

足底への電気刺激が片脚立位時の バランスと下肢筋活動に与える影響

原 著

Effects of plantar electrical muscle stimulation on balance and lower extremity muscle activity during single-leg standing

山口龍星*1, 奥貫拓実*1,2,3, 若宮知輝*1, 前道俊宏*3,4
劉 紫劍*1, 小川祐来*1, 小林佑介*1, 永元英明*1,5
干場拓真*6, 熊井 司*4

キー・ワード : electrical muscle stimulation, stability, foot intrinsic and extrinsic muscles
電気刺激, 安定性, 足部内在・外在筋

〔要旨〕 足底からの electrical muscle stimulation (EMS) は足部内在筋の収縮を促すことで、バランス機能の改善が期待されるが、即時的な介入効果は明らかでない。そこで本研究は、足底からの EMS 介入が片脚立位時のバランスおよび下肢筋活動に及ぼす即時効果を明らかにすることを目的とした。対象は EMS 群 9 名、control 群 9 名に分類し、介入前後での片脚立位時の足底圧中心 (COP) と下肢筋活動を測定した。COP から、総軌跡・前後方向・内外側方向の最大偏位速度および軌跡長を算出した。筋活動は母趾外転筋、小趾外転筋、長母趾屈筋、長腓骨筋、ヒラメ筋を測定し、平均筋活動を算出した。Control 群 1 名の筋活動データに不備があったため、筋活動のみ 8 名のデータを用いた。結果は内外側方向および総軌跡長、ヒラメ筋の筋活動において EMS 群は介入前と比較し介入後に有意に減少していた。EMS 介入により、内外側方向および総軌跡長が有意に減少しており、片脚立位のバランス機能の向上が示唆された。EMS 介入後に片脚立位の安定性が向上したことで、姿勢保持に関わる下肢の筋への要求が少なくなるため、ヒラメ筋の筋活動が減少したと推察された。足底からの EMS 介入は即時的に片脚立位時のバランスとヒラメ筋活動の減少に寄与することが示唆された。

緒 言

片脚立位バランス能力は、スポーツ外傷・障害と関連することが広く知られており、その低下は足関節捻挫や膝前十字靭帯損傷などの危険因子とされている¹⁻³⁾。

バランス能力に寄与する因子の一つとして、足部内在筋がある。足部内在筋は横断面積が大きい

ほど、片脚立位バランスが向上すると報告されている⁴⁾。加えて、足部内在筋のトレーニングによって片脚立位や Y-バランステストの成績が向上することが示唆されている^{5,6)}。足部内在筋はバランス能力に影響することから足部内在筋の活動の促進は、バランス能力の改善を通しスポーツ外傷や障害予防に寄与する可能性がある。足部内在筋のトレーニング方法として、toe-spread-out や short foot exercis⁷⁾、タオルギャザー⁵⁾など、足部内在筋の収縮を促すエクササイズが報告されている。しかし、これらのエクササイズは難易度が高いことが指摘されており⁸⁾、即時的な効果を得るには課題が残る。

運動療法の他に筋収縮を促す方法に electrical muscle stimulation (EMS) がある。EMS の効果と

*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*2 立命館大学総合科学技術研究機構・日本学術振興会特別研究員 PD

*3 東洋大学ライフイノベーション研究所客員研究員

*4 早稲田大学スポーツ科学学術院

*5 東北大学整形外科

*6 早稲田大学スポーツ科学研究センター

Corresponding author : 熊井 司 (kumakumat@waseda.jp)



図1 EMS実施肢位
端坐位で実施

して、アメリカンフットボール選手を対象に長腓骨筋に5週間(1週あたり3日)の電気刺激を行った研究では足関節筋力とバランス機能が改善したことを報告している⁹⁾。また、高齢者を対象に足底からEMSを12週間(1週あたり3日)行った研究では下肢の筋量の増加とバランス機能低下の抑制を示したと報告されている¹⁰⁾。加えて、足部内在筋に対するEMS介入を行った研究では足部内在筋の収縮を促し¹¹⁾、介入後にMTP関節屈曲筋力の向上を認めたことを報告している¹²⁾。このようにEMS介入は筋を賦活化させ、筋機能やバランスに影響を及ぼすことが明らかにされている。したがって、足底からEMSを行うことは、足部内在筋の収縮を促しバランス機能の改善に有効な手段になりうる可能性がある。

