

中・高齢者における筋力発揮調整能と体力との関係及びその性差

長澤 吉則¹⁾ 出村 慎一²⁾ 山次 俊介³⁾ 島田 茂³⁾

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL FITNESS AND ABILITY TO COORDINATE EXERTION OF FORCE WITH REFERENCE TO SEX DIFFERENCE IN HEALTHY MIDDLE- AND OLD-AGED PEOPLE

YOSHINORI NAGASAWA, SHINICHI DEMURA, SHUNSUKE YAMAJI, and SHIGERU SHIMADA

Abstract

The purpose of this study was to examine the relationship between physical fitness and ability to coordinate exertion of force (ACEF) in 82 healthy middle and old-aged people aged 54 to 78 years (male 41, female 41), and to examine its sex differences. The ACEF test was conducted with the subject fitting the exertion value of grip strength to a changing demand value appearing on the display of a personal computer. The variable estimating ACEF was the total sum of the differences between the demand value and the produced strength value. The physical fitness items measured were : grip strength, shoulder arm strength (push and pull), vertical jump, vital capacity, foot balance with eyes open, trunk flexion, trunk rotation, whole body reaction time, finger tapping, and stepping. To clarify the relationship between the ACEF and physical fitness, multiple regression analysis was used after age-controlled partial correlations were computed. No sex difference was found in nervous function based on the exertion of maximal ability, but there was with the ACEF based on the exertion of sub-maximal strength. Also the relationship between the ACEF and age differed in men and women. The tests of nervous function and grip strength had little relation to the ACEF test. Each physical fitness factor and the fundamental physical fitness had low relation to the ACEF. It was inferred that ability measured by the ACEF test differs from that measured by general physical fitness tests based on the exertion of maximal ability. It is necessary to examine the relationship between the ACEF test and a similar test based on the exertion of sub-maximal strength.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2001, 50 : 425~436)

key word : force exertion, coordination, middle- and old-aged people, physical fitness

I. 緒 言

体力や運動技能の測定は、これまで主として最大能力の測定に関心が向けられてきた。筋力についても同様に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あるいは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、特に日常の生活動作は、エネルギー系の体

力と同様にサイバネティクス系の体力の影響を強く受ける。特に巧みに、効率的に行う最大下の筋力発揮の動作には、サイバネティクス系の体力(調整力)の関与が大きい。情報フィードバックが要求される手足の運動や目と手の協調等、いわゆる局所の動作の成就には、神経-筋系の調整能力(筋力発揮調整能: Ability to Coordinate Exertion of Force : ACEF)が深く関与する¹⁾。日常生活において最大筋力を発揮することは極めて少なく、む

¹⁾ 秋田県立大学

〒010-0195 秋田県秋田市下新城中野字街道端西241-7

²⁾ 金沢大学教育学部

〒920-1164 石川県金沢市角間町

³⁾ 福井工業高等専門学校

〒916-8507 福井県鯖江市下司町

Akita Prefectural University, 241-7, Kaidoubata-Nishi, Shimoshinjo-Nakano, Akita (010-0195)

Faculty of Education, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa (920-1164)

Fukui National College of Technology, Geshi, Sabae, Fukui (916-8507)

しる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である²⁾。

壮年期から高齢期にかけて体力は著しく低下し、個人差も拡大する³⁻⁷⁾。特に高齢期には、調整力や神経機能の低下が著しく^{8,9)}、転倒や自動車事故等の傷害の発生率も高くなるが、南ら¹⁰⁾は、加齢に伴う高齢者の体力要因の低下を検討し、低下特性が男女間で異なると報告している。調整力と関係が深い敏捷性や平衡性テストの結果でも同様なことが明らかにされている^{7,11-13)}。

高齢者の自立のために重要な要素の一つである ACEF の研究はいくつか報告されているが^{14,15)}、最大下の筋力発揮に基づく ACEF の合理的な測定法や評価法の確立が必要とされている¹¹⁾。出村 & 長澤^{16,17)}は、最大下での追従動作に着目し、ACEF を測定するテスト方法を開発し、筋疲労の影響¹⁸⁾や高齢者の ACEF 特性¹⁹⁾を明らかにしている。しかし、ACEF の加齢変化についてはこれまでほとんど明らかにされていない。また、ACEF の性差についても高齢者を対象とした Nagasawa, et al¹⁹⁾の報告に限られる。最大下の筋力発揮に基づく ACEF の性差や加齢変化、あるいは他の体力要素との関係は、エネルギー系の体力あるいは最大能力発揮に基づく神経機能(敏捷性や平衡性)とは異なり、また同じ上肢機能のテストであっても握力とは異なることが考えられる。

本研究の目的は、健康な中・高年者を対象とし、最大下の筋力発揮に基づく ACEF と体力との関係、及びその性差を検討することである。

Ⅱ. 方 法

A. 被験者

被験者は健康な中・高年者(54~78歳)の男性41名(身長 161.0 ± 5.17 cm, 体重 55.7 ± 8.89 kg, 年齢 69.6 ± 4.94 歳), 女性41名(身長 150.8 ± 4.78 cm, 体重 51.0 ± 8.36 kg, 年齢 67.8 ± 4.14 歳)計82名であった。平均年齢に有意な性差は認められなかった。身長及び体重は男性が女性より有意に大きかった。被験者の体格特性は従来の報告と概ね一致していた^{10,20)}。被験者は全員心身ともに健康と

自覚している者であり、手首あるいは足首の傷害や上肢あるいは下肢の神経障害を有する者はいなかった。また、過去1年間のうち、呼吸・循環系、泌尿・消化器系等の内科的な疾患で入院した者はいなかった。実験の内容及びその手順を十分説明した後、全ての被験者から実験参加の同意を得た。

