

変形性膝関節症患者における
膝関節伸展運動時の疼痛と歩行能力の関連性

2021

吉備国際大学大学院

保健科学研究科

保健科学専攻

D311901 秋本 剛

目次

定義，省略文字のリスト	1
序章 序論（総合）	3
第1節 研究背景	3
第1項 変形性膝関節症の疫学	3
第2項 膝 OA の病態	3
第3項 膝 OA における疼痛症状	4
第4項 膝 OA における歩行能力（特に歩行速度）	6
第5項 膝 OA における歩行周期時間の変動性	7
第2節 臨床疑問と研究目的	8
第1章 膝 OA における歩行速度と膝関節伸展運動時に発生する疼痛との関連性	10
第1節 背景	11
第2節 方法	11
第1項 対象	11
第2項 方法	12
第3節 結果	14
第4節 考察	16
第5節 結論	18
第2章 膝 OA と健常高齢者の歩行周期時間の変動係数の差異	20
第1節 背景	21
第2節 方法	21
第1項 対象	21
第2項 方法	23
第3節 結果	24
第4節 考察	26
第5節 結論	27

第 3 章 膝 OA 患者における疼痛・膝関節機能・運動学的パラメータと 歩行周期時間変動との関連性	28
第 1 節 背景	29
第 2 節 方法	29
第 1 項 対象	29
第 2 項 方法	30
第 3 節 結果	32
第 4 節 考察	34
第 5 節 結論	36
第 4 章 総合考察	37
終章 結論（総合）	39
謝辞	40
学位論文の基礎となる原著	41
参考文献	42

定義，省略文字のリスト

本研究で使用する用語の定義，省略文字は以下のものとする．

用語の定義

歩行変動性：歩行時の変動係数のすべてを指す（歩行周期時間 CV，立脚時間 CV，下腿外側傾斜角度 CV など）．

歩行周期時間 CV：1 歩行周期時間の標準偏差を平均値で除した値．

下腿外側傾斜角度 CV：反対側足部離地時の下腿外側傾斜角度を求め，1 分間歩行における下腿外側傾斜角度の標準偏差を平均値で除した値．

省略文字

ADL : activities of daily living

AMI : arthrogenic muscle inhabitation

BMI : body mass index

CKC : closed kinetic chain

CV : coefficient of variation value

JKOM : Japan knee osteoarthritis measure

KAM : knee adduction moment

KFM : knee flexion moment

K-L 分類 : Kellgren-Lawrence 分類

MCID : minimal clinically important difference

OA : osteoarthritis

OKC : open kinetic chain

QOL : quality of life

QS : quadriceps setting

ROAD : research on osteoarthritis against disability

ROM : range of motion

SF-36 : MOS 36-Item Short-Form Health Survey

SLR : straight leg raising

TUG : Timed Up & Go Test

TKA : total knee arthroplasty

VAS : visual analogue scale

VM : vastus medialis

WOMAC : Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

序章 序論（総合）

第 1 節 研究背景

第 1 項 変形性膝関節症の疫学

変形性膝関節症（knee osteoarthritis：以下，膝 OA）は，関節軟骨の変性，摩耗が生じ，それに続発する関節辺縁，軟骨下骨の反応性増殖を伴う疾患であり¹⁾，膝関節の退行性疾患の代表である．膝 OA では，膝関節の疼痛や膝関節機能の低下などの症状が原因となり，日常生活動作（activities of daily living：以下，ADL）や生活の質（quality of life：以下，QOL）が低下した状態となる²⁻⁴⁾．

本邦における大規模疫学研究として，Yoshimura らにより Research on Osteoarthritis Against Disability study（ROAD study）が報告されている⁵⁾．これによると，40 歳以上の膝 OA の有病者数は約 2,530 万人，有症者数は約 800 万人と推定される⁵⁾．また米国においても有症者は男性で 10%，女性で 13%と述べられており，世界的にも有症者の多い疾患である⁶⁾．このため経済的な損失にもつながると報告されている⁷⁾．

さらに，ロコモティブシンドロームは「運動器の障害により，介助・介護が必要な状態になっていたり，そうなるリスクが高い状態」と定義され⁸⁾，超高齢化社会において注目されているが，この代表的疾患の一つに膝 OA が挙げられている．

このように膝 OA は高齢者で高い有病率を示し，その ADL を低下させる主要な要因のひとつであり，それに伴う経済的損失などの社会的影響の点からも重要な疾患であり，その症状の軽減や病態の進行予防につながる研究は必須である．

第 2 項 膝 OA の病態

膝 OA は関節軟骨の変性や摩耗が病因となる疾患である．軟骨の細胞外マトリクスの主要な構成要素である II 型コラーゲン線維と，衝撃緩衝作用を担う水分の保持に重要なプロテオグリカンに変性が生じ，軟骨が摩耗し関節内に遊離することで滑膜に炎症が生じると述べられている⁹⁾．

膝 OA の発生や進行のリスクファクターとして年齢、肥満、外傷の既往が挙げられ、男女比では女性に多いと報告されている^{10~12)}。原因別には、加齢や肥満による慢性的なメカニカルストレスが加わることで発症する一次性と、前十字靭帯損傷や半月板損傷などに伴って生じる二次性に分けられる。また病変部位により内側型、外側型、膝蓋型、混合型に分類され、内側型が多い¹³⁾。

膝 OA の X 線所見としては、関節裂隙の狭小化とこれに伴う骨棘形成が着目されており、進行度の指標として Kellgren-Lawrence (以下, K-L) 分類が用いられている¹⁴⁾。臨床症状として、立ち上がりや歩き始めの疼痛から始まり、徐々に悪化し歩行時・階段昇降時の疼痛を起し、安静時の疼痛を訴えることもある¹⁵⁾。関節機能に注目すると膝屈曲・伸展可動域低下、筋力低下を生じると報告されている^{16~19)}。運動能力として、歩行速度の遅延、活動量の低下が挙げられる^{20~23)}。このように膝 OA の症状は関節変形に伴う疼痛や、膝関節機能の低下に伴う ADL, QOL の低下である。一方で、X 線所見による変形程度と主訴である疼痛症状は必ずしも一致しないことが報告されており²⁴⁾、症状を伴っていない変形進行もみられる。このことは変形が進行しても症状を抑えることができる可能性を示し、運動療法などの保存療法の適応になると考えられる。

第 3 項 膝 OA における疼痛症状

膝 OA において滑膜炎が疼痛と関連すると報告されている^{25~26)}。滑膜炎による炎症が炎症性サイトカインを放出し、侵害受容器が刺激され疼痛が引き起こされる。さらに OA の進行により神経終末が増加し、刺激に対する感受性を亢進することや、末梢性および中枢性感作により受容体の反応性が増強すると報告されている²⁷⁾。これに伴い侵害刺激に対する閾値が低下し、正常膝では生じない程度の運動や荷重で疼痛を生じる²⁸⁾。また膝関節内側に加わるメカニカルストレスが注目され、疼痛・変形進行に外部膝関節内反モーメント (knee adduction moment : 以下, KAM) の増大が関与すると報告されている^{29, 30)}。

このようなメカニズムで生じた疼痛や炎症により、関節因性の筋抑制 (arthrogenic muscle inhibition : AMI) が生じ、筋収縮および筋力低下の一因となる³¹⁾。これは特に大腿四頭筋に起こるとされている。大腿四頭筋は荷重時に衝撃吸収機構として働くなど、膝関節の動的な安定性を担う重要な筋である。したがって、疼痛による大腿四

頭筋の筋収縮不足は、荷重時の大腿四頭筋による制動力低下を起し、結果的に関節に加わる負荷が大きくなることが予測される。

膝 OA における疼痛に関して、渡邊ら³²⁾は日本版膝関節症機能評価尺度 (Japan Knee Osteoarthritis Measure : JKOM) と Visual Analog Scale (以下, VAS) による疼痛に強い相関がみられると報告しており, Alkan ら³³⁾も QOL 指標である MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36) と VAS による疼痛の間に相関があることを示している。このように、膝 OA の疼痛は歩行や階段昇降をはじめとする ADL や QOL に強く影響していることが示されている。したがって、膝 OA の疼痛は临床上に重要であり、膝 OA の保存療法を行う上で客観的に評価されるべきアウトカムであると考えられる。

疼痛に関して、疼痛の程度・部位・種類 (急性・慢性・心理的など)、疼痛が生じる動き・動作など、臨床においても幅広い情報収集が必要である。特に動作時の疼痛は、運動療法をはじめ理学療法の障害因子になりやすい。例えば関節可動域 (Range of Motion : 以下, ROM) 練習を行う際に疼痛のために実施困難となったり、筋力トレーニング時に疼痛により筋力発揮できなくなったりする場面などが挙げられる。このような運動療法中の膝関節運動時痛は、関節周囲組織に何らかのメカニカルストレスが加わることによって生じ、関節機能や身体能力に大きな影響を与えられられる。

なかでも大腿四頭筋の筋力増強運動の際に生じる疼痛は、非荷重位や荷重位といった関節運動条件下で起こり、運動療法の障害因子になり得る。前述したように大腿四頭筋は膝 OA 患者において重要な役割を果たすことから、この筋力改善は疼痛軽減に寄与すると報告されている^{34, 35)}。また黒澤ら³⁶⁾は、大腿四頭筋の収縮を伴う **straight leg raising** (以下, SLR) 運動によって、関節内に抗炎症効果が起こり、細胞生物学的機序による疼痛減少作用が生じると報告している。これらの先行研究を踏まえると、膝 OA 患者における大腿四頭筋の収縮を伴う運動は推奨されるものであると考えられる。しかしながら、疼痛を伴うことで筋力増強を障害したり、運動療法のモチベーション低下につながったりする。したがって、膝 OA 患者において大腿四頭筋の収縮を伴う膝関節伸展運動時に疼痛が生じる者は、運動や動作を十分に行うことができる状態にないことから、膝関節機能や歩行能力の低下を伴っているのではないかという臨床疑問を得た。

膝 OA 患者の疼痛をアウトカムにした先行研究には、圧痛域値、膝関節の疼痛部位、疼痛範囲を調べた報告がある。圧痛域値に関しては、低いほど膝関節痛も悪化しやすいという報告がある³⁷⁾。疼痛部位と範囲に関して、膝関節周囲の疼痛部位が多いほど病態が重症であること³⁸⁾や、全身の疼痛部位が多いほど膝関節痛の強さも大きいという報告もある³⁹⁾。また動作と疼痛の関係では、Fukutani ら²³⁾らは日常生活動作別（歩行や階段昇降、しゃがみ込みなど）に疼痛がある場合に身体活動量が低くなることを示している。しかしながら、この研究では、歩行や階段昇降、しゃがみ込み時における疼痛の有無について報告しているものの、膝関節伸展－屈曲運動時などの基本的な関節運動における疼痛発生状況と ADL との関連性には言及していない。

