

ご挨拶

第11回理学療法の医学的基礎研究会学術集会
世話人代表 金子 文成

このたび、第11回理学療法の医学的基礎研究会（MBPT）学術集会を群馬県前橋市の群馬会館にて開催いたします。今回の学術集会のテーマは「パフォーマンスの向上に対する理学療法効果の検証—無作為化比較研究に基づく理学療法の効果—」です。MBPTでは第9回の学術集会から、「パフォーマンスの向上に対する理学療法効果の検証」というテーマを大きな柱として議論して参りました。これまでの内容を整理すると、画一化された条件においては理学療法に応用している刺激が生体の各器官・組織に対して好影響をもたらしている可能性が窺えました。今回の学術集会では、これまでの基礎研究の成果を受けて、臨床での理学療法効果を検証したいとの考えからパネルディスカッションの内容を企画しました。3名の先生からそれぞれ高齢者、整形外科疾患症例、脳血管障害症例を対象とした無作為化比較研究による臨床介入効果についての話題を提供していただきます。ぜひとも多くの皆さんにご参加いただき、本テーマに関する現時点での結論について討議したいと考えております。

また、一般演題は例年と同じくポスター形式で、18演題の発表が予定されています。十分に質疑応答していただく時間を設けてありますので、活発に討論していただく場となれば幸甚です。

会員の皆様はもとより会員以外の皆様もお誘い合わせの上ご参加いただきますようお願い申し上げます。

高齢者を対象とした無作為化比較試験

島田 裕之

日本学術振興会特別研究員
(Prince of Wales Medical Research Institute客員研究員)

はじめに

運動療法は薬剤などの医療行為と比較すると副次的弊害が少ないために、その効果や弊害についての臨床試験が積極的に行われてこなかった。現在の理学療法技術は成熟し、確立されたかのような感を受けるが、科学的な手法を用いて効果を検証した報告は限られている。効果に関する根拠の強さは研究デザインに依拠し、現時点においては無作為化比較試験がもっとも有力な研究デザインである。本稿においては高齢者を対象とした無作為化比較試験の自験例を取り上げ、高齢者に対する介入効果を紹介する。また、現所属機関で実施した大規模介入研究を紹介する。

自験例：運動介入による身体機能改善と転倒予防に関する効果検証

バランスと歩行練習による身体機能改善と転倒予防 (Shimada H, et al. *Clinical Rehabilitation* 17(5) 2003; 472-479.)

本研究は34名の要介護高齢者を対象として、無作為にバランス練習群、歩行練習群、対照群とに対象者を振り分け、12週間の運動介入を実施した。その結果、バランス練習群においては、Functional Balance Scale (バランス検査)、歩行練習群においてはPerformance-Oriented Mobility Assessment (バランスと歩行のバッテリー検査) が対照群より有意に向上した。しかし、各群の転倒率に有意差は認められなかった。

外乱刺激つきトレッドミル歩行練習による身体機能改善と転倒予防 (Shimada H, et al. *Am J Phys Med Rehab* 83(7) 2004; 493-499.)

本研究は32名の要介護高齢者を対象として、無作為に外乱刺激つきトレッドミル練習群と対照群とに対象者を振り分け、6か月間の運動介入を実施した。その結果、トレッドミル練習群がFunctional Reach Test (バランス検査) と歩行中の反応時間において有意に良好な値を示した。しかし、転倒率に有意差は認められなかった。

日本国外における介入研究の例：個人処方した転倒予防プログラムの効果 (Lord SR, et al. *J Am Geriatr Soc* 53(8) 2005; 1296-1304)

この研究は、オーストラリアにおける地域在住高齢者620名を対象として、無作為に集中介入群、最小介入群、対照群とに対象者を振り分けて1年間の介入および追跡調査を実施した。集中介入はPhysiological Profile Assessment (筋力、バランス、体性感覚、視覚機能の複合検査) の結果に基づいた運動プログラム、視機能向上介入、感覚機能代償の指導がなされた。最小介入群に対しては検査結果に基づいた助言が行われた。その結果、集中介入群において転倒の危険因子の改善が認められた。しかし、各群間の転倒率に有意差は認められなかった。

高齢者に対する運動介入研究の展望

運動介入の実施には長期間のトレーナー雇用のために膨大な研究資金を要する。また、転倒の発生は偶発的要因も多分に影響しており、劇的な改善効果を得ることが難しい。そのため、介入による転倒者削減効果は10～20%程度である。この効果を立証するための必要症例数は各群70～300名程度であり、大規模な研究計画を立案する必要がある。個人の力で大規模研究を組織化することは困難を伴う場合が多いため、多施設間共同研究が実施できる体制の整備が望まれる。

キーワード：無作為化比較試験・運動介入・転倒予防

整形外科疾患を対象とした無作為化比較研究 －変形性膝関節症に対する運動療法の効果－

中村信義

介護老人保健施設ピースプラザ

科学的なエビデンスを保証するのは、いうまでもなく疫学的手法を用いた臨床研究である。その中でも特に「運動」介入に焦点をあてた「運動疫学(exercise epidemiology)」は、理学療法への応用が期待される分野である。われわれは、平成15年より、武藏野市の委託を受け、介護予防の一環として変形性膝関節症（以下膝OA）のための運動を中心とするプログラム（「軽やか若ひざ体操教室」）を開発し、運動疫学的手法を用いてその効果を検証してきた。本報告では、膝OAに対する運動療法の効果について述べる。

膝OAに対する運動療法の効果についてはFransenら (Cochrane Library,'03) のシステムティクレビューがあり、十分なエビデンスが確認されている。またこれらの科学的エビデンスを背景に、アメリカ老年医学会(AGS,'01)), E.Roddyら(MOVE consensus,'05)などにより“勧告”が出されており、症状が軽度から中等度の膝OAに対する運動療法のコンセンサスはほぼ得られているといつてよい。

われわれは、AGSの勧告をもとにした教室型のプログラムで3ヶ月のRCTを実施、その効果を昨年の本学会にて報告した。対象条件は、教室に自主的に応募した者のうち①武藏野市に在住する60歳以上の自立在宅高齢者および日本整形外科学会膝疾患治療成績判定基準にひとつでも該当項目がある者②全日程に参加できない者およびOA以外の疾患有する者を除外③レントゲン所見より医師により変形性膝関節症と診断された者で、PTによる膝機能評価結果に基づいて医師が参加可能と判断した者である。その結果対象者は88名（男性12名；平均年齢77.8±5.4歳、女性76名；平均年齢73.2±5.3歳）で、X線学的評価（腰野ら）の結果は、grade1が13名、2が49名、3が19名、4が5名、5が2名で、比較的軽症例が多かった。

膝OAに対する効果指標についてBellamyらは①主観的痛み②主観的身体機能③全身的な機能評価の3項目の必要性を挙げ、①②の指標として質問紙であるWestern Ontario and McMaster Universities OA Index (WOMAC)を開発、世界的に広く用いられている。しかし、WOMACの正式な日本語版はなく、われわれは橋本らによるWOMACに準じた日本語版膝機能評価表（以下準WOMAC）を採用した。

対象者の割付は、準WOMAC得点により層化したブロックランダム割付により介入群と対照群、各44名ずつに分けた。介入後の最終的な解析対象者は介入群36名、対照群39名であった。

ベースライン時、準WOMAC痛み得点(左右合計200点)は介入群154.6±26.4点、対照群155.1±21.1点、介入後は介入群169.6±27.2点、対照群157.1±24.6点であった。反復測定分散分析（時点数2×群数2）の結果、時間と群の2要因に有意な交互作用を認め($F=6.11, P=0.02$)、主観的痛みに対してわれわれのプログラムの有用性が証明された。

RCTは、研究計画段階で対象を明確にし（取り入れ基準と除外基準の明確化）、信頼性・妥当性の保障されている指標を採用すること、また、実施段階で十分な介入暴露量を保ち、中断者を減らすことが最も重要である。

キーワード：運動疫学・RCT・変形性膝関節症

脳血管障害を対象とした無作為化比較研究

松尾 篤

畿央大学健康科学部理学療法学科

世界人口の5%の人々が、脳血管障害による運動障害に曝されると言われている。脳血管障害後の運動障害に対するリハビリテーションや理学療法が行われているが、その治療有効性の根拠は未だ乏しいのが現状である。しかしながら、近年、欧米あるいは本邦でも脳卒中治療ガイドラインの作成が進み、EBMが確立し難いリハビリテーション医学領域において多くの情報が整備されてきている。今回は特に、脳血管障害患者に対するリハビリテーションに関連したランダム化比較研究 (randomized control trial; RCT)、メタアナリシスを紹介し、その結果の臨床的意義について考えてみる。また、我々が行った脳卒中後上肢運動麻痺に対するミラーセラピーに関するRCT研究も紹介する。

脳卒中リハビリテーションとRCT

Teasellらによると、現在脳卒中リハビリテーションに直接関係したRCTは452件に達すると報告されている。麻痺肢強制使用 (Constraint induced movement therapy; CI治療) は非麻痺肢の運動を制限して、麻痺肢を強制的に使用させる治療である。この治療に関連したRCTでは、中等度以下の麻痺を有した慢性期脳卒中患者においてその有効性が報告されている (Wolf; 1989, Page; 2004, van der Lee; 1999, Taub; 1993)。また、中等度の運動麻痺患者に対して、多くの課題を含む積極的な運動訓練プログラム (課題指向的アプローチ) により、麻痺肢の機能改善が認められることも報告されている (Platz; 2001, Jang; 2003)。部分免荷トレッドミル歩行訓練に関するRCTも報告が増えており、その有効性がある程度確認されている (Vistin; 1998, Nilsson; 2001)。理学療法の訓練量に関しては、Kawakkelら (2004) の強化運動療法に関する20件のRCTのメタアナリシスがある。その結果では、強化運動療法によって発症後6ヶ月以内にADL, IADL, 歩行速度により大きな改善が認められている。

