

## 運動は脳機能を改善させるための刺激であるか？

### — 動物実験による運動刺激効果の検証 —

名古屋大学医学部保健学科理学療法学専攻

石田 和人・加藤 尚子・溝口 正栄

脳卒中患者のリハビリテーションを実践する上で、運動療法が効果的であることは広く認識されている。しかし、運動という刺激が「脳」に対してどのような影響をもたらすのかといった組織および細胞レベルでの解析については、研究途上の段階であるといえる。本シンポジウムでは、我々の動物実験データを供覧し、若干の考察を加え報告したい。

#### 1) 脳出血モデルラット (ICH モデル) を用いた運動療法の効果に関する研究

Wistar 系雄性ラット (8 週令) を用いて、左線条体にコラゲナーゼ (Type IV) を微量注入する方法で ICH モデルを作成した。脳出血 4~14 日後まで毎日 30 分間のトレッドミル運動 (9 m/min) を行い、その効果を調べた。自発回転テスト、角材歩行テスト、前肢把握テスト、後肢引き戻しテストの 4 つで構成される Motor Deficit Score (MDS) を用いて、脳出血後の運動機能を経時的に評価した。脳出血 4 または 8 週後、麻酔下で灌流固定し、脳を摘出した。凍結法で脳切片を作成し、ニッスル染色に供して観察した。MDS テスト総合点では、出血 24 時間で重度障害を示し、1 週後まで著明に回復し、その後 4 週まで緩やかな回復を示した。トレッドミル運動を行うと、一層の回復傾向を示し、特に 2~3 週後で有意な改善効果を認めた。組織学的には、脳出血後、脳室の拡大、脳実質の空洞化などを認めたが、特に大脳皮質の厚さに着目すると、運動前野／補足運動野および一次運動野／体性感覚運動野が反対側（健常側）の 7 割程度に萎縮を認めた。しかしトレッドミル運動を行うと、運動前野／補足運動野の萎縮程度を抑制する傾向がみられた。

#### 2) 運動ストレスによる dark neuron 出現に関する研究

Dark neuron (DN) はニューロン障害の初期像であり、細胞骨格の障害を反映していると考えられている。その原因には種々のものが想定されるが、過度な運動負荷ストレスによっても出現する。ラットに 3 時間の水泳 (水深: 45 cm, 水温: 35°C) を行わせ、直後、麻酔下で還流固定し、海馬を含む前額面の切片を作成し、DN 染色に供した。また、DN が検出された切片をエポキシ樹脂で再包埋し超薄切片を作成して電顕で観察した。水泳直後、50% の個体において DN は海馬 (錐体細胞層の CA1~CA2) に出現したが、高圧直流電気刺激やイボテン酸注入時の典型的な DN に比べてその色は薄かった (茶褐色)。また、DN 電顕像では、細胞小器官の空胞化が目立ち、ミトコンドリアへの強い銀粒子の付着が認められた。以上より、水泳負荷ストレスにより出現する DN はミトコンドリア障害を含めたニューロンの変性状態の初期像を反映することが示された。

上記の 2 つ結果は諸条件が異なるものの、運動の効果性と有害性の二面性を示している。こうしたデータの蓄積が、将来、運動が脳に与える影響およびその機序を解明しより効果的な運動療法を探索するためのステップになればと考える。

キーワード：脳出血モデルラット・トレッドミル運動・dark neuron

## 運動誘発電位を用いた運動制御動態の検討

神奈川県立保健福祉大学

菅原 憲一

運動制御と運動学習に関する基礎研究は、様々な分野における知見が集積されているとともに、学際的な研究課題として遂行されている。しかし、各分野における研究手法は専門性が強く、対象も実験動物を用いるものからヒトを対象とするものまで幅ひろく、研究から得られる知見を統合し理解するとともに一般化して、臨床場面に還元することは現段階では容易ではない。しかし、急速に発展しているこれらの研究成果を臨床と結びつけて考えていくことは『運動』を操作し、『運動』を改善させていく理学療法にとって不可欠なものであると考える。

我々は、電気生理学的な見地からヒトを対象とした運動制御に関する検討を行っている。特に、ある運動によって生じる皮質運動野の興奮性動態を経頭蓋磁気刺激（以下、TMS）を用いた運動誘発電位（MEP）を指標とした分析を中心に行っている。経頭蓋磁気刺激は非侵襲的な手法であり、コイル内に電流を流すことによって生じる誘導電流により皮質を経皮的に興奮させるものである。また、この方法を使って得られる MEP は、刺激により一次運動野の介在ニューロン群が興奮閾値に達し、錐体路細胞を間接的に興奮させる。そして、閾値に達した錐体路細胞から皮質脊髄路の線維を下降し、 $\alpha$ 運動ニューロンに対して興奮性シナプス後電位を生じる。その結果、 $\alpha$ 運動ニューロンの興奮が閾値に達し筋電図が表出され筋収縮が生じる。すなわち、TMS を用いた MEP は錐体路細胞の周辺に存在する介在ニューロン群を興奮させることによって生じるもので、皮質運動野の広い範囲の興奮性を見るのに適しているといえる。さらに、刺激方法を 2 重（paired-pulse）刺激とすることで運動に伴う興奮性・抑制性動態の検索も可能となるほか、刺激方向を変えることで異なる介在ニューロン群の関与をみる可能性が指摘されている。

近年、TMS による知見から上位中枢からの activation drive が運動制御および運動学習に及ぼす影響は極めて大きいということが示唆されている。さらに、様々な運動を表出する大脳の最終出力部位（皮質運動野）に生じる興奮性および抑制性動態は、上位中枢における運動制御の収束部位に生じる結果的変化を捉えるものである。その上で理学療法上行われる外部からの徒手的またはその他の物理的操作による運動の修飾、変化に対する上位中枢の制御動態すなわち効果を検討する一つの手段になりうる可能性があると考える。

今回は運動制御を中心として、TMS の特性と、この方法を用いた実験手法を紹介する。また、実際の例として随意的な努力（activation drive）によって起こる上位中枢内で生じる他筋への制御動態を Jendrassik 手技といわれる反射増強法をモデルとして TMS による MEP を指標としたいくつかの知見を報告する。

キーワード：運動制御・経頭蓋磁気刺激・運動誘発電位

## 運動学習を可能にする脳機能

京都大学大学院人間・環境学研究科  
内藤 栄一

我々が新しい運動を獲得しようとする場合、他者の運動を見てそれを真似ることからはじめることが大変多い。この場合、観察者は受動的に他者の運動を観察しているのではなくて、それを真似てあとで自分が運動しようという意図をもって他者の運動を観察している。観察している他者の運動は当然観察者の視覚野を中心に処理される。したがって、観察しただけでは他者の運動経験を自分がたかも実行しているかのような経験をすることは難しいのである。しかし、もし脳が自分の運動に先立って運動観察中に、自分の運動を準備できたら大変効率的である。最近のヒト脳機能研究では、このような効率的な機能を脳が持っていることを明らかにしている。

あとで自分が運動する意図をもって他者の運動を観察すると、脳の運動前野が賦活する。しかもどの四肢の運動を観察するかによって対応する部位が賦活する。この領域は一次運動野との結合も強く運動準備に関与する。つまり運動を実行しなくとも観察しているだけで、脳は運動を準備していることを意味する。また最新の我々の研究から運動観察中には運動前野のみならず、体性感覚連合野も賦活することが示された。このことは脳が運動に先立って視覚情報からその運動で期待される運動感覚を準備しているとも解釈が可能である。最も重要なことはこれらの領域は自分が運動する意図をもって運動を観察しないかぎり賦活しないことである。つまりこの脳機能は観察者が観察後に運動する意図を持った場合にのみ機能する実用的機能といえる。

さて、運動を観察することは運動を獲得する場合大変重要なことであるが、ただ運動を観察しているだけでは運動は向上しない。実際に運動を行いそのフィードバック情報を脳が獲得し、利用してこそ運動が向上するのである。この場合も、脳は効率的な情報処理機構を持っている。運動の際さまざまフィードバック情報が脳に入力されるがその中でも実行される運動そのものに直接関係しているという意味で運動感覚のフィードバック情報が重要と考えられる。筋肉には筋紡錘というセンサーがあり、筋肉の伸張状態を求心性線維Iaを介して脳に伝達している。さまざまな体性感覚の中でもこの運動感覚情報は運動実行において重要な役割を果たす運動領域（運動野、運動前野、補足運動野、小脳）の体部位再現ネットワーク内で主に処理されている。これは運動制御における感覚と運動の統合という観点から見ると極めて効率的な神経回路といえる。

脳が運動を学習する際必ずしもその運動で使用された四肢に特異的な形で学習が進行するわけではない。右手で学習した運動が左手の同じような運動学習を促進することはよくあることである。例えば、自分の名前のサインなどは右手でも左手でも足でもある一定の法則を持って書くことができる。足でサインの練習など通常は全く行わないから、これは例えば右手で獲得されたサインを書くという動作の中で、四肢の相違によらず一般化できる運動プログラムが脳内のどこかに獲得されることを意味している。このような領域は補足運動野、運動前野、小脳などの運動関連領域にあり、これも脳が運動を獲得する際の有益な機能であると考えられる。

最後に、脳はある程度獲得された運動をその運動を実際には行わず、脳内でシミュレーションすることによってその運動を向上させることができる。全く新規で新しい運動は脳がその運動をどう実行してよいかわからぬいため、このような方略はあまり有効ではない。運動をシミュレーションすると、その運動で使用される四肢に対応した運動領域（運動野、運動前野、補足運動野、小脳）の体部位再現ネットワークが賦活することがわかっている。つまり、運動のシミュレーションはその実行に関与する運動領域を賦活させることによってその脳内ネットワークをトレーニングしているのである。最近我々は、運動をイメージすると運動を行った場合に期待される運動感覚も同時に運動領域内でシミュレートされることを明らかにした。

