

## 神経因性疼痛のメカニズムと神経因性疼痛ラットモデルにおける運動療法の鎮痛効果

○角園 恵<sup>1,3)</sup>, 吉里 雄伸<sup>1)</sup>, 今井 孝樹<sup>1)</sup>, 中西 和毅<sup>2)</sup>, 谷 明<sup>2)</sup>, 松崎 凌真<sup>2)</sup>, 中小川 智美<sup>2)</sup>, 松岡 輝樹<sup>2)</sup>, 榎間 春利<sup>3)</sup>

- 1) 九州看護福祉大学 看護福祉学部リハビリテーション学科
- 2) 鹿児島大学大学院 保健学研究科神経運動障害基礎学分野
- 3) 鹿児島大学 医学部保健学科基礎理学療法学講座

【目的】神経因性疼痛患者は痛みによって日常生活や社会生活により多くの支障をきたす。しかし、神経因性疼痛は効果的に治療することは非常に困難である。本研究の目的は、慢性絞扼神経損傷 (chronic constriction injury, CCI) モデルを作成し、神経因性疼痛モデルラットにおける定期的な運動による疼痛緩和作用の効果をより詳細に検証し、メカニズムの解明を行い、加えて、海馬における神経因性疼痛による影響を明らかにすることである。

【方法】CCIモデルラットを作成し、運動群 (Ex群) と非運動群 (No-Ex群) の無作為に分けたものと正常群 (Normal群) の3群に分けて実施。運動介入はトレッドミルを使用して、20m/minの速度で30分実施し、CCI後5週間行った。50%疼痛反応閾値を機械的刺激で評価した。免疫組織化学において脊髄後角におけるミクログリア (Iba1) とアストロサイト (GFAP) の活性化、TRAF6の活性化を検討した。さらに海馬歯状回では神経新生細胞マーカーであるDCX及び神経新生に必要な中間前駆細胞のマーカーであるProx1の発現を検討した。

【結果】本研究においては、50%疼痛反応閾値がNo-Exと比較してEx群がCCI後5週で有意に疼痛が低下し、疼痛緩和効果を示す結果となった。脊髄後角ではCCI後3週でIba1、TRAF6がNo-ExとEx群を比較して有意にEx群が低下した。CCI後5週においては、Iba1, GFAP、TRAF6がNo-Ex群と比較してEx群が有意に低下を示した。海馬では、DCXがCCI後3週でNo-Ex群とEx群を比較するとEx群が有意に増加を示した。しかしProx1では有意差を示さなかった。CCI後5週ではDCX及びProx1の両方でNo-Ex群とEx群を比較するとEx群が有意に増加を示していた。

【考察】TRAF6活性化の継続は、アストロサイトのJNK/CCL2経路を活性化することにより1次終末やミクログリアにおいてCCL2の受容体であるCCR2の受容体及びミクログリア上のCCR2受容体の活性化の要因となる可能性が先行研究により報告されている。本研究においてもCCI後3週と5週でTRAF6の発現が有意にEx群で低下しており、運動により抑制効果が得られたと考える。海馬歯状回においては、運動により最も影響が出ると考えられるCCI5週でDCX及びProx1の増加を確認することができた。これらのことより海馬歯状回において、定期的な運動は神経因性疼痛により異常をきたした神経新生機能を改善させることができることを示唆した。

【結語】定期的な運動により脊髄後角ではミクログリア及びアストロサイトの活性化の抑制、TRAF6抑制の効果が示唆された。神経因性疼痛と海馬の影響について、海馬歯状回においては、運動によりDCXの活性化及びProx1の活性化が確認され、神経因性疼痛発症により記憶破壊を伴う可能性のある神経新生低下の抑制効果があることが示唆された。

【倫理的配慮、説明と同意】本研究は鹿児島大学医学部動物実験倫理委員会 (承認番号: M20002) の承認を得て実施した。

## 骨格筋3次元形状計測における3次元超音波イメージングの妥当性検証

○梅原 潤<sup>1,2,3)</sup>, 福田 紀生<sup>2)</sup>, 近田 彰治<sup>4)</sup>, 平島 雅也<sup>2)</sup>

- 1) 関西医科大学 リハビリテーション学部
- 2) 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター
- 3) 京都大学大学院 医学研究科
- 4) 大阪大学大学院 医学系研究科

