

Journal of Physical Therapy Fundamentals

基礎理学療法学

2025

VOL. 28

No.1

研究論文 (原著)

アキレス腱治癒において腱延長・腱強度回復不全をもたらすメカニズム解明
・・・米野 萌恵・他

若年健常者における運動単位の活動パターンは性別と内側広筋と外側広筋の筋別で異なる
・・・桑原 大輔・他

全介助患者用評価表 Scale for Total-Assisted Patients (STAP) の開発と信頼性・妥当性
および褥瘡リスク予測への有用性の検討
・・・高木 武蔵・他

短報

緩消法が腰部の筋緊張に与える影響
・・・杉本 諭・他

総説 (U39)

運動単位分析から紐解く神経筋機能
・・・廣野 哲也

タウ蛋白のリン酸化を介した糖尿病によるアルツハイマー病の病態修飾メカニズム
・・・伊藤 祐規・他

シンプルモデルを用いた加齢が歩行の不安定性を引き起こす原因の解明
・・・大津 創

腸脛靭帯の硬さの疾患特異性と治療の可能性
・・・八木 優英

報告

超音波画像装置を用いた理学療法士の教育・研究機関および臨床業務（評価）での使用実態
に関するアンケート調査 報告書
・・・理学療法士の超音波画像装置の使用についての合同委員会

基礎理学療法学 第28巻 第1号 2025年

目 次

原 著

- アキレス腱治癒において腱延長・腱強度回復不全をもたらすメカニズム解明…………… 米野 萌恵・他・1
- 若年健常者における運動単位の活動パターンは性別と内側広筋と外側広筋の筋別で異なる… 桑原 大輔・他・12
- 全介助患者用評価表 Scale for Total-Assisted Patients (STAP) の開発と
信頼性・妥当性および褥瘡リスク予測への有用性の検討…………… 高木 武蔵・他・23

短 報

- 緩消法が腰部の筋緊張に与える影響…………… 杉本 諭・他・32

総 説

- 運動単位分析から紐解く神経筋機能…………… 廣野 哲也・39
- タウ蛋白のリン酸化を介した糖尿病によるアルツハイマー病の病態修飾メカニズム…………… 伊藤 祐規・他・44
- シンプルモデルを用いた加齢が歩行の不安定性を引き起こす原因の解明…………… 大津 創・50
- 腸脛靭帯の硬さの疾患特異性と治療の可能性…………… 八木 優英・56

報 告

- 超音波画像装置を用いた理学療法士の教育・研究機関および臨床業務（評価）での使用実態
に関するアンケート調査 報告書…………… 理学療法士の超音波画像装置の使用についての合同委員会・61

- 投稿規定…………… 88

原 著

アキレス腱治療において腱延長・腱強度回復不全をもたらすメカニズム解明*

米野 萌恵¹⁾²⁾ 野木 康陽¹⁾ 伊藤 貴紀³⁾
宇佐美優奈¹⁾ 国分 貴徳⁴⁾#

要旨

アキレス腱断裂後は損傷側の底屈筋力低下が残存し対側同等には戻らないことが最大の課題である。この要因は、腱の癒着による力伝達機能低下、腱延長に伴う筋張力低下が挙げられるが、これらと腱のメカノバイオロジー機構との関係性は未解明のままであり、理学療法戦略の確立を阻んでいる。本研究では、関節固定と筋麻痺により腱が受容するメカニカルストレスを制御したマウスモデルを用い、アキレス腱断裂縫合術後における腱への伸長負荷を減らすことが腱延長や強度回復、コラーゲン成熟にもたらす影響を検証した。筋収縮が維持されたマウスは術後4週で腱長比率・強度が、非術側と同等に戻る一方、筋収縮が阻害されたマウスでは、腱の強度が劣ったままであり、腱長比率が非術側より延長することが明らかとなった。アキレス腱断裂術後早期における腱への除荷、特に筋収縮の制限が腱の構造変化をもたらし、永続的な筋力低下の要因となることを示唆した。

キーワード アキレス腱断裂, 筋力低下, 腱治療, 関節固定, 筋収縮

はじめに

アキレス腱断裂は人体で生じる腱断裂のうち最も頻度が高く、主にスポーツ中に生じる障害である。本邦では人口10万人に対し12.8～13.9人の受傷率で、2010年～2017年の8年間で増加傾向にある¹⁾。アキレス腱断裂受傷後は、競技復帰率が75～80%程度であり²⁾³⁾、足関節底屈筋力低下が長期残存することや競技に復帰できたとしても受傷前よりパフォーマンスレベルが低下するため²⁻⁴⁾、選手生命に重大な影響を及ぼす。したがって、「受傷後の筋力回復をいかにして最大化するか」が

解決すべき重要課題である。

アキレス腱断裂後の後療法には手術療法と保存療法がある。近年は保存療法と手術療法で再断裂率に差が生じないことも報告されており⁵⁾、欧州では保存療法を選択する患者が増えている。一方、本邦では2010年～2017年の全国レベルの疫学調査で、手術療法を選択する患者が全体の70%を占め、その割合は8年間で有意に増加していた¹⁾。すなわち、依然手術療法がアキレス腱断裂後の主たる治療の選択肢となっている。特にスポーツ復帰を目指す患者では腱の連続性を得ることで早期の運動に耐え得る一定程度の腱の力学的強度を担保できるため、早期リハビリテーション開始によって筋力回復や競技復帰までの期間短縮を目的とし手術療法が選択される。手術療法と保存療法のいずれにおいても、初期には断裂腱への引張負荷を最小限にするために足関節底屈位でギプス固定を行う。その後、踵部を補高した短下肢装具を使用して荷重、歩行練習を開始する。ギプス固定後のリハビリテーションでは、固定と腱治療に伴う周囲組織との癒着で生じる関節可動域制限、および腱断裂と不活動で生じる足関節底屈筋力低下に対し、足関節可動域拡大と底屈筋力強化が主な目的となる。一般的には関節可動域運動が実施され、十分な可動域を獲得した後に積極的な筋力強化が図られる。しかし、早期にリハビリ

* The Mechanisms Leading to Tendon Lengthening and Tendon Strength-recovery Deficiency during Achilles Tendon Healing Process

1) 埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究科博士後期課程
Moe Yoneno, PT, MSc, Koyo Nogi, MSc, Yuna Usami, MSc;
Graduate School of Health, Medicine and Welfare, Saitama
Prefectural University

2) 日本学術振興会特別研究員 DC2
Moe Yoneno, PT, MSc; Japan Society for the Promotion of Science

3) 埼玉県立大学保健医療福祉学研究科博士研究員
Takanori Ito, PT, PhD; Researcher, Graduate School of Health,
Medicine and Welfare, Saitama Prefectural University

4) 埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究科
(〒353-8540 埼玉県越谷市三ノ宮 820)
Takanori Kokubun, PT, PhD; Graduate School of Health, Medicine,
and Welfare, Saitama Prefectural University (820 Sannomiya,
Koshigaya-Shi, Saitama, 343-8540, Japan)

E-mail: kokubun-takanori@spu.ac.jp
(受付日 2024年6月21日/受理日 2024年10月22日)

テーションを開始しているにもかかわらず、半永久的に対側同等の筋力回復が得られないのが現状である⁴⁾。

筋力が回復しない要因には、腱の癒痕治療⁶⁾などによる力伝達機能低下⁷⁾のほか、腱延長に伴う筋張力低下⁸⁾が挙げられる。基礎的知見では、伸長負荷が腱治療関連遺伝子発現⁹⁾やコラーゲン産生の増加¹⁰⁾を導き、治療強度の改善に寄与することから、リハビリテーションの重要性が見出されている。一方、腱延長は治療過程での過度な伸長力を要因とする説が主流である。そのため、早期リハビリテーションでは、腱延長予防と腱治療促進のためのメカニカルストレス付与のうち、過負荷回避による腱延長を予防するため、治療腱への負荷最小化による保守的内容に留まる。腱延長は必ずしも負荷量依存的に生じるわけではないが^{11) 12)}、伸長負荷が腱機能と構造双方の回復に寄与できるかは統一した見解が得られていないため、運動療法戦略の確立を阻んでいる。

これまで、荷重開始時期や固定期間を変数とし早期リハビリテーションプロトコルが議論されてきたが、患者生体内において、治療腱が受容するメカニカルストレスの影響を解明することは不可能である。そこで、マウスモデルを用い、関節固定と筋麻痺を併用することで、腱が受容するメカニカルストレスを制御できると考えた。本研究の目的は、アキレス腱断裂縫合術後における腱への伸長負荷を減らすことが腱延長と強度回復、コラーゲン線維配向にもたらす影響を明らかにすることとした。

対象および方法

1. 実験動物

本研究は、動物実験関連法規を遵守し、所属施設の動物実験倫理委員会の承認(承認番号 2023-04)を受け、学内動物実験指針を厳守し実施した。対象動物は実験開始時点で10週齢の雄性C57BL/6マウス72匹とした。体重は 26 ± 2 gであった。飼育環境は、気温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $55 \pm 5\%$ 、12時間サイクルで明暗を設定、マウスの移動はプラスチックケージ内で自由とし、餌や水は自由に摂取できる環境とした。

2. 外科的介入と術後管理

全個体の左アキレス腱を露出しNo.11メスで完全断裂させた後、Kessler法を用い7-0 PDS II縫合糸(Johnson & Johnson, 東京)で直ちに縫合した。その後、6-0 ナイロン縫合糸(ベアーメディック, 茨城)で皮膚を閉創した。これらを、同側坐骨神経切除を施し下腿三頭筋を麻痺させたDenervation(以下, DN)群、足関節固定を行ったImmobilization(以下, IM)群、その双方を施したIM+DN群の3群に分類した。すべての対側後肢72肢(各タイムポイント24肢)をIntact群とした。なお、左後肢に対する処置の違いによって右側後肢のア

ウトカムに差が生じないことを確認した。IM+DN群、DN群においては、Savastanoら¹³⁾の報告に基づき臀部の皮膚を開創し表層の筋膜を剥離することで坐骨神経を露出し、神経再生を阻害するため2 mm以上を切除した¹⁴⁾。その後6-0ナイロン縫合糸(ベアーメディック, 茨城)で閉創した。また、IM群においては神経の露出までを行いそのまま閉創した。この処置は処置中の筋収縮による縫合部への負荷を避けるためアキレス腱断裂を生じさせる前に実施した(図1A, B)。IM, IM+DN群では、術直後から組織採取時まで術側足関節を中間位で固定した(図1C)。組織採取時まで下腿三頭筋麻痺が残存していることを確認するため、DN群、IM+DN群では屠殺直前に尾部懸垂し足趾開排試験を実施した。

術後2, 3, 4週時点で両側下腿組織を採取した。各タイムポイントにおいて、各群5匹は腓腹筋の起始部から停止部を採取し、実体顕微鏡下でアキレス腱長を計測した後、腱を摘出し力学試験に供与した。各群3匹は腱の組織学的解析に供与し、矢状断切片を作成しコラーゲン線維配列を評価した。結果はタイムポイント毎の群間で比較した。

3. 腱長計測

大腿骨から足部までを採取し腓腹筋の起始部からアキレス腱停止部を露出した。コルク上に膝関節 90° ・足関節底背屈 0° になるようピンで固定し、下腿後面から実体顕微鏡(カールツァイス株式会社, 東京)で撮影した。その後、Labscope(カールツァイス株式会社, 東京)の測定機能で腓腹筋起始部から踵骨底部までの筋腱複合体長および腱長を計測し、筋腱複合体長に占める腱長の比率を算出した(図2A)。

4. 腱力学的強度解析

試験前にノギスで腱中央部の幅と厚さを計測し、その積を横断面積[CSA](mm^2)とした。その後、引張試験機(UniVert, Cell Scale, Canada)にて試験を行った。滑り止めとしてアキレス腱近位端と踵骨にプロワイプソフトマイクロワイパー(エリエール, 東京)を巻き、引張負荷の方向と腱が平行になるようジグに取り付けた。試験中は組織の乾燥を防ぐため、0.01M PBSを吹きかけながら実施した。0.1Nでプレロードした後、0.1 mm/secの速度で破断するまで引張負荷した。荷重変位曲線を記録し、最大破断強度[Max Force](N)、最大破断強度をCSAで除した応力[Stress](N/mm^2)を算出した。

5. 腱組織学的解析

4%PFAで48時間固定後、10%EDTAで脱灰、パラフィン包埋し、 $5 \mu\text{m}$ 厚矢状断切片を作成した。コラーゲン線維成熟度を評価するためPicrosirius red(以下、

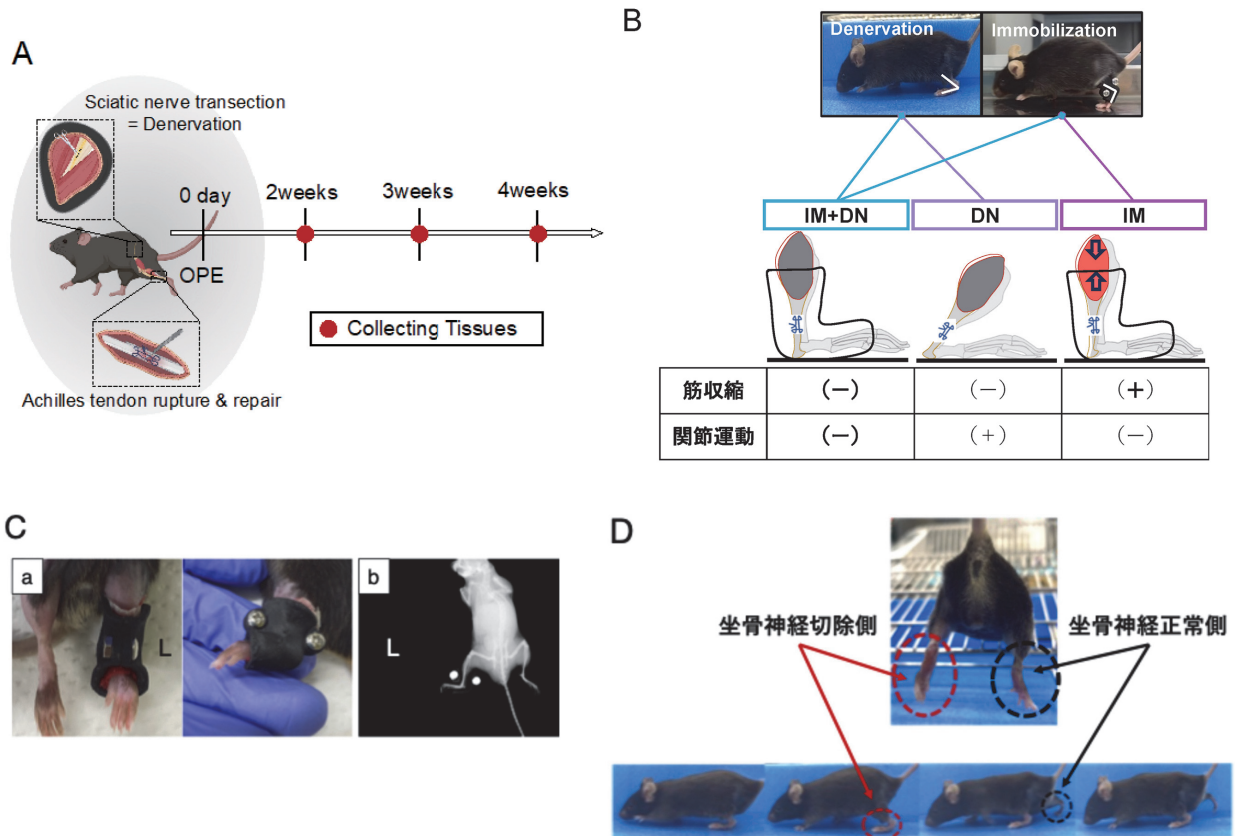


図1 実験プロトコルとマウスモデルの概要

(A) 左後肢アキレス腱の離断、縫合術および坐骨神経切除の外科的介入日を0 day とし、2, 3, 4 週間後に組織採取、解析を実施。
 (B) すべての動物に対しアキレス腱離断後、縫合術を実施。それらを坐骨神経切除による下腿三頭筋収縮と関節固定による足関節運動を阻害した Immobilization+Denervation (IM+DN) 群、筋収縮のみを阻害した DN 群、関節運動のみを阻害した IM 群に分類。
 (C) a: 関節固定具は10 週齢のマウスの足関節を90°で3D スキャンしたCAD データから3D プリンターで造形した固定具を使用 (UCHIDA)。褥瘡予防のためアンダーラップを巻いて固定具を装着。b: 代表個体をレントゲンで撮影し、足関節中間位で固定されていることを確認。
 (D) 坐骨神経切除側では足趾開排の自動運動消失により神経再接続が生じていないことを確認。歩行では蹴り出しの消失により背屈角度が増大。

PSR) 染色を行い、オールインワン蛍光顕微鏡 BZ-X700 (KEYENCE, 大阪) にて、円偏光フィルターを取り付けて観察した。明視野 (フィルター 0°) で撮影された像より、腱領域として抽出し、フィルター 90° 回転した偏光後の画像に重ね合わせ、ROI として指定した。BZ-X Analyzer (KEYENCE) にて、輝度によって 0-255 の 256 階調で表されるグレースケールに変換した。円偏光下ではコラーゲン線維が長軸に平行に走行するほど高値となることを利用し、より高値な値を示す線維が成熟していることを示す¹⁵⁾¹⁶⁾。その後ハイブリッドセルカウントにて、腱全体を ROI とする平均グレースケールを算出した。

6. 筋萎縮評価

筋萎縮評価では、筋湿重量の計測と筋線維横断径の解析を実施した。腱長計測用に採取した下腿より、下腿三頭筋腹中央部にて筋線維方向に垂直に離断した。残った筋遠位部は腱から完全に剥離し、もとの下腿組織重量から下腿三頭筋除去後の重量を差し引いて筋湿重量とし

た。腓腹筋の近位 1/2 は筋線維横断面が土台に水平となるよう、中枢側をトラガントゴムで包埋した。その後、ヘキサソ、イソペンタンを入れた急速冷凍装置内で -100°C にて凍結した。10 μm 厚横断切片を作成し、Laminin の蛍光免疫組織染色を行った。0.01M PBS で希釈した M.O.M. blocking reagent solution (40:1, Vector Laboratories) を用い室温で 1 時間ブロッキングした。続いて一次抗体の抗ラミニン-2 (α-2 鎖) 抗体 (1000:1, rat anti Laminin) [Sigma] の混合物を 1% ウシ血清アルブミン (Bovine Serum Albumin: 以下, BSA) /PBS で希釈し、4°C で一晩放置した。次に二次抗体の Alexa Flour 647 (500:1, goat anti rat) [Thermo Fisher Scientific] を 1% BSA/PBS で希釈し、室温で 4 時間放置した。オールインワン蛍光顕微鏡 BZ-X700 (KEYENCE, 大阪) で組織像を撮影し画像解析ソフト BZ-X Analyzer のハイブリッドセルカウント (KEYENCE, 大阪) にてラミニン陽性基底膜の内径を筋線維周囲径として抽出した。その後、プログラミング言語 Python で各筋線維周囲径の最小平行接線間距離 (Minimum Feret Diameter) を

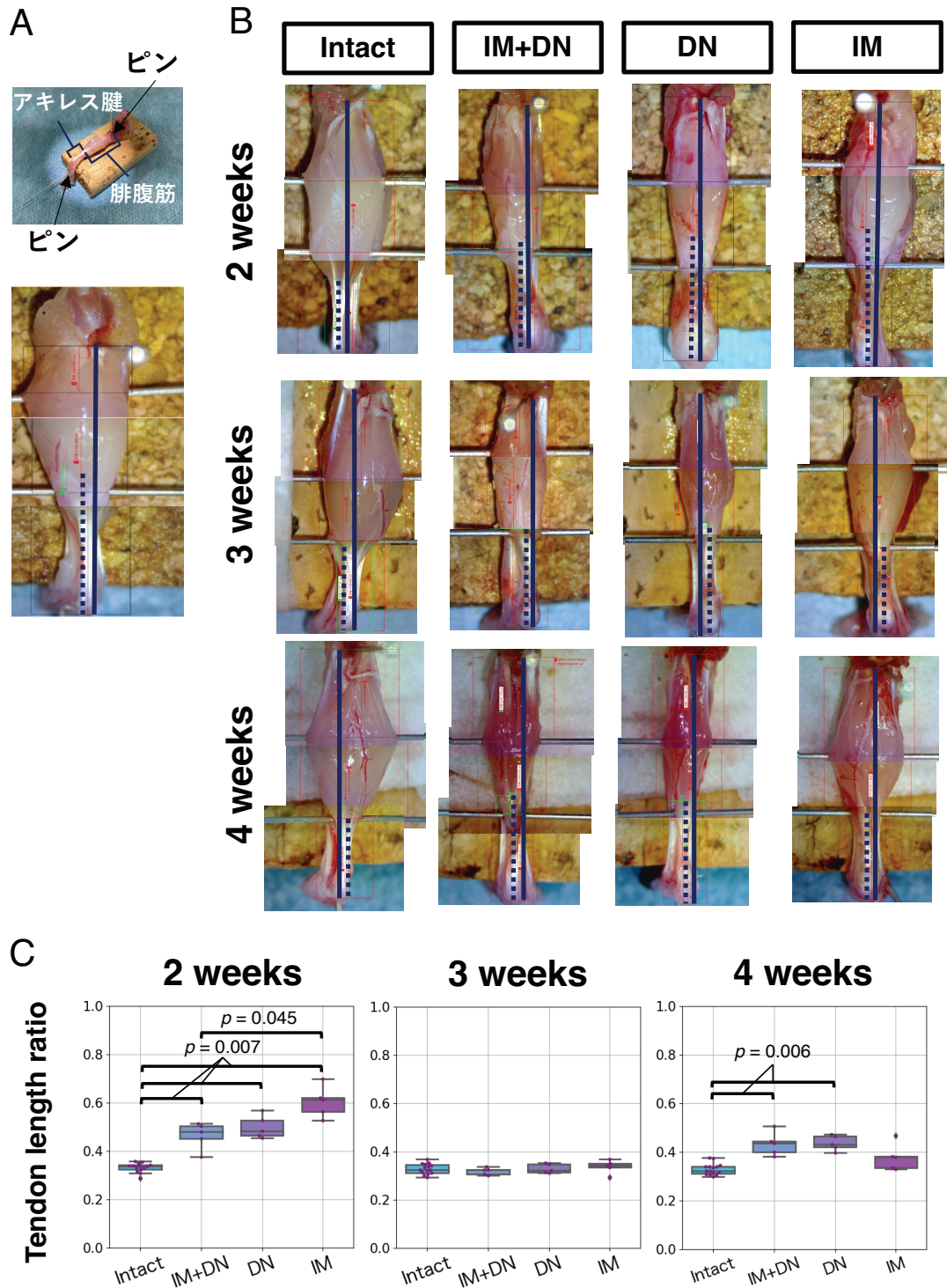


図2 筋腱複合体長に対するアキレス腱長比率

(A) 上図：実体顕微鏡下撮影方法。腓腹筋起始部から足部までを採取し、膝関節 90° かつ足関節が底背屈 0° となるよう膝窩と足底部の2カ所にピンを刺しコルクに固定した。下図：筋腱複合体長（実線）と腱長（点線）。踵骨底部からピンク色に見える筋線維との移行部までを腱長とした。(B) 実体顕微鏡像。総合倍率 8x。筋腱複合体全体が撮像されるよう3枚撮影し、下腿軸に垂直に挿入したピン固定部を指標に連結。点線長／実線長×100 = 腱長比率とした。(C) 腱長比率の算出結果。 $P < 0.05$ のみ値記載。

各サンプル 100 本以上計測し、各群 5 サンプル（Intact 群は 15 サンプル）の平均値を群間で比較した。最小フェレー径は筋線維横断面積を確実に予測する幾何学パラメーターである¹⁷⁾。解析部位は筋線維が明瞭に横断となっている範囲かつ、腓腹筋内側頭深層を選択した。な

お画像上で筋線維の縁が見切れたものは解析対象から除外した。

7. 統計学的解析

統計学的分析は、Kruskal-Wallis 検定後、多重比較

Steel-Dwass 検定をし、有意水準は $P < 0.05$ とした。

結 果

1. モデル妥当性の検討

坐骨神経切除をしたすべての個体で足趾開排が消失していることを確認した。また、DN 群では術後 4 週で歩行観察を実施し、本研究の組織採取を行った全期間において、立脚期における背屈の増大が確認された (図 1D)。

2. 腱長比率評価

術後 2 週では、全介入群において Intact より有意に腱長比率が増加していた。さらに、IM 群は IM+DN 群より有意に増加した。術後 3 週では全介入群、Intact 群と有意差を示さなかった。一方、術後 4 週においては、Intact 群と比較して IM 群が有意差を示さなかったのに対し、IM+DN 群、DN 群は有意な増加を示した (図 2)。

3. 腱力学的強度解析

最大破断強度は、術後 2 週では介入群間に有意差がなかったが、術後 3、4 週では IM+DN 群、DN 群に対し IM 群が有意に高値となった。同時期に IM+DN 群、DN 群は Intact 群に対し有意に低値なのに対し、IM 群は両タイムポイントで Intact 群と有意差を示さなかった (図 3B)。腱横断面積は、術後 2、3 週においてすべての介入群が Intact 群より有意な増加を示した。術後 4 週で DN 群は Intact 群と同程度であったのに対し、IM+DN 群、IM 群は Intact 群より増加したままであり、その増加量は IM 群でより大きかった (図 3A)。

腱の応力はすべての術後タイムポイントにおいて、いずれの介入群も Intact 群より有意に低値のままであった。術後 4 週時点では IM+DN 群 < IM 群 < DN 群の順で有意に高値となった (図 3C)。

4. 腱組織学的解析

腱矢状断切片の PSR 染色像から、グレースケールによって組織の成熟度を比較した。

術後 2 週では遺残腱と縫合部の境界が明瞭で、コラーゲン線維のリモデリングが進んでいなかったため、グレースケール解析は実施しなかった。術後 3、4 週では、いずれも介入群間で有意差を認めなかった (図 4)。

5. 筋萎縮評価

筋湿重量は筋麻痺を生じた IM+DN 群、DN 群では術後 2 週においてすでに Intact 群より低値であり、術後 3、4 週においても同様であった。IM 群では術後 3 週で初めて Intact 群より低値を示したが、筋麻痺を生じた他の 2 群より有意に高値であり、術後 4 週では Intact 群と同程度に回復していた (図 5A)。筋横断切片の組織像より

算出した筋線維横断面積の評価パラメーターである筋線維最小フェレー径は、術後 2 週で IM 群が他の筋麻痺群より有意に高値であった。術後 3 週では介入群間の有意差がないものの、術後 4 週では IM 群が DN 群より有意に高値、IM+DN 群に対しても高値となる傾向を示した (図 5B, C)。

考 察

本研究ではアキレス腱断裂後の筋力低下の要因とされる腱延長と力学的強度の不完全性の双方に対し、メカニカルストレスの減少がいかに作用するのかを明らかにし、術後理学療法介入の基盤データを示すことを目指した。腱治療段階では術後の時期に応じてメカニカルストレスが腱治療に相反する作用をもたらす¹⁸⁾。そこで、炎症期を脱し、細胞増殖・リモデリング期に移行する時期であり¹⁹⁻²¹⁾、メカニカルストレスの作用の転換期と予測される術後 2～4 週を対象とした。用いたモデルについて、筋機能正常で関節固定を行った IM 群は、筋収縮による腱への伸長力が生じ、DN 群では、筋収縮を阻害したが荷重に伴う背屈運動が生じる。一方、IM+DN 群は筋収縮と関節運動の双方が阻害されるため腱は無負荷となる。これらモデル間の比較は、筋収縮・関節運動によって腱にもたらされるメカニカルストレスの制御による腱治療および腱延長への影響を明らかにできる。結果として、術後 4 週時点において筋収縮による腱への負荷は腱延長をもたらさず、むしろ、腱への除荷が力学的強度回復の遅延と腱延長をもたらす可能性を示唆した。一方で、応力は IM+DN 群より IM 群が高値であり、筋収縮の有無でコラーゲン線維配列の差は認めなかった。このことは、筋収縮によっては腱の太さが増加することで質的脆弱性が補われることを示唆した。

本研究で用いたモデル間における腱への伸長力は、IM 群 > IM+DN 群であることは自明である。一方、DN 群では、荷重に伴う受動的背屈が可能であり、筋腱複合体全体への伸長力は生じていることから、少なからず腱へも伸長力が加わっている。実際の腱への伸長力は計測ができていないものの、IM+DN 群、DN 群の結果の差分が、伸長力の差を表すと考えられる。しかしながら、すべてのタイムポイントにおいて腱長比率や破断強度は DN 群と IM+DN 群間に明らかな差は認めず、術後 4 週の腱応力のみ DN 群が IM+DN 群より高値となった。足関節背屈による腱への伸長力は筋収縮の有無に比べ、ごくわずかであった。これは、筋腱の弾性係数を考慮すると、筋は腱より柔らかく、DN 群の歩行でみられる足関節背屈の増加に伴い、腱よりも筋が優先的に伸長されたためと考えられる。したがって、本研究で腱伸長力の大きさは $IM > DN \geq IM+DN$ と位置付けられ、筋収縮の有無が特に結果に影響を及ぼしたと言える。

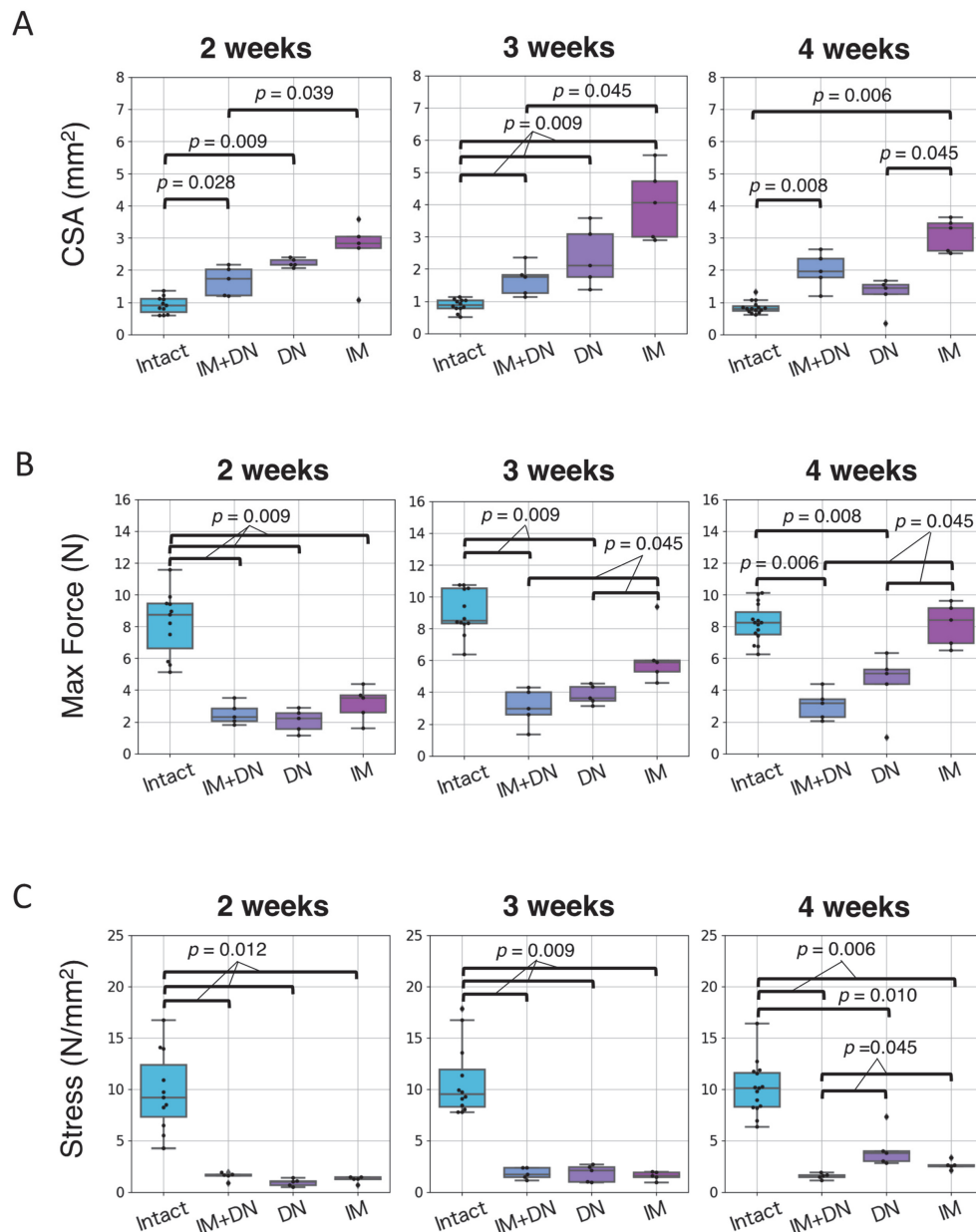


図3 アキレス腱の力学的強度解析

(A) 腱横断面積の計測結果。(B) 腱最大破断強度の計測結果。(C) 腱応力の算出結果。最大破断強度を横断面積で除して算出。すべて $P < 0.05$ のみ値記載。

これまで、アキレス腱断裂後に腱の断端間が拡大することから²²⁾、腱の延長を予防するため縫合部への負荷を避けた治療が優先されてきた。しかし、その科学的根拠は乏しく、アキレス腱への負荷量の増加と腱長比率に相関関係を認めないといった報告も散見される^{11) 12)}。本研究も、Intact 群に対し術後2週時点まではIM 群で有意な腱長比率の増加を認めたが、術後4週では逆転してIM+DN・DN 群で腱長比率の増加を認める結果となった。つまり、先行研究と同様にストレス増加と腱延長は線形回帰しないことを示唆した。すべての介入群において腱の最大破断強度が健側の50%未満である術後2週では筋収縮が生じるIM 群でのみ有意な腱長比率の増加を認めたことは、この時点ではメカニカルストレス

が大きいほど腱長比率が増加することを示す。一方、術後4週時点では、最大破断強度が健側と同等に回復したIM 群で腱長比率が健側と同程度であり、腱の最大破断強度が健側の50～70%程度に留まったIM+DN、DN 群で有意な腱長比率の増加を認め、リモデリングが進行するとメカニカルストレスが大きいほど腱長比率が回復することを示した。基礎的知見では、腱断裂後初期の過負荷は腱のひずみを増加させる可能性があるものの¹⁸⁾、成人腱への機械的負荷増加がコラーゲン合成を増加させ、逆に固定や廃用性筋萎縮による腱への除荷が剛性やヤング率低下をもたらし力学特性を損なうことが明らかとなっている。さらに、細胞レベルでは、腱の連続性の欠如による急速な収縮性細胞骨格の張力低下は腱線維芽

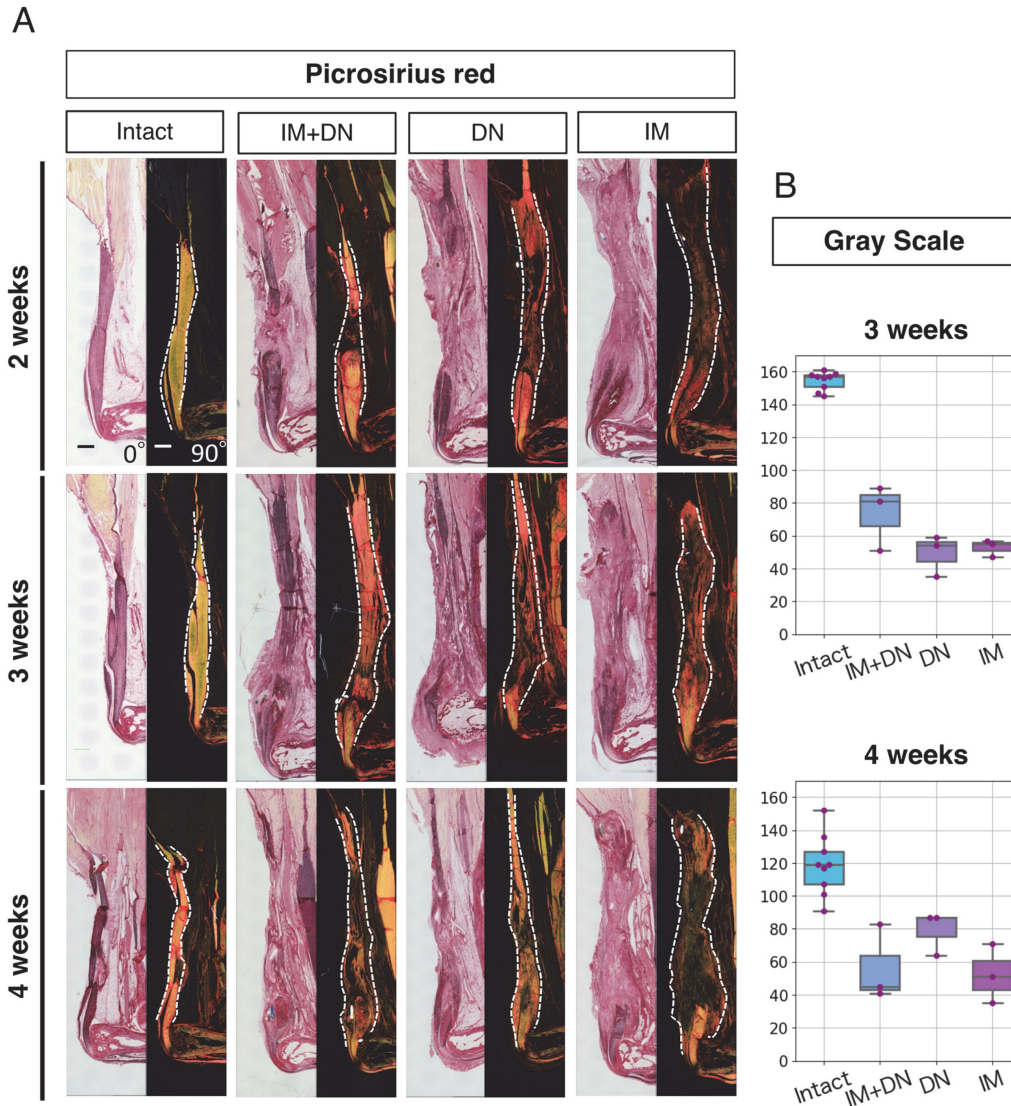


図4 アキレス腱の組織学的解析
(A) アキレス腱矢状断切片のピクロシリウスレッド染色像。0°：明視野像，90°：偏光フィルターを90°回転させた偏光像。倍率20x。スケールバー：500 μ m。白の点線で挟まれた領域がアキレス腱。(B) 偏光像より算出した腱全体の平均グレースケール。P < 0.05のみ値記載。

細胞の異化遺伝子プログラムを活性化させる²³⁾。反対に、腱断裂後の治癒過程では腱成熟に必須の転写因子Scleraxisがメカニカルストレスに応答して発現し、細胞外基質（以下、ECM）の合成に寄与する²⁴⁾。これらを考慮すると、筋収縮と関節運動の障害で腱への伸長負荷が著しく障害された場合、治癒腱のECM合成が低下し、力学的強度回復の不完全性を導くと予測される。術後3～4週時点ではすでに腱のリモデリングが開始され、コラーゲンの合成が活発化する時期である^{25) 26)}。しかし、DN群、IM+DN群においては腱への除荷によりECM合成より異化が優位に作用した可能性がある。すなわち、腱のリモデリング期において、メカニカルストレスが不十分であるとECM合成が十分に進まず、腱の脆弱性が長期に残存した結果として腱延長がもたらされることを示唆した。

一方、単位面積当たりの強度である応力は術後4週時点でIM+DN群よりDN、IM群が有意に高値であったが、IM群とDN群間では有意差がなかった。さらに、コラーゲン線維の成熟度を評価するグレースケールも術後3、4週時点でIM、DN群間で有意差がなかった。術後3、4週のIM群とDN群の比較では最大破断強度がIM群で有意に高値にもかかわらず、同時期の応力、グレースケールに差がない結果から、IM群においてはDN群より多くのECMが合成され、太さを増すことで強度を担保しており、合成されたコラーゲン線維の質的な改善は認めなかったと考えられる。腱治療の初期には細く強度の低いCollagen type IIIが合成される。その後、太く強度の高いCollagen type Iに置換され²⁷⁾、Type I比率の増加によって腱の強度が改善していく。今回IM群においては、術直後から4週間、足関節の固定を

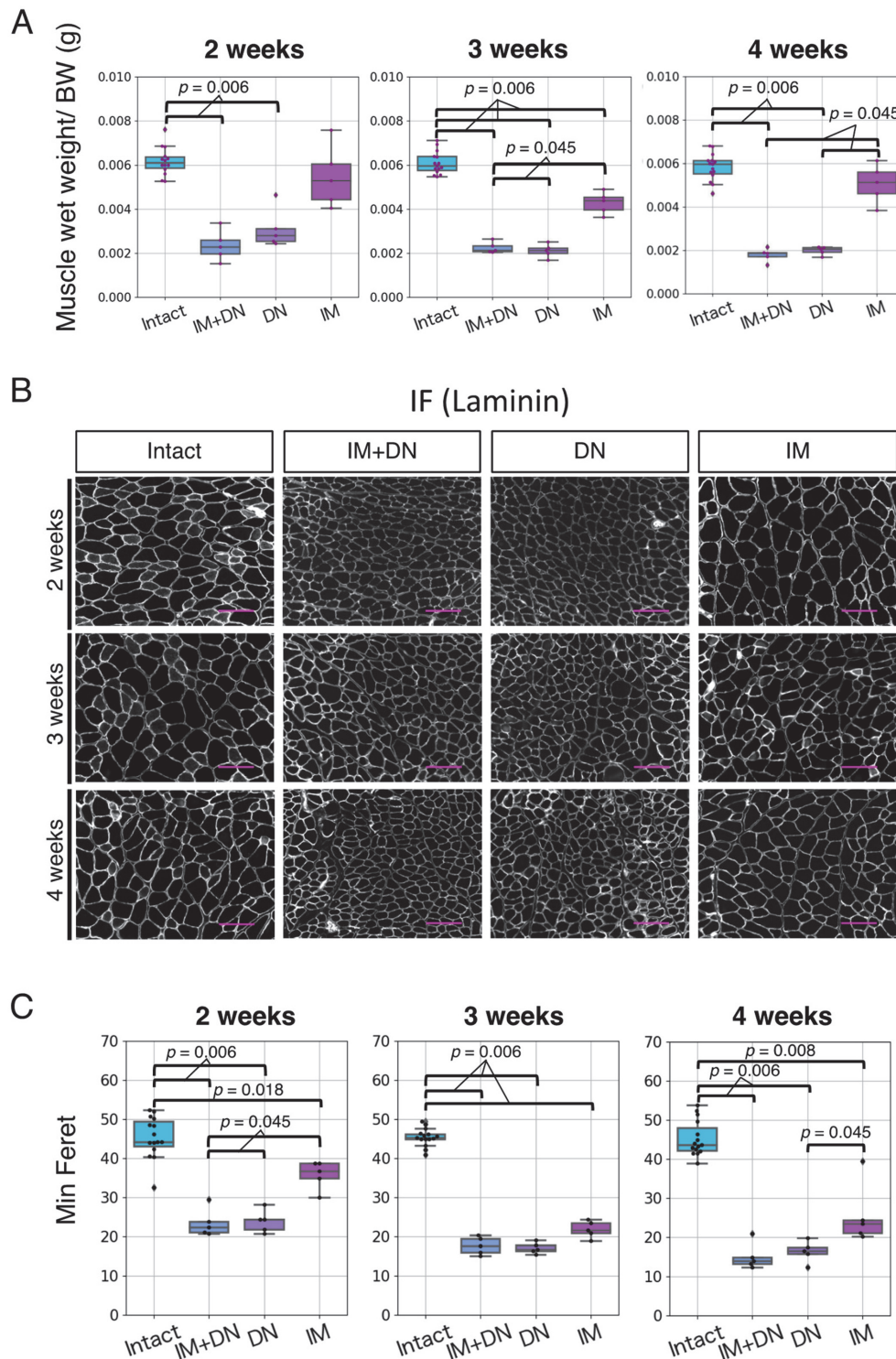


図5 筋萎縮評価

(A) 筋湿重量を計測し体重で正規化。 $P < 0.05$ のみ値記載。(B) 筋線維横断切片の免疫蛍光染色像。倍率20x。スケールバー：100 μm 。(C) (B)の組織像より算出した筋線維最小フェレー径の平均値。 $P < 0.05$ のみ値記載。

継続していた。ケージ内飼育中、術側への荷重は可能であり足関節底屈の等尺性収縮は起こり得る環境であった。しかしながら、腱断裂の有無にかかわらず関節固定は廃用性筋萎縮をもたらす²⁸⁾。実際、術後3週時点ではIM群もIntact群に対して有意に萎縮しており、筋活動量は限定的であったと言える。我々は以前に、アキレ

ス腱断裂縫合後、ケージ内では足関節固定を継続しながら、術後2週目から経皮的電気刺激による腓腹筋の等尺性収縮運動を実施した結果、腓腹筋が肥大し腱の力学的強度回復が向上することを示した²⁹⁾。今回のIM群はこの先行研究における非運動介入群に相当するため、筋麻痺群より有意に腱の質的回復を促進するほどの筋収縮