以上のように、脳内には運動を学習するための効率的かつ有益な機能が備わっている。このような機能が脳にある限り我々は運動を学習し続けるのである。

キーワード：運動観察・運動感覚情報処理・運動のメンタルシミュレーション・運動野  
ニューロイメージング

## 脳出血モデルラットにおけるトレッドミル訓練の運動機能改善効果

### － 負荷速度の違いによる検討 －

溝口 正栄・加藤 尚子・石田 和人  
名古屋大学医学部保健学科理学療法学専攻

#### 【目的】

脳血管障害後行われる運動療法の臨床的有効性は広く認められている。今回我々は、中大脳動脈領域の障害を伴う脳内出血に類似したモデルであるコラゲナーゼ注入線条体脳出血モデルラットにトレッドミル訓練を行い、運動負荷量（速度）を増加させることにより運動機能の改善および脳の組織学的变化が認められるか否かについて検討した。

#### 【方法】

Wistar系雄ラット（8週齢、250～260 g）を用いた。麻酔下で頭皮を正中切開し、頭蓋骨に小穴を開け、左線条体中央部に先端が届くようにカニューレ（径：400 μm）を挿入し、マイクロシリンジポンプでコラゲナーゼ（type IV, 200 units/ml）を微量注入した（脳出血群）。一方、生理食塩水を同量注入したものをsham群とした。術後4～14日まで毎日トレッドミル訓練（30分間）を行い、4～14日まで9 m/minで運動させる群を9運動群、また4～7日までは9 m/min, 8～14日まで13 m/minで運動させる群を9-13運動群とした。なお、運動負荷を与えない群をcontrol群とした。運動機能の推移（術後4週まで）をMotor Deficit Score (MDS: 自発回転、後肢反射、前肢把握、棒上歩行の4項目、各々0点（正常）～3点（重度の麻痺）で評価)およびメタンフェタミンを腹腔内投与した後生ずる回転運動の数で評価した。4週後麻酔下で灌流固定し、前額断面の凍結切片（厚さ40 μm）を作成の上、ニッスル染色した。なお統計処理には二元配置および一元配置分散分析を用い、多重比較にScheffe法を用いた。

#### 【結果・考察】

MDS（合計）は、sham群に比べ、脳出血群が有意に高く、脳出血による運動障害が示された。脳出血後2週までは大きな改善を示し、2週以降はほぼプラトーであった。9運動群、9-13運動およびcontrol群の間に有意差はなかったが、運動開始4日目以降、9運動群はcontrol群より改善が顕著で、9-13運動群は9運動群よりさらに回復傾向を示した。また、メタンフェタミン回転誘発テストでも、9運動群はcontrol群より回転数が少なく、9-13運動群は9運動群よりさらに改善しており、負荷速度を上げると運動機能の改善傾向が増した。しかし、各群間の有意差はなかった。組織学的には、9運動群、9-13運動群、control群の間で、残存する脳面積に差はみられなかった。しかし、大脳皮質運動野の厚さに着目すると、sham群では、反対側の皮質の厚さに対しほぼ100%であったのに比べ、脳出血群は健側の70～90%に萎縮していた。しかし、9運動群はcontrol群より萎縮の度合いが少なく、9-13運動群は9運動群よりさらに少なかった。運動負荷量を増すと改善効果が高まる事を示したが、これには神経栄養因子の発現が増大するなどの機序が想定される。しかし詳細については今後の課題であると考えられる。以上より、本モデルでは経過と共に大脳皮質運動野の萎縮が起り、トレッドミル訓練が、その萎縮抑制と運動機能の回復を導き、その効果は運動強度依存的である可能性が示唆された。

キーワード：脳出血モデルラット・トレッドミル訓練・大脳皮質・負荷速度

本研究の独創的な点：脳出血モデルラットにトレッドミル訓練を行いその効果が運動負荷量依存性であることを示した。

## 運動観察及び運動イメージに関連した脳波 $\mu$ リズムの変動

松尾 篤・森岡 周  
畿央大学健康科学部理学療法学科

### 【目的】

近年、運動イメージを用いた治療が報告されている。例えば、Yue ら (1992) は身体練習を伴わずに、運動イメージのみで筋力の増強を証明した。また、目的運動の治療に先立って、他者の運動を観察する行為も治療に用いられる。例えば、見本運動を理学療法士が行い、患者がそれを観察後に模倣する過程がそれに相当する。このように運動イメージや運動観察は運動機能回復に有効な手段と考えられる。近年の脳波研究では、運動観察中に周波数帯域 8-13 Hz の脳波  $\mu$ リズムの変化を報告している。しかし、理学療法学領域において、運動観察や運動イメージの電気生理学的検討は十分に行なわれていない。そこで本研究では、運動観察、運動イメージ中の脳活動に及ぼす影響を脳波  $\mu$ リズムにより捉えることを目的とした。

### 【方法】

右利きの健常大学生 10 名（男性 8 名、女性 2 名、平均年齢  $20.1 \pm 0.6$  歳）を対象とした。脳波測定は日本光電社製 MultiTelemeter を使用し、データ記録用プログラムには VitalRecorder (キッセイコムテック社) を用いた。サンプル周波数は 256 Hz とし、0.1-30 Hz のフィルターをかけた。電極位置は、FP1, FP2, F3, F4, C3, C4, P3, P4 の 8 部位とした。基準電極を耳朶に置き基準導出法で記録した。設定課題は、箸を使用して発泡スチロール小球（以下、小球）を一方の皿から他方の皿へ移動することとした。測定条件は観察、イメージ、実行の 3 条件とし、また安静時の脳波活動を基準条件とした。安静条件では、被験者は椅子座位の姿勢で開眼し、前方の注視点を見つめた。観察条件では、被験者は他者（研究協力者）が実施している箸による小球の移動を観察した。イメージ条件では、被験者は箸を持たせずに小球の移動を自身で実施しているイメージのみを想起した。実行条件では、実際に箸を使用して小球の移動を実施した。各条件での試行時間は 1 分間とし、その期間データを記録した。ATAMAP II (キッセイコムテック社) で周波数解析を実施し、各条件での平均値を算出した。分析周波数帯は 8-13 Hz とし、それを各条件間で比較した。脳波導出の 8 部位のうち、感覚運動皮質野直上の C3 および C4 を比較部位とした。統計分析には、2 元配置分散分析を使用した。

### 【結果】

安静時との比較では、観察、イメージ、実行条件のそれぞれで有意な  $\mu$ リズム減衰を認めた ( $p < 0.0001$ )。観察とイメージ、観察と実行、イメージと実行条件間では有意差を認めなかった。右手の運動を使用したが、左右半球 (C3 および C4) 間での有意差を認めなかった。

### 【考察】

課題の観察、イメージの両条件でも脳波の減衰を認めた。この脳波の減衰について Muthukumaraswamy ら (2004) は、 $\mu$ リズム減衰であると報告している。 $\mu$ リズム減衰は、感覚運動野の活性化で生じると考えられている。また、観察条件でも減衰が認められたことから、これはミラーニューロンシステムの活動が反映されていることも推察される。今回の研究から、目標指向運動の観察やイメージのみでも、運動関連皮質の活性化が起こることが示唆された。

キーワード：運動イメージ・運動観察・脳波・ミラーニューロンシステム

本研究の独創的な点：運動模倣前の運動観察および運動イメージの脳波変動を捉えたこと。

## パルス磁気刺激が末梢神経損傷部における神経成長因子の発現に及ぼす影響

藤本 太郎<sup>1)</sup>・松原 貴子<sup>2)</sup>・松本 路子<sup>1)</sup>

田崎 洋光<sup>3)</sup>・三木 明徳<sup>2)</sup>

1) 神戸大学大学院医学系研究科

2) 神戸大学医学部保健学科

3) 鈴鹿医療科学大学保健衛生学部理学療法学科

### 【目的】

末梢神経損傷時に神経の周辺組織から放出される様々な神経栄養因子や接着因子によって神経再生が促進・制御されることが示唆されており、神経損傷部付近の環境が末梢神経の再生に重要であると考えられる。一方、パルス磁気刺激が神経再生を促進するという報告が見られるが、再生神経周囲の環境に及ぼす影響については不明である。今回、神経栄養因子の1つである神経成長因子 (Nerve Growth Factor; NGF) の発現を免疫組織化学的に観察し、パルス磁気刺激が神経損傷部付近の環境に及ぼす影響を調べた。

### 【材料と方法】

ddY系雄マウス12匹 (11週齢、体重37-40g) を用いた。右大腿中央部の皮膚に切開を加えて坐骨神経を露出し、コッヘルを用いて大腿中央の高さで坐骨神経に挫滅損傷を与え、ただちに皮膚を縫合した。また、左坐骨神経は露出したのみで皮膚を縫合した。パルス磁気刺激には、磁気刺激装置 (Magstim200、ミュキ技研、最大頂点磁場強度2.0T) を用い、損傷直後 (直後刺激群) または1日後 (1日後刺激群) に、最大出力の10%の強さで損傷部直上の皮膚に刺激した。神経損傷のみを与えたマウス (非刺激群) は損傷1日後と2日後に、直後刺激群と1日後刺激群は損傷2日後に、2%パラフォルムアルデヒド溶液で灌流固定し、神経損傷部を取り出した。厚さ約5μmの縦断凍結切片を作成し、NGFを免疫組織化学的に染色し、光学顕微鏡と電子顕微鏡で観察を行った。全ての実験は神戸大学における動物実験に関する指針に従って実施した。

### 【結果】

正常な坐骨神経では、神経外膜に弱いNGF陽性反応が見られ、神経内部にも弱いすじ状の反応が認められた。挫滅損傷1日後には、損傷部付近における神経外膜の陽性反応が増強し、神経内部でもすじ状の反応に加え、紡錘形や卵円形の反応が見られるようになり、免疫反応が増強していた。挫滅損傷2日後では、神経内部が均等に染色されるようになり、その中に紡錘形や卵円形のNGF陽性細胞が増加していた。電子顕微鏡下での観察では、正常神経線維には陽性反応が認められなかったが、損傷を受けた神経線維では、シュワン細胞の細胞質や基底膜に明瞭な陽性反応が認められるようになり、損傷部付近の線維芽細胞にも免疫反応が出現していた。また、再生中の親軸索やランビエの絞輪から出芽した娘軸索の軸索膜、軸索内の小胞にも免疫反応が観察された。磁気刺激を与えると、神経外膜や神経内部のNGF陽性反応が非刺激群より増強した。また損傷直後より損傷1日後に与えた刺激の方が強かった。

### 【考察】

NGFは損傷部付近においてシュワン細胞の基底膜に沿って観察され、再生神経に重要な役割を果たしている事が示唆された。また、パルス磁気刺激が、損傷部周辺の環境に影響を及ぼし、NGFの合成を高め軸索の伸張や成熟を促進する可能性が示唆された。

