

平成 22 年 5 月 17 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500467
 研究課題名（和文） リアルタイム wavelet 周波数解析を用いた多関節運動連鎖系筋機能向上訓練
 研究課題名（英文） Multi-articular kinetic chain Exercise by using real-time wavelet frequency analysis
 研究代表者
 加藤 浩（KATO HIROSHI）
 九州看護福祉大学・看護福祉学部・教授
 研究者番号：90368712

研究成果の概要（和文）：本研究では、①wavelet 周波数解析のリアルタイム処理・表示を世界で初めて可能にし、無線式の EMG 評価システムを確立した。さらに、②従来の多関節運動機器に回旋運動要素を付加したトレーニング機器を試作した。そして、そのトレーニング効果について検討した結果、当該機器の筋の質的トレーニングとしての有効性が示唆された。

研究成果の概要（英文）： In this research, ①we enabled real-time wavelet analysis for the first time in the world, and established the wireless EMG evaluation system. Furthermore, ②the training machine which added the rotational element during movement was produced experimentally, and the training effects were examined. Consequently, the effectiveness in the qualitative training of muscle of the machine was suggested.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,500,000	750,000	3250,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

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：運動療法学

1. 研究開始当初の背景

従来から下肢運動器疾患の廃用性筋萎縮に対する筋力強化訓練法として、主に重錘負荷等によるトレーニングのみを実施している医療関連施設は少なくない。しかしこれら訓練により、ある程度筋力の回復が得られても、実際の動作、例えば股関節疾患患者であれば、歩行動作の異常の一つとして中殿筋跛行や

荷重時の関節・体幹の不安定性が残存し、動作障害が十分改善されていない症例をしばしば経験する。このことは単純に“筋力の回復”＝“有効に活用しうる筋力の向上（筋の質的向上）”にはならないことを意味している。そこで今リハビリテーションに必要なものは従来の量的な筋力増強訓練に加え、別の質的な筋力向上を図る訓練プログラムを作

成することであり、その筋の質的評価法の確立である。しかし、現状では動的な質的筋活動能力を客観的に計測する評価方法がない。そこで、近年我々は世界に先駆けて wavelet 変換 (WT) とよばれる新しい工学技術を表面筋電図 (EMG) 周波数解析に応用し、股関節疾患患者を対象に歩行時立脚期の時々刻々と変化する中殿筋の動的 EMG 周波数特性の評価 (筋の質的評価) を行った (図 1)。その結果、跛行の顕著な患者ほど、立脚期初期 (踵接地時) の平均周波数 (MPF) の上昇が認められず、その原因として主に type II 線維を支配する運動単位の動員数と発火頻度の減少の可能性が示唆された。さらに本研究結果を検証するため手術中に筋生検を行い組織形態学的分析から同特性の意義について検討した結果、動的 EMG 周波数特性は type II 線維の線維径と深く関連しており、WT 周波数解析は type II 線維の非侵襲的廃用性筋萎縮評価に有効である結論を得た (図 2)。

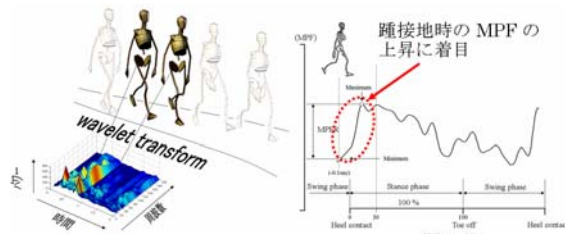


図 1 WT を用いた歩行時中殿筋の EMG パワースペクトル解析

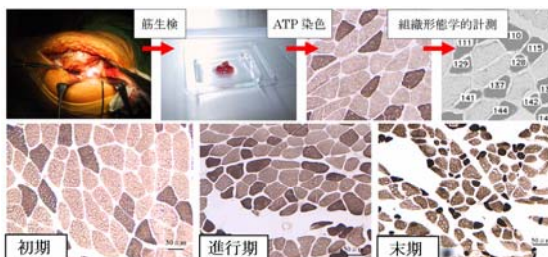


図 2 変形性股関節症患者の中殿筋組織像 (ATPase 染色: pH10.4) 濃染は type II 線維, 淡染は type I 線維を示す。末期では type II 線維の著明な筋萎縮が認められる。また、初期の症例では踵接地時の平均周波数 (MPF) は顕著に上昇。しかし、末期の症例では踵接地時の MPF の上昇はほとんど認められない。

