

氏名	中田 征克
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博甲第684号
学位授与の日付	平成16年9月30日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	最大反復把握作業を用いた筋持久力評価変数の検討—筋力発揮値と筋酸素動態との関係から—
論文審査委員(主査)	出村 慎一(教育学部・教授)
論文審査委員(副査)	藤原 勝夫(医学系研究科・教授), 外山 寛(医学系研究科・助教授), 寺沢 なお子(教育学部・助教授), 増田 和実(教育学部・助教授)

## 学位論文要旨

This study aimed to examine effective parameters, by finding the reproducibility of muscular strength exertion and muscle oxygenation kinetics, and relationships of the muscular endurance parameters and muscle oxygenation kinetics on maximal repeated rhythmic grip (RRG) with a target frequency of 30 grips $\cdot$ min<sup>-1</sup> for 6 min. Subjects of this study were 10 males, aged 20-26 years (height 173.9  $\pm$  7.3 cm, body weight 71.5  $\pm$  11.2 kg), and 15 males, aged 18-26 years (height 172.4  $\pm$  5.7 cm, body weight 68.2  $\pm$  9.2 kg).

It was inferred that the trial-to-trial reproducibility of muscular strength exertion and muscle oxygenation kinetics is high and the pre- and post-phases of the inflection point of decreasing muscular strength exertion depend on different physiological factors in RRG. The decreasing time until 80% of MAX and the amount of decrement force for the first 1 min reflects a marked decreasing phase. The decreasing time until 60% of MAX and the force of maximal difference tended to evaluate the phase shift from a remarkable force decrease to a gradual force decrease.

### I. 序論

最近、健康と関連の高い体力という意味での健康関連体力(health-related physical fitness)という概念が提唱されている(出村と村瀬,1999)。この健康関連体力を構成する要素には、筋力、筋持久力、全身持久力、敏捷性、柔軟性、平衡性、および体組成が含まれている。筋力、筋持久力、全身持久力は、目的とする日常生活動作を余裕をもって成就するために不可欠な体力要素である。日常生活動作は、単発的に行われるものだけでなく、その動作を持続し続けなければならないことも多いため、動作を発現する筋力のみでなく、動作を持続する筋持久力や全身持久力も重要となる。筋持久力テストは、文部科学省の新体力テスト(1999)でも重要視され、上体起こしテストが小学生から高齢者(6~79歳)までを対象に用いられている。一般に筋持久力の測定には、腕立伏臥腕屈伸や上体起こし等が用いられるが、これらの作業は、体格や最大筋力の個人差の影響を強く受ける(Eckert and Day,1967)。また、新体力テストにおける高齢者(65~79歳)対象のADL(Activity of Daily Living)調査では、「総合得点:2点以下」の場合、上体起こしを実施しないことを謳っているように危険性もある。つまり、上体起こしは体力低下の著しい高齢者の場合には必ずしも有効なテストとは言えない。握力テストは、実施可能な年齢幅が広く、安全性の高いテストとして普及している。新体力テストの筋力テストとしても採用されている。

筋持久力とは、「一定の筋運動を長時間持続する能力」と定義される(山田と福永,1997)。その作業は反復的な持続的筋力発揮作業に限らず、持続的な等尺性筋力発揮作業における筋力発揮値の低下度からも評価され(Bemben et al., 1996; Clarke et al., 1992; Yamaji et al., 2000)、多くの筋持久力テストが提案されている。等尺性筋力発揮は測定動作を規定しやすいという利点があるが、実際の生活動作では、反復動作の方がよく利用される。また、高い強度の等尺性筋力作業の持続は血圧上昇が生じるため(木村ら,1999;Petrofsky and Hendershot,1984)、高齢者には不向きである。

一方で、従来の筋持久力テストを含め、反復動作による合理的な筋持久力テストを確立するためには解決すべき課題も多い。まず、反復的な筋力発揮作業による筋持久力では、最大筋力や筋パワーに比べ測定に長い時間を要するため、被験者に強い苦痛を与え、発揮値に測定誤差が含まれやすい(Bowei et al., 1971; Nagasawa et al., 2000)。そのため、再現性は、最大筋力や筋パワーの測定に比べ低くなりやすい。これまで持続的な筋力発揮における力-時間曲線の再現性は検討されているが(Capodaglio et al., 1997; Lagerstrom and Nordgren, 1996, 1998; Wallstrom and Nordenskiold, 2001)、先行研究によって力-時間曲線の変数(例えば、力積、持続時間など)は異なっている。また、持久的な筋収縮に関与する生理学的要因(例えば、筋酸素動態や筋線維動員)は発揮時間や発揮強度、動作様式によって変化することから(Humphreys and Lind 1963; Hermansen et al. 1967; Nielson and Ingvar 1967)、測定方法の組み合わせ(例えば、発揮強度と発揮時間)によって、疲労による経時的な筋力発揮値の低下局面の再現性は異なる可能性が考えられる。反復的な筋力発揮から筋持久力の評価を試みた場合、再現性の低い局面を採用することは問題である。したがって、反復的な筋力発揮における筋力発揮の各低下局面や各局面を評価する変数の信頼性を明らかにしておく必要がある。また、筋持久力を規定する生理学的要因は、評価される時間や筋力の低下局面によって異なる(加賀谷, 1994)。つまり、筋持久力の生理学的要因を考慮して評価局面を選択することが重要である。さらに、生理学的要因と筋力発揮との関係から筋力発揮の低下局面を検討するためには、生理学的要因の再現性も確認しておく必要がある。

