足圧中心の移動軌跡からみた階段昇降動作

Stairclimbing Assessed by Transfer Locus of the Center of Foot Pressure

栢 良充* 内山 靖 恩幣 伸子
山田美加子 榎本 香織 軍司 晃

YOSHIMITU MASU, RPT, YASUSHI UCHIYAMA, RPT, PhD, NOBUKO ONBE, RPT, B.A.,
MIKAKO YAMADA, RPT, KAORI ENOMOTO, RPT, AKIRA GUNJI, RPT

*Department of Rehabilitation, Kitasato Institute Medical Center Hospital: 6-100 Arai, Kitamoto-city,
Saitama 364-8501, Japan. TEL +81 485-93-1212*

Rigakuryoho Kagaku 13(2): 67-72, 1998. Submitted Aug. 20, 1997. Accepted Feb. 20, 1998.

ABSTRACT: With a primary purpose of clarifying the motion characteristics of stairclimbing, transfer locus of the center of foot pressure was studied by an F-SCAN among 25 subjects (15 healthy adults and 10 patients). The loci of healthy subjects were divided into two types, started at the toe part, transferred to the heel part, and returned to the toe (type A), and started at the heel part and moved to the toe (type B, similar to walking). All the healthy subjects showed type A during descending stairs, with a significantly larger horizontal sway compared with those during ascending stairs ($p<0.01$). During ascending stairs, healthy subjects exhibited both types A and B. Patients showed marked difficulties in descending stairs, and their loci tended to become similar to those of healthy subjects with a functional improvement. The results also suggested that a cane may play an important role in stabilizing the standing phase. The present measurement of dynamic foot pressure during stairclimbing revealed partly the complexity of posture control in descending stairs.

Key words: stairclimbing, F-SCAN, center of foot pressure

要旨: 階段昇降時の動作特性を明らかにする事を目的として、F-SCANを用い足圧中心の移動軌跡を健常人・患者25名に対して測定し、以下の結果を得た。健常人の階段昇降動作での足圧中心の移動軌跡は、前足部から踵方向へ移動後、再び前方へ移動する戻り型(Aタイプ)と、平地歩行と類似したの前方向型(Bタイプ)に大別された。健常人の降段動作での足圧中心の軌跡は全てAタイプで、昇段に比較して左右への変位を認めた($p<0.01$)。一方、昇段ではA・Bの両タイプがみられた。患者では、降段動作の障害がより顕著で、機能改善とともに健常人の足圧中心の軌跡波形に近づく傾向が観察された。また、杖は立脚期を安定化させる役割があることが客観的に示された。階段昇降時の動的足圧を測定する事により、降段動作の姿勢制御の複雑さの一端が明らかとなった。

キーワード: 階段昇降, F-SCAN, 足圧中心

北里研究所メディカルセンター病院: 埼玉県北本市荒井 6-100 (〒364-8501) TEL 0485-93-1212
(* 現所属 〒634-0813 奈良県橿原市四条町 827 平成記念病院)

受付日 1997年8月20日 受理日 1998年2月20日

I. はじめに

階段の利用は、丘陵地の多い日本で生活するには不可欠である。しかし転倒・落下等の日常災害が多く発生する場所でもある。階段の建築は建築基準法の23～25条で、踊場の幅並びに階段の蹴上及び踏面の寸法は規定されている。しかしその生理的応答には不明瞭な点も多く、建築・人間工学・リハビリテーションの分野で階段に対する環境設定¹⁾・身体要因²⁾⁴⁾・動作分析⁵⁾⁷⁾についての研究がなされている。これまで歩行に比較して階段昇降動作に関する研究数は少なく(第31回日本理学療法士学会演題は歩行関連47題, 階段昇降関連2題), 有用な指標も十分には得られていない。理学療法を行う上で階段の可・不可は運動機能・移動能力の重要な指標であり, 日整会変形性股関節症判定基準・Barthel indexなどの機能評価項目の1項目として取り入れられている。

そこで本研究では, 階段昇降時の足圧中心の移動軌跡を健常人および患者に対して測定し, その軌跡の波形・立脚時間および前後幅・左右幅を算出し階段昇降の動作特性の一端を明らかにする事を目的とした。

II. 対 象

対象は健常人及び患者の25名とした。

健常人は15名で, 男性6名, 女性9名, 平均年齢は 28.5 ± 5.9 歳, 身長 164.1 ± 7.8 cm, 体重 56.6 ± 8.7 kgであった。

患者は10名で, 男性4名, 女性6名, 平均年齢は 40.7 ± 10.8 歳, 身長 164.7 ± 7.8 cm, 体重 68.5 ± 12.8 kgであった。疾患内訳は神経疾患であるギランバレー症候群2名, 多発性硬化症2名と, 骨関節疾患である膝蓋骨骨折1名・膝靱帯損傷2名・足関節骨折3名であった。なお患者は1足1段での階段昇降が痛みなく可能な例に限定した。

