悪路が立位バランスならびに歩行中の段差の 踏み越え動作に及ぼす影響

Effect of a Gravel Surface on Standing Balance and Overstepping in Walking

川中麻由美¹⁾ 佐々木 誠²⁾

MAYUMI KAWANAKA, RPT¹⁾, MAKOTO SASAKI, RPT, PhD²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Saku Central Hospital: 197 Usuda, Saku-city, Nagano 384-0301, Japan. TEL +81 267-82-3131
FAX +81 267-82-9638

²⁾ Department of Physical Therapy, Graduate School of Health Sciences, Akita University

Rigakuryoho Kagaku 25(3): 403-406, 2010. Submitted Dec. 3, 2009. Accepted Jan. 8, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] The aim of this study was to clarify the effect of a gravel surface on standing balance and overstepping an obstacle in walking. [Subjects] The subjects were 16 students. [Method] We measured center of gravity (COG) sway in static standing and the floor reaction force in overstepping an obstacle while walking on a flat surface and gravel. [Results] In quiet standing on the two surfaces, we found no significant differences for COG sway in path length, rectangular area, root mean square area, and the maximum amplitudes of sway in the X and Y directions. Compared with the flat surface, the floor reaction force in overstepping while walking on the gravel showed significant reductions in the second peak of vertical load and the anterior-posterior peak load. [Conclusion] The results reveal that the gravel surface had no effect on static balance, but in walking a defect appeared in double knee action, and the kick at the time of toe-off was weaker.

Key words: gravel road, standing balance, overstep in walking

要旨:〔目的〕本研究の目的は、悪路が立位バランスならびに歩行中の段差の踏み越え動作に及ぼす影響を明らかにすることである。〔対象〕健常学生16名を対象とした。〔方法〕平地と砂利における静的立位姿勢での重心動揺測定と歩行中の段差踏み越え動作における床反力測定を行った。〔結果〕静的立位姿勢での重心動揺は、総軌跡長、矩形面積、実効値面積、X方向最大振幅、Y方向最大振幅ともに、2条件間で有意差は認められなかった。歩行中の段差踏み越え動作における床反力測定では、平地に比較して砂利で垂直方向第2ピーク荷重、前後方向駆動力ピーク荷重が有意に低値を示した。〔結語〕以上より、砂利による悪路は静的バランスには影響しないが、歩行ではdouble knee actionの不備が生じ、足尖離地期の蹴りが弱くなることが明らかとなった。

キーワード: 悪路, 立位バランス, 踏み越え動作

¹⁾ 佐久総合病院 理学療法科: 長野県佐久市臼田197番地 (〒384-0301) TEL 0267-82-3131 FAX 0267-82-9638

²⁾ 秋田大学大学院 医学系研究科保健学専攻理学療法学講座

受付日 2009年12月3日 受理日 2010年1月8日

I. はじめに

転倒の発生状況は屋内より屋外で多く、特に道がその多くを占め、転倒の動作では歩行中が最も多いとされている^{1,2)}。また、「つまづいた」、「滑った」が転倒の原因となることが多く^{2,3)}、屋外においては路面の悪さも影響しているものと考えられる。また、野尻ら⁴⁾は片麻痺患者の歩行練習において、一本杖歩行の介助が指先介助や近接監視程度になると、砂利道やスロープなどでの屋外歩行練習を開始するとしている。理学療法でも実用的な歩行の獲得のために悪路での歩行練習が行われる。悪路が立位バランスならびに歩行に及ぼす影響を研究することは、歩行路の難易度を特定することに繋がり、歩行練習の際の悪路での練習の効果や、地域住民の転倒予防の効果を探る一助となり得ると考えられる。

このように臨床的に有益であるにもかかわらず、平地と比較した悪路でのバランス能力や歩容の変化についての研究は見当たらない。そこで本研究では、悪路が立位バランスならびに歩行中の段差の踏み越え動作に及ぼす影響を明らかにするため、平地と砂利において、バランス能力の代表的な計測方法である重心動揺の測定と、歩容の変化の一指標となる床反力を測定し、比較・検討した。

II. 対象と方法

対象は、健康な学生16名（男性8名、女性8名）とした。対象者は、年齢 23.6 ± 4.1 歳、身長 167.2 ± 10.1 cm、体重 62.8 ± 14.3 kg、BMI 22.3 ± 3.3 kg/m²（平均値±標準偏差）であった。対象者には事前に研究の趣旨を説明し、研究への参加についての同意を得た。

重心動揺測定、歩行時の床反力測定ともにアニマ社製重心動揺測定器MG-100を使用した。平地（木質フローリング）に対して、悪路の設定には砂利（園芸用：Four Colors Rock 10～25 mm）を用いた。重心動揺測定にはこれらの材料をそれぞれ敷き詰めたバット（縦370×横300×深さ45 mm）を、滑り止めシートを用いてフォースプレートの上に乗せ、その上で対象者に静的立位を保持してもらった。測定中はロンベルグ肢位で、2 m前方の対象者の目線の高さに固視点を設置し、対象者に注視するよう求めた。測定は平地、砂利の2条件を十分な休憩を挟んで連続して行った。取込周期は30 msec、取込時間を20秒間とした。

