

論文名 : A study on stiffness of the joint capsule and collateral ligaments of the knee using ultrasound strain elastography (要約)

新潟大学大学院保健学研究科博士後期課程

氏名 Ranasinghe Rajapaksha Wasala Mudiyansele Surangika Imanthi Wadugodapitiya

本研究は、ストレイン超音波エラストグラフィ (Strain ultrasound elastography: SE) を用いて、ヒト膝の軟部組織である関節包および側副靭帯の剛性を生体内で評価する方法論を確立するとともに、膝の屈曲-伸展動作に伴う両軟部組織の剛性変化を解析することを目的としたもので、博士論文は以下の5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本論文の理解のために膝関節の解剖や力学的機能について概説するとともに、膝関節包および膝側副靭帯の力学的特性に関して検討された以前の研究について述べた。さらに、超音波エラストグラフィの種類や原理を示し、本研究で使用したSEの独自の測定手法と特徴について論ずることにより、本研究の背景、意義および目的を述べた。

第2章「Study of stiffness of the anteromedial knee joint capsule at varying knee angles using strain elastography」では、生体内における膝関節包の剛性を評価するために、SEを用いて、健常20代男性10名と女性10名に対する右膝関節包前内側部の剛性を明らかにした。対象は、健常男性10名 (平均年齢: 22.63 ± 1.02 歳, 平均BMI: 21.84 ± 2.46 kg/m²) および女性10名 (平均年齢: 21.6 ± 0.8 歳, 平均BMI: 19.40 ± 1.73 kg/m²) の右膝関節包の前内側部とし、測定肢位は膝屈曲角度 0°, 45°, 90°, 120°とした。医療用超音波診断装置の超音波リニア型プローブに音響カプラを装着し、SEによる膝関節包のストレイン・レシオ (Strain ratio: SR) を測定した。SRとはカプラのROI内のひずみに対する関節包のROI内のひずみとの比であり、関節包のSRが小さいほど剛性は高いことを示している。膝屈曲の各肢位でそれぞれ3回ずつ測定し、膝屈曲に伴うSRの変化について測定した。なお、あらかじめ膝屈曲角度0° (伸展位) における検者2名による測定を行い、検者内誤差と検者間誤差を統計的手法により算出し、本測定の信頼性が十分であることを確認した。実験結果から、膝関節包のstrain ratio値は同一被検者内の各肢位でおおよそ一定の値を示し、膝関節屈曲角度が大きくなるにつれて剛性が高くなることが明らかとなるとともに、男性よりも女性の方が関節包の剛性は低いことを示した。

第3章「Study of stiffness of the medial collateral ligament at varying knee angles using strain elastography」では、SEを用いて膝関節屈曲角度変化に伴う内側側副靭帯 (Medial collateral ligament: MCL) の剛性変化を生体内において評価することを目的とした。MCLは浅部内側側副靭帯 (superficial MCL: sMCL) と深部内側側副靭帯 (deep MCL: dMCL) の2束からなっており、dMCLは、さらに半月大腿靭帯 (Menisco-femoral ligament: MF) と半月脛骨靭帯 (Menisco-tibial ligament: MT) に分かれている。対象は健常20代の男女各10名とし、肢位は膝屈曲角度 0°, 30°, 60°, 90°, 120°とした。測定部位は右膝内側部とし、脛骨結節より 45 mm

内側方向, 膝蓋骨中心より 50 mm 内側方向とした. 本研究では, sMCL を近位部 (Proximal), 中間部 (Middle), 遠位部 (Distal), dMCL を MF と MT に分割して剛性を測定した. SE では, 超音波診断装置のリニア型プローブに音響カプラを装着し, プローブを皮膚表面から 1 秒間に 2 回程度の繰返しの圧迫力を作用させ, 靭帯の SR を測定した. 本実験では, 男性の膝屈曲角度 0° (伸展位) における検者 2 名による測定を行い, 検者内誤差と検者間誤差を統計的手法によって算出し, 本測定の信頼性をあらかじめ確かめた. その結果, 級内相関係数 ICC (1,3) および ICC (2,3) は 0.6 以上であることから, 本測定手法から得られた SR 値の信頼性は十分であると判断した. 膝関節屈曲角度の増加に伴い, sMCL の SR の値は大よそ増加し, 剛性は低くなる結果を得た. すなわち, MCL は膝伸展に伴って緊張し, 剛性が高くなることが確認された. また, 近位部は 0°~60°, 中間部は 0°, 遠位部では 0°~30° において男女間の有意差 ($p < 0.01$) が認められ, 女性の SR 値は男性より高い, すなわち, 女性の sMCL は男性と比較して剛性が低い結果が得られた. MF の SR は男女の差はほとんどみられなく, 有意差は認められなかった. 一方, MT の SR は女性の方が男性より高く, 60° ($p < 0.01$), 90° および 120° ($p < 0.05$) で有意差が認められ, 女性の MT は男性よりも剛性が低いことを明らかにした.

第 4 章「Study of stiffness of the collateral ligaments at varying knee angles using strain elastography」では, SE 法を用いて, 健常男性 18 名 (合計 36 本の靭帯) の膝屈曲角度変化に伴う内外側の側副靭帯である MCL および外側側副靭帯 (Lateral collateral ligament: LCL) の生体内における剛性変化を解析した. 測定肢位は仰臥位で膝屈曲角度 0°, 30°, 60°, 90°, 120° とした. 本研究では sMCL を近位部, 中間部, 遠位部に, dMCL は MF と MT に分割して剛性を測定した. また, LCL については, sMCL と同様に近位部, 中間部, 遠位部に分割して解析を行った. 本研究では, 膝屈曲角度 0° (伸展位) における検者 2 名による測定を行い, 検者内誤差と検者間誤差を統計的手法によって算出し, いずれの測定部位においても ICC (1, 3) および ICC (2, 3) は 0.6 以上であることから, 本測定手法から得られた SR 値の信頼性は十分であると判断した. 膝関節屈曲角度の増加に伴い, sMCL および dMCL の SR 値は大よそ増加し, 剛性は低くなる結果を得た. すなわち, MCL は膝伸展に伴って緊張し, 剛性が高くなることが確認された. また, LCL は膝屈曲から伸展過程を通して変動しながら剛性が高くなる挙動を示した. LCL は膝屈曲から伸展過程を通して, 変動しながら剛性が高くなる挙動を示すことを明らかにした.

第 5 章「Conclusions」では, 本研究で得られた結果を総括するとともに, 本研究の有用性を述べた.