

足底内在筋の表面筋電図による立位姿勢制御機能の評価 Evaluation of standing balance function by the electromyogram of plantar intrinsic muscles

キーワード: 足底内在筋、姿勢制御、筋電図

人間生活工学研究室: 濱野 仁郎

■Abstract

The purpose of this study is to investigate the function of toe during standing postural control based on muscular activation of foot intrinsic muscles. Subjects performed five postural control motion tasks on a force plate. During the tasks, the activity of abductor hallucis, flexor digitorum brevis, lateral head of gastrocnemius, anterior tibialis, long fibular muscles and center of foot pressure in antero-posterior and medio-lateral direction were recorded and then correlation of these factors were examined. In conclusion, it was suggested that the activity of foot plantar muscles were involved for postural adjustment function in anterior and medial side under the unbalanced standing posture compared to balanced posture. Moreover, the function of toe in standing contributes to posture control to recover the perturbation effectively more than to maintain stable posture.

■背景

姿勢制御機能に関する研究の中で、立位での姿勢制御に対し足趾が重要な役割を持つとの報告があり¹⁾²⁾³⁾、それらは足趾屈曲力の大きさと立位時の安定性指標との関連性により示されている。しかしこれらの研究では足趾機能を足趾の最大屈曲力の測定により定量化し、その後姿勢制御タスクを行わせ測定した安定性指標との関連性を検討したものであった。そのため足趾の最大屈曲力が姿勢制御タスクで同様に再現されているかは不明瞭であり、タスク中の足趾機能を同時に評価することがより直接的であり、重要であると思われる。

■目的

本研究の目的は足趾機能が立位姿勢制御に及ぼす影響を、足底内在筋の表面筋電図によってより直接的に評価することであった。

■方法

運動機能等の障害のない、男性大学生 12 名が実験に参加した。被験者は床反力計上で 5 条件の立位姿勢制御動作タスク(図 1: 両脚開眼立位、片脚開眼立位、片脚閉眼立位、最大前方重心移動、最大後方重心移動)を各 3 試行行った。試行中、注視点は常に前方で、バランスは足関節と足趾の動作のみで行い股関節や腕部は固定するよう指示した。タスク中の足底内在筋 2 部位(母趾外転筋、短趾屈筋)と足関節周囲筋 3 部位(腓腹筋外側頭、前脛骨筋、長腓骨筋)の筋電位と、左右方向および前後方向の COP(足圧中心)を測定した。足底内在筋の筋電位導出においては、電極ディスク部に直径 8 mm、厚さ 0.3 mm の Ag/AgCl 皿電極を用い、これを外頼付近に固定したアクティブ電極と接続することで姿勢制御動作への干渉を排除した(図 2)。データは全てアナログ/デジタル変換器(MP150, BIOPAC)を経て波形解析ソフト(Acqknowledge 4.1, BIOPAC)によりサンプリングレート 1000Hz で記録された。

筋電位では実効値および筋活動動的成分、COP では実効値と前後方向の最大値および最小値を算出した。筋活動動的成分は筋の活動電位の中でも微小な揺らぎに由来する成分を抽出したものであり、この値が大きいほど筋発揮の増減の幅が大きく、小さいほど一様で滑らかな筋発揮が行われていることが示される(図 3)。これらの項目間の関連性を検討するために、Pearson の相関係数を用いて相関分析を行った。有意水準は 5 %とした。統計解析処理には、統計解析ソフトウ

エア SPSS(Ver. 11.0.1j; SPSS Inc.)を使用した。

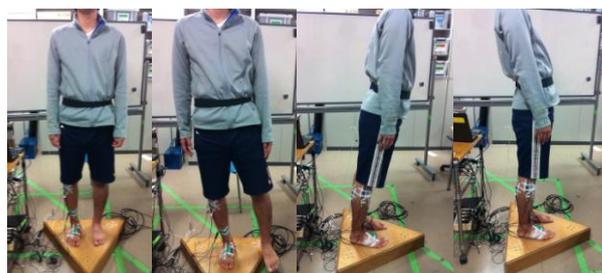


図 1 立位姿勢制御タスク; 左図から順に、両脚開眼立位、片脚開眼(閉眼)立位、最大前方重心移動、最大後方重心移動



図 2 足底内在筋への電極装着

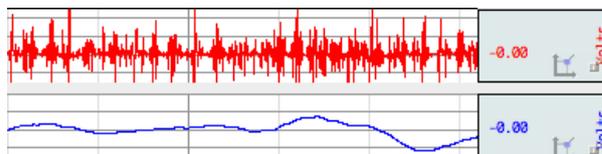


図 3 筋活動動的成分の抽出例(タスク中の約 2 秒間)