B. 筋力発揮調整能(ACEF)測定装置

調整能力を評価する有効な方法の一つとして、要求値に対して応答を表示する追従運動調節系の装置を用いる方法がある。本研究で用いた装置(図1)は、被験者がパソコン画面に表示された変動要求値を追従するように握力発揮を行い、発揮値を直接パソコンに取り込むものである。データ入力部及び出力部は BASIC プログラムにより作成した。先行研究にて、前述の装置を用いて、スケール及び画面表示法、テスト時間及び評価時間等に加えて¹⁶⁾、ACEF テストの妥当性、信頼性及び客観性について検討した¹⁷⁾。握力発揮値は0~99.9 kg の測定が可能で、2%の測定精度をもつ電子握力計(ヤガミ: ED-D100 R)をパソコンに接続して測定した。

先行研究¹⁶⁾に基づき、棒グラフの画面表示法を採用した(図2)。被験者には、ソフトウェアプログラムによって発生される変動要求値に握力発揮値を合わせるよう指示した¹⁶⁾。実際の握力発揮の感覚と画面上に表示される要求値との感覚がズレないようにするため、要求値と握力発揮値を同時に画面に出力した。要求値は0.3 Hz の周期で変動した。この周期は、ヒトが最も容易に調節しうると報告されている²¹⁻²³⁾。筋力発揮値は、試行中 100 ms 毎に記録された。

握力要求値及び発揮値はいずれも各被験者の最大握力に対する相対値に変換してパソコン画面に表示した。つまり、握力最大値の大小にかかわらず、全ての被験者に視覚からの情報が一定となるように、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設定した(パソコン画面上における上限値までのスケール幅は 100 mm で一定)。例えば、握力最大値が 60 kg の場合、画面上における縦軸の上限値は握力最大値の 40% に

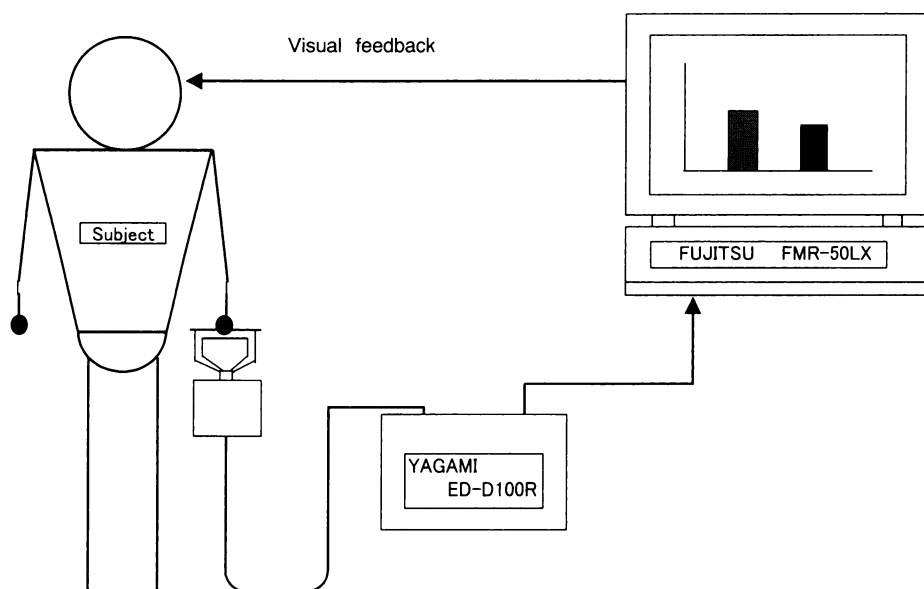


Fig. 1. A schematic drawing of the system to measure the ability to coordinate exertion of force (ACEF).

The subject was instructed to exert their maximal grip strength two times before the ACEF test, and the greatest value was determined. The exerted value of grip strength was transmitted to a personal computer (FUJITSU FMR-50LX) through an RS-232C output cable connected to a hand-grip dynamometer with a strain-gauge (YAGAMI ED-D100R). The ACEF test was performed three times at one-minute intervals. Instructions were given to stand so that they could see the demand value on the monitor.

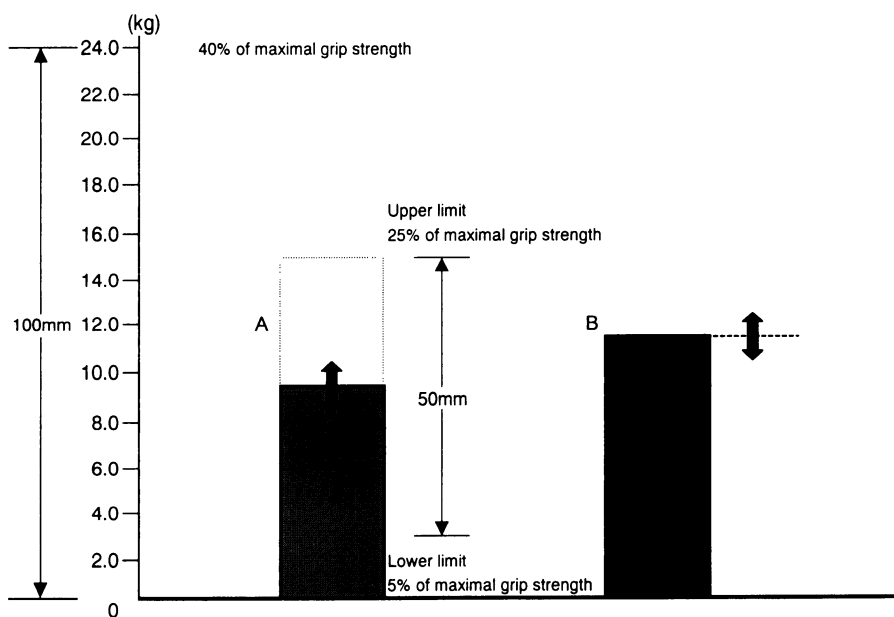


Fig. 2. Display of demand value.

