

静的荷重下における足部内側 縦アーチ高変化量と片脚着地時の膝屈曲角度 変化量の関係

Relationship between the amount of change in medial longitudinal arch height of the foot on static weight bearing and the amount of change in the knee flexion angle during single-leg landing

上池浩一*1,2, 川口浩太郎*3, 大西慎太郎*4, 吉矢晋一*4

キー・ワード：single-leg landing, medial longitudinal arch height of the foot, knee flexion angle
片脚着地動作, 足部内側縦アーチ, 膝屈曲角度

〔要旨〕 本研究では、静的荷重下における足部内側縦アーチ高変化量と着地時の膝関節屈曲角度変化量の関係について検討した。下肢関節疾患、明らかな下肢アライメント異常を有さない成人ボランティア22名を対象として、navicular drop testにより座位および立位で舟状骨結節最突出部と床面までの距離を計測し、その差を足部内側縦アーチ高変化量とした。大転子、大腿骨外側顆、外果にマーカーを貼付して、高さ30cmの台から片脚着地動作を行わせ、ハイスピードカメラで側方から撮影を行った。3つのマーカーでなす角を膝屈曲角度と定義し、取り込んだ画像から、つま先接地時と下腿前傾が最大となった時点の角度を計測し、この時点間における膝屈曲角度変化量を求めた。Spearman's順位相関係数を用いて、足部内側縦アーチ高変化量と膝屈曲角度変化量との関係を検討した。その結果、足部内側縦アーチ高変化量と膝屈曲角度変化量の間に有意な負の相関が認められた。先行研究では、足部内側アーチ高は着地動作での膝外反角度に関係すると報告されているが、本研究の結果から、静的荷重下における足部内側縦アーチ高変化量と着地時の膝屈曲角度変化量は関係することが示唆された。

はじめに

スポーツ動作において、片脚で動作が行われる頻度は非常に高く、着地や減速動作、方向転換では片脚で体重以上の荷重に耐える必要がある。片脚での着地や減速動作は非接触型の膝前十字靭帯(anterior cruciate ligament: ACL)損傷の受傷機転の一つとして知られており、動作時の膝関節の外反角度や屈曲角度の大きさが関係すると報告されている¹⁻⁴⁾。

着地動作における膝外反角度の大きさには、股関節外転筋力⁵⁻⁷⁾や足部内側縦アーチ(medial longitudinal arch: MLA)の高さが関係すると報告されている⁸⁻¹⁰⁾。MLAは着地時の衝撃を吸収し推進力に変える機能を有しているが¹¹⁾、着地時の足部肢位は膝や股関節の運動やアライメントに影響を及ぼし、足部アーチ構造も含めた足部のアライメントはスポーツ傷害に大きく関係すると報告されている¹²⁾。一方、着地時の膝関節屈曲角度の大きさにはハムストリングスの筋力が影響すること¹³⁻¹⁵⁾、また、着地時の膝屈曲角度の大きさは床反力垂直成分に関係することが報告されているが^{3,4)}、静的荷重下におけるMLA高の変化量が着地時の膝屈曲運動に及ぼす影響については明らかとなっていない。

*1 西宮回生病院リハビリテーション科

*2 平成医療福祉グループ総合研究所

*3 兵庫医科大学リハビリテーション学部理学療法学科

*4 西宮回生病院整形外科

Corresponding author: 吉矢晋一 (yoshiya0307@gmail.com)

表 1 対象の内訳

対象数 22 名 (男性 11 名, 女性 11 名)	
平均年齢 (歳)	23.1 ± 2.6
平均身長 (cm)	168.7 ± 7.7
平均体重 (kg)	64.6 ± 6.3

mean ± SD

本研究では、静的荷重下における MLA 高の変化量と着地時の膝屈曲角度変化量の関係について検討することを目的とした。

方法

1. 対象

対象は、計測時に下肢関節疾患ならびに計測項目に影響を及ぼす可能性がある下肢アライメント異常を有していないボランティア成人 22 名とした (男性 11 名, 女性 11 名, 平均年齢 23.1 ± 2.6 歳) (表 1)。計測下肢の決定方法として、対象の習慣的ボールを蹴る下肢と跳躍時の踏み切り足に個人内ではばらつきがみられたため、計測対象を利き手と同側下肢に統一し、右 16 肢, 左 5 肢であった。

