

<研究論文>

大学サッカー選手における漸増負荷試験から得られる Maximal Aerobic SpeedとVmaxとの関係

森永 浩嗣¹⁾, 高井 洋平²⁾

¹⁾鹿屋体育大学大学院

²⁾鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

I. 緒言

サッカーは、歩行やランニングを含んだ間欠的な運動で、試合時には最大心拍数に対して約80-90%の高い強度になる²⁾。下位リーグの選手と比較して、上位リーグの選手は、有酸素性作業能力が高い¹⁾。また、大学サッカー選手における1シーズンの有酸素性作業能力は、サッカーのトレーニングに加えて持続的なトレーニングを補助的に実施することで高まる¹²⁾。つまり、有酸素性作業能力を維持するためには、持続的なトレーニングを行う必要がある。

有酸素性作業能力を高めるには、適切な強度で実施する必要がある。乳酸閾値(LT)は最大心拍数に対して75-85%、乳酸蓄積開始点(OBLA)以上では最大心拍数90%以上での運動強度が適している⁶⁻⁸⁾。一方で、これらの強度は実施者の有酸素性作業能力の向上によって変化するため、定期的に有酸素性作業能力をモニタリングすることが重要である。LTおよびOBLAの定量方法としてランニングによる漸増負荷試験がある。その測定方法は、実験ベースでトレッドミルを用いて速度制御をした上で行われる方法^{5,6,9-11)}、フィールドにおいて自走で走速度を漸増する方法がある³⁾。サッカーのような集団スポーツにおいては、前者の方法では時間的および空間的制約があるが、後者ではそれらの制約がない。フィールドで簡便に計測する方法では、20m間隔にマーカーを置いた、トラック上で漸増負荷試験から、既定の速度が維持できなくなった速度(Maximal Aerobic Speed, MAS)が得られる。

MASは、トレッドミルの漸増負荷試験から得られる有酸素性最大速度(Vmax)を反映しているといわれている³⁾。しかしながら、先行研究では、持続的な走運動に精通した持久系アスリートを対象としたものであり³⁾、間欠的な運動が主となるサッカー選手で同様な関連があるかは検討されていない。

そこで、サッカー選手を対象に、トレッドミルおよびフィールドでの測定を行うことで、それらに関連があるか否かを明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、九州社会人サッカーリーグまたは鹿児島県社会人1部リーグに所属する男子大学サッカー選手20名(20.9±2.6歳, 172.0±4.4cm, 66.6±6.2kg)を対象とした。対象者のポジションの内訳は、キーパー3名、ディフェンス7名、ミッドフィールダー6名およびフォワード4名であった。いずれの対象者も定期検診を受けたうえで、健康的に問題がないと診断されたものを対象とした。測定期間はインシーズン中で、対象者は週に4-5回のサッカーのトレーニングおよび週に1回の試合を行っていた。対象者には、研究の目的や方法について十分な説明を行ったうえで実験参加に対する同意を得た。また、本研究は所属機関における倫理小委員会での承認を得たうえで、実施した(No.11-101)。

2. 実験内容

対象者は、2日以上の間隔を空けて2種類の漸増負荷試験の測定に参加した。課題中は心拍計を用いて心拍数を計測した。それぞれ実験室または、屋内の人工芝で行った。身長および体重は、漸増負荷試験前に測定された。

3. トレッドミルによる漸増負荷試験

有酸素性作業能力の指標である有酸素性最大速度 (V_{max}), LT ($V-2mM$) およびOBLA ($V-4mM$) 時の速度を定量するために、実験室内においてトレッドミル (treadmill,h/p/cosmos社製,Germany) で漸増負荷試験を行った。対象者は、測定の前に $8\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ で6分間のウォーミングアップを行った後、一定期間休息時間を設けて測定に参加した。測定方法は、 $10\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ を維持したまま3分間行った後、3分毎に $2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ずつ $16\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ まで速度を漸増させた。 $16\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以降は2分毎に $2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ずつ漸増させ、疲労困憊に至るまでランニングを行わせた⁹⁾。各ステージ間で20秒間の休息を設け、その間に、指先から乳酸測定器 (Lactate Pro2, アークレイ社製, Japan) を用いて血中乳酸濃度を測定した。酸素摂取量を定量するために、呼気ガス採集法 (AEROMONITOR AE-310s, MINATO社製, Japan) を用いた。心拍数は、テレメトリー方式の心拍センサー (RC3 GPS, Polar社製, Finland) で測定した。各ステージ終了時に、主観的運動強度を6-20段階のBorgスケールを用いて調査した。運動終了の定義は、以下の4条件の内3条件を満たしたときとした。1) 呼吸数 (R) が1.10以上, 2) 最大心拍数が $(220 - \text{年齢}) \pm 5\%$ 以内, 3) 速度漸増に対して酸素摂取量がプラトーになる, 4) 最大血中乳酸濃度が8.0以上である。 V_{max} は、1分以上ランニングを完遂したステージの速度とした⁹⁾。

