

第2章 文献研究

第1節 一般健常者と有疾病者の全身持久性に関する知見

日常生活が機械化されるに伴い身体活動の必要性が減少し、その累積結果が招く体力水準の低下が誘因となる運動不足症が問題とされる現代社会においては、一般人の健康を支える基盤として体力のもつ意味が重要になってくる。すなわち、体力を回復・維持し、健康を維持・増進（生活習慣病を予防）し、生活の質（quality of life: QoL）を高めるための体力という考え方が必要となってくる。ここでは、疾病と体力の問題を念頭におき、健康度の指標としての全身持久性の重要性を明らかにすべく、各集団における全身持久性についての先行研究をまとめる。

1) 一般健常者

1. 子ども

$\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ は、一般に全身持久性の最も妥当な指標として認められているが、これは健康な一般成人についてのことであって、子どもや高齢者にもあてはまるかどうかはわからない。極端にいうと、思春期前の子どもの体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ は一般成人の値とほとんど同じであるにも関わらず、フィールドパフォーマンスは子どもの方が劣っている。吉田と石河（1978）は、5、6歳の子どもの $\dot{V}O_{2max}$ は、体重あたりでは45～50 ml/kg/minと青年に匹敵するが、1500 mの持久走では11～13分と青年よりもかなり劣ることを報告している。これについては、子どもと青年あるいは一般成人の脚長や絶対的な筋力

差などが影響しているともいえる。さらに子どもの場合、無酸素性代謝能力が一般成人よりも有意に低いことが報告されている (Wasserman et al., 1973)。また、最大下および最大運動時の血中乳酸濃度も一般成人と比べて低いことから、子どものAT水準は一般成人よりも高く決定されることが予想され、高強度の運動であっても有酸素性の代謝機構によって運動を実施できると考えられる。以上のことから、子どもと一般成人を比較する場合、あるいは思春期前後で比較する場合、 $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ などの有酸素性能力の指標のみで全身持久性を評価することには注意が必要である。ただし、同一年齢あるいは同一集団（成長や形態を考慮した）であれば $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ は、全身持久性の指標として妥当であろう。

2. 一般成人

Robinson et al. (1937) が、全身持久性に優れる長距離ランナーの $\dot{V}O_{2max}$ が一般人と比較して高いことを明らかにして以来、 $\dot{V}O_{2max}$ は全身持久性を評価する指標として有効であることが認められてきた。全身持久性の指標として $\dot{V}O_{2max}$ が定着する一方で、運動強度の指標としても利用されるようになってきた。また、現在では健康度の一指標としても注目をあびている。

習慣的な運動が呼吸循環器系機能の改善すなわち全身持久性を向上させることは、よく知られた事実である。Hagberg et al. (1987) は、加齢に伴う $\dot{V}O_{2max}$ の低下に対する運動の影響に関しての先行研究の概要を報告している。その中で加齢に伴う $\dot{V}O_{2max}$ の低下は運動の継続によってある程度防げることが示されている。また、加齢に伴う $\dot{V}O_{2max}$ の低下をもたらす因子としては、加齢そのもの以外に、(1) 体脂肪量と体重の増加、(2) 日常生活における

身体活動の減少、(3) 疾病の3つを挙げている。このように身体活動水準を高く保つこと、つまり運動を習慣化することと呼吸循環器系機能の維持・向上が密接に関係していることを考慮すると、体力要素の中でも疾病や健康と最も関連する体力要素が全身持久性であるといえよう。

さらに、わが国においては、村上ら(1988a)が、推定 $\dot{V}O_{2max}$ と心疾患の危険因子とされる体脂肪率(%Fat)、TG、HDLC、収縮期および拡張期血圧との関係を検討している。その結果、いずれにおいても推定 $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な相関が認められたことを報告した。また、女性についても同様な結果であったことを報告している(1988b)。このほか、厚生省(1989)は、運動不足症を発症させないための必要最小限の運動を習慣化することを目的とした「健康のための運動所要量」を発表している。これは、 $\dot{V}O_{2max}$ がある水準以下になると生活習慣病の危険因子の数が増加することに着目し、 $\dot{V}O_{2max}$ の境界値、つまり男性37 ml/kg/min、女性31 ml/kg/minを60歳台の維持目標値と定め、各年齢ごとに $\dot{V}O_{2max}$ の維持目標値とそれに応じた運動所要量を提示したものである。

3. 高齢者

ランナーと同様に体力水準の低い高齢者の場合、 $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ が同等であっても歩行パフォーマンスに顕著な個人差が現れる場合も少なくない。 $\dot{V}O_{2max}$ がある水準以下になると全身持久的なパフォーマンスにはほかの体力要素が大きく影響するものと考えられる。しかし、これについての詳細な報告はなされていない。一方、 $\dot{V}O_{2max}$ は発育にともなって増加し、10歳台後半から20歳台にピークを迎え、その後は徐々に低下する。加齢と $\dot{V}O_{2max}$ の関係に

