

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500432
 研究課題名（和文） 姿勢制御におけるフィードフォワード訓練の運動学習に関する研究
 研究課題名（英文） Learning effects on Feed-forward Postural Control
 研究代表者
 浅賀 忠義（ASAKA TADAYOSHI）
 北海道大学・大学院保健科学研究院・准教授
 研究者番号：60241387

研究成果の概要：

フィードフォワード制御（自発的外乱前に出現する姿勢反応）の姿勢筋活動パターン（筋モード）と筋モード間の協調性（筋シナジー）における学習効果について初めて明らかにした。立位姿勢不安定状態での繰り返し訓練によって同時収縮パターンから相反収縮パターンに変化し、協調性の有意な増加が示された。さらに、加齢によって立位姿勢安定状態であっても相反収縮パターンから同時収縮パターンへとシフトすることが明らかとなった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：姿勢制御，運動学習，加齢

1. 研究開始当初の背景

姿勢制御のメカニズムおよびその運動学習の解明は、とくにバランス障害に対する中枢系理学療法を進展させる上で重要なテーマであり、有効な運動療法が切望されている。姿勢制御のなかで、とくに自発運動に先行して出現する姿勢筋の共同筋活動はバランスを崩さないために予めプログラムされたフィードフォワード制御として注目され、とくに生体工学分野では予測的姿勢制御と称してそのメカニズムに関する研究成果が報告されてきた。一方、運動学習は訓練を通じて獲得される

感覚運動系の協調性が向上してゆく過程であり、協調的な共同運動（筋シナジー）の定量的な解析手法（Uncontrolled Manifold: UCM 解析、詳細は研究計画・方法参照）が報告されて以来、この手法を用いた成果が徐々に蓄積されて来ている。

筋シナジーの運動学習に関する研究は、手指屈曲時の圧や関節可動域といった“mechanical variables”をコントロール変数とする多指および上肢運動の報告のみであり、筋活動“physiological variable”をコントロール変数とする姿勢制御の運動学習に関する

研究は、本研究者らの知る限り世界で報告がない。筋活動から筋シナジーを解析することは、mechanical variables に比べてより直接的に運動制御の様態を探ることができるため、そのメカニズム解明には有効である。

2. 研究の目的

(1) 不安定な立位姿勢においてフィードフォワード制御が要求される自発運動の繰り返し訓練（フィードフォワード訓練）による学習効果について、筋活動を変数とする UCM 解析を用いて明らかにする。

(2) 筋モードおよび筋シナジーの加齢の影響について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 対象：同意を得た健常若年者および高齢者

(2) 実験手順

①被験者は、床反力計に置かれた不安定板の上に安静立位を保持し、Load release task と Arm movement task の 2 種類の課題を行った。

②訓練は連日 5 日間行う。訓練用の不安定板を 2 種類用意しバランスを崩さないように努力した。訓練前、訓練 3 回後、訓練 5 回後に、データ収集を行なった。

LabVIEW を用いてシグナルを収集し、MATLAB を用いて解析した。

(3) 解析手法

ベルンシュタインの提唱する運動制御システム理論 (Bernstein, Pergamon Press, 1967) に基づいた Latash の方法論に従って解析を進めた (Latash et al. Exerc Sport Sci Rev, 2002)。

①10 筋の外乱刺激前 100ms から外乱刺激(t_0)までの積分筋電値による主成分分析から筋モードを同定する。

②固有値から算出される 3 つの筋モードと足圧中心 (COP) の変位との重回帰分析からジャコビアンを求める。

③ゼロ空間への線形変換によって二つの直行するベクトル成分の分散を算出し、その比率から筋シナジーを定量化する。

4. 研究成果

(1) 外乱刺激後に立位姿勢を崩す頻度が減少し訓練効果みられ、筋モードは同時収縮パターンから相反収縮パターンへと徐々に変化し (図 1), 筋シナジーが有意に増強された (図 2)。姿勢調節の運動学習によって筋モードと筋シナジーが変化したことから、中枢神経システムは筋モードを柔軟に制御し、訓練は筋モード間の協調パターンの順応をもたらすことが示唆される。バランス訓練における協調性の運動学習に関する基礎的研究と

