回復期脳卒中患者の歩行能力に関連する身体機能 —正準相関分析を用いた検討—

Exploration of the Physical Functions Related to the Gait Ability of Subacute Stroke Patients using Canonical Correlation Analysis

藤本 修平¹⁾ 小宅 一彰¹⁾ 山口 智史²⁾
田辺 茂雄³⁾ 近藤 国嗣¹⁾ 大高 洋平^{1,2)}

SHUHEI FUJIMOTO¹⁾, KAZUAKI OYAKE¹⁾, TOMOFUMI YAMAGUCHI²⁾,
SHIGEO TANABE³⁾, KUNITSUGU KONDO¹⁾, YOHEI OTAKA^{1,2)}

¹⁾ Tokyo Bay Rehabilitation Hospital: 4-1-1 Yatsu, Narashino-shi, Chiba 275-0026, Japan. TEL+81 47-453-9000
E-mail: shuheifujimotomarty@yahoo.co.jp

²⁾ Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine

³⁾ Fujita Health University

Rigakuryoho Kagaku 29(4): 627-631, 2014. Submitted Feb. 18, 2014. Accepted Apr. 6, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] Using canonical correlation analysis, physical functions related to gait ability were evaluated in subacute stroke patients. [Subjects] Seventy-two stroke patients in convalescent rehabilitation wards were enrolled. [Methods] For gait ability, we evaluated gait velocity and gait variability. For physical function, we evaluated both motor and sensory functions of the affected lower limb, muscle tone of the ankle plantar flexor and muscle strength of both lower limbs. Using canonical correlation analysis, physical functions related to gait ability were explored. [Results] As factors related to gait ability, muscle strength of both lower limbs and motor function of the affected hip were identified by canonical correlation analysis, and muscle strength of the affected lower limb and motor function of the affected hip by multiple regression analysis. [Conclusion] The muscle strength of the unaffected lower limb was determined to be a factor related to gait ability only in canonical correlation analysis.

Key words: gait speed, gait variability, multivariate analysis

要旨:〔目的〕正準相関分析を用いて回復期脳卒中患者の歩行能力に関連する身体機能を明らかにすることとした。〔対象〕回復期リハビリテーション病棟の脳卒中患者 72 名とした。〔方法〕歩行能力とする歩行速度および歩行変動性と、身体機能とする麻痺側の下肢運動・感覚機能、足関節底屈筋の筋緊張、および両側下肢伸展トルクとの関連性を正準相関分析で解析した。また、前者のそれぞれを従属変数とする重回帰分析との相違点を検討した。〔結果〕正準相関分析で両側下肢伸展トルク、股関節運動機能が、重回帰分析で麻痺側下肢伸展トルクおよび股関節運動機能が抽出された。〔結語〕正準相関分析を用いることで、歩行速度と歩行変動性の双方とも含む歩行能力と関連する重要な身体機能を理解できる。

キーワード: 歩行速度, 歩行変動性, 多変量解析

¹⁾ 医療法人社団保健会 東京湾岸リハビリテーション病院 リハビリテーション部:千葉県習志野市谷津4-1-1 (〒275-0026) TEL 047-453-9000

²⁾ 慶應義塾大学 医学部 リハビリテーション医学教室

³⁾ 藤田保健衛生大学 医療科学部

I. はじめに

脳卒中患者の歩行能力は、生活範囲の制限¹⁾や転倒発生²⁾と関係があることから、回復期リハビリテーションにおいて歩行能力の再獲得は重要である³⁾。歩行の能力は、それがもつ速度や安定性、持久性などさまざまな側面⁴⁾を評価する複数の指標を検討することで総合的に判断される。移動の速さを表す歩行速度と安定性に関連する歩行周期の変動性（以下、歩行変動性）⁴⁾は歩行自立に関連する指標として重要である^{2,4)}。これらの個別の指標に対する身体機能の関連性についてはさまざまな報告がされている。例えば、歩行速度には下肢筋力⁵⁾や麻痺側下肢運動機能⁶⁾が、歩行変動性にはバランス能力⁷⁾などが関係していることが知られている。

しかし、臨床における治療選択と意思決定においては、個別の側面のみならず、総合的な歩行能力に注目し、それを支えするような身体機能を明らかにすることも重要と考えられる。そのためには、総合的な歩行能力と身体機能との関連性を分析する手法が必要となる。

ここでの、歩行能力や身体機能といった複数の指標を用いないと表現できないもの同士の関連を検討する手法のひとつとして、正準相関分析がある。この分析法は、従属変数と独立変数がそれぞれ2つ以上の場合に適している。複数の従属変数、独立変数をそれぞれ合成し、新たに作られた変数同士の相関が最大となるように設定する。この設定において、従属変数および独立変数のそれぞれがどの程度、新たに作られた合成変数に寄与しているか表すことができる。また、従属変数間の関係も考慮したうえで、従属変数と独立変数の関連性を求めることができる⁸⁾。

