

---

# 卒業研究論文集

第 18 卷

---

ANNUAL REPORTS OF GRADUATION THESES

Vol. 18

長崎大学医学部保健学科

理学療法学専攻 18 期生

2022 年

# 卒業研究論文集 第18巻 2028年

## 目次

### 卒業研究論文

膝関節硬性固定装具が歩行時の隣接関節角度と荷重量へ及ぼす影響 ..... 有田 翔	1
筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対するベルト電極式骨格筋電気刺激法の効果 ー低強度の筋収縮運動の影響ー ..... 石木雄大・孝橋怜奈	6
変形性膝関節症に対する疼痛軽減効果を得るために必要な運動の要素の検討 ー変形性膝関節症モデルラットを用いた基礎的検討ー ..... 小川祥広・福山りか子	14
捻挫の既往が歩行時立脚相に与える影響について ー前額面における下腿の角度・モーメントに着目してー ..... 境 臣太朗	20
呼吸法の相違がバランス能力に与える影響 ..... 瀬口千晶・中島史理	27
関節リウマチの関節運動前後の超音波所見の変化について ..... 平本友乃	33
高齢者サロン参加者のサルコペニアの状況と身体機能及び生活機能との関連について ..... 村田優衣	39
頸部屈曲筋力と呼吸筋力および舌圧との関連性 ..... 山木惇平	46

# 膝関節硬性固定装具が歩行時の隣接関節角度と荷重量へ及ぼす影響

有田 翔

## 要旨

【目的】膝関節硬性固定装具が歩行時の隣接関節角度と荷重量に及ぼす影響を検証した。【対象と方法】健常若年成人 17 名(男性 11 名, 女性 6 名)(平均年齢 23.0±2.9 歳)の右膝に硬性関節固定装具を装着し, 股関節の内転-外転角度, 足関節の背屈-底屈角度, 荷重量を計測した。【結果】装具歩行群では, 歩行周期を通して股関節外転角度が有意に拡大した。また, 足関節は全体として装具歩行で背屈角度が増加し, 底屈角度が減少していた。歩行周期別では, 特に遊脚期初期～中期での背屈角度拡大, 立脚期前期と終期での底屈角度減少が顕著であった。荷重量は両下肢および装具の有無で有意な差はなかった。【結論】膝関節を固定すると, 歩行時のトゥクリアランスを確保するため股関節外転角度, 足関節背屈角度を挙げる代償動作が出現すると考えられる。

## はじめに

骨折や靭帯損傷など膝関節の外傷直後および術後においては, 疼痛軽減, 組織保護, 治癒促進を促す目的でギプスや硬性装具による制動性が高い外固定を行うのが一般的である<sup>1-3)</sup>。病態によっては膝関節を固定した状態での荷重を行うことがあり<sup>2)</sup>, 特に膝前十字靭帯再建術直後には移植腱と骨孔を保護しながら筋力低下を予防するため, 膝固定装具での荷重歩行訓練が推奨されている<sup>4)</sup>。また, 脳血管障害, 重度変形性膝関節症, 膝関節固定術後など膝関節の可動性が制限された状態で歩行する患者も少なくない。このような症例に歩行訓練を行う場合, 健常者の正常歩行パターンを再現することは困難であり, 膝関節が固定された状態での歩行パターンを基本(目標)として介入する必要がある。

これまで脳卒中患者や変形性膝関節症患者を想定し, 膝関節可動性を装具などで制動した状態で歩行を分析した文献は散見される<sup>5, 6)</sup>が, 硬性固定装具が歩行時の隣接関節に及ぼす影響について検討した先行研究は極めて少ない。

そこで本研究では, 膝関節硬性固定装具が歩行時の股関節および足関節角度に及ぼす影響を三次元動作解析にて客観的に検証することを目的とした。

## 対象と方法

対象は四肢の運動器疾患や神経疾患の既往がない健常成人ボランティア 17 名(男性 11 名, 女性 6 名)(平均年齢 23.0±2.9 歳)である。除外基準は, 研究期間中に四肢体幹の神経疾患もしくは運動器疾患を有する者, 研究期間中に運動を制限すべき疾患を有する者, 下肢関節に可動域制限や疼痛を有する者, 研究への参加を拒否した者とした。対象者の基本情報(年齢, 身長, 体重, 既往歴, スポーツ歴, 喫煙歴など)は事前に自記式アンケートにて収集した。本研究はヘルシンキ宣言および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針に基づき, 対象者に本研究の内容と目的を文書及び口頭にて説明し, 研究参加への同意を得た。

### 1. 三次元動作解析

歩行解析ソフトウェアである Plug in Gait model (Plug-in-gait, Vicon<sup>®</sup>Peak 社)を参考に, 両側の上前腸骨棘, 大転子, 膝関節外側裂隙, 足関節外果, 第 5 中足骨頭の合計 10 箇所直径 14mm の赤外線反射マーカを貼付した。歩行中のマーカ座標を, 赤外線カメラ 10 台を用いた三次元動作解析装置(ローカス 3D MA-3000, アニマ社製)を用いて, サンプリング周波数 120Hz で

計測した。床反力データは4点支持型設置式フォースプレート(MD-1000, アニマ社製)を用いてサンプリング周波数 500Hz で計測し, マーカ座標データと同期させた。

## 2. 運動課題, 使用装具

運動課題は 3.5m の直線歩行路における歩行補助具を使用しない歩行とし, 上肢の肢位は規定しなかった。第 2 歩目以降で左右個別に床反力計に接地した試行を成功とし, 最低でも成功回数が 3 回となるまで測定した。装具歩行では, 右下肢に膝硬性固定装具(knee splint 屈曲型, 日本シグマックス社製)(図 1)をしっかりと装着し, 歩行速度は快適速度, 裸足とした。股関節, 足関節の角度は, 装具なしの静止立位の状態を 0° と定義し, 股関節は外転(プラス表示), 内転(マイナス表示)角度, 足関節は背屈(プラス表示), 底屈(マイナス表示)角度のピーク値の平均値を算出した。左右下肢の荷重量は床反力の垂直成分を抽出し, 体重で正規化した後の平均値を算出した。2 歩行周期(4 歩)分のデータを解析し, さらに足関節角度については各歩行周期を遊脚期(前・中・終期)と立脚期(前・中・終期)の 6 分割して検討した。



図 1 膝関節硬性固定装具

## 3. 統計学的検討

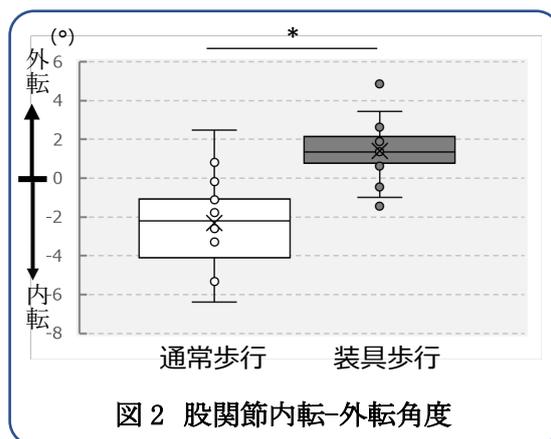
統計学的解析には Statcel3®を使用した。装具なしの通常歩行と装具歩行間での関節可動域と床反力および両下肢の荷重量は, 対応のある t 検定もしくは Mann-Whitney-U 検定による 2 群間

比較を行い, 有意水準はいずれも 5%未満とした。尚, 本研究は長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号:20080603)。

## 結果

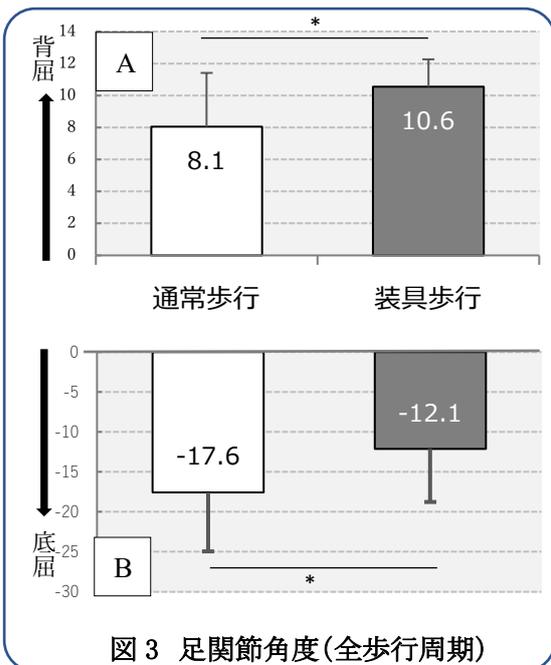
### 1. 股関節角度

全歩行周期における股関節内転-外転角度の平均値は, 通常歩行で内転 2.3°であったのに対し, 装具歩行では外転 1.4°であり, 装具装着によって有意に外転角度が大きくなった(図 2)。



### 2. 足関節角度

歩行周期全体を通じた足関節角度の平均値は, 背屈(通常歩行; 8.1°, 装具歩行; 10.6°), 底屈(通常歩行; 17.6°, 装具歩行 12.1°)であり, いずれも統計学有意差を認めた(図 3 A, B)。これを歩行周期別に分けた結果を表 1 に示す。遊脚期では前期と中期において装具歩行の足関節背屈角度が有意に拡大し, 前期から終期を通じて底屈角度は減少していた。



立脚期において、背屈角度は通常歩行も装具歩行も中期、終期が前期よりも増加する傾向を示したものの、両群間に有意な差は認められなかった。一方、底屈角度は前期と終期において装具装着した群が減少していた。

		通常歩行	装具歩行	P 値	
遊脚期	背屈	初期	0.5 (4.2)	9.4 (5.6)	<0.01
		中期	3.6 (3.4)	10.9 (6.0)	<0.01
		終期	1.8 (4.9)	5.0 (7.0)	0.05
	底屈	初期	-13.4 (6.7)	-9.3 (7.2)	0.08
		中期	-1.0 (3.8)	4.3 (7.3)	<0.01
		終期	-4.9 (5.4)	-0.7 (6.5)	0.03
立脚期	背屈	初期	4.4 (5.8)	7.6 (8.3)	0.19
		中期	12.7 (3.8)	14.2 (6.6)	0.39
		終期	12.5 (3.8)	13.8 (6.8)	0.43
	底屈	初期	-6.5 (6.0)	-3.8 (6.2)	0.04
		中期	2.4 (7.2)	4.7 (7.9)	0.23
		終期	-16.2 (4.1)	-9.7 (6.1)	0.04

(SD)

**表 1 足関節角度(歩行周期別)**

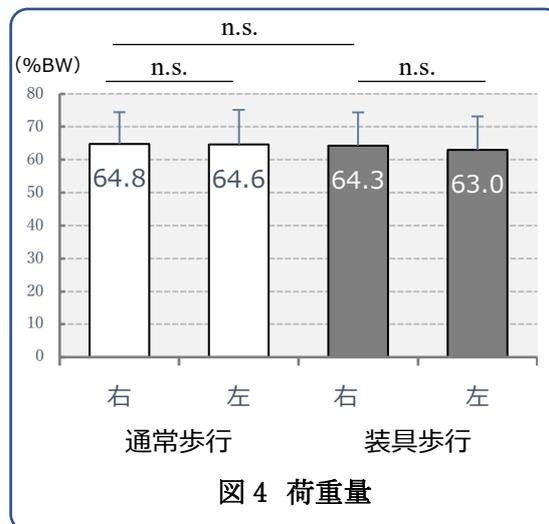
### 3. 下肢荷重量

左右下肢の荷重量は、通常歩行と装具歩行において左右差は認めなかった。また、右下肢荷重量についても、装具の有無で有意な差は認めなかった(図 4)。

### 考察

本研究では、膝関節が固定された模擬障害によって生じる隣接関節角度への影響を分析した。その結果、硬性膝固定装具の装着により歩行時の股関節の外転角度と足関節の背屈角度が増加し、足関節底屈角度が減少していた。一般的に、膝関節に固定性が高い装具やギプスを装着すると、棒状下肢となるため分回し歩行となる。

分回し歩行ではクリアランスを確保するため遊脚期に股関節を外転させる<sup>7,8)</sup>。本研究では歩行周期別の股関節角度の解析には至っていないが、これが股関節外転角度増加の主要因であると考えられる。



過去に膝関節固定装具による歩行中の足関節角度を検討した先行研究は渉猟し得ない。正常歩行の立脚期では 3 つの rocker function が重要な役割を果たしているとされている。膝を伸展させて踵接地した後の heel rocker function は踵を中心とした足部の回転により下腿を前方へ前進させており衝撃を吸収する準備をしている。荷重応答期においては、足関節底屈運動に伴う足関節背屈筋群の遠心性収縮により急激な荷重に伴う衝撃を吸収する<sup>7,8)</sup>。本研究で使用した膝固定装具は屈曲型であるため、踵接地よりも足底接地に近い形となり、接地時の heel rocker function が働かず、立脚期初期の足関節底屈角度が制限されたと考えられる。一方、正常歩行の立脚中期(荷重応答期)では、足関節を中心として下肢全体を回転(ankle rocker function)させて足関節底屈筋群の遠心性収縮により立脚下肢を安定させる。その後、立脚終期には前足部を中心に踵を挙上し(forefoot rocker function)、足関節底屈筋群の求心性収縮により身体重心の落下量を減少させると同時に蹴り出し(Push Off)により前進を促進させるという 2 つの重要な効果がある<sup>7,8)</sup>。しかし、装具によって正常な膝屈曲が制限された状態では、適切な踵挙上による蹴りだしが阻害されるため、立脚終期の足関節底屈角度

が減少したと推察される(図 5).



遊脚期では、装具歩行の前期、中期の背屈角度が増加し、中期～終期の底屈角度が減少していた。正常歩行では遊脚期に膝関節を屈曲させてトゥクリアランスと確保しつつ下肢を振り出す<sup>7,8)</sup>。しかし、膝固定装具を装着した状態ではこの正常な膝関節屈曲が阻害されるため、トゥクリアランスを捻出すべく隣接する股関節を外転させると同時に足関節を背屈位に維持したと考えられる。従って、膝固定装具を使用する患者や膝関節可動域障害のある患者に歩行訓練を実施する場合、股関節や足関節での代償動作が起こることを念頭においた介入が重要である。本研究で得られた知見は、膝関節外傷治療や可動域制限を伴う高齢者リハビリテーション医療にも応用できると考える。

本研究の限界として対象者が少なく、健常若年者に限定されていることが挙げられる。山添ら<sup>9)</sup>は膝関節固定によって体幹の傾斜や上肢によるバランス補正が行われると報告しているが、本研究では体幹と上肢の動きについては解析できていない。また、膝装具を装着する歩行訓練では松葉杖などの歩行補助具を使用して荷重制限を設定されることが多い。しかし、本研究では床反力計の計測を同時に行ったため、補助具の影響については考慮できていない。今後は、対象者の幅を広げ、より実臨床に近い条件で解析していく必要がある。

## まとめ

健常若年成人 17 名の膝関節固定装具の有無による隣接関節角度への影響を 3 次元動作解析装置で検討した。装具を装着した歩行では股関節外転角度が増加し、遊脚期前期～中期の足関節背屈角度増加、遊脚期中期～終期および立脚期前期と終期の足関節底屈角度減少を認められた。膝関節の可動域が制限されることにより、歩行中のトゥクリアランスを確保する代償動作を反映した影響が示唆された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご尽力を賜りました小関弘展教授ならびにご協力をいただいたボランティアの方々に心より謝意を表します。

## 参考文献

- 1) Knapik DM, Singh H, Gursoy S, et al: Functional bracing following anterior cruciate ligament reconstruction: A critical analysis review. *J Bone Joint Surg Rev.* 2021;9.
- 2) 米谷泰一, 辻井 聡, 濱田雅之: スポーツ障害・外傷における装具の役割. *日義肢装具会誌.* 2021; 37: 5-10.
- 3) 境 隆弘, 小柳磨毅, 中江徳彦, ほか:【新しい治療法と義肢装具】膝靭帯損傷の治療と装具療法. *日義肢装具会誌.* 2015; 31: 28-36.
- 4) 日本理学療法士協会(監修). 理学療法ガイドライン 第2版. 理学療法標準化検討委員会ガイドライン部会(編), 医学書院, 東京; 2021.
- 5) Whitehead CL, Hillman SJ, Richardson AM, et al: The effect of simulated hamstring shortening on gait in normal subjects. *Gait Posture.* 2007; 26: 90-96.
- 6) Harato K, Nagura T, Matsumoto H, et al: A gait analysis of simulated knee flexion contracture to elucidate knee-spine syndrome. *Gait Posture.* 2008; 28: 687-92.

- 7) Perry J, Burnfield J. ペリー歩行分析 正常歩行と異常歩行. 武田 功・他 (監訳), 医歯薬出版, 東京; 2012.
- 8) 江原義弘. 義肢装具における歩行評価 歩行分析の基礎 正常歩行と異常歩行. 日義肢装具会誌. 2012; 28: 57-61.
- 9) 山添大丈, 満上育久, 小川拓也, ほか: バランスとキネマティクスに着目した左膝関節固定時の歩行分析. 看護理工学会誌. 2020; 7: 33-42.

