斜面板上立位姿勢保持が及ぼす姿勢調節方略への影響

—筋電図学的解析—

Influence of Postural Strategy on Standing on a Slope: Electromyographic Analysis

中山 恭秀¹⁾

YASUhide NAKAYAMA, MS, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Daisan Hospital, Tokyo Jikei University School of Medicine: 4-11-1 Izumihoncho, Komae, Tokyo 201-8601, Japan. TEL +81 3-3489-1151 E-mail pt_nakayama@jikei.ac.jp

Rigakuryoho Kagaku 24(6): 817-820, 2009. Submitted May 21, 2009. Accepted Jun. 22, 2009.

ABSTRACT: [Purpose] Using electromyography, we investigated our hypothesis that maintenance of standing on an upward sloping platform would be a mix of ankle and hip joint postural strategies. [Subjects] The subjects were 8 normal healthy adults. [Method] Electromyographic activities (EMGs) of the rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), vastus longus (VL), semimembranosus (SM), biceps femoris (BF), gastrocnemius (medial and lateral heads: GM and GL) and tibialis anterior (TA) muscles were observed. Subjects maintained standing on upward slopes of 10 and 20 degrees for one minute, and EMGs were recorded 4 times: on the level, while standing on the upward slope, immediately after standing on the slope and 2 minutes later. [Results] Immediately and 2 min after standing on the 10-degree slope, RF, VM, VL and GM, and on the 20 degree slope, all muscles except SM, showed significant changes in each of the EMG measurements in comparison with those made at the start on the level. In standing on the 20-degree slope, TA activity showed a remarkable increase compared to on the level, and immediately after standing on the 20-degree slope GM activity increased significantly. [Conclusion] From the results, we infer that in maintenance of standing on an upward slope, the muscle activities of the whole of the lower leg are raised in which a strong contribution from the tibialis anterior is needed; on the level, after standing on the slope, the gastrocnemius functions to stabilize the center of foot pressure.

Key words: slope stimulus, electromyography, postural strategy

要旨: [目的] つま先上がりの斜面板上立位姿勢保持が足関節・股関節の姿勢調節が混在しているとする仮説をもとに筋電図学的に検討することを目的とした。[対象] 健康成人8名を対象とし、大腿直筋、内側広筋、外側広筋、半膜様筋、大腿二頭筋、腓腹筋（内側頭、外側頭）、前脛骨筋で筋電図を導出した。[方法] 10°と20°の2種類の斜面板上で1分間つま先上がりの立位姿勢保持について、平地上立位（ブレ）、斜面上立位、直後、2分後の計4回で筋電図を記録した。[結果] 10°では大腿直筋、内側広筋、外側広筋、腓腹筋外側頭、20°では半膜様筋以外の全ての筋でブレと比較して斜面上立位、直後、2分後で各条件間に有意な変動を示した。20°の斜面上立位では前脛骨筋の活動がブレと比較して顕著に増加し、直後の立位で腓腹筋外側頭の活動も有意に増加していた。[結語] 斜面板上立位姿勢保持は、下肢全体の筋活動量を高め、中でも前脛骨筋の強い活動を必要とし、その後の平地上では腓腹筋の働きで足圧中心位置の安定化を図る作用が推察された。

