1.00 の運動強度 (W-RER<sub>1.00</sub>、V-RER<sub>1.00</sub>) と一致することが報告されている<sup>36) 38)</sup>。しかし、本研究結果は、V-RER<sub>1.00</sub> と V-MLSS の一致を示した Leti らの研究結果と異なる結果となった。この Leti らの研究と本研究間の結果の違いは、MLSS 測定プロトコルの休息時間の違い、自転車とランニング間の生理学的応答 (糖質・脂質酸化率) の違いが、RER を用いた両運動様式間の推定法の違いに影響を与えている可能性により説明できるかもしれない。

### 第1節 MLSS の測定プロトコルの違いが V-MLSS に及ぼす影響

本研究の結果は、Leti らの先行研究と異なり、V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を過大評価し (303.5±26.4 vs. 279.7±27.0 m/min、 $p < 0.01$ )、95%V-RER<sub>1.00</sub> が、V-MLSS と一致することが示された (10 人中 9 人) (288.5±25.1 vs. 279.0±27.0 m/min、 $p > 0.05$ )。

Leti ら<sup>38)</sup>の研究においては、Laplud らの研究をはじめとする従来の MLSS 決定のためのプロトコルと異なる点 (休息時間) があり、それが V-MLSS を過大評価した要因になったと考える。はじめに、自転車運動中における漸増負荷テスト中の W-RER<sub>1.00</sub> と W-MLSS の一致を報告した Laplaud ら<sup>36)</sup>の研究をはじめ、MLSS の測定は 5 分毎に 1 分間の休息で行われることが多い<sup>4) 20) 21) 23) 41)</sup>。しかし、自転車における漸増負荷テスト中の W-RER<sub>1.00</sub> が W-MLSS と一致したとする報告<sup>36)</sup>をもとに、ランニングにおいても応用できるかどうかを検証した Leti らの研究は、5 分毎に 2 分の休息から MLSS が決定されている。その結果、Leti らの研究においては、V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS と一致を報告している<sup>38)</sup>。しかし、この休息時間の違いによって Leti らの研究結果においては、V-RER<sub>1.00</sub> と、V-MLSS が一致した可能性が考えられ、もし、自転車運動における Laplaud ら<sup>36)</sup>の研究と同様の休息時間を採用し、ランニングにおいて V-MLSS を決定したのであれば、

V-RER<sub>1.00</sub>での運動は、[La]が定常状態を示さず、V-MLSSを過大評価する可能性が考えられる。

実際、自転車エルゴメータを用いて、30分間一定負荷テストを継続的 (MLSS<sub>con</sub>) および、5分毎に30秒および、90秒の休息を挟んで測定された MLSS (MLSS<sub>30s</sub> および、MLSS<sub>90s</sub>) は、W-MLSS<sub>con</sub> (277.8±24.4 W) と比較して、W-MLSS<sub>30s</sub> (300.4±30.4 W) および、W-MLSS<sub>90s</sub> (310.0±31.2 W) の方が有意に高く (p < 0.01)、また、W-MLSS<sub>30s</sub> よりも、W-MLSS<sub>90s</sub> の W-MLSS の方が有意に高くなることが報告されている (p < 0.01)<sup>11)</sup>。これより、自転車の先行研究<sup>36)</sup>と比較して、より長い休息時間から V-MLSS が決定された Leti ら<sup>38)</sup>の研究は、V-MLSS の過大評価により V-RER<sub>1.00</sub> と V-MLSS の一致が示された可能性がある。一方で、本研究は、自転車の先行研究<sup>36)</sup>と統一した休息時間から V-MLSS を決定し、V-RER<sub>1.00</sub> は V-MLSS を過大評価することを示した。自転車における推定法をランニングに応用できるかどうかを検討するのであれば、Laplaud ら<sup>36)</sup>の MLSS の測定プロトコルを統一した本研究結果の方が、ランニングにおける RER<sub>1.00</sub> を用いた推定法として有効であるかもしれない。