2. 研究の目的

これまでの下肢運動器疾患における筋力増強訓練の研究は、重錘やエラストックチューブを使用した単関節運動中心の量的側面重視のトレーニングに関する報告が多い。しかし、近年、下肢運動器疾患は多関節運動連鎖の破綻から生じるというパラダイムのもとに、新たなる運動療法戦略が求められている。その一つとして、我々は変形性股関節症患者を対象に神経生理学的アプローチ法の一つである固有受容器性神経筋促通法 (PNF) を用いて多関節運動連鎖を重視した筋の質的機能向上トレーニングに関する研究を行ってきた (平成 16-18 年度科学研究費)。PNF は重錘負荷トレーニングのような単一平面上の運動と異なり、対角線上で 3 次元の運動

(らせん運動) 要素から構成されるトレーニングであるため日常生活動作に近い筋収縮が得られると考えた。その結果、PNF を用いた多関節運動は単関節運動と比較し、歩行時における中殿筋の EMG 高周波帯成分が有意に増大 (MPF の上昇) し歩容の改善が得られた。そして、筋の質的機能向上には、①多関節運動に回旋運動が加えられること、及び②足底から加えられる抵抗方向 (擬似的床反力) が極めて重要であることが分かった。即ち、筋の質的機能向上には、抵抗 (負荷量) の大きさではなく、回旋運動と抵抗方向のバランスが重要である。しかし、現状の多関節運動系機器は上記 2 点の考慮が全くされていない。そこで本研究では、これまでの WT 解析に関する研究成果を発展的に臨床応用し、従来の多関節運動機器に回旋運動要素と EMG 評価機能を付加する。そして、トレーニング中の筋の質的筋活動状態をリアルタイムで被検者へフィードバックさせ、回旋運動と抵抗方向のバランスを自己制御させるシステムを構築し、そのトレーニング効果について検証することである。

3. 研究の方法

- (1) WT 周波数解析の高速処理技術によるリアルタイム処理に関する研究を進める。現在、市販ソフト (MATLAB) を使用し、サンプリング 1kHz、10 秒間の EMG データをデスクトップ PC (CPU: Pentium4, 2.8MHz) で処理させると約 20 秒間の解析時間を要する。本研究では共同研究者の専門とする高速信号処理技術でデータマイニングを行い、リアルタイム処理に関する研究を進める。
- (2) 回旋運動を付加した多関節運動連鎖機器の試作。多関節運動機器のベースは既製品を使用する。本研究では既製の足底板の上に、多軸性のボールジョイントを挿入し、かつ、試作の足底板がスライドできるように溝をつくる。これにより、足部抵抗板の運動方向の自由度が増し、既製の多関節運動機器に回旋運動を付加することができる。
- (3) WT で使用する各種 mother 関数の臨床的意義に関する研究。現在、我々は WT で “Gabor 関数” とよばれる mother 関数を使用している。しかし、WT には数多くの mother 関数が存在する。当然、解析する信号波形の特性に応じて関数を適宜、選択する必要がある。しかし、現在の所、特定の動作 (筋) 毎に適切な mother 関数の選択を示した論文は皆無である。そこで、本研究では、WT 周波数解析のリアルタイム処理に関する研究と並行して、複数の mother 関数 (ドビュッシー関数、モルレー関数、メキシカンハット関数、コイフレット関数) を準備

