

変形性関節症者を対象とした異常歩行の定量的評価手法の研究

Study on Quantitative Evaluation Method for Abnormal Gait with Osteoarthritis

原 良昭 赤澤康史

HARA Yoshiaki, AKAZAWA Yasushi

占部貴大 清水俊行 大門守雄 趙 源一 菅美由紀 椎名祥子 丸山洋司 大島隆司

中野直樹 小田崇弘 北川 篤 津村暢宏 (兵庫県立リハビリテーション中央病院)

URABE Takahiro, SHIMIZU Toshiyuki, OKADO Morio, CHO Wonil, SUGA Miyuki, SHIINA Shouko, MARUYAMA Youji, OSHIMA Takashi, NAKANO Naoki, ODA Takahiro, KITAGAWA Atsushi, TUMURA Nobuhiro (Hyogo Rehabilitation Center Hospital)

キーワード:

変形性関節症、歩行分析、床反力、加速度、カルテ調査、入院期間

Keywords:

Osteoarthritis, Gait analysis, Ground reaction force, Acceleration, Medical record documentation and Duration of hospitalization

Abstract:

In this study, gait analysis of patient with hip/knee osteoarthritis and medical record documentation of patient with hip osteoarthritis were done.

In gait analysis, ground reaction forces and acceleration of lower limbs of eleven patients with hip/knee osteoarthritis, and analysis effect of artificial joint replacement to the force.

In medical record documentation, we survey relation between functional capacity included physical condition such as pain of joint before total hip arthroplasty and duration of hospitalization.

1 はじめに

変形性関節症（以下、OA: Osteoarthritis）とは関節軟骨に生じた変性や断裂などにより関節に痛みが生じる疾患である。変性や断裂が生じる原因の1つに加齢があるため、超高齢社会である日本におけるOA患者数は今後も増加すると考えられる。

兵庫県立リハビリテーション中央病院では変形性

膝関節症（以下、膝OA）と変形性股関節症（以下、股OA）を合わせて毎年約200件以上の人工関節置換術を行っている。このように毎年約200件以上の人工関節置換術を行うことで中央病院の医師や理学療法士（以下、医療従事者）はOAに関する知見を培っている。臨床経験が豊富な医療従事者が自らの知見を臨床経験が浅い医療従事者に伝えること、すなわち、技術・知識の後継は医学の発展にとって必要不可欠なことであり、円滑な技術・知識の後継によりOA患者が受けられる医療水準が上がる。しかし、知見には他者への伝達が困難な定性的なものもあり、円滑な技術・知識の後継を妨げている。また、定量化されていない知見は科学的な検証が困難でもある。

本研究課題では、OA患者が受けられる医療水準の向上のために、医療従事者の知見の定量化を行うために歩行分析とカルテ調査を行った。

2 歩行分析

2.1 研究背景

OAにより正常歩行から逸脱した歩容になることがある。このような歩容の歩行は異常歩行と呼ばれる。異常歩行の定義は定性的なものが多いため、その評価は医療従事者が主観的に行っている。妥当な主観的評価を行うには一定の臨床経験が必要となるため、臨床経験が豊富な医療従事者が行っている主観的な評価と同等の評価が可能な客観定量的な指標

が求められている。

実験室環境では歩行能力の定量的評価指標として床反力がよく用いられる。床反力の前後成分は、それぞれ、歩行速度に対する正の加速度と負の加速度とみなせる。定常歩行時の健常者は、歩行速度がほぼ一定のため、脚毎の前方向成分の積算値（以下、加速成分）と後方向成分の積算値（以下、減速成分）はほぼ同じとなる。しかし、片麻痺者では麻痺側と非麻痺速で偏りが生じることを、また、Brunnstrom recovery stageが低いほど偏りも大きくなることをBowden等は報告している¹⁾。この偏りは非麻痺側と麻痺側の機能差によるものと考えられる。OA患者についても床反力の前後成分の偏りが生じると、また、人工関節置換術によりその偏りが是正されることが考えられる。