## 第2節 自転車とランニング間における生理学的応答の違い (糖質・脂質酸化率)

従来の休息時間 (5分毎1分) を用いた自転車運動における MLSS 測定プロトコルにおいては、W-RER<sub>1.00</sub> と W-MLSS 一致することが報告されている。一方で、ランニングにおいて従来の休息時間 (5分毎1分) を用いて V-MLSS を測定した本研究の結果は、V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を過大評価する結果となった。この自転車および、ランニングの両運動様式間で RER=1.00 を用いた MLSS 推定法の異なる結果は、両運動様式間における糖質・脂質酸化率の違いが影響しているかもしれない。これまで、自転車とランニング間における生理学的応答の違いが報告されており、自転車運動は、ランニングと比較して同一相対運動強度 (% $\dot{V}O_2\max$ ) における運動時の糖質酸化率が高く、脂質酸化率が低いことが明らかにされている<sup>1) 17) 34)</sup>。したがって、MLSS<sub>int</sub> 運動時においても、自転車とランニング間で糖質および、脂質酸化率が異なる可能性が考えられる。しかし、MLSS 強度における両運動様式間を比較した研究において、自転車よりもランニングの方が MLSS<sub>int</sub> 運動時の % $\dot{V}O_2\max$  が高いことが報告されている (約 85 vs. 90% $\dot{V}O_2\max$ , p < 0.05)<sup>24)</sup>。これまでの両運動様式間の糖質・脂質酸化率 (または、RER) を比較した研究においては、同一 % $\dot{V}O_2\max$  における比較であるため、この両運動様式間の MLSS<sub>int</sub> における % $\dot{V}O_2\max$

(5%程度)の違いによって、自転車および、ランニングにおける  $MLSS_{int}$  運動時の RER が同一になる可能性が考えられる。

しかし、Cheneviere ら<sup>17)</sup>の研究において、漸増負荷テスト中における自転車の  $60\% \dot{V}O_{2max}$  時の RER は、ランニングの  $70\% \dot{V}O_{2max}$  程度の RER と同等であり、自転車の  $70\% \dot{V}O_{2max}$  時の RER は、ランニングの  $83\% \dot{V}O_{2max}$  程度の RER と同等であると報告している。 $\% \dot{V}O_{2max}$  を基準とした両運動様式間の RER が等しくなるまでの差は、 $10\% \dot{V}O_{2max}$  程度である。Fontana ら<sup>24)</sup>らによって示された同一被験者による  $MLSS_{int}$  運動時の両運動様式間の  $\% \dot{V}O_{2max}$  は、5%程度での差あることから、両運動様式間の  $MLSS_{int}$  強度運動時の RER は、ランニングと比較して自転車の方が高くなる可能性が考えられる。

この糖質・脂質酸化率の違いが両運動様式間の  $MLSS_{int}$  の RER に影響し、漸増負荷テスト中の RER を用いた推定法においても影響を与える可能性が考えられる。同一被験者を対象に、自転車とランニング間で  $MLSS_{int}$  における糖質・脂質酸化率を比較した研究はないため、両運動様式間の RER の違いは未だ明らかにされていない。しかし、自転車とランニングにおける糖質・脂質酸化率の違いを示すこれまでの研究を考慮すると<sup>1) 17) 34)</sup>、 $MLSS_{int}$  における両運動様式間においても RER 応答が異なり (ランニング < 自転車)、 $MLSS$  の推定の指標となる RER の値に影響を与えることが考えられる。これまでの先行研究においては  $MLSS$  運動時の RER=1.00 であるため、自転車および、ランニングにおける RER=1.00 に相当する運動強度は、 $MLSS$  と一致するのではないかという仮説のもとに RER=1.00 を用いた  $MLSS$  推定法が提案されてきた。本研究結果における V- $MLSS$  時の RER においては、 $0.96 \pm 0.04$  (0.86~0.99) を示し、V- $MLSS$  強度運動時の RER が 1.00 を上回る被験者がいなかった。さらに、ランニングにおける  $MLSS$  強度で運動中の RER は、1.00 を下回る ( $0.97 \pm 0.01$ ) ことを示す報告もある<sup>4)</sup>。もし、 $MLSS$  強度運動中の RER 値をもとに、漸増負荷テスト中の RER を用いて  $MLSS$  を推定するのであれば、本研究結果および、先行研究<sup>4)</sup>の RER は、1.00 を下回っていることから、ランニングにおける漸増負荷テスト中の V-RER<sub>1.00</sub> は、V- $MLSS$  よりも高い走速度となる可能性が考えられ、本研究においても、V-RER<sub>1.00</sub> より低い走速度で V- $MLSS$  が決定されたと考えられる。