第 4 項 膝 OA における歩行能力（特に歩行速度）

膝 OA 患者の歩行能力を調べた研究として、健常者と比較した報告が多数ある。Chen ら²¹⁾や Al-Zahrani ら²²⁾は、膝 OA 患者の歩行速度は低下するとし、Gok ら⁴⁰⁾はケイデンス、歩幅の減少とストライド時間と両脚支持時間の増加を述べた。また、Robon ら⁴¹⁾は、膝 OA 患者のうち症状のあるものは無症状のものと比較して歩行速度が低下していることを明らかにしている。このように膝 OA 患者の歩行能力低下が報告されている。特に歩行速度は QOL、ADL と関連しており^{32, 42)}、膝 OA 患者における歩行速度の評価は、その症状や日常生活の状態を捉える上で重要なアウトカムであると考えられる。

歩行速度の関連要因に関する調査研究では、下肢筋力や体幹筋力、バランス能力が要因として挙げられており^{43~45)}、これらの要因は歩行速度改善に向けた理学療法の介入対象になると考えられる。

一方、膝 OA 患者における疼痛と歩行速度との関連性について、Marks ら⁴⁶⁾や Barker ら⁴⁷⁾の研究で疼痛の強さと最大歩行速度との間に関連性が認められた。しかしながら、これらの研究では、疼痛の指標として「日常生活時の疼痛」や「歩行時の疼痛」を聴取しており、膝関節運動時に着目した疼痛の発生状況は明らかとなっていない。特に大腿四頭筋の筋力低下に関与する膝関節伸展運動時痛が歩行速度へ及ぼす影響について検証されていない。

第5項 膝 OA における歩行周期時間の変動性

歩行能力の要素として重要な因子として、速度とともに変動性がある。この変動性を評価する方法として、近年では歩行の変動係数 (Coefficient of variation value: 以下, CV) が注目されている^{48~51)}。Hausdorff ら⁴⁸⁾は、高齢者を対象に前向き研究を行った結果、転倒経験者は歩行周期時間の CV が転倒未経験者より有意に大きく、歩行周期時間 CV が転倒を予測する変数として抽出されたことを報告している。このように歩行周期時間 CV は転倒との関連性がある指標として注目されている。

歩行周期時間 CV の意義について、図 1 は加速度計の垂直成分のグラフであり、横軸が時間、縦軸が加速度の変化を表している。縦軸のピークが踵接地を示し、右踵接地から左踵接地の赤矢印で示す区間が 1step の時間であり、右踵接地から次の右踵接地の緑矢印で示す区間が 1 歩行周期時間となる。この 1 歩行周期時間の CV に着目する。例として図 1a のグラフでは緑区間の幅が一定の間隔になっており、バラつきが小さく、変動が小さいことを示す。一方、図 1b のグラフでは緑区間の幅の間隔が一定でなく、バラつきが大きく、変動が大きいことを示している。

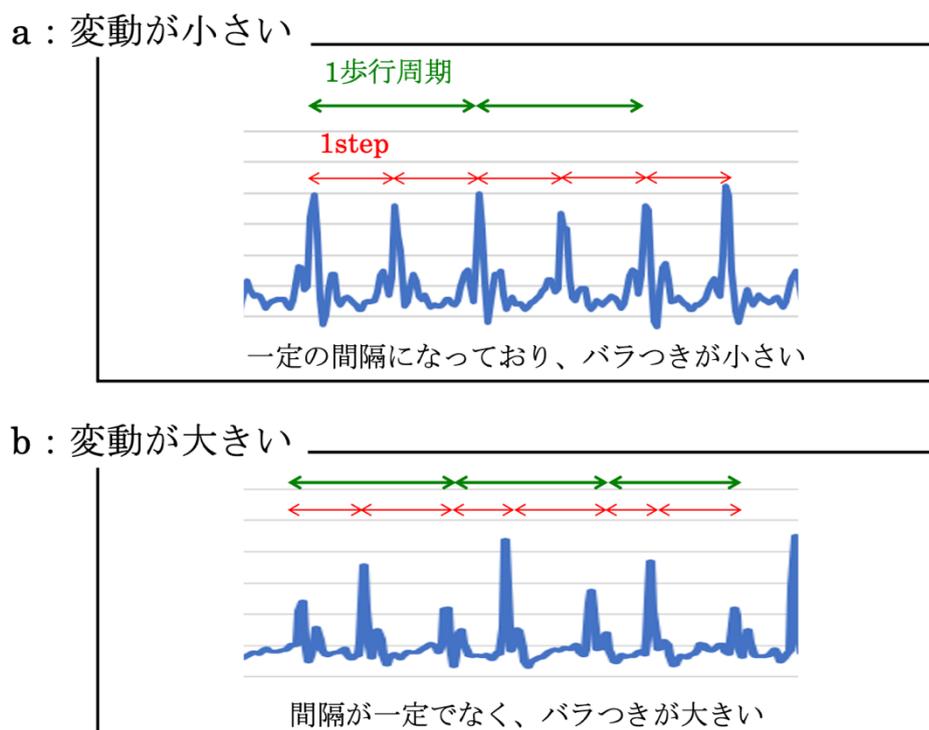


図 1 a : バラ付きが少なく、変動が小さい歩行周期

b : バラ付きが多く、変動が大きい歩行周期

膝 OA 患者における歩行変動性に関して、Clermont ら⁴⁹⁾は膝 OA 群と健常群の歩行周期時間の CV を比較した結果、有意差を認めないと報告している。一方、Kiss⁵⁰⁾は立脚時間の CV を比較し、膝 OA 群が有意に高値を示したと報告している。また人工膝関節全置換術 (Total Knee Arthroplasty : 以下, TKA) 術前患者では、健常群と比較して歩行周期時間 CV は大きいことが報告されている⁵¹⁾。このように歩行変動性に関して一定した見解が得られておらず、膝 OA における歩行変動性の特徴や意義を明らかにする必要がある。さらに歩行速度同様に関節運動時の疼痛が歩行変動性に影響を与えるかも興味深い点である。

一方、地域高齢者を対象とした研究では、Hausdorff ら⁴⁸⁾や Balasubramanian ら⁵²⁾が、歩行変動性が歩行速度と関連している点を報告している。また Bogen ら⁵³⁾や Matsuda ら⁵⁴⁾は、歩行変動性には、膝関節伸展筋力が関与していることを示唆した。このように高齢者における歩行変動性と潜在的な要因は明らかになっているものの、膝 OA 患者の歩行変動性に関連する潜在的な要因 (筋力、可動域などの膝関節機能、歩行速度などの身体機能) については明らかとされていない。このようなことから、膝 OA 患者における歩行変動性に影響を与える要因を調査することは、歩行変動性に対する運動療法の一助となると考えられる。

第 2 節 臨床疑問と研究目的

本研究では、膝 OA における運動時痛と歩行速度、歩行変動性の関連性に注目した。そのうち歩行変動性については歩行周期時間 CV を調査した。運動時痛と歩行速度、歩行周期時間 CV の関係を明らかにすることができれば、関節運動時痛の有無を調査することにより膝 OA 患者の歩行能力を把握することができ、歩行能力評価の有用な指標とできると考えた。さらに歩行は日常生活の基本的な動作であることから、歩行能力の改善は ADL や QOL 向上の一助となると考えた。本研究を行うにあたる臨床疑問は以下のとおりである。

- 膝関節の伸展運動時痛と、歩行能力に関連性はあるか？
- 特に歩行能力の中でも、歩行速度と歩行周期時間 CV に関連はあるか？

- さらに歩行周期時間 CV に影響を与える疼痛を含む身体機能や動作特性などの要因は何か？

この臨床疑問に対して，本研究の目的として以下の 3 つを設定した．

- ① 膝 OA 患者の歩行速度に関連する因子として，大腿四頭筋収縮時に発生する疼痛発生状況との関連性を明らかにすること<第 1 章>
- ② 歩行変動性の一指標である歩行周期時間 CV について膝 OA 群とコントロール群で比較し，膝 OA 患者の歩行周期時間 CV の特徴を明らかにすること<第 2 章>
- ③ 膝 OA 患者の歩行周期時間 CV に関連する疼痛や筋力といった膝関節機能や動作時における運動学的（kinematics）パラメータなどの因子を明らかにすること<第 3 章>

第 1 章

膝 OA における歩行速度と
膝関節伸展運動時に発生する疼痛との関連性

第 1 節 背景

運動療法の目的は、歩行をはじめとする ADL の改善であり、特に歩行速度は ADL、QOL との関連が強いとされている^{32, 42)}。先行研究により大腿四頭筋筋力と歩行速度の関係が報告されており⁵⁵⁾、大腿四頭筋の筋力強化が歩行速度の改善に重要であると考えられる。

臨床場面で実施する筋力強化は、Open kinetic chain (以下、OKC) 運動から Closed kinetic chain (以下、CKC) 運動へ、低負荷から高負荷の運動療法へといった順に行うことが多い。膝 OA に対する大腿四頭筋エクササイズに置き換えると等尺性収縮である Quadriceps setting (以下、QS)、重錘を用いた筋力強化(等張性)、squat (荷重位)へと進めていく。その際、膝関節運動時の疼痛によって運動療法が十分に実施できないこともあり、原因を解決して疼痛なく運動療法を実施できることが重要となる。しかしながら大腿四頭筋エクササイズを実施する際の疼痛発生状況に関する調査研究は、我々の渉猟する限り見当たらない。

そこで、我々は膝関節伸展運動時痛が歩行速度に影響を与えるという臨床疑問を得た。本研究の目的は、膝 OA 患者において膝関節伸展運動時に発生する疼痛と歩行速度との関連性を明らかにすることである。

第 2 節 方法

第 1 項 対象

対象は、当クリニックにて X 線撮影を行い、膝 OA と診断された女性患者 31 名とした。年齢は 69.7 ± 7.7 歳、身長は 154.0 ± 5.2 cm、体重は 57.3 ± 7.4 kg、Body Mass Index (以下、BMI) は 24.2 ± 3.3 であった。取込基準は、①55 歳以上 85 歳未満、②女性、③週 1 回以上の理学療法の実施が可能な患者とした。除外基準は、①膝関節以外にも重度な関節痛を有している者、②下肢に外傷または手術の既往がある者、③重篤な心疾患や肺疾患の既往がある者、④関節リウマチの既往がある者とした。K-L 分類の内訳は、grade I が 0 名、grade II が 17 名、grade III が 11 名、grade IV が 3 名であった (表 1-1)。

対象者には、事前にヘルシンキ宣言⁵⁶⁾に基づき研究内容（概要、目的、意義、方法）を書面にて口頭で説明した。その後、研究参加の同意が得られた場合、自筆署名にて同意を確認した。なお本研究は、吉備国際大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（受理番号 19-14）。

表 1-1 対象の身体特性

年齢（歳）	69.7 ± 7.7
身長（cm）	154.0 ± 5.2
体重（kg）	57.3 ± 7.4
BMI	24.2 ± 3.3
KL 分類（人数）	
grade I	0
grade II	17
grade III	11
grade IV	3

