

氏名（本籍）	遠藤 悠介（茨城県）		
学位の種類	博士（保健医療科学）		
学位記番号	博甲第 36 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 16 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	保健医療科学研究科		
学位論文題目	脛骨後方傾斜角度と膝関節バイオメカニクスの関係		
学位審査委員			
主査	茨城県立医療大学教授	博士（保健学）	富田 和秀
副査	茨城県立医療大学教授	博士（ヒューマン・ケア科学）	堀田 和司
副査	茨城県立医療大学准教授	博士（理学療法学）	滝澤 恵美
審査員	筑波大学講師	博士（医学）	金森 章浩

論文の内容の要旨

【背景と目的】膝前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament; ACL）損傷は長期の治療期間を要する重篤なスポーツ外傷である。ACL 損傷を予防することはアスリートやスポーツ医学研究分野において極めて重要な課題であり、そのためには ACL 損傷の危険因子や受傷メカニズムを明らかにすることが必要である。ACL 損傷の解剖学的危険因子である脛骨高原に存在する脛骨後方傾斜（Posterior Tibial Slope; PTS）角度は、ACL 損傷者が大きな角度を有していることが明らかになっている。本論文の目的は ACL 損傷者で大きい PTS 角度が膝関節バイオメカニクスに及ぼす影響を明らかにすることである。

【方法】[第 1 研究] 健常者 31 名を対象に MR 画像診断装置を用い、MR 画像から内側脛骨後方傾斜（Medial Posterior Tibial Slope ;MPTS）角度、外側脛骨後方傾斜（Lateral Posterior Tibial Slope ;LPTS）角度の計測を行い、健常者の PTS 角度の特徴を性差および利き脚による影響を明らかにした。[第 2 研究] 健常者 31 名を対象に三次元動作分析装置を用いた膝関節 kinematics の計測を実施し、PTS 角度と膝関節 kinematics の関係を明らかにした。実験試技は片脚着地動作とし、膝関節屈曲伸展角度変化量、膝関節内反外反角度変化量、脛骨回旋角度変化量を算出した。膝関節 kinematics の角度変化量は、接地前 200ms から接地後 250ms までの間の最大角度から最小角度を減算したものとした。

[第 3 研究] 健常者 30 名を対象に片脚着地動作時の下肢筋活動を計測し、PTS 角度と下肢筋活動の関係を明らかにした。表面筋電図の対象筋は大腿直筋（Rectus Femoris; RF）、内側広筋（Vastus Medialis; VM）、外側広筋（Vastus Lateralis; VL）、半腱様筋（Semitendinosus; ST）、大腿二頭筋（Biceps Femoris; BF）、中殿筋（Gluteus Medius; G-med）とし、最大収縮時筋活動で正規化し、着地前と着地後の筋活動に分類し比較を行った。

【結果】[第1研究] 女性の方が男性よりも LPTS 角度が有意に大きかった。利き脚と非利き脚の PTS 角度の比較では、有意な差は認められなかった。[第2研究] 男性女性ともに MPTS 角度および LPTS 角度と脛骨回旋角度変化量の間に関連関係を認め、PTS 角度が大きいほど着地動作時の脛骨内旋角度が有意に大きかった。[第3研究] 女性の ST と LPTS 角度、BF と MPTS 角度、G-med と LPTS 角度に有意な回帰関係が確認できた。

【考察】第1研究において、女性の PTS 角度が大きかった結果は、ACL 損傷が女性に多いことが説明できる要因の一つに PTS 角度が挙げられる可能性が考えられた。また、第2研究までの結果から、大きな PTS 角度は ACL 損傷の危険因子となる可能性が考えられた。第3研究では、女性の ST と LPTS 角度、BF と MPTS 角度、G-med と LPTS 角度の間で有意な回帰関係を認めたことより、着地時のこれらの筋の高い活動を説明する変数として、PTS 角度が有力である可能性が示唆された。PTS 角度がハムストリングや中殿筋などの下肢筋活動と関係がある結果が得られたことより、これらの筋活動を修正するようなトレーニングによって、大きい PTS 角度を有する例でも ACL 損傷リスクを低減できる可能性が示唆されたものとする。今後は下肢筋活動への介入研究を含め、PTS 角度の影響を低減させる可能性を検討していく必要がある。具体的な介入方法として、ハムストリングの筋力増強による脛骨前方移動や回旋運動の抑制、中殿筋の筋力増強による股関節内旋運動の制御による膝関節アライメントの修正が考えられる。本研究では PTS 角度が膝関節バイオメカニクスに与える影響について明らかにした。しかしながら PTS 角度を計測する上では、MR 画像診断装置や X 線画像診断装置が必要となり、健常な症例へ応用することは困難である。本研究が最も寄与できるのは、ACL 損傷後の症例の医用画像を使用した場面であり、ACL 損傷の再受傷を予防する場面で、特に大きな貢献が期待できるものとする。