(指導教員 小関弘展)

# 筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対する ベルト電極式骨格筋電気刺激法の効果 —低強度の筋収縮運動の影響—

石木 雄大・孝橋 怜奈

本研究の目的は、ベルト電極式骨格筋電気刺激法(B-SES)による低強度の筋収縮運動が不動によって惹起されるラット腓腹筋の筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対して効果があるのかを検討することである。7週齢のWistar系雄性ラット26匹を無処置の対照群, 両側足関節を最大底屈位で2週間不動化する不動群, 不動の過程で1日15分間, 低強度のB-SES介入を行うB-SES①群, 同様に1日30分間, 低強度のB-SES介入を行うB-SES②群に振り分けた。なお, B-SESの刺激強度は足関節最大底屈筋力の20~30%を発揮する2.5mAとした。結果, 低強度のB-SES介入では筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛の発生を予防することは困難であったが, 筋痛に限ってはその進行を抑制する効果が認められた。つまり, 不動によって惹起される筋痛をできる限り軽度を抑えておくことで, その後の運動療法が積極的に実践できると思われる, 低強度のB-SES介入は意義あるものと考えられる。

## はじめに

骨格筋が不動に曝されるとアポトーシスに由来した筋核の減少が生じ, この筋核に制御されていた細胞質領域の処理のためにマクロファージが集積し, 結果, 細胞質領域が縮小し, 筋萎縮が生じるといわれている<sup>1)</sup>。また, 集積したマクロファージからは炎症性サイトカインであるinterleukin-1 $\beta$ (以下, IL-1 $\beta$ )が発現し, これを契機に線維芽細胞が活性化するとtransforming growth factor- $\beta$ 1(以下, TGF- $\beta$ 1)の発現も相まってコラーゲンの増生, すなわち線維化が発生し, 筋性拘縮に発展するといわれている<sup>2,3)</sup>。加えて, 不動に曝された骨格筋では, 痛みの内因性メディエータである神経成長因子(nerve growth factor, 以下, NGF)が発現するとされており<sup>4,5)</sup>, その産生細胞の一つがマクロファージである。つまり, 筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛といった不動に伴う骨格筋の可塑的变化の発生メカニズムに関わる重要事象は筋核のアポトーシスを発端としたマクロファージの集積と考えられている<sup>6)</sup>。

したがって, 筋核のアポトーシスを発端とした

マクロファージの集積を抑止できれば, 筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛といった骨格筋の可塑的变化を同時かつ効率的に予防できるのではないかと考えられ, 積極的な筋収縮運動の負荷が重要と思われる。そして, その介入戦略の一つとして, 骨格筋電気刺激療法(electrical muscle stimulation, 以下, EMS)があり, 特に最近開発されたベルト電極式骨格筋電気刺激法(belt electrode skeletal muscle electrical stimulation, 以下, B-SES)は下肢全体の骨格筋を同時に刺激できることから効果的ではないかと思われる<sup>7)</sup>。

所属研究室の先行研究<sup>8)</sup>では, 不動によって惹起される筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対するB-SESの効果が検討されている。具体的には, 8週齢のWistar系雄性ラット32匹を無処置の対照群と両側足関節を最大底屈位の状態で2週間不動化する不動群, 不動の過程で1:3の刺激サイクルで1日20分間, B-SESを実施するLF群, 同様に1:1の刺激サイクルで1日15分間, B-SESを実施するHF群に振り分け, 実験が行われている。なお, LF群, HF群ともに刺激周波数は下腿骨格筋に強縮を誘発する目的で50Hzとし,

刺激強度は筋力増強効果が期待される足関節底屈の最大筋力(maximal voluntary contraction, 以下, MVC)の 60%(以下, 60%MVC)が発揮される 4.7mA に設定されている。つまり, LF 群と HF 群では 1 回あたりの介入の際の筋収縮頻度に違いがあり, 具体的には LF 群は 1 回あたり 150 回, HF 群は 225 回の筋収縮頻度となる。そして, 結果をみると, 筋萎縮と筋性拘縮の進行抑制効果は HF 群のみに認められ, 筋痛の進行抑制効果は LF 群, HF 群ともに認められている。つまり, 不動によって惹起される筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対して B-SES を用いた介入は効果的であり, 特に筋収縮頻度が高くなる刺激条件が有効であることが示唆されている。

一方, 上記の先行研究<sup>8)</sup>における刺激強度は筋力増強効果が期待される 60%MVC を目安に設定されており, 負荷量としては高強度な条件といえる。しかし, 実際の臨床現場において不動が強いられるのは, ギプス固定などが必要な骨折後や安静臥床が必要な重篤疾患の急性期であり, このような場合, 不動後早期から高強度の筋収縮運動を実践することは困難である。そのため, 低強度の刺激強度による B-SES の効果を明らかにしなければ, 臨床応用は難しいと思われる。

そこで, 本研究では不動によって惹起される筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛に対する低強度の B-SES 介入の効果を検証することを目的とする。

## 予備実験

今回の研究では, 重篤疾患の急性期でも適用できるような低強度の筋収縮運動を想定しており, 具体的には 20~30%MVC が発揮される刺激強度を考えている。しかし, 所属研究室の先行研究<sup>8)</sup>では 20~30%MVC が発揮される刺激強度は明らかになっておらず, あわせてこの条件で刺激した場合, どの程度の実施時間で筋疲労による筋出力低下が見られるのか明らかになっていない。そこで, これらの点を検討するため以下の 2 つの予備実験を行った。

### 1. 予備実験①

まず, 20~30%MVC が発揮される刺激強度を明らかにするための予備実験を行った。実験動

物には 8 週齢の Wistar 系雄性ラット 3 匹を用いた。各ラットは 3 種混合麻酔薬の腹腔内投与によって麻酔し, 両側の大腿近位部と下腿遠位部に B-SES 電極を巻いた。B-SES の刺激条件は, 刺激周波数を 50Hz, 刺激サイクルを 2 秒通電, 2 秒休止の 1:1 サイクルとし, 電気刺激装置の出力強度(最大 100%)を 5%ずつ漸増させながら通電し, その際の両側足関節の底屈筋力をプッシュプルゲージ(アイコーエンジニアリング社製)を用いて測定した。なお, 各肢に対するそれぞれの出力強度での筋収縮回数は 3 回とし, その際の最大底屈筋力をデータとして採用した。

結果, 100%MVC の足関節底屈筋力は 4.88N であり, これに基づき 30%MVC を算出すると 1.46N, 20%MVC を算出すると 0.98N となる(図 1)。そして, 電気刺激装置の出力強度を 20%(通電電力;2.5mA)とした場合, 1.18N の底屈筋力が発揮され, これは約 24.2%MVC にあたり, 今回予定している 20~30%MVC の範囲内にある。なお, 出力強度を 20%未満にすると十分な筋収縮は得られず, 底屈筋力の測定も困難であり, 出力強度を 25%(通電電力;3.6mA)とした場合, 2.29N の底屈筋力が発揮され, これは約 46.9%MVC となり, 20~30%MVC の範囲外となる。よって, 今回の実験における刺激強度は電気刺激装置の出力強度で 20%, 通電電力としては 2.5mA に決定した。

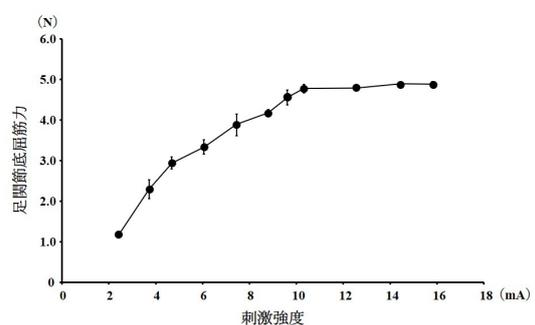


図 1 刺激強度の漸増に伴う足関節底屈筋力の推移

### 2. 予備実験②

予備実験①の結果を踏まえ, 2.5mA の刺激強度で通電した場合, どの程度の実施時間で筋疲労による筋出力低下がみられるのかを確かめる

ための予備実験を行った。

実験動物は予備実験①と同様で、麻酔したラットの大腿近位部と下腿遠位部に B-SES 電極を巻いた。B-SES の刺激条件は、刺激周波数を 50Hz、刺激強度を 2.5mA、刺激サイクルを 2 秒通電、2 秒休止の 1:1 サイクルとし、持続通電を行い、1 分毎に両側足関節の底屈筋力をプッシュプルゲージを用いて測定した。なお、上記の条件で通電すると 1 分間あたり 15 回分の足関節底屈筋力のデータが得られるが、採用するデータはその中の最大値とした。

結果、足関節底屈筋力は通電を開始して 30 分まではほぼ一定であったが、その後は筋疲労による筋出力低下を認め、38 分を過ぎると 20%MVC に相当する 0.98N を下回った(図 2)。つまり、20~30%MVC を発揮する 2.5mA の刺激強度で通電を行う場合、30 分以内の刺激時間であれば筋疲労の影響は受けないと判断した。

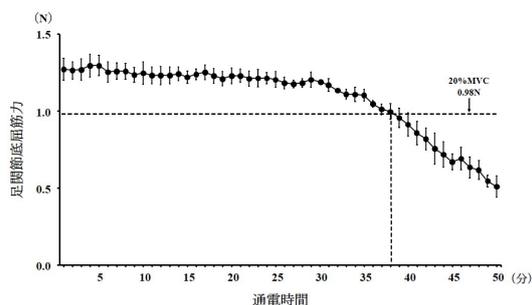


図 2 通電時間の延長に伴う足関節底屈筋力の推移

## 材料と方法

### 1. 実験プロトコル

#### 1) 実験動物

7 週齢の Wistar 系雄性ラット 26 匹を実験に使用した。そして、これらのラットは無処置の対照群、両側足関節を 2 週間不動化する不動群、不動の過程で B-SES による介入を行う B-SES 群に振り分け、B-SES 群については刺激条件の違いによってさらに 2 群に振り分けた(以下、B-SES①群、B-SES②群という)。

なお、動物実験施設にラットが搬入された後は、実験者の操作にラットを慣れさせ、後に行う筋痛評価が円滑に実施できるようハンドリングを行っ

た。

#### 2) 足関節の不動方法

3 種混合麻酔薬の腹腔内投与によって麻酔を行い、両側足関節を最大底屈位の状態でギプス包帯を用いて 2 週間不動化した。なお、その際、足指は浮腫の発生を確認するために露出させ、不動期間中は浮腫の発生やギプスの緩みを防ぐ目的で 2~3 日ごとにギプスの巻替えを行った。

#### 3) B-SES の刺激条件

##### ①刺激周波数

刺激周波数はラットの下腿骨格筋に強縮を誘発する目的で、B-SES①群、B-SES②群とも 50Hz とした。

##### ②刺激強度

今回の実験では予備実験①の結果を踏まえ、約 24.2%MVC の足関節底屈筋力を発揮する 2.5mA を刺激強度とした。

##### ③刺激サイクル

刺激サイクルは、2 秒通電、2 秒休止を繰り返す 1:1 とした。

##### ④刺激時間

上記の刺激サイクルは所属研究室の先行研究<sup>8)</sup>で設定されている HF 群と同様である。つまり、HF 群の刺激条件の中の刺激強度のみを変更した条件を設定するため今回の B-SES①群の刺激時間は 15 分間とした。加えて、予備実験②の結果から 2.5mA の刺激強度で通電を行う場合、30 分以内の刺激時間であれば筋疲労の影響は受けなかったことが明らかとなった。そこで、今回の B-SES②群の刺激時間は B-SES①群のその 2 倍になる 30 分間とした。

### 2. 検索方法

#### 1) 足関節背屈可動域の評価

不動開始前(以下、base line ; BL)ならびに不動 1, 2 週間が終了した後は、3 種混合麻酔薬の腹腔内投与によってラットを麻酔し、所属研究室の先行研究に基づき以下の方法で足関節背屈可動域を測定した<sup>2)</sup>。具体的には麻酔したラットを側臥位とし、股・膝関節を他動的に最大屈曲させ、足底部に丸型テンションゲージ(大場製作所製)の先端部をあてた。そして、0.3N の張力で

足関節を他動的に背屈させた際の背屈角度を測定し、これを足関節背屈可動域として採用した。測定に際しては、基本軸を膝関節裂隙中央と腓骨外果を結んだ線、移動軸を腓骨外果と第5中足骨を結んだ線とし、これらの2つの軸がなす外角を5°単位で読み取った。なお、以上の測定は3回行い、その最大値をデータとして採用した<sup>2)</sup>。

## 2) 筋痛の評価

筋痛に関しては、不動開始前(以下、base line; BL)と不動1, 2週後に圧刺激鎮痛効果測定装置(Randoll-Scitto, Ugo Basile社製)を用いて腓腹筋外側頭の筋圧痛閾値を測定し、評価した。

具体的には、ラットの上半身を布で拘束し、静寂な環境下を保った状態で、先端直径が8mmのプロープで皮膚上から腓腹筋外側頭を48g/秒の条件で漸増加圧し、後肢の逃避反応が出現する圧力値を測定した。この測定は5回実施し、最大値と最小値を除外した3回の測定値の平均値を筋圧痛覚閾値のデータとして採用した<sup>4,5)</sup>。

## 3. 検索試料の採取方法

2週間の不動期間終了後は、3種混合麻酔薬の腹腔内投与によって各群のラットを麻酔した。そして、体重を測定後、両側から腓腹筋外側頭を採取した。採取した腓腹筋外側頭は電子天秤にて筋湿重量を測定し、筋湿重量を体重で除した相対重量比を算出した。なお、腓腹筋外側頭はその後、後述する組織学的・生化学的検索に供した。

## 4. 組織学的検索

### 1) 筋線維横断面積の計測

筋試料は筋腹中央部で2分割し、トラガントゴムに包埋後、液体窒素で冷却したイソペンタン液内で急速凍結した。そして、クリオスタットを用いて7μm厚の連続横断切片を作製し、ヘマトキシリン・エオジン(以下、H&E)染色ならびに酸性前処置(pH 4.3)によるミオシンATPase染色を施し、筋線維をタイプI・IIa・IIb線維に分別した。なお、腓腹筋外側頭の深層部はタイプI・IIa・IIb線維が混在して構成されているのに対し、浅層部はタイプIIb線維のみから構成されている。そ

こで、ミオシンATPase染色像は深層部と浅層部に分け、各々顕微鏡用デジタルカメラ(Nikon DS-R1)で撮影し、パーソナルコンピュータに取り込み、深層部と浅層部における各筋線維タイプの筋線維横断面積を1筋につき各々100本以上計測した。

## 5. 生化学的検索

### 1) ヒドロキシプロリン含有量の計測

線維化の指標となるコラーゲン含有量に関しては、コラーゲン特有の構成アミノ酸であるヒドロキシプロリンを定量することによって行った。まず、試料作製として採取した腓腹筋外側頭の一部を細切し、24時間の凍結乾燥処理を行い、乾燥重量を測定した。次に、この試料に6N-HClを1ml加え、110°Cで15時間の加水分解処理を行い、HClを除去した後、蒸留水1mlを加え、試料を溶解した。そして、0.64μmのフィルターで試料を濾過し、濾過後に回収した試料をヒドロキシプロリン定量用の試料とした。

試料5μlを2時間100°Cで加熱処理した後、4N-NaOHを50μl加え、攪拌し、90°Cで2時間、再度加熱処理を行った。次に、Chlamine-T溶液を500μl加え、室温で25分間処理した後、Ehrlich溶液を500μl加え、攪拌し、80°Cで20分間加熱処理し、試料を発色させた。そして、波長540nmで試料の吸光度を測定し、ヒドロキシプロリン濃度に基づく標準曲線を基に試料内のヒドロキシプロリン含有量を定量した。なお、定量したヒドロキシプロリン含有量は乾燥重量で除し、単位乾燥重量あたりの含有量で表した。

### 2) NGF含有量の計測

先行研究によれば、不動性筋痛の発生メカニズムの一つに骨格筋内におけるNGFの発現増加が関与しているとされている<sup>4,5)</sup>。そこで、本研究でもNGF含有量の計測を行った。具体的には、筋試料の一部を細切りし、ジルコニアビーズとLysis Buffer(50mM pH 8.0 Tris-HCl, 150mM NaCl, 5mM EDTA, 0.5% NP-40, 5M Urea)を加え、ビーズ式細胞粉碎装置Micro Smash(TOMY, MS-100R)を用いてホモジュネートした。ホモジュネート後は、4°C, 12,000rpmの条件で遠心分離を行い、その上清液を回収した。そして、上清液

内の NGF 含有量を Rat NGF/NGF  $\beta$ ELISA kit (Bosterbio, EK0471) を用いて測定し, BCA Protein Assay Kit (Thermo, 23227) を用いて測定した総タンパク量で除し(単位; pg/mg), データとして採用した.

## 6. 統計処理

統計処理には, 一元配置分散分析と Scheffe 法による事後検定を適用し, 危険率 5% 未満をもって有意差を判定した.

## 結果

### 1. 筋萎縮の評価結果

#### 1) 筋湿重量ならびに相対重量比

各群の筋湿重量を比較すると, 対照群より不動群, B-SES①群, B-SES②群はいずれも有意に低値を示し, これら3群間に有意差は認められなかった(図 3a).

相対重量比に関しては, 対照群より不動群, B-SES①群は有意に低値を示し, これら2群間には有意差は認められなかった. 一方, B-SES②群は対照群と有意差は認められず, 不動群, B-SES①群とも有意差は認められなかった.(図 3b).

#### 2) 筋線維横断面積

腓腹筋外側頭の ATPase 染色像をみると, 浅層部のタイプ II b 線維, 深層部のタイプ I・II a・II b 線維のすべてにおいて不動群, B-SES①群, B-SES②群は対照群より縮小していた(図 4). 実

際, 浅層部のタイプ II b 線維の筋線維横断面積を比較すると, 対照群より不動群, B-SES①群, B-SES②群は有意に低値を示し, この3群間には有意差は認められなかった. また, 深層部のタイプ I・II a・II b 線維に関してもすべて対照群より不動群, B-SES①群, B-SES②群は有意に低値を示し, この3群間には有意差は認められなかった(図 5).

