

国士舘大学審査学位論文

「博士学位請求論文の内容の要旨及び審査結果の要旨」

「MC センサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価」

田中 重陽

氏 名 田中 重陽
学位の種類 博士（体育科学）
報告番号 乙第47号
学位授与年月日 令和2年3月20日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
学位論文題目 MC センサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価
論文審査委員
（主査）教授 角田 直也
（副査）教授 井上 誠治
（副査）教授 船渡 和男（日本体育大学教授）

博士論文の要旨

題 目 MC センサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価

氏 名 田中 重陽

論文の和文概要

学位申請者氏名	田中 重陽
学位論文題目	MC センサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価
(論文の和文要旨)	
<p>緒言</p> <p>筋の形状変化から力学的な観点で活動動態を評価することができる Muscle Contraction Sensor (MC センサー) 法が開発された。MC センサー法は、対象とする筋や腱上の皮膚表面に凸状のチップを取り付けたセンサーを貼付することによって、筋収縮によってチップにかかる圧力を計測するものであり、この圧力を筋や腱の形状変化量の指標として評価されている。しかしながら、MC センサー法を用いた実験データは極めて少なく、筋-腱の機能評価法としての妥当性が確保されていない。そこで本研究は、MC センサー法を用いて、異なる筋長条件下や動的運動時の膝関節伸展筋群および膝蓋腱の力学的な活動特性を明らかにするとともに、筋-腱の機能評価法としての有効性について検討することを目的とした。</p>	
<p>研究方法</p> <p>被検者は健康な成人男性とした。超音波診断装置を用いて、膝関節伸展筋群および膝蓋腱の形状を測定した。等尺性収縮時の膝伸展筋力は、Biodex SystemIIIによって測定した。筋力測定は、異なる股関節および膝関節角度の組合せによる6つの条件により、10秒間の漸増的な筋力発揮にて実施した。膝関節伸展筋群(大腿直筋、内側広筋斜頭、外側広筋)の筋放電量は、表面筋電図法により測定した。膝関節伸展筋群および膝蓋腱の圧力は、MC センサー法を用いて測定し、筋力発揮中の値から安静時の値を差し引いた値を分析の対象とした。筋力、筋放電量および圧力値は、それぞれ最大値に対する相対値を算出し、筋力の10%強度毎の平均値を算出した。また、動的な運動としてスクワット動作中の膝関節伸展筋群および膝蓋腱の活動動態についても、MC センサー法を用いて測定した。</p>	
<p>結果と考察</p> <p>本研究では、股関節および膝関節角度の変化により膝関節伸展筋群の筋長を変化させた条件下における筋の活動動態を、MC センサー法により測定し、筋長変化に伴う筋の力学的な活動特性について検討した。その結果、最大筋力や筋放電量は筋長が長くなるにつれて増大したのに対して、MC センサーで計測した圧力は減少する傾向を示し、筋長変化による筋の活動動態が筋電図法とMC センサー法で異なる様相を示した。また、内側広筋斜頭の力学的な活動は膝関節角度の影響を強く受けることが明らかとなった。次に、二関節筋である大腿直筋の力学的な活動特性の部位差について検討したところ、MC センサーで測定した圧力は、近位部と遠位部で有意な差が認められた。この部位差は筋長が異なるいずれの条件下でも確認され、筋電図法を用いて検討した先行研究の結果を支持するものであった。筋力の相対値と筋放電量および圧力の相対値の関係について検討した結果、全ての条件および全ての筋において、筋力の相対値と筋放電量の相対値、筋力の相対値と圧力の相対値の間に有意な相関関係が認められ、その関係性は、筋放電量よりも圧力の方が、筋力発揮の程度をより反映することが明らかとなった。以上の結果から、MC センサー法で計測した圧力は、筋の活動特性を力学的に評価することが可能であり、筋長や部位に関係なく筋力発揮</p>	