そこで本研究の目的は、関連性を検討する際の正準相関分析の導入の試みとし、回復期脳卒中患者の歩行速度と歩行変動性という歩行の代表的な側面の指標で構成される歩行能力と、麻痺側下肢運動機能⁶⁾や筋緊張⁹⁾、感覚機能¹⁰⁾などの代表的な脳卒中の下肢機能で構成される身体機能の関連性を解析した。さらにその結果と、歩

行速度、歩行変動性それぞれ個々の指標と身体機能の関連について、従来の解析手法である重回帰分析の結果と比較し、分析法による相違点を検討することとした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は平成23年8月から平成24年9月までの間に回復期病棟に入院した脳卒中片麻痺患者72名とした（表1）。選択基準は、初回発症の脳卒中片麻痺を持ち、歩行がfunctional independence measure¹¹⁾で5以上であり、かつ研究内容の理解が可能な者とした。除外基準は、歩行に影響する整形疾患や神経疾患の既往歴がある者、もしくは内科的疾患により運動が制限されている者とした。なお、本研究は当院倫理審査会の承認を受け、対象者に研究内容を説明し同意を得た上で実施した。

2. 方法

歩行能力の評価課題は、快適速度での10m歩行とした。歩行路は、10mの測定区間に前後3mの予備路を加えた合計16mとした。測定は、2回実施した。歩行補助具には、対象者が普段使用している杖や短下肢装具を使用した。

歩行速度は、10mを歩行する所要時間から算出した。歩行変動性の指標としては、歩行周期時間の変動係数を採用した¹²⁾。歩行周期時間の測定には、小型無線加速度計WAA-006（ワイヤレステクノロジー社）を用いた。対象者の第三腰椎部に弾性ベルトで固定された装置より、サンプリング周波数60Hzで加速度データを記録した。前後加速度ピークの時間間隔から求められる歩行周期時間の、定常歩行10周期の平均値と標準偏差から変動係数（標準偏差/平均値×100）を算出した¹²⁾。歩行速度と歩行変動性は、いずれも2回の測定値の平均を解析に用いた。

身体機能としては、脳卒中患者において歩行能力との関係が示唆されている下肢運動機能⁶⁾、感覚機能¹⁰⁾、

表1 対象者の基本的属性

項目	構成
年齢（歳）	63.2 ± 13.1 歳 *
発症後期間（日）	91.1 ± 40.7 日 *
入院後期間（日）	53.1 ± 34.0 日 *
診断名	脳梗塞 35 名、脳出血 35 名、クモ膜下出血 2 名
麻痺側	右 33 名、左 39 名
歩行レベル	監視 38 名、修正自立 16 名、自立 18 名
歩行補助具	T 字杖 39 名、四点杖 15 名、なし 18 名
装具	あり 47 名、なし 25 名

* 平均値 ± 標準偏差。

筋緊張⁹⁾、下肢伸展トルク¹³⁾を測定した。下肢運動機能は、stroke impairment assessment set (以下、SIAS)¹⁴⁾の麻痺側運動機能の下肢評価項目、股関節屈曲テスト、膝関節伸展テスト、足パットテストをそれぞれ0から5点で評価した。感覚機能は、SIASの下肢表在覚および深部覚をそれぞれ0から3点で採点した。筋緊張は、麻痺側ヒラメ筋に対しmodified Ashworth scale¹⁴⁾を用い、採点は1+を2に換算し、0から5点で評価した。下肢伸展トルクは、ストレングスエルゴ240 (三菱電機エンジニアリング社)を用いて、ペダリング運動中の麻痺側および非麻痺側の下肢伸展トルクを評価した。計測モードは、毎分20回の回転速度における等速性運動とし、5回転中の最大トルクを計測後、体重で除した値を解析に用いた。

統計解析は、まず歩行速度と歩行変動性の相関の強さを見るために、Pearsonの積率相関係数を求めた。その上で、歩行速度と歩行変動性で構成される「歩行能力」に関連する身体機能を明らかにするために、正準相関分析を用いた。正準相関分析において、従属変数は歩行速度と歩行変動性、独立変数は、下肢運動機能、下肢感覚機能、筋緊張、下肢伸展トルク、発症後経過週数とした。発症後の経過週数は、時間経過が歩行能力に及ぼす影響を考慮するために、採用した¹⁵⁾。なお、多変量解析における多重共線性を考慮するために、変数同士の相関が高い場合は、従属変数の説明力がより強い変数を採用することとした。また、歩行速度と歩行変動性のそれぞれについて、身体機能との関連性を検討するために、重回帰分析 (ステップワイズ法)を行った。独立変数および投入変数の選択については正準相関分析と同様とした。解析には、統計ソフトウェアR2.8.1 (CRAN, free soft)を用い、p値が5%未満を統計的有意とした。