上: 生波形(レンジ: 0.1 v) 下: 筋活動動的成分(レンジ: 5 mV)

■結果と考察

両脚開眼立位、片脚開眼立位および片脚閉眼立位において、足底内在筋の筋活動と COP 実効値との有意な相関は見られなかった(図 4)。両脚での静止立位制御はそのほとんどが足関節周囲筋のみによって行われていることが知られており⁴⁾、今回においても足趾が姿勢制御に関わること自体がほとんど無く、足底内在筋の関与が見られなかったものと思われる。

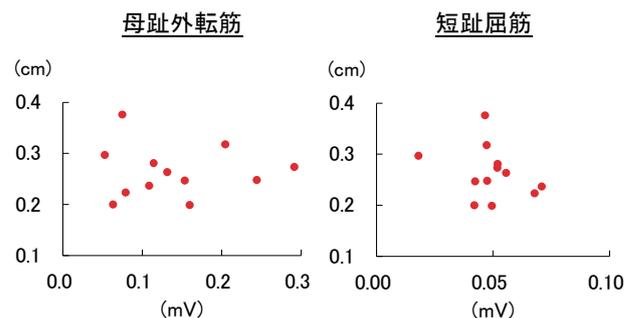


図 4 筋活動-COP 実効値(左右方向)(片脚開眼立位タスク)

片脚立位では、特に閉眼条件において姿勢動揺量が増加し、付随して各筋波形に大きな揺らぎをもった活動電位が観測された。そのため筋電図実効値による従来の平均値的解析では捉えることの出来ない筋の機能による影響が考えられた。そこで原田⁹⁾を参考に筋活動動的成分を抽出し、その COP 実効値との相関関係を検討した。その結果、母趾外転筋と腓腹筋外側頭の動的成分と左右方向の COP 実効値において有意な正の相関が見られた(図 5)。このことから、片脚閉眼立位のように姿勢動揺が大きく立位が不安定な状況下では、母趾外転筋や腓腹筋が繊細な筋発揮を行い、調節機能としてより作用することが示唆された。特に母趾外転筋に関してはその筋の機能から、内側に対し特に姿勢制御に寄与している可能性が考えられた。

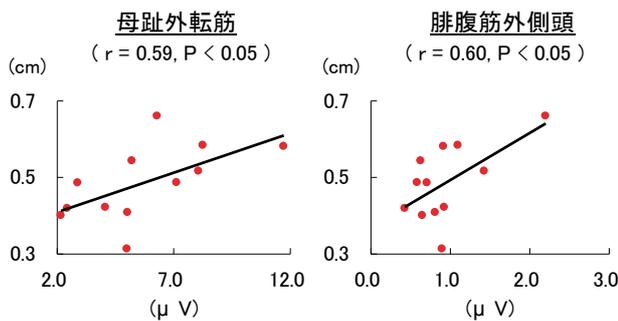


図 5 筋活動動的成分-COP 実効値(左右方向)
(片脚閉眼立位タスク)

最大前方重心移動では、前方 COP 最大値について、足底内在筋の筋活動との間に有意な正の相関が見られた(図 6)。一方、足関節周囲筋の筋活動との間には有意な相関は見られなかった。これらから、姿勢制御機能の評価指標の一つとされている前方 COP 最大値には、足関節底屈筋よりも足底内在筋が関与していることが示された。

立位では COP が踵から足長の 30-60 %位置にあるときには下腿三頭筋により姿勢は安定したまま保持されるが、60%を越えるこの筋だけでは姿勢調節機能を賄いきれず、姿勢が動揺し始めることが藤原ら⁶⁾により報告されている。本研究の前方重心移動での COP 最大値の平均は約 74%であったことから、この結果に藤原らの報告を踏まえれば、COP が 30-60%の範囲を超え姿勢動揺が起きるような状態においては、足関節底屈筋に取って代わり足底内在筋が COP 最大値に対して支配的になり前傾位での姿勢制御を行っているということが示唆された。

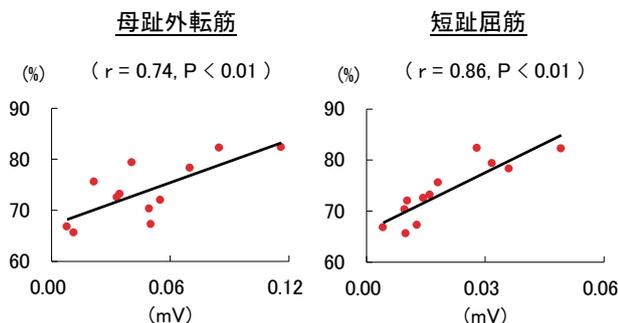


図 6 筋活動-前方 COP 最大値 (最大前方重心移動タスク)