脳卒中後上肢運動麻痺に対するミラーセラピー

我々はランダム化クロスオーバーデザインを使用して、脳卒中後の上肢運動麻痺を有した15名の患者にミラーセラピーを実施しその効果を検証した。ミラーセラピーによる手関節・手指の運動機能回復が認められ、鏡による視覚的錯覚を生成することが脳卒中後の上肢運動麻痺に対して効果的であることが示唆された。

今後の展望

脳卒中リハビリテーションに関連したRCTは蓄積されてきている。しかし、RCTの結果のみが臨床理学療法やリハビリテーションにとっての最良の根拠ではなく、あくまでも臨床意思決定の手段であり、魔法の杖ではない。また一方では、リハビリテーション治療による脳の再組織化、可塑的変化の可能性も示唆されてきている。近年の基礎医科学研究の知見とRCTによる臨床根拠の融合が、脳卒中リハビリテーションの成功を導くかも知れない。

キーワード：脳血管障害・ランダム化比較研究・EBM

<1>

表面筋電信号を利用した関節トルクの推定と分解 －漸増関節トルクを用いて－

梶木美絵^{1,4)} 西村仁美^{2,4)} 志谷佳久^{3,4)} 鶴崎俊哉⁴⁾

1) 大阪リハビリテーション病院 2) 長崎百合野病院 3) 長崎北病院
4) 長崎大学医学部保健学科

【目的】本研究は簡便かつ定量的な筋緊張評価の予備的研究のため、関節トルク (TQ) と表面筋電信号から動筋群と拮抗筋群各々のトルクを推定することを目的として実施した。

【対象および方法】対象は健常な成人男性5名 (22.8 ± 3.0 歳) とした。被験者に背臥位で利き手側の肩関節90°外転位、肘関節90°屈曲位、前腕90°回外位にて肘関節の屈曲・伸展方向への等尺性運動を行わせ、関節トルク (以下、TQ) をロードセル (エーアンドディ社製、以下LC) にて計測した。同時に表面筋電信号を導出するために肩甲帯から前腕までの14筋に表面電極を電極中心間距離20mmにて貼付した。さらに、肘関節屈筋群 (以下、肘屈筋群) および伸筋群 (以下、肘伸展群) として広範囲の筋電信号を測定するため、上腕の腹側と背側に上腕長の中心から近位、遠位にそれぞれ30mmの位置に電極を貼付し、計16箇所の筋電信号を測定した。筋電信号およびLC信号は筋電図測定装置 (エヌエフ回路設計ブロック社製) を経由し、サンプリング周波数1kHzにてPCに取り込んだ。またLC信号をデジタル電圧計にも送り、LCへの荷重を被験者がリアルタイムに確認できるようにした。被験者に肘関節屈曲方向へ最大随意収縮 (maximum voluntary contraction ; MVC) にて5秒間の等尺性収縮を行うよう指示し、筋電信号とLC信号を計測した。次に被験者自身がLCの値を電圧計にて確認しながら屈曲方向に20, 40, 60, 80%MVCにてそれぞれ5秒間ずつ等尺性収縮を保ち、それぞれの信号を計測した。更に肘関節伸展方向に対して同様の作業を繰り返した。この時、屈曲および伸展方向へのMVC後には2分間の休息を入れ、その他の強度間は1分間の休息をとった。全被験筋の筋電信号とLC信号は、各%MVCで測定時間5秒間の信号から1秒間を切り出し分析信号とした。これらの筋電信号をMATLAB Ver.6.5.1 (MathWorks社製) を用いて離散Wavelet変換による時間周波数解析を行い、筋電信号のエネルギー密度の総和 (TPw) を求めた。各筋のTPwとTQとの関係から、重回帰分析により有意水準が高い組合せの筋を選択し、TQをTPwから推定するモデルを作成した。なお、統計処理は全てStatView Ver.5を用いた。

【結果】重回帰分析により有意水準5%を満たす重回帰式が複数求められ、その中から回帰係数の有意水準および符号をもとに肘屈筋群と肘伸筋群のTPwを使用したモデルを選択した。モデルによる推定TQと実測TQは高い相関 ($R^2=0.854$) を示した。

【考察】関節トルクは動筋群が発生するトルク (動筋群トルク) と拮抗筋群が発生するトルク (拮抗筋群トルク) の差分と考えられるが、動筋群トルクおよび拮抗筋群トルクを実測することは困難である。本研究では表面筋電信号から関節トルクを推定するモデルを作成することで、両トルクを推定できたものと考える。

キーワード：表面筋電信号・関節トルク・重回帰分析・離散Wavelet変換

本研究の独創的な点

関節トルクを漸増させた際の表面筋電図から関節トルクを推定し、さらに屈筋群と伸筋群のトルクに分解した点

<2>

肘関節屈曲のmake test, break testにおける周波数の変化 —wavelet変換を用いて—

浜本寿治¹⁾ 上野尚子²⁾ 鶴崎俊哉³⁾ 平田恭子¹⁾ 永瀬慎介¹⁾

1) 長崎百合野病院 2) 長崎北病院 3) 長崎大学医学部保健学科

【はじめに】筋電図を用いた研究、特に周波数解析を用いたものは主に等尺性収縮によりなされている。等尺性収縮には、関節を固定して被験者に随意収縮をさせるmake test (M-T) と関節を固定しそこに外力を加え抵抗させるbreak test (B-T) とがある。樋口らは、女性の肘関節屈曲においてM-Tに比べB-Tが1.21～1.29倍筋力が高いことを報告している。しかし、そのメカニズムは解明されていない。そこで、今回M-TとB-Tに時間周波数解析であるwavelet変換を行い、その時の周波数の違いについて検討した。

【方法】対象は、健常成人女性11名 (24.4±1.6歳) であった。被検筋を上腕二頭筋 (BB)、上腕三頭筋 (TB) とし、それぞれ筋長の遠位1/3部にディスポーズブル電極を中心間距離2cmにて塗付した。測定肢位は背臥位で、肩関節外転90度肘関節屈曲90度前腕回外90度にて手関節遠位を自作ロードセルに固定し、M-TおよびB-T時の肘関節屈曲トルク (TQ) を測定した。B-Tは油圧シリンダーにより肘関節を伸展方向へ1cm牽引し、それに抗するようにした。その際、牽引に要する時間を5秒 (5s) と15秒 (15s) で行い、筋電信号とTQを生体計測システム (エヌエフ回路設計ブロック社製) を用いサンプリング周波数1kHzにてパーソナルコンピュータに取り込んだ。採取したデータからMT・5s・15sのピークトルクを含む1秒間のデータを選択し、MATLAB6.5 (MathWorks社製) にてMother WaveletにDaubechies5を用い、分解レベルを5としてDWTを行い、筋電信号の総パワー (TPw) と分解レベルi毎のパワー密度比 (RPD (i)) を算出した。得られたパラメータは統計用ソフトウェア (SAS社製Stat View5.0) を用いて、繰り返しのある分散分析および多重比較を行った。

【結果】M-Tを基準に各パラメータを見ると、TQの平均は5sで11%有意に増加し ($p<0.05$)、15sでは3%の増加がみられたが有意ではなかった。TPwにはいずれも有意な変化は認められなかった。また、BBでは5s・15sともにRPD (1)、RPD (2) が小さく ($p<0.05$)、RPD (5) が大きかった ($p<0.05$)。TBでは15sにおいてRPD (1)、RPD (2) が小さく ($p<0.05$)、RPD (5) が大きかった ($p<0.05$)。

【考察】本研究におけるRPD (i) の変化は筋電信号の低周波化を示している。低周波化の要因としては動員されている運動単位数の減少、インパルス発射頻度の低下、運動単位の活動の同期化、筋疲労などがあげられる。本研究のBBにおいては筋の最大収縮時であること、収縮時間が短いことから運動単位の活動が同期化したことが有力と思われる。ここでTQが5sにおいて有意に増加したことを考え合わせると、同期化に伸張反射が関係している可能性が示唆される。一方TBでは時間をかけて筋力を発揮する際拮抗筋への相反性抑制が働き、そのため運動単位数の減少が起ったものと考える。

キーワード：make test・break test・筋力・抵抗増加度・Wavelet変換

本研究の独創的な点

異なる等尺性収縮時の筋電信号解析にwavelet変換を用い、周波数の変化から検討を加えた点

<3>

MakeテストBreakテストにおける筋力の解析

上野尚子¹⁾ 浜本寿治²⁾ 鶴崎俊哉³⁾ 永瀬慎介²⁾ 平田恭子²⁾

1) 長崎北病院 2) 長崎百合野病院 3) 長崎大学医学部保健学科

【はじめに】 Makeテスト（以下、 MT）， Breakテスト（以下、 BT）は、ともに等尺性収縮であるが、その発揮筋力が異なる。前者は、随意的に最大筋力を発揮する場合であり、後者は外力に抗する形で関節角度を保持しながら最大筋力を発揮する場合をさす。MT-BTの筋力における有意差については報告されているが、どちらの方法で筋力の発揮を促すほうが効率的であるか、また発生要因や特性については明確でない。そこで、Wavelet変換による解析を用いて筋電図学的方面から検討を行った。