### 2. 筋性拘縮の評価結果

#### 1) 足関節背屈可動域

各群の足関節背屈可動域を比較すると, 不動1週後, 2週後ともに不動群, B-SES①群, B-SES②群は対照群より有意に低値を示し, この3群間には有意差は認められなかった(図 6).

#### 2) ヒドロキシプロリン含有量

各群のヒドロキシプロリン含有量を比較すると, 対照群より不動群, B-SES①群, B-SES②群は有意に高値を示し, この3群間に有意差は認められなかった(図 7).

### 3. 筋痛の評価結果

#### 1) 筋圧痛閾値

各群の筋圧痛閾値を比較すると, 不動1週後は対照群より不動群, B-SES①群, B-SES②群は有意に低値を示し, この3群間には有意差は認められなかった. 一方, 不動2週後は対照群より不動群, B-SES①群, B-SES②群は有意に低値を示し, この3群間を比較するとB-SES①群とB-

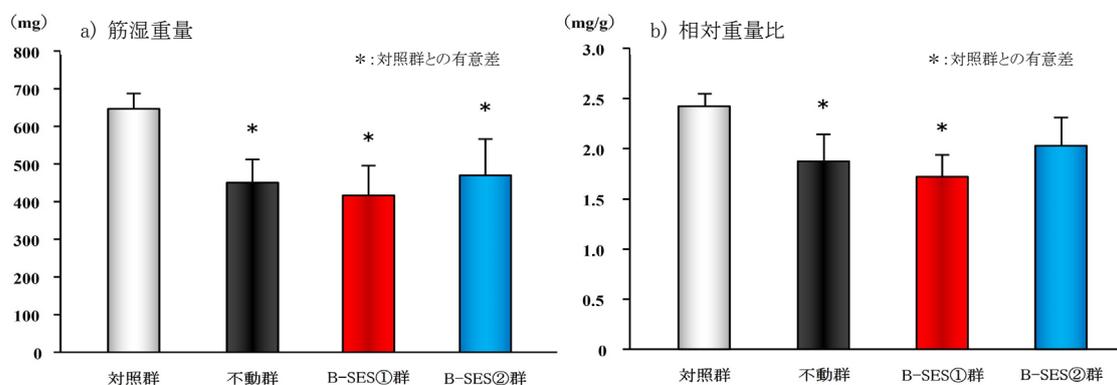


図 3 筋湿重量ならびに相対重量比の比較

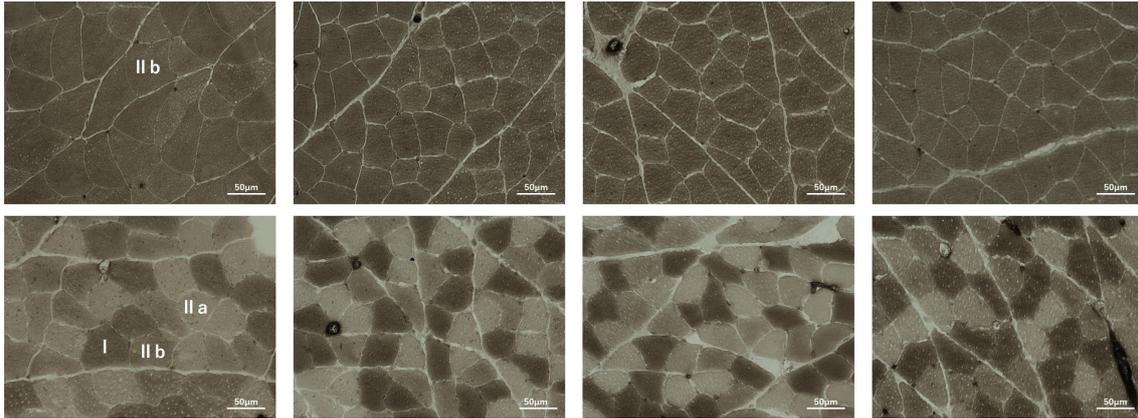


図4 腓腹筋外側頭のATPase染色像

上段の写真が浅層部, 下段の写真が深層部で, 左から対照群, 不動群, B-SES①群, B-SES②群を示している。

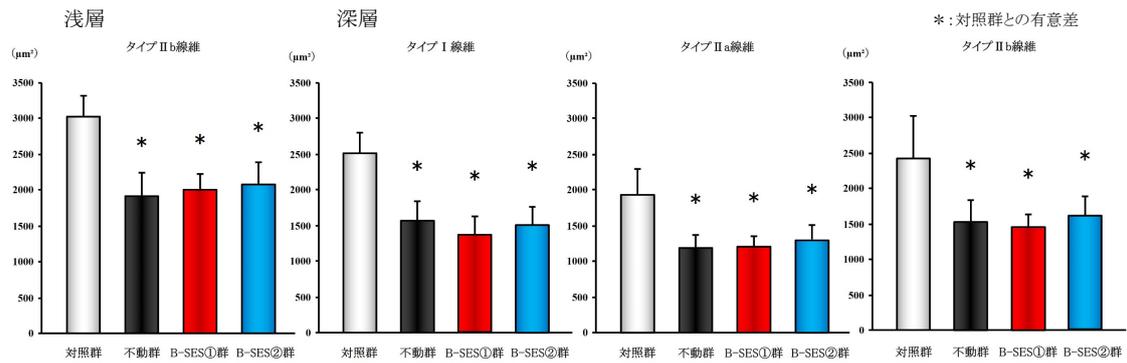


図5 筋線維横断面積の比較

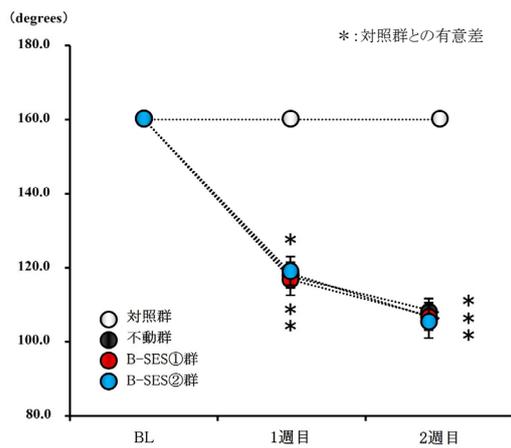


図6 足関節背屈可動域の比較

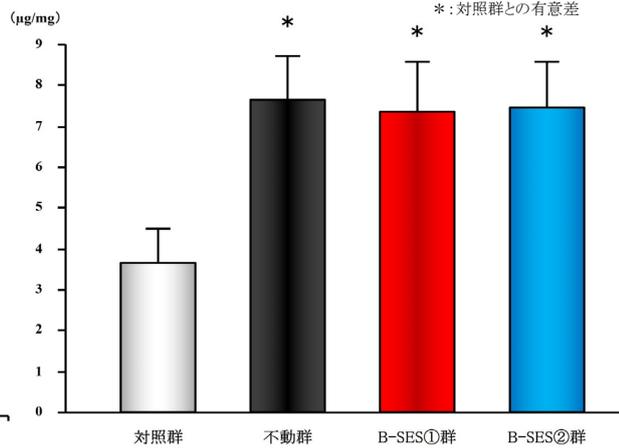


図7 ヒドロキシプロリン含有量の比較

SES②群は不動群より有意に高値を示した。また, B-SES①群と B-SES②群には有意差は認められなかった(図8)。

## 2) NGF 含有量

各群の NGF 含有量を比較すると, 対照群より不

動群, B-SES①群, B-SES②群は有意に高値を示し, この3群間を比較すると B-SES①群と B-SES②群は不動群より有意に低値を示した。また, B-SES①群と B-SES②群には有意差は認められなかった(図9)。

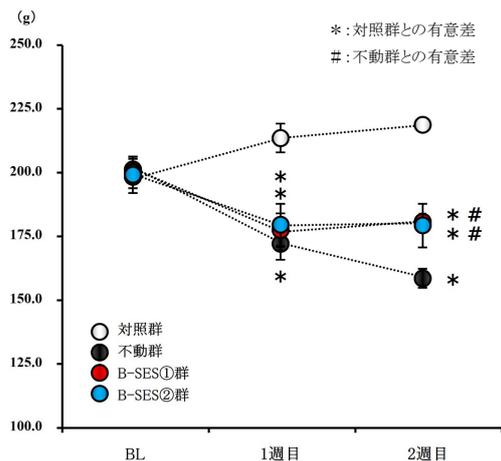


図 8 筋圧痛閾値の比較

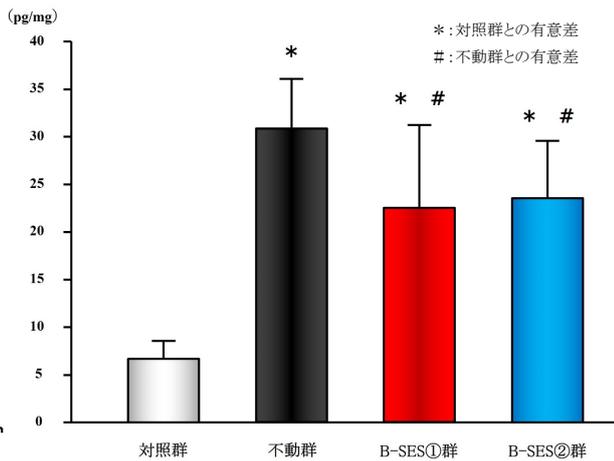


図 9 NGF 含有量の比較

## 考察

今回の結果から、筋萎縮の指標である筋湿重量や相対重量比ならびに浅層部、深層部のすべての筋線維タイプの筋線維横断面積は不動群、B-SES①群、B-SES②群の3群間に有意差は認められなかった。つまり、低強度のB-SES介入はいずれの刺激時間でも部位や筋線維タイプの違いに関係なく、筋萎縮の発生を予防することは困難であるといえる。加えて、筋性拘縮の指標である足関節背屈可動域は不動1、2週後も不動群、B-SES①群、B-SES②群の3群間に有意差は認められなかった。また、ヒドロキシプロリン含有量に関してもこれら3群間に有意差は認められなかった。つまり、筋萎縮と同様、低強度のB-SES介入はいずれの刺激時間でも筋性拘縮の発生を予防することは困難であるといえる。一方、筋痛の指標である筋圧痛閾値に関しては不動1週後は不動群、B-SES①群、B-SES②群の3群間に有意差は認められなかったが、不動2週後は不動群に比べB-SES①群、B-SES②群は有意に高値を示し、この2群間には有意差は認められなかった。また、NGF含有量に関してもB-SES①群、B-SES②群は不動群より有意に低値を示し、この2群間に有意差は認められなかった。つまり、低強度のB-SES介入はいずれの刺激時間でも筋痛の発生そのものを予防することは困難であるが、その進行を抑制する効果があるといえる。

沖田らは筋萎縮、筋性拘縮、筋痛といった不動に伴う骨格筋の可塑的変化の発生メカニズムには、筋核のアポトーシスを発端としたマクロファージの集積といった共通の事象が関与すると報告している<sup>6)</sup>。つまり、筋核のアポトーシスの抑止効果が期待される筋収縮運動は、これら骨格筋の可塑的変化を同時かつ効率的に予防できるのではないかと考えられる。事実、所属研究室の先行研究によれば、60%MVCが発揮される高強度の刺激強度を設け、B-SESを活用した筋収縮運動の効果について検討している。この結果によれば1:1の刺激サイクルで1日15分間、すなわち1回あたり225回の筋収縮頻度となる条件であれば、筋萎縮、筋性拘縮、筋痛のすべてを同時かつ効率的に予防できることが明らかになっている<sup>8)</sup>。しかし、実際の臨床現場において不動が強いられるのは、ギプス固定などが必要な骨折後や安静臥床が必要な重篤疾患の急性期であり、このような場合、不動後早期から高強度の筋収縮運動を実践することは困難である。つまり、この課題解決のためには低強度の刺激強度によるB-SESの効果を明らかにする必要があると考え、本研究を計画した。

しかしながら、今回設定した20~30%MVCが発揮される低強度の刺激強度では、先行研究と同様の15分間の刺激時間としたB-SES①群のみならず、それを30分間に延長し、1回あたり筋収縮頻度を450回と増加させたB-SES②群ともに筋萎縮と筋性拘縮に対する効果は認められな

かった。つまり、筋萎縮、筋性拘縮の発生を予防するためには、高強度の刺激強度による筋収縮運動が必要であり、その重要性がより裏付けられたといえよう。

一方、今回設定した低強度の刺激強度では、筋痛の発生そのものを予防することは困難であったが、その進行を抑制する効果が認められた。そして、この効果には NGF の発現が抑制されたことが影響していると思われる。不動に伴う NGF の発現は骨格筋内に分布する C 線維の側枝発芽に起因した分布密度の増加と関連があり、これは不動による外界からの刺激の減弱によって生じた末梢神経の可塑的変化の一つと考えられる。

4) つまり、今回の結果は不動の過程で低強度であっても筋収縮運動を促し、外界からの刺激を入力しておけば、筋痛の発生を軽度抑えることができることを示唆している。そして、このような筋痛に対する効果は刺激時間の影響は受けず、15 分間という短時間の刺激時間でも有効であることが示唆された。不動によって惹起される筋痛をできる限り軽度抑えておけば、不動解除後に積極的な運動療法が実践でき、結果的に効果的な理学療法戦略につなげることができると思われる。したがって、不動後早期から高強度の筋収縮運動が実践できない対象者においても、低強度の B-SES 介入は意義あるものと考えられる。

しかしながら、今回の検索では前述した骨格筋内における C 線維の分布密度など、筋痛の発生メカニズムに関わる生物学的事象に対する低強度の B-SES 介入の効果は明らかにできておらず、この点は今後の課題である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご協力いただきました長崎大学大学院医歯薬学総合研究科運動障害リハビリテーション学研究室の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

1) Tanaka N, Honda Y, et al.: Myonuclear apoptosis via cleaved caspase-3 upregulation is related to macrophage accumulation

underlying immobilization-induced muscle fibrosis. *Muscle Nerve*. 2022; 65: 341-349.

- 2) Honda Y, Tanaka N, et al.: Effect of belt electrode-skeletal muscle electrical stimulation on immobilization-induced muscle fibrosis. *PLoS ONE*. 2021; 16: e0244120.
- 3) 本田祐一郎, 坂本淳哉, 他: 関節可動域制限に対する基礎研究の動向と臨床への応用—筋性拘縮の発生機序の解明ならびにエビデンスに基づいた治療戦略の開発を目的とした基礎研究—. *理学療法学*. 2018; 45: 275-280.
- 4) Oga S, Goto K, et al.: Mechanisms underlying immobilization-induced muscle pain in rats. *Muscle Nerve*. 2020; 61: 662-670.
- 5) 大賀智史, 関野有紀, 他: ラット足関節不動モデルの骨格筋における痛覚過敏と神経成長因子の変化. *日本運動器疼痛学会誌*. 2014; 6: 107-113.
- 6) 沖田 実, 本田祐一郎, 他: 慢性疼痛の病態形成における不動の影響—筋萎縮, 筋性拘縮, 筋痛のメカニズムも踏まえて—. *Jpn J Rehabil Med*. 2021; 58: 1221-1228.
- 7) 森谷敏夫: 運動できない人に優れた運動効果をもたらす電気刺激を用いた方法. *スポーツメディスン*. 2006; 18: 20-23.
- 8) Honda Y, Takahashi A, et al.: Muscle contractile exercise through a belt electrode device prevents myofiber atrophy, muscle contracture, and muscular pain in immobilized rat gastrocnemius muscle. *PLoS ONE*. 2022; 17: e0275175.

