

ISSN 1343-9480

MBPT

---

# 理学療法の 医学的基礎

---

Volume 11. No. 1 May  
2007

理学療法の医学的基礎研究会雑誌

**The Society for the Study of Medical Basis of Physical Therapy**

*MBPT*

## 運動による1次予防：

### メタボリックシンドロームに対する運動効果に関する身体活動疫学レビュー

江川 賢一

財団法人明治安田厚生事業団 体力医学研究所

#### はじめに

2005年より生活習慣病の一次予防施策として、「1に運動、2に食事、しっかり禁煙、最後にクスリ」とのキャンペーンが展開されている。これは、従来の早期発見、早期治療といった2次予防から、運動習慣の形成や健康的な食生活といった生活習慣の是正による1次予防への転換を意味している。また、生活習慣病発症の前段階としての「メタボリックシンドローム」が定義され、その診断基準が作成された（日本内科学会雑誌、94(4)、188-203、2005）。こうした状況から、運動によるメタボリックシンドロームの1次予防は生活習慣病予防戦略の最重要課題として位置づけられ、最新の科学的知見に基づいた運動療法に対する社会的要請が高まっている。

慢性疾患の管理や病態改善に関する臨床研究の成果によって、科学的根拠に基づく運動療法の成果が挙げられつつある。一方で、予防医学、公衆衛生学的な視点からは、有病者（個人）に対する運動療法による治療効果のみならず、いわゆるグレーゾーンの健康者（集団）に対する予防効果に関する大規模な無作為化比較試験（RCT）やメタアナリシスが実施されている。

そこで、「メタボリックシンドローム」を糖尿病の前段階としてとらえ、この病態に対する運動効果に関する身体活動疫学の研究成果を整理する。なお、本報告は身体活動疫学レビュー・ワーキンググループ（東京医科大学・井上茂先生、財団法人明治安田厚生事業団・北島義典先生、東京大学・原田亜紀子先生）による研究成果の一部であり、第61回日本体力医学会シンポジウム（座長・武庫川女子大学・内藤義彦先生）での報告によるものである（体力科学56(1): 50-51, 2007）。

#### 1. メタボリックシンドロームの医学的・社会的背景

1980年代後半から循環器疾患リスクが集積した病態（Syndrome X、死の四重奏、インシュリン抵抗性症候群、内臓脂肪症候群）が提唱された。我が国においては糖尿病が強く疑われるものが740万人と推定され（2002年糖尿病実態調査）、糖尿病および合併症にかかる社会的負担の抑制が急務である。また、2008年度からは健診・事後指導が義務化されることから、従来の治療から予防事業への転換が迫られている。

#### 2. メタボリックシンドロームの現状

我が国のメタボリックシンドロームの診断基準は、飽食と運動不足によって生じる過栄養を基盤にした心血管病に対する効率の良い予防対策を確立するために作成された。したがって、メタボリックシンドロームを診断し、治療することの最大の目的は循環器疾患発症を予防することである。しかし、個々の病態で有効な運動療法であっても、メタボリックシンドロームに対してどのように作用するかは十分に解明されていないのが現状である。

#### 3. メタボリックシンドロームに対する運動効果に関する身体活動疫学レビュー

疫学関連雑誌に掲載された原著論文および総説を対象として、PubMedにより電子サーチを行った（最終検索日：2006年4月13日）。研究対象をヒト、言語を日本語および英語に制限し、内容を検討して32件を選定した。

レビュー5件を除く27件の研究デザインは、横断研究（13件）、コホート研究（11件）、介入研究（3件）の順であった。主要評価項目はPhysical Fitnessが10件、Physical Activityが9件、Exerciseが3件、Physical FitnessとPhysical Activityを併用した研究は5件であった。

横断研究およびコホート研究では、低体力や身体不活動がメタボリックシンドロームのリスクであることが報告された。また、一部の大規模研究においては体力水準とメタボリックシンドロームや循環器疾患の発症との間に量反応関係を認めていた。

このレビュー時点においては、介入研究は少なく、研究対象は閉経後肥満女性、メタボリックシンドローム、思春期肥満に限定されていた。

#### 4. 今後の課題

我が国においては、「メタボリックシンドロームに対して運動療法は効果があるか？」に答える疫学研究は、現時点では十分とはいえない。このような現状を打開し、我が国における科学的知見に基づいた運動療法の確立が急務である。そのためには関連学会による大規模共同研究を実施し、有効な予防対策の開発が不可欠である。

キーワード：メタボリックシンドローム・運動療法・1次予防・身体活動疫学

# 糖尿病の運動療法効果

木村 朗

聖隷クリストファー大学リハビリテーション学部

## 1. はじめに

糖尿病の運動療法の効果はあるのだろうか。治療概念の進歩にあわせ、身体活動量とともに触れている研究に絞って述べる。

## 2. レビュー

糖尿病をもつ人の生活の中で行われる以上、身体活動量の制御が運動療法の効果を論じる上で必須になっていることから、身体活動量をコントロールした研究に限定する。

エビデンスをあきらかにする因果関係の推定に耐える5項目に沿って国内外の主要な研究報告をレビューする。

### 1) Temporal Sequence 継続性

運動あるいは身体活動は、2型糖尿病の発症リスクの低下と、耐糖能異常者での高血糖の是正について有効とされる。しかし、厳密に発症前から運動や身体活動をコントロールできた研究は少ない。

前向きコホート研究(PC)や比較対照試験の中で、継続性を扱った研究があるという中での判断となる。

(Kiribati study, Mauritius study, Pima Indians study など)

### 2) Strength of Association 関連性の強さ

ごく限られた研究が示す前向きコホート研究や比較対照試験の成績から、規則的で強い身体活動は2型糖尿病の進行の抑制効果として25%から50%の範囲で認められたとしている。

多くの非RCTかRCTでは、IGTの耐糖能が10%の増加と2型糖尿病のHbA1cを0.5から1.0%減少させたとしている。(University of Pennsylvania Alumni Study, Physicians' Health Survey, Nurses' Health Study など)

### 3) Consistency 頑健性

ケースコントロール研究(CS)、PC、RCTとも身体活動と2型糖尿病において、年齢、性別、耐糖能、初期の運動耐容能、人種、民族の違いに関わらず、発症RISKを減少させるという報告がなされている。(British Men study など)

### 4) Dose Response 用量-反応性

2型糖尿病患者における血糖コントロールの改善が身体活動の量と強度との関連で用量-反応性を示したとする証明は十分でない。特に、RCTにおいてそのような研究はない、とされる。

しかし、筆者がかかわった治療プログラムの参加者を対象とした成績において、一定の身体活動の量と強度との関

連で用量-反応性を認める知見を得ている。この結果の一部はフィンランドに本部のある国際環境保健学会にて報告した。

この議論は、臨床試験においてインスリン感受性とHbA1cの減少が有意に生じる強度としてVO2max60-80%であるという報告に対し、低強度(low)から中等度(Moderate)、VO2max50-60%でも運動直後において同様の減少が生じるという報告もあり、一定のコンセンサスを得るに至っていない。

特に、aerobics 運動プログラムの後に、最大酸素摂取量が増加してもOGTT、血糖-インスリンレベルの関連性が改善しないという報告も見られ、従来の知見の見直しが迫られる可能性も否定できない。また、運動の効果としてインスリン様糖取り込みの亢進の存在も示されている。

最近の興味深い研究では1998年に報告されたMayerらの40歳から69歳の男女、1500人を対象とした大規模研究において、年齢、喫煙歴、性別、食事内容、アルコール摂取の要因を調整した分析によると、一週間に5回以上の強い運動を行った群は強い運動をほとんど行わない群に比べ、1.59倍のインスリン感受性の増大を示したという。

(Aerobics Center longitudinal Study, Malmo, Sweden study, Da Qing, China, CRT US. Diabetes Prevention Program など、抵抗運動の効果についてはDurakらが報告している。)

### 5) Biological Plausibility 生物学的尤度

これは、前述の糖尿病が及ぼす運動への影響と運動の生理作用の矛盾のない、データと論理展開がなされた研究が示すものであるが、この判断は大変難しく、運動療法の効果を考える上で、多職種、大勢の研究分野の参画が必要である。

## 3. まとめ(推論の参考として)

以上5項目において、改善を示す報告がここ20年の間に急増し、一定の確度を持って糖尿病の運動療法はその効果が認められつつあると思われる。しかし、厳密な運動療法のみを扱った研究は、ここ数年の間に減っている。それは身体活動、身体活動量の中の構成要素の1つとして運動療法があるというコンセンサスが急速に広がっているからである。身体活動量の研究の中で運動療法を考察しているものである。運動療法自体の研究のスタンスを変化させねばならないことに注意が必要である。

キーワード：糖尿病・インスリン作用・身体活動量

## 糖尿病に対する運動効果の機序：臨床研究の観点から

原田 卓

労働者健康福祉機構 東北労災病院 リハビリテーション科

ここでは、主にヒトを対象とした臨床研究の知見から、糖尿病に対する運動療法の効果を概説する。糖尿病に対する運動の効果としては、大きく分けて運動直後に現れるものと、長期的に代謝が改善されることによる二者がある。前者は急性効果と呼ばれ、後者は長期効果ないし継続効果と呼ばれることが多い。

①**運動の急性効果**：インスリンが十分に作用し、糖代謝が良好に保たれている糖尿病例では、食後血糖値が上昇する時間帯に合わせて20-30分程度でも持続して運動を施行すると、しない場合に比べ血糖上昇の幅が小さくなる。また、血糖値が安定した時間帯でも同様に血糖値は運動前よりも低下する。これに関し、Poirier Pらは、19例（うち18例は経口血糖降下剤加療、1例は食事療法のみ）の2型糖尿病患者で、食後時間と運動による血糖値低下の関係を報告している。運動は、最大酸素摂取量の60%の強度での自転車エルゴを1時間とした。この運動施行時間を一晩の絶食後および食直後から食後5-8時間後までいくつかの設定し、血糖値との関連を評価した。この結果では絶食状態での運動では血糖値に変化はないが、食後であれば、20-40%前後の血糖値の低下が認められた。このような運動による血糖値減少は、運動が急性に骨格筋へのブドウ糖取り込みを促進するためであるが、運動による糖取り込み促進作用はインスリン非依存性である。糖の取り込みは細胞膜表面の糖輸送担体（glucose transporter：GLUT）を介して行われている。骨格筋細胞にある糖輸送担体としては、GLUT4が最も多いが、運動（筋収縮）はこのGLUT4を細胞内から表面へのトランスロケーションを活性化することで、糖取り込みを促進するのである。これが運動によるインスリン感受性の改善である。運動終了後も糖取り込み効果は2-3日間持続するとされている。