キーワード：神経成長因子・パルス磁気刺激・神経再生・坐骨神経

本研究の独創的な点：神経損傷部のNGFの発現部位を形態学的に観察したこと。*in vivo*で、パルス磁気刺激がNGFの合成に及ぼす影響を調査したこと。

## カエル前脚筋と後脚筋の収縮特性の比較

石井 穎基<sup>1)</sup>・伊藤 秀明<sup>2)</sup>・和足 孝之<sup>1)</sup>・土屋 穎三<sup>2)</sup>

1) 神戸大学大学院自然科学研究科

2) 神戸大学理学部生物学科

### 【目的】

カエルは、繁殖期になると雄が雌を抱え込み産卵を促す“抱接”といわれる繁殖行動を行う。この行動は数時間から数週間続くため、雄の前脚筋は抱接中疲労をしないで常に収縮し続けていると考えられる。そこで我々は、この雄前脚筋の収縮特性を明らかにするために、その動力学的特性を測定し雄後脚筋と比較してその違い検討した。

### 【材料と方法】

繁殖期(2-3月)に購入した日本アカガエル(*Rana japonica*)の雄より、前脚筋 *flexor carpi radialis muscle* (FCR) および後脚筋 *glutaeus magnus muscle* (GM) の筋標本を作成して実験に用いた。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 situ* で測定した自然長に合わせて、実験用のバスに水平に固定した。十分な強度の電気刺激(25 Hz, 3 s)を標本に与えて、等尺性収縮張力および筋 stiffness (アクチノミオシン相互作用の程度を相対的に示す指標)を経時的に測定した。筋 stiffness 測定に際しては、等尺性収縮張力測定中にサーボモーターで正弦波(500Hz, peak-to-peak の大きさは自然長の0.1%)を標本に与え、その時の振動による張力成分を記録した。実験は全て4°Cで行った。

### 【結果と考察】

FCRにおける等尺性収縮張力曲線の収縮過程の立ち上がり速度は GM よりも遅かった。さらに FCR の弛緩時間(刺激終了から刺激前の張力に戻るまでの時間)は  $1901 \pm 632$  s であり、GM の弛緩時間が  $1.7 \pm 0.4$  s であるのに対して極端に長く、FCR の張力が長時間にわたり持続する現象を見出した。この長時間持続する弛緩過程の張力変化を詳しく調べると、張力変化点が 2ヶ所(弛緩張力第1変化点および第2変化点)あり、その弛緩過程は3相構造(弛緩過程第1相から第3相)を成すことが判明した。このことは FCR に異なった弛緩特性を持つ筋線維が3タイプあり、後脚筋とは異なる組成であることを示唆している。

FCR の筋 stiffness を測定した結果、筋 stiffness の経時的变化も3相構造を成していた。収縮過程の筋 stiffness は、最大発生張力の 50 % すでに最大筋 stiffness の約 80 % であった。また、弛緩過程の弛緩張力第1変化点にあたる張力の大きさは最大発生張力の約 30 % であり、筋 stiffness は最大筋 stiffness の約 70 % であった。そして第2変化点にあたる張力の大きさは約 10 % であり、筋 stiffness は約 50 % であった。一方、GM における張力と筋 stiffness の関係はほぼ正比例していた。この事実は、FCR においては発生張力が低いにもかかわらず多くのアクチノミオシン相互作用が存在していることを示唆している。

キーワード：カエル骨格筋・機械的収縮特性・弛緩特性・アクチノミオシン相互作用

本研究の独創的な点：雄ガエルの前脚筋の弛緩過程が、後脚筋と比較して極端に長いことを示した点。

## ラット骨格筋に伸張刺激を加えると Akt/mTOR/p70S6K 経路が活性化される

縣 信秀<sup>1)</sup>・笹井 宣昌<sup>1)</sup>・宮津真寿美<sup>1)</sup>  
河上 敬介<sup>1)</sup>・早川 公英<sup>2)</sup>・小林 邦彦<sup>1)</sup>

1) 名古屋大学大学院医学系研究科リハビリテーション療法学  
2) 科学技術振興機構・ICORP・細胞力覚プロジェクト

### 【目的】

除神経により不活動となった筋は萎縮する。我々はこの不活動筋に伸張刺激を加えると、萎縮が抑制されることを報告した。しかし、その分子メカニズムは明らかではない。一方、除神経による筋萎縮は Akt の恒常的活性化によって抑制される。また、生体から取り出した骨格筋に伸張刺激を加えると、Akt シグナルの下流に位置する mammalian target of rapamycin (mTOR) および p70S6K が活性化される。これらのことより、伸張刺激による筋萎縮抑制に Akt/ mTOR/ p70S6K 経路の活性化が関与しているのではないかと考えた。そこで、除神経を施したラット骨格筋に伸張刺激を加え、この経路が活性化するかを調べた。

### 【方法】

対象は 8 週齢の Wistar 系雄性ラットを用いた。ペントバルビタールナトリウム麻酔下 (40 mg/kg) で、すべてのラットの左坐骨神経に対して除神経術を施した。術後 7 日目に麻酔下で、ラット足関節を中間位に 5 秒間保持、背屈位に 5 秒間保持を徒手にて繰り返し行う底背屈運動を 15 分間行い、ヒラメ筋に伸張刺激を加えた (ST 群, Akt 測定: n=5, p70S6K 測定: n=4)。刺激を加えないラットの左ヒラメ筋を CON 群とし、ST 群と同様に麻酔を行った。刺激終了から直後、5 分、15 分、30 分、60 分経過後にヒラメ筋を採取し、ウェスタン・プロット法を用いて、Akt, p70S6K の活性化 (リン酸化 Akt/全 Akt, リン酸化 p70S6K/全 p70S6K) を測定した。また、伸張刺激による p70S6K の活性化に mTOR が関与しているかを調べるために、両側の坐骨神経の除神経術後 7 日目のラットに、mTOR の阻害剤である rapamycin (0.75 mg/kg) を尾静脈から注入した。その 2 時間後に、左ヒラメ筋に伸張刺激を 15 分間加え、刺激終了から 60 分経過後に筋を採取した (ST+RAP 群, n=3)。また、rapamycin と同量の生理食塩水を投与し、伸張刺激を加えたヒラメ筋を ST+saline 群 (n=3) とし、その対側を CON+saline 群 (n=3) とした。採取したヒラメ筋を上記と同様に p70S6K の活性化を測定した。

### 【結果】

伸張刺激を負荷した除神経筋では、刺激直後から Akt の活性が亢進し、刺激 15 分後で CON 群の  $2.8 \pm 1.0$  倍となり最大値を示した。p70S6K も刺激直後から活性化し、刺激 60 分後で CON 群の  $5.4 \pm 6.1$  倍となり最大値を示した。また、生理食塩水を投与し、伸張刺激を加えた ST+saline 群の p70S6K の活性化は CON+saline 群の  $1.8 \pm 1.8$  倍であった。しかし、rapamycin を投与し、伸張刺激を加えた ST+RAP 群は CON+saline 群の  $1.2 \pm 0.5$  倍となり、p70S6K の活性化は rapamycin によって抑制されることが示された。

### 【考察】

伸張刺激によるラットの除神経筋萎縮の抑制には、伸張刺激による Akt/mTOR/p70S6K 経路の活性化が関与していると考える。

キーワード：ラット・伸張刺激・除神経・筋萎縮・Akt

本研究の独創的な点：ラット除神経筋に伸張刺激を加えると Akt/mTOR/p70S6K 経路が活性化されることを明らかにした。

## 伸張刺激により PI3K/Akt/mTOR 経路を介して引き起される培養骨格筋細胞の肥大

笹井 宣昌<sup>1)</sup>・縣 信秀<sup>1)</sup>・宮津真寿美<sup>1)</sup>

河上 敬介<sup>1)</sup>・早川 公英<sup>2)</sup>・小林 邦彦<sup>1)</sup>

1) 名古屋大学大学院医学系研究科リハビリテーション療法学専攻

2) 科学技術振興機構・ICORP・細胞力覚プロジェクト

### 【目的】

適度な運動により骨格筋が肥大して筋力が増強されることは経験的によく知られている。しかし、その分子メカニズムは明らかにされていない。負荷運動において筋が収縮すると、収縮力に対する応力（張力）が筋に働く。この張力が、筋肥大が引き起こされることに重要であると考えられている。昨年は、培養骨格筋細胞に伸張刺激を加えると PI3K (phosphatidylinositol 3-kinase)/Akt (別名 protein kinase B) 経路が活性化することを報告した。PI3K/Akt 経路は、成長因子のひとつである IGF-1 (insulin-like growth factor 1) により活性化し、その後 mTOR (mammalian target of rapamycin) を介して筋肥大が引き起こされることが示されている。今回は、伸張刺激により筋肥大が引き起こされることと、その筋肥大が PI3K/Akt/mTOR 経路を介して引き起こされるかどうかと云うことを確かめた。

### 【方法】

ニワトリ胚由来の筋芽細胞を、collagen type I をコーティングした薄いシリコン膜上に初代培養した。シリコン膜の表面に溝をつけ、筋線維が一定方向に並ぶように工夫をした。培養開始後 5 日目の筋管細胞に、シリコン膜を筋線維の長軸方向に伸張することで伸張刺激を加えた。昨年の報告と同じ頻度 1/6 Hz、伸張率 10% の周期的伸張刺激を 72 時間加えた細胞を伸張群とし、同じ期間に伸張刺激を加えずシリコン膜上で培養した細胞を非伸張群とした。さらに刺激を加える直前に、PI3K の抑制剤である wortmannin か mTOR の抑制剤である rapamycin を投与した場合について調べた。刺激終了直後に、細胞を 4% パラフォルムアルデヒドで固定して、その位相差顕微鏡像をデジタルカメラで撮影した。シリコン膜全体から均等数の画像を得た。Scion image (scion co.) 上で、長方形の各画像に 1 本の対角線を引き、その対角線と筋線維が交差する箇所で筋線維の長軸方向と垂直な線維径を計測して肥大の評価をした。