し、学内の健常者を対象に基礎データを収集する。

- (4) ケーススタディーによるトレーニング効果の検証。重錘負荷（以下、単関節運動）実施時とリアルタイム WT 周波数解析を用いた多関節運動機器（以下、多関節運動）実施時の比較をする。トレーニング時間はそれぞれ 15 分間。そして効果をトレーニング開始前後で、それぞれ以下の方法で計測する。まず背臥位での股関節外転筋力を計測する。次に被検筋を股関節外転運動に作用する患側中殿筋、大殿筋上部線維、大腿筋膜張筋とし、患側足底部（踵・母趾）に足圧センサー（Noraxon 社製）を貼付し片脚立位を行わせる。得られた信号は筋電図計測（Noraxon 社製）を用いてコンピュータに取り込み、EMG 解析を行う。また、3次元動作解析装置と床反力計を用いて、骨盤及び足圧中心（COP）の軌跡を計測する。

4. 研究成果

- (1) WT 周波数解析の高速処理技術によるリアルタイム処理に関する研究

これまで市販ソフトを使用し、サンプリング 1kHz、10 秒間の EMG データをデスクトップ PC（CPU：Pentium4, 2.8MHz）で処理させると約 20 秒間の解析時間を要していたが、本研究では共同研究者のリアルタイム処理に関する研究の結果、システム的には若干、不安定要素（バグ）は残したが、技術的にはほぼリアルタイム処理を実現し、当該研究の遂行に耐えうる十分な研究成果が得られた。

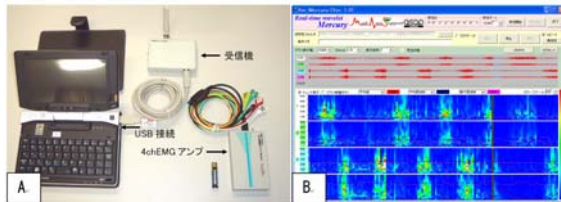


図3 WTを組み込んだ無線式EMG評価システム
A: システム一式。EMG アンプは 130g で送信機も内蔵している。受信機は USB でパーソナルコンピュータに接続する。B: 開発した解析ソフトの表示画面。上段に 4 筋の生波形を表示。その下にリアルタイム処理した WT 解析のスクログラム表示が可能（世界発）。

- (2) 回旋運動を付加した多関節運動連鎖機器

市販の多関節運動機器（レッグプレス）をベースに試作を行った。足底板の上に新たにアルミ製の足乗せ部をつくった。そして、この足乗せ部が足底板の上を水平移動及び回転運動が行えるようにした。水平移動の最大抵抗は 100N、水平方向への初動期負荷は 30N と設定した。これにより総重量約 40kg の試作器が予定通り完成した。

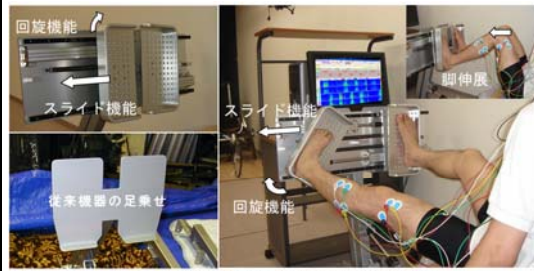


図4 スライド及び回旋運動を付加した多関節運動連鎖機器。従来（既製）の脚伸展機器では下肢の回旋運動は不可能であった。この問題を解決するため前回の研究では足乗せ部に下肢スライド及び回旋機能を付加した足底板をステンレス合金で作成した。本研究成果については平成 21 年 4 月に特許出願した。