②**運動の長期効果**：継続的な運動トレーニングにより、長期効果が出現してくる。代表的なものとしては、1)インスリン感受性の亢進ならびに耐糖能の改善、2)脂質代謝の改善、3)脂肪組織の減量、4)骨量減少の防止、等があげられる。1)糖代謝系においては、運動の継続により骨格筋GLUT4の総量が増加し、またインスリンに反応してトランスロケーションするGLUT4が増加することが明らかとなっている。2)運動トレーニングはまた、2型糖尿病例や肥満例における脂質代謝にも影響を及ぼす。このような例においては、高トリグリセライド血症や低HDLコレステロール血症をまれならず認めるが、運動トレーニングは、LPL（lipoprotein lipase）活性の亢進を介してVLDL（very

low density lipoprotein）の異化を亢進させ、血液中のトリグリセライドを低下させる。また、VLDL分解産物からのHDL3の合成が促進されるとともに、動脈硬化抑制作用の強いHDL2への成熟を促進する。このように運動トレーニングによるインスリン感受性の改善は、骨格筋のみならず、脂肪組織にも及ぶことが明らかになっている。

### 2型糖尿病の運動療法；臨床では？

①**運動療法の適応および禁忌**；禁忌となる例は、血糖コントロールが落ちていない場合、網膜症・腎症などの合併症が著しく進んでいる場合や、重篤な心血管疾患、急性炎症などの場合である。また骨関節疾患が進んでいる場合も制限される。そういったことがない場合でも、特に高齢者では運動療法開始前には、運動負荷試験を実施し、血圧・心電図といった循環器の反応を調べ、安全性を確認することが望ましいと考えられる。

②**運動の種類・強度・頻度**；実際には、どのような運動を、どのような強度で、どのくらいの頻度で行えば効果が得られるのであろうか？広く認められているのは、散歩・ジョギング・水泳と言った、全身の骨格筋を使う有酸素運動であろう。90年代前半までは有酸素運動で運動の効果を検討した研究が多かった。それらによれば、強度は最大酸素摂取量の50-75%と中-高強度で、一回あたり50分から1時間程度を週3-5回行う、とされている。アメリカ糖尿病学会では、運動強度50-74%VO<sub>2</sub>max、1回20-60分で週3-5回行うことを勧めている。このように有酸素運動の効果が認められているにもかかわらず、アメリカや北欧などでは、2型糖尿病の大部分が過体重であり、精神的あるいは社会的などの様々な理由から、散歩などの運動を持続して行うことは少ないのが実情のようである。こういったことからレジスタンス（筋力）運動が注目され、この効果を検討した研究が報告されてきた。それらでは、高齢者でも週3回程度の（高）強度レジスタンス運動を続けることで、4-6週間ほどでインスリン抵抗性の改善や血糖コントロールの改善が得られることが明らかにされた。このようにレジスタンス運動の有効性も証明されており、今後は、有酸素運動だけをすすめることなく、個々人の状況に応じた運動（の組み合わせ）が処方されることが求められて来るだろう。

最後に、BMIが40を超え、糖尿病を合併した症例に対する運動療法を含めたリハビリテーションの実際を紹介する。

キーワード：急性効果・長期効果・レジスタンス運動

## 糖尿病に対する運動効果の分子機序

川中健太郎

新潟医療福祉大学 医療福祉学研究科 保健学専攻 健康栄養学分野

骨格筋は体重の約半分を占める人体最大の器官であり、血糖の80%以上は骨格筋によって取り込まれる。インスリンは血糖効果作用をもつが、この作用はインスリンが骨格筋の血糖取り込みを亢進させるためである。そして、筋に対するインスリン作用不足、つまり、インスリン抵抗性は糖尿病の原因となる。ところで、運動がインスリン抵抗性の改善に有効であるといわれる。これは、運動がインスリンの働きとは無関係に血糖を低下させ、また、インスリンの働きを増強させる働きを有するからである。本シンポジウムでは、このような運動の作用について、筋で糖取り込みの働きを担っているグルコーストランスポーター4型(GLUT4)と呼ばれる糖輸送担体に焦点を当てる。

### ①筋におけるインスリン依存的な糖取り込み

親水性の物質である糖は脂質二重膜である細胞膜を自由に通過することはできない。食事を摂り血糖値が上昇して膵臓からインスリンが分泌されると、インスリンは筋細胞表面に存在する受容体に結合し特異的な情報伝達経路を活性化する。そして、最終的には、普段、筋細胞内部に存在している GLUT4 が細胞膜へトランスロケーションする。GLUT4 は細胞膜上で糖を通過させる門の働きを担う。この糖取り込みのステップが筋の糖代謝の律速段階と考えられている。

### ②運動中の筋におけるインスリン非依存的な糖取り込み

運動中、筋収縮由来に筋はエネルギー源として活発に血糖を取り込む。筋収縮はインスリンと同様に細胞内部に存在する GLUT4 を細胞膜へトランスロケーションさせることによって糖取り込みを亢進させる。しかし、筋収縮とインスリンは各々異なる情報伝達経路を用いて GLUT4 トランスロケーションを引き起こすようだ。Ⅱ型糖尿病患者の場合、筋のインスリン情報伝達経路の活性不全を原因としてインスリン抵抗性が引き起こされる場合が多いが、ほとんどの場合、筋収縮情報伝達経路には異常がない。したがって、Ⅱ型糖尿病患者に運動を処方することによって筋の糖取り込みを亢進させれば、膵臓のインスリン分泌の負担を軽減できる。また、インスリン非依存的な筋収縮情報伝達経路を解明して、運動の血糖降下作用を模倣した糖尿病治療薬を開発しようという試みが、現在、活発に行われている。

筋収縮刺激に特有な細胞内情報伝達経路については、長い間、不明であったが、1998年、Hayashi et al.は、AMP依存性プロテインキナーゼ(AMPK)の薬理的活性化剤である AICAR が摘出筋の糖取り込みを促進させることを明らかにした。AMPK は細胞のエネルギー状態の低下にとともに AMP/ATP 比の上昇によってアロステリックに活性化さ

れるエネルギーセンサーであり、筋収縮によっても AMPK は活性化される。つまり、筋収縮は AMPK を活性化することにより GLUT4 をトランスロケーションさせているようだ。

### ③運動後の筋における糖取り込み上昇

筋収縮によるインスリン非依存的な GLUT4 トランスロケーション作用は、運動終了後、2~3時間経過すると消失する。しかし、骨格筋は運動によって消費した筋グリコーゲンを回復させるために、その後も、活発に血糖を取り込みつづける必要がある。そのため、運動終了 2~3 時間経過した後は、活動筋においては一定濃度のインスリン刺激に対してよりたくさんの GLUT4 が細胞膜へとトランスロケーションできるようになる。つまり、筋のインスリン感受性が上昇する。この現象は、運動がインスリン抵抗性の改善に有効な大きな理由でもある。

運動による筋のインスリン感受性上昇は筋グリコーゲン枯渇程度に依存しているようだ。レースを控えたマラソンランナーなどは、筋のインスリン感受性を顕著に高めることを意図して、試合の数日前まで糖質摂取を制限しながらトレーニングすることによって筋グリコーゲンを、一旦、枯渇させる。そして、筋のインスリン感受性を十分に高めておいたところで、レース前日まで高糖質食を摂取する。これによって筋グリコーゲンレベルは通常の2倍近くに増加し、持久力アップに有効である。この食事処方はグリコーゲンローディングと呼ばれている。

運動終了後数時間が経過すると、活動筋では GLUT4 遺伝子の転写反応が亢進して GLUT4 mRNA が増加し、運動終了 10 数時間が経過すると GLUT4 タンパク量自体が増加する。運動を毎日繰り返して行うことにより、この効果が積算されるので、鍛えられた筋では約 2 倍近くに GLUT4 タンパク発現量が増加する。GLUT4 タンパク発現量増加はインスリン刺激による筋の血糖取り込み能力を増加させ、運動後の筋グリコーゲン再合成を速やかにする。トレーニングすると疲労からの回復も早まるが、その理由のひとつは GLUT4 タンパクの増量である。そして、この効果も運動がインスリン抵抗性の改善に有効な理由である。

先に述べた運動終了 2~3 時間後に生じるインスリン感受性上昇効果、ならびに、10 数時間後に生じる GLUT4 タンパク発現増加効果は活動筋で特異的に生じるものであり、筋収縮由来の現象である。薬理的に AMPK を活性化する AICAR がやはり筋のインスリン感受性を上昇させ、GLUT4 発現を増加させることから、筋収縮由来のインスリン感受性上昇と GLUT4 発現増加についても AMPK 活性化がそのメディエーターである可能性が示唆されている。

キーワード：骨格筋・GLUT4・AMPK

越智 亮<sup>1)</sup> 太場岡英利<sup>2)</sup> 片岡保憲<sup>2)</sup> 森岡 周<sup>3)</sup>

1) 星城大学リハビリテーション学部理学療法学専攻

2) 愛宕病院リハビリテーション科

3) 畿央大学健康科学部理学療法学科

**【目的】**足関節を中心とした姿勢制御では、柔軟性や面積、摩擦など、支持面の状況に大きく影響を受ける。また、外乱に対する姿勢応答は、固定された単なるステレオタイプではなく、状況に応じて機能的に変化することが可能である。今回、足底支持面の摩擦特性と比較的ゆっくりとした受動的傾斜角度の漸増による外乱を用い、摩擦特性によって異なる足関節底背屈筋の筋活動様相と、予測的に「滑る、滑らない」という支持面特性に基づく不安定性を繰り返し与えることにより、姿勢反応に伴う下腿筋活動がどのように変化するかを検証する。

**【方法】**健康男性7名を対象に実験を行った。足底面の傾斜角度変化には、電動斜面台を用い、その上に、以下の3種類の素材で作られた支持面を設置した。支持面は、1) ゴムマット (摩擦大)、2) 木製板 (摩擦中)、および3) ビニールシート (摩擦低) の3種類とした。実験肢位は、支持面上で開眼立位とし、注視点は被験者の前方約1mに設置した。転倒を防ぐため、肩関節90°屈曲、肘関節完全伸展位で固定物に上肢把持させた。足底面は底屈方向へ3°位から角速度約2.67deg/secで15°まで変化させた。3種類の支持面を被験者毎にランダムな順序で施行し、その後、各支持面を繰り返し4回ずつ施行した(計15施行)。被験者軸足の腓腹筋内側頭と前脛骨筋から表面筋電計を用いて筋活動を導出し、各支持面の1施行目と5施行目のデータを記録した。導出データは、傾斜角度漸増の約0°~12°までの4.5秒間の積分値を0.3秒毎に求めた。全波とも最大随意収縮にて振幅の正規化(%iEMG)を行った。

**【結果】**1施行目のゴムマットと木製板では、傾斜角度が増大するのに伴って、内側腓腹筋の活動が増大し、前脛骨筋の活動増加はみられず、一定であった。一方、1施行目のビニールシートでは、傾斜角度が増大するのに伴って内側腓腹筋は傾斜角度5°から減少し、前脛骨筋活動が増大し、ゴムマットや木製板とは異なった活動様相を示した。5施行目のゴムマットと木製板では、傾斜角度の漸増に伴う筋活動のバラつきが減少した。また、5施行目のビニールシートでは、内側腓腹筋の活動が傾斜角度に伴って増大し、前脛骨筋の活動はみられず、一定で、1施行目とは全く異なった活動様相を認めた。