## 第6章 結論

ランニングにおける単一漸増負荷テスト中の  $V\text{-RER}_{1.00}$  は、 $V\text{-MLSS}$  を過大評価することを示した。一方で、 $95\%V\text{-RER}_{1.00}$  と  $V\text{-MLSS}$  間は一致することが示され、 $95\%V\text{-RER}_{1.00}$  は、 $V\text{-MLSS}$  を推定するために有効な指標であることが示唆された。

## 第7章 要約

**背景：**最大乳酸定常状態 (Maximal Lactate Steady State : MLSS) は、30 分間一定負荷テスト中の 10 分と 30 分目の [La] の増加が、1mmol/L 以下の時の最も高い仕事率 (W-MLSS) または、走速度 (V-MLSS) として定義されている。しかし、MLSS の決定には、多くの運動負荷テスト (3~5 回) を要する。これら繰り返しのテストによる負担を避けるために、MLSS の簡易に推定することが必要と思われる。

**目的：**ランニングにおける単一漸増テスト中の V-RER<sub>1.00</sub> を用いて、V-MLSS を推定できるかどうかを検証することを目的とした。

**方法：**10 人の大学生男子長距離選手 (20±2 歳、171±5 cm、59±2 kg) と対象とし、VT<sub>1</sub>、RER=1.00 および、VT<sub>2</sub> に相当する走速度 (V-VT<sub>1</sub>、V-RER<sub>1.00</sub>、V-VT<sub>2</sub>) の決定のため、漸増負荷テストを行った。次に、乳酸値の測定のための 5 分毎の休息時間を 1 分間として 30 分間一定負荷テストを行い、MLSS の走速度 (V-MLSS) を決定した。

**結果：**V-MLSS は、V-VT<sub>1</sub>、V-RER<sub>1.00</sub> および、V-VT<sub>2</sub> 間と有意に異なった。しかし、V-MLSS と、95%V-RER<sub>1.00</sub> 間に、違いはみられなかった (289.1±23.7 vs. 288.9±25.3m/min)。

**結論：**V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を過大評価することを示した。一方で、95%V-RER<sub>1.00</sub> と V-MLSS 間は、一致することが示され、95%V-RER<sub>1.00</sub> は、V-MLSS を推定するために有効な指標であることが示唆された。

## 謝辞

修士論文の作成にあたり、実験の被験者として協力頂いた陸上競技部、論文指導をして頂いた運動生理学研究室の皆様には感謝致します。

## 引用文献

- 1) Achten, J., Venables, M. C., Jeukendrup, A. E. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism-Clinical and Experimental* 52(6), 747-752.
- 2) Arkinstall, M. J., Bruce, C. R., Nikolopoulos, V., Garnham, A. P., Hawley, J. A. (2001). Effect of carbohydrate ingestion on metabolism during running and cycling. *J Appl Physiol.* 91(5), 2125-2134.
- 3) Aunola, S., Rusko, H. (1992). Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J Sports Sci.* 10(4), 309-323.
- 4) Baldari, C., Guidetti, L. (2000). A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc.* 32(10), 1798-1802.
- 5) Baron, B., Noakes, T. D., Dekerle, J., Moullan, F., Robin, S., Matran, R., Pelayo, P. (2008). Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Br J Sports Med.* 43(10), 828-833.
- 6) Beaver, W. L., Wasserman, K., Whipp, B. J. (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol.* 59(6), 1936-40.
- 7) Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc.* 27(6), 863-867.
- 8) Beneke, R., Von Duvillard, S. P. (1996) Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc.* 28(2), 241-246.
- 9) Beneke, R., Hutler, M., Leithauser, R. M. (2000). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *Br J Sports Med.* 35(3), 192-196.
- 10) Beneke, R., Hutler, M., Leithauser, R. M. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Med Sci Sports Exerc.* 32(6)
- 11) Beneke, R., Hutler, M., Von Duvillard, S. P., Sellens, M., Leithauser, R. M. (2003). Effect of test interruptions on blood lactate during constant workload. *Med Sci Sports Exerc.* 35(9), 1626-1630.

