

# 体力の測定・評価法に関する基礎的考察

体育学研究室 中 村 好 男

## Assessment of Physical Fitness: Some Hypotheses and Propositions

Yoshio NAKAMURA

Some fundamental considerations on the approach for assessment of physical fitness were described. Following suggestions were obtained. 1) The concept of physical fitness should be theoretically modelled for further research. 2) The adequate item and method should be selected according to the requirement and object of the subject. 3) Prescription of the training content should be determined based on the goals for each subject. 4) The physiological testing from a view point of energetic performance was important, but some theoretical study would be required for applying physiology to physical fitness research.

「体力」という術語の意味については、たんに「体」の「力」として解釈すべきものではなく様々な見解が述べられていることは論を待たない。そして、その様々な見解に基づく各々の「体力」について種々の測定法が考案されていることも事実である。体力の測定法に関する論議は、従来、生理学的観点から考案された具体的測定法の提案とそれに関連する諸問題に重点がおかれることが多かった。例えば、ヒトの有酸素性作業能力の一指標と考えられている最大酸素摂取量についていえば、その提案<sup>18)</sup>、妥当性の検討<sup>44)</sup>、一般人・スポーツ選手に対する測定結果<sup>1)2)40)</sup>を踏まえて、近年では最大下の生理学的指標からの様々な推定法<sup>3)23)</sup>が提案されるまでに至っている。また、最大無酸素性パワーに関しては、実際の身体動作中に発揮されるパワーの量定法の模索<sup>11)30)</sup>から始まり、生理学的意義に関する考察<sup>12)</sup>、スポーツ選手の測定結果<sup>6)</sup>、有酸素性作業能力あるいは他の生理学的指標との関連<sup>10)</sup>などに関して数多くの研究成果が蓄積されるに至っている。

もし、これらの研究成果を基礎的なものと応用的なものに分類するとしたら、体力に関する論議には基礎的なものが多いが、その測定分野についていえば、実在する測定法を基盤とした応用的な研究に偏重しており、その基礎的な論議は少数の成書に述べられているだけに留まっている。そして、体力に関する論議も、各自が自分の設定した体力モデルを中心として議論を展開しているだけで、相互の普遍性を検討しようという試みが少な

いだけでなく、自己のモデルの妥当性の検討さえほとんど行われていない。

そこで、本論では、体力の構成モデルに関する検討（I章）、体力測定および評価に関する仮説の提示あるいは提示した仮説の検討（II・III章）を行い、体力の測定・評価に関する基礎的な考察を進める上での論議の基盤を作ることを目的とした。また、近年提案されてきた<sup>33)42)</sup>生理学的エネルギー論からの体力評価に必要とされる代謝モデルの検討とその測定法の解説を行った（付録II章）。

### I 体力の構成

#### A 体力測定項目

体力には様々な内容がある。そして、それを総括するために様々な体力構成モデルが提案されてきた。

猪飼（1967）<sup>20)</sup>は、体力を身体的要素と精神的要素とに分け、各々を行動体力と精神体力とに細分して様々な項目を分類した。その中で、身体的行動体力の機能的側面を狭義の体力とし、筋力、敏捷性、持久性、パワー、平衡性、柔軟性、協応性、の細目をあげた。石河（1970）<sup>24)</sup>は、体力を行動力と抵抗力に分類し、行動力のうち、発現する能力として筋力、瞬発力、持続する能力として持久力、コントロールする能力として調整力、柔軟性をあげた。宮下（1984）<sup>33)</sup>は、体力を防衛的側面と行動的側面とに分類し、各々、免疫・恒常性・強靱性および非乳

酸性・乳酸性・有酸素性能力からなるものであり、それらの能力が脳・神経系の働きによって調節されるものとした。これは、猪飼のエネルギー・サイバネティクス論による体力・技術の関係に関する考察の延長上のものと考えられる。また、この他にも、神経系、筋肉系、心臓・循環・呼吸系によるネッカーの分類<sup>20)</sup>、筋力、持久性、体型、柔軟性、調整力、スピード、敏捷性、平衡性、知的能力、想像性、動機づけという ICSPFT の分類<sup>23)</sup>などがある。

### B エネルギー源からみた体力

前項で示したように様々なモデルが提案される中で、体力の構成を単に項目の並列としてではなく、その出力に関する部分をエネルギー論的に解釈しようとする試みもあった。先に示した宮下(1984)<sup>33)</sup>のモデルはその1つである。これは、筋が収縮する際のエネルギーの供給機構に関する概念を基盤とする。

筋収縮エネルギーの供給機構には、非乳酸性、乳酸性、有酸素性の3つがある。これらは各々独立に働くということが、エネルギー論的解釈の前提となる。すなわち、ある瞬間に発揮されたパワーは、3つの過程の各々の寄与によるもので、その割合を分離して考えることができるということである。

この分離に関しては、有酸素性機構は遅筋線維が受け持ち、無酸素性機構は速筋線維が受け持つというように、解剖学的分類に従って説明しようとする考え方<sup>32)</sup>もあるが、その様な対応があることは、明らかにされていない。したがって、単に3つのエネルギー供給機構があるからそれに基づいて分類するというのではなく、エネルギー代謝モデルの妥当性を検討したうえで体力構成モデルを構築してゆくことが必要となる。

実際、付録Ⅱ章で示したように、乳酸性機構のパワーに関してはそのモデルが確実なものではない。実際に行われている測定法も、実用的観点から求められていた測定に乳酸性機構によるパワーあるいは容量という名称を付加しただけの物という感を受ける。単に3つの機構の指標が並列するモデルを提示するだけでは厳密な意味での生理学的評価には対応できない。