【結果】実験開始時の筋線維直径 (平均  $15.1 \pm 2.5 \mu\text{m}$ , n = 150) と 72 時間後の非伸張群の筋線維直径 (平均  $15.3 \pm 1.5 \mu\text{m}$ , n = 143) に差は無かった。これに対し伸張群の筋線維直径 (平均  $24.5 \pm 4.8 \mu\text{m}$ , n = 136) は非伸張群の約 1.6 倍であり、筋肥大が確認できた。また伸張群の筋線維直径は、wortmannin により平均  $18.0 \pm 7.7 \mu\text{m}$  (n = 125) に、rapamycin により平均  $15.3 \pm 6.6 \mu\text{m}$  (n = 113) に抑制された。

### 【考察】

この実験系で、伸張刺激により筋肥大が引き起こされることが分かった。また、その筋肥大が PI3K/Akt/mTOR 経路を介して引き起こされていることが示唆された。非伸張群の筋線維が実験期間中に肥大しなかったことから、筋管細胞への新たな筋芽細胞の融合や筋管の成長は停止していたと考えられる。この様な成熟した筋管細胞において伸張刺激により筋線維の肥大が引き起こされたことは、成熟した個体の筋肥大においても我々の実験系と同様なシグナル伝達経路が働いていることを示唆している。この様な筋肥大にかかる分子メカニズムが明らかにされることは、筋力増強あるいは筋力低下の予防のための科学的根拠に基づく効果的で効率的な理学療法の開発につながると考える。

キーワード：筋肥大・伸張刺激・PI3K/Akt/mTOR 経路・抑制剤・培養細胞

本研究の独創的な点：PI3K/Akt/mTOR 経路の抑制剤により伸張刺激による筋肥大が抑制されることを明らかにした。

## 走行運動が発育期ラットのヒラメ筋における ニューロトロフィン-3 mRNA 発現に与える影響

坂 ゆかり・田原 栄俊・今北 英高  
森山 秀樹・井出 利憲・飛松 好子  
広島大学大学院保健学研究科

### 【目的】

神経栄養因子の中で、神経成長因子に相同意の高い一群のファミリーを総称してニューロトロフィンとされる。運動（身体活動）は中枢または末梢神経の機能や形態の維持や向上に有益であり、これには活動依存性であるニューロトロフィンが関与しているとの報告がなされている。また、ニューロトロフィンは神経筋機能を高める効果があるとされる。これまで走行運動により成熟ラットのヒラメ筋（Soleus: SOL）でニューロトロフィンのうち脳由来神経栄養因子（Brain Derived Neurotrophic Factor: BDNF）とニューロトロフィン-3 (Neurotrophin-3: NT-3) の mRNA 発現が高くなることが報告されている。一方、運動能力が急速に発達する発育期でのニューロトロフィン発現は、その機能から運動能力の発達に促進的な作用をもたらすと考えられるが、発育期における走行運動がニューロトロフィンの mRNA 発現に与える影響についての報告はない。本研究の目的は、走行運動が発育期ラットの SOL で NT-3 の mRNA 発現に与える影響について検討し、発育期における運動の意義を NT-3 mRNA 発現という観点から検討することである。

### 【方法】

4 週齢の Wistar 系雄性ラット 21 匹を用いた。運動群 (ex 群=15 匹) とコントロール群 (con 群=6 匹) に無作為に分け、ex 群には 1 日 30 分間、連続 5 日間の傾斜 10% の上り坂トレッドミル走行を課した。走行スピードは 1 日目 3.3m/min, 2 日目以降は 8.3m/min とした。運動最終日の運動直後 (n=5), 2 時間後 (n=5), 4 時間後 (n=5) にヒラメ筋を採取し、液体窒素にて凍結、-80°C にて保存した。その後、凍結した組織より total RNA を抽出し、RT-PCR 法により NT-3 の mRNA 発現を解析した。インターナルコントロールとしてグリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼ (glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase: GAPDH) を用いた。統計学的検索として一元配置分散分析を行い、ex 群と con 群間の比較には Dunnett の検定を用いた。有意水準は 5% 未満とした。尚、本研究は広島大学医学部付属動物実験施設倫理委員会の承認のもとに行なった。

### 【結果】

NT-3 の mRNA 発現は走行運動終了直後で con 群の 178% (p=0.09>0.05), 2 時間後で 168% (p=0.15>0.05), 4 時間後で 200% (p<0.05) となり、4 時間後で con 群に比べ有意に高かった。

### 【考察】

本研究の結果、5 日間の継続した走行運動により、発育期ラットの SOL で NT-3 mRNA 発現が高くなることが明らかとなった。このことから、発育期ラットでは走行運動によって、神経の機能や形態の維持や向上、神経筋機能を高める、といった NT-3 の役割や機能が促進されることが示唆される。

キーワード：発育期ラット・走行運動・NT-3 mRNA

本研究の独創的な点：走行運動が発育期ラットヒラメ筋の NT-3 mRNA 発現に影響を与えることを明らかにした。

## 間歇的伸張運動が不動後のラットヒラメ筋におよぼす影響

井上 貴行<sup>1)</sup>・高橋 裕司<sup>2)</sup>・原田 裕司<sup>2)</sup>

沖田 実<sup>3)</sup>・鈴木 重行<sup>1)</sup>

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】

臨床で行われている伸張運動（ストレッチング）の方法としては、持続的、ならびに間歇的伸張運動が一般的である。持続的伸張運動については廃用性筋萎縮や関節拘縮の予防・治療に有効であることが諸家の動物実験により明らかにされている。しかし、間歇的伸張運動の影響に関する報告は少なく、特に、骨格筋に対する影響は明らかではない。本研究の目的は、不動後のラットヒラメ筋に対する間歇的伸張運動の影響を病理組織学的に検討することである。

### 【方法】

Wistar系雄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分け、実験群はさらに1) ギプス固定による不動のみの群（不動群）、2) ギプス固定終了後に1, 2週間、通常飼育する自然回復群、3) さらに通常飼育中に間歇的伸張運動を加える運動群に分けた。運動群には自作した他動運動機器を用い、麻酔下で足関節底背屈運動を4秒に1回のサイクルで1日30分、週6回実施し、自然回復群には麻酔のみを行った。次に、各群すべて不動期間終了後に麻酔下で足関節底背屈角度を測定し、自然回復群と運動群についてはギプス固定終了後1, 2週目にも同様に測定した。また、各群の実験終了後は、ヒラメ筋を採取し、病理組織学的検討を行った。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】

ギプス固定終了直後の足関節底背屈角度は対照群に比べ実験群の3群は有意に低値で、実験群間には有意差を認めなかった。また、自然回復群、運動群の底背屈角度はギプス固定終了直後に比べ、その1, 2週目のいずれにおいても有意に高値を示し、この2群間では運動群が有意に高値を示した。次に、筋線維横断面積を比較するとType I・II線維とも不動群は対照群より有意に低値で、自然回復群、運動群はギプス固定終了後1, 2週目とも不動群より有意に高値を示した。また、自然回復群と運動群を比較するとギプス固定終了後1週目はType II線維のみ運動群が自然回復群より有意に高値を示し、ギプス固定終了後2週目はType I・II線維とも運動群が自然回復群より有意に高値を示した。一方、病理所見をみると実験群の3群は壞死線維が散見され、特に、ギプス固定終了後1週目の自然回復群において壞死線維の出現が著明であった。

### 【考察】

今回の結果から、運動群の可動域制限の改善はギプス固定終了後1, 2週目とも自然回復群より良好であった。また、ギプス固定終了後1週目の自然回復群には運動群に比べ多数の壞死線維が認められた。これらのことから、間歇的伸張運動により不動後早期から可動域を確保しておけば、荷重歩行による壞死線維の出現を予防できると推察される。加えて、間歇的伸張運動は自然回復の場合よりも不動によって生じたヒラメ筋の筋線維萎縮の回復促進に有効であると推察され、今後はその作用機序などについても検討する必要がある。

キーワード：間歇的伸張運動・不動・筋線維

本研究の独創的な点：自製の機器を用いた間歇的伸張運動が不動後のラットヒラメ筋におよぼす影響を病理組織学的に検討した点。

## 後肢懸垂ラットに存在する膝前十字靭帯メカノレセプターに対する荷重運動の影響

金村 尚彦<sup>1)</sup>, 今北 英高<sup>1)</sup>, 森山 英樹<sup>1)</sup>

坂 ゆかり<sup>1)</sup>, 吉村 理<sup>2)</sup>

1) 広島大学大学院保健学研究科

2) 広島市身体障害者更生相談所

### 【目的】

関節の運動制御や安定性の向上には、靭帯の力学的作用に加えてメカノレセプターの役割が重要である。特に膝関節には、4タイプ（パチニ小体、ルフィニ終末、ゴルジ様受容器、自由神経終末）が存在している。我々の先行研究では、長期の荷重除去状態により、メカノレセプターの形態変化や数の減少が引き起こされるという結果を報告した。本研究では、このレセプターの変化を防止することはできないのかという観点に立ち、荷重運動による影響を比較検討した。

### 【方法】

10週齢のWistar系雄性ラット30匹を実験に供した。4週間懸垂中のラットに対し、時間は1日に1時間、頻度は週5日懸垂を除去し、ケージ内で自由飼育した運動群を（EXC4W群）、その対照群は自由飼育群、4週間飼育した群（CON4W群）、4週間懸垂のみを行った群（SUS4W群）を各々10匹とした。飼育期間が終了した後、ラットにペントバルビタールナトリウムを腹腔内投与し、脱血により安楽死させた。靭帯はZimnyらのGairns塩化金染色変法に従って染色を行った。組織標本は光学顕微鏡にて観察し、一靭帯に存在するレセプター総数に対するレセプターの割合を求め比較検討した。統計は $\chi^2$ 検定および多重比較Ryan法を用い、有意水準を5%以下とした。この研究は、広島大学医学部附属動物実験施設倫理委員会の承認のもとに行なった。