**【考察】**実験結果から、足底面の傾斜角度の受動的漸増に対する足関節底背屈筋の活動が支持面の摩擦抵抗によって異なることが示された。さらに、1施行目のビニールシート支持面で認められた前脛骨筋の活動増大は、5施行目では減少し、突発的なスリップに対して補償するための準備的反応であったことが考えられる。このような筋活動反応は、繰り返しの外乱によって支持面の摩擦特性が既知となった場合、その後の外乱に対しても即座に修正され得ることが考えられた。また、比較的ゆっくりとした傾斜刺激による外乱によって、実際の転倒やスリップの経験を与えなくても下腿筋の筋活動様相が変化することが明らかとなった。

キーワード

摩擦・姿勢制御・適応・筋電図

本研究の独創的な点

支持面の摩擦特性に着目するとともに比較的ゆっくりとした支持面の傾斜角度漸増を外乱として用いた点。

芥川知彰 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】小島ら(2002, 2004)は、加速度変化の周波数解析結果を確率曲線に見立てて算出した平均情報量を動作の円滑さを示す指標にしており、歩行中の加速度についても易転倒性の指標として検討を行っている。我々は、その手法を変形性股関節症(Hip OA)症例の歩行評価に応用し、側方、前後、垂直の各方向への体幹加速度変化を詳細に捉えることで、視覚的には確認できない歩行の特異性を検討可能になると考えた。そこで今回、評価手法の妥当性を検討するために若年健常成人を対象に平均値および信頼性係数を求め、症例との比較を行った。

【方法】対象は下肢や中枢に既往のない健常成人6名(男性2名、女性4名、 $23.3 \pm 2.1$ 歳)と、片側Hip OA症例4名(男性1名、女性3名、 $60.5 \pm 9.4$ 歳)である。対象の第3腰椎の高さに3軸加速度計を固定し、歩行補助具を用いない快適歩行にて約15mの歩行路を3回歩行させ、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5歩行周期の加速度波形に高速フーリエ変換を用いて周波数解析を行い、解析結果の0~50Hzまでのパワースペクトルをテキストファイルに置換した。そして、パワースペクトルをその周波数成分の発生頻度と見なして平均情報量を求め、3軸成分別に3回の平均値を算出した。平均情報量は乱雑さを表す指標であり、ここでは数値が大きいくほど滑らかさに欠けることを意味する。さらに、健常成人6名の平均情報量については、級内相関係数ICC(1, 1)を用いて3回の解析結果の信頼性を検討した。

【結果】健常成人の平均情報量は側方成分 $7.0 \pm 0.3$ bit、前後成分 $6.2 \pm 0.2$ bit、垂直成分 $5.9 \pm 0.3$ bitであった。また、ICC(1, 1)は側方成分0.92、前後成分0.91、垂直成分0.96と高い信頼性を有した。症例の平均情報量は、側方成分 $6.9 \pm 0.7$ bit、前後成分 $6.4 \pm 0.7$ bit、垂直成分 $6.5 \pm 0.8$ bitであり、垂直成分が健常成人に比較してやや高い値を示した。症例別では、側方成分で1例(7.7bit)、垂直成分で2例(7.4, 7.1bit)が健常成人の平均値より高い傾向にあった。

【考察】ICC(1, 1)の結果より、健常成人における評価手法の信頼性は十分なものであった。周波数解析結果の平均情報量が低値であることは、元の加速度信号に周期性を有する限られた周波数の信号が多く含まれていることを意味する。逆に、平均情報量の高値は元の加速度信号に多様な周波数成分が含まれることを意味しており、加速度の周期性の欠如を反映する。Hip OA症例では、健常成人と比較して側方成分と垂直成分で高い平均情報量を呈する例が存在し、前額面上における体幹加速度の滑らかさの欠如が示唆された。今後は、症例群に年齢の近いコントロール群との比較、歩行速度などの各パラメータと平均情報量の相関、Hip OA症例における疼痛性のDuchenne歩行や股関節外転筋力低下といった前額面上の異常所見との関連や、術後の経時的な変化についても検討が必要であると考えられる。

キーワード

歩行・滑らかさ・体幹加速度・平均情報量・変形性股関節症

本研究の独創的な点

歩行中の体幹加速度の滑らかさを3軸成分で分析し、変形性股関節症症例における特徴を検討した点。

【はじめに】我々は以前、健常若年者、健常高齢者、内側型変形性膝関節症（膝 OA）の 3 群間において、側方成分のピーク時間は健常高齢者より膝 OA 群にて有意に短縮し、側方成分の平均周波数（MPF）は健常若年者より膝 OA 群にて有意に減少することを報告した。しかし、膝 OA の病期別の運動学的特長は明らかでない。本研究の目的は歩行時の脛骨運動、筋活動動態を膝 OA の病期別で比較し、運動学的特長を把握することで、病期別の理学療法プログラム立案の一助としたい。

【対象】Kellgren & Lawrence の病期分類（K-L 分類）にて Grade I が 3 名、II が 3 名の計 6 名（平均年齢 70.8±6.2 歳）の軽度膝 OA 群と Grade III が 3 名、IV が 3 名の計 6 名（平均年齢 67.8±10.0 歳）の進行期膝 OA 群とした。

【方法】測定課題は自由歩行とし、連続する 3 歩行周期を解析対象とした。(1) 脛骨運動評価：3 軸加速度計を腓骨頭直下、足関節外果直上に貼付し、加速度波形の鉛直成分、前後成分、側方成分をそれぞれ導出した。まず、足関節外果部の鉛直成分より踵接地期（HC）を同定し、1 歩行周期を 100%とした。次いで、腓骨頭部の前後成分、側方成分のピーク値に達するまでの時間（ピーク時間）、ピーク値を含む加速度波形の峰数を求めた。また、側方成分については高速フーリエ変換を行い、パワースペクトルを算出し、MPF を求めた。(2) 筋活動評価：評価筋は VM、VL とした。得られた筋電波形より筋活動開始時間（On）、筋活動終了時間（Off）を求めた。また、筋活動開始から HC（On-HC）、筋活動開始から筋活動終了（On-Off）までの積分値（IEMG）を求めた。それぞれの IEMG は、まず、筋活動時間で除し時間正規化を行い、次いで、最大等尺性膝関節伸展運動時の IEMG で除し振幅正規化を行い、%IEMG を求めた。

【統計処理】Student の t 検定及び Mann-Whitney の U 検定にて脛骨運動・筋活動評価の 2 群間の有意差を求めた。2 群間で有意差が認められた脛骨運動評価項目を目的変数とし、筋活動評価項目を説明変数として、重回帰分析を行った。なお、有意水準は 5%未満とした。

【結果】脛骨運動評価において側方成分のピーク時間は進行期膝 OA 群が軽度膝 OA 群より有意に短縮していた。筋活動評価では 2 群間で有意な差は認めなかった。側方成分のピーク時間を説明する因子は認められなかった。

【考察】木藤らは健常高齢者と K-L 分類にて Grade IV の膝 OA 群の加速度波形を比較し、膝 OA 群の加速度波形の多峰化、側方成分のピーク時間の短縮、MPF の減少などを報告している。本研究では側方成分のピーク時間のみ進行期膝 OA 群と軽度膝 OA 群に有意な差が認められ、病期別に加速度波形の特徴が認められることが示唆された。また、側方方向へのピーク時間に VM、VL の筋活動動態の関与が認められないことから、今後、他の筋の筋活動動態の関与を検討したい。

#### キーワード

変形性膝関節症・歩行・加速度計・筋活動

#### 本研究の独創的な点

内側型変形性膝関節症の病期別で歩行時における脛骨運動及び内側広筋、外側広筋の筋活動動態を比較した点。

平田恭子<sup>1)</sup> 山崎麻耶<sup>2)</sup> 濱本寿治<sup>1)</sup> 永瀬慎介<sup>1)</sup> 鶴崎俊哉<sup>3,4)</sup>

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

4) 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科保健学専攻理学・作業療法学講座

#### 【目的】

我々は第 11 回理学療法の医学的基礎研究会において、表面筋電図周波数解析の再現性について筋疲労を基に検討し、疲労後に再現性が高いことを示唆した。今回は、2 ヶ月以上期間をあけた異なる期日にて再現性を検討し、2 種類の負荷量での筋疲労過程を含め、表面筋電図周波数解析における再現性について検討した。

#### 【方法】

対象は健常な成人女性 11 名(平均 23.4±1.1 歳)で、被験筋を左上腕二頭筋とし、筋腹の遠位 3 分の 1 に前処理後、電極間 2cm にてディスプレイ電極を貼付した。被験者を椅座位にて肩関節 0 度、肘関節 90 度、前腕回外位とし、測定中の肘関節の角度を測定するため、電気角度計を装着した。測定はまず等尺性収縮にて屈曲方向に 5 秒間最大随意収縮(以下、MVC)を行った。その後、MVC の 20~30%となるダンベルを把持し、メトロノームに合わせ 4 秒間で、肘関節屈曲 90 度より最大屈曲位を範囲とした屈曲伸展運動(以下、低負荷時)を運動が可能な限り行わせた。また、徒手抵抗にて最大抵抗をかけ同様の運動(以下、高負荷時)を 7 回行った。各運動は 5 分間の休息をとり random order にて行った。測定中の筋電図、電気角度計のデータはマルチテレメータを、筋トルクのデータは生体計測システム(NF 回路ブロック製)を用いて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み、データを同期させた。測定は 2 ヶ月以上の期間をあけ同被験者にて 2 回ずつ行った。得られた 2 回のデータから低負荷時は 10 回分、高負荷時は 5 回分、電気角度計の屈曲方向に転じた点から 1 秒間を選択し、科学技術計算ソフト(MathWorks 社製 MATLAB6.5 および Wavelet Tool Box)にて Daubechies 5、分解レベル 5 で離散 Wavelet 変換を施行した。エネルギー密度の総和を TP<sub>w</sub>、分解レベル j におけるエネルギー密度を PD(j)、PD(j) と TP<sub>w</sub> の比を RPD(j) として算出し、SPSS を用いて級内相関係数(Intraclass correlation coefficients ; 以下 ICC)を求めた。

#### 【結果】

各被験者間の 1 回目と 2 回目の RPD(j)において、高負荷時は ICC=0.9287、低負荷時は ICC=0.9503 と高い相関が得られた。TP<sub>w</sub> においては、高負荷時 ICC =0.3007、低負荷時 ICC=0.6824 であった。

