HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	低摩擦床面における歩行開始1歩目の動作コントロールについて
Author(s)	浅賀, 忠義; 斎藤, 展士; 吉田, 直樹 他
Citation	理学療法科学, 17(1), 49-52 https://doi.org/10.1589/rika.17.49
Issue Date	2002-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/39528
Type	journal article
File Information	asaka_rika17-49.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

理学療法科学　17（1）：49–52

■研究論文

低摩擦床面における歩行開始1歩目の動作コントロールについて

Movement Control in the First Step of Gait Initiation on a Low Friction Floor

浅賀 忠義[1)]　斎藤 展士[1)]　吉田 直樹[2)]　浦上 大輔[3)]　鎌田 幸司[4)]

TADAYOSHI ASAKA, PT, PhD[1)], HIROSHI SAITO, PT, MS[1)], NAOKI YOSHIDA, OT, MS[2)],
DAISUKE URAKAMI, PT, MA[3)], KOJI KAMADA, PT[4)]

[1)]Department of Physical Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University: N12 W5 Kita-Ku, Sapporo City, Hokkaido 060-0812, Japan. TEL +81 11-716-2111
[2)]Department of Occupational Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University
[3)]Department of Rehabilitation Medicine, Konan Hospital
[4)]Department of Rehabilitation Medicine, Higashi Naebo Hospital

Rigakuryoho Kagaku 17(1): 49–52, 2002. Submitted Aug. 8, 2001. Accepted Sep. 3, 2001.

ABSTRACT: The purpose of this study was to clarify how movement is controlled at the first step by the swing leg of gait initiation on a low friction floor. Nine healthy subjects (age: 22.6 ± 3.0 years) participated in the study. On both high and low friction floors, movements of the first step were measured using a force plate and a motion analysis system. The length of the first step and the time difference from heel contact to toe contact by the swing leg on the low friction floor were significantly smaller than those on the high friction floor, and the maximum vertical distance between the lateral malleolus of the swing leg and the floor on the low friction floor was significantly higher than that on the high friction floor. These findings suggest that the movement of the first step of gait initiation on a low friction floor may be controlled in such a way that the step length is reduced, the foot is raised higher, and the foot lands flat on its sole.

Key words: movement control, gait initiation, low friction floor

要旨：本研究の目的は，低摩擦床面において歩行開始1歩目の動作がどのようにコントロールされているかを明らかにすることである。対象は，9名の健常者であった（年齢：22.6±3.0歳）。高摩擦床面と低摩擦床面において歩行開始1歩目の動作を，1枚のフォースプレートと動作解析システムを用いて測定した。その結果，1歩目の歩幅と遊脚肢の踵接地時から足底接地時までの時間差は，低摩擦床面では高摩擦床面の場合よりも有意に減少し，遊脚肢の外果と床面との最大垂直距離は低摩擦床面では高摩擦床面の場合よりも有意に増加していた。これらの知見から，低摩擦床面における歩行開始1歩目の動作は，歩幅を減少させ，足部を高く上げ，踵接地時はフットフラットになるようにコントロールされることが示唆される。

キーワード：動作コントロール，歩行開始，低摩擦床面

[1)] 北海道大学医療技術短期大学部理学療法学科：札幌市北区北12条西5丁目（〒060-0812）TEL 011-716-2111
[2)] 北海道大学医療技術短期大学部作業療法学科　[3)] 幌南病院リハビリテーション科
[4)] 東苗穂病院リハビリテーション科

受付日　2001年8月8日　受理日　2001年9月3日

I. 緒　言

高齢者の転倒は，骨折する比率が高く予後も不良であるため，高齢化に伴い社会的な問題となってきている[1, 2]。高齢者の転倒の大きな要因として，スリップとつまずきが挙げられる[1, 3-5]。とくに積雪寒冷地においてはなおさら，道路の凍結などによるスリップの転倒不安は高齢者・障害者の外出意欲を低下させ，生活の質の低下をもたらしている[6,7]。

滑りやすい床面（以下，低摩擦床面とする。）における動作分析に関する研究では，定常歩行において滑りにくい床面（以下，高摩擦床面とする。）から低摩擦床面に移行した時の踵接地時のスリップについて検討しているものが多く[8-11]，筆者らの知る限りでは歩行開始時について調べたものはない。しかし，高齢者の転倒は，歩行の開始と終わりおよび方向転換時に多いという報告があり[12]，低摩擦床面での歩行開始時について調べることは，高齢者の転倒予防のために重要と考える。

