

屈伸運動における伸張性収縮調節能力の加齢変化

枝松 千尋¹・飯田 智行²・宮川 健²

¹倉敷芸術科学大学生命科学部

²川崎医療福祉大学

(2004年9月24日 受理)

I 緒言

現在日本の平均寿命は世界一であり、さらに平成12年に6人に1人であった高齢者が、平成37年には3人に1人になると予測されるなど超高齢化は急速に進行している¹⁰⁾。そのため、高齢者が社会の中で自立した生活を営むために、さまざまな研究がなされている。

日常的で且つ重要な動作が、筋力の低下などによって困難になってくることが報告されている⁷⁾。特に、上肢よりも下肢の筋力の低下が著しく、そのために歩行のような移動能力が目立って低下してくる⁷⁾。また、多くの高齢者が階段の降りや椅子に座る動作のような伸張性収縮を伴う動作において、困難さや不安感を訴える。上手くこの動作を行うためには、筋出力の大きさ・方向・タイミングが精度良く調節されている必要がある。この時空間的出力調節能力の加齢変化については最近いくつかの研究報告があり、注目を集めつつある^{2) 3) 4) 8) 12) 14) 15)}。Christou EAらは、膝関節伸筋群について様々な筋収縮様式における出力調節能力を若年者と高齢者で比較した。その結果、伸張性収縮が短縮性収縮や等尺性収縮に比べ時空間的出力調節の変動性が大きく、さらに加齢によって変動性が大きくなる事を報告した⁹⁾。加齢によって固有感覚器の機能低下や神経伝達速度の遅延・ α 運動ニューロンの消失・速筋線維の選択的萎縮などの変化が生じ^{11) 6) 8) 14) 16)}、その結果、高齢者の、特に伸張性収縮において変動性の増大が起これると考えられる。

一方、多くの市町村で高齢者の体力維持増進についての取り組みが為されており、その中で体力測定が行われている。しかし、高齢者が困難さ・不安感を感じる伸張性収縮中の筋出力調節能力の測定は行われていない。そこで、本研究では、筋の調節能力を簡便に測定する方法を確立する一助として、加齢が屈伸運動中の短縮性筋収縮および伸張性筋収縮の筋出力調節能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

II 方法

1. 被験者

被験者は健康な中高齢女性126名(67.3±9.2歳)と若年女性8名(21.3±1.3歳)であった。被験者には重度の関節痛による動作制限のあるものはいなかった。実験の目的および方法を十分説明した後、すべての被験者から実験参加の同意を得た。

2. 測定方法

2-1 実験機器の構成

フォースプレート（KISTLER社）上で、指示器（7×64のLED：内山製作）の目印の上下動に目の高さをあわせ、6～7回連続で屈伸運動を行わせた（Fig1）。床反力を身体重心の加速度変化として捉え、目印の加速度変化と比較することで筋出力調節能力を評価した。（Fig2）