### 【結果】

SUS4W群、EXC4W群では、定型レセプター（ルフィニ終末、パチニ小体、ゴルジ様受容器、自由神経終末）以外に非定型レセプター（非定型ルフィニ終末、非定型パチニ小体）を観察した。定型レセプターの割合の比較では、CON4Wに比べSUS4W、EXC4Wに比べSUS4Wは有意に減少していた（ $p<0.01$ ）。CON4W群よりSUS4W群、EXC4W群よりSUS4W群、CON4W群よりEXC4W群がそれぞれ有意に増加していた（ $p<0.01$ ）。各定型レセプターの割合の比較では、各群間で有意な差を認めなかった。非定型ルフィニ終末について、各群間で有意な差を認めた（ $p<0.01$ ）。多重比較から、CON4W群に比べSUS4W群、CON4W群に比べEXC4W群で有意に増加していた（ $p<0.01$ ）。非定型パチニ小体では各群間において有意な差を認めた（ $p<0.01$ ）。多重比較から、CON4W群に比べSUS4W群、CON4W群に比べEXC4W群（ $p<0.01$ ）で有意に増加していた。

### 【考察】

長期の荷重除去においてレセプターは、非定型レセプターが出現した。荷重運動を行うことにより、非定型レセプターの割合を減少させることができた。その理由として荷重運動により、関節への血流が増加し、神経への酸素、栄養がより供給されるようになったのではないかと推察される。またレセプター内部にはコリンエステラーゼが存在している。このコリンエステラーゼは、神経終末への機械的刺激により放出されるが、膜電位を脱分極させるコリンエ斯特ラールを加水分解する役割と、小体自体の栄養維持に関与しているのではないかと仮定されている。荷重運動により、神経終末は力学的刺激をより受けることで、レセプター自体の変性を防止する役割を担っているのではないかと考えられる。

キーワード：メカノレセプター・前十字靭帯・後肢懸垂ラット・荷重運動

本研究の独創的な点：後肢懸垂ラットのメカノレセプターの変化を防止するためには、荷重運動が有効的であるということを示唆した点。

## 熱刺激の負荷方法の違いがラットヒラメ筋の廃用性筋萎縮の進行抑制効果におよぼす影響

吉川 紗智<sup>1)</sup>・渡部 由香<sup>2)</sup>・片岡 英樹<sup>1)</sup>・豊田 紀香<sup>2)</sup>

中居 和代<sup>3)</sup>・中野 治郎<sup>4)</sup>・沖田 実<sup>5)</sup>

1) 長崎記念病院リハビリテーション部

2) 長崎北病院総合リハビリテーション部

3) 田川慈恵病院リハビリテーション科

4) 長崎大学医学部保健学科

5) 星城大学リハビリテーション学部

### 【目的】

これまで我々は、運動負荷に代わる廃用性筋萎縮の予防方法を検討してきた。具体的には、熱刺激により筋細胞内に発現する Heat shock protein72 (Hsp72) の分子シャペロン作用に着目し、約 42°C の温水浴によるラットヒラメ筋の廃用性筋萎縮の進行抑制効果について検討してきた。しかし、実際の臨床場面を想定すると、安静・臥床中のケースに温水浴を行うことは全身への影響から考えても実施困難と考えられる。そこで、本研究では、局所的に熱刺激を負荷する方法として、小型動物用電気熱プレートを自作し、これによる局所的熱刺激の負荷と温水浴による熱刺激の負荷の違いがラットヒラメ筋の廃用性筋萎縮の進行抑制効果におよぼす影響を検討した。

### 【材料と方法】

実験動物には 7 週齢の Wistar 系雄ラット (220±10 g) 19 匹を用い、これらを 1) 通常飼育の群 (C 群, n=4), 2) 後肢懸垂法 (Hindlimb suspension; 以下, HS) を実施する群 (HS 群, n=6), 3) HS の過程で電気熱プレートにて熱刺激を負荷する群 (HS&Heat-Plate 群, n=4), 4) HS の過程で温水浴にて熱刺激を負荷する群 (HS&Heat-Bath 群, n=5) に振り分けた。熱刺激の負荷方法として、電気熱プレートは下腿三頭筋の後面に密着させる方法で、温水浴は後肢全体を浸漬する方法で行い、いずれの負荷温度とも 42°C とした。なお、熱刺激の負荷時間は 1 時間とし、HS の過程で毎日、麻酔下で実施した。1 週間の実験期間終了後はヒラメ筋を摘出し、筋湿重量を測定した。そして、筋試料は連続凍結横断切片とし、ルーチン ATPase 染色を施した後、筋線維タイプ別に筋線維直径を計測した。また、筋試料の一部はホモジネートし、Western Blot 法により HSP72 含有量を検討した。

### 【結果】

各群の筋湿重量を比較すると、C 群に比べ他の 3 群は有意に低値で、この 3 群間では HS&Heat-Plate 群と HS&Heat-Bath 群に有意差は認められず、これらは HS 群に比べ有意に高値を示した。また、平均筋線維直径を比較すると、タイプ I, II 線維とも C 群に比べ他の 3 群は有意に低値で、この 3 群間では HS&Heat-Plate 群と HS&Heat-Bath 群に有意差は認められず、これらは HS 群に比べ有意に高値を示した。次に、Western Blot 法の結果では、C 群ならびに HS 群に比べ、HS&Heat-Plate 群、HS&Heat-Bath 群のバンドは濃染しており、HSP72 の発現増加が認められた。また、HS&Heat-Plate 群、HS&Heat-Bath 群の間に明らかな差は認められなかった。

### 【考察】

今回の結果より、ヒラメ筋の廃用性筋萎縮の進行抑制効果、ならびには HSP72 の発現状況は電気熱プレートと温水浴で大差なかったといえる。つまり、電気熱プレートによる局所的な熱刺激の負荷でも温水浴と同等の HSP72 を発現誘導する事が可能で、この HSP72 の作用によって廃用性筋萎縮の進行は抑制されると推察できる。そして、局所的熱刺激は全身への負担が少ないと簡便に行えることなどから、廃用性筋萎縮の予防手段として臨床応用できる可能性は高いと考える。

キーワード：電気熱プレート・温水浴・廃用性筋萎縮

本研究の独創的な点：局所的な熱刺激による廃用性筋萎縮の進行抑制効果を検討した点。

## 大腿部の筋を対象とした触察による筋マッピングの正確度の測定

磯貝 香<sup>1)</sup>・小林 邦彦<sup>2)</sup>・河上 敬介<sup>2)</sup>

1) 城南リハビリクリニック

2) 名古屋大学医学部保健学科理学療法学専攻

### 【目的】

運動器系の障害を治療対象とする理学療法士は、理学療法における評価および治療を施行するにあたり、筋の位置を正確に把握する必要のある機会が多い。筋の位置探索には主に触察を用いるが、筋触察の正確度については検証されないまま経験的に行われているのが実状である。そこで本研究では、触察により得られた筋の位置と超音波断層撮影（エコー）により得られた筋の位置とを比較することにより、筋触察の正確度を検証することとした。

### 【方法】

触察者は21年の臨床経験を有する理学療法士1名である。触察対象者は24歳の男性（身長169cm、体重58kg）1名である。触察者が触察対象者の大腿部の筋（中殿筋、大腿筋膜張筋、外側広筋、大腿直筋、内側広筋、縫工筋、長内転筋、薄筋、大内転筋、半膜様筋、半腱様筋、大腿二頭筋、大殿筋）を触察し、筋と筋の境界と思われる部位を体表上に描いた（筋マッピング）。描画された筋の境界の上に細いゴム紐を接着し、その上から大腿部の横切断像をエコー撮影した。撮影は大腿部の全域にわたり、1回の実験で66～70箇所に及んだ。取得された断層画像上で、筋の境界から体表面に直交するように引いた線が体表面と交叉する点をエコーにより得られた筋の境界の位置とし、ゴム紐の位置を触察により得られた筋の境界の位置とした。断層画像上で2点間の距離を測定し、これを筋マッピングのズレの距離とした。実験は触察対象者の姿勢が臥位で5回、立位、半しゃがみ位、座位でそれぞれ2回施行した。

### 【結果】

それぞれの実験において66～70箇所に及ぶ筋マッピングのズレの距離の平均値および標準偏差を求めた。その結果、最大7.9±6.5mm（半しゃがみ位1回目）から最小3.6±3.3mm（臥位5回目）の範囲内であった。また、筋マッピングのズレを確認したうえで実験を繰り返すことにより、触察対象者の姿勢が臥位、半しゃがみ位、座位において筋マッピングのズレの距離が有意に減少した。隣接する筋の一方が他方の筋の浅層に位置する場合には浅層に位置する筋側に筋マッピングがずれ、触察対象とする筋に隣接する筋が存在しない場合には触察対象筋側に筋マッピングがずれる傾向にあった。

### 【考察】

本研究により得られた筋触察の正確度は、骨ランドマークの正確度に関する報告（Downey BJ, Taylor NF, et al., 1999; Della Croce U, Cappozzo A, et al., 1999.）と比較して遜色のない程度であった。また、経験を重ねるだけでは長期間を必要とする筋触察技術の修得が、筋マッピングのズレを確認しながら繰り返し練習することにより短期間で可能となることが示唆された。また、筋マッピングを正確に行うためには、あらかじめ隣接する筋の位置関係を熟知したうえで、筋マッピングのズレの傾向を考慮しつつ適切な触察圧を用いることが重要である。

キーワード：筋マッピング・エコー・筋触察・正確度

本研究の独創的な点：触察による筋マッピングとエコー像を比較することにより筋触察の正確度を検証することができた。

## 生体の硬さ変動を規定する因子に関する考察

松居 宏樹・肥田 朋子  
名古屋大学医学部保健学科

### 【目的】

臨床において硬さ感覚は重要な評価指標である。しかし、この硬さは主観的な評価であり、評価者の経験や勘に大きく左右される曖昧なものとなりがちである。そのため、古くから機械によって客観的に硬さを評価することが試みられている。しかし、どのような原因で生体の硬さが変化するのかは、いまだ明らかにされていない。本研究では、生体が硬くなる原因として鬱血と筋収縮の二つの異なる原因を想定し、各々が生体の硬さを変化させうのか、そして、細かい条件設定が機械の測定結果にどのような影響を与えるのか検討した。