2. MLA 高変化量

MLA 高変化量の評価は、Brody¹⁸⁾ が報告した navicular drop test を用いた。まず、座位で膝関節屈曲 90° 位、足関節底背屈中間位で舟状骨結節最突出部にマーキングを行い、床面までの距離を計測した。同様の手順で両脚立位における舟状骨結節最突出部から床面までの距離を計測し、座位の距離から立位の距離を減じ、その差を MLA 高変化量とした (図 1)。なお、舟状骨結節最突出部のマーキングは 1 名の検者が行い、マーキング部位に誤差が生じないように配慮した。

3. 片脚着地動作

対象の大転子 (a)、大腿骨外側顆 (b)、外果 (c) にマーカを貼付して片脚着地動作を行わせた。マーカを貼付は同一の検者が行い、貼付部位に誤差が生じないように配慮した。高さ 30cm の台の上に片脚で立ち、両上肢は胸の前で交差させ、台から 30cm 前方に設置された目標に同側脚で着地をするよう指示した。着地姿勢は、着地時に非検査側の足の位置が立脚側よりも後方になるように規定した。着地後に反対側の脚を接地した場合、体幹等が大きく回旋した場合は失敗試技とした。3 回の試技を行わせ、対象が最も安定して着地が行えた試技を解析対象とした。着地点より 1.5m



図 1 足部内側縦アーチ高の計測

navicular drop test により、座位、立位における舟状骨結節から床面までの距離を計測。座位の値から立位の値を減じたものを足部内側縦アーチ高変化量 (MLA 高変化量) とした (黒丸は舟状骨結節を示す)。

側方にハイスピードデジタルカメラ (カシオ社製 EXILIM EZ-ZR200) を設置して、サンプリング周波数 120Hz で撮影した。カメラのレンズ高を床面から 60cm に設定し、ズーム倍率は最小とした。膝関節屈曲角度の算出は、パーソナルコンピューターに取り込んだ動画で、つま先接地時と床面に対して下腿前傾が最大になった時点を確認した。この時点の (a) (b) (c) を結んだ線でなす角を膝関節屈曲角度と定義して、フリー画像解析ソフト (Image J 1.52, アメリカ国立衛生研究所) を用いて計測した。計測した膝屈曲角度について、つま先接地時の値から下腿最大前傾時の値を減じたものを膝屈曲角度変化量とした (図 2)。

4. 統計

得られたデータの正規性について Shapiro-Wilk 検定を用いて検討し、全データともに正規性は認められなかった ($p=0.06$)。また、座位および両脚立位での navicular drop test の値、つま先接地時および下腿最大前傾時の膝関節屈曲角度の信頼性については、級内相関係数を用いて検討した。また、Mann-Whitney U 検定を用いて内訳、MLA 高変化量および膝屈曲角度変化量の性差について分析を行った。さらに Spearman's 順位相関係数を用い、MLA 高変化量と膝屈曲角度変化量の関係について分析を行った。検定には統計解析ソフト (エクセル統計, SSRI, 東京) を使用し、有意水準は 5% とした。