平均値 ± 標準偏差

KL 分類： Kellgren-Lawrence 分類

第 2 項 方法

大腿四頭筋の筋収縮を伴う膝関節伸展運動として、OKC 条件にて①自動的膝伸展運動、CKC 条件にて②足踏み運動、③片脚 squat 運動の 3 条件を設定し、各条件における疼痛の有無を調査した。

条件①自動的膝伸展運動では、非荷重下において大腿四頭筋の収縮によって生じる疼痛発生状況を把握することを目的として、QS を 5 秒間 1 回のみ実施した。この際、被検者は最大収縮するように口頭で指示した。

条件②足踏み運動では、歩行の疑似動作として抗重力下における荷重時と非荷重時の繰り返しによって生じる疼痛発生状況を把握することを目的とした。実施にあたって、バランスを崩さないように壁を指先で触れた **light touch** の状態で膝屈曲 30°位の両脚 **squat** を保持した。次に膝関節屈曲角度が変化しないように留意しながらその場での足踏み運動を口頭指示によって 5 秒間を 1 回のみ行った。

条件③片脚 **squat** 運動では、荷重下において片脚にかかる負荷量が増えることによって生じる疼痛発生状況を把握することを目的とした。実施にあたって、バランスを崩さないように **light touch** の状態で片脚立位となり、続いて膝屈曲 30°位を目安に片脚 **squat** を 1 回のみ実施した。

疼痛の有無に関する判定について、理学療法士が患者の主観的な訴えを、条件①では最大筋収縮時、条件②では患側下肢単脚時、条件③では患側膝最大屈曲時について聴取した。判定基準は「疼痛のある・なし」の 2 段階で行い、疼痛などによって実施できなかった場合は、「疼痛あり」と判断した。

歩行能力評価として、5m 歩行時間を計測した。5m 歩行は 5m の前後に 3m の加速と減速区間を確保し、できるだけ速く歩くように口頭指示した。測定は 2 回実施し、最小値を測定値とした。

日常生活における疼痛の程度および日常生活動作能力を評価する目的で、生活動作の困難感の項目を含む **Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index** (以下、**WOMAC**)⁵⁷⁾を自記式アンケートにて調査した。

膝伸展機能の評価として、膝関節伸展可動域 (以下、伸展 **ROM**) と膝関節伸展筋力 (以下、伸展筋力) を計測した。伸展 **ROM** は、日本整形外科学会、日本リハビリテーション医学会の示す「関節可動域表示ならびに測定法」に準じて、基本軸を大腿骨、移動軸を腓骨 (腓骨頭と外果を結ぶ線) とした。ゴニオメータを用い 5°単位で 1 回計測した。伸展筋力はハンドヘルドダイナモメーター (ミュータス **F-1**, アニマ社製) を用いて膝関節 90°屈曲位での等尺性筋力を測定した。その際に先行研究⁵⁸⁾を参考にして、ベッド脚に固定ベルトを装着して行うことで測定の正確性、再現性を高めて測定した。測定は 2 回実施し、得られたデータの最大値を代表値とした。

分析方法および統計学的処理に関して、統計ソフト **IBM SPSS Statics ver.26** を使用した。5m 歩行時間と伸展 **ROM** (健側・患側)、伸展筋力 (健側・患側)、**WOMAC**、①**QS**、②足踏み運動、③片脚 **squat** 運動のそれぞれの動作における運動時痛の有無と

の関連を検討した。Shapiro-Wilk 検定により、正規性を考慮したうえで、Pearson の相関係数もしくは Spearman の順位相関係数を算出した。さらに 5m 歩行時間の関連因子を明らかにするため重回帰分析を行った。伸展 ROM (健側・患側)、伸展筋力 (健側・患側)、①QS、②足踏み運動、③片脚 squat 運動のそれぞれの動作における運動時痛の有無の項目のなかで、5m 歩行時間との間に有意な相関関係が認められた項目を独立変数とし、5m 歩行時間を従属変数として重回帰分析を行った。なお、いずれの検定も危険率 5%未満を有意とした。

第 3 節 結果

5m 歩行時間と各項目の相関係数を表 1-2 に示した。5m 歩行時間と患側伸展 ROM、患側伸展筋力、QS の疼痛の有無、足踏み運動の疼痛の有無の間に統計的に有意な相関関係を認めた。また 5m 歩行時間と WOMAC の総合点との間で $r=0.575$ ($p<0.01$) の有意な正の相関関係を認めた。

一方、5m 歩行時間と健側伸展 ROM、健側伸展筋力、片脚 squat 運動との間には有意な相関関係を認めなかった。

さらに重回帰分析の結果を表 1-3 に示す。5m 歩行時間の関連因子として、第 1 に足踏み運動の疼痛の有無が、第 2 に患側伸展筋力が抽出された。作成した重回帰モデルは有意であり、 R^2 は 0.519 であった。

表 1-2 測定項目の相関表

	Quad setting の疼痛	足踏み 運動 の疼痛	片脚 squat の疼痛	患側 伸展 ROM	健側 伸展 ROM	患側 伸展 筋力	健側 伸展 筋力	WOMAC
5m 歩行時間	0.486**	0.652**	0.254	-0.410*	-0.194	-0.537**	-0.185	0.575**
Quad setting の疼痛		0.736**	0.544**	-0.430*	-0.403*	-0.585**	-0.102	0.651**
足踏み運 動の疼痛			0.474**	-0.546**	-0.370*	-0.497**	-0.128	0.770**
片脚 squat の疼痛				-0.271	-0.146	-0.429*	-0.072	0.497*
患側伸展 ROM					0.593**	0.362*	0.207	-0.599**
健側伸展 ROM						0.203	0.064	-0.510**
患側伸展 筋力							0.324	-0.486**
健側伸展 筋力								-0.249

* : p<0.05, ** : p<0.01

表 1-3 5m 歩行時間の関連因子

	非標準化係数 β	95%信頼区間		標準化係数 β	p 値
		下限	上限		
定数	4.665	3.603	5.727		
QS の疼痛の有無	-0.348	-1.055	0.360	-0.217	0.322
足踏み運動の疼痛の有無	1.032	0.302	1.761	0.624	0.007
伸展 ROM	-0.004	-0.059	0.051	-0.024	0.879
患側伸展筋力	-2.589	-4.887	-0.290	-0.377	0.029

R=0.721, $R^2 = 0.519$

第 4 節 考察

本研究では、膝 OA と診断された女性患者に対して、歩行速度に関連する要因を横断的に調査した。従来から報告されている大腿四頭筋筋力、膝関節伸展 ROM の他に①QS、②足踏み運動、③片脚 squat 運動の 3 動作における疼痛の有無を調査し、それぞれの大腿四頭筋エクササイズ時の疼痛の有無が歩行速度と関連するか明らかにすることを目的とした。条件設定として、OKC 運動の代表として QS を選択し、CKC 運動の代表として軽度屈曲位での足踏み運動と片脚 squat 運動を選択した。QS は OKC の大腿四頭筋の単独運動であるため大腿脛骨関節面では荷重面が不均一で関節面の前方部分に過大な負荷がかかる⁵⁹⁾。軽度屈曲位の足踏み運動では、CKC のため大腿四頭筋とハムストリングスの共同収縮によって、膝関節の安定性増大と力学的負荷の増加が起こるため関節が安定し⁵⁹⁾、大腿直筋などの二関節筋の収縮も抑制されると報告されている⁶⁰⁾。一方で荷重による膝関節への負荷は高まることが予測される。片脚 squat 運動では、さらにこの荷重負荷が増大すると考える。このようにして 3 動作を設定して、膝関節機能について伸展 ROM、伸展筋力以外に関節運動時に生じる疼痛を調査し、「疼痛なく膝関節運動が実施できる」ことにより膝関節機能の改善が歩行速度向上につながると考えた。また取組基準に関して、55 歳以上の約 50%に X 線上の変化を認め

ることや⁶¹⁾、55歳を超えると膝痛のリスクが高まるという報告がなされているため⁶²⁾、55歳以上85歳未満という基準を設定とした。女性に限定した理由としては、膝OAのリスクファクターとして挙げられているためであり^{10~12)}、週1回以上の理学療法の実施が可能な患者とした理由は、疼痛を誘発させる測定項目を含むので、少なくとも理学療法が可能であるような患者を対象とした方が良いと考えたためである。

5m歩行速度と有意な相関関係を認めた項目は、患側伸展ROM、患側伸展筋力、QSの疼痛の有無、足踏み運動の疼痛の有無の4項目であった。大腿四頭筋筋力と歩行速度の関連性は、Spinosoら⁵⁵⁾の報告でも筋力が強い方が歩行速度も速かったとしており、過去の報告の結果を支持するものであった。また、天野ら⁶³⁾は歩行速度と膝関節伸展可動域が関連することを報告しており、本研究の結果と同様であった。これらの結果に加えて本研究ではOKCの運動であるQSにおいて疼痛が生じることが歩行速度の遅延と関連することが明らかになった。膝OA患者をはじめ膝関節疾患への運動療法では、QSを行うことは多い。その目的として、膝関節の安定性に関与する内側広筋(vastus medialis:以下、VM)の選択的エクササイズを行うためとされている^{64,65)}。このQSが疼痛により十分に行えないことはVMの筋出力低下を起こし、歩行速度の低下につながったと考える。

重回帰分析における検討により歩行速度の関連因子として、患側伸展筋力と足踏み運動時の疼痛の有無が抽出され、足踏み運動の疼痛の有無を評価する重要性を示す結果となった。足踏み運動はその場での歩行動作であり、前方へ移動(推進)するという点では自由歩行と異なるが、歩行類似動作のため足踏み歩行時の疼痛の有無と歩行速度が関連するという結果となったと考える。今泉⁶⁷⁾は足踏み運動の安定度と歩行能力の間で有意な相関関係を示すと報告しており、足踏みと歩行の関連性を報告している。また、田中ら⁶⁸⁾は足踏み運動の変動係数とTUGに有意な正の相関を示すとし、移動能力の推定が可能であるとしている。これに加え本研究の結果より、足踏み運動時の疼痛が歩行速度と関連している可能性が示された。

また、足踏み運動の疼痛の有無が歩行速度と関連があった要因を膝OAの歩行戦略から考察する。木藤ら⁶⁹⁾は立脚初期の衝撃吸収のために大腿四頭筋の筋活動による膝関節屈曲が重要だが、膝OA患者は大腿四頭筋の筋力低下のために伸展位を保持する戦略をとるとしている。軽度屈曲位の足踏み運動に疼痛が生じる場合、疼痛により立脚初期の膝関節屈曲を回避し衝撃吸収が十分に行えない可能性がある。したがって、

膝関節軽度屈曲位での足踏みの疼痛も伸展位保持の歩行戦略の要因となると推察する。この疼痛によって荷重位の膝関節安定性が低下し、立脚初期に膝関節屈曲しないという正常歩行から逸脱した歩行となり歩行速度に影響を与えたと考えた。

