

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：82404

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22800085

研究課題名（和文）麻痺筋の力学的特性の定量解析とオーダーメイドストレッチングプログラムの開発

研究課題名（英文）Quantification analysis of mechanical properties of paralyzed muscle and development for customization of stretching program

研究代表者

加藤 えみか（KATO EMIKA）

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 運動機能系障害研究部・流動研究員

研究者番号：90586439

研究成果の概要（和文）：麻痺筋の形状と力学的特性を明らかにするために、超音波法を用いて下腿三頭筋の筋厚と足関節の他動的な運動中の関節スティフネスを測定した（脊髄損傷患者 9 名，脳卒中患者 13 名，健常者 13 名）。筋厚は健常者が最も高値を示し，脳卒中患者の麻痺側と脊髄損傷者が最も低値を示した。足関節のスティフネスは脳卒中患者の麻痺側が最も高値を示した。脊髄損傷患者は健常者や脳卒中患者（麻痺側，非麻痺側）と比較して足関節スティフネスの個人差が最も大きかった。

研究成果の概要（英文）：To elucidate muscle architectural and mechanical properties of paralyzed muscle, muscle thickness of triceps surae muscles and ankle joint stiffness during passive motion are measured. Nine SCI, 13 stroke and 13 neurologically normal subjects participated. In MT, normal showed the highest value of all muscles and then non-paretic side and paretic side of stroke, and SCI showed the lowest. Paretic side of stroke showed the highest value in stiffness. SCI showed a larger inter-individual variability.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011 年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：麻痺筋，力学的特性，ストレッチング，筋の形状，関節可動域

1. 研究開始当初の背景

関節の可動域には，伸長される組織（主に

筋組織と腱組織から成る筋腱複合体）の力学的特性が大きな影響を及ぼす。下肢の運動機

能障害によって車椅子での生活を余儀なくされた場合、麻痺状態にある足関節には著しい関節可動域の減少が生じる。健常な高齢者のように下肢の筋に神経支配が残存し、自立や自動歩行が可能である場合には、抗重力筋であるヒラメ筋よりも腓腹筋に大きな萎縮が起こるが、健常な成人を対象とした 20 日間のベッドレストでの筋体積の減少は、抗重力筋であるヒラメ筋が腓腹筋よりも減少する。下肢麻痺患者は健常な高齢者とは異なり下肢の筋に対する神経支配が阻害されているため、筋萎縮がどのように生じているかは不明である。人間の筋腱複合体の力学的特性を定量する方法の一つとして、足関節の受動的な背屈時のトルク計測があり、この際に生じる受動トルクの 80% は下腿三頭筋とアキレス腱によるものである。しかし、測定方法上の限界から受動トルクに対する下腿三頭筋を構成する三筋とアキレス腱の貢献がどの程度であるかについては明らかにされていない。下腿三頭筋は協働筋であるにも関わらず、筋線維長や羽状角などの筋形状が異なり、筋組織と腱組織は直列に結合しているものの、同一の引張り力（ストレス）に対する伸長（ストレイン）が異なる。このことから、ストレッチングの際に一定の張力で下腿三頭筋・アキレス腱を伸長させても、各々の組織で受ける効果が異なることが予想できる。

2. 研究の目的

本研究では中枢性の麻痺筋の力学的特性を超音波法により定量化した上で、関節の拘縮などの二次障害を予防するために適切なオーダーメイドストレッチングプログラムの提案を行うことを目的とする。

最初に、下肢麻痺患者の下腿三頭筋の筋形状（筋厚、筋束長、羽状角）を超音波法で定量し、麻痺筋の形状的な特性と障害の程度と受傷からの経過年数をデータベース化する。

次に、臨床で用いられているストレッチングを実施して、その前後で足関節を受動的に背屈した際の受動トルクを計測する。下肢麻痺患者において、スティフネスが高い組織（一定の張力に対して伸長量の少ない組織）を特定して、選択的にストレッチングを行うことでより高い効果が得られることが考えられる。ストレッチングは時間や回数を変えたものを複数の組み合わせで実施し、ストレッチング前後の受動トルクの変化と筋形状のデータからそれぞれの個人の持つ筋形状特性に応じたストレッチングを検討する。下肢麻痺患者を対象として麻痺筋の筋形状を定量し、患側と健側の比較、また、健常者との比較を行う。足関節を受動的に背屈した際の足関節角度変化に対する受動トルクを計測し、患側の受動トルク - 足関節角度関係特性（スティフネス）を明らかにする。足関節を受動的に背屈した際に、下腿三頭筋・アキレス腱の伸長を超音波法で取得して受動トルクに対する各要素の伸長量を求め、スティフネスを算出する。