【目的】

骨格筋の機能は主にその形態によって決まるため、身体運動を扱うあらゆる分野において正確な筋形態の計測が重要となる。従来、筋形態の計測にはMRIが用いられてきたが、利便性やコスト面の問題により、近年、その代替手法として3次元超音波イメージング (3DUS) が注目されている。これまでに3DUSの計測精度は示されているが、そのほとんどが筋の体積を評価しており、モーメントアームに影響する筋走行や筋同士の接触力による変形といった幾何学的特徴を包含した筋の3次元形状を評価した研究はない。さらに、過去の報告では筋走行が比較的直線的な下肢筋のみを対象としているため、より複雑な形状の肩関節筋で同等の計測精度が得られるかは不明である。本研究の目的は、肩関節筋を対象として、筋の3次元形状計測における3DUSの妥当性を検証することとした。

【方法】

本研究では3DUSとMRIで撮像時の姿勢の再現性を担保することによって、筋の3次元形状の比較を可能とした上で、厳密に3DUSの妥当性を検証した。健康成人10名を対象にポリウレタンフォームで伏臥位姿勢を型取った固定具を作成し、固定具により同一姿勢となった対象者を3DUSとMRIで計測した。3DUSでは、超音波プローブを棘上筋と棘下筋、三角筋後部の皮膚上で動かしながら複数の2次元画像を撮像すると同時に、モーションキャプチャシステムを用いてプローブの姿勢を計測した。プローブの姿勢に基づき2次元画像を再構築することによって3次元超音波画像を取得し、そこから対象筋をセグメンテーションすることで筋の形状モデルを作成した。MRI画像に対してもセグメンテーションを行い、形状モデルを作成した。妥当性の検証には、各筋の形状モデルから求めた体積と3次元形状を用いた。体積に対して、Bland-Altman分析を行い系統誤差の有無を確認した。3次元形状に対して、表面間距離を算出することによって一致度を評価した。

【結果】

棘上筋と棘下筋、三角筋後部の全てにおいて、3DUSとMRIの体積の計測誤差は平均0.51cm<sup>3</sup>以下、標準偏差2.85cm<sup>3</sup>以下であり、Bland-Altman分析からも固定誤差及び比例誤差を認めなかった。3次元形状の一致度に関して、全ての筋において表面間距離の中央値は1.21mm以下、第3四分位でさえ1.89mm以下であった。

【考察】

3DUSとMRIの体積の計測誤差及び表面間距離は十分に小さいことから、3DUSは体積だけでなく、筋の3次元形状もMRIと同等の精度で計測可能な手法であると判断できる。本研究は骨格筋の3次元形状計測における3DUSの妥当性を検証した初めての研究であり、MRIに代わる比較的簡便かつ低コストな筋形態計測手法として、3DUSの有用性と汎用性を向上させた。

【結語】

複雑な形状を有する肩関節筋においても、3DUSはMRIと同等の精度で筋の3次元形状計測が可能な手法である。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は演者が所属する機構の研究倫理委員会の承認を受けて実施された。



## 超音波測定肢位が内側広筋の筋厚・筋輝度とMRI筋体積・筋断面積および筋内脂肪割合との関係に及ぼす影響

○谷口 匡史<sup>1)</sup>, 福元 喜啓<sup>1,2)</sup>, 八木 優英<sup>1)</sup>, 廣野 哲也<sup>1,3,4)</sup>, 山縣 桃子<sup>1,2)</sup>, 中井 隆介<sup>5)</sup>, 山田 陽介<sup>6,7)</sup>, 木村 みさか<sup>7,8)</sup>, 市橋 則明<sup>1)</sup>

- 1) 京都大学大学院 医学研究科人間健康科学系専攻
- 2) 関西医科大学 リハビリテーション学部
- 3) 中京大学 スポーツ科学部
- 4) 日本学術振興会 特別研究員PD
- 5) 京都大学 人と社会の未来研究院
- 6) 国立健康・栄養研究所 身体活動研究部
- 7) 京都先端科学大学 総合研究所
- 8) 同志社女子大学大学院 看護学研究科

