科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２６　年　　６　月　２７　日現在

機関番号：　８２４０４
研究種目：　若手研究(B)
研究期間：　2012～2013
課題番号：　２４７００５８１

研究課題名（和文）筋形状計測を基にした身体動作中における痙縮の評価指標の考案

研究課題名（英文）Development of spasticity index during physical activity based on measurements of muscle architecture by ultrasonography

研究代表者
八重嶋　克俊（YAESHIMA, Katsutoshi）

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：５０６２５９１０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,100,000円、（間接経費）　　930,000円

研究成果の概要（和文）：　本研究では，中枢性の神経疾患において生じる症候である「痙縮」を減弱し患者の身体動作を改善することを視野に入れ，まず，超音波画像上の速度ベクトル（オプティカルフロー）を用い筋形状をリアルタイムに算出するシステムを作成し，続いてそのシステムを用いた筋形状計測に基づき，不随意の筋活動中の筋束長の軌跡長として痙縮の評価指標を導出した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed the real-time measuring system of muscle architecture by optical flow method (i.e., Lucas-Kanade algorithm). Using this system, we calculated the trajectory of the plantar-flexor fascicle length change during involuntary physical activity as the index of spasticity.

研究分野：　人間医工学

科研費の分科・細目：　人間医工学　リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：　痙縮　脊髄損傷　超音波法　自動計測　オプティカルフロー　Lucas-Kanade法　リアルタイム　筋形状

１．研究開始当初の背景

「痙縮」は，脊髄損傷あるいは脳卒中などの中枢性神経疾患により生じる，いわゆる上位運動ニューロン症候群における陽性症候のひとつであり，筋緊張の増大，腱反射の亢進，伸張反射の他筋への波及，クローヌスの発生など種々の所見を呈し，運動の遂行を阻害することで，患者の QOL（Quality of Life）に影響するものと考えられている。その痙縮は，これまでのところ，仰臥位あるいは座位といった安静肢位にて，臨床的指標（Modified Ashworth scale）および電気生理学的指標（伸張反射の振幅値など）を導出することにより評価されてきた。しかし，その評価値の変化が，実際の日常生活にみられる身体動作にどの程度の影響を持つかは明瞭ではない。

２．研究の目的

本研究では，中枢性神経疾患者の痙縮のモニタリングを見据え，不随意の筋活動が生じている際の筋形状データを基とした痙縮の評価指標を考案することを目的とする。具体的な目標は以下に示す。 1) 超音波法による筋束長のリアルタイム計測システムを作成する。2） システムの精度を，従来の目視計測のデータとの比較から検証する。3）遅い角速度（5 °/s）での受動背屈課題を行い不随意の筋活動が生じた試行を抽出し，その際の筋形状データから，痙縮の評価指標を導出する。

３．研究の方法

(1) 超音波法を用いた筋形状リアルタイム計測システムの作成

下腿後面の超音波動画像［アナログ（NTSC）,30Hz］から筋の形態的特性（筋束長）をリアルタイムで算出するシステムを作成する。具体的には，超音波診断装置（Prosound2，Aloka）からのアナログ動画像（NTSC，30Hz）を，ビデオキャプチャ（I-O data）を介し，Labview（National instruments 社）における画像収録ドライバ（IMAQ-dx）に認識させる。その動画像における特徴点を 6 点（浅層の腱膜を規定する 2 点，筋束を規定する 2 点，深層の腱膜を規定する 2 点）を規定（図 1）し，

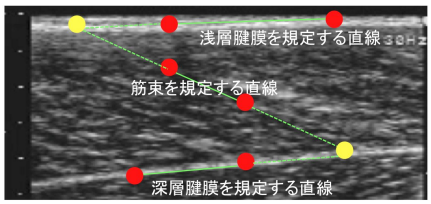

図１　6 点を指定し得られる 3 直線

画像上の輝度の変化（空間微分および時間微分）から，見かけ上の速度ベクトル（オプティカルフロー）を逐次導出（Lukas & Kanade 1981[1]）し，筋束長を算出する。

