

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500461

研究課題名（和文） 姿勢制御における筋シナジーと運動学習に関する研究

研究課題名（英文） Postural muscle synergies and motor learning

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

研究成果の概要（和文）：外乱刺激による感覚情報に起因する姿勢反応（フィードバック制御）の姿勢筋活動パターン（筋モード）と学習効果について明らかにした。立位姿勢における床面水平刺激の繰り返し練習によって、非典型的な筋モード "Sway-mode" の促進が示された。また、軽度小脳性失調症患者は同時収縮パターンが増加し、フィードバック制御およびフィードフォワード制御の双方共に筋モード間の協調性が低下していることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We clarified postural muscle modes and learning effects during compensatory postural response generated from sensory information triggered by perturbations. The results of repetitive practice under horizontal surface translation during standing indicated facilitation of atypical mode "Sway-mode". Furthermore, we conclude that individuals with mild cerebellar ataxia show more co-contraction modes and impaired coordination during feedback and feed-forward postural control.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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

キーワード：姿勢制御・運動学習・筋電図・筋シナジー

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、転倒や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る。姿勢制御はフィードフォワード制御である自発的外乱（力学的姿勢動揺）前の姿勢筋活動とフィードバック制御である外乱後の姿勢筋活動に大別される。一方、運動学習は効果的な訓練を通じて獲得される感覚運動系の協調性の向上として捉えることができ、姿勢筋活動パターン（筋モード）

の同定および筋モード間の協調性（筋シナジー）の定量的な解析方法が報告されて以来、この手法を用いた成果が徐々に蓄積されて来ている。

近年、本研究者らはこの解析方法をさらに発展させて予測的姿勢制御の筋活動から立位姿勢における安定状態と不安定状態での筋シナジーの変化 (Wang, Asaka et al. Exp Brain Res, 2006; Wang & Asaka Brain Research Bulletin, 2008), および運動学習の効果について報告した (Asaka, Latash et al.

Exp Brain Res, 2008). さらに、高齢者を対象に筋モードの変化について報告してきた。

2. 研究の目的

(1) フィードバック制御である外乱後の姿勢筋活動の筋モードおよび学習効果について明らかにする。

(2) 協調性障害を有する疾患患者の筋モードおよびモード間の協調性について調べる。

3. 研究の方法

実験 1

(1) 対象：同意を得た健常若年者

(2) 実験手順

①被験者は、床面水平刺激装置の上（安定状態）または不安定板上（不安定状態）に安静立位を保持し、前後方向の姿勢動揺を経験した。

②訓練は連日 6 日間行い、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 6 回後に、データ収集を行なった。

実験 2

(1) 対象：同意を得た軽度の小脳性失調症患者

(2) 実験手順

被験者は、床反力計の上に安静立位を保持し、Load release taskの課題を行なった。

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(t0)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) 訓練後は、最大重心速度の有意な減少がみられた。さらに、主成分分析の結果、不安定状態における後方刺激では腹筋、前方刺激では背筋の因子負荷量が有意に増加し、中枢筋と末梢筋の相反する（矢状面）活動パターンの増強が示された (Figure. 1)。我々は、この筋モードを“Sway-mode”と名づけた。本研究は、外乱刺激に対するバランス訓練における効果的な姿勢筋活動パターンの基礎的