最大酸素摂取量 ($VO_2\text{max}$) および最大心拍数 (HRmax) は、得られた時系列データを30秒間の移動平均を行った後に、それぞれ最大値を求めた。 $V-2mM$ および $V-4mM$ は、漸増負荷試験から得られる血中乳酸濃度・走速度関係の回帰式 ($y = Ae^{bx}$) を用いて、血中乳酸濃度が $2\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ および 4

$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ 時の走速度とした。

4. フィールドによる漸増負荷試験

対象者は、各自で十分なストレッチおよびウォーミングアップを行った後、20m毎にコーンで分割された1周120mのトラックを、メトロノームに合わせてランニングを行った。ランニング速度は、スタート速度を $8\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ とし、2分毎に $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ずつ漸増させ、対象者が疲労困憊に至るまでランニングを行った³⁾。運動終了の条件は、メトロノームによって制御された速度を維持できなくなった時とした。フィールド測定による有酸素性最大速度 (MAS) は、最運動を終了した時の速度とした。また、運動開始から終了までに走行した距離 (DMAS) を記録した。運動開始から終了に至るまで心拍数は、テレメトリー方式の心拍センサー (RC3 GPS, Polar社製, Finland) で測定した。HRmaxは、得られた時系列データを30秒間の移動平均を行った後に、最大値を求めた。

5. 統計処理

すべての変数は、平均値および標準偏差で示す。独立変数は、最大酸素摂取量 ($VO_2\text{max}$), 最大心拍数 (HRmax), 有酸素性最大速度 (V_{max} および MAS), LT ($V-2mM$) および OBLA ($V-4mM$) 時の速度および走行距離 (DMAS) とした。2種類の測定方法の違いによるHRmax, V_{max} および MAS の有意差を調べるために、対応のある t 検定を行った。

それぞれの漸増負荷試験から得られた変数間に相関関係を調べるために、ピアソンの積率相関係数 (r) を算出した。すべての統計処理は、統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics 25, IBM, Japan) を用いた。有意水準はすべて5%未満とした。

Ⅲ. 結果

トレッドミルによる漸増負荷試験の結果、 $VO_2\text{max}$ および V_{max} は、 $57.2 \pm 5.6\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ および $19.1 \pm 2.2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。 $V-2mM$ および $V-4mM$ は $11.0 \pm 1.6\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ および $15.2 \pm 1.7\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。

HRmaxは 190 ± 11 bpmであった。フィールドによる漸増負荷試験の結果、MASは 17.1 ± 1.2 、DMASは 3947 ± 763 mおよびHRmaxは 180 ± 8 bpmであった。

2種類の測定方法の違いによるHRmax、VmaxおよびMASは、トレッドミルでの測定の方がフィールドでの測定のそれよりも有意に高かった。

トレッドミルおよびフィールドによる漸増負荷試験から得られる変数の関係を表3に示す。MASは、Vmax ($r = 0.638$)、V-2mM ($r = 0.646$) およびV-4mM ($r = 0.788$) と有意な正の相関関係にあった。DMASは、VO₂max ($r = 0.523$)、Vmax ($r = 0.731$)、V-2mM ($r = 0.731$) およびV-4mM ($r = 0.875$) と有意な正の相関関係にあった。

IV. 考察

本研究で得られた知見は、1) トレッドミルの測定から得られるVmaxおよびHRmaxは、フィールドの測定から得られるMASおよびHRmaxよりも高い、2) 2つの測定方法から得られる変数は正の相関関係にある。

