

## 不安定な台上での片脚立ち姿勢の安定度と下肢筋力の関係

野口雄慶\*, 出村慎一\*\*, 吉村喜信\*, 横谷智久\*

### The relationship between posture stability and leg muscle strength during a single-leg stance on an unstable stool

Takanori Noguchi, Shin-ichi Demura, Yoshinobu Yoshimura, Tomohisa Yokoya

This study examined the relationship between posture stability and leg muscle strength while standing on one leg on an unstable stool. The subjects, 11 healthy male university students (Age 19.7  $\pm$  0.8 yrs), were measured by the omni-direction stability index (OSI) during a single-leg stance on an unstable stool for one minute (three trials), the purpose of which was to determine isokinetic strength (ankle plantar / dorsiflexion, knee extension / flexion, hip flexion / extension and abduction / adduction). Significant correlations were found between OSI and knee extension, hip flexion and adduction ( $r=-0.60$  and  $-0.66$ ), but there was no correlation with respect to ankle joint strength. It was concluded that knee extension, hip flexion and adduction was required in order to maintain a one-legged posture stabilization, despite strong disturbances (upper body swaying in particular).

Keywords: 片脚立ち, 安定度, 等速性脚筋力

#### I. 緒言

近年、バランス能力の訓練法として不安定な台上での片脚立ちが注目され、健康・スポーツや理学療法など幅広い分野で利用されている(出村, 2011; 山本, 2010)。通常の片脚立ち動作は、振り子作用により生じる上体の重心動揺を小さな支持基底面内にキープし、体重心の動揺を最小限にとどめる必要がある(Matsuda et al., 2008, 2010, 2011)。この場合、揺らぎの原因は上体の動揺が中心となり、安定した支持基底面と接地している足部を軸にして全身のバランスを安定化させる。

一方、支持基底面がある床面自体が不安定な状態の場合、上体の揺れだけでなく、支持基底面から加わる外乱刺激が動揺の原因として加わる。そのため、バランスを保持するために足関節や膝関節が床の変化に対応し、全身の動揺が大きく変動しないような対応が求められる。つまり、床の動揺を足関節や膝関節部分で緩衝しつつ、振り子作用によって生じる上体の揺れも同時に制御する必要がある。さらに、片脚立ち時の動揺は、関節が可動域しやすい方向への動揺量が大きいことが報告されている(Matsuda et al., 2011)。可動域が制限される膝関節内転や外転動作のよ

---

\*産業ビジネス学科 \*\*金沢大学大学院自然科学研究科

うに、骨格的構造上、関節が固定されやすい場合は安定状態を維持しやすく、動揺しにくい。反対に、可動域が大きい部位や動作は、不安定な関節の構造を筋組織によって固定する状態を強いられるため、外乱刺激などで動揺が加えられた場合、安定度が低下しやすい（内田，2011）。従って、動揺量が大きい不安定な台上での姿勢保持は、各方向からの外乱刺激が大きいため、全方向に可動可能な股関節や足関節、あるいは前後への可動範囲が大きい膝関節では、通常の片脚立ち以上に各部位の関節や筋力にかかる負担が大きくなることが推測される。そのため、安定した支持基底面上で行われる片脚立ちとは異なる傾向を示す可能性が高い。しかし、その詳細はまだ不明点が多く、不安定な台上でのバランストレーニングが下肢筋群に及ぼす効果を検討するためにも、下肢筋力との関係を明らかにする必要がある。

本研究では、一般大学生男子を対象に、不安定な台上で片脚立ち姿勢時の身体動揺の程度（安定度）と下肢の等速性筋力との関係を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

【被験者】本研究の被験者は、健常な一般大学生男子11名（年齢  $19.7 \pm 0.8$  yr, 身長  $172.8 \pm 4.8$  cm, 体重  $64.2 \pm 5.8$  kg）であった。測定に先立ち、被験者には実験の趣旨を口頭にて説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究の実験計画は、金沢大学倫理委員会の承認を得ている。

【利き脚の定義】Demura & Sato の調査票（Demura & Sato, 2010）にもとづき、全ての被験者の利き脚は右脚と判定された。本研究の測定は、全て利き脚で行った。測定データは、板の上で片脚立ちをした際の前後、左右それぞれの傾き度を板に内蔵されたセンサーが感知し、USB ケーブルを介してノートパソコンに取り込まれた。

【測定器具】本研究では、不安定な台上での片脚立ち安定度を評価するために、デジジョックボード PLUS（SAKAI med, SV-200）を用いた。本測定器は、平らな板の裏面中央部に船底状のボスを装着し、前後に最大12度、左右に最大7度まで傾斜させることができる装置である（図1参照）。