#### 【考察】

今回の結果において、負荷の種類を問わず RPD(j)は筋疲労過程を含めて再現性が高いことが示唆された。筋疲労過程での周波数の変化には、運動単位やインパルスの発射頻度の変化が関与していると考えられ、負荷量によっても経過は異なると考えられる。また、表面筋電図では電極位置が大きく影響し、同被験者についても測定日によりデータが変化するなど、表面筋電図では再現性を得ることが難しいとされてきた。しかし、時間周波数解析で得られる RPD(j)に高い再現性が得られたことで、筋疲労の指標としての RPD(j)に有用性が示唆された。

#### キーワード

筋疲労・表面筋電図・周波数解析・再現性

#### 本研究の独創的な点

疲労過程についての再現性を表面筋電図周波数解析を用いて行った点。

山崎麻耶<sup>1)</sup> 永瀬真介<sup>2)</sup> 平田恭子<sup>2)</sup> 濱本寿治<sup>2)</sup> 鶴崎俊哉<sup>3)</sup> 上野尚子<sup>1)</sup> 志谷佳久<sup>1)</sup> 西村仁美<sup>2)</sup>  
林田真一郎<sup>4)</sup>

1) 長崎北病院 2) 長崎百合野病院  
3) 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科保健学専攻理学・作業療法学講座  
4) 長崎大学医学部保健学科

### 【目的】

我々は、表面筋電図(SEMG)周波数解析の再現性について筋疲労を基に検討し、疲労後に再現性が高いことを示唆した。そこで今回は、負荷量を低負荷・高負荷の2種類設定し、疲労過程における SEMG 周波数の変化について検討した。

### 【方法】

対象は健康成人女性 11 名(23.4±1.1 歳)、被験筋は非利き手側の上腕二頭筋とした。測定肢位は非足底接地の椅坐位で、肩関節基本肢位、肘関節 90 度屈曲位、前腕 90 度回外位にて肘を台に固定した。被験筋上の皮膚を十分処理した後、電極間距離 2cm にてディスポーザブル電極を貼付し、肘関節には電子角度計を装着して測定中の肘関節角度を計測した。被験者には最大随意収縮(MVC)を測定後、低負荷および高負荷にて肘関節屈伸運動を反復して行わせた。その際の順番はランダムに振り分けた。低負荷は MVC の 20~30%に相当するダンベルを使用し、疲労により運動困難となるまで動作を行わせた。高負荷は最大筋力で運動を 5 回繰り返す、その際の関節トルク(TQ)も計測した。各測定の間には 5 分間の休憩をとった。

SEMG はマルチテレメーター(日本光電社製)を用い、サンプリング周波数 1kHz にて PC に取り込んだ。解析は採取したデータから、高負荷は各回数の屈曲相から各一秒間を、低負荷は運動総数を 10 等分した回数 of 屈曲相から各一秒間を選択し、MATLAB6.5 および Wavelet Tool Box (MathWorks 社製)にて Daubechies 5、分解レベル 5 で離散 Wavelet 変換を施行した。その後、エネルギー密度の総和を TPw、分解レベル j におけるエネルギー密度と TPw の比を RPD(j)として算出し、各負荷量の疲労経過に沿ってそれぞれを比較した。得られたパラメーターは Stat View5.0 を用いて分散分析および多重比較を行った。また負荷による運動終了後の周波数成分割合の再現性を級内相関関数にて検討した。

### 【結果および考察】

低負荷にて運動の平均回数は約 34 回(最大 66 回・最小 16 回)だった。高負荷にて疲労前と疲労後で最大 TQ は約 5%減少した。TPw は負荷に関わらず筋疲労に伴い増加し、疲労前後の増加の割合は高負荷で約 2.8 倍、低負荷で約 10.5 倍であった。

RPD(j)の経時的変化は負荷量に関わらず RPD(1)~(3)で減少傾向を、RPD(4)(5)で増加傾向を示した。また、高負荷ではゆるやかな曲線であるのに対して低負荷では増減にばらつきがみられ、RPD(3)において特にばらつきが大きかった。動的な運動においては角度変化によって相対的な負荷量も変わってくる。加えて 30%MVC 付近は Type IIa 線維が働きはじめる境界であるという報告もあり、低負荷では動員される運動単位が変化したためにばらつきがみられたのではないかと考えた。

疲労後の周波数成分の割合は高い再現性を示した。これは負荷量にかかわらず、疲労後は活動に参加できる運動単位が限られるためと考えた。

### キーワード

疲労過程・負荷量・wavelet 変換

### 本研究の独創的な点

負荷量の違いによる筋疲労過程を表面筋電図周波数解析にて検討した点。

濱本寿治<sup>1)</sup> 永瀬慎介<sup>1)</sup> 平田恭子<sup>1)</sup> 志谷佳久<sup>2)</sup> 山崎麻耶<sup>2)</sup> 鶴崎俊哉<sup>3)</sup>

1)長崎百合野病院 2)長崎北病院

3)長崎大学大学院医歯薬学総合研究科保健学専攻理学・作業療法学講座

## 【はじめに】

筋疲労による筋電図の変化については、筋電位振幅の増大、平均周波数が低周波へシフトする等の報告がある。これらの報告の多くは等尺性収縮によるものであり、比較的少ない動的な収縮での報告は求心性収縮によるものである。そこで、遠心性収縮(ecc)での筋疲労過程を検討するために、上腕二頭筋の求心性収縮(con)とeccをwavelet変換を用いて比較した。

## 【方法】

対象は、健康女性11名(年齢 $23.4 \pm 1.1$ 歳)で、被検筋を上腕二頭筋として遠位1/3部に電極間距離2cmでディスプレイ電極を貼付した。測定肢位は非足底接地の椅子坐位とし、前腕を台の上ののせ肘関節屈曲90度、前腕回外90度とした。まず等尺性収縮により最大随意収縮(MVC)を測定した。次に、20~30%MVCのダンベルを把持させ、屈伸運動を1試行屈曲2秒、伸展2秒で反復させた。運動のリズム設定にはメトロノームを用い、リズムに合わせられなくなるまで測定した。筋電図と肘関節角度、関節トルクは、マルチテレメーターシステム(日本光電社製)および生体計測システム(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み、データを同期させた。

採取したデータの全試行時間を100%とし、運動開始から10%毎の時間に相当する1試行を選択した。選択した各試行における同じ関節角度でのconとeccの各々1秒間のデータを取り出した。各データをMATLAB6.5(Math Works社製)にてMother Waveletにdaubechies5を選択し、分解レベル5にて離散wavelet変換を行い、筋電信号の総パワー(TPw)と分解レベルj毎のパワー密度比(RPD(j))を算出した。

得られたTPwとRPD(j)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及び多重比較を行った。

## 【結果】

TPwの平均値は、conの初期と比較すると、eccの初期、疲労後のcon、eccはそれぞれ0.5倍、10.5倍、2.4倍であった。

RPD(j)は、conとeccで初期と疲労後と比較して、RPD(3)は減少傾向、RPD(5)は増加傾向にあった。また、conとeccを比較すると、eccがRPD(3)で低く、RPD(5)で高い傾向にあった。

## 【考察】

conとeccでの筋疲労過程では、TPwは初期と比較して疲労後が増加傾向にあり、活動している運動単位数の増加が示唆された。また、RPD(j)では初期と比較して疲労後では、低周波帯の増加が認められ、先行研究を支持する結果となった。

conとeccを比較すると、eccがTPwは小さく、周波数帯の異なる活動を示した。eccはconと異なる収縮形態を呈しているのではないかと考える。この要因として、軟部組織による直列弾性要素等の筋活動によらない張力が働いた可能性等が考えられた。

## キーワード

筋疲労・遠心性収縮・wavelet変換

## 独創的な点

求心性収縮と遠心性収縮について筋疲労過程をwavelet変換を用いて比較・検討した点。

表面筋電信号を利用した関節トルクの推定  
—関節角度の影響に関して—

志谷佳久<sup>1)</sup> 西村仁美<sup>2)</sup> 永瀬慎介<sup>2)</sup> 平田恭子<sup>2)</sup> 濱本寿治<sup>2)</sup>  
上野尚子<sup>1)</sup> 山崎麻耶<sup>1)</sup> 林田慎一朗<sup>3)</sup> 鶴崎俊哉<sup>3)</sup>

- 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

【目的】我々は一定の関節角度において関節トルク (TQ) を漸増させた際および同時収縮を伴った TQ 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。しかし、関節角度の変化に対する影響に関しては検討できていない。そこで、動作時筋緊張評価への足がかりとして、複数の関節角度毎に等尺性収縮を行い TQ 推定の可能性を検討した。

【対象および方法】対象は健康な成人女性 8 名 (平均年齢, 22.8±1.3 歳), 測定肢位は背臥位で前腕 90 度回外位, 肘関節 0, 30, 60, 90, 120 度屈曲位とした。被験筋は上腕二頭筋長頭, 短頭, 上腕筋, 腕橈骨筋, 上腕三頭筋長頭, 外側頭, 内側頭の 7 筋とし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) の表面筋電信号を導出するため, 電極間距離を広く取り (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。測定は各角度で肘関節の等尺性収縮を行い, TQ をロードセル (エアンドディ社, 以下 LC) にて計測した。1) 最大筋力までの漸増的な屈曲 5 秒, 2) 同様に漸増的な伸展 5 秒, 3) 最大同時収縮を 5 秒間保持し, それを継続したまま漸増屈曲 5 秒, 漸増伸展 5 秒, 4) 同時収縮を中程度とし 3) と同様, の 4 方法を順番は無作為に 5 種類の角度で行なった。各施行間には十分な休息をとった。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。測定した 5 秒間の信号は 0.5 秒間隔で 10 箇所, 方法 3)4) においては 15 秒間の信号を 0.5 秒間隔で 30 箇所切り出し MATLAB Ver.6.5.1 (MathWork 社製) を用いて Daubechies5 で離散 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 (以下, TPw) を求めた。各関節角度における各筋の TPw の平方根 (以下 sqrtTPw) と TQ の関係から重回帰分析により有意水準 5% 未満の組み合わせの筋を選択し, 関節角度ごとに 1)2)3)4) 全ての sqrtTPw から TQ を推定する式を作成した。そして, それらの推定式に異なる角度の sqrtTPw を代入した際の推定 TQ を求めた。なお, 統計処理は全て Stat View Ver.5 を用い有意水準 5% 未満で行なった。

【結果】重回帰分析より肘屈筋群と肘伸筋群の sqrtTPw を用いた TQ の推定式 ( $p < 0.0001$ ) を求めた。各関節角度の推定式にその角度での sqrtTPw を代入した場合, 実測 TQ と推定 TQ に高い相関を示し, それぞれは傾き 1 の比例関係に近似であった。しかし, それぞれの推定式に異なる角度の sqrtTPw を代入すると, 推定式の角度からより離れた角度での sqrtTPw を代入した場合に, より低い相関を示した。