The left bar (A) shows the demand value, and the right bar (B) shows the exerted value of grip strength. The test was to fit line B (exerted value of grip strength) to line A (demand value), which varied in the range of 5-25% of maximal grip strength value. The length on the display is 50 mm from top to bottom. Frequency of change in A=0.3 Hz.

The test time 40 seconds for each trial. The ability to coordinate exertion of force was calculated using the data from 25 seconds of trial following the initial 15 seconds of the period.

相当する 24 kg を表示する。予備実験及び先行研究¹⁹⁾と同様に、要求値は常に握力最大値の 5 ~ 25% を変動するため、握力最大値の大小にかかわらず、要求値の下限から上限までの幅は 50 mm と一定であった。これら ACEF を測定する装置は酒井医療(株)から市販されている握力解析システムの一部に利用されている。

C. テスト手順及び方法

1. 筋力発揮調整能(ACEF)テスト

ACEF テストの前に被験者に利き手の調査を実施して利き手を決定し²⁴⁾、利き手の最大握力を測定した。握力計の把握部は、被験者が握りやすいと感じる幅に設定し、各被験者に 1 分間の休憩を挟んで 2 回実施し、大きい値をその人の握力最大値とした。ACEF テストは、本実験と同様の 40 秒間の練習試行 1 回後各試行間に 1 分間の休憩を挟んで 3 回実施した。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 ACEF テストを行った^{25,26)}。すなわち、被験者は直立し、手首は自然に垂らし、腕を体幹の側に真っ直ぐ下ろした状態で、握力を発揮した。ACEF テストの各試行における設定時間は 40 秒間とし、テスト結果が安定する時間帯を配慮し前半の 15 秒間を除外した残り 25 秒間で評価した。ACEF 評価変数として、15 ~ 40 秒間の要求値と筋力発揮値との時間経過に伴う差の総和(測定値)を採用した¹⁶⁾。つまり、測定値が小さい程、要求値に対して筋力発揮値を適切に合わせることができ、ACEF に優れると解釈した。被験者には、画面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¹⁷⁾より、ACEF 評価変数として ACEF テストにおける 3 試行目の値を代表値として採用した。

2. 体力テスト

中・高齢者を対象としたため、安全性の高い体力テストを選択するよう配慮した。本研究では行動体力を構成する筋機能、関節機能、神経機能、及び肺機能の各領域を代表し、妥当性、信頼性、及び客観性の高い 11 項目を選択した^{20,27,28)}。すなわち、筋機能より握力、肩腕力(押・引)及び垂

直跳びの 4 項目、神経機能よりフィンガータッピング(タッピング)、ステッピング、開眼片足立ち及び全身反応時間の 4 項目、関節機能より立位体前屈及び体捻転の 2 項目を選択した。肺機能に関しては、肺活量が FVC や FEV_{1.0} と高い相関があり、同じ低下傾向がある²⁹⁾。よって、肺活量の中・高齢者を対象とした場合でも比較的測定が容易な、呼吸機能を代表するテストとして選択した^{9,20)}。肺活量の測定は、ミナト医科学社製(オートスパイロ AS-500)を用いた。また、タッピング及びステッピングの測定は、LED 社製(TAPPING COUNTER MODEL AM3)を用いて利き手(人差し指)と利き足(かかとをつけたつま先上げ)による 10 秒間の反復回数を記録した。全身反応時間の測定は、竹井社製(WHOLE BODY REACTION TYPE II)を用い、光刺激による跳躍(両脚屈曲の姿勢より両足跳躍動作)反応時間を 5 試行測定し、最大値と最小値を除く 3 試行の平均値を代表値とした。体捻転は角度法により測定し、左右の測定値の平均を代表値とした。開眼片足立ちは利き足(左右いずれか実施しやすい足)を用い、測定時間を最大 120 秒間とした。いずれの体力テスト項目も、最大下の筋力発揮に基づく ACEF テストとは異なる最大能力発揮に基づくものであった。

D. 解析方法

体力及び ACEF 評価変数の性差を検討するため、対応のない t 検定を利用した。男女をこみにして、11 体力変数からなる相関行列に主成分分析法を適用し、完全推定法より第 1 主成分得点を算出した¹⁰⁾。体力、第 1 主成分得点と ACEF 評価変数及び年齢との関係を検討するためにピアソンの積率相関係数を算出した。ACEF と体力及び第 1 主成分得点との関係を明らかにするために男女別に年齢を一定とした偏相関係数を算出した³⁰⁾。また、男女別に各体力領域毎に ACEF を従属変数、各体力テスト変数を独立変数として重回帰分析を実施した。有意水準は 5% とした。

Ⅲ. 結 果

A. 被験者の体力特性

表1は、11体力変量及び ACEF 評価変量における男女別の平均値、標準偏差及び男女間の平均値の差の検定結果を示している。筋機能及び肺機能は男性が有意に優れていた。関節機能の中でも立位体前屈は女性の方が優れていた。神経機能では全身反応時間及びタッピングに有意な性差は認められず、開眼片足立ち及びステッピングは男性の方が有意に優れていた。ACEF は男性が女性よりも有意に優れていた。

B. ACEF 評価変量と年齢及び体力各変量との関係

表2は、11体力変量、ACEF 評価変量及び年齢相互の相関係数と年齢を一定とした ACEF 評価変量と各体力変量との偏相関係数を男女別に示している。各体力変量と年齢間には、男性では握力、肩腕力(引)、垂直跳び及び体捻転に、女性では垂直跳び及び肺活量に有意な相関が認められた。ACEF 評価変量と年齢間には、男性では有意な相関は認められなかったが($r=0.020$, $p>0.05$), 女性では低いながらも有意な相関が認められた($r=0.356$, $p<0.05$)。ACEF 評価変量と体力変量