### 【方法】

十分に説明し同意を得た男性被検者6名（平均年齢22.3±2.1歳）の非利き手前腕を対象とした。上腕のマンシェット加圧による鬱血、あるいは、把握運動による筋収縮を前腕に生じさせた。マンシェットの圧力は平常時収縮期血圧の70%と130%（以下Cuff 70%，Cuff 130%と表記）とし、筋収縮は最大随意収縮の5%，10%，20%（以下MVC 5%，MVC 10%，MVC 20%と表記）とした。鬱血、もしくは筋収縮状態で、上腕骨内側上顆と手関節中央を結んだ直線の近位1/3の部位を、機械刺激装置（DPS270S、ダイヤメディカル社製）を用いて一定速度で押し込み、押し込み距離と反力を測定した。また、上腕加圧中の前腕で機械刺激装置の押し込み部位から3cm遠位部における血液量を赤外線酸素モニタ（NIRO-300、浜松ホトニクス株式会社製）を用いて測定した。機械刺激装置により記録したデータから押し込み距離-反力曲線（D-F曲線）をグラフ化し、硬さの指標となる押し込み最終2mm領域でのD-F曲線の傾き（以下傾きと表記）を求めた。

### 【結果】

i) Cuff 70%，Cuff 130%ともに各測定直前に測定したCONと比較して血液量は有意に増加した（Wilcoxonの符号付順位和検定、P<0.05）。ii) また、Cuff 70%，Cuff 130%，MVC 5%，MVC 10%，MVC 20%すべてについて、各測定直前のCONに比較して傾きは有意に増加した（Wilcoxonの符号付順位和検定、P<0.05）。iii) 筋収縮強度と傾きの間に有意な相関を示した（Spearmanの順位相関検定、P<0.05）。iv) Cuff 70%では、加圧後、傾きと血液量は経時的に増加したが、Cuff 130%では、加圧後、増加したものの経時的な増加はCuff 70%に比べ小さい傾向を示した。

### 【考察】

i)の結果よりマンシェット加圧により前腕に鬱血が生じている事がわかった。また、ii)の結果より、鬱血、筋収縮どちらでも硬さは硬くなったと考えられ、iii)の結果から、筋収縮の硬さの変化は筋収縮の強度により、より硬くなる事が明らかとなった。iv)の結果から、Cuff 70%とCuff 130%の間には血液量と傾きの増加の具合に違いが見られた。これはマンシェット加圧により、静脈血のみが遮断されるか、動脈血も遮断されるかにより異なるものと考えら、静脈血は遮断されるが動脈血が前腕に流入し続けるCuff 70%において、血液量と傾きの増加具合が大きくなるものと考えられた。以上より、マンシェットによる加圧や筋収縮によって、機械で測定される硬さは硬くなることが明らかとなった。

キーワード：硬度測定・鬱血・筋収縮

本研究の独創的な点：生体の硬さ変化の原因となる鬱血と筋収縮で各々の硬さを機械刺激装置を用いて測定したこと。

## 片側横隔神経切除における横隔膜筋線維の変化

今北 英高  
広島大学大学院保健学研究科

### 【緒言】

骨格筋の中で横隔膜は左右両側の横隔神経が胸腔内を下降し、右横隔神経は右横隔膜を、左横隔神経は左横隔膜を支配している。また、左右の横隔膜が腱中心部で融合した1枚の膜状筋であり、その活動は呼吸活動における吸気筋として最も貢献している。その活動様式も特徴的であり、両側が効率良く同期して収縮する。横隔神経の片側切除により同側の横隔膜筋は麻痺を生じ不活動となるが、対側の横隔膜が収縮することにより呼吸に同期した間歇的ストレッチが負荷されると考えられる。本研究はこの横隔膜筋に着目し、片側横隔神経切除による横隔膜はどのような変化をするのか、また年齢の違いにより変化が異なるのかを明らかにすることを目的とした。

### 【方法】

実験動物には6週齢および100週齢のWistar系雄性ラット38匹を用いた。各週齢グループをシャム群と脱神経群に二分し、脱神経群には片側横隔神経の脱神経手術を施した。また、横隔膜の呼吸性ストレッチによる効果を確認するため、10週齢ラットに対して呼吸性ストレッチが生じない胸骨乳突筋に対する神経切除術も施した。脱神経手術から4週間後、すなわち生後10週齢および2年齢時に体重を測定し、張力測定および酵素組織化学染色、SDS-PAGEを測定した。

### 【結果】

片側横隔神経切除における脱神経横隔膜の変化については単収縮時間・1/2弛緩時間の延長やSO線維・FOG線維の筋線維横断面積の維持・増大、ミオシン重鎖1・2aの相対的増加など機能的・構造的遅筋化が示された。しかし、2年齢ラットにおける変化は10週齢ラットのそれとは異なり、すべての筋線維で萎縮が起こった。胸骨乳突筋では脱神経による筋萎縮は生じたものの遅筋化は生じなかった。

### 【考察】

脱神経横隔膜において選択的ではあるが筋萎縮が生じなかった。それらの原因として呼吸活動におけるストレッチや対側横隔神経による再神経支配、横隔膜自体の構造的特徴などの影響が考えられる。筋萎縮抑制が呼吸性の間歇的ストレッチによるものであるかは議論の余地があるが、そうならば麻痺筋や不活動筋における萎縮予防における新しいリハビリテーションアプローチとなる可能性を示唆するものであった。また、脱神経横隔膜における変化が週齢によって異なったことは、加齢により反応性が低下した可能性がある。したがって加齢による反応性の低下をいかにして予防するかが今後の課題であると思われる。

キーワード：片側横隔神経切除・間歇的ストレッチ・筋萎縮抑制

本研究の独創的な点：片側横隔神経切除における横隔膜の変化はSO線維やFOG線維において、筋萎縮の抑制効果が認められた点。

## 快適歩行における重心の滑らかさと酸素摂取量の関係

## —躍度最小及びトルク変化最小評価関数を用いて—

榎 勇人<sup>1)</sup>・竹林 秀晃<sup>2)</sup>・野村 卓生<sup>1)</sup>・岡崎 里南<sup>1)</sup>西上 智彦<sup>1)</sup>・石田 健司<sup>1)</sup>・谷 俊一<sup>1)</sup>

1) 高知大学医学部附属病院リハビリテーション部

2) 土佐リハビリテーションカレッジ理学療法学科

## 【目的】

我々は、共に運動の滑らかさを表す躍度最小（以下  $C_J$ ）及びトルク変化最小（以下  $C_T$ ）評価関数を用いて、快適歩行時に重心と下肢関節トルクの滑らかさが正の相関関係にあり、トルク変化が増加した後に重心の滑らかさが破綻することを第39回日本理学療法学術大会にて報告した。今回の目的は、快適歩行時の酸素摂取量における代謝利得と両者との関係を検討することである。

両評価関数は  $C_J$  は躍度（加速度の一微分、以下 jerk）が、 $C_T$  は関節トルク変化（トルクの一微分、以下 TC）が少ないほど、値が小さくなり滑らかな動作であると位置づけられる。

## 【方法】

対象は健常成人男性10名(平均年齢  $22 \pm 1$  歳、平均体重  $64.9 \pm 7.9$  kg、平均身長  $172.0 \pm 3.1$  cm)。測定は2枚の床反力計（アニマ社製 MG-1090）と三次元動作解析装置（アニマ社製 LOUCUS MA-6250）を使用し、前方腕組にて快適速度で歩行した右下肢立脚相データを分析した。マーカーは両側第5中足骨頭・外果・膝関節裂隙・大転子・肩峰に貼付し、サンプリング周波数 240 Hzにて3回の歩行を測定した。またトレッドミル上を快適速度にて6分間歩行し、後半3分間の平均酸素摂取量（以下  $\dot{V}O_2$ ）を呼吸代謝測定装置（チェスト社製 centaura.1）にて求めた。快適速度は、予め10m歩行にて計測した。

計測データから、重心  $C_J$  は床反力前後分力（以下  $F_y$ ）を算出し、制動相と駆動相を時間軸 100%として正規化して、 $C_J = 1/2 \int (jerk)^2 dt$  の式にて求めた。jerk は  $F_y$  を体重などで正規化したものを微分して求めた。また下肢関節  $C_T$  は  $C_T = 1/2 \int (TC)^2 dt$  の式にて求めた。 $\dot{V}O_2$  は後半3分間に定常状態から逸脱した1名を除き、9名で検討した。

## 【結果】

重心  $C_J$  は制動相  $190.43 \pm 72$   $m^2/s^5$ 、駆動相  $229.09 \pm 75$   $m^2/s^5$  と前回同様、制動相に比べ駆動相で有意に高値を示し ( $p < 0.01$ )、下肢  $C_T$  は有意差を認めなかった。また重心  $C_J$  と下肢  $C_T$  は各相(制動  $r = 0.790$   $p < 0.005$  駆動  $r = 0.678$   $p < 0.05$ )及び立脚相全体( $r = 0.729$   $p < 0.05$ )で正の相関関係を示し、下肢 TC が踵接地後平均 26msec と、足尖離地前平均 97msec にピークに達し、その両ピーク後約 30msec 後に重心 jerk がピークとなる波形を示した。さらに今回  $\dot{V}O_2$  は、重心  $C_J$  と正の相関関係を認めたが( $r = 0.696$   $p < 0.05$ )、両者は歩行速度とも強い正の相関関係を示していた。

## 【考察】

$\dot{V}O_2$  と重心  $C_J$  が正の相関関係を示した事から、快適歩行では滑らかな重心移動を行う者ほど、楽に歩いていることが示唆されたが、両者は速度とも強く相関しているため、今回計測した速度間 (52~86m/min) での快適歩行では、速度が遅いほど滑らかに、楽に歩けると言え、今後一定速度での両者の検討が必要と考えられた。

キーワード：快適歩行・躍度最小評価関数・トルク変化最小評価関数・酸素摂取量

本研究の独創的な点：最適歩行時の下肢関節トルクと重心の滑らかさを定量化し、両者と酸素摂取量の利得関係を検討した。

## 漸増負荷の増加割合の違いによる表面筋電図周波数の相違について

永瀬 慎介<sup>1)</sup>・鶴崎 俊哉<sup>2)</sup>・平田 恒子<sup>1)</sup>・浜本 寿治<sup>1)</sup>

1) 長崎百合野病院

2) 長崎大学医学部保健学科

### 【目的】

我々は第8・9回理学療法の医学的基礎研究会学術集会にて Wavelet 変換(WT)を用いた表面筋電図解析について報告してきた。今回、等尺性収縮において連続漸増負荷を負荷増加度を変えて与え、その時の筋活動について離散 Wavelet 変換(DWT)を用いて検証した。