本研究で得られたVO₂maxおよびVmaxは、 57.2 ± 5.6 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ および 19.1 ± 2.2 km · h⁻¹であった。また、V-2mMおよびV-4mMは 11.0 ± 1.6 km · h⁻¹および 15.2 ± 1.7 km · h⁻¹であった。プロサッカー選手を対象とした先行研究において、VO₂maxは $59.5 - 63.2$ ml · kg⁻¹ · min⁻¹、Vmaxは 18.1 ± 0.6 km · h⁻¹、V-2mMは $11.4 - 11.5$ km · h⁻¹およびV-4mMは $13.6 - 13.9$ km · h⁻¹であった^{1,5,6,9,10}。本研究で得られた最大の有酸素性作業能力は、先行研究よりも低い傾向にあったが、最大下の有酸素性作業能力は同程度であった。先行研究の対象者は競技能力の高いプロサッカー選手である一方で、本研究の対象者はアマチュア選手であった。下位リーグの選手と比較して、上位リーグに所属する選手は、有酸素性作業能力が高い¹⁾ことから、先行研究との違いは、対象とした選手の競技水準によるものと考えられる。

トレッドミルおよびフィールドにおける有酸素性作業能力の変数は、正の相関関係があった。この知見は持久系アスリートを対象とした先行研究を支持する結果であった^{3,4)}。Berthoin et al. (1994)³⁾

は、持久系アスリートを対象にトレッドミルおよびフィールドでの漸増負荷試験を行った結果、それらの有酸素性最大速度は関連し、その係数および回帰式は $r = 0.94$ および $y = 0.69x + 4.76$ であった。本研究におけるそれらの値は、 $r = 0.638$ および $y = 0.36x + 10.20$ であった。このMAS-Vmax関係の相関係数および傾きの違いは、競技種目特性の違いが反映されている可能性がある。先行研究では日常的に一定ペースの持続的運動に精通した持久系アスリートを対象としている一方で、本研究は間欠的運動を主とするサッカー選手を対象とした。そのため、本研究の対象者は自走による速度制御が困難であったためと考えられる。また、本研究の対象者のHRmaxおよびVmaxはフィールド測定の方がトレッドミルの測定よりも低かった。それによってMAS-Vmaxの関係が弱くなり、回帰式の傾きが緩やかになったと考えられる。

V. 結論

サッカー選手におけるフィールドでの漸増負荷試験から得られるMASは、トレッドミルでの漸増負荷試験から得られる有酸素性作業能力の変数を反映していることが明らかとなった。

VI. 参考文献

- 1) Arnason Arni, Sigurdsson Stefan B, Gudmundsson Arni, Holme Ingar, Engebretsen Lars, Bahr Roald: Physical fitness, injuries, and team performance in soccer, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36: 278-285, 2004.
- 2) Bangsbo Jens: The physiology of soccer—with special reference to intense intermittent exercise, *Acta Physiologica Scandinavica Supplementum*, 619: 1-155, 1994.
- 3) Berthoin Serge, Gerbeaux M, Turpin E, Guerrin F, Lenseil-Corbeil G, Vandendorpe F: Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed, *Journal of sports sciences*, 12: 355-362, 1994.

- 4) Berthon Paul, Fellmann Nicole, Bedu Mario, Beaune Bruno, Dabonneville Michel, Coudert Jean, Chamoux Alain: A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity, *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75: 233-238, 1997.
- 5) Castagna Carlo, Impellizzeri Franco M, Chaouachi Anis, Bordon Claudio, Manzi Vincenzo: Effect of training intensity distribution on aerobic fitness variables in elite soccer players: a case study, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25: 66-71, 2011.
- 6) Helgerud Jan, Engen Lars Christian, Wisloff Ulrik, Hoff Jan: Aerobic endurance training improves soccer performance, *Medicine and science in sports and exercise*, 33: 1925-1931, 2001.
- 7) Helgerud Jan, Høydal Kjetill, Wang Eivind, Karlsen Trine, Berg Pål, Bjerkaas Marius, Simonsen Thomas, Helgesen Cecilies, Hjorth Ninal, Bach Ragnhild: Aerobic high-intensity intervals improve $\dot{V}O_{2max}$ more than moderate training, *Medicine & science in sports & exercise*, 39: 665-671, 2007.
- 8) Jones Andrew M, Carter Helen: The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness, *Sports medicine*, 29: 373-386, 2000.
- 9) Kalapotharakos Vasilios I, Ziogas George, Tokmakidis Savvas P: Seasonal aerobic performance variations in elite soccer players, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25: 1502-1507, 2011.
- 10) Manzi Vincenzo, Bovenzi Antonio, Impellizzeri Maria Franco, Carminati Ivan, Castagna Carlo: Individual training-load and aerobic-fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27: 631-636, 2013.
- 11) Owen Adam L, Wong Del P, Paul Darren, Dellal Alexandre: Effects of a periodized small-sided game training intervention on physical performance in elite professional soccer, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26: 2748-2754, 2012.
- 12) 青木竜, 西川雄人, 堀尾郷介, 甲斐智大, 高井洋平, 鹿屋体育大学: 大学サッカー選手におけるフィジカルトレーニングの有無が有酸素性および無酸素性作業能力のシーズン変動に与える影響版。スポーツパフォーマンス研究, 2019