キーワード: 傾斜刺激、筋電図、姿勢調節方略

¹⁾ 東京慈恵会医科大学附属第三病院 リハビリテーション科：東京都狛江市和泉本町4-11-1（〒201-8601）TEL 03-3489-1151

受付日 2009年5月21日 受理日 2009年6月22日

I. はじめに

これまでに、斜面板上立位姿勢保持がその直後の平地上における立位姿勢に及ぼす影響として、足圧中心位置が斜面の山側へ変位することを報告した^{1,2)}。この変位量は、角度と相関関係が認められており、繰り返しの測定において高い信頼性が得られている³⁾。つま先上がりの斜面板上立位姿勢保持では、支持基底面内で重心位置を安定させる作用によって足関節を背屈位にて保持させる必要がある。傾斜刺激が解除された直後の平地上立位において、足圧中心位置が前方へ変位していることから、前方への重心移動の影響がその後も漸減的に残存していると推察する。このことは、床面の動揺による筋収縮の変化を示しているNashnerらの報告^{4,5)}からある程度の推論が可能である。彼らは、床面の前方動揺により身体の前部に位置する筋である腹筋や大腿四頭筋、前脛骨筋の筋収縮が高まるとしている。また、Horakら⁶⁾は股関節及び足関節による姿勢調節を決定することに、足部の大きさに対する基底面の相対的な大きさが影響すると述べている。つま先上がりの斜面板上立位姿勢保持は、床面の前方動揺による身体の前部への立ち直りと類似した姿勢制御が求められると推察できるが、一時的な床面の動揺であるという点と、継続した立位姿勢保持という点とで異なるため、あくまでも推論の域を脱していない。そのため、斜面板上立位姿勢保持およびその後の筋活動については検討課題としていた。筆者は、斜面板上立位姿勢保持直後の足圧中心位置が傾斜面の山側に有意に変位することについて、若年者では足関節による姿勢調節方略(ankle strategy)が多いとされる点と、支持基底面が相対的に狭くなることが股関節による姿勢調節方略(hip strategy)による安定化を高めるとする点を考慮して、斜面板上立位姿勢保持では2つのstrategyが混在している可能性を指摘している。また、その後の平地上における筋活動にも、前方への重心移動の影響がその後も漸減的に残存しているとする推察から、筋活動に影響があるものと考え。今回、10°と20°の2種類のつま先上がりの斜面板を用い、1分間立位姿勢保持を行うことが、その直後、2分後の平地上立位における筋活動に及ぼす影響について筋電図を用いて比較した。姿勢調節方略の一考察となりえる若干の知見を得たので報告する。

表1 電極貼付部位

大腿直筋	下前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の中央
内側広筋	膝蓋骨上縁内角より内上方へ2横指
外側広筋	大転子と大腿骨外顆を結ぶ線の遠位 1/3
半膜様筋	坐骨結節と脛骨内顆を結ぶ線の遠位 1/3
大腿二頭筋	坐骨結節と脛骨外顆を結ぶ線の遠位 1/3
腓腹筋(内側頭)	大腿骨内側顆と踵骨を結ぶ線の近位 1/3
腓腹筋(外側頭)	大腿骨外側顆と踵骨を結ぶ線の近位 1/3
前脛骨筋	脛骨外側顆より外下方へ3横指

II. 対象と方法

対象は健康成人8名とした。内訳は男性5名、女性3名で、平均身長167.2(±7.4) cm、平均体重65.3(±9.6) kgであった。本研究への参加は、ヘルシンキ宣言に則り十分な同意が得られ、斜面板上での立位姿勢保持が安定して行うことができるものとした。

測定は、はじめに平地上で1分間の立位姿勢保持(以下、プレ)を、1分間以上の休憩を挟んで3回測定した。続いて、つま先上がりの斜面板上(以下、斜面板上)で1分間の立位姿勢保持を行わせた。その直後、再び平地上で1分間立位姿勢保持(以下、直後)を行わせ、斜面板から降りて2分後に再び平地上立位姿勢保持(以下、2分後)を行わせた。これらを10°及び20°の斜面板を用いてランダムに測定する実験計画を立案した。測定条件は対象すべてに対して同一条件とした。斜面板には、株式会社アサヒ製ストレッチングボードを用いた。立位姿勢保持は、5 m前方のマーカーを注視させ、力を抜いた直立姿勢で上肢を体側に沿うように指示した。足位は開脚、踵間10 cmとした。また、斜面から降りた後の休憩は、椅子座位とした。

対象筋ならびに電極貼付位置は、大腿直筋、内側広筋、外側広筋、半膜様筋、大腿二頭筋、腓腹筋(内側頭、外側頭)、前脛骨筋の8筋とした。電極貼付部位⁸⁻¹⁰⁾を表1に示す。測定肢は全て右側とした。電極にはDISPO電極を使用し、アルコール綿で脱脂した後、各筋線維の走行と並行に電極中心距離20 mmで設定して貼り付け、双曲導出法で記録した。アース電極は膝蓋骨とした。筋電図は、キッセイコムテック社製テレメトリー筋・心電図計「MQ8」を用い、同社製「BIMUTAS-Video」を解析に用いた。サンプリング周波数は1000 Hzで測定した生波形を全波整流した後、high pass filterを5 Hz、low pass filterを500 Hzで平滑化処理を行った整流平滑化

