

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007 年度～2008 年度
 課題番号：19700456
 研究課題名 (和文) 立位姿勢制御に効果的に作用する足底部硬度弁別知覚課題時の脳活動に関する研究
 研究課題名 (英文) Brain activity in perceptual task of plantar hardness discrimination to improve standing posture balance
 研究代表者
 森岡 周 (MORIOKA SHU)
 研究者番号：20388903

研究成果の概要：足底部硬度弁別知覚の向上が立位姿勢制御の安定化に寄与するかについて重心動揺および脳活動から検証した。健康な 20 代の成人 20 名，前期高齢者（60～75 歳）24 名，ならびに後期高齢者（75 歳以上）14 名が実験に参加した。各々の層で無作為に介入群とコントロール群に振り分けた。その結果，すべての層の介入群で立位重心動揺の減少がみられ，姿勢バランスの安定化が図られた。その際，課題時には共通して，前頭前野背外側部の脳血流量が上昇した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	0	2,100,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	240,000	3,140,000

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

科研費の分科・細目：

キーワード：運動療法学，神経科学，認知科学

1. 研究開始当初の背景

立位姿勢制御に影響を及ぼす感覚入力は，視覚，前庭・迷路覚，体性感覚である。ヒトは，これらの感覚情報を統合し，直立姿勢を維持していると考えられている。立位姿勢制御に関する先行研究は，これらの感覚情報を一時的に遮断，あるいは混乱させることによって，その制御がどのような変化を起こすかに論点を向けてきた。なかでも，体性感覚入力の可変による姿勢制御能の変化を検討した研究は，神経系の損傷により体性感覚障害を来したりリハビリテーション対象者の姿勢制御能を評価，あるいは治療する上で一定の

成果をあげている。

筆者は，足底知覚の向上によって，立位姿勢制御能の向上が図られるのではないかといった仮説をいくつかの無作為比較試験 (Randomized Control Trial: RCT) で検証した。その介入手段には，足底に敷かれたスポンジマットの硬度を弁別させる知覚課題を行う手法を用いた。硬度弁別知覚課題には，硬さの異なる 5 段階のスポンジゴムを用いて，足底に敷かれたスポンジゴムの硬さを知覚し，足底に敷かれているスポンジゴムの判断を求めた。その結果，健常大学生，足底皮膚感覚に麻痺が認められた脳卒中片麻痺者に

において、硬度弁別の誤判断数は試行の進行に伴い有意に減少し、足底部知覚学習成績の向上が確認され、課題施行前に比べて施行後の立位重心動揺項目値が有意に減少した。

2. 研究の目的

硬度弁別知覚課題による知覚能力向上に基づく立位姿勢バランスの安定化は、体性感覚入力が増大といった外的刺激による効果ではなく、大脳皮質における感覚情報の統合機能の向上による効果であると考えられる。なぜなら、この課題には、スポンジゴムの硬さを知覚する、硬さに注意を向ける、硬さを記憶する、硬さを判断するといった認知過程が内在しているからである。しかしながら、課題遂行中に認知過程が活性化しているかを証明するためには、実際の大脳皮質の活動を明確にすべきである。したがって、本課題の効果に関して科学的根拠を求める上で、硬度弁別知覚課題における脳活動を検出する必然性がある。

本研究では、立位姿勢制御時における硬度弁別知覚課題時の脳活動を脳機能イメージング装置である functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) を用いて明らかにすることを目的とする。なお MRI (Magnetic Resonance Imaging) 三次元画像重ね合わせ (fusion imaging) によって、脳マッピングを行い、本課題時の活動領域の詳細についても明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 健康な若年成人 20 名 (平均年齢 22 歳～29 歳) が実験に参加した。その参加者をランダム表に基づき、無作為にコントロール群、硬度弁別知覚課題介入群 (介入群) の 2 群に各々 10 名ずつ振り分けた。

(2) 同じ地域に在住している健康な 60 歳以上 75 歳未満の前期高齢者 24 名 (61 歳～71 歳, 平均年齢) が実験に参加した。その参加者をランダム表に基づき、無作為にコントロール群、硬度弁別知覚課題介入群 (介入群) の 2 群に各々 14 名ずつ振り分けた。

(3) 施設に入所している 75 歳以上の後期高齢者 14 名 (77 歳～86 歳) が実験に参加した。その参加者をランダム表に基づき、無作為にコントロール群、硬度弁別知覚課題介入群 (介入群) の 2 群に各々 7 名ずつ振り分けた。

無作為割り付けにはコンピューターの乱数発生プログラム (Microsoft Office Excel 2007 RAND 関数) を使用した。なお、この作業は第三者が行った。群の割り付け情報は、実験参加者とアウトカム評価者およびデータ解析者に対して盲検化を行い、著者と介入実施者に対しては盲検化しなかった。

