脳卒中片麻痺者における足底感覚への選択的注意が 歩行立脚期での同時収縮に及ぼす影響

*Effects of Selective Attention to Plantar Cutaneous Sensation on Muscular
Co-contraction during the Stance Phase of Walking by Stroke Patients*

河石 優¹⁾ 松本 直樹¹⁾ 安田 夏盛¹⁾
水野 修平¹⁾ 脇 聡子¹⁾ 沖山 努¹⁾

YU KAWAISHI¹⁾, NAOKI MATSUMOTO¹⁾, NATSUSHIGE YASUDA¹⁾,
SHUHEI MIZUNO¹⁾, SATOKO WAKI¹⁾, TSUTOMU OKIYAMA¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Kobe Rehabilitation Hospital: 14-1 Nakaichiriyama, Shimotanigamiaza, Yamada-cho, Kita-ku, Kobe-city, Hyogo 651-1102, Japan. TEL+81 78-743-8230 E-mail: yuyakedomo@yahoo.co.jp

Rigakuryoho Kagaku 28(5): 597-600, 2013. Submitted Mar. 15, 2013. Accepted Apr. 19, 2013.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of the present study was to examine the effects of selective attention to plantar cutaneous sensation on muscular co-contraction of stroke patients during the stance phase of walking. [Subjects] Seven sub-acute stroke patients participated in this study. [Method] Subjects were given tasks of discriminating hardness differences of foam rubber with the sole of the paretic side. Electromyograms of the paretic leg during walking were recorded before, immediately after, and 15 min after the discrimination tasks. The muscular activity and the co-contraction index (CI) during the stance phase were determined. [Result] The muscular activity of the gastrocnemius and CI of the ankle joint significantly decreased immediately after the discrimination tasks. [Conclusion] These results suggest that selective attention to plantar cutaneous sensation on the paretic side immediately reduces muscular co-contraction of stroke patients during walking.

Key words: stroke, gait, co-contraction

要旨:〔目的〕脳卒中片麻痺者において、足底感覚への選択的注意が歩行立脚期での麻痺側下肢同時収縮に及ぼす影響を検討する。〔対象〕脳卒中片麻痺者7名。〔方法〕硬さの異なる4種のスポンジマットを用い、座位、閉眼にて足底で硬さを弁別する課題を試行した。課題前、課題直後、課題15分後にて麻痺側下肢の歩行時筋電図を測定し、立脚期での筋活動量、co-contraction index (CI) を算出した。〔結果〕課題前に比べ、課題直後で腓腹筋筋活動量、足関節CIに有意な減少が認められた。〔結語〕脳卒中片麻痺者において、歩行前の麻痺側足底感覚への選択的注意は、その直後の歩行時立脚期での同時収縮を軽減させることが示唆された。

キーワード: 脳卒中, 歩行, 同時収縮

¹⁾ 神戸リハビリテーション病院 リハビリテーション部: 兵庫県神戸市北区山田町下谷上字中一里山14-1 (〒651-1102) TEL 078-743-8230

I. はじめに

動作時に、主動作筋と拮抗筋の過剰な同時収縮が起これると、円滑な関節運動を阻害する¹⁾。脳卒中片麻痺者において、立位時や歩行時に、麻痺側下肢に過剰な同時収縮が観察され²⁾、立位姿勢や歩行の安定性を低下させる一要因となっている。

立位、歩行時において、安定した姿勢をとるための適切な下肢筋活動には足底からの感覚入力が必要である。足底感覚と歩行時下肢の反応との関連を検討した研究では、足底感覚機能の低下により、歩行立脚期での下肢筋活動パターンが変化すると報告されている^{3,4)}。

注意が体性感覚情報処理に及ぼす影響については、知覚対象に対する選択的注意が体性感覚情報処理を促進させることが知られている。Iguchiら⁵⁾は示指と中指の同時刺激に対する一次体性感覚野の脳活動を計測した結果、一方の指に注意を向けることで、その指だけが刺激されたかのように受容野の活動が調整されることを報告しており、注意によって不必要な雑音入力がマスキングされ、必要な情報に対する脳の反応が強化されるとしている。

これらのことから、脳卒中片麻痺者において、歩行前に足底感覚への選択的注意を行うことで、歩行時立脚期における足底からの感覚情報処理を促進させ、より適切な筋活動を誘導し、過剰な同時収縮を軽減させることが考えられる。