- 12) Beneke, R. (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol.* 89(1), 95-99.
- 13) Billat, L. V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training - Recommendations for long-distance running. *Sports Med.* 22(3), 175-75.
- 14) Billat, V. L., Sirvent, P., Koralsztein, J. P., Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state – A bridge between biochemistry, physiology and sports science. *Sports Med* 33(6), 407-426.
- 15) Cheneviere, X., Malatesta, D., Gojanovic, B., Borrani, F. (2010). Differences in whole-body fat oxidation kinetics between cycling and running. *Eur J Appl Physiol.* 109,1037-1045.
- 16) Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A. C., Keizer, H.A., Jeukendrup, A., Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med.* 13(7), 518-522.
- 17) Chicharro, J. L., Carvajal, A., Pardo, J., Perez, M., Lucia, A. (1999). Physiological parameters determined at OBLA vs. a fixed heart rate of 175 beats x min<sup>-1</sup> in an incremental test performed by amateur and professional cyclists. *Jpn J Physiol.* 49(1), 63-69.
- 18) Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., Abraham, L. D., Petrek, G. W. (1991). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 23(1), 93- 107.
- 19) Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K., Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol.* 64(6), 2622-2630.
- 20) Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., Pelayo, P.(2003). Maximal Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol.* 89(3-4), 281-288.
- 21) Denadai, V., Figueira, T. R., Favaro, O. R. P., Goncalves, M. (2004). Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Braz J Med Biol Res.* 37(10), 1551-1556.



- 22) Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts How Valid are They? *Sports Med.* 39(6), 469-490.
- 23) Figueira, Tiago R., Caputo, Fabrizio., Pelarigo, Jailton G., Denadai, Benedito S. (2008). Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *J Sci Med Sport.* 11(3) 280-286.
- 24) Fontana, Piero., Boutellier, Urs., Knoepfli-Lenzin, Claudia. (2009). Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects. *Eur J Appl Physiol.* 107(2), 187-192.
- 25) Foxdal, P., Sjodin, B., Sjodin, A., Ostman, B. (1994). The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. Dependency of analyzed blood media in combination with different designs of the exercise test. *Int J Sports Med.* 15(2), 89-95.
- 26) Grant, S., McMillan, K., Newell, J., Wood, L., Keatley, S., Simpson, D., Leslie, K., Fairlie-Clark, S. (2002). Reproducibility of the blood lactate threshold, 4 mmol/L marker, heart rate and ratings of perceived exertion during incremental treadmill exercise in humans. *Eur J Appl Physiol.* 87(2), 159-166.
- 27) Grossl, T., De Lucas, R., De Souza, K., Guglielmo, Luiz Guilherme Antonacci. (2012). Time to exhaustion at intermittent maximal lactate steady state is longer than continuous cycling exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 37(6), 1047-1053.
- 28) Harnish, C. R., Swensen, T. C., Pate, R. R. (2001). Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 33(6), 1052-1055.
- 29) Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R., Hollmann, W. (1985). Justification of the 4·mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med.* 6(3), 117-130.
- 30) Hughson, R. L., Weisiger, K. H., Swanson, G. D. (1987). Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. *J Appl Physiol.* 62(5), 1975-1981.
- 31) Jones, A. M., Doust, J. H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci.* 14(4), 321-327.

- 32) Jones, A. M., Doust, J. H. (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc.* 30(8), 1304-1313.
- 33) Kilding, A., Jones, A. M. (2005). Validity of a single-visit protocol to estimate the maximum lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc.* 37(10), 1734-1740.
- 34) Knechtle, B., Muller, G., Willmann, F., Kotteck, K., Eser, P., Knecht, H. (2004). Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *Int J Sports Med.* 25(1), 38-44.
- 35) Lajoie, C., Laurencelle, L., Trudeau, F. (2000). Physiological responses to cycling for 60 minutes at maximal lactate steady state. *Can J Appl Physiol.* 25(4), 250-261.
- 36) Laplaud, D., Guinot, M., Favre-Juvin, A., Flore, P. (2006). Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise. *Eur J Appl Physiol.* 96(4), 446-452.
- 37) Legaz-Arrese, A., Carranza-Garcia, L. E., Serrano-Ostariz, E., Gonzalez-Rave, J. M., Terrados, N. (2011). The Traditional Maximal Lactate Steady State Test versus the 5 x 2000 m Test. *Int J Sports Med.* 32(11), 845-850.
- 38) Leti, Thomas., Mendelson, Monique., Laplaud, David., Flore, Patrice. (2012). Prediction of maximal lactate steady state in runners with an incremental test on the field. *J Sports Sci.* 30(6), 609-616.
- 39) Lundberg, M. A., Hughson, R. L., Weisiger, K. H., Jones, R. H., Swanson, G. D. (1986). Computerized estimation of lactate threshold. *Comput Biomed Res.* 19 (5), 481-486.
- 40) Oyonoenguelle, S., Heitz, A., Marbach, J., Ott, C., Gartner, M., Pape, A., Vollmer, J. C., Freund, H. (1990). Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *Eur J Appl Physiol.* 60(5), 321-330.
- 41) Philp, A., Macdonald, A. L., Carter, H., Watt, P. W., Pringle, J. S. (2008). Maximal lactate steady state as a training stimulus. *Int J Sports Med.* 29(6), 475-479.
- 42) Sjodin, B., Svedenhag, J. (1985). Applied physiology of marathon running. *Sports Med.* 2(2), 83-99.