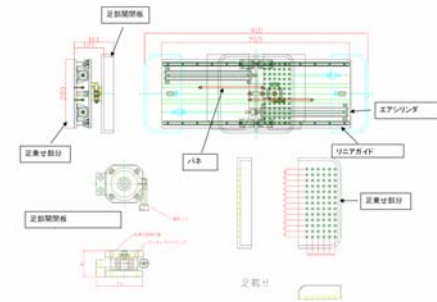


図5 特許出願した多関節運動連鎖機器

本発明では従来のレッグプレス機器に新たに下肢スライド機能と下肢回旋運動機能を付加し、脚伸展しながら、股関節の外転運動と内旋運動を同時に行うシステムを構築した。これにより、実際の歩行動作に近い状態で下肢の筋力トレーニングが可能となり、歩容の改善に有効な結果が得られる。

- (3) WT で使用する各種 mother 関数の臨床的意義に関する研究

複数の mother 関数を用いた、健常者を対象とした基礎データ解析を実施した。その結果、最も筋電図の周波数パワーを反映し、かつ臨床所見とマッチングした関数はガボール関数であった。これにより次年度の臨床試験で使用する関数が決定した。

- (4) ケーススタディーによるトレーニング効果の検証

シングルケースでデータ計測を行った。計測内容は EMG と、骨盤にマーカーを貼付した 3次元動作解析、及び床反力足圧中心（COP）である。方法は股関節周囲筋（中殿筋、大腿筋膜張筋、大殿筋）に電極、骨盤の上前腸骨棘に反射マーカーを貼付し、そして、床反力計の上で片脚立位を 5 秒間行い、その時の骨盤マーカー、COP 及び股関節周囲の筋活動を計測した。その後、新システムでトレーニングを実施し、再度、片脚立位時の骨盤マーカー、COP と EMG を計測した。その結果、骨盤マーカー及び COP の軌跡は前後、左右、垂直成分共に減少した。さらに、EMG も 3 筋共に筋活動が高まる傾向を示した。本結果は、神経筋促通手技（PNF）を用いた訓練時とほぼ同様の変化を示しており、新システムを用いたトレーニングの有効性が示唆された。

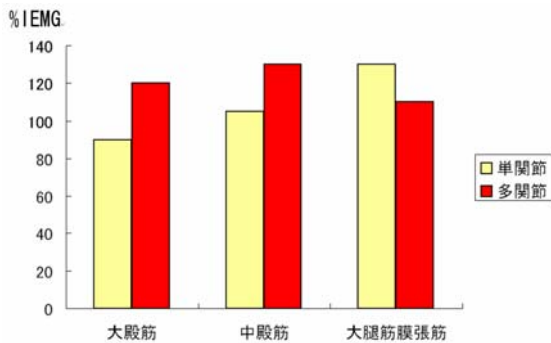


図6 片脚立位時のEMG変化。トレーニング実施前の等尺性最大随意収縮時のEMGを100%とした時の相対値として示す。

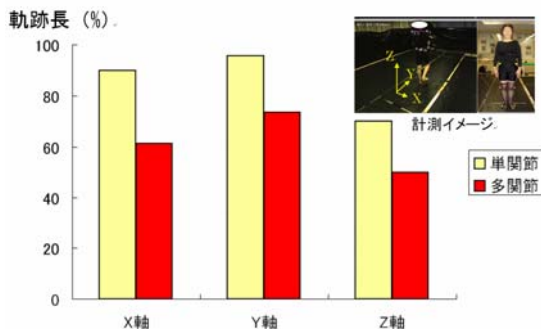


図7 片脚立位時の骨盤マーカの軌跡変化。トレーニング実施前の3軸方向の軌跡長を各100%とした時の相対値として示す(X軸:前額面の軸, Y軸:矢状面の軸, Z軸:水平面の軸)。

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 12 件)