### C 体力要素の再構築

先に示したモデルには、その項目に過不足はあるものの共通する部分も多い。その共通性を検討することによって普遍的モデルを考案する契機とすることができるかも知れない。

まず、筋系、呼吸・循環系、神経系という解剖学的分類を基に整理してみよう。これは、運動の発現、持続、

調整という石河(1970)<sup>24)</sup>の分類と一致する。猪飼(1967)<sup>20)</sup>の分類した項目のうち筋力、パワーは筋系、持久性は呼吸・循環系、平衡性、協応性は神経系の能力とみなすことができ、敏捷性は筋系と神経系の要素を含んだものとするところができるだろう。ただし、柔軟性については、この分類に含ませることはできない。宮下(1984)<sup>33)</sup>のモデルにおいては、非乳酸性・乳酸性能力が筋系に、有酸素性能力が呼吸・循環系に相当する。また、ICSPFT(1974)<sup>23)</sup>の分類のうち猪飼(1967)<sup>20)</sup>と異なる項目においては、スピードが筋系に、調整力が神経系に相当する。ただし、体型、知的能力、想像性、動機づけは、この分類には含まれない。

以上のように、3つの解剖学的分類によってほとんどの項目を包含することができる。問題は、個々に包含されなかった柔軟性や体型などの項目であり、これらを分類できる体系を作れば、様々な構成モデルを1つの基盤の上で評価できる。解剖学的分類にこだわるとしたら、全身、関節、大脳皮質の3つを新たに加えることによって総括することができるだろう。ただし、全身という項は他の項と並列することはできない。それならば、骨格系、脂肪組織などといった細分によってある程度の並列化は図れる。しかし、体重という測定項目だけは、全身とする以外分類しようがない。このことは、体力の構成モデルを作るに当たって解剖学的分類によって並列化することの困難を示唆している。

それでは、石河(1970)<sup>24)</sup>の示した行動力の分類に従って整理したらどうだろうか。柔軟性や大脳皮質の関与する項目を「調整」の中に包含させてしまえば、分類しきれないのは体型だけとなる。しかし、筋収縮の発現に関与する中枢系の調整と、動作の遂行までへのパワーの伝達に関与する柔軟性とを同じ範疇に入れることは難しい。また、体型は全く別の要素とする意見もあるので行動力の中に含めずに考えることもできるが、体重や体脂肪率などは体力測定の項目として広く認知されており、他の体力要素との関連も示されている中、体型だけ独立したものとみなすことはできない。

全ての要素を並列させて一括した体力構成モデルを考えることができないのならば、解剖学的分類において示した6つの大項目をそれぞれ別個のものと考えてその相互の独立性、従属性を明らかにした上で新たなモデルを構築しなければならない。本論では、そのモデルを提示することはできないが、解剖・機能の特異性・共通性に関する研究結果に基づいてモデルを提示した上で、その妥当性に関して一つずつ確認してゆかなければ、普遍的モデルの可否を論議することさえできない。後の章で示

すように、個人の目標に応じて必要とされる項目が異なる。したがって、異なる項目として分離することを前提として、独立する関係と従属する関係を見極めることが、体力構成モデルを提示する上で重要となるのである。

## II 体力の測定法に関する基礎的考察

### A 体力測定の必要性

その必要性に関する吟味の有無に関わらず、体力測定は日常的に実施されている。すなわち、体力測定の日常化が、その必要性を示唆しているともいえる。しかし、「なぜ体力測定が必要なのか」という論議は、余り行われていない。

松浦 (1983)<sup>31)</sup>は、「能力を測定しようとする意図は運動現象を研究の対象とする体育学の誕生とともに存在する。」という前提に基づき、「測定はいろいろの場合に理解と客観性を高めるうえに、また精度を高めるうえに是非必要な手続きである。」と述べている。これは、とても理解し易い主張ではあるが、「測定」それものの意義に重きがあり、「なぜ体力」という疑問には、明快な回答を与えていない。朝比奈 (1982)<sup>37)</sup>は、「ある人に対して適切な処方を作るためには、まずその人の体力を正確に知っておかねばなりません。」と述べているが、これだけの記述に留まっており、適切な処方の必要性と体力測定の意義に関しては、触れられてはいない。

もちろん、当り前のこととして甘受されていることであり、問題とする必要もないことかも知れないが、敢えてその必要性について論じるとしたら、「体力測定の必要性は、その需要によって生起する。」(仮説1)という仮説を定めることができる。すなわち、体力測定が必要となるのは、測定をしたいあるいは受けたいという要望があるからであって、もしその需要がなければ、体力測定の必要性はないということである。そして、「その需要の主体は何かということによって、体力測定の意義が異なる」(仮説2)といえる。研究者がスポーツ選手の体力の特性を調べたいと意図して測定を行う場合と、一般の人が健康になることを求めて自分の体力に関する情報を得ようとする場合とでは、体力測定の意義が異なり、そこから生み出される情報も全く異なったものとなるということである。この様な仮説に基づけば、例えば、オリンピックの代表選手を一箇所に集めて実施する体力測定と、候補選手がトレーニングしている過程で実施する体力測定とが、本質的に異なるものであるということが、容易に理解される。前者はオリンピック選手という集団を社会的に評価するための資料を得るためのもので

あり、後者は選手の成績向上を意図するものなのである。前者の主体は選手本人ではなく選手を統括する組織である。したがって、そこから得られる情報が選手自身の役に立たないことがあっても致し方ないということになる。

### B 体力測定の目的

体力測定には様々な目的がある。これは、先に述べた様々な意義に応じて定められるものであろう。

松浦 (1983)<sup>31)</sup>は、研究目的のための測定と教育目的のための測定の2つの性格が存在すると述べ、そのうち、教育における測定では、以下の目的があると述べている。

1. 個人の体力発達の適切なプログラムをたてる。
2. 体育学習の範囲や内容を決定する。
3. 体育学習の中でのグルーピング。
4. 体育活動における個人々の長所、短所、限界を知る。
5. 体育学習における成就の程度を評価する。
6. 運動能力、運動技能の標準を求める。
7. 運動学習の動機づけ。
8. 学習指導法の有効性の評価。
9. 新しいテストの工夫のための基礎資料を得る。

