

研究報告

ファンクショナルリーチテスト動作中における 重心動揺と下腿の筋活動の関係

山口 瑞生¹⁾・桜井 伸二²⁾

Relationship Between Lower Extremity Muscle Activity and Body Sway During Functional Reach Test

Mizuki YAMAGUCHI, Shinji SAKURAI

I 緒言

バランス能力は様々なスポーツにおいて優れたパフォーマンスの発揮や傷害の予防に重要な役割を果たす。また、スポーツに限らず日常生活においても特に高齢者の転倒予防において不可欠な能力である。したがって、身体のバランスをどのようにして保持しているのかという姿勢制御メカニズムの研究は社会的に大きな意義を持つ。

バランス能力は一般に「静的バランス」と「動的バランス」に分類される。静的バランスは静止姿勢で身体の平衡を維持する能力、動的バランスは運動課題を遂行している間のバランスを維持する能力とされる¹⁾。

バランス能力に関するこれまでの研究では静的バランスに焦点を当てたものが多い。これらの研究では静的バランスを評価する方法として重心動揺検査が用いられている。重心動揺検査はフォースプレートを用いて静止立位中の圧力中心位置を測定し、その軌跡長や動揺面積の大小から静的バランスを定量的に評価する方法である。しかしながら、重心動揺の測定だけでは静止立位の姿勢制御メカニズムを解明するには不十分である。Masani et. al. は重心動揺と足関

節伸筋であるヒラメ筋の筋活動との関係を相互相関関数を用いて明らかにした^{2,3)}。これにより、静止立位ではヒラメ筋が重心位置の移動に先行して活動すること、また、重心速度の変化に遅れて活動することを示し、重心の速度情報をフィードバックして姿勢を制御している可能性を示唆した。

一方、動的バランスを評価する方法としてこれまでに様々なバランステストが開発されてきた^{4,5,6)}。ファンクショナルリーチテスト⁷⁾はその一つであり広く用いられている。動的バランスに関する研究ではこれらバランステストを複数種目実施することで、テスト同士の関係を明らかにしている^{8,9)}。しかしながら、バランステストの結果だけでなく、テスト動作中の姿勢制御メカニズムにも着目した研究は少ない。スポーツや日常生活では静的バランスよりも動的バランスのほうが重要である。したがって、動的バランスの制御メカニズムを明らかにすることが求められる。

本研究では動的バランステストの一つであるファンクショナルリーチテストについて、テスト動作中における重心動揺と下腿の筋活動の関係を相互相関関数を用いて明らかにし、静止立位の場合と比較することを目的とした。

¹⁾ 中京大学大学院体育学研究科

²⁾ 中京大学スポーツ科学部

II 方法

1. 被験者

被験者は中京大学スポーツ科学部および中京大学大学院体育学研究科に所属する成人男性14名であった(年齢 23.3 ± 2.0 歳、身長 175.7 ± 5.3 cm、体重 70.8 ± 11.8 kg)。実験を開始する前に被験者に対して実験内容を説明し、書面にて実験参加の同意を得た。

2. 実験

フォースプレート(type 9281B, Kistler社)上で閉脚の静止立位(QS)、開脚の静止立位(QSW)、ファンクショナルリーチテスト(FRT)の3種目を実施した。すべての試技は裸足で実施した。QSとQSWでは被験者を開眼で40秒間静かに立たせた。FRTは本来片手でリーチング動作を行う。しかしながら、片手のリーチング動作は体幹部の回旋動作を生じさせるため、本研究では両腕によるリーチング動作を採用した。また、QSWとFRTでは両足の間隔を約30 cmとした。試技はそれぞれ3回ずつ実施した。

3. データ収集

左右の内側腓腹筋とヒラメ筋の筋腹中央部付近の皮膚に電極を貼付し、筋電計(Trigno, Delsys社)を用いて試技中の筋電図(EMG)を記録した。また、フォースプレートから圧力中心位置を得た。本研究では圧力中心位置を身体の重心位置を代表する値とみなして以降の分析に用いた。筋電計とフォースプレートは電気的に同期させた。また、サンプリング周波数は1 kHzとした。

