

PWC170テストによる持久的能力の推定

山崎 健・森 恭・大庭 昌昭

(新潟大学教育人間科学部)

1. はじめに

スポーツ適性としての持久的能力の推定については、酸素摂取量や酸素摂取水準、心拍数や血中乳酸濃度等々様々な指標が検討されている。

山地¹⁶⁾は、競技スポーツのパフォーマンスと最大酸素摂取量との間に有意な相関が指摘される多くの研究を引用しながらも、全身持久力の“体力の一指標”としての最大酸素摂取量と、体力、技術、精神力、環境条件、気象条件などの総合された能力を示す競技記録との差異を指摘した。そして、長距離走の競技成績と最大酸素摂取量との相関係数の指標である決定係数 (R^2) から、1500mでは41.2%、5000mでは51.1%、10000mでは47.0%、マラソンでは22.4%予測することができることを指摘した。

若吉¹¹⁾は、水泳での20分間泳テストで、最大努力で泳ぎ続ける際の最大平均速度を基準とする指標を示した。松波ら⁴⁾は、持久的トレーニング強度の設定にかかわるフィールドテストとして10分間泳を、また、大庭⁵⁾は、ジュニアを対象とした際の600m泳テストの有効性を指摘した。

陸上競技や水泳競技の長距離種目では、ほぼ一定速度での運動経過であるのに対し、サッカーなどの球技種目では、ゲーム中に移動しながらのダッシュやボール処理等のプレーを間歇的に行わねばならず、一定レベルでの持久性の発揮とは異なる能力が要求される。

山地¹⁴⁾は、有沢らとの研究(1980)から、成人男子のサッカー試合中の心拍数はポジション別の違いはあるものの150~190拍/分であると指摘している。

星川²⁾は、現在の一流プレーヤーの最大酸素摂取量が年々増大しており、それがゲーム展開の変化により要求される有酸素性能力水準の高度化とともに選手世代の交代の傾向を指摘した。そして、サッカー選手の有酸素性能力の評価について、最大の有酸素性パワーだけではなく、乳酸性閾値(LT)などの最大有酸素性容量も重要と指摘する。

また、健康づくりの分野では、生活習慣病の予防にかかわって持久的能力を高める必要性が指摘され、糖尿病の運動療法⁹⁾の分野では心拍数を活用した安全で適切な運動強度の推定が行われている。

近年急速に普及している自転車型エルゴメーターは、耳朶からの赤外線センサーを用いた心拍記録とコンピュータ制御による磁気ブレーキ負荷を用いて、負荷-心拍応答を利用したトレーニングプログラムや体力(持久力)測定プログラムを提供している。

しかし、簡便性を求めるために最高心拍数を一律に年齢で仮定するなど、持久的能力の推定にはいくつかの問題点を含んでいる。

本研究では、この自転車型エルゴメーターを用いて、負荷-心拍応答から求められる心拍数170拍/分時になされる仕事量(Physical Work Capacity : PWC170)から、個人の全身持久力の推定可能性を検討しようとするものである。

2. 方法

(1) 被験者

被験者は、陸上競技部に所属する男子大学生長距離走者10名と他の運動部に所属する男子大学生11名である。被験者のプロフィールを表1及び表2に示す。

表1 被験者のプロフィール (長距離選手群)

	Height	Weight	PWC170	5000m / 10000m
Sub. A	174cm	59Kg	336Watts	15' 21"0 / 32' 55"0
Sub. B	168cm	59Kg	340Watts	15' 18"0 / 32' 00"0
Sub. C	174cm	65Kg	340Watts	14' 47"0 / 30' 48"0
Sub. D	168cm	59Kg	321Watts	15' 00"0 / 31' 36"0
Sub. E	171cm	64Kg	303Watts	15' 34"0 / 33' 10"0
Sub. F	181cm	59Kg	329Watts	15' 28"0 / 32' 39"0
Sub. G	167cm	53Kg	302Watts	15' 38"0 / 32' 26"0
Sub. H	170cm	54Kg	221Watts	15' 01"0 / 31' 59"0
Sub. I	176cm	66Kg	265Watts	15' 47"0 / 4' 06"0 (1500m)
Sub. J	176cm	62Kg	283Watts	16' 04"0 / 4' 08"0 (1500m)

表2 被験者のプロフィール (運動部選手群)