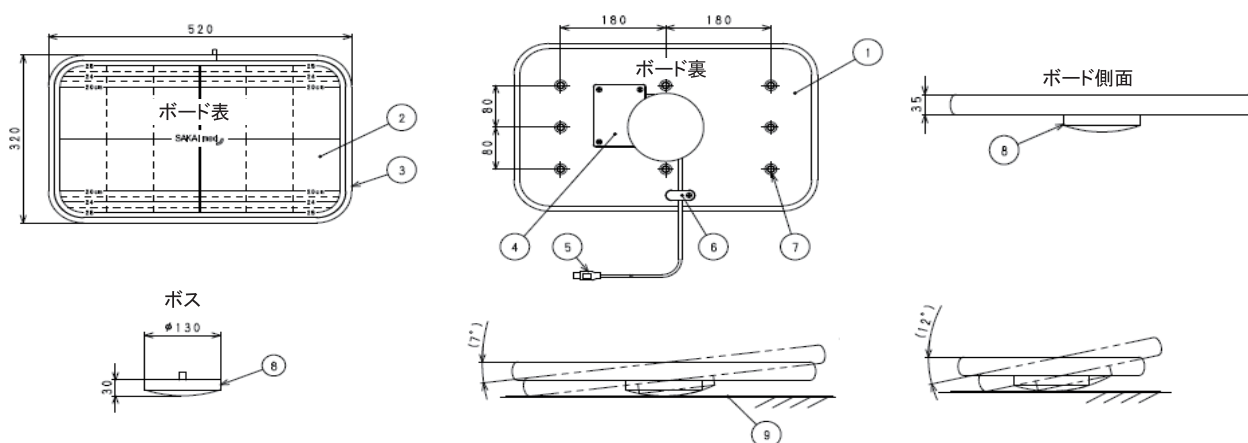


図1. デジジョックボードPlus装置

- ・部位名
- 1. ボード本体（縦320mm×横520mm×厚さ35mm）
- 2. 脚位置ガイドシート
- 3. ソフトエッジ
- 4. 制御装置
- 5. USBケーブル
- 6. コード抜け止め
- 7. ボス取付け部
- 8. ボス船底
- 9. ゴムマット
- ・ボード本体裏面中央部にボスを設置。最大傾斜角度（前後12°，左右7°）。

等速性脚筋力の測定には、サイベックスノルム (SIMIZU MEDICAL, CN77) を用いた。本測定器では、各関節の可動域に合わせてアタッチメントを調整し、等速性筋力発揮値を測定することができる装置である。本測定器によって得られたデータはケーブルを介してパソコンに取り込まれ、専用ソフト (SIMIZU MEDICAL, HUMAC2009) によって解析された。

【評価変数】 台上での前後、左右の傾き角度データより、姿勢の安定度を反映する全方向安定指数が算出される。これを片脚立位姿勢時の安定度の評価変数として利用した。安定指数が小さいほど姿勢の安定性が高いと判定される。等速性筋力発揮値の評価変数には、最大トルク (単位: Nm) を用いた。最大トルクが大きいほど、等速性筋力発揮に優れると判定される。

【測定手順】 片脚立ち安定度: 被験者には、ディジョックボード Plus 上で、片脚立ちする際には、視線は前方に向けた状態で、軸にする足底面を、測定板の表側 (平面) の中心部分に設置させ、反対側の脚は軸側の脚に触れないように拳上状態を保つ事を指示した。測定時間は1分間であった。練習1試行後、3試行ずつ実施された。各試行は1分間の十分な休憩を取り、前試行の疲労の影響がないように配慮した。測定中に著しく姿勢が乱れ、台上から落下した場合には再度測定を行った。

等速性筋力発揮: 測定部位は股関節 (伸展、屈曲、内転、外転)、膝関節 (伸展、屈曲)、および足関節 (底屈、背屈) であった。予備実験の結果、股関節および膝関節伸展、屈曲動作の測定は低速 (30deg/sec)、中速 (120deg/sec)、および高速 (240deg/sec) の3種類の速度で、股関節内転、外転および足関節底屈、背屈動作は低速のみの速度で測定した。各動作1回の練習後、2試行実施し、各試行間には1分以上の十分な休憩を取り、前試行の疲労の影響がないように配慮した。

【統計解析】 全方向安定指数、および各等速性筋力発揮値の試行間信頼性の検討には、級内相関係数を利用した。全方向安定指数と、各最大トルクとの関係を検討するために、ピアソンの積率相関係数を算出した。本研究の統計的有意水準は5%であった。