表2 %EMGの平均値と標準偏差

斜面板10°

大腿直筋	内側広筋	外側広筋	半膜様筋	大腿二頭筋	腓腹筋(内側頭)	腓腹筋(外側頭)	前脛骨筋
斜面板上 168.8±70.8	323.6±139.2	484.6±228.6	105.2±16.9	109.8±46.8	165.0±138.2	158.0±50.3	241.9±205.5
直後 104.7±56.0	79.2±23.9	167.0±68.1	91.3±19.5	100.3±58.7	445.0±297.6	304.6±57.1	100.7±51.5
2分後 78.7±11.2	67.9±24.9	123.3±54.1	114.8±79.9	79.5±44.7	281.5±108.5	194.8±77.8	81.8±21.3

斜面板20°

大腿直筋	内側広筋	外側広筋	半膜様筋	大腿二頭筋	腓腹筋(内側頭)	腓腹筋(外側頭)	前脛骨筋
斜面板上 330.9±208.0	486.0±212.5	912.1±487.0	231.2±114.0	199.3±50.2	266.2±178.1	245.6±72.2	3304.2±2139.9
直後 94.4±6.6	87.8±23.4	157.8±55.6	147.9±80.9	115.7±68.3	760.6±499.6	465.9±253.2	128.6±47.0
2分後 107.5±31.7	93.2±54.0	166.1±95.6	119.8±12.7	94.8±36.6	306.5±111.5	235.3±111.9	104.0±27.2

(%)

**p<0.01, *p<0.05, n.s. 主効果なし

筋電図をもとに、各条件で測定した20秒間の筋電波形の中間10秒間のものから積分値を求めた。正規化は、一連の動作の流れにおける比較法とされる手法を用い、安静立位であるブレの測定値を100%とした%EMGを算出して比較した¹⁰⁾。統計処理は、繰り返しによる一元配置分散分析およびTukeyによる多重比較を用い、各筋の斜面板上立位姿勢保持の影響を分析した。

III. 結 果

斜面板の角度別の各筋における%EMGを表2に示した。10°では、大腿直筋、内側広筋、外側広筋、腓腹筋外側頭において、各条件間で有意な変動を認めた。多重比較により、斜面板上と直後の比較において、内側広筋、外側広筋において有意に低下し、腓腹筋外側頭では有意に高くなった。さらに、2分後では、直後との比較において、腓腹筋外側頭が有意な低下を認めた。

また、20°では、半膜様筋を除く全ての筋において、各条件間で有意な変動を認めた。斜面板上では、いずれも10°のものと比較して高い値となり、類似した変動を認めた。多重比較により、斜面板上と直後の比較では、大腿直筋、内側広筋、外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋で有意に低下し、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭では有意に高くなった。2分後では、直後との比較において腓腹筋外側頭で有意な低下を認めた。

IV. 考 察

今回の筋電図解析の結果から、10°において各条件間で有意な変動を示した筋は、大腿直筋、内側広筋、外側広筋、腓腹筋外側頭であり、また、20°において各条件間で有意な変動を示した筋は、半膜様筋以外の全てであった。20°は10°と比較して全体的に筋活動量が大きく、角度が増すことで筋活動量は高まり、より有意な傾向を示すことが示唆された。20°では、10°と比較して前脛骨筋の筋活動が顕著に増加した。これは、姿勢の傾斜に比例して、常に身体を平衡姿勢に引き戻そうとする足関節トルクが、姿勢の傾斜に比例して常に身体を転倒させようとする重力トルクよりも常に小さくなくてはならないことによる¹¹⁾。この前脛骨筋の作用に伴い、膝関節を伸展位固定で保持する必要から、大腿四頭筋の活動も高まるものと考えられる。しかし、床面の動揺のような一時的な外力とは異なり、斜面上で立位を保持するため、山側の傾斜面前方での継続的な重心保持を行うことから、下肢全体の筋活動も高まるものと考察する。

一方、直後の立位では、腓腹筋外側頭の活動が有意に増加しており、2分後でもその活動は斜面上立位時と同様の高まりを維持している。このことから、斜面から降りた直後の姿勢調節は主に腓腹筋を中心に行われていると考えられる。しかし、これまでの研究^{2,3)}から、斜面上立位の直後に足圧中心位置が山側である前方へ変位することが示されている。つまり、斜面上立位姿