高摩擦床面での歩行開始時の動作分析に関する研究では，静止立位時から動的状態に移るまでに足圧中心が後方と遊脚肢側へシフトする軌跡に着目した予測的姿勢制御について検討しているものが多い[13-15]。この足圧中心の後方移動は，前方へのモーメントと相関があり，高齢者はこのモーメントの減少が報告されている[15]。一方，Miller C.A.ら[16]は，静止立位時から5歩目までを分析し，2歩目（立脚肢）の離床時に前方への推進力が最も増大することを明らかにし，1歩目（遊脚肢）は2歩目の離床のための基盤となっていると報告している。よって，低摩擦床面での歩行開始時では，2歩目の離床時が最もスリップしやすく，そのスリップを防ぐための戦略が予測的姿勢制御および1歩目の動作に働くものと考える。

従って，本研究の目的は，高摩擦床面と低摩擦床面を比較することによって歩行開始1歩目の動作コントロールについて明らかにすることである。本研究は，歩行開始のスリップ防止のための歩行訓練の発展と，低摩擦床面上の歩行における動作コントロールの理解を深める上で有益であると考える。

II. 対象および方法

被験者は，9名の男性成人であった。全員，健康な学部学生で，神経系または筋・骨格系の疾患の病歴はなかった。被験者の年齢，身長，体重，足底長の平均値±標準偏差値は，それぞれ22.6±3.0 years，169.8±6.1 cm，61.7±4.2 kg，25.7±1.7 cm，であった。どの被験者からも，実験に参加する前にインフォームドコンセントを得た。

実験機器は，一枚のフォースプレート（Kistler社製：600×400×35 mm）と動作解析システム（DKH社製：Frame-DIAS3D）によって構成され，それらからAD変換されたデーターを同期してパーソナルコンピューターに取り込んだ。フォースプレートは，立位時の足圧中心の軌跡を測定するために用い，周波数1200 Hzで記録した。フォースプレートと同じ高さの歩行台（600×1500×35 mm）を設置し，フォースプレート上の立位姿勢から歩行台に向かって歩行を開始した。動作解析システムは，歩行開始1歩目の動作パラメーターを測定するために用い，2台のCCDカメラによって反射マーカーから得られる3次元座標を，周波数60 Hzで記録した。7コの反射マーカーを，解剖学的ランドマーク：頭頂，右肩峰，右大転子，右膝関節裂隙，右外果，右踵部，右第5中足骨頭に取り付けた。2台のカメラは，被験者の右側面に付けられた全てのマーカーからの座標が記録できるように設置した。

被験者は，まず，黒のTシャツと短パンを着用し，右大転子に付けたマーカーが隠れないために両上肢を胸の前で軽く組んだ状態で，裸足でフォースプレート上に静かに立つことを指示された。立位時の足位は，歩隔8 cm，足角外旋10 ° のマークに合わせられた。次に，被験者は音刺激後，水平前方に視線を保ったまま右脚を遊脚肢として普通の速度で歩行を開始するように指示された。データーは音刺激から3秒間記録された。

低摩擦床面は，フォースプレートおよび歩行台の上に厚さ0.085〜0.086 mmのビニールシートを敷き，その上に流動パラフィンを均一に塗布して作られ，非常に滑りやすい状態にした。

各被験者は，高摩擦床面上を10回施行し，その後に低摩擦床面上を10回施行した。低摩擦床面上の施行時には，被験者がスリップ時にバランスを崩した時にすぐに支えられるように，カメラの位置と反対側に一人の研究スタッフがついた。

得られたデーターから次に挙げる5つの測定項目の値を求めた。座標軸は，被験者の左右方向をx，前後方向をy，上下方向をzとした。(1) 静止立位から踵離地までの足圧中心のy座標最大変位，(2)1歩目の歩幅で右踵部マーカーのy座標変位，(3)1歩目に要した時間，(4)1歩目の足部が床面から垂直方向に離れる最大距離で，右外果マーカーのz座標の最大変位，(5)1歩目の踵接地から足底接地までの時間差で，右踵部マーカーと右第5中足骨頭マーカーのz座標変位から求めた。

高摩擦床面と低摩擦床面の間における，これら5つの測定項目の平均値の差の検定には，各被験者の平均値をも

とにpaired t testを用いた。歩幅と足部が床面から離れる最大距離の値は各被験者の身長によって，足圧中心の後方最大変位の値は各被験者の足長によって補正した。危険率5%未満を有意水準とした。

III. 結　果

高摩擦床面と低摩擦床面における有効サンプル数は，それぞれ90であった。図1に高摩擦床面と低摩擦床面における同一被験者の一歩目のスティクピクチャーと右大転子，右膝関節裂隙，右外果のマーカーの軌跡の一例を示す。高摩擦床面と比べて低摩擦床面では，遊脚期の前期では股関節および膝関節の屈曲角度が大きく，その後，さらに股関節の屈曲角度が増し，中期では膝の位置が高くなっていた。中期以後は，股関節の屈曲角度には大差はみられないが，踵接地後の膝関節の屈曲角度が大きくみられ，さらに右外果の接地角度が垂直に近づいていた。