(指導教員 沖田 実)

# 変形性膝関節症に対する疼痛軽減効果を得るために

## 必要な運動の要素の検討

### —変形性膝関節症モデルラットを用いた基礎的検討—

小川祥広・福山りか子

#### 要旨

これまでの先行研究では、変形性膝関節症に対する疼痛軽減効果を得るために必要な運動の要素、すなわち、筋収縮であるのか、関節運動であるのか、その両者であるのかについては明らかにされていない。そこで、本研究では、ラット膝 OA モデルに対して等尺性筋収縮運動、他動関節運動、等張性筋収縮運動を負荷し、疼痛軽減効果を得るために必要な運動の要素について検討した。その結果、等張性筋収縮運動ならびに等尺性筋収縮運動を負荷すると、患部の痛覚感受性亢進と自発痛が改善することが認められた。一方、他動関節運動を負荷してもそれらの改善は認められなかった。以上の結果より、変形性膝関節症に対する疼痛軽減効果を得るために必要な運動の要素は筋収縮ではないかと推察される。

#### はじめに

世界各国における変形性膝関節症 (knee osteoarthritis, 以下、膝 OA) の診療ガイドライン<sup>1, 2)</sup>では、運動療法はすべての患者に適応すべき第一選択治療に位置付けられている。その背景には、これまでに多くの無作為化比較試験が実施されており、それらを統合したシステマティックレビュー・メタアナリシス<sup>3, 4)</sup>において運動療法の疼痛軽減効果が示されていることがある。また、最近では膝 OA の痛みの病態に対する運動療法の生物学的効果の検証が進められている。所属研究室では、モノヨード酢酸を膝関節腔内に投与することで作成する膝 OA モデルラットを用いて、運動療法による疼痛軽減効果の生物学的機序について検討している<sup>5)</sup>。具体的には、進行期膝 OA モデルラットを作製し、電気刺激により大腿四頭筋の筋収縮を誘発することで膝関節の屈曲伸張運動を負荷し、膝 OA の痛みの主病態である滑膜炎におよぼす影響を検討している。その結果、運動を負荷すると滑膜では炎症性 (M1) マクロファージの増加が抑制され、また、抗

炎症性 (M2) マクロファージが増加することが認められている。加えて、脊髄後角ではカルシトニン遺伝子関連ペプチドの発現が抑制されることが示されている。つまり、滑膜炎の軽減と脊髄レベルにおける中枢感作の抑制が運動療法による疼痛軽減効果の生物学的機序の一端であると推察される。

ただ、これらの先行研究で採用された運動は筋収縮運動と関節運動の両者が負荷されているため、疼痛軽減効果を得るために必要な運動の要素は筋収縮であるのか、関節運動であるのか、それともその両者であるのかについては明らかにされていない。これらの点を明らかにできれば、膝 OA の疼痛マネジメントに有効な運動療法プログラムの確立につながる基礎データの確立につながる。そこで、本研究では、膝 OA モデルラットに対して、等尺性筋収縮運動、他動的関節運動、等張性筋収縮運動を負荷し、疼痛軽減効果を得るために必要な運動の要素について検討した。

#### 材料と方法

## 1. 実験動物

実験動物には7週齢のWistar系雄性ラット26匹を用い、これらをモノイodob酢酸(Monoiodoacetic acid, 以下, MIA)2mgを右膝関節腔内に投与し, OAを惹起する実験群(n=21)とMIA投与の疑似処置として右膝関節腔内に生理食塩水を投与するSham群(n=5)に振り分けた。そして, 実験群は①OAを惹起後, 35日間通常飼育をするOA群(n=6), ②OAを惹起後, 大腿四頭筋に等尺性筋収縮運動を負荷する筋収縮運動群(n=6), ③OAを惹起後, 持続的他動運動機器を用いて膝関節の他動運動を負荷する関節運動群(n=3), ④OAを惹起後, 大腿四頭筋の等張性筋収縮運動によって筋収縮運動と関節運動の両者を負荷する併用運動群(n=6)に振り分けた。なお, 各運動介入は, 先行研究<sup>5)</sup>を参考にMIA投与後15日目より実施した。本研究は長崎大学動物実験委員会で承認を受けた後, 同委員会が定める動物実験指針に準じ, 長崎大学先導生命科学支援センター・動物実験施設において実施した。(承認番号: 1808091472-9)

## 2. 膝OAモデルラットの作製方法

実験群のラットに対しては, 3種混合麻酔薬(塩酸メドミジン 0.375mg/kg, ミタゾラム 2mg/kg, 酒石酸ブトルファンール 2.5mg/kg)を腹腔内へ投与して麻酔した。そして, 30ゲージの注射針(NIPRO社)を各ラットの右膝蓋靭帯直上に刺入し, MIA2mgを溶解した50 $\mu$ Lの生理食塩水を関節腔内に投与することで膝OAを惹起した。なお, Sham群のラットに対しては, 同様の手順で麻酔を行った後, 生理食塩水を右膝関節腔内に投与することで疑似処置を施した。

## 3. 等尺性筋収縮運動および等張性筋収縮運動の実施方法

筋収縮運動群および併用運動群のラットに対しては, 前述の3種混合麻酔薬を腹腔内に投与して麻酔した後, 低周波治療器トリオ300(伊藤超短波社)を用いて, 刺激周波数50Hz, パルス幅250 $\mu$ sec, 刺激強度2~3mAの条件で, 大腿四頭筋を2秒間収縮, 4秒間弛緩させた。実施時間は20分とし, この運動を1日1回週5回の頻

度で3週間継続して負荷した。なお, 筋収縮運動群では, 大腿四頭筋の収縮・弛緩に伴って膝関節の屈曲伸張運動が生じないように, 足部を固定することで膝関節を最大伸展位に保った状態で筋収縮運動を誘発した。

## 4. 持続的他動運動の実施方法

関節運動群のラットに対しては, 前述の3種混合麻酔薬を腹腔内に投与して麻酔した後, ヒト用アングルストレッチャー(酒井医療製)を用いて, 持続的他動運動を負荷した。なお, 持続的他動運動機器によって負荷する関節運動の回数および可動範囲を等張性筋収縮運動の条件と合致させるため, 持続的他動運動は角速度30°/秒, 運動範囲90°にて関節運動が200回に達するまで負荷した。そして, この運動を1日1回週5回の頻度で3週間継続して負荷した。

## 5. 痛みの行動学的評価

実験期間中は, 以下の方法にて痛みの行動学的評価を実施した。なお, 行動学的評価を適切に行うため, 実験開始に先立ち7日間のハンドリング期間を設け, ラットを測定環境に馴化させた。

### 1) 膝関節の圧痛閾値の評価

患部の痛覚感受性の評価として, ランダルセリット式鎮痛効果測定装置(Ugo Basile製)を用いて右側膝関節の圧痛閾値を測定した。具体的には, 覚醒下にて右側膝関節の外側裂隙に圧刺激を加え, 後肢の逃避反応が出現する際の加圧量(g)を測定した。データは1個体につき5回測定し, その平均値を算出した。なお, これらの測定はMIAおよび生理食塩水の投与前日と, 投与後は4日目, 7日目, その後は7日毎に35日目まで行った。

### 2) 患肢荷重率

先行研究では, げっ歯類の患肢荷重率は自発痛の指標となることが報告されている<sup>6,7)</sup>。そこで, 本研究においても各ラットの自発痛を評価するため, インキャパシタンステスト装置(バイオリサーチ社製)を用いて左右の後肢荷重量を測定した。具体的には, 覚醒状態にある各ラットを装置上に設置されたアクリルホルダー内

に入れ、2枚のセンサープレートの上にラットの後肢足部が左右対称になるように静置した。そして、10秒間安静状態を保った際の左右の後肢荷重量を計測した。そして、得られた測定値から左右後肢の合計荷重量(g)を求め、この値に対する患側後肢の荷重量の百分率を算出した。計測は5回行い、算出した各百分率の平均値を各個体データとして採用した。なお、これらの測定はMIAおよび生理食塩水の投与前日と、投与後は14日目、その後は7日毎に35日目まで行った。

### 3) 歩行解析

先行研究では、1歩行周期時間に対する立脚期時間および遊脚期時間の百分率(立脚期率および遊脚期率)は炎症性疼痛の動物モデルにおける動作時痛の指標となることが報告されている<sup>8-10)</sup>。そこで、本研究では動作時痛を評価する目的で、DigiGait小動物用トレッドミル(Mouse Specifics社)を用いて、歩行解析を行った。具体的には、小動物用トレッドミル上でラットを歩行させ、その様子をトレッドミルの下部に設置した高速カメラを用いて撮影した。歩行条件は歩行速度12m/分、トレッドミル傾斜角度0°とし、撮影条件は撮影周波数216フレーム/秒とし、3歩行周期撮影した。次に、専用の解析ソフトを用いて、撮影した動画を用いて1歩行周期時間に対する遊脚期率(%)および立脚期率(%)を算出した。そして、各ラットについて3歩行周期分の立脚期率および遊脚期率の平均値を算出し、これをデータとして採用した。なお、測定はMIAおよび生理食塩水投与前日、投与後14日目、投与後35日目に行った。

## 6. 統計処理

すべてのデータは平均値±標準偏差で示した。各痛みの行動学的評価の結果の比較には、二元配置分散分析を適用した。検定において有意差を認められた場合は、事後検定としてBonferroni法を適用した。なお、すべての統計手法とも優位水準は5%未満とした。

## 結果

### 1. 膝関節の圧痛覚閾値の変化

MIA投与後4日目において、OAを惹起した実験群の膝関節の圧痛閾値は、Sham群のそれと比べて低値を示し、この4群間に有意差は認められなかった。その後の推移を見ると、OA群はMIA投与後35日目までSham群と比べて有意に低値を示した。一方、筋収縮運動群はMIA投与後21日目より、また、併用運動群はMIA投与後28日目よりOA群と比べて高値を示した。また、関節運動群はMIA投与後4日目から35日目までOA群と同様の推移を示し、OA群との間に有意差を認めなかった(図1)。

### 2. 患肢荷重率の変化

MIA投与後4日目において、OAを惹起した実験群の患肢荷重率はSham群のそれと比べて有意に低値を示し、この4群間に有意差は認められなかった。その後の推移を見ると、OA群はMIA投与後35日目までSham群と比べて有意に低値を示した。筋収縮運動群と併用運動群はMIA投与後35日目においてOA群と比べて有意に高値を示し、Sham群との間に有意差を認めなかった。一方、関節運動群はMIA投与後35日目までOA群との間に有意差を認めなかった。(図2)

### 3. 1歩行周期時間に対する立脚期率および遊脚期率

1歩行周期時間に対する立脚期率および遊脚期率は、実験開始前およびMIA投与後14日目、35日目のいずれにおいても5群間に有意差を認めなかった。また、いずれの群においても時間要因における有意差を認めなかった。(図3)

## 考察

本研究では、膝OAモデルラットに対して等尺性筋収縮運動、他動関節運動、等張性筋収縮運動を負荷し、疼痛軽減効果に必要な運動の要素は筋収縮であるか、関節運動であるのか、またはその両者であるのかについて行動学的評価から検討した。

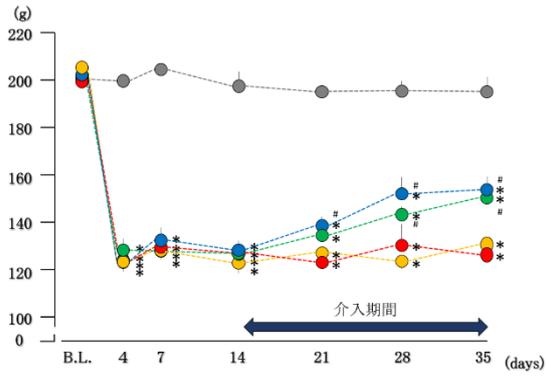


図1 膝関節の圧痛閾値の変化

灰色:Sham 群, 赤:OA 群, 青:筋収縮運動群,  
 緑:併用運動群, 黄:CPM 群.  
 \*:Sham 群との有意差. #:OA 群との有意差.  
 $p < 0.05$ . 平均  $\pm$  標準偏差

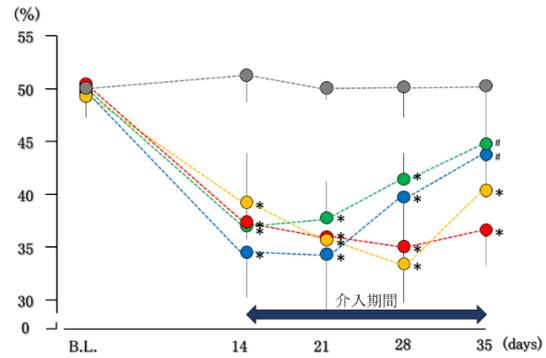


図2 患肢荷重率の変化

灰色:Sham 群, 赤:OA 群, 青:筋収縮運動群,  
 緑:併用運動群, 黄:CPM 群.  
 \*:Sham 群との有意差. #:OA 群との有意差.  
 $p < 0.05$ . 平均  $\pm$  標準偏差

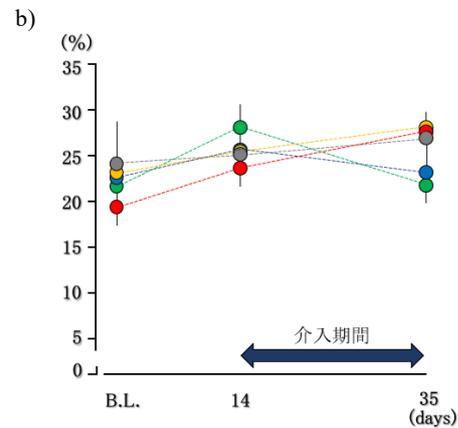
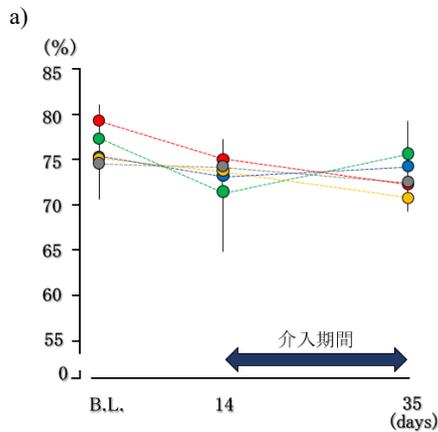


図3 1歩行周期時間に対する立脚期率および遊脚期率

a) 1歩行周期時間に対する立脚期率 b) 1歩行周期時間に対する遊脚期率

灰色:Sham 群, 赤:OA 群, 青:筋収縮運動群, 緑:併用運動群, 黄:CPM 群. 平均  $\pm$  標準偏差

まず、患部の圧痛閾値について、MIA 投与後 4 日目において OA 群を惹起した 4 群は Sham 群と比べて有意に低値を示し、この 4 群間に有意差を認めなかった。また、その後の推移をみると、MIA 投与後 14 日目まで 4 群の圧痛閾値はほぼ一定に推移しており、4 群間に有意差を認めなかった。したがって、膝 OA を惹起した 4 群では同程度に痛覚感受性の亢進が生じており、惹起された膝 OA の程度は同程度であったと推察される。そして、運動介入後の膝関節の圧痛閾値をみると、筋収縮運動群においては MIA 投

与後 21 日目以降、また、併用運動群においては MIA 投与後 28 日目以降、OA 群と比べて高値を示した。一方、関節運動群は MIA 投与後 35 日目まで OA 群との間に有意差を認めなかった。つまり、これらの結果は、膝 OA 惹起後に等尺性筋収縮運動または等張性筋収縮運動を負荷すると患部の痛覚感受性亢進が改善すること、また、他動関節運動を負荷しても痛覚感受性の亢進は改善しないことを示唆している。したがって、膝 OA 惹起後の患部の痛覚感受性亢進の改善には筋収縮が必須となるのではないかと推察され

る。

次に、患肢荷重率の変化について、OAを惹起した実験群ではMIA投与後14日目においてSham群と比べて有意に低値を示し、この4群間に有意差を認めなかった。そして、運動介入後の推移を見ると、筋収縮運動群と併用運動群はMIA投与後35日目においてOA群と比べて有意に高値を示し、Sham群との間に有意差を認めなかった。一方、関節運動群は患部の圧痛閾値と同様にMIA投与後35日目までOA群との間に有意差を認めなかった。つまり、これらの結果は等尺性筋収縮運動または等張性筋収縮運動を負荷すると患部の自発痛は改善すること、また、患部の関節運動のみを負荷してもその改善は得られないことを示唆している。したがって、膝OAに起因する患部の自発痛の改善には筋収縮が必須となるのではないかと推察される。

次に、歩行解析の結果、Sham群では実験期間を通じて1歩行周期における立脚期率および遊脚期率はほぼ一定の推移を示した。一方、OAを惹起した4群ではMIA投与後14日目の立脚期率は実験開始時と比べて減少する傾向がうかがえ、また、遊脚期率は増加する傾向がうかがえた。そして、MIA投与後35日目では、OA群と関節運動群においては、MIA投与後14日目と比べて立脚期率が増加し、遊脚期率が減少する傾向にあったが、筋収縮運動群および併用運動群においては、MIA投与後14日目と比べて立脚期率は増加し、遊脚期率は減少する傾向にあった。しかし、いずれの評価時点においても5群間に有意差を認めず、また、各群内における時間要因についても有意差を認めなかった。したがって、歩行解析による運動時痛の評価について、本研究では膝OAの惹起に起因する変化および運動介入による変化のいずれも認められなかった。

以上のように、筋収縮運動を負荷した筋収縮運動群および併用運動群では患部の痛覚感受性亢進および自発痛の改善を認めたのに対し、関節運動のみを負荷した関節運動群ではそれらの改善は認められなかった。したがって、膝OAに対する疼痛軽減効果を得るために必須の運動の要素は筋収縮ではないかと推察される。本研究では、筋収縮運動によって疼痛軽減効果が得ら

れる機序については検討できていない。ただ、先行研究を参考にすると、骨格筋が内分泌器官として機能することが影響しているのではないかと推察される。すなわち、骨格筋に筋収縮を負荷するとインターロイキン(interleukin; IL)-10やIL-6といった抗炎症性サイトカインや脳性ナトリウム利尿ペプチド、イリシンといった抗炎症性ホルモンが産生されることが知られている<sup>11)</sup>。また、これらの物質は白色脂肪組織において炎症性(M1)マクロファージから抗炎症性(M2)マクロファージへの形質転換を促すことが示されている<sup>12)</sup>。そして、筋収縮運動を負荷された骨格筋に由来する前述の抗炎症性サイトカインをはじめとした物質は血流を介して、他の臓器に到達し、炎症を軽減するような作用を果たすと考えられている<sup>13)</sup>。このような先行研究や前述した所属研究室の知見に基づく、本研究の筋収縮運動群や併用運動群では大腿四頭筋の筋収縮運動を負荷したことで前述した炎症を軽減するような物質が産生され、これらが血流を介して膝関節に到達し、滑膜炎を軽減させたことで疼痛軽減効果が得られたのではないかと仮説を立てることができる。しかし、本研究ではこれらの仮説検証は実施できておらず、この点については今後の課題であると考えている。