については、Robinson et al. (1938) の横断的データから、 $\dot{V}O_{2max}$ が1年に約1%の減少となり、持久走などのパフォーマンスの低下率と等しいことが報告されている。日本人に関する田中ら (1995a) の横断的調査では、男性で60歳台前半31 ml/kg/min、同後半29 ml/kg/min、70歳台前半27 ml/kg/min、女性では60歳台前半21 ml/kg/min、同後半19 ml/kg/min、70歳台前半18 ml/kg/minを得ている。これは1年の低下量が約0.4 ml/kg/minであることを意味する。しかし、60歳を超えると $\dot{V}O_{2max}$ の低下率は大きくなり、加齢にともなって $\dot{V}O_{2max}$ が直線的に低下するのではなく、高齢期に急速に低下するという見方もある。

現在の高齢化社会を考慮すると、高齢者が自立して生活するために必要最低限の全身持久性の水準を明らかにし、それを維持するための運動処方があり方が、今後の重要な検討課題となるであろう。

4. ランナー

オリンピック選手を含む一流競技者のみを対象として $\dot{V}O_{2max}$ とこれを測定した時期の競技成績との関係を検討すると、両者間には一定の対応関係は認められないという報告がある (田中, 1989)。Conley et al. (1980) も $\dot{V}O_{2max}$ が77.7~67.3 ml/kg/min、10000 m走の成績が30分31秒~33分33秒の長距離ランナー12名について検討しているが、 $r = -0.12$ となる低い相関を示している。全身持久性に優れるランナーの $\dot{V}O_{2max}$ が顕著に高いことから、 $\dot{V}O_{2max}$ は競技者としての資質をはかる一尺度となるが、70 ml/kg/minを超えるほどの能力集団に限れば、 $\dot{V}O_{2max}$ が高ければ高いほど競技成績も優れているとは言いがたい。優れた競技成績の発揮には、ランニング効率、AT、無酸素的パワー、筋線維組成、レース前のコンディショニング、環境的要素などが複雑に絡み

合って決まるため、 $\dot{V}O_{2max}$ のみで競技成績を推し量るのは難しい。

中高年ランナーでも、トレーニングによって $\dot{V}O_{2max}$ が高い水準に維持される。Seals et al. (1994)の報告によると、60歳前後のマスターズ競技者の $\dot{V}O_{2max}$ は 50.4 ± 1.7 ml/kg/minで、同年齢の高齢者 (29.6 ± 1.4 ml/kg/min) に比べて著しく高い。田中ら (1995b) の日本人に関するデータによると65~69歳のジョギング愛好者の $\dot{V}O_{2max}$ は 44.1 ml/kg/minと高く、小林 (1987) の報告値 (46.2 ml/kg/min) とほぼ等しい。さらにランナー、ウォーカー、一般人と比較すると強度の高い運動をおこなっている人ほど $\dot{V}O_{2max}$ が高い。また、70歳台のランナーの平均値は、全く運動をしない40歳台の平均値に相当する。

2) 有疾病者

1. 肥満者

少なくともマラソンランナーに肥満者はいない。長距離走では心臓をはじめとする内臓諸器官や筋骨格系の負担が大きくなることから、太っていることは明らかに不利である。つまり、重心移動を伴う強い運動や全身持久的な運動では、運動に関与しない脂肪が実際に障害となる。高度肥満者の全身持久性や有酸素性能力は一般の人に比べて著しく劣る。

LeBlanc et al. (1979) は、 $\dot{V}O_{2max}$ が60 ml/kg/min以下の場合、体脂肪量 (%Fat) と $\dot{V}O_{2max}$ との間に負の相関関係があり、体脂肪量が少ない者は $\dot{V}O_{2max}$ が大きいことを指摘している。日本人のデータとしては、Atomi and Miyashita (1984) が、中年肥満女性の $\dot{V}O_{2max}$ が 25.1 ± 3.0 ml/kg/minと非肥満女性の $\dot{V}O_{2max}$ (28.9 ± 2.9 ml/kg/min) より有意に低いことを報告している。また、中年女性 (42.4 ± 5.3 歳) を対象とした田中ら (1986a) の報告でも、

肥満者の $\dot{V}O_{2max}$ が 27.3 ± 3.4 ml/kg/min, $\dot{V}O_{2AT}$ が 14.6 ± 2.4 ml/kg/minと Atomi and Miyashitaの報告(1984)より若干高いが、一般健常者に比べれば低いといえる。一方、除脂肪組織量あたりの $\dot{V}O_{2max}$ については、一致した見解が得られていないようで、肥満者と非肥満者で差異がないとの意見も少なくない。

肥満者の運動トレーニングによる $\dot{V}O_{2max}$ の改善は明らかで、身体組成の変化による効果はもちろんのこと、有酸素性能力それ自体の増高も指摘されている。田中ら(1986a)は、AT水準の運動によって除脂肪組織量あたりの $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ が有意に増加し、最大下あるいは最大運動時での骨格筋代謝の効率が改善されたことを示唆している。