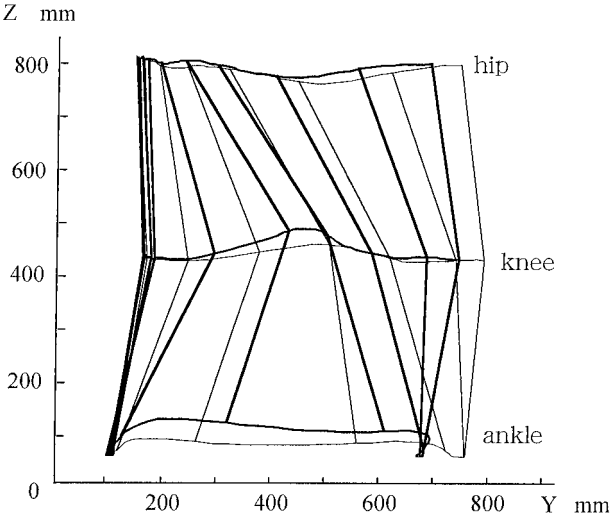

図1　高摩擦床面と低摩擦床面における1歩目の股関節，膝関節，足関節のスティクピクチャーと軌跡の一例（被験者：Y, T）
細線は高摩擦床面，太線は低摩擦床面の時のスティクピクチャーと軌跡を示し，左から右に移動している。高摩擦床面に比べて低摩擦床面では，股関節および膝関節の動作が大きくなり踵接地時での足関節の接地角度が垂直に近づいている。

高摩擦床面と低摩擦床面との間の運動・動作パラメーターの違いについて検討した結果を表1に示す。1歩目の歩幅は，高摩擦床面よりも低摩擦床面の方が有意に小さかった。右外果の床面からの最大距離は，高摩擦床面よりも低摩擦床面の方が有意に大きかった。踵接地から足底接地までの時間差は，高摩擦床面よりも低摩擦床面の方が有意に小さかった。低摩擦床面では9名中4名が踵よりも早く足指が床面に接地していた。また，1歩目の遊脚期における足関節の可動域は，高摩擦床面よりも低摩擦床面の方が有意に大きかった。足圧中心の最大変位および1歩目に要した時間は，高摩擦床面と低摩擦床面との間には有意差が見られなかった。

IV. 考　察

本研究は，高摩擦床面と低摩擦床面を比較することによって歩行開始1歩目の動作の違いについて検討した。その結果から，低摩擦床面においては歩幅を減少し，足部を高く上げ，踵接地時ではフットフラットとなるような遊脚肢の動作コントロールが働くものと考えられる。

スリップは，足底と床面との間の摩擦係数（以下，必要摩擦係数とする。）が静止摩擦係数を越えることによって生じ，必要摩擦係数は床反力の水平分力を垂直分力で割った比率で求められる[9,17]。低摩擦床面においては，スリップが生じないために必要摩擦係数を増加させないための動作コントロールが働くものと考えられる。低摩擦床面において，定常歩行では歩幅が減少するという報告

表1　高摩擦床面と低摩擦床面における運動・動作パラメーターの測定結果とt検定の結果

測定項目	高摩擦床面	低摩擦床面	p 値
足圧中心の最大変位／足長	0.0023± 0.0005	0.0024± 0.001	0.287
1 歩目の歩幅／身長	0.36± 0.03	0.31± 0.03	<0.001
1 歩目に要した時間（ms.）	459.9± 52	455.8± 79.2	0.112
外果の床面からの最大距離／身長	0.039± 0.011	0.049± 0.006	<0.001
踵接地から足底接地までの時間差（ms.）	47.9± 25.7	11.5± 54.9	<0.001
足関節の可動域（度）	16.5± 3.2	21.8± 8.1	0.049

＊データは平均値±標準偏差値を表す。
＊足圧中心の最大変位は足長によって，1 歩目の歩幅と外果の床面からの最大距離は身長によってそれぞれ除した補正値を示す。

がいくつか見られる[18,19]。本研究によって，歩行開始時においても同様の結果が得られた。これは，重心と足部の接地点との成す角度が歩幅を減少することによってより垂直になることから，1歩目の接地時および2歩目の離床時の必要摩擦係数を増加させないための戦略であると考えられる。