本研究の限界として、まず、サンプルサイズが小さいことが挙げられる。特に、関節運動群のサンプルサイズは小さく、このことは行動学的評価の結果に影響を与えている可能性を否定できない。次に、歩行解析において膝OAを惹起した影響について明らかにできていないことが挙げられる。先行研究<sup>8-10)</sup>では膝関節に炎症を惹起すると1歩行周期時間に対する立脚期率の減少および遊脚期率の増加が認められており、これは歩行時痛の指標となることが報告されている。しかし、本研究では膝OA惹起後に先行研究のような変化が認められておらず、そのため運動介入の効果についても明らかにできていない。今回の歩行解析の結果については、実験開始前におけるトレッドミル機器に対する馴化が十分でなかった可能性やラットの個体差によるデータの分散が影響している可能性があり、これらの点については今後検討を進める予定である。また、本研究では筋収縮運動によって疼痛軽減効果が得ら

れる機序について検討できていない。この点を明らかにすることができれば、炎症に起因する疼痛に対するマネジメントとしての運動療法の有用性を示す基礎データとなり得る。そのため、今後は前述の課題を解決し、本研究を発展させる必要がある。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、ご指導・ご協力いただきました長崎大学大学院医歯薬総合研究科運動障害リハビリテーション学研究室の諸先生方に厚く御礼申し上げます

## 参考文献

- 1) Kolasinski SL, Neogi T, et al. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Rheumatol.* 2020; 72: 220-233.
- 2) Bannuru RR, Osani MC, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and polyarticular osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019; 27: 1578-1589.
- 3) Verhagen AP, Ferreira M, et al. Do we need another trial on exercise in patients with knee osteoarthritis?: No new trials on exercise in knee OA. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019; 27: 1266-1269.
- 4) Fransen M, McConnell S, et al. Exercise for osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015; 9: CD004376.
- 5) 近藤祐太郎,坂本有希倫:低強度の筋収縮運動による変形性膝関節症の疼痛軽減効果のメカニズムの検討:長崎大学理学療法専攻卒業研究論文集. 2018; 12: 15-22
- 6) Bove SE, Calcaterra SL, et al. Weight bearing as a measure of disease progression and efficacy of anti-inflammatory compounds in a model of monosodium iodoacetate-induced osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2003; 11: 821-30.
- 7) Schött E, Berge OG, et al. Weight bearing as an objective measure of arthritic pain in the rat. *Pharmacol Toxicol Methods.* 1994; 31: 79-83.
- 8) Berryman ER, Harris RL, et al. Digigait quantitation of gait dynamics in rat rheumatoid arthritis model. *J Musculoskeletal Neuronal Interact.* 2009; 9: 89-98.
- 9) Hoffmann MH, Hopf R, et al. Gait changes precede overt arthritis and strongly correlate with symptoms and histopathological events in pristane-induced arthritis. *Arthritis Res Ther.* 2010; 12: R41.
- 10) Yu Xu, Na-Xi Tian, et al: Gait Assessment of Pain and Analgesics: Comparison of the DigiGait™ and CatWalk™ Gait Imaging Systems. *Neurosci Bull.* 2019; 35: 401-418
- 11) Schnyder S, Handschin C. Skeletal muscle as an endocrine organ: PGC-1 $\alpha$ , myokines and exercise. *Bone.* 2015; 80: 115-125.
- 12) Slate-Romano JJ, Yano N, et al. Irisin reduces inflammatory signaling pathways in inflammation-mediated metabolic syndrome. *Mol Cell Endocrinol.* 2022; 552:111676.
- 13) Leal LG, Lopes MA, et al. Physical Exercise-Induced Myokines and Muscle-Adipose Tissue Crosstalk: A Review of Current Knowledge and the Implications for Health and Metabolic Diseases. *Front Physiol.* 2018; 24: 1307.

(指導教員 坂本淳哉)

## 捻挫の既往が歩行時立脚相に与える影響について

### ～前額面における下腿の角度・モーメントに着目して～

境 臣太朗

#### 要旨

本研究の目的は、慢性足関節不安定症(Chronic Ankle Instability:以下 CIA)の人に特徴的な下腿の角度やモーメントについて前額面から検証することである。若年健康者における CIA 群 9 名とコントロール群 10 名とで歩行時立脚相における違いを三次元動作解析装置と床反力計を用いて分析した。初めに、通常の歩行速度、通常より速い歩行速度、通常より遅い歩行速度の3速度による CIA 群とコントロール群との比較を行った。その結果、CIA 群とコントロール群の下腿の最大角度、膝関節モーメントの最大値に両群の差は認められなかった。次に、CIA 群とコントロール群の下腿の最大角度、最大角度が起こった時期、膝関節モーメントの最大値、モーメントが最大になった時期について比較を行った。その結果、下腿最大角度の比較にのみ有意差が認められ両群の角度の平均は CIA 群の方が約 2°大きいという結果となった。この結果が臨床的に意味のある結果であるのかを今後検討していく事で CIA の予防につなげていく事が出来る可能性がある。

#### はじめに

足関節捻挫は、スポーツ関連障害の約 14%を占める最も一般的なスポーツ損傷であり、受傷起点の多くは、着地時の不安定な足部の肢位による急激な足部の内反や回外によるものである。受傷部位は外側の前距腓靭帯、踵腓靭帯、後腓靭帯が多い。英国のプロサッカーリーグにおける足部捻挫の詳細な分析を行うことを目的とした研究においては、2シーズンにわたる調査にて足関節捻挫のうち 73%で前距腓靭帯の損傷が確認された<sup>2)</sup>と報告している。

足関節捻挫は発生頻度が高いだけでなく捻挫の再発を繰り返すことで慢性化するケースが問題となってくる。急性期の 80%は管理下において完全に回復するが、20%は機械的・機能的な不安定性が生じ、その結果慢性的な足部の不安定性を生じることとなる<sup>3)</sup>。捻挫が慢性化すると徒手検査やストレス X 線による機械的不安定性がなくても、機械的に不安定性を有する場合もある。足部の不安定性によって捻挫を頻繁に繰り返すものを慢性足関節不安定症(Chronic Ankle

Instability:以下 CIA)と呼称し、表 1 のよう基準が設定されている。

捻挫の既往がある者の中には、スポーツ外傷のように明らかな外力がないにも関わらず、日常生活の中で受傷するものも存在する。先行研究では捻挫の既往がある者は、足関節の底屈の増加または背屈の減少、膝関節屈曲の減少、股関節屈曲角度の増加を示し、股関節の力の生成を増加させ足関節での推進力を制限することにより股関節優位の戦略を示す<sup>4)</sup>と報告されている。このような特徴は、捻挫の結果生じたと考えられることが多いが、CIA になりやすい者には原因として同様の特徴を有している可能性を考えた。また、捻挫の既往と矢状面の下腿の動き等に注目した報告は見受けられるが、前額面における下腿に着目した報告は少ない。

そこで、捻挫の既往があるものは歩行時立脚相の下腿の使い方に何らかの特徴が存在するという仮説を立て、下腿の角度要素や関節モーメントに捻挫の既往の有無によって差違が生じるのか、歩行速度による影響はどうかの 2 点を本研究の目的として研究を進めた。

表 1 International ankle consortium による CAI 選択基準<sup>5)</sup>

### 包含基準

- 1 少なくとも 1 回以上の足関節捻挫がある
  - 初回の捻挫は、研究参加時点より必ず 12 ヶ月以上前に受傷している
  - 受傷時に炎症症状(疼痛・腫張など)を伴っている
  - 受傷時に少なくとも 1 日以上の上身体活動の中断を余儀なくされる
  - 一番最近の捻挫は、研究参加時点より必ず 3 ヶ月以上前に受傷している
  - 足関節内反捻挫の定義は、“後足部の過度の内反もしくは足部の底屈・内旋の組合せの結果によって生じた外側靭帯構成体の急性外傷”であり、通常はいくつかの機能低下や障害の結果として生じる
- 2 足関節の“Giving-way”や“捻挫の再発”、“不安定感”の既往を有する
  - “Giving-way”は、“制御不能かつ予測不能な過度の後足部内反(通常は歩行やランニングの初期接地時に経験する)の定期的な発生であり、急性の足関節内反捻挫ではないもの”と定義される—特に、研究参加前 6 ヶ月以内に少なくとも 2 回は“Giving-way”を経験している
  - “捻挫の再発”は、同じ足関節における 2 回以上の捻挫と定義される
  - “足関節の不安定感”は、“日常生活(ADL)やスポーツ活動中における足関節の不安定感であり、通常は急性足関節捻挫受傷の恐怖感に関連した状況”と定義される—特に、自己申告による足関節の不安定感、検証済みの足関節不安定感に特化したアンケート調査におけるカットオフ値を用いて確認されるべきである
  - 現在、推奨されるアンケート調査は以下の通りである
    - ・Ankle Instability Instrument: 少なくとも 5 つの質問に“はい”と回答(質問 1 および他 4 つが含まれること)
    - ・Cumberland Ankle Instability: 24 点以下
    - ・Identification of Functional Ankle Instability: 11 点以上
- 3 一般的な自己申告による足部および足関節機能に関するアンケートとしては、集団の機能障害レベルの記載を推奨するが、自己申告による機能レベルが研究課題において重要な場合にのみ包含基準に含めるべきである
  - 現在、推奨されるアンケート調査は以下の通りである
    - ・Foot and Ankle Ability Measure: ADL 項目 90%未満, スポーツ項目 80%未満
    - ・Foot and Ankle Outcome Score: 3 つ以上のカテゴリでスコアが 75%未満

### 除外基準

- 1 いずれかの下肢に筋骨格系(骨、関節、神経など)の手術既往を有する
  - 不完全な関節構成体を修復させる手術は、完全に構造を修復させるために実施されるが、中枢および末梢神経系の変化が残存してしまうことが臨床および研究分野において理解され受け入れられている
  - 適切なリハビリテーションとフォローアップが管理されたとしても、手術後に付随する神経筋および構造変化は慢性足関節不安定性による影響と混在してしまう
- 2 いずれかの下肢にアライメント修復を必要とする骨折既往を有する
  - 一つ目の除外基準と同様に、骨格組織に関する重大な妥協は慢性足関節不安定性の研究集団の選択に関する内的妥当性を脅かす
- 3 過去 3 ヶ月以内において、関節の整合性や機能に影響を及ぼす他の下肢関節における筋骨格系の急性外傷(捻挫、骨折など)があり、少なくとも 1 日以上の上身体活動の中断を余儀なくされた

## 対象と方法

### 1. 対象

対象は本学に在籍する若年健康者 19 名であった。CIA の質問用紙(表 1)を用いて対象者を CIA 群 9 名とコントロール群 10 名に分けた(表 2)。なお、今回の研究に用いたデータは研究室に既存のデータの中から今回の研究目的に合致した人のデータのみを抽出したものである。

表 2 対象者情報

	CIA 群	コントロール群
年齢	21.6±1.1	22.5±2.8
身長	1.6±0.09	1.6±0.1
体重	63.1±7.05	63.02±15.1
BMI	22.4±2.8	22.2±3.4

### 2. 方法

#### (1)使用機器

動作分析には、アニマ社製三次元動作解析装置と床反力計(以下三次元動作解析装置及び床反力計、サンプリング周波数 60Hz)を用いた。

三次元動作解析装置は、身体各部に貼付した赤外線反射マーカの空間位置を認識し、動作を定量的に計測することができる。また、床反力計と組み合わせることで、動作時の関節モーメントを算出することができる<sup>9)</sup>。本研究では、歩行時の下半身の動きを中心に、身一つの剛体リンクモデルとして考えることにした。

#### (2)準備

- ・被検者はハーフパンツを着用し、素足とする。
- ・反射マーカは被験者の両側下肢の以下の 10 か所に取り付けた(図 1)
  - 上前腸骨棘
  - 大転子
  - 膝関節外側裂隙
  - 外果
  - 第 5 中足骨頭



図 1 マーカー貼付場所

#### (3)測定動作

##### 歩行

※床反力計の 2~3m 手前から計測を開始し、床反力計を通過し終えるまでを計測する。

※歩行速度は本人の主観で普通、速い、遅い、の 3 速度でそれぞれ 1 回ずつ実施。

### 3. 解析方法

解析対象は、床反力計の上を通過した右足立脚期の下腿の最大角度、下腿の最大角度が生じた時期(立脚期の開始を 0%、終了を 100%とした際に何%タイムにあたるのか)、膝関節モーメントの最大値、膝関節モーメントが最大値を示した時期とした。なお、今回の角度は通常 ROM ではなく重力に対する角度を使用している。

統計処理には SAS Institute 製データ分析ソフトウェア JMP ver.15 を用い、有意水準を 5%未満として、解析対象データについて以下の方法で行った。

- ① CIA 群とコントロール群ごとに歩行速度による違いについて一元配置分散分析
- ② CIA 群とコントロール群間での違いについて一元配置分散分析

## 結果

### 1. 歩行速度の違いについて

#### (1) 下腿最大角度の歩行速度比較

下腿の最大角度による CIA 群とコントロール群とでは歩行速度による有意差は両群共に認められなかった(表 3).

表 3 下腿最大角度の歩行速度比較

コントロール群	要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
		speed		1.5208
コントロール群	水準	項目	平均	標準偏差
		fast	6.5	0.5
		normal	7.0	0.5
		slow	7.0	0.5
CIA 群	要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
		speed	0.5778	0.5679
	水準	項目	平均	標準偏差
		fast	5.4	0.3
	normal	5.0	0.3	
	slow	5.6	0.3	

#### (2) 膝関節モーメント最大値の歩行速度比較

膝モーメントの最大値による CIA 群とコントロール群とでは歩行速度による有意差は両群共に認められなかった(表 4).

### 2. 下腿最大角度の CIA 群とコントロール群の比較

CIA 群とコントロール群とでは下腿の最大角度に有意差が認められた. さらに, 下腿の最大角度の平均では CIA 群が 7.1 度, コントロール群が 5.3 度と CIA 群の方が下腿の最大角度が約 2 度内反しているという結果になった(表 5, 図 2).

表 4 膝関節モーメント最大値における歩行速度比較

コントロール群	要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
		speed	0.2918	0.7496
	水準	項目	平均	標準偏差
		fast	-64.8	3.6
	normal	-61.6	3.6	
	slow	-65.3	3.6	
CIA 群	要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
		speed	0.0419	0.9591
	水準	項目	平均	標準偏差
		fast	-64.5	5.3
	normal	-62.3	5.3	
	slow	-63.4	5.3	

表 5 下腿最大角度の CIA 群とコントロール群の比較

要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
	Group	22.8557	<.0001
水準	項目	平均	標準偏差
	コントロール	5.3	0.2
	CIA	7.1	0.2

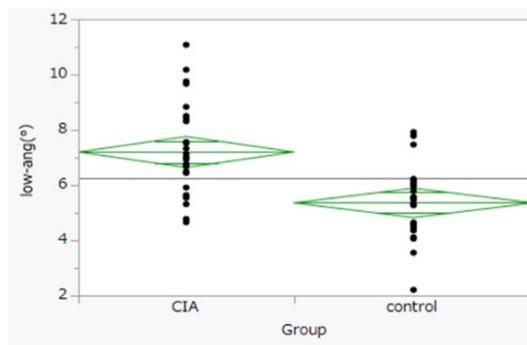


図 2 下腿最大角度の CIA 群とコントロール群の比較

3. 下腿最大角度が生じた時期の CIA 群とコントロール群の比較

立脚期中で下腿の角度が最大になった時期については CIA 群とコントロール群とでは有意差は認められなかった(表 6).

表 6 腿最大角度が生じた時期の CIA 群とコントロール群の比較

要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
Group		1.0438	0.3114
水準	項目	平均	標準偏差
コントロール		68.2	2.8
CIA		64.0	2.9

4. 膝関節モーメント最大値の CIA 群とコントロール群の比較

膝関節モーメントの最大値については両群に有意差は認められなかった(表 7).

表 7 膝関節モーメント最大値の CIA 群とコントロール群の比較

要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
Group		0.0153	0.902
要因	項目	平均	標準偏差
コントロール		-63.4	2.5
CIA		-63.9	2.6

5. 膝関節モーメント最大値を生じた時期の CIA 群とコントロール群の比較

立脚期中で膝関節モーメントが最大値を示した時期については両群に有意差は認められなかった. しかし, 両群とも立脚期の前半部分に最大時期がくる場合と, 後半部分に最大時期がくる場合と結果が二分化した(表 8, 図 3).

表 8 膝関節モーメント最大時期における CIA 群とコントロール群の比較

要因	項目	F 値	P 値 (Prob>F)
Group		0.2563	0.6147
水準	項目	平均	標準偏差
コントロール		57.7	4.1
CIA		54.6	4.3

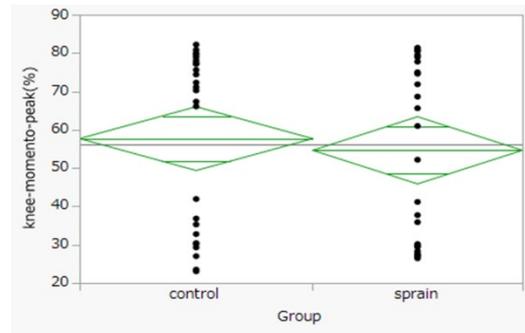


図 3 膝関節モーメント最大時期における CIA 群とコントロール群の比較

考察

1. 歩行速度による比較について

歩行速度の変化には一歩の長さであるステップ長が大いに関係している. ステップ長の増減には足関節の底背屈角度や膝関節屈曲・伸展角度, 股関節屈曲・伸展角度といった体節の矢状面上での角度が深く関係している<sup>7)</sup>. また, 歩行中の前額面からの左右への重心移動については自然速度での歩行では  $5.8 \pm 2.0 \text{cm}$ , 速い速度での歩行では  $5.0 \pm 2.1 \text{cm}$ <sup>8)</sup>と歩行速度による左右への重心動揺の違いはほとんど生じない.