2. 高血圧者

これまでの欧米を中心とする疫学的調査研究の結果からも明らかなように、活動的なライフスタイルの者では高血圧への罹患率が低い。また、活動的な者は非活動的な者に比べて全身持久性が高いことも知られており、高血圧者の全身持久性は、一般健常者に比べて低いことが予想される。盧ら(1996)の報告によると、一般健常者に比べて高血圧者の体力の中でも全身持久性の指標である $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ の低下がとくに顕著である。男性の $\dot{V}O_{2max}$ について、高血圧群(18名: 55.1 ± 10.2 歳)が 21.8 ± 5.0 ml/kg/min, 一般健常者群(25名: 54.8 ± 13.8 歳)が 34.6 ± 10.3 ml/kg/min, 女性の $\dot{V}O_{2max}$ について、高血圧群(26名: 51.8 ± 8.0 歳)が 20.4 ± 3.9 ml/kg/min, 一般健常者群(29名: 51.7 ± 5 歳)が 24.9 ± 4.2 ml/kg/minであった。

運動不足の生活習慣が高血圧などの生活習慣病を招く一因となりえることから、高血圧を予防するための手段として、あるいは非薬物的療法として運

動の有効性が検討されるようになり、運動療法による降圧効果およびその降圧機序が明らかにされつつある。高血圧に対する運動療法の有効性にに基づき、治療の一環としてのみならず、予防のためにも積極的に運動を実践し、体力を高めることが推奨されるようになってきた。Duncan et al. (1985) は、全身持久的な運動の実践によって、収縮期血圧、拡張期血圧とも10~20 mmHgほど低下することを認めている。しかし、トレーニングによる $\dot{V}O_{2max}$ の増加量と安静時血圧の低下量には密接な関係がないことも示されている。盧ら (1996) のデータでは、4カ月にわたるLT水準での運動で、 $\dot{V}O_{2LT}$ が 12.9 ± 1.6 ml/kg/minから 16.4 ± 2.2 ml/kg/minと有意に向上している。また、高血圧運動群の $\dot{V}O_{2LT}$ (17.0 ± 3.1 ml/kg/min) は高血圧運動不足群 (14.0 ± 2.8 ml/kg/min) に比べて有意に高い。

3. 心疾患患者

虚血性心疾患者の $\dot{V}O_{2max}$ は同年代の健常者に比べてかなり低いことが知られている。Blair et al. (1989) は、クーパークリニックのデータを分析し、トレッドミルエルゴメータでの走行時間からみた全身持久性と心筋梗塞による総死亡率との間に、負の相関がみられることを示した。Doston (1988) は、45歳以上の中高年齢者では $\dot{V}O_{2max}$ が42 ml/kg/min以上ないと冠動脈疾患の危険度が高まるとしている。わが国においては、 $\dot{V}O_{2max}$ がある水準以下になると生活習慣病の危険因子数が増加することに着目し、厚生省 (1989) は $\dot{V}O_{2max}$ の境界値 (60歳台の場合、男性：37 ml/kg/min、女性：31 ml/kg/min) を設定している。虚血性心疾患を含んだ心疾患者の $\dot{V}O_{2max}$ が低い理由のひとつとして心予備力の低下が考えられる。 $\dot{V}O_{2max}$ を支えているのは呼吸循環系機能の

中でも心臓のポンプ能力であり、心疾患においては、とくにHRmaxの低下による心拍出量の減少が $\dot{V}O_{2max}$ の低下に起因している。このようなわけで、全身持久性は心疾患予防の一指標とみなされているのである。

4. 糖尿病患者

糖尿病患者においても、 $\dot{V}O_{2max}$ は一般健常者と比較して有意に低い。このことは糖尿病患者に運動不足や肥満を伴う者が多いことと関係している。インスリン感受性の低下が原因でおこるインスリン非依存型糖尿病は日常的な運動で予防できる可能性が高いことから、LT (AT) 水準あたりでの運動が処方される。Frisch et al. (1986) は、女子大学卒業生を対象とした疫学的調査研究から、学生時代に運動を定期的に行っていた群では糖尿病の発症率が1.30%であったのに対し、運動実施群では0.57%と顕著に低かったことを報告している。また、佐藤 (1997) はインスリン感受性の指標となるグルコース代謝量と $\dot{V}O_{2max}$ との間に $r = 0.73$ の有意な相関関係がみられたことを報告している。

糖尿病患者であっても、全身持久的な運動によって $\dot{V}O_{2max}$ やインスリン感受性の高まることが報告されている。Costill et al. (1980) は、糖尿病ランナーの $\dot{V}O_{2max}$ が一般ランナーの $\dot{V}O_{2max}$ と同等であるという興味深い成績を発表している。また、トレーニングによって $\dot{V}O_{2max}$ が増加するとインスリン感受性も高まり、その傾向の認められる限界値は $\dot{V}O_{2max}$ が60 ml/kg/minあたりであるという報告もみられる。