最大努力の反復作業における筋力発揮値の低下は初期局面において著しいが、一定張力まで低下した後は、ほぼ定常状態に到達し、ほとんど低下しなくなる(加賀谷と岩村, 1989)。加賀谷ら(1989,1994)は、持続性の足関節底屈背屈の筋力発揮において、二つの回帰直線から力-時間曲線の変曲点を算出し、筋力発揮値の低下が著しい局面とほとんど低下がみられない局面(変曲点前後の局面)に分類している。彼女らは変曲点が筋力発揮値の低下速度の変化点であるだけでなく、変曲点前後では筋力発揮に関与する生理学的要因(筋線維動員や筋酸素動態など)が異なり、初期局面は筋への血液供給が遮断されるため、活動筋の酸素不足が生じ、嫌氣的な筋力発揮が主流となり、血流が再環流した後半局面は、酸素供給量が十分となった状態で筋収縮が可能となることを示唆している。この仮説は、筋力発揮値の低下速度の変化を手がかりに、生理学的要因の関与の異なる筋持久力を評価しうることを示唆している。

さらに、筋持久力評価変数は、これまで数多く提案されており、時系列データに基づく算出方法から、低下時間、力積、低下率、終末筋力値などにより大別されている(加賀谷,1994;山田と福永,1997)。しかしながら、これらの変数は、前述の筋持久力の定義に従っているだけで、生理学的要因との関係は十分検討されていない。これまで提案された筋持久力の評価変数に関して、生理学的要因との関連、および評価変数間との関係を検討し、有効な変数を選択する必要がある。また、筋持久力は測定時間によって評価される筋持久力も異なる可能性があり、この点についても検討が必要であろう。

以上のことを踏まえて、本研究では、最大反復把握作業を利用して、発揮値と生理学的要因の再現性、発揮値あるいは筋持久力評価変数と生理学的要因との関係を明らかにし、

有効な評価変数を検討することを目的とする。

## II. 研究課題

本研究で解決すべき研究課題を3つ設定した。

1. 先行研究(第2章1節)より、筋持久力測定に用いられる最大反復把握作業(力-時間曲線)時の発揮値、および力-時間評価変数の再現性を検討する必要がある。そして、生理学的要因を考慮した筋持久力の評価変数を選択する場合は、その作業の再現性に加え、それに対応する生理学的要因の再現性も確認する必要があると考えられた。したがって、研究課題Iでは、最大反復把握作業における筋力発揮値および筋酸素動態の再現性を確認し、力-時間評価変数の代表的な変数と筋酸素動態の変化点の信頼性を検討することを目的とする。
2. 先行研究(第2章3節)より、高強度負荷の反復筋力発揮において、低下する筋力発揮値や低下速度の変曲点とその生理学的要因の関係はほとんど明らかにされていないことが示唆された。したがって、研究課題IIでは、最大反復把握作業における筋力発揮値(力-時間曲線)、およびその力-時間曲線から評価された変数と筋酸素動態の変化点の関係を明らかにし、力-時間評価変数を筋酸素動態の変化局面により分類することを目的とする。
3. 研究課題IおよびIIにおいて、代表的な筋持久力の評価変数の信頼性や生理学的応答との関連を確認したとしても、力-時間曲線から算出される変数は、時系列データの力軸と時間軸の組み合わせで無数に作成することができる。先行研究においても非常に多くの変数が提案されている(第2章2節)。これらの評価変数は算出方法によって分類されている(加賀谷,1994;山田と福永,1997)が、算出方法が異なっても生理学的な背景からは同じ観点に整理すべき変数も存在する。したがって、これらの評価変数を研究課題I、IIにおいて有効とされた変数を中心として整理する必要がある。また、本研究では、先行研究(Huczal and Clarke;1992)を参考に、最大努力の反復による筋力発揮作業(6分間)を選択したが、作業に対する意欲の低下が評価に影響する可能性があることから、作業はできるだけ短い方が好ましい。したがって、研究課題IIIでは、各評価時間(3分および6分)における筋持久力評価変数相互の関係、および各評価変数における評価時間間(3分と6分)の関係の検討から、有効な評価変数を明らかにすることを目的とする。