### 【方法】

対象は健常女性13名(23.4±1.3歳)で、被験筋は右上腕二頭筋とした。被験筋上の皮膚に、電極間距離2cmでディスパーザブル電極を貼付し、背臥位にて肘関節90度を保持させた。ワイヤー及び滑車を介して前腕遠位部に負荷増加度1.03N・m/s(以下、低増時)および1.37N・m/s(以下、高増時)にて肘関節伸展方向に連続漸増負荷が加わるように実験装置を設定した。始めに最大筋力(MVC)を測定し、その後負荷開始から肘関節を90度に保持できなくなるまでの筋活動を負荷増加度別にそれぞれ測定し、生体計測システム(NF回路ブロック製)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。各負荷増加度間での測定は十分時間を空けた。

採取したデータから、負荷量が5%MVC増加した時点毎に前後1秒間のデータを選択し、科学技術計算ソフト(MathWorks社製 MATLAB6.5およびWavelet Tool Box)にてDaubechies5、分解レベル5でDWTを行い分析パラメータを算出した。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))、MVC時のTPwに対する各負荷量時のTPwの比(RTPw)を使用した。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、二元配置分散分析にて交互作用を確認後、有意水準5%で多重比較(Tukey-Krasher, FisherのPLSD)を行った。

### 【結果】

RTPwは高増時が30%MVCから35%MVCにかけて、また低増時では5%MVCから10%MVCにかけて急激な上昇が見られた。RPD(i)は高増時が20%MVCのRPD(5)・30%MVCのRPD(4)・35%MVCのRPD(4)で有意に大きく、低増時が25%MVCのRPD(1)およびRPD(2)・30%MVCのRPD(1)・40%MVCのRPD(1)で有意に大きかった。さらに%MVC毎の筋出力変化を負荷増加度別に比較するとRPD(1)とRPD(2)において低増時は5%から20%まで上昇し、以後下降する傾向があるが、高増時では見られなかった。

### 【考察】

TPwは筋収縮に動員されている運動単位数が反映されるが、活動電位の高いF(fast twitch)型運動単位が動員され始めると急激に上昇すると考えられる。また、RPD(i)はレベルiが大きいほど周波数が低いことを表すが、今回の結果は高増時で低周波域が大きく低増時で高周波域が大きいことを示している。これらのこととは負荷量の増加度が高い場合には、低い場合の筋活動が前倒しにおきていることを示唆しており、早期からF型運動単位の動員がおこるのではないかと考えられる。

キーワード：連続漸増負荷・時間-周波数解析・表面筋電図

本研究の独創的な点：連続漸増負荷を加えた筋活動について時間-周波数解析を行い、独自のパラメーターを算出し検証を行った点。

## 表面筋電電極の位置の違いによる筋電周波数への影響について

鶴崎 俊哉<sup>1)</sup>・永瀬 慎介<sup>2)</sup>・平田 恭子<sup>2)</sup>・浜本 寿治<sup>2)</sup>

1) 長崎大学医学部保健学科

2) 長崎百合野病院

### 【はじめに】

我々は、動作時筋電図の周波数分析を行うために非定常信号の分析が可能な wavelet 変換に注目し、その中でもデータの集約が容易な離散 wavelet 変換 (DWT)を導入する研究に着手している。DWT の導入にあたっては、その周波数表現が通常使用されている Hz 単位の周波数とは異なること、DWT によって得られる情報が周波数のみではなく時間情報をも含んでいることから独自のパラメータを採用しているが、表面筋電図の周波数分析にはまだ明らかにされていない点も多く、その基本的な特性について検証が必要である。本研究では、動作時筋電図の分析において問題となる筋と電極との相対的な位置関係の影響について検討するための導入として、等尺性収縮時の電極位置と周波数の関連について検討したので報告する。

### 【対象と方法】

対象は健常女性 14 名(年齢)で、被験筋は右上腕二頭筋とした。被験筋上の皮膚を十分に全処理した後、一端被験筋を収縮させ筋腹中央を確認し、筋腹中央を中心には被験筋長軸方向に 3 対、中央の対に平行に内外側に各 1 対の電極を配置した。続いて被験者を背臥位とし肘関節屈曲 90 度にて等尺性の最大随意収縮を 10 秒間行わせた。この時の筋活動と筋力を生体計測システム(NF 回路ブロック製)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。なお、筋力の測定には自作のロードセルを用いた。採取したデータから筋力が最大値を示した時点の前後 1 秒間のデータを選択し、科学技術計算ソフト(MathWorks 社製 MATLAB6.5 および Wavelet Tool Box)にて Daubechies5、分解レベル 5 の DWT を行い、分析パラメータを算出した。DWT の分析パラメータとしては、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)) を用いた。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、二元配置分散分析にて交互作用を確認後、有意水準 5%で多重比較を行った。

### 【結果】

TPw においては統計的に有意な関連は見られなかつたが、筋腹中央の近位部の電極対で大きい傾向が見られた。RPD(i)においては高周波数帯に対応する RPD(1)および RPD(2)で筋腹中央の内外側に配置した電極対が長軸上に配置した電極対より高かつた ( $p=0.0003$  および  $p=0.0009$ )。

### 【考察】

表面筋電図の周波数については、皮下組織のインピーダンスにより深部からの高周波信号が減衰すると言われている。今回の研究においても高周波数帯に対応した RPD(1)および RPD(2)のエネルギー密度は全体からすると高い値ではなかった。その中で筋の長軸から内外側にずれた電極対でこれらの比率が高くなつたことは、高周波数帯が皮下組織のインピーダンスの影響を比較的受けにくい表層の筋線維に由来するものではないかと考える。

キーワード：離散 Wavelet 変換・表面筋電図・周波数解析・電極位置・等尺性収縮

本研究の独創的な点：表面筋電図の電極位置による周波数変化の影響を離散 Wavelet 変換で捉え、独自のパラメータで検証している点。

## 離散 Wavelet 変換を用いた表面筋電図解析パラメータの提案

浜本 寿治<sup>1)</sup>・鶴崎 俊哉<sup>2)</sup>・永瀬 慎介<sup>1)</sup>・平田 恭子<sup>1)</sup>

1) 長崎百合野病院

2) 長崎大学医学部保健学科

### 【はじめに】

我々はこれまでにも wavelet 変換(WT:wavelet transform)を用いた表面筋電図解析について報告してきた。その中で WT を用いた解析は、時間と周波数に関する膨大な情報を集約する必要を認めた。今回、離散 wavelet 変換(DWT:discrete wavelet transform)を使用して独自のパラメータを算出し、漸増負荷を加えた等尺性収縮時の筋活動について若干の知見を得たので報告する。

### 【方法】

対象は健常女性 14 名(年齢 23.4±1.3 歳)で、被験筋を右上腕二頭筋とした。被験筋上の皮膚を十分に処理した後、電極間距離 2cm でディスパーザブル電極を貼付した。被験者を背臥位とし、肩関節基本肢位、肘関節屈曲 90 度で前腕遠位部に自作ロードセルを設置し、筋活動と負荷量を生体計測システム(NF 回路ブロック製)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。はじめにロードセル部分を固定し最大筋力 (MVC) を測定し、その後固定を介助して肘関節を 90 度に保持できなくなるまで漸増負荷を加えた。負荷の漸増はポリタンクに水を注入することで行い、このポリタンクの重量がワイヤーおよび滑車を介してロードセル部にかかるように設定した。

採取したデータから、負荷量が 5%MVC 増加した時点毎に前後 1 秒間のデータを選択し、科学技術計算ソフト(MathWorks 社製 MATLAB6.5 および Wavelet Tool Box)にて Daubechies5、分解レベル 5 の DWT を行い分析パラメータを算出した。パラメータには分析範囲内のエネルギー密度の総和を TPw、分解レベル i におけるエネルギー密度の和を TPw との比を RPD(i)、MVC 時の TPw に対する漸増負荷時の TPw の比を RTPw として用いた。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、二元配置分散分析にて交互作用を確認後、有意水準 5% で多重比較(Tukey-Kramer, Fisher の PLSD)を行った。

### 【結果】

今回十分なデータ数がそろった 50%MVC 以下では、RTPw は負荷の増加に伴って上昇する傾向にあった( $p<0.05$ )。この時 RPD(3) では 40%MVC 以上で減少傾向( $p<0.05$ )、RPD(5) では 40%MVC 以上で増加傾向( $p<0.05$ ) がみられた。

### 【考察】

漸増的な筋力の発揮と運動単位の動員については、サイズの原理にしたがうことがよく知られている。本研究のパラメータのうち RTPw が次第に上昇したのは、負荷の開始とともにまず活動電位の低い運動単位である S 型が順次動員され、その後活動電位の高い FR 型および FF 型運動単位が動員されていくこと、および発火頻度の上昇を反映していると考えられる。また、RPD(i) はレベル i が低いほど高い周波数に対応している。通常、高い周波数は FF 型の活動を、低い周波数は S 型の活動をそれぞれ反映するとされているが、今回の研究では 40%MVC 以降で高周波数が減少し、低周波数が増加するという結果が得られた。これは 40%MVC 時の TPw が MVC 時の 70% に達していることから、筋力発揮に関与するもう一つの要因である発火の同期化を反映していると考えた。

キーワード：漸増負荷・時間・周波数解析・表面筋電図

本研究の独創的な点：漸増負荷を加えた等尺性収縮時の筋活動について離散 wavelet 変換による独自パラメータを用いて検証した点。

## 等角速度運動の速度の違いが表面筋電図時間一周波数分析におよぼす影響について－

平田 恭子<sup>1)</sup>・鶴崎 俊哉<sup>2)</sup>・永瀬 慎介<sup>1)</sup>・浜本 寿治<sup>1)</sup>

1) 長崎百合野病院

2) 長崎大学医学部保健学科

## 【目的】

我々は第9回理学療法の医学的基礎研究会において、等角速度運動時の筋電図を離散wavelet変換(DWT)を用いて分析し、周波数の変化がサイズの原理に対応するような傾向にあったことを報告した。今回の研究では昨年の分析からさらに時間経過を細分割し、筋線維タイプ別の動員を関節角度もふまえて分析し検討した。