しかし、「健康基盤としての体力」(朝比奈1982)<sup>37)</sup>という概念もあり、これは、単なる教育目的のための測定とは別個に考慮する必要があるだろう。この観点からは、「その人の現在の行動体力の各項目について測定し、その全体的なプロフィールを把握し、特に問題となる点があればそれを改善するように運動処方の際に考慮すること、および運動処方の実施にともなって起こる体力の変化を追跡すること」(池上 1982)<sup>21)</sup>と述べられている。

また、北米 YMCA 同盟<sup>19)</sup>は、フィットネスプログラムを完全なものとするための体力測定の目的として、

- ・体力水準の現状評価
- ・トレーニングの必要性の把握
- ・トレーニングの処方
- ・進歩の程度の認識
- ・プログラムの効果判定
- ・参加者に対する動機づけ

を、あげているし、

1. 個人の体力づくり
2. 疾病や疲労の発見
3. スポーツの適性や能力の評価
4. 集団体力の実態の把握と矯正
5. 仕事や職業の能力・適性の評価とする記述<sup>36)</sup>もある。

この様に、体力測定の目的は様々であり、それに応じて様々な内容の測定が実施されている。松浦 (1983)<sup>31)</sup>

は、研究目的と教育目的の両測定において、測定法の選択に別々の配慮を行うべきであるとし、また、測定結果の解釈についても同様な考慮が払われねばならないとしている。これは、研究目的か教育目的かという区別だけでなく、全ての目的の各々についても拡張できる概念であろう。すなわち、「体力測定の内容や方法が選ばなければならない」(仮説3)と、いえる。また、「評価のための資料を提供するのが測定の役割である」<sup>31)</sup>(仮説4)と指摘されるように、体力の測定がその評価と並列に考慮されるものであるならば、「体力評価の方法は、体力測定の目的によって異なる」(仮説5)ということもできるだろう。

例えば、「体力の増進や運動能力・スポーツ適性の向上を目的とする測定は、1回だけで終わるという性質のものではない。一人一人が定期的に継続して行わなければ、その目的は達せられない。体力測定を行い、その結果に基づいて運動処方になされ、一定期間の実践の後にその効果を再度の測定によってたしかめ、運動処方を修正又は増進するといった展開が必要になる。」といわれている<sup>36)</sup>が、これは、仕事や職業などのスクリーニングを目的とした体力測定とは明瞭に異なる。

### C 体力測定項目の要件

体力測定には様々な方法がある。どの様な測定を実施するかということは、その目的に応じて決定されるわけであるが、その選択に際しては、各測定項目の持つ特性について考慮する必要が生じる。松浦(1983)<sup>31)</sup>は、体力測定の特長として、妥当性、信頼性、客観性、実用性、基準値をあげた。ただし、実用性の中には簡便性、容易性、経済性が含まれるとし、さらに、経済性の中には、経費、時間、労力の3要素があると述べている。また、松井(1982)<sup>37)</sup>は、幼児を除く健康な日本人の全年齢域を対象とした一般体力テストにおいて検討すべき要件として、妥当性、信頼性、経済性、簡易性、ノルムの有無をあげている。両者はほぼ同様の内容を含んでいるものであるが、ここでは、松井(1982)<sup>37)</sup>の分類に従って、松浦の定義を交えながら、体力測定の特長に関する項目の意味を定めることとする。

#### 1. 妥当性

これは測定しようとする属性、能力などをどの程度正確に測定しているかに関する概念である<sup>31)</sup>。測定とは、現象に対して当てはめた尺度によってその属性を抽象化する手続きであるから、尺度の妥当性、抽象化の妥当性の2つがある。抽象化の妥当性においては、測定をしよ

うとする対象のモデルが重要な役割を果たす。すなわち、体力はどの様に構成されているかというモデルであり、その一部を生理学的に評価しようとする場合には、代謝系のモデルが妥当なものであるかどうかということについて考慮しなければならない。一方、尺度の妥当性とは、設定したモデルを数量化する際に客観的な指標が与えられるかどうかということである。

体力測定項目の中に妥当性を必要としないものがあるという意見は今のところ見あたらない。しかし、現在実施されている測定項目の中には、妥当性に欠けるものもあるようである。

#### 2. 信頼性

これは、同一被検者を対象とした測定の測定値自体の再現性の高さあるいは変動の少なさのことである。松浦(1983)<sup>31)</sup>は、同一検者によるものを妥当性とし、異なる検者による測定値の一致度を客観性としている。しかし、この両者は同一の範疇に分類する方が理解しやすいだろう。

個人の体力作りプログラムにおいて、変化を知るために行う測定などにおいては必須の条件であるが、集団の体力特性を知ろうとする場合には必ずしも必要なものではない。もちろん、その誤差は不偏なものではない。

#### 3. 経済性

これは、経費、時間、労力の3つの要素に分類できるが、いずれも金銭に換算できるものであるという点でまとめることができる。測定に出費する者が、その測定から得られるものと勘案して、判定すべきものである。

#### 4. 簡易性

これは、測定が容易にできるものであるかどうかということの意味する。簡便で容易であるほど多くの人に利用されやすいという利点を持つ。松浦(1983)<sup>31)</sup>は、簡便であるほど客観性を高め、信頼度を高めることができると述べているが、簡便性と信頼性とは独立した要素であろう。

#### 5. 基準値あるいはノルムの有無

ノルムは、測定値自体がどの様な意味を持っているかということを理解するための一助となる。特に広く利用されることを目的としたテストにはこれが完備していることが要求される<sup>31)</sup>といわれている。