【方法】 被験者は、女性11名（年齢24.4±1.6歳）を対象とした。計測には、ロードセルと電動シリンダーを用いた実験機器を作成し用いた。検査肢位は、背臥位、肩関節外転90度、肘関節屈曲90度、被験筋は左上腕二頭筋、上腕三頭筋とした。被験筋上の皮膚に、ディスポーザブル電極を貼付し、肘関節屈曲のMTおよびBTを行った。MTでは5秒間最大筋力を発揮するよう指示した。BTでは5秒間（5秒BT）および15秒間（15秒BT）で1.0cm突出するよう電動シリンダーを設定し、その機械的抵抗に合わせて徐々に筋力を発揮しながら関節角度を保持するよう指示した。筋活動と筋力の記録には生体計測システム（エヌエフ回路設計ブロック社製ディジタル生体アンプシステム）を使用し、サンプリング周波数1kHzにてノート型パソコンコンピューターに取り込んだ。採取したデータからMT、BTにおける最大筋力発揮前後1秒間のデータを選択し、科学技術計算ソフト（MathWorks社製MATLAB 6.5およびWavelet Tool Box）を用いて、EMGの信号波形を離散Wavelet変換を行い、Daubechies 5で5段階のレベルに分解した。各レベルのWavelet係数を二乗和し、レベルのパワー密度（Pw）と全レベルのPwの和の総パワー密度（TPw）を算出した。以上をパラメーターとしてStatViewを用いて分散分析および多重比較による統計処理を行った。

【結果】 得られたBTの最大筋力は、MTを基準とし抵抗増加度の高い5秒BTで11%，15秒BTでも3%上回る結果となった。5秒BTでは、MTに比して有意に筋力の上昇が認められたが、TPwにおける有意差は認められなかった。しかし、TPwにおいて上腕二頭筋では5秒BTで高い傾向、逆に上腕三頭筋では低い傾向を示していた。

【考察】 通常最大筋力は大脳の抑制作用により30%ほど余力を残しているとされており、BTでの筋力上昇はこの余力の一部が動員されたものと思われる。つまりBT時には大脳からの抑制が十分ではなかったことが推察でき、さらにBT抵抗増加度が高い場合は伸張反射、逆に抵抗増加度が低い場合は同時収縮による関節固定等がそれぞれの最大筋力の差に影響しているのではないかと思われた。このことより抵抗増加度はBTの変化要因となりうることが予測され、今後検討する必要がある。

キーワード： Makeテスト・Breakテスト・筋力・抵抗増加度・Wavelet変換

本研究の独創的な点

MakeテストBreakテストによる筋力の相違について、抵抗増加度による影響を加えて検討した点

<4>

漸増的筋収縮時の表面筋電図解析について －Wavelet変換による周波数変化より－

平田恭子¹⁾ 永瀬慎介¹⁾ 鶴崎俊哉²⁾ 浜本寿治¹⁾ 上野尚子³⁾

1) 長崎百合野病院 2) 長崎大学医学部保健学科 3) 長崎北病院

【はじめに】表面筋電図の解析においては過去にも様々な報告があり近年ではWavelet変換を用いることで関節運動を伴う筋活動時の時間周波数解析が可能とされてきている。さらに筋線維タイプ別の周波数においてS型線維は比較的低周波数帯域に、FF型線維は比較的高周波数帯域に影響するとされており、これまで我々が行ってきた時間周波数解析においても同様の傾向があることが確認された。しかし、筋線維タイプと周波数の関係を直接に結びつける知見にはいたっていないため、本研究では筋線維の組成比が明確にされている筋の漸増的な筋活動を離散Wavelet変換 (DWT) により分析し、リクルートメントとインパルスの発射頻度の観点から検討した。

【対象と方法】健常女性10名（年齢24.0±1.6歳）の非利き側上腕二頭筋（以下BB），上腕三頭筋（以下TB），前脛骨筋（以下TA），外側腓腹筋（以下Gas），外側ヒラメ筋（以下Sol）を対象とし、双極電極を上肢は筋腹の遠位3分の1、下肢は筋腹の近位3分の1に電極中心間距離2cmで貼付した。開始肢位を上肢は背臥位・肩関節90度・肘関節屈曲90度とし、手関節をロードセルに固定、下肢は背臥位・足関節0度とし、足部をロードセルに固定とした。被験者には導出されるトルクを視覚的にフィードバックし、メトロノームに合わせ3秒間漸増的かつ直線的に最大トルクまで等尺性収縮を行うよう指示し、十分に練習後、肘関節屈曲・伸展、足関節底・背屈を行った。この時の主動作筋の筋活動をサンプリング周波数1kHzにてパーソナルコンピューターに取り込み、筋トルクの上昇が確認された点から各3秒間を0.5秒ごとにMATLAB 6.5（MathWorks社製）にてDaubechies 5、分解レベル5（以下d1からd5）でDWTを施行した。分析パラメータには各分解レベルにおけるパワー密度

（PD），分析範囲内のエネルギー密度の総和（TPw），分解レベルiにおけるエネルギー密度の和のTPwとの比（RPD (i)）を算出し、統計用ソフトウェア（SAS社製 Stat View 5.0）を用い有意水準5%にて分散分析および多重比較を行った。

【結果と考察】各筋とともにRPDはトルクの上昇につれ高周波化する傾向となった。組成比（S型線維の割合よりBB：46.4、TB：32.6、TA：73.0、Gas：48.9、Sol：87.7）の比較では、組成比が類似しているBBとGasでGasのRPD (2) の上昇割合およびRPD (4) の減少割合が大きく、直線的に変化しており、リクルートメントとインパルス発射頻度による変化の差はみられなかった。S型線維の割合が大きいTA、SolでTAはRPD (2) の上昇、RPD (4) の減少が大きく、2.0秒より緩やかな上昇から減少へと変化していた。SolはRPD (2) で直線的に上昇し、RPD (4) で直線的に減少していた。TAの変化はリクルートメントとインパルス発射頻度の影響によると考えられるが、有意差もなく、今回の結果だけでは明確にはできなかった。

今後、組成比や神経支配比などの影響を考慮した解析方法の検討が必要と考えられた。

キーワード：Wavelet変換・組成比・リクルートメントカーブ・インパルス発射頻度

本研究の独創的な点

筋線維組成比の明らかな筋でリクルートメントとインパルス発射頻度の観点から時間周波数解析を行った点

<5>

Wavelet変換による筋活動評価 —筋線維組成と周波数変化の視点から—

永瀬慎介¹⁾ 平田恭子¹⁾ 鶴崎俊哉²⁾ 浜本寿治¹⁾ 上野尚子³⁾

1) 長崎百合野病院 2) 長崎大学医学部保健学科 3) 長崎北病院

【目的】 Wavelet変換（以下WT）は非定常信号波形の解析が可能である時間-周波数解析法である。WTを表面筋電図に用いることで、筋線維タイプ別の筋活動評価が可能になると考えられている。これまでWTにより高い周波数帯域の筋活動はFast Twitch（以下FT）線維の活動を反映し、低い周波数帯域の筋活動はSlow Twitch（以下ST）線維の活動を反映していることを報告してきた。今回すでに筋線維組成が報告されている筋の筋活動について、WTを用いて筋線維組成と周波数変化との間に関連が見られるのではないかと仮定し若干の知見を得たので報告する。

【方法】 対象は健康な成人女性10名（24.0±1.6），被験筋とST線維の割合は利き側の上腕二頭筋（以下BB）46.4%・上腕三頭筋（以下TB）32.6%，軸足の前脛骨筋（以下TA）73.0%・腓腹筋（以下Gas）48.9%・ひらめ筋（以下Sol）87.7%，であった。被験筋上の皮膚に十分な前処理を施した後、電極間距離2cmにてディスポーバル電極を貼付した。測定は背臥位にて肩関節90°外転位かつ肘関節90°屈曲位からの肘関節屈曲・伸展運動と足関節低背屈0°からの足関節底屈・背屈運動を対象とし、ロードセルを用いた測定装置を被験者に筋トルクが見えるよう設置した。そして運動開始から3秒かけてトルクカーブが直線的に上昇し最大筋収縮となるように指示した。筋電図データは各運動の主動作筋を生体計測システム（NF回路ブロック社製）を用いサンプリング周波数1kHzにてパーソナルコンピュータに取り込んだ。解析はトルクが上昇した時点より3秒間を選択し、科学技術計算ソフト（MathWorks社製 MATLAB 6.5およびWavelet Tool Box）にて0.5秒分のデータずつDaubechies 5、分解レベル5（以下d1からd5とし、d1が最も高い周波数帯を示す）で離散Wavelet変換（DWT）を施行した。分析パラメータには各分解レベルにおけるパワー密度（PD）、分析範囲内のエネルギー密度の総和（TPw）、分解レベルiにおけるエネルギー密度の和のTPwとの比（RPD (i)）を算出し、統計用ソフトウェア（SAS社製Stat View 5.0）を用いて分散分析および多重比較を行った。