III. 方 法 (図1)

計測はTekscan社製F-SCANを用いた。センサーシートはポリエステルシート上に感圧抵抗性を示す物質を薄膜形成したもので厚さ0.15 mmで, センシングポイントの間隔は5.08 mmであった。測定に際しては, センサーシートがねじれるのを防止するためにセンサーに中敷きを貼り付け裸足にテープで固定した。記録はサンプリング周期100 Hzで測定した。

a) ブロック図

b) 測定条件

c) 計測法

図1 測定条件

サンプリング周期100Hz。軌跡前後・左右幅は軌跡の最大偏位とした。
接地前後・左右幅は接地した足の最大幅とした。

測定条件は、健常人はメトロノームを使用し昇段108/min、降段112/minのcadenceに設定した。患者はcadenceを規定すると再現性が低く、バランスを崩し困難であったため自由速度とした。階段は、蹴上10 cm・踏面30 cm (傾斜約18度) に設定し1足1段での階段昇降を定常状態の1歩分を各3施行測定した。

統計処理は、平均値の差の検定 (等分散ではt検定・分散が等しくない場合にはWelch検定)、相関係数 (Pearsonの積率相関) を求め、5%未満の危険率を有意とした。

IV. 結 果

1. 計測精度・再現性

計測誤差が1 mm 以内の精度が確認されている重心動揺計上にセンサーシートをのせ片脚立位での任意動揺時の足圧中心を測定した。その結果、F-SCAN との計測差はセンシングポイントの5 mm 以内に収まった。また健常人15名における足圧中心の移動軌跡の変動係数は、昇段時の前後幅 $11.3 \pm 6.7\%$ ・左右幅 $10.9 \pm 5.7\%$ 、降段時

の前後幅 $9.7 \pm 5.2\%$ ・左右幅 $8.7 \pm 3.7\%$ であった。

2. 実測値 (表1)

立脚時間の平均は、昇段・降段ともに健常人に比較して患者で有意に延長していた ($p < 0.05$)。

健常人の足圧中心の軌跡幅の平均 ± 1 標準偏差 (接地幅に対する割合) は、昇段前後幅 114.4 ± 30.7 mm (51.1%)・左右幅 25.8 ± 6.4 mm (29.5%)、降段前後幅 109.7 ± 23.1 mm (48.7%)・左右幅 35.5 ± 7.7 mm (40.5%) であり、健常人・患者ともに前後幅は昇段と降段では有意差を認めなかった ($p > 0.05$)。左右幅は降段動作で昇段に比べて有意に大きな値であった ($p < 0.01$)。また、昇段・降段ともに年齢・身長・体重と前後幅・左右幅の間で有意な相関は観察されなかった (表2)。

3. 接床型別出現頻度 (表3)

接床部を前足部・後足部・足底全面型の3つに分類した。昇段はやや外側 (小趾球) より接床する前足部型 (47%) が最も多く、患者では3種類ほぼ均等であった。降段

表1 実測値

	昇段		降段	
	健常人	患者	健常人	患者
立脚時間 (s)	0.66 ± 0.04	0.86 ± 0.16	0.62 ± 0.03	0.76 ± 0.29
軌跡前後幅 (mm)	114.4 ± 30.7	120.1 ± 33.1	109.7 ± 23.1	111.8 ± 31.8
軌跡左右幅 (mm)	25.8 ± 6.4	24.1 ± 4.5	35.5 ± 7.7	34.7 ± 8.4
接地前後幅 (mm)	223.9 ± 13.4	221.8 ± 18.2	224.9 ± 14.4	223.0 ± 18.0
接地左右幅 (mm)	87.5 ± 5.5	87.3 ± 8.5	87.6 ± 5.8	89.0 ± 8.2

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$.

表2 相関マトリックス

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
① 年齢 (歳)									
② 身長 (cm)	0.21								
③ 足長 (mm)	0.25	0.94**							
④ 体重 (kg)	0.13	0.86**	0.69**						
⑤ 昇段時間 (s)	0.48**	0.30	0.21	0.28					
⑥ 昇段前後	0.01	0.17	0.08	0.31*	0.08				
⑦ 昇段左右	0.05	0.03	0.07	0.10	0.04	0.17			
⑧ 降段時間 (s)	0.32*	0.36*	0.25	0.52**	0.55**	0.01	0.08		
⑨ 降段前後	0.18	0.01	0.03	0.05	0.32*	0.14	0.07	0.08	
⑩ 降段左右	0.29	0.37*	0.40**	0.17	0.01	0.09	0.36**	0.21	0.09

時間 = 立脚時間, 前後・左右 = 軌跡幅/接地幅. ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$.