しかし、EMS介入後の即時効果は明らかではなく、片脚立位時のバランスおよび筋活動に及ぼす影響についても明らかでない。よって、本研究の目的は足底からのEMS介入が即時的に片脚立位時の姿勢安定性と下肢筋活動に及ぼす影響を明らかにすることとした。仮説はバランス機能に寄与する⁴⁻⁶⁾足部内在筋の収縮を促すEMS介入により¹¹⁾、母趾外転筋や小趾外転筋の筋活動が増加し、片脚立位バランスが向上するとした。

対象および方法

対象者

対象は大学生アスリート18名とし、無作為にEMS群(男性4名、女性5名、年齢:19.6±1.1歳、身長:162.8±6.2cm、体重:56.7±6.4kg)と

control群(男性8名、女性1名、年齢:20.8±1.0歳、身長:171.0±4.0cm、体重:66.4±2.1kg)に分類した。対象の取り込み基準は、1)週3回以上練習し、競技会に参加している者、2)下肢に骨折歴がないこと、3)過去3ヶ月以内に下肢に急性外傷および障害のないこと、4)現在、痛みなくプレーできていることとした。本研究は、ヘルシンキ宣言に基づき倫理委員会に承認され実施した(倫理番号:2019-189)。対象者には十分な説明を行い、同意を得て実施した。

測定手順

介入前後の片脚立位時の足底圧中心(center of pressure: COP)と下肢筋活動を測定した。EMS群はSixpad foot fit(MTG社製)を用いて、製品に設定されている既成のトレーニングプロトコル(周波数:20Hz、パルス形状:矩形波、パルス持続時間:100μ秒、パルス周期:50m秒)で23分間実施した(図1)。EMSの強度設定はすべての対象者が痛みや不快感なく実施することができ、筋収縮を確認できる程度であった10(最大強度20)とした。control群は5分間の安静坐位とした。

片脚立位バランス

測定肢位は、両手を腰に当てた姿勢で股関節および膝関節軽度屈曲位とした。開眼条件にて、10秒間の片脚立位保持を実施し、成功試技2回を解析した。解析区間は片脚立位開始後3秒から8秒までの5秒間とした。非測定下肢が地面に触れた場合、非測定下肢が測定下肢に触れた場合、測定下肢が開始位置からずれた場合、手が腰から離れた場合、大きく股関節外転した場合は失敗試技と

表 1 デモグラフィックデータ

	EMS 群		Control 群		P 値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
男性/女性 (n)	4/5		8/1		0.066
年齢 (歳)	19.6	1.1	20.8	1.0	0.032*
身長 (cm)	162.8	6.2	171.0	4.2	0.006*
体重 (kg)	56.7	6.4	66.4	2.1	0.006*

* : 群間で有意な差 ($p < 0.05$)

した。失敗試技は3名の対象者でそれぞれ1回ずつ認められたが、その他の対象者に失敗試技はなかった。

片脚立位時の COP は、BIG-MAT (NITTA 社製) を用いて記録し、COP の前後方向・内外側方向の最大偏位速度および軌跡長と総軌跡長と総軌跡長の最大偏位速度を算出した⁵⁾。その後、COP から算出した各方向の軌跡長 (総・前後方向・内外側方向) および最大偏位速度をそれぞれ BIG-MAT から算出した地面と足底の接地面積 (cm^2)、足長 (cm)、足幅 (cm) で除し正規化した。