5m 歩行速度と WOMAC の間に有意な正の相関関係を認めた。WOMAC は疼痛の他に生活動作の困難感を含んだ質問紙であり、膝 OA の健康状態の総合的な評価と考えられる。歩行速度低下が QOL 低下と関連したことを示す先行研究と同様であった^{32, 42)}。このことから歩行速度の改善が膝 OA 患者の健康状態向上につながる可能性を示しており、歩行速度改善が膝 OA の運動療法において重要な目標であると考えられた。

本研究の限界として、疼痛の有無の判定基準を「疼痛のある・なし」の 2 段階で行ったことから、疼痛の程度が膝関節機能に与えた影響を把握できないことが挙げられる。この点に対して、VAS などを用いて縦断的研究を実施する必要がある。

本研究は、膝関節伸展運動時の疼痛と歩行速度の関連性を調査した研究であり、結果から得られた重要な点は以下の 2 点である。まず QS における疼痛発生が歩行速度に影響することである。QS 時に疼痛がある症例に対して、疼痛を軽減させるアプローチがその後の筋力強化を可能にさせ、歩行改善につながることを推察され、臨床で行う運動療法の一助となると考えられる。次に 5m 歩行速度の予測因子として、患側伸展筋力と足踏み運動時の疼痛の有無が抽出された。ADL との関連が報告されている歩行速度の改善には、従来から報告されている患側伸展筋力の増強に加え足踏み運動の疼痛を軽減させることが重要であることが示された。疼痛の発生機序や疼痛の要因は各々の症例により異なるものの、本研究での重回帰分析の結果を考慮すると、特に足踏み運動時に疼痛がなく実施できるという条件が歩行速度に関連することが明らかになった。歩行速度低下が身体的な健康状態の低下にも影響をあたえることが示され、膝 OA 患者の運動療法を行う上での足踏み運動の疼痛発生状況評価の重要性を示唆した。

第 5 節 結論

本研究では、膝 OA 患者における歩行速度と膝関節伸展運動時痛の関連性を横断的に調査した。従来から報告されている膝伸展筋力や伸展 ROM といった膝関節機能に加

えて，歩行速度には QS と足踏み運動時の疼痛の有無が関連することが示され，膝関節伸展運動時の疼痛発生状況評価の重要性が示唆された．

第 2 章

膝 OA 患者と健常高齢者における 歩行周期時間変動係数の差異

第 1 節 背景

歩行能力において、速度とともに重要と考えられる因子は変動性である。この変動性を評価する方法として近年、歩行変動係数が注目されている。1 歩行周期時間 CV は、値が大きいほど歩行のばらつきが大きいことを表しており、歩行変動性を評価する指標とされている⁴⁸⁾。

膝 OA 患者と健常高齢者の歩行変動性を比較した先行研究がいくつかある^{49~51)}。Clermont ら⁴⁹⁾は膝 OA 群と健常群の歩行周期時間 CV の間に有意な差は認めなかったと報告している。一方、Kiss⁵⁰⁾は立脚時間の CV を比較した際に膝 OA 群が有意に高値を示しており、Hiyama ら⁵¹⁾は TKA 術前患者では健常群と比較して歩行周期時間 CV が大きいと述べている。このように膝 OA 患者と健常高齢者の歩行周期時間 CV を比較した研究は一定した見解が得られていないのが現状である。したがって、本研究では、歩行周期時間 CV を指標として膝 OA 患者と健常高齢者とで比較し、膝 OA の歩行変動性の特徴を明らかにすることを目的とした。

第 2 節 方法

第 1 項 対象

対象は、当クリニックにて X 線撮影を行い、膝 OA と診断された女性患者 24 名（年齢：70.7±5.7 歳，身長：155.9±5.1cm，体重：56.6±6.4kg，BMI：23.3±2.4）を膝 OA 群とした。膝 OA 群の取込基準は、①55 歳以上 85 歳未満，②女性，③週 1 回以上の理学療法が可能患者とした。除外基準は、①膝痛以外にも重度な関節痛を有している者，②下肢に外傷または手術の既往がある者，③重篤な心疾患や肺疾患の既往がある者，④関節リウマチの既往がある者とした。膝 OA 群の K-L 分類の内訳は，grade I が 0 名，grade II が 15 名，grade III が 8 名，grade IV が 1 名であった。

対照として、地域在住の女性高齢者 12 名（年齢：69.8±8.1 歳，身長：153.0±6.1cm，体重：53.5±6.1kg，BMI：22.9±2.9）を健常群とした。健常群の取込基準は、①55 歳以上 85 歳未満，②女性とした。除外基準は、①下肢に疼痛を有している者，②下肢に

外傷または手術の既往がある者，③重篤な心疾患や肺疾患の既往がある者，④関節リウマチの既往がある者とした。

対象者には，事前にヘルシンキ宣言⁵⁶⁾に基づき研究内容（概要，目的，意義，方法）を書面にて口頭で説明した。その後，研究参加の同意が得られた場合，自筆署名にて同意を確認した。なお本研究は，吉備国際大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（受理番号 19-14）。

表 2-1 膝 OA 群と健常群の身体特性

	膝 OA 群（24 名）	健常群（12 名）	p 値
年齢（歳）	70.7 ± 6.5	69.8 ± 8.1	n.s.
身長（cm）	155.9 ± 5.1	153.0 ± 6.1	n.s.
体重（kg）	56.6 ± 6.4	53.5 ± 6.1	n.s.
BMI	23.3 ± 2.4	22.9 ± 2.9	n.s.
KL 分類（人数）			
grade I	0		
grade II	15		
grade III	8		
grade IV	1		

平均値 ± 標準偏差

n.s. : not significant

第 2 項 方法

測定指標は、①歩行変動性として歩行周期時間 CV，②膝伸展機能評価として、伸展 ROM と伸展筋力，③歩行能力評価として、5m 歩行速度(快適速度と最大速度)と Timed Up & Go Test (以下、TUG)，④身体的な健康状態の評価として WOMAC を列挙した。

歩行周期時間 CV の計測には小型多機能センサー TSND121 (ATR-Promotions 社) を使用し、被験者の第 3 腰椎棘突起に取り付けた。測定にあたって、トレッドミル歩行上で「歩きやすい」快適速度を計測した。また計測に先立ち被験者にトレッドミル歩行に慣れてもらうために十分な練習時間を設けた。続いて練習後十分な休憩を挟み快適歩行速度でのトレッドミル 1 分間歩行を実施した。この間、センサーより垂直方向の加速度波形を計測し、Bluetooth にてデータをパソコンに取り込んだ。動作時の加速度波形から初期接地を同定し、歩行周期時間を測定した。得られた歩行周期時間の標準偏差を平均値で除した比率を CV として算出した⁴⁸⁾。歩行測定後に歩行運動の強度を Borg Scale により聴取した。

膝伸展機能評価として、伸展 ROM と伸展筋力を計測した。伸展 ROM は、日本整形外科学会、日本リハビリテーション医学会の示す「関節可動域表示ならびに測定法」に準じて、ゴニオメータを用い 5°単位で 1 回計測した。伸展筋力は、ハンドヘルドダイナモメーター (ミュータス F-1, アニマ社製) を用いて膝関節 90°屈曲位での等尺性筋力を 2 回測定し、得られたデータの最大値を代表値とした。

歩行能力評価として、5m 歩行時間と TUG を計測した。5m 歩行は 5m の前後に 3m の加速と減速区間を確保し、通常通りの歩行速度で歩くように口頭指示した条件と、できるだけ速く歩くように口頭指示した条件の 2 条件で各々 2 回測定し、最小値を測定値とした。

日常生活における疼痛の程度および日常生活動作能力を評価する目的で、生活動作の困難感の項目を含む WOMAC を自記式アンケートにて調査した⁵⁷⁾。

分析方法および統計学的処理に関して、統計ソフト IBM SPSS Statics ver.26 を使用した。膝 OA 群と健常群の身体特性、歩行周期時間 CV、トレッドミル歩行速度、Borg Scale、伸展筋力、伸展 ROM、5m 歩行速度 (快適速度と最大速度)、TUG、WOMAC を比較した。比較には Shapiro-Wilk 検定により、正規性を考慮したうえ 2 標本で検定

した。検定には t 検定もしくは Mann-Whitney 検定を用いた。なお、いずれの検定も危険率 5%未満を有意とした。

第 3 節 結果

膝 OA 群と健常群の身体特性を表 2-1 に示した。膝 OA 群と健常群との間で年齢、身長、体重、BMI に統計的に有意な差は認めなかった。

歩行周期時間 CV は膝 OA 群 $3.2 \pm 1.5\%$ 、健常群 $2.1 \pm 0.7\%$ と膝 OA 群の方が有意に大きかった。トレッドミル歩行の快適速度は膝 OA 群 $2.3 \pm 0.8 \text{ km/h}$ 、健常群 $2.5 \pm 0.8 \text{ km/h}$ であり有意差を認めなかった。歩行時の運動強度に関する Borg Scale は膝 OA 群 11.0 ± 2.3 と健常群 11.1 ± 1.3 と両群とも「楽である」に該当し、有意差を認めなかった (図 2-1)。

膝伸展機能に関しては、伸展筋力、伸展 ROM とともに膝 OA 群の方が有意に低下していた。5m 歩行 (快適速度、最大速度)、TUG に関してはすべてにおいて膝 OA 群の速度が有意に遅延していた。WOMAC についても膝 OA 群の点数が有意に高く、身体機能が低下していることが確認された (図 2-2)。