- 43) Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Pokan, R., Hofmann, P., Braun, W. A., Arciero, P. J., Tschan, H., Wonisch, M., Baron, R., Bachl, N. (2012). Blood lactate concentration at the maximal lactate steady state is not dependent on endurance capacity in healthy recreationally trained individuals. *Eur J Appl Physiol.* 112(8). 3079-3079-3086.
- 44) Steed, J., Gaesser, G. A., Weltman, A. (1994). Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Med Sci Sports Exerc.* 26(6), 797-803.
- 45) Stoudemire, N. M., Wideman, L., Pass, K. A., McGinnes, C. L., Gaesser, G.A., Weltman, A. (1996). The validity of regulating blood lactate concentration during running by ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 28(4), 490-495.
- 46) Tiago R., Jailton G., Benedito S. (2008). Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *J Sci Med Sport.* 11, 280-286.
- 47) Urhausen, A., Coen, B., Weiler, B., & Kindermann, W. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int J Sports Med.* 14, 134–139.
- 48) Van Schuylenbergh, R., Eynde, B. V., Hespel, P. (2004). Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. *Int J sports Med.* 25(6),403-408.
- 49) Yamamoto, Y., Miyashita, M., Hughson, R. L., Tamura, S., Shinohara, M., Mutoh M., Mutoh, Y. (1991). The ventilatory threshold gives maximal lactate steady state. *Eur J Appl Physiol.* 63(1). 55-59.
- 50) Yoshida, T. (1984). Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation. *Eur J Appl Physiol.* 53(3), 196-199.

## Summary

An attempt to simplify the estimation of the maximal lactate steady state

Takahiro Nakama

The maximal lactate steady state (MLSS) is defined as the highest running velocity or power output at which blood lactate concentration does not increase more than 1mmol/L between the 10th and 30th minutes of a constant load exercise, and thought to be a useful index to estimate the level of endurance performance. However, MLSS determination requires several constant load tests (3-5 tests). To avoid the heaviness of these repetitive test sessions, a more simplified estimation method of MLSS is necessary.

**PURPOSE:** The purpose of the study was to verify the hypothesis that running velocity resulting in the respiratory exchange ratio equal to 1.00 ( $V\text{-RER}_{1.00}$ ) during a single incremental test would correspond to the running velocity at MLSS ( $V\text{-MLSS}$ ).

**METHODS:** Ten endurance trained collegiate male runners (age :  $20\pm 2$  years, height  $175\pm 5$  cm, mass :  $59\pm 2$ kg) volunteered to participate in the study. Subjects performed a single incremental test to determine the running velocity at the first ventilator threshold ( $V\text{-VT}_1$ ), respiratory exchange ratio equal to 1.00 ( $V\text{-RER}_{1.00}$ ) and second ventilatory threshold ( $V\text{-VT}_2$ ). Subject then performed 30 minutes constant velocity tests on several occasions until the  $V\text{-MLSS}$  was determined.

**RESULTS:**  $V\text{-MLSS}$  was significantly different from  $V\text{-VT}_1$ ,  $V\text{-RER}_{1.00}$  and  $V\text{-VT}_2$ .

However, there was no difference between  $V\text{-MLSS}$  and  $95\%V\text{-RER}_{1.00}$  ( $289.1\pm 23.7$  vs.  $288.9\pm 25.3$  m/min) .

**CONCLUSION:** This study demonstrated that  $V\text{-RER}_{1.00}$  was slightly faster than  $V\text{-MLSS}$  whereas  $95\%V\text{-RER}_{1.00}$  was a good estimate of  $V\text{-MLSS}$ .