片脚立位時の下肢筋活動を表面筋電図 (biosignalsplux, Plux 社製) を用いて測定した。対象の筋は母趾外転筋 (abductor hallucis : ABDH)¹³⁾、小趾外転筋 (abductor digiti minimi : ADM)¹³⁾、長母趾屈筋 (flexor hallucis longus : FHL)¹⁴⁾、長腓骨筋 (peroneus longus : PL)¹⁵⁾、ヒラメ筋 (soleus : SOL)¹⁵⁾ とした。表面筋電極貼付位置について、FHL は内果後方や近位で FHL の収縮を触知した部位¹⁴⁾、PL は腓骨頭から外果を結んだ線の近位 25%¹⁵⁾、SOL は大腿骨内側顆と内果を結んだ線の遠位 1/3 とした¹⁵⁾。すべての表面筋電図の貼付は、9 年の臨床経験を持ち、表面筋電図の貼付経験の豊富な理学療法士が行った。筋電極貼付後、各筋の最大随意等尺性収縮 (maximum voluntary isometric contraction : MVIC) 時の筋活動を測定した。筋電図の処理は MATLAB (The Math Works 社製) を用いて、各筋の筋電波形を 4 次のバターワースバンドパスフィルター (20~450Hz) で処理し、全波整流後に 50msec の移動平均により平滑化した。その後、各筋の MVIC の最大値で片脚立位時の筋活動を正規化し (%MVIC)、解析区間の平均筋活動を算出した。また、control 群 1 名の筋活動データに不備があったため、筋活動のみ 8 名のデータとした。

統計解析手法

群間の男女比については Fisher の正確確率検定を用いて検討した。年齢、身長、体重については正規性の検定後、対応のない t 検定もしくは Mann-Whitney の U 検定を用いて群間で比較した。各筋活動および正規化した各軌跡長、最大偏位速度は、性別、身長、体重を共変量とし、群間 (EMS 群、control 群) および介入前後の 2 要因による反復測定共分散分析を行った。先行研究¹⁶⁾ を参考に交互作用を検討した後、主効果および単純主効果を検討した。事後検定は Bonferroni 補正を行い比較した。全ての統計処理には IBM SPSS statistics 29 (IBM 社製) を用い、有意水準は 5% とした。

結 果

各群のデモグラフィックデータを表 1 に示す。群間の男女比については有意な差は認められなかった。EMS 群と比較して control 群では年齢、身長、体重が有意に高かった。

軌跡長について、全ての軌跡長および各 COP 偏位最大速度に有意な交互作用 ($p=0.682\sim 0.953$, 偏 $\eta^2=0.000\sim 0.018$, $\beta=0.050\sim 0.067$)、介入前後の主効果 ($p=0.200\sim 0.440$, 偏 $\eta^2=0.061\sim 0.158$, $\beta=0.113\sim 0.237$)、群間の主効果 ($p=0.075\sim 0.858$, 偏 $\eta^2=0.003\sim 0.284$, $\beta=0.053\sim 0.436$) は認められなかった。EMS 群では介入前と比較し介入後に内外側方向 ($p=0.017$, $d=0.833$, $\beta=0.382$) および総軌跡長 ($p=0.049$, $d=0.605$, $\beta=0.227$) が有意に減少していた (表 2)。前後方向の軌跡長および各 COP 偏位最大速度については、いずれの群においても介入前後で有意な差を認めなかった。

筋活動について、ADM ($p=0.004$, 偏 $\eta^2=0.625$, $\beta=0.930$) および PL ($p=0.033$, 偏 $\eta^2=0.412$, $\beta=0.609$) で有意な交互作用を認めた。ADM は control 群の介入前と比較して介入後に有意に筋活動が上昇し

表2 片脚立位バランス時のCOPの軌跡長と最大偏位速度(性別, 身長, 体重による調整)

	EMS群				Control群				有意水準		
	介入前		介入後		介入前		介入後		交互作用	主効果	
	平均	標準誤差	平均	標準誤差	平均	標準誤差	平均	標準誤差		時間	群
総軌跡長 (mm/cm ²)	0.595 †	0.048	0.518 †	0.036	0.574	0.107	0.480	0.079	0.682	0.232	0.333
最大偏位速度 (mm/(s*cm ²))	0.457	0.041	0.410	0.048	0.490	0.091	0.398	0.107	0.692	0.366	0.858
前後方向軌跡長 (mm/cm)	1.775	0.142	1.578	0.154	1.666	0.318	1.151	0.344	0.921	0.200	0.110
最大偏位速度 (mm/(s*cm))	1.732	0.152	1.644	0.232	1.909	0.340	1.345	0.518	0.748	0.440	0.690
内外側方向軌跡長 (mm/cm)	4.030 †	0.341	3.330 †	0.202	2.932	0.762	2.576	0.451	0.738	0.297	0.075
最大偏位速度 (mm/(s*cm))	4.010	0.451	3.403	0.270	3.450	1.007	2.714	0.604	0.953	0.298	0.496