量ではなかったと考えられる。今後、より強度な筋収縮を生じさせる運動介入によって腱 ECM の質的回復への貢献を検証できると考える。

従来のアキレス腱断裂縫合術後の治療戦略としては、術後 6～8 週間におよぶ足関節底屈位固定が施され、その間に関節可動域運動は実施されるものの、腱への除荷を目的に免荷することが一般的である。アキレス腱断裂縫合術後の固定期間中において、底屈位固定装具を用いた術直後からの荷重歩行と、2 週間の非荷重では、2 週時点では前者で有意な腱延長が生じているが、両群装具除去後の 6 週～1 年までの間に腱延長は両群同程度となり、正常と同等には回復しなかった³⁰⁾。さらに、非荷重期間を 6 週間に遅延させた場合にも腱延長は残存した³¹⁾。本研究では術後 2 週までにおいて、IM 群が IM+DN 群より有意に延長する結果を示したが、これは、術後初期の数週間では腱へのメカニカルストレスがより大きい群で腱が延長するという先行研究の結果と一致する³⁰⁾。すなわち、腱断裂縫合直後の炎症期においては免荷をし、筋収縮を最小限に抑えることが腱延長の予防に有効であることを示唆する。一方で、術後 4 週では、筋収縮を阻害された IM+DN 群、DN 群のみが Intact 群と比べて腱長比率が増加していた結果や腱強度の低下が残存していた結果は、術後一定時期を超えると、関節運動が許可されたとしても腱治療が改善されず、筋収縮が腱強度や延長の改善に必須であることを示す結果である。マウスとヒトでは治療過程のタイムスケールが異なるため固定期間や筋収縮運動開始時期について術後週数での直接的な比較ができない。しかし、現行の一般的な早期リハビリテーションの適応によっても腱延長は残存し、筋力低下も半永久的である^{12) 30) 31)}。このことと本研究の結果を照らし合わせると、現行の術後プロトコルでは除荷期間が長すぎることが推察され、より早期かつより強度な腱への伸長負荷が必要であることを示す結果である。本邦では加藤ら³²⁾や土肥³³⁾が施設独自の早期運動療法を実施し、早期機能回復が得られることを報告しているが、その治療戦略には共通の方針が得られていないのが現状である。先行研究の多くは、関節運動、荷重の有無といった条件で腱へのストレスを議論されてきたが、筋腱複合体の弾性係数の異なる組織が連結した構造特性においては、荷重や他動運動の実施条件間の比較において、筋、腱それぞれにどの程度の負荷が課されているかを理解することは困難であった。本研究で用いたモデルは、筋収縮、関節運動のそれぞれを阻害したことで、腱治療過程の他動関節運動や筋収縮運動が単独で腱強度回復や延長に与える影響を明らかにできるモデルと言える。これにより、アキレス腱断裂縫合術後の理学療法介入において、どのような運動療法を優先的に実施すべきかについて議論していく基準と

なるデータが得られたと考える。

本研究にはいくつか限界点がある。まず、腱長の計測では全個体で関節角度を一定にして計測したため、腓腹筋、アキレス腱の張力は一定ではない。また、腱の力学的強度に群間差が生じた要因についての検討が不十分である。腱の成熟度については、コラーゲン線維タイプにかかわらず、配向性のみを評価した。コラーゲン線維タイプ別の構成割合やエラスチンなどの非コラーゲン ECM など詳細な構造変化の解析が必要である。また、足関節固定下での筋収縮がどの程度腱への伸長負荷をもたらしていたかは検証できていない。筋張力計測により腱が受容する張力と腱治療の関連性を明らかにするとともに、より強度な筋収縮がもたらす腱治療への貢献については追加的な実験で検証を行っていく必要がある。筋収縮がどのようなメカニズムで腱治療に貢献するのかをより詳細に解明していくことで、理学療法介入の指針となるデータを得られる。

結 語

本研究ではアキレス腱断裂後に腱にもたらされるメカニカルストレスを筋収縮と関節運動を個別に制限するモデルを用いることで、アキレス腱断裂術後早期における腱への除荷、特に筋収縮の制限が腱の構造変化をもたらす、永続的な筋力低下の要因となることを示唆した。断裂後のアキレス腱において延長を予防し、より正常に近い機能回復を導くことは、筋収縮力の骨への伝達効率を向上させ、足関節底屈運動機能の改善に繋がる。それらを促進するメカノバイオロジ機構の理解を深めることで、アキレス腱断裂受傷者が望む、受傷前と同等の活動レベルへの復帰に向けた適切な理学療法介入への応用可能性が期待される。

謝 辞

本研究は科研費（23KJ1788）の助成を受けたものである。

文 献

- 1) Yamaguchi S, Kimura S, Akagi R, Yoshimura K, Kawasaki Y, Shiko Y, Sasho T, Ohtori S: Increase in Achilles Tendon Rupture Surgery in Japan: Results From a Nationwide Health Care Database. *Orthop J Sports Med* 9: 23259671211034128, 2021
- 2) Zellers JA, Carmont MR, Grävare Silbernagel K: Return to play post-Achilles tendon rupture: a systematic review and meta-analysis of rate and measures of return to play. *Br J Sports Med* 50: 1325-1332, 2016
- 3) Johns W, Walley KC, Seedat R, Thordarson DB, Jackson B, Gonzalez T: Career Outlook and Performance of Professional Athletes After Achilles Tendon Rupture: A Systematic Review. *Foot Ankle Int* 42: 495-509, 2021
- 4) Brorsson A, Grävare Silbernagel K, Olsson N, Nilsson Helander K: Calf Muscle Performance Deficits Remain 7

- Years After an Achilles Tendon Rupture. *Am J Sports Med* 46: 470-477, 2018
- 5) Soroceanu A, Sidhwa F, Aarabi S, Kaufman A, Glazebrook M: Surgical versus nonsurgical treatment of acute Achilles tendon rupture- a meta-analysis of randomized trials. *J Bone Joint Surg Am* 94: 2136-2143, 2012
 - 6) Miyashita H, Ochi M, Ikuta Y: Histological and biomechanical observations of the rabbit patellar tendon after removal of its central one-third. *Arch Orthop Trauma Surg* 116: 454-462, 1997
 - 7) Geremia JM, Bobbert MF, Casa Nova M, Ott RD, Lemos Fde A, Lupion Rde O, Frasson VB, Vaz MA: The structural and mechanical properties of the Achilles tendon 2 years after surgical repair. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 30: 485-492, 2015
 - 8) Suydam SM, Buchanan TS, Manal K, Silbernagel KG: Compensatory muscle activation caused by tendon lengthening post-Achilles tendon rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23: 868-874, 2015
 - 9) Kayama T, Mori M, Ito Y, Matsushima T, Nakamichi R, Suzuki H, Ichinose S, Saito M, Marumo K, Asahara H: Gtf2ird1-Dependent Mohawk Expression Regulates Mechanosensing Properties of the Tendon. *Mol Cell Biol* 36: 1297-1309, 2016
 - 10) M Kjaer HL, BF Miller, R Boushel, R Cramer, S Koskinen, K Heinemeier: Metabolic activity and collagen turnover in human tendon in response to physical activity. *Musculoskelet Neuronal Interact* 5: 41-52, 2005
 - 11) Kangas J, Pajala A, Ohtonen P, Leppilahti J: Achilles tendon elongation after rupture repair: a randomized comparison of 2 postoperative regimens. *Am J Sports Med* 35: 59-64, 2007
 - 12) Eliasson P, Agergaard AS, Couppe C, Svensson R, Hoeffner R, Warming S, Warming N, Holm C, Jensen MH, Krogsgaard M, Kjaer M, Magnusson SP: The Ruptured Achilles Tendon Elongates for 6 Months After Surgical Repair Regardless of Early or Late Weightbearing in Combination With Ankle Mobilization: A Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med* 46: 2492-2502, 2018
 - 13) Savastano LE, Laurito SR, Fitt MR, Rasmussen JA, Gonzalez Polo V, Patterson SI: Sciatic nerve injury: a simple and subtle model for investigating many aspects of nervous system damage and recovery. *J Neurosci Methods* 227: 166-180, 2014
 - 14) Osseni A, Thomas JL, Ghasemizadeh A, Schaeffer L, Gache V: Simple Methods for Permanent or Transient Denervation in Mouse Sciatic Nerve Injury Models. *Bio Protoc* 12: e4430, 2022
 - 15) Rittie L: Method for Picrosirius Red-Polarization Detection of Collagen Fibers in Tissue Sections. *Methods Mol Biol* 1627: 395-407, 2017
 - 16) Uezono K, Ide J, Tokunaga T, Arimura H, Sakamoto H, Nakanishi Y, Mizuta H: Effect of Postoperative Passive Motion on Rotator Cuff Reconstruction With Acellular Dermal Matrix Grafts in a Rat Model. *Am J Sports Med* 42: 1930-1938, 2014
 - 17) Brigue A, Courdier-Fruh I, Foster M, Meier T, Magyar JP: Histological parameters for the quantitative assessment of muscular dystrophy in the mdx-mouse. *Neuromuscul Disord* 14: 675-682, 2004
 - 18) Hammerman M, Dietrich-Zagonel F, Blomgran P, Eliasson P, Aspenberg P: Different mechanisms activated by mild versus strong loading in rat Achilles tendon healing. *PLoS One* 13: e0201211, 2018
 - 19) Dymont NA, Kazemi N, Aschbacher-Smith LE, Barthelery NJ, Kenter K, Gooch C, Shearn JT, Wylie C, Butler DL: The relationships among spatiotemporal collagen gene expression, histology, and biomechanics following full-length injury in the murine patellar tendon. *J Orthop Res* 30: 28-36, 2012
 - 20) Scott A, Sampaio A, Abraham T, Duronio C, Underhill TM: Scleraxis expression is coordinately regulated in a murine model of patellar tendon injury. *J Orthop Res* 29: 289-296, 2011
 - 21) Eliasson P, Andersson T, Aspenberg P: Rat Achilles tendon healing: mechanical loading and gene expression. *J Appl Physiol* (1985) 107: 399-407, 2009
 - 22) Mortensen NH, Saether J, Steinke MS, Staehr H, Mikkelsen SS: Separation of tendon ends after Achilles tendon repair: a prospective, randomized, multicenter study. *Orthopedics* 15: 899-903, 1992
 - 23) Jones DL, Hallstrom GF, Jiang X, Locke RC, Evans MK, Bonnevie ED, Srikumar A, Leahy TP, Nijssure MP, Boerckel JD, Mauck RL, Dymont NA: Mechanoepigenetic regulation of extracellular matrix homeostasis via Yap and Taz. *Proc Natl Acad Sci U S A* 120: e2211947120, 2023
 - 24) Sakabe T, Sakai K, Maeda T, Sunaga A, Furuta N, Schweitzer R, Sasaki T, Sakai T: Transcription factor scleraxis vitally contributes to progenitor lineage direction in wound healing of adult tendon in mice. *J Biol Chem* 293: 5766-5780, 2018
 - 25) Lin D, Alberton P, Caceres MD, Volkmer E, Schieker M, Docheva D: Tenomodulin is essential for prevention of adipocyte accumulation and fibrovascular scar formation during early tendon healing. *Cell Death Dis* 8: e3116, 2017
 - 26) 弓削 類, 浦辺幸夫, 川真田聖一, 片岡勝子, Thomas P Martin: アキレス腱切断マウスの腱と筋組織の組織学的変化. 総合リハ 24: 169-175, 1996
 - 27) Liu SH, Panossian V, al-Shaikh R, Tomin E, Shepherd E, Finerman GA, Lane JM: Morphology and matrix composition during early tendon to bone healing. *Clin Orthop Relat Res* 253-260, 1997
 - 28) Wall BT, Snijders T, Senden JM, Ottenbros CL, Gijzen AP, Verdijk LB, van Loon LJ: Disuse impairs the muscle protein synthetic response to protein ingestion in healthy men. *J Clin Endocrinol Metab* 98: 4872-4881, 2013
 - 29) Yoneno M, Minegishi Y, Takahashi H, Takahata K, Miyamoto H, Usami Y, Kokubun T: Muscle Contraction is Essential for Tendon Healing and Muscle Function Recovery after Achilles Tendon Rupture and Surgical Repair. *bioRxiv* 2024
 - 30) Aufwerber S, Edman G, Gravare Silbernagel K, Ackermann PW: Changes in Tendon Elongation and Muscle Atrophy Over Time After Achilles Tendon Rupture Repair: A Prospective Cohort Study on the Effects of Early Functional Mobilization. *Am J Sports Med* 48: 3296-3305, 2020
 - 31) Hoeffner R, Agergaard AS, Svensson RB, Cullum C, Mikkelsen RK, Konradsen L, Krogsgaard M, Boesen M, Kjaer M, Magnusson SP: Tendon Elongation and Function After Delayed or Standard Loading of Surgically Repaired Achilles Tendon Ruptures: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med* 52: 1022-1031, 2024
 - 32) 加藤勇輝, 林美菜子, 四本忠彦, 江草典政: 新鮮アキレス腱断裂縫合術後に外固定なしで行う早期運動療法と運動機能回復. *PT ジャーナル* 45: 265-269, 2011
 - 33) 土肥有二: アキレス腱断裂の術後早期リハビリテーション. *整形外科と災害外科* 71: 628-632, 2022

The Mechanisms Leading to Tendon Lengthening and Tendon Strength-recovery Deficiency during Achilles Tendon Healing Process

Moe Yoneno,^{1,2} Koyo Nogi,¹ Takanori Ito,³ Yuna Usami,¹ Takanori Kokubun^{4*}

¹ Graduate School of Health, Medicine and Welfare, Saitama Prefectural University

² Japan Society for the Promotion of Science

³ Researcher, Graduate School of Health, Medicine and Welfare, Saitama Prefectural University

⁴ Graduate School of Health, Medicine, and Welfare, Saitama Prefectural University

Muscle dysfunction remains semipermanent after Achilles tendon rupture. The main factors contributing to this are reduced force transmission function due to tendon scar healing and reduced muscle tension associated with tendon elongation. The relationship between these issues and the mechanobiological mechanisms of the tendon healing process remains unclear, preventing the establishment of physiotherapy strategies. This study aimed to elucidate the effects of reducing the tensile load on tendons after Achilles tendon rupture and suture on tendon lengthening, strength recovery, and collagen maturation. We used a mouse model in which mechanical stress on the tendon was controlled by joint immobilization and muscle paralysis. Muscle contraction-maintained mice showed that the tendon length ratio and the maximum failure force returned to the same level as on the non-operative side at 4 weeks after surgery. Contrastingly, muscle paralysis mice indicated that the tendon strength remained inferior, and the length was elongated compared to the non-operated side. On the other hand, collagen maturation and stress were still limited, even though muscle contraction was maintained under ankle immobilization. Our result suggested that unloading the tendon early after Achilles tendon rupture surgery, particularly restriction of muscle contraction, leads to structural changes in the tendon and contributes to permanent muscle weakness. This study reveals negative aspects of tendon unloading and the necessity of muscle contraction in early rehabilitation after Achilles tendon rupture and suture.

Key words: Achilles tendon rupture, Muscle weakness, Tendon healing, Ankle immobilization, Muscle contraction

* Graduate School of Health, Medicine, and Welfare, Saitama Prefectural University
820 Sannomiya, Koshigaya-Shi, Saitama, 343-8540, Japan
E-mail: kokubun-takanori@spu.ac.jp

原 著

若年健常者における運動単位の活動パターンは性別と
内側広筋と外側広筋の筋別で異なる*桑原大輔¹⁾²⁾ 國木壮太²⁾ 梅原拓也³⁾ 木藤伸宏^{3) #}

要旨

本研究の目的は、内側広筋（以下、VM）と外側広筋（以下、VL）における運動単位の活動パターンが、性別で異なるか検証することとした。17名の若年健常者（男性9名、女性8名）に対して、等尺性最大膝伸展筋力の60%を目標とした台形収縮課題を実施した。課題中のVMとVLから得られた筋電図波形を、個々の運動単位由来の活動電位に分解し、活動電位振幅（以下、MUAP_{AMP}）と発火頻度（以下、MFR）を求めた。また、膝伸展トルクデータから各運動単位の動員閾値（以下、RT）を求めた。MUAP_{AMP}は、4つの各電極から、整流化されたテンプレート波形の最大振幅を平均した値を使用した。MFRは台形収縮課題中のプラトー期間前半1/4（5.0秒）における発火間隔の逆数を用いた。運動単位の活動パターンは、縦軸にMUAP_{AMP}またはMFR、横軸にRTを被験者ごとに散布して得られた回帰直線の傾きと切片で示した。MUAP_{AMP}-RTの切片の値は、女性よりも男性、VMよりもVLで高く、性別要因と筋別要因で有意な主効果を示した。MUAP_{AMP}-RTの傾きは、女性よりも男性で急であり、性別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。MFR-RTの切片は、男性よりも女性、VLよりもVMで高く、性別要因と筋別要因で有意な主効果を示した。MFR-RTの傾きは、男性ではVM、女性ではVLで緩やかな傾向にあり、性別で異なるVMとVLの運動単位の活動パターンを示し、性別要因と筋別要因による有意な交互作用を示した。これらの結果は、若年健常者における健全な運動単位の活動パターンを示すとともに、病態特異的な運動単位の活動パターンの違いについて把握するには、性別や個々の筋の違いに考慮する必要があることを示唆するものである。

キーワード 性差、運動単位の活動パターン、内側広筋、外側広筋

はじめに

大腿四頭筋は、人体で最も体積の大きい筋であり、二関節筋である大腿直筋と単関節筋で表面に位置する内側広筋（Vastus Medialis：以下、VM）および外側広筋（Vastus Lateralis：以下、VL）と深部に位置する中間

広筋で構成される¹⁾。これらの筋のうち、VMとVLは、同じ膝関節伸展に作用する単関節筋でありながら、異なる神経駆動を示す²⁾。VMとVLの均衡の取れた神経駆動は、膝関節、特に膝蓋大腿関節における膝蓋骨 kinematics に関与しており、膝蓋大腿関節疼痛症候群の発症予防に重要な要素の1つである³⁾。また、興味深いことに、若年健常者における膝関節痛のうち有訴率が最も高い膝蓋大腿関節疼痛症候群の発生率は、男性よりも女性で、およそ2.23倍高い⁴⁾。この理由として、女性では男性よりも、VLの筋厚や羽状角が少ないとした解剖学的要因の関与が示唆されているが、明確なエビデンスはない⁵⁾⁶⁾。筋によって発揮される張力は、筋厚や羽状角などの解剖学的要因だけでなく、筋活動に代表される神経駆動などの神経要因により調整される⁷⁾。VMとVLでは、筋活動の指標である複合活動電位の振幅や筋活動開始時間が、性別で異なることがわかっている⁸⁾⁹⁾。以上の背景から、若年健常者におけるVMとVLの神

* Motor Unit Behavior in Young Healthy Subjects Differs by Sex and between the Vastus Medialis and Vastus Lateralis Muscles

1) 済生会呉病院リハビリテーション室
Daisuke Kuwahara, PT, MSc: Department of Rehabilitation, Saiseikai Kure Hospital

2) 広島国際大学大学院医療・福祉科学研究科医療工学専攻
Daisuke Kuwahara, PT, MSc, Masahiro Kuniki, PT, MSc: Graduate School of Medical Welfare Sciences, Medical Engineering, Hiroshima International University

3) 広島国際大学総合リハビリテーション学部リハビリテーション学科
(〒739-2695 広島県東広島市黒瀬学園台555-36)
Takuya Umehara, PT, PhD, Nobuhiro Kito, PT, PhD: Department of Rehabilitation, Faculty of Rehabilitation, Hiroshima International University (555-36, Kurose-gakuendai, Higashihiroshima-Shi, Hiroshima 739-2695, Japan)

E-mail: n-kito@hirokoku-u.ac.jp
(受付日 2024年3月28日/受理日 2025年1月17日)

経駆動の違いを性別に分けて調査することは、膝関節の正常な kinematics を維持するために重要である。

近年、表面筋電図から得られたデータ解析方法の進歩によって、個々の運動単位に分けた詳細な神経駆動の情報が得られるようになってきている。運動単位は、1つの α 運動ニューロンによって支配される筋線維群の総称であり、筋収縮の最小機能単位である¹⁰⁾。筋収縮は、サイズの小さい運動単位から大きい運動単位にかけて順次動員させるリクルートメントと、動員した運動単位の発火頻度 (Motor unit Firing Rate: 以下, MFR) を向上させるレートコーディングによって調整される¹¹⁾。また、運動単位の活動は、個別に制御されるのではなく、共通の運動単位プールを介して制御される¹²⁾¹³⁾。この運動単位の活動パターンは、縦軸に活動電位の振幅 (Motor Unit Action Potential Amplitude: 以下, MUAP_{AMP}) または MFR, 横軸に動員閾値 (Recruitment Threshold: 以下, RT) を被験者ごとに散布して得られる回帰直線の傾きと切片により表現できる¹⁴⁾¹⁵⁾。MUAP_{AMP} は RT が高いほど大きくなる, サイズの原理に従う活動パターンを示す¹⁶⁾。また, MFR は RT が低いほど高くなる, オニオンスキンの現象に従う活動パターンを示す¹⁷⁾。これらの回帰直線によって表現される運動単位の活動パターンは、要求される力に応じた筋張力の発揮にかかわる詳細な神経駆動を把握する指標となるため、若年健常者の VM と VL を中心として、数々の検証がなされている。

これまでに、若年健常者の VM と VL における運動単位の活動パターンについて、以下のことがわかっている。Chalchat ら¹⁸⁾ と Valdes ら¹⁹⁾ は、等尺性膝伸展課題中の定常区間における MFR は、VL よりも VM で有意に高いと報告した。また、Souza ら²⁰⁾ は、等尺性膝伸展課題中の定常区間において、縦軸に MFR, 横軸に RT を散布して得られる回帰直線 (MFR-RT) の切片は、VL よりも VM で有意に高いと報告した。これらの結果から、若年健常者の膝関節伸展筋における MFR は、RT の大きさにかかわらず、VL よりも VM で高い。しかしながら、これまでの報告¹⁸⁻²⁰⁾ では、対象者を男性のみもしくは男女混合としており、運動単位の活動パターンも MFR に限定している。若年健常者における第一背側骨間筋を対象とした研究では、MFR-RT の切片が男性よりも女性で有意に高いことが報告されている²¹⁾。つまり、若年健常者の VM と VL の間に生じている MFR の違い¹⁸⁻²⁰⁾ は、性別の違いによって生じている可能性が残っている。また、MFR はオニオンスキンの現象に従う生理学的な運動単位の発火パターンを示すのに対して、MUAP_{AMP} は、運動単位のサイズである筋線維面積や Type II 線維比率といった構造学的な特性を反映する²²⁾²³⁾。これらの MFR と MUAP_{AMP} の 2

つのパラメータを扱うことは、運動単位の生理学的かつ構造学的な特性と制御メカニズムを把握するために重要である。よって、若年健常者の VM と VL における運動単位の活動パターンについて把握するためには、MFR と MUAP_{AMP} との双方について、性別に分けたうえで検証すべきである。

以上のことから、本研究の目的は、若年健常者の VM と VL における運動単位の活動パターンを性別に分けて検証することとした。本研究の実施は、性別や VM と VL といった個々の筋の違いに依らない、病態特異的な運動単位の活動パターンの違いについて把握するための基礎情報を提供する。

方 法

1. 対象者

本研究の対象者は、広島国際大学に在籍する若年健常男性 10 名と若年健常女性 10 名とした。本研究の除外基準は、体幹と下肢に整形外科疾患の既往歴および手術歴がある、日常生活活動において体幹と下肢に疼痛や違和感を生じる、計測開始日 6 ヶ月前より週 3 回以上かつ 1 日 30 分以上の下肢筋力レジスタンストレーニングを実施している²⁴⁾、課題計測中、下肢に疼痛や違和感を生じた個人とした。本研究は、ヘルシンキ宣言ならびに人を対象とする医学系研究に関する倫理指針に則って行った。対象者には、研究の主旨を十分説明したうえで書面にて同意を得た。なお、本研究は、広島国際大学の人を対象とする医学系研究倫理委員会にて承認 (承認番号: 倫理 21-036) を得た。

2. 計測課題

計測課題は等尺性膝伸展運動とした。等尺性膝伸展運動時のトルクの計測は、Biodex System III (Biodex, Tokyo, Japan) を使用した。計測肢位を、図 1a に示す。計測肢位は、膝関節 90 度屈曲位の座位姿勢とし、対側大腿部と体幹はストラップにて固定した。また、計測下肢の大腿骨外側上顆にダイナモメータ軸、脛骨内果近位端に足部カフベルトが位置するよう、座面調整を行った。具体的な計測課題は、最大下随意収縮 (% Maximal Voluntary Contraction: 以下, %MVC) とした。最大随意収縮 (Maximal Voluntary Contraction: 以下, MVC) を 2 度実施したうち、高い値をトルクの最大値として使用した。次に、トルクの最大値の 60% を目標値とする台形収縮課題の計測を、複数回練習したのちに実施した。計測課題強度は、VL を支配する運動単位の 8.5 割以上が 60%MVC までに動員される²⁵⁾ ことに基づいて、60%MVC に設定した。台形収縮課題は、5 秒間のランブアップ期間 (12%MVC/s) と 25 秒間のプラトー期間 (60% MVC を維持) および 5 秒間のランブダウン期間

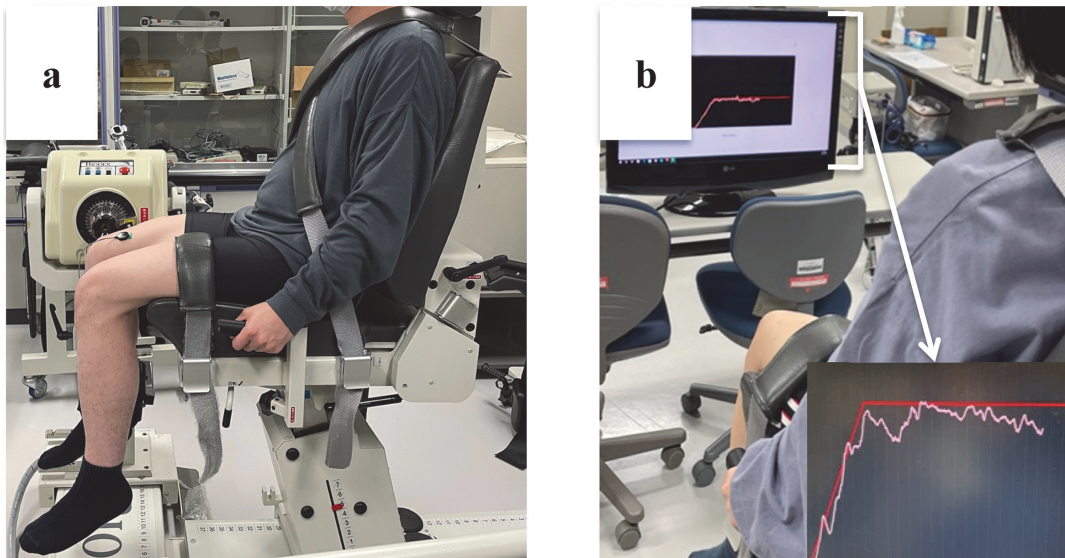


図1 計測肢位

計測肢位は、膝関節90度屈曲位の座位姿勢とし、対側大腿部と体幹に拘束ストラップを装着した。また、計測下肢の大腿骨外側上顆にダイナモメータ軸、脛骨内果近位端に足部カフベルトが位置するように、座面の調整を行った。

(12%MVC/s)で構成し、視覚フィードバック下のもとりアルタイムで追跡するものとした(図1b)。視覚フィードバックは、EMG works (Delsys, Natick, USA)に内蔵されているProfile trackingシステムを使用して映し出したトルクデータのガイドに、できるだけ近い等尺性膝伸展トルクを維持させるものとした。等尺性膝伸展トルクのデータは、Biodex system IIIからEMG worksを介して、同期した。なお、等尺性膝伸展トルクの最大値は、トルク値に下腿長(m)を掛けて体重(kg)で除した値(Nm^2/kg)を採用した。

3. 表面筋電図データの収集

まず、本研究では、ポケットエコー FAMUBO (誠鋼社, 東京, 日本)を使用して、VMとVLの電極の貼付位置に隣接する筋の重なりがないことを確認し、他の筋からの電位混入を防いだ。その後、筋電図を計測するために、スキンプイア (日本光電, 東京)で電極貼付部位となる皮膚表皮を研磨し、取り除かれた皮膚表皮をサージカルテープで削ったのちに、アルコール綿で拭き取った。表面筋電図データは、Trigno Galileo Sensor (Delsys, Natick, USA)の4つの電極から、VMとVLに対して収集した。記録電極(電極サイズ:1 mm, 形状:円型, 電極間距離:5 mm)の貼付部位は、SENIAMの国際基準に準じて²⁶⁾、VMでは、上前腸骨棘から大腿骨内側上顆までの遠位70%の位置、VLでは、上前腸骨棘から膝蓋骨外側縁までの遠位2/3の位置とした。参照電極(電極サイズ:1×5 mm, 形状:棒型, 電極間距離:10 mm)の貼付部位は、大腿四頭筋腱または膝蓋腱とした。ノイズのない表面筋電図のデータを収集する

ために、安静時の活動電位振幅が $40 \mu\text{V}$ 以内であることを確認した。計測課題中の表面筋電図のデータは、2,222 Hzのサンプリング周波数から20 – 450 Hzのバンドパスフィルターによってフィルタリングされた後に、EMG worksに取り込んだ。

4. 表面筋電図データの解析

表面筋電図データは、Decomposition algorithm (Neuromap, Natick, USA)によって、個々の運動単位に分解したのちに、MUAP_{AMP}と運動単位の発火間隔を算出した。MUAP_{AMP}は、Trigno Galileo Sensorの4つの各電極から、整流化されたテンプレート波形の最大振幅を平均した値を使用した。運動単位の分解精度は、再構築テスト(decompose-synthesize-decompose-compare法)によって検証された²⁷⁾。本研究では、各運動単位のうち、発火間隔の一致率が85%以上であったデータのみ、解析に使用した²⁸⁾。本研究のアウトカムである運動単位の活動パターンは、MUAP_{AMP}-RTの傾きと切片およびMFR-RTの傾きと切片とした。なお、MFRは、台形収縮課題のプラトー期間前半1/4(10.0–15.0秒)における運動単位の発火間隔の逆数により算出した。また、RTは、運動単位が動員された際のトルク値とした。先行研究にない、本研究では、運動単位の活動パターンを示す回帰直線の傾きと切片を算出するのに、最低限必要な運動単位数は4個に設定した²⁹⁾。本研究にて、台形収縮課題中に記録された4つの電極から得られた複合活動電位波形およびMUAP_{AMP}とMFRの一例を、図2に示す。また、本研究のアウトカムである、運動単位の活動パターンの一例を、図3に示す。

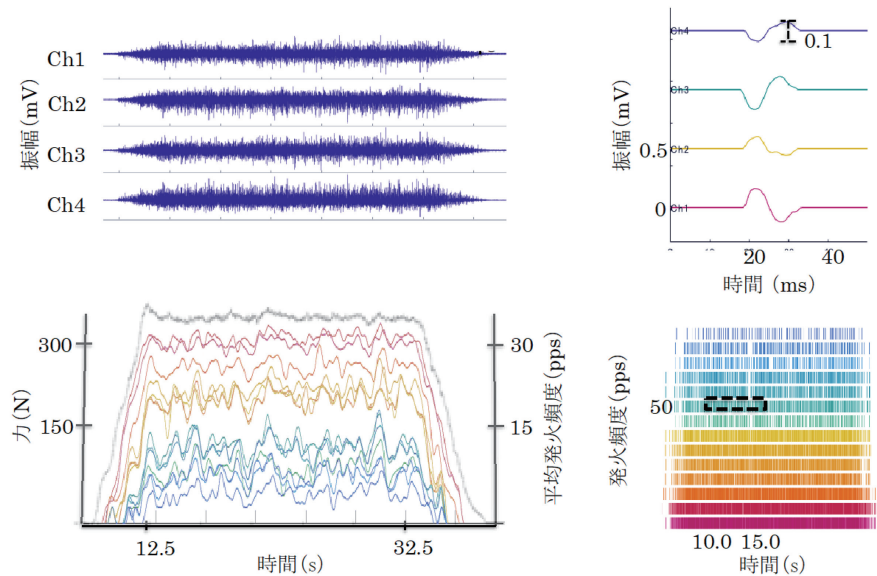


図2 計測課題中の等尺性膝伸展トルクと運動単位の活動電位振幅および発火頻度
 左上：4つの電極から得られた複合活動電位を示す。
 右上：運動単位の活動電位振幅のテンプレート波形を示す。図中の破線は、Ch1から得られた活動電位振幅が0.1 mVであることを示す。
 左下：等尺性膝伸展トルクと各運動単位の平均発火曲線を示す。
 右下：運動単位の発火頻度のテンプレートを示す。図中の破線は、5秒間（10.0-15.0秒）で50回発火したことを示す。この場合、運動単位の平均発火頻度は10回/秒となる。

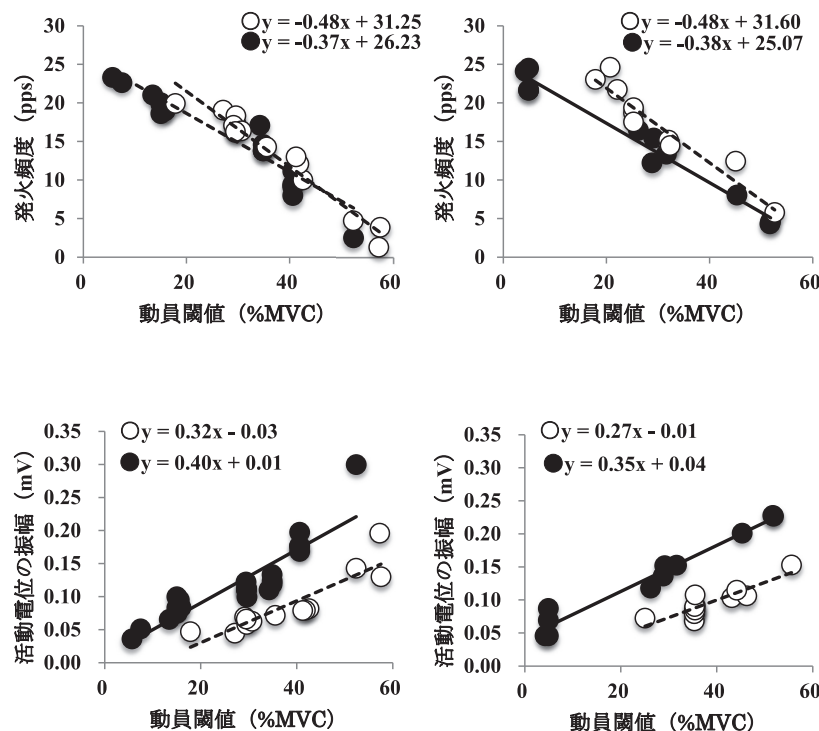


図3 男性と女性それぞれ1名の被験者から得られた運動単位の活動パターンの例
 左上と左下は内側広筋、右上と右下は外側広筋の結果を示す。黒丸は男性、白丸は女性を示す。実線は男性の回帰直線、破線は女性の回帰直線を示す。
 略語：pps (pulse per second), MVC (Maximal Voluntary Contraction)

5. 超音波データの収集と解析

VMとVLの皮下組織厚は、ポケットエコーFAMUBOの7.5 MHzに設定されたリニアプローブにエコーゼリール（GE Healthcare, 東京, 日本）を塗布して計測した。計

測肢位は、大腿部が座面に接地しない安静座位とした。また、VMとVLの計測部位は、SENIAMの国際基準²⁶⁾に準じた。VMとVLの皮下組織厚の一例を、図4に示す。VMとVLの皮下組織厚は、画像解析ソフトImage

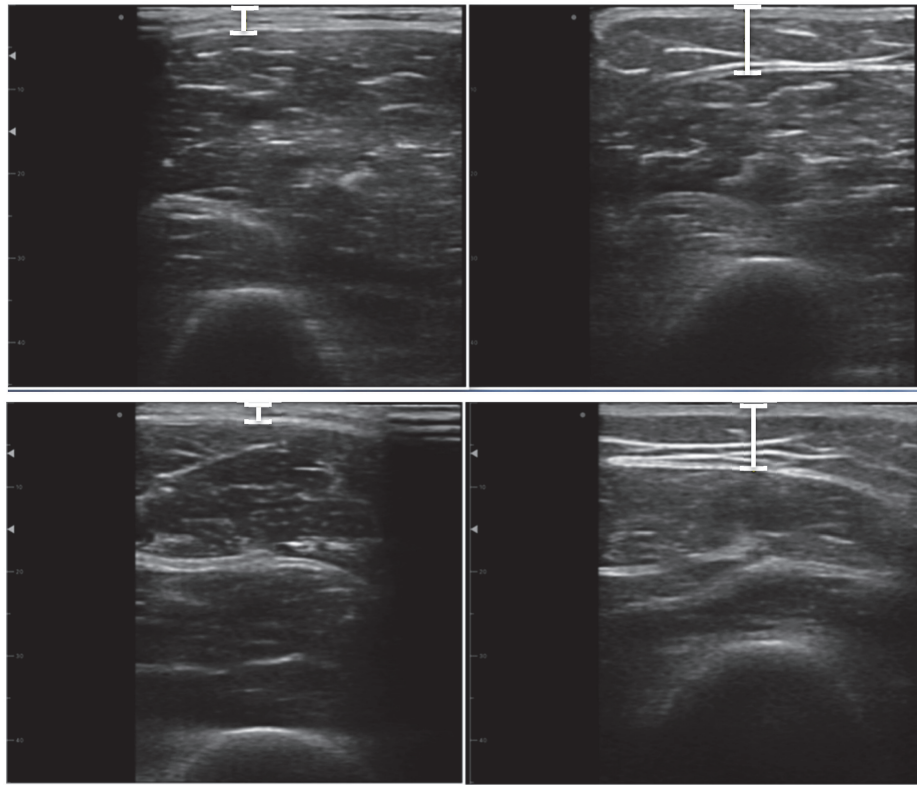


図4 内側広筋と外側広筋の皮下組織厚の計測領域

皮下組織厚のデータは、画像処理ソフト Image J ver.1.4 を使用して算出した。図中の白線箇所は、皮下組織厚を示す。

左上：男性の内側広筋の皮下組織に対する計測領域

右上：女性の内側広筋の皮下組織に対する計測領域

左下：男性の外側広筋の皮下組織に対する計測領域

右下：女性の外側広筋の皮下組織に対する計測領域

J version 1.4 (Java, Maryland, USA) により算出した。

6. 統計解析

年齢、身長、体重、Body Mass Index (以下、BMI)、最大等尺性膝伸展トルク、皮下組織厚の性差を明らかにするために、Shapiro-Wilk 検定による変数の正規性に基づき、対応のない t 検定または Mann-Whitney の U 検定を実施した。また、運動単位の活動パターンにおける性別要因と筋別要因の各要因に対する主効果と交互作用の有無を明らかにするために、二元配置分散分析を実施した。さらに、対象者数に依らない実質的な差を示す効果量を算出した³⁰⁾。二元配置分散分析に適した効果量である η^2 の数値解釈は、0.01-0.06 までを小、0.06-0.14 までを中、0.14 以上を大とした³⁰⁾。統計処理には、SPSS version 28.0 for Windows (日本アイ・ビー・エム, Tokyo) を使用した。有意水準は、5%とした。

結 果

1. 基本医学情報と皮下組織厚の性差

本研究対象者のうち、男性 1 名と女性 2 名は、運動単

位の活動パターンの指標である回帰直線を導出するために必要な運動単位数を検出できなかったため、除外した。よって、最終的な対象者数は、男性 9 名と女性 8 名の計 17 名となった。身長 ($p < 0.01$, 男性 1.72 ± 0.04 m : 女性 1.61 ± 0.04 m) と体重 ($p < 0.01$, 男性 63.78 ± 6.64 kg : 女性 50.17 ± 3.59 kg) および BMI ($p = 0.02$, 男性 21.50 ± 2.27 kg/m² : 女性 19.31 ± 1.09 kg/m²) は、女性よりも男性で有意に高かった。VM と VL の皮下組織厚 (VM : $p < 0.01$, 男性 0.43 ± 0.15 cm, 女性 0.92 ± 0.34 cm, VL : $p < 0.01$, 男性 0.30 ± 0.12 cm, 女性 0.64 ± 0.12 cm) は、それぞれ男性よりも女性で有意に厚かった。また、女性の場合、皮下組織厚は VL よりも VM で有意に厚かった ($p < 0.05$, VL 0.64 ± 0.12 cm, VM 0.92 ± 0.34 cm)。男性の場合、統計学的に有意ではないものの、女性と同様に皮下組織厚は VL よりも VM で厚かった。($p = 0.05$, VL 0.30 ± 0.12 cm, VM 0.43 ± 0.15 cm)。年齢 ($p = 0.22$, 男性 23.44 ± 2.74 歳 : 女性 21.62 ± 1.40 歳) と最大等尺性膝伸展トルク ($p = 0.06$, 男性 1.23 ± 0.25 Nm²/kg : 女性 1.00 ± 0.22 Nm²/kg) は、性別で有意な差はなかった。

表1 運動単位の活動電位振幅と動員閾値による回帰直線に対する二元配置分散分析の結果

	男性		女性		主効果 交互作用	効果量 η^2
	内側広筋	外側広筋	内側広筋	外側広筋		
傾き (mV/RT)	0.41 \pm 0.11	0.43 \pm 0.25	0.35 \pm 0.09	0.21 \pm 0.08	性別: $p = 0.01$ * 筋別: $p = 0.30$ 交互: $p = 0.16$	性別: 0.17 † 筋別: 0.03 交互: 0.06 ‡
切片 (mV)	0.02 \pm 0.35	0.23 \pm 0.25	-0.46 \pm 0.37	-0.07 \pm 0.29	性別: $p < 0.01$ * 筋別: $p = 0.01$ * 交互: $p = 0.40$	性別: 0.30 † 筋別: 0.19 † 交互: 0.02

値: 平均値 \pm 標準偏差記号: *; $p < 0.05$, † ; 大の効果量, ‡ ; 中の効果量

略語: RT (recruitment threshold)

表2 運動単位の発火頻度と動員閾値による回帰直線に対する二元配置分散分析の結果

	男性		女性		主効果 交互作用	効果量 η^2
	内側広筋	外側広筋	内側広筋	外側広筋		
傾き (pps/RT)	-0.40 \pm 0.06	-0.43 \pm 0.07	-0.51 \pm 0.08	-0.42 \pm 0.08	性別: $p = 0.08$ 筋別: $p = 0.28$ 交互: $p = 0.02$ *	性別: 0.09 ‡ 筋別: 0.03 交互: 0.15 †
切片 (pps)	24.95 \pm 2.61	23.72 \pm 3.42	32.26 \pm 5.58	26.85 \pm 4.57	性別: $p < 0.01$ * 筋別: $p = 0.02$ * 交互: $p = 0.14$	性別: 0.31 † 筋別: 0.15 † 交互: 0.07

値: 平均値 \pm 標準偏差記号: *; $p < 0.05$, † ; 大の効果量, ‡ ; 中の効果量

略語: pps (pulse per second), RT (recruitment threshold)

2. 運動単位の活動パターンの筋別要因と性別要因に対する交互作用と主効果

運動単位の活動パターンのうち, MUAP_{AMP}-RT の傾きと切片に対する筋別要因と性別要因の比較結果を, 表1に示す。MUAP_{AMP}-RT の傾きと切片のそれぞれで, 筋別要因と性別要因による交互作用を示さなかった (傾き: $p = 0.16$, 切片: $p = 0.40$)。MUAP_{AMP}-RT の切片は, VM よりも VL で高く, 筋別要因に有意な主効果と大の効果量を示した ($p = 0.01$, $\eta^2 = 0.19$)。また, MUAP_{AMP}-RT の傾きは女性よりも男性で急であり, MUAP_{AMP}-RT の切片は女性よりも男性で高く, 性別要因に有意な主効果と大の効果量を示した (傾き: $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.17$, 切片: $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.30$)。

運動単位の活動パターンのうち, MFR-RT の傾きと切片に対する筋別要因と性別要因の比較結果を, 表2に示す。MFR-RT の傾きは, 筋別要因と性別要因による有意な交互作用と大の効果量を示した ($p = 0.02$, $\eta^2 = 0.15$)。MFR-RT の切片は, VL よりも VM で高く, 筋別要因に有意な主効果と大の効果量を示した ($p = 0.02$: $\eta^2 = 0.15$)。また, MFR-RT の切片は, 男性よりも女性で高く, 性別要因に有意な主効果と大の効果量を示した ($p < 0.01$, $\eta^2 = 0.31$)。