3) まとめ

このように、全身持久性が、運動不足症に対する抵抗力の指標になりえること、つまり、健康に関連した体力要素の中でも重要な意味を持ち、健康度の一指標として捉えられていることは明らかである。さらに、運動を処方する場合、一般的には、全身持久性の維持・向上を第一の目標とし、個々の全身持久性に応じた有酸素性運動が推奨されている。全身持久性の評価は、単に健康の評価のみならず、それを基にした運動処方での強度設定の指標としても利用されることから、個々の全身持久性を妥当に測定・評価する必要性が認められる。

第2節 全身持久性の測定方法に関する知見—間接テスト—

$\dot{V}O_{2max}$ は直接法で測定するのが最も理想的であるが、直接測定には時間的問題（一度に多人数を測定できないなど）、人的問題（検者に高度な技術が必要である、被検者に強い動機づけが必要であるなど）、物理的問題（測定は実験室内で、しかも高価な機器が必要であるなど）が混在していることから、1954年にÅstrand and Ryhming（1954）が $\dot{V}O_{2max}$ を推定する先駆的な方法を考案し、それ以降多くの研究者によって $\dot{V}O_{2max}$ を間接的に測定する方法が模索されてきた。ここでは、これまで考案されてきた全身持久性の間接テストやその妥当性に関する研究について紹介する。

1) フィールドパフォーマンスから評価する方法

全身持久性の評価指標として $\dot{V}O_{2max}$ が大衆に広まるにつれて、従来からおこなわれてきたフィールドパフォーマンステストと $\dot{V}O_{2max}$ との関連性が再び活発に論議されるようになった。フィールドパフォーマンステストの中で最も実用的な測定法として用いられてきたのが、持久走テストである。持久走テストは、(1) 所定の距離を走るのに要する時間を測定する距離走と(2) 所定の時間内に走れる距離を測定する時間走に大別できる。わが国では、文部省の旧スポーツテストにあった1000 m走と1500 m走が距離走として、猪飼（1967）の提案した5分間走やCooper（1968）の12分間走が時間走としてよく知られている。Cooper（1968）は、空軍に在籍する者115名（17～52歳）を対象として、 $\dot{V}O_{2max}$ と12分間走テストの成績との間に $r = 0.90$ と密接な関係があることを認めた。また、Tanaka et al.（1985）は、男子大学生を対象に1500 m走のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ との関係を検討し、能力の面で個人

差の著しい集団の $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ を予測する場合には、1500 m走などの持久走テストが有用であることを示唆した。

Leger and Lambert (1982) は、体育館などでできる簡便なフィールドテストとして20 mシャトルランテストを考案した。この方法は、20 mの間隔で引かれた白線間の往復走である。最初、ペースメーカーに従って、20 mのシャトルランを8 km/hの速さで走り、2分ごとにスピードを0.5 km/hずつ漸増する。ペースメーカーについていけなくなったスピードをその個人の最高スピードとして、これから $\dot{V}O_{2max}$ を推定する。この方法は、ペースメーカーが必要であることから、金子ら (1986) はこれをより簡便にしたシャトルスタミナテスト (SST) を提案している。SSTは、屋内の10 m区間を3分間全力で往復させたときの到達距離をもって全身持久性を評価するものである。

近年では、Kline et al. (1987) が、最大努力での1-mile歩行テスト (Rockport Fitness Walking Test: RFWT) から $\dot{V}O_{2max}$ を推定する方法を提案し、ACSM (1995) によって全身持久性を評価するフィールドパフォーマンステストとして推奨されている。これまで提案されてきた主なフィールドパフォーマンステストによる全身持久性の推定精度について表2にまとめた。

表2 フィールドパフォーマンスから全身持久性を評価する方法

研究者	パフォーマンス	年齢 (歳)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	R	SEE (ml/kg/min)
Cooper (1968)	12分間走	22		0.90	9.40
Doolittle and Bigbee (1968)	12分間走	12-16		0.90	
Maksud and Coutts (1971)	12分間走	11-14		0.65	
Leger and Lambert (1982)	20 mシャトルラン	26	47.3	0.84	5.40
Tanaka et al. (1985)	1500 m走	20.5 ± 1.5	46.0 ± 4.7	-0.88	
金子ら (1986)	10 mシャトルスタミナテスト	18-22	43.8 ± 5.0	0.59	
Kline et al. (1987)	1mile歩行, HR, 性	30-69	37.0 ± 10.7	0.93	0.33 (l/min)
竹島ら (1992)	12分間歩行	63-75	27.5 ± 6.0	0.71	

