

変形性膝関節症患者における動作中の膝関節回旋運動の特性

埼玉県立大学大学院,保健医療福祉学研究科,博士論文

指導教員 小栢進也

2023年3月

学籍番号2091004 喜多 俊介

変形性膝関節症(以下,膝OA)の進行に伴い発生する多様な症状はヒトの移動動作に大きく影響を及ぼし,行動範囲の制限,生活の質の低下をもたらす.超高齢社会を迎える我が国において,膝OAの発症や進行に関連する因子を解明し,遅延させることが重要である.膝関節は屈曲-伸展運動に伴い内旋-外旋運動が同時に起こる.膝OAにより,膝関節を構成する軟骨,靭帯,半月板,筋や腱,その他の軟部組織の構造的,機能的変化は,膝関節屈曲-伸展運動に伴う膝関節回旋運動を変化させる可能性がある.実際に歩行立脚期において,膝OA患者は健常者と比較して外旋位を呈することや回旋可動範囲が減少するという報告がある.これらの動作中の膝関節回旋運動の変化は,膝関節において,大腿骨と脛骨の接触位置の変化や圧縮応力の偏りをきたし,長期的な軟骨変性に関与する可能性がある.これまで,膝OAの動作中の膝関節回旋運動を研究したほとんどが健常若年者と比較しており,加齢による一般的な変化と膝OAに特徴的な構造及び機能的変化の両方の影響を反映した結果であると言える.本研究では膝OA患者と健常高齢者を比較することで,膝OA特有の構造及び機能変化による動作中の回旋可動範囲の変化を探索した.さらに,歩行のみでなく,異なる動作の膝関節伸展運動時の膝関節回旋可動範囲を計測することで,膝OAの回旋可動範囲変化の特徴を検討した.

本研究では膝関節回旋運動の計測について,光学式モーションキャプチャシステムを用いた計測を行った.その理由として,非侵襲で計測場所が制限されにくく,速い運動を広い空間で計測可能であるためである.第2章では,膝関節回旋運動のような,小さな運動を解析するために開発されたPoint Cluster Technique(以下,PCT)について解説を行った.一般的な赤外線カメラと身体に貼付した反射マーカを用いた運動解析の手法は,運動により皮膚や脂肪の動きや筋収縮による隆起により,静止時に貼付した赤外線の反射マーカが皮膚上で移動することで生じる計測誤差の影響を受ける.このような問題を解決するために,PCTでは,大腿骨及び下腿の座標系を直接計測するのではなく,大腿及び下腿に複数のマーカを貼付し,大腿と下腿にそれぞれクラスター座標系を構築する.このクラスター座標系は,各マーカに付与された重み係数により計算された重心と関節テンソルによって求められた慣性主軸によって作成される.PCTでは,この関節主軸の動きを補正することでスキンモーションエラーを低減させる.

第3章では、次の3つの計測を行い、膝OA群24名と同年代の膝関節に疼痛の既往がない健常高齢者群(以下,old群)39名を比較した。

1. 他動的な膝関節回旋可動域
2. 非荷重下での膝関節伸展運動
3. 立ち上がり動作における膝関節回旋可動範囲

他動的膝関節外旋及び内旋可動域,総可動域について,両側支柱付き短下肢装具を装着し椅子に腰掛け,回転台に取り付けた角度形を用いて,膝関節屈曲90°における他動的な回旋可動域を計測した.他動的膝関節回旋可動域の測定に関する検者内信頼性を検討するために,級内相関係数を用いて検者内信頼性を算出した.さらに,膝関節伸展運動,立ち上がり動作時の膝関節回旋可動範囲について,各動作の膝関節屈曲80°から5°までの膝関節伸展運動を80°から40°,40°から15°,15°から5°に分割した.各範囲における膝関節回旋可動範囲を算出し,対応のあるt検定を用いて膝OA群とold群の比較検討を行った.他動的な膝関節回旋可動域は膝関節外旋可動域と膝関節内旋可動域,膝関節回旋総可動域について,全て膝OA群はold群と比較して有意に小さい値であった.また,膝関節自動伸展運動,立ち上がり動作共に膝関節屈曲15°から5°において,膝OA群は内旋を示し,old群は外旋を示した.膝関節伸展運動では80°から40°の膝関節回旋可動範囲において,膝OA群が内旋,old群は外旋を示し,群間に有意な差が認められた.これまで,膝OA患者の他動的膝関節可動域は,矢状面において屈曲及び伸展可動域の減少が報告されており,他動的膝関節回旋可動範囲は膝OAにおいては不明であった.本研究の結果,膝OA群の他動的な膝関節回旋可動域は減少し,膝関節伸展運動時は荷重下と非荷重下共に膝関節伸展最終域で減少することが認められた.これらの膝OAに特徴的な変化は,膝OAによる膝関節の構造的・機能的な変化によるものと考えられる.