III. 結果

対象者の歩行能力および身体機能を表2に示す。歩行速度と歩行変動性の間の相関係数は、 -0.586 (95%信頼区間: $[-0.720, -0.410]$)であった。つまり、歩行

速度と歩行変動性には、共通性があることが明らかとなった。

身体機能において、股関節屈曲テストの得点は、膝関節伸展テスト ($r=0.931$, $p<0.05$) および足パットテスト ($r=0.892$, $p<0.05$) の得点と強い相関関係にあった。そのため、下肢運動機能として股関節屈曲テストの得点のみを、正準相関分析および重回帰分析に投入した。正準相関分析の結果を表3に示す。第1正準変数の正準相関係数は 0.773 ($p<0.05$) であった。第2正準変数について有意でなかった ($p=0.664$)。第1正準変数に対する従属変数の寄与率は 69.7% であり、独立変数の寄与率は 36.2% であった。

重回帰分析では、歩行速度に影響する身体機能として、股関節屈曲テストおよび麻痺側下肢伸展トルクが抽出された (表4-A)。自由度調整済み決定係数は、 0.575 であった。歩行変動性に影響する身体機能としては、股関節屈曲テストが抽出された (表4-B)。自由度調整済み決定係数は、 0.216 であった。

IV. 考察

脳卒中患者の歩行能力と身体機能の関連性について、

表2 歩行能力および身体機能の代表値

項目	値
歩行速度 (m/s)	$0.66 \pm 0.38^*$
歩行変動性 (%)	$4.29 \pm 1.49^*$
股関節屈曲テスト	4 (2-4) †
膝関節伸展テスト	4 (2-4) †
足パットテスト	3 (1-4) †
筋緊張	1.5 (0-3) †
表在覚	2 (1-2) †
深部覚	2 (1-2.25) †
麻痺側下肢伸展トルク (N・m/kg)	$0.60 \pm 0.39^*$
非麻痺側下肢伸展トルク (N・m/kg)	$0.93 \pm 0.45^*$

* 平均値 $\pm$ 標準偏差。

† 中央値 (第1四分位-第3四分位)。

表3 歩行能力と身体機能との関連性に対する正準相関分析の結果

A. 従属変数の正準負荷量

歩行能力	第1正準変量	第2正準変量
歩行速度	-0.997	0.072
歩行変動性	0.633	0.774

B. 独立変数の正準負荷量

身体機能	第1正準変量	第2正準変量
股関節屈曲テスト	-0.863	-0.285
表在覚	-0.371	-0.603
深部覚	-0.373	-0.585
筋緊張	-0.435	-0.496
麻痺側下肢伸展トルク	-0.870	0.270
非麻痺側下肢伸展トルク	-0.661	0.262
発症後の経過週数	0.358	-0.269

表4 身体機能に対する歩行能力の重回帰分析の結果

A. 歩行速度と身体機能の関連

身体機能	偏回帰係数	標準誤差	t 値	標準化偏回帰係数
股関節屈曲テスト	-0.690	0.152	4.529	-0.476

B. 歩行変動性と身体機能の関連

身体機能	偏回帰係数	標準誤差	t 値	標準化偏回帰係数
股関節屈曲テスト	0.453	0.090	5.026	0.456
麻痺側下肢伸展トルク	0.127	0.027	4.664	0.423

はじめて正準相関分析を用いて分析を試みた。その結果、両者の関係について、これらの持つ複数の要素からなる総合性を包括的に捉えることができた。結果として、歩行速度と歩行変動性で表される歩行能力に強く関連する身体機能は、麻痺側下肢伸展トルク、股関節屈曲テスト、非麻痺側下肢伸展トルクであることが示された。股関節屈曲テストの得点は、膝関節伸展テストや足パットテストの得点との関連が強かったため、麻痺側下肢の運動機能を包括的に反映していると解釈できる。本研究の臨床的意義は、単独ではなく、歩行速度と歩行変動性の双方とも含む歩行能力と関連する重要な身体機能を理解できたことである。

脳卒中患者の歩行速度や歩行変動性には、立脚相の姿勢制御が関連すると報告されている^{16,17)}。つまり、立脚相の姿勢制御が不安定であると、歩幅は短縮し、歩行速度は低下する。さらに、歩行中のステップのリズムが一定せず、歩行変動性が増加する。下肢伸展筋力や麻痺側下肢運動機能は、立脚相の姿勢制御に重要な機能であるため、歩行速度と歩行変動性の両者に関連する身体機能として抽出されたと考えられる。