2) 最大下運動中の生理学的応答 (HR) を用いて推定する方法

ヨーロッパで開発されたPWC (physical work capacity) テストは、全身持久性の有効な指標として広く普及してきた。Sjostrand (1947) や Wahlund (1948) は、身体が受ける適切な負荷強度をHR170拍/分とし、そのときに達成される仕事量をPWC170と定義した。現在では、HR170拍/分が若年者で有酸素性運動のなされる最大強度に近いと理解され、そのときに達成される仕事量の大小 (PWC170) で全身持久性の優劣を評価している。PWC170はHR_{max}が年齢とともに低下することを考慮せず (あるいは若年者向けとして) 開発されたテストであることから、その後、中高年者向けのPWC150テスト、PWC130テスト、HR_{max}を考慮にいったPWC75%HR_{max}などが提案されてきた (田中ら, 1986b; 宮下ら, 1984)。

そのほか、Åstrand and Ryhming (1954) は全身持久性を推定するためのプログラムを開発しており、それ以降、多くの研究者によって $\dot{V}O_{2max}$ をHRから間接的に推定する方法が模索されてきた (Dobelin et al., 1967; Fox, 1973; Legge and Banister, 1986; Maritz et al., 1961; Margaria et al., 1965; Siconolfi et al., 1982; 田中ら, 1990)。Åstrand and Ryhmingの方法をはじめとするそのほかの方法は、最大下運動中のHRや仕事量が $\dot{V}O_2$ とほぼ直線的に増加すること、同一年齢のHR_{max}は一定であるという仮説に基づいて、最大下運動中のHRと $\dot{V}O_2$ あるいはHRと仕事量の関係から $\dot{V}O_{2max}$ を推定している。また、最大下運動中のHRを用いる方法は、全力でのパフォーマンステストや $\dot{V}O_{2max}$ の直接測定に比べて安全であると考えられる。これまでに開発されてきた方法の推定精度について表3にまとめた。

表3 最大下運動中の生理学的応答（HR）を用いて全身持久性を推定する方法

研究者	運動様式	年齢 （歳）	$\dot{V}O_{2max}$ [ml/kg/min or l/min]	R	SEE [ml/kg/min or l/min]
Åstrand and Ryhming (1954)	cycling	18-30	4.10		0.43
	cycling	18-30	2.37		0.28
Mastropaolo (1970)	cycling	43-61	2.62 ± 0.37	0.93	0.17
Fox (1973)	cycling	17-27	2.32-4.29	0.76	0.25
Siconolfi et al. (1982)	cycling	20-70	2.07 ± 0.74	0.94	0.25
Legge and Banister (1986)	cycling	20-29		0.98	0.17
宮下ら (1984)	cycling (PWC75%HR _{max})			0.94	
田中ら (1986)	cycling (PWC75%HR _{max})	19-34	41.4 ± 11.5	0.82	
田中ら (1988)	cycling (Aerobic Score)			0.88	4.05
McArdle et al. (1972)	Step test	18-22	2.16-2.70	0.75	

3) 複数の情報から推定する方法

最大下運動中のHRの反応から $\dot{V}O_{2max}$ を正確に推定するには限界があるため、仕事量とHRの関係のみならず $\dot{V}O_{2max}$ と関連の深いほかの情報を独立変数として加えることによって、より精度の高い重回帰式が作成されてきた。表4にこれまで提案された重回帰式による推定法をまとめた。

Metz and Alexander (1971) は、 $\dot{V}O_{2max}$ と最大下運動中のHR、 $\dot{V}O_2$ および呼吸商 (RQ) との関係を検討し、 $\dot{V}O_{2max}$ の推定式を作成している。最大下運動においてHRと $\dot{V}O_{2max}$ の間には有意な相関が認められ、運動中のHR、 $\dot{V}O_2$ にRQの反応を加えた重回帰式の場合は、さらに推定精度が高くなることを報告している。また、Hermiston and Faulkner (1971) は、活動群および非活動群の男性について $\dot{V}O_{2max}$ の重回帰式を作成している。その結果、活動群の場合は、年齢、除脂肪組織量、最大下運動中のHR、一回換気量、二酸化炭素 (CO₂) 排出率およびRQからより妥当に $\dot{V}O_{2max}$ が推定できるとしている。

一方、非活動群の場合は、年齢、除脂肪組織量、RQ、一回換気量から推定できるとしている。これらの方法は、推定精度を高めることが第一義的な目的となっており、呼気ガスの情報が不可欠であることから簡便な方法とは言いがたい。Ebbeling et al. (1991) は、これらの問題点をできるだけ改善するために、より簡便な情報を用いた重回帰式を提案している。5%の傾斜で2.0~4.5 mphの一定速度で4分間歩いたときの歩行速度、HR、性および年齢から $\dot{V}O_{2max}$ を推定するものである。その式の妥当性について、推定 $\dot{V}O_{2max}$ と実測 $\dot{V}O_{2max}$ との相関が $r = 0.92$ 、total errorが3.59 ml/kg/minと推定精度がかなり良好だったことを報告した。