4. データ分析

EMGデータをバンドパスフィルター(20-450Hz)にかけた後、全波整流した。整流したEMGデータと圧力中心位置データを4次のバターワース型ローパスフィルター(遮断周波数:4 Hz)にかけて平滑化した。さらに、EMGデータは左右で合算した。

QSおよびQSWでは記録した40秒間のデータ

のうち中央の8秒間を分析範囲とした。前後方向に関する重心位置と重心速度を算出した。重心動揺と下腿の筋活動の関係を表す指標として重心位置または重心速度に対するEMGの相互相関関数を算出した。相互相関関数は3試技でアンサンブル平均をとり、そのピークにおける相関係数(CC)と時間ずれ(TS)を求めた。なお、重心位置または重心速度に対してEMGの位相が遅れる場合をTS: 正とした。ファンクショナルリーチテストについても同様にして重心位置と重心速度に対する相互相関関数を算出し、CCとTSをそれぞれ求めた。

5. 統計処理

対応のあるt検定を用いてCCとTSの間に種目間の差があるか否かをそれぞれ調べた。有意水準は5%とした。ただし、Bonferroni法によって有意確率を調整した。

6. 相互相関関数

本研究では以下の式を用いて、関数Yに対する関数Xの相互相関関数 $R_{XY}(\tau)$ を算出した。

$$R_{XY}(\tau) = \frac{C_{XY}(\tau)}{\sqrt{C_{XX}(0)} \sqrt{C_{YY}(0)}}$$

$$C_{XY}(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1-\tau} X[i]Y[i-\tau] & (\tau < 0) \\ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1-\tau} X[i+\tau]Y[i] & (0 \leq \tau) \end{cases}$$

ここで、XとYはデータ数N、平均値0の時系列データであり、それぞれEMGデータと重心位置、重心速度データが相当する。

III 結果

図1に重心位置または重心速度に対するヒラメ筋EMGの相互相関関数の例を示す。それぞれの相互相関関数においてTS=0に最も近いピークにおけるCCとTSを求めた。CCとTSについてQSとQSWの有意差はほとんど認められ

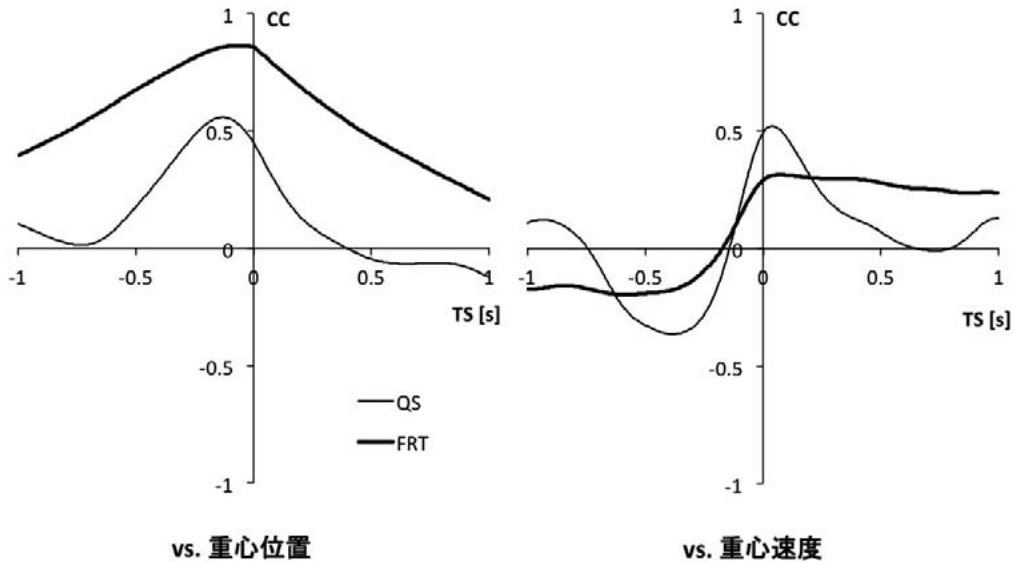


図1 重心位置または重心速度に対するヒラメ筋 EMG の相互相関関数の例
 左：重心位置との相互相関関数、右：重心速度との相互相関関数、
 細線：静止立位 (QS)、太線：ファンクショナルリーチテスト (FRT)、
 縦軸：相関係数 (CC)、横軸：時間ずれ (TS) [s]、
 TS=0 に最も近い関数のピークにおける CC と TS を求めた。