考 察

1. 結果の要約

本研究は, 若年健常者の VM と VL における運動単位の活動パターンを性別に分けて検証した。その結果, 運動単位の活動パターンは, 性別と VM および VL の筋別で, 以下のように異なることが明らかとなった。1) MUAP_{AMP}-RT の切片は, 女性よりも男性, VM よりも VL で高く, 性別要因と筋別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。2) MUAP_{AMP}-RT の傾きは, 女性よりも男性で急であり, 性別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。3) MFR-RT の切片は, 男性よりも女性, VL よりも VM で高く, 性別要因と筋別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。4) MFR-RT の傾きは, 男性では VM, 女性では VL で緩やかな傾向にあり, 性別によって VM と VL の運動単位の活動パターンが異なることで, 性別要因と筋別要因による有意な交互作用と大の効果量を示した。これらの結果は, 若年健常者における健全な運動単位の活動パターンを示すとともに, 病態特異的な運動単位の活動パターンの違いについて把握するには, 性別や個々の筋の違いに考慮する必要があることを示唆するものである。

2. 運動単位の活動パターンに対する筋別要因と性別要因の交互作用

MFR-RTの傾きは、男性ではVM、女性ではVLで緩やかな傾向にあり、性別によって異なるVMとVLの運動単位の活動パターンを示した。その結果、MFR-RTの傾きは、筋別要因と性別要因で有意な交互作用と大の効果量を示した。これまでに、MFR-RTの傾きに対する、筋別要因と性別要因による交互作用を検証した報告はない。MFRは、より低閾値で動員されるType I線維ほど高い、オニオンスキンの現象に従う活動パターンを示す¹⁷⁾。ゆえに、先行研究ではMFR-RTの傾きと切片は、それぞれType I線維比率の高さと有意に相関している³¹⁾³²⁾。Type I線維比率は、VLよりもVMで高い³³⁾。したがって、MFR-RTの傾きは、VLよりもVMで緩やかであると仮説を立てた。しかしながら、本研究対象者におけるMFR-RTの傾きは、男性ではVLよりもVMで緩やかな傾向にあるものの、女性ではVLよりもVMで急な傾向にあった。この理由として、我々は、先行研究と本研究で提示された異なる計測課題強度がかかわったと考えている。先行研究³¹⁾と本研究で提示された計測課題強度は、それぞれ40%MVCと60%MVCであった。Fuglevandら³⁴⁾は、MFR-RTの傾きと相関を示すType I線維の動員は、およそ40%MVCまでと報告している。そのため、本研究で提示した計測課題強度では、40%から60%MVCにかけて、Type IよりもType II線維が動員された可能性が高い。Type I線維比率は、男性よりも女性³⁵⁾、VLよりもVM³³⁾で高い。そのため、Type I線維比率の最も高い組み合わせである女性のVMでは、女性のVLや男性のVMおよびVLよりも、低閾値ほどMFRは高く、高閾値ほどMFRは低いと考えられる。その結果、女性のVMでは、低閾値と高閾値で動員される運動単位のMFRの差が大きくなり、MFR-RTの傾きが急になったと推測した。

3. 運動単位の活動パターンに対する性別要因の主効果

MUAP_{AMP}-RTの傾きは、女性よりも男性で急であり、性別要因で有意な主効果と大の効果量を示しており、Trevinoら¹⁵⁾の報告と一致した。MUAP_{AMP}-RTの傾きが、女性よりも男性で急であった理由として、Type II線維の筋組成が関係した可能性がある。MUAP_{AMP}-RTの傾きが急であることは、低いRTと高いRTで動員されるMUAP_{AMP}の差が大きいことを意味する。男性では女性よりも、比較的RTの高いType II線維の比率が高く断面積も大きい²³⁻³⁶⁾。Type II線維の比率が高く断面積が大きいほど、MUAP_{AMP}は高い²³⁾³²⁾。そのため、本研究でも、MUAP_{AMP}-RTの傾きは、女性よりも男性で急であったと推測した。MFR-RTの切片は、男性よりも女性で高く、性別要因で有意な主効果と

大の効果量を示した。Parraら²¹⁾の報告では、10%MVCではなく70%MVCに限り、MFR-RTの切片が男性よりも女性で有意に高かった。本研究の結果は、先行研究²¹⁾の結果を支持した。これまでに、男性よりも女性のMFR-RTの切片が高いメカニズムについて明らかにされていないものの、Parraら²¹⁾は、女性では男性よりも、漸増的に力の増大する等尺性収縮課題において、MFRの向上が遅れてプラトーに達する可能性について述べている³⁷⁻⁴¹⁾。つまり、女性では、高強度の等尺性収縮課題の遂行にあたり、全体的なMFRの向上および発火頻度の向上に長けたType I線維の動員されやすい低閾値でMFRを向上させる戦略を取りやすい可能性がある⁴²⁾。ゆえに、MFR-RTの切片は、男性よりも女性で高くなりやすい。本研究でも、計測課題強度が60%MVCと先行研究²¹⁾の70%MVCと類似していたため、同様の結果が得られた可能性がある。また、この仮説は、本研究結果の1つと関連づけることができるかもしれない。本研究では、女性に限りMFR-RTの傾きは、VLよりもVMで急であった。VMはVLよりも、発火頻度の向上しやすいType I線維比率が高いことから、高強度の等尺性収縮課題の遂行にあたって、運動単位プールの動作点を高くする戦略を取りやすかった可能性がある。MUAP_{AMP}-RTの切片は、女性よりも男性で高く、性別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。Trevinoら¹⁵⁾の報告では、VLにおけるMUAP_{AMP}-RTの切片に性別で有意差はなかった。よって、本研究の結果は、先行研究の結果と異なった。この理由として、皮下組織厚の性差が影響を及ぼした可能性がある。MUAP_{AMP}-RTの傾きが急であり切片が高いことは、RT全体を通してMUAP_{AMP}が高いことを示す。Barkhausら⁴³⁾とRoeleveldら⁴⁴⁾は、表面筋電図法によって記録したMUAP_{AMP}は、皮下組織厚の厚さに伴い減衰すると報告した。本研究では、Trevinoら¹⁵⁾の報告と異なり、女性と男性で皮下組織厚をマッチングしておらず、男性よりも女性で皮下組織厚は有意に厚かった。そのため、本研究において、皮下組織厚の厚い女性では、男性よりもMUAP_{AMP}が動員閾値全体で減衰した結果、MUAP_{AMP}-RTの切片も有意に低かった可能性があると推測した。

4. 運動単位の活動パターンに対する筋別要因の主効果

MFR-RTの切片は、VLよりもVMで有意に高く、筋別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。Shermanらの報告⁴⁵⁾でも、MFR-RTの切片は、VLよりもVMで高かった。よって、本研究結果は、先行研究の結果を支持した。MFR-RTの切片が、VLよりもVMで高い理由として、VMとVLにおける筋線維の構造的な違いが関係した可能性がある。VLは起始部から停止部に

けて膝関節伸展方向である縦方向に配列されるが、VMは起始部から停止部にかけて徐々に横方向に配列される²⁰⁾⁴⁶⁾。また、VLの生理学的断面積は、VMの約2倍である⁴⁷⁾⁴⁸⁾。これらの結果は、VLがVMよりも膝関節伸展方向への力を発揮しやすい構造になっていることを示す。この筋線維の構造的な利点によって、VLはVMよりも高いMFRを発生させずとも、同じ力の要求される等尺性膝伸展課題を遂行できた可能性がある。

MUAP_{AMP}-RTの切片は、VMよりもVLで高く、筋別要因で有意な主効果と大の効果量を示した。これまでに、MUAP_{AMP}-RTの切片について、VMとVLで比較した報告はない。MUAP_{AMP}は、運動単位のサイズである筋線維面積やType II線維比率といった構造的な特性の他に、皮下組織厚も反映する²²⁾²³⁾⁴³⁾⁴⁴⁾。先行研究では、VLはVMよりも、筋断面積は大きくType II線維比率が高い³³⁾⁴⁹⁾。また、本研究対象者において、皮下組織厚は、VLよりもVMで厚かった。皮下組織厚によるMUAP_{AMP}の減衰は、RTによらず全体を通して生じる。そのため、MUAP_{AMP}-RTの切片は、VMよりもVLで有意に高かったと推測した。

本研究の限界

本研究の限界として、主に3つの点が挙げられる。1つ目は、サンプルサイズが小さい点である。本研究の対象者は、若年健常者のうち男性9名と女性8名の計17名であった。第2種の過誤を防ぐためにも、サンプルサイズは大きいことが望ましい。ただし、本研究では、対象者数に依らない実質的な差を表す効果量を用いている³⁰⁾。そのため、本研究で得られた結果の整合性を、大きく損なうものではない。2つ目は、皮下組織厚がMUAP_{AMP}に及ぼす影響について検証していない点である。Barkhausら⁴³⁾とRoeleveldら⁴⁴⁾は、表面筋電図による運動単位の活動電位振幅は、皮下組織厚の増加に伴って減衰すると報告した。本研究における男性と女性の皮下組織厚は、VMとVLのそれぞれで、女性では男性よりも有意に厚かった。そのため、女性では男性よりも、MUAP_{AMP}を過小評価してしまう可能性がある。今後MUAP_{AMP}の性差について検証する際には、性別で皮下組織厚をマッチングさせることで、より明確な違いを示すことに繋がるかもしれない。3つ目は、女性の月経周期がMFRに及ぼす影響について検証していない点である。Tenanら⁵⁰⁾は、月経周期によって、運動単位の発火頻度が異なることを報告した。ただし、この報告⁵⁰⁾では、運動単位の発火頻度のうち、初回から3回目までの発火間隔であるInitial Firing Rate（以下、IFR）を用いている。本研究では、運動単位の発火頻度のうち、計測課題の定常期間の平均発火頻度を示すMFRを用いた。Parraら²¹⁾は、同じ対象者と被験筋

を対象として、IFRとMFRは異なる運動単位の活動パターンを示すことを示している。つまり、Tenanら⁵⁰⁾の研究と本研究では、運動単位の発火頻度の指標が異なるため、女性の月経周期が、本研究結果に直接かわるとは限らない。これらの限界点がありながらも、若年健常者を対象とした本研究の結果は、加齢や膝関節疾患に特異的な運動単位の活動パターンの変化を知るための参考値として使用できるものである。

結 論

若年健常者のVMとVLにおける運動単位の活動パターンは、性別で異なった。本研究結果は、若年健常者における健全な運動単位の活動パターンを示すとともに、病態特異的な運動単位の活動パターンの違いについて把握するには、性別や個々の筋の違いに考慮する必要があることを示唆するものである。

文 献

- 1) Wilson NA, Sheehan FT: Dynamic in Vivo 3-Dimensional Moment Arms of the Individual Quadriceps Components. *J Biomech* 42: 1891-1897, 2009
- 2) Kim H, Song CH: Comparison of the VMO/VL EMG Ratio and Onset Timing of VMO Relative to VL in Subjects with and without Patellofemoral Pain Syndrome. *J Phys Ther Sci* 24: 1315-1317, 2012
- 3) Ng GYF, Zhang AQ, Li CK: Biofeedback Exercise Improved the EMG Activity Ratio of the Medial and Lateral Vasti Muscles in Subjects with Patellofemoral Pain Syndrome. *J Electromyogr Kinesiol* 18: 28-133, 2008
- 4) Boling M, Padua D, Marshall S, Guskiewicz K, Pyne S, Beutler A: Gender Differences in the Incidence and Prevalence of Patellofemoral Pain Syndrome: Epidemiology of Patellofemoral Pain. *Scand J Med Sci Sports* 20: 725-730, 2010
- 5) Ashnagar Z, Hadian M-R, Sajjadi E, Kajbafvala M, Olyaei G, Pashazadeh F, Rezasoltani A: Quadriceps Architecture in Individuals with Patellofemoral Pain: A Systematic Review. *J Bodyw Mov Ther* 25: 248-254, 2021
- 6) Trevino M, Perez S, Sontag S, Olmos A, Jeon S, Richardson L: Influence of Pennation Angle and Muscle Thickness on Mechanomyographic Amplitude-Torque Relationships and Sex-Related Differences in the Vastus Lateralis. *J Funct Morphol Kinesiol* 8: 53, 2023
- 7) Enoka RM, Duchateau J: Rate Coding and the Control of Muscle Force. *Cold Spring Harb Perspect Med* 7: a029702, 2017
- 8) Peng Y-L, Johnson AE, Griffin L: Sex Differences in Neuromuscular Control of Quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 120: 2193-2202, 2020
- 9) Pincivero DM, Green RC, Mark JD, Campy RM: Gender and Muscle Differences in EMG Amplitude and Median Frequency, and Variability during Maximal Voluntary Contractions of the Quadriceps Femoris. *J Electromyogr Kinesiol* 10: 189-196, 2000
- 10) Duchateau J, Enoka RM: Human Motor Unit Recordings: Origins and Insight into the Integrated Motor System. *Brain Res* 1409: 42-61, 2011
- 11) Farina D, Negro F: Common Synaptic Input to Motor

- Neurons, Motor Unit Synchronization, and Force Control. *Exerc Sport Sci Rev* 43: 23–33, 2015
- 12) De Luca CJ, Erim Z: Common Drive in Motor Units of a Synergistic Muscle Pair. *J Neurophysiol* 87: 2200–2204, 2002
 - 13) Farina D, Negro F, Dideriksen JL: The Effective Neural Drive to Muscles Is the Common Synaptic Input to Motor Neurons. *J Physiol* 592: 3427–3441, 2014
 - 14) De Luca CJ, LeFever RS, McCue MP, Xenakis AP: Behaviour of Human Motor Units in Different Muscles during Linearly Varying Contractions. *J Physiol* 329: 113–128, 1982
 - 15) Trevino MA, Sterczala AJ, Miller JD, Wray ME, Dimmick HL, Ciccone AB, Weir JP, Gallagher PM, Fry AC, Herda TJ: Sex-related Differences in Muscle Size Explained by Amplitudes of Higher-threshold Motor Unit Action Potentials and Muscle Fibre Typing. *Acta Physiol* 225: e13151, 2019
 - 16) Henneman E: Relation between Size of Neurons and Their Susceptibility to Discharge. *Sci New Ser* 126: 1345–1347, 1957
 - 17) Henneman E, Mendell LM: Functional Organization of Motoneuron Pool and Its Inputs. In *Comprehensive Physiology*. Terjung R, (Ed.). Wiley, pp 423–507, 1981
 - 18) Chalchat E, Piponnier E, Bontemps B, Julian V, Bocock O, Duclos M, Ratel S, Martin V: Characteristics of Motor Unit Recruitment in Boys and Men at Maximal and Submaximal Force Levels. *Exp Brain Res* 237: 1289–1302, 2019
 - 19) Martinez-Valdes E, Negro F, Laine CM, Falla D, Mayer F, Farina D: Tracking Motor Units Longitudinally across Experimental Sessions with High-density Surface Electromyography. *J Physiol* 595: 1479–1496, 2017
 - 20) de Souza LML, Cabral HV, de Oliveira LF, Vieira TM: Motor Units in Vastus Lateralis and in Different Vastus Medialis Regions Show Different Firing Properties during Low-Level, Isometric Knee Extension Contraction. *Hum Mov Sci* 58: 307–314, 2018
 - 21) Parra ME, Sterczala AJ, Miller JD, Trevino MA, Dimmick HL, Herda TJ: Sex-Related Differences in Motor Unit Firing Rates and Action Potential Amplitudes of the First Dorsal Interosseous during High-, but Not Low-Intensity Contractions. *Exp Brain Res* 238: 1133–1144, 2020
 - 22) Olson CB, Carpenter DO, Henneman E: Orderly recruitment of muscle action potentials. *Arch Neurol* 19: 591–597, 1968
 - 23) Miller AEJ, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Sale DG: Gender Differences in Strength and Muscle Fiber Characteristics. *Eur J Appl Physiol* 66: 254–262, 1993
 - 24) Girts RM, Mota JA, Harmon KK, MacLennan RJ, Stock MS: Vastus Lateralis Motor Unit Recruitment Thresholds Are Compressed towards Lower Forces in Older Men. *J Frailty Aging* 9(4): 191–196, 2020
 - 25) Pope ZK, Hester GM, Benik FM, DeFreitas JM: Action Potential Amplitude as a Noninvasive Indicator of Motor Unit-Specific Hypertrophy. *J Neurophysiol* 115: 2608–2614, 2016
 - 26) Merletti R, Hermens H: Introduction to the Special Issue on the SENIAM European Concerted Action. *J Electromyogr Kinesiol* 10: 283–286, 2000
 - 27) De Luca CJ, Adam A, Wotiz R, Gilmore LD, Nawab SH: Decomposition of Surface EMG Signals. *J Neurophysiol* 96: 1646–1657, 2006
 - 28) Kapelner T, Negro F, Aszmann OC, Farina D: Decoding Motor Unit Activity From Forearm Muscles: Perspectives for Myoelectric Control. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 26: 244–251, 2018
 - 29) Christie A, Kamen G: Doublet Discharges in Motoneurons of Young and Older Adults. *J Neurophysiol* 95: 2787–2795, 2006
 - 30) 水本 篤, 竹内 理: 研究論文における効果量の報告のために. *英語教育研究* 31: 57–66, 2008
 - 31) Trevino MA, Herda TJ, Fry AC, Gallagher PM, Vardiman JP, Mosier EM, Miller JD: Influence of the Contractile Properties of Muscle on Motor Unit Firing Rates during a Moderate-Intensity Contraction in Vivo. *J Neurophysiol* 116: 552–562, 2016
 - 32) Colquhoun RJ, Magrini MA, Haun CT, Muddle TWD, Tomko PM, Luera MJ, Mackey CS, Vann CG, Martin JS, Young KC, DeFreitas JM, Roberts MD, Jenkins NDM: Muscle Phenotype Is Related to Motor Unit Behavior of the Vastus Lateralis during Maximal Isometric Contractions. *Physiol Rep* 6: e13636, 2018
 - 33) Polgar J, Johnson MA, Weightman D, Appleton D: Data on fibre size in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J Neurol Sci* 19: 307–318, 1973
 - 34) Fuglevand AJ, Macefield VG, Bigland-Ritchie B: Force-Frequency and Fatigue Properties of Motor Units in Muscles That Control Digits of the Human Hand. *J Neurophysiol* 81: 1718–1729, 1999
 - 35) Nuzzo JL: Sex Differences in Skeletal Muscle Fiber Types: A Meta-analysis. *Clin Anat* 37: 81–91, 2024
 - 36) Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Murray TF, Hostler DP, Crill MT, Ragg KE, Toma K: Fiber Type Composition of the Vastus Lateralis Muscle of Young Men and Women. *J Histochem Cytochem* 48: 623–629, 2000
 - 37) Bigland B, Lippold OC: Motor unit activity in the voluntary contraction of human muscle. *J Physiol* 125: 322–335, 1954
 - 38) Dasgupta A, Simpson JA: Relation between firing frequency of motor units and muscle tension in the human. *Electromyography* 2: 117–128, 1962
 - 39) Clamann HP: Activity of single motor units during isometric tension. *Neurology* 20: 254–260, 1970
 - 40) Milner-Brown HS, Stein RB, Yemm R: The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions. *J Physiol* 230: 359–370, 1973
 - 41) Monster AW, Chan H: Isometric force production by motor units of extensor digitorum communis muscle in man. *J Neurophysiol* 40: 1432–1443, 1977
 - 42) De Luca CJ, Contessa P: Biomechanical Benefits of the Onion-Skin Motor Unit Control Scheme. *J Biomech* 48: 195–203, 2015
 - 43) Barkhaus PE, Nandedkar SD: Recording Characteristics of the Surface EMG Electrodes. *Muscle Nerve* 17: 1317–1323, 1994
 - 44) Roeleveld K, Blok JH, Stegeman DF, van Oosterom A: Volume Conduction Models for Surface EMG; Confrontation with Measurements. *J Electromyogr Kinesiol* 7: 221–232, 1997
 - 45) Sherman DA, Rush J, Stock MS, D Ingersoll C, E Norte G: Neural Drive and Motor Unit Characteristics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Implications for Quadriceps Weakness. *Peer J* 11: e16261, 2023
 - 46) Cabral HV, de Souza LML, Mello RGT, Gallina A, de Oliveira LF, Vieira TM: Is the Firing Rate of Motor Units in Different Vastus Medialis Regions Modulated Similarly during Isometric Contractions? *Muscle Nerve* 57: 279–286, 2018
 - 47) Santos R, Valamatos MJ, Mil-Homens P, Armada-da-Silva

- PAS: Muscle Thickness and Echo-Intensity Changes of the Quadriceps Femoris Muscle during a Strength Training Program. *Radiography* 24: e75-e84, 2018
- 48) Ward SR, Eng CM, Smallwood LH, Lieber RL: Are Current Measurements of Lower Extremity Muscle Architecture Accurate? *Clin Orthop* 467: 1074-1082, 2009
- 49) Aguiar AF, Buzzachera CF, Sanches VC, Pereira RM, Da Silva Júnior RA, Januário RS, Rabelo LM, Dos Santos Silva AL: A single set of exhaustive exercise before local muscular endurance training improves quadriceps strength and endurance in young men. *J Sports Med Phys Fitness* 56: 9-18, 2016
- 50) Tenan MS, Peng YL, Hackney AC, Griffin L: Menstrual Cycle Mediates Vastus Medialis and Vastus Medialis Oblique Muscle Activity. *Med Sci Sports Exerc* 45: 2151-2157, 2013

Motor Unit Behavior in Young Healthy Subjects Differs by Sex and between the Vastus Medialis and Vastus Lateralis Muscles

Daisuke Kuwahara,^{1,2} Masahiro Kuniki,² Takuya Umehara,³ Nobuhiro Kito^{3*}

¹ Department of Rehabilitation, Saiseikai Kure Hospital

² Graduate School of Medical Welfare Sciences, Medical Engineering, Hiroshima International University

³ Department of Rehabilitation, Faculty of Rehabilitation, Hiroshima International University

The purpose of this study was to examine whether motor unit behaviors would differ between in vastus medialis (VM) and vastus lateralis (VL), and between males and females. Seventy young healthy subjects (8females) performed a trapezoidal task with a target value of 60% of their maximum isometric knee extension strength. The EMG waveforms obtained from the VM and VL during the task were decomposed into individual motor unit action potential, and individual motor unit amplitude (MUAP_{AMP}) and firing rate (MFR) were calculated. In addition, the recruitment threshold (RT) of each motor unit was calculated using the knee extension torque. MUAP_{AMP} uses the average maximum amplitude of the rectified template waveform from each of the four electrodes. MFR is the inverse of the firing interval in the first quarter of the plateau period (5.0 s) during the trapezoid contraction task. The activity pattern of the motor unit is shown by the slope and intercept of the regression line obtained by scattering MUAP_{AMP} or MFR on the vertical axis and RT on the horizontal axis for each participant. The value of intercept of MUAP_{AMP}-RT were higher in males than in females and in the VL than in the VM, showing significant main effects of sex and muscle factors. The slope of MUAP_{AMP}-RT were steep in males than females, showing significant main effects of sex factors. The intercept value of MFR-RT was higher in females than in males and in the VM than in the VL, showing significant main effects of sex and muscle factors. The slope of the MFR-RT tended to be gentler in the VM in males and in the VL in females, indicating different VM and VL motor unit activity patterns by sex and a significant interaction between sex and muscle factors. These results indicate motor unit activity patterns in young healthy subjects and suggest that differences in sex and individual muscles must be taken into account to understand pathology-specific differences in motor unit activity patterns.

Key words: Sex difference, Motor unit behavior, Vastus medialis, Vastus lateralis

* Department of Rehabilitation, Faculty of Rehabilitation, Hiroshima International University
555-36, Kurose-gakuendai, Higashihiroshima-Shi, Hiroshima 739-2695, Japan
E-mail: n-kito@hirokoku-u.ac.jp

原 著

全介助患者用評価表 Scale for Total-Assisted Patients (STAP) の開発と信頼性・妥当性および褥瘡リスク予測への有用性の検討*

高木武蔵^{1) #} 中尾健太郎¹⁾

要旨

【目的】全介助患者の状態の変化を反映できる評価表を開発し、その妥当性と信頼性および褥瘡リスク予測への有用性について検証すること。【方法】開発した評価表を用いて当院入院患者の評価を行い、STAPとFIMの相関分析、3ヵ月後の評価結果の変化の分析および因子分析、検者間信頼性の検討、褥瘡の有無に対するロジスティック回帰分析を行った。【結果】3ヵ月間でFIMでは18点から不変だった症例の63.7%にSTAPの点数の変化を認めた。因子分析ではSTAPは「四肢可動域」「肢位変化の介助量」「覚醒状態」を評価していると解釈された。また検者間信頼性は級内相関係数0.86、カッパ係数0.95～0.99と高値を示した。ロジスティック回帰分析の結果はオッズ比0.83($p=0.04$)であった。【結論】STAPは全介助患者の心身機能や介助下での動作能力の変化を鋭敏に反映することや、検者間信頼性が高いことが明らかになった。またSTAPの合計点は褥瘡リスクの予測に有用である可能性が示唆された。

キーワード 全介助患者、評価表、褥瘡リスク

緒 言

現在リハビリテーション分野における患者の日常生活動作 (activities of daily living: 以下, ADL) の評価には、本邦のみならず国際的に機能的自立度評価法 (Functional Independence Measure: 以下, FIM) が用いられている¹⁾。また、通常のADL評価以外に、回復期リハビリテーション病棟入院料の施設基準にもFIMを用いて算出される実績指数が組み込まれている²⁾など、様々な場面においてFIMが利用されている。

しかし、FIMの課題として、脳血管障害片麻痺患者において片足立ちテストや5m歩行時間などの指標とFIMの運動項目との間に有意な相関を認めないこと³⁾や、FIMには呼吸器疾患の重症度が反映されないこと⁴⁾などが報告されており、疾患特性や状態に合わせた評価尺度が必要であると考えられる。また、回復期脳卒中片麻痺患者では、入院時のFIM運動項目が10点台および

20点台の重症者においてはFIMの改善が乏しいことが報告されており⁵⁾、さらに当院の療養病棟では2021年度の全入院患者のうちFIM18点のまま変化せずに経過した症例が約34%存在した。これらのことから、FIMにおける自立度が極めて低い症例を対象とした場合、FIMでは十分に症例の状態を反映した評価ができていない可能性があると考えられた。ADLの評価尺度には他にもBarthel Index, Katz Index, 老年者向けに開発されたADL-20⁶⁾などがあり、さらにADLの評価が困難な患者においても利用できる集中治療室活動度スケール⁷⁾などが用いられているが、これらの評価尺度はある程度随意運動が行えることを前提としており、重度意識障害などにより随意運動が困難な重症者の評価に特化した評価尺度は確立されていない。

そこで本研究の目的は、FIMの最低得点である18点の症例の状態を評価し、その変化を反映することができる評価表を開発することとした。まず評価項目を選定し、その内容的妥当性・弁別的妥当性・構成概念妥当性・検者間信頼性について検討を行った。さらに、開発した評価表の点数と褥瘡の有無の関連を調査し、開発した評価表の褥瘡リスク予測に対する有用性についても検討した。

これにより、従来の評価尺度では反映できなかった重症者の状態の変化を評価し、重症者に対するリハビリ

* Scale for Total Assisted-Patients (STAP): Development, Reliability, Validity, and Prediction of Pressure Sore Risk

1) IMS<イムス>グループ医療法人社団明芳会 イムス横浜東戸塚総合リハビリテーション病院
(〒244-0805 神奈川県横浜市戸塚区川上町690-2)
Musashi Takagi, PT, PhD, Kentaro Nakao, MD: IMS Group
Meihoukai Medical Association IMS Yokohama Higashitotsuka
General Rehabilitation Hospital (690-2 Kawakamicho, Yokohama
Totsuka-ku, Kanagawa, 244-0805, Japan)

E-mail: sth-riha@ims.gr.jp
(受付日 2025年2月18日/受理日 2025年5月13日)

テーションの効果を明らかにする一助になると考えた。

対象と方法

2023年5～8月にかけて当院療養病棟へ入院中であった症例を対象とし、今回開発した評価表である Scale for Total-Assisted Patients (以下、STAP) による評価を実施した。なお、症例の疾患は脳出血、脳梗塞、低酸素脳症、パーキンソン病、重症筋無力症、水頭症、脳挫傷、てんかん重積発作、頸髄損傷、細菌性髄膜炎など多岐に渡り、全身の筋緊張についても弛緩傾向を示す者、除脳硬直様の状態の者、四肢の屈曲傾向が強い者などが含まれた。

まず評価項目の選定にあたり、当院のリハビリテーションスタッフがFIM18点の症例の目標として設定している項目を調査した。その中から目標として設定される頻度の高い概念として「覚醒の向上によるコミュニケーション能力の向上」、「病棟スタッフでも離床可能な状態を目指し、日常生活上の離床頻度を増加させる」、「日常生活上の介助量が軽減するような実用的な関節可動域の獲得・維持」といった内容がみられた。そこから随意運動の存在を前提とせず評価可能な項目として「覚醒状態」「離床能力」「側臥位保持介助量」「四肢関節可動域」を抽出した。さらに内容的妥当性を高めるために、評価尺度に関する研究経験をもつ研究者1名による項目の設定に関するチェックを受けた。その際前述した目標を反映でき、重症者の心身状態や介助下での動作能力の変化を鋭敏に捉えることを目的として項目設定したことを説明し、「四肢関節可動域」を上肢と下肢に分別したうえで、これらの5項目に関して段階を設定しSTAPを作成した(図1)。段階の設定にあたって、側臥位保持介助量は体位交換やオムツ交換などの介助の行いやすさを考慮し、また上肢可動域は羽織型のシャツの着脱が可能となる可動域を、下肢可動域はオムツ交換の行いやすさにつながるような可動域を想定した。さらに、覚醒状態や離床能力については、コミュニケーションや生活範囲の広がりに関連するよう設定を行った。なお、離床能力については患者の状態だけでなく、マンパワーや担当療法士の能力・考え方などの患者を取り巻く環境が影響する項目設定となっているが、こうした全ての因子が影響した結果として実際に患者に提供されている離床の機会を評価することが重要と考え、このような項目設定とした。

各項目は最低1点、最高3～5点で構成され、合計点は最低5点、最高20点となる。また、状態に変動がある場合には、直近1週間の中で最も良い状態の点数を採用することとした。

次に、弁別的妥当性を検討するために、想定する評価対象であるFIM18点の症例21例に加えてFIM19点～

50点の症例21例においてもSTAPによる評価を行い、最低値・最高値・平均値・標準偏差・変動係数(標準偏差を平均値で除した値)の分析および両群のSTAP合計点についてシャピロウィルク検定により正規性を確認し、正規分布していなかったことからマンホイットニーのU検定を用いてその関係性について検討した。対象は前述の期間に当院療養病棟Aに入院中であったFIM18点の症例とし、STAPのデータに欠損のある者は除外した。また、同様に療養病棟に入院中であったFIM19点～50点でありSTAPのデータ欠損がある者を除外した21例においてFIMとSTAPの点数についてスピアマンの順位相関係数を求めた。

続いて構成概念妥当性を検討するために、FIM18点の症例44例に対して初期および3ヵ月後にSTAPの評価を行い、合計点および各項目の点数を比較し、改善・維持・悪化の症例数を算出した。対象は前述の期間に当院療養病棟A・Bに入院中であったFIM18点の症例の中で、初期および3ヵ月後のSTAPのデータ欠損がない者とした。これによりFIM18点の症例の経時的な変化の検出に対する有効性を検討した。また、STAPの下位5項目の評価結果に対しカイザー・ガットマン基準により因子数を設定し、プロマックス回転を用いた因子分析を実施することで、STAPが測定対象としている概念についての検討を行った。

検者間信頼性の検討には、FIM18点の症例20例に対し2人の検者がSTAPによる評価を行い、両者の合計点の級内相関係数ICC(2, 1)と各項目の点数の重み付けカッパ係数を用いた。対象は前述の期間に当院療養病棟Aに入院中であったFIM18点の症例とし、STAPのデータ欠損があった者は除外した。サンプルサイズはカッパ係数の帰無仮説を0.7、期待値を0.95として必要数を推定した結果20例となった。なお、評価は同日の異なる時間帯にて理学療法士A(経験年数10年)と理学療法士B(経験年数7年)がそれぞれ独立して行い、図1に示した紙面を用いることで評価結果が一致するか検証した。

さらに、褥瘡リスクの予測に対する有用性を検討するために、FIM18点の症例89例に対し各症例におけるSTAPの評価時に褥瘡の有無を同時に記録し、STAPの合計点を説明変数、褥瘡の有無を目的変数としたロジスティック回帰分析を行った。また、下位項目の点数を説明変数としたロジスティック回帰分析の実施により、項目別の褥瘡リスク予測に対する関連についても検討した。対象は前述の期間に当院療養病棟A・B・Cに入院中であったFIM18点の症例とし、STAPのデータ欠損があった者は除外した。サンプルサイズはPeterらの報告⁸⁾より項目数の10倍以上を満たすように設定し、なおかつ少数であった褥瘡有りの症例数が十分確保される

全介助患者用評価表(STAP)

※未実施・評価不能は1点とする

【覚醒】

※日差がある場合は、直近1週間で最も良い状態を評価する

発語・首振り・まばたき・四肢の動き等で反応可能：5

身体的刺激を加えずに持続開眼可能：4

触圧覚・痛覚刺激を加えれば持続開眼可能：3

座位・立位等、姿勢変化を加えれば開眼可能：2

刺激を加えても開眼しない：1

【離床能力】

病棟スタッフでも離床可能：5

リハ時のみ車椅子乗車可能：4

リハ時のみ端座位まで可能：3

ギャッチアップ30°以上で20分以上保持可能：2

上記の項目不能：1

【側臥位能力】

※側臥位は仙骨がベッド面やクッションから浮く状態とする

※左右で点数の低い方を採用

クッション等を用いたポジショニングなしで15秒以上側臥位保持可能：4

クッション等を用いたポジショニングのみで15秒以上側臥位保持可能：3

介助すれば15秒以上側臥位保持可能：2

側臥位保持不可：1

【上下肢の他動可動域】

・上肢

※左右で点数の高い方を採用

① - 橈骨茎状突起を、他動で対側の鎖骨より上にもっていきける

② - ①と同じ手の橈骨茎状突起を、他動で同側下位肋骨とASISの間までもっていきける

①②ともに可能：3

①か②の片方のみ可能：2

①②ともに不可：1



①：線で示す鎖骨を橈骨茎状突起が越えている



②：線で示す肋骨とASISの間に橈骨茎状突起が入っている

・下肢

背臥位で両膝の間が介助なしで拳1つ分以上空いたまま保持できる：3

背臥位で介助すれば両膝の間が拳1つ分以上空けられる：2

背臥位で介助でも両膝の間が拳1つ分以上空けられない：1

図1 STAP 評価項目
STAP の評価項目や点数の割り振りを示す。

よう89例とした。さらに、各下位項目における分散拡大係数（以下、VIF）を求め、多重共線性の問題について検討した。

統計解析には R version 4.1.1 を使用し、有意水準は 5%とした。

なお、本研究はヘルシンキ宣言に則り、著者の所属施設の倫理審査委員会の承認（承認番号 2022-004）を受けて実施した。

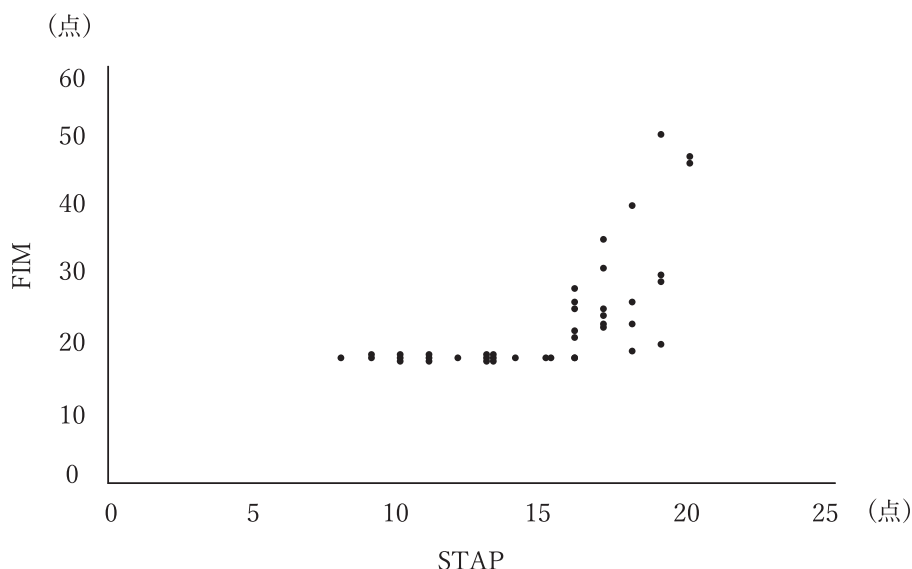


図2 FIMとSTAPの点数

縦軸にFIMの合計点、横軸にSTAPの合計点を示す。FIM18点の症例ではSTAPは多様な点数となりグラフ上では横に広く分布したが、FIM19点以上の症例ではSTAPは16点から20点となりグラフ上では縦長の分布となった。

表1 FIM18点の症例とFIM19点～50点の症例の比較

	STAP 最低値 (点)	STAP 最高値 (点)	STAP 平均値 ± SD (点)	変動係数
FIM18点	8	16	12.1 ± 2.3	0.19
FIM19点～50点	16	20	17.6 ± 1.3	0.07

FIM19点以上の症例ではSTAPの合計点は高値に集中し、平均値は有意に高値となった。

表2 初期から3ヵ月後のSTAPの変化

	改善	維持	悪化	(人 (%))
合計点	16 (36.4)	16 (36.4)	12 (27.3)	
覚醒	5 (11.4)	34 (77.3)	5 (11.4)	
離床能力	9 (20.5)	27 (61.4)	8 (18.2)	
側臥位	6 (13.6)	36 (81.8)	2 (4.5)	
上肢可動域	4 (9.1)	37 (84.1)	3 (6.8)	
下肢可動域	3 (6.8)	39 (88.6)	2 (4.5)	

全ての下位項目および合計点にて、3ヵ月後に改善・維持・悪化それぞれのパターンの症例が存在した。

結 果

弁別的妥当性について、FIMとSTAPの点数のグラフを示す(図2)。

FIM18点の症例はFIM19点～50点の症例と比較し最低値・最高値・平均値ともに低く、平均値に対するマンホイットニーのU検定は $p<0.01$ となり有意に低値であった(表1)。また、スピアマンの順位相関係数は -0.22 ($p=0.33$)であった。

構成概念妥当性について、結果を表に示す(表2)。初期と3ヵ月後の比較にて、合計点および全ての下位項

目で変化を認め、項目別では離床能力で最も変化率が高かった。また、因子分析の結果、下位5項目はカイザー・ガットマン基準により3因子に分類された。上肢可動域と下肢可動域、離床能力と側臥位介助量、覚醒は単独となったため、それぞれ「四肢可動域」、「肢位変化の介助量」、「覚醒状態」と解釈した(表3)。

検者間信頼性について、合計点のICCは 0.86 ($p<0.01$)であった。また、各項目の重み付けカッパ係数は覚醒 0.95 、離床能力 0.98 、側臥位 0.99 、上肢可動域 0.95 、下肢可動域 0.98 であった。

褥瘡リスクの予測に対する有用性について、ロジス

表3 STAP 下位5項目の因子負荷量

	因子1	因子2	因子3
	四肢可動域	肢位変化の介助量	覚醒状態
覚醒	-0.04	-0.03	1.02
離床能力	-0.12	0.41	0.06
側臥位介助量	-0.008	0.79	-0.05
上肢	1.03	-0.03	-0.05
下肢	0.56	0.15	0.09

3 因子に分類され、因子1を「四肢可動域」、因子2を「肢位変化の介助量」、因子3を「覚醒状態」とした。

表4 ロジスティック回帰分析結果

	オッズ比	95%信頼区間		p
		下限	上限	
合計点	0.83	0.68	0.99	0.04
下位項目				
覚醒	0.62	0.38	1.01	0.05
離床能力	1.43	0.86	2.37	0.16
側臥位	0.96	0.45	2.06	0.92
上肢可動域	0.71	0.35	1.53	0.41
下肢可動域	0.57	0.26	1.21	0.14

合計点および各下位項目のオッズ比、95%信頼区間、p 値を示す。

ティック回帰分析の結果を表4に示す。合計点はオッズ比 0.83 であり、項目別では特に覚醒・上肢可動域・下肢可動域でオッズ比が低値となった。VIF は覚醒状態 1.04、離床能力 1.05、側臥位保持介助量 1.10、上肢可動域 1.46、下肢可動域 1.45 であった。

考 察

今回開発した評価表 STAP の弁別的妥当性・構成概念的妥当性・検者間信頼性および褥瘡リスクの予測に対する有用性について検討を行った。

まず、内容的妥当性について、評価対象となる FIM18 点の症例に対し臨床現場で実際に目標として用いられている項目を選定し、評価尺度に関する研究経験をもつ研究者のチェックを受けることで担保を試みた。内容的妥当性について村山は構成概念妥当性などと合わせて総合的に捉える必要性を論じている⁹⁾。そのため後述する弁別的妥当性および構成概念妥当性と合わせて STAP の妥当性について考察していく。

弁別的妥当性について、FIM18 点の症例においては STAP の合計点は 8～16 点の範囲に分散した一方、FIM19 点～50 点の症例では 16 点以上の高値に集中した。日本慢性期医療協会の回復期リハビリテーション病棟入院患者調査¹⁰⁾では入棟時 FIM の平均は 55 点と報告されており、また厚生労働省では FIM55 点以下を

重症者と定義している¹¹⁾。今回 STAP の測定を行った FIM19 点～50 点の症例は FIM55 点を大きく下回り重症者と定義される症例群であったが、全症例で STAP の覚醒状態の項目が満点であり、さらに全ての項目で FIM18 点の症例の平均値を上回っていた。合計点においても FIM19 点以上の症例は STAP では容易に満点に近い点数となるが、FIM18 点の症例では点数のばらつきが大きくなっており、変動係数も高値を示した。加えて、マンホイットニーの U 検定にて、FIM18 点の症例は FIM19 点～50 点の症例と比較し STAP 合計点が有意に低値であることが示された。これらのことから、FIM においては同じ重症者という定義に含まれるが FIM18 点と 19 点以上の症例の間には状態の差異があり、より重症である FIM18 点の症例の評価には STAP を用いることが適切であると考えられる。さらに、FIM19 点～50 点の症例における FIM と STAP の相関係数は -0.22 かつ $p=0.33$ と有意な相関を示さなかった。このことから、FIM と STAP は異なる要素を評価しており、対象者の重症度に合わせて使い分けることが重要であると考えられた。

構成概念妥当性について、評価期間中に FIM の点数は 18 点から変化せず経過した症例だが、STAP では改善者と悪化者を合わせて 63.7% の症例で点数の変化を認めた。このことから、STAP は FIM と比較して重症者

の状態変化を鋭敏に検出できていると考えられる。その要因として、FIMは病棟における日常の実行状況を評価するが、STAPは直近1週間の中の最良の状態を評価していることが影響している可能性がある。例えば覚醒状態に変動があり、体位交換などの大きな刺激によって覚醒する症例では、覚醒時には随意運動による協力やコミュニケーションが可能な症例であってもFIMでは覚醒不良時の点数が反映されてしまう。一方STAPでは、覚醒良好時の開眼やコミュニケーションの面で点数の改善が見込まれる。Isonoらは永続的な意識障害患者でも睡眠覚醒サイクルが観察されることを報告しており¹²⁾、FIM18点の症例においてもADLは全介助でありながら覚醒状態などに日内変動が生じている可能性があるため、それを評価に反映するためにはBarthel Indexなどのように最大能力を評価することが有効であると考えられる。さらに、全介助を受ける前提の中で生活の広がりにつながる離床能力や、病棟において日常的に介助を受ける更衣や体位交換時の介助量に影響する側臥位保持介助量および上下肢可動域を細分化して評価することで、重症者の状態変化に対する感度が高い評価尺度になったと考えられる。

項目別に分析すると、変化が最も大きかった項目は離床能力であり、改善と悪化を合わせて23.4%となった。日本リハビリテーション医学会の安全管理のためのガイドラインでは、血圧をはじめとしたバイタルサインの変動をリハビリテーションの中止基準として採用している¹³⁾。長期臥床による交感神経反応の低下や血液量の減少が起立性低血圧の一因となり、14日間の臥床で血漿量は20%喪失することが報告されている¹⁴⁾。また、佐竹らによると遷延性意識障害患者において、自律神経活動に明確なリズムが観察される症例とリズムが観察されない症例がいることが報告されている¹⁵⁾。これらのことから、起立性低血圧が改善したことで離床能力が向上した症例については、自律神経系のリズムがある程度保たれており反射的な調節能力が残存していた症例に対して、長期間に渡り起立性低血圧改善のための介入を提供できた結果であると考えられ、FIM18点の症例に対する介入では血圧などのバイタルサインの面で比較的改善が得られやすかったことが考えられた。また、離床能力の項目は改善率のみならず悪化率も高値となっていたが、肺炎などの全身状態の悪化によって離床が困難となった症例では点数が低下することから、症例の全身状態の変化によって最も変動しやすい項目が離床能力であったと考えられる。しかし、離床の実施には医師による安静度の指示や、車椅子などの物品の有無、離床に対する方針の違いや介入時間およびマンパワーの違いも影響することが予測されるため、他施設におけるデータ収集を行い環境の影響についても検討する必要があると考

えられる。

一方、改善率が低かった上下肢の可動域については、天井効果は示していなかったものの平均値が高い傾向にあり、なおかつ最高点が3点までの項目であることから、他の項目と比較して改善が得られにくかったものと推測される。しかし、高値のまま維持できている症例が多く、悪化率も低かったことについては、関節可動域の維持はリハビリテーションスタッフにおいて介入の目標として意識されやすく、多くの症例が可動域の維持に対して十分な介入を受けられていた結果であると考えられる。