複数の情報を用いて推定する方法の特徴は、個々の身体的特性や年齢、運動中の生理学的応答など $\dot{V}O_{2max}$ と関連の強い因子が $\dot{V}O_{2max}$ の推定に考慮されていることである。そのため、この方法では、より精度の高い推定が期待できる。しかし、予測因子の選定いかんによっては、 $\dot{V}O_{2max}$ を直接測定するよりも煩雑な方法となる場合もある。

表4 複数の情報から全身持久性を推定する方法

研究者	独立変数	年齢 (歳)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min or l/min)	R	SEE (ml/kg/min or l/min)
Metz and Alexander (1971)	HR, $\dot{V}O_2$, RQ	12-13	50.9	0.70	3.18
	HR, $\dot{V}O_2$, RQ	14-15	53.3	0.48	3.57
Hermiston and Faulkner (1971)	年齢, HR, RQ, 一回換気量, CO_2 排出率, 除脂肪組織量	34±9.9	2.72±0.47	0.90	
	年齢, HR, RQ, 一回換気量, 除脂肪組織量	42±9.9	3.26±0.52	0.90	
Bonen et al. (1979)	年齢, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, HR	7-14	48.3±5.1	0.62	
	身長, HR, $\dot{V}O_2$	7-14	1.77±0.52	0.95	
Ebbeling et al. (1991)	年齢, 性, 歩行速度 (傾斜5%), HR	20-59	42.4±12.9	0.91	4.34
Dolgener et al. (1994)	性, 歩行時間, HR, 身体密度	19.4±2.7	41.2±8.1	0.70	5.38
真壁谷ら (1997)	年齢, 走行距離, 週当たりの運動日数, 安静時HR	20-34	55.9±7.4	0.89	3.96

4) アンケート調査によって推定する方法

大集団について全身持久性の優劣を評価したり、著しい低体力者をスクリーニングする場合、 $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ の直接測定はもちろんのこと、前述した間接テストも決して安全かつ簡便であるとはいえない。病院や大学などの機関において、メディカルチェックアップの一環として運動負荷テストや間接テストをおこなう際でも、事前にどの程度の全身持久性を有するのかを把握しておくことは、安全にテストを実施するために有効である。田中ら（1995a）は、大集団の中から全身持久性の優劣をスクリーニングでき、メディカルチェックアップの目的にも合致する簡易テストとして、アンケート調査（質問紙）に着目し、有疾病者や中高年者に適した全身持久性を評価するための有用な質問紙を作成している。一般健常者（女性）および有疾病者（女性）について、質問紙による $\dot{V}O_{2max}$ の推定値と実測値との相関は $r = 0.60 \sim 0.78$ であることを報告した。このほかにもいくつかの方法（George et al., 1997; Heil et al., 1995）が提案されている（表5）。

表5 アンケート調査によって全身持久性を評価する方法

研究者	調査内容	年齢 : 歳	$\dot{V}O_{2max}$: ml/kg/min	R	SEE : ml/kg/min
Bruce et al. 1973	性、年齢、身体密度、身体活動水準	29-73	32.7	0.81	4.84
Jackson et al. 1990	性、年齢、体脂肪率、身体活動水準	18-70	38.9	0.81	4.84
Ainsworth et al. (1992)	性、年齢、BMI、週あたりの運動日数	21-59	35.4	0.88	4.46
Heil et al. (1995)	性、年齢、体脂肪率、身体活動水準	20-79	44.1 ± 6.6	0.88	4.9
田中ら 1995	性、年齢、体脂肪率、体力水準に関する質問	22-71	28.8 ± 8.7	0.84	
George et al. 1997	性、年齢、BMI、身体活動水準	18-29	38.6 ± 10.4	0.86	3.34

5) まとめ

これまで考案されてきた全身持久性の間接テストについての先行研究をまとめたが、これまでの方法に関する問題点を踏まえ、以下のようなことを考慮した全身持久性の間接テストの開発が必要であると考えられる。(1) 健康度を評価するという点を意識して、全身持久性の測定をおこなう場合、とくに健康に関連する対象者となる中高年者や有疾病者に適用する簡易テストの開発が望まれる。(2) 中高年者や有疾病者を対象とした場合、最大下運動中のHRを利用する方法は必ずしも推定精度が高いとはいえない。そこで、HRを利用せず実用性の高い方法で測定する簡易テストの開発が望まれる。また、安全性を優先する立場から、全力を出しきることを避ける方法が望まれる。(3) 健康に関連する体力評価の社会的需要を考慮すると、公営の健康増進センターや民営のフィットネスクラブなど幅広い現場で利用できるような簡易テストの開発が望まれる。

最後に全身持久性の各種測定法の特徴について表6にまとめた。

表6 全身持久性の各種測定法の特徴

全身持久性の測定法	妥当性	経済性	安全性	
	正確に測定できるか	高価な機器や多額の経費を必要としない	最大努力を必要としない	危険でない
直接測定	◎	×	×	△
フィールドパフォーマンスによる方法	○	○	×	△
最大下運動中のHRを用いる方法	△	△	○	○
複数の情報から推定する方法	○	△	○	○
アンケート調査による方法	△	○	○	○
自覚的運動強度を用いる方法	(検討中)	○	○	○