### 【目的】

骨格筋量・筋質の評価には、磁気共鳴画像法(MRI)による筋体積および筋内脂肪割合が一般に使用される。この代替法として、超音波画像装置を用いた筋厚(筋量指標)・筋輝度(筋質指標)の使用が普及してきた。運動機能と強く関係する大腿四頭筋のうち、内側広筋(VM)は外側広筋に次いで大きな筋体積を持つ筋であり、変形性膝関節症患者ではVMに特異的筋変性が生じることが知られている。従来、VMの筋厚・筋輝度測定は、背臥位にて計測されてきたが、背臥位では大腿後面の接触による筋形状の変形が測定上の問題となる場合がある。この問題を解決する方法として、大腿後面が接触しないようにした座位による画像取得が筋厚・筋輝度測定の精度向上に寄与する可能性がある。本研究の目的は、MRIで計測した内側広筋の筋体積・筋内脂肪割合を標準とし、臥位および座位による筋厚・筋輝度の測定精度の違いを明らかにすることである。

### 【方法】

対象は成人男女(年齢20-83歳)136名とした。3.0TのMRI装置(SIEMENS社製)を用いて大腿部のMRI画像を取得し、VMの筋体積および最大膨隆部の筋断面積、筋内脂肪割合を求めた。また、超音波画像装置(GEヘルスケア社製)を用いてVMの筋厚・筋輝度を臥位および座位にて計測を行った。VM撮像位置は、大転子と外側上顆を結ぶ線の遠位70%から内側に移動し、筋厚が最大となる位置とした。Pearsonの積率相関係数を用いて、座位・臥位それぞれの筋厚と筋体積、筋厚と筋断面積、および筋輝度と筋内脂肪割合との相関係数を求め、各変数の座位と臥位の相関係数の違いをMeng' s検定で分析した。

### 【結果】

筋体積とVM筋厚は、臥位( $r=0.65$ )・座位( $r=0.80$ )ともに有意な正の相関関係を認め、Meng' s検定の結果、座位の方が臥位よりも有意に相関係数は大きかった。同様に、筋断面積とVM筋厚は、臥位( $r=0.65$ )・座位( $r=0.75$ )ともに有意な正の相関関係を認め、座位の方が臥位よりも有意に相関係数は大きかった。一方、筋内脂肪割合とVM筋輝度は、臥位( $r=0.55$ )・座位( $r=0.57$ )ともに有意な正の相関関係を認めたが、臥位と座位の相関係数には有意な違いを認めなかった。

### 【考察】

座位によるVM筋厚の測定は、臥位による計測に比べて、筋体積や筋断面積をより強く反映することが示唆された。座位は、大腿後面の接触による筋形状の変化がないため、筋の最大膨隆部をより正確に撮像できる可能性がある。一方、VM筋輝度と筋内脂肪割合との関係は、測定肢位による影響を受けなかった。これは測定肢位によって筋形状が変化しても筋内組成は変化しないためであると考えられる。

### 【結語】

VM筋厚の測定は、臥位よりも座位による撮像の方が骨格筋量指標としての精度が高いことが示唆された。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は、発表者が所属する施設の倫理委員会(承認番号: R1746)の承認を得て実施した。

## ハムストリング各筋の非収縮組織の割合と筋伸張性との関連

○中泉 大<sup>1,2)</sup>, 浅井 仁<sup>3)</sup>

- 1) 金沢赤十字病院 リハビリテーション科
- 2) 金沢大学 医薬保健研究域保健学系研究協力員
- 3) 金沢大学 医薬保健研究域保健学系リハビ・リテーション科学領域リハビリテーション科学領域

### 【目的】

骨格筋では、加齢に伴い筋線維の減少や萎縮に加え、筋内脂肪や結合組織等の非収縮組織の増加が生じる。骨格筋内の非収縮組織の割合の増加は、筋力発揮の阻害、筋質の低下を引き起こす。しかし、骨格筋内の非収縮組織の割合と筋伸張性との関連についてはこれまで検討されていない。ハムストリングは骨格筋の中でも肉離れを起こしやすく、特に半膜様筋は過度な伸張により肉離れを起こしやすい。骨格筋内の非収縮組織の割合と可動域との関連が認められれば、骨格筋内の非収縮組織の割合が筋伸張性の指標となる可能性が考えられる。本研究の目的はハムストリング各筋(大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋)の非収縮組織の割合と関節可動域による筋伸張性との関連を明らかにすることである。

