

論文審査の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（保健学）	氏名	川上 航
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1・2 項該当		
論文題目 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)			
論文審査担当者			
主査	教授	藤田 直人	印
審査委員	教授	浦邊 幸夫	
審査委員	准教授	宮崎 充功	
〔論文審査の結果の要旨〕			
<p>ヒトの歩行は身体重心（Center of Mass：COM）に作用する正と負の仕事によって達成される。定常歩行では、運動方向と逆向きに作用する負の仕事は運動方向に作用する同等の正の仕事で補われる。したがって、歩行の効率化には負の仕事による運動エネルギーの損失とそれを補う正の仕事による運動エネルギーの産出を減少させることが求められる。</p> <p>運動エネルギーの産出を減少させる機能のひとつに弾性エネルギーの蓄積・利用があり、歩行効率化の一端を担う。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、立脚期中の負の仕事により弾性エネルギーを蓄積し、蹴り出し時にそのエネルギーを利用することで正の仕事を行い、必要となる運動エネルギーの一部を補完する。この作用には足底腱膜の伸張や足底内在筋の活動が関与することが明らかにされている。</p> <p>一方、回内足を有する者では、足底腱膜と足底内在筋の横断面積と厚さが正常足と比較して小さいことや、回内が重度であるほど歩行速度や歩幅が減少することが分かっており、横足根関節で弾性エネルギーの利用が低下することによって正の仕事が低下している可能性がある。このような足部のエネルギー効率低下に対して、歩行速度を落とさないためには、横足根関節以外の関節で運動エネルギーの産出を増大させる必要があり、それに伴い歩行効率が低下すると考えられる。そこで、本研究では回内足を有する者では、1) 横足根関節で弾性エネルギーの利用が低下することにより正の仕事が低下し、2) 横足根関節以外の関節の正の仕事による運動エネルギーの産出が増大することで、3) 歩行効率が低下する、と仮説を立て、これらの仮説を検証した。</p> <p>対象者は健常若年者 21 名であった。足部形状を Foot Posture Index にて評価し、正常足群 10 名、回内足群 11 名に群分けした。課題動作は快適速度での歩行を採用した。横足根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），運動力学データは床反力計により取得し，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。解析区間は，初期接地からつま先離地までとした。解析は，股関節，膝関節，足関節，横足根関節パワーを関節の並進運動を加味した総パワーとして 6 自由度関節パワー分析法を用いて算出した。また，Unified deformable segment analysis を用いて，中足趾節関節パワーの指標として前足部より遠位の構造体の総パワー</p>			

を、足部のエネルギー効率の指標として後足部より遠位の構造体の総パワーを算出した。さらに、歩行効率の指標として COM に作用するパワーを床反力ベクトルと COM 速度の内積にて算出した。それぞれのパワーは立脚期で時間積分し、正と負の仕事量、正と負の仕事の和である正味の仕事をそれぞれ変数として用いた。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、膝関節の仕事量は群間に有意差を認めなかった。一方で、前足部より遠位の構造体の正味の仕事量は回内足群において負方向に有意に高値を示した ($p < 0.05$)。さらに、後足部より遠位の構造体の負の仕事量は回内足群で有意に高値を示し ($p < 0.01$)、正味の仕事量は負方向に有意に高値を示した ($p < 0.05$)。また、回内足群では足関節の正の仕事量が有意に低値を示し ($p < 0.05$)、正味の仕事量は正方向に有意に低値を示した ($p < 0.05$)。COM の正の仕事量は回内足群で有意に低値を示した ($p < 0.05$)。

結果より、仮説に反して横足根関節の正の仕事は群間に差を認めなかったが、回内足群では中足趾節関節の仕事を反映する前足部より遠位の構造体の正味の仕事量が負方向に高値を示した。中足趾節関節の負の仕事は横足根関節の正の仕事に変換されることを考慮すると、回内足群では中足趾節関節の負の仕事を増大させることで、横足根関節の弾性エネルギー利用の低下を補い、結果的に横足根関節の正の仕事量が正常足群と同程度であったと考えられる。一方、回内足群では後足部より遠位の構造体の負の仕事は高値を示しており、中足趾節関節の負の仕事が増大した結果、足部のエネルギー効率が低下したことが示唆された。

さらに、横足根関節以外の関節で正の仕事による運動エネルギー産出が増大するという仮説に反して、回内足群では他の関節の正の仕事量の増大は認めず、逆に足関節の正の仕事量と正方向の正味の仕事量が低下していた。足関節は足部と構造および機能的な連結を有しており、足部のエネルギー効率の低下が足関節の正の仕事の低下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蹴り出し時に観察され、足関節底屈による運動エネルギーの産出に大きく貢献する。したがって、回内足群における COM の正の仕事量の低下には足関節の正の仕事量の低下が関連していると考えられる。

以上のことから、回内足を有する者では横足根関節の弾性エネルギー利用の低下を中足趾節関節の負の仕事を増大させることで補うがその反面、足部のエネルギー効率の低下に繋がり、足関節による運動エネルギー産出を低下させ、歩行効率に影響を及ぼすという新たな知見を得た。このことは、回内足を有する者の歩行効率を改善させる方法を検討するための有益な情報を提供しており、保健学の発展に資するものとして高く評価される。よって審査委員会全員は、本論文が著者に博士（保健学）の学位を授与するのに十分な価値があるものと認めた。