また、床反力計は高価であるため、より安価な加速度センサを用いた歩行能力の評価も良くされている。歩行時に身体に生じる加速度には着床時に大きなピークが生じることが、また、このピークは一般的に下腿部より大腿部が小さくなることが知られている。これは着床の衝撃を膝関節で吸収された結果と考えられる。この下腿部と大腿部のピーク比は膝関節の衝撃吸収能力を示し、全人工関節置換術により変化すると考えられる。

本研究課題では、OAおよび全人工関節置換術による歩行能力の変化を明らかにするために人工関節置換術前および退院時の床反力と加速度の計測を行った。

2.2 実験内容

2.2.1 計測内容

本研究では静止立位および定常歩行時における床反力、動画象および身体各部の3次元座標と加速度を計測した。定常歩行の前後にはVisual Analog Scale（以下、VAS）を用いて術側と非術側の疾患関節の痛みを評価し、Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index（以下、WOMAC）に準じた内容を用いて計測時におけるOAの程度を評価した。なお、術側とは術前では全人工関節置換術を予定している側を、術後では手術を行った側と定義する。本研究において、術側が術前と退院前で異なった被験者はいない。

床反力、動画象および身体の3次元座標はキスラー社製床反力計（Z13216、長さ1.2m、幅0.6m）2枚が接続されたMotion Analysis社製3次元動作解析システムであるMAC3D System（以下、MAC3D）を用いて計測した。動画象は被験者の右方向および

後方の2方向から撮影し、それぞれ、矢状面画像と前額面動画象の2種類を撮影した。3次元座標を計測するために赤外線マーカーを添付した部位を表1に示す。

加速度を計測した部位は、仙骨、腰椎のL5近辺、頸椎のC7近辺および左右の大腿部と下腿部である。各部位の加速度の計測は、ロジカルプロダクト社製のLP-WS0901（55mm×40mm×22mm、電池込み35g）を用いた。LP-WS0901は内部に記録用のメモリを持っているため、従来の加速度センサのように、センサ部と記録部を繋ぐケーブルにより被験者の動きを妨げることはない。LP-WS0901は制御用のパーソナルコンピュータ（以下、PC）と無線で接続されており、PCから送信された計測開始命令を受信することで計測を開始する。

LP-WS0901とMAC3Dの同期には、ロジカルプロダクト社の同期パルス発生装置（LP-WSY11）を用いた。LP-WSY11は制御用PCが発した計測開始命令を受信するとパルス信号を出力する装置であり、パルス信号をMAC3DのA/Dコンバータに入力することでLP-WS0901とMAC3Dの同期を行った。

サンプリングレートは床反力と加速度が1kHz、身体の3次元座標は100Hzである。また、動画象は30fpsで撮影した。計測システムの配線を図1に示す。

術前・退院前ともに、初めに静止立位時の床反力と床反力を計測し、その後、定常歩行時の床反力を計測した。計測環境を図2に示す。歩行経路は10mの直線であり中間地点には2枚の床反力計が歩行経路に対して平行に埋め込まれている。被験者には左右の足の床反力を個別に計測するために2枚の床反力を踏み分けるように指示した。定常歩行の計測は

表1 マーカの添付位置
Table1 Position of markers

マーカ番号	マーカの添付位置	
1	頭	頭頂
2	右肩	肩峰中央
3	右股関節	右大転子と上前腸骨棘を結んだ直線上で大転子から1/3の位置
4	右膝関節	大腿骨外果上顆
5	右足関節	右足関節外果
6	右足部	第5中足骨骨頭
7	左肩	肩峰中央
8	左股関節	左大転子と上前腸骨棘を結んだ直線上で大転子から1/3の位置
9	左膝関節	大腿骨外果上顆
10	左足関節	左足関節外果
11	左足部	第5中足骨骨頭
12	仙骨	仙骨

どの被験者においても4回以上行った。

歩行計測は兵庫県立福祉のまちづくり研究所倫理委員会に承認されたプロトコルに従って行った。また、各被験者に対しては歩行計測前に書面での説明後、同意を得てから歩行計を行った。

2.2.2 被験者

被験者は、全人工関節置換術を目的に入院された膝OA（術前11名[男女比1:10]、退院前10名[男女比1:9]）および股OA（術前6名[男女比1:5]、退院前5名[男女比1:4]）である。ただし、術前と退院前ともに計測できたのは、膝OAが7名[男女比1:6]、股OAが5名[男女比1:4]である。

