

|         |                   |
|---------|-------------------|
| 氏名(本籍)  | 深谷隆史(神奈川県)        |
| 学位の種類   | 博士(保健医療科学)        |
| 学位記番号   | 博第1号              |
| 学位授与年月日 | 平成25年3月15日        |
| 学位授与の要件 | 大学院学則第37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  | 歩行立脚期における膝関節の運動解析 |

## 学位審査委員

|     |            |           |      |
|-----|------------|-----------|------|
| 主査  | 茨城県立医療大学教授 | 博士(心身障害学) | 水上昌文 |
| 副査  | 茨城県立医療大学教授 | 博士(体育学)   | 居村茂幸 |
| 副査  | 茨城県立医療大学教授 | 博士(体育学)   | 岩井浩一 |
| 審査員 | 筑波大学講師     | 博士(医学)    | 金森章浩 |

## 論文内容の要旨

本論文は、歩行立脚期における膝関節運動の円滑さに関する基礎的研究と運動解析に関する測定方法の検証の2部構成よりなっている。

客観的な評価として関節運動の円滑さについての報告はいくつかあるが、歩行立脚期における膝関節運動の円滑さに着目した報告は見当たらず、健常者においてもその動態については明確になっていない。そのため、第I部においては歩行立脚期における膝関節運動を角加速度の変化率を表す角躍度の総和(Angular Jerk Cost: 以下AJC)を用いて関節運動の円滑さという視点から、その動態について明らかにするための基礎的研究を行った。

健常成人及び軽度変形性膝関節症、前十字靭帯(以下ACL)再建術を呈した症例のいずれにおいても、歩行立脚初期には運動の円滑さは減少することが明らかになった。また、膝関節の疾患を呈した場合、歩行立脚初期の床反力や膝関節伸展トルクの力学的変数は健常群よりも小さくなり、その結果、歩行立脚初期の膝関節の角加速度変化率が小さくなることによって、膝関節運動を円滑に行っていることがわかった。このことは、健常群では歩行立脚初期の急激な運動学的及び運動力学的変化に対して対応可能な能力を有しているが、変形性膝関節症やACL再建術などを呈した場合、そのような急激な変化に対応するだけの運動のコントロールが困難となり、力学的負荷や膝関節運動の角加速度変化を小さくすることによって、運動を円滑に遂行しているのではないかと考えられた。健常群と症例群の比較においては、変形性膝関節症の症例群では、立脚後期でもAJCの値は大きくなり、立脚後期の身体の前方向への推進力を保証するために大きな床反力を発揮し、角加速度変化が大きくなることによって膝関節運動の円滑さが減少すると考えられた。さらに、前十字

靱帯再建術後の症例群では立脚中期から後期にかけて健側に比べ、患側の AJC の値が大きくなり、膝関節運動が不安定になっていることが推察された。以上より、運動の円滑さの指標は、加速度の変化率という運動学的変化を捉えるのみではなく、床反力や関節トルクなど身体に加わる運動力学的変数との関係を表すことができ、本研究の結果は、運動の円滑さという視点から関節運動の動態を表すための評価指標としての基礎的データとなると考えられた。

第 II 部においては歩行立脚期における膝関節の三次元運動解析に関する測定方法の検討のために、本研究で用いた Rigid Marker Set (以下 RMS) による測定方法についての再現性及び Point Cluster Technique(以下 PCT)との比較検討による妥当性について検証した。先行研究により報告されている PCT との測定結果の比較においては、RMS と PCT より得られる解剖学的特徴点の推定は Y, Z 成分について非常に高い相関を示し、屈曲-伸展及び外転-内転運動については誤差の範囲は非常に小さく、歩行立脚期 30%以降では信頼性の高い結果が得られる可能性が示された。また、本研究で用いた 3 点マーカーの RMS を用いた解剖学的特徴点の推定を行うことによる膝関節の三次元運動の算出は、検査者内及び検査者間においてその信頼性は高かった。表面マーカーを利用した測定方法では、運動に対する皮膚の動きによる誤差は避けられない問題であるが、解剖学的特徴点を推定する方法を利用することにより、臨床的に利用できる程度まで測定誤差を軽減する可能性があることが考えられた。本論文では、膝関節の三次元運動の計測精度の問題から、運動の円滑さに対する分析を屈曲-伸展運動の二次元運動のみを対象とした。しかしながら、lateral thrust や内反変形に代表される変形性膝関節症の前額面上における問題や ACL 再建術後の回旋不安定性など膝関節の運動は屈曲-伸展運動だけではなく、内反-外反や回旋運動が組み合わさった複合運動である。歩行立脚期における膝関節運動の円滑さにおける動態を明確にするためにも、より精度の高い三次元動作解析の測定方法を構築していくことが今後の課題である。

## 審査結果の要旨

本研究は大きく二つの内容から構成されている。第一部では、変形性膝関節症や前十字靱帯損傷後などを代表とする膝関節障害において、本来は床反力計を使用することで初めて取得出来る力学変数を使用する事無く、光学的な動作解析手法により、関節が受ける力学的負荷を評価する指標として角躍度の時間的総和 (Angular Jerk Cost :AJC) という変数に着目し、その特性について実際の症例データに基づき検討した。この点は、創造性・新規性とも高く評価出来る。第二部では、三次元動作解析において常に問題とされる、体表に貼付したマーカーと真の指標点との間で生じるずれに伴う誤差に着目し、それを最小限に留めるためのマーカーの貼付方法を提案し、検証を試みた点は高く評価出来るが、測定の信頼性・妥当性の検討に留まっており、研究目的がやや不十分であるとの指摘を受けた。また、この二つの研究の関連性に関する論理的な組み立てが弱いという指摘もあった。

第一部の 4 つの研究、第二部の 3 つの研究ともに実験デザインおよびデータの分析方法とも丁寧に操作的に記述されていた。研究結果の信頼性・妥当性については、まず基礎的な

研究を行い、十分検討した上で研究が進められており、評価できる。必要なサンプル数の推定は行われていないものの、十分な被験者数が確保されていると思われる。

角躍度という指標は、従来体育学分野等の「速い運動」における円滑さを捉える指標として使われて来たが、本研究はこれを変形性膝関節症や靭帯損傷後の患者に適用することを目指したものである。研究の方法も、まず健常者を対象に研究を進め、一定の成果を得た後に、膝疾患の患者データを収集し、健常者との比較を行うなど、臨床における応用についても視野に入っている。また、データ収集にあたっては、臨床的な扱いやすさを考慮した手法を検討するなど、研究成果は専門分野および関連分野における価値が高いものとなっている。今回考案したAJCという指標は、運動の「円滑さ」を表すものであるが、これを臨床的に有用な評価指標として用いるためには、「円滑さ」の低下に体する理学療法介入に結びつけて行く必要がある。本研究の方向性は、この辺りまでを視野に入れたものであり、専門領域との関連性は高い。

論文構成は、研究目的によって二部構成となっているが、さらに各章において成果を積み上げるかたちとなっており、論文全体としてよく整理されている。図表における表記の正確さ、本文内容と図表の一致といった結果の表現の細部にも問題はなく、適切である。さらに、頻出する略語の一覧を示す等、読み手に配慮している点も評価出来る。文章量に比して、誤字脱字なども著しく少ない点も高く評価出来る。また研究計画は倫理委員会の承認を得た上で実施されており、実際の実験場面における配慮も十分である点が伺えた。

本論文を構成する各研究は、3編の論文として国際的学術研究雑誌等に掲載されており、本論文も。それらを一連の筋道に沿った形で論理展開を図りまとめられていることから、博士論文として適切と考える。