なる。

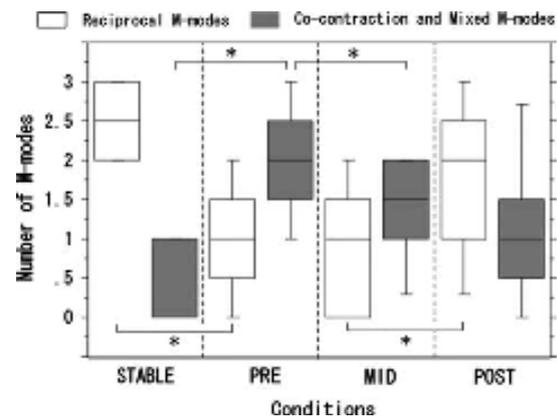


Figure 1: The total range (min - max), the 25-75% range, and the median for the number of times the reciprocal M-modes and the total of the co-contraction and mixed M-modes were seen across subjects. *STABLE* - stable condition, *PRE* - pre-practice under unstable condition, *MID* - mid-practice under unstable condition, *POST* - post-practice

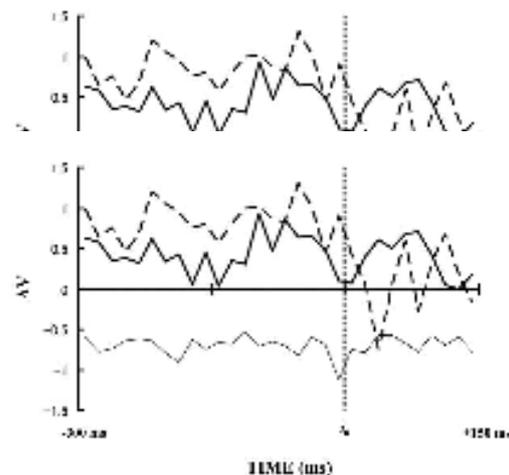


Figure 2: Typical changes of the index of multi-mode synergy, ΔV during quick arm extension movements by a representative subject in the three test sessions, pre-practice (*thin line*), mid-practice (*thick dashed line*) and post-practice (*thick line*) while standing on Board-1 (unstable condition). The time of action initiation is shown as time zero (t_0 , the vertical dashed line). The data are shown for 15 ms time intervals. Before practice, the subject showed consistently negative values of ΔV ; these values turned positive during the other two sessions. No drop in ΔV after the action initiation can be seen in the post-practice session.

バランス障害に対する運動療法は、主として視覚や深部感覚によるフィードバック訓練であり、フィードフォワード制御の訓練効果について調べた姿勢制御に関する研究は、本研究者らが知る限り世界で初めてである。この成果によって、バランス障害に対する新たな訓練方法の開発が期待できる。

(2) 体幹、股関節、膝関節の屈筋と伸筋の筋活動の相互相関係数を解析し、最大相関係

数時における time lag について比較検討した。time lag が短い程、主動作筋と拮抗筋が同時収縮していることを示す。その結果、体幹の屈筋と伸筋の筋活動の time lag が、高齢者群は若年者群に比べて有意に短かった (図 3)。さらに、体幹・下肢筋群の積分筋電値を主成分分析した結果、高齢者群は若年者群に比べて有意に co-contraction Modes の数が多かった。これらの結果から、加齢によってフィードフォワード制御の活動パターンが相反収縮パターンから同時収縮パターンへと変化することが明らかとなった。

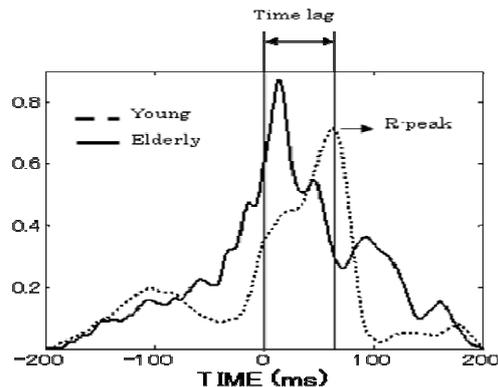


Figure 3: Correlation coefficients computed from cross-correlations between rectus abdominis and erector spinae muscles from -200 ms to t_0 for representative young (dotted line) and elderly (full line) subjects. Time lag is defined at the moment of peak correlation coefficient (R-peak). Positive time lag indicates earlier activation in dorsal muscle compared to ventral muscle activation.