本研究では、この仮説を検証することを目的に、硬さの異なるスポンジマットを使用した足底圧覚弁別課題を用い、その前後での歩行時筋活動を測定することで、脳卒中片麻痺者における足底圧覚への選択的注意が、歩行立脚期での麻痺側下肢の同時収縮に及ぼす影響を検討した。また、筋活動と同時に、歩行速度、歩行中の加速度変化を測定することで、歩行安定性の程度を検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は回復期病棟に入院中であり、以下の選定条件を

満たす脳卒中片麻痺者7名とした。すなわち、初発の大脳一側病変であるもの、10 mの歩行が杖などの補助具を使用することなく自立しているもの、コミュニケーションに問題がないもの、歩行に影響する骨関節疾患の既往がないものとした。また、本研究では、歩行時の麻痺側下肢に過剰な同時収縮が起こるものを対象とするため、麻痺側足関節背屈の他動運動時にみられる抵抗感をmodified Ashworth scale⁶⁾を用いて評価し、その値が0のもの（筋緊張に亢進がみられないもの）は対象から除外した。さらに、麻痺側足底への選択的注意を必要とするため、麻痺側足底の表在感覚に著明な感覚障害があるものも対象から除外した。対象者についての詳細な情報を表1に示す。対象者には本研究の内容について、書面、及び口頭にて十分な説明を行い、本人の署名を以って同意を得た。

2. 方法

足底圧覚弁別課題は、硬さの異なる4種のスポンジマットを用いて行い、座位、閉眼状態にて麻痺側足底をスポンジマット上に乗せ、硬さの弁別を求めるものとした⁷⁾。スポンジマットは同一の素材を用いて作成し、厚さを1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cmとすることで4種類の硬さを設定した。課題の手順について、はじめに、1 cmのものから順に4種全てのスポンジマットの硬さを足底で知覚し、どのスポンジマットが使用されたかについての言語フィードバックを与え、各スポンジマットの硬さを記憶するよう求めた。その後、任意に作成されたランダム表に基づいて20回連続して足底での硬さの弁別を行なった。ランダム表は、20回の試行内で各硬度のスポンジマットがそれぞれ5回ずつ出現するように設定して作成した。弁別課題中、試行ごとに口頭にて回答を求め、その正誤を記録した。その際、被験者に結果の正誤に関する知識は与えなかった。

歩行は弁別課題の即時的効果、持続的効果を検討するため、弁別課題前、課題直後、課題15分後の3回で行い、その際の麻痺側下肢筋活動、加速度変化を測定した。また、歩行は快適歩行とし、10 m歩行時間をストップウォッ

表1 対象者情報

ID	年齢	性別	罹患日数	BRS ^{a)}	診断名	麻痺側	MAS足/膝 ^{b)}	歩行速度 ^{c)}
01	33	男	122	V	脳梗塞	左	2/1+	0.28 m/s
02	74	男	128	V	脳出血	左	1+/1	0.26 m/s
03	63	女	154	IV	脳出血	左	1/1	0.32 m/s
04	67	男	134	V	脳出血	右	1/1	0.08 m/s
05	55	女	145	III	脳出血	左	1+/1	0.29 m/s
06	70	男	108	V	脳出血	右	2/1+	0.37 m/s
07	64	女	169	IV	脳梗塞	右	1+/1	0.39 m/s

^{a)}: Brunnstrom recovery stage, ^{b)}: modified Ashworth scale 足関節背屈/膝関節伸展, ^{c)}: 快適歩行速度(歩行補助具使用なし)。

チにて測定した。

歩行時の筋活動計測にはEMG携帯測定システム (Biometrics社, PS850) を使用し, 導出筋を麻痺側下肢の前脛骨筋, 腓腹筋 (内側頭), 大腿直筋, 大腿二頭筋とした。電極は表面電極 (Biometrics社, SX23091000; 電極間距離: 2.0 cm) を使用し, 十分な皮膚処理を行なった後, 各筋の走行に沿って筋腹に貼付した。また, 麻痺側足底の踵部と拇趾球部に感圧センサー (Biometrics社, PH9462) を貼付し, それから得られた信号により歩行中の立脚期を同定した。全ての記録についてサンプリング周波数は1000 Hzとした。

得られた筋電図信号は, 通過帯域10-300 Hzのバンドパスフィルタによる処理を行った後, 15秒間の安静立位時における平均筋活動量が正規化した。その後, 歩行立脚期における筋活動量として, 立脚期中の平均筋活動量を各筋について算出した。さらに, 立脚期における同時収縮の指標としてFalconerら⁸⁾が推奨するco-contraction index (CI) を足関節, 膝関節について求めた。CIの算出式を以下に記す。

$$I_{\alpha} = \int_{t_1}^{t_2} EMG_{agon}(t)dt + \int_{t_2}^{t_3} EMG_{anti}(t)dt$$

$$I_{total} = \int_{t_1}^{t_3} [EMG_{agon} + EMG_{anti}](t)dt$$

$$CI = \frac{2I_{\alpha}}{I_{total}} \times 100$$

算出式について, t_1 から t_2 は主動作筋の筋活動量が拮抗筋よりも小さい区間, t_2 から t_3 は拮抗筋の筋活動量が主動作筋よりも小さい区間を示す。また, I_{total} は主動作筋と拮抗筋の筋電図積分値を足した値を表している。これらの算出式より, CIは, その値が大きいもの程, より強い同時収縮がなされたことを示している。