【結果・考察】 PDは各筋とも時間経過に対しd1からd4は同様の上昇傾向を示し、d5はデータのばらつきが見られた。RPDは下肢3筋でd1、d2が時間経過とともに上昇し、d4は減少した。また、TBはd1、d2、d4では時間経過による変化はみられずd3で上昇し、BBではd1、d2では変化は見られず、d3で上昇し、d4で減少していた。今回の結果からは筋線維組成と周波数変化との関連は明確に示すことはできず、今後の検討課題とし研究を進めるものとする。

キーワード：離散Wavelet変換・周波数変化・筋線維組成

本研究の独創的な点

筋線維組成が明らかな筋の筋活動に対してWavelet変換を実施し周波数変化との対比を行った点

<6>

表面筋電図周波数解析の再現性についての検討

林田真一郎 鶴崎俊哉 安東大輔 松山 裕

長崎大学医学部保健学科

【目的】これまでの表面筋電図解析には、再現性に問題がある事が指摘されており、評価としての使用方法に限界がある。そこで我々は、表面筋電図による筋活動評価の可能性を探るために、Wavelet変換による周波数解析を用いている。Wavelet変換は、筋電図周波数特性の解析として近年用いられるようになったもので、今回はその再現性について基礎的な資料を得る目的で筋疲労に関する検討を行った。

【方法】対象は本実験の目的を理解し、同意を得た健常成人14名（男性8名・女性6名）、年齢 23.5 ± 2.9 歳とした。方法は被験者を壁を背にした直立位とし、非利き手側の肩関節屈曲伸展中間位、前腕回外位で3kgのダンベルを把持させた。その後、肘関節屈曲伸展運動のarm curl課題を行わせ、疲労により運動困難となるまで動作を反復させた。被験筋には非利き手側の上腕二頭筋長頭を選択し、十分な皮膚処理後、全筋長の遠位1/3に筋の走行方向に合わせ電極間距離2cmでディスポーザブル電極を貼付し、また肘関節に電気角度計を装した。

実験は7日の間隔をおいて3回行った。採取したデータから運動開始時（疲労前）と運動終了時（疲労後）の屈曲相1秒間のデータを選択し、解析対象データとした。

データ解析には数値解析ソフトMATLAB 6.5にてMotherWaveletをDaubechies 5、分解レベルを5として離散Wavelet変換を行った。これにより得られる分解レベルiにおけるエネルギー密度の総和PD(i)、分析範囲内のエネルギー密度の総和TPw、PD(i)とTPwの比をRPD(i)を解析パラメータとして、各試験ごとの疲労前後で比較を行った。統計処理には統計用ソフトウェア（SAS社製 Stat View 5.0）を用いて、分散分析および多重比較を行った。

【結果】 TPw、RPDは、各試験の運動開始時と終了時において、いずれも有意差は認められなかった。TPwは、全試験において筋疲労に伴って有意に上昇した。

【考察】 各試験のそれぞれの運動開始時と終了時において、TPwおよびRPDには有意差は認められず、Wavelet変換による周波数解析の再現性が示唆された。またTPwは筋収縮に動因されている運動単位数が反映されているものと考えられており、全試験において筋疲労によるTPwの有意な増加が認められた（ $p < 0.05$ ）。今後、各種トレーニング等により、周波数にどのような変化があるのかを検討し、理学療法の効果判定に結び付けたい。

キーワード：表面筋電図・周波数解析・Wavelet変換・再現性・筋疲労

本研究の独創的な点

表面筋電図の筋疲労による周波数変化の再現性を検討し、Wavelet変換の有用性と応用について述べた点

<7>

表面筋電信号を利用した関節トルクの推定と分解
－周波数成分を用いた補正－

鶴崎俊哉¹⁾ 西村仁美^{1,2)} 志谷佳久^{1,3)} 梶木美絵^{1,4)}

1) 長崎大学医学部保健学科 2) 長崎百合野病院 3) 長崎北病院
4) 大阪リハビリテーション病院

【目的】我々は関節トルク (TQ) を漸増させた際および同時収縮を伴う任意の関節トルク発生時の表面筋電信号から動筋群と拮抗筋群各々のトルクが推定できることを報告した。その際、TQと筋電信号のエネルギー密度の総和 (TPw) は対数関係に類似していることを見いたした。このため、先に挙げた推定は全体としては十分な精度を持つものの、発生するTQによっては誤差が大きくなっていた。この点を改善するため、周波数成分を考慮したモデルを検討した。

【対象および方法】対象は健常な成人男性5名 (22.8 ± 3.0 歳) とした。被験者に背臥位で利き手側の肩関節90°外転位、肘関節90°屈曲位、前腕90°回外位にて肘関節の屈曲・伸展方向への等尺性運動を行わせ、関節トルク (以下、TQ) をロードセル (エーアンドディ社製、以下LC) にて計測した。同時に表面筋電信号を導出するために肘関節屈筋群 (以下、肘屈筋群) および伸筋群 (以下、肘伸展群) として上腕の腹側と背側に上腕長の中心から近位、遠位にそれぞれ30mmの位置に電極を貼付し、筋電信号を測定した。筋電信号およびLC信号は筋電図測定装置 (エヌエフ回路設計ブロック社製) を経由し、サンプリング周波数1kHzにてPCに取り込んだ。被験者に肘関節屈曲および伸展方向へ漸増関節トルク課題および同時収縮課題を行わせた。漸増関節トルク課題は最大随意収縮 (maximum voluntary contraction ; MVC) をもとに20, 40, 60, 80%MVCにてそれぞれ5秒間ずつ等尺性収縮を保たせるものとし、同時収縮課題は屈曲・伸展両方向共にTQが生じないよう同時に収縮させたまま5秒間保持後、同時収縮を継続しながら屈曲および伸展方向に5秒間TQを発生させ、同時収縮と発生する関節トルクを被験者の任意で弱、中、強の3段階としたものとした。筋電信号とLC信号は、測定時間5秒間の信号から1秒間を切り出し分析信号とした。これらの筋電信号をMATLAB Ver.6.5.1 (MathWorks社製) を用いて離散Wavelet変換による時間周波数解析を行い、筋電信号の分解レベル j ごと (周波数に相当) のエネルギー密度 (PD (j)) を求めた。各筋のPD (j) とTQから重回帰分析により、TQをPD (j) から推定するモデルを作成した。なお、統計処理は全てStatView Ver.5を用いた。

【結果】重回帰分析によって得られたモデルは統計学的に有意 ($p < 0.001$)、モデルによる推定TQと実測TQは高い相関 ($R^2 = 0.831$) を示した。

【考察】筋力の発揮に関しては「小さい運動単位から動員される (サイズの原理)」、「リクルートメントによる筋力調整から発火頻度による筋力調整が行われる」、等の報告がある。またType2線維が筋の表層に分布するという報告もあり、これらはいずれも筋電図の周波数を変化させる要因となる。本研究結果は、筋力の発揮様式を反映したものと考えるが、対象数も少なくさらなる検討が必要と思われる。

キーワード：表面筋電信号・関節トルク・重回帰分析・離散Wavelet変換

本研究の独創的な点

表面筋電図からの関節トルク推定および屈筋群と伸筋群のトルクに分解する手法に周波数の要因を加味した点

<8>

表面筋電信号を利用した関節トルクの推定と分解 －同時収縮を用いて－

志谷佳久^{1,4)} 西村仁美^{2,4)} 梶木美絵^{3,4)} 鶴崎俊哉⁴⁾

1) 長崎北病院 2) 長崎百合野病院 3) 大阪リハビリテーション病院
4) 長崎大学医学部保健学科

【目的】我々は関節トルク (TQ) を漸増させた際の表面筋電信号から動筋群と拮抗筋群各々のトルクが推定できることを報告した。しかしTQの漸増という測定条件は、中枢神経系疾患などのある場合測定が困難となる。そこで、同時収縮を伴った任意の関節トルク発生という測定条件で同様なトルクの推定が可能か検証するために本研究を行った。

【対象および方法】対象は健常な成人男性5名 (年齢22.8±3.0歳、身長169.8±3.3cm、体重60.2±3.3kg) とした。被験者に背臥位で利き手側の肩関節90°外転位、肘関節90°屈曲位、前腕90°回外位にて肘関節の屈曲・伸展方向への等尺性運動を行わせ、関節トルク (以下、TQ) をロードセル (エーアンドディ社製、以下LC) にて計測した。同時に肘関節屈筋群 (以下、肘屈筋群) および伸筋群 (以下、肘伸展群) の表面筋電信号を導出するために、電極間距離を通常より広く取り (上腕の腹側と背側に上腕長の中心から近位、遠位にそれぞれ30mmの位置) 測定を行った。筋電信号およびLC信号は筋電図測定装置 (エヌエフ回路設計ブロック社製) を経由し、サンプリング周波数1kHzにてPCに取り込んだ。またLC信号をデジタル電圧計にも送り、LCへの荷重を被験者がリアルタイムに確認できるようにした。まず、測定側上肢筋群を同時に収縮させ、肘関節にTQが生じない状態で5秒間保持させた。続いて同時に収縮を継続しながら屈曲方向にTQを発生させて5秒間保持、さらに同時に収縮を保ちながら伸展方向にTQを発生させ5秒間保持させた。この3動作を一連の動作として行わせ、各筋の同時に収縮の強度が大きく変化することを防いだ。同時に収縮の強度は被験者の任意で弱、中、強の3段階とし、各強度の間には1分間の休息を入れた。また屈曲・伸展方向のTQの大きさも被験者の任意とした。筋電信号とLC信号は、測定時間5秒間の信号から1秒間を切り出し分析信号とした。これらの筋電信号をMATLAB Ver.6.5.1 (MathWorks社製) を用いて離散Wavelet変換による時間周波数解析を行い、筋電信号のエネルギー密度の総和 (TPw) を求めた。各筋のTPwとTQから重回帰分析により、TQをTPwから推定するモデルを作成した。なお、統計処理は全てStatView Ver.5を用いた。