	Height	Weight	PWC170	12min. RUN	Sports
Sub. K	173cm	70Kg	318Watts	2900m (169)	Soccer
Sub. L	174cm	72Kg	296Watts	2600m (165)	Baseball
Sub. M	168cm	64Kg	260Watts	2550m (161)	Handball
Sub. N	171cm	72Kg	381Watts	2550m (162)	Soccer
Sub. O	169cm	70Kg	243Watts	2500m (176)	Baseball
Sub. P	180cm	72Kg	382Watts	3000m (165)	Handball
Sub. Q	175cm	68Kg	302Watts	2600m (172)	Soccer
Sub. R	173cm	73Kg	265Watts	2500m (179)	Swimming
Sub. S	183cm	76Kg	286Watts	2700m (176)	Swimming
Sub. T	177cm	68Kg	260Watts	2600m (167)	Basketball
Sub. U	166cm	62Kg	251Watts	2700m (178)	Swimming

※ () 内は12分間走時の平均心拍数

(2) 測定内容

自転車型エルゴメーターによる負荷-心拍応答は、キャットアイ社製EC1600を用いて、三段階の負荷を用いた体力テストモードを利用し、記録された心拍数 (bpm) と仕事量 (Watts) から一次回帰式を算出し、外挿法により心拍数170拍/分の際の仕事量をPWC (Physical Work Capacity) 170として計算した。

回帰式の算出及びPWC170は、表計算ソフトウェア「エクセル」の「分析ツール・回帰分析」を用いた。

長距離選手群全被験者の結果を図1に、運動部選手群全被験者の結果を図2に示す。

長距離選手群の負荷-心拍間の相関係数は、0.92~0.98の範囲に、決定係数 (R^2) は全体でも0.785といずれも高い相関を示した。運動部選手群も、一

例での0.88 ($R^2=0.77$) を除いて同様の傾向であり、全体として負荷-心拍応答には高い直線回帰性がみられた。

3. 結果及び考察

(1) 自転車型エルゴメーターによる持久力の評価

自転車型エルゴメーターでの最大下運動での推定方法について、アメリカスポーツ医学協会¹⁾では、自転車エルゴメーターによる最大下運動負荷試験では、少なくとも3つのステージの運動負荷時の心拍数を測定することを推奨している。