の程度を反映する力学的指標となることが明らかとなった。

膝蓋腱の活動動態は、全ての測定条件において筋力発揮直後の20%強度で最大値を示し、その後、筋力強度の増加に伴い減少する傾向を示した。その最大値は、膝関節屈曲位に対して軽度屈曲位が有意に低い値を示した。従って、膝蓋腱の力学的特性は、膝関節角度によって異なることが明らかとなり、この結果は膝関節屈曲位における膝蓋腱の形状（撓んだ状態）が影響しているものと考えられた。

スクワット運動時の膝関節伸展筋群および膝蓋腱の力学的活動について検討した結果、膝関節角度の変化に伴う膝関節伸展筋群と膝蓋腱の圧力の変化様相が異なることが明らかとなった。各筋の圧力は、スクワット動作開始後、緩やかに上昇し、その後、動作の20%~50%以降で高値を示す傾向にあったのに対して、膝蓋腱の圧力は、膝関節角度の変化に伴い高値を示し、約70度屈曲位で最大値を示した後、減少する傾向を示した。同様の手法により膝蓋腱の活動を記録した先行研究では、膝関節角度と圧力は有意な相関関係（直線的）が認められている。本研究と先行研究の結果の相違は、スクワット動作中の負荷の有無が影響したものと考えられ、スクワット運動では、負荷の有無によって膝蓋腱へのストレスが異なり、力学的な活動動態に影響を及ぼすことが示唆された。また、膝蓋腱と膝関節伸展筋群の圧力の関係は、全ての筋において一貫した関係性を示し、MCセンサー法は、スクワット動作中の筋-腱の力学的な活動を客観的に評価するものと考えられた。

これら一連の結果から、MCセンサー法は筋長条件や部位が異なっても筋力発揮の程度を反映する力学的指標となり得るものであり、筋機能評価としての有用性が示された。一方、膝蓋腱の力学的な活動は、膝関節角度の変化に伴う形状の変化を反映した活動特性として評価できることが明らかとなった。また、MCセンサー法を用いた動的運動時における筋-腱の活動動態は、筋-腱のふるまいを客観的に評価する指標として活用できる可能性が示された。MCセンサー法は、非侵襲的かつ簡便な手法であることに加え、本研究で明らかとなったように、筋力発揮の程度を反映する力学的指標となり得るものである。今後、筋-腱の機能チェックやコンディション管理を目的として、スポーツトレーニングやリハビリテーション現場での活用が期待される。

論文の英文概要

Name	Shigeharu TANAKA
Title	Evaluation of mechanical activity of muscle and tendon by MC sensor method
<p>(Abstract)</p> <p>Introduction</p> <p>The Muscle Contraction Sensor (MC sensor) method was developed to assess the mechanical activity within the muscle and tendon. The MC sensor measures the pressure generated on the tip with sensor by the muscle contraction. The muscle bulges by contraction cause pressure on the tip. This pressure is evaluated as an index of the deformation amount of muscle and tendon by contraction. However, there are not many report about the force generation using the MC sensor method and the mechanical activity of the muscle tendon unit during dynamic exercise. Therefore, the purpose of this study was to investigate the mechanical activity of the knee extensor and patella tendons under isometric contraction and dynamic exercise, and to examine the effectiveness of the MC sensor method for evaluating muscle-tendon function.</p> <p>Methods</p> <p>The subjects were healthy adult males. The morphological parameters of vastus medialis oblique, vastus latelaris, rectus femoris and patella tendon were measured using an ultrasound method. The knee extension muscle force under the isometric contraction was measured by a dynamometer (Biodex SystemIII). The measurement of knee extension force were performed during with 10 seconds of incremental muscle force at 6 different hip and knee joint angles conditions. The electrical activity on the knee extensor muscles was measured by surface electromyography method. And, pressure of the knee extensor muscles and patella tendon as a mechanical activity were measured using the MC sensor method. Moreover, the electrical and mechanical activities of the knee extensor muscles and the patella tendon during squatting as a dynamic exercise were measured by electromyography and MC sensor methods. The measurement of pressure by MC sensor method was measured during resting, generating force and squatting. The knee extension force, electrical activity and pressure were calculated relative value to the maximum value, respectively.</p> <p>Results and discussion</p> <p>In this study, the mechanical and electrical activities of the knee extensor muscles were measured under the isometric contraction on different conditions with hip joint and knee joint angle. As a result, the maximal force and electrical activity were higher in the knee joint flexion position than that of extension position. On the other hand, the pressure measured by the MC sensor method showed a significantly higher value in the extended position of the knee joint than that of flexed position. Therefore, it was cleared that the evaluation of muscle activity during isometric contraction due to changes in muscle length differ between electromyography and MC sensor methods. And also, it was cleared that the mechanical activity of the vastus medialis oblique was strongly influenced by the knee joint angle.</p> <p>In the rectus femoris, which is a biarticular muscle, a significant site difference was observed between the proximal and distal sites in the pressure measured by the MC sensor method. This tendency was confirmed under the all condition with different hip and knee joint angles. These results, it was supported the previous</p>	