【結果】重回帰分析によって得られたモデルは統計学的に有意 ($p<0.05$) であった。モデルによる推定TQと実測TQは高い相関 ($R^2=0.764$) を示した。また、TQを漸増させた場合のデータに今回のモデルを適応した場合も推定TQと実測TQは高い相関 ($R^2=0.699$) を示した。

【考察】結果より、同時に収縮を伴う任意の関節トルクにおいても表面筋電信号より動筋群および拮抗筋群の発生するトルクが推定できることが示唆された。このことは、痙攣性麻痺のように関節トルク発生に関わる効率の低下を評価する方法として発展させることができると思われる。

キーワード：表面筋電信号・関節トルク・重回帰分析・離散Wavelet変換

本研究の独創的な点

同時に収縮をともなう筋活動の表面筋電図から関節トルクを推定し、さらに屈筋群と伸筋群のトルクに分解した点

<9>

両上肢への時間差を設けた漸増・漸減的重量負荷が
立位姿勢筋活動に及ぼす影響

太場岡英利¹⁾ 片岡保憲²⁾ 越智 亮³⁾ 森岡 周⁴⁾

- 1) 愛宕病院リハビリテーション科 2) 高知大学大学院医学系研究科
3) 星城大学リハビリテーション学部理学療法学専攻
4) 畿央大学健康科学部理学療法学科

【はじめに】姿勢制御研究において、上肢運動を始め種々の外乱刺激を負荷することにより、予測性や適応性を捉えた研究は数多く報告されている。しかし、我々が行う運動は、空間的のみならず、時間的秩序のもとに成り立っており、時系列的変化を無視することは出来ない。また、両上肢は機能的に独立したものであり、時間軸上で完全に同期して活動することは少ない。そこで、本研究では両上肢へ重量を負荷するにあたり、時間差を設け、姿勢制御における筋の活動位相を表面筋電計を用いて検証する。

【方法】健常男性14名を対象とした。測定肢位は、両側肩関節90度屈曲、肘関節完全伸展、手関節中間位、及び前腕回内位での閉眼閉脚立位とした。対象筋は両側三角筋前部線維、腓腹筋内側頭、内側ハムストリングス、脊柱起立筋とした。課題は、重量が漸増及び漸減する上肢負荷に対して、両上肢を等尺性に保持することであった。重量の漸増及び漸減は、電動式ポンプを用いて、手関節裂隙に取り付けられた容器に水を注入し、容器が満水になると同時に放水を開始した。水注入及び放出速度は100cc/secとし、注入あるいは放出開始から20秒で水が満水ならびに放水されるよう設定した。なお容器満水時における重量は2kgとした。負荷条件として10秒間の時間差を設け、右側負荷開始より10秒後に左側への負荷を開始した。両側容器放水完了までの50秒間を一試行とした。筋活動の導出は、NORAXON社製Myosystem1200を用いた。A/D変換後、サンプリング周波数1kHzにて、パソコン用コンピュータに取り込み、課題開始から終了時までの1秒毎の積分値(iEMG)を求めた。なおiEMGは各筋の最大随意収縮を100%として正規化した(%iEMG)。各筋%iEMGの平均値を用いて、筋活動様相を継続的に比較した。分析は、課題時間(t)と各筋平均%iEMG(y)間で回帰分析を行った。(t)と(y)の各関数式の決定係数を求め、適合性を判断した後、非線形関数式である三次関数式を選択した。極大値で接線の傾きが0となる(t)を微分公式を用いて算出し、各筋の活動様相を概観した。

【結果】各筋の三次関数曲線は、時系列上、上に凸の曲線を示し、全ての筋において有意な相関を示した($p<0.01$)。極大値で接線の傾きが0となる(t)を算出した結果、右三角筋で15sec、左三角筋で32sec、右脊柱起立筋で30sec、左脊柱起立筋で20sec、右ハムストリングスで25sec、左ハムストリングスで25sec、右腓腹筋で17sec、左腓腹筋で20secであった。各筋の三次関数曲線を時系列上で比較した結果、極大値における(t)の値から、一側三角筋と反対側の脊柱起立筋が時間軸上、ほぼ同時刻にピークを持ち、同期して活動する傾向にあった。右三角筋と同側腓腹筋が時間軸上、同期して活動する傾向にあった。

【考察】以上の結果より、各姿勢筋活動は直線的に変化する重量に対して非線形的に活動することが明らかとなった。また、各筋間で時間軸上同期して活動する筋の組み合わせが複数存在することが示唆された。多関節にまたがる運動において、上肢、下肢など運動器官のもつ運動の自由度を制限するために、数多くの筋群は、その活動位相が一定の順序に従った活動を示すようになる。本実験結果で得られた、特定の筋間でみられる賦活パターンは、目的運動を円滑に遂行するために不可欠なものであると考えられた。

キーワード：両上肢・重量負荷・時間差・姿勢制御・表面筋電計

本研究の独創的な点

立位で両上肢に対する漸増・漸減的重量負荷に時間差を設けた点と、上肢のみでなく姿勢筋活動に着目した点

<10>

持続収縮後にみられる骨格筋の弛緩特性変化

石井禎基 伊藤秀明 和足孝之 土屋禎三

神戸大学理学部生物学科

【目的】筋収縮のメカニズムは、様々な角度から研究されているが、骨格筋を長時間持続収縮させたときの力学的研究はほとんどない。それは、持続収縮には疲労が伴うため筋に与える直接的な影響を調べることが困難であるからである。我々は雄カエルの繁殖行動（抱接：雄が雌を抱え込み雌の産卵を誘発させる行動）が数時間から数週間続くことに着目して、前脚筋の収縮特性について後脚筋と比較した結果を前回報告した。そこで本研究では、疲労に強いと考えられる前脚筋が長時間持続収縮した後にその収縮特性がどのように変化するのかを動力学的手法を用いて測定し検討した。

【材料と方法】材料には、日本アカカエル (*Rana japonica*) 成体の前脚筋flexor carpi radialis muscle (FCR) を用いた。繁殖期(2-3月)に購入したカエルを無作為に2つのグループに分けて、一方のグループには雄のみ(未抱接グループ、10個体)、もう一方には雄と雌を同じ箱に入れて抱接をさせ(抱接グループ、8個体)、両グループともに低温室(4°C)で飼育した。購入直後の未抱接グループ(BC)(5個体)および3週間同条件下で飼育した未抱接グループ(AC)(5個体)と抱接グループ(AA)(8個体)の雄カエルよりFCRを摘出し、筋標本の一端を実験装置の張力計(固有振動数、1kHz)に、他端をサーボモーターに取り付け、*in vivo*で測定した自然長(*l₀*)に合わせて、実験用のバスに水平に固定した。筋の収縮特性は、等尺性収縮張力(25 Hz, 3 s)、筋の荷重-速度関係そして筋stiffnessを測定した。筋stiffness測定に際しては、サーボモーターで正弦波(500 Hz, peak-to-peakの大きさは自然長の0.1%)を標本に与え、その時の張力変化を記録することにより測定をした。実験は全て4°Cで行った。

【結果】刺激終了後張力が持続する時間には、未抱接グループ(1901±632 s)と抱接グループ(1960±1554 s)の間に差はなかった。BCとACの短縮速度は、全荷重域において差が見られなかつたが、AAの短縮速度は、全荷重域においてBCおよびACよりも遅くなっていた。さらに最大短縮速度(V_{max})では、BC(1.45±0.22 *l₀* / s)とAC(1.33±0.30 *l₀* / s)間に有意な差はなかつたが、AAのV_{max}(0.94±0.31 *l₀* / s)はBCとACよりも有意に遅くなっていた(*P* < 0.05)。一方、収縮過程におけるAAの筋stiffnessはBCおよびACのそれと差はなかつた。また弛緩過程において、AAの弛緩過程第2相(前回報告)の張力および筋stiffnessが、ともにBCおよびACより増大していた。

【考察】筋収縮の短縮速度は、細胞内カルシウム濃度が最大になったときのアクチーミオシン相互作用の速さを示している。また、筋stiffnessはアクチーミオシン相互作用の相対的な量を示しており、細胞内カルシウム濃度と相関があるといわれている。したがって、これらの事実は骨格筋の長時間持続収縮が筋線維のアクチーミオシン相互作用の速さだけでなく、筋小胞体のカルシウムイオン再取り込みにも影響を与えている可能性を示唆している。

キーワード：骨格筋・持続収縮・筋収縮短縮速度・筋stiffness

本研究の独創的な点

疲労を伴わない長時間持続収縮が、骨格筋に与える影響を示した点

<11>

体幹加速度を用いた歩行評価の信頼性 －自己相関係数を指標にした左右対称性の検討－

芥川知彰 榎 勇人 西上智彦

高知大学医学部附属病院リハビリテーション部

【はじめに】歩行時の左右脚の対称性を評価する指標として、Nilssenらは体幹加速度の自己相関係数 (autocorrelation coefficient ; ACC) を提唱している。自己相関分析は同一波形を重ね合わせ、時間を移行させた際の波形の類似性を検討する手法で、左右脚の対称性や歩行周期ごとの対称性の比較が可能である。加速度波形については、平均平方根 (root mean square ; RMS) や波形自体の級内相関係数 (intraclass correlation coefficient ; ICC) を求め、歩行周期を基準に再現性を検討した報告はあるが、左右対称性の再現性を検討した報告はない。ACCに経日的再現性を認めれば、左右脚で非対称性の歩行を呈する症例に対する理学療法効果が経日に判定可能となり、臨床上有用と言える。今回、健常成人を対象に歩行中の体幹加速度波形のACCの経日的再現性を検討した。