介入群に対して、異なる 5 段階のスポンジゴムを用い、与えられたスポンジゴムの硬さを判断する課題を与えた。これらの介入を 2 週間計 10 回施行した。なお、コントロール群にはスポンジゴム上で立位保持を 10 秒間求めた。

介入群に対する足底部の硬度弁別知覚課題には、異なる 5 段階のスポンジゴムを用いた。介入手続きは、①立位にて視覚遮蔽後、上昇系列ならびに下降系列に 1 試行のみ言語教示を参加者に対して与え、与えられたスポンジゴムの硬さを記憶するように求める。②その後、ランダムに 5 試行、異なる硬度のスポンジゴムを設置し、参加者に硬さの判断を求める。この際、正誤の結果は判断直後に言語を用いて介入実施者 (理学療法士) がフィードバック情報として与える。30 秒間の休憩後、③ランダム表に基づく本課題を 10 試行し、硬さの判断を参加者に求める。この際、正誤の結果は与えない。

この順序にて行い、10 試行の誤判断数を知覚能力の変化のデータとして使用した。これらの介入を 2 週間計 10 回施行した。

立位姿勢制御能の指標には、重心動揺値、Functional Reach Test (Duncan PW, 1992) による前方重心移動距離を用いた。fNIRS を用い、脳血流動態を捉え、それを脳活動の指標とした。解析には、酸素化ヘモグロビン (oxyHb) 値を用いた。

介入前後の立位重心動揺値と前方重心移動距離値を比較した。また課題中の oxyHb 値の変化をチャンネル毎に比較した。同時に MRI 画像に重ね合わせて脳マッピングを行い、大脳皮質における活動領域を明らかにした。

10 日間の知覚学習課題における誤判断数の検定には、反復測定一元配置分散分析を使用し、post hoc test として Scheffe 法を用いた。重心動揺の抽出項目は総軌跡長 (cm) とし、3 回測定後の平均値を算出した。知覚学習課題を実施した 10 日間の前と後の重心動揺値ならびに前方重心移動距離の比較には、paired t-test を用いて統計処理した。なお、統計処理には Dr. SPSS II (SPSS 社製) を使用した。有意水準は全て 5%未満とした。

一方、脳血流動態の測定には、fNIRS FOIRE-3000 (島津製作所製) を用いた。照射プローブを対象者の前頭葉を覆うように格子状に配置した。実験参加者間でプローブ位置の再現性を得るために、左右の耳介前点を結んだ線と鼻根部と後頭結節を結んだ線が交わる点 (国際 10-20 法における Cz) 上に照射プローブの T2 が位置するように近赤外光プローブ固定用ホルダを装着した (図 1)。

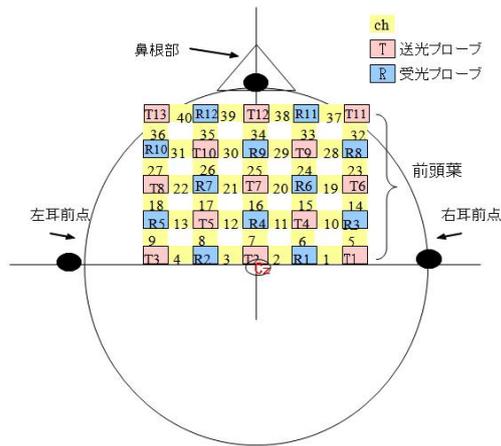


図1 国際10-20法を基準とした照射・受容プローブの配置図および測定チャンネルの部位

送光プローブとそれに隣接する受光プローブの間がヘモグロビン濃度の測定部位（チャンネル，以下ch）になる．タイミングプロトコルは前レスト5秒，タスク10秒，後レスト5秒の計20秒間を1試行とした．各試行は連続的に繰り返され，対象者は計10試行を行った．

fNIRSで記録される数値は，各chにおける酸素化ヘモグロビン（oxyHb）と脱酸素化ヘモグロビン（deoxyHb）の変化量と，それらの合計である総ヘモグロビン（totalHb）の3種類である．これら3種類の測定データのうち，oxyHbの変化は局所脳血流（regional cerebral blood flow；rCBF）の変化と最も高い相関を示すことが報告されている．また，神経活動には大量の酸素と栄養が必要なため，それを運ぶrCBFの増加はその部位の神経活動の増加を反映したものであることが報告されている．つまり，oxyHbの変化はrCBFの変化と高い相関があり，またrCBFの増加はその部位の神経活動の増加を反映したものであることから，oxyHbが増加した部位では神経活動が増加していると考えられる．そこで本研究ではoxyHbの変化量を解析の対象とした．