## III. 測定装置および実験手順

### 1. 測定装置

握力計は、ロードセル式握力解析装置(酒井医療; EG-100)を用いた。握力発揮値はサンプリング周波数20Hzでパーソナルコンピュータに取り込まれた。被験者のモチベーションをあげるため、記録されたデータは画面に波形として即時に表示し発揮値をフィードバックした。

最大反復把握作業中の筋酸素動態は、近赤外分光法を用いて測定した(バイオメディカルサイエンス; PSA-III-N)。近赤外分光法の測定装置はプローブと計測装置からなる。プロー

ブの光源は波長  $\lambda_1$ :700nm、 $\lambda_2$ :750nm、 $\lambda_3$ :830nm のライトエミティングダイオード (LED) 光であり、光源から受光センサーまでの距離は第1受光センサーまでが10mm、第2受光センサーまでが25mmであった。LED光は組織内で拡散もしくは吸収される。拡散された光は同じサイズの2つの受光センサーにおいてサンプリング周波数10Hzで計測された。受光センサーからLED光までの深達度は皮膚の表面から深さ15~25mmであり、平均光路長は2つの受光量から算出される。この平均光路長は組織中の酸素飽和度 (StO<sub>2</sub>) とヘモグロビン量(Hb)を算出するために Lambert-Beer の法則に基づき分析された。この装置の原理に関する詳細は酒井と斎藤 (1995) によって報告されている。

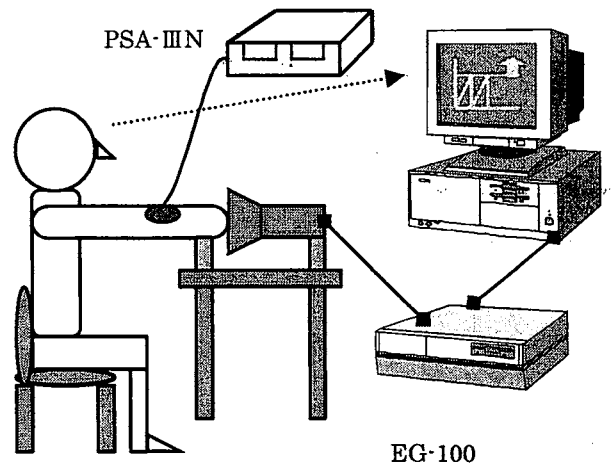


図1 本研究の測定装置

## 2. 実験手順

Oldfield(1971)が作成した利き手調査より利き手を決定した。測定は利き手で行い、握力計の握り幅は指の第2関節が90度になるように被験者毎に調整した。測定は高さが調節可能な椅子を利用して行った。腕は体幹と90度に伸ばし、軽く回内して armrest においた。最大握力を測定した後、目標値である最大握力値を1分間に30回のリズムで6分間発揮しつづける最大反復作業 (Huczel et.al;1992) を行った。テスト中は口頭による励ましは行わなかった。筋酸素動態測定のプローブは利き手前腕の浅指屈筋中央部に装着し、2分間の安静状態及び反復把握作業中の筋酸素動態を測定した。

## IV. 研究結果の概要

本研究における研究課題を検討するため、20~26歳の健常青年男子10名(身長173.9±7.30cm、体重71.5±11.23kg)、18~26歳の健常青年男子15名(身長172.4±5.70cm、体重68.2±9.15kg)を対象として各測定を実施した。

### 研究課題Ⅰ:最大反復把握作業における筋力発揮値と筋酸素動態の再現性、および力-時間評価変数と筋酸素動態の変化点の信頼性の検討

- 1)筋力発揮値および筋酸素動態とも6分間全体では、試行間の類似性は非常に高い。
- 2)力-時間評価変数及び筋酸素動態の変化点の信頼性は比較的高かった。
- 3)変曲点の信頼性が確認されたことから、この算出法による変曲点は、最大努力の反復作業における筋力発揮値の低下が著しい初期局面とほぼ定常状態に到達し、ほとんど低下しなくなる局面に分類できると考えられた。

以上のことから、本研究で用いた最大反復把握作業は、生理学的要因の貢献度が異なる筋力発揮値の低下が著しい局面と低下が緩やかになる局面を含んでおり、また、その作業の再現性は高く、筋力の低下が緩やかになるまでの局面の力-時間評価変数および筋酸素動態の変化点の再現性は中程度以上であることが明らかにされた。