因子分析の結果、下位5項目は「四肢可動域」、「肢位変化の介助量」、「覚醒」の3因子に分類された。STAPの対象として想定したFIM18点の症例に対しては、ADLや随意運動の存在を前提としている既存のバッテリーは適用困難であった。一方、STAPは心身機能や介助下での動作能力といった、ADLへの参加や随意運動が認められない重症例であっても、外部から観察可能な概念をさらに詳細に評価していることが明らかになった。

以上の妥当性の検討により、STAPは全介助患者の心身機能や介助下での動作能力の差異や変化を検出しやすい評価表であり、FIMと比較して重症度の高い症例の評価に特化していることが明らかになった。

検者間信頼性については、合計点のICCは0.86と高値を示した。またSTAP各項目の重み付けカッパ係数は0.95～0.99であったため、Landisらの報告した基準¹⁶⁾において「ほぼ完全な一致」に分類された。これらのことから、STAPは合計点および各項目ともに検者間信頼性が高いことが明らかになった。臨床医が評価したFIMの各項目のカッパ係数は0.53～0.66と報告されており¹⁷⁾、FIMと比較しても検者間信頼性が良好であると言える。その要因として、各項目に数値やランドマークなどを具体的に設定したことが挙げられる。特に上下肢の可動域については、ゴニオメーターなどの器具を使用せず簡易的に評価可能であり、なおかつ生活の中で介助を受ける場面に直結する可動域を評価することを目指したことから、具体的な関節可動域の数値ではなく、ランドマークの部位が他動運動にて指定した部位まで到達するかどうかを指標とした。すなわち、上肢可動域の項目では上衣更衣の際に袖に手を入れるための肩関節伸展方向の可動域と、肘を抜いて袖を上肢の近位へ通す際に必要な肩関節屈曲や肩甲帯挙上方向の可動域を評価し、下肢可動域の項目では下衣更衣やオムツ交換などの際に必要な股関節外転および外旋方向の可動域を評価している。客観的な測定値を使用しないことによる検者間信頼性の低下が懸念されたが、ランドマークや点数毎の判断基準について紙面を用いて明確に示せたことで高い検者間信頼性を示したと考えられる。

褥瘡リスクの予測については、まず全下位項目のVIF

が2未満であったことから、多重共線性の問題は認められなかった。STAP 合計点のオッズ比が0.83であり、STAPの合計点が1点高いと褥瘡保有率が約17%低かったことが明らかになった。褥瘡の最好発部位は仙骨部であることから¹⁸⁾、項目別では仙骨部の除圧にかかわる側臥位保持介助量の影響が大きいと予測していたが、オッズ比の面では下肢可動域、覚醒状態、上肢可動域の順に低値を示した。まず、STAPにおける下肢可動域については、主に股関節外転および外旋の可動域制限を反映する項目となっている。そのため、下肢可動域の点数が低い症例は、股関節内転筋群の過緊張状態や股関節屈曲・内転・内旋位での拘縮が想定され、下肢がベッド面から浮いた状態となることから、支持基底面の減少につながると考えられる。三好らは股関節屈曲角度が増加すると仙骨部や踵部の体圧が増加することを報告しており¹⁹⁾、STAPの下肢可動域の点数が低い状態では、仙骨部をはじめとする他の支持基底面に生じる体圧が増加し、褥瘡が発生するリスクが高まっていたものと考えられる。覚醒状態については、同一部位が長時間圧迫されることで生じる疼痛や不快感を避けるための体動の有無に影響することが考えられる。人工呼吸管理患者では、鎮静の程度をコントロールし日中の覚醒をJCS-10程度に保つことで褥瘡発生数が減少したことが報告されているが²⁰⁾、STAPの覚醒状態の項目では3～4がJCS-10に該当する。そのため、本研究においても覚醒状態の点数が高い症例では無意識ながら自己体動による除圧が生じていたことが考えられ、覚醒状態の項目は褥瘡リスクを予測するための因子の1つになったと考えられる。上肢可動域については、側臥位における支持基底面に影響していることが考えられた。上肢可動域の項目では主に肩関節の内外転や肩甲骨の上方および下方回旋の運動を評価している。これらの運動に制限が生じている場合、側臥位にて上腕や肘を支持基底面にすることが困難になる。そのため、下肢可動域の点数が低い状態と同様に、上肢可動域の点数が低い状態では側臥位における支持基底面が減少し、その結果他の支持基底面に生じる体圧が増加することで褥瘡発生のリスクが高まると考えられる。

また、既存の褥瘡リスクの予測方法としてブレーデンスケール²¹⁾やK式スケール²²⁾、OHスケール²³⁾、厚生労働省褥瘡危険因子評価表²⁴⁾などが挙げられるが、これらの評価表では自力での体位変換や骨突出、浮腫や皮膚の湿潤・創傷、栄養状態などについて評価することで褥瘡発生リスクを予測している。一方STAPにおいては、心身機能や介助下での動作能力について詳細に評価を行っていることから、より理学療法士が自らの介入によって改善させやすい項目を評価していると言える。そのため、STAPは褥瘡リスクを予測するのに留まらず、療法士が褥瘡リスク低下に向けた心身機能改善の目

標として利用できる点が有用であると考えられる。

本研究の限界として、まず対象者が単一の病院の入院患者のみである点が挙げられる。特に離床能力の項目は、マンパワーなどの環境因子の差異に依存して点数が変化する可能性があるため、さらなる一般化に向けて他施設での評価を行い、環境の違いが結果に及ぼす影響を明らかにする必要がある。加えて、検者間信頼性についても単一の病院内のスタッフによる検討に留まっていることから、他施設のスタッフを交えた検討を行うことでより正確な検討が行えると考えられる。

また、褥瘡リスクの予測に関して、本研究では横断的な分析のみに留まっているため、前向きコホート研究などを用いた縦断的な研究を実施し、将来的な褥瘡発生リスクの予測やSTAPの改善が褥瘡の予防および治癒に寄与するのか、並びに生命予後とSTAPの関連についての検討を計画している。さらに、症例の疾患や年齢、提供されるリハビリテーションの内容や時間・頻度などの要因の違いがSTAPの変化に影響する可能性があるが、本研究では十分に明らかになっていない。今後STAPの変化に影響する要因についてもさらなる検討を行い、全介助患者に対するリハビリテーションの効果判定や、さらなる改善に向けた介入の指針を示す一助としたい。

結 論

本研究にて開発した全介助患者用評価表STAPは、FIMと比較してより重症者の評価に適しており、対象症例の3ヵ月間での心身機能や介助下での動作能力の変化を反映し、検者間の信頼性が良好であり、褥瘡リスクの予測に有用である可能性が示された。

利 益 相 反

本論文発表内容に関して申告すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 千野直一, 椿原彰夫, 園田 茂, 道免和久, 高橋秀寿: 脳卒中の機能評価 SIASとFIM 基礎編. 東京, 金原出版, pp 81-92, 2012
- 2) 厚生労働省: 平成30年度個別改訂項目. <https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12404000-Hokenkyoku-Iryouka/0000193708.pdf> (2022年12月16日引用)
- 3) 小松裕太, 八谷瑞紀, 大田尾浩, 溝上昭宏: 脳血管障害片麻痺患者における身体運動機能と日常生活活動との関連. 理学療法さが 1: 9-14, 2015
- 4) 江里口杏平, 長田朋子, 板木雅俊, 松田景子, 住本恭子, 川俣幹雄, 千住秀明, 津田 徹: FIMでの評価では呼吸器疾患の重症度は反映されない—FIMとNRADLの比較—. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌 20: 166-169, 2010
- 5) 永井将太, 奥山夕子, 園田 茂, 新田 收, 登立奈美, 坂本利恵, 寺西利生, 金田嘉清: 回復期脳卒中片麻痺患者における入院時重症度別のFIM運動細項目の経過解析. 理学

- 療法科学 25: 1-6, 2010
- 6) 江藤文夫, 田中正則, 千島 亮, 五十嵐雅哉, 溝口 環, 和田博夫, 飯島 節: 老年者の ADL 評価法に関する研究. 日本老年医学会雑誌 29: 841-848, 1992
 - 7) Hodgson C, Needham D, Haines K, Bailey M, Ward A, Harrold M, Young P, Zanni J, Buhr H, Higgins A, Presneill J, Berney S: Feasibility and inter-rater reliability of the ICU Mobility Scale. *Heart Lung* 43: 19-24, 2014
 - 8) Peduzzi P, Concato J, Feinstein AR, Holford TR: Importance of events per independent variable in proportional hazards regression analysis. II. Accuracy and precision of regression estimates. *J Clin Epidemiol* 48: 1503-1510, 1995
 - 9) 村山 航: 妥当性概念の歴史的変遷と心理測定的観点からの考察. 教育心理学年報 51: 118-130, 2012
 - 10) 日本慢性期医療協会: 「回復期リハビリテーション病棟入院患者調査」集計結果まとめ. https://jamcf.jp/enquete/2021/06_kaifukukiriha.pdf (2024 年 2 月 3 日引用)
 - 11) 厚生労働省: 令和 2 年度診療報酬改定の概要 (入院医療). <https://www.mhlw.go.jp/content/12400000/000691039.pdf> (2024 年 2 月 3 日引用)
 - 12) Isono M, Wakabayashi Y, Fujiki M, Kamida T, Kobayashi H: Sleep cycle in patients in a state of permanent unconsciousness. *Brain Inj* 16: 805-712, 2002
 - 13) 日本リハビリテーション医学会: リハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドライン. https://www.jarm.or.jp/nii/iinkai/sinryo-guide/risk-manage_GL_draft.pdf (2024 年 2 月 6 日引用)
 - 14) 牧田 茂: 超急性期リハビリテーションにおける循環器と体液調節からみた課題. *Jpn J Rehabil Med* 51: 362-366, 2014
 - 15) 佐竹澄子: 遷延性意識障害患者の 24 時間の自律神経活動. 日本看護技術学会誌 5: 21-31, 2006
 - 16) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174, 1977
 - 17) Hamilton BB, Laughlin JA, Fiedler RC, Granger CV: Inter-rater reliability of the 7-level functional independence measure (FIM). *Scand J Rehabil Med* 26: 115-119, 1994
 - 18) 紺家千津子: 療養場所別自重関連褥瘡の有病率, 有病者の特徴, 部位・重症度およびケアと局所管理. 褥瘡会誌 20: 446-485, 2018
 - 19) 三好淳美, 大串靖子: 体格・肢位・寝具の条件が複合した状態での体圧の特性. 日本看護研究学会雑誌 10: 34-44, 1988
 - 20) 古澤智美, 村山直美, 吉永 健: プロボフォールを使用している人工呼吸管理患者の褥瘡予防. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌 11: 445-449, 2002
 - 21) Bergstrom N, Braden BJ, Laguzza A, Holman V: The Braden Scale for Predicting Pressure Sore Risk. *Nurs Res* 36: 205-210, 1987
 - 22) 大桑麻由美, 真田弘美, 須釜淳子, 紺家千津子, 松井優子, 越村洵子, 永川宅和: K 式スケール (金沢大学式褥瘡発生予測スケール) の信頼性と妥当性の検討—高齢者を対象にして—. 日本褥瘡学会誌 3: 7-13, 2001
 - 23) 大浦武彦, 堀田吉浩: 日本人の褥瘡危険要因 [OH スケール] による褥瘡予防 第 2 版. 名古屋, 日経研出版, 2007
 - 24) 厚生労働省: 褥瘡に関する危険因子評価表. https://www.mhlw.go.jp/topics/2008/03/dl/tp0305-li_0002.pdf (2025 年 3 月 11 日引用)

Scale for Total Assisted-Patients (STAP): Development, Reliability, Validity, and Prediction of Pressure Sore Risk

Musashi Takagi,^{1*} Kentaro Nakao,¹

¹ IMS Group Meihoukai Medical Association IMS Yokohama Higashitotsuka General Rehabilitation Hospital

Objective: To develop the scale can evaluate change of condition of Total-Assisted Patients, and to explore its validity, reliability, and usefulness for predicting pressure sore risk.

Methods: We first developed the Scale for Total-Assisted Patients (STAP). The analysis was conducted as follows: the correlation and Mann-Whitney U Test of STAP score and FIM score, change of STAP score for 3 months and factor analysis, explore the reliability by intraclass correlation (ICC) and kappa, logistic regression was used to calculate the odds ratio (OR) with 95% confidence interval (CI) for assess the pressure sore risk.

Results: STAP was more suitable for total-assisted patients than FIM, 63.7% of patients with FIM 18 were observed STAP score change. Three factor were extracted from the factor analysis, “Limb range of motion”, “Amount of assistance with postural change”, “Consciousness”. Inter-rater reliability was ICC = 0.86, kappa = 0.95~0.99, OR = 0.83 (95% CI: 0.68–0.99, p=0.04).

Conclusion: STAP was more sensitive to change of condition of total-assisted patients than FIM, and STAP has high inter-rater reliability. Moreover STAP total score may be useful for predicting pressure sore risk.

Key words: Total-assisted patients, Scale, Pressure sore risk

* IMS Group Meihoukai Medical Association IMS Yokohama Higashitotsuka General Rehabilitation Hospital
690-2 Kawakamicho, Yokohama Totsuka-ku, Kanagawa, 244-0805, Japan
E-mail: sth-riha@ims.gr.jp

短 報

緩消法が腰部の筋緊張に与える影響*

杉本 諭^{1) #} 坂戸 孝志²⁾ 中山 知之³⁾
古山つや子³⁾ 古井田真吾³⁾ 尾 壽 亮³⁾

要旨

【目的】緩消法による筋緊張の緩和効果を検証し、緩和に最適な押圧力と押圧面積および個人特性との関連について分析すること。【方法】健康成人39名を対象とした。緩消法は対象者に端座位での随意的な体幹の側屈運動を5分間指示し、運動中に右腰背部に押圧棒を当てて行った。押圧力条件は、押圧なし、250 g、500 g、750 g、1,000 gとした。押圧面積条件は、押圧棒の押圧部の先端の直径が1 cm、2 cm、3 cmとした。腰背部の筋硬度を運動前後で測定し、測定値および前後比を用いて条件内および条件間で比較した。加えて性別、BMI、運動前の筋硬度の影響についても分析した。【結果】押圧力条件別の前後比較では、押圧なしを除く4条件において運動後の測定値が有意に低下し、条件間の比較では、500 gおよび750 gの前後比が250 gよりも有意に低下した。押圧面積条件別の前後比較では、いずれの条件においても運動後の測定値が有意に低下し、条件間の比較では、1 cmおよび2 cmの前後比が3 cmよりも有意に低下した。性別、BMIおよび介入前の筋硬度は前後比と関連がなかった。【結論】緩消法による筋緊張の緩和効果をもっとも得られる条件は、押圧力が500～750 g、押圧部の面積が直径1～2 cmの場合であり、性別や体型の影響を受けなかった。

キーワード 緩消法、筋緊張、理学療法

はじめに

腰痛を有する国民は非常に多く、2022年の国民生活基礎調査¹⁾によれば、腰痛の有訴者率は男女ともに第1位である。腰痛は発症からの期間により、急性腰痛、亜急性腰痛、慢性腰痛に分類され²⁾、このうち慢性腰痛の治療を受けている人の半数以上は5年後も痛みが持続していると報告されており³⁾、多くの国民が慢性腰痛の改善を望んでいる。慢性腰痛の原因の1つに筋・筋膜性腰痛がある⁴⁾。筋に微細損傷が発生すると、筋膜や筋小胞体が破壊され、損傷部位周辺にカルシウムイオンが豊富に放出される結果、筋収縮が起こる。筋へ十分な量の

血液が供給されているときには、アデノシン三リン酸をエネルギーとして筋は弛緩状態に戻るが、不足した場合には筋収縮が持続し、筋や筋膜に高緊張状態の部位が生じる⁵⁾。この部位に物理的に力を加えると痛みが出現し、痛みが交感神経の過敏状態を作り、血流低下、酸素欠乏、痛み物質の蓄積、痛みの増悪という悪循環を招き⁶⁾、筋の高緊張状態の範囲がさらに広がっていく。したがって筋・筋膜性腰痛に対しては、筋緊張を緩和させ、柔軟性を高めることが、痛みの改善に有効であると考えられる。

筋の柔軟性を高める治療として、ホットパック、マッサージ、ストレッチ、筋膜リリースなどが知られている。坂戸⁷⁾は筋の柔軟性を高める新たな手技として、緩消法を考案した。これは筋に一定の押圧を加えた状態で筋の収縮と弛緩を反復し、筋緊張を緩和させる手技であり、従来行われている方法に比べ、5～10分と短時間の施術で効果が得られ、強い押圧を必要としないため、筋組織を損傷させずに筋を緩和させることができる。坂口ら⁸⁾は、筋・筋膜性腰痛症患者を対象に10分間の緩消法を施行した結果、腰部筋の筋硬度が有意に低下し、主観的な痛みの訴えが減少したことから、緩消法が、筋緊張の軽減や筋・筋膜性腰痛の改善に有効であると報告し

* Effect of *Kanshoho* on Muscle Tightness in the Lower Back

1) 東京国際大学医療健康学部理学療法学科
(〒350-1197 埼玉県川越市の場北1-13-1)
Satoshi Sugimoto, PhD: Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Tokyo International University (1-13-1 Matoba-kita, Kawagoe-shi, Saitama, 350-1197, Japan)

2) 日本健康機構
Takashi Sakato, PT: Japan Health Organization

3) 武蔵台病院リハビリテーション課
Tomoyuki Nakayama, PT, Tsuyako Koyama, PT, Shingo Koida, PT, Makoto Ozaki, PT: Department of Rehabilitation, Musashidai Hospital

E-mail: ssugimo@tiu.ac.jp
(受付日 2024年3月11日/受理日 2025年2月17日)



図1 緩消法の実施場面
随意的な体幹の側屈運動に合わせ、右腰部筋を直角に押圧するように押圧棒を押し当てた。

た。しかしながら、対象が15名と少ないため統計学的検定の結果としては十分とはいえず、また押圧を施術者の主観で行っていたため、押圧の強さや押圧の面積の違いによる効果の有無については明らかではない。また、緩消法による筋緊張の緩和効果が、性別やBody Mass Index（以下、BMI）などの個人特性や、介入前の筋緊張の程度に関連するののかについても不明である。緩消法に関する学術論文は坂口らの報告のみであり、その効果や臨床応用の可能性については、さらなる検証が必要と考えられる。本研究の目的は、筋・筋膜性腰痛患者に対する治療的介入の前段階として、緩消法による筋緊張の緩和効果の有無を検証し、緩和に最適な押圧の強さおよび面積を明らかにすること、加えて筋緊張の緩和効果が性別やBMIなどの個人特性、介入前の筋緊張の程度に影響するのかを検討することである。

対象と方法

1. 対象

武蔵台病院リハビリテーション課のスタッフのうち、本研究の参加に同意の得られた健常成人39名（女性10名、男性29名、平均年齢30.4歳）を対象とした。取り込み基準は、後述する体幹の側屈運動を5分間、痛みを伴わずに実施可能なこと、除外基準は骨関節疾患および中枢神経疾患の既往を有すること、腰痛に対する治療薬を使用していること、日常生活に支障をきたすような運動障害を有していることとした。本研究の全対象者には、本研究の目的、研究内容、自由意志に基づいた研究であること、研究結果の公表に関することなどについて、書面を用いながら口頭で説明し、同意を得た。また本研究は、東京国際大学（承認番号22-3号）および武蔵台病院（2022年12月3日承認）の倫理審査において承認を得ている。

2. 方法

1) 緩消法の実施方法

被験者は端座位にて随意的に体幹の側屈運動を行い、施術者は被験者の第3腰椎棘突起から右外側方向2/3の位置に押圧棒を当て、側屈運動中に押圧して緩消法を実施した。側屈運動は鉛直位から左右に15度傾斜した位置にテープを貼りつけた鏡を見ながら、毎分60回に設定したメトロノームに合わせ、「左→正中→右→正中→左→正中→右→正中→正中（停止）→正中（停止）」の10秒を1セットにした一定のリズムで5分間実施した（図1）。押圧した部位には、浅層から順に、広背筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腰方形筋が位置し、側屈運動には外腹斜筋、内腹斜筋、腰方形筋が作用している。押圧は側屈運動時の体幹の動きに合わせ、側方から脊柱に向かって、押圧棒を用いて一定の強さでこれらの筋に直角となるように行った。押圧には標準タイプデジタルフォースゲージZTS-500N（株式会社イマダ社製）を使用した。これは押圧棒に加わった力が、常時本体の画面にニュートン（N）で表示されるため、押圧力を確認しながら押圧することができる。押圧棒には押圧部の先端が球体を半分に切断した半球状で、直径を1cm、2cm、3cmに変換できるように作製したものを使用した。

2) 実施条件

押圧力の比較については、押圧部の直径が1cmの押圧棒を使用し、押圧なし、250g、500g、750g、1,000gの5条件を行った。予備実験において、500gで押圧したときにもっとも筋緊張が緩和したため、押圧部の面積の比較については、押圧力を500gとし、直径1cmに加えて2cmと3cmの2条件を実施した。以上の7条件について、実施順序を対象ごとにランダムに決め、疲労を考慮して3日間に分けて行った。同日に実施した条件についても、条件間に2～3分の休憩を挟み、側屈運



図2 標準タイプデジタルフォースゲージ ZTS-500N (株式会社イマダ社製)

押圧棒の先端に加わった力が、常時本体の画面にデジタル表示される(単位N)。押圧棒の先端は、押圧部が球体を半分切断した半球状で、直径を1 cm, 2 cm, 3 cmに変換できる。

動による疲労に配慮した。

3) 測定方法

側屈運動の実施前後に生体組織硬度計 PEK-1 (株式会社井元製作所) を用い、右腰背部筋の筋硬度を測定した(図3)。測定部位は運動時と同様に第3腰椎棘突起から右外側方向 2/3 の位置とした。側屈運動時には筋に対して直角に押圧するため側方から押圧したが、筋硬度を測定する際には、センサーを筋に対して直角にする必要があるため、後方から前方に向かって硬度計を押し当てた。上述したように、この部位には浅層に広背筋、その下に側屈に関与する筋が位置しているため、これらの筋全体の筋緊張が筋硬度に影響していると考えられる。したがって本研究で測定した筋硬度は、固有の筋名ではなく、腰背部筋と表現した。

また、緩消法による非押圧側の筋緊張の変化を確認するために、対象のうち20名については、押圧力500 g、押圧部の直径1 cmでの施行の際に、左腰背部筋の筋硬度も同時に測定した。

筋硬度は連続5回測定し、平均値を代表値とした。また、本研究で測定した筋硬度は、筋緊張に異常がない状態でも、時間や日によって測定値が異なることが多いため、運動前の測定値を条件間で一定にすることはできない。そこで、条件間の比較に利用するために、運動前後の平均値を用いて前後比(介入後/介入前)を求めた。

4) 分析方法

①運動前後の筋硬度の比較

緩消法により筋硬度が変化するかを確認するために、運動前後の筋硬度をt検定を用いて押圧力条件ごとに比較した。

②押圧力条件間の比較

運動前後の筋硬度の変化が条件間で異なるのかを確認するために、運動前後に有意な変化を認めた押圧力条件



図3 筋硬度の測定方法

生体組織硬度計 PEK-1 (株式会社井元製作所) を用い、センサーを右腰背部筋と直角になるように押し当て、連続5回測定した。筋硬度の測定は運動前後に行った。

の前後比を、反復測定の分散分析および多重比較法を用いて押圧力条件間で比較した。

③押圧面積条件間の比較

運動前後の筋硬度の変化が押圧面積の違いに影響するのを確認するために、押圧力500 gにおける押圧部の直径1 cm, 2 cm, 3 cm条件での筋硬度を対応のあるt検定により運動前後で比較した。さらに押圧面積3条件の前後比を、反復測定の分散分析および多重比較法を用いて条件間で比較した。

④押圧側と非押圧側の比較

運動前後の筋硬度の変化が、押圧側と非押圧側で異なるのを確認するために、押圧力500 g条件における運動前後の筋硬度を押圧側および非押圧側でt検定によりそれぞれ分析した。

⑤個人特性との関連

運動前後の筋硬度の変化が個人特性に影響されるのを確認するために、運動前後に有意な変化を認めた押圧力条件の前後比と性別、BMIおよび運動前の筋硬度との関連を検討した。性別による違いは独立2群のt検定、BMIおよび運動前の筋硬度については、ピアソンの相関係数の検定を用いて分析した。

統計解析にはR4.2.1 (CRAN) を使用し、危険率は5%未満とした。

結 果

①運動前後の筋硬度の比較 (表1)

各押圧力条件の筋硬度は、運動前、後の順に、押圧なし: $46.88 \pm 9.82\text{N}$, $44.90 \pm 9.14\text{N}$, $250\text{ g}: 49.07 \pm 9.27\text{N}$,

表 1 押圧力条件別の筋硬度の運動前後の比較 (n=39)

押圧力条件	運動前	運動後	p 値
押圧なし	46.88 ± 9.82N	44.90 ± 9.14N	p > 0.05
250 g	49.07 ± 9.27N	46.60 ± 10.13N	p < 0.05
500 g	50.60 ± 8.16N	43.65 ± 8.94N	p < 0.01
750 g	54.45 ± 6.44N	47.39 ± 7.49N	p < 0.01
1,000 g	52.73 ± 8.90N	46.56 ± 8.28N	p < 0.01

押圧なし条件を除いた 4 条件において、筋硬度は運動後に有意に低下した。

表 2 押圧力条件別の筋硬度の前後比の比較 (n=39)

押圧力条件	前後比	
250 g	0.95 ± 0.13	** *]
500 g	0.86 ± 0.11	
750 g	0.87 ± 0.11	
1,000 g	0.89 ± 0.11	

250 g 条件の前後比よりも、500 g および 750 g 条件の前後比は有意に低値であった (**: p<0.01, *: p<0.05)。

表 3-1 押圧面積条件別の筋硬度の運動前後の比較 (n=39)

押圧部直径	運動前	運動後	p 値
1 cm	50.60 ± 8.16N	43.65 ± 8.94N	p < 0.01
2 cm	53.57 ± 6.45N	47.02 ± 7.84N	p < 0.01
3 cm	50.33 ± 6.82N	46.80 ± 7.08N	p < 0.01

すべての条件において、筋硬度は運動後に有意に低下した。

表 3-2 押圧面積条件別の筋硬度の前後比の比較 (n=39)

押圧部直径	前後比	
1 cm	0.86 ± 0.11	** *]
2 cm	0.87 ± 0.10	
3 cm	0.93 ± 0.09	

押圧部直径が 3 cm の前後比よりも、1 cm および 2 cm の前後比は有意に低値であった (**: p<0.01, *: p<0.05)。

46.60 ± 10.13N, 500 g : 50.60 ± 8.16N, 43.65 ± 8.94N, 750 g : 54.45 ± 6.44N, 47.39 ± 7.49N, 1,000 g : 52.73 ± 8.90N, 46.56 ± 8.28N であり、押圧なし条件を除いた 4 条件において、運動後に筋硬度が有意に低下した。

②押圧力条件間の比較 (表 2)

運動前後の筋硬度に有意な変化の見られた 4 条件の筋硬度の前後比は、250 g : 0.95 ± 0.13, 500 g : 0.86 ± 0.11, 750 g : 0.87 ± 0.11, 1,000 g : 0.89 ± 0.11 であり、多重比較において 500 g および 750 g 条件の前後比が、250 g 条件よりも有意に低値を示した。

③押圧面積条件間の比較 (表 3-1, 表 3-2)

押圧力 500 g 条件における押圧部の直径別の筋硬度は、運動前、後の順に、1 cm : 50.60 ± 8.16N, 43.65 ± 8.94N,

2 cm : 53.57 ± 6.45N, 47.02 ± 7.84N, 3 cm : 50.33 ± 6.82N, 46.80 ± 7.08N であり、いずれの直径の押圧棒においても、運動後に筋硬度が有意に低下した。

押圧部の直径別の前後比は、1 cm : 0.86 ± 0.11, 2 cm : 0.87 ± 0.10, 3 cm : 0.93 ± 0.09 であり、多重比較において 1 cm と 2 cm の前後比が、3 cm よりも有意に低値を示した。

④押圧側と非押圧側の比較 (表 4)

押圧力 500 g 条件における筋硬度は、運動前、後の順に、押圧側では 55.76 ± 6.94N, 48.32 ± 6.56N と運動後に筋硬度が有意に低下したが、非押圧側では 51.93 ± 3.91N, 52.45 ± 4.52N と、運動前後の筋硬度に変化はなかった。

表 4 押圧側と非押圧側の筋硬度の運動前後の比較 (n=20)

押圧部位	運動前	運動後	p 値
押圧側	55.76 ± 6.94N	48.32 ± 6.56N	p < 0.01
非押圧側	51.93 ± 3.91N	52.45 ± 4.52N	p > 0.05

押圧側の筋硬度は運動後に有意に低下したが、非押圧側では運動前後の差はなかった。

表 5 性別の違いによる筋硬度の前後比の比較 (n=39)

押圧力条件	女性 (n=10)	男性 (n=29)	p 値
250 g	0.95 ± 0.17	0.95 ± 0.12	p > 0.05
500 g	0.87 ± 0.13	0.85 ± 0.10	p > 0.05
750 g	0.84 ± 0.14	0.88 ± 0.10	p > 0.05
1,000 g	0.87 ± 0.12	0.89 ± 0.11	p > 0.05

筋硬度の前後比は、性別で違いはなかった。

表 6 BMI および押圧前筋硬度と前後比の相関分析 (n=39)

	BMI	押圧前筋硬度
押圧力 250 g	r = -0.125 (n.s)	r = -0.195 (n.s)
押圧力 500 g	r = -0.073 (n.s)	r = 0.097 (n.s)
押圧力 750 g	r = 0.004 (n.s)	r = -0.230 (n.s)
押圧力 1,000 g	r = -0.176 (n.s)	r = -0.384 (n.s)

r : 相関係数 n.s : no significant

筋硬度の前後比は、BMI および押圧前の筋硬度と関連がなかった。

⑤個人特性との関連 (表 5, 表 6)

運動前後の筋硬度に有意な変化の見られた押圧力条件の筋硬度の前後比を男女別で比較した結果、いずれの押圧力条件においても性別による筋硬度の違いは見られなかった。前後比に対する BMI および運動前筋硬度の相関分析の結果、いずれの条件においても有意な相関は見られなかった。

考 察

押圧力条件を変化させて運動を行った結果、押圧なし条件を除いた 4 条件において運動後に筋硬度が有意に低下し、条件間の比較では押圧力 500 g と 750 g 条件の前後比が 250 g 条件よりも有意に低い値を示した。筋膜には表層から深層に向かって、浅筋膜、深筋膜、筋外膜、筋周膜、筋内膜があり、互いに連続している。したがってある部分の筋膜が伸張されると、隣り合う筋膜にも伸張が伝わるため、筋膜全体の伸張性が増加すると考えられる。緩消法は「筋の収縮時に筋を押圧して筋線維の動きを部分的に止めることで、筋内膜や筋周膜を伸張させ、続いて筋外膜や深筋膜の伸張をもたらし、筋膜周囲の毛細血管への圧迫が減少することにより筋線維への血流が増加し、筋緊張が緩和する」という仮説に基づいた手技である。すなわち押圧が弱すぎると筋線維の動きを

部分的に止めることができず、反対に強すぎると筋線維全体の動きを止めてしまうため、筋膜を伸張させにくくなると推察される。このため本研究では 500 g および 750 g での押圧が筋緊張を緩和させるために最適であったと考えられた。

押圧棒の押圧部の直径を 1 cm, 2 cm, 3 cm に変化させて運動を行った結果、いずれの直径の押圧棒においても運動後に筋硬度が有意に低下し、条件間の比較では、1 cm と 2 cm の前後比が、3 cm よりも有意に低値を示した。筋を押圧する際、押圧面積が狭いほど特定の筋線維へ圧を集中させやすくなると予想される。すなわち押圧部の直径が 3 cm では、1 cm および 2 cm よりも押圧時の圧が分散してしまい、筋緊張の緩和効果が減少したと考えられた。

押圧側と非押圧側の運動前後の筋硬度の比較において、押圧側では運動後に筋硬度が有意に低下したが、非押圧側では運動前後の筋硬度に変化はなかった。体幹の側屈運動を行うと、筋の収縮に伴い筋血流が増加すると予想されるが、この結果を踏まえると、筋収縮運動のみでは筋緊張の緩和は促されないと考えられる。すなわち筋に適切な押圧を加えながら筋収縮運動を行うことが、筋緊張の緩和には有効であると推察された。

性別、BMI および運動前筋硬度は、運動前後の筋硬

度の変化に関連は見られなかった。このことは、緩消法が幅広い個人特性に対して一貫した効果を発揮できることを示唆していると考えられる。言い換えれば、性別や体型などに関係なく、誰にでも適用可能な汎用性の高い手技であるといえよう。

竹井⁹⁾は筋膜リリースによる筋膜機能異常の改善の機序として、筋膜への穏やかな伸張が筋膜の伸張性と粘弾性を改善させ、筋膜間を走行する血管の圧迫が減少することで血流が増加し、熱を引き出すためであると述べている。沖田¹⁰⁾は、筋膜内のコラーゲン線維の増生による骨格筋の線維化が筋性拘縮の原因であり、骨格筋の低酸素状態を緩和することで筋性拘縮の発生を軽減できると考え、頻回な筋収縮の誘発による筋ポンプ作用による血流促進の重要性を述べている。石倉ら¹¹⁾は、廃用性筋萎縮の状態にしたラットのヒラメ筋に対し、体重と同程度の3.0Nでストレッチした場合には1週間後にも浮腫が残存し、筋萎縮は改善しなかったが、0.3Nで行った場合には浮腫が改善し、筋萎縮も回復したと報告している。緩消法では筋の局所に押圧を加えた状態で筋収縮運動を促しており、運動時には動きを止められた部分と止められていない部分の筋線維間の筋膜が伸張されることになる。また筋収縮運動時には、徒手での負荷抵抗をかけず、ゆっくりした速度での自動運動にて行っている。すなわち緩消法は、穏やかで伸張力の小さい負荷を筋膜に与えていると考えられ、上述した筋膜機能異常の改善や筋ポンプ作用の血流促進と似たような効果を得ることができるのかもしれない。

本研究の限界として、1つ目に健常者を対象とした検討であることが挙げられる。緩消法により筋緊張の緩和効果が認められたが、あくまでも正常範囲内での筋緊張の変化である。筋・筋膜性腰痛患者では著しい高緊張を呈する可能性があり、本研究と同じような緩和効果が得られるのかは不明である。また、本研究では500～750gでの押圧が筋の緊張の緩和に最適であったが、筋・筋膜性腰痛患者のような局所に硬く感じられる部位ができてしまう筋の緩和に最適な押圧力は今回の結果とは異なるかもしれない。緩消法が筋緊張の緩和に利用できるという本研究の結果を踏まえ、今後は筋・筋膜性腰痛患者を対象とした研究を通し、臨床応用の可能性についての検討が必要であると考えられる。

2つ目に緩消法により筋緊張が緩和したことに対する解釈が、あくまでも先行研究に基づいた推測に過ぎないという点である。この点については筋緊張の変化に関連する生化学データなどを採取し、筋の緩和の起こるメカ

ニズムについて、明らかにしていく必要がある。

今後は筋・筋膜性腰痛患者に対する介入研究を行うとともに、上述したように客観的なデータに基づいた緩消法の効果について検証を進めていきたい。そして将来的には、緩消法が筋を緩和させる方法として、医療従事者だけではなく、一般の方にも簡便に利用してもらえるように汎化させていきたい。

結 論

緩消法を用いて随意的な体幹の側屈運動を5分間行った結果、筋の緩和効果が確認された。もっとも緩和効果が得られる条件は、押圧力が500～750g、押圧部の面積が直径1～2cmの場合であり、性別や体型の影響を受けなかった。

利 益 相 反

本論文発表内容に関し、開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本研究の対象としてご協力いただきました武蔵台病院リハビリテーション課のスタッフの皆様に深謝いたします。

文 献

- 1) 厚生労働省ホームページ：2022(令和4)年 国民生活基礎調査の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/index.html> (2023年11月2日引用)
- 2) 森本忠嗣：急性腰痛. オルソペディックス 30: 1-6, 2017
- 3) Heatbaek L, Leboeuf-Yde C, Manniche Ct: Low back pain: what is the long-term course? A review of studies of general patient populations. Eur Spine J 12: 149-165, 2003
- 4) Malanga GA, Cruz Colon EJ: Myofascial low back pain: a review. Phys Med Rehabil Clin N Am 21: 711-724, 2010. doi: 10.1016/j.pmr.2010.07.003. PMID: 20977957.
- 5) 本田 哲, 三枝徳栄, 他：筋・筋膜性腰痛. 臨牀と研究 99: 15-19, 2022
- 6) 白石吉彦：筋膜性腰痛へのエコーガイド下筋膜リリース改めFascia hydrorelease. ロコキユア 4: 68-72, 2018
- 7) 坂戸孝志：9割の腰痛は自分で治せる. 東京, 中経出版, pp 88-94, 2011
- 8) 坂口廣純, 坂戸孝志, 山本和雄：筋緩消法が腰背部筋緊張および腰痛に及ぼす影響. 日本統合医療学会誌 5: 1-6, 2012
- 9) 竹井 仁：筋筋膜機能障害と Motor Control. オルソペディックス 31: 19-28, 2018
- 10) 沖田 実：関節可動域制限の発生メカニズムとその治療戦略. 理学療法学 41: 523-530, 2014
- 11) 石倉英樹, 小野武也, 相原一貴, 佐藤勇太, 松本智博, 田坂厚志, 梅井凡子, 積山和加子, 沖 貞明, 大塚 彰：廃用性筋萎縮に対するストレッチングに加える力の違いが筋線維短径に与える経時的な影響. 理学療法学 44(Suppl): O-KS-12-3, 2016

Effect of *Kanshoho* on Muscle Tightness in the Lower Back

Satoshi Sugimoto,^{1*} Takashi Sakato,² Tomoyuki Nakayama,³
Tsuyako Koyama,³ Shingo Koida,³ Makoto Ozaki³

¹ Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Tokyo International University

² Japan Health Organization

³ Department of Rehabilitation, Musashidai Hospital

Objective: *Kanshoho* (Relaxation method by using stick pressure) is a technique that rapidly and painlessly relaxes muscles through light pressure applied to activated muscles. This study aimed to examine the effect of *Kanshoho* for muscle relaxation, clarify optimal pressing force and pressing area size, and investigate the influence of individual subject characteristics on *Kanshoho* muscle relaxation effects.

Methods: Thirty-nine consenting healthy adults performed voluntary seated lateral flexion for 5 minutes with a pressure bar applied to the right lumbar region. Five pressure bar forces (no force, 250 g, 500 g, 750 g, and 1,000 g) and three pressure bar diameters (1 cm, 2 cm, and 3 cm) were used. Lower back muscle hardness was measured immediately before and after exercise using a muscle hardness meter. Measurement value and rate of change in muscle hardness before and after exercise were compared for each pressing force and area condition. The influence of gender, BMI, and pre-intervention muscle stiffness on rate of change was also investigated.

Results: The measurement value of muscle hardness after exercise was lower than before exercise except the no force condition. The rate of change in muscle hardness of before and after exercise on 500 g and 750 g condition exhibited significantly lower than on no force and 250 g condition. The measurement value after exercise was lower than before exercise in all pressing area condition, however, the rate of change at 1 cm and 2 cm sizes showed significantly lower than at 3 cm size. The rate of change was not related to gender, BMI, or pre-intervention muscle stiffness.

Conclusion: A pressing force from 500 to 750 g on an area 1 to 2 cm in diameter produced the most relaxing effect in terms of reduced muscle tension. This *Kanshoho* technique would be applicable to a wide range of subjects without being affected by gender or body shape.