studies for examined using electromyography method.

A significant correlation was observed between the relative muscle force and electrical activity, and the relative muscle force and the pressure under the all conditions. The relationship between pressure and muscle force was more linear than that of electrical activity. From these results, it was clarified that the pressure measured by the MC sensor is a mechanical index that reflects the muscle force level under the every muscle length conditions. Therefore, it was suggested that the MC sensor is effective method to evaluate the mechanical function of the muscle.

The deflection of patellar tendon in knee extended position in resting was greater than that of knee flexed position. The pressure of patellar tendon in muscle contraction indicated a peak value at 20% muscle force in all conditions. And, the pressure in knee extended position showed a significantly lower than that of knee flexed position. From these results, it was suggested that the flexed position increases the mechanical activity of patellar tendon, whereas it reduction in the extended position.

In squatting as an evaluation of dynamic exercise, the mechanical activity of the knee extensor muscles and patellar tendon were closely related to the knee joint angle. The pressure measured by MC sensor of knee extensor muscles showed a consistency on each muscle related to the patellar tendon. From these results, it was considered that the method using a MC sensor is effective for objectively evaluates the mechanical activity in muscle-tendon unit during squatting. Squatting is one of the most popular exercises for developing strength of the knee extensor muscles, which is also the reason why it is frequently used for rehabilitation and strength training. To examine the relation between the mechanical activity of muscle and tendon during dynamic exercise is highly recommended to help in athletic training and rehabilitation field.

Finally, the results of this study show that the MC sensor method can be a mechanical activity that reflects the muscle force level even if the muscle length and site conditions are different, and it shows the usefulness of evaluation of muscle function in force output and dynamic exercise. In addition, The mechanical activity of the patella tendon using MC sensor method evaluates directly and objectively the deformation due to changes the knee joint angle. In the future, the MC sensor method is expected to be used in sports training and rehabilitation fields for condition check and management of muscle-tendon.

氏 名 田中 重陽
学位の種類 博士（体育科学）
報告番号 乙第47号
学位授与年月日 令和2年3月20日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
学位論文題目 MCセンサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価
論文審査委員
（主査）教授 角田 直也
（副査）教授 井上 誠治
（副査）教授 船渡 和男（日本体育大学教授）