### III 体力の評価に関する検討

体力測定は単なる「測定」で終わってしまえば意味がないといわれる<sup>35)</sup>。すなわち、測定後の評価の方法が重

要となる。先に述べたように、評価の方法は目的によって異なる。そこで、本項では、評価に関わる諸問題について仮説を提示し、それを検討する。

A. 仮説6：「体力測定の目的によって、測定項目に必要とされる要件が異なる。」

体力の評価の方法がその目的によって異なるものであるならば、必要とされる特性もまた目的によって異なる。

例えば、個人の体力作りの一貫として体力評価を行う場合には、信頼性が高いことが要求される。しかし、経済性については、個人の資力と関係することであり、必ずしも出費の少ない測定がよいとは限らない。また、簡便性についても、時間的に余裕のある被検者を対象とする場合には、余り重要にはならない。ノルムについても必要性は薄い。松井(1982)<sup>37)</sup>は、体力テストのテストとしての有用性は、そのテストが個人または集団の体力を正確に把握することのできることであり、それには、テストの内容と共に容易に理解し得る評価基準や診断基準が欠かせないと述べている。しかし、これは個人の体力を評価する体力測定と、集団の体力測定における目的を混同した主張である。ノルムは、集団の体力測定などのように、その主体者がなにか他のものと比較することを目的として行う測定においては必要なものであるが、個人が自分の体力の変化だけに着目する場合には必要ではないことが多い。

一方、ある地域における住民の体力向上運動を実施し、体力の向上と医療費の変化との関係を探ろうとする場合などは、集団の平均値が重要となるわけであって、誤差が不偏なものである限りは、信頼性の低さは許容できる。その代わり、簡易性、経済性が高いことは、必須の要件であろう。

B. 仮説7：「体力の評価は、個々の体力の限界すなわち潜在能力に基づいて行われるべきである」

個人の体力はその所属する集団の基準値と比較して評価するという考え方がある<sup>37)</sup>。また、その基準値は年齢別、性別、体格別に作成されるべきであるともいわれる<sup>31)</sup>。しかし、体力の評価を体力作りプログラムの一貫として行う場合には、その評価はトレーニングの内容あるいは体力の向上と関連するものであろう。

トレーニングの原則の一つに「個別性の原則」がある。個人によって目的も体力レベルも異なるので、トレーニングの内容は個別に定められるべきであるというものである。これは、運動処方での個別性にもつながる。

体力トレーニングが個別的なものであるならば、そのトレーニングに指針を与える体力評価もまた個別的なものでなければならぬ。基準値と比較をして

パーセンタイルなどで評価したとしても、その数値のもつ意味は個人によって異なるからである。そして、この意味には個人の持つ遺伝的素因が関与する。全てのヒトに対して同一の基準を当てはめるのではなく年齢・性・体格別に基準値を作るというのも、究極的には同じことを意味している。年齢、性は遺伝的に定まっている。変更できないものであるならば、同じ性質の者同士で比較すべきであるというのが基準値作成の前提であろう。体格もある程度遺伝の影響を受ける。それならば、身長が大きいものと小さいものが出て、身長の大きいものほど得点し易い測定項目を、同一の基準で評価するのは不公平である。

最大酸素摂取量。日本人を対象とした測定結果に基づく基準値が作成されている<sup>28)</sup>。ただし、この値は体重との関連が強く、体重が重いものほど値が大きい傾向がある。そこで、体重 1kg 当りの値として評価することもある。体重当りの最大酸素摂取量は、体格とは無関係な量となる。したがって、多くのものを同一の基準で評価できることとなる。この値は、一流の長距離選手では70-80ml/kg/min となり、一般人の40-50ml/kg/min よりも大きい。一般人をトレーニングしても長距離選手の値までは達しないといわれる<sup>24)</sup>。すなわち、最大酸素摂取量には遺伝的な影響がある。

筋力。これもまた体重と関連がある。筋量の大きいものほど大きい。筋肉の断面積当りの筋力は、性・年齢によらず一定であるが、これも個人差があり、4-8kg/cm<sup>2</sup>の間でほぼ正規分布するといわれている<sup>16)</sup>。トレーニングによって成人男子も13歳男女も同様の増加をすといわれている<sup>16)</sup>が、これに遺伝的な要素の影響がないとはいえない。速筋線維の多いものほど動的筋力が大きいという調査結果<sup>45)46)</sup>は、断面積当りの筋力に遺伝的な要素が関連することを示唆している。

身長。ある20歳の女子が身長を計測したところ150cmであったとする。本人は、「もっと背が高ければいいのに」と、思っている。しかし、現在のところ、身長を大きくするための手法は一般化されていない。どこまで伸ばすことができるのかということは、個人の状態によって異なる。栄養状態や運動環境にもよるが、遺伝の影響も大きいと考えられる。したがって、「平均よりも低いからもっと向上させなければいけない」ということは一概に言えない。また、「平均よりも高いから低下させなければならぬ」という表現は当然支持されないだろう。そして、このことは身長だけでなく全ての体力の測定項目に当てはまることと考えられる。

すなわち、体力の測定結果を対照すべき基準は、集団

内の平均値なのではなく、個人の持つ遺伝的素因に影響される潜在能力なのである。したがって、基準値というよりもむしろ目標値と呼ぶべきものである。この様に考えると、一般人よりも最大酸素摂取量の高い長距離選手でも、更に向上させることを目的としてトレーニングを積まなければならない理由が分かる。長距離選手の目標とすべき最大酸素摂取量の水準は、一般人のそれとは異なるということである。

もちろん、個々人の潜在能力は知ることができない。そこで、一般的な基準として集団の平均値を利用することとなるのである。ただし、だからといって基準値だけに捕らわれ、有用な基準値を作成することだけに体力評価の研究を限定すべきではない。飽くまでも、体力評価の基準は個々人に定められる潜在能力であり、これを知るための努力も体力評価に関する研究の主題の一つといえる。例えば、あるトレーニングを課したときの体力の向上率は、個人の潜在能力を知る上で一つの手がかりとなるだろう。