Key words: *Kanshoho*, Muscle tightness, Physical Therapy

* Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Tokyo International University
1-13-1 Matoba-kita, Kawagoe-shi, Saitama, 350-1197, Japan
E-mail: ssugimo@tiu.ac.jp

総説

運動単位分析から紐解く神経筋機能*

廣野 哲也^{1) #}

要旨

最大筋力や力の制御に関与する因子として、骨格筋の形態特性の他に神経特性も重要な因子である。高密度表面筋電図と特殊数理アルゴリズムを用いることで、神経系の最終経路として骨格筋に指令を伝達する運動単位のふるまいを調べることができる。地域在住高齢者の運動単位の特性と1年後の筋力変化がかわることや、運動単位の発火特性が骨格筋量の減少と関連することなどが明らかとなってきた。低負荷トレーニングの効果を調べた際、骨格筋で適応変化を検出できなくても、運動単位の発火特性には軽微な適応変化を認め、運動による神経系への影響も詳細に検証できるようになってきた。さらに運動単位のふるまい変化を調査することで、骨格筋収縮特性の日内変動や収縮様式による急性変化など、詳細な神経筋系の機能を明らかにすることが可能となってきた。運動単位のふるまいを評価することが、筋力増加や筋力制御など神経筋機能を紐解いていくことを可能としてきている。

キーワード 運動単位, 高齢者, 骨格筋, 神経筋機能, 高密度表面筋電図

はじめに

大きな力を発揮すること、筋力を正しく制御することは、日常生活動作や運動遂行に必要な不可欠である。中枢神経系からの電気信号を受けて骨格筋の収縮強度が決定され、関節トルクを生み出すことで力発揮や運動を遂行している。これら一連の仕組みにおいて、骨格筋の大きさなどの形態的な特性、さらに指令を司る神経系のはたらかしを理解することが重要である。最大筋力や力を正確に制御する能力を決定する因子として、骨格筋の大きさなど形態特性は重要であるが、それだけでは十分に説明できず、神経特性もまた重要である。例えば、高齢者の5年間の筋力低下と筋量減少を評価した研究では、筋力低下率の方が筋量減少率よりも大きいことを報告している。このことから、高齢者の筋力低下には神経系要因が重要であることが示唆された¹⁾。また筋力トレーニングによる筋力増強には、トレーニング開始初期には神経適用が、その後しばらくしてから形態適応が生じる²⁾³⁾。リハビリテーションにおいても、神経特性を原因とした

筋力低下や、トレーニング介入によって早期から筋力増加を期待する場面に多く遭遇することから、神経特性に着目していくことが重要であるとうかがえる。神経特性のなかでも、運動単位は中枢神経系の最終経路として骨格筋に指令を伝達し、筋収縮を決定する最小単位である⁴⁾。運動単位活動は、高密度表面筋電図と信号処理技術のConvolution Kernel Compensation (以下、CKC)法を用いることで、非侵襲的に定量化可能となってきた⁵⁾。この手法を用いることで、神経筋機能の解明が進んでいる。

高齢者における運動単位発火特性

地域在住高齢者を対象とした研究において、最大膝関節等尺性伸筋力、生体電気インピーダンス計を用いて下肢筋量、高密度表面筋電図を用いて外側広筋の運動単位発火特性を計測し、その1年後に再び最大膝関節等尺性伸筋力と筋量を計測した。その結果、1年間の筋力変化には筋量はあまり関与せず、運動単位発火特性と有意な相関関係を認めた⁶⁾。高齢者の筋力変化の徴候を示す指標として、運動単位発火特性の有用性が示唆され、高齢者における神経要因の重要性を支持する結果が得られた。

漸増的に筋力を発揮させていくと、順に運動単位が動員されていく。このとき、サイズの原理にしたがって、サイズの小さい運動単位から順に動員され、サイズの小さい運動単位が高い発火頻度を示し、後から動員される

* Motor Unit Analysis can Provide a Detail Mechanism of Neuromuscular Functions

1) 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻
(〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町53)
Tetsuya Hirono, PT, PhD: Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University (53 Kawahara-cho, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8507, Japan)

E-mail: hirono.tetsuya.4r@kyoto-u.ac.jp
(受付日 2025年9月9日)

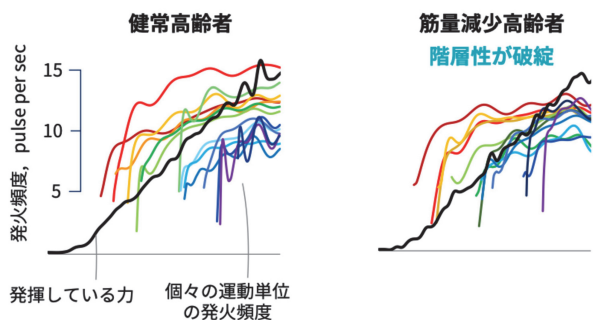


図1 健康高齢者と筋量減少が生じている高齢者の運動単位発火特性

左に示す健康者においては、低い力発揮から動員されるサイズの小さい運動単位（赤や黄色の線で示すもの）は高い発火頻度を示し、高い力発揮で動員されるサイズの大きな運動単位（青や紺色の線で示すもの）は低い発火頻度を示し、個々の運動単位の発火頻度の推移は階層性を示す。一方で右に示すように、筋量が減少した高齢者では、サイズの異なる運動単位が同様の発火頻度を示し、階層性が破綻してしまう。

サイズの大きい運動単位は低い発火頻度を示す⁷⁾。この階層性の運動単位発火特性を示すことが健康者で観察される（図1）。運動機能を維持できている地域在住高齢者を対象に、運動単位発火特性を調べたところ、サルコペニアの骨格筋量基準値を下回る高齢者において、この階層性が破綻していることが明らかとなった（図1⁸⁾。つまり、筋萎縮が生じている高齢者では、運動機能を維持できても運動単位発火特性に変化が生じ始めており、これが将来の運動機能低下に関連する可能性がある。

高密度表面筋電図を用いて非侵襲的に地域在住高齢者の神経要因を詳細に調べることで、高齢者における変性の特徴を抽出することが可能となっており、加齢変化で生じる骨格筋変性と併せて評価することで、高齢者の運動機能を維持するために必要なトレーニングなどを考えていくための貴重なデータを提供できるようになってきた。

軽微な介入効果も検出できる運動単位

地域在住高齢者に対して、自重でのスクワット運動介入を実施し、その効果を超音波画像診断装置による筋厚、ダイナモメータによる最大膝関節等尺性伸展筋力、高密度表面筋電図による運動単位分析にて評価した。自重スクワット運動は、1日に100回をできるだけ毎日実施してもらい、2週ごとに運動教室にてスクワット運動の確認と自主運動を促進するように努めた。その結果、残念ながら有意な筋力変化や筋厚の変化を観察することはできなかった。しかしながら、運動介入を行わなかった対照群と比較して、自重スクワット介入群では運動単位発火頻度の有意な変化を認めた（図2）。より少ない神経入力によって効率よく筋力発揮できることが明らかとなった⁹⁾。課題特異性から最大等尺性筋力では検出し

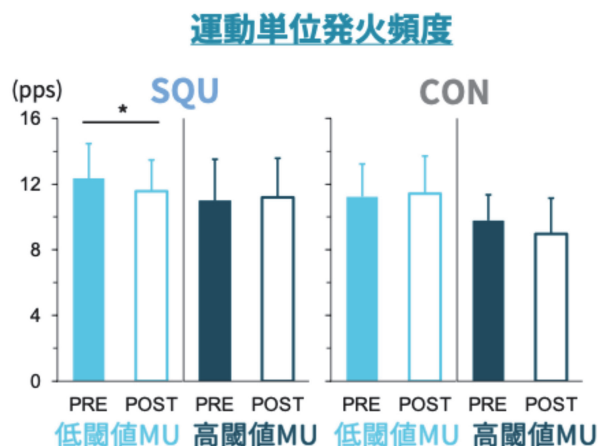


図2 自重スクワット介入による運動単位発火頻度の変化
動員閾値の低い運動単位（低閾値 MU）と動員閾値の高い運動単位（高閾値 MU）に分けて、スクワット群（SQU）と対照群（CON）の変化を分析したところ、SQU 群の低閾値 MU の発火頻度が有意に低下した（ $p<0.05$ ）。このことは、より少ない神経入力によって筋力発揮を遂行できるようになり、効率よく筋力発揮を行える適応変化が生じたことを示唆する。

づらかったこと、筋量変化として運動効果が現れるには運動負荷が小さすぎたことなど、筋力や筋量として効果を検出できなかった原因は多々考えられる。しかし、実際のリハビリテーションの現場では、自重などの小さな負荷であっても、運動介入によって動作を容易に達成できるようになることは頻繁に体験できる事象であろう。本研究で明らかとなった、神経入力を少なくし、効率よく力発揮を遂行できるようになるという結果は、リハビリテーション過程において理にかなったデータであり、運動の効果を神経適応の側面から示す成果である。

エネルギーの摂取制限を行った条件下でトレーニングを行うと、筋力増加は認められる一方で、筋量の増加は認めにくい¹⁰⁾。筋力が形態要因と神経要因で決定されていることを考慮すると、この時神経適応が大きく生じている可能性が考えられる。プロボクサー1名の減量期に骨格筋量と運動単位発火頻度を調べたケーススタディにおいて、減量に伴う骨格筋量の減少を補うように、運動単位発火頻度が上昇していくことが明らかとなった¹¹⁾。この結果から、形態要因と神経要因はお互いを補い合うような関係性があるのかもしれない。

運動単位は筋量よりも鋭敏に変化するため、栄養摂取による効果検証にも用いられる。例えば、3ヵ月間のタンパク質摂取による骨格筋収縮特性の変化を調べた研究では、その効果が運動単位発火頻度の変化として検出できる¹²⁾。これら報告^{9) 11) 12)}のように、様々な介入方法によって生じるわずかな骨格筋の変化を、運動単位のふるまいを定量化することで明らかにできるようになってきた。実際にリハビリテーションで体感する早期の筋力増加や動作の獲得、栄養介入による身体運動の変化

も、運動単位レベルで評価することでさらに明らかにすることが可能となるだろう。今回紹介した以外の介入効果も、運動単位を分析していくことでより明瞭化されることが期待できる。

同一運動単位の追従分析

同じ位置に貼付された高密度表面筋電図とCKC法を用いることで、同一の運動単位のふるまいを追従して分析することが可能である¹³⁾¹⁴⁾。追従分析を用いることで、異なる時期に同一の運動単位の発火特性を評価することが可能になり、介入前後における同一の運動単位の発火特性の変化を評価することが可能となる。

ヒトの生理機能には日内変動があり、身体機能を維持するうえで重要な機構である¹⁵⁾。持久性運動や筋力、筋パワーに関しても日内変動の存在が報告されており、骨格筋の収縮能力や運動単位発火特性においても日内変動が存在するかもしれない。そこで、朝、昼、夕、夜の4つのタイミングで電気刺激による骨格筋の収縮力を客観的に定量化し、さらに高密度表面筋電図を用いて運動単位発火特性を評価した。運動単位の評価には追従分析を実施し、同じ運動単位が日内変動するかどうかを検証した。その結果、電気刺激による誘発トルクに日内変動は認められなかった一方で、運動単位は朝よりも夕や夜にかけて、発火頻度が高まることが明らかとなった¹⁶⁾。同じ運動単位を追従して計測したことで、わずかな変化も検出することが可能となり、生理学的な日内変動を明らかにすることができた。この結果は、筋収縮を司る運動単位にも発火頻度を高めやすい時間帯があることから、運動単位発火頻度の日内変動が運動パフォーマンスにも寄与している可能性を示唆する。

他にも、追従分析を行うことで運動前後の同一運動単位のふるまいを評価することが可能となり、その運動が神経系に及ぼす影響を調べることも間接的に可能となる。例えば、収縮様式、短縮性収縮運動と伸張性収縮運動が神経系に及ぼす急性効果を調べることで、各収縮様式がどのように運動単位を動員させるようにはたらくのかを明らかにすることができる。健常若年男性を対象に、短縮性もしくは伸張性収縮を疲労するまで（最大の8割の出力になるまで）反復したときの運動単位のふるまい変化を計測した。併せて、代謝性ストレスの指標として筋断面積も計測し、筋の浮腫や腫脹の程度も定量化した。その結果、短縮性収縮は消費エネルギーも大きい¹⁷⁾ことから急性の筋断面積増加を認め、これが伸張性収縮運動よりも有意に大きかった。さらに運動単位発火頻度の変化も両収縮条件で変化を認めたが、短縮性収縮運動後により大きな変化を誘発した（図3）。伸張性収縮はエネルギーコストの低い収縮様式で、ヒトでは神経系抑制経路が働きやすいことも報告されており¹⁸⁾¹⁹⁾、

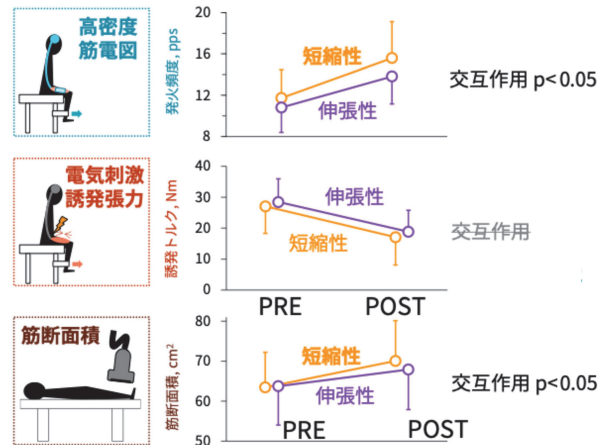


図3 短縮性および伸張性収縮運動直後における運動単位発火頻度、電気刺激誘発張力、筋の即時的な断面積変化。誘発張力は両運動直後に低下しているが、代謝性ストレス指標である即時的な筋断面積の増加および運動単位発火頻度の上昇が短縮性収縮条件後に大きな変化を認めた。

これが急性効果において運動単位発火頻度の変化を小さく保てた要因だと考えられる。

これらの報告のように、追従分析を用いることでより詳細な生理学的応答を評価することが可能となる。電気刺激による収縮特性や筋断面積測定と併用することで、より骨格筋の適応について理解を深めることができるようになる。

まとめ

高密度表面筋電図と特殊な数値アルゴリズムによって、非侵襲的に運動単位活動を定量化できる技術が発展してきている。非侵襲的である特性から、幼児²⁰⁾から高齢者⁶⁾⁸⁾、有疾患者²¹⁾²²⁾、アスリート²³⁾に至るまで様々な対象者での運動単位評価が進行しており、臨床における貴重なデータが数多く発表されてきている。本稿で紹介した研究のように、運動単位分析に加えて骨格筋画像評価も併用することで、筋力にまつわる治療戦略や病態をより詳細に把握することが可能となるだろう。今後、さらに運動単位分析によって神経要因を定量化することで、骨格筋の収縮にかかわる筋力や運動機能を多面的に評価することが可能となり、病態理解をはじめ、リハビリテーション処方に関する新たな知見が更新、発展されていくことが期待される。

謝辞

本稿で紹介した研究の実施にあたり、多大なるご尽力をいただいた共同研究者の渡邊航平先生（中京大学）をはじめ、渡邊航平研究室のみなさまに深く感謝いたします。

文 献

- 1) Manini TM, Clark BC: Dynapenia and aging: an update. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 67(1): 28-40, 2012
- 2) Moritani T, deVries HA: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58(3): 115-130, 1979
- 3) Pearcey GEP, Alizedah S, Power KE, Button DC: Chronic resistance training: is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain? *Eur J Appl Physiol* 121(9): 2413-2422, 2021
- 4) Heckman CJ, Enoka RM: Motor unit. *Compr Physiol* 2(4): 2629-2682, 2012
- 5) Farina D, Holobar A, Merletti R, Enoka RM: Decoding the neural drive to muscles from the surface electromyogram. *Clin Neurophysiol* 121(10): 1616-1623, 2010
- 6) Hirono T, Takeda R, Nishikawa T, Watanabe K: Prediction of 1-year change in knee extension strength by neuromuscular properties in older adults. *Geroscience* 46(2): 2561-2569, 2024
- 7) Erim Z, De Luca CJ, Mineo K, Aoki T: Rank-ordered regulation of motor units. *Muscle Nerve* 19(5): 563-573, 1996
- 8) Hirono T, Takeda R, Nishikawa T, Okudaira M, Kunugi S, Yoshiko A, Ueda S, Yoshimura A, Watanabe K: Motor unit firing patterns in older adults with low skeletal muscle mass. *Arch Gerontol Geriatr* 116: 105151, 2024
- 9) Hirono T, Kunugi S, Yoshimura A, Ueda S, Goto R, Akatsu H, Watanabe K: Effects of home-based bodyweight squat training on neuromuscular properties in community-dwelling older adults. *Aging Clin Exp Res* 35(5): 1043-1053, 2023
- 10) Murphy C, Koehler K: Energy deficiency impairs resistance training gains in lean mass but not strength: A meta-analysis and meta-regression. *Scand J Med Sci Sports* 32(1): 125-137, 2022
- 11) Hirono T, Ueda S, Mita Y, Watanabe K: Neuromuscular characteristics during weight loss in a professional boxer: a case study. *J Neurophysiol* 128(4): 963-968, 2022
- 12) Hirono T, Ueda S, Yoshida E, Uchida K, Holobar A, Mita Y, Watanabe K: Effects of Alaska Pollack Protein Ingestion on Neuromuscular Adaptation in Young Healthy Adults: A Randomized, Placebo-Controlled Trial. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 70(3): 228-236, 2024
- 13) 廣野哲也, 渡邊航平: 骨格筋の収縮を司る運動単位の変化—高密度表面筋電図法による運動単位追従解析—. *トレーニング科学* 36(2): 111-117, 2024
- 14) Francic A, Holobar A: On the Reuse of Motor Unit Filters in High Density Surface Electromyograms Recorded at Different Contraction Levels. *IEEE Access* 9: 115227-115236, 2021
- 15) Siahkouchian M, Khodadadi D, Bolboli L: Diurnal variation of haemostatic response to exercise in young sedentary males. *Biol Sport* 30(2): 125-130, 2013
- 16) Hirono T, Igawa K, Okudaira M, Takeda R, Nishikawa T, Watanabe K: Time-of-day effects on motor unit firing and muscle contractile properties in humans. *J Neurophysiol* 131(3): 472-479, 2024
- 17) Hoppeler H: Moderate Load Eccentric Exercise; A Distinct Novel Training Modality. *Front Physiol* 7: 483, 2016
- 18) Duchateau J, Baudry S: Insights into the neural control of eccentric contractions. *J Appl Physiol* (1985) 116(11): 1418-1425, 2014
- 19) Gonzalez-Izal M, Lusa Cadore E, Izquierdo M: Muscle conduction velocity, surface electromyography variables, and echo intensity during concentric and eccentric fatigue. *Muscle Nerve* 49(3): 389-397, 2014
- 20) Del Vecchio A, Sylos-Labini F, Mondì V, Paolillo P, Ivanenko Y, Lacquaniti F, Farina D: Spinal motoneurons of the human newborn are highly synchronized during leg movements. *Sci Adv* 6(47): eabc3916, 2020
- 21) Nishikawa Y, Watanabe K, Holobar A, Maeda N, Maruyama H, Tanaka S: Identification of the laterality of motor unit behavior in female patients with parkinson's disease using high-density surface electromyography. *Eur J Neurosci* 53(6): 1938-1949, 2021
- 22) Watanabe K, Gazzoni M, Holobar A, Miyamoto T, Fukuda K, Merletti R, Moritani T: Motor unit firing pattern of vastus lateralis muscle in type 2 diabetes mellitus patients. *Muscle & Nerve* 48(5): 806-813, 2013
- 23) Casolo A, Del Vecchio A, Balshaw TG, Maeo S, Lanza MB, Felici F, Folland JP, Farina D: Behavior of motor units during submaximal isometric contractions in chronically strength-trained individuals. *J Appl Physiol* (1985) 131(5): 1584-1598, 2021

Motor Unit Analysis can Provide a Detail Mechanism of Neuromuscular Functions

Tetsuya Hirono^{1*}

¹ Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University

Neural factor, alongside muscular factor, are crucial elements to determine maximal muscle strength and an ability to control force. High-density surface electromyograph has been developed with novel algorithms to evaluate motor unit firing behaviors, which is the last pathway from the central nervous system to the muscle. Recent works reported that 1-year change in muscle strength in community-dwelling older adults could be explained by motor unit firing properties, and that older adults with low muscle mass has an abnormal motor unit firing pattern. Even though a significant increase in muscle mass was not observed after low-intensity weight-bearing squat training, a slight change in motor unit firing rate was observed. Thus, exercise effects on neuromuscular functions can be detected using the novel methods. If investigating the changes in motor unit firing behaviors, we could evaluate a time-of-day effect on motor unit firing properties, or acute effects of contraction mode on motor unit firing properties. An assessment of motor unit firing behavior can provide a detail mechanism of neuromuscular functions, such as muscle strength gain or control of muscle force.

Key words: Motor unit, Older adults, Skeletal muscle, Neuromuscular function, High-density surface electromyography

* Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University
53 Kawahara-cho, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8507, Japan
E-mail: hirono.tetsuya.4r@kyoto-u.ac.jp

総説

タウ蛋白のリン酸化を介した糖尿病によるアルツハイマー病の病態修飾メカニズム*

伊藤 祐規¹⁾²⁾ 森下 竜一¹⁾ 武田 朱公^{1)2) #}

要旨

糖尿病はアルツハイマー病 (Alzheimer's disease: AD) の発症リスクを高めることが知られている。AD を特徴付ける脳内病理像の1つである神経原線維変化は、主にリン酸化タウ蛋白から構成され、その蓄積量が認知機能障害の重症度と相関する。そのことから、リン酸化タウ蛋白はADの発症において重要な役割を果たすと考えられている。筆者らはこれまで、糖尿病合併ADマウスモデルを用いて、糖尿病によるADの発症リスク増加の基盤にある分子メカニズムについて解析してきた。その結果、糖尿病合併ADマウス脳内におけるタウ蛋白の特徴的なリン酸化パターンや、それに関与する可能性のある6種類のキナーゼが明らかになった。これらの結果は、タウ蛋白のリン酸化が糖尿病とADをつなぐメカニズムの1つであることを示唆する。本総説では、タウ蛋白のリン酸化に焦点を当てて、糖尿病によるADの病態修飾メカニズムについて概説する。

キーワード アルツハイマー病, 糖尿病, タウ蛋白, リン酸化

糖尿病による認知症の発症リスクの変化

認知症は、一度正常に発達した認知機能が後天的な脳の障害によって持続的に低下し、日常生活や社会生活に支障をきたすようになった状態と定義され、2050年には世界の認知症患者数が1億5,200万人を超えると推計されている¹⁾。認知症の発症に関与するもっとも強い後天的要因は加齢であり、認知症の有病率は65～69歳で2.9%、80～84歳で21.82%、95歳以上で79.57%へと上昇することが報告されている²⁾。加齢のみではなく、併存疾患の有無や生活習慣、生活環境といった後天的要因も認知症の発症に関与することが明らかになっている³⁾。認知症の発症リスクを高める後天的要因のなかには、糖尿病の合併や喫煙習慣など対応が可能な因子が複数含まれており、Livingstonらは、これらの修正可能リスク

因子を取り除くことで認知症の45%が予防可能であると報告している⁴⁾。つまり、修正可能リスク因子は認知症の発症に深く関与しており、その詳細な分子メカニズムを明らかにすることは、認知症の発症予防を実現するうえで重要であると考えられる。

アルツハイマー病 (Alzheimer's disease: 以下、AD) は認知症の主な原因疾患の1つであり、全認知症の約70%を占めている³⁾。ADの95%以上は孤発性ADであり、その発症には遺伝的要因よりも後天的要因が関与すると考えられている。糖尿病はADの発症リスクを高める後天的要因の1つであることが、複数の疫学研究において報告されている⁵⁾⁶⁾。例えば、地域住民を対象とした疫学研究においては、糖尿病患者は血糖値や血清インスリン値が正常な方に比べてADの発症リスクが2.1倍高かった⁵⁾。高齢者を対象とした研究でも、高齢糖尿病患者におけるADの発症リスクは、糖尿病を合併していない高齢者の1.9倍であると報告されている⁶⁾。これらの疫学研究の結果から、糖尿病はADの独立したリスク因子であり、脳内のAD病理を修飾すると考えられている。

ADにおけるタウ蛋白の異常

ADは進行性の神経変性疾患であり、細胞外でアミロイドβ蛋白が蓄積して生じる老人斑と、神経細胞内で

* Pathological Relationship between Alzheimer's Disease and Diabetes Mellitus Via Phosphorylation of Tau Protein

1) 大阪大学大学院医学系研究科臨床遺伝子治療学

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-2)

Yuki Ito, PT, PhD, Ryuichi Morishita, MD, PhD, Shuko Takeda, MD, PhD: Department of Clinical Gene Therapy, Graduate School of Medicine, The University of Osaka (2-2 Yamada-oka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan.)

2) 大阪精神医療センターこころの科学リサーチセンター

Yuki Ito, PT, PhD, Shuko Takeda, MD, PhD: Osaka Psychiatric Research Center, Osaka Psychiatric Medical Center

E-mail: takeda@cgt.med.osaka-u.ac.jp

(受付日 2025年9月10日)

タウ蛋白が蓄積して生じる神経原線維変化 (neurofibrillary tangles : 以下, NFTs) という脳内病理像によって特徴付けられる。AD 患者は, これらの脳内病理の増悪に伴う神経細胞死により認知機能低下を引き起こし, 最終的に死に至る⁷⁾。NFTs の脳内蓄積量は, 老人斑の蓄積量に比べて生前の認知機能障害の重症度とよく関連するため⁸⁾, NFTs の形成や蓄積が AD 患者における神経細胞死に重要な役割を果たすと考えられている。

NFTs の主な構成因子であるタウ蛋白は, 微小管結合蛋白質の一種であり, 神経細胞における微小管の安定性に寄与する⁹⁾。AD 患者脳内で NFTs として蓄積しているタウ蛋白は, リン酸化や断片化といった様々な翻訳後修飾を受けていることが報告されている¹⁰⁾。様々な翻訳後修飾の内, リン酸化はタウ蛋白の自己凝集性を高めること¹¹⁾ や, 微小管への結合能を阻害すること¹²⁾¹³⁾ が明らかになっている。つまり, AD 患者では病的な神経細胞においてタウ蛋白がリン酸化を介して細胞内に蓄積するため, NFTs の脳内蓄積量と認知機能障害の重症度が関連すると考えられている。

糖尿病によるタウ蛋白のリン酸化亢進

糖尿病は脳内のタウ蛋白のリン酸化を亢進させることが, マウスモデルを用いた基礎的研究において数多く報告されている。その多くは, 糖尿病の基盤に存在するインスリン抵抗性に着目し, インスリンシグナルを介したタウ蛋白のリン酸化に焦点を絞った解析を実施している。例えば, Clodfelder-Miller らは, インスリン欠乏マウスモデルの 1 つであるストレプトゾトシン投与 C57BL/6 マウスにおいて, 脳内のタウ蛋白のリン酸化が増加していることを報告した¹⁴⁾。この結果は, C57BL/6 以外の系統のマウス¹⁵⁻¹⁷⁾ や, 脳内にタウ蛋白を過剰発現させたマウス¹⁸⁾ においても再現された。これらの結果は, 末梢のインスリン欠乏が脳内のタウ蛋白のリン酸化を亢進させることを示唆している。加えて, 高脂肪食負荷マウス¹⁹⁻²¹⁾ や遺伝性糖尿病 (*db/db*) マウス²²⁾ といった, その他の糖尿病マウスモデルにおいても脳内のリン酸化タウ蛋白量が通常食摂取マウスや野生型マウスに比べて増加することが報告されている。これらの糖尿病マウスモデルを用いた研究結果から, 糖尿病の合併, 特にインスリンシグナルの異常は脳内のタウ蛋白のリン酸化を増加させることが示唆される。

糖尿病マウスモデルを用いた既報のほとんどは, タウ蛋白に存在するリン酸化部位の内, 特定の部位の変化についてのみ解析を実施してきた²³⁾。タウ蛋白には約 80 ヲ所の潜在的なリン酸化部位があり, そのうち 44 ヲ所は AD 患者脳でリン酸化されている²⁴⁾ にもかかわらず, 多くの研究では, 既存の抗体が存在するリン酸化部位に限定して, 脳内のリン酸化タウ蛋白の量を評価して

いた。そのため, 既存の抗体がないリン酸化部位 (例えばアミノ末端側) に対して, 糖尿病が与える影響についてはほとんど解明されていなかった²³⁾。そこで筆者らは, 高脂肪食負荷を用いて新たな糖尿病合併 AD マウスモデルを樹立し, リン酸化プロテオームにより脳内タウ蛋白のリン酸化の変化について網羅的に解析した。その結果, 糖尿病合併 AD マウス脳内では通常食摂取 AD マウスに比べて, タウ蛋白に存在する約 80 ヲ所のリン酸化部位の内, 既報では検討されていなかった部位を含む 11 ヲ所 (Thr50, Thr52, Ser210, Thr212, Ser214, Thr217, Thr231, Ser238, Ser241, Ser289, Thr386) において, リン酸化が亢進していることを見出した²⁵⁾。この結果は, 糖尿病により惹起される脳内タウ蛋白のリン酸化は, 特徴的なパターンを伴って部位特異的に生じることを示唆する。これらの結果をふまえると, 糖尿病は部位特異的にタウ蛋白のリン酸化を亢進させることで, AD 病理の増悪を引き起こすと考えられる。

糖尿病によるタウ蛋白のリン酸化に介在するキナーゼ

糖尿病が部位特異的にタウ蛋白のリン酸化を亢進させる分子メカニズムの 1 つとして, キナーゼの酵素活性の変化が関与していると考えられる²⁴⁾。前述の通り, 既報ではインスリンシグナルに着目した解析が実施されており, インスリン受容体の下流にあるセリン/スレオニンキナーゼ Akt (serine/threonine kinase Akt : 以下, Akt) やグリコーゲン合成酵素キナーゼ-3 β (glycogen synthase kinase-3 beta : 以下, GSK3 β) のリン酸化の変化が報告されている¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁹⁾²⁰⁾²⁶⁾。インスリンは, インスリン受容体に結合することにより Akt をリン酸化 (p-Ser473 Akt) し, その酵素活性を変化させる。また, Akt はタウ蛋白を直接リン酸化するだけでなく, 下流にある GSK3 β のリン酸化 (p-Ser9 GSK3 β) を介してもタウ蛋白のリン酸化に関与する。糖尿病マウスモデルを用いた検討においては, リン酸化タウ蛋白量の増加と関連した p-Ser473 Akt 量¹⁹⁾²⁰⁾, および p-Ser9 GSK3 β 量¹⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾ の変化が報告されている。つまり, 糖尿病による神経細胞のインスリンシグナルの障害は, リン酸化を介して Akt や GSK3 β の酵素活性を変化させることで, タウ蛋白の部位特異的なリン酸化を引き起こすと考えられる。

一方で, インスリンシグナルに含まれていないキナーゼが, 糖尿病によるタウ蛋白のリン酸化に関与する可能性も示唆されている¹⁵⁾。例えば, 脳由来神経栄養因子 (brain-derived neurotrophic factor : BDNF) の受容体の下流にある細胞内シグナル伝達経路が, 高脂肪食負荷により生じるタウ蛋白のリン酸化増加に関与すること²¹⁾ や, インスリン抵抗性を呈さない糖尿病合併マウスにおいても, 脳内の p-Ser473 Akt 量や p-Ser9 GSK3 β 量が

変化していること²⁰⁾が報告されている。つまり、インスリンシグナルだけに焦点を当てた解析では、糖尿病とタウ蛋白のリン酸化をつなぐ分子メカニズムの一部分しか解明できない可能性がある。そこで筆者らは、糖尿病合併ADマウス脳を使用したリン酸化プロテオーム解析と分子ネットワーク解析を組み合わせることで、糖尿病とタウ蛋白のリン酸化をつなぐキナーゼのリン酸化の変化について包括的な検討を行った。その結果、糖尿病合併ADマウス脳内では30種類のキナーゼのリン酸化レベルが有意に変動しており、その内、タウ蛋白のリン酸化亢進に関与する可能性のあるキナーゼを6種類同定した²⁵⁾。さらに、この6種類のキナーゼのリン酸化レベルは、腹部脂肪体重量や血漿インスリン値といった糖尿病病態の程度と相関しており、なかでもカルシウム/カルモジュリン依存性プロテインキナーゼIIサブユニット α (calcium/calmodulin-dependent protein kinase type II subunit α : CaMK2 α)のリン酸化レベルは、脳内に蓄積したリン酸化タウ蛋白量とも相関していた²⁷⁾。これらの結果から、糖尿病によって惹起されるタウ蛋白のリン酸化には、インスリンシグナルだけではなく複数の細胞内シグナル伝達経路が関与していることが示唆された。また、複数の細胞内シグナル伝達経路の下流にあるキナーゼの酵素活性の変化が複雑に作用し合った結果として、特徴的なパターンを伴ったタウ蛋白のリン酸化亢進が生じると考えられる。

糖尿病治療が脳内 NFTs 量へ与える影響

マウスモデルを用いた研究から、糖尿病がADの発症を促進する分子メカニズムが明らかになりつつある。しかしながら、糖尿病治療により脳内のAD病理の進展、特にNFTsの蓄積が抑制可能かについては、未解明な点が残されている。Jeongらは糖尿病治療薬であるDipeptidyl Peptidase-4 (DPP-4) 阻害薬の服用が将来の認知機能低下を抑制する可能性を報告している²⁸⁾。また、糖尿病患者における認知機能低下に対して、メトホルミンの服用が保護的に作用することも報告されている²⁹⁾。これらの結果から、糖尿病治療薬が認知症の発症予防において効果的である可能性が示唆されるが、糖尿病治療薬によるヒト脳内のNFTs量の変化については報告されていない。

また、AD患者脳内におけるNFTsの蓄積の抑制を目的として糖尿病治療を実施する場合、適切な介入時期についても検討の余地がある。AD患者の脳内では、認知症発症の20～30年前から老人斑が、約10年前からNFTsが蓄積し始めており、認知症発症時点では両病理像ともすでに脳全体に広がっていると考えられている³⁰⁾。そのため、AD患者におけるNFTsの蓄積の抑制を目的とした糖尿病治療は認知症発症前から、つまり高齢の認

知症患者ではなく認知機能が正常な中高年を対象として、予防的に実施する方が介入効果を得やすい可能性がある。

認知症の発症抑制を目的とした糖尿病への介入

NFTsの蓄積を抑制可能な糖尿病治療は明らかではないが、現時点で実施可能な介入手段としては、身体活動が第一に挙げられる。身体活動はそれ自身が認知症発症を抑制する後天的要因の1つであるが⁴⁾、加えて、糖尿病患者における血糖コントロールやインスリン感受性を改善させる効果が期待できる。つまり、身体活動の維持・促進により間接的に糖尿病によるタウ蛋白のリン酸化亢進を抑制できる可能性がある。また、過度なアルコール摂取³¹⁾や喫煙³²⁾は、認知症だけではなく、糖尿病の発症リスクを高める後天的要因でもある。そのため、生活指導の実施や医療・介護サービス等の活用を介してこれらの修正可能リスク要因を取り除くことも、認知症の発症抑制を目的とした糖尿病への介入であると考えられる。

ま と め

マウスモデルを用いた研究から糖尿病がタウ蛋白のリン酸化を介して、ADの発症リスクを高める分子メカニズムが徐々に明らかになってきた。筆者らは、その分子メカニズムの一端を担う特徴的なリン酸化タウ蛋白やキナーゼ群を同定した。これらの分子は、NFTsを標的としたAD治療薬開発における鍵分子になる可能性を有している。一方で、AD患者脳内におけるNFTsの蓄積に糖尿病治療が与える影響については未知の部分が多く残されている。そのため、身体活動の促進など修正可能リスク因子をできる限り取り除くことが、現時点で実施可能な認知症の発症抑制を目的とした糖尿病に対する介入であると考えられる。今後、糖尿病などの後天的要因による脳内AD病理の修飾メカニズムがさらに明らかになることで、修正可能リスク因子への介入によるAD予防が実現する可能性がある。

利 益 相 反

本総説に関して、開示すべき利益相反関係にある企業等はない。

謝 辞

本総説は、日本学術振興会科学研究費助成事業（科研費）（17H05080, 21H02828）（武田朱公）、および公益財団法人細胞科学研究財団の研究助成（武田朱公）によって支援された研究内容を含みます。

文 献

- 1) Nichols E, Steinmetz JD, Vollset SE, Fukutaki K, Chalek J, Abd-Allah F, Abdoli A, Abualhasan A, Abu-Gharbieh E, Akram TT, Al Hamad H, Alahdab F, Alanezi FM, Alipour V, Almustanyir S, Amu H, Ansari I, Arabloo J, Ashraf T, Astell-Burt T, Ayano G, Ayuso-Mateos JL, Baig AA, Barnett A, Barrow A, Baune BT, Béjot Y, Bezabhe WMM, Bezabih YM, Bhagavathula AS, Bhaskar S, Bhattacharyya K, Bijani A, Biswas A, Bolla SR, Boloor A, Brayne C, Brenner H, Burkart K, Burns RA, Cámara LA, Cao C, Carvalho F, Castro-de-Araujo LFS, Catalá-López F, Cerin E, Chavan PP, Cherbuin N, Chu DT, Costa VM, Couto RAS, Dadras O, Dai XC, Dandona L, Dandona R, De La Cruz-Góngora V, Dhamnetiya D, da Silva DD, Diaz D, Douiri A, Edvardsson D, Ekholuenetale M, El Sayed I, El-Jaafary S, Eskandari K, Eskandarieh S, Esmailinejad S, Fares J, Faro A, Farooque U, Feigin VL, Feng XQ, Fereshtehnejad SM, Fernandes E, Ferrara P, Filip I, Fillit H, Fischer F, Gaidhane S, Galluzzo L, Ghashghaee A, Ghith N, Gialluisi A, Gilani SA, Glavan IR, Gnedovskaya E, Golechha M, Gupta R, Gupta VB, Gupta VK, Haider MR, Hall BJ, Hamidi S, Hanif A, Hankey GJ, Haque S, Hartono RK, Hasaballah A, Hasan MT, Hassan A, Hay S, Hayat K, Hegazy M, Heidari G, Heidari-Soureshjani R, Herteliu C, Househ M, Hussain R, Hwang BF, Iacoviello L, Iavicoli I, Ilesanmi OS, Ilic IM, Ilic MD, Irvani SSN, Iso H, Iwagami M, Jabbarinejad R, Jacob L, Jain V, Jayapal SK, Jayawardena R, Jha RP, Jonas JB, Joseph N, Kalani R, Kandel A, Kandel H, Karch A, Kasa AS, Kassie GM, Keshavarz P, Khan MAB, Khatib MN, Khoja TAM, Khubchandani J, Kim MS, Kim YJ, Kisa A, Kisa S, Kivimäki M, Koroshetz WJ, Koyanagi A, Kumar GA, Kumar M, Lak HM, Leonardi M, Li BY, Lim SS, Liu XF, Liu YW, Logroscino G, Lorkowski S, Lucchetti G, Saute RL, Magnani FG, Malik AA, Massano J, Mehndiratta MM, Menezes RG, Meretoja A, Mohajer B, Ibrahim NM, Mohammad Y, Mohammed A, Mokdad AH, Mondello S, Moni MA, Moniruzzaman M, Mossie TB, Nagel G, Naveed M, Nayak VC, Kandel SN, Nguyen TH, Oancea B, Otstavnov N, Otstavnov SS, Owolabi MO, Panda-Jonas S, Kan FP, Pasovic M, Patel UK, Pathak M, Peres MFP, Perianayagam A, Peterson CB, Phillips MR, Pinheiro M, Piradov MA, Pond CD, Potashman MH, Pottoo FH, Prada S, Radfar A, Raggi A, Rahim F, Rahman M, Ram P, Ranasinghe P, Rawaf DL, Rawaf S, Rezaei N, Rezapour A, Robinson S R, Romoli M, Roshandel G, Sahathevan R, Sahebkar A, Sahraian MA, Sathian B, Sattin D, Sawhney M, Saylan M, Schiavolin S, Seylani A, Sha F, Shaikh MA, Shaji KS, Shannawaz M, Shetty JK, Shigematsu M, Shin JI, Shiri R, Silva DAS, Silva JP, Silva R, Singh JA, Skryabin VY, Skryabina AA, Smith AE, Soshnikov S, Spurlock EE, Stein DJ, Sun J, Tabarés-Seisdedos R, Thakur B, Timalisina B, Tovani-Palone MR, Tran BX, Tsegaye GW, Tahbaz SV, Valdez PR, Venketasubramanian N, Vlassov V, Vu GT, Vu LG, Wang YP, Wimo A, Winkler AS, Yadav L, Jabbari SHY, Yamagishi K, Yang L, Yano Y, Yonemoto N, Yu CH, Yunusa I, Zadey S, Zastrozhin MS, Zastrozhina A, Zhang ZJ, Murray CJL, Vos T, Coll GDF: Estimation of the global prevalence of dementia in 2019 and forecasted prevalence in 2050: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Public Health* 7: E105-E125, 2022
- 2) 朝田 隆：厚生労働科学研究費補助金認知症対策総合研究事業報告書「都市部における認知症有病率と認知症の生活機能障害への対応」（平成 21 ～ 24）. 厚生労働省, 2013
- 3) Harman D: Alzheimer's disease: role of aging in pathogenesis. *Ann N Y Acad Sci* 959: 384-395, discussion 463-385, 2002
- 4) Livingston G, Huntley J, Liu KY, Costafreda SG, Selbæk G, Alladi S, Ames D, Banerjee S, Burns A, Brayne C, Fox NC, Ferri CP, Gitlin LN, Howard R, Kales HC, Kivimäki M, Larson EB, Nakasujja N, Rockwood K, Samus Q, Shirai K, Singh-Manoux A, Schneider LS, Walsh S, Yao Y, Sommerlad A, Mukadam N: Dementia prevention, intervention, and care: 2024 report of the Lancet standing Commission. *Lancet* 404: 572-628, 2024
- 5) Ohara T, Doi Y, Ninomiya T, Hirakawa Y, Hata J, Iwaki T, Kanba S, Kiyohara Y: Glucose tolerance status and risk of dementia in the community: the Hisayama study. *Neurology* 77: 1126-1134, 2011
- 6) Ott A, Stolk RP, van Harskamp F, Pols HA, Hofman A, Breteler MM: Diabetes mellitus and the risk of dementia: The Rotterdam Study. *Neurology* 53: 1937-1942, 1999
- 7) Ballard C, Gauthier S, Corbett A, Brayne C, Aarsland D, Jones E: Alzheimer's disease. *Lancet* 377: 1019-1031, 2011
- 8) Gómez-Isla T, Hollister R, West H, Mui S, Growdon JH, Petersen RC, Parisi JE, Hyman BT: Neuronal loss correlates with but exceeds neurofibrillary tangles in Alzheimer's disease. *Ann Neurol* 41: 17-24, 1997
- 9) Brunden KR, Trojanowski JQ, Lee VM: Advances in tau-focused drug discovery for Alzheimer's disease and related tauopathies. *Nat Rev Drug Discov* 8: 783-793, 2009
- 10) Wesseling H, Mair W, Kumar M, Schlaffner CN, Tang S, Beerepoot P, Fatou B, Guise AJ, Cheng L, Takeda S, Muntel J, Rotunno MS, Dujardin S, Davies P, Kosik KS, Miller BL, Berretta S, Hedreen JC, Grinberg LT, Seeley WW, Hyman BT, Steen H, Steen JA: Tau PTM Profiles Identify Patient Heterogeneity and Stages of Alzheimer's Disease. *Cell* 183: 1699-1713.e1613, 2020
- 11) Alonso A, Zaidi T, Novak M, Grundke-Iqbal I, Iqbal K: Hyperphosphorylation induces self-assembly of tau into tangles of paired helical filaments/straight filaments. *Proc Natl Acad Sci U S A* 98: 6923-6928, 2001
- 12) Scott CW, Spreen RC, Herman JL, Chow FP, Davison MD, Young J, Caputo CB: Phosphorylation of recombinant tau by cAMP-dependent protein kinase. Identification of phosphorylation sites and effect on microtubule assembly. *J Biol Chem* 268: 1166-1173, 1993
- 13) Yamamoto H, Yamauchi E, Taniguchi H, Ono T, Miyamoto E: Phosphorylation of microtubule-associated protein tau by Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase II in its tubulin binding sites. *Arch Biochem Biophys* 408: 255-262, 2002
- 14) Clodfelder-Miller BJ, Zmijewska AA, Johnson GV, Jope RS: Tau is hyperphosphorylated at multiple sites in mouse brain in vivo after streptozotocin-induced insulin deficiency. *Diabetes* 55: 3320-3325, 2006
- 15) Jolivalt CG, Lee CA, Beiswenger KK, Smith JL, Orlov M, Torrance MA, Masliah E: Defective insulin signaling pathway and increased glycogen synthase kinase-3 activity in the brain of diabetic mice: parallels with Alzheimer's disease and correction by insulin. *J Neurosci Res* 86: 3265-3274, 2008
- 16) Ke YD, Delerue F, Gladbach A, Götz J, Ittner LM: Experimental diabetes mellitus exacerbates tau pathology in a transgenic mouse model of Alzheimer's disease. *PLoS One* 4: e7917, 2009

- 17) Planel E, Tatebayashi Y, Miyasaka T, Liu L, Wang L, Herman M, Yu WH, Luchsinger JA, Wadzinski B, Duff KE, Takashima A: Insulin dysfunction induces in vivo tau hyperphosphorylation through distinct mechanisms. *J Neurosci* 27: 13635–13648, 2007
- 18) Imamura T, Yanagihara YT, Ohyagi Y, Nakamura N, Iinuma KM, Yamasaki R, Asai H, Maeda M, Murakami K, Irie K, Kira JI: Insulin deficiency promotes formation of toxic amyloid- β 42 conformer co-aggregating with hyperphosphorylated tau oligomer in an Alzheimer's disease model. *Neurobiol Dis* 137: 104739, 2020
- 19) Elahi M, Motoi Y, Shimonaka S, Ishida Y, Hioki H, Takanashi M, Ishiguro K, Imai Y, Hattori N: High-fat diet-induced activation of SGK1 promotes Alzheimer's disease-associated tau pathology. *Hum Mol Genet* 30: 1693–1710, 2021
- 20) Leboucher A, Laurent C, Fernandez-Gomez FJ, Burnouf S, Troquier L, Eddarkaoui S, Demeyer D, Caillierez R, Zommer N, Vallez E, Bantubungi K, Breton C, Pigny P, Buée-Scherrer V, Staels B, Hamdane M, Tailleux A, Buée L, Blum D: Detrimental effects of diet-induced obesity on τ pathology are independent of insulin resistance in τ transgenic mice. *Diabetes* 62: 1681–1688, 2013
- 21) Wu Z, Chen C, Kang SS, Liu X, Gu X, Yu SP, Keene CD, Cheng L, Ye K: Neurotrophic signaling deficiency exacerbates environmental risks for Alzheimer's disease pathogenesis. *Proc Natl Acad Sci U S A* 118: e2100986118, 2021
- 22) Chen JL, Luo C, Pu D, Zhang GQ, Zhao YX, Sun Y, Zhao KX, Liao ZY, Lv AK, Zhu SY, Zhou J, Xiao Q: Metformin attenuates diabetes-induced tau hyperphosphorylation in vitro and in vivo by enhancing autophagic clearance. *Exp Neurol* 311: 44–56, 2019
- 23) Ito Y, Takeda S, Nakajima T, Morishita R: Tau phosphorylation as a molecular mechanism linking diabetes mellitus and Alzheimer's disease. *Vas-Cog Journal* 8: 29–33, 2022
- 24) Martin L, Latypova X, Wilson CM, Magnaudeix A, Perrin ML, Yardin C, Terro F: Tau protein kinases: involvement in Alzheimer's disease. *Ageing Res Rev* 12: 289–309, 2013
- 25) Ito Y, Takeda S, Nakajima T, Oyama A, Takeshita H, Miki K, Takami Y, Takeya Y, Shimamura M, Rakugi H, Morishita R: High-Fat Diet-Induced Diabetic Conditions Exacerbate Cognitive Impairment in a Mouse Model of Alzheimer's Disease Via a Specific Tau Phosphorylation Pattern. *J Prev Alzheimers Dis* 11: 138–148, 2024
- 26) Kacířová M, Železná B, Blažková M, Holubová M, Popelová A, Kuneš J, Šedivá B, Maletínská L: Aging and high-fat diet feeding lead to peripheral insulin resistance and sex-dependent changes in brain of mouse model of tau pathology THY-Tau22. *J Neuroinflammation* 18: 141, 2021
- 27) Ito Y, Nakajima T, Oyama A, Yamamoto S, Teshirogi S, Miki S, Miki K, Kishino Y, Okawara M, Morishita R, Takeda S: Phosphoproteomic analysis identified tau-related kinases linking diabetes mellitus and Alzheimer's disease-related tau phosphorylation. *Vas-Cog Journal* 11: 10–18, 2025
- 28) Jeong SH, Kim HR, Kim J, Kim H, Hong N, Jung JH, Baik K, Cho H, Lyoo CH, Ye BS, Sohn YH, Seong JK, Lee PH: Association of Dipeptidyl Peptidase-4 Inhibitor Use and Amyloid Burden in Patients With Diabetes and AD-Related Cognitive Impairment. *Neurology* 97: e1110–e1122, 2021
- 29) Samaras K, Makkar S, Crawford JD, Kochan NA, Wen W, Draper B, Trollor JN, Brodaty H, Sachdev PS: Metformin Use Is Associated With Slowed Cognitive Decline and Reduced Incident Dementia in Older Adults With Type 2 Diabetes: The Sydney Memory and Ageing Study. *Diabetes Care* 43: 2691–2701, 2020
- 30) Jack CR, Jr Knopman DS, Jagust WJ, Petersen RC, Weiner MW, Aisen PS, Shaw LM, Vemuri P, Wiste HJ, Weigand SD, Lesnick TG, Pankratz VS, Donohue MC, Trojanowski JQ: Tracking pathophysiological processes in Alzheimer's disease: an updated hypothetical model of dynamic biomarkers. *Lancet Neurol* 12: 207–216, 2013
- 31) Waki K, Noda M, Sasaki S, Matsumura Y, Takahashi Y, Isogawa A, Ohashi Y, Kadowaki T, Tsugane S, Group JS: Alcohol consumption and other risk factors for self-reported diabetes among middle-aged Japanese: a population-based prospective study in the JPHC study cohort I. *Diabet Med* 22: 323–331, 2005
- 32) Akter S, Goto A, Mizoue T: Smoking and the risk of type 2 diabetes in Japan: A systematic review and meta-analysis. *J Epidemiol* 27: 553–561, 2017

Pathological Relationship between Alzheimer's Disease and Diabetes Mellitus Via Phosphorylation of Tau Protein

Yuki Ito,^{1,2} Ryuichi Morishita,¹ Shuko Takeda,^{1,2*}

¹ Department of Clinical Gene Therapy, Graduate School of Medicine, The University of Osaka

² Osaka Psychiatric Research Center, Osaka Psychiatric Medical Center

Diabetes mellitus (DM) has been suggested to contribute to the onset of Alzheimer's disease (AD) as a modifiable risk factor. Neurofibrillary tangles (NFTs), one of the neuropathological hallmarks of AD, are intracellular accumulations of phosphorylated tau protein. The number of NFTs in AD correlates with the severity of neuronal loss and cognitive decline, suggesting that tau protein is a direct contributor to neurodegeneration in these patients. We have investigated the effect of high-fat diet-induced diabetic conditions on tau phosphorylation in the brains of AD mice. We revealed a unique tau phosphorylation signature in the brains of diabetic AD mice. In addition, we identified six kinases that potentially mediate DM-induced tau phosphorylation in the brains of diabetic AD mice. These results suggest that DM contributes to the pathogenesis of AD through the phosphorylation of tau protein. This review describes the underlying mechanism linking DM and AD with a focus on changes in tau phosphorylation.