EMS: electrical muscle stimulation, †: 介入前後で有意な差 (p<0.05)

表3 片脚立位バランス時の下肢筋活動(性別, 身長, 体重による調整)

	EMS群				Control群				有意水準		
	介入前		介入後		介入前		介入後		交互作用	主効果	
	平均	標準誤差	平均	標準誤差	平均	標準誤差	平均	標準誤差		介入前後	群間
ABDH	50.716	41.884	39.762	28.396	16.979	108.366	56.735	73.469	0.324	0.275	0.729
ADM	10.196	3.725	7.718 ‡	2.156	4.713 †	9.637	22.003 † ‡	5.577	0.004*	0.320	0.974
FHL	18.691 ‡	2.290	16.131	2.360	1.679 ‡	5.925	6.765	6.105	0.237	0.237	0.730
PL	19.987	5.425	18.371	6.863	40.626	14.036	49.345	17.758	0.033*	0.077	0.100
SOL	24.966 †	3.716	23.076 †	3.471	16.233	9.614	16.964	8.982	0.656	0.660	0.212

ABDH: 母趾外転筋, ADM: 小趾外転筋, FHL: 長母趾屈筋, PL: 長腓骨筋, SOL: ヒラメ筋, 単位: %MVIC

*: p<0.05, †: 介入前後で有意な差 (p<0.05), ‡: 群間で有意な差 (p<0.05)

ており (p=0.024, d=0.765, β =0.314), 介入後ではEMS群と比較してcontrol群で筋活動が高かった (p=0.040, d=1.126, β =0.582). PLは有意な単純主効果を認めなかった. 有意な交互作用を認めなかったが, 単純主効果をFHLおよびSOLに認めた. FHLはcontrol群と比較してEMS群で介入前の筋活動が高かった (p=0.025, d=1.339, β =0.731). SOLはEMS群において介入前と比較して介入後に有意に筋活動が減少していた (p=0.014, d=0.181, β =0.064). その他の筋活動については有意な交互作用 (p=0.237~0.656, 偏 η^2 =0.023~0.151, β =0.070~0.205) および介入前後の主効果 (p=0.077~0.660, 偏 η^2 =0.023~0.415, β =0.069~0.615), 群間の主効果 (p=0.100~0.974, 偏 η^2 =0.000~0.272, β =0.050~0.374) は認められず, いずれの群においても介入前後で有意な差を認めなかった (表3).

加えて, 共変量とした性別, 身長, 体重においては, いずれの共変量も各項目に対して統計的に有意な影響を示さなかった (p>0.05).

考察

本研究は足底からのEMS介入が片脚立位時の姿勢安定性と下肢筋活動に及ぼす即時効果を明らかにすることを目的とした. 本研究により得られた主な知見は, EMS介入後に片脚立位時の総軌跡長および内外側方向の軌跡長, SOLの筋活動が減少したことであった. 仮説として, 足部内在筋の筋活動の上昇に伴い, 軌跡長が減少すると予測していた. しかし, EMS介入により軌跡長は減少していたものの, 筋活動はヒラメ筋において有意に減少し, その他の筋についても減少傾向であった.

本研究では, 性別や年齢, 身長, 体重に有意な群間差を認めた. そのため, 性別, 身長, 体重を共変量として共分散分析を行ったところ, それぞれ有意な影響を示さなかったことから, 本研究の介入効果に及ぼす影響は少ないと推察される. また, 介入前の値では, FHLの筋活動を除き群間に有意な差はなく, 共変量がCOP値や筋活動に及ぼす影響は少ないと考えられた.

