正常歩行と前方ステップ課題の 運動学・運動力学的比較

*Comparison of the Kinematics and Kinetics of the Forward Stepping Exercise and
Normal Walking Performed by Normal Volunteers*

藤原 今日子¹⁾ 工藤 慎太郎²⁾

KYOKO FUJIWARA, RPT¹⁾, SHINTAROU KUDO, RPT²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Medical Corporation Kojinkai Omi Onsen Hospital: 966 Kitasaka-cho, Higashiomi-shi, Shiga 527-0145, Japan TEL+81 749-46-1125 E-mail: riha @oumi-hp.or.jp

²⁾ Department of Physical therapy, Morinomiya University of Medical Sciences

Rigakuryoho Kagaku 31(2): 281-284, 2016. Submitted Oct. 6, 2015. Accepted Nov. 18, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to determine the kinematic and kinetic similarities of the forward stepping exercise and normal walking. [Subjects] Thirty-six healthy volunteers participated in this study. [Methods] Normal walking and the forward stepping exercise were analyzed using a three-dimensional motion analysis system and a force plate. The hip, knee and ankle kinematics and kinetics were calculated. Similarities between normal walking and the forward stepping exercise were investigated using qualitative and quantitative methods. [Results] The kinematics and kinetics of the ankle in the forward stepping exercise were similar to those of the ankle during the early stance phase of walking. [Conclusion] The forward stepping exercise has potential as an effective exercise therapy reproducing the ankle rocker.

Key words: functional mobility task, gait, ankle rocker

要旨:〔目的〕正常歩行と前方ステップ課題間の類似性を運動学・運動力学的に検討する。〔対象〕理学療法学科学生 36 名。〔方法〕正常歩行と、下肢を前方に振り出し膝関節屈曲位（以下、屈曲群）、もしくは伸展位（以下、伸展群）で踵から接地後に重心を前方へ移動するステップ課題の関節角度・モーメントを三次元動作解析システムを用いて算出。その類似性をグラフから定性的に判断した後、統計学的処理を行った。〔結果〕屈曲・伸展両群と立脚期の 0 ～ 25% である Loading Response（以下、LR）、25 ～ 60% である Mid Stance（以下、MSt）を合わせた立脚期前半（以下、LR ～ MSt）の足関節角度、モーメントが類似していた。〔結語〕ステップ課題において ankle rocker との類似性が示された。

