

機関番号：34306

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500506

研究課題名(和文) 視覚・固有受容系による各種動的筋力発揮調整能の優先性に関する研究

研究課題名(英文) Study on priority of various dynamic controlled force exertion using visual and proprioceptive feedback

研究代表者

長澤 吉則 (NAGASAWA YOSHINORI)

京都薬科大学・薬学部・准教授

研究者番号：40299780

研究成果の概要(和文)：同じ振幅および周波数を用いた正弦波形と疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能の誤差は年代の増加と共に同様な増加傾向を示し、50歳代以降は増加の程度が著しい。個人差の変動は正弦波形と疑似ランダム波形表示法でほぼ同程度である。本研究で作成した暫定的標準値に基づき、個人の筋力発揮調整能の評価が可能である。正弦波形と疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能評価は中程度の関係があり、その関係には年齢段階差がない。

研究成果の概要(英文)：The errors in controlled force exertion of the sinusoidal and quasi-random waveforms using the same amplitude and frequency tended to increase with age group, and the increase-rate was remarkable in groups older than 50 years of age. The change in individual differences was the same degree in both waveforms. An individual's controlled force exertion by the provisional norm as devised in this study can be properly evaluated. The controlled force exertion evaluation based on the sinusoidal and quasi-random waveform displays has a moderate relationship, and this relationship does not show age-level differences.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2009年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2010年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：測定評価、運動生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：握力、筋調整能、要求値、神経-筋機能、生体情報解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 身体運動は、筋肉と腱を介して関節の回転運動の上に成り立っている。特に運動・ス

ポーツ活動の多くが筋と腱を複合的に活用した伸張-短縮サイクル運動(以下、動的筋力発揮)によって行われていることが、近年

明らかにされている。つまり、筋・腱複合体の動的筋力発揮による運動遂行能力が運動・スポーツ技能を決定づける重要な要因の一つである。しかし、動的筋力発揮による運動遂行能力を基準化した、評価指標ならびに評価方法は確立されていない。

(2) 競技者あるいは一般人の体力や運動技能の測定では、最大能力発揮の研究に主に関心が向けられてきた。筋力測定についても最大努力に基づく測定が主として行われている。最大筋力の測定は一定の外部負荷に対する抵抗力や筋（エネルギー）系の体力を把握するために重要と考えられる。しかし、人間の運動成就是、エネルギー系の体力と同様に神経系の体力の影響を受ける。神経系の体力は、巧みに、効率的に行う最大下の動作に主として関与する。フィードバック情報が要求される手足の運動や目と手の協調など、いわゆる局所の動作の成就是には、神経-筋系の調整能力（筋力発揮調整能）が深く関与する。日常生活においては、最大筋力を発揮することは極めて少なく、むしろ最大下の力をいかに有効に持続的に発揮しうるかが重要となる。従って、最大筋力の発揮と同様に動作が各課題に応じて合目的的に発揮しうる筋力発揮調整能を評価することも重要かつ必要と考えられる。この最大下での能力発揮に基づく有効な体力評価法も確立されていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、最大下での能力発揮に基づく有効な動的筋力発揮調整能の測定・評価法を確立することを目的とした。

(2) 具体的には、本研究では、我々が作成した上肢・下肢の筋力発揮調整能測定法を用いて、上肢の動的筋力発揮調整能を測定するテストを作成し、評価法を確立すること、動的筋力発揮調整能測定値の上肢・下肢の関係および差異を横断的、時系列データから検証し、動的筋力発揮調整能の測定・評価法の優先性を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

以前に特別な運動技能トレーニングを行っていない 15~86 歳の健康な成人男性 207 名 (Age 42.1±19.8 yrs、Height 168.6±7.2 cm、Weight 65.8±9.6kg) および成人女性 249 名 (Age 41.7±19.1 yrs、Height 156.3±6.4 cm、Weight 53.0±6.9kg) が日本の高校生、学生、会社員および高齢者から収集された。一般に、神経-筋機能は 10 歳代後半から 20 歳代後半に著しい変化を伴いピークに達し、その後 30 歳以降加齢に伴い緩やかに低下する。被験者は年齢段階に基づき、15-19 歳 (男