### 【方法】

被験者は健康若年成人男性15名(年齢 $22.0 \pm 1.3$ 歳)とした。右下肢のハムストリング各筋はグラビティMRI(0.4T、日立ヘルスケア社)にて背臥位で撮像し、T1強調画像を解析に用いた。得られた画像から大腿長50%の位置でのハムストリング各筋を同一し、ImageJを用いて非収縮組織面積を算出した。ハムストリング各筋とハムストリング周囲の皮下脂肪組織に関心領域を設定し、関心領域内の信号強度のヒストグラムをもとに大津の判別分析法とトライアングル法を用いて収縮組織と非収縮組織との閾値を算出した。測定した非収縮組織面積をハムストリング各筋の筋断面積で除して割合を算出した。ハムストリング伸張性の指標は膝伸展テストの可動域で表した。背臥位で股関節及び膝関節90°屈曲位を開始肢位とし、そこから他動的に膝関節を伸展し、膝関節伸展最終域で大腿骨の長軸と腓骨の長軸とのなす角度を膝伸展角度として測定した。ハムストリング各筋の非収縮組織の割合と膝伸展角度との関係をPearsonの積率相関係数を用いて検討した。有意水準は5%とした。

### 【結果】

膝伸展角度は $157.7 \pm 9.4^\circ$ であった。ハムストリング各筋の非収縮組織の割合はそれぞれ大腿二頭筋長頭 $11.3 \pm 5.7\%$ 、半腱様筋 $11.2 \pm 5.9\%$ 、半膜様筋 $11.6 \pm 6.1\%$ であった。半膜様筋のみ非収縮組織の割合と膝伸展角度との間に有意な正の相関( $r=0.54$ ,  $p$ 値 $0.036$ )が認められた。

### 【考察】

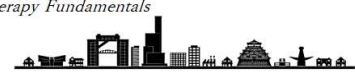
本研究の結果、半膜様筋のみ筋内非収縮組織の割合と可動域との間に正の相関が見られた。筋内非収縮組織の割合と可動域との関連は筋ごとで異なっており、ハムストリングにおいては半膜様筋のみ筋内の非収縮組織の割合が筋伸張性の指標となる可能性が考えられる。

### 【結語】

半膜様筋のみ筋内非収縮組織の割合と可動域との間に正の相関が見られ、非収縮組織の割合が筋伸張性の指標となる可能性が確認された。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は、発表者が所属する施設の医学倫理審査委員会(承認番号: 797-1)の承認を得て実施した。



## 加齢とともに低下する骨格筋の質は変形性膝関節症発症によってさらに悪化する：メタアナリシスによる検討

○法貴 篤史<sup>1)</sup>, 飯島 弘貴<sup>2,3)</sup>

- 1) まつだ整形外科クリニック 理学療法科  
2) 名古屋大学 高等研究院  
3) 名古屋大学大学院 医学系研究科

### 【目的】

変形性関節症患者における大腿四頭筋などの筋機能の低下は、生活機能障害を引き起こし、健康寿命を短縮させる。このような問題意識の下、世界関節症学会のガイドラインでは、筋力強化を目的とする運動療法は治療の第一選択として位置づけられている。このガイドラインに準じつつ、個別性のある運動療法の提供によってその治療効果をさらに高めていくためには、臨床現場における的確かつ非侵襲な筋機能評価が必要となる。この筋機能評価には、筋断面積などの量的側面と、筋内脂肪に代表される質的側面があるが、後者は従来の疫学研究で軽視されてきたこともあり、変形性膝関節症における大腿四頭筋の質的変化やその評価手法に関する知見が十分蓄積されていない。この問題解決に向けた第一歩として、本システムティックレビューでは、変形性膝関節症患者における大腿四頭筋の質的変化を体系的に整理するとともに、この変形性膝関節症に伴う骨格筋の質的変化を健常人での加齢性変化と比較した。

### 【方法】

本研究では、高齢者あるいは変形性膝関節症患者の大腿四頭筋の質を評価した症例対照研究および横断研究の論文を、PRISMAガイドライン準じて系統的に収集した(検索日: 2022年3月23日)。論文を網羅的に収集するため、PubMedとPEDroによるデータベース検索に加え、Google Scholarを使用したハンドサーチを行った。その後、加齢プロセス(健康若年者vs健康高齢者)や変形性膝関節症発症(健康高齢者vs変形性膝関節症患者)における筋の質的変化に対して、ランダム効果モデルを用いたメタアナリシスを行った。