は健常人は前足部型(100%)のみであった。しかし患者では足関節損傷患者では後足部, 神経疾患患者では足底全面型と症例により異なる傾向が観察された。

Aタイプ
(戻り型)

Bタイプ
(前方向型)

図2 タイプ分類

赤線が足圧中心の移動軌跡。Aタイプでは前足部より接床し前足部より離床した。その時の足圧中心は前足外側より後方へ移動後, 再び前足部方向へ移動した。Bタイプでは歩行と同様に踵で接床し前足部より離床した。また足圧中心は踵中央より前足部へ移動した。

4. 足圧中心の移動軌跡

足圧中心の軌跡は, 大きく2つの様式に分類された(図2)。一つは前足部から踵方向へ移動後, 再度前方へ移動

①両口フストランド杖 ②杖なし初期 ③杖なし安定期
切り返し点 79% 74% 57%

図4 ギランバレー症候群患者の足圧中心の経路変化

健常人に比較して足圧中心は揺らぎを認めた。機能改善とともに足圧中心の切り返し点が前方へ移行し, 健常人の波形に近づく傾向が観察された。

(切り返し点: 母趾先端から切り返し位置までの距離/足長×100)

図3 Aタイプの足圧中心の時間変化

赤い四角点が足圧中心であり中足部付近で移動方向の変換がみられた。

表3 接床型別出現頻度

		前足部	後足部	足底全面
健常人	昇段	47	13	40
	降段	100	0	0
患者	昇段	30	30	40
	降段	60	20	20

(%)

表4 タイプ別出現頻度

(%)

		健常人	患者	
			健側	患側
昇段	Aタイプ	53	67	67
	Bタイプ	47	33	33
降段	Aタイプ	100	100	83
	Bタイプ	0	0	17

Aタイプ:前足部から踵方向へ移動後、再び前方移動する戻り型

Bタイプ:踵部から前足部方向へ移動する前方向型

する戻り型(以下Aタイプ)、もう一方は踵から前足部へ移動する平地歩行と類似した前方向型(以下Bタイプ)であった。図3はAタイプの足圧中心の時間変化を示した。

タイプ別出現頻度(表4)は、健常人の昇段はAタイプ53%、Bタイプ47%と両タイプであったが、降段は全症例Aタイプであった。骨関節疾患患者では昇段は健側・患側ともA・B両タイプを認めた。降段では健側では全例Aタイプであった。患側では足関節の背屈制限を認めた者のみBタイプであった。

Aタイプの足圧中心が切り返し点までの到達時間の立脚時間に対する割合は、健常人は9~55%で平均32%であった。患者の健側は健常人とはほぼ同様で、有意差は認めなかった。患者の患側を杖あり群・なし群で比較した結果、有意差は認めなかったが、杖あり群では17~36%と安定していたが、杖なし群では2~60%とばらつきを示した。

5. 階段降段時の足圧移動軌跡の経時変化

対象はギランバレー症候群と診断された58歳女性で、主訴は右上下肢の脱力・疼痛であった。入院後20日目よりベッドサイドの理学療法を開始した。初期評価では腰部に疼痛を認め、筋力(以下MMT)は上肢近位筋3~3+遠位筋3、下肢近位筋2~3-遠位筋3~3-、ADL全介助で、体位変換も腰部痛のため要介助であった。約3か

月後両口フストランド杖使用で退院し、その時期の階段降段時の足圧中心の移動軌跡の波形(図4①)は健常人に比較して揺らぎを認め、切り返し点(母趾先端から切り返し位置までの距離/足長×100)までの距離(79%)が長かった。その後2か月でMMTは上下肢4、杖なし歩行・階段昇降が辛うじて可能となり、この時期の波形(図4②)は後方への移動が短く、健常人や図4①と異なった。発症後11か月の階段昇降が安定した時期では、波形は比較的安定し切り返し点までの距離(57%)も短くなり健常人と同様の波形(図4③)に近付いた。

V. 考 察

機器を用いた測定では、その機器の特性・精度・性能・限界の理解が重要であり、内山⁸⁾は生体測定における留意点を重心動揺計を中心に報告している。今回用いた足底圧計測機器は重心動揺計や床反力計に比較して計測精度は劣るものの、測定装置は小型かつ軽量でなにより動的測定が可能である点に優れている。

健常人の変動係数は8.7~11.3%であり、筆者が行ったMusculatorによる膝屈・伸筋力測定⁹⁾や恩幣らのHand Held Dynamometerによる足背屈筋測定¹⁰⁾に比較して大きい値であった。これは前述の2つの測定が軀幹・下肢を固定した条件下の測定であるのに対して、本課題は非拘束下である点と階段昇降時の片脚立位という不安定で自由度の高い動作であるためと考えられた。言い換えればこの結果から患者が1足1段での階段昇降を安定して可能になるためには、各指標の実測値とともに、指標の変動が10%前後であることが必要条件の一つとも考えられた。

