

第1章 序論

第1節 研究の必要性

1. 全身持久性体力を評価することの必要性

心臓血管系（呼吸循環）機能や骨格筋における代謝能力の総合的指標である‘最大酸素摂取量’（ $\dot{V}O_{2max}$, ml/kg/min）と‘無酸素性代謝閾値（AT）に相当する酸素摂取量’（ $\dot{V}O_{2AT}$, ml/kg/min）は、体力要素の中でもとくに全身持久性体力を代表する妥当基準として重要視されている。Hagberg（1987）は、疫学的調査研究の中で、加齢にともなう $\dot{V}O_{2max}$ の低下をもたらす要因として、加齢そのもの以外に、1) 体脂肪と体重の増加、2) 日常生活における身体活動量の減少、3) 疾患の3つを挙げている。また、 $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ は高血圧症や冠動脈疾患の危険因子、総死亡率に対して負の相関を示す報告がある（Blair et al., 1989; La Croix et al., 1993; Slatter et al., 1988）ことから、全身持久性体力は成人において健康度や疾病への危険性を示唆する情報源に値するといえる。日本においては、厚生省（1989）が運動不足を主因とするさまざまな健康障害を発症させないために運動の習慣化が大切であるとし、必要最少限の運動量や体力水準の目標値を示している。

このように、全身持久性体力を評価することは、特に中年期以降の者において、現時点での健康度や生活習慣病の危険性を把握することができるだけでなく、将来においてさまざまな疾病への罹患を防ぐための強い動機づけにもなりうることから、その必要性が認められるといえよう。

2. 全身持久性体力を直接測定することの問題点

$\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ を評価する場合、一般には被検者を疲労困憊に至らしめる運動

負荷テスト中の呼気ガス分析により求める方法が妥当とされている。しかし、このような直接的方法では高価な機器を必要としたり、場合によっては採血などの特殊な技能や資格を必要とすることから、簡便性、経済性、マンパワーなどの面で問題を内在するといえる。被検者にとってもかなりの苦痛や疲労を強いられたりするだけでなく、いくつかの困難な点が存在する。たとえば、運動不足かつ低体力の肥満者や高血圧者にとっては、心理的な負担のみならず心電図異常所見の出現や血圧の急上昇などにも配慮すべきであり、これらは全身持久性体力を評価する上で無視することのできない問題点といえる。したがって、一般の教育機関や公営の健康増進センター、民間のフィットネスクラブなどにおいて、全身持久性体力の直接測定は極めて困難と言えるであろう。

3. 全身持久性体力を評価するテストの備えるべき条件

田中ら（1995）によると、全身持久性体力を推定する上で理想的な実施手順とは、次に示すような条件をできるだけ多く含むことといえる。

- 1) ガス分析機器がいない：経済性、
- 2) 採血を必要としない：非観血的、
- 3) 最大努力を必要としない、必要に応じて心電図のモニタリングができる：安全性、
- 4) 一度に多人数の測定ができ、高度な技術を必要としない：簡便性、
- 5) 高い精度で測定できる：妥当性。

上記の諸問題を解決するという視点から、これまでに数多くの間接的な評価法が開発されてきた。酸素摂取量と心拍数（heart rate: HR）の対応関係を利用したAstrand-Ryhming法（1954）、その変法（Siconolfi法）（Siconolfi et al., 1982）およびMargaria et al.（1965）の踏台昇降運動、パフォーマンステストとしてはHarvard Step Test（Brouha et al., 1943）、PWCテスト（Sjostrand et al., 1947; Wahlund et al., 1948；宮下ら, 1984）、シャトルランテスト（Leger et al., 1982）などが全身持久性体力の評価法として報告されている（表1.1）。しかし、こ