最大前方重心移動での前方 COP 最大値に対して、両脚閉眼立位、片脚閉眼立位、片脚開眼立位での COP 実効値(前後方向・左右方向)との有意な相関は見られなかった(図 7)。重心を前方へ移動させる能力は最前傾位課題やファンクショナルリーチ⁷⁾を通して広く検討され、このとき指標として用いられる前方 COP 最大値が姿勢保持能力に関係するとされている⁸⁾。しかし本研究での前方 COP 最大値と 3 つの立位姿勢制御タスクにおける COP 実行値の相関関係からは、前方 COP 最大値と姿勢保持能力の積極的な関係性は示されなかった。さらに、

3 つの立位姿勢条件内においても COP 実効値と足底内在筋の筋活動に相関がなかった結果を踏まえれば、COP 最大値が関係するとされる姿勢保持能力は、両脚閉眼や片脚閉眼といった比較的安定した立位では発揮されないことが考えられ、またこのような立位条件では足趾機能の姿勢制御への作用は少ないことが示唆された。

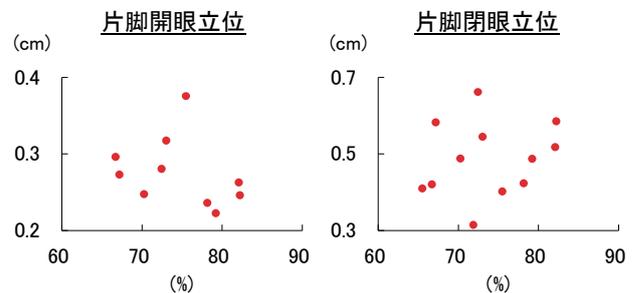


図 7 前方 COP 最大値-COP 実効値(左右方向)
(片脚開眼立位タスク、片脚閉眼立位タスク)

■今後の展望

本研究で用いた足底内在筋の筋電図計測について今後さらなる改善が求められ、中でも正規化方法の問題が挙げられる。個人差の影響を無くす方法として一般化されている最大随意収縮時の筋電位による正規化を本研究においても行ったが、これを正常行うことが出来なかった。この原因には最大随意収縮時に教示した筋の動きを適切に行うことが出来なかったことが考えられ、これは巧緻性の低い足趾の筋特有の問題であると思われる。筋の動かしやすさ、筋発揮のしやすさが個人間で一樣になるような動作を検討するといった対策が、今後の課題である。

また、本研究で行った足底内在筋の筋活動と COP の関連性の検討は、すべて個人間によるものであった。今後は個人内でのより精細な姿勢制御方法、あるいは足趾機能の関与の個人差を理解するために、姿勢制御動作中における筋活動や COP 等の指標の時系列による関連性を分析し追究していくことが求められる。

■まとめ

本研究では、足底内在筋の表面筋電図の同時測定により種々の立位姿勢制御動作における筋活動と COP 指標との関連性を検討した。その結果、足底内在筋の筋活動は姿勢が安定している状況下よりも不安定な状況において、前方および内側での姿勢調節機能として関与していることが考えられた。またこれらから立位での足趾機能は、安定した姿勢の保持というよりは、安定性が逸脱した際のバランスの回復として、姿勢制御に対し作用することが示唆された。

■参考文献

- 1) 半田ら: 足趾把握筋力の測定と立位姿勢調整に及ぼす影響の研究, 人間工学, 40(3), 139-147, 2004
- 2) Cumming et al.: A hypothesis: the causes of hip fractures, J of Gerontology: MEDICAL SCIENCE, 44(4), M107-M111, 1989
- 3) 木藤ら: 高齢者の転倒予防としての足指トレーニングの効果, 理学療法科学
- 4) 長谷: 立位姿勢の制御: リハビリテーション医学, 43, 542-553, 2006
- 5) 原田: 温度と振動による皮膚感覚刺激が力制御に与える影響, 千葉大学大学院修士論文 2010
- 6) 藤原ら: 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与, 人類誌, 90(4), 385-400, 1982
- 7) 加辺ら: 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究, 理学療法科学, 17(3), 199-204, 2002
- 8) 三谷ら: 足趾把握力が姿勢制御能力に及ぼす影響, 大阪大学紀要, 37, 41-49, 2006