軌跡長は重心動揺の指標として用いられ¹⁷⁾, 軌

跡長の減少は重心動揺が減少しバランス機能が向上したことを示す。本研究においては、EMS 介入後に片脚立位時における総軌跡長と内外側方向の軌跡長が有意に減少し、前後方向の軌跡長が減少傾向であったことから、片脚立位時のバランス能力の向上につながったと考えられる。しかし、ABDH や ADD の筋活動は EMS 介入前後で有意な上昇を認めず、SOL の筋活動が有意に減少していた。先行研究において、重心動揺の増加に伴い下肢の筋活動は上昇する相関関係があることが示されている^{18,19}。SOL や PL の筋活動は不安定なサーフェイス上の片脚立位時に高くなり、安定したサーフェイスでは低くなることが報告されている²⁰。加えて、足部内在筋の筋活動は両脚立位から片脚立位への移行により高くなる¹⁹。このような重心動揺が大きくなる不安定なサーフェイスや難易度の高い課題では姿勢保持のために高い筋活動が要求されると推察されている。ADM については control 条件では介入前後および群間で介入後の値に有意な差が認められたが、EMS 群において介入前後に有意な差は認められなかった。しかし、EMS 群では他の筋と同様に ADM の筋活動は減少傾向にあった。したがって、EMS 介入群では即時的に軌跡長が減少し片脚立位姿勢が安定したことで、下肢の筋活動が減少傾向を示したと推察された。

重心動揺が低下したメカニズムとして、足底からの電気刺激やマッサージにより足底の触覚の閾値低下^{21,22} や筋腱受容体の感度が向上²² することが明らかにされている。これらの固有受容器は片脚立位バランスにも寄与することが報告されている^{21,22}。このように足底からの EMS は、固有受容器の機能を改善させ、片脚立位時の安定性に寄与する可能性が推察された。

本研究にはいくつか限界がある。1つ目は、閉眼条件における効果を検討していないことである。動作課題としてより難易度の高い閉眼条件における片脚立位では、下肢の筋の要求が高まることが考えられ、EMS による効果が開眼条件と異なる可能性がある。2つ目に、足底感覚の変化は評価していない。EMS 介入により、足底感覚の機能が改善することが報告されている²³。固有受容器の効果を合わせて検討することで、EMS 介入によるバランス機能向上のメカニズムを説明できる可能性がある。3つ目に、長期的効果は不明である。本研究

は足底からの EMS 介入直後の片脚立位時のバランス機能を検討した。EMS 介入直後に見られた即時効果がどの程度持続するのかは明らかでない。また、長期介入により、更なるバランスの改善が得られるかは不明である。今後は長期的な EMS 介入による効果を検討する必要がある。4つ目は、対象者数が 18 名であることである。本研究に必要な対象者数を G*Power を用いて算出した結果、34 名であり本研究と同様に EMS 介入を行なった先行研究^{9,10}と比較しても対象数が少なかった。事後検定の検出力においても、ADM の筋活動以外のデータは 0.8 未満であり、今後サンプル数を増やして検討する必要がある。5つ目は、対象に足関節捻挫既往者が含まれていることである。足関節捻挫既往者は片脚立位バランスが低下することが報告されていることから²⁴、片脚立位バランスが低下した者が EMS 介入により改善した可能性がある。足関節捻挫の既往がないアスリートのみを対象とした場合、本研究と異なる結果となる可能性がある。6つ目は、control 群の介入時間が 5 分であることである。EMS 群では 23 分間の介入を行なった。介入時間の違いが介入後の結果に影響を及ぼした可能性があることから、今後は介入時間を統一して検討する必要がある。

結 語

健常な大学生アスリートに対して、足底からの EMS 介入が片脚立位時のバランスと下肢筋活動に及ぼす影響を検討した。EMS 介入により内外側方向と総軌跡長および SOL の筋活動が減少し、前後方向の軌跡長およびその他の筋活動は減少傾向であった。足底からの EMS 介入によって即時的に片脚立位時のバランスは向上し、下肢の筋活動は減少することが示唆された。

謝 辞

公益財団法人日本スポーツ医学財団の令和元年度研究助成を受けた。

利益相反

株式会社タカトリより、機材の提供を受けている。

著者貢献

Conceptualization : 奥貫 拓実, 干場 拓真, 熊井 司

Data curation : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝

Formal analysis : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝

Funding acquisition : 奥貫 拓実, 熊井 司

Investigation : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝, 前道 俊宏, 劉 紫劍, 小川 祐来, 小林 佑介, 永元 英明

Methodology : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝, 前道 俊宏, 劉 紫劍, 小川 祐来, 小林 佑介