表1.1 代表的な全身持力の評価法

全身持久性体力	推奨項目	測定区分	運動様式	テスト名	発表時期	主な変数				
最大酸素摂取量	間接法	自転車エルゴメータ	自転車エルゴメータ	AstrandとRyhmingの方法	1954	心拍数と仕事率				
				Marrizらの方法	1961	心拍数と仕事率				
				Issekutzらの方法	1962	呼吸交換比と酸素摂取量				
				Foxの方法	1973	心拍数と仕事率				
				心拍変動フィードバック管理負荷制御方式	1988	心拍数と仕事率				
				AstrandとRyhmingの方法	1954	心拍数と酸素摂取量				
				Margariaらの方法	1954	心拍数と酸素摂取量				
				AstrandとRyhmingの方法	1954	心拍数と酸素摂取量				
				PWCテスト	1947	心拍数と仕事率				
				Harvard Step Test	1943	心拍数				
バフオーマンステスト	自転車エルゴメータ	自転車エルゴメータ	自転車エルゴメータ	1マイル歩行テスト	1987	時間と心拍数				
				2km歩行テスト	1991	時間と心拍数				
				12分間トレッドミル歩行テスト	1995	歩行距離				
				12分間走テスト	1995	走行距離				
				最下12分間走テスト	1996	走行距離				
				シャトルランテスト	1982	最大走速度				
				シャトルスタタミナテスト	1986	走行距離				
				質問紙法						
				無酸素性代謝閾値水準の酸素摂取量	間接法	自転車エルゴメータ	自転車エルゴメータ	心拍変動フィードバック管理負荷制御方式	1988	運動頻度, 体重, 体脂肪率等 心拍数と仕事率
								呼吸数による方法	1989	呼吸数と仕事率
12分間トレッドミル歩行	1995	歩行距離								
最下12分間走テスト	1996	走行距離								
質問紙法										
遺伝, 三観的体力水準, 運動頻度, 体重, 体脂肪率等										

これらの方法の多くは、欧米で考案されたため日本人への適用の際には再検討が必要となることに加えて、HR と酸素摂取量あるいは仕事率との間に直線関係の成立することが前提条件とされる。HR を利用する場合には、HR を正確に測定できていること、同性・同一年齢であれば最高 HR が等しいこと等の仮説に基づかなければならないが、最高 HR は同性・同一年齢であっても個人差が非常に大きいことが報告されている（武者ら，1997）。なかでも、高血圧者は、運動中のHRに影響を与えうる（一般に低下させる、まれに上昇させる）降圧剤を服用していることが多い（ACSM, 1995）。つまり高血圧患者では、最大下運動中における HR の変動から $\dot{V}O_{2max}$ を求めると、真の体力を過大にまたは過小に推定する可能性が高い。このようなことから、HR を利用した従来までの推定法では、妥当性や実用性の面で自ずと限界の生じることは否めず、HR を用いることなく全身持久性体力を測定できる方法の開発が求められるといえよう。

4. 自覚的運動強度の有用性

1973年、Borg によって開発された15段階スケールの自覚的運動強度（ratings of perceived exertion: RPE）は、運動刺激に対して身体全体または各部位が受容する感覚を統合した心理反応表であり、身体に負荷された強度を個人内で相対評価するものである。RPE と全身持久性体力（ $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ ）を結びつけるための運動生理学的根拠は数多くの研究成果によって裏付けされている。例えば、RPEは酸素摂取量やHRの相対値（ $\% \dot{V}O_{2max}$ 、 $\%HR_{max}$ ）と強い対応関係にあり（Robertson et al., 1997）、さらに近年では、運動の様式（Hetzler et al., 1991; Boucher et al., 1989）、性（DeMello et al., 1987; Purvis et al., 1981）、年齢（Allen et al., 1985）、トレーニングの有無（DeMello et al., 1987; Hill et al., 1987）または強度（Hskvitz et al., 1992）などの影響をほとんど受けることなく、AT水

準はRPEスコアで12~14の“somewhat hard”あたりに相当するとの報告が多くなされている。また、日本語表記のRPEスコア（小野寺ら，1976）と $\dot{V}O_{2max}$ の相対値（ $\% \dot{V}O_{2max}$ ）との間に強い対応関係のあることも明らかになっている。