【考察】筋電信号を用いた TQ の推定値は漸増的な運動と同時収縮を伴った運動のいずれにおいても各関節角度においては同一の式で導出可能であることが示唆された。しかし, 同一の式での動作時 TQ の推定は困難であり, 関節角度の変化に応じて sqrtTPw に掛ける係数を変化させる必要がある。これは, 肘関節角度によって同程度の筋張力 (出力) で発生する関節モーメントが異なること, 肘関節の TQ の推定に上腕の 2 筋群以外の筋が影響していることが考えられる。今後角度変化に応じた補正因子, 被験筋の選定の検証がさらに必要である。

キーワード

表面筋電信号・関節トルク・関節角度・重回帰分析・離散 Wavelet 変換

本研究の独創的な点

複数の肘関節角度における等尺性収縮時の表面筋電信号から関節トルクを推定し, 角度の影響を検討した点。

西村仁美<sup>1)</sup> 志谷佳久<sup>2)</sup> 永瀬慎介<sup>1)</sup> 平田恭子<sup>1)</sup> 濱本寿治<sup>1)</sup> 永瀬慎介<sup>1)</sup> 鶴崎俊哉<sup>3)</sup>

1) 長崎百合野病院 2) 長崎北病院  
3) 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科

### 【目的】

関節トルク(TQ)は動筋群と拮抗筋群が発生するトルクの差であり、我々は肘関節90度におけるTQと表面筋電信号からTQを推定し、動筋群と拮抗筋群各々のトルクに分解できることを報告した。今回、他の角度においても同様にトルクの推定と分解が可能か検討した。

### 【対象および方法】

対象は健常な成人女性8名(22.8±1.3歳)、測定肢位は背臥位で肘関節0, 30, 60, 90, 120度屈曲位とした。被験筋は上腕の7筋で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(屈筋群)および伸筋群(伸筋群)として上腕長中心に電極間距離60mmにて電極を貼付した。測定は各角度で肘関節の等尺性収縮を行い、TQをロードセル(LC)にて計測した。通常運動時のモデルとして1)漸増的な屈曲5秒、2)漸増的な伸展5秒の2方法(漸増テスト)、非効率な運動時のモデルとして3)最大同時収縮を5秒間保持し、そのまま漸増屈曲5秒、漸増伸展5秒、4)同時収縮を中程度とし3)と同様の2方法(同時収縮テスト)の計4方法を順番は無作為に5種類の角度で行なった。各施行間には十分な休息をとった。筋電信号およびLC信号は生体計測システム(NF回路設計ブロック社製)を經由し、サンプリング周波数1kHzにてPCに取り込んだ。測定信号は全て0.5秒間隔で切り出し、MATLAB Ver.6.5.1(MathWork社製)を用いてDaubechies5で離散Wavelet変換を行い、筋電信号のエネルギー密度の総和(TPw)を求めた。各筋のTPwの平方根(srTPw)とTQの関係から重回帰分析により有意水準5%未満の組み合わせの筋を選択し、TQをsrTPwから推定する式を作成した。なお、推定式による推定TQと実測TQとの比較はすべてStat View Ver.5を用い有意水準5%未満で統計処理を行なった。

### 【結果】

重回帰分析より漸増テストと同時収縮テスト共に屈筋群と伸筋群の2筋群のsrTPwを用いた組み合わせにおいて、全ての角度で屈筋群が正、伸筋群が負の回帰係数となり各回帰係数および重回帰式は $p<0.0001$ を満たした。各推定TQと実測TQは高い相関を示し(0.958>R<sup>2</sup>>0.826)、漸増テストと同時収縮テストの推定式は互いに高い相関(0.968>R<sup>2</sup>>0.889)を示した。

### 【考察】

各角度の推定式が有意な値を示したことから関節角度に関わらずTQは推定できると考えられる。本研究では、屈筋トルクと伸筋トルクを各srTPwと回帰係数の積で表現した。各角度で屈筋トルクと伸筋トルクは正負の値を取るベクトル量と考えられ高い精度で推定可能であり、TQの分解が可能と考えられる。また漸増テストと同時収縮テストの推定式が相互に高い相関を示したことから、筋収縮の状態に関わらず推定式が作成できることが示唆された。今後はこれらを動的運動におけるTQの推定へと発展させるため、関節角度の変化を取り入れた推定式を作成する必要がある。

### 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・関節角度

### 本研究の独創的な点

関節トルク(TQ)を動筋群と拮抗筋群のトルクの差と考え、複数の角度にて表面筋電信号からTQを推定した点。

石井禎基<sup>1)</sup> 伊藤秀明<sup>3)</sup> 和足孝之<sup>4)</sup> 藤野英己<sup>1)</sup> 武田功<sup>1)</sup> 土屋禎三<sup>2)</sup>

1) 姫路獨協大学医療保健学部

2) 帝京平成大学健康メディカル学部

3) 山口大学医学部

4) 岡山大学医学部

【目的】我々は、長時間持続収縮が骨格筋に与える影響について、動力学的手法を用いた実験結果を本学術集会（本学会）で報告してきた。その中で、収縮過程における骨格筋の単位面積あたりの最大強縮張力は変化しないこと、短縮速度が低下すること、そして弛緩過程においてアクチンとミオシンの相互作用が増加することなど持続収縮による力学的変化が明らかとなった。そこで、今後収縮過程および弛緩過程における変化がどのような要因によるものかを検討するために、本研究において、持続収縮による影響が骨格筋細胞の大きさにどのような変化を与えるのかを組織学的・組織化学的手法を用いて調べた。

【材料と方法】持続収縮を人為的に動物に与えることは非常に困難なため、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、材料に日本アカガエル (*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：AC）、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：AA）、両グループともに低温室（4℃）の同条件下で3週間飼育した。両グループより同程度の雄カエル1個体ずつ（AC：体長 52 mm, 体重 13.4 g, 前腕長 10.5 mm, 前腕周囲 24 mm, AA：体長 51 mm, 体重 12.4 g, 前腕長 10.0 mm, 前腕周囲 22 mm）無作為に選択した。それぞれの個体から FCR を摘出し、静止長にて急速凍結させ、連続凍結切片を作成後、染色（HE 染色, ATPase 染色 (pH 10.1, pH 4.9), SDH 染色) を行った。筋線維断面積を測定後、有意水準 1% で *t* 検定を行った。

【結果】比較対象の筋線維細胞数は AC は 848 そして AA は 858 であった。細胞断面積平均（AC：2745 ± 2050 μm<sup>2</sup>, AA：3288 ± 2400 μm<sup>2</sup>）は有意に AA が大きかった。次に、ATPase 染色（pH 10.1, pH 4.9）結果は、それぞれの条件下で染色無し、淡染、濃染の3段階の染色状態を呈し、カエル骨格筋の筋線維タイプは9つに分類されたが、煩雑になるため SDH 染色と対応させ slow fiber と fast fiber の2タイプに分類して検討を行った。それらの断面積平均を比較した結果、両タイプともに AA の方が AC と比べて有意に増加していた。

【考察】本研究結果より、骨格筋を持続的に収縮させた場合、筋線維タイプに関係なく筋線維を肥大させることが明らかとなった。fast fiber は疲労し易く slow fiber は耐疲労性をもつという一般論から考えると、持続収縮により fast fiber は疲労するため何らかの負の傾向が起これると考えていたが、結果は予想に反していた。これは抱接行動時に特異な筋線維活動パターンがあるのか、あるいは筋タイプ組成の変化が生じた結果なのか現在のところ不明であるが、今後収縮過程および弛緩過程の力学的変化の実験を行う過程で、この結果もさらに検討していきたい。

キーワード

骨格筋・持続収縮・骨格筋細胞断面積・筋線維タイプ

本研究の独創的な点

骨格筋の長時間持続収縮に着目し、そのときの骨格筋に与える影響を組織学的・組織化学的に示した点。

藤田直人<sup>1)</sup> 藤本太郎<sup>1)</sup> 田崎洋光<sup>2)</sup> 荒川高光<sup>3)</sup> 松原貴子<sup>2)</sup> 三木明德<sup>3)</sup>

1) 神戸大学大学院医学系研究科

2) 名古屋学院大学人間健康学部リハビリテーション学科

3) 神戸大学医学部保健学科

### 【目的】

骨アライメントの変化やギプス固定により、骨格筋の長さや張力が変化し、もとの運動パフォーマンスを獲得できないケースは多く認められる。廃用性筋萎縮の研究では、骨格筋は伸張位に固定するとその萎縮が軽減され、短縮位に固定すると萎縮は助長されることが知られている。しかし、それらは別々の実験系での報告しかなくされていない。骨格筋の萎縮を予防し、その後の運動パフォーマンスの向上につなげるためには、主動作筋と拮抗筋の相互作用を考慮するべきである。よって拮抗関係にある筋は別々の実験系ではなく、同一実験系内で観察する必要がある。そこで今回、後肢懸垂マウスの足関節を背屈位または底屈位で固定する操作を加え、拮抗関係にある前脛骨筋とヒラメ筋を同一実験系内で観察した。

### 【方法】

11週齢の ddY 系雄マウス 20 匹を用い、無処置対照群 (C 群)、後肢懸垂のみを行った群 (HS 群)、足関節を最大背屈位でギプス固定して後肢懸垂を行った群 (HS-D 群)、足関節を最大底屈位でギプス固定して後肢懸垂を行った群 (HS-P 群) の 4 群に区分した。2 週間の実験期間終了後、前脛骨筋とヒラメ筋を末固定で摘出し、筋湿重量を測定した後、各筋の中央部を急速凍結した。約 10  $\mu$ m 厚の連続横断切片を作製し、H-E 染色と ATPase 染色を施し、光学顕微鏡で観察した。また筋線維横断面積を計測し、一元配置分散分析および Scheffe の多重比較検定を用いて比較した。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】

前脛骨筋とヒラメ筋はともに、短縮位固定より伸張位固定において、筋湿重量や筋線維横断面積の減少を軽度にとどめられた。伸張位固定による筋萎縮の軽減は、前脛骨筋では深層部よりも、先行研究においてタイプ 2 線維割合が高いとされている浅層部において著明であり、ヒラメ筋ではタイプ 1 線維よりもタイプ 2A 線維において著明であった。またヒラメ筋のタイプ 1 線維は、伸張位固定と短縮位固定の間に差がなかった。筋萎縮の軽減は、前脛骨筋では HS-P 群、HS 群、HS-D 群と固定した筋の長さが長い順で得られたのに対し、ヒラメ筋では HS-D 群、HS-P 群、HS 群の順であり、ヒラメ筋にとって最も短縮位である HS-P 群よりも HS 群の方が萎縮した。

### 【考察】

骨格筋の萎縮に影響を及ぼす因子は、固定する筋の長さだけではないということが明らかになった。筋線維タイプと骨格筋の形態的特徴は、骨格筋の長さ変化に対する適応を修飾していると考えられた。また、ヒラメ筋は HS 群が最も萎縮したことから、固定中の筋活動の種類と拮抗関係にある筋間の相互作用も、骨格筋の長さ変化に対する適応を修飾している可能性が示唆された。