3. 研究の方法

1. 下腿の形態的特性、下腿三頭筋の筋形状の計測

下腿三頭筋各筋の筋厚を超音波法により以下のように取得する。測定姿勢は股関節及び膝関節角度 90 度屈曲の座位で足関節は 0 度で筋力計のフットプレートに足部を固定する。腓腹筋（内側頭・外側頭）は下腿長（膝関節の回転中心から足関節の外踝まで）の近位 30% を、ヒラメ筋は同 50% を測定箇所とする。また、筋形状として筋束長と羽状角を各筋について測定した。

2. 足関節及び下腿三頭筋・アキレス腱のスティフネス計測

被検者は筋形状の測定時と同様の姿勢をと

り、足関節は足関節底背屈装置のフットプレートに固定される。足関節の受動背屈を底屈5度から背屈15度までの範囲で毎秒5度で行う。足関節角度と関節角度変化にともない底屈筋群から発生する受動トルクを100 Hzで取得する。また、超音波画像装置のプロープを腓腹筋内側頭、外側頭、ヒラメ筋に貼付し、受動背屈中の超音波画像を30 Hzで撮像する。受動背屈中に計測した超音波画像から、画像分析ソフトウェアを用いて各々の筋伸長を算出する。

3. ストレッチング方法の違いが足関節のステイフネスに与える影響

異なるストレッチング方法が足関節ステイフネスに及ぼす影響について検討するために、被検者は椅座位をとる。ストレッチング方法は静的なストレッチングを模したものと、動的なストレッチングを模したものの2種類で、各被検者毎でストレッチングの順番は無作為に決定し、各々別の日に実施する。ストレッチングの強度決めとして、被検者毎にストレッチングを行う際の足関節角度を予め決定し、静的、動的、両方のストレッチングでその角度を採用した。静的なストレッチングを模した試行では10分間、一定の背屈角度で足関節を固定した。一方、動的ストレッチングを模した試行では、4秒間に1回足関節角度90度（解剖学的正位）から、予め決定していた足関節角度まで100deg/sで行う足関節背屈を10分間継続する。

4. 研究成果

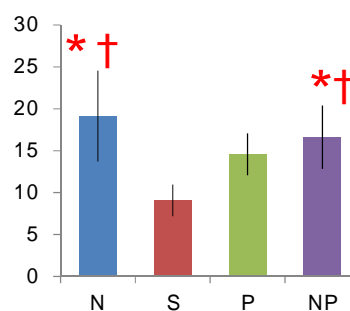
1. 下腿の形態的特性、下腿三頭筋の筋形状の計測

受傷後少なくとも1年が経過している慢性期脊髄損傷患者10名（36.3 ± 10.5歳、身長：173.2 ± 7.0 cm、体重：65.6 ± 7.5

kg、ASIA: A-C、受傷後経過年数：10.1 ± 7.7 (2-25)年）と、健全な成人男性10名（32.4 ± 9.8歳、身長：170.0 ± 4.7 cm、体重：63.5 ± 5.8 kg）を対象として、下腿三頭筋各筋の筋厚を超音波法により取得した結果、腓腹筋内側頭では健常者で14.0 ± 1.8 mm、脊髄損傷患者で9.1 ± 1.9 mm ($P < 0.001$)、外側頭では健常者で10.2 ± 1.7 mm、脊髄損傷患者で7.8 ± 1.5 mm ($P < 0.01$)、ヒラメ筋では健常者で14.2 ± 1.6 mm、脊髄損傷患者で11.1 ± 1.6 mm ($P < 0.01$)であった。以上の結果から、下腿三頭筋のいずれの筋においても脊髄損傷患者では健常者と比較して有意に筋厚が減少していた。

脳卒中患者13名（男性11名、女性2名）を対象として、下腿三頭筋各筋の筋形状の測定を行った。腓腹筋内側頭の筋束長は麻痺側で27 ± 7 mm、健側で29 ± 9 mm ($p=0.42$)、羽状角は麻痺側で24 ± 8 deg、健側で31 ± 8 degであり ($p=0.04$)、腓腹筋外側頭の筋束長は麻痺側で33 ± 13 mm、健側で44 ± 15 mm ($p=0.05$)、羽状角は麻痺側で12 ± 5 deg、健側で19 ± 10 degであり ($p=0.03$)、ヒラメ筋の筋束長は麻痺側で24 ± 8 mm、健側で34 ± 10 mm ($p=0.01$)、羽状角は麻痺側で25 ± 6 deg、健側で31 ± 8 degであった ($p=0.05$)。

Muscle thickness (mm)