キーワード: 機能的運動課題, 歩行, ankle rocker

¹⁾ 医療法人恒仁会 近江温泉病院 総合リハビリテーションセンター: 滋賀県東近江市北坂町 966 (〒527-0145) TEL 0749-46-1125

²⁾ 森ノ宮医療大学 保健医療学部 理学療法学科

受付日 2015 年 10 月 6 日 受理日 2015 年 11 月 18 日

I. はじめに

臨床理学療法における運動療法の理論として、近年はダイナミカルシステムズ理論による運動制御の考え方を臨床理学療法に発展させた課題指向型アプローチが臨床場面に多く取り入れられている。一つの運動を再獲得する際、運動を阻害する機能障害を単独に解決するのみでは十分ではない可能性がある。歩行を例に表すと、立脚期での股関節・膝関節伸展筋の筋出力低下があることによる歩行障害がみられている患者に対してこれらの筋力増強を図るのみでは歩行の改善は生じにくい。なぜなら筋活動は、課題や条件におけるわずかな変化であっても著しい変化を生じることから、下肢に対する筋力強化に加え、歩行練習や、歩行の部分練習といった、動作練習によって動作が再獲得されるためである¹⁾。課題指向型アプローチでは機能障害の治療に加え、対象に取り組みせる機能的運動課題 (Functional Mobility Task; 以下、FMT) を設定し、その実施を通じて、対象の身体機能および動作遂行能力の変化を促していく。FMT とは、具体的にはステップ運動による体重負荷や重心移動の練習²⁾、体重支持付きトレッドミル歩行訓練 (body weight-supported treadmill training; 以下、BWSTT) などのことを指す。中でも、この BWSTT は代表的な課題指向型アプローチとして挙げられる^{3,4)}。脳卒中ガイドライン (2009) においても、BWSTT は脳卒中患者の歩行を改善するので勧められるとされている⁵⁾。一方、BWSTT の実施にはコストや場所、セッティングに時間を要するなどの問題があり汎用性に乏しく、使用できる施設が限られることから、臨床においては対象者の歩行の問題についてステップ課題を行うことも多い²⁾。Carrs は、ステップ運動のような下肢のコントロールを鍛えるための機能的な体重支持エクササイズが、脳卒中患者に対する麻痺側下肢への荷重を強化し、筋力と協調性を改善するために重要であり、歩行トレーニングと並行して行われると述べている⁶⁾。また、反復踏み台昇りや変法スクワットのような下肢の荷重負荷プラクティスは、歩行のような、基本的な屈曲・伸展パターンを利用する他の活動の改善へと般化することが知られている⁶⁾。しかし、Shumway-Cook が著書の中で、歩行を再訓練するために臨床家によって一般的に使われている手技がエビデンスに乏しいことについて指摘しているように、こういったステップ運動がどの歩行周期の、どの関節の問題を改善するのかは明らかでないという問題点がある⁷⁾。また、課題指向型アプローチでは運動学習の原理を応用することが重要であり、FMT の選択としては、2つの運動課題が類似することが不可欠である⁶⁾。つまり、歩行の改善を目指すには、歩行に類似した課題を行う必要がある。Carrs らは運動の転移について「前に行った動作に、次に行う動作に必要な要素が含まれている場

合、訓練の転移はより大きなものとなる」⁸⁾と述べている。結果の知識 (knowledge of result; KR) の付与⁹⁾や、ランダム練習とブロック練習による学習効果の差¹⁰⁾などに着目した運動学習に関わる研究は積極的に行われているが、課題の類似性に着目したものは少ない。そこで、我々は正常歩行と前方ステップ課題の運動学的・運動力学的類似性について検討することとした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は理学療法学科学生 36 名 (男性 25 名・女性 11 名、平均年齢 22.8 ± 4.0 歳、平均身長 166.7 ± 7.2 cm、平均体重 62.0 ± 12.8 kg) とした。対象者には本研究の主旨、目的、内容などを十分に説明し、参加の同意を得た。なお、本研究は森ノ宮医療大学倫理委員会の承認 (2014-078) を得て実施している。

2. 方法

正常歩行の計測はメトロノームを用いて成人の平均ケイデンス (男性: 113 steps/min, 女性: 115 steps/min) に合わせ、裸足にて行った。ステップ課題の方法は以下の通りである。立位で左下肢を前方に振り出し踵から接地し、重心を前方へ移動させる。なお、接地時に膝関節 10° 以上屈曲し接地する方法 (以下、屈曲群) と膝関節完全伸展位で接地する方法 (以下、伸展群) を行った。その際、「振り出した下肢を膝関節屈曲 (伸展) 位で踵から着き、その後膝関節を伸展させながら体重を前方へ移動させて下さい」と教示した。なお、計測はステップ課題が適切に行えるまで十分な練習を行った後、実施した。運動の計測には三次元動作解析システム (MA2000, アニマ社製) を用いて 60 Hz で記録した。反射マーカには直径 10 mm の物を使用し、左側の腸骨稜・大転子・膝関節裂隙・外果・第 5 中足骨頭に同一検者が貼付した。床反力は床反力計 (フォースプレート, アニマ社製) を用いて 180 Hz で記録した。記録したデータは 6 Hz の low pass filter にかけた後、股関節、膝関節、足関節の角度と内部モーメントを計測し、歩行およびステップ課題の下肢関節角度と関節モーメントの平均値、標準偏差を算出した。正常歩行の立脚期とステップ課題における時間軸を正規化した。正常歩行の相を立脚期全体、立脚期の 0 ~ 25% に対応する Loading Response (以下、LR), 25 ~ 60% に対応する Mid Stance (以下、MSt), 60 ~ 100% に対応する Terminal Stance (以下、TSt), LR と MSt を合わせた立脚期前半 (以下、LR ~ MSt), MSt と TSt を合わせた立脚期後半 (以下、MSt ~ TSt) の 6 つに分類した。定性的分析として、正規化した正常歩行およびステップ課題の関節角度と内部モーメントの経時変化をグラフ化し、波形の類似性を比較した。さ