Projected ministration : 奥貫 拓実, 熊井 司

Resources : 山口 龍星, 前道 俊宏, 熊井 司

Software : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝

Supervision : 熊井 司

Validation : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝, 前道 俊宏

Visualization : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝, 劉 紫劍, 小川 祐来, 小林 佑介

Writing original draft : 山口 龍星

Writing review & editing : 山口 龍星, 奥貫 拓実, 若宮 知輝, 前道 俊宏, 劉 紫劍, 小川 祐来, 小林 佑介, 永元 英明, 干場 拓真, 熊井 司

文 献

- 1) Trojan TH, McKeag DB. Single leg balance test to identify risk of ankle sprains. *Br J Sports Med.* 2006; 40: 610-613 doi: 10.1136/bjism.2005.024356.
- 2) Hutchinson AB, Yao P, Hutchinson MR. Single-leg balance and core motor control in children: when does the risk for ACL injury occurs? *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2016; 2: e000135 doi: 10.1136/bmjsem-2016-000135.
- 3) Nix SE, Vicenzino BT, Smith MD. Foot pain and functional limitation in healthy adults with hallux valgus: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012; 13: 197 doi: 10.1186/1471-2474-13-197.
- 4) Zhang X, Schütte KH, Vanwanseele B. Foot muscle morphology is related to center of pressure sway and control mechanisms during single-leg standing. *Gait & Posture.* 2017; 57: 52-56 doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.05.027.
- 5) Lynn SK, Padilla RA, Tsang KKW. Differences in static- and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel-curl exercise. *Journal of Sport Rehabilitation.* 2012; 21: 327-333 doi: 10.1123/jsr.21.4.327.
- 6) Kim EK, Kim JS. The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28: 3136-3139 doi: 10.1589/jpts.28.3136.
- 7) Gooding TM, Feger MA, Hart JM, et al. Intrinsic foot muscle activation during specific exercises: A T2 time magnetic resonance imaging study. *Journal of Athletic Training.* 2016; 51: 644-650 doi: 10.4085/1062-6050-51.10.07.
- 8) Okamura K, Egawa K, Okii A, et al. Intrinsic foot muscle strengthening exercises with electromyographic biofeedback achieve increased toe flexor strength in older adults: A pilot randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics.* 2020; 80: 105187 doi: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105187.
- 9) Lima Y, Ozkaya O, Balci GA, et al. Electromyostimulation application on peroneus longus muscle improves balance and strength in american football players. *Journal of Sport Rehabilitation.* 2022; 31: 599-604 doi: 10.1123/jsr.2021-0264.
- 10) Nishikawa Y, Takahashi T, Kawade S, et al. The Effect of Electrical Muscle Stimulation on Muscle Mass and Balance in Older Adults with Dementia. *Brain Sciences.* 2021; 11: 339 doi: 10.3390/brainsci11030339.
- 11) James DC, Solan MC, Mileva KN. Wide-pulse, high-frequency, low-intensity neuromuscular electrical stimulation has potential for targeted strengthening of an intrinsic foot muscle: a feasibility study. *J Foot Ankle Res.* 2018; 11: 16 doi: 10.1186/s13047-018-0258-1.
- 12) Tourillon R, Bothorel H, McKeon PO, et al. Effects of a single electrical stimulation session on foot force production, foot dome stability, and dynamic postural control. *J Athl Train.* 2023; 58: 51-59 doi: 10.4085/1062-6050-0561.21.
- 13) Protopapas K, Perry SD. The effect of a 12-week custom foot orthotic intervention on muscle size and muscle activity of the intrinsic foot muscle of young adults during gait termination. *Clinical Biomechanics.* 2020; 78: 105063 doi: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105063.
- 14) Masood T, Kalliokoski K, Bojsen-Møller J, et al. Plantarflexor muscle function in healthy and chronic Achilles tendon pain subjects evaluated by the use of EMG and PET imaging. *Clinical Biomechanics.* 2014; 29: 564-570 doi: 10.1016/j.clinbiomech.2014.03.003.