正準相関分析で抽出された非麻痺側下肢伸展トルクが、歩行速度、歩行変動性のそれぞれに行った重回帰分析では、どちらの指標に対しても抽出されなかった。この理由として、歩行速度と歩行変動性のそれぞれに重回帰分析を行った場合では抽出されないほどの関連の程度が、歩行能力という包括的な能力に対して分析できる正準相関分析において大きくなったためであると考えられる。歩行能力を下支えしていると考えられる非麻痺側の機能が正準相関分析を用いることではじめて抽出されたことは興味深い。本研究のような横断研究から、縦断的研究で検証すべき因子を考察する場合、重回帰分析のみでは着目すべき因子を見逃す可能性も示している。

本研究結果を一般化する際には、本研究における対象者の麻痺が比較的軽度（全体の約52%がSIAS4以上）であること、発症後期間やリハビリテーションの介入期間の違いが、歩行能力と身体機能の関係に影響を及ぼす可能性があることに留意する必要がある。さらに本研究の限界としては、歩行能力として、歩容や姿勢動揺など

のその他の側面の評価指標が含まれていないこと、身体機能として、体幹機能や視覚認知など歩行能力に関係しうるすべての要素を網羅してはいないことが挙げられる。また、本研究は横断的研究であり、歩行能力と身体機能の関連を示したに過ぎず、その因果関係については縦断的検討が必要である。

引用文献

- 1) Perry J, Garrett M, Glonley JK, et al.: Classification of walking handicap in the stroke population. *Stroke*, 1995, 26(6): 982-989.
- 2) Hausdorff JM: Gait variability: methods, modeling and meaning. *J Neuroeng Rehabil*, 2005, 2: 19.
- 3) Bohannon RW, Andrew AW, Smith MB, et al.: Rehabilitation goals of patients with hemiplegia. *Int J Rehab Research*, 1988, 11(2): 181-183.
- 4) 高橋純平, 高見彰淑, 若山佐一: 脳卒中片麻痺患者における歩行の自立判定方法ならびに関連要因の検討. *理学療法科学*, 2012, 27(6): 731-736.
- 5) 川上健司, 和田陽介, 田村恵美・他: 脳卒中患者の回復期リハビリテーション病棟退院後の転倒予測要因に関する研究—自宅内自立歩行可能な在宅脳卒中患者を対象として—. *理学療法学*, 2012, 39(2): 73-81.
- 6) 新井智之, 柴 喜崇, 桑原慶太・他: 脳血管障害者の転倒と歩行周期変動との関連. *総合リハ*, 2013, 41(3): 269-274.
- 7) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK, et al.: Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001, 82(8): 1050-1056.
- 8) 佐川良寿: 統計解析の基礎と応用 (16) 正準相関分析. *Pharm Tech Japan*, 2010, 26(9): 1703-1713.
- 9) Yelnik A, Albert D, Bonan I, et al.: A clinical guide to assess the role of lower limb extensor overactivity in hemiplegic gait disorders. *Stroke*, 1999, 30(3): 580-585.
- 10) Lynch EA, Hillier SL, Stiller K, et al.: Sensory retraining of the lower limb after acute stroke: a randomized controlled pilot trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 2007, 88(9): 1101-1107.
- 11) 千野直一, 園田 茂, 里宇明元・他: 脳卒中患者の機能評価—SIASとFIMの実際—, シュプリンガー・ジャパン, 東京, 1997, pp80-83.
- 12) 小宅一彰, 山口智史, 田辺茂雄・他: 短下肢装具の着用が回復期脳卒中患者の歩行変動性に与える影響. *総合リハ*,

-
- 2013, 41(2): 183-186.
- 13) 今 直樹, 高見彰淑, 皆方 伸・他: 脳卒中片麻痺患者における運動麻痺各回復段階による両脚および片脚レッグパワーと歩行・立ち上がり能力との関係. 理学療法科学, 2010, 25(3): 397-402.
- 14) 千野直一, 園田 茂, 里宇明元・他: 脳卒中患者の機能評価—SIASとFIMの実際—, シュプリンガー・ジャパン, 東京, 1997, pp19-21.
- 15) Gert KW, Kollen B, Twisk J, et al.: Impact of time on improvement of outcome after stroke. *Stroke*, 2006, 37(9): 2348-2353.
- 16) Bohannon RW: Strength of lower limb related to gait velocity and cadence in stroke patients. *Physiotherapy Canada*, 1986, 38(4): 204-206.
- 17) Balasubramanian CK, Neptune RR, Kautz SA, et al.: Variability in spatiotemporal step characteristics and its relationship to walking performance post-stroke. *Gait Posture*, 2009, 29(3): 408-414.