2.3 解析内容

2.3.1 床反力

立脚期に生じる床反力の前後方向成分から加速成分と減速成分を算出し、成分毎に術側が非術側と術側の合計に占める割合を求めた。その後、求めた割合について平均値が50%かどうかをt検定により確かめた。有意水準は0.05とした。

なお、被験者毎に解析に用いた歩数が異なることを避けるため、解析に用いたのは初めの4施行から非術側および術側から1歩ずつの4歩とずつとした。また、1施行において複数歩の床反力が計測された場合は、非術側および術側ともに初めに計測された1歩を用いた。

2.3.2 加速度

本研究では膝OAを対象とした。着床時の衝撃により生じる下腿部に生じた加速度のピーク値と大腿部のピーク値を求め、その比を術側および非術側ともに算出した。算出した比の中央値に差があるかどうかをマン・ホイットニのU検定を用いて検定した。また、術側および非術側毎に術前と退院前の中央値に差があるかどうかをマン・ホイットニのU検定を用いて検討した。本研究の有意水準は0.05とした。

定常歩行を解析の対象とするために、歩き始めから4歩および歩き終わりの4歩のピークは解析対象から除外した。さらに、被験者毎に解析に用いたピーク数が異なることを避けるため、各側ともに解析に用いたピーク数は10とした。

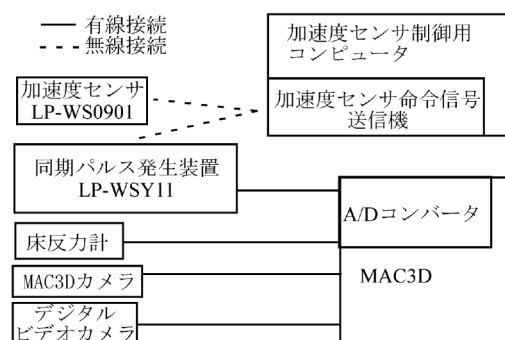


図1 計測システムの配線図

Fig.1 Connection diagram of measurement instrument.

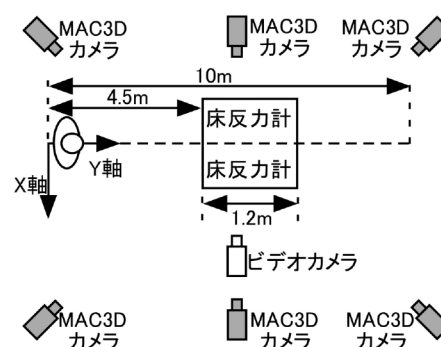


図2 計測環境の概略図

Fig.2 Overhead view of measurement environment

2.4 結果と考察

2.4.1 床反力

図3と図4に膝OAおよび股OAの前後方向床反力の例を示す。表2と表3に膝OAおよび股OAにおける術前と退院前に計測した各成分の非術側と術側の合計に対する術側の割合の平均値と各平均値を50%とした一標本t検定のp値およびサンプル数を示す。

表2により膝OA患者では術前より減速成分も加速成分も術側と非術側が同じだけ生みだしており、術側や非術側のどちらか一方が加速や減速を優位に行うことはないことを示している。一方、表3は股OA患者では術前では減速を術側よりも非術側が優位に行っているが全人工関節置換術後の退院前にはこの優位性が消失することを示している。表2と表3より、膝OAと股OAでは床反力の前後成分の現れ方が異なることが明らかになった。しかし、この床反力の変化は生じた原因については本研究では明らかにするには至らなかった。今後、関節の角度変化や身体各部の動きなど運動学的項目と組み合わせで解釈することで、床反力の変化の原因も明確にする必要がある。

2.4.2 加速度

図5と図6は、それぞれ、術前および退院前に計測された加速度の1例である。各図の上段は下腿部長軸方向の加速度であり、各側ともに大きな周期的な負のピークが確認できる。この特徴的な負のピークは着床時の生じることが予備実験により確認されている。本研究では、このピークを下腿部に生じた衝撃とし、この値に対する同時刻に発生した大腿部の負のピークの割合を求めた。