性 27 名、女性 27 名)、20-24 歳 (男性 29 名、女性 38 名)、25-29 歳 (男性 25 名、女性 27 名)、30-39 歳 (男性 25 名、女性 41 名)、40-49 歳 (男性 25 名、女性 27 名)、50-59 歳 (男性 23 名、女性 26 名)、60-69 歳 (男性 27 名、女性 36 名) および 70 歳以上 (男性 26 名、女性 27 名) に分類された。本研究では 60 歳以上の被験者を高齢者と定義した。Oldfield (1971) の調査により、全員右手が利手と判断された。身長および体重の平均値は、男女とも各年齢段階の日本人の標準値と比較して、ほぼ同様の値であった。いずれの年代とも平均年齢に有意な性差は認められなかった。全ての者が手首の傷害や上肢に特別な障害はなく、また、中枢あるいは末梢の神経障害の履歴がなく健康状態は良好であった。測定の前に、実験の目的や手順を詳細に説明した。このプロトコルは倫理委員会 (金沢大学健康科学倫理委員会) に承認され、全ての被験者から書面による同意を得た。被験者はいずれも以前に筋力発揮調整能テストの経験がない者であった。

(2) 装置

被験者は必要であれば眼鏡をかけ、画面から適切な距離に立位した。把握部は、被験者が握りやすいと感じる幅に設定した。握力および筋力発揮調整能の測定は、0~979.7N (99.9kg) の測定が可能で、±2% の測定精度をもつ (1~3V の出力レンジ) スメドレー型のデジタル握力計 (GRIP-D5101; 竹井社製、東京、日本) で測定された。この情報は、12 ビットの量子化ビット数 (1~5V の入力レンジ) で A/D 変換後、RS-232C データ出力ケーブル (Elecom 社製、東京、日本) からコンピュータに 10Hz のサンプリング周波数で取り込んだ。

(3) 最大握力の推定

被験者の最大握力は実験の最初に利き手で行われた。被験者は可能な限り握力を発揮することによって最大の等尺性筋力を発揮するよう指示された。5 秒の最大収縮が各最大収縮後に 1 分間の休憩を挟んで 2 回記録された。被験者は収縮中に最大値に到達するよう指示された。被験者には口頭による激励は行わなかった。2 試行のうち、大きい値をその人の握力最大値とした。

(4) 最大下の筋力発揮調整能力課題

最大下の握力 (握力最大値の 5%~25%) を持続的に発揮する以外、一般に行われている握力テストと同様の手順で筋力発揮調整能テストを行った。被験者は手首を屈曲と伸展の間の自然な位置にして、肘を体幹の側に真っ直ぐ下ろした状態で直立した。被験者には、ディスプレイ上の要求値を最も見やすい位置へ任意に立つよう指示した。先行研究に基

づき、波形の画面表示法を採用した。要求値と実際の握力値を同時に画面に出力した。実際の発揮値の変化は、要求値と同様に視覚的・空間的に時間とともに左から右への波形の変化として表示された。要求値は 40 秒の時間中、0.1Hz の周期で変動した。被験者はコンピュータ画面上に表示された要求値と握力の値の差異を最小にしながら握力発揮を行った。擬似ランダム波形の要求値は振幅 π 、周期 $\pi/2$ 毎にランダムに変化させたが、正弦波形と同一の周波数で増減した。被験者は、予備実験において両表示法の要求値を追従することが可能であることを確認した。各個人の体力や筋力は異なるので、絶対的要求値ではなく、相対的要求値を利用した。相対的要求値は最大握力の 5~25% の範囲内で変動した。全ての被験者は全く同じ形の要求関数を示された。各被験者の握力最大値の差異にかかわらず、相対的要求値は常にパソコンの画面上に一定の範囲を変動するようにソフトウェアのプログラムを設定した。要求値は周期的に変動する正弦波形 (図 1) と準周期的に変動する擬似ランダム波形 (図 2) を用いた。画面の順番は画面表示条件毎に各被験者にランダムに提示された。各筋力発揮調整能テストにおいて被験者は、練習 1 回後、3 回実施した。彼らは画面上の要求値を追従し、測定を実施した。疲労の影響を最小にするために、各試行後に 1 分間の休息が与えられた。画面表示条件後に 3 分間の休息が与えられた。全部で 6 試行が行われた。筋力発揮調整能の評価変数として、要求値と筋力発揮値との差の総和 (測定値) を採用した。測定値が小さいほど筋力発揮調整能に優れると解釈した。先行研究に従い、筋力発揮調整能テストの各試行における設定時間は 40 秒間とし、前半の 15 秒間を除外して、3 試行から収集されたデータを用いて評価した。3 試行のうち 2 試行目と 3 試行目の平均値が分析のために利用された。