## 【方法】

健常成人10名(男女各5名、平均年齢22.8±3.6歳)の大股直筋を被験筋とし、筋腹近位部3分の1に双極電極を約2cm間隔で貼付、最大筋力を測定後、開始肢位を膝関節屈曲90度とし、Cybexを用いて角速度150degree/sec(以下、高速時)および60degree/sec(以下、低速時)にて各10回ずつ膝関節屈伸運動を行い、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に取り込んだ。得られたデータからトルクが最大となった1回分のデータを選択し、時間で正規化し、10%timeきざみでその時間を中心とする128データ毎に科学技術計算ソフト(MathWorks社製 MATLAB6.5およびWavelet Tool Box)にてDWT(Daubchies5、分解レベル5)のパラメータを算出した。分析パラメータには分析範囲内のエネルギー密度の総和(TPw)、分解レベル1におけるエネルギー密度とTPwの比(RPD(i))を使用し、統計用ソフトウェア(SAS社製Stat View5.0)を用いて、二元配置分散分析にて交互作用を確認後、有意水準5%で多重比較を行った。

## 【結果】

筋活動としては高速時、低速時ともに伸展位トルクの発現が確認された点を0%とすると10%time時が最も高く、完全伸展位となる50%time時が最も低い結果で、特に低速時で有意差がみられた。またTPwを角速度毎に比較すると10~30%time、100%timeで低速時が、40~90%timeで高速時が大きな値を示した。高周波数帯であるRPD(1)、RPD(2)は、低速時では統計的に有意ではないものの伸展位になるほど上昇傾向にあり、屈曲相となる50%time以降では80%timeにピークが存在した。高速時ではRPD(1)で同様に上昇傾向、屈曲トルク初発の50%timeでRPD(1)、RPD(2)が低値となった。RPD(1)、RPD(2)、RPD(3)は80%timeがピークとなったのに対し、RPD(5)は50%time、100%timeがピークであった。

## 【考察】

筋力は2つの筋フィラメント(アクチン、ミオシン)が互いに滑り合うことにより生じるとされ、自然長で最も筋力は発揮されやすく、過度の伸展でも短縮でも筋力は発揮されにくい。今回の結果として、高速時、低速時ともに伸展位方向へのトルクがかかり始めて10%time時が最も強く、これは大股四頭筋の筋収縮力が最も発揮されやすい膝関節屈曲60度付近であり、これまでの結果と一致している。また、膝関節完全伸展位に近い50%timeでTPwは減少し、RPD(3)、RPD(4)で著明に減少している。これは、関節運動を伴う際には完全伸展位付近では関節保護の働きが見られたために筋力が発揮されにくくなり、この際、中間的周波数帯域であり、筋電活動の多くを反映しているRPD(3)、RPD(4)を中心として著明な現象が見られたのではないかと考えられた。

キーワード：等角速度運動・時間一周波数分析・表面筋電図

本研究の独創的な点：等角速度運動時の筋活動を10%time時毎に分析し、角速度・屈曲角度に着目し時間一周波数分析を行った点。

## 表面筋電計を用いた経日の再現性に関する研究 —異なる振幅正規化による自由歩行下での検討—

西上 智彦・榎 勇人  
高知大学医学部附属病院リハビリテーション部

### 【目的】

先行研究では、随意下での等尺性収縮による経日の再現性は、最大収縮よりも最大下収縮で再現性が高いことが報告されている。しかし、重錘負荷を用いて同一負荷で筋積分量を測定し、歩行時の振幅正規化に用いた報告はない。本研究の目的は、1. 振幅正規化を異なる条件で実施し、筋積分量の経日の再現性を検討すること、2. 各条件下における自由歩行時の筋積分量の経日の再現性が認められるかを検討し、理学療法効果判定への応用を模索するための基礎研究である。

### 【対象と方法】

対象は健常者2名。右側大腿直筋(RF)、内側広筋(VM)、外側広筋(VL)の計3筋を被検筋とした。前処理として、まず大腿皮膚の電気間抵抗を $5\text{k}\Omega$ 以下にした。ついで、Perottoの基準を参考にディスポ電極を電極中心距離20mmで貼付した(双極誘導)。フィルター設定は20~500Hzの周波数帯域、サンプリング周波数は1kHzとした。また、表面筋電計とフットスイッチ(右足底の踵部及び母趾の二箇所)を同期させ右下肢における1歩行周期を同定した。

測定順序は歩行開始後5歩目から連続した5歩行周期における筋活動として、初回と翌日に各々2回ずつ測定した。分析は得られた筋活動結果の1歩行周期を100%として時間の正規化を行い、1歩行周期ごとの筋電波形を積分した後に平均化した。

振幅正規化方法は1)測定1・・・ダニエルスらの徒手筋力検査法に準じ、右膝関節最大伸展位にて検者が徒手抵抗をかけ最大等尺性収縮させたもの、2)測定2・・・端座位、膝関節屈曲60°で最大等尺性収縮させたもの、3)測定3・・・端座位、右膝関節最大伸展位で足関節部に体重の5%の重錘負荷をかけたもの、として各条件下で安定した筋放電が確認された3秒間を各条件下での筋活動量として採用した。なお、全ての測定条件で大腿部の固定を行った。測定は条件下で各3回行い、3回の平均積分値を基準値とした。1歩行周期の筋積分量を各条件での平均積分量で除した値を%IEMGとした。

### 分析方法

まず、各条件の等尺性収縮における筋積分量を初回、翌日で比較した。ついで、同步行周期中の%IEMGの初回と翌日の比を振幅正規化3条件でそれぞれ比較した。

### 【結果と考察】

1. 振幅正規化のために行った各条件において、測定1は平均52%(38~134%)、測定2は平均89%(33~127%)、測定3は平均83%(44~133%)であり、また、3筋全ての筋積分量が80~120%以内(変化率20%以内)の測定条件はなかった。2. 同様に%IEMGについても測定1は平均104%(66~170%)、測定2は平均99%(74~125%)、測定3は平均99%(61~136%)であり、3筋全ての%IEMGが80~120%以内(変化率20%以内)のものはなかった。以上より異なる条件の振幅正規化による量的評価の経日の再現性は認められなかった。

キーワード：表面筋電計・再現性・自由歩行・効果判定

本研究の独創的な点：従来からの振幅正規化法に加え、重錘負荷での筋活動を基準として歩行時筋活動の経日の再現性を検討した点。

## 頸髄症における呼吸機能 -呼吸機能障害の存在と程度-

野村卓生<sup>1)</sup>・谷 俊一<sup>2)</sup>

1) 高知大学医学部附属病院リハビリテーション部

2) 高知大学医学部生体機能・感染制御学運動機能学教室

### 【目的】

圧迫性頸髄症 (Cervical Spondylotic Myelopathy : CSM) では、潜在的な呼吸機能障害の存在が考えられるが、運動・感覚障害による日常生活動作能力の低下のために多くの換気量が要求されず、その障害が顕在化しない可能性がある。本研究では、CSM における呼吸機能障害を明らかにすることを目的とした。

### 【対象と方法】

対象は CSM 18 例 (男女共に 9 例) である。内訳は、平均年齢  $70.5 \pm 9.7$  歳、身長  $156.2 \pm 10.5$  cm、体重  $54.8 \pm 12.0$  kg、術前の脊髄障害機能評価は日本整形外科学会判定基準 (JOA score) で  $7.8 \pm 3.7$  点であり、全例手術療法を受け (前方法 11、後方法 7 例)、このうち 16 例では、術中の上行性脊髄誘発電位で明らかとなった障害高位は C1/2 間 1、C3/4 間 8、C4/5 間 3、C5/6 間 4 例であった。

呼吸機能検査の方法は、System 7 (ミナト医科学 KK) を用いて、ルーチンの呼吸機能検査 (肺活量、フローボリューム曲線) に、最大換気量 (MVV) を追加して、術前及び術後 1-2 ヶ月に測定し比較した。また、両群の性別、年齢、身長、体重、術前後の呼吸機能検査時期をマッチさせた頸椎以外の手術症例 18 例 (腰椎疾患 9、下肢関節の運動器疾患 9 例) を対照として比較した。

統計は Mann-Whitney U 検定、Wilcoxon 検定、Spearman 相関係数検定を用い有意水準 5% 未満で判定した。

### 【結果】

術前後の呼吸機能検査結果は、CSM では %VC :  $89.6 \pm 17.7 \rightarrow 86.6 \pm 16.4$  %、%FVC :  $81.1 \pm 19.3 \rightarrow 81.0 \pm 15.0$  %、%FEV<sub>1.0</sub> :  $82.7 \pm 7.6 \rightarrow 82.2 \pm 10.5$  %、%PEFR :  $62.8 \pm 21.7 \rightarrow 66.9 \pm 18.5$  %、%MVV :  $74.3 \pm 12.7 \rightarrow 81.3 \pm 17.5$  %、JOA score は術後  $10.5 \pm 3.2$  点であった。対照では %VC :  $100.9 \pm 12.1 \rightarrow 100.3 \pm 11.7$  %、%FVC :  $94.1 \pm 12.5 \rightarrow 92.3 \pm 14.7$  %、%FEV<sub>1.0</sub> :  $94.1 \pm 12.5 \rightarrow 92.3 \pm 14.7$  %、%PEFR :  $80.5 \pm 21.0 \rightarrow 82.7 \pm 19.1$  %、%MVV :  $89.2 \pm 13.6 \rightarrow 86.9 \pm 15.3$  % であった。

CSM と対照の術前値の比較では、%VC (p<0.05)、%FVC (p<0.03)、%PEFR (p<0.02)、%MVV (p<0.004) において、有意に CSM が低値であった。術前後の比較では、CSM において術後 JOA score (p<0.0001)、%MVV (p<0.03) の有意な改善が認められた。また、JOA score 及び %MVV の改善率の間には有意な正の相関関係が認められた (r=0.541)。

### 【考察とまとめ】

CSM の呼吸機能は対照群よりも有意に低く、その差は MVV で最も顕著であった。また、CSM では術後 MVV が有意に改善し、JOA score の改善と関連を認めた。本結果より、CSM では潜在的な呼吸機能障害の存在が考えられ、繰り返しの呼吸動作で測定される MVV の改善が最も顕著であったことから呼吸筋群の協調運動障害が主要因と考えられた。

キーワード：頸髄症・呼吸機能・最大換気量・呼吸筋・協調運動障害

本研究の独創的な点：CSM では潜在的な呼吸機能障害が認められ、その評価には MVV が最も鋭敏で有用であることを初めて明らかにした。