- 15) Hermens H, Frerisks B, Disselhorst-Klug C, et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000; 10: 361-374.
- 16) Oku K, Kawahara I, Sugioka T, et al. Immediate effects of plantar vibration stimuli during static upright posture following total hip arthroplasty in females. *Somatosensory & Motor Research*. 2020; 37: 238-244 doi: 10.1080/08990220.2020.1784129.
- 17) Wiesław Błaszczyk J, Fredek A, Mikołaj Błaszczyk P. Transition from double-leg to single-leg stance in the assessment of postural stability. *Journal of Biomechanics*. 2020; 110: 109982 doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109982.
- 18) Promsri A. Modulation of lower-limb muscle activity in maintaining unipedal balance according to surface stability, sway direction, and leg dominance. *Sports*. 2022; 10: 155 doi: 10.3390/sports10100155.
- 19) Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, et al. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clinical Biomechanics*. 2012; 27: 46-51 doi: 10.1016/j.clinbiomech.2011.07.013.
- 20) Sánchez-Barbadora M, Cuerda-Del Pino A, González-Rosalén J, et al. Differences in lower limb muscle activation between global and selective instability devices in single-leg stance in healthy active subjects. *PeerJ*. 2022; 10: e13317 doi: 10.7717/peerj.13317.
- 21) Bernard-Demanze L, Burdet C, Berger L, et al. Recalibration of somesthetic plantar information in the control of undisturbed upright stance maintenance. *J Integr Neurosci*. 2004; 3: 433-451 doi: 10.1142/s0219635204000580.
- 22) Wikstrom EA, Song K, Lea A, et al. Comparative effectiveness of plantar-massage techniques on postural control in those with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2017; 52: 629-635 doi: 10.4085/1062-6050-52.4.02.
- 23) Najafi B, Talal TK, Grewal GS, et al. Using plantar electrical stimulation to improve postural balance and plantar sensation among patients with diabetic peripheral neuropathy : a randomized double blinded study. *J Diabetes Sci Technol*. 2017; 11: 693-701 doi: 10.1177/1932296817695338.
- 24) Wikstrom EA, Naik S, Lodha N, et al. Bilateral balance impairments after lateral ankle trauma: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*. 2010; 31: 407-414 doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.02.004.

(受付 : 2024 年 4 月 3 日, 受理 : 2024 年 10 月 10 日)

Effects of plantar electrical muscle stimulation on balance and lower extremity muscle activity during single-leg standing

Yamaguchi, R.^{*1}, Okunuki, T.^{*1,2,3}, Wakamiya, K.^{*1}, Maemichi, T.^{*3,4}

Liu, Z.^{*1}, Ogawa, Y.^{*1}, Kobayashi, Y.^{*1}, Nagamoto, H.^{*1,5}

Hoshihara, T.^{*6}, Kumai, T.^{*4}

^{*1} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University, Saitama, Japan

^{*2} Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University/JSPS Research Fellow

^{*3} Institute of Life Innovation Studies, Toyo University, Saitama, Japan

^{*4} Faculty of Sport Sciences, Waseda University, Saitama, Japan

^{*5} Department of Orthopaedic Surgery, Tohoku University, Miyagi, Japan

^{*6} Institute for Sport Sciences, Waseda University, Saitama, Japan

Key words: electrical muscle stimulation, stability, foot intrinsic and extrinsic muscles

[Abstract] Electrical muscle stimulation (EMS) of the plantar foot improves balance by stimulating the intrinsic foot muscles. However, its immediate effects are unclear. This study aimed to clarify the immediate effects of EMS intervention to the plantar foot on balance and lower-extremity muscle activity during single-leg standing. Both EMS and control groups each included nine healthy athletes. Center of pressure (COP) and muscle activity during single-leg standing were measured before and after the intervention. Muscle activity was measured in the abductor hallucis longus, abductor digiti minimi, flexor hallucis longus, peroneus longus, and soleus muscles. Due to a lack of data on muscle activity for one member of the control group, the muscle activity data were only analyzed for the other eight members of this group. The EMS group showed significantly decreased mediolateral and total trajectory COP length and soleus muscle activity. Because a shorter COP trajectory indicated improved stability, EMS intervention would improve stability during single-leg standing. A shorter COP trajectory decreases the muscle activity of the soleus, which is involved in postural stability. These findings suggest that EMS intervention immediately decreases the COP trajectory length and soleus muscle activity during single-leg standing.