表4と表5は、ピークの割合に対する術前における術側と非術側間および各側における術前と退院前間のマン・ホイットニのU検定の結果である。表4が示すように、術側と非術側間には中央値に有意な差は見られなかった。一方、表5が示すように計測時期の比較においては、術前と退院前で術側の中央値は有意な減少を示した。

術前および退院前ともに術側と非術側間の中央値に有意な差がなかった。この原因としては被験者の大部分が両側OAであったため、膝関節の衝撃吸収能力に術側と非術側で大差なかった可能性が挙げられる。一方、術側は術前に比べて退院前の値は有意に減少しており、本研究では全人工関節置換術とその後の歩行練習によって下腿部長軸方向から大腿部長軸方向へ伝わる衝撃が減少することを明らかにした。しかし、床反力と同様になぜ衝撃吸収能力が変

化したかについては明確ではなく、運動学的項目と組み合わせ解釈することで、変化の原因を明確にする必要があり、今後の課題である。

表2 膝OAにおける各成分の術側と非術側の割合
Table2 Ratio of acceleration component and deceleration at Surgery Site and Non-surgery Site (Patient with Knee Osteoarthritis)

術前/退院前	減速成分		加速成分	
	術前	退院前	術前	退院前
術側 非術側+術側 の平均値(%)	48.4	48.4	51.1	47.0
平均値が50%と仮定 したt検定のp値	0.175 (n.s.)	0.325 (n.s.)	0.553 (n.s.)	0.097 (n.s.)
サンプル数	44	40	44	44

表3 股OAにおける各成分の術側と非術側の割合
Table3 Ratio of acceleration component and deceleration at Surgery Site and Non-surgery Site (Patient with Hip Osteoarthritis)

計測時期	減速成分		加速成分	
	術前	退院前	術前	退院前
術側 非術側+術側 の平均値(%)	40.9	56.2	48.6	52.3
平均値が50%と仮定 したt検定のp値	0.002	0.06 (n.s.)	0.476 (n.s.)	0.19 (n.s.)
サンプル数	24	20	24	20

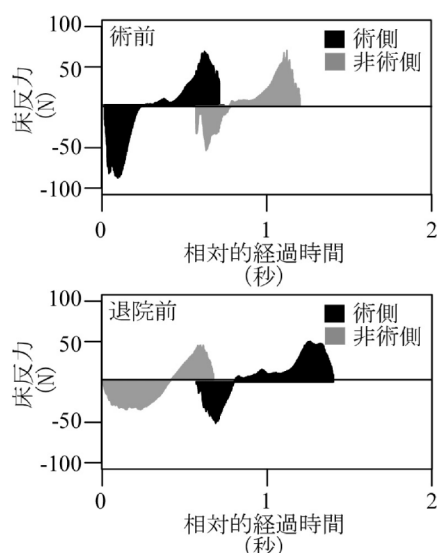


図3 膝OAの前後方向床反力の例
Fig.3 Knee Osteoarthritis's Ground Reaction Force for Anterior-posterior direction.

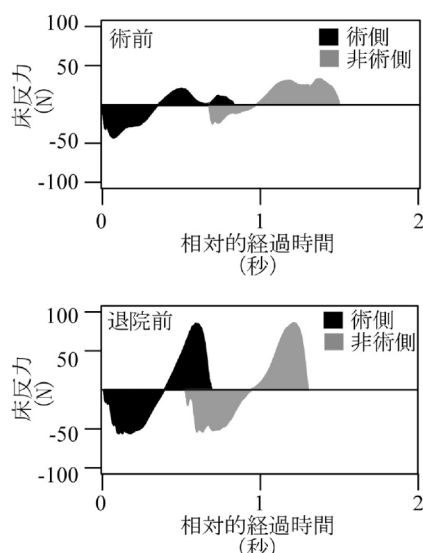


図4 股OAの前後方向床反力の例
Fig.4 Hip Osteoarthritis's Ground Reaction Force for Anterior-posterior direction.