間には女性の握力にのみ有意な相関が認められた($r=-0.411$, $p<0.05$)。また、年齢の影響を消去した場合、ACEF は男女とも握力にのみ低いながらも有意な負の相関(男性： $r=-0.337$, 女性： $r=-0.381$, $p<0.05$)が認められた。

表3は、各体力領域毎に ACEF 評価変量を従属変数、体力各変量を独立変数とした重回帰分析の結果及び第1主成分の負荷量を示している。男女ともいずれの体力領域においても有意な重相関係数は得られなかった。

C. 基礎体力得点の算出及び ACEF 評価変量と基礎体力の関係及びその性差

11体力変量からなる相関行列に主成分分析法を適用した結果、第1主成分は全分散量の約38%を示し、ほとんどの変量と有意な相関(負荷量)が認められた(表3)。よって、中・高齢者の日常の基本的な活動や運動の成就に共通に関与する基礎的能力と考え¹⁰⁾、第1主成分を基礎体力と解釈し、完全推定法より基礎体力得点(Fundamental Physical Fitness Score ; FPFs)を算出した¹⁰⁾。FPFs の性差を検討した結果、男性が女性より有意に高い値であった($t=9.442$, $p<0.01$)。FPFs と年齢とは、男女とも中程度の有意な負の相関(男性： $r=-0.433$, 女性： $r=-0.308$, $p<0.05$)が

Table 1. Means and standard deviations for 11 physical fitness-test variables and ACEF.

| | (unit) | Element | Men (n=41) | | Women (n=41) | | t-value |
|---------------------------------|----------|---------------|---------------|--------|-----------------|--------|---------|
| | | | Mean | SD | Mean | SD | |
| 1. Grip strength | (kg) | strength | 36.4 | 5.28 | 24.8 | 4.96 | 10.51** |
| 2. Shoulder arm strength [Pull] | (kg) | strength | 21.7 | 6.70 | 13.8 | 3.46 | 6.64** |
| 3. Shoulder arm strength [push] | (kg) | strength | 22.5 | 6.46 | 14.6 | 4.87 | 6.28** |
| 4. Vertical jump | (cm) | strength | 31.9 | 7.45 | 23.5 | 6.46 | 5.46** |
| 5. Foot balance with eyes open | (sec) | balance | 87.4 | 38.59 | 59.5 | 43.65 | 3.07** |
| 6. Whole body reaction time | (msec) | agility | 451.1 | 144.93 | 509.2 | 170.96 | 1.66 |
| 7. Tapping with finger | (times) | agility | 56.4 | 7.29 | 54.6 | 6.13 | 1.20 |
| 8. Stepping with foot | (times) | agility | 45.3 | 9.46 | 39.2 | 8.76 | 3.03** |
| 9. Trunk flexion | (cm) | flexibility | 1.4 | 8.07 | 9.6 | 6.96 | 4.96** |
| 10. Trunk rotation | (degree) | flexibility | 104.7 | 17.28 | 100.3 | 19.41 | 1.08 |
| 11. Vital capacity | (ml) | lung function | 3323.4 | 698.72 | 2390.5 | 450.65 | 7.18** |
| 12. ACEF | (%·sec) | coordination | 726.8 | 204.29 | 853.8 | 222.77 | 2.69** |

ACEF : ability to coordinate exertion of force, t-value : sex difference, ** : $p<0.01$

Table 2. Correlation coefficients partial age-controlled correlation coefficients between variables estimating ACEF and physical fitness tests in men and women.

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | pr |
|---------------------------------|----------|----------|---------|----------|--------|----------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|----------|---------|
| 1. Grip strength | | 0.493** | 0.211 | 0.292 | 0.098 | -0.060 | 0.178 | 0.051 | 0.242 | 0.160 | 0.270 | -0.411** | -0.168 | -0.381* |
| 2. Shoulder arm strength [pull] | 0.380* | | 0.426** | 0.242 | -0.091 | -0.239 | 0.094 | 0.315* | 0.149 | -0.025 | 0.322* | -0.285 | -0.263 | -0.212 |
| 3. Shoulder arm strength [push] | 0.308 | 0.465** | | 0.307 | -0.052 | -0.312* | 0.259 | 0.363* | 0.158 | -0.124 | 0.226 | -0.068 | -0.117 | -0.028 |
| 4. Vertical jump | 0.321* | 0.174 | 0.166 | | 0.239 | -0.141 | 0.165 | 0.165 | 0.092 | 0.303 | 0.280 | -0.276 | -0.391* | -0.160 |
| 5. Foot balance with eyes open | 0.111 | -0.115 | 0.112 | 0.436** | | -0.286 | 0.134 | 0.297 | 0.048 | 0.256 | -0.160 | -0.027 | -0.086 | 0.005 |
| 6. Whole body reaction time | -0.027 | -0.030 | -0.041 | -0.402** | -0.121 | | -0.271 | -0.523** | -0.229 | -0.058 | 0.004 | 0.153 | -0.049 | 0.183 |
| 7. Tapping with finger | 0.420** | 0.247 | 0.266 | 0.270 | 0.186 | -0.241 | | 0.093 | 0.223 | 0.106 | 0.347* | -0.117 | -0.228 | -0.040 |
| 8. Stepping with foot | -0.003 | 0.237 | 0.205 | 0.328* | 0.170 | -0.259 | 0.468** | | 0.268 | -0.002 | -0.108 | -0.046 | 0.169 | -0.115 |
| 9. Trunk flexion | 0.017 | -0.215 | -0.143 | 0.176 | 0.007 | -0.320* | 0.025 | 0.123 | | 0.267 | 0.080 | -0.001 | 0.301 | -0.112 |
| 10. Trunk rotation | 0.223 | 0.054 | 0.040 | 0.582** | 0.350* | -0.452** | 0.234 | 0.374* | 0.259 | | 0.113 | -0.180 | 0.056 | -0.215 |
| 11. Vital capacity | 0.454** | 0.315* | 0.266 | 0.210 | -0.139 | -0.201 | 0.524** | 0.471** | 0.168 | 0.200 | | -0.113 | -0.408** | 0.015 |
| 12. ACEF | -0.302 | -0.082 | -0.135 | -0.070 | 0.084 | 0.099 | 0.057 | 0.026 | 0.020 | -0.007 | -0.145 | | 0.356* | |
| 13. age | -0.495** | -0.406** | -0.104 | -0.317* | -0.169 | 0.294 | -0.289 | 0.022 | 0.046 | -0.319* | -0.136 | 0.020 | | |
| pr | -0.337* | -0.081 | -0.134 | -0.067 | 0.089 | 0.098 | 0.065 | 0.025 | 0.020 | -0.001 | -0.144 | | | |