### 【結果】

データベース検索から抽出された計290編とハンドサーチからの4編、計294編の中から加齢プロセスを対象とした13編、変形性膝関節症発症を対象とした5編、が最終的に採用された。筋の質的評価には、超音波診断装置が最も多く使用され(12編、67%)、次いでMRI(5編、28%)、CT(1編、6%)であった。メタアナリシスによる統合の結果、若年者より高齢者の方が有意に筋の質が低下していた(標準化効果量:-1.32; 95%信頼区間:-1.52,-1.13)。さらに、高齢者より変形性膝関節症患者の方が有意に筋の質が低下していた(標準化効果量:-0.43; 95%信頼区間:-0.57,-0.28)。

### 【考察】

大腿四頭筋の質は加齢とともに低下し、変形性膝関節症の発症によりさらに悪化することがメタ解析によって示された。大半の論文は低侵襲な超音波診断装置を用いており、メタ解析の結果を加味すると、臨床現場における筋の質的変化の評価ツールとして有用だと考えられる。

### 【結語】

変形性膝関節症は加齢に伴う大腿四頭筋の質的変化をさらに助長する。また、臨床現場において、このような大腿四頭筋の質的変化は低侵襲の超音波診断装置によって十分捉えられると考えられる。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は文献調査研究であるため、該当項目は存在しない。

## 超音波画像診断装置と流体画像解析ソフトFlow PIVを使用した脛骨神経における滑走性評価法の信頼性の検証

○姉川 恵佑<sup>1,2)</sup>, 河西 謙吾<sup>3,4)</sup>, 堤 真大<sup>4)</sup>, 工藤 慎太郎<sup>1,4,5)</sup>

- 1) 森ノ宮医療大学大学院 保健医療学研究科  
2) 緑風会病院 リハビリテーション科  
3) 加納総合病院 リハビリテーション科  
4) 森ノ宮医療大学 インクルーシブ医科学研究所  
5) アレックス メディカルリサーチセンター

### 【目的】

脛骨神経(TN)の滑走性低下は、足部の痛みや関節可動域制限の一要因である。生体でのTNの滑走性評価には神経の滑走距離を測定する方法がある。一方、我々は足関節背屈運動におけるTNの最大速度を計測する滑走性評価法を報告している。本研究の目的は、最大速度および滑走距離の測定によるTNの滑走性評価法の信頼性を検討することである。

### 【方法】

対象は健康成人8名とした。TN動態の撮像に等速性筋力測定装置Biodex4と超音波画像診断装置(Canon Aplio300)、リアプローブ(11 MHz)を使用した。股関節90°、膝関節30°屈曲位の座位姿勢において、最大背屈角度から20°底屈させた範囲で他動足関節底背屈運動(等速運動; 30°/sec)を行った。プローブは内果の1cm近位に固定し、背屈運動中のTNの長軸方向の動態を動画として記録した。撮影した動画は流体画像解析ソフトFlow PIV(ライブラリー)を使用し、超音波画像の連続するフレーム間の相対的な動きを判定し、TNの移動を速度ベクトルとして可視化した。TN内に5カ所の関心領域を設定し、その平均値をTNの速度とし、底背屈運動3回分の変動を時系列に配列した。このデータより、3回分の背屈時最大速度を平均化、TNの最大速度と規定した。また、滑走距離として、背屈運動中のTN速度を積分し、3回分の平均値を算出した。これらの計測を1週間の間隔を空けて2回計測し、検者内信頼性として級内相関係数ICC(1,1)と標準誤差および最小可検変化量の95%信頼区間(minimal detectable change: MDC95)を算出した。

### 【結果】

最大速度と滑走距離の平均値と標準偏差は10.2±0.8mm/sと8.3±0.7mm/sであった。ICC(1,1)の平均値と95%信頼区間は最大速度で0.83(0.57-0.98)滑走距離で0.91(0.79-0.99)、標準誤差とMDC95は最大流速で0.18, 0.51, 滑走距離で0.22, 0.61であった。

### 【考察】

最大流速と滑走距離はいずれも高い再現性を示した。滑走距離の計測がより再現性が高かった。今回の研究ではバイオデックスを用いて、足関節運動の運動範囲と運動速度は概ね一定となっているため高い再現性が得られたと考えている。しかし、運動速度は運動の開始時と最終域で変化するため一定とならないため、より滑走距離で再現性が高い結果となったと考えられる。

### 【結語】

超音波画像診断装置を用いたTNの滑走性評価では、最大速度の測定と比べ、滑走距離を測定する方法でより信頼性が高いことが確認された。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は、発表者が所属する施設の研究倫理委員会(承認番号: 2021-069)の承認を得て実施した。

