

論文の内容の要旨

論文題目 足趾屈曲機能と足圧中心位置に関する研究

氏名 大竹祐子

【背景】

足部は立位時唯一床面と接し、身体の支持やバランス保持・力の伝達・衝撃吸収などさまざまな働きをもつ。中でも足趾は足部の中で唯一分節的に動くことが可能で、立位や動作の安定性にかかわる重要な部分といわれている。足趾は、体重の移動、つまり足趾を床面に接地して、前方へ支持基底面を広げ足圧中心（以下、COP）を移動させるときに働く。姿勢制御に関する足趾の役割は大きい。

COPは、姿勢制御における運動力学的な指標のひとつであり、姿勢や運動の分析に広く用いられている。立位姿勢の安定性やバランス機能は、年齢とともに低下することが報告されており、それにより転倒の危険性が増すといわれている。姿勢制御において、足趾は、COP位置をコントロールし、特に前後方向の安定性に大きく関わっている。足趾に機能不全があると身体バランスの不安定を引き起こすことが報告されており、足趾筋力の低下・足趾変形により、転倒の危険性が高くなる。足趾の機能として最も用いられている指標は足趾屈曲筋力であり、関連する先行研究は様々あるが、これらのほとんどは動作を足趾全体または身体全体からの視点で捉えており、実際の筋の働きや足趾の個別性については考慮していない。さらに、足趾の関節（中足趾節間関節：以下、MP関節・趾節間関節：以

下、IP 関節) の運動学的な分析や動作と筋の作用との関係について検討した研究はほとんどない。そこで我々は、動作中の足趾屈曲筋の動態、作用を知り、体重移動動作との関連を明らかにすることを目的に本研究を行った。

【実験 1】

実験 1 では立位における体重前方移動動作の背側骨間筋の動態を観察するために、健康な若年成人 20 名を対象とし、静止立位時と体重前方移動時の、COP 位置と第 1 背側骨間筋筋厚を測定した。圧分圧計測システム PDM (Zebris Medical GmbH 社) の上に骨盤幅の開足位で立ち、「踵を挙げずにできるだけ足の前のほうに体重をかけて戻ってきてください」との口頭指示のもと、立位時・動作時の COP 位置を求めた。同時に超音波診断装置 Mylab Five (ESAOTE 社) を用いて第 1 背側骨間筋の筋厚を計測した。静止立位時の COP と最大体重前方移動時の COP が足長のうち踵の後縁から何%にあたるかを求めた (以下、それぞれ static COP・max COP とする)。また静止立位時・最大体重前方移動時・COP 位置が 45%・50%・55%・60%・65%・70%・75%時の背側骨間筋筋厚を算出した。統計は、static COP と max COP の関係、COP 位置と筋厚の関係について、ピアソンの相関係数を用いた。また動作中の背側骨間筋の筋厚の変化について、繰り返しのある分散分析を行い、その後 Tukey 法を用いて検討した。どちらも、有意水準 5%未満として検定した。

結果、static COPは $43.8 \pm 7.2\%$ 、max COPは $83.2 \pm 4.2\%$ の位置にあった。またstatic COPとmax COPの間には有意な相関があり ($r=0.558$, $p=0.011$)、static COPが足の前方にある者ほどmax COPも前方にあった。体重前方移動時の背側骨間筋筋厚は、COP位置が足長の45%~65%の間では変化がないが、45%~65%時に比べ70%時は有意に大きかった。70%・75%間には有意差はなかった。すなわち、体重前方移動動作において、COP位置が足長の70%点を超えた時、背側骨間筋が収縮した。静止立位時・最大体重前方移動時の背側骨間筋筋厚とCOP位置には有意な相関はなかった。本実験の被験者の趾長 (中足骨頭から足尖まで) は $5.8 \pm 0.6\text{cm}$ であり、足長の約24.1%であった。足長の70%点とはMP関節よりやや近位の中足骨上の点である。踵を挙げせずにCOP位置が前方へ移動していくと、足関節周りの前方への回転モーメントは大きくなる。COP位置が中足骨上にくると、前方への転倒を防ぐために足趾を接地させて前方へ支持基底面を延長させ、足関節底屈筋より足趾屈筋を優位に働かせることによって前方

への重みに耐え、バランスをとっていると考えられる。最大体重前方移動時の背側骨間筋の最大収縮時と考えると、本実験の結果は、最大体重前方移動時のCOP位置が前方であるほど足趾屈曲筋力が大きいという先行研究とは異なった。体重前方移動動作への足趾屈曲筋の関与が、他の4趾よりも母趾で大きい可能性、また、背側骨間筋より他の4筋で大きい可能性が示唆された。実験1では、COP位置の前方移動に、足趾屈曲筋である背側骨間筋の活動が関係していることが確認できた。