このような成果をもとに、田中（1995）や中垣内（1996）らはHRと $\dot{V}O_2$ の関係をを用いることなく、RPEを利用した簡便性に優れた新たな推定法を開発した。RPE 13の“ややきつい”に相当する強度で12分間走や歩行をおこなわせたところ、12分間の走行・歩行距離と $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ の間には強い相関関係が認められたことを報告している。そして、12分間の走行・歩行距離を重要な説明変数とする $\dot{V}O_{2AT}$ と $\dot{V}O_{2max}$ の簡易な推定式を作成し、その妥当性や有用性を認めている。これは、 $\dot{V}O_{2AT}$ や $\dot{V}O_{2max}$ を妥当基準とする全身持久性体力を推定する上で、RPEを利用することの有効性を示唆するものと捉えることができよう。以上を総合すると、RPEの利用によって全身持久性体力を評価することは可能といえるが、HR法と比較してもなお、その優位性が保たれるか否かについては、次の3点を中心に議論する必要がある。

- (1) 2変量間（ $\dot{V}O_2$ vs. RPEまたは $\dot{V}O_2$ vs. HR）にみられる直線性の問題
- (2) 最大下運動中の相対的運動強度は個人ごとに異なる
- (3) 予測最大値の問題

各々の問題に関する詳細な議論は第2章の文献研究で述べるが、その概略を説明すると(1)については、一般健常者を対象とした場合、RPEとHRのいずれであっても $\dot{V}O_2$ （または $\% \dot{V}O_{2max}$ ）との直線関係は原則として認められる。ただし、HRは最大運動近くになると増加率が鈍化し、直線関係に歪みのみられる場合が報告されている。(2)に関しては、仮にRPE 15で強度を規定すれば約 $70 \pm 10\% \dot{V}O_{2max}$ に相当することが報告されている。一方、HR法の場合、絶対値で強度を規定することが多いため、対象の年齢によって $\% \dot{V}O_{2max}$ は大きく変動することが予想される。また、(3)ではRPEの最大値は20に限定されるが、

HRの最大値は性や年齢によって大きく異なる。仮に $220 - \text{年齢}$ などの予測式を利用したとしても、その誤差は大きい（ ± 10 くらい）ことが報告されている。

以上より、全身持久性体力推定法を開発する上で、RPEを用いることの有用性が認められるであろう。

5. まとめ

全身持久性体力は成人において健康度や疾病への危険性を示唆する有効な情報源であり、それを個人にフィードバックすることは生活習慣病への罹患を防ぐための強い動機づけにもなるであろう。このようなことから、従来より全身持久性体力を評価することの必要性が叫ばれていた。しかし、全身持久性体力を直接測定するには種々の問題点があり、一般に運動中のHRを利用した間接法による推定がなされてきた。ところが、運動中のHRを正確に測定するのは簡便でないこと、同性・同年齢でも最高HRに大きなばらつきがみられること、高血圧者では運動中のHRに影響を与える降圧剤を服用している場合が多いことなどの理由から、全身持久性体力を推定する上で、HRを利用した推定方法が必ずしもベストとは言えない。そこで、運動生理学的観点からも妥当性の証明されているRPEを全身持久性体力の推定に利用すれば、少なくともHRを使用した場合の問題点は十分に解消できる可能性を有していると考えられよう。

第2節 研究の目的

運動処方現場や一般の教育機関などでは、簡便性や経済性の問題から自転車エルゴメータを用いた全身持久性体力の評価が頻繁におこなわれているが、その大部分は従来通りの $\dot{V}O_2$ とHRの関係を用いた推定法を利用している。しかし、上述したようにこれらの推定法には問題点が少なくないことから、もっと簡易で妥当性の保証される自転車を用いた推定法の確立が必要と考えられる。

そこで、本博士論文の目的は、RPEを利用した簡便な全身持久性体力推定法を開発することとした。本論文においては全身持久性体力を $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と定義したことから、男女別の $\dot{V}O_{2max}$ 推定式および $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式を重回帰分析により導出し、再現性、交差妥当性、適用範囲に関する検討をおこなうこととした。また、推定式作成のためのデータ収集には独自の運動負荷テストが必要とされることから、本博士論文においては、RPEを利用した全身持久性体力推定のための独自の運動プロトコールを開発することも目的の一つとした。

第3節 用語の定義

本論文における主要用語の定義は以下に示すとおりである。

1. 全身持久性体力 (cardiorespiratory fitness)