資料となる。

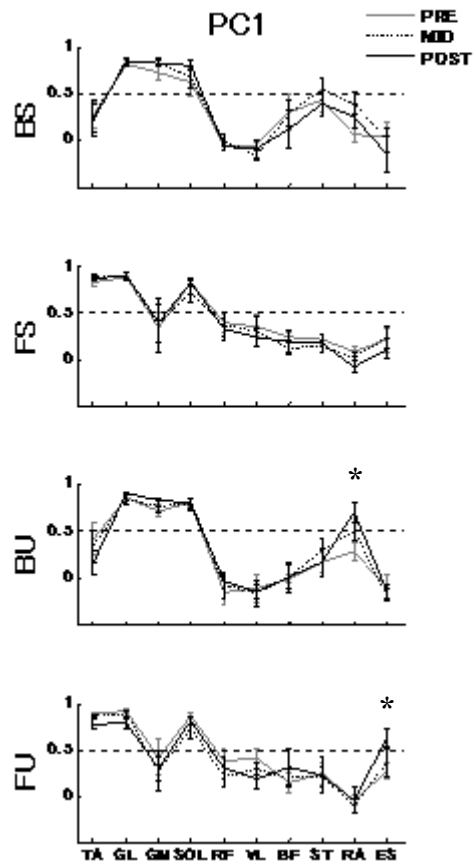


Figure 1: The average values with the standard error of the factor loadings of 10 muscles for each task in the first principal components (PC1). Note that the average values of the ten muscles were relatively similar across *Test-sessions* (PRE, MID, POST) and stability conditions. However, the average value of the rectus femoris was loaded significantly at the POST session in PC1 in the backward perturbations under the unstable condition (BU). Likewise, that of the erector spinae was loaded significantly at the POST session in PC1 in the forward perturbations under the unstable condition (FU). The asterisk symbols show a significant effect of the factor *Test-session* on the loading ($p < 0.05$). BS, backward perturbed direction under the stable condition; FS, forward perturbed direction under the stable condition; BU, backward perturbed direction under the unstable condition; FU, forward perturbed direction under the unstable condition. TA, tibialis anterior; GM, medial head of the gastrocnemius; GL, lateral head of the gastrocnemius; SOL, soleus; RF, rectus femoris; VL, vastus lateralis; BF, biceps femoris; ST, semitendinosus; RA, rectus abdominis; ES, erector spinae.

(2) 本研究は、小脳性失調症患者が立位バランスを維持するためのフィードフォワード制御における姿勢筋群の活動パターンと定量的な協調性について世界で初めて明らかにした。結論は、軽度小脳性失調症患者は1. 足圧中心 (COP) シフトに関連する課題においてはフィードフォワード制御において筋モードを統合できる, 2. 筋モードの構成要素はより同時収縮パターンを示す, 3. フィードバック制御のみならずフィードフォワード制御の筋モード間の協調性も障害されている (図 2)。この解析方法を用いて、反復施行における単位時間 (25ms) あたりの足圧中心変化量 (Δ COP) の分散値と筋活動量の分散値から算出される筋シナジー (Δ V) との緊密な相関性 ($r^2=0.96$) を初めて示した

(Figure 3)。得られた知見は、小脳性失調症の立位バランスに対する理学療法アプローチの基礎的資料となる。

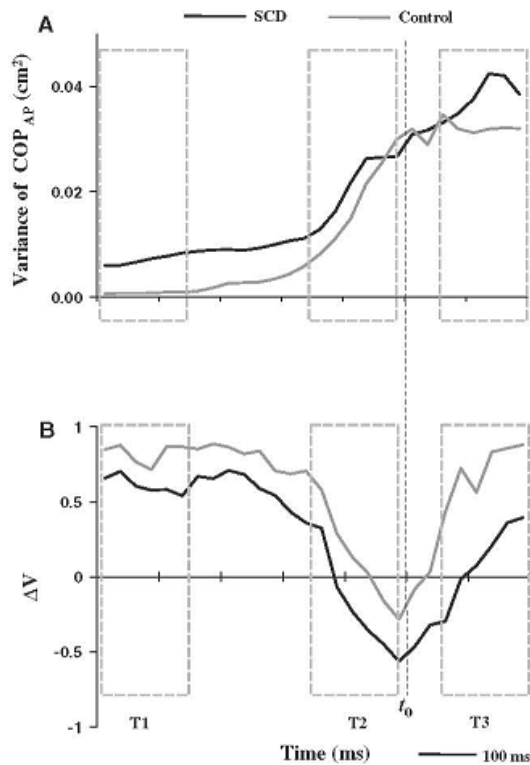


図 2 : Δ COP の分散値 (A) と Δ V (B) の経時変化を表している。黒線は SCD 群の平均値を、灰色線は control 群の平均値を示す。t0 は外乱開始, T1 は安静立位時, T2 は外乱前のフィードフォワード制御, T3 は外乱後のフィードバック制御の時間相を示している。 Δ V 値は、どの時間相においても SCD 群の方が control 群よりも有意に低下している。

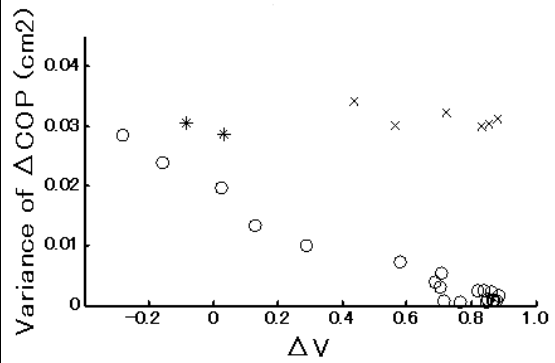


Figure 3: Coefficients of determination from -500 ms to t0 (denoted by open dots) in the control group was 0.96. Note that a clear correlation was seen between the variance of Δ COP and values of index Δ V before action initiation. Asterisks and crosses are shown during the time intervals from t0 to +50 ms and from +50 to +200 ms, respectively.