表1. トレッドミルおよびフィールドによる漸増負荷試験から得られる変数の関係

	VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Vmax (km·h ⁻¹)	V-2mM (km·h ⁻¹)	V-4mM (km·h ⁻¹)
MAS (km·h ⁻¹)	0.523*	0.731*	0.731*	0.875*
DMAS (m)	0.422	0.638*	0.646*	0.788*

* : 有意な相関関係あり ($p < 0.05$)

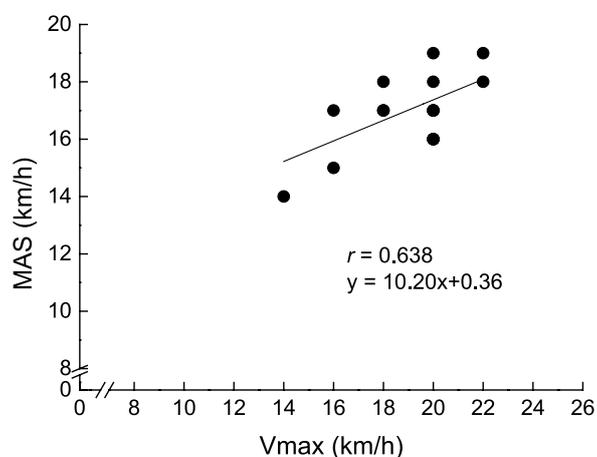
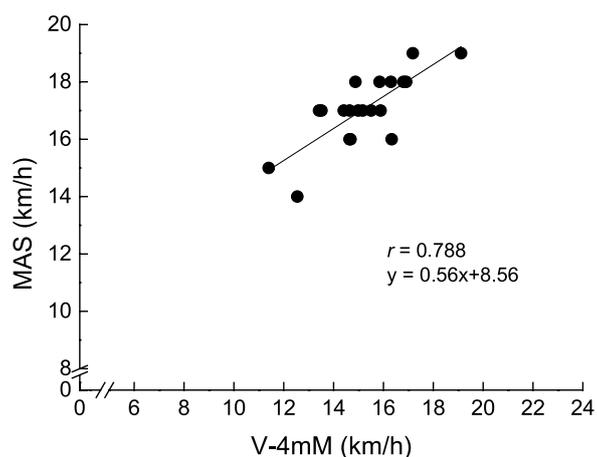
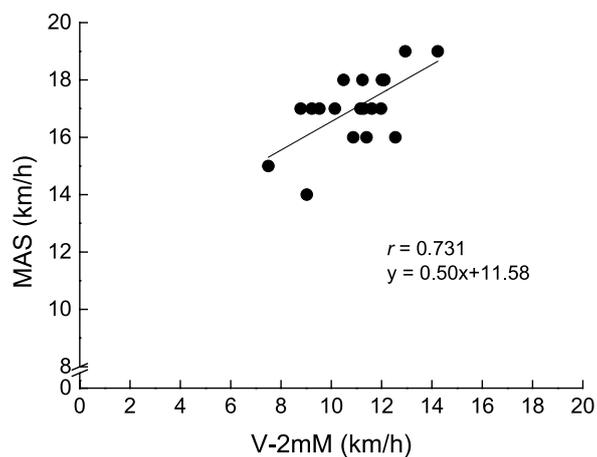


図1. MASとVmax, V-2mMおよびV-4mMとの関係

MAS: フィールド測定から得られる有酸素性最大速度, Vmax: トレッドミルから得られる有酸素性最大速度, V-2mM: 血中乳酸濃度 2 mmol時の速度, V-4mM: 血中乳酸濃度 4 mmol時の速度