つまり, 歩行速度を決定づける要因は矢状面上に多く, 前額面上には歩行速度を決定づける要因は少ないと思われる. そのため, 歩行速度による前額面上における下腿の最大角度・膝関節モーメントにおいて CIA 群, コントロール群共に有意差が認められなかったと考えられる.

## 2. 下腿の最大角度による CIA 群とコントロール群の比較について

下腿の最大角度における CIA 群とコントロール群との比較については両群間で有意差が認められ、平均角度についても CIA 群の方が約 2 度下腿が内反している傾向にあることが示された。歩行時の足底圧の分布と足圧中心の移動について検討した Nawata らの報告によると機能的足関節不安定症のある対象では歩行時に足関節と足部が内転・回外が増加し足圧中心は外方に変移する<sup>9)</sup>としており足関節不安定症がある者は歩行中の足部外側接地傾向があると考えられる。加えて、足関節不安定症を有する者の歩行中の筋活動を検討した Mineta らによると足関節不安定症のある者は正常歩行と比較して長腓骨筋の筋活動が低下するとともに、前脛骨筋/長腓骨筋活動比の増加が外側荷重と関係している<sup>10)</sup>ことを示している。これらのことから、CIA 群ではコントロール群と比較して歩行中の外側接地傾向が増加したことで相対的に下腿の角度が内反方向に傾いたと考えられる。

今回の研究では CIA 群とコントロール群とに有意差が認められ、角度の平均も CIA 群の方が約 2 度内反しているといった結果となった。しかし、この 2 度の差が臨床的に意味を持つ値であるのかは今回の研究で明らかに出来ていない。今後、この差が臨床的に意味のある値であるのかを検討していく必要がある。

## 3. 膝関節モーメント最大時期の CIA 群とコントロール群との比較について

本研究での膝関節モーメントについては立脚期の前半部分と後半部分に 2 回ピークを迎える二峰性のモーメント波形が観察された。他の膝関節モーメントを検討した Yamada らの報告によると膝関節モーメントの変化は立脚期の 20%から 30%の間と 80%に 2 つのピークを持つ二峰性の波形を示した<sup>11)</sup>と本研究と同様の結果が示されている。今回の研究では二峰性を持つモーメントの波形において値が最も大きくなった部分のみを切り取って比較した結果に CIA 群とコントロール群とで有意差は認められなかった。今後、二峰性を持つモーメント波形の第 1 ピークと第 2 ピークの生じた時間の間隔や、2 つのピークの値の

差などを比較していくことで CIA 群とコントロール群との有意差を発見することが出来る可能性がある。

## まとめ

本研究では歩行立脚期における CIA 群とコントロール群との下腿角度・膝関節モーメントについて検討した。結果としては、下腿の最大角度のみに両群に有意差が認められた。しかし、今回の研究は CIA 群の対象者が 9 名と少なく、対象者が CIA によって日常生活に不自由を強いられておらず、このことが結果に影響を与えた 1 つ要因であると考えられる。さらに、両群に差を生じたものにおいても今結果が臨床的に意義のある値であるのかを今後検討していくことで CIA の予防に努めていくことが出来る可能性がある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導・ご尽力賜りました鶴崎俊哉准教授をはじめ、ご協力いただいた実験協力者の皆様、研究室関係各位に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 今井丈: 足関節捻挫の理学療法. 徒手理学療法. 2016; 16: 13-20.
- 2) Woods C, Hawkins R, et al.: The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football: an analysis of ankle sprains. Br J Sports Med. 2003; 37: 233-238.
- 3) Chan KW, Ding BC, et al.: Acute and chronic lateral ankle instability in the athlete. NYU Hosp Jt Dis. 2011; 69: 17-26.
- 4) Son SJ, Kim H, et al.: Altered Walking Neuromechanics in Patients With Chronic Ankle Instability. J Athl Train. 2019; 54: 684-697.
- 5) Gribble PA, Delahunt E, et al.: Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position

- statement of the International Ankle Consortium. J Orthop Sports Phys Ther. 2013; 43: 585-591.
- 6) 山田英司: 三次元動作解析装置の活用法. 医療と検査機器・試薬. 2018; 41: 78-82.
  - 7) 西守隆, 伊藤章: 歩行速度の増加にともなうステップ長の増加要因. 関西理学療法. 2012; 12: 45-51.
  - 8) 中村隆一, 齋藤宏, 他: 基礎運動学(第6版補訂). 医歯薬出版, 東京, 2012, pp. 45-51.
  - 9) Nawata K, Nishihara S, et al.: Plantar pressure distribution during gait in athletes with functional instability of the ankle joint: preliminary report. J Orthop Sci. 2005; 10: 298-301
  - 10) Mineta S, Inami T, et al.: High lateral plantar pressure is related to an increased tibialis anterior/ fibularis longus activity ratio in patients with recurrent lateral ankle sprain. Open Access J Sports Med. 2017; 8: 123-131.
  - 11) 山田英司, 福田航, 他: 通常歩行における重症度の低い変形性膝関節症患者の膝関節外反モーメントと下肢関節角度の特徴. 理学療法科学. 2018; 33: 611-617.

(指導教員 鶴崎俊哉)

## 呼吸法の相違がバランス能力に与える影響

瀬口 千晶・中島 史理

本研究の目的は、呼吸法の相違が動的バランス能力に与える影響について検討することである。若年健常者 20 名を対象に、自然呼吸、口すぼめ呼吸、腹式呼吸、胸式呼吸の 4 条件にて、中央・前・後・左・右の重心移動を行い、重心動揺計を用いて動的バランス能力を測定した。その際に得られた動的バランス能力の指標とされる Index of Postural Stability (IPS), 重心動揺面積, 安定域面積について呼吸法の 4 条件で比較検討した。結果、IPS は中央値で自然呼吸 2.07, 口すぼめ呼吸 2.07, 腹式呼吸 2.05, 胸式呼吸 2.07 と 4 群間で有意な差は認められなかった。同様に、重心動揺面積, 安定域面積についても 4 群間で有意差は認められなかった。以上より、呼吸法の相違は動的バランス能力へ直接的に介入しないことが示唆された。

### はじめに

高齢者に多い慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease; COPD) 患者において、転倒に関する報告が散見される<sup>1,2)</sup>。1 年間における 1000 人当たりの転倒発生率を調査した先行研究では、非 COPD 患者の 24.1 と比べ、COPD 患者は 44.9 と非常に高い<sup>1)</sup>。さらに、転倒により骨折を受傷した慢性呼吸不全患者 (chronic respiratory failure; CRF) 群と非 CRF 群の 2 群間で入院期間、ならびに入院時と退院時の日常生活動作 (activities of daily living; ADL) の変化について比較した先行研究によると、入院期間は CRF 群が 89.0 日、非 CRF 群が 49.4 日と有意に長く、CRF 群は ADL の改善が有意に小さいことが報告されている<sup>2)</sup>。以上のことから、CRF 患者の転倒は入院期間の延長などによる医療費増大という経済的問題に悪影響を及ぼすため、転倒の原因追及、予防介入は重要である。

転倒の要因には、筋力、バランス能力、歩行能力などの低下といった内的要因と、段差、障害物、照明などの外的要因がある。CRF 患者の転倒場所を調査した先行研究では寝室や居間など外的要因の影響が少ない場所が多く、内的要因の方が転倒要因として大きいことが推察されている<sup>2)</sup>。内的要因のなかでも、COPD 患者のバランス能力に着目した先行研究において、重症度

が高い患者ほどバランス能力が低下していたと述べられている<sup>3)</sup>。横隔膜は呼吸筋としての働きに加え、腹腔内圧を維持することでの体幹の安定化としての作用を持つことが指摘されている<sup>4,5)</sup>。ことから、COPD 患者のバランス能力低下には、横隔膜の平坦化という COPD の病態の関与が推察されている<sup>3)</sup>。また、横隔膜は四肢を動かす際、体幹の姿勢制御など他の機能と協調して働いているが、換気需要が増加するにつれ、姿勢制御機能が低下したとの報告がある<sup>6)</sup>。これらのことから、呼吸パターンの相違がバランス能力に影響を与え、転倒リスクを高めている一要因でないかと推察されている。

これまでに、バランス能力と呼吸法との関連を示す先行研究がいくつかある。20 代の健常成人 (男性 8 名, 女性 5 名) を対象に、努力性呼気実施前後で片脚立位を 30 秒実施した際の重心動揺計を用いた総軌跡長を計測した実験では、努力性呼気実施後は実施前より総軌跡長が低値を示し、努力性呼気のバランス能力への即時的影響が報告されている<sup>7)</sup>。さらに、呼吸法とバランスが崩れた際の全身反応時間に着目した研究では、努力性呼吸を行った方が行わなかった場合と比較し、全身反応時間が有意に短縮し、努力性呼吸によりバランスを崩しそうになった時の反応性は高まり、転倒リスクが低くなると考察してい

る<sup>8)</sup>。一方で、若年健常成人男性 3 名に東洋的呼吸法の身体動揺への影響を調査した研究では、動揺面積に有意差は認められず、呼吸法のバランス能力への影響は少ないと結論づけられており<sup>9)</sup>、これまでのバランス能力と呼吸法との関連においては一定の見解が得られていない。さらに、先行研究は全て静的バランスを評価しており、呼吸法が様々で、動作中における呼吸法との関連を検討した研究は皆無である。また、サンプルサイズが少ないこと、性別の偏りなどの課題がある。

そこで本研究では、動作中に行う呼吸法の相違がバランス能力に影響を与えると仮説をたて、重心移動中に行う呼吸法の相違がバランス能力に対する即時効果について検討することを目的とした。本研究によって、これらのことが明らかになれば、CRF 患者の転倒予防に対する日常生活指導の一助になると思われる。

## 対象

若年健常者 20 名(男性, 女性それぞれ 10 名)を対象とした。除外基準は、運動器疾患によって立位保持が困難な者、呼吸器疾患(気管支喘息など)がある者、喫煙歴(過去・現喫煙)がある者、外傷等により足底に絆創膏やテーピングの貼付がある者とした。対象者には、本研究の目的および手順、内容、リスクについて口頭および文書で十分に説明し、書面にて同意を得た上で実施した。本研究は、長崎大学大学院医歯薬総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号 22051201)。

## 方法

### 1. 研究デザインと実施手順(図 1)

初日に事前評価と重心動揺を測定し、14 日以上の間隔をあけて 2 回目の重心動揺を測定した。重心動揺の測定は 2 回とも、自然呼吸、口すぼめ呼吸、腹式呼吸、胸式呼吸の 4 種類の呼吸法で行い、その順序は封筒法にて決定した。

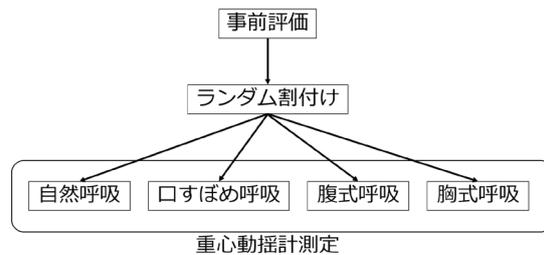


図 1 研究プロトコル

### 2. 事前評価

長崎大学医学部保健学科キャンパス内にて、研究説明書を用いて測定の手順、目的、リスク等について十分なオリエンテーションを行った。その後、以下の項目を評価した。

- ① 身長、体重
- ② 呼吸数、呼吸パターン:呼吸パターンは腹部隆起と斜角筋の収縮のタイミングによって 5 段階で判定した<sup>10)</sup>。
- ③ 下肢筋力:ハンドヘルドダイナモメーター(アニマ社製,  $\mu$ -Tus)を用い、利き脚の等尺性膝伸展筋力を測定する。測定は 2 回行い、最大値を採用する<sup>11)</sup>。

### 3. バランス能力

重心動揺計(アニマ社製, MA2000)を用い測定した。被験者は裸足で足底内側を平行に 10cm 離れた軽度開脚立位、両上肢は下垂位をとり、測定台上で被験者自身に前・後・左・右への重心移動を行ってもらい、測定の要領を理解できたと判断した後に測定を開始した。(図 2)

- ① 支持基底面内中央での重心動揺を初期の過渡的な身体動揺がおさまった後、10 秒間測定する<sup>12)</sup>。
- ② 安定して立位を保てる範囲内で重心を前方に移動させ、10 秒間の重心動揺を測定する。同様に後方、右方、左方の順に重心を移動し、合計 50 秒の重心動揺を測定する。
- ③ ①と②を 4 種類の呼吸法でランダムに実施し、各呼吸法の間は十分な休息を設けた。
- ④ 重心動揺の測定より、以下の項目を算出する。
  - i) 重心動揺面積:重心動揺軌跡の前後

の最大径と左右の最大径を乗じた矩形面積とする。重心動揺面積の代表値として中央および、前方、後方、右方、左方重心移動位置の 5 測定の平均値を採用する。

#### 重心動揺面積の代表値

$$=(\text{中央}+\text{前方}+\text{後方}+\text{右方}+\text{左方})/5$$

ii) 安定域面積: 前方への重心移動位置と後方への重心移動位置における 10 秒間の重心動揺中心の距離に、右方への重心動揺位置と左方への重心動揺位置における 10 秒間の重心動揺中心の距離を乗じた矩形面積とする。

#### 安定域面積

$$=(\text{安定域の左右径})\times(\text{安定域の前後径})$$

iii) 姿勢安定度評価指標 (Index of Postural Stability; IPS): 重心動揺面積と安定域面積の値を用いて、以下の式にて算出される。

$$\log[(\text{安定域面積}+\text{重心動揺面積})/\text{重心動揺面積}]$$

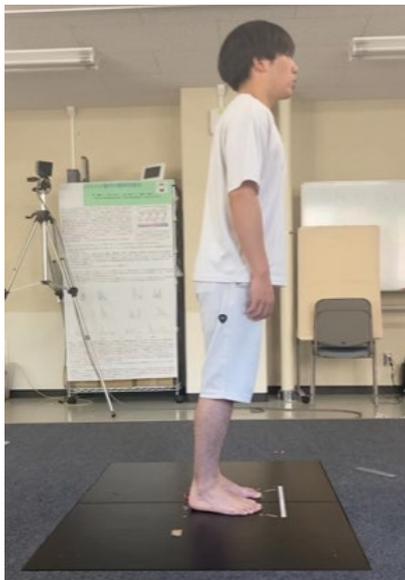


図 2 動的バランス能力測定

#### 4. 呼吸法の指導

呼吸法は全て同一人物が立位にて指導し、被検者の上部胸郭、上部腹部に手を置き、各呼吸法ができていることを確認後、実験を行った<sup>12)</sup>。

・自然呼吸:「普段通りに呼吸してください。」

・口すぼめ呼吸:「はじめは呼気に意識を集中して、軽く口をすぼめて息を吐きます。次に鼻から息を吸います。吸気時間が1に対して呼気時間が2倍になるようにしてください<sup>13)</sup>。」

・腹式呼吸:「①鼻から息を吸い込み、お腹が膨らむのを確認します。②お腹の力を抜いて、ゆっくりと鼻から息を吐きます<sup>14)</sup>。」

・胸式呼吸:「腹部を膨らませず胸郭のみを広げるように意識して呼吸します。」

#### 5. 統計学的解析方法

測定項目における呼吸法の群間比較を一般線形型モデルの反復測定分散分析を用い、共変量に性別を投入して検定した。また、下肢筋力と各測定項目との関連は Pearson の相関係数を用い、有意水準は 5%とした。解析には、統計解析ソフトウェア IBM SPSS Statistics 25 (IBM 社製)を使用した。

## 結果

#### 1. 対象者背景, 実施状況

事前評価の結果を表 1 に示す。なお、事前評価と重心動揺計での測定の実施において有害事象等の発生は認められなかった。

#### 2. IPS, 重心動揺面積, 安定域面積の各呼吸法での比較

IPS の結果は、中央値【四分位範囲】で自然呼吸 2.07【1.8-2.2】、口すぼめ呼吸 2.07【1.9-2.2】、腹式呼吸 2.05【1.9-2.3】、胸式呼吸 2.07【1.9-2.2】であり、4 群間で有意差は認められなかった(図 3)。重心動揺面積では、自然呼吸 2.27【1.6-3.4】、口すぼめ呼吸 2.29【1.5-3.0】、腹式呼吸 2.10【1.5-3.4】、胸式呼吸 2.30【1.7-3.4】、安定域面積は、自然呼吸で 270.2【201.1-307.7】と最も高かったものの 4 群間で有意差は認められなかった(図 4, 5)。

#### 3. 各呼吸法での下肢筋力体重比と IPS, 重心動揺面積, 安定域面積の関連

自然呼吸以外の口すぼめ呼吸、腹式呼吸、胸式呼吸において下肢筋力体重比と安定域面積に相関を認めた(図 6)。

表 1 対象者背景

	全体(n=20)	男性(n=10)	女性(n=10)
年齢 (歳)	21.3±1.1	21.7±0.9	20.8±1.0
身長 (cm)	162.1±7.6	168.2±4.6	156.0±4.4
体重 (kg)	54.7±9.7	61.1±7.1	48.3±7.5
下肢筋力 (kgf)	36.2±11.3	42.7±10.1	29.6±8.1
呼吸数 (回/分)	17.3±3.1	17.0±3.0	17.6±3.1
呼吸パターン (人) Grade1/2/3/4/5	0/2/10/8/0	0/1/4/5/0	0/1/6/3/0