### III. 結果

試行間信頼性を検討した結果、3試行の全方向安定指数は試行間に有意差は認められず、級内相関係数 (ICC) は0.79であった。2試行の等速性筋力発揮値についても、全ての関節運動において試行間に有意差は認められず、級内相関係数 (ICC) は0.74~0.99であった。よって、本研究では、全方向安定指数は3試行の平均値を、等速性筋力発揮値は2試行の平均値をそれぞれ代表値とした。

表1は、全方向安定指数と各部位等速性筋力の最大トルク間の相関係数を示している。股関節内転の低速および屈曲の高速時最大トルクと全方向安定指数の間に、有意な中程度の相関が認められた ( $r=-0.60$ ,  $p<0.05$ )。一方、股関節外転、あるいは伸展時の最大トルクとの間には有意な相関係数は認められなかった。膝関節伸展動作において、中速時の最大トルクと全方向安定指数の間に有意な中程度の相関係数が認められた ( $r=-0.66$ ,  $p<0.05$ )。その他の速度で行われた伸展およ

びすべての屈曲動作に有意な相関係数は認められなかった。足関節の底屈、背屈ともに最大トルクと全方向安定指数との間に有意な相関係数は認められなかった。

表1. 各等速性脚筋力と全方向性安定指数との相関係数

N=11		Mean	SD	全方向安定指数 との相関係数 (r)
全方向安定指数		2.2	0.42	
足関節	底屈(低速)	78.3	10.44	-0.29
	背屈(低速)	49.9	11.79	-0.38
膝関節	伸展(低速)	273.8	51.76	-0.43
	伸展(中速)	169.8	36.45	-0.66 *
	伸展(高速)	112.1	19.51	-0.54
	屈曲(低速)	144.2	21.76	-0.22
	屈曲(中速)	110.0	14.81	-0.41
	屈曲(高速)	84.5	14.52	-0.54
股関節	伸展(低速)	296.0	57.70	-0.33
	伸展(中速)	221.6	55.68	-0.14
	伸展(高速)	144.2	45.35	-0.38
	屈曲(低速)	187.5	41.54	-0.12
	屈曲(中速)	147.7	28.23	-0.29
	屈曲(高速)	102.5	18.29	-0.64 *
	外転(低速)	152.3	18.98	-0.35
	内転(低速)	145.5	25.90	-0.60 *

注) \*:  $p < 0.05$

#### IV. 考察

本研究の結果から、中速時の膝関節伸展筋力や高速時の股関節屈曲力と、不安定な台上での片脚立ちの安定姿勢との間に関係があることが示唆された。膝関節の伸展や股関節の屈曲運動には、大腿四頭筋（主に大腿直筋）や腸腰筋が主に関与している（Kurt, 1981）。腸腰筋や大腿直筋は下半身と体幹部（上半身）を連動する筋群であり、上半身が大きく動揺する反動で、体全体のバランスが乱れないように絶えず筋力を発揮しながら姿勢の調整を繰り返している。しかし、村田（2004）は、成人女性を対象とした通常の片脚立ち時の重心動揺と下肢主要筋群の強さとの関係を検討し、両者の関係は低いと報告しており、姿勢制御に大きな筋力はそれほど重要ではないと推測される。一方で、姿勢保持が困難な高齢者群（片脚立ち保持時間が30秒以下）を対象とし

た実験では、片脚立ち保持時間と大腿四頭筋筋力や足把持力との間に有意な相関係数が認められている（村田ら, 2006）。つまり、高齢者のように動揺量が大きい場合、下肢筋力が強くなければ安定度が保てないことを示している。本研究のように、支持基底面が不安定な状態では、全身、特に上半身の動揺量が増加する。したがって、高齢者の先行研究の結果と同様、股関節や膝関節の筋群の働きによって上半身の動揺を緩衝する必要があり、安定姿勢を維持するために通常の片脚立ちよりも大きな筋力発揮が要求されたと推測される。つまり、不安定な台上での片脚立ちでは、大腿四頭筋や腸腰筋といった下肢の主要筋群が関与する膝伸展筋力や股関節屈曲筋力が強い方が、安定姿勢を保持しやすいことが示唆された。