C. 仮説8：「個人のトレーニングの内容は、個人の設定した実現可能な目標によって決定されるべきものである」

これは、体力の評価から運動処方の方針を得ようとする場合に必要となる概念である。トレーニングの原則に「全面性の原則」がある。これは、ややもすると、有酸素性能力も無酸素性能力も同様にバランスよく鍛えなければいけないと解釈されがちである。しかし、マラソン選手に必要なのは有酸素性能力であり、投てき選手のそれとは異なる。重要なのは、個人の目指す目標であり、目標と現状とのギャップを埋める際にバランスよくトレーニングを行うことである。これは、スポーツ選手の場合もフィットネスを目標とする一般人の場合も同様である。体力向上に関する目標は、体力の衰えなどの実感から生起することが多い。どの様なときに体力の衰えを感じ、またどうして体力をつけようと思ったのかということに関する実例を以下にあげる。

例1：S氏。38歳。元ボクシング選手。現在でも、かつて所属したジムを来訪することがある。現役選手と同じ様に練習しようとしても、途中で「足がもつれる」ように感じることもあり、最後まで同じように続けられないことから体力の衰えを実感した。

例2：I氏。36歳。スキーのインストラクター。急斜面での滑降に際して、5秒程度なら何とも感じないが、20秒程度続けると疲労感が残る。加齢に伴う体力の低下を感じる。軽快に滑れるようになりたい。

この2人に共通していえるのは、自分が若いときと比

べて体力が低下したと思っている点である。しかし、S氏の場合は長時間の練習時の持続力不足を訴え、I氏の場合は、ゲレンデでのスキー滑降に支障を来すことを主張している。S氏が望むものは有酸素性能力の向上であり、I氏は無酸素性能力である。これは、体力測定の結果によらず決っている。たとえ、S氏を測定して有酸素性能力に富み筋力・パワーが劣るという結果が得られても、筋力・パワーの向上をトレーニングの第一目標におかなければならないという根拠はない。体力検査の結果から運動処方を決定するというモデルは、今や一般化した感があるが、トレーニング内容を決定する資料の中に被検者の求める姿あるいは目標に関する情報が入っていないければ、被検者が真に満足できるトレーニングを処方することはできないと思われる。

D. 仮説9：「トレーニング継続中に随時行う体力測定の主目的はトレーニングの効果を確認することである。したがって、その測定項目は、トレーニング内容すなわち本人の望む到達目標と関連するものだけでよい。その評価は、トレーニング中に確認できる指標で行うことが望ましい。」

体力測定の目的の中に「トレーニング効果の把握」がある。そして、運動プログラムを実施する場合には定期的に体力測定を継続する必要があることに異論はない。しかし、その内容に関して、初回の測定と区別をしているものは見あたらない。トレーニング効果を確認することは実施者の意識の向上につながり、運動継続の意欲を促進する。したがって、効果の確認が主目的であれば、その測定は頻繁に実施することが望ましい。極論すれば、運動を実施するたびに効果が確認できれば最良である。しかしながら、全ての項目に渡る再測定あるいは医学検査まで含めた測定となると、そう頻繁に繰り返すことはできなくなる。池上(1982)<sup>21)</sup>は、少なくとも年1回は検査を反復し、その間の運動の効果を評価すべきと述べている。これは問診、臨床検査まで含めたものであるが、運動を新たに始めたものが全くその効果を認識することなしに1年間も運動を継続するとは考えにくい。継続している事実があるとすれば、それは日々の生活の中で無意識のうちに運動の効果を実感したためであると考えた方が理解し易い。すなわち、年1回程度の周期で行われる再検査には別の意義が存在するのであり、効果判定のための体力測定は日常生活での認識以上のものを常時与え続けられるものでなければならない。

運動効果の判定が主目的の体力測定では、簡易性と経済性が高いことが要求される。これによって、頻繁な測定が可能となるからである。また、効果の確認によって

運動継続の動機づけを期待するのであれば、その運動によって確実に向上するような指標であることが望ましい。例えば、筋力トレーニングマシンを用いてトレーニングを行っている者に対しては、実施している全ての部位について頻繁に筋力の評価を行うことが要求される。このためには、最大挙上能力の測定が有効となる。同じマシンを使ってできるので、望むときに簡易に評価できる。また、自転車エルゴメーターで有酸素運動を行っている者に対しては、一定負荷作業中の心拍数がある目安となる。トレーニング実施中に知ることのできる指標であれば、毎回のトレーニング時に効果を確認することができる。もちろん、信頼性の高いことは必須の要件である。

#### IV まとめ

近年の運動生理学的研究の進歩と体力に関する社会的需要の高進は、体力測定の質と量を充実させてきた。しかし、体力測定の目的あるいは多様な需要に応じた体力測定のあり方などの点に関する論議は少なく、体力測定がその本来の目的を達することなく行われている場面も多い。

文部省で定めている体力・運動能力テストに対する批判は多い<sup>42) 48)</sup>。体力要因を筋力、パワー、敏捷性、柔軟性、平衡性、持久力あるいは調整力といった内容に分類することの是非は別として、その指標を握力、背筋力、垂直跳び、肺活量、体前屈、サイドステップという簡便さだけに頼った測定法によって評価することに疑問があるのも当然である。芝山ら(1985)<sup>42)</sup>は、現代の体力テストは社会的サービスを別として発達した体力科学に裏付けられた内容を持つべきであると論じた。これは、現在なお行われている安易な体力テストに対する批判と受け止めることができる。しかし、この様な批判がありつつも、依然として握力、体前屈が行われていることは事実である。しかも、最大酸素摂取量の間接測定まで含めた総合的なフィットネステスト<sup>35)</sup>においてである。なぜその様な事実が存在するのか。その事実の認識なく論議を重ねても、得るところは少ない。芝山ら(1985)<sup>42)</sup>は同時に、体力あるいは体力測定に関する基礎的論理の不足を示唆しているが、まさに、体力あるいは体力測定に関するモデルの提示もその妥当性の検討もなくその論議を展開していったところに、現在の体力科学の成果が広く浸透していない原因を求めることもできるだろう。