国内各メーカーから提供される自転車エルゴメーターの「体力テスト」モードは、いずれもこの三段階での負荷上昇を採用している。

しかし、本研究で用いたキャットアイ社の技術資

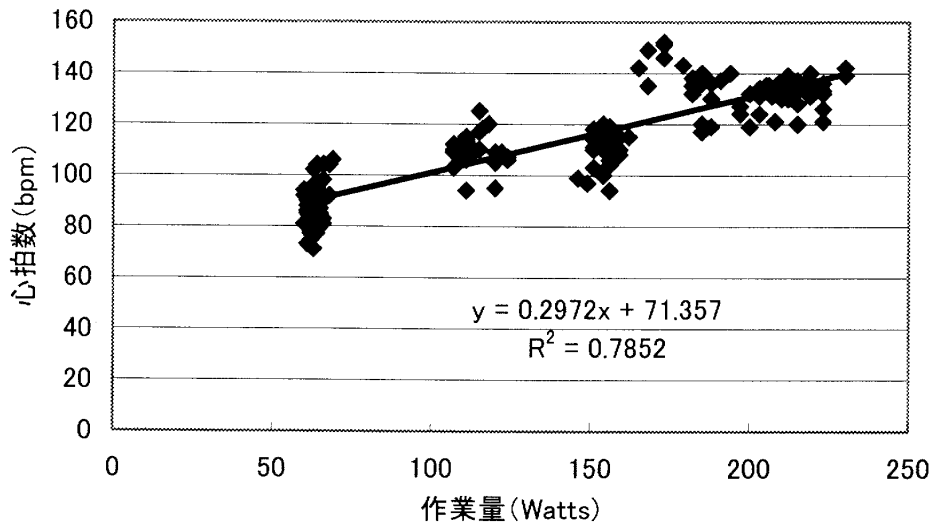


図1 長距離選手群全員の負荷-心拍応答データ

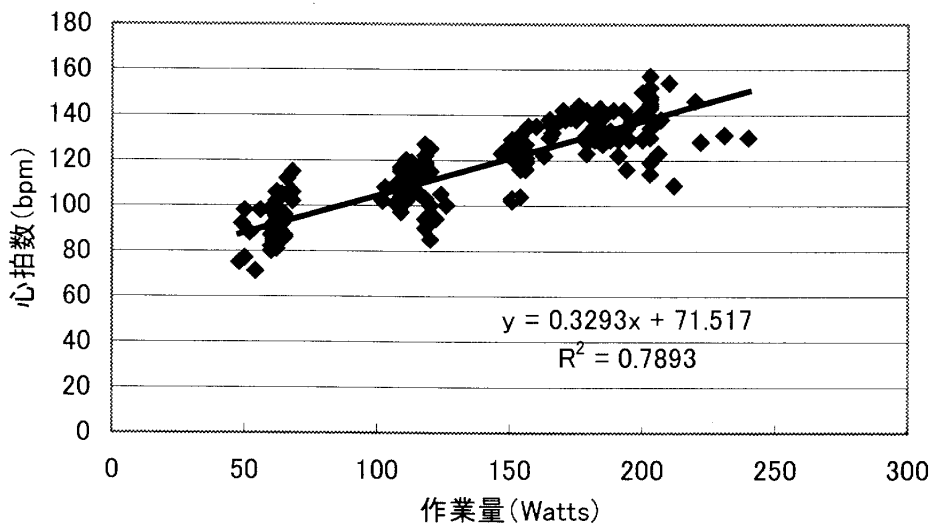


図2 運動部選手群全員の負荷-心拍応答データ

料¹⁰⁾によれば、最大酸素摂取量の推定値の算出に、最高心拍数を一律に、 $204 - \text{年齢} \times 0.69$ と仮定している。

東京都立大学体育学研究室⁸⁾によれば、最高心拍数は年齢とともに低下することが知られている。しかし、山地¹⁵⁾は、最高心拍数は年齢だけではなくトレーニングの影響が大きく、45～50歳では最大酸素摂取量の増加にともない逆に最高心拍数が上昇するというDaviesのデータを引用し個人差が大きいことを指摘した。

また、最高心拍数については、心拍数は酸素摂取量の増大にともなって増加するが、最大作業に近づくにつれて酸素摂取量の増加にもかかわらず、心拍

数がそれ以上高くなることも指摘した。

自転車エルゴメーターに採用される「体力テストモード」での最大酸素摂取量の推定には、負荷-心拍応答の直線回帰式を求め、上記の一律に仮定した最高心拍数時の作業量(ワット)を代入して最大仕事量(PWCmax.)を求め、人体によるペダリング運動の効率を23%と仮定して算出している。

このことから、「体力テストモード」による最大酸素摂取量の推定値は、①個人差のある最高心拍数を年齢から一律に代入している点、②また直線回帰性が見られにくくなる最高心拍数時の仕事量を用いて推定するという二重の不確実性を含んでいる。

以上の点で、直線回帰性が見られる範囲である心

拍数170拍/分時の仕事量（PWC170）を用いて持久的能力を推定する方法は、国際的に体力テストの項目としても採用されておりある程度の妥当性をもっているものと考えられる。

しかし、PWC170は、競技時の最高心拍数レベルで継続される運動には対応していないため、競技パフォーマンスを推定する上での問題点を含んでいるものと考えられる。

(2) パフォーマンスとの相関

本研究では、長距離選手群については、5000mのタイムから12分間での走行距離を算出しPWC170と

の相関を求め、運動部選手群については12分間走を実施して同じくPWC170との相関を求めた。また、体重あたりPWC170（PWC170/Kg）も算出し同じく5000m走との相関を検討した。

しかし、長距離選手群にあつては、相関係数は0.22（ $R^2=0.05$ ）と低く、PWC170/Kgでも0.24（ $R^2=0.06$ ）であった。運動部選手群では、逆に相関係数0.54（ $R^2=0.29$ ）、PWC170/Kgも0.55（ $R^2=0.30$ ）と高い値を示した。両者の結果を図3～6に示す。