バランス能力が低下している高齢者に対しても、この解析方法によって筋シナジーを定量的に評価することが可能となった。次のステップで同様の訓練効果が明らかとなれば、転倒予防を目的とした訓練効果が期待できる。

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 8 件)

- ① Asaka T, Wang Y, Fukushima J, Latash ML: Learning effects on muscle modes and multi-mode postural synergies, *Experimental Brain Research*, 184:323-338, 2008. 査読有
<http://www.springerlink.com/content/1r4501556v4n6170?p=357089534ef84c80b9188a6c33c939aa&pi=2>
- ② Asaka T, Wang Y: Effects of Aging on Feedforward Postural Synergies, *Journal of Human Kinetics*, 20:63-70. 2008. 査読有

http://www.johk.awf.katowice.pl/pdfy/nr%2020/5_asaka&wang.pdf

③ Wang Y, Asaka T:

Muscle synergies involved in shifts on the center of pressure while standing on a narrow support, *Brain Research Bulletin*, 76:16-25, 2008. 査読有

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6SYT-4RR1YR2-1-F&_cdi=4843&_user=4311315&_orig=browse&_coverDate=05%2F15%2F2008&_sk=999239998&_view=c&_wchp=dGLzVtb-zSkzk&_md5=924320fbc32462e3c62a5dddb22ed4b9&_ie=/sdarticle.pdf

④ Yun Wang, Kazuhiko Watanabe:

The relationship between obstacle height and center of pressure velocity during obstacle crossing. *Gait and Posture*, 27(1):172-5, 2008. 査読有

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T6Y-4NFR5GS-1-1&_cdi=5043&_user=4311315&_orig=browse&_coverDate=01%2F31%2F2008&_sk=999729998&_view=c&_wchp=dGLbVIW-zSkzV&_md5=60542d6454c16087242b3cf12a840c44&_ie=/sdarticle.pdf

⑤ Fukushima J, Asaka T, Fukushima K:

Postural changes during eye-head movements, *Progress in Brain Research*, 171:335-338, 2008. 査読有

⑥ Yun Wang, Elena Y. Shapkova, Siripan Siwasakunrat, Vladimir M. Zatsiorsky, and Mark L. Latash:

Stepping from a narrow support, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(4):462-72, 2007. 査読有

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T89-4KJTNHT-1-1D&_cdi=5081&_user=4311315&_orig=browse&_coverDate=08%2F31%2F2007&_sk=999829995&_view=c&_wchp=dGLzVtz-zSkWA&_md5=ea9c39c5872ee044ec115093c520e41e&_ie=/sdarticle.pdf

⑦ Saito H, Asaka T, Fukushima J, Takeda N: Effects on anticipatory postural adjustments in young subjects, *J Physical Therapy Science*, 19:83-89, 2007. 査読有

http://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/19/1/83/_pdf

⑧ Fukushima J, Asaka T, Ikeda N, Ito Y: Postural control during downward head movements in young subjects, *J Physical Therapy Science*, 19:205-212, 2007. 査読有

<http://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/19/3/205/>

[pdf](#)

[学会発表] (計 4件)

- ① Asaka T
Effects of Aging on Feedforward
Postural Control,
Internatonal Scientific Conference Motor
Control 2008, September 20, 2008.
ANTALÓWKA, Zakopane, Poland
- ② 片山加奈子
予測的姿勢制御における加齢の影
響について,
第43回日本理学療法学会
2008年 5月16日
福岡国際センター,福岡
- ③ Wang Y
Muscle Modes and Multi-Mode Postural
Synergies,
Asia-Pacific Conference on Exercise and
Sports Science, December 7, 2007.
Hiroshima University, Hiroshima, Japan
- ④ Fukushima J
Postural changes during eye-head
coordination,
Meeting to Honor Jean Buettner-Ennever,
December 12, 2007
Charing Cross Hospital, London, UK

[その他]

特別講演

- ① 浅賀忠義: 姿勢制御と筋シナジーについ
て,
第 62 回日本体力医学会中国・四国地方
会, 第 28 回運動生理・バイオメカニク
ス中・四国セミナー合同大会,
2008年 11月 22日 (広島大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅賀 忠義 (ASAKA TADAYOSHI)
北海道大学・大学院保健科学研究所・准教
授

研究者番号: 60241387

(2) 研究分担者

王 芸 (WANG YUN)
広島大学・大学院教育学研究科・助教
研究者番号: 80457275

(3) 連携研究者

なし