Key words: Alzheimer's disease, Diabetes mellitus, Tau protein, Phosphorylation

* Department of Clinical Gene Therapy, Graduate School of Medicine, The University of Osaka
2-2 Yamada-oka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan
E-mail: takeda@cgt.med.osaka-u.ac.jp

総説

シンプルモデルを用いた加齢が歩行の不安定性を引き起こす原因の解明*

大津 創^{1) #}

要旨

歩行は日常生活に必要不可欠だが、加齢に伴い歩行中の転倒リスクが増加する。特に、高齢者の転倒は重症につながる可能性が高いため、高齢者の転倒防止は、現代社会における喫緊の課題である。高齢者は若年者と比較して蹴り出し力が低下し、その背景には足関節底屈筋のパワー低下を下肢近位筋の動員増加で補う神経筋代償が存在する。しかし、この代償が歩行の不安定化を招く要因となる可能性が指摘される一方で、その力学的メカニズムは十分に解明されていない。この問題に対して、コンパス型モデルや膝付きモデルなどのシンプルモデルは、複雑な筋骨格系を単純化することで歩行運動の本質を直感的に捉え、蹴り出し力の低下や minimum toe clearance に関連するつまずきリスクの力学的基盤を説明するうえで有効である。本稿では、これらの抽象化モデルから得られた知見を概観し、高齢者の歩行研究における学術的意義と今後の展望について論じる。

キーワード 高齢者、転倒、歩行モデル

はじめに

歩行は日常生活に不可欠であるが、加齢に伴い歩行中の転倒リスクが増加する¹⁾。特に、高齢者の転倒のうち11%は重症となり、ときには死につながることもある²⁾。転倒は骨折や頭部外傷といった直接的な身体的損傷を引き起こすだけでなく、その後の活動制限や要介護状態への移行を促進し、結果として健康寿命の短縮や生活の質(QOL)の低下をもたらす。さらに、医療費や介護費用の増大を通じて社会的・経済的な負担を引き起こすため、高齢者の転倒防止は個人の生活の維持にとどまらず、現代社会における喫緊の課題である。

高齢者の歩行速度が1.0 m/s未満であることは、歩行中の転倒の強力な予測因子である³⁾。したがって、転倒を防止するには歩行速度の低下を抑制することが重要となる。歩行速度は立脚後期に発揮される蹴り出し力によって調整されるため、高齢者が速度を維持するには蹴

り出し力を十分に確保する必要がある。しかし、高齢者は若年者と同じ速度で歩行した場合でも、蹴り出し力は有意に小さくなることが報告されている⁴⁾。この蹴り出し力の低下の背景には、加齢によって足関節底屈筋のパワー発揮が減少し、それを下肢近位筋の動員増加によって補う神経筋の代償メカニズムが存在することが知られている⁵⁾。具体的には、立脚後期における足関節底屈トルクの減少を補うために、股関節屈曲トルクを増加させる戦略である⁶⁾。すなわち、高齢者は足関節底屈筋による蹴り出しよりも、股関節屈筋による脚の振り出しを優先している。その結果、股関節屈曲トルクの過度な増加が蹴り出し力の低下に寄与し、高齢者特有の歩行を生み出している可能性があるが、その詳細なメカニズムは未だ明らかではない。

我々はこのメカニズムを解明するために、歩行の数理モデルを用いた研究を行った。蹴り出し力や股関節屈曲トルクをパラメータとして定義し、それらの相互関係および背後にある力学的メカニズムを検討することで、複雑な歩行運動を整理して理解することが可能となる。特に、筋骨格モデルのような詳細な解析では得にくい「力学の本質的側面」を明らかにできる点で、抽象化されたモデルの意義は大きい。本稿では、我々が使用したコンパス型モデルや膝付きモデルを取り上げ、それらが高齢者歩行における蹴り出し力の低下やつまずきリスクを説

* Understanding the Causes of Gait Instability in Aging Using Simple Walking Models

1) 大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻生体工学領域
(〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3)
Hajime Ohtsu, PT, PhD: Department of Mechanical Science and Bioengineering, Graduate School of Engineering Science, The University of Osaka (1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan)

E-mail: ohtsu.hajime.es@osaka-u.ac.jp
(受付日 2025年9月11日)

明するうえでどのように役立つのかを整理する。さらに、これらのモデルから得られた知見が、高齢者の歩行研究の理解を深め、転倒予防や支援機器設計へと応用される可能性についても展望する。以下では、この課題に対する我々の研究成果⁷⁾を紹介する。

コンパス型モデルに基づくメカニズム解明

ヒトの歩行は、立脚の倒立振子のような倒れ運動と、遊脚を前に振り出す振り子運動から構成される。このように立脚を倒立振子、遊脚を振り子として抽象化することで、歩行運動の本質を直感的に理解できる。この「単純化による理解」の考え方は、歩行を力学的に捉えるための数理モデル研究へと発展してきた。その代表例が受動歩行モデルであり、外部の駆動力を与えずとも、力学的条件が整えば自然に安定した歩行が生じることを示すものである。受動歩行の概念はMcGeer⁸⁾によってはじめて提示され、さらにGarciaらはそれを単純化したsimplest walking modelを提案した⁹⁾。このモデルは、立脚と遊脚を剛体とし、それらを股関節で連結したコンパス型モデルであり、斜面の位置エネルギーのみを利用することで、外部駆動なしに受動的かつ安定した歩行が可能であることを示した。これらの研究は、複雑な筋骨格系をもつヒトの歩行を力学的に理解するうえで重要な理論基盤となり、その後の数理モデル研究やリハビリテーション工学への応用につながっている。

我々は、このシンプルな歩行モデルに着想を得て、斜面角の代わりに蹴り出し力を入力することで平地歩行を実現するモデルを使用した¹⁰⁾。これは、高齢者の歩行において問題となる「蹴り出し力の低下」を解析するために不可欠な工夫である。具体的には、遊脚の股関節角度 ϕ に比例するトルクバネ k を付加して片脚支持期の股関節トルクを再現し(図1A)、さらに踵接地と同時に蹴り出し力 P を加えることで周期的な歩行を生成するモデルとした(図1B)。上半身質量を質点 M 、下半身質量を質点 m とし、それらの値は人体測定データ¹¹⁾に基づいて設定した。股関節剛性 k と蹴り出し力 P に対応する周期解は、ニュートン・ラフソン法により探索した。

図2に、モデルと歩行実験における代表的な時空間因子の比較を示す。歩行実験のデータは若年者のトレッドミル歩行から取得したものである。図2Aは、モデルにおいて股関節トルク $-k\phi$ が股関節角度 $-\phi$ と股関節剛性 k の積で表されていることを示す。図2Cは、ヒトの遊脚期における股関節角度とトルク波形から、最小二乗法により股関節剛性 k を推定できることを示す。図2Bは、モデルの遊脚期における股関節トルク $-k\phi$ の時系列を、図2Dはヒトの股関節トルクの時系列を示す。股関節トルクはいずれも正を屈曲、負を伸展と定義し、最大値を

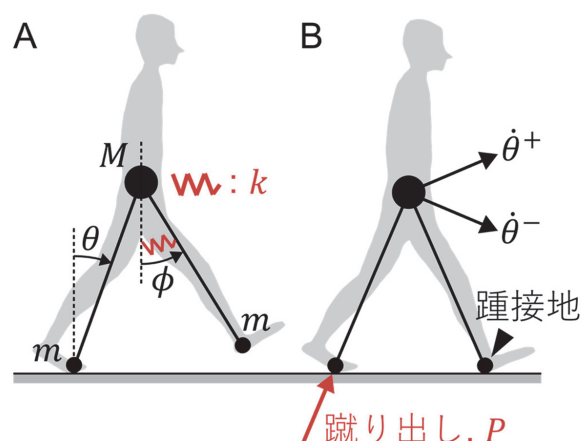


図1 平地で歩行するコンパス型モデル

股関節屈曲トルク T として抽出した。モデル(上段)とヒト(下段)の波形は、定性的に一致していることが確認され、シンプルモデルが現実の歩行現象を十分に説明可能であることが示された。

図3に、股関節剛性 k に対する股関節屈曲トルク T 、蹴り出し力 P 、歩幅 s の変化を示す。下段のデータは、11名の若年者が6種類の速度条件でトレッドミル歩行を行った際の結果であり、各ベルト速度における最後の30歩をプロットしたものである。同様の速度条件でモデルによるシミュレーションを実施した結果(上段)、歩行速度に依存せず、股関節剛性の増加は股関節トルクを有意に増大させる一方で、蹴り出し力および歩幅を有意に減少させることが明らかとなった。この結果は、高齢者にしばしば観察される「股関節優位の歩行」が蹴り出し力の低下と結びつくことを示唆している。

さらに、モデルにおける股関節剛性 k によって決定される遊脚の固有振動数 ω_n は、ステップ周波数 $1/\tau$ (=歩行ケイデンス)と比例した(図4A)。ここで、 τ は1歩行周期の時間を示す。この結果は、遊脚の固有振動数 ω_n がステップ周波数 $1/\tau$ を規定する主要因であることを示している。加えて、ヒトにおいても股関節剛性 k とステップ周波数 $1/\tau$ の間に比例関係が確認された(図4B)。以上から、ヒトに内在する股関節剛性が、モデルと同様にステップ周波数を決定する要因であることが明らかとなった。

さらに、モデル解析により、同一速度条件下ではステップ周波数の増加が歩幅の減少をもたらすことを示すことができた。また、歩幅が減少するほど一歩ごとの蹴り出し力も低下することが確認された。以上から、股関節屈曲トルクの増加は蹴り出し力および歩幅の低下につながり、そのメカニズムは股関節剛性の増加によって説明されることが明らかとなった。加えて、同一速度条件下における歩幅の減少は、転倒歴を有する高齢者に共通

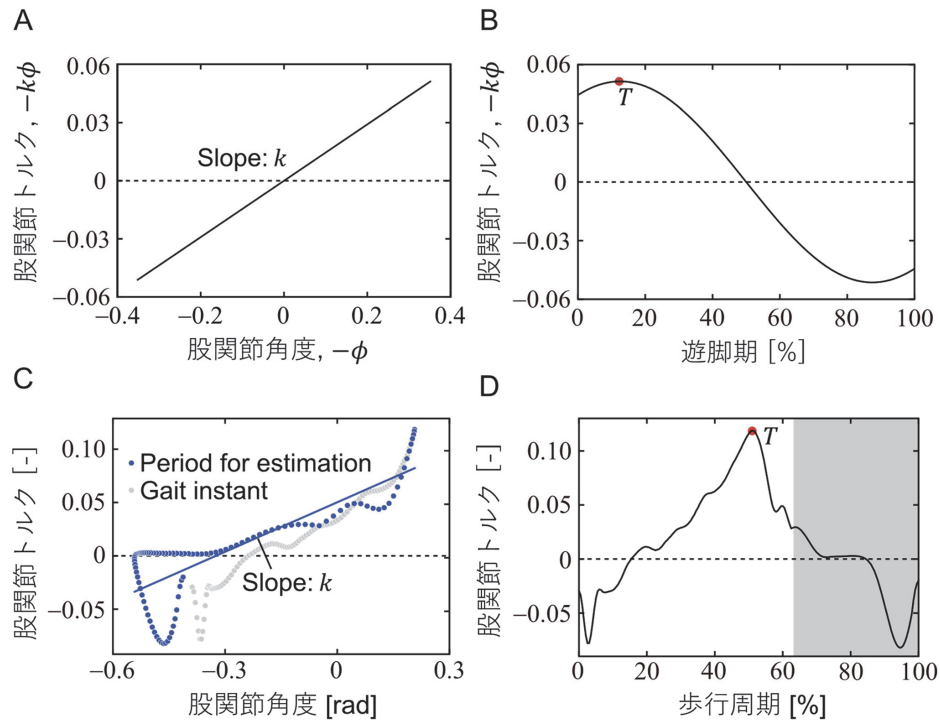


図2 股関節角度に対する股関節トルク (AC), 歩行周期に対する股関節トルク (BD) のプロット
 ABがモデル, CDがヒトに対応する。正の値は屈曲方向, 負の値は伸展方向を示す。Dに関しては、
 白色の期間が立脚期, 灰色の期間が遊脚期を示す。

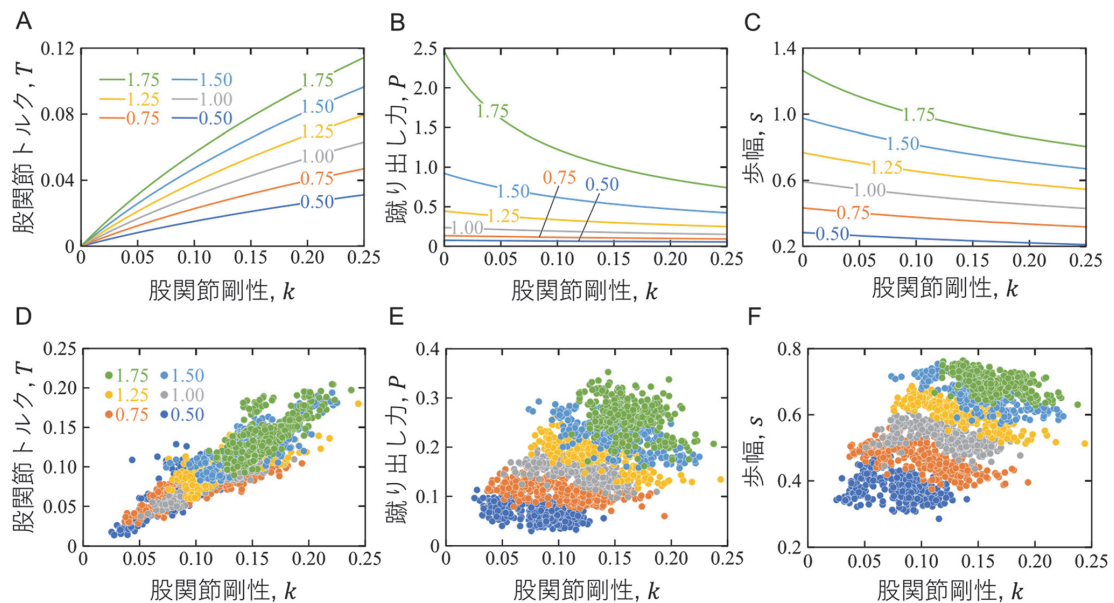


図3 股関節剛性 k に対する各評価指標のプロット
 ABCがモデル, DEFがヒトに対応する。色の違いは歩行速度の違い (0.50 ~ 1.75 m/s) を示している。

する特徴であり¹²⁾, これについても股関節剛性によって説明可能であった。これらの知見は, 外骨格装置の制御設計や高齢者の歩行戦略の理解を深めるうえで有用であると考えられる。

膝付きモデルを使ったつまずきメカニズムの解明

コンパス型モデルによる検討を踏まえ, 近年では膝関節を有する膝付きモデルを導入し, つまずきの発生メカニズムの解明に取り組んでいる。具体的には, 上半身質量を質点 M , 大腿質量を質点 m_1 , 下腿質量を質点 m_2

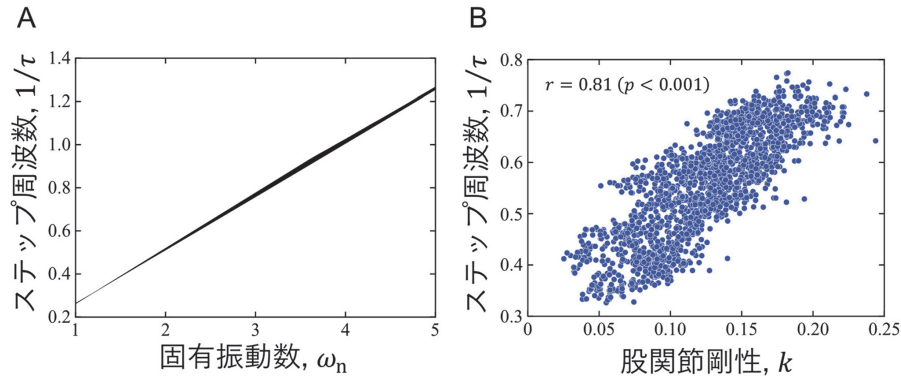


図4 (A) モデルにおける固有振動数 ω_n に対するステップ周波数 $1/\tau$ のプロット. (B) ヒトにおける股関節剛性 k に対するステップ周波数 $1/\tau$ のプロット. τ は1歩行周期の時間を示す.

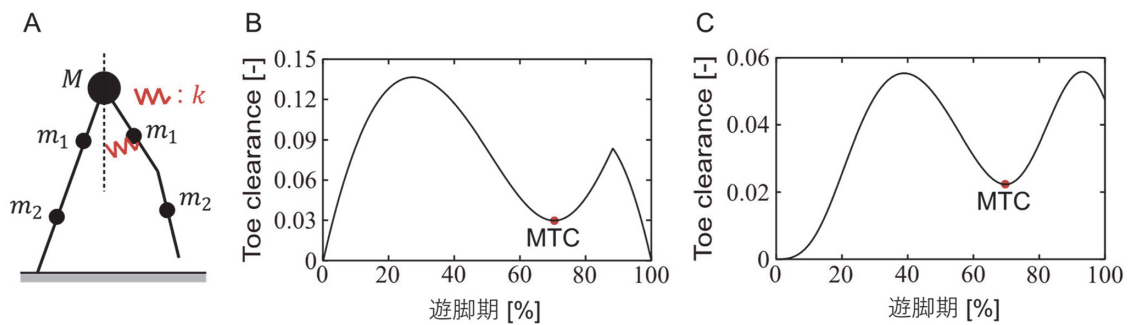


図5 (A) 膝付きの歩行モデル. (B) モデルにおける遊脚期中の toe clearance を示すプロット. (C) ヒトにおける遊脚期中の toe clearance を示すプロット. MTC: minimum toe clearance

とした剛体リンクモデルを構築し (図5A), 股関節剛性の変化が遊脚のつま先の地面に対する高さである toe clearance に与える影響を解析している。現段階の結果では, モデルと実験における toe clearance の時系列データが定性的に一致することが確認されており (図5B, C), なかでも歩行中にもっともつまずきやすい局面とされる minimum toe clearance (以下, MTC) に注目して解析を進めている。

高齢者は MTC の変動性の増加¹³⁾により, MTC が低値をとったタイミングで転倒を引き起こすことが知られているが, MTC の低下を引き起こす力学的メカニズムは十分に解明されていない。膝付きモデルを用いたアプローチにより, 股関節剛性や蹴り出し力の調整が MTC の低下に及ぼす影響を明らかにできれば, 加齢に伴う歩容変化とつまずきリスクとの因果関係をより直接的に説明することが可能となる。今後は, モデル解析を実験データと照合しながら進めることで, 加齢によるつまずき発生メカニズムの解明をさらに深め, 最終的には高齢者の転倒予防や歩行支援機器の設計に応用することを目指している。

おわりに

本稿では, 歩行を抽象化したシンプルなモデルを用いることで, 高齢者歩行における蹴り出し力の低下やつまずきの背景にあるメカニズムを解明できる可能性を示した。筋骨格系を詳細に表現する精密なモデルは, 個々の筋や関節の寄与を定量的に解析できるという利点をもつ一方で, その複雑さゆえに因果関係の把握や全体的な戦略の理解が困難となる場合も多い。それに対して, 本研究で用いたような抽象化された歩行モデルは, 立脚や遊脚といった基本要素を簡潔に表現することで, 現象の背後にある本質的な力学的関係を直感的に理解することを可能にする。

今後は, シンプルモデルから得られた知見を, より複雑な筋骨格モデルや実験データと統合することで, 歩行のメカニズムを多層的に解明していくことが期待される。本研究で紹介したアプローチは, 歩行の本質に迫るための有効な方法論のひとつであり, 加齢に伴う転倒リスクの理解とその予防に向けた新たな視座を与えるものである。

利益相反

本総説に関して、開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本総説は、文部科学省科学研究費補助金（21J10122, 23KJ1417）によって支援された研究内容が含まれる。

文 献

- 1) Li W, Keegan TH, Sternfeld B, Sidney S, Quesenberry CP Jr, Kelsey JL: Outdoor falls among middle-aged and older adults: a neglected public health problem. *Am J Public Health* 96: 1192-1200, 2006
- 2) Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF: Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med* 319: 1701-1707, 1988
- 3) Kyrdaalen IL, Thingstad P, Sandvik L, Ormstad H: Associations between gait speed and well-known fall risk factors among community-dwelling older adults. *Physiother Res Int* 24: e1743, 2019
- 4) Franz JR, Kram R: Advanced age affects the individual leg mechanics of level, uphill, and downhill walking. *J Biomech* 46: 535-540, 2013
- 5) Franz JR: The Age-Associated Reduction in Propulsive Power Generation in Walking. *Exerc Sport Sci Rev* 44: 129-136, 2016
- 6) Franz JR, Kram R: Advanced age and the mechanics of uphill walking: a joint-level, inverse dynamic analysis. *Gait Posture* 39: 135-140, 2014
- 7) Ohtsu H, Hase K, Sakoda K, Aoi S, Kita S, Ogaya S: A powered simple walking model explains the decline in propulsive force and hip flexion torque compensation in human gait. *Sci Rep* 13: 14770, 2023
- 8) McGeer T: Passive dynamic walking. *Int J Robot Res* 9: 62-82, 1990
- 9) Garcia M, Chatterjee A, Ruina A, Coleman M: The simplest walking model: stability, complexity, and scaling. *J Biomech Eng* 120: 281-288, 1998
- 10) Kuo AD: Energetics of actively powered locomotion using the simplest walking model. *J Biomech Eng* 124: 113-120, 2002
- 11) Winter DA: *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. 4th ed. Hoboken, John Wiley & Sons, p 86, 2009
- 12) McAndrew Young PM, Dingwell JB: Voluntary changes in step width and step length during human walking affect dynamic margins of stability. *Gait Posture* 36: 219-224, 2012
- 13) Khandoker AH, Taylor SB, Karmakar CK, Begg RK, Palaniswami M: Investigating scale invariant dynamics in minimum toe clearance variability of the young and elderly during treadmill walking. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 16: 380-389, 2008

Understanding the Causes of Gait Instability in Aging Using Simple Walking Models

Hajime Ohtsu^{1*}

¹ Department of Mechanical Science and Bioengineering, Graduate School of Engineering Science, The University of Osaka

Walking is essential for maintaining independence in daily life, and aging is accompanied by an increased risk of falls, which often lead to severe injuries, reduced quality of life, and greater social and economic burdens. Elderly individuals generally exhibit slower walking speeds, strongly associated with reduced propulsive force. This reduction primarily results from age-related declines in plantar flexor power, which are partially compensated by increased proximal muscle recruitment. While such neuromuscular compensation enables gait continuation, it is also thought to destabilize gait; however, the underlying biomechanical mechanisms remain unclear. To explore these mechanisms, simple walking models provide valuable insights by abstracting human locomotion into its essential dynamics. The compass walking model demonstrates how hip stiffness and push-off impulse influence step length, cadence, and propulsive force. Extensions of this framework, such as knee-included models, further clarify the role of toe clearance, particularly minimum toe clearance (MTC), a critical determinant of tripping risk. Elderly individuals often show greater variability and lower values in MTC, yet its mechanical basis has not been fully explained. Simple models suggest that changes in hip stiffness and push-off modulation directly affect propulsion and MTC, thereby contributing to instability. This review highlights the significance of simple models as complements to detailed musculoskeletal simulations, offering intuitive insights into gait dynamics. Such approaches not only deepen the understanding of age-related gait instability but also inform fall-prevention strategies and the design of assistive technologies.

Key words: Elderly, Falls, Walking model

* Department of Mechanical Science and Bioengineering, Graduate School of Engineering Science, The University of Osaka
1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan
E-mail: ohtsu.hajime.es@osaka-u.ac.jp

総説

腸脛靱帯の硬さの疾患特異性と治療の可能性*

八木 優英¹⁾²⁾ #

要旨

腸脛靱帯 (ITB) の硬さは多くの膝関節疾患で見られるが、その病態特異性や治療法には不明な点が多い。本稿では、超音波せん断波エラストグラフィを用いた一連の研究に基づき、変形性膝関節症 (膝 OA) および膝蓋大腿関節痛 (PFP) における ITB の硬さの特徴を明らかにし、スタティックストレッチングによる ITB の硬さへの治療の可能性を論じる。研究の結果、膝 OA 患者では ITB が硬化し、歩行時の外部膝関節内反や股関節伸展モーメントと関連することが明らかとなった。PFP 患者では ITB の過剰な張力が膝蓋骨の外側偏位と関連することが示された。また、5 分間のスタティックストレッチングが ITB の硬さを急性に低下させ、膝蓋骨アライメントを改善し得ることが示された。ITB の硬さは膝関節疾患で特徴的で、ストレッチングは治療選択肢となり得るが、今後は患者を対象とした長期的な効果検証や、より汎用性の高い客観的評価指標の確立が課題である。

キーワード 腸脛靱帯、変形性膝関節症、膝蓋大腿関節痛、せん断波エラストグラフィ、ストレッチング

はじめに

腸脛靱帯 (iliotibial band: 以下, ITB) は、腸骨稜などから起始し、脛骨外側および膝蓋骨外側に停止する線維性組織であり、その近位部は大殿筋および大腿筋膜張筋の停止部としての役割を担う¹⁾²⁾。解剖学的研究から、ITB の主な機能として、脛骨の内転・内旋への抵抗、膝蓋骨の外側への牽引、大殿筋・大腿筋膜張筋からの張力伝達などが報告されている²⁻⁴⁾。生体での研究においても、ITB が膝蓋骨アライメントや大腿筋膜張筋の筋張力伝達に関与することが報告されている⁵⁾⁶⁾。臨床現場では、変形性膝関節症 (Knee Osteoarthritis: 以下, 膝 OA) や膝蓋大腿関節痛 (Patellofemoral Pain: 以下, PFP) をはじめとする多くの膝関節疾患で ITB の硬さが問題点として指摘されている。しかし、これらの疾患における ITB の役割や特性は未解明な点が多い。また、ITB の硬さに対するストレッチング効果が得られにくいとの報告

も散見されるものの⁷⁾⁸⁾、これは先行研究で用いられたストレッチング時間や方法が最適化されていなかった可能性が考えられる。

そこで本稿では、まず超音波せん断波エラストグラフィを用いて ITB の硬さを定量的に評価した一連の研究に基づき、膝 OA と PFP という 2 つの膝関節疾患における ITB の硬さの特徴を概説する。次いで、ITB へのストレッチングがその硬さや膝蓋骨アライメントに与える影響と効果的なストレッチング方法を検証した研究を紹介し、ITB の硬さを標的とした治療の可能性について論じる。

ITB の疾患特異性: 膝 OA における ITB の硬さ

膝 OA は中高齢者に好発し⁹⁾、関節内組織の変性のみならず、膝関節周囲の筋や腱にも変性が生じることが報告されている¹⁰⁾¹¹⁾。ITB においても内側型膝 OA 患者の約 75% で炎症所見が認められたとの報告がある¹²⁾。内側型膝 OA では、歩行中の外部膝関節内反モーメントや内反角度が増大するため¹³⁾¹⁴⁾、脛骨内転に抗する機能をもつ ITB への力学的負荷が増大している可能性がある³⁾。ITB は腱と同様に主に I 型コラーゲンから構成されているため¹⁵⁾¹⁶⁾、力学的負荷に応じて適応的に変化する可能性があるが、これまで膝 OA 患者における ITB の特徴や関連要因は不明であった。

著者らは、中高齢女性の膝 OA 患者を対象に、ITB

* Disease Specificity and Therapeutic Potential of Iliotibial Band Stiffness

1) 関西医科大学リハビリテーション学部

(〒573-1136 大阪府枚方市宇山町 18-89)

Masahide Yagi, PT, PhD: Faculty of Rehabilitation, Kansai Medical University (18-89 Uyama-higashimachi, Hirakata, Osaka, 573-1136, Japan)

2) 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻

Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University

E-mail: yagi.msh@kmu.ac.jp

(受付日 2025 年 9 月 30 日)

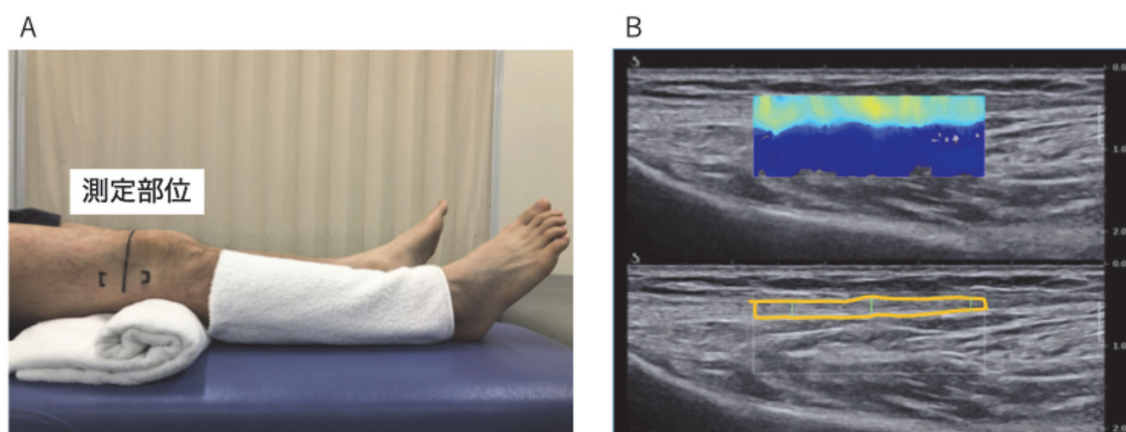


図1 超音波画像装置を用いた腸脛靭帯の硬さや厚さの計測

A: 超音波画像の撮影部位。膝蓋骨上縁の高さで計測した。B: 腸脛靭帯の超音波画像の一例。せん断波エラストグラフィモードで計測されたカラーマップからせん断波伝播速度や弾性率を計測した。また同時に計測されるBモード画像から腸脛靭帯の厚さを算出した。

の硬さ・厚さと歩行特性との関連を調査した¹⁷⁾。女性膝OA患者と健常女性高齢者に対して、ITBの硬さをせん断波エラストグラフィで、厚さを超音波画像Bモードで計測した(図1)。さらに膝OA患者に対して快適歩行を3次元動作解析装置で計測した。その結果、膝OA患者のITBは健常女性高齢者と比較して、厚さに有意差はなかったものの、硬さは有意に高いことが明らかになった。さらに、膝OA患者におけるITBの硬さは、歩行中の外部膝関節内反モーメント($\beta = 0.507$, $p = 0.032$)や股関節伸展モーメント($\beta = 0.498$, $p = 0.036$)と正の関連を示した。この結果は、ITBの硬化が、疾患に伴う力学的負荷増大への適応的变化であることを示唆する。

ITBの疾患特異性：PFPにおける膝蓋骨位置へのITBの張力の影響

PFPは若年アスリートに好発し、慢性化しやすく再発率が高い特徴をもつ¹⁸⁾¹⁹⁾。その病態には、膝蓋骨のアライメント異常(外側傾斜や偏位)が関与するとされ、特に大腿四頭筋収縮時のアライメントが重要視される²⁰⁾。このアライメントには大腿四頭筋以外の軟部組織の張力も影響すると考えられてきたが、筋収縮時のアライメントへの各組織の影響を生体内で検証した研究はなかった。

著者らは、PFP者と健常若年者において、大腿四頭筋収縮時に膝蓋骨位置を計測し²¹⁾、膝蓋骨に付着する筋、ITB、内・外側膝蓋支帯の張力をせん断波エラストグラフィを用いて推定した²²⁾。重回帰分析の結果、大腿四頭筋収縮時における膝蓋骨の外側偏位には外側広筋の張力、ITBの張力、安静時の膝蓋骨位置が関連することが明らかとなった(表1)。さらに、安静時の膝蓋

骨の位置に対しては、安静時のITBの張力が関連していた(表2)。これらの結果は、安静時からITBの張力が高いことが膝蓋骨の安静時の外側偏位を生じさせ、さらに大腿四頭筋収縮時にITBの張力が増大することで、膝蓋骨の外側偏位を助長する重要な要因となっていることを示唆している。

ITBの硬さの治療可能性：スタティックストレッチングの効果

上記の知見は、ITBの硬さを低減させる治療の重要性を示唆する。しかし、ITBへのストレッチングがITBの硬さと膝蓋骨アライメントの双方に及ぼす影響を検討した先行研究は少なく、その効果を報告した唯一の研究ではITBの硬さを定量的な指標で評価できていない²³⁾。また、別の研究では、膝関節伸展、股関節伸展、および内転位での立位セルフストレッチングを30秒×3セット実施しても、ITBの硬さは減少しないと報告されている⁸⁾。しかし、この研究で設定された総ストレッチング時間は組織の硬さを変化させるには不十分であった可能性や²⁴⁾、選択されたストレッチング肢位ではITBに十分な張力が加わらなかった可能性が考えられる。

そこで著者らは、健常若年男性を対象に、5分間のスタティックストレッチングが膝蓋骨位置とITBの硬さに与える影響と、最適なストレッチング肢位を検証した²⁵⁾。ストレッチング肢位は、股関節の伸展または屈曲と、膝関節の90°屈曲または最大屈曲を組み合わせた4つの肢位を設定した。ストレッチング前後でITBやITBに停止する筋の硬さをせん断波エラストグラフィで、膝蓋骨アライメントを超音波Bモードで計測した。その結果、5分間のストレッチングにより、4つの肢位

表 1 筋収縮時の膝蓋骨の内外側位置

	B (95% 信頼区間)	β	有意確率
大腿直筋	-0.007 (-0.059 to 0.045)	-0.043	0.782
外側広筋	0.049 (0.001 to 0.097)	0.449	0.045
内側広筋	-0.024 (-0.075 to 0.027)	-0.201	0.336
腸脛靱帯	0.280 (0.013 to 0.547)	0.354	0.041
外側膝蓋支帯	-0.049 (-0.228 to 0.129)	-0.078	0.575
内側膝蓋支帯	-0.094 (-0.623 to 0.435)	-0.052	0.717
膝蓋大腿関節痛	7.531 (-2.351 to 17.412)	0.21	0.129
安静時の膝蓋骨位置	0.533 (0.103 to 0.963)	0.393	0.017

B: 偏回帰係数, β : 標準偏回帰係数, 有意な変数を太字で示す

表 2 安静時の膝蓋骨の内外側位置

	B (95% 信頼区間)	β	有意確率
大腿直筋	-0.027 (-0.435 to 0.382)	-0.027	0.893
外側広筋	-0.089 (-0.410 to 0.231)	-0.128	0.571
内側広筋	0.019 (-0.286 to 0.324)	0.033	0.898
腸脛靱帯	0.459 (0.216 to 0.702)	0.646	0.001
外側膝蓋支帯	0.047 (-0.135 to 0.229)	0.101	0.599
内側膝蓋支帯	-0.081 (-0.628 to 0.467)	-0.061	0.764
膝蓋大腿関節痛	-2.675 (12.072 to 6.721)	-0.101	0.562

B: 偏回帰係数, β : 標準偏回帰係数, 有意な変数を太字で示す

すべてにおいて ITB の硬さは有意に低下した ($p < 0.05$)。特に、股関節伸展・内転、かつ膝関節 90° 屈曲位の組み合わせが、他の肢位と比較して大きく ITB の硬さを減少させ、ITB に対する最適なストレッチング肢位である可能性が示された。また、股関節伸展位でのストレッチングは、ITB の硬さを大きく減少させるとともに、膝蓋骨の外側傾斜および外側偏位を有意に軽減させた ($p < 0.05$)。これらの結果から、スタティックストレッチングによって、ITB の硬さや膝蓋骨アライメントが改善できる可能性が示された。そして、股関節伸展・内転、かつ膝関節 90° 屈曲位でより大きな伸張刺激が ITB に加わり、大きなストレッチング効果が得られたと解釈できる。

おわりに

本総説で示した一連の研究から、ITB の硬さは膝関節疾患において疾患特異的に変化することが示唆された。ITB の硬さは、膝 OA では力学的負荷の増大に対する適応として ITB が硬化したと考えられる一方、PFP では安静時および収縮時の ITB の硬さが膝蓋骨外側偏位を助長する要因と考えられる。また、治療の可能性として、5 分間のスタティックストレッチングが ITB の硬さを即時的に低下させ、膝蓋骨の外側アライメントを

軽減し得ることが示された。

本稿で紹介した研究にはいくつかの限界があり、さらに ITB の硬さの研究を進めるうえで課題が残されている。第一に、ITB の硬さの変化が疾患の原因なのか、あるいは結果なのかという因果関係は明らかになっていない。今後は大規模な縦断研究や介入研究による因果関係の解明が不可欠である。第二に、ストレッチングの効果は健常若年男性における急性効果の検証にとどまっており、今後は女性や膝 OA・PFP・ITB 症候群などの実際の患者を対象とした長期的な効果の検証が必要である。第三に、せん断波エラストグラフィは定量的評価に優れる一方、高価で持ち運びが難しく、臨床での普及には課題がある。ITB の硬さへの簡便な検査として Ober テストが広く用いられるが、その妥当性は十分ではない²⁶⁾。大規模な臨床研究の実施に向けて、臨床やスポーツ現場で実施可能で、客観的かつ定量的な ITB の硬さに対する新たな評価指標の確立が今後の重要な課題となる。

文 献

- 1) Manon J, Gallant L, Gerard P, Fieve L, Schneidewind P, Pyka G, Kerckhofs G, Lengele B, Cornu O, Behets C: 2D and 3D microstructural analysis of the iliotibial tract. J Anat 245: 725-739, 2024
- 2) Hutchinson LA, Lichtwark GA, Willy RW, Kelly LA:

- The Iliotibial Band: A Complex Structure with Versatile Functions. *Sports Med* 52: 995-1008, 2022
- 3) Gadikota HR, Kikuta S, Qi W, Nolan D, Gill TJ, Li G: Effect of increased iliotibial band load on tibiofemoral kinematics and force distributions: a direct measurement in cadaveric knees. *J Orthop Sports Phys Ther* 43: 478-485, 2013
 - 4) Merican AM, Amis AA: Iliotibial band tension affects patellofemoral and tibiofemoral kinematics. *J Biomech* 42: 1539-1546, 2009
 - 5) Asayama A, Yagi M, Taniguchi M, Nakai R, Ichihashi N: Iliotibial band stiffness is associated with patellar height. *J Biomech* 184: 112673, 2025
 - 6) Hutchinson LA, Kelly LA, Lichtwark GA: The feasibility, validity, and reliability of strain measures in the iliotibial band during isolated muscular contractions. *J Biomech* 144: 111341, 2022
 - 7) Friede MC, Klauser A, Fink C, Csapo R: Stiffness of the iliotibial band and associated muscles in runner's knee: Assessing the effects of physiotherapy through ultrasound shear wave elastography. *Phys Ther Sport* 45: 126-134, 2020
 - 8) Pepper TM, Brismee JM, Sizer PS, Jr Kapila J, Seeber GH, Huggins CA, Hooper TL: The Immediate Effects of Foam Rolling and Stretching on Iliotibial Band Stiffness: A Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Phys Ther* 16: 651-661, 2021
 - 9) Muraki S, Oka H, Akune T, Mabuchi A, En-yo Y, Yoshida M, Saika A, Suzuki T, Yoshida H, Ishibashi H, Yamamoto S, Nakamura K, Kawaguchi H, Yoshimura N: Prevalence of radiographic knee osteoarthritis and its association with knee pain in the elderly of Japanese population-based cohorts: the ROAD study. *Osteoarthritis Cartilage* 17: 1137-1143, 2009
 - 10) Okada S, Yagi M, Taniguchi M, Motomura Y, Okada S, Fukumoto Y, Kobayashi M, Kanemitsu K, Ichihashi N: Investigation of the relationship between soft tissue stiffness and maximum knee extension angle in patients with knee osteoarthritis. *J Biomech* 182: 112582, 2025
 - 11) Taniguchi M, Fukumoto Y, Yagi M, Hirono T, Yamagata M, Asayama A, Okada S, Nakai R, Kobayashi M, Ichihashi N: A higher intramuscular fat in vastus medialis is associated with functional disabilities and symptoms in early stage of knee osteoarthritis: a case-control study. *Arthritis Res Ther* 25: 61, 2023
 - 12) Vasilevska V, Szeimies U, Stabler A: Magnetic resonance imaging signs of iliotibial band friction in patients with isolated medial compartment osteoarthritis of the knee. *Skeletal Radiol* 38: 871-875, 2009
 - 13) Kito N, Shinkoda K, Yamasaki T, Kanemura N, Anan M, Okanishi N, Ozawa J, Moriyama H: Contribution of knee adduction moment impulse to pain and disability in Japanese women with medial knee osteoarthritis. *Clin Biomech (Bristol)* 25: 914-919, 2010
 - 14) Chang AH, Moisio KC, Chmiel JS, Eckstein F, Guermazi A, Prasad PV, Zhang Y, Almagor O, Belisle L, Hayes K, Sharma L: External knee adduction and flexion moments during gait and medial tibiofemoral disease progression in knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 23: 1099-1106, 2015
 - 15) Hammer N, Huster D, Boldt A, Hadrich C, Koch H, Mobius R, Schulze-Tanzil G, Scheidt HA: A preliminary technical study on sodium dodecyl sulfate-induced changes of the nano-structural and macro-mechanical properties in human iliotibial tract specimens. *J Mech Behav Biomed Mater* 61: 164-173, 2016
 - 16) Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A: Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med Open* 1: 7, 2015
 - 17) Yagi M, Taniguchi M, Tateuchi H, Yamagata M, Hirono T, Asayama A, Umehara J, Nojiri S, Kobayashi M, Ichihashi N: Properties of the iliotibial band and their relationships with gait parameters among patients with knee osteoarthritis. *J Orthop Res* 41: 1177-1185, 2023
 - 18) Crossley KM: Is patellofemoral osteoarthritis a common sequela of patellofemoral pain? *Br J Sports Med* 48: 409-410, 2014
 - 19) Smith BE, Selfe J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, Rathleff MS, Smith TO, Logan P: Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 13: e0190892, 2018
 - 20) Drew BT, Redmond AC, Smith TO, Penny F, Conaghan PG: Which patellofemoral joint imaging features are associated with patellofemoral pain? Systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage* 24: 224-236, 2016
 - 21) Asayama A, Taniguchi M, Yagi M, Fukumoto Y, Hirono T, Yamagata M, Nakai R, Ichihashi N: Reliability and validity of quantitative ultrasound for evaluating patellar alignment: A pilot study. *J Orthop Sci* 29: 602-608, 2024
 - 22) Asayama A, Yagi M, Taniguchi M, Hirono T, Kato T, Hayashi R, Ichihashi N: Effect of soft tissue tension around the knee joint on medio-lateral patellar position. *J Biomech* 168: 112137, 2024
 - 23) Pourahmadi MR, Ebrahimi Takamjani I, Hesampour K, Shah-Hosseini GR, Jamshidi AA, Shamsi MB: Effects of static stretching of knee musculature on patellar alignment and knee functional disability in male patients diagnosed with knee extension syndrome: A single-group, pretest-posttest trial. *Man Ther* 22: 179-189, 2016
 - 24) Nakamura M, Ikezoe T, Takeno Y, Ichihashi N: Time course of changes in passive properties of the gastrocnemius muscle-tendon unit during 5 min of static stretching. *Man Ther* 18: 211-215, 2013
 - 25) 八木優英, 谷口匡史, 小林琴乃, 巖田光里, 浅山章大, 市橋則明: ストレッチングによる腸脛靭帯の即時的な硬さの変化が膝蓋骨アライメントに与える影響. 第49回日本臨床バイオメカニクス学会 11: 4-5, 2022
 - 26) Willett GM, Keim SA, Shostrom VK, Lomneth CS: An Anatomic Investigation of the Ober Test. *Am J Sports Med* 44: 696-701, 2016

Disease Specificity and Therapeutic Potential of Iliotibial Band Stiffness

Masahide Yagi^{1,2*}

¹ Faculty of Rehabilitation, Kansai Medical University

² Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University

Although high iliotibial band (ITB) stiffness is commonly observed across knee disorders, their disease-specific characteristics and effective treatments remain unclear. This review synthesizes studies that used ultrasound shear wave elastography to quantify ITB stiffness in knee osteoarthritis (OA) and patellofemoral pain (PFP) and discusses the therapeutic potential of static stretching. Findings indicate that in patients with knee OA, ITB stiffness was higher than in asymptomatic older adults, and stiffness correlated with the external knee varus moment and the hip extension moment. For individuals with PFP, higher ITB tension was associated with a more lateral patellar position. A 5-minute static stretch performed with the hip in extension produced immediate reductions in ITB stiffness and improved patellar lateral alignment. In conclusion, increased ITB stiffness is a feature of some knee disorders, and static stretching may represent a therapeutic option. Further studies are needed to determine the long-term effects of static stretching and to develop objective assessment metrics.