勢保持により下腿三頭筋が伸張され、その結果としてその後の平地上における腓腹筋の筋活動が高まったと解釈するには、足圧中心位置は後方へ変位することになるため、先行研究における足圧中心位置の前方への変位は説明が困難となる。立位時の底屈筋の筋放電は、筋が伸張（遠心性収縮）されながら発生する¹¹⁾。そのため、足圧中心位置の前方変位と、斜面上立位で筋活動を高めた前脛骨筋の活動がその直後の平地上ではおさまり、腓腹筋の筋活動が唯一高まっていることから、この腓腹筋の活動の高まりは、前方へ重心が変位していることを修正する働きで生じていると考えることが妥当である。つまり、前方への重心移動による影響が漸減的に継続していることが示唆される。この漸減的な継続の程度は、斜面の角度の大きさと関係し、足関節による調節が求められ、股関節による固定を目的とした調整が融合する形で行われた結果であると解釈される。Nashnerらの示している後方動揺刺激に対する姿勢調節では、身体前面の筋群である腹筋、大腿四頭筋、前脛骨筋が作用し、身体後面にある脊柱起立筋、ハムストリングス、下腿三頭筋の活動は少ない^{4,5)}。また、狭い梁のような物の上で立位保持をする場合、効果的に足関節トルクを用いることができないため、股関節による姿勢調節が行われるとされている⁶⁾。本研究で行った斜面板上立位姿勢保持でも支持基底面は幾分減少するが、相対的な支持基底面が減少しているのとは異なり、狭い梁に類似した環境とは言いがたい。しかし、今回は直立位で膝関節による安定化が図れないため、身体遠位に位置する足関節トルクを効率的に用いることが困難となり、股関節周囲の姿勢調節も有意に高まったと考えられる。

今回の研究結果は、これまでの足圧中心位置の変位とあわせて、実際の理学療法臨床場面における斜面板を用いた立位姿勢保持の後効果を筋電図学的な根拠から示すことができたものと考えられる。しかし限界として、本研究の計画では足関節および膝関節を中心とした筋電図を採取したにとどまったため、股関節による姿勢

調節方略についてはあくまでも推察の域を出ない点が挙げられる。また、筋電図の正規化をプレの静的立位姿勢保持時の筋活動で行っているため、他の筋群との比較における考察に限界を持たせる結果となってしまった。これらの点を踏まえて、今後はつま先下りの立位姿勢保持についても見解を加え、静的バランストレーニングの一手法としての基礎データを提示できればと考える。

引用文献

- 1) 中山恭秀, 安保雅博, 飯島 節: 斜面板上における立位姿勢保持がその後の平地上の足圧中心位置に及ぼす影響—single case designによる分析—. リハ連携科学, 2008, **9**(2): 112-115.
- 2) 中山恭秀, 安保雅博, 飯島 節: 斜面板上における立位姿勢保持がその後の平地上の足圧中心位置に及ぼす影響—健康成人及び片麻痺患者の比較—. 理学療法科学, 2008, **23**(5): 589-592.
- 3) 中山恭秀, 安保雅博, 飯島 節: 斜面板上における立位姿勢保持がその後の平地上での重心動揺に及ぼす影響—傾斜角度と方向の関係—. 理学療法科学, 2008, **23**(5): 585-588.
- 4) Nashner LM: Adapting reflexes controlling the human posture. *Expe Brain Res*, 1976, **26**: 59-72.
- 5) Nashner LM: Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. *Exp Brain Res*, 1977, **30**: 13-24.
- 6) Horak FB, Nashner LM: Central programming of postural movement. Adaptation to altered support surface conditions. *J Neurophysiol*, 1986, **55**: 1369-1381.
- 7) 池添冬芽, 市橋則明, 森永敏博: スクワット肢位における足圧中心位置の違いが下肢筋の筋活動に及ぼす影響. 理学療法科学, 2003, **30**(1): 8-13.
- 8) Perotto AO: 筋電図のための解剖ガイド. 第3版. 柏森良二(訳), 西村書店, 東京, 2003, pp140-143.
- 9) 山口剛司, 高崎恭輔, 大工谷新一: 足底圧中心変化に伴う足部周囲筋の筋積分値相対値変化. 関西理学, 2005, **5**: 103-108.
- 10) 大西秀明: 神経: 筋機能の計測, 動作筋電図. 計測法入門—計り方, 計る意味. 内山 靖, 小林 武, 間瀬教史(編), 協同医書, 東京, 2001, pp42-46.
- 11) 野村泰伸: ヒト静止立位姿勢制御の新しい仮説. 臨床脳波, 2008, **50**(3): 133-141.