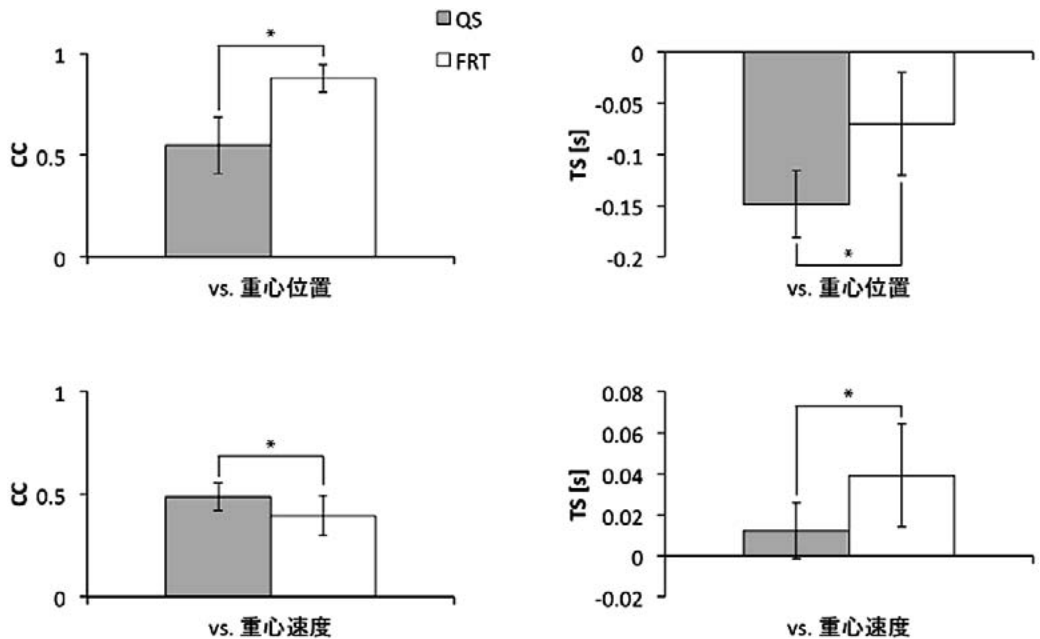


図2 重心位置・速度とヒラメ筋 EMG との相互相関関数における相関係数と時間ずれ
 上段：重心位置との相互相関関数、下段：重心速度との相互相関関数、
 左列：相関係数のピークにおける相関係数 (CC)、右列：時間ずれ (TS)
 t 検定の結果：すべて QS と FRT の間に有意差が認められた ($p < 0.05$)

なかった。有意差が認められたのはヒラメ筋 EMG と重心速度の相互相関関数から求めた CC ($p=0.001$) と TS ($p=0.048$) のみであった。したがって、以降では QS と FRT の結果についてのみ述べる。

図2に重心位置または重心速度に対するヒラメ筋 EMG の相互相関関数から求めた CC と TS を示す。QS と FRT の両方において CC は正の値を示した。また、TS は、重心位置を用いた場合は負の値であった。これは、重心位置の変化に先行してヒラメ筋が活動したことを示す。一方、重心速度を用いた場合は正の値であった。これは、重心速度の変化に遅れてヒラメ筋が活動したことを示す。

CC と TS について QS と FRT との間に有意差が認められた。重心位置を用いた場合、FRT の方が QS と比べて CC が大きく、TS はより 0 に近い値であった。一方、重心速度を用いた場合は、FRT の方が QS と比べて CC が小さく、TS はより 0 から離れた値であった。