審査の結果の要旨

本論文の審査では、令和3年2月4日に公開の場での研究発表と質疑応答を行った後に、上記の審査員4名による協議が行われた。論文審査は、本研究科の指針に従い、創造性・新規性、専門領域との関連性、論理性、信頼性・妥当性、論文の表現力、倫理的配慮の観点から行われた。以下に、各観点に関する協議内容の要旨を述べる。

本研究ではACL損傷を引き起こす内的な危険因子の一つとして報告されている脛骨後方傾斜 (Posterior Tibial Slope; PTS) 角度に着目し、外側のPTS角度が大きい対象者では大腿骨外側顆が後方に移動することによって、脛骨回旋運動や膝関節外反運動が惹起されることで脛骨内旋運動や膝関節外反運動が増大するという作業仮説のもと実施された研究である。

第1研究では、現在明らかにされていない日本人健常者のPTS角度に対する新たな知見を示した。性別や利き脚の影響も考察され、一定の新規性を有すると評価できる。また、第2・3研究では30cmの台から利き脚による片脚着地動作課題時の運動学的解析及び筋電図学的解析により、PTS角度と脛骨回旋角度は関連性を示すことを明らかにした。さらに女性においてはPTS角度と着地時に膝関節を制御する筋群の筋活動との関連を明らかにした。これらの結果より、脛骨前方移動量や脛骨回旋運動を制御するために筋活動が増大したという考察を導き出しており、論文全体の新規性も十分評価できる。

ACL損傷リスクについて骨形態 (PTS角度) と関連付けて検討し、さらにACL損傷を防ぐための予防トレーニングも提言しており、本研究の成果は臨床的価値が高い。これらの知見は理学療法だけではなく、競技スポーツや生涯スポーツの指導者など、スポーツ障害の予防に携わる者にとって有用な知見となることが考えられる。

本博士論文では日本人健常大学生31名の62膝を対象として、MRIを用いた形態学的解析(第1研究)、ならびに片脚着地動作課題にともなう膝関節の運動学的及び筋電図学的な解析(第2・3研究)で構成されている。本論文ではアウトカムに沿って論文が構成され、非常に分かりやすい。得られた結果の解釈において、他の要因も加味した解釈が加わると、さらに考察が深まるものと思われる。

本論文の研究手段は妥当と評価された。第1研究では日本人健常者のPTS角度を導き出すためのサンプルサイズとしては大きいとは言えないが、効果量を示すことで、統計学的な解釈を補完する工夫がされていた。一方、第2・第3研究においては、得られた結果のまとめが相関係数のみに集約されており、他の統計学的手法も検討するとさらに分析が深まるものと思われる。また、片脚着地動作課題時の筋電図学的解析において、膝関節外反運動の影響も考慮されているとさらに研究の発展が期待される。

倫理面については、茨城県立医療大学倫理委員会ならびに筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行われており、適切な倫理的配慮がなされていた。

本研究は、臨床問題や過去の研究に基づき仮説を立て、測定項目を選定し適切な方法でデータ収集が行われており、博士研究として適切だと判断する。ただし、第3研究は、結果のまとめや考察が不足していた。この実験では、ACL損傷の予防法を検討するため

の筋電図学的な知見を得ようとしたものであり、最も臨床的価値の高いと評価できる。
さらにデータ提示を工夫することで、より良い研究成果が得られると思われる。

以上の論文審査結果を総括して、審査員全員の合意のもとに、本論文が博士論文として適切であることを認めた。