博士論文の審査結果の要旨

題 目 MCセンサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価

氏 名 田中 重陽

国士舘大学

学 長 佐 藤 圭 一 殿

主任審査員

氏 名 角 田 直 也



論文審査結果の要旨

学位申請者名	田 中 重 陽	申請日	令和 2年 1月 21日
学位論文題目	MC センサー法による筋・腱の力学的活動動態の評価		
最終学歴	国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 修士課程 修了		
論 文 審 査 結 果 の 要 旨	<p>本論文は、新たに開発された Muscle Contraction Sensor (MC センサー) 法による筋および腱の力学的な活動特性の評価法を妥当性について検討するとともに、筋長変化に伴う筋および腱の力学的な活動特性や、動的 (スクワット動作) 運動中における膝関節伸展筋群および膝蓋腱の力学的な活動特性について検討したものである。</p> <p>MC センサーは、筋・腱の活動動態を力学的観点から評価することが可能であるとされているものの、実験的データが不足していることから、筋・腱の機能評価方法としての妥当性が確保されていない。申請者は、MC センサー法による筋・腱の活動特性の評価法を確立するために、4つの研究課題を設定した。研究小史では、MC センサーの開発や設計についてまとめ、先行研究によって明らかにされた知見を精査すると共に、未だ解決されていない課題を明確にしている。</p> <p>研究 I では、MC センサー法による骨格筋の形状変化特性の評価法を確立するために、膝関節伸展筋群を対象として、筋長変化に伴う形態的要素の影響と、筋収縮中の形状変化と筋張力の関係について検討している。その結果、MC センサー法で計測した筋張力は皮下脂肪厚および部位の影響を受けることを明らかにすると共に、筋張力と超音波法で計測した形状変化量との関係から、MC センサー法で計測した筋張力はヒト生体内の情報を反映する指標となりうる可能性を見出している。</p> <p>研究 II では、股関節および膝関節角度の変化により膝関節伸展筋群の筋長を変化させた条件下における筋の力学的な活動特性について検討している。主な結果として、最大筋力や筋放電量は筋長が長くなるにつれて増大したのに対して、MC センサーで計測した筋張力は減少する傾向を示し、筋長変化による筋の活動動態が筋電図法と MC センサー法で異なる様相を示すことを明らかにした点である。また、筋力の相対値と筋放電量の相対値、筋力の相対値と筋張力の相対値の間に有意な相関関係が認められ、その関係性は、筋放電量よりも筋張力の方が、筋力発揮の程度をより反映することを明らかとしている。</p>		

研究Ⅲでは、主に腱の力学的な活動特性について検討し、筋力発揮時の膝蓋腱の活動動態は、筋力発揮直後の 20%強度で最大値を示すことを明らかにした。さらに、その最大値は、膝関節屈曲位に対して軽度屈曲位が有意に低い値を示しており、その要因として膝関節屈曲位における膝蓋腱の形状(撓んだ状態)が影響している可能性を見出している。

研究Ⅳでは、動的運動(スクワット運動)中の膝関節伸展筋群および膝蓋腱の活動動態を捉え、膝関節伸展筋群の張力は、スクワット動作開始後、緩やかに上昇し、その後、動作の 20%~50%以降で高値を示す傾向にあったのに対して、膝蓋腱の張力は、膝関節角度の変化に伴い高値を示し、約 70 度屈曲位で最大値を示した後、減少する傾向を示すことを明らかにしている。また、膝蓋腱と膝関節伸展筋群の筋張力の関係は、全ての筋において一貫した関係性を示し、MC センサー法は、動的運動中の筋-腱の力学的な活動を客観的に評価する手法としての有効性を示している。

評価判定

本論文は、新たな筋-腱の活動特性の評価法として、Muscle contraction sensor (MC) 法の有用性を確立するとともに、あらゆる筋長条件下における筋-腱の活動特性を力学的観点から評価したものである。本論文では、MC センサー法の開発や設計について整理するとともに、未だ解決されていない課題を解決するための実験を設定し、得られた結果から、MC センサー法による筋-腱の活動特性の評価法を確立しようと試みている。また、従来から筋の機能評価に用いられている筋電図法による評価と、MC センサー法による評価の相違点について検討している。MC センサー法を用いたスポーツ科学研究、特に、身体運動中の筋および腱の形状変化特性を評価したものは、未だ少ない中、評価法の信頼性を確立し、様々な筋長条件下における筋収縮時の筋-腱の活動特性を明確にした点は、新規性および独創性が高く、身体運動科学およびスポーツ科学の発展に大きく寄与するものと判断できる。また、これまでに明らかにされていなかった動的運動時の筋-腱の活動動態を捉えたことにより、スポーツトレーニング現場やリハビリテーションなどの臨床現場における筋-腱の機能評価への応用の可能性を見出した点は、意義あるものと判断できる。従って、博士学位論文としての価値を認めた。