内側腓腹筋においてもヒラメ筋と同様の結果が得られた。ただし、重心速度に対する相互相関関数における CC に関してのみ QS と FRT との間に有意差が認められなかった ($p=0.586$)。

IV 考察

本研究により、FRT 動作中において下腿の筋が重心位置の変化に先行して活動すること、さらに、重心速度の変化に遅れて活動することが明らかになった。

Masani et. al. は静止立位においてヒラメ筋の筋活動が前後方向に関する重心位置の移動に先行して発揮されること、また、重心速度の変化に遅れて発揮されることを示した^{2,3)}。本研究における QS も同様の傾向を示した。さらに、FRT においても下腿の筋活動パターンが QS と同様の傾向であった。これは、FRT では上腕から上肢にかけて大きなリーチング動作を伴うが、下肢の動作は小さく QS と似た動作をするためと考えられる。

重心位置を用いた相互相関関数から算出した

TS について、FRT では内側腓腹筋およびヒラメ筋ともに多くの被験者で値が 0 を示した。また、CC は QS の場合を大きく上回った。これは、FRT における重心位置の振幅 (± 50 mm) が QS (± 5 mm) と比べて大きいことが影響していると考えられる。重心位置と筋電図の高周波成分が位相のずれた時点で一致していたとしても、振幅の大きな低周波成分のわずかな位相ずれが $TS \neq 0$ の時点において CC を大きく引き下げているのかもしれない。そのため、FRT では低周波成分を取り除いたうえで EMG との相互相関関数を算出することも必要と考えられる。

一方、重心速度を用いた相互相関関数は FRT においても内側腓腹筋およびヒラメ筋ともに $TS = 0$ の付近で最初のピークを迎えた。CC と TS の正負は QS のものと一致していた。したがって、FRT では QS と共通する姿勢制御メカニズムが働いていると考えられる。しかしながら、FRT と QS との間に CC と TS の大きさに有意な差が認められた。この点で FRT は QS と異なる姿勢制御メカニズムが働いているのかもしれない。今後、重心の位置や速度だけでなく地面反力や運動学的なデータもあわせたより詳細な分析をすることで、FRT 動作中の姿勢制御メカニズムを明らかにしていくことが必要であろう。それにより、動的バランスの制御メカニズムの解明につながる事が期待される。

本研究は、中京大学特定研究助成 (1211207) を得て行われた。

参考文献

- 1) Nicks D.C., Fleishman E.A., What do physical fitness tests measure? – A review of factor analytic studies. Educational and Psychological Measurement, 22: 77-95, 1962.
- 2) Masani K., Popovic M.R., Nakazawa K., Kouzaki M., Nozaki D., Importance of body sway velocity information in controlling ankle extensor activities during quiet stance. Journal of Neurophysiology, 90: 3774-3782, 2003.
- 3) Masani K., Vette A.H., Abe M.O., Nakazawa K.,

- Popovic M.R.: Smaller sway size during quiet standing is associated with longer preceding time of motor command to body sway. *Gait & Posture*, 33: 14-17, 2011.
- 4) Kirkendall D., Gruber J., Johnson R.: Measurements and evaluation for physical educators. 251-254, Champaign, IL, Human Kinetics, 1987.
- 5) 松浦義行：現代の体育・スポーツ科学 体力測定法, 第1版. 190-191, 朝倉書店, 東京, 1993.
- 6) 北畑恵理, 國峯明子, 見目澄子, 鈴木麻里子, 野田麻子, 丸山仁司：動的バランス評価としての平均台歩行テスト. 理学療法科学, 18 : 83-88, 2003.
- 7) Duncan P.W., Weiner D.K., Chandler J., Studenski S.: Functional reach: a new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology, Medical Sciences*, 45: M192-197, 1990.
- 8) Bressel E., Yonker J.C., Kras J., Heath E.M.: Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes. *Journal of Athletic Training*, 42: 42-46, 2007.
- 9) Tsigilis N., Zachopoulou E., Mavridis TH.: Evaluation of the specificity of selected dynamic balance tests. *Perceptual and Motor Skills*, 92: 823-833, 2001.