指示器の目印は、上下に正弦波状に動くようになっており、上下動の周期は、2.5secとした。

地面反力と指示器の信号については、100HzでA/D変換（PowerLab/800：AD instruments）し、PCに取り込んだ。

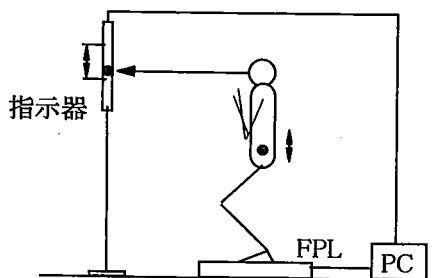


Fig1 実験機器の構成

被験者はフォースプレート上で、指示器の目印に目の高さを合わせながら屈伸を行う。

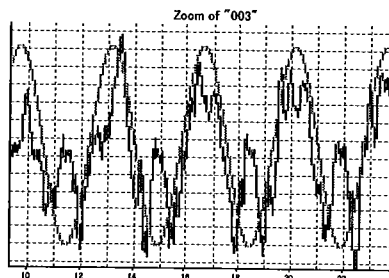


Fig2 目印の加速度変化と重心の加速度変化
正弦波が目印加速度変化、揺らぎのみられる加速度変化が重心の加速度変化

2-2 測定条件の設定

- ・指示器から踵の線までを60cmとした。
- ・手を胸の前で交差する。
- ・足は肩幅にまっすぐ開く。
- ・膝が開かないように屈伸する。
- ・目印の最高点は膝を軽く曲げた状態の目線で合わせる。
- ・膝の屈伸により目の高さを指示器の目印の高さにあわせる。
- ・測定の前に、必ず数回の練習をさせ、上下幅を覚えさせる。
- ・測定中は助言等をしない
- ・指示器の振れ幅は身長に合わせ

～147cm：15.0cm

148cm～158cm：16.5cm

159cm～169cm：18.0cm

170cm～180cm：19.5cm

181cm～：21.0cm

日本人の高齢者（60歳以上の女性の平均大腿長値：35.6cm）¹¹⁾がJRの階段（段差16cm）を降りることを想定し、それを基準として計算した。

計算式は以下に示した通りである

$$h = L - L \cos \theta$$

$$(1 - \cos \theta) = h/L = 16/35.6 = 0.4494$$

$$h = L \times 0.4494$$

$$L = -9.9567 + 0.305 \times BH$$

$$\therefore h = 0.4494 (0.305BH - 9.9567)$$

h：上下動幅

L：大腿長

θ ：膝関節角度

BH：身長

3. 解析方法

目印上下動の加速度信号と重心上下動の加速度信号の相互相関係数と位相差を算出し、相互相関係数は屈伸運動の目印への総合的な追従性を評価し、位相差は時間的遅れを評価した。同時に、短縮性収縮期（上昇期）の相関係数と、伸張性収縮期（下降期）の相関係数を算出し、それぞれ、屈伸運動中の最も成績のよかったものをCCCA（Concentric Contraction Control Ability：短縮性収縮出力調節能）とECCA（Eccentric Contraction Control Ability：伸張性収縮出力調節能）とした。CCCA、ECCAの値は、それぞれ波形の最下部5%を除いた部分を対象とした（Fig2）。

4. 統計処理

筋出力調節能力と年齢との関係およびCCCAに対するECCAと年齢との関係は、年齢を独立変数とした回帰分析を行った。CCCAとECCAの関係については、対応のある検定を行った。

Ⅲ 結果

1. 年齢と筋出力調節能力の関係

年齢と筋出力調節能力の関係は、相互相関係数とCCCA、ECCAで有意な加齢による能力低下がみられた。特に、相互相関とECCAにおいて70歳以降に急激に低下する傾向がみられた。（Fig3）