【方法】対象は下肢や中枢に既往のない健常成人6名 (平均年齢23.3±2.1歳)。3軸加速度計をベルトに固定し、第3腰椎の高さに装着した。自由歩行、低速歩行、最速歩行の順に各3回ずつ10m歩行を行い、歩行中の体幹加速度 (側方、前後、垂直成分) を測定した。データはサンプリング周波数200Hzでコンピュータに取り込み、100Hzのローパスフィルタで処理後、連続する3歩行周期の各成分波形に自己相関分析を用いて左右脚のACCを求めた。翌日にも同様の測定、解析を行い、両日の各歩行の各成分におけるACCのICC (1, 1) を求めた。なお、分析に用いるACCは3回の平均値とした。また、各歩行の速度についてもICC (1, 1) を求めた。波形解析には多用途生体情報解析プログラムBIMUTAS IIを、ICCの算出にはSPSS ver11.5Jを用いた。

【結果】各歩行における各成分のACCは側方、前後、垂直成分の順に、自由歩行で 0.64±0.02, 0.77±0.02, 0.73±0.03、低速歩行で 0.63±0.06, 0.76±0.03, 0.69±0.05、最速歩行で 0.70±0.06, 0.79±0.06, 0.76±0.06 であった。ACCのICC (1, 1) は側方、前後、垂直成分の順に、自由歩行で 0.88, 0.12, -0.14、低速歩行で 0.62, -0.18, -0.14、最速歩行で 0.57, 0.59, -0.31 であり、側方成分で比較的高い値を示した。歩行速度のICC (1, 1) は自由歩行で 0.93、低速歩行で 0.50、最速歩行で 0.72 であった。

【考察】ICCの値の判断基準として桑原らは0.8以上を良好、0.9以上を優秀としており、今回の健常成人の体幹加速度のACCでは、自由歩行の側方成分にのみ良好な再現性を認めた。今回の結果から、歩行の左右対称性の経日的評価に体幹加速度のACCを用いる場合、自由歩行の側方成分に着目すべきで、前後、垂直成分を指標として用いることは困難であることが示唆された。また、速度に高い再現性を示した自由歩行においても、前後および垂直成分のACCには再現性を認めなかったことから、歩行の左右対称性の決定因子は歩行速度以外にも存在する可能性が考えられた。今後は、歩行速度に加えて他の歩容指標との関係も併せて検討していく必要がある。

キーワード：歩行・体幹加速度・自己相関係数・再現性・級内相関係数

本研究の独創的な点

歩行の左右対称性評価の指標として、体幹加速度の自己相関係数が経日的再現性を有するか検討した点

<12>

筋活動動態からみた運動療法の設定
－1日歩行量を基準とした腓腹筋筋力トレーニング－

西上智彦 野村卓生 芥川知彰 榎 勇人

高知大学医学部附属病院リハビリテーション部

【緒言】歩行や立ち上がり等の抗重力活動の減少は廃用性筋萎縮を誘引し、筋萎縮によって引き起こされる筋力低下は更に日常生活中の抗重力活動の減少を助長し、より重篤な廃用性筋萎縮を生じる悪循環を形成する。廃用性筋萎縮を予防することは極めて重要であり、より選択的かつ効果的な運動療法メニューを選択・処方する必要がある。しかし、下腿三頭筋筋活動について、運動療法メニュー実施時の筋活動量と歩行時の筋活動量との関連を検討した報告はなく、各運動療法メニューの適切な運動回数は明らかでない。そこで、本研究目的は、低活動状態の1日活動量（歩行量）を補填し、廃用性筋萎縮を予防するために適切な腓腹筋に対する各運動療法メニューの運動回数を検討することである。

【対象と方法】対象は健常者10名（男性6名、女性4名）。被検筋は右側腓腹筋内側頭（GM）、腓腹筋外側頭（GL）とした。前処理として、下腿後面皮膚電気抵抗を $5\text{k}\Omega$ 以下にし、表面電極を筋腹中央より停止腱側に貼付した（双極誘導）。サンプリング周波数は1kHzとした。腓腹筋筋活動量の測定は自由歩行（Gait）と以下の5条件下で各2回行った。
①端坐位にて、大腿遠位部に体重の5%の重錘を負荷して右踵部挙上（Sit），②立位にて両踵部を同時に挙上（BH），③右側片脚立位にて、右踵部を挙上（SH），④つま先立ち歩行（TG），⑤最大等尺性足関節底屈運動（MVC）とした。動作速度は、メトロノームの速度に合わせて、Sit, BH, SHは0.5Hzとし、Gait, TGは任意とした。Gait, Sit, BH, SH, TGでは各動作の連続した5周期間ににおける任意の3周期、MVCでは安定した筋放電が確認された3秒間をそれぞれ解析対象とした。得られた筋電波形（EMG）に20-500Hzのバンドパスフィルターをかけた後、全波整流し、積分値（IEMG）を求めた。

【分析方法】まず、GaitのIEMGを①から⑤の各動作におけるIEMGで除し、%IEMGを求めた後に、各動作1回に対応する歩数を求めた。次に、低活動状態（日常生活で歩行等の抗重力活動が減少している状態）を想定し、1日の平均歩数である8000歩（片側4000歩）から入院時の平均歩数であった2000歩（片側1000歩）を引いた6000歩（片側3000歩）の筋活動量（運動療法にて補填すべき筋活動量）と対応する各動作の回数を求めた。

【結果】6000歩に対応する各動作の回数：Sit；GM約1700回、GL約1100回、BH；GM約500回、GL約600回、SH；GM約350回、GL約300回、TG；GM約1000回、GL約1100回、MVC；GM約200回、GL約150回であった。

【考察】今回、1日歩行量を基準として低活動状態の運動量を補填するために必要な各運動療法メニューにおける具体的な運動回数を提示することができた。また、本研究結果から、一般臨床で実施されている運動回数では筋萎縮の抑制効果は極めて少ないことが示唆された。

キーワード：腓腹筋・歩行・廃用性筋萎縮・運動療法

本研究の独創的な点

低活動状態の運動量を補填する腓腹筋各運動療法メニューにおける具体的な運動回数を提示した点

<13>

不動によるラットヒラメ筋の筋内膜コラーゲン線維網の
形態変化に対する伸張運動の影響
－持続的伸張運動と間歇的伸張運動の比較－

吉田大輔¹⁾ 荒木景子²⁾ 沖田 実³⁾ 中野治郎⁴⁾ 坂本淳哉⁵⁾ 片岡英樹⁵⁾

1) 菅整形外科病院 2) 長崎北病院 3) 星城大学リハビリテーション学部
4) 長崎大学医学部保健学科 5) 長崎記念病院

【目的】これまで我々は、不動期間中にラットヒラメ筋に対し間歇的伸張運動を行うと、関節拘縮の一因とされる筋内膜コラーゲン線維網の形態変化を予防できることを報告してきた。一方、日常の臨床で関節拘縮の治療法として行われる伸張運動は持続的伸張運動と間歇的伸張運動に大別されるが、どちらの方法が効果的であるかは意見が分かれ、加えて、伸張運動の方法の違いが筋内膜コラーゲン線維網の形態変化におよぼす影響は明らかではない。本研究の目的は、不動によって惹起される筋内膜コラーゲン線維網の形態変化に対する持続的伸張運動と間歇的伸張運動を比較検討することである。

【方法】8週齢のWistar系雄ラット18匹を対照群5匹と両側足関節を最大底屈位でギブス固定する実験群13匹に振り分け、実験群はさらに1) 不動のみの群（不動群、5匹）、2) 持続的伸張運動群（PS群、5匹）、3) 間歇的伸張運動群（CPM群、3匹）に振り分けた。PS群、CPM群は週5回の頻度でギブスを解除し、PS群に対しては非伸縮性のテープを用いた足関節の背屈位保持による持続的伸張運動を、CPM群に対してはヒト用アンクルストレッチャーを用いた足関節底背屈運動（角速度10°/秒）による間歇的伸張運動を30分間実施した。4週間の実験期間終了後、すべてのラットの右側ヒラメ筋を麻酔下で摘出し、筋を伸張した状態で組織固定を行った。そして、細切りした試料を10%水酸化ナトリウム溶液と蒸留水に浸漬することで筋細胞を溶解し、その後、通法の処置を行い、筋内膜コラーゲン線維網の形態を走査電子顕微鏡で検鏡した。また、筋線維の長軸方向に対するコラーゲン線維走行のなす角度を計測し、そのヒストグラムを求め、コラーゲン線維走行を定量化した。なお、本実験は長崎大学動物実験委員会の承認を得て行った。

【結果】筋内膜コラーゲン線維網の形態をみると、不動群は筋線維の長軸方向に対して横走するコラーゲン線維が多く認められたが、対照群、PS群、CPM群は斜走・縦走するコラーゲン線維が多く、特に対照群とCPM群には縦走するコラーゲン線維が多く認められた。次に、コラーゲン線維走行のヒストグラムを比較すると、不動群は50～130°を頂点とする1峰性の分布状況であったが、対照群、PS群、CPM群は30～50°と130～140°を頂点とする2峰性の分布状況であった。また、CPM群はPS群よりも対照群に近似した分布状況であった。