Key words: Iliotibial band, Knee osteoarthritis, Patellofemoral pain, Shear wave elastography, Stretching

* Faculty of Rehabilitation, Kansai Medical University
18-89 Uyama-higashimachi, Hirakata, Osaka, 573-1136, Japan
E-mail: yagi.msh@kmu.ac.jp

報 告

超音波画像装置を用いた理学療法士の教育・研究機関および
臨床業務（評価）での使用実態に関するアンケート調査
報告書*

理学療法士の超音波画像装置の使用についての合同委員会^{1) # 2) 3) 4)}

・調査概要

1. 目的

本調査（アンケート）は、超音波画像装置の理学療法士養成校での教育上における使用実態および臨床での使用実態を明らかにする目的でアンケート調査を実施した。

2. 調査期間

令和5年5月29日（月）～令和5年6月23日（金）

3. 調査対象

I. 教育機関（対象：理学療法学科責任者）

大学／短期大学 82校／4校

専門学校（3年制）／専門学校（4年制）

40校／31校

II. 臨床業務（対象：基礎・運動器の専門・認定理学療法士取得者）

基礎・運動器・スポーツ・物理療法の専門・認定理学療法士取得者が所属する臨床施設 2,434施設

4. 調査方法

日本理学療法士協会アンケートシステム（インターネット）

5. 回収状況

I. 教育機関：回収件数：157件 有効回答率：59.0%

II. 臨床施設：回答件数：656件 有効回答率：27.0%

6. 実施体制

本アンケートは、日本理学療法士協会のアンケートシステムを使用し（日本理学療法士協会はアンケートシステム利用のための共催）、日本基礎理学療法学会、日本運動器理学療法学会、日本物理療法学会、日本スポーツ理学療法学会による「理学療法士の超音波画像装置使用に関する合同委員会」が合同で実施した。

藤澤 宏幸	日本基礎理学療法学会 理事長
河上 敬介	日本基礎理学療法学会 副理事長
江玉 睦明	日本基礎理学療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員長 理学療法士の超音波画像装置の使用についての合同委員会 委員長
工藤 慎太郎	日本基礎理学療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員
小林 匠	日本基礎理学療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員
高林 知也	日本基礎理学療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員
対馬 栄輝	日本運動器理学療法学会 理事長
建内 宏重	日本運動器理学療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員長
森下 勝行	日本物理療法学会 理事
中村 雅俊	日本物理療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員長
木村 佳記	日本スポーツ理学療法学会 理事
三谷 保弘	日本スポーツ理学療法学会 理学療法士の超音波画像装置使用に関する検討委員会委員長

* 日本基礎理学療法学会委員会活動報告

1) 日本基礎理学療法学会

江玉睦明（学校法人 新潟総合学園 新潟医療福祉大学）

2) 日本運動器理学療法学会

3) 日本物理療法学会

4) 日本スポーツ理学療法学会

E-mail: edama@nuhw.ac.jp

・調査結果の概要

※本調査にあたり、装置名を一般的な名称である「超音波画像診断装置」と表記して実施したが、理学療法士が使用する際の目的は「診断」ではないことを明確にするため、報告書においては「超音波画像装置」と統一して記載することとした。

1. 超音波画像装置の理学療法士の教育機関における使用実態

1) 超音波画像装置を用いた「教育」について

- ・設置状況：69%の教育機関で超音波画像装置が設置されていた。
- ・授業の実施：78%の施設で超音波画像装置を用いた授業を実施していた。主な授業内容は卒業研究(33%)、運動療法学(14%)、運動学(11%)であった。
- ・教育の必要性：卒前教育の必要性を認識する割合は76%、卒後教育は79%であった。

2) 超音波画像装置を用いた「研究」について

- ・学部生・大学院生・教員の研究：学部生の卒業研究において、過去3年間の超音波画像装置の使用件数は1～5回が48%、大学院生では1～5回が44%、教員では1～5回が48%であった。
- ・研究対象：健常者が74%、患者が15%であった。
- ・評価項目：筋厚、筋断面積、筋束長などの計測が25%、筋・腱の動態評価が17%であった。
- ・その他の自由記載：指定規則、コアカリキュラムへの対応、理学療法士が安心・安全に使用できる環境整備、法的整備、厚労省や医師会などへの働きかけ、ガイドラインの作成、卒前・卒後教育の整備などが挙げられた。

2. 超音波画像装置の理学療法士の臨床業務（評価）での使用実態

1) 超音波画像装置を用いた「臨床」について

- ・設置状況：超音波画像装置を所有する臨床施設は80%、理学療法部門での設置率は46%であった。
- ・理学療法士の使用率：65%の施設で理学療法士が超

音波画像装置を使用していた。主な目的は、病態把握(31%)、治療効果の評価(20%)であった。

- ・教育の必要性：74%が卒前・卒後教育の必要性を認識していた。
- ・法的問題の認識：臨床現場で理学療法士が超音波画像装置を使用することについて、問題なしが74%、指摘されたことがなしは91%、ありは9%であった。

2) 臨床現場での超音波画像装置を用いた「研究」について

- ・研究実施施設：22%の施設で超音波画像装置を用いた研究を実施していた。
- ・対象：患者は49%、健常若年者は39%、健常高齢者は10%であった。
- ・学会・論文発表：国際学会発表は25%、国際論文発表は12%であった。
- ・その他自由記載：超音波画像装置は評価や治療のエビデンスの構築に重要、コスト面や時間的制約が課題、診療報酬への対応などが挙げられた。

・ま と め

理学療法士の超音波画像装置の使用は、教育機関や臨床施設で広がっていた。教育では卒業研究などで活用され、卒前・卒後教育の必要性が認識されていた。臨床では病態把握や評価が主な目的であった。今後の課題として、ガイドライン作成、指定規則・コアカリキュラム、法的整備等への対応が挙げられた。

・今 後

2023年度より、日本基礎理学療法学会、日本運動器理学療法学会、日本物理療法学会、日本スポーツ理学療法学会による「理学療法士の超音波画像装置の使用についての合同委員会」活動が開始されている。今後は、本委員会により、他関連法人学会および有識者とともに審議し、超音波画像装置の使用に関するステートメントを策定し、理学療法領域における超音波画像装置の適正使用に関する規定整備、および教育方法の在り方に関する方針を示していく予定である。

質問の内容

I. 理学療法士の超音波画像装置使用のためのアンケート（教育・研究）

1. 超音波画像装置を用いた「教育」についてお聞きします。

質問 1 貴校の教育形態について教えてください。

質問 2 貴校に超音波画像装置は設置されていますか？

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 3 貴校に設置されている超音波画像装置の台数を教えてください。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 4 理学療法専攻で使用可能（占有）な超音波画像装置の台数を教えてください。

質問 5 超音波画像装置を用いた授業を実施できる教員の数をお願いします。

質問 6 超音波画像装置を用いた授業はありますか？

※質問 6 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 7 超音波画像装置を用いた授業についてお答えください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可）

※質問 6 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 8 超音波画像装置を用いた授業形態を教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可）

※質問 6 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 9 授業における超音波画像装置の使用目的を教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可）

※質問 6 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 10 超音波画像装置を用いた授業のコマ数（1 コマ：90 分）をお願いします。

質問 11 今後、授業において超音波画像装置を用いる予定はありますか？

質問 12-1 超音波画像装置使用のための授業（卒前教育）は必要だと思いますか？

質問 12-2 質問 12-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 13-1 超音波画像装置使用のための卒業教育（生涯学習）は必要だと思いますか？

質問 13-2 質問 13-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 14-1 臨床現場で理学療法士に超音波画像装置は必要だと思いますか？

質問 14-2 質問 14-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

2. 超音波画像装置を用いた「研究」についてお聞きします。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 15 学部生の実人数（一学年）をお願いします。学年ごとに人数が違う場合は、最終学年の人数を回答してください。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 16 学部生の研究（卒業研究など）における超音波画像装置の使用件数を教えてください（過去 3 年間）。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 17 大学院生（修士）の実人数（一学年）をお願いします。学年ごとに人数が違う場合は、最終学年の人数を回答してください。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 18 大学院生（博士）の実人数（一学年）をお願いします。学年ごとに人数が違う場合は、最終学年の人数を回答してください。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 19 研究（教員、大学院生が行う研究など全てを含めて）における超音波画像装置の使用件数を教えてください（過去 3 年間）。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 20 教員（常勤）の実人数をお願いします。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 21 教員（理学療法士）の研究における超音波画像装置の使用件数を教えてください（過去 3 年間）。

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問22-1 超音波画像装置を用いた研究の被験者について教えてください（複数回答可）。

※質問22-1で「c. 患者」を選択した回答者が対象です。

質問22-2 質問22-1で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどこ部位かをご記入ください。例：頸部、腰部、膝部、足部

※質問22-1で「c. 患者」を選択した回答者が対象です。

質問22-3 質問22-1で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどのような病態かをご記入ください。例：拘縮、癒着

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問23-1 超音波画像装置を用いた研究の実施場所を教えてください（複数回答可）。

※質問23-1で「b. 大学外」を選択した回答者が対象です。

質問23-2 質問23-1で「b. 大学外」を選んだ方は具体的にご記入ください。

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問24 研究における超音波画像装置の使用目的を教えてください（複数回答可）。

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問25 超音波画像装置を用いた研究による国内学会発表件数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問26 超音波画像装置を用いた研究による国際学会発表件数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問27 超音波画像装置を用いた研究による国内学術誌への採択論文数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問28 超音波画像装置を用いた研究による国際学術誌への採択論文数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。

質問29-1 研究における超音波画像装置の必要性について、お考えをお聞かせください。

質問29-2 質問29-1の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問30 今後の研究における超音波画像装置の使用予定をお教えください。

質問31 その他ご意見があればお聞かせください。（任意）

II. 超音波画像装置の理学療法士の臨床業務（評価）での使用実態（臨床）

1. 超音波画像装置を用いた「臨床」についてお聞きます。

質問1 貴施設の理学療法部門の主な対象疾患についてお教えください。（複数回答可）

質問2 貴施設の整形外科疾患の割合をお教えください。

質問3 貴施設の主な施設形態についてお教えください。

質問4-1 貴施設（理学療法部門か否かは問いません）に超音波画像装置は設置されていますか。

※質問4-1で「有」を選択した回答者が対象です。

質問4-2 質問4-1で「有」とお答えいただいた方のみに伺います。台数をお答えください。

※質問4-1で「有」を選択した回答者が対象です。

質問5-1 貴施設理学療法部門に超音波画像装置が設置されていますか。

※質問5-1で「有」を選択した回答者が対象です。

質問5-2 質問5-1で「有」とお答えいただいた方のみに伺います。「リハビリテーション部門に設置されている」台数をお答えください。

※質問4-1で「有」を選択した回答者が対象です。

質問6 超音波画像装置の使用状況をお教えください。超音波画像装置を利用している理学療法士数をお教えください（常勤換算）。

※質問4-1で「有」を選択した回答者が対象です。

質問7 超音波画像装置の使用頻度は何回ですか？ 理学療法士全員による1週間あたりの回数をご記入ください。

※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 8 超音波画像装置の使用目的をお教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可）

※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 9 超音波画像装置の具体的な使用目的をお教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可）

質問 10-1 臨床現場で理学療法士に超音波画像装置は必要だと思いますか？

質問 10-2 質問 10-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 11-1 貴施設は臨床現場で理学療法士が超音波画像装置を使用することが問題と思いますか？

質問 11-2 質問 11-1 で各回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 12-1 あなたは臨床現場で理学療法士が超音波画像装置を使用することが問題であると指摘されたことがありますか？

※質問 12-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 12-2 質問 12-1 で「有」とお答えいただいた方のみに伺います。誰から問題であると指摘されたか教えてください。（複数回答可）

質問 12-3 質問 12-2 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 13-1 研究における超音波画像装置の必要性について、お考えをお聞かせください。

質問 13-2 質問 13-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 14-1 教育（卒前・卒後）における超音波画像装置の必要性について、お考えをお聞かせください。

質問 14-2 質問 14-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

質問 15 今後の臨床現場における超音波画像装置の使用予定をお教えてください。

質問 16 超音波画像装置を有効に活用するために卒前教育に求めることは何ですか？

質問 17 超音波画像装置を有効に活用するために卒後教育（生涯学習）に求めることは何ですか？

2. 超音波画像装置を用いた「研究」についてお聞きします。

質問 18 超音波画像装置を用いた研究を実施していますか？

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 19 理学療法士による臨床研究における超音波画像装置の使用人数（延べ人数）を教えてください（過去 3 年間）。

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 20 理学療法士による臨床研究における超音波画像装置の使用件数（延べ件数）を教えてください（過去 3 年間）。

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 21-1 超音波画像装置を用いた研究の被験者について教えてください（複数回答可）。

※質問 21-1 で「c. 患者」を選択した回答者が対象です。

質問 21-2 質問 21-1 で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどこの部位かをご記入ください。例：頸部、腰部、膝部、足部

※質問 21-1 で「c. 患者」を選択した回答者が対象です。

質問 21-3 質問 21-1 で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどのような病態かをご記入ください。例：拘縮、癒着

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 22-1 超音波画像装置を用いた研究の実施場所を教えてください（複数回答可）。

※質問 22-1 で「c. 施設外」を選択した回答者が対象です。

質問 22-2 質問 22-1 で「c. 施設外」を選んだ方は具体的にどこをご記入ください。

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 23 研究における超音波画像装置の使用目的を教えてください。

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 24 国内での超音波画像装置を用いた研究による学会発表件数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去 3 年間）。

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 25 国外での超音波画像装置を用いた研究による学会発表件数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去 3 年間）。

※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 26 超音波画像装置を用いた研究による国内学術誌への採択論文数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）

を教えてください（過去3年間）。

※質問18で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問27 超音波画像装置を用いた研究による国際学術誌への採択論文数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）
を教えてください（過去3年間）。

質問28 その他ご意見があればお聞かせください。

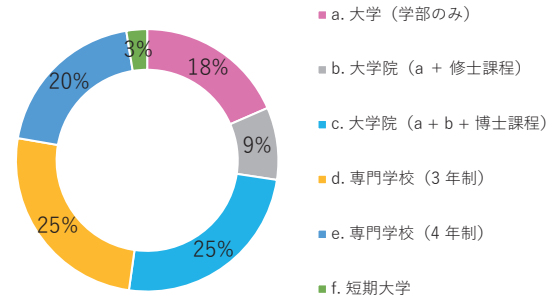
アンケート調査結果

Ⅰ. 超音波画像装置の理学療法士の教育機関における使用実態
教育、研究

1. 超音波画像装置を用いた「教育」についてお聞きます。 n=157

質問1 貴校の教育形態について教えてください。

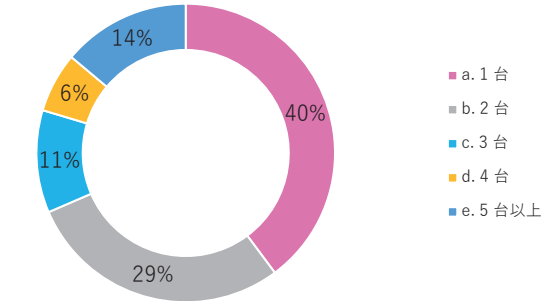
	n	%
a. 大学（学部のみ）	29	18
b. 大学院（a+修士課程）	14	9
c. 大学院（a+b+博士課程）	39	25
d. 専門学校（3年制）	40	25
e. 専門学校（4年制）	31	20
f. 短期大学	4	3



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

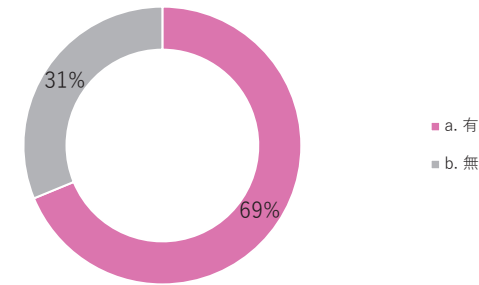
質問3 台数をお答えください。 n=108

	n	%
a. 1台	43	40
b. 2台	31	29
c. 3台	12	11
d. 4台	7	6
e. 5台以上	15	14



質問2 貴校に超音波画像装置は設置されていますか？ n=157

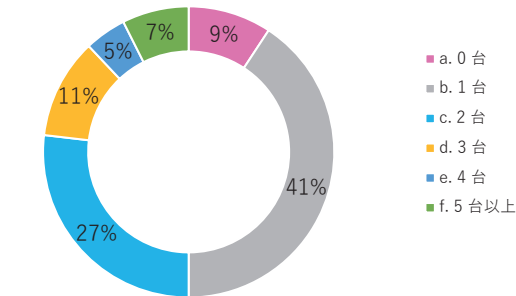
	n	%
a. 有	108	69
b. 無	49	31



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

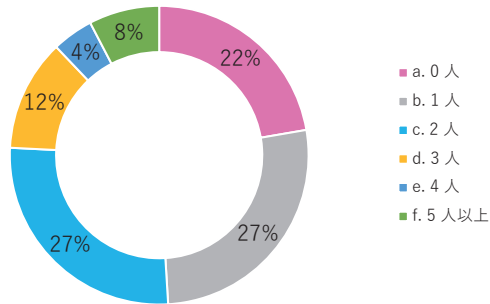
質問4 理学療法専攻で使用可能（占有）な超音波画像装置の台数を教えてください。 n=108

	n	%
a. 0台	10	9
b. 1台	44	41
c. 2台	29	27
d. 3台	12	11
e. 4台	5	5
f. 5台以上	8	7



質問5 超音波画像装置を用いた授業を実施できる教員の数を教えてください。n=157

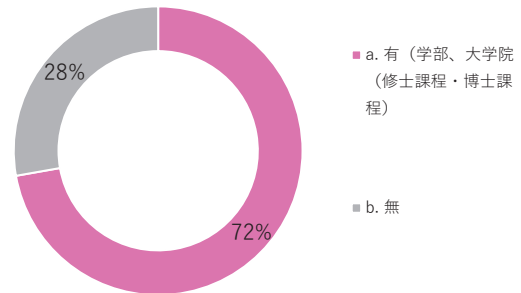
	n	%
a. 0人	35	22
b. 1人	42	27
c. 2人	42	27
d. 3人	19	12
e. 4人	7	4
f. 5人以上	12	8



※質問2「有」を選択した回答者が対象です。

質問6 超音波画像装置を用いた授業はありますか？ n=108

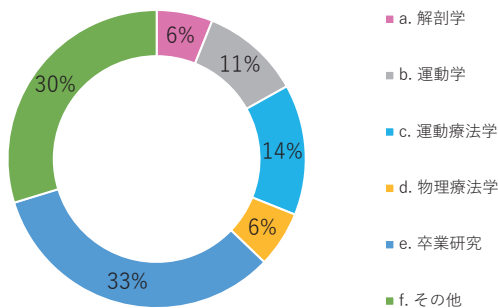
	n	%
a. 有（学部、大学院（修士課程・博士課程）	78	72
b. 無	30	28



※質問6で「有」を選択した回答者が対象です。

質問7 超音波画像装置を用いた授業についてお答えください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可） n=78

	n	%
a. 解剖学	9	6
b. 運動学	16	11
c. 運動療法学	21	14
d. 物理療法学	9	6
e. 卒業研究	49	33
f. その他	44	30



臨床検査学 3
 大学院授業 3
 生理学実習 3
 運動学実習 2
 内部障害理学療法学・実習 2
 研究セミナー 2
 体表解剖学実習
 スポーツ理学療法学演習
 整形外科科学
 一般臨床医学
 理学療法技術演習（先進医療機器）
 健康科学特論
 基本的臨床技能実習
 臨床運動学
 機器技術学演習
 機能解析セミナー
 研究方法論実習
 体験入学

【その他 記入内容】

理学療法評価学・演習（生体機能計測学） 10

運動器（系）理学療法学・演習（筋骨格系理学療法学・運動機能障害系リハビリテーション学演習） 10

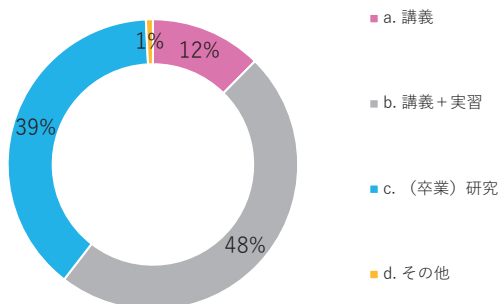
医用画像特論（超音波画像解析・画像診断・画像データ解析・画像評価学） 6

画像評価学 3

※質問6で「有」を選択した回答者が対象です。

質問8 超音波画像装置を用いた授業形態を教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可） n=78

	n	%
a. 講義	16	12
b. 講義+実習	62	48
c. （卒業）研究	50	39
d. その他	1	1



〔その他 記入内容〕
実習

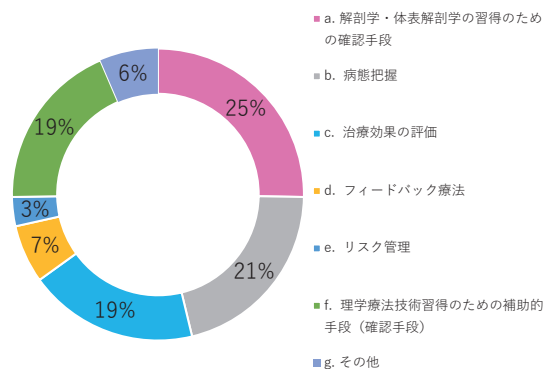
〔その他 記入内容〕

- ・研究
- ・機械の原理解
- ・使用経験を得るため
- ・画像診断
- ・筋の評価
- ・筋生理学実習
- ・診断、評価

※質問6で「有」を選択した回答者が対象です。

質問9 授業における超音波画像装置の使用目的を教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。（複数回答可） n=78

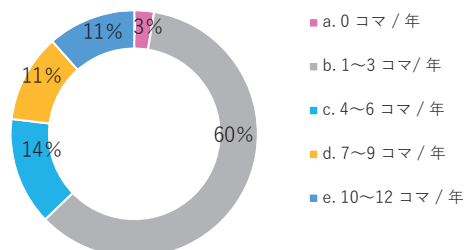
	n	%
a. 解剖学・体表解剖学の習得のための確認手段	47	25
b. 病態把握	39	21
c. 治療効果の評価	35	19
d. フィードバック療法	12	7
e. リスク管理	6	3
f. 理学療法技術習得のための補助的手段（確認手段）	35	19
g. その他	12	6



※質問6で「有」を選択した回答者が対象です。

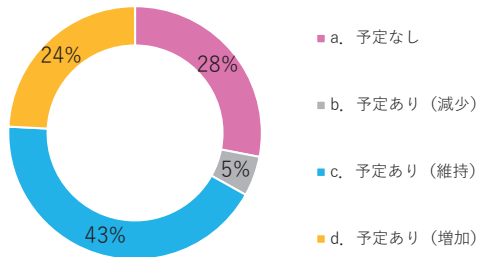
質問10 超音波画像装置を用いた授業のコマ数（1コマ：90分）を教えてください。 n=78

	n	%
a. 0コマ/年	2	3
b. 1～3コマ/年	47	60
c. 4～6コマ/年	11	14
e. 7～9コマ/年	9	11
f. 10～12コマ/年	9	11



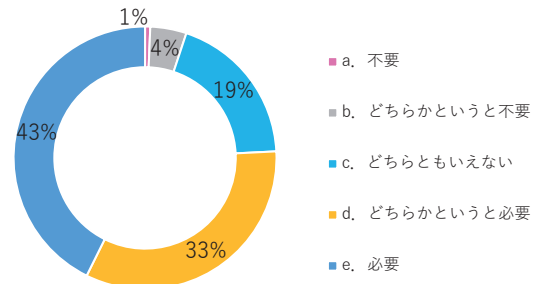
質問 11 今後、授業において超音波画像装置を用いる予定はありますか？ n=157

	n	%
a. 予定なし	44	28
b. 予定あり (減少)	8	5
c. 予定あり (維持)	67	43
d. 予定あり (増加)	38	24



質問 12-1 超音波画像装置使用のための授業 (卒前教育) は必要だと思いますか？ n=157

	n	%
a. 不要	1	4
b. どちらかという不要	7	19
c. どちらともいえない	30	33
d. どちらかという必要	52	43
e. 必要	67	1



質問 12-2 質問 12-1 の回答を選んだ理由を教えてください。(任意)

[e. 必要] 50 件

リアルタイムで客観的に画像評価ができ、かつ侵襲性が非常に低い装置として超音波画像装置は有益であり、研究・臨床現場において近年多岐の領域において普及・使用頻度が進んでいるため卒前教育が必須である、との意見が多くあった。

[d. どちらかという必要] 35 件

研究、臨床現場 (評価) での有用性が高く、卒前教育としても必要である、との意見が多くあった。

[c. どちらともいえない] 17 件

知識、技術は必要ではあるが、臨床での普及状況や使用頻度を考えると卒前教育として導入するには検討が必要である、との意見が多くあった。

[b. どちらかという不要] 5 件

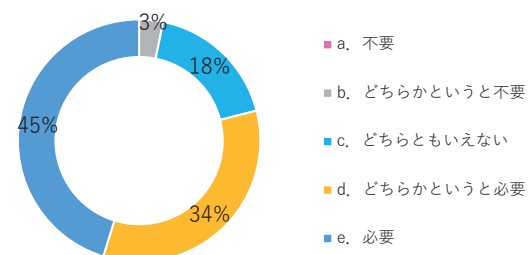
臨床現場において超音波画像装置の普及状況や使用頻度が低い段階であるため必要がない、学生の負担 (限られたカリキュラム内での実施) を考えると卒後教育が適切である、との意見があった。

[a. 不要] 1 件

学生教育では混乱を起こす可能性あり、卒後教育で十分との意見があった。

質問 13-1 超音波画像装置使用のための卒後教育 (生涯学習) は必要だと思いますか？ n=157

	n	%
a. 不要	0	0
b. どちらかという不要	5	3
c. どちらともいえない	28	18
d. どちらかという必要	53	34
e. 必要	71	45



質問 13-2 質問 13-1 の回答を選んだ理由を教えてください。(任意)

[e. 必要] 50 件

超音波画像診断は、知識と技術の融合が必要となるため卒前教育だけでは十分ではなく卒後も研鑽することが必要、患者の病態を理解するとともに病態に対する適切な理学療法を実施するため、他の理学療法士や医師との情報共有のため、との意見が多くあった。

[d. どちらかというと必要] 29 件

研究、臨床現場（評価）での有用性が高く、卒前だけでなく卒後教育としても必要である、との意見が多くあった。

[c. どちらともいえない] 20 件

職場によって（対象とする疾患によって）必要性が異なるため、という意見が多くあった。

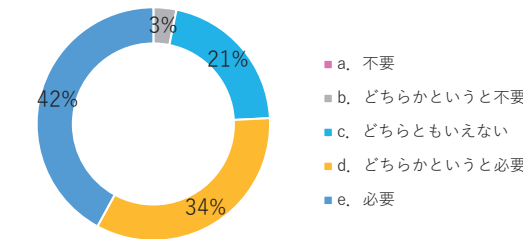
[b. どちらかというと不要] 4 件

活用とするものが少数であり職場によっては必要とまでは思えない、との意見があった。

[a. 不要] 0 件

質問 14-1 臨床現場で理学療法士に超音波画像装置は必要だと思いますか？ n=157

	n	%
a. 不要	0	0
b. どちらかというと不要	5	3
c. どちらともいえない	33	21
d. どちらかというと必要	53	34
e. 必要	66	42



質問 14-2 質問 14-1 の回答を選んだ理由を教えてください。(任意)

[a. 不要] 0 件

[e. 必要] 46 件

非侵襲的な評価・治療を主とする理学療法士が実際の身体内部の構造・動き・硬さを可視化し、理学療法の評価・治療に応用することにより正確・安全、具体的かつ効果的な理学療法を提供できる。また、評価のみならず治療としても超音波ガイド下によって治療部位を特定しながら正確な徒手療法・運動療法・物理療法が実践できることや、治療効果判定、医師との共通認識ツールとしても使用でき、臨床使用のメリットが高い、との意見が多くあった。

[d. どちらかというと必要] 29 件

理学療法を行う上での客観的評価・効果検証のため、患者さんへも説明しやすく大きな武器になる、科学的根拠を持った治療が出来る、などの意見が多くあった。

[c. どちらともいえない] 20 件

体内を確認できる唯一のものであり有用性は高いと思われるが、検査に報酬がないため実用性は高くない、読影は必要と考えるが実際に使用できる施設や疾患は限定的である、との意見が多くあった。

[b. どちらかというと不要] 4 件

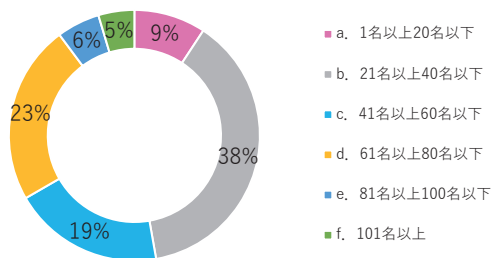
施設によっては高いレベルを求められる所があるかもしれないが、医療・介護等の全施設に必要な知識や技術だという認識ではない、現在臨床において使用頻度が低く、実施することで点数がとれるわけでもないことから養成教育には必要ない、との意見があった。

2. 超音波画像装置を用いた「研究」についてお聞きします。

※質問 2 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 15 学部生の実人数（一学年）を教えてください。学年ごとに人数が違う場合は、最終学年の人数を回答してください。 n=108

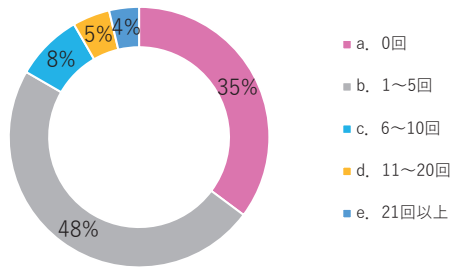
	n	%
a. 1 名以上 20 名以下	10	9
b. 21 名以上 40 名以下	41	38
c. 41 名以上 60 名以下	21	19
d. 61 名以上 80 名以下	25	23
e. 81 名以上 100 名以下	6	6
f. 101 名以上	5	5



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問16 学部生（卒業研究など）における超音波画像装置の使用件数を教えてください（過去3年間）。 n=108

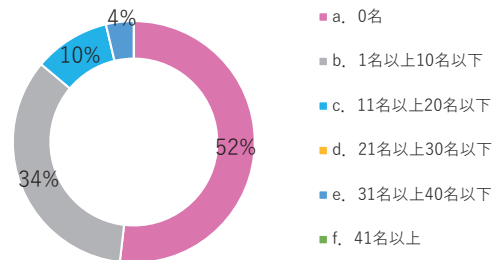
	n	%
a. 0回	38	35
b. 1～5回	52	48
c. 6～10回	9	8
d. 11～20回	5	5
e. 21回以上	4	4



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問17 大学院生（修士）の実人数（一学年）を教えてください。学年ごとに人数が違えば、最終学年の人数を回答してください。 n=108

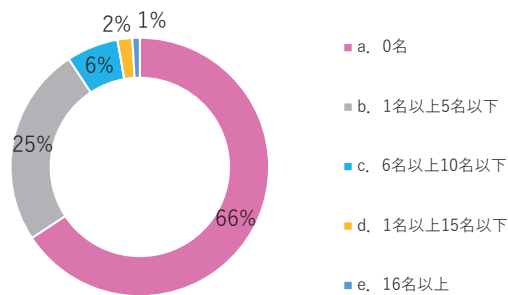
	n	%
a. 0名	56	52
b. 1名以上10名以下	37	34
c. 11名以上20名以下	11	10
d. 21名以上30名以下	0	0
e. 31名以上40名以下	4	4
f. 41名以上	0	0



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問18 大学院生（博士）の実人数（一学年）を教えてください。学年ごとに人数が違えば、最終学年の人数を回答してください。 n=108

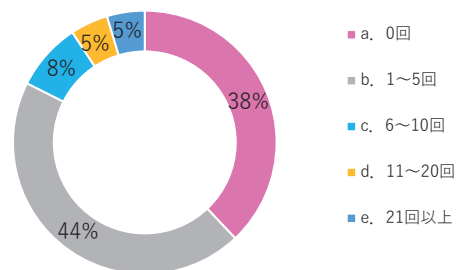
	n	%
a. 0名	71	66
b. 1名以上5名以下	27	25
c. 6名以上10名以下	7	6
d. 1名以上15名以下	2	2
e. 16名以上	1	1



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問19 研究（教員、大学院生が行う研究など全てを含めて）における超音波画像装置の使用件数を教えてください（過去3年間）。 n=108

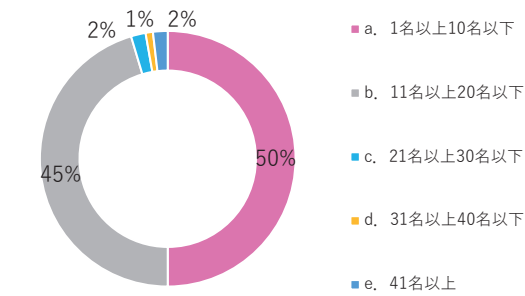
	n	%
a. 0回	41	38
b. 1～5回	48	44
c. 6～10回	9	8
d. 11～20回	5	5
e. 21回以上	5	5



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問20 教員（常勤）の実人数を教えてください。 n=108

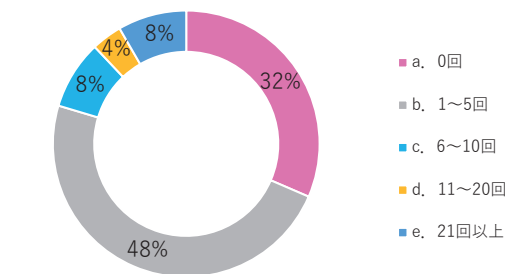
	n	%
a. 1名以上10名以下	54	50
b. 11名以上20名以下	49	45
c. 21名以上30名以下	2	2
d. 31名以上40名以下	1	1
e. 41名以上	2	2



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問21 教員（理学療法士）の研究における超音波画像装置の使用件数を教えてください（過去3年間）。 n=108

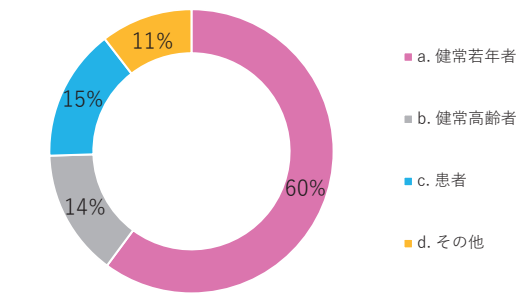
	n	%
a. 0回	34	32
b. 1～5回	52	48
c. 6～10回	9	8
d. 11～20回	4	4
e. 21回以上	9	8



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問22-1 超音波画像装置を用いた研究の被験者について教えてください（複数回答可）。n=108

	n	%
a. 健常若年者	92	60
b. 健常高齢者	22	14
c. 患者	23	15
d. その他	16	11



[その他 記入内容]

なし 5

学生

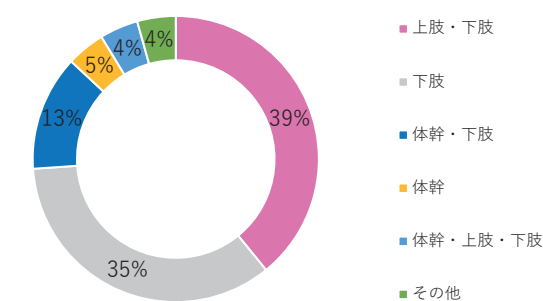
スポーツ検診

※質問22-1で「c.患者」を選択した回答者が対象です。

質問22-2 質問20で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどこ部位かをご記入ください。 n=23
例：頸部、腰部、膝部、足部

*集計は、体幹、上肢、下肢、その他で行った。

	n	%
a. 上肢・下肢	9	39
b. 下肢	8	35
c. 体幹・下肢	3	13
d. 体幹	1	5
e. 体幹・上肢・下肢	1	4
f. その他	1	4



[その他 記入内容]

呼吸循環器疾患

※質問22-1で「c.患者」を選択した回答者が対象です。

質問22-3 質問20で「c.患者」を選んだ方は具体的にどのような病態かをご記入ください。

n=23

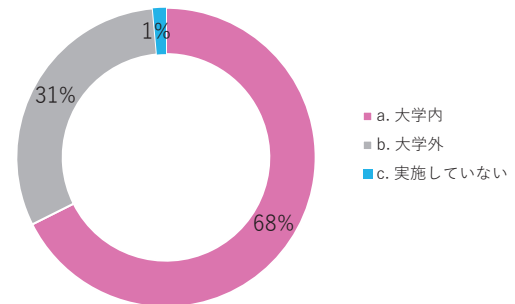
例：拘縮、癒着

拘縮 8
靱帯損傷 4
癒着 3
筋萎縮 2
炎症 2
サルコペニア 2
痙攣
呼吸機能低下
筋肉の評価
片麻痺
大腿神経麻痺
筋緊張
変形性膝関節症
野球肘
変形性関節症
筋ポリウム
腱板損傷
腰痛
足部・足関節痛
関節可動域制限
肉離れ
筋力低下
腰痛トレーニング
変形性膝関節症
腹部術後
出産経験のある女性の腹直筋離開の評価
出産経験や尿失禁のある女性骨盤底筋機能の評価（膀胱底部挙上量など）
アスリート（剣道選手）のアキレス腱・下腿三頭筋の萎縮・肥厚
廃用症候群

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問23-1 超音波画像装置を用いた研究の実施場所を教えてください（複数回答可）。 n=108

	n	%
a. 大学内	96	68
b. 大学外	44	31
c. 実施していない	2	1



※質問23-1で「b.大学外」を選択した回答者が対象です。

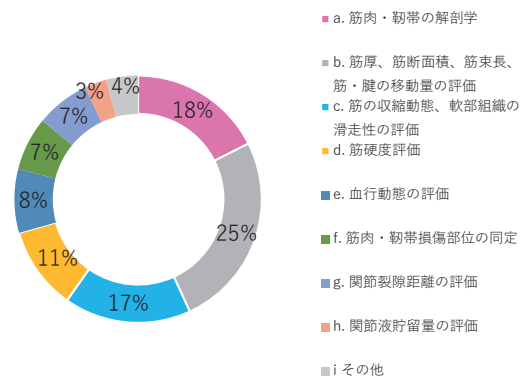
質問23-2 質問23-1で「b.大学外」を選んだ方は具体的にどこで実施してください。 n=44

医療機関（病院・クリニック） 30
スポーツ現場 6
高校の運動施設 2
地域の体育館・公民館 2
自治体の健康教室
実習施設
高齢者施設
通所介護施設
付属接骨院
共同研究者の施設
市町村検診
大学

※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

質問24 研究における超音波画像装置の使用目的を教えてください（複数回答可）。 n=108

	n	%
a. 筋肉・靱帯の解剖学	55	18
d. 筋厚、筋断面積、筋束長、筋・腱の移動量の評価	80	25
c. 筋の収縮動態、軟部組織の滑走性の評価	52	17
d. 筋硬度評価	34	11
e. 血行動態の評価	26	8
f. 筋肉・靱帯損傷部位の同定	22	7
g. 関節裂隙距離の評価	22	7
h. 関節液貯留量の評価	9	3
i. その他	13	4



[その他 記入内容]

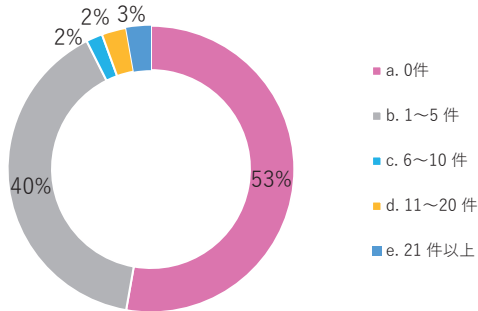
なし 6

学生教育

筋輝度
体幹筋の筋輝度の評価
関節軟骨厚、半月板突出の評価
心臓の動きの観察
神経の同定

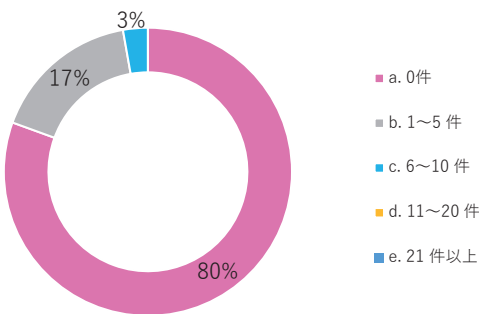
※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。
質問25 超音波画像装置を用いた研究による国内学会発表件数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。 n=108

	n	%
a. 0件	57	53
b. 1～5 件	43	40
c. 6～10 件	2	2
d. 11～20 件	3	2
e. 21 件以上	3	3



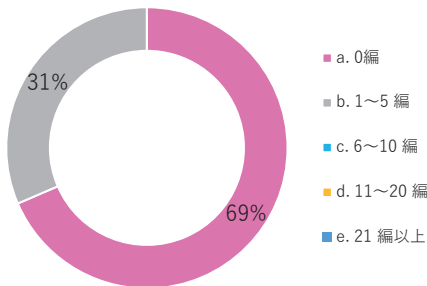
※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。
質問26 超音波画像装置を用いた研究による国際学会発表件数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。 n=108

	n	%
a. 0件	87	80
b. 1～5 件	18	17
c. 6～10 件	3	3
d. 11～20 件	0	0
e. 21 件以上	0	0



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。
質問27 超音波画像装置を用いた研究による国内学術誌への採択論文数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。 n=108

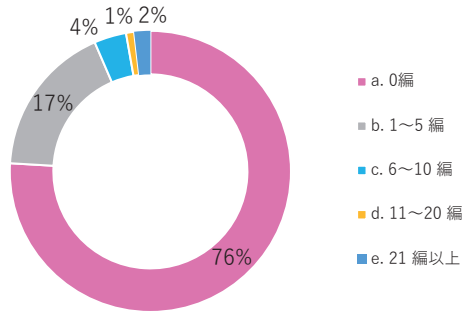
	n	%
a. 0編	74	69
b. 1～5 編	34	31
c. 6～10 編	0	0
d. 11～20 編	0	0
e. 21 編以上	0	0



※質問2で「有」を選択した回答者が対象です。

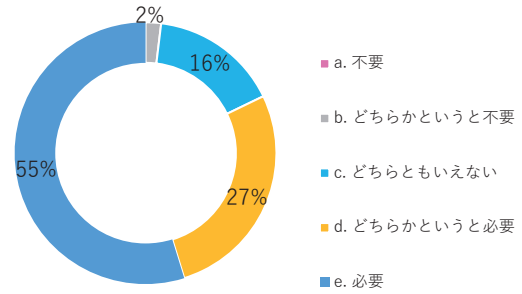
質問28 超音波画像装置を用いた研究による国際学術誌への採択論文数（貴校に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。 n=108

	n	%
a. 0編	82	76
b. 1～5編	19	17
c. 6～10編	4	4
d. 11～20編	1	1
e. 21編以上	2	2



質問29-1 研究における超音波画像装置の必要性について、お考えをお聞かせください。 n=157

	n	%
a. 不要	0	0
b. どちらかというとな必要	3	2
c. どちらともいえない	25	16
d. どちらかというとな必要	43	27
e. 必要	86	55



質問29-2 質問29-1の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

[e. 必要] 85件

非侵襲的に簡便に使用できる、軟部組織の動態、形状、硬度、血流動態などをリアルタイムに客観的に把握できる、理学療法評価・治療のエビデンス構築に必要である、との意見が多くあった。

[d. どちらかというとな必要] 43件

非侵襲的に個別の筋・靱帯等の組織の病態や動態をリアルタイムに観察できる非常に有用な機器である、との意見が多くあった。また、運動器疾患だけでなく、急性期～生活期における内部障害においても四肢や横隔膜などに着目した研究も増えてきていることや、職域拡大の観点から有用であるとの意見もあった。