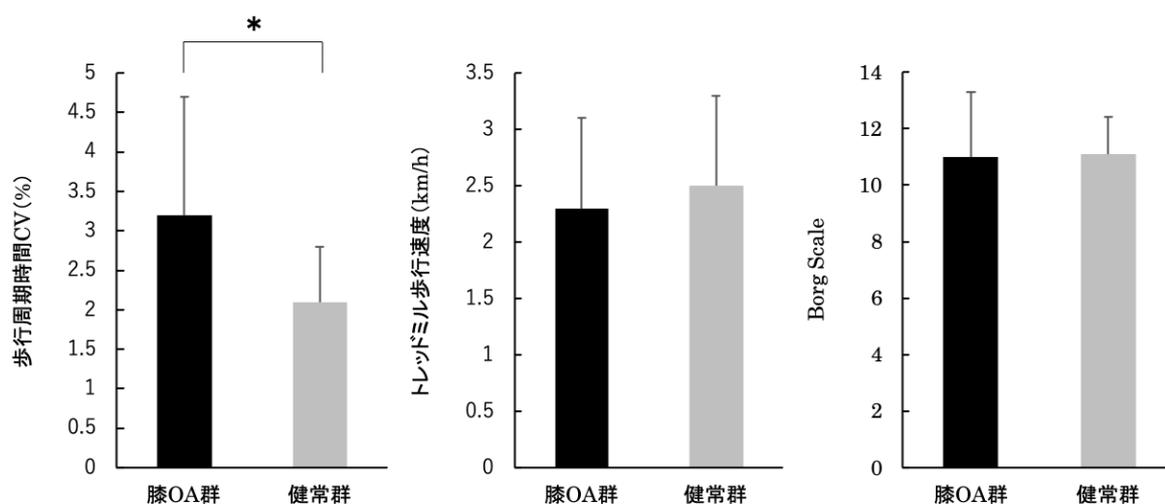


図 2-1 膝 OA 群と健常群のトレッドミル歩行測定データ

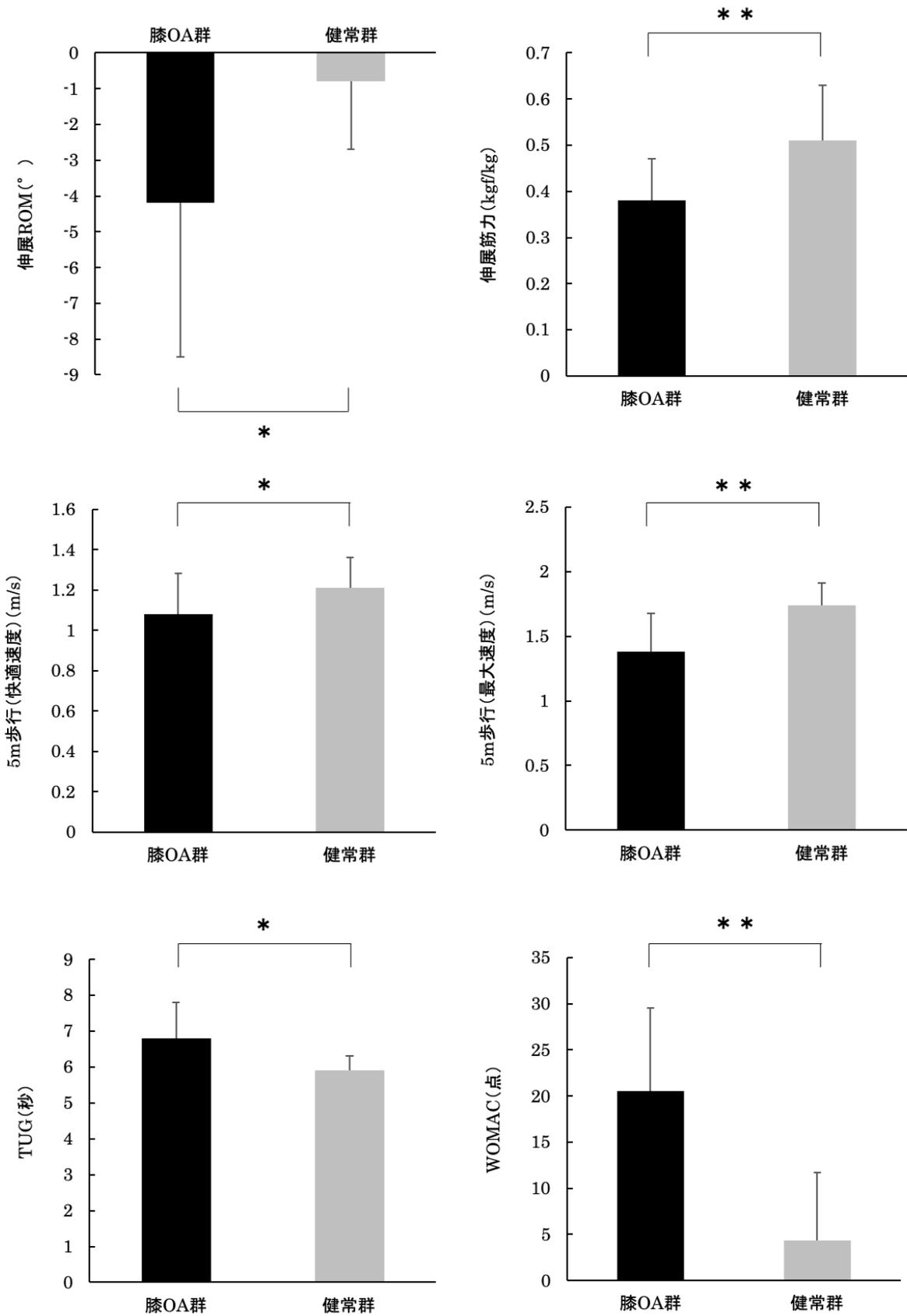


図 2-2 膝 OA 群と健常群の身体機能

第 4 節 考察

対象に関して、膝 OA 群と健常群の間に年齢、身長、体重、BMI に有意な差は認めなかった（表 2-1）。したがって、本研究の結果は baseline の差によるものではないと考えられた。

歩行周期時間 CV に関して、本研究結果より膝 OA 群の方が健常群と比較して有意に大きいことが明らかとなった（図 2-1）。先行研究において TKA 術前の変形が重度な膝 OA の歩行周期時間 CV が大きいと報告されている⁵¹⁾。一方、本研究は理学療法を実施中の膝 OA 患者を対象としているため、比較的変形が軽度な症例を含んでいることが特徴である（grade II が 15 名）。これらのことから、比較的進行が軽度の患者から重度な患者においても歩行周期時間 CV の増大が認められる可能性が考えられた。Hausdorff ら⁴⁸⁾は歩行時間 CV と転倒リスクの関連性を報告している。したがって、膝 OA 患者の歩行は健常者と比較して変動性が大きく転倒リスクがある可能性が示唆された。

5m 歩行速度における快適速度で有意差が認められたにもかかわらず、トレッドミル歩行速度や Borg Scale は、膝 OA 群と健常群の間に有意差を認めなかった（図 2-1）。トレッドミル歩行速度に有意差が認められなかった理由として、各群の被検者ともトレッドミル歩行が不慣れな環境であり、トレッドミル歩行の経験の有無が関連したことが予測される。一方、Borg Scale は両群ともに「楽である」に該当し、有意差を認めず同程度の運動強度の負荷が加えられており、運動負荷という点において測定速度は妥当であったと考える。

膝関節機能や歩行速度、WOMAC に関して、膝 OA 群の方が全項目で健常群より機能が低下していた（図 2-2）。先行研究でも同様に、膝 OA 患者は健常者と比較して、膝伸展筋力低下や歩行速度低下が報告されている^{18, 21)}。さらに歩行速度に関して、膝 OA 群 1.03m/s と健常群 1.21m/s であった。高齢者における通常歩行速度の最小差（minimal clinically important difference : MCID）は 0.05m/s と述べられていることから、臨床的意義のある差が認められた⁷⁰⁾。以上のことより本研究結果は先行研究を支持するものであり、膝 OA の身体機能が健常者のそれよりも低下傾向にあり、歩行にも影響を及ぼすことが確認された。

本研究の限界として、歩行課題の測定をトレッドミル上で実施したことが挙げられる。トレッドミル歩行を採用した理由のひとつは歩数の確保である。10m 歩行においても歩行周期時間 CV の計測は可能であると言われているが、100 歩行周期を測定したのもや 6 分間歩行を測定するなどある程度の歩数を確保している場合が多い^{48, 71)}。本研究でも歩数の確保のためトレッドミルを用いて測定しており、十分な練習を行なった。しかしながらトレッドミル歩行の経験の有無が影響を及ぼした可能性は否定できなかった。今後は広いスペースで連続歩行の中で歩数を増やすなどの工夫をした研究デザインも考慮して検討したい。

第 5 節 結論

本研究では、膝 OA 群と健常群の身体特性、歩行周期時間 CV、トレッドミル歩行速度、Borg Scale と身体機能を比較した。膝 OA 群の方が健常群と比較して有意に歩行周期時間 CV が大きいことが明らかとなった。このため膝 OA 患者において歩行周期時間 CV を軽減するアプローチが重要となる可能性が示唆された。

第 3 章

膝 OA 患者における疼痛・膝関節機能・運動学的
パラメータと歩行周期時間変動との関連性

第 1 節 背景

第 2 章の研究により，膝 OA 患者の歩行周期時間 CV は健常者と比べて有意に高値を示すことが明らかとなった．歩行周期時間 CV は転倒リスクと関連するとしており⁴⁸⁾，膝 OA 患者の歩行は健常者と比較して転倒リスクが高いことが示唆された．しかしながら，歩行周期時間 CV と関連する関節機能の問題は明らかではない．

そこで本章では，膝 OA におけるこの歩行周期時間 CV の大きさが，どのような因子と関連するかを明らかにすることを目的とした．第一の検討として，第 1 章と同様に関節運動時の疼痛との関連に注目した．次に第二の検討として，膝関節機能（伸展 ROM，伸展筋力）や歩行速度との関連を調査した．最後に第三の検討として，膝 OA の歩行の特徴である膝内反運動と歩行周期時間 CV の関連を調べることで，歩行周期時間 CV と関連する膝 OA 患者特有の因子を明らかにすることが可能と考えた．なかでも膝内反の指標として下腿外側傾斜角度に注目し，下腿外側傾斜角度 CV と歩行周期時間 CV との関連を調査した．

第 2 節 方法

第 1 項 対象

対象は，当クリニックにて X 線撮影を行い，膝 OA と診断された女性患者 24 名（年齢：70.7±5.7 歳，身長：155.9±5.1cm，体重：56.6±6.4kg，BMI：23.3±2.4）を膝 OA 群とした．膝 OA 群の取込基準は，①55 歳以上 85 歳未満，②女性，③週 1 回以上の理学療法が実施可能な患者とした．除外基準は，①膝痛以外にも重度な関節痛を有している者，②下肢に外傷または手術の既往がある者，③重篤な心疾患や肺疾患の既往がある者，④関節リウマチの既往がある者とした．膝 OA 群の K-L 分類の内訳は，grade I が 0 名，grade II が 15 名，grade III が 8 名，grade IV が 1 名であった．

対象者には，事前にヘルシンキ宣言⁵⁶⁾に基づき研究内容（概要，目的，意義，方法）を書面にて口頭で説明した．その後，研究参加の同意が得られた場合，自筆署名にて同意を確認した．なお本研究は，吉備国際大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（受理番号 19-14）．

表 3-1 対象の身体特性

年齢（歳）	70.7 ± 6.5
身長（cm）	155.9 ± 5.1
体重（kg）	56.6 ± 6.4
BMI	23.3 ± 2.4
KL 分類（人数）	
	grade I 0
	grade II 15
	grade III 8
	grade IV 1

平均値 ± 標準偏差

第 2 項 方法

本研究における測定指標は、①下腿外側傾斜角度 CV、②歩行周期時間 CV、③膝伸展機能評価として、伸展 ROM と伸展筋力、④膝関節伸展運動時の疼痛の有無、⑤歩行能力評価として、5m 歩行速度（最大速度）、⑥身体的な健康状態の評価として WOMAC を列挙した。

課題動作はトレッドミル歩行とした。計測に先立ち対象にトレッドミル歩行に慣れてもらうために十分な練習時間を設けた。その際に快適な歩行速度を対象に問診しながら、本測定の際の歩行速度を決定した。練習後、十分な休憩を確保して快適歩行速度によるトレッドミル 1 分間歩行を実施した。