(5) 解析方法

データは SPSS (version 11.5J for Windows; SPSS Japan, Tokyo, Japan) を用いて分析した。全体および年代別の分布特性を歪度、尖

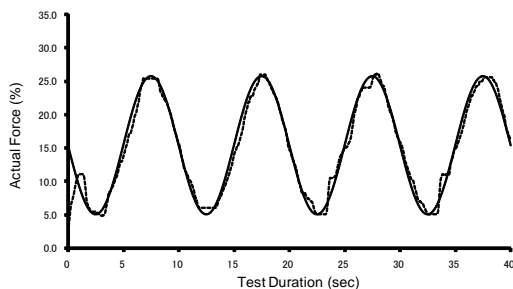


図 1. Sinusoidal waveform display (100 mm x 140 mm) of the demand value. The solid waveform (A) shows the demand value and the broken waveform (B) is the exertion value of grip strength. The test was to fit line B (exertion value of grip strength) to line A (demand value), which varied in the range of 5-25% of maximal grip strength. The length on the display is 33 mm top to bottom. Frequency of change in demand value is 0.1 Hz. The test time was 40 sec for each trial. The coordinated exertion of force was calculated using the data from 25 sec of the trial following the initial 15 sec of the 40-sec period.

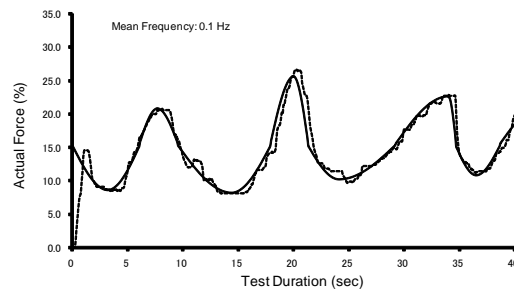


図 2. Quasi-random waveform display (100 mm x 140 mm) of the demand value. The solid waveform (A) shows the demand value and the broken waveform (B) is the exertion value of grip strength. The test was to fit line B (exertion value of grip strength) to line A (demand value), which varied in the range of 5-25% of maximal grip strength value. The demand value was changed to random in π with amplitude and in $\pi/2$ with frequency, respectively. The test time was 40 sec for each trial. The coordinated exertion of force was calculated using the data from 25 sec of the trial following the initial 15 sec of the 40-sec period.

度、および正規性の検定 (適合度の検定: Shapiro-Wilk の W 検定) より判断した。測定値の加齢に伴う変化を検討するため、正弦波形および擬似ランダム波形ごとに直線および 2 次の回帰分析を行い、回帰係数の差の検定を行った。また、年代平均値の有意差 (年代 x 性) を検討するため、底を 10 とする対数変換後、対応のないもしくは一要因に対応のある二要因分散分析を利用した。有意な主効果が認められた場合には、Tukey の HSD 法による多重比較検定を行った。さらに、20-24 歳群の平均値から各年代間の平均値の差の大きさ (効果サイズ) を検討した。正弦波形および擬似ランダム波形の筋力発揮調整能の関係を年代別に検討するために、相関分析が用いられた。年代間および試行間の個人差を検討するため、変動係数を算出した。結果は特別な場合を除き、平均値と標準偏差で示した。有意水準 5% が全ての解析に用いられた。

