

論文内容要旨

Impact of pronated foot on energetic behavior
and efficiency during walking

(回内足が歩行中のエネルギー動態と効率に及ぼす影響)

Gait & Posture, 107:23-27,2023.

主指導教員：高橋 真教授

(医系科学研究科 生体運動・動作解析学)

副指導教員：浦川 将教授

(医系科学研究科 運動器機能医科学)

副指導教員：田中 亮教授

(人間社会科学研究科 人文社会科学専攻)

川上 航

(医系科学研究科 博士課程後期総合健康科学専攻)

ヒトの歩行は身体重心（Center of Mass : COM）に作用する力学的な正と負の仕事によって達成される。一定の速度下での歩行では、負の仕事は同等の正の仕事で補われ、正味の仕事はゼロに近い値をとることがわかっている。したがって、効率的な歩行には負の仕事の増大による運動エネルギーの損失と能動的な正の仕事を減らすことが重要である。

弾性エネルギーは能動的な正の仕事への要求を減少させ、歩行の効率化に重要な役割を担っている。特に、足部内側縦アーチを構成する主要な関節である横足根関節は、立脚期中にバネのように振舞うことで歩行効率に重要な役割を担うことがわかっており（spring like function）、荷重に伴う足底腱膜の伸縮による受動的な要素と足底内在筋の活動による能動的な要素が関与することが報告されている。

一方、回内足を有する者では、足底内在筋と足底腱膜の断面積と厚さが正常足と比較して小さいことが示されており、回内足における足底構造の変化は横足根関節の spring like function に影響を及ぼし足部におけるエネルギー損失を増加させる可能性がある。本研究では、回内足を有する者では 1) 横足根関節の spring like function が低下することにより足部でのエネルギー損失が増加し、代償的に 2) 近位下肢関節での能動的な仕事が増加することで、3) 歩行効率が低下すると仮説を立て、回内足と正常足の歩行中の足部および近位下肢関節のエネルギー動態について調査することを目的として実施した。

対象者は健常若年者 21 人であった。足部形状を Foot Posture Index にて評価し、正常足群 10 人、回内足群 11 人に群分けした。被験者は約 10m の歩行路を快適速度で歩行する課題を行った。足部内関節に加わる力を解析するために、後足部と前足部が別々の床反力計（TF-400-A、テック技販社製）に接地した試行を採用した。運動学データは、3次元動作解析システム Vicon MX（Vicon Motion Systems 社製）を用いて被験者の身体各標点に貼付した赤外線反射マーカの動きを計測することで取得し、運動力学データは床反力計により取得した。取得した赤外線反射マーカの位置座標から解析ソフトウェア Nexus 2.1.1（Vicon Motion Systems 社製）を用いて、身体 13 セグメントの剛体リングモデルを構成した。解析範囲は、初期接地から離地までとし、床反力鉛直方向成分 20N を閾値として採用した。解析は、股関節、膝関節、足関節、横足根関節パワー、後足部および前足部より遠位の構造体における総パワー、COM パワーを算出した。関節パワーは 6 自由度の総パワーとして算出し、後足部および前足部より遠位の構造体における総パワーは、遠位の構造体を変形可能なセグメントとして定義することで算出した。さらに、COM パワーは床反力ベクトルと COM 速度の内積にて全身の総パワーとして算出した。それぞれのパワーは立脚期で時間積分し、正、負、正味の仕事を変数として用いた。統計学的解析には EZR 1.54 を用い、各変数に対して差の検定を行った。有意水準は 5% とした。

横足根関節および股関節、膝関節の仕事は正常足群、回内足群の 2 群間に有意差を認めなかった。一方で、回内足群では後足部および前足部より遠位の負の仕事は正常足群と比較して有意に高値を示した。さらに、回内足群では足関節における正の仕事および正味の仕事が正常足群と比較して有意に低値を示し、COM における正の仕事は有意に低値を示した。

結果より、回内足群において後足部より遠位の負の仕事は正常足群と比較して有意に高値を

示したことから、回内足を有する者では足部においてエネルギー損失が増大していることが示された。しかし、横足根関節の仕事は群間に有意差を認めず、仮説に反して回内足を有する者は正常足と同程度の **spring like function** を利用していることが明らかとなった。回内足群では、前足部より遠位の負の仕事が正常足群と比較して有意に高値を示しており、回内足を有する者では中足趾節関節から横足根関節に伝達するエネルギーを増大させることによって横足根関節の **spring like function** を保ち、結果として足部全体におけるエネルギー損失が増大していると考えられた。

さらに、近位下肢関節での能動的な仕事が増加するという仮説に反して、回内足群では足関節における正の仕事と正味の仕事が正常足群と比較して有意に低値を示した。足関節は足部と構造的および機能的な連結を有することが分かっており、足部内におけるエネルギー損失の増大が足関節における正の仕事の減少に影響を及ぼしたと考えられる。足関節の正の仕事は、主にプッシュオフ時に発揮され、COMを前方に加速させることに貢献することが知られている。回内足群では、COMにおける正の仕事が正常足群と比較して有意に低値を示しており、これには足関節の正の仕事の減少が関連している可能性が高い。これらのことから、回内足を有する者では、一定の速度下での歩行においても能動的な仕事によって足部におけるエネルギーの損失を補うことができず、歩行効率が低下している可能性が示唆された。