また、股関節内転の低速域でも有意な相関が認められた。股関節の内転運動には大内転筋や短・長内転筋といった内転筋群が関与している。股関節内転筋群は、通常の両脚立位姿勢時にはあまり活動しないが、片脚立ちの際には外転筋群や骨盤底筋群とともに姿勢を保持するために重要な働きを担う筋群である（Kurt, 1981）。股関節内転筋群の筋力が強い人は、不安定な台上での片脚立ちを実施している際に、上半身が大きく側方に動揺してもその揺れを制御（コントロール）でき、安定した状態で姿勢を維持できたと推測される。一方、股関節外転筋力との間には有意な相関が認められなかった。姿勢制御中の股関節外転筋群は、股関節が過度に内転するのを抑制するために筋力発揮が求められる。一般に、内転動作はバランスが乱れ上半身が傾いたとしても、骨格的構造上、外転動作よりも可動域が制限されるため（日本臨床整形外科学会, 2010）、重心を大きく崩しにくい。そのため、外転筋群が大きな筋力を有さずとも動揺を制御できたと推測される。

足関節の底背屈筋力と片脚立ちの安定度の間についても、明確な関係は認められなかった。本来、足関節の筋力は、片脚立ち動作の動揺量と関係が高いことが報告されている（村田, 2004）。支持基底面が安定した状態での片脚立ち動作の場合、重心動揺が生じる主な原因は上半身の振り子作用による揺れである。つまり、頭部や上体の動揺を、揺れの軸になる床との接地面（足部）で制御することが求められるため、足関節の底背屈筋力の貢献が高くなる。一方、本研究のように、支持基底面が不安定な状態での姿勢保持では、動揺の原因は上半身の揺れだけでなく、支持基底面の揺れも影響する。この場合、足部（足関節）に求められる動揺の制御方法としては、上体の動揺を受け止め制御することよりも、支持基底面の揺れを緩衝し、動揺を上体に伝えないことが重要となる。そのため、足関節での姿勢制御時には大きな力を発揮することよりもむしろ、支持基底面の動きに合わせて微細な調整を繰り返す方が重要であり、筋力の強さはあまり重要でないことが示唆された。

以上のことから、不安定な台上での安定姿勢保持では、上体の揺れに加え、支持基底面からの動揺を緩衝する必要があるため、足関節よりも上部の膝関節や股関節の筋力の貢献が重要であることが明らかになった。トレーニングなどで不安定な台上での片脚立ちトレーニングを行う際には、通常の片脚立ちとは、安定姿勢保持に関与する筋群の貢献度が異なることを考慮して行うべきであろう。

V. まとめ

不安定な台上での片脚立ち姿勢の安定性保持は、膝関節伸展筋力や股関節屈曲あるいは内転筋力との関係が認められたことから、大きな外乱に耐えるためにこれら筋群の筋力発揮が重要であると推測される。

<引用参考文献>

1. 出村慎一 (2005) 健康・スポーツ科学講義. (佐藤進, 山次俊介, 春日晃章, 共同編集) 東京: 杏林書院.
2. Demura, S., & Sato, S. (2010) Lower limb laterality characteristics based on the relationship between activities and individual laterality. *Gazzetta Medica Italiana*, 169(5), 181-191.
3. Kurt, M. (1981) マイネル スポーツ運動学. (金子明, 翻訳) 東京: 大修館書店.
4. Matsuda, S., Demura, S., & Demura, T. (2010) Examining differences between center of pressure sway in one-legged and two-legged stances for soccer players and typical adults. *Perceptual and Motor Skills*, 110(3 Pt 1), 751-760.
5. Matsuda, S., Demura, S., & Nagasawa, Y. (2011) Static one-legged balance in soccer players during use of a lifted leg. *Perceptual and Motor Skills*, 111(1), 167-177.
6. Matsuda, S., Demura, S., & Uchiyama, M. (2008) Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports. *Journal of Sports Science*, 26(7), 775-779.
7. 村田伸 (2004) 開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連 -健常女性を対象とした検討-. *理学療法科学*, 19(3), 245-249.
8. 村田伸, 甲斐義浩, 溝田勝彦, 山崎先也, 弓岡光徳, 大田尾浩, 武田功 (2006) 地域在住高齢者の開眼片足立ち保持時間と身体機能との関連. *理学療法科学*, 21(4), 437-440.
9. 日本臨床整形外科学会 (監修) (2010) 運動器リハビリテーションシラバス—セラピストのための実践マニュアル—改訂第2版, 南江堂. 東京.
10. 内田淳正 (監修) (2011) 標準整形外科学 第11版. 医学書院. 東京.
11. 山本利春 (2010) なぜ測定と評価をするのか (特集/測定と評価). *月刊トレーニング・ジャーナル*, 32(1), 12-15.

(平成24年3月31日受理)