Note) left : correlation in men, right : correlation in women, pr : partial age-controlled correlation coefficients between variables estimating ACEF and physical fitness tests. ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

認められた。ACEF 評価変量と FPFs との間には女性にのみ有意な相関が認められたが(女性: $r = -0.335$, $p < 0.05$), 年齢を考慮した偏相関は有意ではなかった(男性: $r = -0.139$, 女性: $r = -0.253$, $p > 0.05$)。

Ⅳ. 考 察

上肢機能の評価には, これまで握力に代表されるように, 主として最大能力発揮に基づくテストが多く用いられている。ピンチ力, ペグボード等手指の筋力や器用さを検討する方法も同様に最大努力や最大速度に基づくテストであり, 筋力発揮調整能(ACEF)の構成要素であるグレーディング, スペーシング, タイミング等を最大下努力で合理的・客観的に評価するテストはみられない。つまり, 筋力やスピードを最大努力で発揮する最大能力発揮に基づくテストとこれらを最大下努力で発揮する最大下の筋力発揮に基づくテストの関係, 及びその性差は明らかにされていない。先行研究^{16,17)}において, 著者らは最大下での追従動作に着目し, 握力計及びパソコンを利用した信頼性及び客観性の保証された ACEF のテスト方法を開発した。本研究では, その方法を用いて中・高年者の ACEF と体力の関係及びその性差を検討した。

体力各変量の性差を検討した結果, 筋機能, 肺機能, 神経機能の中でも開眼片足立ち及びステップングは男性が, 関節機能のうち立位体前屈は女性が優れていた。南¹⁰⁾は, 60~89歳の高齢者を対

Table 3. Results of multiple regression analysis for each physical fitness domain to ACEF and loading for principal components.

| Test item | Men (n=41) SPRC | Women (n=41) SPRC | Principal components |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Muscular function | | | |
| 1. Grip strength | -0.315 | -0.315 | 0.393** |
| 2. Shoulder arm strength [pull] | 0.066 | -0.132 | 0.369** |
| 3. Shoulder arm strength [push] | -0.074 | 0.113 | 0.364** |
| 4. Vertical jump | 0.032 | -0.187 | 0.368** |
| Multiple correlation coefficient | 0.312 (9.7%) | 0.459 (21.1%) | |
| Nervous function | | | |
| 5. Foot balance with eyes open | 0.085 | 0.018 | 0.255* |
| 6. Whole body reaction time | 0.129 | 0.156 | -0.216* |
| 7. Tapping with finger | 0.065 | -0.081 | 0.250* |
| 8. Stepping with foot | 0.014 | 0.038 | 0.297** |
| Multiple correlation coefficient | 0.155 (2.4%) | 0.177 (3.1%) | |
| Articulate function | | | |
| 9. Trunk flexion | 0.024 | 0.051 | -0.142 |
| 10. Trunk rotation | -0.013 | -0.194 | 0.181 |
| Multiple correlation coefficient | 0.024 (0.1%) | 0.187 (3.5%) | |
| Lung function | | | |
| 11. Vital capacity | -0.145 | -0.133 | 0.375** |
| Multiple correlation coefficient | 0.145 (2.1%) | 0.133 (1.8%) | 4.194 ^a (38.1%) |

SPRC : standardized partial regression coefficient, **: $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

() : degree of contribution, a : Eigen value of 1st principal component.

象に体力の性差を検討し、筋機能、心肺機能、神経機能の中でもステッピングにおいて男性が、立位体前屈において女性が優れると報告している。木村ら⁸⁾は、神経機能に関して全身及び手指の敏捷性には性差が認められず、下肢の敏捷性には性差が存在すると報告している。以上より、高齢期にはエネルギー系の体力あるいは最大能力発揮に基づく神経機能の中でも下肢に関する敏捷性や平衡性には性差が存在すると考えられる。

本研究においては最大下の筋力発揮に基づく筋力発揮調整能(ACEF)に有意な性差が認められ、タッピングの結果とは異なった。Anianson et

al.¹⁴⁾や Speller, et al.³¹⁾は、神経機能に関する手指の器用さについて検討し、男性が女性より優れると報告している。また、Houx & Jolles³²⁾は、20~80歳代を対象とし、選択反応課題に対する動作スピードの性差を検討し、いずれの年齢段階においても男性は女性より動作スピードに優れると報告している。Nagasawa et al.¹⁹⁾は、65~78歳の高齢者の ACEF に有意な性差が認められたと報告している。一般に、「力量感覚」や「指標マッチング」など大脳での情報処理(フィードバック)が関与する場合、反応時間が延長する割合はタッピングのような敏捷性よりも一層大きくなることが