らに類似した波形を示す項目において、関節角度と関節モーメントの最大値と最小値を抽出し、それぞれを比較検討した。統計学的処理には対応のあるt検定を用い、有意水準は5%とした。

III. 結 果

正常歩行の立脚期およびステップ課題の角度・モーメントの波形から定性的分析を行った結果、正常歩行におけるLR～MStと、ステップ課題の屈曲群、伸展群の足関節角度、正常歩行におけるLR～MStとステップ課題の屈曲群、伸展群の足関節モーメントについて、極性および、グラフの傾きが類似しており、平均値に差がなかったことから、類似性が高いと判断した(図1, 2)。LR～MStにおける最大背屈角度と伸展群、屈曲群の最大背屈角度には有意差が認められなかった。LR～MStにおける最大底屈角度は屈曲群との間に有意差を示さなかつ

たが、伸展群との間には有意差を示した。LR～MStにおける最大底屈モーメントについては、ステップ課題との間に有意差を認められなかったが、屈曲群、伸展群ともに最大背屈モーメントについて正常歩行におけるLR～MStとの間に有意差を示した(表1)。

IV. 考 察

本研究で用いたステップ課題は、諸家により報告された下肢の荷重負荷プラクティスと同様に歩行への般化作用があると考えられる。ステップ運動について、大畑は歩行訓練としての有効性を述べ、立脚期前後半、遊脚期それぞれにおける方法と注意点を紹介している¹¹⁾。また、嶋田らは大腿骨頸部骨折後の症例において、十分な患側下肢への荷重が困難な場合に、歩行周期における機能的役割を意識したステップ運動が有効であると述べている¹²⁾。また、熊谷は大腿骨頸部骨折後の跛行に対して、

図1 歩行(LR～MSt)、ステップ課題の足関節角度

歩行、ステップ課題ともに、一旦底屈した後、背屈する一峰性の波形となった。屈曲群(a)においては最大底屈角度と最大背屈角度はいずれも有意差を認めなかったが、伸展群(b)においては、最大底屈角度に有意差を認めた。

図2 歩行(LR～MSt)、ステップ課題の足関節モーメント

歩行、ステップ課題ともに、底屈モーメントが右肩上がりが増大していくという波形となったが、ステップ課題の方が底屈モーメントの立ち上がりがやや遅かった。屈曲群(a)、伸展群(b)ともに最大背屈モーメントに有意差を認めた。

表1 歩行、ステップ課題の関節角度、関節モーメントの最大値

	LR～MSt	屈曲群	伸展群
最大背屈角度(°)	2.5	-0.5	-4.3
最大底屈角度(°)	-12.9	-10.7	-14.2*
最大背屈モーメント(Nm/kg)	0.2	-1.0*	-1.2*
最大底屈モーメント(Nm/kg)	58.4	57.3	60.2

+ : 背屈, - : 底屈, * : LR～MStと有意差あり。

患肢を前方に位置させ、股関節伸展位での重心移動訓練としてステップ運動を行うことを推奨している¹³⁾。このように、整形外科疾患、中枢神経疾患を問わず、ステップ運動は臨床上頻繁に用いられる。

本研究では、ステップ課題に科学的根拠を与えるための一助として、正常歩行とステップ課題の類似性を運動学・運動力学的側面から検討した。我々は伸展群では、LRからMStにかけての股関節と足関節の運動学・運動力学が、屈曲群ではLRでの膝関節の運動学・運動力学について正常歩行との類似性が高いという仮説を立てた。しかし、今回計測したステップ課題は屈曲群、伸展群ともにLRからMStにかけて、足関節角度・モーメントの両者の類似性が高かった。