4. 研究成果

(1) 上肢動的筋力発揮調整能テストの作成

① 正弦波形および擬似ランダム波形の年代差と個人差

測定値は正弦波形および擬似ランダム波形とも、年代が増加する毎に増加傾向を示した。有意な 2 次の曲線回帰が確認されたが、両者の増加率に有意差はなかった (図 3)。分散分析の結果、全ての年代において正弦波形と擬似ランダム波形の平均値間に有意差が認められず、両者とも 50 歳代以降と 20-24 歳群との間の平均値の差が拡大した。個人差

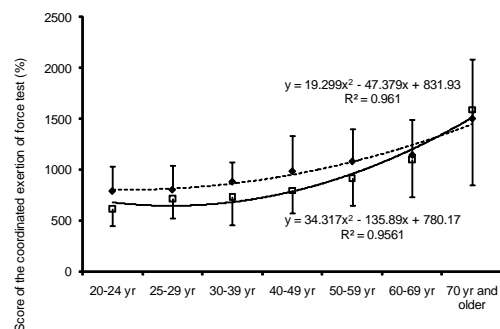


図 3. Age group means of the controlled force exertion test in the sinusoidal (◆) and random (□) demands. The solid line shows the linear regression of random demand, and the broken line is that of sinusoidal demand. * $p < 0.05$.

も両表示法間でほぼ同程度であった。以上より、疑似ランダム波形表示法を用いた筋力発揮調整能測定値の加齢に伴う変化および個人差は正弦波形表示法を用いた場合とほぼ同程度である。

② 上肢動的筋力発揮調整能測定装置の作成

アームとプーリー部によりワイヤーを牽引し、アーム部の張力、ワイヤーの位置検出センサーから上肢（腕）の伸展-屈曲運動時の張力、加速度を検出し、パソコン画面上に出現する要求値をその発揮値で追従する上肢の動的筋力発揮調整能を測定できる装置を作成した。

③ 上肢動的筋力発揮調整能測定値の特性（性差）

正弦波形表示法による健常成人の上肢の筋力発揮調整能の誤差は男女とも年代の増加と共に一定に増加するが、50歳代以降増加率は有意である。また、加齢に伴う個人差の変動は男性と女性でほぼ同程度である。疑似ランダム波形表示法による健常成人の上肢の筋力発揮調整能の誤差は男女とも年代の増加と共に段階的に増加するが、40歳代以降増加が著しくなる（図4）。また、加齢に伴う個人差の変動は男性と女性でほぼ同程度である。

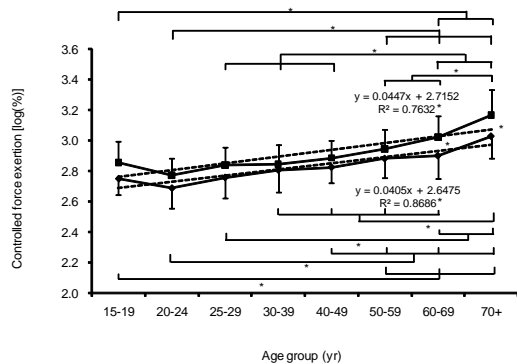


図4. Age group means of the controlled force exertion test with the quasi-random wave demand in males (◆) and females (■). **p*<0.05.

④ 疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能測定値の再現性

疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能測定値の再現性は低から中程度であり、テスト-再テスト間の全体の誤差およびテスト間の系統誤差の大きさは平均周波数が高まるにつれて小さくなった。0.05Hz以上の疑似ランダム表示を用いるテストは上肢の筋力発揮調整能を捉えるのに有効である。

(2) 上肢動的筋力発揮調整能評価法の確立

上肢の筋力発揮調整能評価値について、10歳代後半から70歳以上までの広範な健常男女を対象に、規則的移動指標および不規則的

移動指標による筋力発揮調整能評価値の基準値を男女別に直線および2次回帰式に基づき5点法にて作成した（表1）。いずれの移動指標の基準値も利用可能と判断された。この評価基準値は筋力発揮調整能に劣る者のスクリーニングやトレーニングの利用に使用できる点で意義がある。特に、神経-筋機能が低下する虚弱高齢者のリハビリテーションに有効と考えられた。

表1. Norms (%) by Age Group for Controlled Force Exertion Test

| Age group (yr) | Rating scale value | | | | |
|----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 15-19 | under 448.6 | 448.6 - 614.5 | 614.5 - 841.6 | 841.6 - 1152.8 | over 1152.8 |
| 20-24 | under 404.4 | 404.4 - 522.5 | 522.5 - 675.1 | 675.1 - 872.3 | over 872.3 |
| 25-29 | under 466.7 | 466.7 - 606.1 | 606.1 - 787.3 | 787.3 - 1022.6 | over 1022.6 |
| 30-39 | under 448.8 | 448.8 - 603.1 | 603.1 - 810.4 | 810.4 - 1089.1 | over 1089.1 |
| 40-49 | under 521.3 | 521.3 - 675.4 | 675.4 - 875.0 | 875.0 - 1133.7 | over 1133.7 |
| 50-59 | under 565.3 | 565.3 - 758.6 | 758.6 - 1017.9 | 1017.9 - 1365.9 | over 1365.9 |
| 60-69 | under 651.5 | 651.5 - 894.8 | 894.8 - 1229.0 | 1229.0 - 1688.0 | over 1688.0 |
| 70+ | under 818.3 | 818.3 - 1207.2 | 1207.2 - 1780.8 | 1780.8 - 2627.1 | over 2627.1 |

Note. Means (M) and standard deviations (SD) of the logarithmic transformed measurements were calculated, and then the rating scale with 5 levels of values was devised based on means and 0.5 SD in each age group: rating scale value 1: $M+1.5SD$, 2: $M+1.5SD$ and $\geq M+0.5SD$, 3: $M+0.5SD$ and $\geq M-0.5SD$, 4: $M-0.5SD$ and $\geq M-1.5SD$, 5: $M-1.5SD$. The evaluation norm was established in each age group after exponential transformation.

(3) 筋力発揮調整能評価値に及ぼす握力の影響

健常青年男性を対象に、筋力発揮調整能評価値に及ぼす握力の影響を検討した結果、青年男性では筋力発揮調整能評価値に及ぼす握力の影響は低い（図5）。

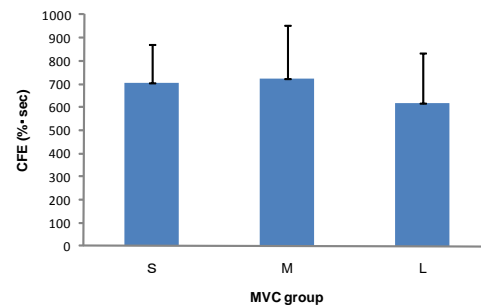


図5. Mean values of coordinated force exertion (CFE)

note) S: Small group (MVC<41.0kgf), M: Middle group (41.0kgf≤MVC<53.2kgf), L: Large group (MVC≥53.2kgf)

(4) 動的筋力発揮調整能測定値の上肢・下肢の関係および差異

下肢の筋力発揮調整能測定値の再現性は高いが、筋収縮様式の違い（等尺性、等張性、等速性）により測定値間の関係はそれ程高くはなかった。下肢の筋力発揮調整能の測定値を精度高く得るためには、動作をより厳密に規定し、測定する必要があると考えられた。横断的、時系列データから筋力発揮調整能の左右差を検証した結果、握力とは異なり顕著な左右差は認められなかった。