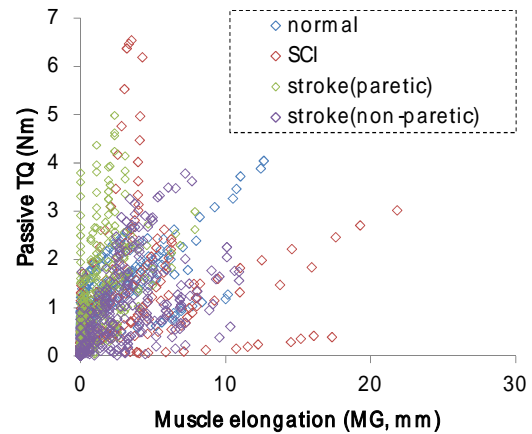
図・腓腹筋の筋厚、N: 健常者、S: 脊髄損傷患者、P: 脳卒中患者（麻痺側）、NP: 脳

卒中患者（非麻痺側）

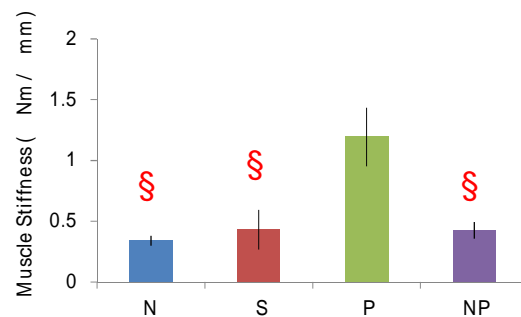
2. 足関節及び下腿三頭筋・アキレス腱の スティフネス計測

二元配置（群×足関節角度）の分散分析の結果，同一の足関節角度変化に対する受動トルクは脊髄損傷患者と健常者の間に有意な交互作用がみられた．また，筋伸長については腓腹筋では内側頭，外側頭ともに二群間で有意な交互作用がみられたが，ヒラメ筋では二群間で有意な交互作用はみられなかった．このことから，足関節の角度変化が同じであっても，受動トルクの増加と腓腹筋の伸長性が脊髄損傷患者と健常者とで異なることが明らかになった．以上から，麻痺により筋への神経支配が断たれることで受動的な関節運動の際に受動トルクが高くなること，さらには麻痺により腓腹筋が伸長されにくくなることが示された．

脳卒中患者を対象とした筋形状（筋束長・羽状角）については，二元配置（側×足関節角度）の分散分析の結果，同一の足関節角度変化に対する受動トルクは有意な交互作用がみられた．また，筋束長変化については腓腹筋では内側頭，外側頭ともに二群間で有意な交互作用がみられたが，ヒラメ筋では二群間で有意な交互作用はみられなかった．このことから，脳卒中患者では麻痺側と健側において，同じ足関節の角度変化であっても受動トルクの増加と関節角度変化に伴う腓腹筋の筋束長変化が異なることが明らかになった．この結果は1年目に脊髄損傷患者を対象として行った実験と同様の結果であり，下肢麻痺患者では受動的な関節運動の際に受動トルクが高くなること，麻痺によりヒラメ筋よりも腓腹筋の方が伸びにくくなることが示された．



図．他動的な足関節背屈中のトルクと筋伸長の関係（全被検者のデータ）



図．他動的な足関節背屈中のトルクと筋伸長の関係，N：健常者，S：脊髄損傷患者，P：脳卒中患者（麻痺側），NP：脳卒中患者（非麻痺側）

3. ストレッチング方法の違いが足関節のスティフネスに与える影響

足関節スティフネスは静的なストレッチングを模した試行の方が，動的なストレッチングを模した試行よりも減少率が大きかった．

5. 主な発表論文等 （研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計4件)

根岸大輔，加藤えみか，太田裕治，山本紳一郎，河島則天，超音波画像を用いた脊髄損傷者の麻痺筋特性の定量的評価，生体医工学，査読有，49巻，2011，789-797

加藤えみか, ストレッチングと柔軟性および力学的特性, トレーニング科学, 依頼原稿(査読無), 23, 2011, 205 - 213

Kato E., Vieillevoye S., Balestra C., Guissard N., Duchateau D., Acute effect of muscle stretching on the steadiness of sustain submaximal contractions of the plantar flexor muscles, Journal of Applied Physiology (reviewed), 110, 2011, 407-415

Kato E., Kanehisa H., Fukunaga T., Kawakami Y., Changes in ankle joint stiffness by stretching: the role of tendon of gastrocnemius muscle, European Journal of Sports Science (reviewed), 10, 2010, 111-119

[学会発表](計2件)

保原浩明, 加藤えみか, 連続跳躍動作における下肢スティフネスを受動的な足関節スティフネスから予測できるか?, 第24回日本トレーニング科学大会, 東京, 2011年11月6日

根岸大輔, 加藤えみか, 山本紳一郎, 河島則天, 超音波画像装置を用いた麻痺筋の機械的特性の計測, 第25回生体・生理工学シンポジウム, 岡山, 2010年9月23日

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:

出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 えみか (KATO EMIKA)

国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所運動機能系障害研究部・流動研究員

研究者番号: 90586439

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: