

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	足部可動性と動作時の足部運動学・運動力学的動態の関連
Title(English)	
著者(和文)	江沢侑也
Author(English)	Yuya Ezawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第344号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:丸山 剛生,佐久間 邦弘,駒田 陽子,室田 真男,高橋 将記,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第344号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	江沢 侑也		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	丸山 剛生	准教授		高橋 将記	准教授
	審査員	佐久間 邦弘	教授	審査員	宮崎 祐介	准教授
		駒田 陽子	教授			
室田 真男		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「足部可動性と動作時の足部運動学・運動力学的動態の関連」と題し、全 5 章で構成されている。

第 1 章「緒言」では、下肢オーバーユース障害の特徴および社会的問題と、足部の基本的な解剖学・運動学、足部の機能、足部形態と足部可動性の評価方法、足部の運動学ならびに運動力学的動態に関する総論および過去の研究について概説している。下肢オーバーユース障害のリスク因子に足部形態が挙げられる。これは、足部形態に応じて足部運動が特異的な運動パターンを示すためと考えられているが、一貫した見解は得られていない。この理由として、足部の機能である衝撃の吸収と推進力の伝達には、足部形態ではなく足部可動性が重要な役割を担っている可能性が考えられるが、足部可動性と足部運動学・運動力学的動態の関連が検討されていないことを指摘している。研究的課題として、1) 足部の可動性と動作時の足部運動の関連が十分に検討されていないこと、2) 足部の剛性（硬さ）が定量的に評価されていないこと、3) 動作時の足部運動力学的動態が十分に検討されていないことを言及している。本論文の目的として、足部形態および足部可動性評価の意義を高め、下肢オーバーユース障害の予防とリハビリテーションの科学的根拠に貢献することを掲げ、各章で取り組む研究目的を提示している。

第 2 章「内側縦アーチ高ならびに足部柔軟性と足部運動の関連」は 2 つの項目で構成される。

2.1 項は歩行動作を対象とした研究を実施している。本項の背景では、歩行動作における足部機能を考慮した足部運動学的動態の解析が十分に実施されていないこと、また、足部運動と足部柔軟性の関連が検討されていないことが課題として指摘している。本研究では、健康女性を対象とし、従来の足部形態および足部柔軟性評価を実施した上で、3 次元動作解析装置を用いて歩行動作時の足部運動学的動態を計測し、足部評価と足部運動の関連を検討している。結果では、立脚初期においては足部柔軟性が衝撃吸収に寄与する足部運動と関連し、立脚後期においては足部柔軟性が推進力伝達に寄与する足部運動と関連することを示しており、歩行動作における足部動態の予測には足部柔軟性の評価が重要であることを示唆している。

2.2 項では両脚着地動作を対象とした研究を実施している。本項の背景では、着地動作はスポーツ活動において頻繁に行われ、大きな衝撃力を伴う重要な動作であるにもかかわらず、足部の運動学的動態の解析が十分に実施されていない点を課題として指摘している。本研究では、健康成人を対象に足部形態および足部柔軟性の評価を実施し、両脚着地動作における足部運動との関連を検討している。結果では、足部形態および足部柔軟性が挙動の異なる足部運動と関連することを示しており、足部の形態と柔軟性は個別に評価する必要性を示唆している。しかし、いずれの指標も足部運動との相関が弱く、着地動作時の足部運動を予測するには限界があることも明示している。

第 3 章「足部ねじれ剛性の評価方法の検証と、性差ならびに足部形態との関連の検討」では、本章の背景として、下肢オーバーユース障害における特徴の一つに前額面における足部運動の増大が挙げられるが、前額面における足部の可動性を定量的に評価する方法が確立されていない課題を指摘している。この課題に対し、前額面における足部のねじれ剛性を反映する新たな評価方法を考案している。この評価方法では、3 次元動作解析装置と抵抗トルク計を使用して前額面他動運動における後足部に対する前足部の角度と抵抗トルクの変化を計測している。足部ねじれ剛性は、後足部に対する前足部の単位角度あたりの抵抗トルク変化率として定義している。本研究では、足部ねじれ剛性の計測信頼性および妥当性を検証し、さらに他動運動速度の違いによる影響についても検討している。また、健康成人を対象とし、足部ねじれ剛性の性差および足部形態との関連を分析している。結果として、女性の足部ねじれ剛性が男性より有意に低値を示したが、両性別において足部ねじれ剛性と足部形態との関連が認められなかったことを報告している。これらの結果から、足部

形態と足部ねじれ剛性は異なる力学特性を反映しており、それぞれ独立して評価する必要性を示唆している。

第4章「足部ねじれ剛性と足部運動学・運動力学的動態の関連」は2つの項目で構成される。

4.1項は歩行動作および両脚着地動作における足部運動と第3章において考案された足部ねじれ剛性との関連を検討している。結果として、歩行動作ではねじれ剛性が低い足部において前額面運動の増大が認められている。一方で、着地動作では足部ねじれ剛性と足部運動の間に明確な関連は認められなかったことから、よりダイナミックな動作では足部の力学特性が足部運動に与える影響は小さいくなる可能性を示唆している。

4.2項は歩行動作および両脚着地動作における足部運動力学的動態と足部ねじれ剛性との関連を検討している。運動力学的動態の解析には多くのパラメータが必要であるため、過去の下肢の運動力学的動態の解析は足部内運動を無視して実施されることが多かった現状を指摘している。本研究ではこの問題点を解決し、足部における関節モーメント、関節パワー、関節の仕事を算出している。足部ねじれ剛性と足部運動力学的動態の関連の結果として、高い足部ねじれ剛性がエネルギー生成、エネルギー吸収を効率的に行うためには重要であることを報告している。

第5章「総括論議ならびに結論」では、本論文で検証された足部可動性が動作時の足部運動と足部運動力学的動態に与える影響について要約している。1) 足部の形態、可動性、力学特性はそれぞれ独立して足部運動に影響を与える要因であるため、個別に評価する必要性があること、2) 動作時の足部動態を推測するためには足部可動性を評価する必要性があること、3) 高い足部ねじれ剛性は足部におけるエネルギーの生成と吸収に有利に作用することを明らかにした。

以上を要するに、本論文は足部の機能において重要と考えられる足部可動性を主なテーマとし、動作時の足部運動と運動力学的動態との関連性を検討している。歩行動作と着地動作における挙動の異なる足部運動に対して足部可動性が寄与していることを実証した。足部の力学特性の定量的評価方法を検証したこと、足部内運動の運動力学的動態と足部ねじれ剛性との関係を解析したことは新規性が高い。研究成果は、足部のバイオメカニクス研究およびリハビリテーション分野において大きく貢献することが考えられ、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値があることが認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。