歩行中の床反力測定では、歩行路の一部にフォースプレートの上に前述の平地と悪路の2種類のバットのいずれかの段差を設け、これを踏み越えることを条件として行った。歩行速度は対象者が安楽であるよう自由とした。段差を踏む脚は右とし、段差を見ながら2ステップ目で踏むように指定して、踏み越えた後も2 mの通常の歩行を行った。歩行開始位置は指定したステップ数となるように各対象者に調節してもらった。歩行時の床反力測定は学習効果に配慮し、半日以上の間隔を空けて行った。取込周波数は100 Hz、取込時間は10秒間とし、開始条件は荷重モードとした。平地と悪路のバットそれぞれを踏み越える1歩の床反力を記録し、分析した。

重心動揺測定、床反力測定ともに各条件の順番はランダムとし、それぞれ1回ずつ行った。また、対象者間の条件を統一することと対象者の足部の安全を確保するためにナイロン製の履物を用いた。

解析パラメータは重心動揺測定においては総軌跡長（cm）、矩形面積（cm²）、実効値面積（cm²）、X方向最大振幅（cm）、Y方向最大振幅（cm）とした。床反力測定では図1の上段に示したFzにおける垂直方向第1ピーク荷重、垂直方向谷荷重、垂直方向第2ピーク荷重、図1の中段で示したFxにおける前後方向制動力ピーク荷重、前後方向駆動力ピーク荷重、図1の下段に示したFyにおける左右方向第1ピーク荷重とし、体重で除した値（単位；kg/BW）を用いた。

統計解析は、平地と砂利の2条件を比較するため、統計ソフトStat View version 5.0を用いて、有意水準を5%未満としてWilcoxon符号付順位検定を行った。

III. 結果

平地と砂利での静的立位姿勢の重心動揺測定値の比較を表1に示した。全てのパラメータにおいて2条件間で有意差は認められなかった。

平地と砂利における歩行中の段差踏み越え動作の床反力測定値の比較を表2に示した。垂直方向第1ピーク荷重、垂直方向谷荷重、前後方向制動力ピーク荷重、左右方向第1ピーク荷重には歩行路の相違において統計的に有意差は認められなかった。垂直方向第2ピーク荷重（平地： 1.08 ± 0.09 kg/BW、砂利： 1.01 ± 0.10 kg/BW）、前後方向駆動力ピーク荷重（平地： 0.24 ± 0.05 kg/BW、砂利： 0.21 ± 0.06 kg/BW）でいずれも砂利の歩行路の方が平地より低値であり有意差が認められた。

図1 床反力測定波形の典型例（平地での測定）

表1 静止立位姿勢時の重心動揺測定値の比較

	平地	砂利
総軌跡長 (cm)	28.28 ± 5.50	29.56 ± 7.02
矩形面積 (cm ²)	4.15 ± 1.77	3.64 ± 1.43
実効値面積 (cm ²)	1.22 ± 0.72	0.99 ± 0.43
X 方向最大振幅 (cm)	1.88 ± 0.49	1.81 ± 0.39
Y 方向最大振幅 (cm)	2.15 ± 0.55	2.02 ± 0.67

平均値±標準偏差, Wilcoxon 符号付順位和検定.

表2 体重で除した床反力の測定値の比較

	平地	砂利
垂直方向第1ピーク荷重 (kg/BW)	1.10 ± 0.08	1.09 ± 0.06
垂直方向谷荷重 (kg/BW)	0.77 ± 0.10	0.75 ± 0.09
垂直方向第2ピーク荷重 (kg/BW)	1.08 ± 0.09	1.01 ± 0.10**
前後方向制動力ピーク荷重 (kg/BW)	-0.13 ± 0.04	-0.14 ± 0.05
前後方向駆動力ピーク荷重 (kg/BW)	0.24 ± 0.05	0.21 ± 0.06*
左右方向第1ピーク荷重 (kg/BW)	0.04 ± 0.03	0.04 ± 0.03

平均値±標準偏差, Wilcoxon 符号付順位和検定.

*p<0.05, **p<0.01: 平地との比較.