### キーワード

筋萎縮・伸張・短縮・タイプ 2 線維・拮抗筋

### 本研究の独創的な点

骨格筋の長さ変化に対する適応を、個別の実験系ではなく、同一実験系にて形態学的に検討したこと。

## 11 ギプス固定前の温熱負荷によってラット骨格筋の廃用性筋萎縮の発生が軽減できるか？

吉田奈央<sup>1)</sup> 沖田 実<sup>2)</sup> 坂野裕洋<sup>2)</sup> 陣内裕成<sup>2)</sup> 田中千春<sup>2)</sup>

- 1) 八田なみき病院
- 2) 星城大学

【目的】熱などの様々なストレスによって細胞内に発現する Heat shock protein (HSP) 70 には、アミノ酸の新生ポリペプチド鎖の伸張や正しい折り畳みを介助したり、損傷したタンパク質を修復する機能があり、タンパク質の合成・分解過程で重要な役割を演じている。そして、先行研究ではプレコンディショニングにおいてラットヒラメ筋に温熱負荷を行い、HSP70 の発現を高めておけば、その後に微少重力環境を暴露しても筋萎縮の発生は少ないと報告されている。しかし、どのタイプの筋線維に対してこのような効果が認められるかは明らかにされていない。そこで、本研究ではギプス固定前の温熱負荷によってラット骨格筋の廃用性筋萎縮の発生が軽減できるのかを筋線維タイプ別に検討した。

【方法】Wistar 系雄性ラット 16 匹 (平均体重 ;  $261.9 \pm 5.2$ g) を、1) 無処置の対照群 (Cont 群,  $n=5$ )、2) 両側足関節を最大底屈位で 7 日間ギプス固定を行う群 (Im 群,  $n=5$ )、3) 約  $41^{\circ}\text{C}$  の全身温熱負荷を 60 分間行い、その 12 時間後から Im 群同様、7 日間ギプス固定を行う群 (H+Im 群,  $n=6$ ) に分けた。実験終了後は両側のヒラメ筋と足底筋を採取し、筋湿重量を体重で除した相対重量比を求めた。そして、右側試料は凍結横断切片とし、myosin ATPase 染色によりヒラメ筋はタイプ I・IIA 線維に、足底筋はタイプ I・IIA・IIB 線維に分別し、各々の筋線維横断面積を測定した。また、左側試料から筋抽出液を作製し、Western blot 法にて HSP70 含有量を測定した。各パラメータの統計処理には、一元配置分散分析ならびに Fisher PLSD 法による多重比較検定 (有意水準 : 5%未満) を適用し、各群の比較を行った。なお、本実験は星城大学研究倫理委員会に研究計画書を提出・承認を得て実施した。

【結果】1) ヒラメ筋 : 相対重量比とタイプ IIA 線維横断面積は Im 群が Cont 群より有意に低値で、H+Im 群は Im 群より有意に高値を示した。タイプ I 線維横断面積と HSP70 含有量は Cont 群と Im 群に有意差を認めなかったが、H+Im 群は Im 群より有意に高値を示した。2) 足底筋 : 相対重量比とタイプ IIB 線維横断面積は Cont 群に比べ Im 群、H+Im 群は有意に低値で、Im 群と H+Im 群に有意差を認めなかった。タイプ I・IIA 線維横断面積は Cont 群、H+Im 群、Im 群の順に高値で、各々の群間に有意差を認めた。HSP70 含有量は H+Im 群が Cont 群より有意に高値で、Cont 群と Im 群には有意差を認めなかった。

【考察】今回の結果は、プレコンディショニングにおいて温熱負荷を行い、骨格筋内の HSP70 を高めておけば、ギプス固定によって惹起されるタイプ I・IIA 線維の構成タンパク質の合成低下、ならびに分解亢進を抑制し、これら筋線維タイプの萎縮の発生が軽減できることを示唆していると思われる。しかし、今回の結果ではタイプ IIB 線維の萎縮の発生を軽減することは困難であり、上記に示した温熱負荷の効果は、遅筋線維の構成が多い骨格筋に対して有効ではないかと推察される。

キーワード

温熱負荷・Heat shock protein 70・筋線維タイプ

本研究の独創的な点

ギプス固定前に温熱負荷を行い、ラット骨格筋内の HSP70 を高めるとタイプ I・IIA 線維の廃用性筋萎縮の発生を軽減できることを明らかにした点。

川島隆史<sup>1)</sup> 縣 信秀<sup>1)</sup> 笹井宣昌<sup>1)</sup> 宮津真寿美<sup>1)</sup> 山本創太<sup>2)</sup> 河上敬介<sup>1)</sup>

1) 名古屋大学大学院医学系研究科

2) 名古屋大学大学院工学研究科

【目的】坐骨神経を切除したラットに対して、徒手にて足関節を他動的に繰り返し背屈する運動を1日15分、2週間行くと、ヒラメ筋の萎縮が抑制される。しかし、この徒手による周期的背屈運動では、足関節背屈速度・角度などを制御することが難しい。よって、足関節を動かす力とヒラメ筋の萎縮抑制効果の関係を定量的に評価することができない。そこで、そのための第一段階として、ラット足関節背屈運動を制御し、同時に足関節トルクを測定することができる装置を開発した。

【方法】まず、開発した足関節背屈装置の概要について説明する。ラットを側臥位で専用ベッドに固定する。一侧の足部を、足関節背屈用の板（足底板）に取り付ける。足底板はPCプログラムで制御したステッピングモータの駆動に伴い回転する。ステッピングモータの回転軸にはトルクセンサを取り付け、モータの回転軸に加わるトルクすなわち足関節トルクを測定する。

本装置で足関節背屈運動を制御するためには、①運動開始肢位を毎回一定にすることや、②足関節の背屈運動時に下腿部が移動しない位置に軸心を設定することが重要である。①のために、運動開始時の足関節・膝関節の角度を設定する必要がある。そこで、ラットの後肢を解剖し、骨を観察することにより、後肢骨の外側方への突出部位（ランドマーク）を明らかにし、大腿部・下腿部・足部の軸を決定した。②のために、足関節の任意の位置に足底板の軸心を設定し、足関節背屈前後の下腿骨をX線で撮影し、下腿骨ができるだけ移動しない軸心の位置を調べた。

本装置を用い、坐骨神経を切除したウイスター系ラット（8週齢、雄）に対する周期的背屈運動を行い、足関節トルクを測定した。周期的背屈運動のプログラムは、開始肢位から角速度60 deg/sで1秒間背屈運動、4秒間背屈位保持、角速度60 deg/sで1秒間底屈運動、4秒間開始肢位保持を1周期として90周期（15分）とした。

【結果】解剖観察により後肢のランドマークが明らかになり、大腿部の軸は第三転子と大腿骨外側顆を、下腿部の軸は腓骨頭と外果を、足部の軸は第五中足骨底と第五中足骨頭を結んだ線に決定することができた。それらをもとに足関節と膝関節角度を90°に設定した。下腿骨が最も動かない足関節に対する足底板の軸心の位置は、外果から約3 mm前方の位置であった。このような条件で本装置を使用したところ、足関節背屈運動は15分間にわたって一定の制御が可能であった。また、同時に足関節トルクの測定も可能であった。なお、足関節60°背屈時の足関節トルクは約0.015 Nmであった。

【考察】本装置のように、ラットの足関節の周期的背屈運動の速度や角度を長時間制御し、さらに足関節トルクを経時的に測定できる装置は他にはない。今後、坐骨神経を切除したラットに対し、この装置を用いて周期的背屈運動を行い、足関節トルクとヒラメ筋萎縮抑制効果の関係を定量的に評価する。

#### キーワード

ラット・伸張刺激・足関節背屈装置・関節トルク・筋萎縮抑制

#### 本研究の独創的な点

伸張刺激の筋萎縮抑制効果検証のため、ラット足関節運動の制御、関節トルクの測定が可能な装置を開発した点。

松居宏樹 木山喬博 肥田朋子

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理学療法学分野

【諸言】筋肉が硬くなり痛みを生じる病態は、Trigger Point (TP) と呼ばれ、理学療法の臨床でしばしば遭遇する。しかし、TP の病態生理は未だ解明されていない。TPの病態生理解明には、筋痛モデル動物を用いた、痛みと硬さ両面からの検討が必要である。近年、筋痛モデル動物として、ラットに伸長性収縮を負荷したモデルや、阻血を生じさせた上で伸長性収縮を負荷したモデル等が報告されている。しかし、これらのモデルを用いて筋硬度と筋痛の関係を示した報告は無い。昨年我々は、ラット下腿三頭筋で筋硬度が測定できる装置を独自で作製し、その高い再現性と妥当性を報告した(第41回日本理学療法学術大会, 2006)。そこで本実験では、これら2種類の筋痛モデル動物を用いて、経時的な筋痛と筋硬度変化を測定し、両者の関連を検討することを目的とした。

【方法】SD 系ラット16 匹を用いた。下肢に阻血を生じさせ伸張性筋収縮を負荷するISC+ECC 群 (n=4) , 下肢に阻血は生じさせずに伸張性筋収縮を負荷したNonISC+ECC群 (n=4) , 下肢に阻血を生じさせ筋の伸張のみを行ったISC+Sham 群 (n=4) , 下肢に阻血は生じさせずに筋の伸張のみを行ったNonISC+Sham 群(n=4) の4 群を作成し、伸張性筋収縮・筋伸張 (以下処置) を行う前後5 日間において、下腿三頭筋の圧痛閾値と筋硬度を評価した。圧痛閾値はRandall-Selitto 式鎮痛効果測定装置、筋硬度は体表面から筋を押し込んだ際の反発力と押し込み距離の関係をj用いて評価した。統計は各日の4群間で一元配置分散分析法を用いた。

【結果】ISC+ECC 群, NonISC+ECC 群の圧痛閾値は他群と比較して低下した。ISC+ECC 群では、処置2 日後の圧痛閾値が最も低値を示し、ISC+Sham 群との間に有意差を認めた(P<0.05)。また、NonISC+ECC 群では処置1 日後の圧痛閾値が最も低値を示し、NonISC+Sham 群との間に有意差を認めた(P<0.05)。筋硬度は、ISC+ECC 群で処置2 日後に最も筋硬度が高くなり、ISC+Sham 群との間に有意差を認めた(P<0.05)。NonISC+ECC 群でも処置1 日後にピークを示したが、他群との有意な差は認めなかった。

【考察】圧痛閾値はISC+ECC 群では処置2 日後、NonISC+ECC群では処置1 日後に低下した。また、筋硬度はISC+ECC 群では処置2 日後、NonISC+ECC 群では処置1 日後に上昇した。圧痛閾値の低下時期と筋硬度の上昇時期が各群で一致する傾向を示し、筋硬度と筋痛の間に関連があることが示唆された。今後は病態における筋硬度の変化について、より詳しい検討を行っていくことを考えている。