全身持久性の測定法	簡便性	その他
	時間がかからず、特別な技術を必要としない	
直接測定	×	・最も妥当な測定である ・教育機関でよく用いられる
フィールドパフォーマンスによる方法	○	・簡便ではあるが、全力を出しきるため中高年者には不向き ・健康増進センターやフィットネスクラブでよく用いられる
最大下運動中のHRを用いる方法	○	・HRの利用に付随する問題点が未解決である
複数の情報から推定する方法	△	・妥当性を重視しすぎると測定が煩雑になる ・予測変数の選択に注意する
アンケート調査による方法	○	・メタメカニカルチェックや事前の体力水準の把握に役立つ ・他の方法と併用すればよい
自覚的運動強度を用いる方法	○	・現在、完成に向けて多機関で開発中である ・妥当性が確認できれば新しい方法として期待できる

第3節 自覚的運動強度に関する知見

RPEは、特別な機器を必要としない運動強度の指標としてBorg（1973）によって考案された。運動強度の指標としてRPEの有用性に関するこれまでの報告をまとめることで、運動強度の設定におけるRPEの妥当性を、RPEの長所、短所を踏まえて明らかにする。

1) RPEと生理学的運動強度指標との関係について

RPEは、Borg（1973）によって考案された運動中の疲労感や努力感を数量化するための精神物理学的運動強度指標であり、運動強度の最も簡便な指標である。Skinner et al.（1973）は、BorgによるRPEの妥当性について検討し、運動中の生理学的反応とRPEに有意差はなく、信頼性の高い指標であることを報告している。このほかにも多くの研究者によって、RPEは生理学的運動強度指標（生理学的指標）とされる $\dot{V}O_2$ 、HR、 $\dot{V}E$ と高い相関関係にあることが明らかにされている（Felts et al., 1988, Pandolf et al., 1984）。また、RPEは個人の相対的な運動強度を判断基準にすることから、生理学的指標とRPEの関係には、年齢差、性差の少ないことが報告されている（Felts et al., 1988）。わが国においては、小野寺と宮下（1976）が、Borgの指標に対応させた日本語のRPE尺度を作成し、RPEと生理学的指標との対応関係を検討している。RPEは運動の種類や被検者の体力水準が異なっても、ある運動における各個人の最大運動能力に対する相対値（ $\% \dot{V}O_{2max}$ および $\%HR_{max}$ ）と高い相関関係（ $r=0.83\sim 0.91$ ）にあることを報告している。さらに、有酸素性トレーニングの結果ともあわせ、RPEは最大運動能力に対する相対値との関係が深いことを確認している。RPEが考案されてから今日までRPEの有用性が検討さ

れ、運動強度を評価する一つの補助的な指標として、あらゆる現場で急速に用いられるようになった。しかし、運動様式によってはRPEとHRや $\dot{V}O_2$ との関係は不安定となることも報告されている。涌井ら（1987）は、水泳の熟練者と未熟練者を対象として3種の泳法（平泳ぎ、クロール、背泳ぎ）と水中歩行をおこなわせた際のHR、RPE、 $\dot{V}O_2$ を測定した。一方、陸上での自転車駆動時のHR、 $\dot{V}O_2$ の測定をおこない両者を比較検討したところ、水泳時、水中歩行時と自転車駆動時のHRと $\dot{V}O_2$ の間には熟練者および未熟練者とも有意な相関関係が得られた。また、水中運動中のRPEとHRとの関係をみると、水泳では熟練者および未熟練者とも有意な相関関係が得られた。しかし、水中歩行時では熟練者において有意な相関関係が得られたものの、未熟練者では有意な相関関係は得られなかった。また、同一RPEに対するHRの値には大きな個人差があり、HRのわずかな変化に対してRPEは大きな変化を示したという問題点も指摘した。

以上のことを総合すると、RPEは運動強度の指標のなかで最も簡便な指標であり、習熟度の差が生じやすい運動種目でないことや特別な環境の要因を取り除けば、生理学的指標である $\dot{V}O_2$ やHRとの相関が高く、かなり有用性が高いといえよう。

2) RPEとATとの関係について

近年、運動強度の新しい指標として、ATあるいはLTが注目されてくるとともに、AT（LT）とRPEとの関係や血中乳酸濃度とRPEとの関係についても検討がなされるようになった。Purvis and Cureton（1981）が、AT水準におけるRPEは13~15（“ややきつい”から“きつい”程度）であることを報告した。