なお、本研究は西宮回生病院倫理審査委員会の承認を得て実施した (承認番号第 58 号)。

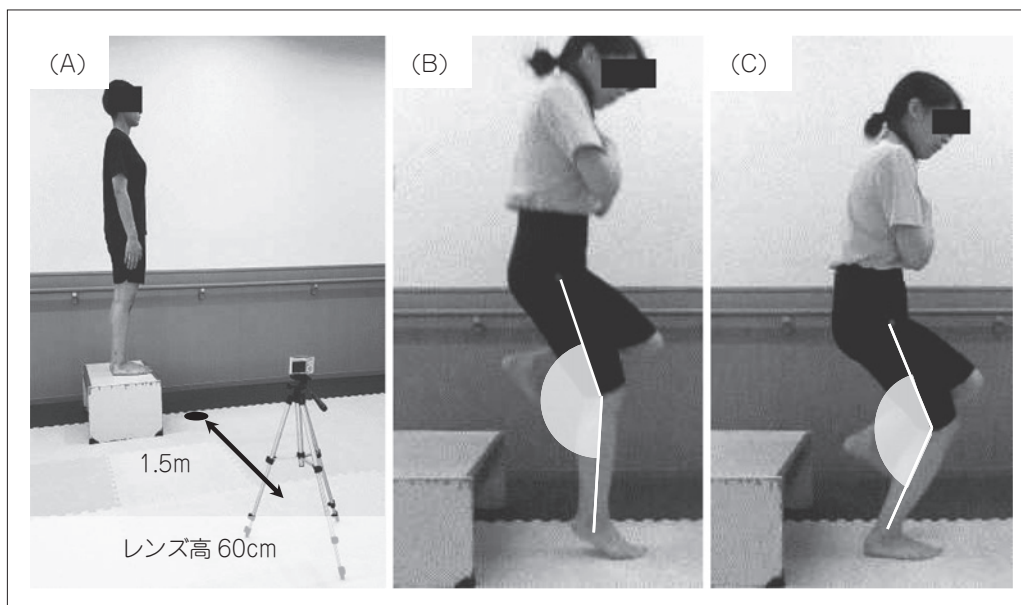


図2 測定環境と膝屈曲角度変化量の算出方法

30cm 台から 30cm 前方の目標に向けて片脚着地動作を行わせ、側方から撮影した (A)。大転子、大腿骨外側顆、外果にマーカを貼付して片脚着地動作を行わせ、3つのマーカでなす角を膝屈曲角度とし、つま先接地時 (B) と下腿最大前傾時 (C) の膝屈曲角度を計測した。つま先接地時の角度から下腿最大前傾時の角度を減じ、この値を膝屈曲角度変化量とした。

表2 計測項目の級内相関係数

		検者内信頼性			検者間信頼性		
		級内相関係数	95% 信頼区間 下限値 上限値		級内相関係数	95% 信頼区間 下限値 上限値	
navicular drop test	座位	0.922	0.915	0.958	0.911	0.843	0.938
	立位	0.935	0.902	0.968	0.902	0.863	0.948
膝屈曲角度	つま先接地時	0.913	0.837	0.939	0.898	0.841	0.948
	下腿最大前傾時	0.914	0.896	0.956	0.903	0.830	0.933

表3 性別による比較

	男性 (11名)	女性 (11名)	
年齢 (歳)	23.1 ± 2.9	23.2 ± 2.4	n.s.
身長 (cm)	174.4 ± 6.1	163.0 ± 4.1	**
体重 (kg)	67.9 ± 4.9	61.4 ± 5.9	**
MLA 高変化量 (mm)	9.5 ± 3.4	9.6 ± 3.3	n.s.
膝屈曲角度変化量 (°)	37.7 ± 3.9	37.4 ± 4.5	n.s.

** : p<0.01

結 果

1. 計測値の信頼性

計測値の信頼性について、級内相関係数を用いてデータの信頼性を確認した。いずれの計測値についても検者内信頼性、検者間信頼性とも高く、

今回行った計測法の信頼性が確認された (表2)。

2. 性差

内訳および計測値の性差について、身長、体重以外の項目に有意差は認められなかった (表3)。

3. MLA 高変化量と膝屈曲角度変化量の関係

MLA 高変化量と膝屈曲角度変化量の間には有

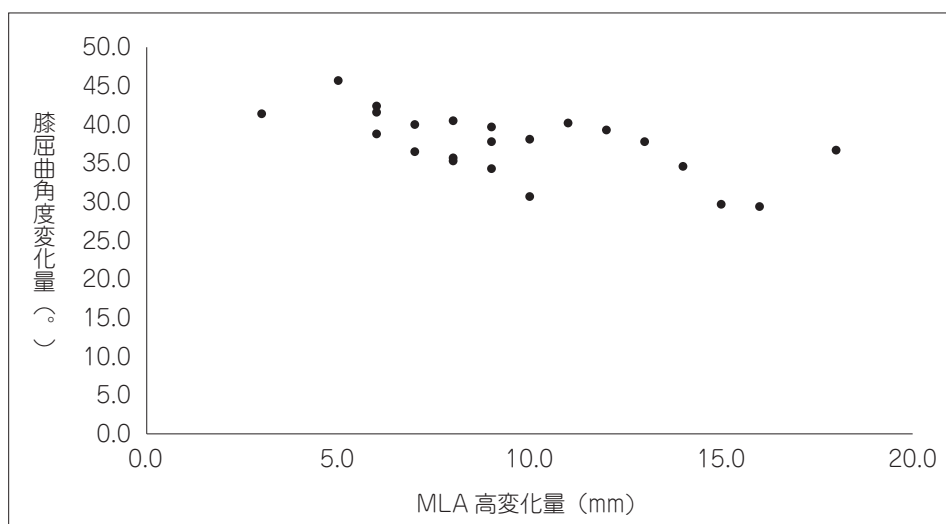


図3 MLA高変化量と膝屈曲角度変化量の相関関係
MLA高変化量と膝屈曲角度の間に有意な負の相関が認められた ($r_s = -0.68, p < 0.001$).