トレッドミル歩行中、デジタルビデオカメラを後方 2m、高さ 90cm に設定して歩行動作を撮影した。この際、反射マーカ―を、対象の両側の肩峰、上後腸骨棘、膝窩中心、下腿中心、アキレス腱付着部の計 10 カ所に貼付した。撮影した歩行動作の動画は、ビデオ動作解析システム ToMoCo-Lite（有限会社東総システム）を使用し分析した。測

定指標である下腿外側傾斜角度は、膝窩中心とアキレス腱付着部を結んだ線と水平線がなす角度と定義し、反対側足部離地時の下腿外側傾斜角度を算出した。1 分間歩行における下腿外側傾斜角度を求め、標準偏差を平均値で除した値を下腿外側傾斜角度 CV として用いた。

さらにトレッドミル歩行中の歩行周期時間 CV を計測した。計測には小型多機能センサー TSND121(ATR-Promotions 社)を使用し、第 3 腰椎に固定した。加速度波形は Bluetooth にてデータをパソコンに取り込んだ。動作時の加速度波形から初期接地を同定し、歩行周期時間を測定した。得られた歩行周期時間の平均値と標準偏差から歩行周期時間 CV を算出した⁴⁸⁾。

膝伸展機能評価として、伸展 ROM と伸展筋力を計測した。伸展 ROM は、日本整形外科学会、日本リハビリテーション医学会の示す「関節可動域表示ならびに測定法」に準じて、ゴニオメータを用い 5°単位で 1 回計測した。伸展筋力は、ハンドヘルドダイナモメーター（ミュータス F-1、アニマ社製）を用いて膝関節 90°屈曲位での等尺性筋力を 2 回測定し、得られたデータの最大値を測定値とした。

大腿四頭筋の筋収縮を伴う膝関節伸展運動として、OKC 条件にて①自動的膝伸展運動、CKC 条件にて②足踏み運動、③片脚 squat 運動の 3 条件を設定し、各条件における疼痛の有無を調査した。疼痛の有無に関する判定について、理学療法士が患者の主観的な訴えを、条件①では最大筋収縮時、条件②では患側下肢単脚時、条件③では患側膝最大屈曲時について聴取した。判定基準は「疼痛のある・なし」の 2 段階で行い、疼痛などによって実施できなかった場合は、「疼痛あり」と判断した。

歩行能力評価として、5m 歩行時間（最大速度）を計測した。5m 歩行は 5m の前後に 3m の加速と減速区間を確保し、できるだけ速く歩くように口頭指示した。測定は 2 回実施し、最小値を測定値とした。生活動作の困難感を含む日常生活動作能力を評価する目的で、WOMAC を自記式アンケートにて調査した⁵⁷⁾。

分析方法および統計学的処理に関して、統計ソフト IBM SPSS Statics ver.26 を使用した。歩行周期時間 CV と下腿外側傾斜角度 CV、伸展 ROM（健側・患側）、伸展筋力（健側・患側）、5m 歩行時間、WOMAC、①QS、②足踏み運動、③片脚 squat 運動のそれぞれの動作における運動時痛の有無によって相関関係を調べた。Shapiro-Wilk 検定により、正規性を考慮したうえで、Pearson の相関係数もしくは Spearman の順位相関係数を算出した。さらに歩行周期時間 CV の関連因子を明らかにするため

重回帰分析を行った。下腿外側傾斜角度 CV, 伸展 ROM (健側・患側), 伸展筋力 (健側・患側), ①QS, ②足踏み運動, ③片脚 squat 運動のそれぞれの動作における運動時痛の有無の項目のなかで歩行周期時間 CV との間に有意な相関関係が認められた項目を独立変数とし, 歩行周期時間 CV を従属変数として重回帰分析を行った。なお, いずれの検定も危険率 5%未満を有意とした。

第 3 節 結果

歩行周期時間 CV と各測定項目との相関係数を表 3-2 に示す。歩行周期時間 CV と足踏み運動の疼痛の有無 ($\rho=0.460$, $p<0.05$), 健側および患側における下腿外側傾斜角度 CV の間に有意な相関関係を認めた (健側 $\rho=0.632$, $p<0.01$, 患側 $\rho=0.457$, $p<0.05$)。また歩行周期時間 CV と 5m 歩行時間 の間に有意な正の相関関係を認め ($\rho=0.459$, $p<0.05$), WOMAC との間に有意な正の相関関係を認めた ($\rho=0.434$, $p<0.05$)。歩行周期時間 CV と伸展 ROM や伸展筋力との間には有意な相関関係を認めなかった。

さらに回帰分析の結果を表 3-3 に示す。歩行周期時間 CV の関連因子として抽出された項目は認められなかった。

表 3-2 歩行周期時間 CV との相関係数

	相関係数
Quad setting の疼痛	0.245
足踏み運動の疼痛	0.460*
片脚 squat の疼痛	0.155
伸展 ROM (患側)	-0.254
伸展 ROM (健側)	-0.176
伸展筋力 (患側)	-0.243
伸展筋力 (健側)	-0.130
下腿外側傾斜角度 CV (患側)	0.457*
下腿外側傾斜角度 CV (健側)	0.632**
5m 歩行時間	0.459*
WOMAC	0.434*

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

CV : coefficient of variation value

表 3-3 歩行周期時間 CV の関連因子

独立変数	非標準化係数 β	95%信頼区間		標準化係数 β	p 値
		下限	上限		
定数	-2.037	-6.430	2.356		
足踏み運動の疼痛の有無	1.054	-0.165	2.273	0.345	0.086
下腿外側傾斜角度 CV (患側)	-0.053	-6.473	6.366	-0.004	0.986
下腿外側傾斜角度 CV (健側)	6.428	-0.941	13.797	0.444	0.084

$R=0.672$, $R^2 = 0.452$

CV : coefficient of variation value

第 4 節 考察

本研究は歩行周期時間 CV と関連する要因を明らかにすることで、歩行周期時間 CV の改善を目標としたリハビリテーションの一助とすることを目的として行った。相関関係を調べた結果、歩行周期時間 CV と足踏み運動の疼痛の有無、患側と健側の下腿外側傾斜角度 CV、5m 歩行時間、WOMAC の間に有意な相関関係を認めた。

まず、足踏み運動時の疼痛と歩行周期時間 CV の間に有意な相関関係を認めた。膝 OA 患者の歩行動作において、ローディングレスポンス期の膝関節屈曲運動が減少し、外部膝関節屈曲モーメント (knee flexion moment : 以下, KFM) も減少することが報告されている⁷²⁾。この現象は疼痛に関連した KFM を減少させるための代償と考えられる。本研究において屈曲位で実施している足踏み運動で疼痛が生じている対象も屈曲位を回避し、ローディングレスポンス期の膝関節屈曲を減少させている可能性がある。このような膝関節屈曲の疼痛回避は正常歩行から逸脱してしまい、歩行リズムを乱すと考えられ、歩行周期時間 CV が高値を示したと推察した。

次に歩行周期時間 CV と下腿外側傾斜角度 CV の間に有意な正の相関関係を認めた。膝 OA 患者における膝関節角度 CV を調べた先行研究では、膝内反角度 CV が大きい膝 OA 患者は自覚的に膝の不安定感を感じていると報告されている⁷³⁾。本研究でも前額面の角度である下腿外側傾斜角度 CV が大きい対象は膝の自覚的な不安定感を感じていた可能性が示された。また、歩行周期時間 CV は時間的な変動を示し、下腿外側傾斜角度 CV は関節運動の変動を示す。下腿外側傾斜角度は膝 OA に特異的な関節運動であり、この関節角度 CV と歩行周期時間 CV との間に関連が認められたことは健常者にはない特徴である。さらに本研究の動作解析はカメラ 1 台での二次元動作を解析している。三次元動作解析と比較し、簡便な方法でもこのような結果が得られたことは臨床にも用いやすいと考えられる。

このように歩行周期時間 CV と足踏み運動の疼痛の有無や下腿外側傾斜角度 CV と有意な相関関係が認められた。一方で、重回帰分析の結果では歩行周期時間 CV の関連因子として抽出された項目は認められなかった。これは対象が 24 名とサンプルサイズが小さいことが影響している可能性が考えられる。このため対象数を増やして検討する必要があると考える。

健常者において歩行周期時間 CV は膝伸展筋力と相関することが報告されている^{53, 54)}。しかしながら、本研究において、膝 OA 患者を対象にした場合、歩行周期時間 CV は伸展筋力や伸展可動域といった膝関節機能と関連しないことが示された。膝 OA の歩行の安定性向上においては大腿四頭筋の筋力の貢献は少ないのかもしれない。Inoue ら⁷⁴⁾の報告では地域在住の健常高齢者において、歩行周期時間 CV は股関節外転筋力との相関が述べられている。股関節外転筋力は膝 OA においても重要な機能として報告されており、Chang ら⁷⁵⁾によって股関節外転モーメントの大きさは膝 OA の進行を減少させる可能性が報告されている。一方で KAM 軽減には大腿四頭筋は関与しない。このようなことから股関節外転筋力が歩行周期時間 CV に及ぼす影響も重要と考えられ、今後さらに詳細な検討が必要である。また膝関節の安定性という観念は拮抗筋との相対した筋出力が求められるため、今後は膝関節の屈曲筋力との関連も見る必要があると考える。

さらに本研究では、歩行周期時間 CV と歩行速度との相関も認められた。健常者において、歩行周期時間 CV と歩行速度は関連があると報告されており、先行研究と同様の結果であった^{48, 52)}。したがって、健常高齢者のみでなく膝 OA を対象とした場合でも歩行周期時間 CV は歩行速度と関連することが新たな知見として示され、歩行周期時間 CV 改善には歩行速度を向上させる必要が考えられる。

最後に、歩行周期時間 CV と WOMAC の間に有意な正の相関関係が認められた。この結果より、歩行が不安定な対象は膝 OA の身体的な健康状態を表す WOMAC の点数も悪いことが示された。したがって、歩行周期時間 CV の改善は膝 OA 患者の身体機能の向上につながる可能性が考えられる。

本研究の限界として、課題動作をトレッドミル歩行とした点も限界のひとつである。変動性を計測する場合、ある程度の歩数の確保が必要であり、さらに動作解析を行うためトレッドミル歩行の課題が適していると考えたが、トレッドミル歩行の慣れ（経験の有無）という点において結果に影響を与えていることが考えられる。

今後の展望として、トレッドミル歩行の経験が豊富な対象の選定、変形進行との関連を考慮する場合には K-L 分類において変形が異なる対象を十分な人数確保する必要性が挙げられる。このような点を考慮し、膝 OA 患者における歩行周期時間 CV 評価の有用性を示すためにさらなる研究を行うことが重要と考える。

第 5 節 結論

本研究から歩行周期時間 CV と関連する要因は屈曲位の足踏み運動時の疼痛の有無，下腿外側傾斜角度 CV であることがわかった．これらの項目の改善が歩行周期時間 CV の改善につながる可能性が考えられるが，この点を明らかにするためには今後の介入研究が必要と考える．