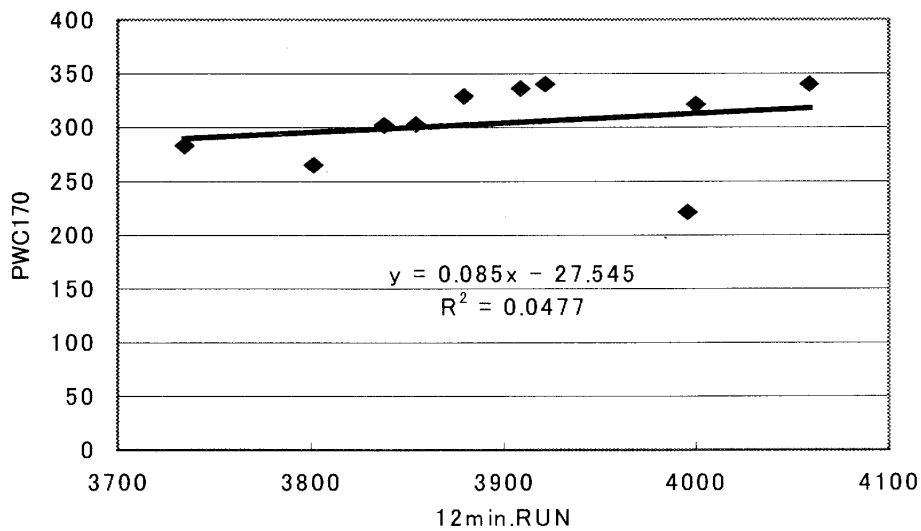


図3 長距離選手群の12分間推定値とPWC170の相関

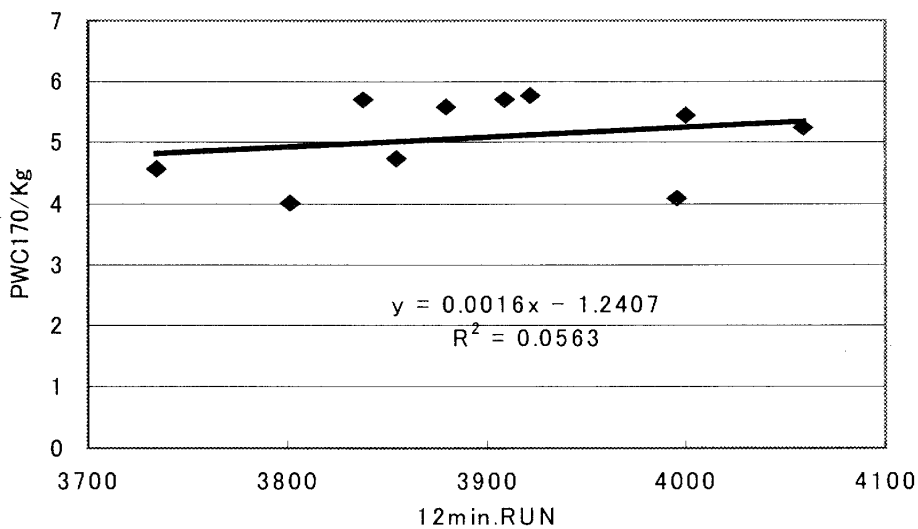


図4 長距離選手群のPWC170/Kgとの相関

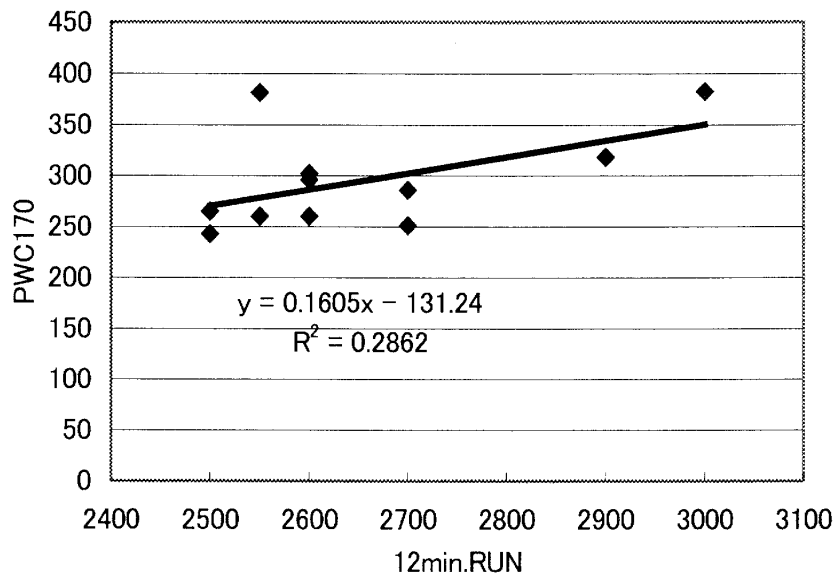


図5 運動部選手群の12分間走とPWC170の相関

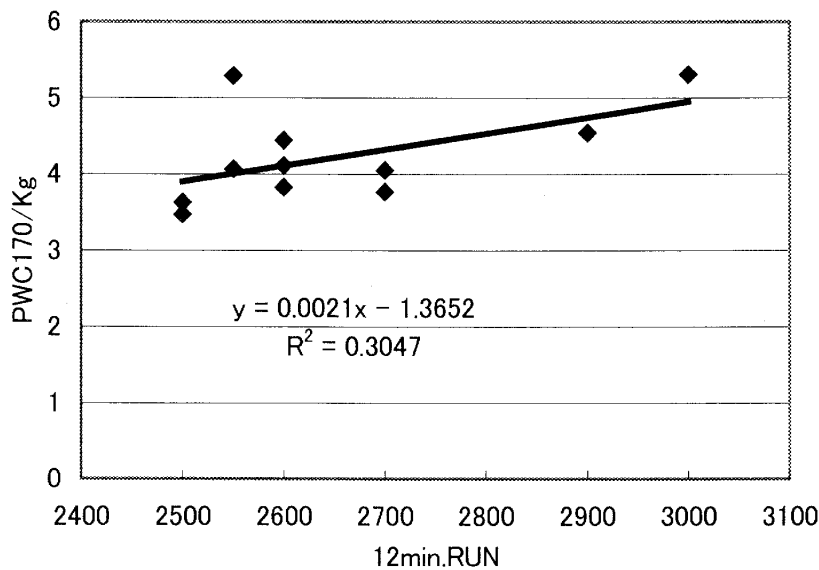


図6 運動部選手群のPWC170/Kgとの相関

運動部選手群の12分間走実施時の平均心拍数は、161～179拍/分の範囲であり、日常的に長距離走トレーニングを実施していないことから、ペース配分、身体的順応性、精神的要因等々にかかわる要因があって「12分間での最高走行距離」という課題を達成する事が困難であったと考えられ、個人差はあるものの心拍数の変動範囲の類似したPWC170との相関が見られたものと考えられる。

これに対して、長距離選手群の5000m最高タイム走行時は、かなり高い心拍数で走行していることが推察され、実際、被験者Cの最高パフォーマンス時

の12分間推定距離は4058mであるが、12分間走実施時には3600mにとどまりその際の最高心拍数は193bpm（平均186bpm）であった。