2. CCCAとECCAの関係

70歳以上ではCCCAに対してECCAが有意に低値を示したが、70歳以下では有意な差はみられなかった。（Fig4）

3. CCCAに対するECCAと年齢の関係

CCCAを独立変数にしECCAを従属変数としたときの回帰分析を行った。そしてECCAの値が

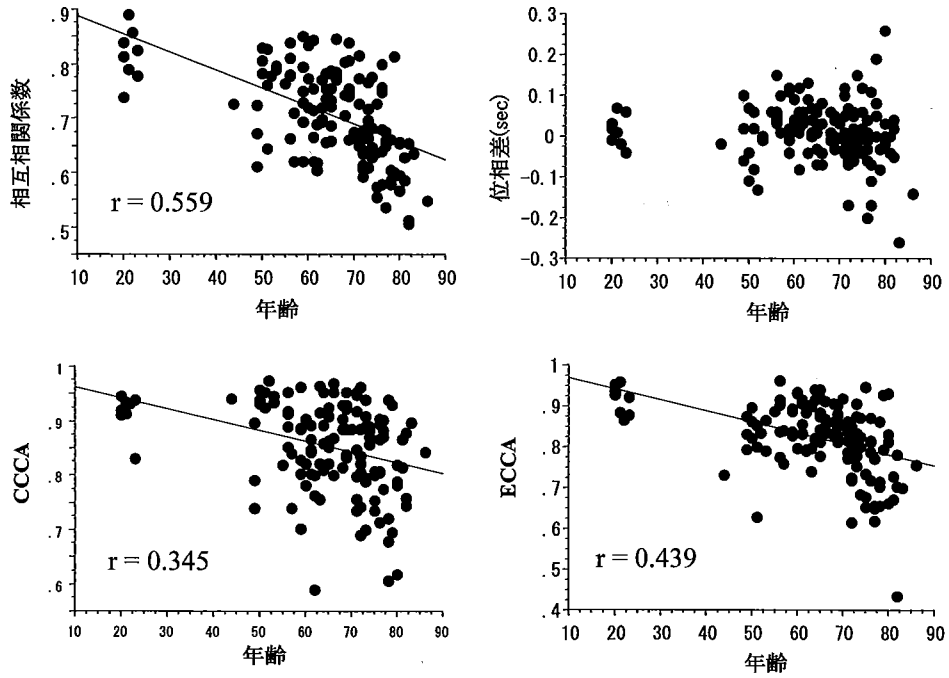


Fig3 年齢と筋出力調節能力の関係

年齢を独立変数、相互相関・位相差・CCCA・ECCAを従属変数とした。

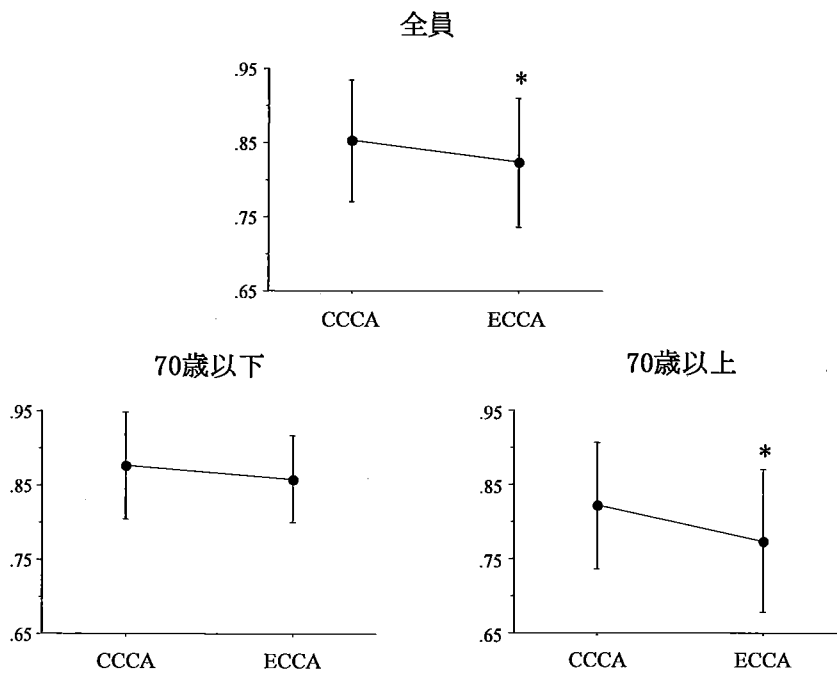


Fig4 CCCAとECCAの関係

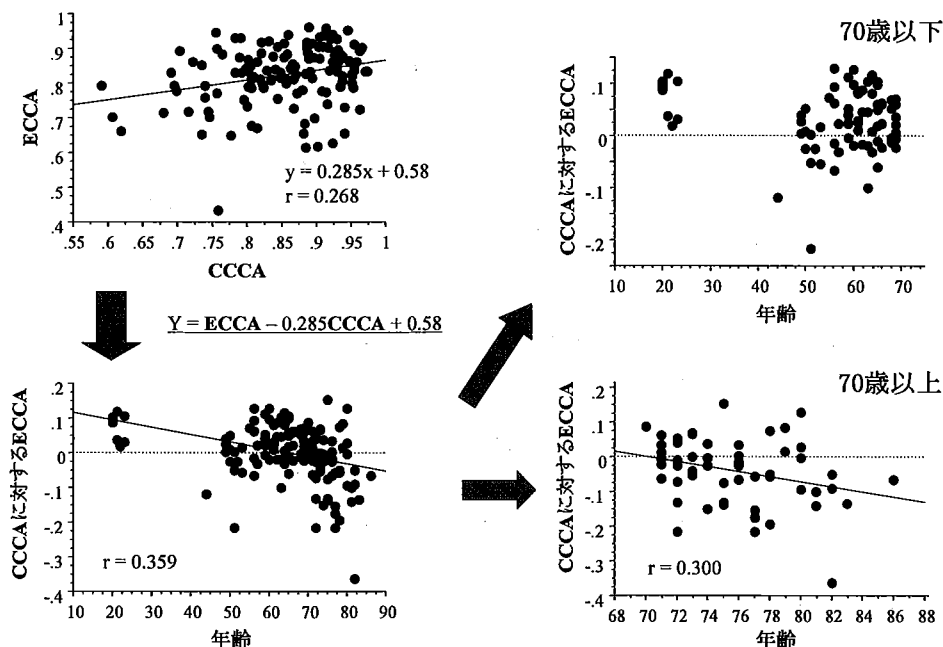


Fig5 CCCAに対するECCAと年齢との関係

CCCAを独立変数にしECCAを従属変数としたときの回帰分析を行い、その回帰直線と各被験者のECCAの値との差分をCCCAに対するECCAの値とした。そして全員と70歳以下・70歳以上で回帰分析を行った。

回帰直線より低い値を示す被験者は、CCCAに比較してECCAが低下していると捕らえ、回帰直線からの差分を算出し、年齢との回帰分析を行った。その結果、CCCAに対してECCAが70歳以上で有意に低下した。(Fig5)

IV 考察