意な負の相関が認められ ($r_s = -0.68, p = 0.001$), MLA高変化量が大きいかほど膝屈曲角度変化量は小さかった (図3).

考察

本研究では、静的荷重下における MLA 高変化量と着地動作における膝屈曲角度の関係について検討を行った。その結果、MLA 高変化量と着地時の膝屈曲角度変化量に負の相関が認められ、MLA 高変化量が高い者ほど膝屈曲角度変化量は小さかった。

着地動作で問題となる膝関節運動として、膝外反角度の増大と膝屈曲角度の浅さが挙げられる¹⁻⁴⁾。このうち、膝関節外反角度と MLA 高の関係性について、MLA 高変化量が高い者ほど膝外反角度が大きいと報告されているが⁸⁻¹⁰⁾、膝屈曲角度との関係における報告は乏しい限り見当たらない。着地動作における膝屈曲角度の大きさは、衝撃緩衝作用や³⁾膝前方剪断力の大きさに関係する⁴⁾と報告されており、着地時の膝屈曲角度の大きさは膝関節にかかるストレスを軽減させるうえで重要になると考えられる。本研究の結果から、静的荷重下での MLA 高変化量と着地動作における膝関節運動は関連することが示唆された。また、本研究でも用いた navicular drop test の結果と ACL 損傷の関係について、Beckett らは ACL 損傷群と ACL 非損傷群の navicular drop test の値を比較したところ、ACL 損傷群の navicular drop test の値が有意に高値であったと報告してお

り¹⁹⁾、静的荷重下における MLA 高変化量の大きさは動的場面における膝関節運動に影響を及ぼし、膝関節外傷の発生に関わる因子になり得る可能性があると推察される。

MLA 高変化量と膝屈曲角度変化量の関係について、静的荷重下での MLA 高変化量が高い者は足部での衝撃緩衝作用が大きくなり、膝関節屈曲角度変化量が小さい着地になったことが推察される。一方、着地時の膝屈曲角度変化量が小さくなることで衝撃緩衝を足部が代償することになり、そのことが静的荷重下での足部アライメントに影響を与えた可能性がある。また、MLA 高変化量が高い者は足部回内によって距腿関節のアライメントに変化が生じ、着地時の下腿前傾が制限され、その結果、膝関節屈曲が小さくなった要因として推測されるが、これらの点については今後詳細な検討が必要となる。

本研究にはいくつかの限界がある。まず、静的荷重下での MLA 高変化量を navicular drop test を用いて静的に評価しており、着地動作時の MLA 高変化量については計測できていない。また、MLA 高変化量は両脚、膝屈曲角度変化量は片脚での着地動作で計測しており、計測条件に違いがあり、今後は同一の計測条件での検討が必要になる。さらに、舟状骨の高さが元々低い者は荷重位での舟状骨の降下量が少なくなることが考えられ、対象が有する足部アライメント等も考慮に入れた検討が必要になる。navicular drop test は荷重による舟状骨高の変化を評価するものである。

しかし、荷重による足部アライメントの変化には後足部や前足部のアライメントも関係するが、これらと着地時の膝屈曲角度の関係について明らかにできていない。さらに、着地動作における膝関節運動には足部アライメントだけでなく、下肢の筋力や筋活動も影響を及ぼす。本研究では静的荷重下での MLA 高変化量の評価と着地時の膝屈曲角度変化量との関係のみを検討しており、今後は筋力、筋活動との関係も検討する必要がある。加えて、今回の膝関節屈曲角度変化量の計測は二次元であり、股関節回旋運動による膝屈曲角度変化量の計測誤差への影響については完全に除去できておらず、マーカーの貼付部位や計測方法について今後の課題となる。

結 語

本研究では、静的荷重下における MLA 高変化量と着地時の屈曲角度変化量との関係について検討した。その結果、MLA 高変化量と膝屈曲角度変化量は相関関係が認められた。先行研究では、MLA 高変化量は着地時の膝外反角度に関係すると報告されているが、本研究の結果、静的荷重下における MLA 高変化量は着地時の膝屈曲角度変化量とも関係する可能性が示唆された。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