なお, 足関節のCIについては前脛骨筋と腓腹筋の筋電図, 膝関節のCIについては大腿直筋と大腿二頭筋の筋電図に基づいて算出した。また, 各被験者における平均筋活動量, CIは, 歩行開始から10歩行周期までの値

の平均値とした。

歩行時における加速度変化の測定には, 3軸加速度計 (Biometrics社, ACL300) を使用した。装着部位は第3腰椎突起部とし, サンプリング周波数は1000 Hzとした。加速度計より得られたデータから, 10 m歩行時におけるX方向 (左右方向), Y方向 (上下方向) のroot mean square (RMS) を算出した。加速度RMSは身体動揺の程度を示しており, 歩行時の不安定性を示す指標として有用であるとされている⁹⁾。

統計解析は多重比較検定 (Bonferroni) を用い, 各算出項目について課題前, 課題直後, 課題15分後で比較した。また, 弁別課題中に起きた知覚学習の程度を検討するため, 20試行の弁別課題内での最初の5試行と最後の5試行について, その正答数をWilcoxonの符号付き順位検定を用いて比較した。有意水準は5%とした。

III. 結 果

3試行の歩行時における各算出項目の結果を表2に示す。CIについて, 足関節の値において, 課題前に比べ課題直後で有意に減少していた。筋活動量では, 腓腹筋の値において, 課題前に比べ課題直後で有意に減少していた。10 m歩行時間, 加速度RMS(X方向, Y方向)では, 各歩行間で有意な差は認められなかった。

弁別課題内での最初の5試行と最後の5試行の正答数では, 最初の5試行が 3.0 ± 0.8 , 最後の5試行が 3.1 ± 0.8 であり, 両群間に有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

弁別課題の正答数における比較結果について, 最初の5試行と最後の5試行で有意な差は認められなかった。これは, 弁別課題の前後で足底感覚機能に変化がないことを示しており, 本研究の結果示された弁別課題後の筋活動の変化が, 知覚学習による足底感覚機能の向上に由

表2 各算出項目の結果

		課題前 (a)	課題直後 (b)	課題15分後 (c)	比較結果
CI (%)	足関節	37.0 ± 7.9	34.3 ± 8.0	34.4 ± 9.4	*b<a
	膝関節	42.8 ± 7.5	43.5 ± 8.1	45.0 ± 8.5	
筋活動量 (%/s)	前脛骨筋	895 ± 574	874 ± 427	901 ± 477	*b<a
	腓腹筋	289 ± 108	252 ± 98	268 ± 121	
	大腿直筋	417 ± 436	437 ± 484	483 ± 598	
	大腿二頭筋	607 ± 737	416 ± 465	227 ± 83	
10 m 歩行時間 (s)		46.3 ± 37.6	50.4 ± 42.5	46.3 ± 40.2	
加速度RMS	X 方向	0.014 ± 0.005	0.014 ± 0.006	0.015 ± 0.006	
	Y 方向	0.095 ± 0.005	0.094 ± 0.004	0.094 ± 0.005	

mean ± SD, *p<0.05.

来するものではなく、足底感覚に対して選択的注意を行った結果であると考えられる。

CIの比較結果について、課題前に対し課題直後で足関節の値が有意に低値を示した。これは、足底感覚に対する選択的注意課題が、その後の歩行における立脚期での感覚情報処理過程に影響を及ぼし、それによって、床面への身体支持に対する過剰な同時収縮が軽減されたことを示唆している。

筋活動量の比較結果では、課題前に対し課題直後で腓腹筋の値が有意に低値を示した。近年、足底からの皮膚感覚入力により、ヒラメ筋の伸張反射が抑制されることが報告されている¹⁰⁾。このことから、本研究において、弁別課題直後の腓腹筋活動量の減少は、足底感覚への選択的注意によって足底からの感覚入力が増進され、立脚期での腓腹筋伸張反射がより抑制された結果と考えられる。また、弁別課題直後における足関節CIの減少は、この腓腹筋伸張反射の抑制に起因していることが示唆される。しかし、これらの点については、筋活動量といった運動力学的な結果からでは断定することはできず、推測の域を出ない。それについては、今後、H反射の測定など電気生理学的手法を用いて検討する必要がある。