明らかにされている^{33,34)}。本研究で用いた追従運動の場合には、敏捷性による神経機能の評価とは異なり、その動作の成就に「力量感覚」や「指標マッチング」等情報フィードバックの影響が深く関与する。本研究の結果から、手指の器用さや動作スピードと同様、ACEF も男性が女性より優れると推察される。つまり、同じ上肢の神経機能を捉えるものであっても脳への情報フィードバックの関与が小さいと考えられる最大能力発揮に基づく神経機能には性差はみられないが、情報フィードバックが大きく関与すると考えられる最大下でのそれには性差が存在すると推測される。また、Speller, et al.³¹⁾は、手指の器用さを要求する課題の運動パフォーマンスはその動作経験(器用さ)を有している男性の方が優れていると報告している。本研究で対象とした男性の7割が運動習慣を有し、女性に比べて仕事を行っている者の割合が多かった。以上より、手指の器用さや動作スピード等は日常生活における動作経験が深く関与し、その動作経験の違いが ACEF の性差に影響を及ぼしていることが推測される。今後、被験者を増やすと共に、過去の運動経験の有無や運動内容、等について詳細に検討する必要がある。

年齢との関係をみると、男性では筋機能及び柔軟性(体捻転)と、女性では筋機能(垂直跳び)及び肺機能とに有意な相関が得られ、各体力変量と年齢との関係は男女間で異なった。南ら¹⁰⁾は、体力と年齢との関係は男女で異なると報告している。本研究の結果も同様な結果であった。ACEF 評価変量は女性にのみ年齢と低い関係が認められた($r=0.356$, $p<0.05$)。ACEF 評価変量と年齢との関係は各体力変量の結果と同様であり、南らの報告結果を支持するものであった。千葉ら³⁵⁾は66~91歳の健康な高齢者を対象に動的指標追跡能力と年齢との相関は0.29であったと報告している。千葉らの結果は男女を統合した場合の結果であり、同様に比較することはできないが、本研究の結果から ACEF 評価変量と年齢との関係は最大能力発揮に基づく体力テストと年齢との関係と同様に男女で異なると推測される。

ACEF 評価変量は男女とも神経機能を代表する

4 体力変量とは有意な関係が認められなかった。千葉ら³⁵⁾は、動的指標追跡能力と閉眼片足保持時間との関係を検討し、両者の相関は0.28の有意な値と報告しており、本研究結果とは異なった。千葉らの報告は男女を統合した場合の結果であり、このことが結果の相違に影響を及ぼしたのと考えられる。本研究の結果から、本研究で選択した最大努力及び最大速度で行う神経機能テストと最大下の筋力発揮に基づく ACEF テストとの関係は男女とも低いと推測される。

ACEF 評価変量と年齢との関係が男女で異なるために、年齢を一定とした ACEF 評価変量と各体力変量の偏相関係数を算出した。ACEF 評価変量は年齢を一定とした場合、男女とも筋機能の中でも握力と有意な相関関係が認められ、神経機能を代表する4体力変量とは関係が認められなかった。八田ら³⁶⁾は、手指筋力を代表する握力とピンチ力、両者と巧緻性を代表するペグボードとに有意な関係が認められ、前者の関係が高かったと報告している。本研究の結果もこの点は同様な結果であった。従って、同じ上肢機能であっても最大能力発揮に基づく握力(筋力)及びタッピング(神経機能)と最大下での筋力発揮に基づく ACEF (神経-筋系の調整能力)の関係は男女とも低く、これらは異なる能力を測定しているものと推測される。

ACEF 評価変量と各体力領域毎の関係では、男女ともいずれの体力領域においても有意な重相関係数は認められなかった(表3)。情報フィードバックが要求される手足の運動や目と手の協調等、いわゆる局所の動作の成就には、神経-筋系の ACEF が深く関与する¹⁾。本研究で選択したいずれの体力テストも、最大下の筋力発揮に基づく ACEF テストとは異なる最大能力発揮に基づくものであった。つまり、最大能力発揮に基づく体力テストと最大下の筋力発揮に基づく ACEF テストとは異なるが、男女においてその関連の程度に差異はないものと推測される。よって、ACEF は男女とも本研究で選択した最大能力発揮に基づく各体力変量で捉えられる体力要因とは異なる体力要因を捉えているものと考えられる。

ACEF 評価変量と各体力領域の関係とともに総合的な体力との関係の検討も重要と考えられる。若年者に認められる運動能力の分化は加齢に伴い変化し、各運動能力の融合と考えられる一般運動能力の各運動能力に対する貢献が相対的に増加する³⁷⁾。本研究では、柔軟性の2体力変量を除く全ての体力変量と有意な相関を示す第1主成分を基礎体力と解釈した。南ら¹⁰⁾も同様な手順により「基礎行動体力」なる総合的な体力水準の指標を算出している。本研究の基礎体力得点(FPFS)は11変量に共通する最大の分散を示し、高齢者の体力を総合的に評価する上で有効な指標と判断した³⁷⁾。本研究ではFPFSに性差が認められ、年齢との相関も有意であった。南ら¹⁰⁾はFPFSについて高齢男性が女性より優れ、年齢と有意な相関が認められたと報告している。本研究の結果も同様な結果であった。基礎体力の指標としたFPFSは、行動体力を代表する11変量とその係数による一次式から算出されるため、女性に比べて男性の方が優れる筋機能や肺機能(肺活量)などが大きく影響する。FPFSは活動性豊かな自立した日常生活を送るための健康度や老化度の有効な指標¹⁰⁾と考えられる。年齢を調整した場合、男女ともACEF評価変量とFPFSの関係は低かった。つまり、各体力領域の結果と同様、ACEFと基礎体力との関係は男女とも低いと推察される。

以上、本研究で選択した最大努力(速度)で行う神経機能テスト及び最大能力発揮に基づく握力(筋力)テストと最大下の筋力発揮に基づくACEFテストとの関係、各体力要因や基礎体力とACEFとの関係は男女とも低かったことから、ACEFは本研究で選択した各体力変量で捉えられる体力要因とは異なる能力を捉えるものと推測される。今後、最大下の筋力発揮に基づく同種のテストとの関係を検討する必要があると考えられる。