伸張性収縮の調節能力の評価方法は、等速性筋力測定装置を用いた評価方法が少数の研究報告で用いられているのみである^{8) 14)}。しかし、高齢者で伸張性収縮を伴う動作時に困難さや不安感を訴えることは多く、握力やバランス能力と同じように伸張性収縮中の筋出力調節能力を健康教室等の運動指導の現場で簡便に測定する必要があると考える。そこで、本研究ではその一助として、屈伸運動を用いて伸張性収縮中の筋出力調節能力が加齢によってどのような影響を受けるかを検討した。

暦年齢との各筋出力調節能力の関係は、相互相関係数（総合的な目印への追従能力）とCCCA（短縮性収縮時の筋出力調節能力）・ECCA（伸張性収縮時の筋出力調節能力）において、加齢による有意な能力低下がみられた。特に70歳を境に相互相関係数とECCAは急激な低下傾向を示した。

先行研究では、若年者においても伸張性収縮時の調節能力が短縮性収縮時に比べて低く、加齢に伴ってさらに伸張性収縮時の調節能力が低下すると報告されている⁸⁾。本研究結果では、

70歳以下の被験者については、CCCAとECCAに有意な差はみられなかったことから、CCCAの測定方法に問題がある可能性が考えられた。屈伸運動の場合、重心が下がる場合は目印の最下部の位置がわからず、目印に出来るだけ合わせて重心を下げようとするが、上がる場合は目印の最上部を膝が伸びきる直前に合わせているため、目印にあまり合わせず最上部まで重心を上げているようであった。つまり、本手法ではCCCAが過小評価されている可能性が考えられた。しかし、70歳以上では有意にECCAが低値を示した。このことから、70歳を境にECCAが低下することが示された。