測定開始前の安静時におけるoxyHbを基準値（0）とし，課題遂行中における相対的な変化量（ $\text{mM} \cdot \text{mm}$ ）を算出した．

コントロール群ではコントロール課題遂行中，介入群では足底硬度弁別課題中の脳血流量を測定し，各々1日目および課題10日目を測定した．それぞれの課題遂行中に測定した計10試行におけるoxyHbの変化量の加算平均を行い，各課題遂行中の10秒間におけるoxyHbの平均値を算出し，統計処理を行った．

統計処理にはDr. SPSS II（SPSS社製）を使用した．検定には，一元配置分散分析を使用

し，post hoc testとしてBonferroni法を用いた．有意水準は5%未満とした．

測定部位の同定には，脳波測定で使用される国際10-20法およびNIRTRAC（POLHEMU社製3SPACE®FASTRACK®）を使用して位置情報を検出し，MRI三次元重ね合わせソフト（fusion imaging，島津製作所製）を用いてマッピングを行った．

4. 研究成果

(1) 若年成人の結果：10日間の知覚学習課題における誤判断数の平均値は，施行回数を重ねるごとに有意な減少が認められた（表1）．

表1 10日間の知覚学習課題

における誤判断数の変化		
	平均値	標準偏差
1日目	4.72	2.23
2日目	4.85	1.89
3日目	4.21	1.98
4日目	3.70	1.47
5日目	3.67	1.69
6日目	2.68	1.32
7日目	2.36	1.01
8日目	2.45	1.14
9日目	1.90	0.98
10日目	1.60	0.87
P値	p < 0.01	

介入群にのみ閉眼立位重心動揺値（総軌跡長の有意な減少（ $p < 0.05$ ），ならびに前方重心移動距離の有意な増大（ $p < 0.05$ ）がみられた（表2）．

表2 実験前後の立位姿勢バランスの指標の比較

	pre	post
介入群の開眼時総軌跡長	45.2 ± 18.9	36.9 ± 11.9
統制群の開眼時総軌跡長	43.6 ± 15.9	42.7 ± 16.7
介入群の閉眼時総軌跡長	54.1 ± 16.9	44.2 ± 10.9 *
統制群の閉眼時総軌跡長	52.3 ± 11.3	50.5 ± 11.6
介入群の前方重心移動距離	36.5 ± 4.2	39.0 ± 2.9 *
統制群の前方重心移動距離	35.6 ± 4.7	34.3 ± 4.9

統制群：コントロール群，単位cm，* p < 0.05

介入群における硬度弁別知覚課題中においては、課題1日目には、課題なしの立位時に比べ、前頭前野背外側部、運動前野、頭頂連合野に相当する領域のoxyHbの有意な増加が認められた ($p < 0.05$)。一方、学習後期の課題10日目には、前頭前野背外側部、運動前野の有意なoxyHb値の増加はみられなかったが、補足運動野、頭頂連合野に相当する領域のoxyHbの有意な増加が認められた ($p < 0.05$)。一方、コントロール群においては脳血流量の有意な増減が認められなかった。

(2) 前期高齢者の結果: 10日間の知覚学習課題における誤判断数の平均値は、施行回数を重ねるごとに有意な減少が認められた (表3)。

表3 10日間の知覚学習課題

における誤判断数の変化

	平均値	標準偏差
1日目	5.86	2.54
2日目	5.29	2.50
3日目	4.86	1.57
4日目	4.29	1.76
5日目	3.71	1.11
6日目	3.14	1.07
7日目	2.71	1.11
8日目	2.57	0.98
9日目	2.71	0.95
10日目	2.57	0.53
P値	$p < 0.01$	

介入群にのみ閉眼立位重心動揺値 (総軌跡長の有意な減少 ($p < 0.05$), ならびに前方重心移動距離の有意な増大 ($p < 0.05$) がみられた (表4)。

表4 実験前後の立位姿勢バランスの指標の比較

	pre	post
介入群の開眼時総軌跡長	63.1 ± 16.1	64.2 ± 15.0
統制群の開眼時総軌跡長	64.5 ± 17.0	65.7 ± 18.3
介入群の閉眼時総軌跡長	85.3 ± 26.2	81.7 ± 24.5 *
統制群の閉眼時総軌跡長	86.2 ± 17.8	91.6 ± 19.8
介入群の前方重心移動距離	24.5 ± 3.2	28.0 ± 2.9 *
統制群の前方重心移動距離	23.6 ± 4.7	23.3 ± 3.3

統制群; コントロール群, 単位 cm, * $p < 0.05$

介入群における硬度弁別知覚課題中においては、課題1日目には前頭前野背外側部のoxyHb値が通常立位に比べ有意に増加した ($p < 0.05$)。また、その活動は知覚学習が進むにつれ減少した。一方、コントロール群においては脳血流量の有意な増減が認められなかった。