第 4 章 総合考察

膝 OA に対する運動療法を施行する上で、膝関節運動時痛は、関節周囲組織に何らかの機械的ストレスが加わることによって生じ、関節機能や身体能力に大きな影響を与える。特に大腿四頭筋の筋収縮時に生じる疼痛は、非荷重位や荷重位などの様々な関節運動条件下で起こり、筋力増強運動の阻害因子になり得る。また膝 OA 患者における大腿四頭筋の筋力は、抗重力筋として体重を支持するだけでなく、歩行速度や疼痛の軽減にも関連することが報告されており、重要な役割を担っていると考えられた。このような点から、大腿四頭筋の収縮に伴う膝関節伸展運動時の疼痛は、膝関節機能や歩行能力低下と関連するのではないかという臨床疑問から本研究に取り組んだ。

第 1 章では膝関節伸展運動時痛と歩行能力のなかでも歩行速度に注目し、膝 OA 患者における膝関節伸展運動時痛と歩行速度との関連性を明らかにすることを目的とした。5m 歩行時間と関連する項目を調査した結果、5m 歩行時間と患側伸展 ROM、患側伸展筋力、QS の疼痛の有無、足踏み運動の疼痛の有無の間に統計的に有意な相関関係を認めた。大腿四頭筋筋力は歩行速度と関連するという報告に加え、QS と足踏み運動の疼痛の有無が歩行速度と関連することが示された。つまり単関節運動における筋収縮時と荷重下における関節運動時の疼痛が歩行に与える影響を注視する必要があると考えられた。

さらに第 2 章では歩行能力の歩行変動性の評価指標として、歩行周期時間 CV の特徴を明らかにすることを目的として、膝 OA 患者と健常高齢者で歩行周期時間 CV を比較した。その結果、歩行周期時間 CV は膝 OA 群が健常群より有意に高値を示しており、膝 OA 患者の歩行変動が大きい傾向にあった。このことから歩行周期時間 CV の指標は、膝 OA 患者の歩行能力を評価する一助となると考えられた。

第 3 章では、膝 OA の歩行周期時間 CV に関連する膝関節機能や疼痛、歩行動作の運動学的 (kinematics) パラメータを明らかにすることを目的とした。この結果より、歩行周期時間 CV と足踏み運動の疼痛の有無、患側と健側の下腿外側傾斜角度 CV の間に有意な相関関係を認めており、歩行周期時間 CV と関連する要因は足踏み動作時の疼痛や下腿外側傾斜角度 CV であることが明らかになった。

これらの研究を通じて、膝 OA 患者における歩行速度には膝伸展筋力と伸展 ROM、QS と足踏み運動の疼痛有無が関連していた。歩行変動性には足踏み運動の疼痛有無が

関連するが、膝伸展筋力や伸展 ROM は関連しないことが明らかになった。さらに歩行周期時間 CV には膝 OA の歩行の特徴である下腿外側傾斜角度 CV が関連している可能性が示された。これらの結果より歩行速度、歩行変動性ともに膝関節伸展運動時の疼痛の有無が影響しており、特に足踏み運動における疼痛発生状況が重要であることが示唆された。先行研究から、膝関節機能の指標には ROM や筋力が測定されてきたものの、膝関節運動時の疼痛との関連性は明らかでなかった。本研究により足踏み動作時と膝関節伸展運動時の疼痛が関連することが示されたことから、膝 OA 患者に対する疼痛評価を実施する上で、これらの動作や運動時に伴う疼痛を把握する重要性が示唆された。

今後の展望として、関節運動時痛の軽減が歩行速度と歩行変動性の改善につながるのかを検証する必要がある。膝 OA 患者の膝関節伸展運動時痛に対する運動療法介入を行い、介入前後の歩行能力を調査することで明らかにすることができると考えている。

終章 結論（総合）

本論文は、「変形性膝関節症患者における膝関節伸展運動時の疼痛と歩行能力の関連性」と題し、膝 OA 患者における膝関節伸展運動の際に生じる疼痛が歩行速度と歩行変動性と関連するかを調べることを目的とした。

第 1 章では、膝 OA 患者において QS と足踏み運動の疼痛の有無が歩行速度と関連することが明らかになった。

第 2 章では、歩行周期時間 CV を膝 OA 患者と健常高齢者と比較検討し、膝 OA 群の歩行周期時間 CV は健常群と比較して有意に高値を示しており、歩行変動性が大きくなる傾向を捉えた。さらに第 3 章では、膝 OA 患者における歩行周期時間 CV と足踏み運動の疼痛の有無、患側と健側の下腿外側傾斜角度 CV の間に関連性を認め、歩行変動性を評価するうえでは足踏み運動の疼痛の有無と下腿外側傾斜角度 CV を指標とできる可能性が示唆された。

第 1～3 章の結果から歩行速度、歩行変動性ともに膝関節伸展運動時の疼痛の有無、特に足踏み運動の疼痛の有無が関連していることから、足踏み運動による疼痛発生状況と歩行変動性を評価する重要性が示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり，研究に参加していただいた患者様に深く感謝いたします。

本研究の研究活動および論文作成を進めるにあたり，ご指導いただきました吉備国際大学大学院保健科学研究科の河村顕治先生，京都橘大学大学院健康科学研究科の横山茂樹先生に心から感謝の意を表します。また，論文作成にあたり，数々のご助言とご指導を賜りました吉備国際大学大学院保健科学研究科の齋藤圭介先生，森芳史先生，森下元賀先生に深謝いたします。

そして，日頃の臨床業務に加えて研究の測定にご協力していただきました杉の下整形外科クリニックのスタッフの皆様，大学院への進学を快く認めて下さった杉之下武彦院長に深く感謝いたします。

最後に，大学院への進学を理解し，今まで支え続けてくれた家族に心から感謝いたします。

学位論文の基礎となる原著

1. 秋本剛, 河村顕治, 和田孝明, 河野達哉, 石原直道, 横田あかね, 杉之下武彦, 横山茂樹 (2020) 変形性膝関節症における膝関節伸展に伴う疼痛の有無と膝伸展機能および歩行速度の比較. 理学療法科学 35 : 705-710
2. 秋本剛, 河村顕治, 大西邦博, 横山茂樹 (2021) 変形性膝関節症患者と健常高齢者の歩行周期時間変動の差異. 臨床バイオメカニクス 42 : 29-32
3. Takeshi Akimoto, Kenji Kawamura, Takaaki Wada, Naomichi Ishihara, Akane Yokota, Takehiko Suginoshita, Shigeki Yokoyama (2022) Gait cycle time variability in patients with knee osteoarthritis and its possible associating factors. Journal of Physical Therapy Science 34: in press
4. 秋本剛, 河村顕治, 横山茂樹 (2022) 変形性膝関節症患者における歩行時の下腿外側傾斜角度の変動に関連する因子について. 運動器リハビリテーション 32: in press

参考文献

- 1) 古松毅之 (2012) 分類と診断基準. 変形性関節症の診かたと治療 第2版. 尾崎敏文, 西田圭一郎 (編), 医学書院, 東京, pp6
- 2) Alkan BM, Fidan F, Tosun A, Ardıçoğlu O (2014) Quality of life and self-reported disability in patients with knee osteoarthritis. *Mod Rheumatol* 24: 166-171
- 3) Woo J, Lau E, Lee P, Kwok T, Lau WC, Chan C, Chiu P, Li E, Sham A, Lam D (2004) Impact of osteoarthritis on quality of life in a Hong Kong Chinese population. *J Rheumatol* 31: 2433-2438
- 4) Choojaturro S, Sindhu S, Utriyaprasit K, Viwatwongkasem C (2019) Factors associated with access to health services and quality of life in knee osteoarthritis patients: a multilevel cross-sectional study. *BMC Health Serv Res*, 19: 688
- 5) Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Mabuchi A, En-Yo Y, Yoshida M, Saika A, Yoshida H, Suzuki T, Yamamoto S, Ishibashi H, Kawaguchi H, Nakamura K, Akune T (2009) Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J Bone Miner Metab* 27: 620-628
- 6) Zhang Y, Jordan JM (2010) Epidemiology of osteoarthritis. *Clin Geriatr Med* 26: 355-369
- 7) Bitton R (2009) The economic burden of osteoarthritis. *Am J Manag Care* 15: S230-235
- 8) Nakamura K (2008) A "super-aged" society and the "locomotive syndrome". *J Orthop Sci* 13: 1-2
- 9) 石島旨章, 久保田光昭, 寧亮, 劉立足, 金子晴香, 二見一平, 定月亮, 羽田晋之介, ANWARJANYUSUP, 清村幸雄, 平澤恵理, 斎田良知, 高澤祐治, 池田浩, 黒澤尚, 金子和夫 (2013) 変形性膝関節症の病態・診断・治療の最前線. *順天堂醫事雑* 59: 138-151
- 10) Garriga C, Sánchez-Santos MT, Judge A, Hart D, Spector T, Cooper C, Arden NK (2020) Predicting Incident Radiographic Knee Osteoarthritis in Middle-Aged

- Women Within Four Years: The Importance of Knee-Level Prognostic Factors.
Arthritis Care Res (Hoboken) 72: 88-97
- 11) Yoshimura N, Nishioka S, Kinoshita H, Hori N, Nishioka T, Ryujin M, Mantani Y, Miyake M, Coggon D, Cooper C (2004) Risk factors for knee osteoarthritis in Japanese women: heavy weight, previous joint injuries, and occupational activities. J Rheumatol 31: 157-162
 - 12) 大森豪 (2003) 変形性膝関節症の病態と悪化因子. 新潟医学会雑誌 117 : 397-400
 - 13) Ledingham J, Regan M, Jones A, Doherty M (1993) Radiographic patterns and associations of osteoarthritis of the knee in patients referred to hospital. Ann Rheum Dis 52: 520-526
 - 14) Kellgren JH, Lawrence JS (1957) Radiological assessment of osteo-arthritis. Ann Rheum Dis 16: 494-502
 - 15) 理学療法ハンドブック シリーズ 7 変形性膝関節症. 公益社団法人 日本理学療法士協会 発行
 - 16) Steultjens M, Dekker J, van Baar M, Oostendorp R, Bijlsma J (2000) Range of joint motion and disability in patients with osteoarthritis of the knee or hip. Rheumatology 39: 955-961
 - 17) Steultjens M, Dekker J, van Baar M, Oostendorp R, Bijlsma J (2001) Muscle strength, pain and disability in patients with osteoarthritis of the knee or hip. Clin Rehabil 15: 331-341
 - 18) Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Karvonen-Gutierrez C, Sowers MF (2010) Isometric quadriceps strength in women with mild, moderate, and severe knee osteoarthritis. Am J Phys Med Rehabil 89:541-548
 - 19) Cheing GL, Hui-Chan CW (2001) The motor dysfunction of patients with knee osteoarthritis in a Chinese population. Arthritis Rheum 45: 62-68
 - 20) Mills K, Hunt MA, Ferber R (2013) Biomechanical deviations during level walking associated with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. Arthritis Care Res 65: 1643-1665