[c. どちらともいえない] 25件

有用ツールではあるが、研究テーマ、研究内容により必要性が異なる、との意見が多くあった。

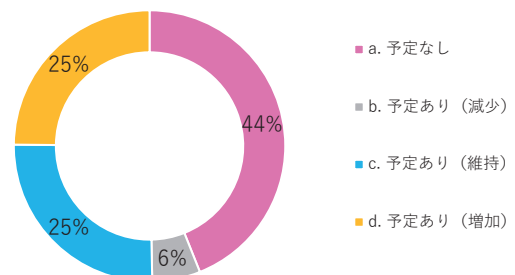
[b. どちらかというとな必要] 3件

国内の学術論文が増えると臨床で活用しやすくなる、卒後、必要に応じて習得すれば良い、との意見があった。

[a. 不要] 0件

質問30 今後の研究における超音波画像装置の使用予定をお教えてください。 n=157

	n	%
a. 予定なし	69	44
b. 予定あり（減少）	9	6
c. 予定あり（維持）	40	25
d. 予定あり（増加）	39	25



質問 31 その他ご意見があればお聞かせください。（任意）

<自由記載要約>

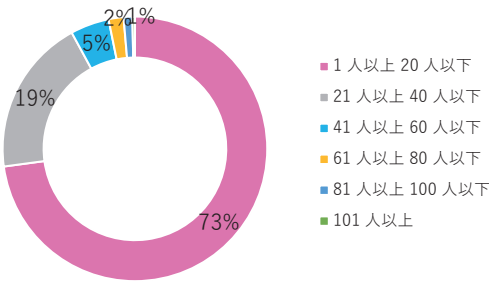
- 以下の意見が多く挙げられていた。
- ・指定規則、コアカリキュラムへの超音波画像装置の使用に関する文言の追加。
 - ・理学療法の実践のためにも理学療法士が安心・安全に使用できる環境整備が必要。
 - ・理学療法士が使用することに関する法的整備。
 - ・理学療法士協会としての厚労省や医師会などへの働きかけ。
 - ・研究、臨床での使用に関するガイドラインの作成。
 - ・関連職種（医師、臨床検査技師、放射線技師）との調整。
 - ・卒前・卒後教育の整備。

II. 超音波画像装置の理学療法士の臨床業務（評価）での使用実態

臨床、臨床研究

○所属理学療法士数 n=656

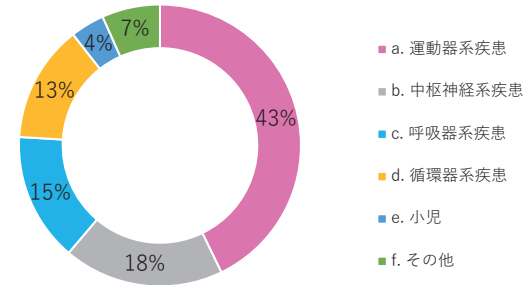
	n	%
1人以上 20人以下	478	73
21人以上 40人以下	126	19
41人以上 60人以下	31	5
61人以上 80人以下	12	2
81人以上 100人以下	7	1
101人以上	2	0.3



1. 超音波画像装置を用いた「臨床」についてお聞きします。

質問 1 貴施設の理学療法部門の主な対象疾患について教えてください。（複数回答可） n=656

	n	%
a. 運動器系疾患	636	43
b. 中枢神経系疾患	273	18
c. 呼吸器系疾患	219	15
d. 循環器系疾患	200	13
e. 小児	58	4
f. その他	99	7



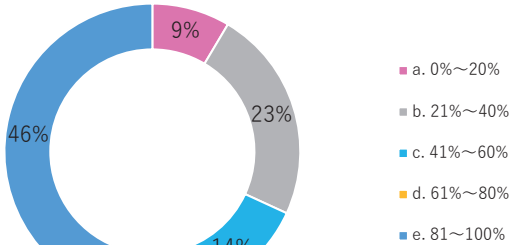
[その他 記入内容]

- がん 50
廃用症候群 16
フレイル 8
内部障害・疾患 4
外科疾患 5
消化器系疾患 4
内科疾患 3
腎臓疾患 3

- 救急救命 3
スポーツ疾患 3
泌尿器疾患 2
精神疾患 2
排泄領域 2
神経内科
神経難病
皮膚科
形成外科
特定疾患
重症心身障害児
訪問・通所リハ
切断
関節リウマチ
一般成人

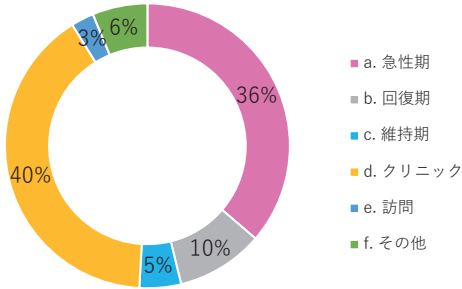
質問 2 貴施設の整形外科疾患の割合をお教えてください。 n=656

	n	%
a. 0%～20%	56	9
b. 21%～40%	153	23
c. 41%～60%	94	14
d. 61%～80%	54	8
e. 81～100%	299	46



質問 3 貴施設の施設形態についてお教えてください。 n=656

	n	%
a. 急性期	238	36
b. 回復期	65	10
c. 維持期	31	5
d. クリニック	264	40
e. 訪問	17	3
f. その他	41	6

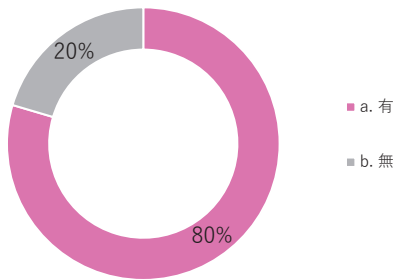


[その他 記入内容]
ケアミックス 6
通所、訪問リハビリテーション 4
急性期と回復期 2
老健 2
スポーツチーム 2
地域包括ケア病棟 2
急性期、回復期、外来 2
ケアミックス（急性期・回復期・生活期）
急性期～生活期

急性期、外来リハ
急性期と回復期併設のミックスケア病棟
急性期、回復期、クリニック、訪問ありの家アミックス型
急性期、回復期、地域包括、認知症病棟
急性期、回復期、外来、訪問、通所全てあり
急性期、外来、通所、訪問
急性期、地域包括、維持期、訪問
急性期、地域包括ケア病棟
急性期、回復期、訪問
術後から慢性期
通所特養
通所介護
外来
介護医療院
有床クリニック
デイサービス
福祉型発達支援センター
予防医療

質問 4-1 貴施設（理学療法部門か否かは問いません）に超音波画像装置は設置されていますか。
n=656

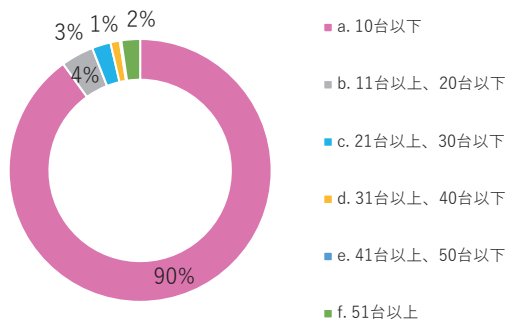
	n	%
a. 有	522	80
b. 無	134	20



※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 4-2 台数をお答えください。 n=522

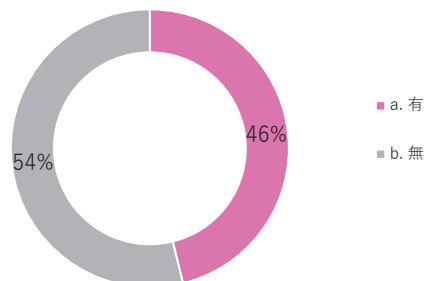
	n	%
a. 10 台以下	470	90
b. 11 台以上、20 台以下	21	4
c. 21 台以上、30 台以下	12	3
d. 31 台以上、40 台以下	6	1
e. 41 台以上、50 台以下	1	0.2
f. 51 台以上	12	2



※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 5-1 貴施設理学療法部門に超音波画像装置が設置されていますか。 n=522

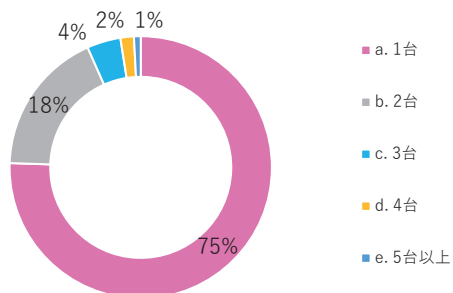
	n	%
a. 有	241	46
b. 無	281	54



※質問 5-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

質問 5-2 「リハビリテーション部門に設置されている」台数をお答えください。 n=241

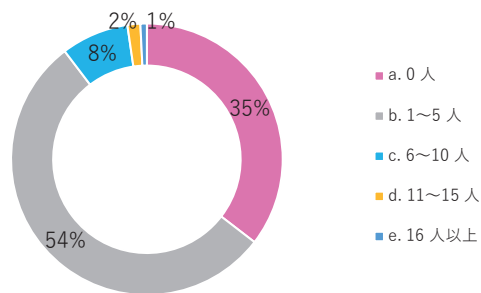
	n	%
a. 1 台	182	75
b. 2 台	43	18
c. 3 台	10	4
d. 4 台	4	2
e. 5 台以上	2	1



※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。

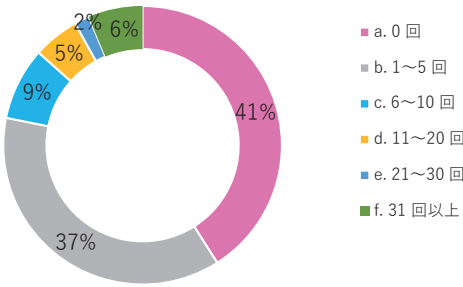
質問 6 超音波画像装置の使用状況をお教えてください。超音波画像装置を利用している理学療法士数をお教えてください。（常勤換算） n=522

	n	%
a. 0 人	185	35
b. 1～5 人	283	54
c. 6～10 人	42	8
d. 11～15 人	8	2
e. 16 人以上	4	1



※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。
質問 7 超音波画像装置の使用頻度は何回ですか？理学療法士全員による 1 週間あたりの回数を
記入ください。n=522

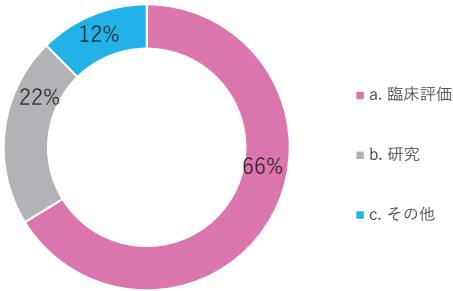
	n	%
a. 0 回	214	41
b. 1～5 回	194	37
c. 6～10 回	44	9
d. 11～20 回	28	5
e. 21～30 回	9	2
f. 31 回以上	33	6



理学療法評価 2
主治医が必要と判断される場合
医師がボトックス施注時のアシスト
医師、臨床検査技師が評価をする為
治療及び効果判定
徒手との融合 リアルタイム治療
臨床検査技師
検査
効果判定（動態の観察）
エコーガイド下徒手療法
可視化しての運動療法
患部の評価、ガイド下での徒手療法、運動療法
野球肘検診
看護師連携
RA、深部静脈血栓症等の診断
資料作成

※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。
質問 8 超音波画像装置の使用目的をお教えてください。当てはまるものすべてを選んでください。
（複数回答可）n=522

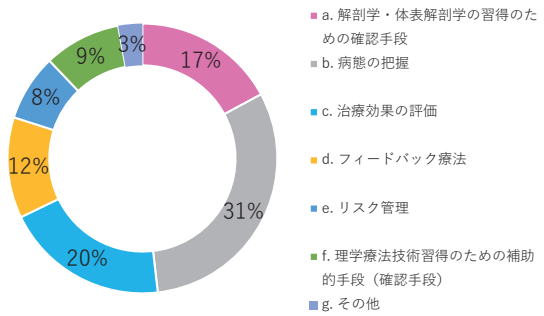
	n	%
a. 臨床評価	455	66
b. 研究	147	22
c. その他	85	12



[その他 記入内容]
使用なし 26
勉強／勉強会 16
医師による使用 7
治療 5
導入に向けて勉強・練習中 4
視覚的フィードバック 3
教育（触診技術／解剖） 2
診断（診断補助） 2

※質問 4-1 で「有」を選択した回答者が対象です。
質問 9 超音波画像装置の具体的な使用目的をお教えてください。当てはまるものすべてを選んで
ください。（複数回答可）n=522

	n	%
a. 解剖学・体表解剖学の習得のための確認手段	249	17
b. 病態の把握	452	31
c. 治療効果の評価	286	20
d. フィードバック療法	176	12
e. リスク管理	116	8
f. 理学療法技術習得のための補助的手段（確認手段）	134	9
g. その他	42	3

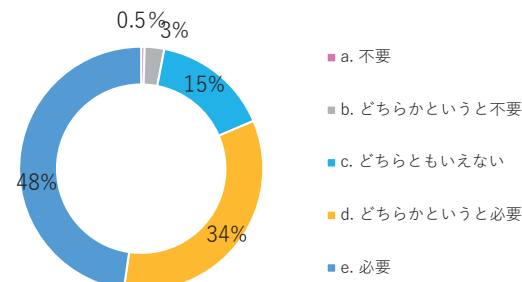


[その他 記入内容]
なし 23
医師が使用 2
研究 4
ボトックス 4

治療 3
各診療科での検査
エコーガイド下のブロック注射
エコーガイド下徒手療法
炎症所見の評価

質問 10-1 臨床現場で理学療法士に超音波画像装置は必要だと思いますか？ n=656

	n	%
a. 不要	3	0.5
b. どちらかというとな	17	3
c. どちらともいえない	102	15
d. どちらかというとな	221	34
e. 必要	313	48

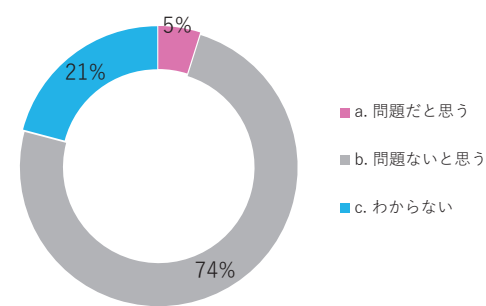


質問 10-2 質問 10-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

- [e. 必要] 250 件
正確な病態把握、正確な触察、客観的な軟部組織の動態評価、効果的な治療、適切な患者教育が可能となるため非常に有用である、理学療法の評価・治療のエビデンス構築には必要である、という意見が非常に多くあった。
- [d. どちらかというとな] 147 件
非侵襲的にリアルタイムで組織動態や触診部位、損傷部位や形態を確認できるため有益である、法律上の問題等が無ければ、病態理解や症状改善の把握ができるため有益、患者へのフィードバックがしやすい、という意見が多くあった。
- [c. どちらともいえない] 58 件
評価と治療の精度を上げる意味では必要であるが費用対コストを考慮すると不要である、診断はできないので、診療報酬に直結しないので、使いこなせていないから（準備が必要である）、臨床上有用な知見が出てくれば必要、などの意見が多くあった。
- [b. どちらかというとな] 13 件
必要だと感じているが、知識や技術がないこと、信頼性がない、医師が用いるべき、などの意見があった。
- [a. 不要] 3 件
コスト面、現状で使用できない、などの意見があった。

質問 11-1 貴施設は臨床現場で理学療法士が超音波画像装置を使用することが問題であると思いますか？ n=656

	n	%
a. 問題だと思う	32	5
b. 問題ないと思う	487	74
c. わからない	137	21



質問 11-2 質問 11-1 で各回答を選んだ理由を教えてください。(任意)

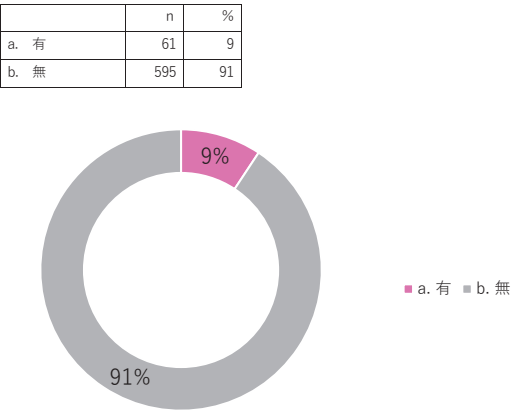
- [b. 問題ないと思う] 295 件

理学療法評価の一部という点では問題ない、診断さえしなければ問題ない、超音波自体を物理療法として実施しているため問題がない、非侵襲的であるため、患者の同意が得られれば良いと思う、正しい知識かつ使用方法を理解した上で用いるには有用性が高い、という意見が多くあった。
- [c. わからない] 79 件

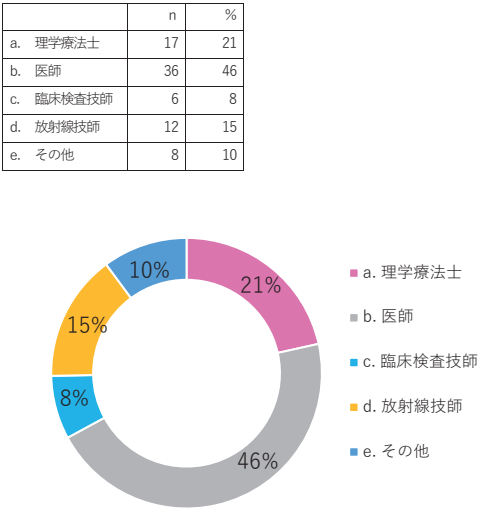
有用性は感じているが、放射線技師など専門性を有している職種がいる中で実務的な場面で問題になりそう、医師の診断と PT の検査結果の違いによって現場（患者）に混乱が生じる恐れがある、医師-PT 間の十分なコミュニケーションにより回避可能だが、全国レベルで考えると不具合が生じるのではとも思う、診断は医師がするものであり、PT が超音波を利用することにより診断行為として捉えられる可能性があるため、病態把握は良いが診断との線引きがあいまいになってしまう、技術が伴っていない状態での使用は診療の助けになるよりも時間をとる無駄な作業になるため、十分な勉強や練習が必要になる、という意見があった。
- [a. 問題だと思う] 31 件

診断の恐れがあるため、診断的なことを話してしまう可能性がある、用途を誤りやすい、時間的な余裕がない、という意見があった。

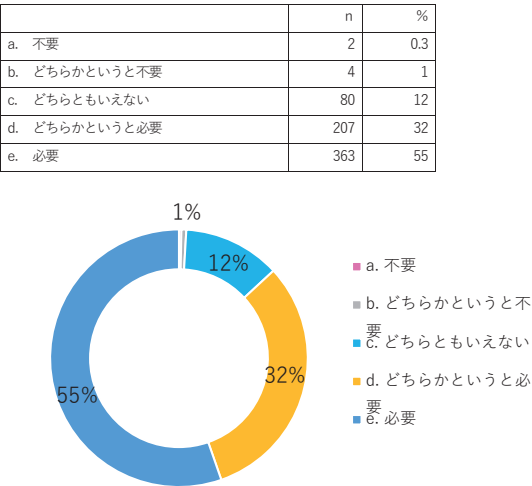
質問 12-1 あなたは臨床現場で理学療法士が超音波画像装置を使用することが問題であると指摘されたことがありますか？ n=656



※質問 12-1 で「有」を選択した回答者が対象です。
質問 12-2 誰から問題であると指摘されたか教えてください。(複数回答可) n=61



質問 13-1 研究における超音波画像装置の必要性について、お考えをお聞かせください。 n=656



質問 12-3 質問 12-2 の回答を選んだ理由を教えてください。(任意)

以下の意見が多く挙げられていた。

- ・技術、知識不足
- ・診断行為につながる可能性を指摘された
- ・病院の体制として
- ・診療報酬や時間的問題
- ・使用する上での資格的背景
- ・法律上の問題

質問 13-2 質問 13-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

[a. 不要] 0 件

[e. 必要] 208 件

非侵襲的にリアルタイムに身体内部の可視化ができ、数値化ができる、エビデンスの蓄積に必要不可欠、数値化・客観的な定量的データに基づく研究を行うにあたって必須、という意見が数多くあった。

[d. どちらかという必要] 102 件

非侵襲的であり、リアルタイムに可視化できることや客観的なデータ収集に有効である、という意見が数多くあった。

[c. どちらともいえない] 35 件

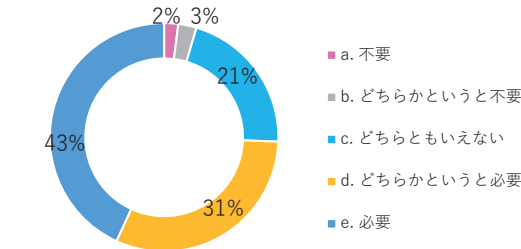
前段階として医師の理解が必要であり、これをクリアしなければ臨床研究の発展はないため、エコーが無くても研究する方法はいろいろあるため、研究よりも臨床が優先、知識不足、信頼性・正確性が不明、という意見があった。

[b. どちらかという不要] 3 件

手法が不確実で統一されたものは多くない、準備に時間を要する、一般病院では研究のためだけに高い装置を購入することもない、という意見があった。

質問 14-1 教育（卒前・卒後）における超音波画像装置の必要性について、お考えをお聞かせください。 n=656

	n	%
a. 不要	13	2
b. どちらかという不要	17	3
c. どちらともいえない	138	21
d. どちらかという必要	205	31
e. 必要	283	43



質問 14-2 質問 14-1 の回答を選んだ理由を教えてください。（任意）

[e. 必要] 168 件

臨床や研究に必要なツールであり適切な教育を受けて実践してほしい、知識・技術の保証という点で特に卒前において重要である、触診や治療技術を可視化することで、教育効果を高める、臨床現場での必要性について教育段階から知っておくこと意義がある、という意見が数多くあった。

[d. どちらかという必要] 98 件

解剖や病態を理解することができる、使用に慣れておくことは必要、臨床において超音波画像診断が広く行われる可能性があり、養成段階で習熟することに意義がある、という意見が多くある一方で、不要な専門領域もある、学習時間とその労力や費用を考えると必須ではない、という意見もあった。

[c. どちらともいえない] 62 件

必ずしも誰にとっても必要なものとは言い切れない、施設によって使用頻度、使用状況が異なる、そもそも臨床現場での必要性がはっきりしていないため教育場面での必要性を論議する段階ではない、という意見があった。

[b. どちらかという不要] 10 件

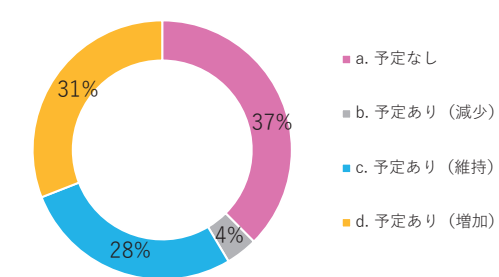
臨床でまだそこまで使用されていない、他に学ぶべきことがたくさんあるので卒前教育では必要ない、まずはしっかりとした基礎知識・理学療法の流れを学習するべき、臨床現場に出てから必要に応じて学べばよい、という意見があった。

[a. 不要] 5 件

卒前・卒後においては、なに（専門職としてだけでなく、医療人・社会人も）を教育するが重要な点であり、優先順位としては低い、みんなが必要というものではない、他に習得すべき重要なことが多い、という意見があった。

質問 15 今後の臨床現場における超音波画像装置の使用予定をお教えてください。 n=656

	n	%
a. 予定なし	246	37
b. 予定あり（減少）	26	4
c. 予定あり（維持）	181	28
d. 予定あり（増加）	203	31



質問 16 超音波画像装置を有効に活用するために卒前教育に求めることは何ですか？

<自由記載要約>

以下の意見が多く挙げられていた。

- ・あくまでも理学療法評価の一部として使用することが原則であり、画像診断的な表現や診断と誤解される使用・表現をしないための教育。
- ・基本的な使用方法や画像の見方、活用に関する方法。
- ・機能解剖学や超音波解剖学、病態生理学などの知識。

質問 17 超音波画像装置を有効に活用するために卒後教育（生涯学習）に求めることは何ですか？

<自由記載要約>

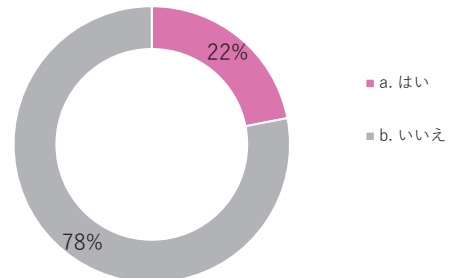
以下の意見が多く挙げられていた。

- ・基本的なエコーの知識・技術の研修会（座学・実技セミナー）。
- ・傷害別・部位別のエコー基礎知識の研修会（ハンズオン）。
- ・医師や他職種との情報共有・ディスカッション。
- ・継続的な生涯学習制度（協会、県士会レベル）。

2.超音波画像装置を用いた「研究」についてお聞きします。

質問 18 超音波画像装置を用いた研究を実施していますか？ n=656

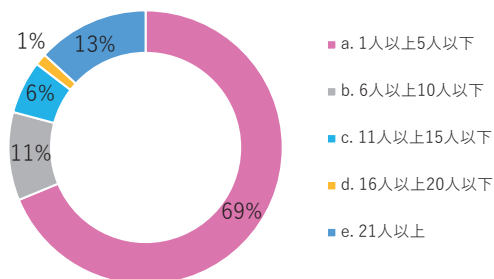
	n	%
a. はい	144	22
b. いいえ	512	78



※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 19 理学療法士による臨床研究における超音波画像装置の使用人数（延べ人数）を教えてください（過去 3 年間）。 n=144

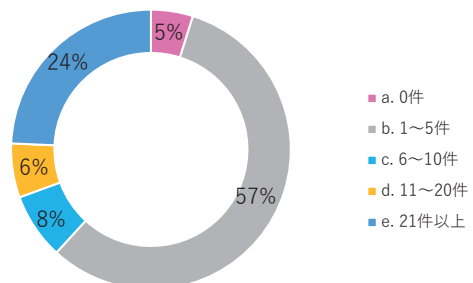
	n	%
a. 1人以上5人以下	99	69
b. 6人以上10人以下	15	11
c. 11人以上15人以下	9	6
d. 16人以上20人以下	2	1
e. 21人以上	19	13



※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 20 理学療法士による臨床研究における超音波画像装置の使用件数（延べ件数）を教えてください（過去 3 年間）。 n=144

	n	%
a. 0件	7	5
b. 1～5件	82	57
c. 6～10件	11	8
d. 11～20件	9	6
e. 21件以上	35	24

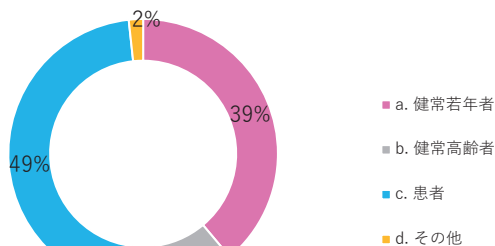


※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 21-1 超音波画像装置を用いた研究の被験者について教えてください（複数回答可）。

n=144

	n	%
a. 健康若年者	91	39
b. 健康高齢者	23	10
c. 患者	116	49
d. その他	4	2



[その他 記入内容]
アスリート
チームのフィジカルチェック
新鮮凍結屍体（大学院での研究）
動物

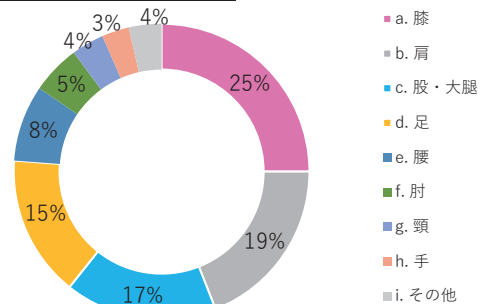
※質問 21-1 で「c.患者」を選択した回答者が対象です。

質問 21-2 質問 21-1 で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどここの部位かをご記入ください。n=116

例：頸部、腰部、膝部、足部

*下記の a~i にグループ分けして集計を行った。

	n	%
a. 膝	42	25
b. 肩	32	19
c. 股・大腿	28	17
d. 足	26	15
e. 腰	14	8
f. 肘	9	5
g. 頸部	6	4
h. 手	5	3
i. その他	6	4



[その他 記入内容]
・横隔膜
・呼吸器疾患
・前立腺～膀胱
・舌骨周囲

※質問 21-1 で「c.患者」を選択した回答者が対象です。

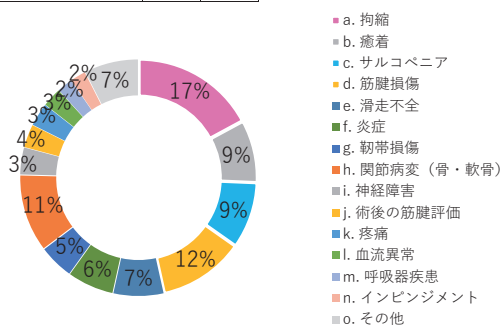
質問 21-3 質問 21-1 で「c. 患者」を選んだ方は具体的にどのような病態かをご記入ください。

n=116

例：拘縮、癒着

*下記の a~o にグループ分けして集計を行った。

	n	%
a. 拘縮	32	17
b. 癒着	16	9
c. サルコペニア	17	9
d. 筋腱損傷	22	12
e. 滑走不全	13	7
f. 炎症	12	6
g. 靭帯損傷	9	5
h. 関節病変（骨・軟骨）	13	11
i. 神経障害	7	3
j. 術後の筋腱評価	6	4
k. 疼痛	6	3
l. 血流異常	5	3
m. 呼吸器疾患	4	2
n. インピンジメント	4	2
o. その他	22	7



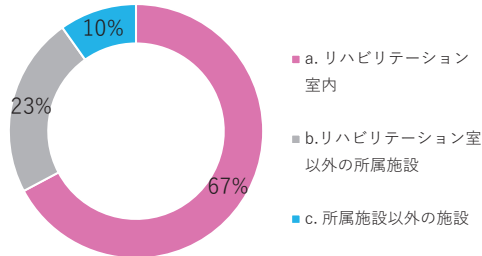
[その他 記入内容]

・組織修復状態
・疾患別症状評価、トレーニング効果など
・集中治療術後患者
・治療効果の検証
・心不全
・脳性麻痺
・脳梗塞発症初期
・パネ指
・機能低下
・ICU 患者
・投球障害
・アライメント異常
・嚥下障害
・ウイメンズ領域
・前立腺がん

※質問18で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問22-1 超音波画像装置を用いた研究の実施場所を教えてください（複数回答可）。 n=144

	n	%
a. リハビリテーション室内	123	67
b. リハビリテーション室以外の所属施設	42	23
c. 所属施設以外の施設	18	10



質問22-2 質問22-1で「c.施設外」を選んだ方は具体的にどこに記入ください。 n=18

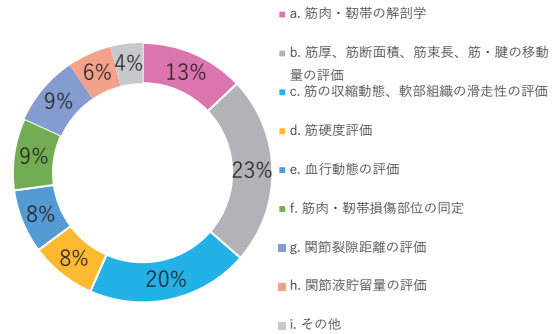
- ・大学 6
- ・大学院 3
- ・スポーツ現場 4
- ・他医療施設 2
- ・教育研究機関
- ・講演会の会場
- ・高校
- ・球技場、体育館
- ・超音波検査室
- ・区民館
- ・地域

- ・骨折部離開ストレスの評価
- ・既存の治療効果の判定
- ・軟部組織
- ・関節包の肥厚
- ・エコーの再現性
- ・術後（ARCR）の経過観察
- ・尿量
- ・滑膜の肥厚と可動域の関連

※質問18で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問23 研究における超音波画像装置の使用目的を教えてください（複数回答可）。 n=144

	n	%
a. 筋肉・靱帯の解剖学	52	13
b. 筋厚、筋断面横、筋束長、筋・腱の移動量の評価	94	23
c. 筋の収縮動態、軟部組織の滑走性の評価	81	20
d. 筋硬度評価	33	8
e. 血行動態の評価	32	8
f. 筋肉・靱帯損傷部位の同定	36	9
g. 関節裂隙距離の評価	35	9
h. 関節液貯留量の評価	22	6
i. その他	16	4



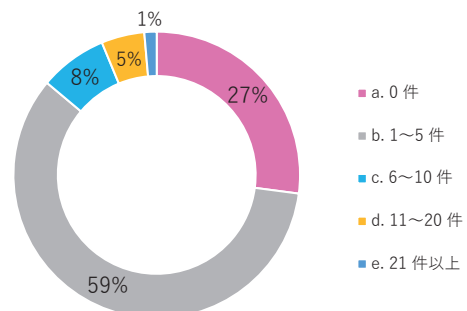
[その他 記入内容]

- ・神経（動き・機械的機能・分岐部） 4
- ・骨軟骨障害の評価 2
- ・半月板の逸脱（移動量）の評価 2

※質問18で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問24 国内での超音波画像装置を用いた研究による学会発表件数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去3年間）。 n=144

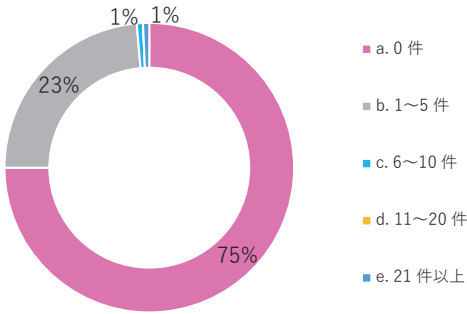
	n	%
a. 0件	39	27
b. 1～5件	85	59
c. 6～10件	11	8
d. 11～20件	7	5
e. 21件以上	2	1



※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 25 国外での超音波画像装置を用いた研究による学会発表件数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去 3 年間）。 n=144

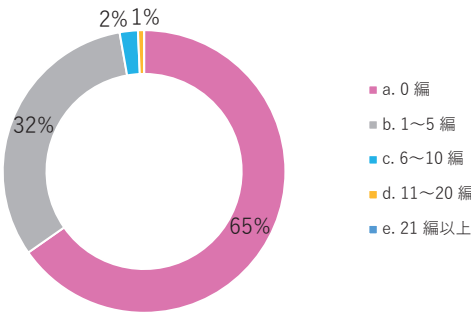
	n	%
a. 0 件	108	75
b. 1～5 件	34	23
c. 6～10 件	1	1
d. 11～20 件	0	0
e. 21 件以上	1	1



※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 26 超音波画像装置を用いた研究による国内学術誌への採択論文数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去 3 年間）。 n=144

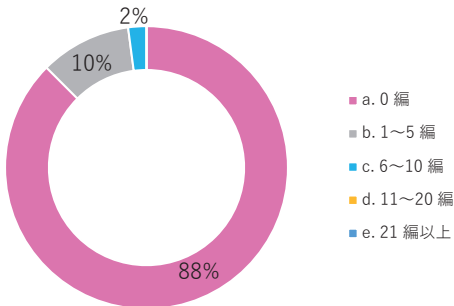
	n	%
a. 0 編	94	65
b. 1～5 編	46	32
c. 6～10 編	3	2
d. 11～20 編	1	1
e. 21 編以上	0	0



※質問 18 で「はい」を選択した回答者が対象です。

質問 27 超音波画像装置を用いた研究による国際学術誌への採択論文数（貴施設に所属する理学療法士全員の合計）を教えてください（過去 3 年間）。 n=144

	n	%
a. 0 編	126	88
b. 1～5 編	15	10
c. 6～10 編	3	2
d. 11～20 編	0	0
e. 21 編以上	0	0



質問 28 その他ご意見があればお聞かせください。 n=109

<自由記載要約>

- 以下の意見が多く挙げられていた。
- ・超音波画像装置は、非侵襲的検査で簡便に使用ができ、軟部組織の動態、形状、硬さ、血流動態などをリアルタイムに客観的（一部）に把握できるため、理学療法評価や治療のエビデンスの構築に重要である。
 - ・機器の導入に対するハードルの高さ（コスト面等）や時間的制約が課題である。
 - ・研究、臨床での使用に関するガイドラインの作成が必要。
 - ・理学療法士が使用することに関する法的整備（厚労省や医師会への働きかけ）が必要。
 - ・指定規則、コアカリキュラムや診療報酬への対応。
 - ・協会・学会としての取り組み（研修会、エコーのレンタル、など）。

基礎理学療法学 投稿規定

改訂：2018（平成30）年04月17日

改訂：2021（令和3）年06月16日

改訂：2022（令和4）年05月13日

1. 目的

日本基礎理学療学会の学術誌として、理学療法に関する学術的情報公開の場を提供し、理学療法の基礎研究を通して理学療法学の発展に貢献することを目的とする。

2. 投稿記事の種類

原著、短報、総説、その他編集部で掲載を承認されたものとする。投稿原稿は他紙に掲載予定がなく未発表の邦文とし、他紙への同時投稿は認めない。また、総説は編集部からの依頼原稿のみとする（システマティックレビューを除く）。

3. 投稿者の資格

本誌への投稿記事は、基礎理学療法学の発展に寄与する論文であれば会員に限らず受理する。

4. 本文の字数および図表の枚数

〔原著〕

原則として文献を含め12,000字以内とする（図表は含めない）。図表は10枚以内とする。

〔短報〕

原則として文献を含め6,000字以内とする（図表は含めない）。図表は4枚以内とする。

5. 執筆要項

- 1) 原稿はWindows版のMicrosoft word、またはテキストファイルを用いてA4判の用紙に横書きで作成する。用紙には左端に通しで行番号を入れ、一段組み12ポイントの文字で、ダブルスペースにて40字×20行（1ページ当たり800字）で入力する。また、下部中央にはページ番号を挿入する。常用漢字、ひらがな、現代かなづかいを用い、文献、人名、薬品名、生物学名などは原語を用いる。
- 2) 英数文字や記号は半角とし、原則として特殊文字は使用しない。ただし、特殊文字で表記せざるをえないものについては、表記文字とその表記場所を記載したリスト（1部）を添付し、提出する原稿にもその表記場所を朱字でマークする。
- 3) 数字は算用数字を用い、度量衡単位は国際単位系（SI単位）を用いる（長さ：m、質量：kg、時間：s、

温度：℃、周波数：Hz等）。

- 4) 原著、短報については原則として緒言（はじめに）、対象と方法、結果、考察、結論、利益相反、謝辞、文献等の小見出しをつけ、これらの順に構成・記載する。助成金等の研究資金に関する情報は謝辞に記載すること。
- 5) 表紙には論文タイトル、著者氏名（著者の資格を示すもの、例えばPhD、PTなど）、所属および投稿責任者（Corresponding author）の連絡先（住所、電話番号、FAX番号、E-mail address）、専門領域、投稿記事の種類、原稿の枚数、図表の枚数を記載する。専門領域は学会ホームページに記載されている（<http://jspt.japanpt.or.jp/jsptf/>）。
- 6) 和文の要旨（400字）とキーワード（5つ以内）を添付すること。
- 7) 英語の表題、著者名、所属、要旨（250語程度）、キーワード（5つ以内）を添付すること。
- 8) 図表は本文とはページを分けて記載する。記載順序は、文献の後に、図表説明、表、図の順とする。また、図表は用紙1枚につき1つ記載する。
- 9) 図表の説明には、図表の番号、タイトルおよび簡潔な説明を含めること。
- 10) 図の中の線（直線、曲線など）、文字、数字、記号などは、縮小印刷した場合にも判読可能な大きさとする。特に、写真に関しては縮小・拡大しても印刷に耐えうる程度の解像度（300 dpi程度）を有すること。また、表に関しては、必要がない限り縦線を含めないこと。
- 11) 引用文献は必要最小限にとどめ、引用順に通し番号をつけ、本文の最後に「文献」として引用順に列挙する。番号は本文中の引用箇所の右肩上に右片カッコにしてつける（すべて半角文字を用いる）。著者は全て連記する。
- 12) 文献の記載方法は以下の例に従う。
（雑誌の場合）
1) Yoshimura A, Fujitsuka C, Kawakami K, Ozawa N, Ojala H, Fujitsuka N: Novel myosin isoform in nuclear chain fibers of rat muscle spindles produced in response to endurance swimming. J Appl Psychol 73: 1925-1931, 1992

- 2) 曾我部正博, 成瀬恵治, 曾我浩之: 膜伸展によって活性化されるイオンチャンネル. 心臓 24: 333-343, 1992 (書籍の場合)
- 3) King A, Cavanaugh JM: Neurophysiologic basis of low back pain. In The Lumbar Spine. Wiesel SW, Weinstein JN, Herkowitz H (Ed.). Philadelphia, WB Saunders, pp 74-80, 1996
- 4) 熊沢孝朗: 痛みのメカニズム. 新医科学大系 7. 星猛 (編). 東京, 中山書店, pp 153-167, 1995

6. 倫理

実験はヘルシンキ宣言に基づく倫理基準, あるいはわが国の医学系研究に関する倫理指針・動物実験関連法規を遵守して実施されなければならない。当該研究がこれらのガイドラインに従って実施されたことを投稿論文内に明記し, さらに所属機関の倫理委員会, あるいは実験動物委員会等が発行した承認書の承認番号を論文中に記載するものとする。

7. 利益相反

利益相反がある場合は, その旨原稿に明記すること。なお, 利益相反に関しては, 厚生労働省の指針を参照すること。

8. 投稿手続

投稿の際には以下のファイルを編集部 (jptf-edit@kiso.jspt.or.jp) 宛に送付する。

- 1) 原稿ファイル: Microsoft Word で作成すること (原稿ならびに図表)。
- 2) 投稿承諾書
- 3) 利益相反自己申告書

投稿承諾書と利益相反自己申告書は学会ホームページ (<http://jspt.japanpt.or.jp/jsptf/>) からダウンロードして作成し, その PDF ファイルを提出すること。

なお, 原稿受付年月日は原稿が編集部に着した日とし, 受理年月日は原稿の審査が終了し, 掲載可能となった日とする。

9. 引用・転載の許諾について

他著作物からの図表の引用・転載については, 著作権保護のため原出版社および原著者の許諾が必要である。

引用・転載を行う場合は投稿者があらかじめ許諾を得て, その旨を図表説明に明記すること。

10. 掲載に関する費用

筆頭著者または共著者のいずれかに理学療法士の免許を有する日本理学療法士協会の非会員が含まれる場合は, 理学療法士の非協会員 1 名あたり下記の審査料と掲載料を徴収する。なお, 協会員権利が停止している協会員についても同様に審査料と掲載料を徴収する。

	審査料	掲載料 (刷上がり 1 ページあたり)
学会員・協会員	無料	無料
理学療法士でない 非協会員 (他職種・学生)	無料	無料
理学療法士の 非協会員	¥10,000 (税別)	¥10,000 (税別)

※審査料は投稿受付時に発生し, 請求書を送付する。指定期日までに審査料の振込みが確認できない場合は審査を中断することがある。

※投稿料は論文採択時に発生し, 請求書を送付する。指定期日までに審査料の振込みが確認できない場合は掲載を取り消すことがある。

※一度納入された審査料・掲載料はいかなる理由があっても返却しない。

11. その他

- ・掲載された論文等の著作権は日本基礎理学療法学会に属する。
- ・採用された原稿の印刷校正は投稿者の責任において行い, 初稿のみとする。

基礎理学療法学 編集委員会

関西医科大学 リハビリテーション学部

理学療法学科内

〒573-1136 大阪府枚方市宇山東町 18-89

E-mail: jptf-edit@kiso.jspt.or.jp

一般社団法人 日本基礎理学療法学会 学術局学術誌部

学術局長	市橋則明				
編集委員長	中野治郎				
編集委員	木山良二	坂本淳哉	田中貴士	谷口匡史	福本悠樹
	福元喜啓	宮本俊朗	森下勝行		
査読委員	阿南雅也	荒川高光	稲垣 武	今北英高	梅原 潤
	江玉睦明	大塚 圭	小栢進也	小澤淳也	嘉戸直樹
	金村尚彦	木内隆裕	榊間春利	相馬俊雄	高橋尚明
	高松泰行	高橋容子	田中浩基	野嶋一平	東藤真理奈
	飛山義憲	廣野哲也	深谷泰山	藤田直人	文野住文
	松木明好	宮崎宣丞	森 明子	吉田啓晃	(五十音順)

編集後記

ここに、基礎理学療法学第28巻第1号をお届けいたします。本号には、3編の原著論文を掲載し、動物実験によるメカニズムの解明から評価バッテリーの開発・検証に至るまで、基礎理学療法学の幅広い研究領域を涵蓋する成果が報告されています。いずれも、理学療法の科学的基盤を探究し、その知見を臨床へ還元するという本誌の理念を体現するものです。また、本号には、超音波画像装置を用いた理学療法士の教育・研究・臨床使用に関する実態調査の報告書を収載いたしました。成功裡に幕を閉じた第30回日本基礎理学療法学会学術大会において開催された関連学会合同シンポジウムでも、理学療法士による超音波画像装置の活用法の深化と課題解決に向けて活発な討議がなされました。本報告が今後の臨床実践ならびに教育・研究の発展に寄与することを期待いたします。結びに、当誌へご投稿くださった著者、査読にご尽力賜りました先生方に謝意を表します。本誌が今後も理学療法学の学術的発展に資する場として一層の充実を遂げることを願っております。

(谷口 匡史)

基礎理学療法学

28巻 第1号

2025年10月31日 発行

編集
発行

一般社団法人
日本基礎理学療法学会
〒106-0032
東京都港区六本木七丁目11-10

DTP

株式会社東京プレス
〒161-0033
東京都新宿区下落合3-12-18