本論では、体力測定に関する基礎的な考察を進める上で論議の基盤となる仮説を提示しながら検討を進めてきた。まだまだ考慮しなくてはならない点は多々存在し、

議論も不十分なままではあるが、仮説の提示と検証、モデルの提示と妥当性の検討というステップを一つずつ積み上げなければ解決の道が示されないことは、日常的に実施されている体力測定においても同様である。体力科学における真の研究が、体力測定に関する問題の解決に貢献することが望まれる。

#### 付録 I 本論文であげた仮説

- 仮説1：「体力測定の必要性は、その需要によって生起する。」
- 仮説2：「体力測定の需要を生起させる主体が何かということによって、体力測定の意義が異なる」
- 仮説3：「体力測定の目的に応じてどの面の体力・能力を主に測定するかが決められ、それに適した体力測定の内容や方法が選ばなければならない」
- 仮説4：「評価のための資料を提供するのが測定の役割である」<sup>31)</sup>
- 仮説5：「体力評価の方法は、体力測定の目的によって異なる」
- 仮説6：「体力測定の目的によって、測定項目に必要とされる特性が異なる。」
- 仮説7：「体力の評価は、個々の体力の限界すなわち潜在能力に基づいて行われるべきである」
- 仮説8：「個人のトレーニングの内容は、個人の設定した実現可能な目標によって決定されるべきものである」
- 仮説9：「トレーニング継続中に随時行う体力測定の主目的はトレーニングの効果を確認することである。したがって、その測定項目は、トレーニング内容すなわち本人の望む到達目標と関連するものだけでよい。その評価は、トレーニング中に確認できる指標で行うことが望ましい。」

#### 付録 II 生理学的観点からみた体力

筋収縮のエネルギーを生み出すのは化学反応であり、その反応によって生み出される単位時間当りのエネルギーがパワーということになる。しかし、最終的に熱になるまでの一連のエネルギー変換過程の中のどの部分のパワーを捉えているのかということによって、その意味も異なる。例えば、単位時間当りの基質の分解量として捉える場合と、自転車エルゴメーターの抵抗付加部分で発生する熱として捉える場合とでは、パワーの意味も異なる。一般的には、前者が生理的パワー、後者が機械的パワーなどのように異なる名称で呼ばれる。しかし、生理

的と呼ばれる 化学反応の パワー に関して、例えば、グリコーゲンが完全燃焼した場合には1モル当り約690 kcal のエネルギーが発生するが、このうち ATP の再合成に用いられるのは約400kcal に過ぎない。すなわち、どの部分の変化を問題とするかということによって大きさが異なるということになる。

また、生体内ではそのパワーを供給し続けられる能力すなわちエネルギー容量という概念も重要となる。これは、英語の“capacity”に相当する。しかし、power と capacity に関しては、従来も誤用が多い。例えば、最大酸素摂取量を maximal work capacity とする表記<sup>2)29)</sup>もあるが、これは power の次元を持つ量であり、capacity とは区別すべきである。この点に関して宮下(1985)<sup>34)</sup>は、3種類のエネルギー供給機構の各々に power と capacity の概念を設定し、各々の能力を別個に評価すべきだとしている。これらの能力に関しては、数々の測定法が提案されてはいるが、そのモデルに関しては必ずしも明らかではない。

そこで、本章では、各エネルギー供給機構のモデルと、これまでに提案されてきた各々の測定法について概説する。

#### A. 3つのエネルギー供給機構とその能力の生理学的意味

##### 1. 非乳酸性機構

ATP, CP 等の高エネルギー磷酸化合物の分解によって発生するエネルギー。ただし、ATP の高エネルギー磷酸結合のエネルギーは約10 kcal/モルであるのに対し、他の高エネルギー磷酸結合では12-13kcal/モルとなる。したがって、遊離した有機磷酸の濃度変化だけに着目して、10 kcal/モルの比率でパワーを捉えることが必要となる。安静時の筋中に含まれる高エネルギー磷酸結合の総量が、非乳酸性エネルギー供給機構の容量ということになる。

##### 2. 乳酸性機構

グリコーゲンが乳酸にまで分解されるときに発生するエネルギーとされている。このとき、1モルのグリコーゲンに対して3モルの ATP が再合成される。そこで、筋から滲出した乳酸によってそのエネルギー量が評価されてきた。しかし、いったん無酸素的に乳酸を産生しても、筋中でグリコーゲンに再合成される場合もあり、血液への滲出乳酸では解糖系のパワーを正しく評価することはできない。強いて言うならば、ピルビン酸から乳酸に至る経路の反応量から評価することになる。ただし、乳酸からピルビン酸への逆反応のうち、グリコーゲンへ再合成されるものと TCA 回路で酸化されるものとは

その意味が異なり、有酸素性機構のパワーとの分離が難しい。

また、乳酸性機構の容量については、厳密には定義できない。乳酸性機構を制限するのは、基質(グリコーゲン)の貯蔵量ではなく、反応の結果として産出された乳酸(水素イオン)による筋収縮の阻害である。阻害の内容としては、トロポニン、カルシウムの放出など収縮機構そのものに関するもの<sup>13)14)15)</sup>と、ATPase, PFK 等の酵素活性の低下<sup>38)47)</sup>がある。そして、これは、全ての組織で一斉に起こるという性質のものではない。すなわち、乳酸性機構を終了させる作用も組織も特定することができないというわけである。乳酸性機構の容量という概念そのものが、理念上も架空のものであるといわざるを得ない。実際、乳酸性の容量に関する論議においては、「乳酸耐性」などの表し方をすることが多い<sup>17)27)</sup>。