低摩擦床面における遊脚肢では，高摩擦床面に比べて足部が有意に高く上がることが知れた。これは，股関節と膝関節のより大きな動作の結果であり，足部の接地角度が垂直に近づいていたことから1歩目の接地時の必要摩擦係数を増加させないための戦略であると考えられる。高齢者の歩行は，歩幅が減少し，遊脚期の床から足趾までの最大距離も減少するという報告があり[20,21]，下肢の動作が小さくなると考えられる。それとは逆に，本研究によって低摩擦床面では，股関節，膝関節，足関節のより大きな運動が要求されることが示されたことは興味深い。

踵接地から足底接地までの時間差は，高摩擦床面よりも低摩擦床面の方が有意に減少し，足関節の可動域は有意に増加していた。これらは，踵接地時にフットフラットとなるように足関節の底屈運動が要求された結果であると考えられ，このことは1歩目の接地時の必要摩擦係数を増加させないための戦略であると考えられる。

高齢者では必要摩擦係数を低下させる調節能力の低下が指摘されているために[18]，低摩擦床面では若年者よりもスリップを生じやすいであろう。本研究で得られた知見は，スリップを予防するための歩行訓練を考えるうえで有益であると考える。

引用文献

1) Nevitt MC: Falls in the elderly: risk factors and prevention. In: Masdeu JC, Sudarsky L, Wolfson L (eds), Gait disorders of aging: falls and therapeutic strategies, Lippincott-Raven, New York, 1997, pp13-36.
2) 真野行生編：高齢者の転倒とその対策．医歯薬出版，東京，1999, pp2-37.
3) Norton R, Campbell J, Lee-Joe T, et al.: Circumstances of falls resulting in hip fractures among older people. J Am Geriatr Soc, 1997, **45**: 1108-1112.
4) Nyberg L, Gustafson Y, Berggren D, et al.: Falls leading to femoral neck fractures in lucid older people. J Am Geriatr Soc, 1996, **44**: 156-160.
5) Overstall PW, Exton-Smith AN, Imms FJ, et al.: Falls in the elderly related to postural imbalance. Br Med J, 1977, **1**: 261-264.
6) 浅賀忠義，黒澤和隆，泉　清人・他：肢体不自由者の外出行動を阻害する環境要因に関する調査研究．日本建築学会計画系論文集，1995, **474**：83-90.
7) Salkeld G, Cameron ID, Cumming RG, et al.: Quality of life related to fear of falling and hip fracture in older women. BJM, 2000, **320**: 341-346.
8) Tang PF, Woollacott MH: Inefficient postural responses to unexpected slips during walking in older adults. J Gerontology; Med Sci, 1998, **53**: 471-480.
9) Bunterngchit Y, Lockhart T, Woldstad JC, et al.: Age related effects of transitional floor surfaces and obstruction of view on gait characteristics related to slips and falls. Int J Industrial Ergonomics, 2000, **25**: 223-232.
10) Brady RA, Pavol MJ, Owing TM, et al.: Foot displacement but not velocity predicts the outcome of a slip induced in young subjects while walking. J Biomech, 2000, **33**: 803-808.
11) You JY, Chou YL, Lin CJ, et al.: Effects of slip on movement of body center of mass relative to base of support. Clin Biomech, 2001, **16**: 167-173.
12) Ashley MJ, Gryfe CI, Amies A: A longitudinal study of falls in an elderly population II; Some circumstances of falling. Age Ageing, 1977, **6**: 211-220.
13) Elble RJ, Moody C, Leffler K, et al.: The initiation of normal walking. Mov Disord, 1994, **9**: 139-146.
14) Lepers R, Breniere Y: The role of anticipatory postural adjustments and gravity in gait initiation. Exp Brain Res, 1995, **107**: 118-124.
15) Polcyn AF, Lipsitz LA, Kerrigan DC, et al.: Age-related changes in the initiation of gait; Degradation of central mechanisms for momentum generation. Arch Phys Med Rehabil, 1998, **79**: 1582-1589.
16) Miller CA, Verstraete MC: A mechanical energy analysis of gait initiation. Gait and Posture, 1999, **9**: 158-166.
17) Chaffin DB, Woldstad JC, Trujillo A: Floor/shoe slip resistance measurement. American Industrial Hygiene Association, 1992, **53**: 283-289.
18) Lockhart TE: The ability of elderly people to traverse slippery walking surfaces. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41st Annual Meeting, 1997, **1**: 125-129.
19) Swensen E, Purswell J, Schlegel R, et al.: Coefficient of friction and subjective assessment of slippery work surfaces. Human Factors, 1992, **34**: 67-77.
20) Hageman PA, Blanke DJ: Comparison of gait of young women and elderly women. Phys Ther, 1986, **66**: 1382-1387.
21) Winter DA, Patla AE, Frank JS, et al.: Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. Phys Ther, 1990, **70**: 340-347.