Table1. Variable determined during the incremental running test and the 30 minutes constant velocity test.

	VT <sub>1</sub>	RER=1.00	VT <sub>2</sub>	Maximum	MLSS
VO <sub>2</sub> (l/min)	3.2±0.3	3.8±0.3 *	3.8±0.4*	4.2±0.4	3.3±0.3
Velocity (m/min)	269.1±28.5 *	303.5±26.4 *	314.8±28.4 *	349.5±23.5	289.1±23.7
%VO <sub>2</sub> max	75.0±3.6	88.8±3.1 *	90.1±3.2 *	—	77.8±9.3
RER	0.94±0.04	1.00±0.00 *	1.02±0.03 *	1.13±0.04	0.96±0.2

Values are mean ± SD. RER=1.00, instant at RER=1.00 during incremental running test; MLSS, maximal lactate steady state. VT<sub>1</sub>, first ventilatory threshold; VT<sub>2</sub>, second ventilatory threshold; maximum, maximal intensity reached during incremental running test.

\*Significant different from MLSS (p < 0.01).

Table 2. Variables measured during the constant speed test at the exercise intensity corresponding to corresponding to MLSS.

	5	10	15	20	25	30 (min)
Lactate (mmol/L)	3.0±0.9	3.3±1.0	3.4±1.0	3.6±1.0	3.8±1.0	4.1±1.1
VO <sub>2</sub> (l/min)	3.2±3.5	3.3±3.4	3.3±0.3	3.3±0.4	3.3±0.3	3.3±0.4
VCO <sub>2</sub> (l/min)	3.0±0.3	3.1±0.3	3.1±0.3	3.1±0.3	3.2±0.3	3.2±0.3
RER	0.96±0.02	0.95±0.03	0.96±0.04	0.96±0.04	0.96±0.05	0.96±0.05
VE (l/min)	88.8±10.7	90.2±0.7	92.4±8.3	95.1±10.0	97.0±9.3	98.9±10.9
HR (bpm)	167±8	174±9	176±9	178±9.3	180±10	181±10

Values are mean ± SD. MLSS, maximal lactate steady state.