【考察】不動群における筋内膜コラーゲン線維網の形態変化は、不動によって個々のコラーゲン線維の可動性が減少したことを示しており、筋内膜の伸張性が低下していると推測される。そして、PS群とCPM群の結果は、不動期間中に伸張運動を行うことでコラーゲン線維の可動性減少をある程度予防できることを示唆している。加えて、筋内膜コラーゲン線維網の形態はPS群に比べCPM群の方が対照群に近似していた。つまり、不動によって惹起される筋内膜コラーゲン線維網の形態変化に対しては、持続的伸張運動より間歇的伸張運動の方が予防効果が大きいのではないかと推察される。

キーワード：不動化・筋内膜コラーゲン線維網・伸張運動

本研究の独創的な点

不動化による筋内膜の伸張性低下を予防するためには、持続的伸張運動より間歇的伸張運動の方が効果的であることを示唆した点

<14>

Semmes-Weinstein Monofilamentsによる高齢者の触覚閾値の検討

山崎和博 車谷 洋 大和弘治 村上恒二

広島大学大学院保健学研究科

【目的】 Semmes-Weinstein Monofilaments (以下SWM) は触覚検査に用いられ、簡便かつ定量的な検査器具としてその有用性が報告されている。SWMでの触覚検査は糖尿病性神経障害のスクリーニングに用いられており、測定部位は足底の第1趾、第1中足骨頭部が多く足底全体を調査したものは少ない。また、対象年齢は20~60代が多い。そこで、本研究では高齢者の足底の触覚閾値に関する基礎的情報を得ることを目的とする。

【対象】 対象は中枢および下肢末梢の神経障害がなく、足部に変形のない女性高齢者44名 (80.6 ± 7.4 歳) とした。なお、対象者には本研究の内容を説明し、書面にて同意を得た。

【方法】 測定にはSWMを用いた。SWMの構成はロッド上の表示で1.65~6.65の20本である。測定部位は、両足底の第1~5趾、第1~5中足骨頭部、中足部の内側・中部・外側、踵の14カ所とした。各部位は3回刺激し、3回とも知覚可能な触覚閾値を調べた。刺激は、対象者に閉眼してもらい、SWMを皮膚に垂直に1.5秒で押し当て、1.5秒保持し、1.5秒かけて離す方法とした。SWMにより得られた閾値は、SWM値の中央値と各フィラメントに対応するCalculated force (g) の平均値にて比較を行った。統計学的検定は、左右の平均値の比較をMann-WhitneyのU検定で行った。有意水準は5%とした。

【結果】 左右ともに最も鋭敏な部位は中足部内側で、平均値は右1.92g (中央値4.08 ; 3.22~4.93)、左1.90g (中央値4.17 ; 3.61~4.93) であり、最も低値であった。最も鈍感な部位は踵で、平均値は右19.3g (中央値4.74 ; 4.17~6.1)、左20.46g (中央値4.56 ; 4.17~6.15) であり最も高値であった。足趾では第1趾が右3.35g、左3.72gと最も高値であった。中足骨頭部では第1中足骨頭部が右6.75g、左6.95gと最も高値であった。各部位の平均値に左右差は認められなかった。各部位の中央値は、防御知覚の消失基準とされている5.07以下であった。しかし中足部の3カ所以外の各部位で5.07を上回る対象が数名みられ、第1趾では約9% (4名)、第1中足骨頭部で約7% (3名) であった。

【考察】 過去の報告では、足部の防御知覚の消失規準は、SWM値5.07 (10gに相当) とされている。各部位のSWM値の中央値は、5.07以下であり高齢者の防御知覚は保たれていたといえる。しかし、最も鈍感な部位である踵、また足趾と中足骨頭部で鈍感な傾向にある第1趾で、5.07を上回る対象が確認された。これらの部位は、歩行時などに荷重を受け皮膚は厚く、角化が生じやすい。このため、感覚閾値を上昇させたと思われる。感覚が最も鋭敏な部位は中足部の内側であり、全対象がSWM値5.07より低値であった。この部位は、荷重の影響が少なく角化の影響を受けにくいため、閾値が低かったと考えられる。

キーワード：触覚閾値・Semmes-Weinstein Monofilaments・足底・高齢者

本研究の独創的な点

高齢者の足底感覚の基礎的情報を20本のSWMを用いて得た点

<15>

不動終了後のラットヒラメ筋のコラーゲン線維に対する間歇的伸張運動の影響

井上貴行¹⁾ 原田裕司²⁾ 沖田 実³⁾ 鈴木重行¹⁾

1)名古屋大学大学院医学系研究科 2)名古屋大学医学部保健学科

3)星城大学リハビリテーション学部

【目的】近年、拘縮の病態として骨格筋内のコラーゲン線維の変化が指摘されており、具体的には、筋内膜を構成するコラーゲン線維に配列変化を認めるとした報告やコラーゲン線維の可溶性が変化し、不溶性コラーゲン含有量が増加するとした報告がある。一方、間歇的伸張運動は拘縮の治療に用いられることが多いが、骨格筋内のコラーゲン線維の変化に焦点をあて、その効果を検討した報告は少ない。そこで、本研究では拘縮に対する間歇的伸張運動の効果を検証する目的で、不動終了後のラットヒラメ筋のコラーゲン線維に対する間歇的伸張運動の影響を検討した。

【方法】Wistar系雄性ラットを無処置の対照群と両側足関節を最大底屈位で4週間ギプスで不動化する実験群に振り分け、実験群はさらに、1) 不動のみの群（不動群）、2) 不動期間終了後にギプスを除去し、1・2週間、通常飼育とする群（自然回復群）、3) 同様に通常飼育中にヒラメ筋に間歇的伸張運動を1・2週間、実施する群（運動群）に分けた。運動群の各ラットに対しては、自作した他動運動機器を用いて、麻酔下で4秒に1回のサイクルで足関節底背屈運動を1日30分、週6回実施することで、ヒラメ筋を間歇的に伸張した。次に、不動終了直後、ならびに不動終了後1・2週目に麻酔下で足関節背屈角度を測定し、各群の実験終了後は、両側ヒラメ筋を摘出し、以下の検索材料に供した。すなわち、右側ヒラメ筋は4g重錘にて伸張した状態で組織固定を行い、細胞消化法を施した後に筋内膜コラーゲン線維網を走査電子顕微鏡で検鏡した。また、左側ヒラメ筋は中性塩、酸、ペプシン各々による可溶性コラーゲン、ならびに不溶性コラーゲンを抽出し、コラーゲンに特有の構成アミノ酸であるヒドロキシプロリンを定量することで各々のコラーゲン含有量を測定した。なお、本実験は名古屋大学医学部動物実験倫理委員会の許可を得て行った。

【結果】不動終了直後の3群の実験群の足関節背屈角度は対照群より有意に低値で、実験群間には有意差を認めなかった。次に、対照群の筋内膜コラーゲン線維網の形態をみると筋線維の長軸方向に対して縦走するコラーゲン線維が多く認めたが、不動群は横走するコラーゲン線維が多く、配列変化が認められた。加えて、不溶性コラーゲン含有量は対照群より高値を示した。自然回復群は足関節背屈角度の改善が認められたものの、不溶性コラーゲン含有量は不動群と有意差を認めなかった。これに対し、運動群の足関節背屈角度の改善は自然回復群より著明で、筋内膜コラーゲン線維網の形態も対照群と類似しており、不溶性コラーゲン含有量は不動群や自然回復群より有意に低値であった。

【考察】今回の結果から、間歇的伸張運動は、不動によって惹起される筋内膜コラーゲン線維の可動性減少やコラーゲン線維に形成された強固な分子間架橋の改善に有効で、関節可動域制限の回復促進につながったと推察される。しかし、その作用機序などについては不明な点もあり、今後検討する必要があると思われる。

キーワード：間歇的伸張運動・拘縮・コラーゲン線維

本研究の独創的な点

拘縮に対する間歇的伸張運動の効果を骨格筋内のコラーゲン線維の形態学・生化学的変化から検証した点

<16>

膝蓋腱修復における matrix metalloproteinase-1の発現に関する
免疫組織化学的および分子生物学的観察

泉水朝貴¹⁾ 青木光広²⁾ 宮本重範²⁾ 大谷静治³⁾

- 1) 札幌医科大学大学院保健医療学研究科
2) 札幌医科大学保健医療学部理学療法学科
3) 札幌医科大学分子機能解析部門細胞組織研究室

【目的】近年、リハビリテーション医学の進歩に伴い入院期間の短縮や早期の社会復帰が図られている。特に靭帯や腱損傷における理学療法技術は若年者やスポーツ選手の早期復帰に不可欠な要素である。我々はこれまで損傷モデルを用いて、その修復過程について免疫組織学的に観察してきた。今回は更に修復を阻害すると考えられている細胞外マトリックス分解酵素-1 (MMP-1) を免疫組織学的、分子生物学的に検討し、靭帯及び腱の修復過程におけるMMP-1の働きを確認することを目的とし、効率的かつ段階的な理学療法プログラム作成の一助とする。