このことから、PWC170（及びPWC170/Kg）を用いた持久的能力の推定は、最高パフォーマンスを推定することとは異なる要因が関与する可能性が考えられる。

(3) ランニングスキルと運動経過の特異性

山地¹⁷⁾は、スポーツ選手を対象とした最大酸素摂取量の測定には、それぞれのスポーツ種目の特性を考慮して運動様式を決定する必要性を指摘している。

金子³⁾は、競歩選手の最大酸素摂取量や血中乳酸動態(LT4³モルレベル)とパフォーマンスの機械的効率(技術レベル)の推定を行ない、①「一定(最大ではない)の酸素摂取水準の維持能力」が競歩選手の成績と相関が深いこと、②トップクラスの選手のバイオメカニクスの効率が29%と一般選手17%と比較して驚異的に大きな値を示すことを明らかにした。このことは、競歩技術の巧拙により運動効率が大きく異なることを示している。

山崎¹⁾は、ランニングスキルにおいても、弾性的効率に代表されるスキルの発揮という観点から、FT系線維は細かな神経支配を受けており技術的要因に大きく関与しているが、ST系線維は「抗疲労性」は強いもののあまり細かな神経支配を受けていないこと、「省エネ走法」と表現される上下動の少ないランニングスキルは、機械的効率を高め総エネルギーの消費を抑制しグリコーゲンを温存するとともに、衝撃吸収にも使用されるFT系線維の疲労を防ぎ、効率的スキル自体を支えるFT系線維の機能水準を維持するという二重の意味があることを指摘した。