目印への追従性評価による筋出力調節能力では、視覚情報の入力から筋への活動電位の発生までの情報の統合と運動プログラムの形成の過程が機能低下しているのか、抹消における短縮性収縮時や伸張性収縮時の筋出力調節能力が低下しているのか区別できない。そこで、上位中枢が機能低下している場合は、CCCAとECCAが同等に低値を示すであろうと仮定し、CCCAに対するECCAを評価してやれば、ECCAのみの機能評価ができると考えた。そこで、CCCAを独立変数にしECCAを従属変数としたときの回帰分析を行い、ECCAの値が回帰直線より低い値を示す被験者は、CCCAと比較してECCAが低下していると捕らえ、回帰直線からの差分を算出し、年齢との回帰分析を行った。その結果、70歳以上において加齢に伴い伸張性収縮時の筋出力調節能力に有意な機能低下がみられた。つまり、短縮性収縮時に比べ伸張性収縮時において、明らかな機能低下が生じていた。

その原因としては、加齢によって筋紡錘や腱器官の筋内の固有感覚器の機能低下や皮膚や関節内の受容器の機能低下、神経伝達速度の遅延・ α 運動ニューロンの消失・速筋線維の選択的萎縮などの変化が生じ^{1) 6) 8) 14) 16)}、その結果、高齢者の、特に伸張性収縮において変動性の増大が起こると考えられる。高齢者の関節の運動感覚に影響を及ぼす要因として、筋紡錘や腱器官などの機能の低下は少なく^{14) 16)}、むしろ皮膚の受容器の機能低下が影響しているという報告があり¹⁴⁾、筋紡錘や腱器官の加齢による機能低下は少なく伸張性収縮時の調節能力にも影響していない可能性が考えられた。むしろ皮膚の受容器の影響を今後検討してみる必要がある。また関節内の受容器も低速な関節角速度ではインパルスが発生しないとの報告¹⁴⁾から今回の屈伸動作ではあまり影響していない可能性が考えられた。神経伝達速度の低下は調節能力に影響すると考えられるが、皮膚の受容器の機能低下や神経伝達速度の低下は、短縮性収縮時の調節能力にも影響すると考えられ、伸張性収縮時の調節能力が特異的に低下することに最も影響を及ぼす要因としては速筋線維の選択的萎縮が挙げられる¹⁶⁾。伸張性収縮時には選択的に速筋線維が動員されることが知られており^{6) 16)}、これとあわせて考えると速筋線維の選択的萎縮は高齢者に伸張性収縮時の調節能力の低下をもたらすと考えられる。また、もうひとつの要因として検討すべきことは、筋腱複合体の直列弾性要素としての腱組織の存在であり、腱組織は筋腱複合体のパワー発揮を効率的にすることが近年明らかにされたが^{29) 13)}、腱組織の存在が筋出力調節に困難さをもたらしているのではないかと考えられた。このことについても今後検討する必要がある。

V 要約

本研究では、筋の調節能力を簡便に測定する方法を確立する一助として、加齢が屈伸運動中の短縮性筋収縮 (CCCA) および伸張性筋収縮 (ECCA) の筋出力調節能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的として実施された。

実験結果は以下に示すとおりである。

1. 加齢に伴い相互相関・CCCA・ECCAともに低下することが明らかとなった。
2. 特に70歳以上で低下が著しくなる傾向がみられた。
3. 70歳以上でCCCAに比べECCAが特に機能低下を示した。
4. 以上のことから伸張性収縮において70歳付近を境に急激な調節能力の低下がみられ、そのあたりがクリティカルポイントである可能性が示唆された。
5. 本研究の方法において、加齢による伸張性収縮出力調節能力の低下がみられたことにより、屈伸運動を用いた筋出力調節能力測定法の有効性が示唆された。