上池浩一：概念化，データ管理，正式な分析，調査，方法論，プロジェクト管理，草稿の執筆，原稿の見直しとエディティング。川口浩太郎：方法論，指導，原稿の見直しとエディティング。大西慎太郎：方法論，指導，原稿の見直しとエディティング。吉矢晋一：指導，原稿の見直しとエディティング。

文 献

- 1) Boden BP, Dean GS, Feagin JA Jr, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. 2000; 23: 573-578.
- 2) Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med*. 2004; 32: 1002-1012.
- 3) 池野祐太郎, 山田英司, 福田 航, 他. 膝前十字靭帯再建術後のジャンプ着地における衝撃緩衝係数と下肢関節運動の関係. *日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会雑誌*. 2020; 45: 802-805.
- 4) Devita P, Skelly WA. Effect of landing stiffness on joint kinematics and energetics in the lower extremity. *Med Sci-Sports Exerc*. 1992; 24: 108-115.
- 5) Claiborne TL, Armstrong CW, Gandhi V, et al. Relationship between hip and knee strength and knee valgus during a single leg squat. *J Appl Biomech*. 2006; 22: 41-50.
- 6) Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, et al. Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2005; 35: 292-299.
- 7) Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, et al. Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *J Athl Train*. 2007; 42: 76-83.
- 8) 木下恵美, 浦辺幸夫, 前田慶明, 他. 片脚着地動作時の足部運動と膝関節外反運動の関係. *理学療法科学*. 2016; 31: 227-231.
- 9) Powers CM. The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *J Orthop Sports Phys*. 2003; 33: 639-646.
- 10) 金子雅明, 岡崎倫江, 上條史子, 他. 足部・足関節アライメントが片脚着地動作時の動的下肢アライメントと着地直前直後筋活動に及ぼす影響. *理学療法科学*. 2001; 26: 27-31.
- 11) 権田絵里. 直立二足歩行と腰痛症—抗重力姿勢の影響. *理学療法ジャーナル*. 2007; 41: 99-105.
- 12) 舌 正史. 走動作に影響を与える機能的・体力要因. 公認アスレティックトレーナー専門テキスト5 検査・測定と評価. 第2版. 東京: 財団法人日本体育協会; 20-31, 2008.
- 13) Arms SW, Pope MH, Johnson RJ, et al. The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med*. 1984; 12: 8-18.
- 14) Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, et al. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med*. 1988; 16: 113-122.
- 15) More RC, Karras BT, Neiman R, et al. Hamstrings—an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med*. 1993; 21: 231-237.
- 16) Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al. Mechanisms

- for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sport Med.* 2010; 38: 2218-2225.
- 17) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sport Med.* 2005; 33: 492-501.
- 18) Brody D. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *Orthop Clin North Am.* 1982; 13: 542-558.
- 19) Beckett ME, Massie DL, Bowers KD, et al. Incidence of hyperpronation in the ACL injuries knee a clinical perspective. *J Athl Train.* 1992; 27: 58-62.
-
- (受付：2023年1月23日，受理：2023年3月20日)

Relationship between the amount of change in medial longitudinal arch height of the foot on static weight bearing and the amount of change in the knee flexion angle during single-leg landing

Kamiike, K.^{*1,2}, Kawaguchi, K.^{*3}, Onishi, S.^{*4}, Yoshiya, S.^{*4}

^{*1} Department of Rehabilitation, Nishinomiya Kaisei Hospital

^{*2} Heisei Medical Welfare Group Research Institute

^{*3} Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation, Hyogo Medical University

^{*4} Department of Orthopedics, Nishinomiya Kaisei Hospital

Key words: single-leg landing, medial longitudinal arch height of the foot, knee flexion angle

[Abstract] The purpose of this study was to examine the relationship between the amount of change in medial longitudinal arch height of the foot (MLA) on static weight bearing and the amount of change in knee flexion angle during single-leg landing. The subjects were 22 healthy adults comprising 11 males and 11 females. In evaluation of the foot alignment, distance from the floor to the most prominent part of the navicular tuberosity was measured in the sitting and standing positions, and the difference in the distance between the two positions was defined as amount of change in MLA. In the kinematic analysis of landing, markers were attached to the bony landmarks in the lower limbs, single-leg landing from a 30-cm-high platform. And then, knee flexion angle was measured on the video image. The analysis of the obtained results showed a significant negative correlation between the amount of change in MLA and change in knee flexion angle during single-leg landing. Although there have been studies reporting the effect of MLA on knee valgus angle during landing, the results of this study suggest that MLA also relates to the amount of change in the knee flexion angle in landing.