床反力計を用いた研究で、階段昇降時の足圧中心点は二峰性であり、特に降段動作では前峰が後峰より大きくなることが報告されている¹¹⁾。野口ら¹²⁾によると階段昇降時の側方偏位は降段の方が昇段よりも大きく、cadenceが60から100になると、その傾向がよりはっきりすると報告されている。本研究ではcadenceを規定しているが、健常人・患者ともに左右幅は昇段に比較して降段で大きい値であったことから、降段動作では側方へ対して不安定になる事は同様の結果が得られた。

小林¹³⁾は階段昇降の接床は昇段は踵(後足部)接床、降段は爪先接床(前足部)と報告している。しかし本研究では昇段では後足部接床・前足部接床の両方のタイプを認めた。これは測定条件である蹴上、cadence・サンプリング周期が異なる事による影響が考えられるが、降段動作では前足部接床のみと同様の結果であった。

足圧中心の移動軌跡の波形は、歩行では踵から足底外

表5 階段降段動作の特徴

- 1) 足圧中心の移動軌跡は、昇段に比較して左右への変位幅が大きい。
- 2) 前足部で接床し前足部から離床する。
- 3) 足圧中心の軌跡は、前足部から踵方向へ移動後、再び前方へ移動する。
- 4) 患者の足圧中心の軌跡は、健常人に比較して、揺らぎを認め、機能改善とともに健常人の軌跡に近づく傾向がある。
- 5) 杖は足圧中心の後方への移動時間を安定化・一定化させる役割がある。

側を通りⅠ・Ⅱ趾間を通るとされている。しかし階段昇降における足圧中心の軌跡についての研究は少なく、本研究結果では階段昇降では2つのタイプを認めた。特にAタイプでは身体は前方へ連続的に移動するのに対して、足圧中心は前方から後方へ移動後、再び前方へ移動し異なった動きを示し、体重心と足圧中心の移動の密接な連携が必要な動作である事が示唆された。また健常人の降段動作では全例Aタイプであった事から臨床上よく遭遇する階段降段時の不安感や不安定性は、蹴上の高さや踏面の狭さによる見掛上の恐怖感に加えて、接床・足圧中心点の移動の複雑さによる影響が考えられた。

患者の降段動作での経時変化では健常人に比較して足圧中心の軌跡は揺らぎを認め、降段動作時の姿勢制御の難しさを反映していると思われた。また降段動作で杖を使用する事により足圧中心が切り返し点までの到達時間の立脚時間における割合が安定した事より、足圧中心の移動を安定化・一定化させる役割があることが示唆された。

以上の事から階段降段動作の特徴は表5のようにまとめられ、階段昇降動作は動的制御を伴う姿勢保持能力に基づく姿勢バランスが必要であり、この事が動作を困難なものとしている要因の一つといえ、平衡機能に加えて可動域・筋力・体重心と足圧中心の動的調節機能など各々の要素が統合される必要があると考えられた。

本論文の一部は第32回日本理学療法士学会（大宮市）において発表した。

引用文献

- 1) 徳田哲男・他：住環境. Geriat Med, 29(5): 692-696, 1991.
- 2) 徳田哲男・他：高齢者の階段昇降動作とそれに関する身体機能について. Geriat Med, 25(8): 1205-1214, 1987.
- 3) 横井孝志：階段昇降. 体育の科学, 45(3): 218-223, 1995.
- 4) 丸山仁司：階段昇降. 理学療法, 11(4): 289-294, 1994.
- 5) 宮崎博史・他：人工関節置換術の歩行の検討—特に階段昇降について—. 中部整災誌, 31(6): 2235-2237, 1998.
- 6) Livingston LA, et al.: Stairclimbing kinematics on stairs of differing dimensions. Arch Phys Med Rehabil, 72(6): 398-402, 1991.
- 7) McFadyen BJ, et al.: An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. J Biomechanics, 21(9): 733-744, 1998.
- 8) 内山 靖：重心動揺. 理学療法, 11(6): 459-466, 1994.
- 9) 杵 良充・他：定量的膝屈・伸筋力測定の信頼性. 埼玉理学療法, 3(1): 25-29, 1995.
- 10) 恩幣伸子・他：足関節背屈筋力の定量的測定の信頼性. 理学療法科学, 11(1): 33-38, 1996.
- 11) 菊池俊彦：階段昇降時床反力に関する研究. 日整会誌, 62(5): 485-494, 1988.
- 12) 野口哲男・他：大型床反力計による正常歩行の研究—特に坂道と階段昇降について—. リハビリテーション医学, 26(2): 105-111, 1989.
- 13) 小林 武：階段昇降時の下肢関節角度の変化について. 理学療法科学, 第22巻, 学会特別号, 1995.