IV. 考 察

今回、悪路である砂利が立位バランスならびに歩行中の段差の踏み越え動作に及ぼす影響を明らかにするため、平地と砂利における静的立位姿勢での重心動揺測定と歩行中の段差踏み越え動作における床反力測定を行い、比較・検討した。

その結果、重心動揺測定では2条件間で有意差は見られなかったが、床反力測定では有意差が認められた。これは、悪路は静的な動作への影響は小さいが、歩行などの関節運動を伴うような動的な動作ではその影響をより反映したためだと考えられた。今回のような静的立位姿勢の保持では鉛直方向の荷重が加わるのみであり砂利の動きがごくわずかであったのに対し、歩行中の踏み越え動作では敷き詰めた砂利の多くの方向に外力が加わり砂利に動きが生じたためだと考えられる。

図1の上段に示したFzにおいて、垂直方向第1ピーク荷重は立脚初期に身体を上方へ加速するとき、垂直方向第2ピーク荷重は身体を下方へ減速するときに生じる⁵⁾。両者の間の垂直方向谷荷重は、重心の加速度が上向きに減速される時期である⁵⁾。図1の中段に示したFxにおいて、前後方向制動力ピーク荷重は踵接地期での後ろ向きへの制動力を、前後方向駆動力ピーク荷重は足尖離地期での前方への推進力を表す⁵⁾。図1の下段に示したFyにおいて、左右方向第1ピーク荷重は立脚の最初の両脚支持期で外向きから内向きに転じ、単脚支持期の間内向きに働く際にいずれかでピークが生じる⁵⁾。

歩行中の立脚相における膝関節は、“伸展—屈曲—伸展—屈曲”の二重膝作用（double knee action）と呼ばれる運動がなされる⁵⁾。床反力測定において砂利の条件では、垂直方向第2ピーク荷重の有意な減少は、立脚後期の膝関節伸展が減少していることを意味し、double knee actionの不備が生じていることになる。歩行周期におけるこの相の膝関節伸展は、下肢の荷重に対する安定性に寄与している⁶⁾ため、膝関節伸展が減少した場合、蹴り出しが不安定となり転倒の危険性が増すものと考えられる。また、double knee actionは重心の上下移動にも関与している⁵⁾。膝関節伸展が減少した場合、重心の下降が不十分となる。その結果、位置エネルギーと運動エネルギーの位相の差が小さくなり効率よくエネルギー交換を行えず、総エネルギーの変動幅が大きくなり歩行効率の悪い歩行となると考えられる。

前後方向駆動力ピーク荷重は図1の中段のようにプ

ラスで表され、通常、進行方向に速度が増加していることを示す⁷⁾。前後方向駆動力ピーク荷重が減少していることは、推進力が減少し、足尖離地期に後方へ滑っていることを意味している。この足尖離地期の後方への滑りは、続いての他側脚の接地の不安定性を増大させるため、転倒の危険性が増すものと考えられる。

本研究の限界として、平坦な歩行路での歩行ではなく4.5 cmの段差の踏み越え動作としたことがあげられる。佐藤ら⁹⁾は、障害物を踏み越える際のつま先の軌跡から、3 cm以上の段差では平地歩行の際に行われる2峰性の振り子運動を利用した方略ではなく、下肢関節を屈曲させる1峰性の方略になるとしている。この遊脚期の方略の相違は、今回の段差の踏み越え動作では立脚期初期の垂直方向第1ピーク荷重と前後方向制動力ピーク荷重に影響している可能性がある。しかし、図1に示したように今回測定した床反力波形は典型的な歩行の床反力波形と同様であり、本研究で有意差が認められたパラメータは真に差があったものと考えられる。

以上より、今回用いた砂利による悪路は、静的バランスには影響しないが、歩行時の床反力においてdouble knee actionの不備が生じ、足尖離地期の蹴りが弱くなることが明らかとなった。歩行練習において平地とは異なる効果が期待できること、ならびに転倒の危険性が増す可能性があると考えられた。

引用文献

- 1) 宮原洋八, 佐藤由紀恵, 佐竹雅子: 地域高齢者の転倒における関連要因について. 理学療法科学, 2005, **20**(4): 259-262.
- 2) 新野直明: 高齢者の転倒とその対応. 治療, 2001, **83**(10): 80-83.
- 3) 新野直明: 歩行障害/転倒. 総合臨牀, 2003, **52**(7): 2121-2125.
- 4) 野尻晋一, 山永裕明: 都市型リハビリテーション専門病院における脳卒中プログラムと理学療法. PTジャーナル, 1994, **28**(2): 82-87.
- 5) 中村隆一, 齋藤 宏, 長崎 浩: 基礎運動学 第6版. 医歯薬出版, 東京, 2006, pp361-377.
- 6) 阿南雅也, 徳田一貫, 木藤伸宏・他: 膝関節疾患による異常歩行とその分析. 理学療法, 2009, **26**(1): 138-147.
- 7) 石井慎一郎: 異常歩行の運動学的・運動力学的分析 I. 理学療法, 2009, **26**(1): 86-96.
- 8) Winter DA, Patla AE, Frank JS, et al.: Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. Phys Ther, 1990, **70**(6): 340-347.
- 9) 佐藤佑介, 吉本俊明: 歩行中の昇段に利用される方略と知覚される身体特性. 体力科学, 2008, **57**(1): 111-117.