体力は身体活動の基礎となる身体能力のことであり、持久性体力は活発な身体活動を長時間にわたって遂行できる能力と定義する。持久性体力は筋持久性体力と全身持久性体力に区別され、前者は全身の骨格筋の1/7~1/6以下の筋が働く場合、後者はそれ以上の筋が働く場合のことをいう (Hollman et al., 1970)。本研究では、呼吸循環器系の点からは最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$, ml/kg/min) が、また、主動的骨格筋における代謝能力の総合的指標としては無酸素性代謝閾値 (anaerobic threshold: AT) における酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2AT}$, ml/kg/min) が、全身持久性体力の妥当基準に相当すると仮定した。

2. 最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake: $\dot{V}O_{2max}$)

最大酸素摂取量は、運動中、単位時間あたりに体内に摂取される酸素量の最大値を意味する。 $\dot{V}O_{2max}$ は心肺機能や血管系などの酸素運搬系および筋肉での酸素代謝系の機能が総合的に関与することから、全身持久性体力のもっとも客観的な評価指標とみなされている。

3. 無酸素性代謝閾値 (anaerobic threshold: AT)

運動負荷テストにおいて強度を増加していくと、運動筋において必要なエネルギー生産が供給される酸素のみでは賅いきれなくなり、これに無酸素的代謝が加わることになる。この時点における酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を $\dot{V}O_{2AT}$ という。

4. 自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion: RPE)

Borg (1973) によって開発された自覚的運動強度は、運動の身体的負担度を自覚的に判断する方法である。自覚的運動強度は運動刺激に対して身体全体または各部位が受容する感覚の統合的心理反応といえることから、身体に負荷された強度を忠実に表現しうるものといえる。一般に、自覚的運動強度は物理的強度が増加すると直線的に増大し、心拍数、換気量のような生理的反応と強い対応関係を示すことが明らかにされている。

第4節 研究の限界

本論文の成果を一般化するには、いくつかの限界が存在する。この限界は、用語の定義による限界、妥当基準 ($\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{V}O_{2AT}$) の測定精度の限界、用いる対象者による限界、測定項目による限界、統計学的方法による限界に分類できる。

1. 用語の定義による限界

現在のところ、全身持久性体力は体重1 kg あたりの最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) および無酸素性代謝閾値水準 ($\dot{V}O_{2AT}$) に相当する酸素摂取量で表せるとする考え方が一般的である。今後、より良い全身持久性体力の指標が発見される可能性は否定できず、普遍性という点で若干の疑問を残すが、現時点における最良の指標と考え本論文で使用した。

2. 妥当基準の測定精度の限界

本論文では $\dot{V}O_{2max}$ の決定に際して判定基準を3つ設け、そのうち2つ以上を満たした場合としたことから、判定基準に纏るバイアスのかかることは避けがたい。また、 $\dot{V}O_{2AT}$ に関しても、数個から十数個のプロットより90 kgmごとにATを決定するため、真の値から数パーセントのずれを生じる可能性は否めない。

3. 被検者による限界

本論文の各検討課題に用いた被検者は、医学的異常所見を有さない一般男性226名および女性249名であった。被検者の $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ は、同性同年代の値とほぼ同程度の能力を有すると考えられることから、本論文で用いた者と同様な特徴を有する一般健常者に対しては、本研究の成果の適用が可能と

考えられる。しかし、有患者や高齢者など体力水準が著しく低い者に対して本研究の成果を適用する場合には、より大きな限界の伴う可能性がある。

4. 測定項目による限界

本論文では、推定の簡便性や一般化を優先する立場から、推定式の説明変数を1) 特定のRPEスコアが得られた時点の仕事率、2) 年齢、3) 体重、4) 体脂肪率に限定しているところに限界が存在する。

5. 統計学的方法による限界

本論文で作成する $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ およびAT水準の仕事率の推定式は、説明変数の変動に伴って基準変数（ $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ およびAT水準の仕事率）も一次的に増減するとの仮定に基づいている。これは、基準変数と説明変数の関係が線形相関を示すとの立場に立つものである。ゆえに、本論文で導出される推定式は、一次の変動を示す可能性を有しており重回帰分析に纏る限界が存在する。