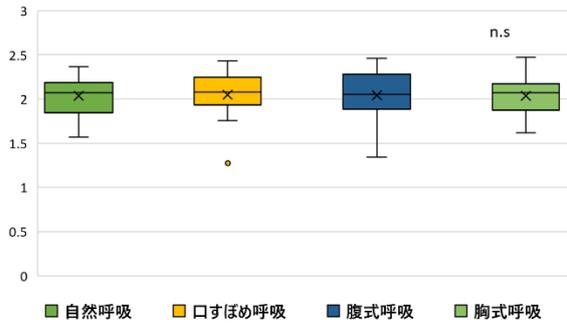


図 3 IPS

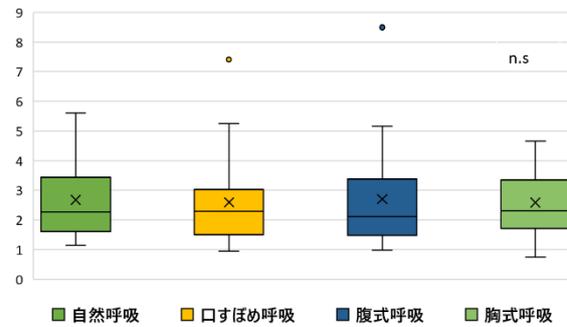


図 4 重心動揺面積

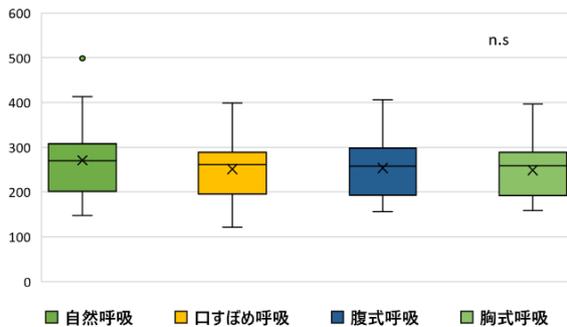


図 5 安定域面積

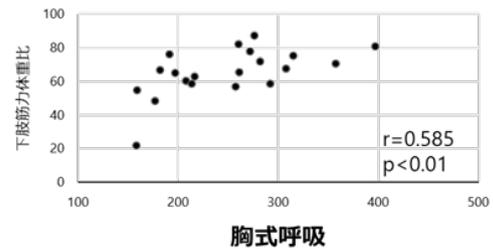
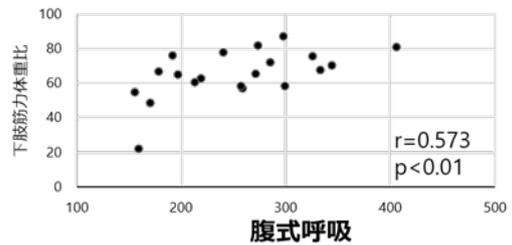
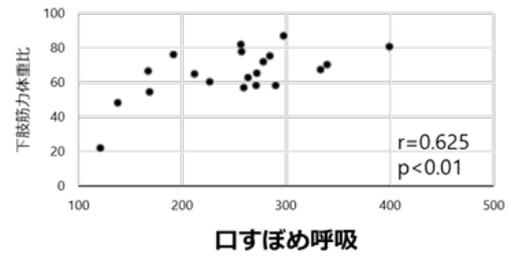
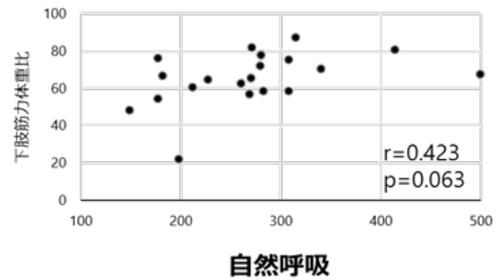


図 6 下肢筋力体重比と安定域面積

## 考察

今回、健常成人を対象に呼吸法の相違が動的バランス能力に与える影響について検討した。その結果、自然呼吸、口すぼめ呼吸、腹式呼吸、胸式呼吸の4つの呼吸法で動的バランス能力に相違は認められなかった。

その原因の一つとして、本研究は重心移動に加え、呼吸法を実施するといった二重課題になっていることが考えられる。健常成人を対象に、運動課題と認知課題の二重課題を同時に遂行した先行研究では、二重課題干渉効果により認知課題パフォーマンスが低下したことが報告されている<sup>15)</sup>。これは、二重課題時には認知課題に向ける注意資源容量が減少し、認知課題の要求する注意資源容量を満たさないためであると考えられている。このことから、本研究においても、日常的に使用しない呼吸法と重心移動の二重課題を遂行したことにより、二重課題干渉効果が大きくなり、呼吸法といった認知課題が不十分であったことが考えられ、重心動揺に差が生じなかったと推察した。

また、動的バランス能力には下肢筋力が影響していると報告されている<sup>16,17)</sup>。藤原らは20歳から79歳までの健常成人を対象に、立位での最前傾位で重心動揺と下肢筋力との関連性について検討し、最前傾位のような筋活動量の多い立位姿勢では安定性の規定要因としての筋力の重要性が増大すると報告している<sup>16)</sup>。さらに、平瀬らの高齢男性15名、女性54名を対象とした研究では、下肢筋力は活動レベルが高い対象者はFunctional Reach Test(以下FRT)と、活動レベルが低い対象者は静止立位時の重心動揺に影響を及ぼすことを報告した<sup>17)</sup>。つまり、若年成人など身体機能が高い対象者では下肢筋力とFRTのようなバランス能力に関連があることが予想される。本研究でも下肢筋力と自然呼吸以外の呼吸法での安定域面積には相関関係を認めたように、身体機能の高い健常者が重心移動して最大限体を傾けた姿勢では下肢筋力が優位に働き、呼吸法の影響が得られなかったと推察した。

さらに、静的バランスに即時効果があった先行研究では、呼吸法を10回行っていたことに対し、本研究では各方向の測定が10秒間のみのため

呼吸数が2~3回にとどまり、効果が得られるほどの呼吸回数が実施できていなかった可能性が考えられる。

以上より、健常成人を対象とした今回の研究では、動的バランス能力に呼吸法の影響は直接的には介在しないことが明らかとなった。

本研究の限界として、重心移動中の呼吸法が確実にできているかどうか確認が十分にできていないこと、十分な呼吸回数を得られていない可能性があること、呼吸数を統一していなかったことが考えられた。今後は、下肢筋力や体幹深層筋力が低下した高齢者やCRF患者を対象に研究を行うことで異なる結果が得られるかどうか検討したい。

## まとめ

今回、若年健常者を対象に呼吸法の相違が動的バランス能力に与える影響について検討した。その結果、動的バランス能力に自然呼吸、口すぼめ呼吸、腹式呼吸、胸式呼吸の4つの呼吸法の影響は介在しないことが明らかとなった。このことから、転倒が多いCRF患者の動的バランス能力については、呼吸法よりもその他の内的要因について評価する必要性があると考えられた。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の実施にご協力いただいた被検者の皆様、ご指導を賜りました内部障害理学療法学研究室の方々ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Hakamy A, Bolton EC, et al: Risk of falling in patients with COPD. *Thorax*. 2018; 73: 1079-1080.
- 2) 筒井 宏益, 藤田美紀男, 他: 慢性呼吸不全患者における転倒リスクについて. *日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌*. 2010; 20: 255-258.
- 3) 山口真奈美, 大野航輝, 他: 男性慢性閉塞性肺疾患患者のバランス能力に関する研究.

- 第 50 回日本理学療法大会 抄録集. 2015; 42.
- 4) Skladal J. Branice cloveka ve svetle normalni a klinicke fysiologie (The Human Diaphragm in Normal and Clinical Physiology). Prague: Academia; 1976 [In Czech].
  - 5) Kolar P, Sulc J, et al: Stabilizing function of the diaphragm. Dynamic MRI and synchronized spirometric assessment. J Appl Physiol. 2010; 109: 1064-1071.
  - 6) Hodges PW, Heijnen I, et al: Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. J Physiol. 2001; 537: 999-1008.
  - 7) 木村尚道, 益川眞一, 他: 努力性呼吸がバランスに与える即時効果について. 第 33 回九州理学療法士・作業療法士合同学会. 2011; 33: 256.
  - 8) 宮崎大地, 田鍋拓也, 他: 努力性呼吸運動による内腹斜筋の活性化と全身反応時間の短縮効果理学療法科学. 2012; 27: 525-527.
  - 9) 板谷厚, 木塚朝博, 他: 簡単な東洋的呼吸法が静止立位中の身体動揺に及ぼす影響. 北海道教育大学紀要. 2016; 67: 33-40.
  - 10) 川保幹雄, 吉田一正, 他: 呼気ガス分析から見た呼吸パターンの 5 段階評価法の検討. 理学療法学. 1997; 24: 377-383.
  - 11) 山崎裕司, 長谷川輝美: 固定用ベルトを装着したダイナモメーターによる等尺性膝伸展筋力の測定. 高知リハビリテーション学院紀要. 2001; 3: 7-11.
  - 12) 望月 久, 峯島孝雄: 重心動揺計を用いた姿勢安定度評価指標の信頼性および妥当性. 理学療法学. 2000; 27: 199-203.
  - 13) 独立行政法人 環境再生保全機構 喘息などの情報館 <https://www.erca.go.jp/yobou/zensoku/copd/effective/04.html> (2021 年 3 月 26 日引用)
  - 14) 秋山典隆, 飯塚牧人, 他: 呼吸パターンの違いが分時酸素摂取量に及ぼす影響. 運動障害. 2008; 18: 1-6.
  - 15) 城野靖朋, 金井秀作, 他: 運動課題と認知課題の二重課題干渉効果. ヘルスプロモーション理学療法研究. 2013; 3: 47-51.
  - 16) 城野靖朋, 金井秀作, 他: 運動課題と認知課題の二重課題干渉効果. ヘルスプロモーション理学療法研究. 2013; 3: 47-51.
  - 17) 加藤秀典, 鈴木康裕, 他: 年代別にみた健康者における動的バランス能力と下肢筋力との関係. 理学療法学. 2015; 37: 139-142.
  - 18) 平瀬達哉, 井口茂, 他: 高齢者におけるバランス能力と下肢筋力との関連性について. 理学療法科学. 2008; 23: 641-646.

(指導教員 田中貴子)

# 関節リウマチの関節運動前後の超音波所見の変化について

平本友乃

## 要旨

本研究は関節リウマチ(RA)患者の関節運動前後での関節内の変化を超音波検査画像によって比較し、患者に対する運動療法の実施方法を検討するエビデンスとするものである。対象は A 大学病院リウマチ・膠原病内科に通院中の RA 患者 8 名である。これらの対象者の利き手示指 MCP 関節において、運動前後で超音波検査を行った。その結果、対象の関節に腫脹を有する 2 名の患者においては、関節運動によって超音波検査の滑膜・腱の肥厚、関節腔の拡大、MCP 関節屈曲増大がみられた。以上の結果から、腫脹のある関節においては関節運動前後の超音波所見の悪化がみられるため積極的な運動療法の介入が推奨されないことが明らかになった。

## はじめに

関節リウマチ(rheumatoid Arthritis: RA)は全身のさまざまな関節に多発性の滑膜炎をきたす疾患で、関節内部においては滑膜の増殖と炎症細胞浸潤からなるパンヌスが形成され、関節の腫脹・疼痛、さらには関節の破壊・変形を起こす。RA のリハビリテーションについて、欧州リウマチ学会ならびに米国リウマチ学会は Exercise を推奨している<sup>1)</sup>。ただし、RA の関節破壊は多様で個人差もあり、画一的なリハビリテーションは罹患した関節を悪化させてしまう懸念があるため、適切な身体評価をしたうえでの運動療法が望まれる<sup>2)</sup>とされている。このことから、関節ごとにリハビリテーションの実施方法を考慮しなければならないのではないかと考えた。

RA の診療において画像検査の発展は著しく、特に超音波検査は一つ一つの関節の内部の状態や炎症の程度を把握することができ<sup>3)</sup>、リハビリテーションプログラムの立案や負荷量の決定の判断に活用できる<sup>4)</sup>とされている。超音波検査はリハビリの負荷を決める判断として有用であるとされているが、通常安静時に実施されており、運動後の超音波検査所見については明らかにされていない。

そこで、今回の研究で関節運動前後の関節超音波所見を評価し、腫脹の有無によって比較す

ることで、関節ごとの腫脹の有無によって RA 患者のリハビリテーションの実施方法を検討するエビデンスとなるのではないかと考えた。

## 対象および方法

### 1. 対象者

今回の研究の対象者は、この研究への参加について同意を得た A 大学病院リウマチ・膠原病内科外来を受診している患者で、2010 年の米国リウマチ学会/欧州リウマチ学会のリウマチ分類基準<sup>5)</sup>で RA と診断された 8 名である(表 1)。年齢は 30 歳代から 70 歳代で、関節破壊の進行度であるステージは I~IV、日常生活での障害の程度であるクラスは 1~2 であった。疾患活動性を表す DAS28 は寛解から高疾患活動性までさまざまであった。1 名のみ関節運動による疼痛を認めた。メトトレキサートを中心とした治療が行われ、3 名にプレドニゾン、4 名に生物学的製剤が投与されていた。

### 2. 方法

基本属性として対象者の年齢、性別、圧痛関節数、腫脹関節数、Steinbrocker の stage 分類、アメリカリウマチ学会の class 分類、疾患活動性の指標である DAS28-CRP、治療薬の情報を電子カルテから入手した。

表 1 対象者

対象者	年齢 (歳)	性別	圧痛関 節数	腫脹関 節数	stage	class	疾患活 動性 (DAS28)	運動後 疼痛	治療薬
A	30代	女	0	0	2	1	1.46	無	メトトレキサート アバタセプト
B	70代	男	0	3	2	1	3.12	無	なし
C	40代	女	6	0	1	1	2.73	無	プレドニゾン ロキソプロフェン
D	70代	女	0	0	3	2	1.28	無	トシリズマブ
E	70代	女	2	1	2	1	2.4	無	プレドニゾン・メトトレキ サート・ゴリムマブ
F	70代	女	6	2	4	2	2.98	無	メトトレキサート アクテムラ
G	50代	女	16	16	4	2	4.18	有	プレドニゾン・タクロリ ムス・メトトレキサート
H	60代	女	0	22	4	2	3.78	無	メトトレキサート タクロリムス

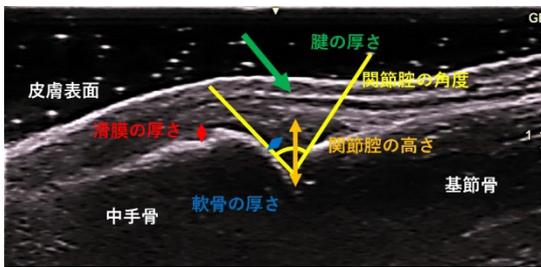


図 1 関節超音波検査の各パラメーターの測定方法

そして、超音波機器 (GE Healthcare 社 Venue50) を用いて測定部の関節超音波検査を行った利き手示指 MCP 関節背側において手指進展位にて実施し、グレイスケールでの関節滑膜の厚さ、滑膜腔の高さ、滑膜腔の角度、軟骨の厚さ、腱の厚さ、パワードプラでの血流シグナルのグレード分類について評価した (図 1)。

滑膜の厚さは関節より近位にある凹んだ部位で測定した。腱の厚さは関節中央部に最も近い部位で測定した。軟骨の厚さは中手骨の軟骨中央部で測定した。関節腔の高さは関節最深部から滑膜最上部までの距離を測定した。関節腔の角度は関節の最深部を頂点として骨の面に沿って測定した。次に、手関節および手指の屈伸運動 (自動運動) を 10 回行った。その後、同関節の超音波検査を行い、運動前の超音波所見と比較した。ここでパワードプラモードでのグレード分類について説明する。このモードでは炎症症状を評価することができる。炎症が起きている部位

には赤い血流シグナルが描出される。このシグナルがみられない場合はグレード 0。点状のシグナルが存在する場合はグレード 1。シグナルが癒合し、そのシグナルが滑膜の範囲の 1/2 以下であるとグレード 2、1/2 以上であるとグレード 3 となる。

なお、本研究は長崎大学病院臨床研究倫理委員会にて承認を得て行った (許可番号: 22011703)。

## 結果

### 1. 滑膜の厚さ

対象者 8 名中 6 名の利き手の示指 MCP 関節には腫脹がなく、関節運動後も有意な変化はなかった。しかし、利き手示指 MCP 関節が腫脹していた 2 名においては、関節運動前から腫脹のない 6 名より滑膜が肥厚していたが、関節運動によりさらにその肥厚が増加した (図 2)。

### 2. 関節腔の高さ

利き手示指 MCP 関節に腫脹の見られない関節では増加・低下の変化が見られた。腫脹のある関節では運動前から腫脹のない関節より大きい値をとっており、2 例のうち 1 例ではさらなる増加がみられた (図 3)。