(3) 後期高齢者の結果: 10日間の知覚学習課題における誤判断数の平均値は、施行回数を重ねるごとに有意な減少が認められた (表5)。

表5 10日間の知覚学習課題

における誤判断数の変化

	平均値	標準偏差
1日目	6.00	1.50
2日目	6.21	1.84
3日目	6.12	1.42
4日目	5.73	2.23
5日目	4.51	1.10
6日目	4.15	0.71
7日目	3.98	0.90
8日目	4.96	1.41
9日目	3.46	0.74
10日目	3.08	0.81
P値	$p < 0.01$	

介入群にのみ閉眼立位重心動揺値 (総軌跡長の有意な減少 ($p < 0.05$), ならびに前方重心移動距離の有意な増大 ($p < 0.05$) がみられた (表6)。

表6 実験前後の立位姿勢バランスの指標の比較

	pre	post
介入群の開眼時総軌跡長	67.9 ± 22.5	57.7 ± 15.8
統制群の開眼時総軌跡長	69.9 ± 29.0	71.3 ± 27.3
介入群の閉眼時総軌跡長	82.2 ± 25.2	69.4 ± 15.1 *
統制群の閉眼時総軌跡長	82.0 ± 30.0	79.5 ± 28.7
介入群の前方重心移動距離	21.0 ± 4.9	25.4 ± 4.6 *
統制群の前方重心移動距離	17.9 ± 6.1	17.7 ± 5.6

統制群; コントロール群, 単位 cm, * $p < 0.05$

介入群における硬度弁別知覚課題中においては、課題 1 日目には前頭前野背外側部の oxyHb 値が通常立位に比べ有意に増加した ($p < 0.05$)。また、その活動は知覚学習が進むにつれ減少した。一方、コントロール群においては脳血流量の有意な増減が認められなかった。

これらの結果より、立位姿勢バランスの安定化に対し、足底部における硬度弁別知覚課題が、若年成人、前期高齢者、後期高齢者問わず有効に作用することが判明した。同時に、その課題時には共通して前頭前野背外側部の活動が増加することから、認知過程の一つであるワーキングメモリの活性化が促進され、その活性化が立位姿勢バランスの安定化に影響することが示唆された。

これらの成果から、本課題が簡便かつ有効な手段として、立位姿勢バランスを向上させるための運動療法の介入手段として臨床応用可能であることが脳活動の視点からも世界ではじめて明らかになった。今後はこの介入手段が永続的な効果をもたらすかについて検証していく必要がある。

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 2 件)

① Shu Morioka, Makoto Hiyamizu, Takahiko Fukumoto, Yasunori Kataoka, Fumio Yagi: Effects of Plantar Hardness Discrimination Training on Standing Postural Balance in the Elderly: a Randomized Controlled Trial. Clin Rehabil (査読有) 23:483-491, 2009

② 藤田浩之, 河村隆史, 和田善行, 林拓児, 徳田光紀, 小川裕水, 柴田広昭, 佐藤剛介, 森岡周: 超高齢者における足底知覚学習が立位重心動揺に及ぼす影響. 近畿理学療法学会大会誌 (査読無) 38:195-196, 2009

[学会発表] (計 4 件)

① 藤田浩之, 佐藤剛介, 藤本昌夫, 森岡周: 足底部知覚能力の向上が立位姿勢バランスを向上させる. 第 44 回日本理学療法学会. 2009 年 5 月 28 日~30 日, 東京

② Shu Morioka, Hiroyuki Fujita, Yasunori Kataoka: Effects of Hardness Discrimination Training on Sitting Postural Balance in Hemiplegic Patients Following Stroke. The 6th World Stroke

Congress. 2008 年 9 月 24~27 日. Vienna, Austria

③ Hiroyuki Fujita, Takashi Kawamura, Yoshiyuki Wada, Shu Morioka: The Relationship between Perceptual Discrimination Ability of Foot Sole and Standing Postural Balance. 10th International Congress of the Asian Confederation for Physical Therapy. 2008 年 8 月 29 日~9 月 1 日. 千葉

④ Shu Morioka, Yasunori Kataoka, Atsushi Matsuo, Masashi Odagiri, Makoto Hiyamizu: Effect of Perceptual Learning Training of Foot Sole on Standing Posture Balance in Elderly: 15th International World Confederation for Physical Therapy Congress. 2007 年 6 月 2~6 日. Vancouver, Canada

[図書] (計 0 件)

○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]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者
森岡周 (MORIOKA SHU)
畿央大学・健康科学部・教授
研究者番号: 20388903