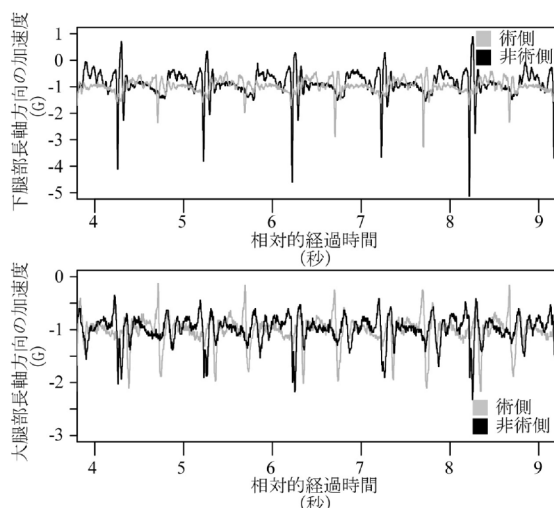


図5 術前における加速度の計測例
Fig.5 Acceleration measured before Total Knee Arthroplasty

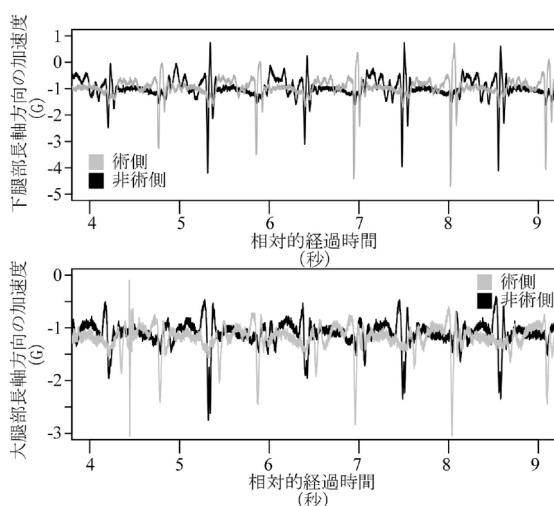


図6 術後における加速度の計測例
Fig.6 Acceleration measured after Total Knee Arthroplasty

3 カルテ調査

3.1 研究背景

兵庫県立リハビリテーション中央病院には全人工股関節置換術を目的に年間100例以上の股OAが入院している。全人工股関節置換術後はクリティカルパスに沿ってリハビリテーション訓練が実施されるが、症例によって入院日数は異なる。

術後の円滑な治療や症例が感じる不安の解消、効率的な入退院管理の観点に基づく、これら日数を術前に予測することは重要である。これら日数の長短には術前の状態が影響を及ぼしていると考えられるが、どのような因子がどの程度の影響を与えているかは明らかではない。

表4 術前における大腿部と下腿部の割合の中央値
術側と非術側の比較

Table4 median of surgery site and non-surgery site and result of Mann-Whitney test

加速度の計測側	術側	非術側
下腿部に対する大腿部のピークの割合の中央値 (%)	65.9	63.0
非術側と術側におけるピークの割合のマン・ホイットニのU検定のp値	0.1486 (n.s.)	

表5 大腿部と下腿部の割合の中央値
計測時期（術前と退院前）の比較

Table5 median of pre/post- Total Knee Arthroplasty and result of Mann-Whitney test

計測側	術側		非術側	
計測時期	術前	退院前	術前	退院前
下腿部に対する大腿部のピークの割合の中央値 (%)	65.9	54.7	63.0	58.4
非術側と術側におけるピークの割合のマン・ホイットニのU検定のp値	0.01325		0.9225 (n.s.)	

そこで本研究では、人工股関節置換術を目的に入院された股OA患者の身体機能と動作能力から入院日数をどの程度の精度で予測できるかを明らかにすることを目的として、入院患者のカルテ調査を行った。

3.2 調査内容

カルテ調査の対象は2008年3月から2012年2月までに当院にて人工関節置換術を行った変形性股関節患者299名である。

カルテからは入院日数、術側の日本整形外科学会股関節機能判定基準（以下、JOA）スコア、入院時年齢、性別、6分間歩行距離、術側片脚立位時間、非術側片脚立位時間を求めた。