また、山崎¹⁰⁾は、オスランド⁶⁾の指摘する間歇的作業時に単位時間内の総酸素摂取量がさほど低下しないにもかかわらず主観的運動強度(FRE)の低下と酸素摂取量、心拍数及び血中乳酸濃度の最高値は低下するとのデータから、運動能力が具体的運動遂行条件(テンポ変動、継続時間、動作選択、変容、疲労発現等)に依存して形成される可能性を指摘した。

森谷⁵⁾は、筋収縮リズムと血流変動にかかわって、最大酸素摂取量の70%の同一運動強度であっても、毎分80回の回転数では最大筋力(MVC)の11%であるのに対し毎分40回の回転数ではMVCの17%に及び、より多くの遅筋線維を相対的に動員でき、疲

労を惹起し難くなる可能性を指摘した。

以上のことより、心拍数を応用した持続的能力の推定においては、被験者の個別特性(運動種目、スキルと運動効率、運動遂行戦略とペース配分、テンポ変動、測定時の体調、意欲等々)による変動を十分に考慮することが必要であり、長距離走者にとってはランニング型の運動様式の採用が適切と思われ、徐々にペースを上げる「ビルドアップ走」と心拍変動記録の併用及び血中乳酸値測定等によるプロトコルの検討が必要と思われる。

4. まとめ

自転車型エルゴメーターを用いて、心拍数170拍/分時の仕事量(PWC170及びPWC170/Kg)を求める方法(PWC170テスト)について、長距離選手群と運動部選手群についてパフォーマンスとの関係から検討して以下の結論を得た。

1. PWC170テストは、負荷-心拍応答の直線回帰性の高い部分を用いて推定するため、年齢から一律に最高心拍数を仮定して持続的能力の最高値を推定する方法よりも妥当性が高いと考えられる。
2. PWC170テストと競技パフォーマンスとしての5000m走タイムとでは、最高心拍数での運動継続を想定していないこともあり有意な相関は得られなかった。
3. 12分間走テストは、日常的に長距離走トレーニングを実施していない運動部選手群では課題達成に不十分さが見られた。
4. 長距離選手群では、ビルドアップ型走運動テストによる持続的能力推定のプロトコルの検討が必要と考えられた。

<文献>

1. アメリカスポーツ医学会編：日本体力医学会体力科学編集委員会訳(1982), 運動処方指針, pp.19-24
2. 星川佳広(2002), サッカーの生理学的指標と一流選手の体力, 体育の科学 Vol.52, pp.355-366
3. 金子敬二(1991), 競歩におけるトップアスリートの技術, 体育の科学 Vol.41(4), pp.274-278
4. 松波勝・田井村明博・洲雅明・田口正公(1999), 競泳における持続的トレーニング強度の設定に有効なフィールドテストの検討, デサントスポーツ科学 Vol.21, pp.221-229
5. 森谷敏夫(2001), 筋収縮のタイミングが心臓循環系に及ぼす影響(加賀谷・中村編「運動と循環」), NAP, pp.160-165
6. 大庭昌昭・塩野谷明(2000), 600m泳テストの活用方法について, 新潟大学教育人間科学部紀要, pp.333-338

7. P・O・オスランド, K・ラダー: 浅野勝巳訳 (1976), 運動生理学, pp.209-210
8. 東京都立大学体育学研究室編 (1989), 日本人の体格体力標準値 (第4版), pp.274
9. 糖尿病治療研究会 (1983), 糖尿病運動療法の手引き, 医歯薬出版株式会社, pp.18-38
10. 津山金属株式会社, キャットアイ・エルゴサイザーQ&A
11. 若吉浩二 (2000), 水泳インターバルトレーニングの泳距離, 泳速度, 休息時間の関係から見た生理的応答とそのトレーニング処方への応用, 水泳水中運動科学No.3, pp.5-11
12. 山崎 健 (1986), スポーツの認識と習熟 (伊藤・出原・上野編「スポーツの自由と現代 (下)」), 青木書店, pp.299-313
13. 山崎 健 (1993), ランニングスキルの改善と歩数計測の意義, ランニング学研究 Vol.4, pp.14-19
14. 山地啓司 (1981), 心拍数の科学, 杏林書院, pp.91-94
15. 山地啓司 (1981), 前掲書, pp.33-36
16. 山地啓司 (1992), 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, pp.55-61
17. 山地啓司 (1992), 前掲書, pp.62-82