(5) 正弦波形および疑似ランダム波形による筋力発揮調整能評価値の年代別の対応関係

筋力発揮調整能の正確な測定方法を開発するために、20歳から86歳までの広範な健康成人男性を対象に、正弦波形および疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能評価値の年代別の対応関係を検討した。被験者は異なる年齢段階で若年男性53名(Age 24.6 ± 3.3 yrs)、中高年男性71名(Age 44.3 ± 8.7 yrs)、および高齢男性群51名(Age 69.3 ± 6.4 yrs)の3群に分けられた。変動係数は正弦波形および疑似ランダム波形表示法ともほぼ同程度であったが、疑似ランダム波形表示法において高齢群が高い値を示した。若年、中高年、および高齢群において正弦波形および疑似ランダム波形表示法間に有意な相関が認められたが、各年代間の相関係数に有意差は認められなかった(図6)。よって、正弦波形および疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能評価は中程度の関係があり、その関係には年齢段階差がないことが明らかにされた。

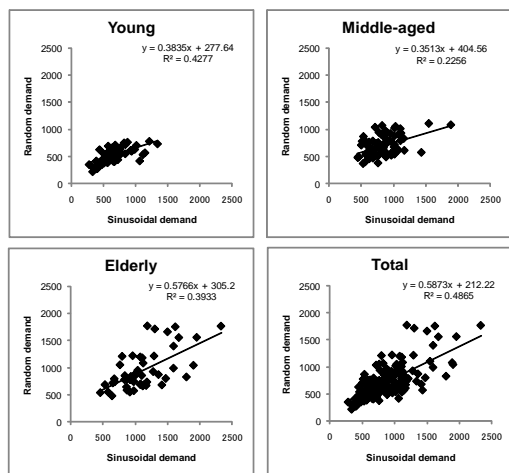


図 6. Scatter plots by age group for the coordinated exertion-force score in the sinusoidal and random demands.

今後、更に上肢・下肢の動的筋力発揮調整能の測定・評価法の優先性について、測定値の妥当性、対応関係など総合的な観点から検討し、測定・評価法を確立する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Yoshinori Nagasawa, Shinichi Demura, Hiroshi Hamazaki: Age and sex differences of controlled force exertion measured by a computer-generated quasi-random target-pursuit system. J Musculoskelet. Neuronal Interact., 査読有、VOL. 10、No. 3、2010、pp. 237-244
- ② Yoshinori Nagasawa, Shinichi Demura:

Age and individual differences in controlled force exertion measured by a computer-generated sinusoidal and quasi-random display. Measurement in Physical Education and Exercise Science、査読有、VOL. 14、2010、pp. 176-185

- ③ Yoshinori Nagasawa, Shinichi Demura: Provisional norms by age group for Japanese women on the controlled force exertion test using a quasi-random display. Percept. Mot. Skills、査読有、VOL. 110、No. 2、2010、pp. 613-624
- ④ Yoshinori Nagasawa, Shinichi Demura: Reproducibility of controlled force exertion measurements computed by a quasi-random target-pursuit system. Percept. Mot. Skills、査読有、VOL. 110、No. 2、2010、pp. 366-378

[学会発表] (計10件)

- ① 長澤吉則, 出村慎一, 久保田浩史, 野田政弘: 正弦波形表示法を用いた筋力発揮調整能に及ぼす握力の影響—中高年女性を対象として、第65回日本体力医学会大会、2010年9月16日、千葉商科大学(千葉県)
- ② Yoshinori Nagasawa, Shinichi Demura, Tamotsu Kitabayashi, Takayoshi Yamada, Hiroki Aoki: Relationship of controlled force exertion measured by computer generated sinusoidal and quasi-random display in Japanese females. The 13th Scientific Meeting of Korea-Japan Health Education Symposium / The 57th Scientific Meeting of Japanese Society of Education and Health Science、2009年8月20日、Yong-in shi, Kyoung-gi do, Korea
- ③ 長澤吉則, 出村慎一, 辛紹熙, 出村友寛: 疑似ランダム波形表示法による筋力発揮調整能の年代差および性差、日本体力医学会第63回大会、2008年9月19日、別府ビューコンプラザ(大分県)

[その他]

ホームページ等

<http://www.kyoto-phu.ac.jp/labo/kenkou/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長澤 吉則 (NAGASAWA YOSHINORI)
京都薬科大学・薬学部・准教授
研究者番号: 400299780