また、Demello et al. (1987) は、一般健常者におけるLT水準でのRPEは11～13に相当し、運動トレーニングの進行段階や体力水準あるいは性別に関係なく一定であることを報告している。Seip et al. (1991) は、ランナーと一般健常者を対象として速度を徐々に増加させるトレッドミル走行中の血中乳酸濃度とRPEとの関係について検討し、LTおよび血中乳酸濃度が2.0, 2.5, 4.0 mM時の走速度、 $\dot{V}O_2$ 、HRはランナー群で有意に高く、また換気当量はランナー群で有意に低い値を示したにも関わらず、RPEについては両群とも同等の値を示したことを報告した。ここでLT水準でのRPEは 11.0 ± 2.0 、血中乳酸濃度2.0 mMでのRPEは 13.7 ± 2.1 、2.5 mMでのRPEは 14.5 ± 1.8 、4.0 mMでのRPEは 16.5 ± 2.3 に相当した。このように、RPEで13前後の運動強度と個人のAT水準がほぼ一致することが確認されている。

一方、運動様式や環境の違いに関する研究もなされてきた。Hetzler et al. (1991) は運動様式の違いによる血中乳酸濃度とRPEの関係について検討した結果、LT、血中乳酸濃度2.0, 2.5, 4.0 mM時のHRおよび $\dot{V}O_2$ は自転車駆動とトレッドミル走行の間に有意差が認められた。しかし、RPEに関しては運動様式の違いによる差は認められず、RPEは血中乳酸濃度に強く影響されることを示唆した。Ceci et al. (1991) は、同一RPEを用いたトレッドミルエルゴメータでのランニングとフィールドでのランニングの走速度、HRおよび血中乳酸濃度について検討している。その結果、RPE11, 13, 15の各強度においてトレッドミル走に比べてフィールド走での速度およびHRが明らかに高いことを報告した。しかし、トレッドミル走行とフィールド走行いずれもテストの再現性は高く、同一環境下においては、RPEを用いたランニング中の速度、HR、血中乳酸濃度は同等の値を示した。このように運動様式ある

いは環境が同一であればRPEの再現性は高く、運動様式や環境が異なってもRPEは血中乳酸濃度に強く影響されることが明らかにされている。

3) RPEによる運動強度の設定について

RPEは運動強度の補助的指標として、運動処方や運動負荷テストに広く利用されている。前述したように、これまでRPEに関する研究が数多くなされており（Demello et al., 1986; Dunbar et al., 1994; Glass et al., 1992; Hetzler et al., 1991; Seip et al., 1991; Purvis and Cureton, 1981）、運動強度や体力水準を評価する指標として有用であるとの報告が多い。しかし、いずれの報告もある運動負荷に対するRPEの反応に関するものであり、RPEによって強度を調節した場合の報告は少ない。Glass et al. (1992) は、多段階漸増負荷によるトレッドミル走行（GXT）によって得られた75%HR_{reserve}時のRPEを利用して、10分間のトレッドミル走行（EXT）をおこなわせた場合、GXTとEXTでの $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}E$ に有意差は認められなかったことを報告している。熊谷ら（1997）は、若年成人男性についてRPE13でのトレッドミル歩行時が約50% $\dot{V}O_{2max}$ でAT水準より低く、RPE13でのトレッドミル走行時が約75% $\dot{V}O_{2max}$ で概ねAT水準であったことを報告している。運動様式の違いについて、Dunbar et al. (1994) は、多段階漸増負荷テストで60% $\dot{V}O_{2max}$ に相当するRPEによって運動強度を調節した場合、トレッドミル走行では60% $\dot{V}O_{2max}$ と一致するが、自転車駆動では目標より低い強度を維持するとしている。Kravitz et al. (1997) は、個々が快適にしかも自分の体力水準を向上させるのに最も適していると感じられる速度（自由選択ペース）でトレッドミル走をしたときの生理学的応答を報告しており、そのときのRPEは約13で約70% $\dot{V}O_{2max}$ の強度であった

としている。少数ではあるがこれらの報告を総合すると、トレッドミル走であればRPEで運動強度を妥当に設定できることが推察される。しかし、これらの報告はすべて若年成人を対象としたものであり、とくに運動処方を実施する上で重要な対象者である中高年者や運動の習慣化がすすめられる有疾病者についての報告やトレッドミル歩行についての報告はみあたらない。

4) まとめ

RPEは個人の感覚を利用して運動強度を評価するものであり、HRや $\dot{V}O_2$ あるいは血中乳酸濃度などの生理学的指標より簡便に把握できることは明らかである。さらに、同一環境下や同一の運動様式における運動中のRPEは、個人の相対的な運動強度、つまり、 $\% \dot{V}O_{2max}$ や $\%HR_{max}$ と高い相関関係にあること、個人のAT水準でのRPEは体力水準や性別の違いに関係なく13前後で一致することが報告されている。このように与えられた定量負荷に対する感覚をフィードバックする形であれば、運動強度の指標として妥当であるといえよう。ただ、RPEのみで運動強度を設定する場合の報告は少なく、RPEのみで運動強度を妥当に設定できるかどうかは詳細に検討されていない。とくに、中高年者を対象とした報告はみあたらない。