【実験 2】

実験 2 では、足趾屈曲動作の違いが COP 位置にどのような影響を与えるかについて調べるために、健康な若年成人 16 名を対象として三次元動作解析装置 VICON (Vicon Motion Systems 社) と床反力計 (Kistler 社・AMTI 社) を使用し、静止立位時・体重前方移動時の COP 位置と足趾屈曲動作を計測した。実験 1 と同様の前方体重移動動作を 40 拍/分 (ゆっくり)・60 拍/分 (ふつう)・80 拍/分 (速い) の 3 種類の速さで行い、static COP, max COP, 前足部分の床反力前後成分・垂直成分のピーク値を算出した。次にベッド上長座位にて足関節底屈位を保持し、IP 関節をできる限り伸展したまま、MP 関節を屈曲させる課題を行った。解析ソフト Vicon Body Builder を用いて、貼付したマーカーの座標から、実際の MP 関節中心位置 (Real Metatarsophalangeal Joint, 以下, RMP) を計算して求めた。そのあと各マーカーの三次元座標を矢状面に投影したうえで、RMP を中心とした TOE の可動範囲を求めそれを足趾屈曲角度とした。屈曲開始時の RMP-TOE 距離を一定の半径とする円弧、つまり、課題の動作が遂行できたと仮定する理想的な円弧と、実際の軌跡との差の距離を求め、1 試行中 100 個分のデータの和を角度で除したものを IP 関節伸展値 (以下, IPE 値) とした。static COP・各 max COP と床反力前後成分・垂直成分、足趾屈曲角度・IPE 値との関係について、ピアソンの相関係数を用い、有意水準 5% 未満として検定を行った。

結果、COP 位置と床反力成分について、40 拍/分 (ゆっくり)・60 拍/分 (普通) の速さでの max COP と床反力前後成分ピーク値には有意な相関があった (それぞれ $r=0.552/p=0.027$, $r=0.504/p=0.047$)。COP 位置と足趾屈曲角度・IPE 値について、static COP は足趾屈曲角度と有意に相関した ($r=0.504$, $p=0.046$)。また IPE 値とも有意に相関した ($r=-0.559$, $p=0.024$)。60 拍/分 (普通) の速さでの max COP は、足趾屈曲角度と相関した ($r=0.510$, $p=0.044$)。床反力成分と足趾屈曲角度・IPE 値については、40 拍/分 (ゆ

つくり)の速さでの床反力前後成分ピーク値と足趾屈曲角度に有意な相関があった($r=0.532$, $p=0.034$).

足趾屈曲角度・max COP・床反力前後成分が関連するのは、体重前方移動時趾先で床を強く押すことによって COP 位置が支持基底面から逸脱しないようにブレーキをかけるという作用のためであると考えられる。IPE 値が小さい者、すなわち足趾屈曲動作時、より IP 関節を伸展できる者は、static COP が前方にあった。立位において、後方重心であると、足趾把持力の低下・バランス能力の低下がみられたという報告があるように、立位時の COP 位置は前方であるほうが好ましい。static COP が前方にあると、支持性と安定性が確保されるだけでなく、動的バランスにも影響すると予想される。よって本実験の結果より、静止立位の COP 位置に大きく寄与するのは、IP 関節伸展位での足趾屈曲に働く、足内在筋の背側骨間筋・底側骨間筋・虫様筋であり、その働きが重要であると言える。さらに先行研究および本実験の結果より、静止立位には筋力のような量的な要因よりも IPE 値のような質的な要因が必要であることが示唆された。

【まとめ】

足趾の機能についての研究は理学療法の場合に限らず、あらゆる方面で非常に意義のあるものであると考える。足趾の機能がさらに明らかになれば、足趾のみのトレーニングによる下肢能力の向上も期待できる。誰でも簡単にできる足趾トレーニングを開発し普及することで、健康な高齢化社会が見込める。スポーツの現場においても、動作の安定性を増すことによりパフォーマンスが向上するだけでなく、選択的で効率的なより高度な技術の習得につながれると考える。

実験 1 では、立位での体重前方移動時の背側骨間筋の筋厚の動態を観察した。体重前方移動時、COP 位置が足長の 70%に移動すると 45%~65%時に比べて有意に大きくなった。このことより、前方体重移動動作への足趾屈曲筋の関与が確認できた。実験 2 では静止立位時・体重前方移動時の COP 位置と足趾屈曲動作について調べた。static COP は足趾屈曲角度・IPE 値と相関し、40max COP は足趾屈曲角度・40 拍/分時の床反力前後成分ピーク値と、60max COP は 60 拍/分時の床反力前後成分ピーク値と有意に相関した。足趾の機能として、静止立位時に必要なのは足趾の屈曲可動性と、足内在筋である骨間筋・虫様筋の働きであり、動作時に必要なのは足趾屈曲可動性と足趾で床を押して出す後ろ向きの力であることが分かった。