文献

- 1) 朝長正徳、佐藤明夫. 脳・神経系のエイジング. 朝倉書店 (1989)
- 2) 枝松千尋、飯田智行、飯塚智之、宮川健、小野寺昇. 加齢が屈伸運動における短縮性収縮と伸張性収縮の調節能力に及ぼす影響. 第58回日本体力医学会大会予稿集: 355 (2003)
- 3) 枝松千尋、三宅恵美子、飯田智行、飯塚智之、宮川健. 屈伸運動を用いた伸張性収縮時の筋出力調節能力の測定～加齢による調節能力の変化～. 第1回日本運動処方学会大会・大会プログラム: 18 (2003)
- 4) 枝松千尋、飯田智行、飯塚智之、寺脇史子、宮川健、小野寺昇. 屈伸運動における短縮性収縮と伸張性収縮の調節能力の加齢変化. 第51回日本体力医学会中国・四国地方会抄録集: 12-13 (2003)
- 5) Enoka RM. Eccentric contraction require unique activation strategies by the nervous system. *J.App.Physiology* 81: 2339-2346 (1996)
- 6) Katzman R, Terry RD. 加齢の神経学. 西村書店 (1986)
- 7) 金俊東、久野譜也. 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. *体力科学* 49: 589-596 (2000)
- 8) Christou EA, Carlton LG. Age and contraction type influence motor output variability in rapid discrete tasks. *J.App.Physiology* 93: 489-498 (2002)
- 9) Kurokawa S, Fukunaga T, Nagano A, Fukashiro S. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J Appl Physiology* 95: 2306-2314 (2003)
- 10) 財団法人 厚生統計協会. 国民衛生の動向 第49巻 第9号: 231 (2002)
- 11) 社団法人 人間生活工学研究センター. 人体寸法データ集 (1996)
- 12) 速水達也、金子文成、鈴木寛康、横井孝志、木塚朝博. 力平衡保持課題および力の再現性課題における運動感覚評価の比較. 第59回日本体力医学会大会予稿集: 216 (2004)
- 13) Fukunaga T, Kawakami Y, Muraoka T, Kanchisa H. Muscle and tendon relations in humans: power enhancement in counter-movement exercise. *Adv Exp Med Biol* 508: 501-5 (2002)
- 14) Verschueren S.M.P, Brumagne S., Swinnen S.P., Cordo P.J. The effect of aging on dynamic position sense at the ankle. *Behavioural Brain Research* 136: 593-603 (2002)
- 15) 三宅恵美子. 加齢が屈伸運動における短縮性筋収縮と伸張性筋収縮の筋出力調節能に及ぼす影響. 川崎医療福祉大学健康体育学科卒業論文 (2004)
- 16) 山田茂、福永哲夫. 骨格筋-運動による機能と形態の変化. *NAP* (1997)

Effects of aging on the control ability of eccentric contraction in bending and stretching exercises.

Chihiro EDAMATSU

College of Life Science

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan

Tomoyuki IIDA, Takeshi MIYAKAWA

Kawasaki University of medical welfare

288 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama 701-0193, Japan

(Received September 24, 2004)

The purpose of this study was to clear the influences of aging on the ability to control the muscle-tension during concentric(CCCA), and eccentric contraction(ECCA) in bending and stretching exercises as the first step which establishes the simple and easy method of measuring the ability to control the muscle-tension.

The following results obtained:

1. As female got older, Mutual correlation coefficient, CCCA and ECCA became decrease.
2. The remarkable decrease of Mutual correlation coefficient, CCCA and ECCA happened at female over 70 years old.
3. Compared with CCCA, especially ECCA showed the functional decrease for female over 70 years old.
4. Therefore, in eccentric contraction, the drastic decrease of the ability to control the muscle-tension was seen from near 70 years old, and this suggested that near 70 years old was a critical point.
5. In this study, the validity of the measuring method using bending and stretching exercises which evaluate the ability to control the muscle-tension was suggested.