【まとめ】本実験では、筋痛モデルラット下腿三頭筋で筋硬度測定を行い、圧痛の出現時期と筋硬度の上昇時期が一致する傾向を示すことを観察した。

キーワード

筋硬度・筋痛・ラット

本研究の独創的な点

筋痛モデル動物で経日的な筋硬度評価を行い、痛みとの関係を調べた点。

清島大資<sup>1)</sup> 河上敬介<sup>2)</sup> 辰巳仁史<sup>1)</sup> 早川公英<sup>3)</sup> 曾我部正博<sup>1),3),4)</sup>

- 1) 名古屋大学大学院医学系研究科細胞情報医学専攻
- 2) 名古屋大学医学部保健学科
- 3) ICORP/SORST 細胞力覚プロジェクト, JST
- 4) 岡崎国立共同研究機構生理学研究所分子生理研究系細胞内代謝部門

【目的】血管内皮細胞に周期的な一方向伸展刺激を負荷すると、力方向に平行な細胞端の細胞-基質接着面が徐々に剥がれ、細胞は次第に力方向に対して垂直に伸びた形態へと変化する。この形態変化には細胞外基質と細胞底面を接着する接着斑と呼ばれる構造の消失が必須であることが分かっている。しかし、機械刺激による接着斑消失の詳細な分子機構は不明である。本研究では、機械刺激が接着斑の消失をどのように制御するかを検討した。

【方法】接着斑の動態を観察するために、 $\beta 1$  インテグリンの細胞外ドメインを蛍光標識抗体でライブ染色した。血管内皮細胞の上面に細胞外基質であるフィブロネクチンを塗布した直径  $10 \mu\text{m}$  のガラスビーズを接着させ、その直下に接着斑を形成した。この接着斑は底面の接着斑とストレスファイバーで連結しているため、ビーズをガラスピペットで数  $\mu\text{m}$  移動することにより細胞底面の接着斑に機械刺激を加えた。刺激負荷前後の接着斑の動態を近接場光顕微鏡や共焦点レーザー顕微鏡を用いてライブ観察した。

【結果】機械刺激が負荷された領域の接着斑（インテグリンクラスターとしてモニターした）は、刺激後 10 分以内に細胞底面から消失した。細胞内に取り込まれる過程を調べるため、インテグリンとクラスリンを二重染色すると、細胞内でインテグリンとクラスリンは共局在していた。また、エンドサイトーシスマーカーである FM4-64 で染色すると、多数がインテグリンと共局在していた。このことから接着斑の消失は、クラスリン依存性エンドサイトーシスによるものと考えられた。そこで、クラスリン依存性エンドサイトーシスを抑制することが知られている  $\text{K}^+$  depletion 下で機械刺激を加えると、接着斑の消失は抑制された。一方、接着斑の消失は機械刺激による  $\text{Ca}^{2+}$  の上昇とストレスファイバーの張力変化が重要であると考えられる。そこで、この機械刺激による  $\text{Ca}^{2+}$  の上昇とストレスファイバーの張力の変化を薬理的に再現するため、カルシウムイオノフォアのイオノマイシンとミオシン ATPase 阻害剤の BDM を同時に作用させてストレスファイバーの張力を減弱した。その結果、接着斑は 10 分以内に細胞底面から消失した。

【考察】細胞に機械刺激を加えると、細胞底面の接着斑とそれらを連結するストレスファイバーに力が加わる。その後、何らかの機構でストレスファイバーが消失し、次いで、ストレスファイバーとの連結を失って力学負荷が減少した細胞底面のインテグリンクラスターが細胞内へ取り込まれる。本研究によって、この取り込み過程にはクラスリン依存的なエンドサイトーシスが関与することが強く示唆された。また、この取り込み過程には  $\text{Ca}^{2+}$  の上昇とストレスファイバーの張力変化の両方が必要であることが示唆された。

キーワード

機械刺激・接着斑・血管内皮細胞

本研究の独創的な点

機械刺激により引き起こされる細胞底面での接着斑消失を  $\text{K}^+$  depletion により抑制した点。

藤本太郎<sup>1)</sup> 松原貴子<sup>2)</sup> 荒川高光<sup>3)</sup> 三木明德<sup>3)</sup>

1) 神戸大学大学院医学系研究科

2) 名古屋学院大学人間健康学部リハビリテーション学科

3) 神戸大学医学部保健学科

【目的】末梢神経損傷時、磁気刺激は再生軸索の再生を促進する。我々は、磁気刺激がシュワン細胞に影響を与えること、その影響は損傷直後より損傷 1 日後に刺激を与えた方が大きいことを明らかにし、刺激時期の違いが末梢神経再生に影響を与える可能性を示した。シュワン細胞は、再生時期により形態や性質は異なる。そこで今回、シュワン細胞の状態が異なった時期に磁気刺激を与えることで、刺激時期の違いが再生有髄神経の成熟に及ぼす影響を調査した。

【材料と方法】12 週齢 ddy 系雄マウスを用い、挫滅損傷のみを与えた群（挫滅群）、損傷直後、1, 3, 7 日後に磁気刺激を与えた群（直後、1, 3, 7 日刺激群）、皮膚切開のみを与えた群（対照群）の 6 群に別けた（各 n=5）。挫滅損傷はコッヘルで坐骨神経に与えた。磁気刺激は、磁気刺激装置（Magstim200, 最大頂点磁場強度 2.0T）を用いて、損傷後直後、1, 3, 7 日後に、最大出力の 20%の強度で経皮的に 15 分間刺激を与えた。損傷後 28 日後に灌流固定を行い、挫滅損傷部より遠位 5mm の坐骨神経をエポキシ系樹脂に包埋した。厚さ約 1 μm の横断切片を作製し、トルイジンブルーで染色後に光学顕微鏡で観察した。坐骨神経内のすべての有髄軸索をカウントすると共に、各切片から 300 本以上の有髄軸索を無作為に抽出し、有髄軸索の横断面積および髄鞘の厚さを計測した。統計処理は 1 元配置分散分析後、Scheffe の多重比較検定を行った。

【結果】有髄軸索数は挫滅群で最も増加しており、直後刺激群を除く他の 4 群より有意な高値を示した。磁気刺激を与えた群では、直後刺激群が最も多く、3, 7 日刺激群と有意差が認められた。1 日後刺激群は対照群と同値で、3, 7 日刺激群は対照群より少なかったが有意差は認められなかった。有髄軸索の横断面積について、3 日後刺激群が損傷を与えた群の中で最も高値を示したが、対照群より有意に低値であった。次いで、1 日後刺激群と 7 日後刺激群がほぼ同値で、直後刺激群より有意に高値であった。直後刺激群は挫滅群より有意に高値であった。髄鞘の厚さについて、対照群は他群より有意に高値であった。他の 5 群には、有意差はなかった。

【考察】損傷 3 日後に与える刺激が再生軸索を最も成熟させることを明らかにした。再生軸索の成熟に重要な影響を及ぼすシュワン細胞は損傷後しばらくして活性化し、p75receptor や多様な neurotrophin を発現するが、損傷 7 日後にはミエリン化を開始し、p75receptor や neurotrophin の発現は減弱する。これらより、磁気刺激は活性化したシュワン細胞に影響を与え p75receptor のリン酸化や neurotrophin の発現を増加させる可能性と、再生軸索の成熟には、シュワン細胞が活性化している時期に刺激を行うことが重要である可能性が示唆された。

キーワード

末梢神経再生・磁気刺激・シュワン細胞

本研究の独自の点

シュワン細胞の形態や性質が異なる刺激時期を設定し、刺激時期の違いが再生軸索の成熟に及ぼす影響を調査した点。

日高惠喜<sup>1)</sup> 村木孝行<sup>1)</sup> 青木光広<sup>2)</sup> 泉水朝貴<sup>1)</sup> 宮本重範<sup>2)</sup> 辰巳治之<sup>3)</sup>

- 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) 札幌医科大学解剖学第一講座

【目的】腸骨大腿靭帯は不動により拘縮を引き起こし、股関節伸展制限に関与すると言われている。理学療法において拘縮した腸骨大腿靭帯の他動的伸張手技が必要であり、効果的に伸張される肢位で行うことが重要である。しかし腸骨大腿靭帯の伸張肢位に関して統一した見解は得られておらず、また腸骨大腿靭帯の伸張を定量的に観察した文献は見当たらない。本研究の目的は、新鮮凍結遺体を用いて股関節を他動的に動かして腸骨大腿靭帯の伸び率を測定し、上部線維束と下部線維束が選択的に、また効果的に伸張できる股関節肢位を明らかにすることである。

【方法】標本は新鮮凍結遺体(平均死亡年齢 76 歳)3 体 6 股を用いた。解凍後に股関節の靭帯を露出し、立位を想定した骨盤傾斜角度で骨盤を角材支柱に固定した。股関節 0° に関して、前額面、矢状面は大腿骨を垂直におろした肢位、水平面は大転子が最も外側に位置する肢位とした。測定機器は靭帯の伸張距離測定のために小型変位測定センサーを、股関節角度の測定のために電磁気式 3 次元動作解析装置を用いた。

測定肢位は主要方向の股関節運動とその 2 つの組み合わせで行う。上部線維束の測定肢位は①最大外旋、②最大内転、③最大伸展、④伸展 10° で最大外旋、⑤内転 10° で最大外旋、⑥内転 20° で最大外旋の 6 肢位とし、下部線維束の測定肢位は①最大伸展、②最大外転、③最大外旋、④外旋 20° で最大伸展、⑤外旋 40° で最大伸展、⑥外転 20° で最大伸展、⑦外転 40° で最大伸展の 7 肢位とする。基準長(Reference Length: L0)は組織を短縮した位置から伸張させていくときに緩みがなくなったときの小型変位測定センサー計測距離とする。変位測定センサーの値を経時的に記録し、同時に 3 次元動作解析装置を用いて角度を測定する。伸び率(%) = (各肢位の実測値 - L0 実測値) (mm) / L0 の針間距離 (mm) × 100 とする。

【結果】上部線維束の伸び率は①最大外旋 4.34 ± 3.28, ②最大内転 2.34 ± 3.49, ③最大伸展 0.78 ± 1.91, ④伸展 10° で最大外旋 2.02 ± 1.08, ⑤内転 10° で最大外旋 3.73 ± 3.29, ⑥内転 20° で最大外旋 4.77 ± 4.29 であった。下部線維束の伸び率は①最大伸展 2.23 ± 1.77, ②最大外転 0.02 ± 0.04, ③最大外旋 0.63 ± 1.47, ④外旋 20° で最大伸展 2.14 ± 1.57, ⑤外旋 40° で最大伸展 1.98 ± 1.40, ⑥外転 20° で最大伸展 0.44 ± 0.72, ⑦外転 40° で最大伸展 0.36 ± 0.88 であった。