【方法】10週齢のウイスター系ラット14匹を用い、膝蓋腱中央部横断裂モデルを作製した。ケージ内で全荷重で飼育した後、術後0, 1, 3, 5日および1, 2, 3, 4週目に膝蓋腱を採取した。組織学的観察方法としてヘマトキシリン-エオジン染色 (HE) を行い、免疫組織学的観察方法として増殖性核内抗原 (PCNA)、平滑筋アクチン (SMA)、血管内皮細胞増殖因子 (VEGF)、MMP-1に対する抗体を用い、分子生物学的観察にはMMP-1のreal time PCR (RT-PCR) により遺伝子発現を経時的に観察した。

【結果】HE染色では1日目で血腫が認められた。3日目では血腫は吸収され、若干の炎症細胞と浮腫状の疎な結合組織像を示した。5日目から、組織間隙に新生血管を伴う幼若な線維芽細胞の増殖を認めた。1週目からは線維芽細胞とともに疎な膠原線維束が認められた。2週では丸型の線維芽細胞と、配向性のない膠原線維束を認めた。3週では扁平化し長軸上に配列した線維芽細胞も出現した。PCNA陽性細胞数は1日目で最大値に達し、徐々に減少した。SMAは1日目にほとんど認めず、3日目から徐々に増加し1週目で最大となった。VEGFは5日目から陽性細胞が出現し、1週目にピークとなり、徐々に減少を示した。MMP-1は1日目から陽性細胞を認め、5日目で最大となり、徐々に減少を示した。MMP-1の RT-PCRでは1日目の断裂腱で蛍光強度が21サイクルから検出され、最終で15.0を示していた。2週間後では24サイクルから検出され、最終値が9.5を示し、3週間目では同様に9.5を示した。4週間目では強度は2.5まで減少した。

【考察】MMP-1はコラーゲンタイプIを標的とした細胞外マトリックス分解酵素である。組織傷害が生じた際にはさまざまな組織や蛋白分解を引き起こすため、一般的な修復とは相反する因子と考えていた。その修復に対する阻害要因を抑制することで組織の修復期間の早期化を促すことが可能になると想っていた。しかし、MMP-1は免疫染色やPCRの両者とも術後1日目からその発現が認められ、5日目で発現のピークを迎えていた。その後の減少傾向はゆるやかであり、継続的で発現をくり返していると考えられる。術後、早い時期からのMMP-1遺伝子の発現は炎症細胞浸潤によりもたらされ、5日頃からの発現は線維芽細胞の増加に関連すると考えられる。早期より出現が見られ、経時的に減少していることから組織修復過程の早期において代謝障害だけでなく腱修復過程に重要な役割を果たすと考えられる。

キーワード : matrix metalloproteinase-1・膝蓋腱・修復

本研究の独創的な点

腱修復過程における細胞外基質分解酵素であるMMP-1の発現動態を観察し、その働きを同定する点

<17>

関節固定による筋障害のメカニズムについて —サイトカインとタンパク質分解酵素に着目して—

坂井孝行¹⁾ 折口智樹¹⁾ 中野治郎¹⁾ 西郷峻資¹⁾ 片岡英樹²⁾ 坂本淳哉²⁾

1) 長崎大学医学部保健学科 2) 長崎記念病院

【はじめに】先行研究によれば、関節固定によって生じる廃用性筋萎縮などの筋障害には筋活動の減少だけでなく、筋線維基底膜のコラーゲン線維タイプIVを分解するゼラチナーゼというタンパク質分解酵素（以下MMP-2）の影響による栄養障害なども関与するとされている。このMMP-2について、Origuchiらはリウマチ患者の骨芽細胞を用いたin vitro研究でサイトカインであるIL-1 β 、TNF- α がMMP-2の分泌を誘発することを明らかにした。これらのことから推すると、関節固定によって起こる筋障害のメカニズムにはサイトカインとMMP-2の両者が関与していると思われるが、この点について検討した報告はない。そこで、本研究では、関節固定によるラットヒラメ筋の筋障害メカニズムについてタンパク質分解酵素とサイトカインの関係から検討した。

【方法】8週齢Wistar系雄ラット9匹を3匹ずつ対照群（以下Con群）、関節固定2週群（以下I2W群）、関節固定4週群（以下I4W群）に振り分けた。関節固定群は後肢を膝関節最大伸展位、足関節最大底屈位でギプス固定した。実験期間終了後、両側ヒラメ筋を摘出し、左側を組織化学的検索に、右側を生化学的検索に供した。組織化学的検索としては、ATPase染色を行い筋線維直径を測定し、また、HE染色、Van Gieson染色から線維芽細胞、マクロファージ、結合組織を検鏡した。生化学的検索としては、筋試料から抽出液を作成し、MMP-2検出のためにゼラチンザイモグラフィーを行い、加えてELISA法にてIL-1 β 及びTNF- α の含有量を測定した。

【結果】各群のヒラメ筋筋線維直径を比較すると、対照群と比較してI2W群、I4W群とも有意に低値を示し、廃用性筋萎縮は明かであった。HE染色において、対照群と比較してI2W群の筋線維間に線維芽細胞やマクロファージと思われる多くの単核細胞が認められ、Van Gieson染色において、対照群に比べI2W群で結合組織の増加が認められた。これらの所見から、関節固定により筋組織内の線維芽細胞やマクロファージが増加したことが伺われた。ゼラチンザイモグラフィーの結果、I2W群、I4W群ではMMP-2の発現、増加が確認できた。また、Con群とI2W群、I4W群を比較すると、TNF- α 含有量には変化は認められなかつたが、IL-1 β 含有量は増加傾向を示した。

【考察】今回の結果、関節固定による骨格筋の不動化により筋萎縮が惹起され、線維芽細胞やマクロファージの増加とMMP-2の発現が確認された。また、IL-1 β の含有量はMMP-2の発現状況と一致して増加していた。したがって、ラットの足関節固定により惹起された筋障害においてIL-1 β の増加がMMP-2の発現に関与している可能性が示唆された。今後は、さらに筋障害メカニズムを追求するとともに、運動介入による影響についても検討を加えていきたい。

キーワード：関節固定・筋障害・サイトカイン

本研究の独創的な点

関節固定による筋障害のメカニズムについてタンパク質分解酵素とサイトカインの関係から検討した点

<18>

片麻痺上肢到達運動に関する表面筋電図平均増幅値の変動度による解析

澤田辰徳¹⁾ 金子文成²⁾ 村上恒二³⁾

- 1) 聖隸クリストファー大学リハビリテーション学部
- 2) 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門
- 3) 広島大学大学院保健学研究科

【目的】本研究の目的は、①反復動作における筋活動の変動度特性から片麻痺患者麻痺側（片麻痺群）の上肢到達運動に関する特徴を明らかにすること、②その変動特性と運動機能との関係を明らかにすることであった。

【方法】対象は発症後1年以内の脳血管障害による左片麻痺患者12名（片麻痺群）とした。また、同年代の健康な成人10名を対照群とした。運動課題は、背もたれ付椅子に座位姿勢をとらせ、机上で開始位置と到達地点を往復するリーチ動作を断続的に10回行う左上肢の到達運動とした。開始地点は肩関節外転30°、伸展10°、肘関節屈曲90°、到達地点は開始地点から矢状水平軸上に上肢を伸展し、肘関節屈曲30°になる点とした。筋電図は能動型電極で上腕二頭筋、上腕三頭筋、大胸筋、三角筋前部・中部・後部線維の計6筋から記録し、サンプリング周波数は1000Hzとした。麻痺側上肢運動機能はFugl - Meyer Assessment of Sensorimotor Recovery After Stroke (FMA) の上肢項目で評価した。筋電図は整流平滑化(ARV)し、各被験者の10試技中の最大値で規格化した。また、1試技ごとにスプライン補間を行い、全被験者の全時間軸を規格化するために到達運動時間のデータを1000ポイントとして再構築した。ARV、時間軸共に規格化した後、各ポイントにおける10試技間のARVについての変動度を示す変数として標準偏差(ARV_SD)を算出した。さらに、ポイントごとのARV_SDから到達運動中の平均値である標準偏差平均値(ARV_SDave)を求めた。ARV_SDaveは各筋について対照群と片麻痺群間で対応のあるt検定を行った。片麻痺群は各筋においてSDmeanとFMAのスコア間ではスピアマンの順位符号検定により、相関係数(r)を算出した。

【結果】ARV_SDaveは、片麻痺群と対照群との間で全ての筋に共通して有意差がなかった。片麻痺群におけるARV_SDaveとFMAスコアとの関係について、 $r=-0.6$ 以上の強い負の相関が認められたのは、三角筋前部線維($r=-0.729$)、三角筋中部線維($r=-0.648$)、三角筋後部線維($r=-0.858$)、上腕二頭筋($r=-0.802$)であった。

【考察】片麻痺群内では、4筋についてARV_SDaveとFMAスコアとの間に強い負の相関を認めた。この結果は上肢運動機能の障害が重度になるに従い、反復する運動間で筋活動の変動度が増大することを示す。このことから、本研究では片麻痺の上肢運動機能低下に平行して筋活動の変動の増大が起こっていることを明らかにした。ARV_SDaveは群間で比較した場合に、片麻痺の特性を明らかに示すものではなかった。しかしFMAスコアとの関係から、個人差を示す変数として使用できる可能性があると考えた。

キーワード：片麻痺・上肢到達運動・筋電図

本研究の独創的な点

片麻痺患者のリーチ動作を筋電図により把握し、関連筋群の各導態特性をばらつきという観点から検討した点