また、これらのCI、筋活動量の変化は弁別課題直後のみに観察され、課題15分後には有意差が認められなかった。これは、足底感覚への選択的注意がその直後の歩行時筋活動のみにしか影響を及ぼさないことを示している。

一方、大腿二頭筋の筋活動量についても、腓腹筋同様、課題前に比べ課題直後、課題15分後で減少傾向にあったが、その結果には個人差がばらつきが大きく、有意差は認められなかった。これは、足底からの感覚入力が増進された歩行立脚期での筋出力に及ぼす影響について、腓腹筋に比べ大腿二頭筋では個人差がより大きく、様々な筋出力量の減少を示さなかったためであると考えられる。

10 m歩行時間、加速度RMSの結果では、全ての歩行で有意な差を示さなかった。これについて、脳卒中片麻痺者の歩行は、麻痺側下肢の過剰な同時収縮の他、様々な要因により不安定となる²⁾。そのため、足関節の同時収縮の軽減のみでは、歩行全体の安定性を向上させるには至らなかったと考えられる。

本研究の結果、脳卒中片麻痺者において、足底感覚への選択的注意によって、その直後の歩行時立脚期における麻痺側足関節の同時収縮を軽減させることが示された。これより、歩行リハビリテーションの際に、種々のアプローチに加え、足底感覚に対する選択的注意を考慮することで、立脚期での過剰な同時収縮を軽減させ、歩行運動の再学習をより有効にすることが示唆される。

本研究では、足底感覚への選択的注意の影響を検討するため、足底圧覚弁別課題を用いた。しかし、本研究の結果見られた課題直後の筋活動の変化について、足底感覚への選択的注意の影響のみならず、足底をスポンジマッ

トに接触させるといった足底への圧感覚刺激の入力が影響していた可能性を否定できない。これについては、対象群を作成し、足底に対し同様の刺激を入力するが、弁別課題を行わず選択的注意を求めないものと比較する必要がある。

また、今回は足底表に感覚に著明な感覚障害がないものを対象とした。さらに、麻痺側下肢の筋緊張については、modified Ashworth scaleが1以上のものを対象とし、結果、全対象者の平均が 1.29 ± 0.48 と比較的筋緊張の亢進が軽度であるものが対象となった。しかし、本研究では対象となる脳卒中片麻痺者において、足底感覚機能や麻痺側下肢の筋緊張の程度が、弁別課題後の筋活動の変化に影響を及ぼすことが考えられる。今後は、対象者数を増やすと共に麻痺側足底に著明な感覚障害を呈するものも対象とし、足底感覚機能、麻痺側下肢の筋緊張の程度が筋活動の変化に及ぼす影響をより詳細に検討する必要があると考える。

引用文献

- 1) 小田伸午, 市橋則明: ヒトの動き百話. 市村出版, 東京, 2011, pp116-118.
- 2) Arene N, Hidler J: Understanding motor impairment in the paretic lower limb after a stroke: a review of the literature. *Top Stroke Rehabil*, 2009, 16(5): 346-356.
- 3) Höhne A, Ali S, Stark C, et al.: Reduced plantar cutaneous sensation modifies gait dynamics, lower-limb kinematics and muscle activity during walking. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112: 3829-3838.
- 4) Nurse MA, Nigg BM: The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clin Biomech*, 2001, 16(9): 719-727.
- 5) Iguchi Y, Hoshi Y, Tanosaki M, et al.: Attention induces reciprocal activity in the human somatosensory cortex enhancing relevant- and suppressing irrelevant inputs from fingers. *Clin Neurophysiol*, 2005, 116(5): 1077-1087.
- 6) Bohannon RW, Smith MB: Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*, 1987, 67(2): 206-207.
- 7) Morioka S, Yagi F: Influence of perceptual learning on standing posture balance: repeated training for hardness discrimination of foot sole. *Gait Posture*, 2004, 20(1): 36-40.
- 8) Falconer K, Winter DA: Quantitative assessment of co-contraction at the ankle joint in walking. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 1985, 25(2-3): 135-149.
- 9) Menz HB, Lord SR, Fitzpatrick RC: Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. *Gait Posture*, 2003, 18(1): 35-46.
- 10) Knikou M, Conway BA: Modulation of soleus H-reflex following ipsilateral mechanical loading of the sole of the foot in normal and complete spinal cord injured humans. *Neurosci Lett*, 2001, 303(2): 107-110.