【考察】上部線維束は⑥内転 20° で最大外旋位において最大の伸び率を示した。従って、上部線維束の主要な伸張方向は外旋、内転であり、下前腸骨棘から転子間線上部にかけて斜走しているため一方向よりも内転と外旋の組み合わせで伸張されたと考えられる。下部線維束は①最大伸展位において最大の伸び率を示した。下部線維束が股関節前面にあり大腿骨の長軸方向へ走行しているためと考えられる。これらの結果は腸骨大腿靭帯の拘縮予防と治療の一助となると考えられる。

キーワード

ストレッチング・腸骨大腿靭帯・新鮮遺体

本研究の独創的な点

腸骨大腿靭帯の伸張を定量的に検討した点。その際の基準長(L0)を正確に規定した点。

泉水朝貴<sup>1)</sup> 村木孝行<sup>1)</sup> 青木光広<sup>2)</sup> 日高恵喜<sup>1)</sup> 宮本重範<sup>2)</sup> 辰巳治之<sup>3)</sup>

- 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) 札幌医科大学医学部解剖学第一講座

【目的】上肢を用いた日常生活動作やスポーツ活動において、肩関節は重要な役割を果たす。肩関節の構成組織の一つである関節包は外傷後の不動化等によって短縮し、関節運動を制限する。特に後方関節包の短縮は肩関節の屈曲、内旋、水平内転の可動域に制限を与え、二次的障害として肩峰下 Impingement や腱板断裂を誘発する。このような障害を予防、改善するため後方関節包の伸張手技は有効な治療法と考えられる。しかし、その手技に関して統一した見解は得られていない。さらに、これまでの報告は関節運動に伴った関節包の伸張を計測しているが、関節包に存在する組織の緩みを考慮していない。そこで、関節包の緩みを考慮した方法 (Reference Length 0, 以下 L0) を用いて、真に伸張される肢位を明らかにすることを目的とした。【方法】実験には未固定遺体 (平均死亡年齢 82 歳) から採取した肩甲上腕関節 5 標本を用いた。関節包や靭帯の損傷、関節に変形のある標本は除外した。関節包の伸張距離計測は小形変位測定センサーを用い、伸張距離の経時的計測にはレコーダーソフトを用いて市販のパソコンに記録した。角度計測には電磁気式 3 次元動作解析装置を用いた。関節包の計測部位は上・中・下の 3 部位に分けた。測定肢位は①肩甲骨面挙上 0°・30°・60°・90° ; ②屈曲 60° ; ③外転 60° ; ④伸展 30° ; ⑤水平内転位の 8 肢位に、各々最大内旋を加えた。測定手順は、まず各関節包の L0 を決定し、その後、L0 の値を開始値として各肢位における各関節包の伸び率を計測した。L0 は関節包の伸張距離が最も小さくなる時点を称し、関節包の緩みが消失した状態である。本実験では関節包の伸張を伸び率として表すため、数値が正の値を示す場合を伸張が生じたものとした。【結果】上部関節包は肩関節伸展 30° で 4.03% の伸び率を示し、その他の肢位では正の値を得られなかった。中部関節包は肩甲骨面挙上 30° で 5.41% の伸び率を示し、下部関節包は肩甲骨面挙上 30° で 7.02%、伸展 30° で 3.06% の伸び率が得られた。中部及び下部関節包は上述の肢位以外では正の値は得られなかった。【考察】これまで、後方関節包は水平内転や外転 90° の内旋位で伸張すると報告されている。これは解剖学・運動学に基づいて考案されたものであり、計測による結果ではない。今回、関節包の緩みを考慮した方法を用いて関節包の伸び率を計測すると、上部関節包は伸展 30° の内旋位、中部は肩甲骨面挙上 30°、下部関節包は肩甲骨面挙上 30° と伸展 30° の内旋位で最も伸張された。これまで後方関節包に対し内旋を加える角度は上肢挙上角度が大きい程、伸張度も大きくなると考えていたが、本実験結果は従来の想定肢位とは異なった。挙上角度 30° は肩関節の Resting Position であり、この位置での内旋制限は後方関節包に由来する可能性が大きいことを示唆している。

キーワード

肩関節・後方関節包・伸張肢位・未固定遺体標本

本研究の独創的な点

肩関節の後方関節包に存在する緩みを考慮した方法を用いて伸び率を直接計測した点。

谷口圭吾<sup>1)</sup> 佐保泰明<sup>2)</sup> 片寄正樹<sup>1)</sup> 古名丈人<sup>3)</sup> 小島 悟<sup>3)</sup>

- 1) 札幌医科大学保健医療学部臨床理学療法学講座
- 2) 札幌医科大学大学院保健医療学研究科
- 3) 札幌医科大学保健医療学部基礎理学療法学講座

【目的】リハビリテーション領域やスポーツ医科学分野において、他動的な関節運動による筋のストレッチングは臨床場面で頻繁に適用されている運動療法手技であり、その臨床的有用性や効果の検証に関する報告も数多い。しかし、ヒト生体でストレッチングに伴う骨格筋の筋束長（筋線維長）、筋厚および羽状角といった筋形状の動態を分析した基礎データに基づくストレッチング方法やその効果を判定する評価法は確立されていない。そこで本研究では、超音波法を用いて、ストレッチングの対象となる頻度が高い腓腹筋内側頭・外側頭において筋厚、羽状角および筋束長を測定し、他動的な足関節背屈運動が筋形状の変化に及ぼす影響、および筋束長の伸長性における筋内の部位差について検討することを目的とした。

【対象および方法】被験者は、過去に下肢に整形外科的疾患の既往がない健康若年男性8名であった。Bモード超音波診断装置(SonoacePICO, Medison)を用いて、腓腹筋内側頭、外側頭の筋厚と羽状角を測定した。測定部位は、下腿長の近位15%(近位部)、30%(遠位部)を基に腓腹筋内側頭近位部・遠位部および腓腹筋外側頭近位部・遠位部の計4箇所とした。測定に際し、被験者は側臥位、膝関節完全伸展位でリラックスした状態を保ち随意的な筋収縮を行わないようにした。足関節他動運動は、背屈方向に毎秒 $5^{\circ}$ で $10^{\circ}$ (底屈)から $-20^{\circ}$ (背屈)までの運動を行った。他動的足関節角度 $10^{\circ}$ 、 $0^{\circ}$ 、 $-10^{\circ}$ 、 $-20^{\circ}$ の組織縦断画像から超音波画像解析ソフト(UltrasoundDiver, SSB)を用いて、筋厚および腱膜と筋線維のなす角の羽状角を分析した。筋束長は、先行研究に基づき筋厚と羽状角から推定した。各測定項目の各背屈角度間および各計測部位間の比較には、一元配置分散分析と多重比較を用いて有意性の検定を行った。

【結果】足関節底屈 $10^{\circ}$ から背屈 $20^{\circ}$ の他動的な背屈運動に伴い、羽状角は4部位全てにおいて、背屈角度の増加に伴って有意に減少した。筋厚は、外側頭遠位部で背屈に伴い有意に減少したものの、他の3部位では背屈に伴う変化は認められなかった。筋束長は、全ての部位で背屈に伴う有意な増加が認められた。また、他動的運動に伴う筋束長の伸長率は、足関節底屈 $10^{\circ}$ を基準とした底背屈 $0^{\circ}$ 、背屈 $10^{\circ}$ ・ $20^{\circ}$ の3つの可動範囲において、いずれも測定部位間に有意な差が認められなかった。

【考察】筋形状のうち、筋束長は足関節背屈に伴い増加し、羽状角は逆に背屈に伴って減少することが確認された。一方、筋厚に関しては背屈運動にそれほど影響されないことが明らかになった。このように、ヒト生体でリアルタイムに、腓腹筋内で起こる形状変化の直接的な観察が可能な超音波法の活用は、ストレッチングに伴う効果を客観的かつ経時的に判定する新規的評価方法の考案に貢献すると考えられる。

キーワード

腓腹筋・筋形状・他動運動・ストレッチング・超音波法

本研究の独創的な点

超音波法を用いて、他動的な足関節背屈がヒト生体における腓腹筋内の筋形状に及ぼす影響を検討した点。

中村宅雄 乗安整而

札幌医科大学保健医療学部理学療法学科

**【緒言】**

本邦の理学療法において、尿失禁、出産後に対する骨盤底筋体操は稀である。また、本邦は高齢化が進み、子宮脱をはじめとする骨盤底支持組織の障害が高齢人口の増加に伴い益々増加してゆくものと推測される。骨盤底を支持する筋のなかに肛門挙筋がある。坐骨と恥骨との内面から起こり、左右両側の筋が正中線上で合する。肛門挙筋のうち、腸骨尾骨筋は肛門挙筋腱弓を起始としている。起始部が固定性を持っていないければ筋の張力を発揮させることができず、結果として骨盤底の支持力が低下するものと考えられる。今回は、起始部の靭帯に着目し、骨盤底の支持機能について明らかにすることを試みた。

**【方法】**

材料は、札幌医科大学の解剖実習にて用いられた解剖体 20 体であった。解剖体から腸骨尾骨筋の起始部にある靭帯様組織の肛門挙筋腱弓（以下 TA）と腸径靭帯（以下 ITB）を採取した。採取した部位は、TA は起始から停止にかけて、ITB は大腿筋膜張筋遠位端より 5 cm 下方から採取した。TA は、採取した標本の一部を 10%ホルマリン溶液に浸潤させ固定し、処置を行った後パラフィン包埋を行った。包埋した組織を 10 $\mu$ m で薄切し、H-E 染色した。染色した切片を光学顕微鏡にて観察し、組織の厚さを計測した。また、H-E 染色した組織の近接した部分を 0.1%のグルタルアルデヒドで前固定、オスミウムにて後固定し、エポキシ樹脂で包埋した。そして超薄切片を作成、鉛染色をし、collagen fibrils の走行、太さを観察・計測した。

**【結果と考察】**

H-E 染色での靭帯組織の厚さの計測では、TA が 1.9mm、ITB が 2.3mm であった。TA は恥骨結合部から仙骨部にかけて走行している膜状の靭帯であり、筋膜が肥厚しているような形状である。この点に関しては ITB も同様であり、大腿筋膜が肥厚した部分が腸径靭帯となっている。靭帯の厚さは TA は 2.6~0.7mm と幅があったが概ね 1.9mm であった。ITB については幅の変動は小さかった。Collagen fibrils の太さと走行は、TA が 47~68nm で 1 方向ではなく全方向に走行することがわかった。それに比べて ITB では、82~96nm ではあるが、1 方向性を示し、近位から遠位にかけての一軸であった。このことから、ITB は力の加わる方向が単一であるが、TA は全方向から力が加わることがわかった。また、TA は腸骨尾骨筋が収縮する方向とは垂直成分の方向に collagen fibrils が多く走行し、腸骨尾骨筋の張力の影響を受けにくい靭帯であることが示唆できた。

キーワード

肛門挙筋腱弓・腸径靭帯・組織学的検討

独創的な点

起始部の靭帯に着目し、骨盤底の支持機能について明らかにすることを試みた点。