### 研究課題Ⅱ:最大反復把握作業時における筋力発揮と筋酸素動態との関係の検討

- 1) Oxy-Hb/Mb は筋力発揮開始から約10秒(発揮値:約90%低下局面)まで著しく低下し、Deoxy-Hb/Mb は約60秒(発揮値:約70-80%低下局面)まで著しく増加する。これらの局面は、酸素需要量に対する酸素供給量の不足が生じる。

- 2) Deoxy-Hb/Mb は最高値到達後、筋力発揮開始約 120 秒(発揮値：約 50%低下局面)まで低下し、ほぼ定常状態に到達する。この局面より活動筋への酸素供給が十分となる。
- 3) Deoxy-Hb/Mb 最高値到達時間は、変曲時間と高い関係( $r=0.84$ )がある。つまり、酸素需要量に対する酸素供給量が不足し、Deoxy-Hb/Mb が増加する局面が長い者ほど、変曲点が遅く現れる。
- 4) Oxy-Hb/Mb 増加局面の回帰係数は、変曲時間と中程度の有意な関係( $r=0.63$ )がある。つまり、酸素需要に対して、Oxy-Hb/Mb の急激な増加により早く酸素供給ができる者ほど、変曲点が遅く現れる。
- 5) Deoxy-Hb/Mb 最高値到達時間は、MAX70%維持時間 ( $r=-0.72$ ) との間に高い関係があったが、MAX60%維持時間との関係は低かった( $r=-0.26$ )。筋力低下が著しい初期局面とほぼ定常状態となる局面を分類する筋力発揮低下の変曲点前後では、筋力発揮に關与する生理学的要因が異なることが示唆された。

### 研究課題Ⅲ：力-時間評価変数評価変数における評価時間間の関係および変数相互間の関係

- 1) 力-時間評価変数の 60%および 70%維持時間、および力積は両評価時間間(3 分と 6 分)で非常に高い相関係数 ( $r=0.97\sim 0.99$ ) が認められた。
- 2) MAX80%維持時間および 1 分間の初期低下量は 3 分以内での評価が可能であり、最大反復把握作業における初期局面を、また、終末筋力は筋力発揮値の低下が緩やかな後半局面を捉えている。
- 3) MAX60%維持時間と低下直線との最大差は、筋力低下の著しい低下局面から緩やかな低下に移行する局面を捉えている。

以上のことから、最大反復把握作業において、力-時間評価変数の MAX60~80%維持時間、握力発揮開始 1 分間の低下量、および力積は、3 分で 6 分と同等の評価が可能である。MAX80%維持時間および 1 分間の初期低下量は筋力発揮の低下が著しい初期局面を、また、終末筋力は筋力の低下が定常状態になる後半局面を反映する。MAX60%維持時間や低下直線との最大差は、筋力低下の著しい低下局面から緩やかな低下に移行する局面を捉えていると判断される。

## 学位論文審査結果の要旨

本論文は、最大反復把握作業における筋力発揮値(力-時間曲線)と筋酸素動態との関係、および筋酸素動態と筋持久力の評価変数との関係を検討し、以下の成果を得ている。

(1) 最大反復把握作業による力-時間曲線は、著しい低下局面と緩やかな低下局面からなる。力-時間曲線の再現性は高く、筋力発揮の低下の著しい局面を評価した力-時間評価変数および筋酸素動態の変曲点の信頼性は比較的高い。(2) 最大反復把握作業における筋力発揮の低下速度の変曲点は、筋酸素動態と関連があり、変曲点前後の局面では關与する生理学的要因が異なることを確認した。(3) 力-時間評価変数の最大筋力(MAX)の 60~80%維持時間、1 分間初期低下量、および力積は、評価時間 3 分で 6 分と同等の評価が可能と判断された。(4) MAX80%維持時間および 1 分間初期低下量は筋力発揮の低下が著しい局面を反映する。MAX80%維持時間は、信頼性が高く、筋酸素動態との関連が認められたことから、この局面を評価する変数として適当と判断された。(5) MAX60%維持時間および筋力低下直線との最大差は、筋力発揮の低下が著しい局面から緩やかになる局面までを反映する。MAX60%維持時間は、信頼性が高く、この局面を評価する変数として適当と判断された。

以上のように、本論文は、最大反復把握作業における筋力発揮値(力-時間曲線)と筋酸素動態との関係から筋持久力を評価する有効な変数を提示した。したがって、審査委員会は本論文が博士論文(学術)に値すると判定した。