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 3 件)

- ① Asaka T, Wang Y: Feedforward postural muscle modes and multi-mode coordination in mild cerebellar ataxia. *Exp Brain Res* 210:153-163, 2011. 査読有

<http://www.springerlink.com/content/k6188650t8728764/>

- ② Asaka T, Yahata K, Mani H, Wang Y: Modulations of muscle modes in automatic postural responses induced by external surface translations. *J Motor Behav* 43:165-172, 2011.

<http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=3&hid=8&sid=249830c8-9b28-4db6-9f9f-7d623a6d7d21%40sessionmgr11&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtbG12ZQ%3d%3d#db=aph&AN=59271734>

- ③ 王 芸, 浅賀忠義, 渡部和彦: 動作開始における筋相互間の協調性の研究; 高齢者の安全な歩行指導への貢献. *健康医科学*, Vol. 25, p37-45. 2010. 3.

[学会発表] (計 11 件)

- ① Asaka T
Characteristics of feedback postural control induced by unexpected surface perturbations in elite skiers.
4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology ICBBT-2012, February 26-28, 2012.
Quality Hotel Singapore, Singapore

- ② Watanabe K
Effects of Backpack Load and Gait Speed on Plantar Force During Treadmill Walking. 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology ICBBT-2012, February 26-28, 2012. Quality Hotel Singapore, Singapore
- ③ 斉藤麻里子
イメージトレーニングと視覚刺激を組み合わせた座位バランストレーニングの脳卒中片麻痺患者に対する効果. 第3回ニューロリハビリテーション学会. 2012年2月.
パシフィコ横浜、横浜
- ④ 田上裕子
パーキンソン病患者における踵補高による歩行開始時の効果. 第62回北海道理学療法士学会. 2011年11月.
函館市民会館、函館
- ⑤ 戸塚満久
パーキンソン病患者における立位前後動揺と足圧分布との関連について. 第62回北海道理学療法士学会. 2011年11月.
函館市民会館、函館
- ⑥ 斉藤麻里子
脳卒中片麻痺患者に対するイメージトレーニングと視覚刺激を組み合わせた座位バランス練習の効果. 第62回北海道理学療法士学会. 2011年11月.
函館市民会館、函館
- ⑦ 宮城嶋沙織
極低出産体重児の修正月齢1ヶ月時の自発運動の解析. 第62回北海道理学療法士学会. 2011年11月.
函館市民会館、函館
- ⑧ 萬井太規
水平外乱による姿勢反応の筋活動パターンについて. 第46回日本理学療法学会. 2011年5月.
シーガイアコンベンションセンター、宮崎
- ⑨ Asaka T
Muscle modes involved in automatic postural responses triggered by external perturbations. 1st International Conference on Applied Bionics and Biomechanics. ICABB-2010, October 14-16, 2010. San Servolo, Venice, Italy
- ⑩ Wang Y
Effect of aging on muscle modes during voluntary body sway.

1st International Conference on Applied Bionics and Biomechanics. ICABB-2010, October 14-16, 2010. San Servolo, Venice, Italy

- ⑪ 八幡健太郎
姿勢反応における筋シナジーの学習効果について. 第45回日本理学療法学会. 2010年5月27日~29日.
岐阜メモリアルセンター、岐阜

〔図書〕(計1件)

- ① Asaka T, Wang Y, Sato K:
Effects of Ageing on Feedforward Postural Control.
In: Diagnosis in Motor Control: Current Research in Motor Control III. Katowice, Academy of Physical Education, 2009, pp 337-344.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ：

<http://csc05.coop.hokudai.ac.jp/asakalab/>

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)

岩国短期大学・幼児教育科・講師

研究者番号：80457275