- ① 加藤浩: 変形性股関節症の理学療法における運動制御・学習理論の応用. 理学療法 26: 835-848, 2009, 査読無し.
- ② 加藤浩: 股関節疾患による異常歩行とその分析. 理学療法 26: 123-137, 2009, 査読無し.
- ③ Kato Hiroshi, Jingushi Seiya: The Relationship between Dynamic Frequency Characteristics of Surface EMG and Gluteus Medius Muscle Tissue Morphology in Patients with Chronic Hip Diseases -Time Frequency Analysis Using Wavelet Transform for Disuse Muscle Atrophy Evaluation-. Medicine and Biology 152: 480-489, 2008, 査読有り.
- ④ 今田健, 加藤浩: 変形性股関節症における単関節, 多関節運動を重視したエクササイズが関節可動域, 筋力, 片脚立位及び歩行に与える影響, 理学療法科学 23: 521-527, 2008, 査読有り.
- ⑤ 加藤浩: 変形性関節症に対する理学療法の多施設間共同研究実践モデル. 理学療法 25: 786-795, 2008, 査読無し.

- ⑥ 加藤浩: 股関節機能の評価法と臨床推論の進め方. 理学療法 25: 1289-1303, 2008, 査読無し.
- ⑦ 加藤浩: 動画でみる変形性関節症患者の臨床動作分析のポイント. 理学療法 24: 1060-1070, 2007, 査読無し.

[学会発表] (計 13 件)

- ① 加藤浩 (招待講演): 第39回日本臨床神経生理学会シンポジウム講演 (福岡). テーマ「運動器疾患の筋活動評価」, 2009/11/18.
- ② 加藤浩 (招待講演): 第31回九州理学療法士・作業療法士合同学会セミナー I 講演 (宮崎). テーマ「多関節運動連鎖からみた身体姿勢制御と筋機能評価—表面筋電図を使った新たな治療戦略を目指して—」, 2009/11/14.
- ③ 加藤浩: 筋の質的機能向上を目的としたCKCでの多関節運動連鎖系筋力トレーニング機器の開発. 第36回日本股関節学会 (京都), 2009/10/30-31.
- ④ 加藤浩 (招待講演): 社団法人熊本県理学療法士協会主催第3回学術研修会講演 (熊本). テーマ「下肢運動連鎖の視点から捉えた股関節の運動制御メカニズム」, 2009/9/5-6.
- ⑤ 加藤浩: 筋の質的機能向上を目的とした股関節回旋運動要素を取り入れた多関節運動連鎖系筋力トレーニング機器の開発, 第44回日本理学療法学会 (東京), 2009/5/28-30.
- ⑥ 加藤浩: リアルタイム wavelet 周波数解析を組み込んだ臨床普及型のワイヤレス EMG 評価システムの開発, 第43回日本理学療法学会 (福岡), 2008/15-17.

[図書] (計 5 件)

- ① 加藤浩: 変形性関節症に対する評価の進め方, 細田多穂・他 (編): 理学療法ハンドブック改訂第4版, 協同医書出版, 981-1004, 2010.
- ② 加藤浩: 第3章多関節運動連鎖からみた骨関節疾患の筋機能, 第7章多関節運動連鎖からみた変形性股関節症の保存療法, 多関節運動連鎖からみた変形性関節症の保存療法—刷新的理学療法—, 全日本病院出版会, 26-47, 116-138, 2008.
- ③ 加藤浩: 病態運動学からみた変形性股関節, 嶋田智明・他 (編): 実践 MOOK・理学療法プラクティス [変形性関節症—何を考え, どう対処するか], 文光堂, 187-195, 2008.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：歩行能力の改善を目的とした筋力トレーニング機器

発明者：加藤浩

権利者：同上

種類：特許

番号：特許第 2009092646 号

出願年月日：2009 年 4 月 7 日

国内外の別：国内

○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

<http://plaza.umin.ac.jp/~hkato/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 浩 (KATOHI HIROSHI)

九州看護福祉大学・看護福祉学部・教授

研究者番号：90368712

(2) 研究分担者

満倉 靖恵 (MITUKURA YASUE)

東京農工大学・大学院共生技術研究院・

准教授

研究者番号：60314845