入院日数を予測するために、入院日数を従属日数とした決定木を作成した^{2,3)}。独立変数には、術側JOAスコア（疼痛）、術側JOAスコア（可動域）、術側JOAスコア（歩行能力）、術側JOAスコア（日常生活動作）、入院時年齢、性別、6分間歩行距離、Body Mass Index（以下、BMI）、術側片脚立位時間および非術側片脚立位時間の10項目を用いた。また、作成した決定木については、各群の最小構成人数が20人、最大深さが3となるように制約した。ま

た、従属変数が欠損していた場合の代理分割は可とした。

なお、カルテからの転記ミスや記載漏れにより、入院日数の決定木に用いた症例数は297例となった。

3.3 結果と考察

図7に入院日数を従属変数として作成した決定木、すなわち、入院日数予測のためにフローチャートを示す。図7が示すように入院日数の予測ではNode3、Node5、Node6、Node8、Node9の5つの群に分類できることが明らかになった。表2は入院日数に対する各群の25%、50%、75%の患者が退院までに要する値である。

決定木より6分間歩行距離で入院日数の予測に重要であることがわかる。6分間歩行距離は術側の下肢だけでなく非術側の下肢や身体全体の代謝系能力が反映されるものであり、入院日数の長短には術側の状態だけでなく非術側や代謝系といった全般的な身体の状態が重要であることが示唆された。

4 おわりに

本研究では、OA患者を対象に術側と非術側が生み出す歩行速度の加速成分と減速成分を床反力から求め、膝OA患者では術前から非術側と術側ともに同じだけ加速成分も減速成分も生み出しており非術側と術側に差が生じていないことを、股OA患者では、非術側は術側よりも減速成分を優位に生みだしているが、全人工関節置換術によって優位性は消失することを明らかにした。また、大腿部と下腿部の加速度から行った膝OA患者の膝関節の衝撃吸収能力の評価では、全人工関節置換術とその後のリハビリテーションによって衝撃吸収能力が向上することを明らかにした。本研究ではOA患者における床反力と加速度の特徴や全人工関節置換術による変化を明らかにしたが、これら変化が生じる原因については不明であり、今後の課題である。

また、カルテ調査を行い、股OA患者の入院日数を予測するためのフローチャートを決定木分析により作成した。医療従事者はこのフローチャートを用いることで入院時の検査から入院日数を精度良く予測できるようになり、股OA患者が抱える不安の1つである入院日数に対して科学的根拠に基づいた情報提供が行えるようになった。

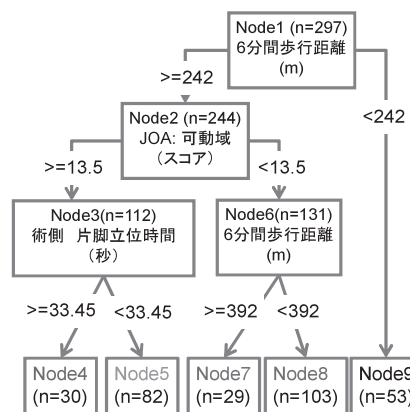


図7 入院日数予測のためのフローチャート
Fig.7 Flow chart to predict duration of hospitalization made by decision tree

表6 各Nodeにおける入院日数の割合
Table6 Quartile of each group

Node 番号	25% (日数)	50% (日数)	75% (日数)
3	48	51	56
5	53	58	64
6	46	52	59
8	56	65	76
9	60	70	82

謝 辞

兵庫県立総合リハビリテーション元職員である鎮西伸顕先生、森下雅之先生、木俣信治先生、木村愛子先生、小寺有里子先生、黒田麻子先生には歩行計測やカルテ調査など本研究全般においてご協力頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Bowden, M.G., Balasubramanian, C.K., Neptune, R.R. and Kautz, S.A.: Anterior-posterior ground reaction forces as a measure of paretic leg contribution in hemiparetic walking, stroke, 37(3), 872-876, 2006.
- 2) 大門貴志, 吉川俊博, 手良向聡: Rによる統計解析ハンドブック第2版, pp.169-184, 株式会社メディカル・パブリケーションズ, 2010.
- 3) Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J.: Classification and Regression Trees, Chapman & HALL/CRC, 1984.