V. 結 語

本研究の目的は、54~78歳の健康な中・高年者82名(男性41名、女性41名)を対象に、最大下の筋力発揮を手掛かりに中・高年者における筋力発揮調整能(ACEF)と体力との関係及びその性差を検

討することであった。ACEF評価変量として要求値と筋力発揮値との差を継続的に算出し、その総和を用いた。本研究の被験者、及び方法等の限界の下で次の知見を得た。

- 1) 中・高年者の場合、情報フィードバックが関与しない最大能力発揮に基づく神経機能には性差はみられないが、情報フィードバックが関与する最大下でのそれには性差が存在し、ACEF評価変量と年齢との関係も男女で異なる。
- 2) 本研究で選択した最大能力発揮に基づく神経機能テスト及び握力(筋力)と最大下の筋力発揮に基づくACEFテストとの関係は男女とも低い。
- 3) ACEFと各体力要因との関係は男女とも低く、基礎体力とも有意な関係がない。

最大下の筋力発揮に基づくACEFテストは従来の最大能力発揮に基づく体力テストとは異なる体力要因を捉えていると推測され、今後、最大下の筋力発揮に基づく同種のテストとの関係を検討する必要があると考えられた。

(受理日 平成13年4月3日)

文 献(References)

- 1) Henatsch, H. D., & Langer, H. H. Basic neurophysiology of motor skills in sport: a review. *Int. J. Sports Med.*, (1985), **6**, 2-14.
- 2) 大築立志, 力のグレーディング, *Jpn. J. Sports Sci.*, (1989), **8**, 663-667.
- 3) Bemben, M. G., Massey, B. H., Bemben, D. A., Misner, J. E., & Boileau, R. A. Isometric muscle force production as a function of age in healthy 20- to 74-yr-old men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1991), **23**, 1302-1310.
- 4) Fisher, N. M., Pendergast, D. R., & Calkins, E. C. Maximal isometric torque of knee extension as a function of muscle length in subjects of advancing age. *Arch. Phy. Med. Rehabil.*, (1990), **71**, 729-734.
- 5) Kallman, D. A., Plato, C. C., & Tobin, J. D. The role of muscle loss in the age-related decline of grip strength: cross-sectional and longitudinal perspectives. *J. Gerontology*, (1990), **45**, M82-88.
- 6) Stanley, S. N., & Taylor, N. A. S. Isokinetic muscle mechanics in four groups of women of increasing age. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), **66**, 178-184.
- 7) Rikli, R. E., & Edwards, D. J. Effects of a three-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women. *Res. Quart. Exerc.*

- Sport, (1991), **62**, 61-67.
- 8) 木村みさか, 平川和文, 奥野直, 小田慶喜, 森本武利, 木谷輝夫, 藤田大祐, 永田久紀, 体力診断バッテリーテストからみた高齢者の体力測定値の分布および年齢との関連, 体力科学, (1989), **38**, 175-185.
Kimura, M., Hirakawa, K., Okuno, T., Oda, Y., Morimoto, T., Kitani, T., Fujita, D., & Nagata, H. An analysis of physical fitness in the aged people with fitness battery test. Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med., (1989), **38**, 175-185. (in Japanese)
 - 9) 宮口和義, 出村慎一, 宮口尚義, 高齢ゲートボール愛好者の体力特性, 体力科学, (1990), **39**, 262-269.
Miyaguchi, K., Demura, S., & Miyaguchi, H. The character of physical fitness in aged gateball players. J. Phys. Fitness Sports Med., (1990), **39**, 262-269. (in Japanese)
 - 10) 南 雅樹, 出村慎一, 佐藤進, 春日晃章, 松澤甚三郎, 郷司文男, 高齢期における形態及び体力要因の加齢変化とその性差, 体力科学, (1998), **47**, 601-615.
Minami, M., Demura, S., Sato, S., Kasuga, K., Matsuzawa, J., & Goshi, F. The changing of physique and physical fitness with age and its sex-difference in elderly people. Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med., (1998), **47**, 601-615. (in Japanese)
 - 11) Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. W., Wood, J. S., & Bradford, D. C. Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. Neurobiol. Aging, (1984), **5**, 35-42.
 - 12) Rikli, R. E., & Busch, S. Motor performance of women as a function of age and physical activity level. J. Gerontol., (1986), **41**, 645-649.
 - 13) Welford, A. T. Reaction time, speed of performance, and age. Ann. N. Y. Academy Sci., (1988), **515**, 1-17.
 - 14) Aniansson, A., Rundgren, A., & Sperling, L. Evaluation of functional capacity in activities of daily living in 70-year-old men and women. Scand. J. Rehab. Med., (1980), **12**, 145-154.
 - 15) Judge, J. O., Underwood, M., & Gennosa, T. Exercise to improve gait velocity in older persons. Arch. Phys. Med. Rehabil., (1993), **74**, 400-406.
 - 16) 出村慎一, 長澤吉則, 筋力発揮調整能テストの作成—スケール表示法, 画面表示法, テスト時間及び評価時間の検討—, 体育学研究, (1994a), **38**, 349-360.
Demura, S., & Nagasawa, Y. The development of test for estimating the co-ordination ability of strength exertion : the examination of scale, description forms on display of personal computer, test time, and estimation time. Jap. J. Phys. Educ., (1994a), **38**, 349-360. (in Japanese)
 - 17) 出村慎一, 長澤吉則, 筋力発揮調整能テストの作成—統計的妥当性, 信頼性, 客観性の検討—, 体育学研究, (1994b), **39**, 176-188.
Demura, S., & Nagasawa, Y. The development of test for estimating the co-ordination ability of strength exertion : the examination of statistical validity, reliability, and objectivity. Jap. J. Phys. Educ., (1994b), **39**, 176-188. (in Japanese)
 - 18) 長澤吉則, 出村慎一, 吉村喜信, Changes in the co-ordination ability of strength exertion during hand-grasp following muscle fatigue. 教育医学, (1996), **38**, 228-234.
Nagasawa, Y., Demura, S., & Yoshimura, Y. Changes in the co-ordination ability of strength exertion during hand-grasp following muscle fatigue. J. Educ. Health Sci., **38**, 228-234.
 - 19) Nagasawa, Y., Demura, S., Yamaji, S., Kobayashi, H., & Matsuzawa, J. Ability to coordinate exertion of force by the dominant hand : comparisons among university students and 65- to 78-year-old men and women. Percept. Mot. Skills, (2000), **90**, 995-1007.
 - 20) 中 比呂志, 出村慎一, 松澤甚三郎, 高齢者における体格・体力の加齢に伴う変化及びその性差, 体育学研究, (1997), **42**, 84-96.
Naka, H., Demura, S., & Matsuzawa, J. Change of physique and physical fitness with age and its sexual difference in the elderly. Jap. J. Phys. Educ., (1997), **42**, 84-96. (in Japanese)
 - 21) 北本 拓, 左右筋力の発現調節について, 人間工学, (1979), **15**, 259-263.
Kitamoto, H. A study on the muscle control of right and left hand. Jpn. J. Ergonomics, (1979), **15**, 259-263. (in Japanese)
 - 22) 北本 拓, 脚屈曲・伸展運動における筋力調節能力の測定, 人間工学, (1984), **20**, 111-117.
Kitamoto, H. A measurement on the controllability of muscle strength in the exercise of leg flexion and extension. Jpn. J. Ergonomics, (1984), **20**, 111-117. (in Japanese)
 - 23) 北本 拓, 各種追従動作からみた肘関節運動の調節能力の測定, 体力科学, (1991), **40**, 74-82.
Kitamoto, H. A measurement of the controllability on pursuit tracking. Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med., (1991), **40**, 74-82. (in Japanese)
 - 24) Oldfield, R. C. The assessment and analysis of handedness : the edinburgh inventory. Neuropsychologia, (1971), **9**, 97-113.
 - 25) Skelton, D. A., Greig, C. A., Davies, J. M., & Young, A. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. Age Ageing, (1994), **23**, 371-377.
 - 26) Walamies, M., & Turianmaa, V. Assessment of the reproducibility of strength and endurance handgrip parameters using a digital analyzer. Eur. J. Appl. Physiol., (1993), **67**, 83-86.
 - 27) 李 美淑, 松浦義行, 田中喜代次, 中高年男性の体力年齢の評価, 体力科学, (1993), **42**, 59-68.