(2) 筋形状リアルタイム計測システムの妥当性の検証

作成したシステムの精度について，1.従来の方法（目視分析による事後処理）による定量値との比較，および 2.腓腹筋のファントム（医療用模型）を用いた引張試験における実測値との比較，の両面から評価を行なう。なお，ファントムについては，先行研究（Kawakami et al., 2000）において報告されている腓腹筋の形状（筋束長および羽状角，独自にポリウレタンゴム線およびナイロン線を用い，作成を行った。

(3) 受動背屈課題中の筋形状データからの痙縮の評価指標の導出

遅い角速度（5 °/s）での受動背屈課題を行い不随意の筋活動が生じた試行を抽出し，その際の筋束長の軌跡長として，痙縮の評価指標を導出する。

４．研究成果

身体動作中における痙縮の評価指標を導出することを視野に，下腿後面の超音波画像から筋束長や羽状角といった金形状パラメータをリアルタイムで計測するシステムを作成した（図 2）。

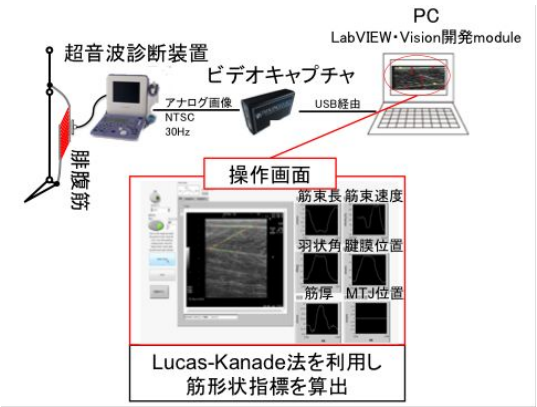

図２ 申請者が構築した筋形状リアルタイム計測システム

このシステムの妥当性を検証するため，健常成人男性 1 名（年齢 29 歳，身長 173cm，体重 80kg）を対象に，座位（股関節 100 °，膝関節 120 °）にて，足関節の最大可動域での底背屈運動を実施し，同時に作成したリアルタイム計測にて筋束長および羽状角を算出し，課題後に目視により分析した手動計測値との比較を行なった。結果，手動追尾とリアルタイム計測において全体的な変化の動態は近似し，初期値からの変動の時系列変化に関する級内相関係数については，筋束長において 0.71，羽状角について 0.85 と高値を示

した（図 3）。

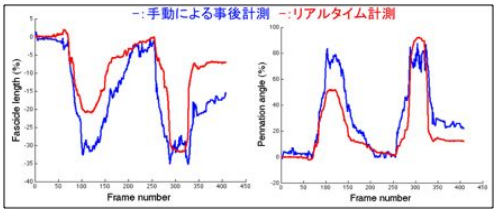

図 3 筋束長および羽状角の時系列変化

加えて，腓腹筋のファントムを用いた実験を実施した。その実験系の概要を図 4 に示す。

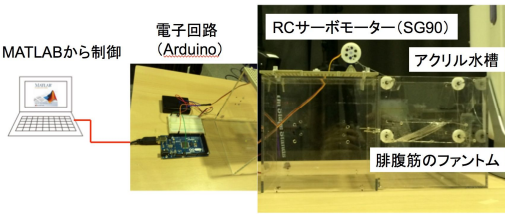

図 4 ファントム実験のセッティングの概要

腓腹筋ファントムの筋束および腱部位はそれぞれ直径 0.5㎜ のポリウレタンゴム線（ヤング率：1MPa）および直径 1㎜ のナイロン線（ヤング率：約 900Mpa）で作成した。Lieber (2001)[3] によると，筋束の直径は ㎜ のオーダーで視認可能な太さであり，今回採用した材料の直径値と近似する。また超音波法による先行研究 [2] 倣い，筋束長および羽状角についてはそれぞれ 50㎜，25 ° として設定した。これにより形状としては，実際の腓腹筋に極めて近いファントムを構築できたものと考えるが，材質に関してはヒト生体における実測値（筋束部位 [4]：約 30kPa，腱部位 [5]：約 200MPa[5]）と比較し硬いことには留意を要する。この模型について RC サーボモータ(SG90，最大トルク：1.6kg/㎝，最大回転速度：0.48rps）を用い引張試験を実施し，その際に得られる超音波診断画像（図 5）から，上記システムを利用し筋束長を算出した。同時に，直径 1㎜ の輝度マーカーを模型自体に貼付し，モーションキャプチャで変位を撮像（図 6）することにより，筋束長の実測値を求め，両者の比較を行った。結果，級内相関係数は 0.8 を超える良好な値を示した。