#### 3. 有酸素性機構

有酸素性機構の基質としては、グルコース、脂肪酸を始めとして、様々な栄養物質が充てられる。これらはいづれも TCA 回路で分解され、ATP を再合成するためのエネルギーを提供する。この反応は、筋細胞内のミトコンドリアで行われる。したがって、有酸素性機構の発揮するパワーは、ミトコンドリアで合成される ATP の量として捉えることができる。ただし、容量については、肝臓あるいは脂肪組織など様々な部位の基質を利用するため、運動を終了させる要因をエネルギー基質の総量として特定することはできない。乳酸性機構と同様、有酸素性機構の容量も厳密には定義できない。

#### B. エネルギー供給機構からみた体力の測定法

前章であげた定義はあくまでも概念上のものであって、現在の生理・生化学的手法では量定することはできない。実際には、身体運動という一連のエネルギー変換過程の中の、別の部位を通過するパワーあるいは別の意味を持つ容量を測定することになる。そこで、本稿では、実際に行われている測定法を紹介し、前項の定義との関連について検討する。

##### 1. 非乳酸性パワー

10-15 秒程度の全力運動で発揮されるパワーの最大値<sup>8)</sup>。

実際には、3-5 秒程度で最大パワーが得られることが多い。運動様式としては、階段の駆け上がり<sup>30)</sup>、垂直とび<sup>11)</sup>、自転車エルゴメーター全力駆動<sup>22)</sup>などがある。前二者については身体重心の鉛直方向の運動エネルギーに転化されたパワー、後者についてはエルゴメーターの抵抗付加装置部から熱となるパワーを計測していることとなる。Di Prampero (1981)<sup>12)</sup>はここから得られたパワ



一値に係数(効率の逆数)を乗ずることによって生理的パワーを評価することができるとしているが、機構の異なる有酸素性運動で定量された効率値をそのまま適用することはできない。この機構におけるエネルギー損失要因としては、ATP分解反応時の微細組織(フィラメントなど)の機械的抵抗、筋・関節の抵抗、四肢分節の内の仕事から熱となるエネルギーなどがある。

## 2. 非乳酸性容量

Bouchard et al. (1982)<sup>8)</sup>は、非乳酸性容量を10-15秒間の全力運動で発揮されたエネルギーと定義づけたが、同時に、その測定法として、自転車エルゴメーター全力駆動時の5秒間<sup>4)</sup>あるいは6秒間<sup>25)</sup>の平均パワーを例示した。各提案者はそれぞれの指標を「パワー」と呼称しており、非乳酸性パワーとの区働が難しい。また、6秒程度の全力運動でも既に筋中に乳酸の蓄積がみられ<sup>7)</sup>、非乳酸性機構だけの容量を特定することはできない。

## 3. 乳酸性パワー

全力作動継続時の乳酸性機構のエネルギー産生が飽和した時点の最大パワー<sup>9)</sup>。Bouchard et al. (1982)<sup>8)</sup>は、自転車エルゴメーター全力駆動時の30秒の時点でのパワーを計測している。その瞬間の発揮エネルギーがすべて乳酸性機構によっているとは考えられないし、乳酸性パワーが最大になる時点も特定することもできない。この様な測定法に実用的な意義があることは認められても、それに生理学的な裏付けを求めようとするには無理があるだろう。

## 4. 乳酸性容量

乳酸性機構のエネルギー産生が飽和する程度の運動において発揮された総エネルギー量。30秒間の自転車エルゴメーター全力駆動<sup>4)</sup>が代表的であるが、60秒間<sup>43)</sup>あるいは120秒間<sup>25)</sup>のものも報告されている。運動時間が一定しないのは、乳酸性機構の終了時点も特定できないこと(前項参照)の現れである。この点について、Bar-Orは、「被検者に対する苦痛が最も少ないという観点から30秒が適当」<sup>5)</sup>と述べた。乳酸性機構に関する測定は、実用的観点から評価されるべきものであり、生理学的意義を強調することには意味が少ない。

## 5. 有酸素性パワー

単位時間当りに摂取できる酸素量の最大値<sup>18)</sup>。10分程度で終了する漸増負荷試験によって決定される。定常状態での酸素摂取量は筋中での酸素の利用量とつり合うと考えられる。筋中の酸素はミトコンドリアでのATP再合成に利用されるため、有酸素性パワーの指標となっている。ただし、基質の種類によって、ATP合成に必要な酸素の量が異なる。したがって、生理学的観点から最

大酸素摂取量をとらえる場合には、定常状態か否か、基質の種類は何か、ということが問題となる。

## 6. 有酸素性容量

先に述べたように、生理学的に厳密には定義できない。3つのエネルギー供給機構のパワーと容量の2つの観点からとらえるのに都合がよいという理由で提示されたものと思われる。具体的な測定法としては、90分間の自転車駆動における総仕事量<sup>9)</sup>がある。

(指導教官 武藤芳照助教授)

## 謝 辞

本論の執筆に当たっては、宮下充正教授、武藤芳照助教授のご指導を頂いた。感謝の意を表す。

## 文 献

- 1) Anderson, K.L. and Hermansen, L., 1965, Aerobic capacity in young Norwegian men and women. *J. Appl. Physiol.*, 20, 425-431.
- 2) Åstrand, I., 1960, Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 169, 1-92.
- 3) Åstrand, P.O. and Rhyding, I., 1954, A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.* 7, 218-221.
- 4) Bar-Or, O., et al., 1980, Anaerobic capacity and muscle fiber type distribution in man. *Int. J. Sports Med.*, 1, 82-85.
- 5) Bar-Or, O., 1986, The Wingate anaerobic test.—Characteristics, Methodology and Applications. *Colloquia in American College of Sports Medicine 33rd Annual Meeting, Indianapolis, USA.*
- 6) Beckenholdt, S.E. and Mayhew, J.L., 1983, Specificity among anaerobic power tests in male athletes. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 23, 326-332.
- 7) Boobis, L., et al., 1983, Human muscle metabolism during brief maximal exercise. *J. Physiol.*, 338, 21P-22P.
- 8) Bouchard, A.W., et al., 1982, Testing maximal anaerobic power and capacity. In: *Physiological Testing of the Elite Athletes.* J.D. MacDougall, et al. Eds., The Canada Association of Sports Sciences, pp. 61-73.
- 9) Boulay, M.R., et al., 1985, Specificity of aerobic and anaerobic work capacities and powers. *Int. J. Sports Med.*, 6, 325-328.
- 10) Crielaard, J.M. and Pirnay, F., 1981, Anaerobic and aerobic power of top athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 47, 295-300.
- 11) Davies, C.T.M. and Rennie, R., 1968, Human power output. *Nature*, 217, 770-771, 1968.
- 12) Di Prampero, P.E. and Mognoni, P., 1981, Maximal anaerobic power in man. *Medicine and Sports*, Vol. 13, Karger, Basel, pp. 38-44.
- 13) Faviato, A. and Faviato, F., 1978, Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinnws cells from cardiac and skeletal muscle. *J.*

- Physiol., 276, 233-255.
- 14) Fuchs, F., 1979, The relationship between pH and the amount of calcium bound to glycerinated muscle fibers. *Biochem. Biophys. Acta*, 585, 477-479.
  - 15) Fuchs, F., et al., 1969, The interaction of cations with the binding site of troponin. *Biochem. Biophys. Acta*, 221, 407-409.
  - 16) 福永哲夫著「ヒトの絶対筋力」杏林書院, 1978.
  - 17) Hermansen, L., 1969, Anaerobic energy release. *Med. Sci. Sports*, 1, 32-38.
  - 18) Hill, A.V., et al., 1924, Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. VII and VIII. Muscular exercise and oxygen uptake. *Proc. Roy. Soc. London Ser. B*, 97, 155-176.
  - 19) 北米YMCA同盟編「YMCA フィットネス・プログラム」酒井哲雄ほか訳, YMCA出版, 1985.
  - 20) 猪飼道夫著「日本人の体力」日本経済新聞社, 1967.
  - 21) 池上晴夫著「運動処方」朝倉書店, 1982.
  - 22) 生田香明, 猪飼道夫, 1972, 自転車エルゴメーターによる Maximal Anaerobic Power の発達の研究, *体育学研究*, 17, 151-157.
  - 23) International Committee for the Standardization of Physical Fitness, "Fitness, Health, and Work Capacity.—International Standards for Assessment—" Macmillan Publishing Co., 1974.
  - 24) 石河利寛著「スポーツとからだ」岩波書店, 1970.
  - 25) Katch, V., 1974, Body weight, leg volume, leg weight and leg density as determiners of short duration work performance on the bicycle ergometer. *Med. Sci. Sports*, 6, 267-270.
  - 26) Katch, V.L. and Weltman, A., 1979, Interrelationship between anaerobic power output, anaerobic capacity and aerobic power. *Ergonomics*, 22, 325-332.
  - 27) Kinderman, W. and Keul, J., 1977, Lactate acidosis with different forms of sports activities. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 2, 177-182.
  - 28) 小林寛道著「日本人のエアロビック・パワー」杏林書院, 1982.
  - 29) Komi, P.V., et al., 1977, Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol. Scand.*, 100, 107-114.
  - 30) Margaria, R., et al., 1966, Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J. Appl. Physiol.*, 21, 1662-1664.
  - 31) 松浦義行著「体力測定法」朝倉書店, 1983.
  - 32) 宮下充正著「トレーニングの科学」講談社, 1980.
  - 33) 宮下充正著「体育とはなにか」大修館書店, 1984.
  - 34) 宮下充正, 1985, カナダのスポーツ選手の体力を測る, *Jpn. J. Sports Sci.*, 4, 591-597.
  - 35) 中村好男, 1985, アルバータ大学のフィットネステスト, *Jpn. J. Sports Sci.*, 4, 844-851.
  - 36) 日本体育協会編「体力テストの活用と方法」, 1979.
  - 37) 日本体育協会スポーツ科学委員会編「体力テストガイドブック」ぎょうせい, 1982.
  - 38) Portzehl, H., et al., 1969, The activation of calcium on the ATPase of exerted muscle fibres with variations of ionic strength, pH, and concentration of MgATP. *Biochem. Biophys. Acta*, 89, 440-448.
  - 39) Sahlin, K. and Henliksson, J., 1984, Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. *Acta Physiol. Scand.*, 122, 331-339.
  - 40) Saltin, B. and Åstrand, P.-O., 1967, Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.*, 23, 353-358.
  - 41) Sharp, R.L., et al., 1986, Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int. J. Sports Med.*, 7, 13-17.
  - 42) 芝山秀太郎, 深代泰子, 1985, 体力テストの現代的意味, *体育の科学*, 35, 432-436.
  - 43) Shözy, A. and Cherebetiu, G. 1974, Minutentest auf dem Fahrradergometer zur Bestimmung der anaeroben Kapazität. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 33, 171-176.
  - 44) Taylor, H.L., et al., 1955, Maximum oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.*, 8, 73-80.
  - 45) Tesch, P., 1980, Muscle fatigue in man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 480.
  - 46) Thorstensson, A., 1976, Muscle strength, fibre types, and enzyme activity in man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 443.
  - 47) Trivedi, B. and Danforth, W.H., 1966, Effect of pH on the kinetics of frog muscle phosphofructokinase. *J. Biol. Chem.*, 241, 4110-4221.
  - 48) 湯浅景元, 1985, 文部省体力テストを解剖する, *体育の科学*, 35, 444-450.