- Lee, M., Matsuura, Y., & Tanaka, K. Assessment of physical fitness age in middle-aged and elderly men. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, (1993), **42**, 59-68. (in Japanese)
- 28) 花井忠征, 古田善伯, 大森正英, 井上広国, 水野敏明, 森基要, 岩田弘敏, 高齢者の体力水準と体力評価基準の作成, *教育医学*, (1996), **41**, 331-341. Hanai, T., Furuta, Y., Omori, M., Inoue, H., Mizuno, T., Mori, M. & Iwata, H. Physical fitness in the aged people : preparation of standard for evaluation of physical fitness. *J. Educ. Health Sci.*, (1996), **41**, 331-341. (in Japanese)
- 29) 東京都立大学体育学研究室, 日本人の体力標準値, 4 版, 不味堂出版, 東京, (1989). Lab. Physical Edu. In Tokyo Met. Univ. (ed). *Physical Fitness Standards of Japanese People*. (4th edition). Fumaido, Tokyo, (1989). (in Japanese)
- 30) 出村慎一. 例解健康・スポーツ科学のための統計学, 初版, 相関に関する検定 I (間隔尺度), 大修館書店, 東京, (1996), 207-208.
- 31) Speller, L., Trollinger, J. A., Maurer, P. A., Nelson, C. E., & Bauer, D. F. Comparison of the test-retest reliability of the Work Box using three administrative methods. *Am. J. Occup. Ther.*, (1997), **51**, 516-522.
- 32) Houx, P. J. & Jolles, J. Age-related decline of psychomotor speed : effects of age, brain health, sex, and education. *Percept. Mot. Skills*, (1993), **76**, 195-211.
- 33) Benecke, R., Meinck, H. M. & Conard, B. Rapid goal-directed elbow flexion movements : limitations of the speed control system due to neural constraints. *Exp. Brain res.*, (1985), **59**, 470-477.
- 34) Klapp, S. T. Feedback versus motor programming in the control of aimed movements. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, (1975), **1**, 147-153.
- 35) 千葉 進, 松本博之, 小林信義, 笠井美智子, 浦沢喜一, 上肢巧緻動作に及ぼす加齢の影響—高齢者における動的指標追跡能力の定量的評価—, *日老医誌*, (1987), **24**, 132-137. Chiba, S., Matsumoto, H., Kobayashi, N., Kasai, M. & Urasawa, K. Effects of aging on hand coordination : a quantitative analysis of ability to track moving targets. *Jpn J. Geriat.*, (1987), **24**, 132-137. (in Japanese)
- 36) 八田美鳥, 大友英一, 吉田尚志, 高以良佳子, 大竹伸子, 高齢者における握力・ピンチ力と手指巧緻性の検討, *総合リハ*, (1993), **21**, 489-492. Hatta, M., Otomo, E., Yoshida, H., Takaira, Y., & Ohtake, N. Grip, pinch strength and motor hand skill in the elderly : relationship to age, sex and anthropometric factors. *Sougou Rehabilitation*, (1993), **21**, 489-492. (in Japanese)
- 37) 金 禎植, 田中喜代次, 高齢者の活動能力の評価モデル, *体力科学*, (1994), **43**, 361-369. Kim, H. S., & Tanaka, K. A statistical model for the evaluation of activities of daily living in the elderly. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, (1994), **43**, 361-369. (in Japanese)