- 21) Chen CP, Chen MJ, Pei YC, Lew HL, Wong PY, Tang SF (2003) Sagittal plane loading response during gait in different age groups and in people with knee osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehabil* 82: 307-312
- 22) Al-Zahrani KS, Bakheit AM (2002) A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. *Disabil Rehabil* 24: 275-280
- 23) Fukutani N, Iijima H, Aoyama T, Yamamoto Y, Hiraoka M, Miyanobu K, Jinnouchi M, Kaneda E, Tsuboyama T, Matsuda S (2016) Knee pain during activities of daily living and its relationship with physical activity in patients with early and severe knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol* 35: 2307-2316
- 24) 赤木将男 (2015) 変形性膝関節症の X 線像と痛み：解離はなぜ生じるのか. *臨床リウマチ* 27 : 157-161
- 25) Hill CL, Gale DG, Chaisson CE, Skinner K, Kazis L, Gale ME, Felson DT (2001) Knee effusions, popliteal cysts, and synovial thickening: association with knee pain in osteoarthritis. *J Rheumatol* 28: 1330-1337
- 26) Sofat N, Ejindu V, Kiely P (2011) What makes osteoarthritis painful? The evidence for local and central pain processing. *Rheumatology (Oxford)* 50: 2157-2165
- 27) 石黒直樹, 原田紀子, 江端望, 藤井幸一 (2020) 変形性関節症はなぜ痛いのか? *日本ペインクリニック学会誌* 27 : 8-14
- 28) 阿漕孝治, 池内昌彦 (2016) 早期・初期膝 OA と疼痛. *Bone Joint Nerve* 22 : 527-531
- 29) Sharma L, Hurwitz DE, Thonar EJ, Sum JA, Lenz ME, Dunlop DD, Schnitzer TJ, Kirwan-Mellis G, Andriacchi TP (1998) Knee adduction moment, serum hyaluronan level, and disease severity in medial tibiofemoral osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 41: 1233-1240.
- 30) Amin S, Luepingsak N, McGibbon CA, LaValley MP, Krebs DE, Felson DT (2004) Knee adduction moment and development of chronic knee pain in elders. *Arthritis Rheum* 51: 371-376
- 31) Rice DA, McNair PJ (2010) Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 40: 250-266

- 32) 渡邊裕之, 占部憲, 神谷健太郎, 濱崎伸明, 見井田和正, 須田久美, 辺土名隆, 藤田護, 相川淳, 糸満盛憲, 二見俊郎 (2007) 変形性膝関節症における Quality of Life (QOL) と身体特性との関係—日本版膝関節症機能評価尺度 (JKOM) を用いた評価—。理学療法学 34 : 67-73
- 33) Alkan BM, Fidan F, Tosun A, Ardıçoğlu O (2014) Quality of life and self-reported disability in patients with knee osteoarthritis. Mod Rheumatol 24: 166-171
- 34) Fransen M, McConnell S (2008) Exercise for osteoarthritis of the knee. Cochrane Database Syst Rev 8: CD004376
- 35) Lange AK, Vanwanseele B, Fiatarone Singh MA (2008) Strength training for treatment of osteoarthritis of the knee: a systematic review. Arthritis Rheum 59: 1488-1494.
- 36) 黒澤尚 (2013) 変形性膝関節症と運動療法 : その効果の生物学的機序. 順天堂醫事雑 59 : 163-170
- 37) Carlesso LC, Segal NA, Frey-Law L, Zhang Y, Na L, Nevitt M, Lewis CE, Neogi T (2019) Pain Susceptibility Phenotypes in Those Free of Knee Pain With or at Risk of Knee Osteoarthritis: The Multicenter Osteoarthritis Study. Arthritis Rheumatol 71: 542-554
- 38) Ginckel AV, Bennell KL, Campbell PK, Kasza J, Wrigley TV, Hunter DJ, Hinman RS (2017) Associations between changes in knee pain location and clinical symptoms in people with medial knee osteoarthritis using footwear for self-management: an exploratory study. Osteoarthritis Cartilage 25: 1257-1264
- 39) Carlesso LC, Niu J, Segal NA, Frey-Law LA, Lewis CE, Nevitt MC, Neogi T (2017) The Effect of Widespread Pain on Knee Pain Worsening, Incident Knee Osteoarthritis (OA), and Incident Knee Pain: The Multicenter OA (MOST) Study. J Rheumatol 44: 493-498
- 40) Gök H, Ergin S, Yavuzer G (2002) Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. Acta Orthop Scand 73: 647-52

- 41) Robon MJ, Perell KL, Fang M, Guerro E (2000) The relationship between ankle plantar flexor muscle moments and knee compressive forces in subjects with and without pain. *Clin Biomech* 15: 522-527
- 42) Potter JM, Evans AL, Duncan G (1995) Gait speed and activities of daily living function in geriatric patients. *Arch Phys Med Rehabil* 76:997-999
- 43) Bohannon RW (1997) Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. *Age Ageing* 26:15-19
- 44) 宮原洋八, 竹下寿郎, 西三津代 (2005) 地域在住高齢者の運動能力と生活機能—5年間の縦断変化—. *理学療法科学* 20 : 329-333
- 45) 吴婷琦 (2004) 高齢女性の歩行能力と基礎的体力要因との関連. 広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部 文化教育開発関連領域 52 : 279-286
- 46) Marks R (2007) Physical and psychological correlates of disability among a cohort of individuals with knee osteoarthritis. *Can J Aging* 26: 367-77
- 47) Barker K, Lamb SE, Toye F, Jackson S, Barrington S (2004) Association between radiographic joint space narrowing, function, pain and muscle power in severe osteoarthritis of the knee. *Clin Rehabil* 18: 793-800
- 48) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK (2001) Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 1050–1056
- 49) Clermont CA, Barden JM (2016) Accelerometer-based determination of gait variability in older adults with knee osteoarthritis. *Gait Posture* 50: 126–130
- 50) Kiss RM (2011) Effect of severity of knee osteoarthritis on the variability of gait parameters. *J Electromyogr Kinesiol* 21: 695–703
- 51) Hiyama Y, Asai T, Wada O, Maruno H, Nitta S, Mizuno K, Iwasaki Y, Okada S (2015) Gait variability before surgery and at discharge in patients who undergo total knee arthroplasty: a cohort study. *PLoS One* 24: e0117683
- 52) Balasubramanian CK, Clark DJ, Gouelle A (2015) Validity of the gait variability index in older adults: effect of aging and mobility impairments. *Gait Posture* 41: 941-946

- 53) Bogen B, Moe-Nilssen R, Aaslund MK, Ranhoff AH (2020) Muscle strength as a predictor of gait variability after two years in community-living older adults. *J Frailty Aging* 9: 23–29
- 54) Matsuda K, Ikeda S, Nakahara M, Ikeda T, Okamoto R, Kurosawa K, Horikawa E (2015) Factors affecting the coefficient of variation of stride time of the elderly without falling history: a prospective study. *J Phys Ther Sci* 27: 1087-1090
- 55) Spinoso DH, Bellei NC, Marques NR, Navega MT (2018) Quadriceps muscle weakness influences the gait pattern in women with knee osteoarthritis. *Adv Rheumatol* 58:26.
- 56) WORLD MEDICAL ASSOCIATION (2013) ヘルシンキ宣言. 人間を対象とする医学研究の倫理的原則 日本医師会訳
- 57) Bellamy N, Buchanan WW, Goldsmith CH, Campbell J, Stitt LW (1988) Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol* 15: 1833–1840
- 58) Katoh M, Yamasaki H (2009) Comparison of reliability of isometric leg muscle strength measurements made using a hand-held dynamometer with and without a restraining belt. *J Phys Ther Sci* 21: 37–42
- 59) Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R (1988) Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 16: 113-122
- 60) 河村顕治 (2007) 大腿直筋における CKC サイレント現象. 日本臨床バイオメカニクス学会誌 28 : 375-379
- 61) Cibere J (2006) Do we need radiographs to diagnose osteoarthritis? *Best Pract Res Clin Rheumatol* 20: 27-38
- 62) Fernandez-Lopez JC, Laffon A, Blanco FJ, Carmona L (2008) Prevalence, risk factors, and impact of knee pain suggesting osteoarthritis in Spain. *Clin Exp Rheumatol* 26: 324-332
- 63) 天野徹哉, 玉利光太郎, 吉井健悟, 河村顕治 (2012) 変形性膝関節症患者における半年後の歩行速度の予測因子の検証. 理学療法科学 27 : 227-230

- 64) 鈴木洋子, 福田光祐, 鶴見隆正 (1976) 変形性膝関節症の大腿四頭筋訓練方法 - 三方法の比較-. 臨床理学療法 2 : 56-62
- 65) He BX, Tan YJ, Xia WR, Wei W (2012) Case-control study on isometric quadriceps femoris contraction exercises for the treatment of knee osteoarthritis. Zhongguo Gu Shang 25: 369-372
- 66) 今泉寛 (1999) 高齢障害者の移動能力における簡易評価法の開発とその有効性-足踏みバランステストおよびつかまり立ちテストとの関係を中心として-. 昭和医学会雑 59 : 73-86
- 68) 田中颯, 中島弘貴, 村木里志 (2017) 足踏み動作と歩行動作における関係性の検討. 人間工学 特別号 53 : 256-257
- 69) 木藤伸宏, 山崎貴博, 岡西奈津子, 阿南雅也, 小澤淳也, 金村尚彦, 新小田幸一 (2009) 変形性膝関節症の理学療法における運動制御・学習理論の応用. 理学療法 26 : 849-862
- 70) Perera S, Mody SH, Woodman RC, Studenski SA (2006) Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. J Am Geriatr Soc 54: 743-749
- 71) Yu H, Riskowski J, Brower R, Sarkodie-Gyan T (2009) Gait Variability while walking with three different speeds. 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics: 823-827
- 72) Henriksen M, Graven-Nielsen T, Aaboe J, Andriacchi TP, Bliddal H (2010) Gait changes in patients with knee osteoarthritis are replicated by experimental knee pain. Arthritis Care Res 62: 501-509
- 73) Gustafson JA, Robinson ME, Fitzgerald GK, Tashman S, Farrokhi S (2015) Knee motion variability in patients with knee osteoarthritis: The effect of self-reported instability. Clin Biomech 30: 475-480
- 74) Inoue W, Ikezoe T, Tsuboyama T, Sato I, Malinowska KB, Kawaguchi T, Tabara Y, Nakayama T, Matsuda F, Ichihashi N (2017) Are there different factors affecting walking speed and gait cycle variability between men and women in community-dwelling older adults. Aging Clin Exp Res 29: 215-221

- 75) Chang A, Hayes K, Dunlop D, Song J, Hurwitz D, Cahue S, Sharma L (2005)
Hip abduction moment and protection against medial tibiofemoral osteoarthritis
progression. *Arthritis Rheum* 52: 3515-3519