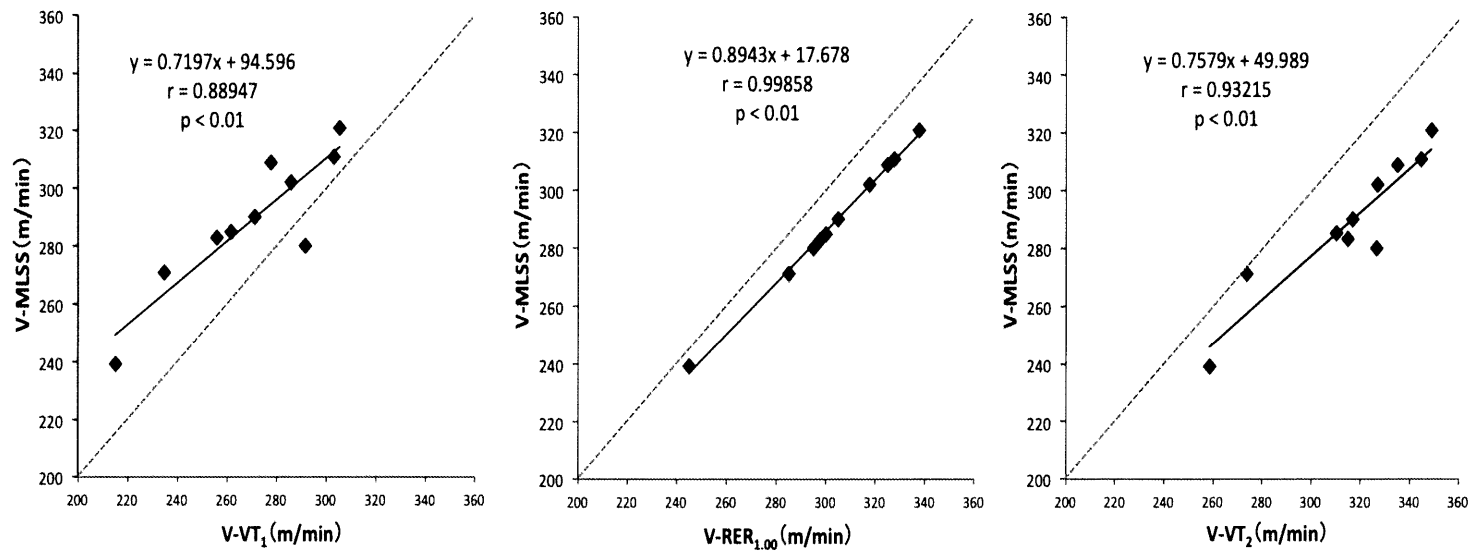


Fig. 1 Relationship between Velocity at MLSS and that at VT1, RER=1.00 and VT2. The *dotted line* represents the identity line ( $y = x$ )

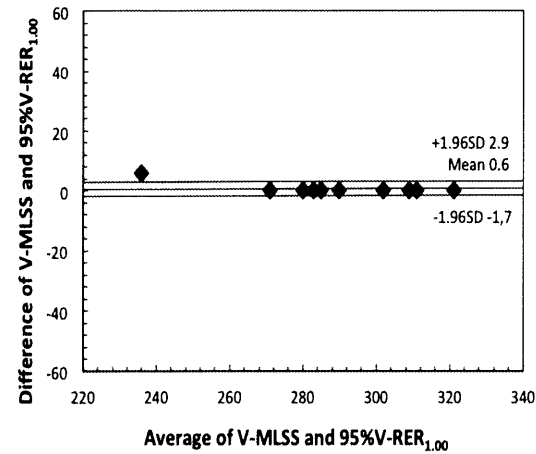
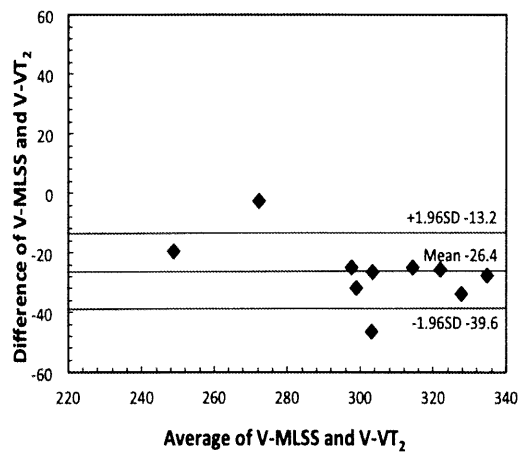
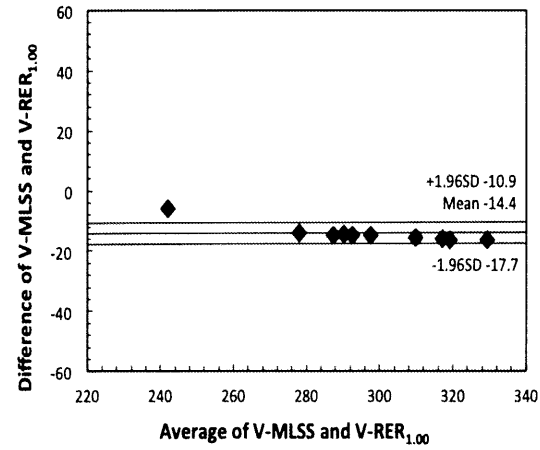
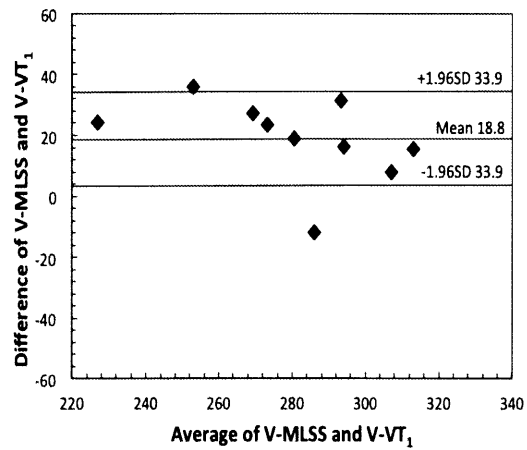


Fig. 2 Analysis of the individual differences by the Bland-Altman method. Between V-MLSS and each of the four submaximal running velocities (V-VT<sub>1</sub>, V-RER<sub>1.00</sub>, V-VT<sub>2</sub>, 95%V-RER<sub>1.00</sub>).