MStでは動的安定性が膝関節から足関節に移り、下腿三頭筋の遠心性収縮が脚の安定性を制御する。そして、足関節の背屈による下腿の制御された前方への動きに伴い身体重心を前方へ移動する機能、いわゆるankle rockerが働く。ankle rockerの力源は足関節底屈モーメントである¹⁴⁾。今回のステップ課題はMStでの足関節モーメントと近似していたことから、ankle rockerを再現する運動療法として有効になると考えられる。

今回計測したステップ課題の股関節の運動学的データでは、初期屈曲角度はInitial Contactと類似しているものの、股関節モーメントは不十分になっていた。また膝関節においては、屈曲群は初期接地からLRにかけて屈曲角度が大きく、屈曲モーメントが不足していた。歩行におけるLRでの股関節伸展モーメント、膝関節屈曲モーメントは、重心の下方への加速度に対して、強い床反力垂直成分が発揮され、股関節中心の前方、膝関節中心の前方を通過するために生じる。股関節角度は類似していることから、ステップ課題における股関節モーメントの不足は、身体重心の下方への加速度を与えられなかったためと考えられる。また膝関節屈曲モーメントの低下には、股関節モーメントと同様に、身体重心の下方への加速度を与えられなかったことに加え、膝関節屈曲角度が増加したことにより、膝関節中心より後方を床反力ベクトルが通過したことが考えられる。

今後は、足関節の背屈制限、膝関節の屈曲拘縮などによりMStでのankle rockerが不足している症例に対して介入研究を行い、効果検証を進める必要がある。また、ankle rockerの力源となる下腿三頭筋の筋活動や動態についても検証する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 潮見泰蔵：脳卒中患者に対するスキルの最適化を図るための介入方略。理学療法科学，2004，19(1): 1-5.
- 2) 潮見泰蔵：脳卒中に対する課題指向型アプローチの概要。理学療法，2010，27(12): 1386-1391.
- 3) 松尾 篤，冷水 誠，森岡 周：脳卒中の課題指向型アプローチの神経科学的基礎。理学療法，2010，27(12): 1392-1397.
- 4) Harvey RL: Improving poststroke recovery: neuroplasticity and task-oriented training. Curr Treat Options Cardiovasc Med, 2009, 11(3): 251-259.
- 5) 脳卒中合同ガイドライン委員会：脳卒中治療ガイドライン2009。http://www.jsts.gr.jp/jss08.html (閲覧日2015年3月11日)。
- 6) Carr JH, Shepherd RB: ニューロロジカルリハビリテーション。潮見泰蔵(監訳)，医歯薬出版，東京，2012，pp121-124.
- 7) Shumway-Cook A, Woollacott MH: モーターコントロール運動制御の理論から臨床実践へ。田中 繁・他(監訳)，医歯薬出版，東京，2011，p428.
- 8) Carr JH, Shepherd RB: 脳卒中の運動訓練プログラム。横山 巖(監訳)，医学書院，東京，1991，pp175-176.
- 9) 大橋ゆかり：運動学習におけるパフォーマンスと情報処理。理学療法科学，2001，16(3): 133-137.
- 10) 工藤孝幾：運動学習における文脈干渉効果と認知スタイルとの相互作用。福島大学教育学部論集，2002，73: 1-14.
- 11) 大畑光司：運動療法学(第2版)。文光堂，東京，2008，pp363-369.
- 12) 嶋田智明，大峰三郎，加藤 浩：実践Mook 理学療法プラクティス 大腿骨頸部骨折 何を考えどう対処するか。文光堂，東京，2009，pp117-118.
- 13) 林 典雄，浅野昭裕，岸田敏嗣：整形外科運動療法ナビゲーション 下肢・体幹。メジカルビュー，東京，2008，pp6-9.
- 14) Götz-Neumann K: 観察による歩行分析。月城慶一・他(訳)，医学書院，東京，2005，pp28-29.