このシステムを用いた筋形状計測に基づき，痙縮の評価指標を導出した。具体的には，医師により痙縮ありと診断された脊髄損傷者（n=14，損傷部位：C6-T12，MAS：0-2）を対象に動力計による足関節の他動的背屈課題（5 ° /s，20 ° 範囲）を行い，その際の腓腹筋内側頭の画像データ（総計 112 試行）から表面筋電図を基に不随意の筋収縮が確認された試行（n=1，3 試行）を抽出し，オフラインにて筋形状指標（筋束長の変化幅，軌跡長）の算出を実施した。その結果，抽出した試行における筋束長の変化幅および軌跡長は，同一被験者におけるその他の試行と比較し，それぞれ低値（8%）および高値（15%）を示した。これは，超音波法による筋形状計測から「痙縮」により生じる不随意の筋活動の徴候を捉えることができることを示唆する。この手法は，表面筋電図法など他の計測法による「痙縮」の徴候の評価が困難な局面（例えば，FES 等による複数筋の電気刺激中など）における症状のモニタリングを可能にすると考えられ，今後，被験者数を増やし上記結果の統計的有意差を確認するとともに，より実動作に近いリハビリテーション課題（FES アシストを伴う歩行動作など）における「痙縮」の症状をリアルタイムに観察可能か検証していきたい。

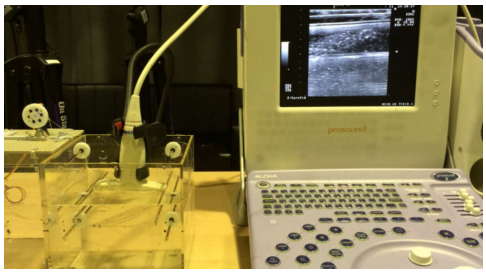

図 5 ファントムの超音波画像集録

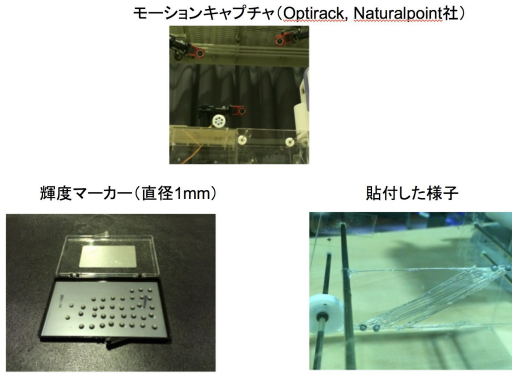

図 6 輝度マーカーのファントムへの貼付

【参考文献】

[1] Lucas・Kanade (1981) An iterative image registration technique with an application to stereo vision. Proc 7th Intl Joint Conf on Artificial Intelligence.

[2] Kawakami et al., (2000) Architecture of Contracting Human Muscles and Its Functional Significance. Journal of applied physiology.

[3] Lieber (2001), Skeletal Muscle Structure, Function, & Plasticity_seconde_edition

[4] Akagi et al., (2012), Reliability and validity of quantifying absolute muscle hardness using ultrasound elastography, PloS one

[5] 久保ら(1999)，ヒト生体における腓腹筋内側頭の腱組織の粘弾性，体力科学

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）

〔学会発表〕（計２件）
① Yaeshima K, Nakazawa K
The real-time measurement of muscle architecture using Lucas-Kanade algorithm, The International symposium on Multi-scale muscle Mechanics, Kanagawa University, Apr. 22, 2013.
② 八重嶋克俊，河島則天，緒方徹，中澤公孝
Lucas-Kanade 法を利用した筋形状リアルタイム計測，第４回東京体育学会，国士舘大学，2013 年 3 月 6 日

６．研究組織
(1)研究代表者
八重嶋　克俊　（YAESHIMA, Katsutoshi）
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：24700581