第4章では,膝OA患者の歩行荷重応答期(以下,LR)の膝関節内旋可動範囲について膝OA群18名とold群34名を比較することで,膝OA患者の歩行LRの膝関節内旋可動範囲の特徴を調査した.歩行中の膝関節内旋運動はPCTに沿って計算した.歩行中の関節運動は歩行周期の0%である踵接地(以下,IC)から同側下肢が再びICを迎えるまでと定義し,100%時間正規化した.膝関節内旋角度は各被験者について5歩行周期の平均値を算出し,ICから膝関節屈曲第1ピークまでの最大外旋から最大内旋の差をLRの膝関節内旋可動範囲とした.歩行LRの膝関節内旋可動範囲と関連する足部評価指標として舟状骨高,Navicular Drop Test(以下,NDT),Foot Posture Index(以下,FPI),Thigh Foot Angle(以下,TFA)を計測した.また,動作中の膝関節運動として,膝関節屈曲可動範囲,膝関節内反可動範囲,足部運動としてICにおける足部内側縦アーチ角(以下,MLA),MLA可動範囲,ICにおける足角(以下,FPA),ICにおけるFloor Heel Angle(以下,FHA),LRにおけるFHAの可動範囲を計測した.さらに,LRにおける膝関節内旋可動範囲について膝関節機能との関連性を調査するために,Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

(以下,KOOS)を用いて検討した.歩行LRの膝関節屈曲可動範囲は膝OA群が $6.9 \pm 3.7^\circ$ でありold群が $7.6 \pm 4.5^\circ$,内反可動範囲は膝OA群が $6.9 \pm 3.9^\circ$ でありold群が $7.6 \pm 4.5^\circ$,内旋可動範囲は膝OA群が $8.3 \pm 2.5^\circ$ でありold群が $8.5 \pm 3.9^\circ$ でありそれぞれ群間に有意な差は認められなかった.歩行中の膝関節角度について,膝OA群はold群と膝関節屈曲角度及び内反角度は歩行周期の0%,10%,20%,30%,40%,50%で有意な差は認められなかった.膝関節内旋角度は歩行周期の10%,20%,30%,40%, 50%で有意に膝OA群が外旋位であった.膝OA群の歩行LRの膝関節内旋可動範囲と有意に関連していた評価項目及び動作中の膝関節及び足部運動は認められなかった.old群の歩行LRの膝関節回旋可動範囲とNDTに有意な相関が認められた.old群の歩行中の膝関節内旋可動範囲と有意に関連していた評価項目はNDT($\beta = 5.48, p < 0.05$)であり,動作中の膝関節及び足部運動はICのFHA($\beta = .251, p < 0.05$)とMLAの可動範囲($\beta = 0.522, p < 0.05$)であった.膝OA群のLRにおける膝回旋可動範囲とKOOSの合計($r = 0.61, p < 0.01$)及び下位尺度である痛み($r = 0.54, p < 0.05$),日常生活($r = 0.47, p < 0.05$),生活の質($r = 0.55, p < 0.05$)は有意な正の相関が認められた.

本研究の結果は,OA変化により歩行LRにおける膝関節回旋不安定性は増大しないこと,また歩行LRにおける荷重下での回旋不安定性の増大によりメカニカルストレスが増大し,OAを加速させないことを示した.また,膝OA群がold群と比較して,歩行中の膝関節回旋角度が有意に外旋位であることを示した.また,膝関節回旋可動範囲に関連する因子として,old群では立位の足部回内及び回外アライメントが関連することが示されたのに対して,膝OA群では有意な関連は認められなかった.歩行LRにおける足部と膝回旋運動の関係性の違いは膝OAとold群の回旋運動の違いに関連している可能性が示唆された.