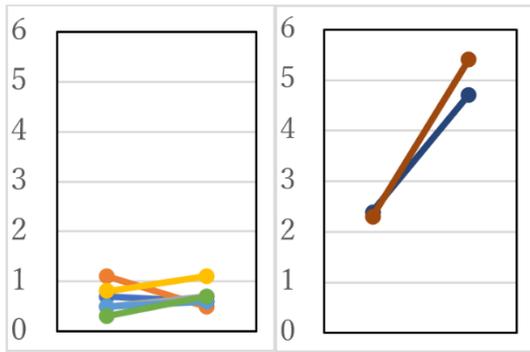


図2 腫脹のない関節と腫脹のある関節の滑膜の厚さの比較

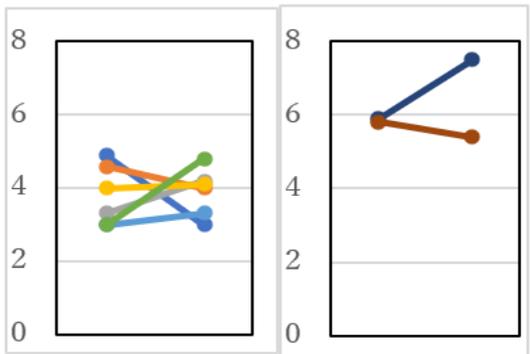


図3 腫脹のない関節と腫脹のある関節の関節腔の高さの比較

### 3. 関節腔の角度

腫脹のない関節のほとんどで角度が低下しているが、腫脹のある関節では増加している(図4)。

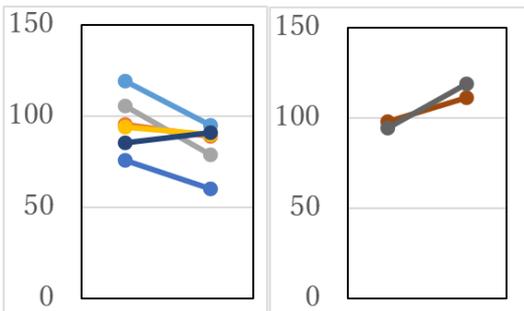


図4 腫脹のない関節と腫脹のある関節の関節腔の角度の比較

### 4. 軟骨の厚さ

腫脹のない関節でしか検出することができず、その結果はほとんどが低下した(図5)。

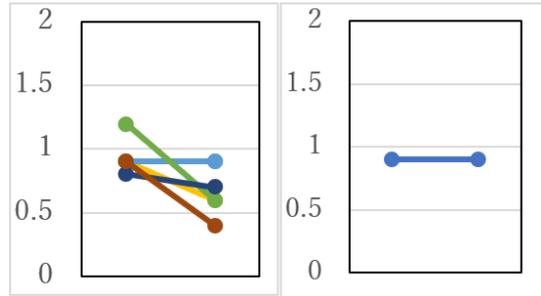


図5 腫脹のない関節と腫脹のある関節の軟骨の厚さの比較

### 5. 腱の厚さ

腫脹のない関節のほとんどで厚さが低下した。腫脹のある関節では増加した(図6)。

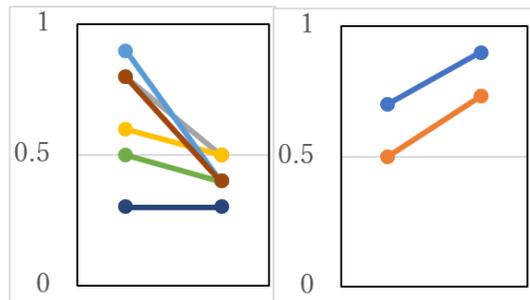


図6 腫脹のない関節と腫脹のある関節の腱の厚さの比較

### 6. パワードプラのグレード

腫脹がない場合も腫脹がある場合もどの関節においても運動前後で変化はみられなかった。ただし、腫脹のある関節ではグレードが高い値をとったままであった(図7)。

表2に運動前後での関節超音波検査の結果を腫脹のない関節と腫脹のある関節に分けてまとめた。

腫脹のない関節の場合は、滑膜の厚さに大きな変化はなかった。関節腔の角度は増加も低下もみられた。関節の角度や軟骨、腱は低下する例が多くみられた。活動性を示唆するパワードプラシグナルに変化はなかった。

一方、腫脹のある関節では関節滑膜の肥厚や腱の肥厚が強くなった。関節の角度は増加しており、関節運動によって関節が屈曲する方向に変化があった。パワードプラシグナルも強いままであった。

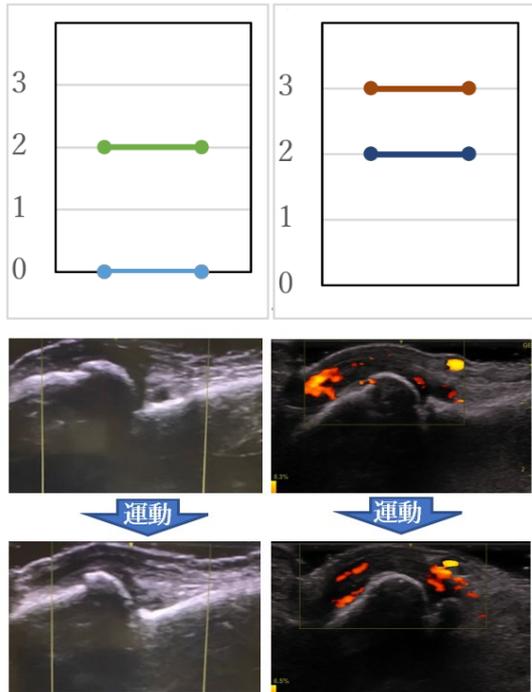


図7 腫脹のない関節と腫脹のある関節の  
パワードプラのグレードの比較

表2 まとめ

	腫脹なし	腫脹あり
滑膜の厚さ	～	↑
関節腔の高さ	↓↑	～↑
関節の角度	↓～	↑
軟骨の厚さ	↓～	検出不可
腱の厚さ	↓～	↑
パワードプラの グレード	低～	高～

## 考察

### 1. 滑膜の厚さ

腫脹の有無の比較において、滑膜の厚さに関して腫脹がない関節では変化がみられず、腫脹のある関節では増加がみられた。

10回の関節運動によって短時間で滑膜が増殖するとは考えにくい。腫脹のある関節滑膜においては炎症により血管透過性が亢進しているが<sup>6)</sup>、運動によりさらに滑膜組織へ液性成分が増加す

ることによって滑膜の厚さが増加したのではないかと考えた。

### 2. 関節腔の高さ

関節腔の高さについては腫脹の有無にかかわらず、一貫性のある結果は得られなかった。ただし、腫脹のある関節では運動前の値が高かった。腫脹のある関節では炎症による滑膜の増生および関節液の貯留により、関節腔が拡大している。そして、1例ではさらに関節腔の拡大が強くなった。その症例においては運動による疼痛もあった。滑膜外側の関節包には知覚神経終末が分布しており、関節腔が拡大することによって周りの神経を圧迫している可能性が示唆された<sup>7)</sup>。

### 3. 関節腔の角度

MCP 関節を伸展すると関節腔の角度は小さくなり、屈曲すると角度は大きくなる。腫脹のない関節で角度が低下しており、MCP 関節が伸展していると考えられた。この要因としては、運動によってこわばりが軽減した可能性が考えられた。腫脹のある関節では角度は増加しており、MCP 関節が屈曲したと考えられた。炎症の増悪・滑膜の肥厚やそれに伴う疼痛により MCP 関節を伸展しにくくなったことが要因として考えられた。

### 4. 軟骨の厚さ

腫脹のない関節軟骨の厚さの低下は屈曲伸展運動の際に軟骨を圧迫することにより、一時的に厚さが減少したことが要因として考えられた。腫脹のある関節の軟骨が測定できなかったが、その理由として、軟骨の減少や肥厚した滑膜の軟骨への進展などが考えられた。

### 5. 腱の厚さ

腫脹のない関節では腱の厚さが低下していた。この理由は不明であるが、関節屈伸運動によって腱が伸ばされ、一時的に薄くなったのかもしれない。腫脹のある関節では、屈伸運動によって関節滑膜だけでなく、腱も炎症が悪化し、厚さが増加したものと考えた。

### 6. パワードプラのグレード

腫脹のない関節の多くでは血流シグナルは測

定されず、運動後も変化はないため運動による活動性への影響はないものと考えられた。腫脹のある関節でもグレードの変化は見られなかった。運動前と同程度の活動性を示す血流シグナルを認めた。

パワードプラは少しでも動かすと血流シグナルが描出しにくくなる。そのため、パワードプラによって観察する場合は一定時間の安静が必要である。しかしながら、腫脹のある関節においては運動直後であるにもかかわらず、運動前と同程度のシグナルを認めた。つまり、運動により同程度以上の活動性を認めたことが示唆された。

従来まで、RA のリハビリテーションについては、活動期には安静を、非活動期には積極的運動療法が勧められてきた<sup>8)</sup>。近年、比較的活動性が高い症例にも、運動療法の実施が有効であるという報告が散見される<sup>9)10)</sup>。また、RA 患者の活動性を DAS28 などの全般的評価でなく、超音波検査の利用によって一つ一つの関節を評価することが可能となった。

今回、腫脹のある関節においては屈伸運動をすることにより、炎症所見がさらに悪化することを客観的に示すことができた。そのように腫脹のある関節に対しては積極的な運動療法は勧められず、安静、比較的低強度の等尺性運動、物理療法、保護的な日常生活の指導が勧められる。

本研究の限界として、対象患者数が少なく、統計学的な評価を行うことができなかった。今後症例数を増やして検討することが必要である。そして、関節超音波検査は通常安静位に実施するが、運動直後に行った場合パワードプラシグナルの評価が困難であった。また、軟骨に関しては軟骨が破壊されており、検出することが困難な症例があり、データとしては使用することができなかった。今後は客観的なデータを蓄積することで医療、リハビリに貢献できると考える。

## 結論

本研究では RA の動作による超音波所見の変化を定量的に解析した。関節の腫脹の有無で分類して変化を見てみると、RA 患者の運動による関節の変化は腫脹の有無によって異なり、腫脹

のある活動性の高い関節に対する積極的な屈伸を伴う運動は推奨されないことが示唆された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力頂いた患者様、また、ご指導を賜りました折口智樹教授に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Gwinnutt JM, Wieczorek M, et al. 2021 EULAR recommendations regarding lifestyle behaviours and work participation to prevent progression of rheumatic and musculoskeletal diseases. *Ann Rheum Dis*. in press.
- 2) 王 興栄: 関節リウマチ/リハビリテーション.Evidence Based Medicine を活かす膠原病・リウマチ診療. 東京女子医科大学病院膠原病リウマチ痛風センター(編), メジカルビュー社, 東京. 2020, pp.177-181.
- 3) 江口勝美, 折口智樹, 他: 関節リウマチ診断のための超音波検査, 手にとるようにわかる関節リウマチのための画像診断, 井上和彦(編), ベクトル・コア社, 東京, 2009, pp.32-42.
- 4) 三浦靖史, 前田俊恒: 関節リウマチのリハビリテーション診療に役立つ画像診断—超音波検査について. *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020; 57: 1017-1022.
- 5) Aletaha D, Neogi T, et al.: 2010 Rheumatoid arthritis classification criteria: an American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative. *Arthritis Rheum*. 2010; 62: 2569-2581.
- 6) 渡邊萌理, 寺井千尋: アレルギー・炎症性浮腫の特徴と対策.*Fluid Management Renaissance*.2016; 6: 67.
- 7) 横田敏勝: 関節痛の病態生理. *日本内科学会雑誌*.1994; 83: 1881-1886.
- 8) 椎野泰明: 関節リウマチの運動療法.リ

- ハビリテーション医学.2004; 41: 455-459.
- 9) Van den Ende CHM, Breedveld FC, et al.: Effect of intensive exercise on patients with active rheumatoid arthritis: a randomized clinical trial. *Ann Rheum Dis.* 2000; 615-621.
  - 10) Lineker SC, Bell MJ, et al.: Improvements following short term home based physical therapy are maintained at one year in people with moderate to severe rheumatoid arthritis. *J Rheumatol.* 2001; 28: 165-168.

(指導教員 折口智樹)

# 高齢者サロン参加者のサルコペニアの状況と 身体機能及び生活機能との関連について

村田優衣

## 要旨

長崎市内の高齢者サロン参加者85名を対象にサルコペニアの状況を調査し、さらに女性高齢者についてサルコペニア群と非サルコペニア群に分類し、身体機能と問診結果を比較、検討した。全対象者のサルコペニアの該当者は11名(12.9%)であった。女性高齢者においてサルコペニア群は非サルコペニア群と比較して平均年齢が高く、BMI、SMI、握力、開眼片脚立位、TUGが有意に低下していた。また、低栄養のリスクに該当する者が多く、基本チェックリストの合計点数も有意に高い点数となった。女性のみを対象とした場合、低栄養のリスクに有意差がみられ、ロジスティック回帰分析の結果、サルコペニアには握力とBMIが関連した。高齢者サロンに通う女性高齢者に対して、運動面のみならず、栄養状態も考慮した指導の必要性が示唆された。

## はじめに

令和4年度高齢白書<sup>1)</sup>によると、わが国の高齢化率は28.9%であり、第一号被保険者における要介護認定率は18.7%を占めている<sup>2)</sup>。そのため、わが国では介護保険制度の財政面の維持のために介護予防をはじめとした事業を展開し、自立支援に向けた地域包括ケアシステムの構築を推進している。

介護予防事業については、平成18年度の介護保険法の改正から、すべての高齢者を対象とした一次予防や生活機能の低下リスクのある高齢者、いわゆる特定高齢者を対象とした二次予防として運動教室が始まった。平成27年度の改正では介護予防・日常生活支援事業となり、年齢や心身の状況等によって分け隔てることなく、高齢者の通いの場として高齢者サロンを充実させ、地域における介護予防の機能強化を図っている<sup>3)</sup>。

高齢者サロンは「地域を拠点に、住民である当事者とボランティアとが協働で企画をし、内容を決め、共に運営していく楽しい仲間づくりの活動」と定義されている<sup>4)</sup>。高齢者が容易に通える範囲で開催されていることから、元気な方から虚弱な

方まで幅広く参加されている。高齢者サロンの効果検証については、介護予防効果<sup>5)</sup>、外出頻度の維持<sup>6)</sup>、認知機能低下の予防<sup>7)</sup>、など多彩な内容から検討されている。しかし、高齢者サロン参加者の身体機能に着目して検討した研究は少ない。

加齢に伴う身体機能の変化として、「サルコペニア」が近年、注目されている。サルコペニアは「高齢期にみられる骨格筋量の減少と筋力もしくは身体機能(歩行速度など)の低下」と定義されている<sup>8)</sup>。サルコペニアが進行すると、転倒や活動量低下が引き起こされ、それによりフレイルが進行し、要介護状態へ至ることが問題視されている。サルコペニアを呈している者は健常者と比較して、要介護発生リスクが男性で1.6倍、女性で1.7倍高くなる<sup>9)</sup>と報告されている。サルコペニアは要介護状態に至る要因の一つであると考えられ、高齢者サロンにおいてもサルコペニアの評価、状況の把握が必要であると考えられる。

そこで本研究の目的は、高齢者サロン参加者のサルコペニアの状況を調査し、その判定基準別の身体機能及び生活機能の特徴を検討することとした。

## 対象と方法

### 1. 対象

長崎市内の高齢者サロン6ヶ所に参加する高齢者105名を対象に問診と身体機能の評価を実施した。要介護認定を受けている者、Mini-Cogが3点未満である者を除外し、またデータに欠損のあった者を除く85名を今回の対象とした。なお、高齢者サロンの条件として、週に1回開催していること、運動を中心に実施していることとした。本研究は、長崎大学大学院医歯薬総合研究科保健学系倫理委員会で承認を受けて実施した(承認番号:22080407)。

### 2. 研究方法

#### (1) 評価項目

評価する項目は、一般状況(年齢、性別、居住形態、介護保険制度の利用状況)、握力、5回椅子起立、開眼片脚立位、Timed Up and Go(以下、TUG)、四肢骨格筋量指数(以下、SMI)。基本チェックリスト、国際標準化身体活動質問票(以下、IPAQ)とした。

握力は握力計にて評価し、両脚を開いた立位姿勢で体に触れないように肩を軽く外へ開く肢位とした。左右2回ずつ計測し最大値を採用した。

5回椅子起立は、椅子に座り、腕を組んだ状態から5回反復立ち座り動作の所要時間をストップウォッチで測定した。2回計測し、良い方の値を採用した。

開眼片脚立位は、バランス能力を評価するために用いた。両手を腰にあて、片脚を床から5cm程度挙げた状態でストップウォッチを用いて計測した。測定開始後、挙げている足が床に着く、手が腰から離れる、支持している足が動いた場合に測定は終了とした。最長60秒とし、2回計測を行い、良い方の値を採用した。なお、1回目に60秒に到達した場合、2回目は省略した。

TUGは歩行およびバランス能力を評価するために用いた。椅子に座り、腕を組んだ状態から立ち上がり、3m先の目印点で折り返し、再び椅子に座るまでの時間をストップウォッチで計測した。2回計測し、良い方の値を採用した。

SMIは、生体電気インピーダンス法による体成分分析装置(InBody 470)を使用して四肢骨格

筋量を測定し、身長(m)の2乗で除した値を用いた。

生活機能は基本チェックリストを用いて評価した。25項目で構成されており、内容は日常生活関連動作の評価(5項目)、運動器の機能評価(5項目)、低栄養状態の評価(2項目)、口腔機能の低下(3項目)、閉じこもり評価(2項目)、認知機能評価(3項目)、抑うつの評価(5項目)の7領域からなる。各生活機能の低下の評価は、介護予防事業における二次予防事業対象者の選定基準を基にして、生活機能の低下のリスクのある該当者を求めた。運動器の機能低下は5項目中3項目以上の該当、低栄養状態は2項目すべてに該当、口腔機能の低下は3項目中2項目以上に該当、閉じこもりは2項目のうち16に該当、認知機能の低下は3項目中1つ以上に該当する場合とした。また、フレイルの該当者の判定方法として、0-7項目で正常、8項目以上でフレイル該当者とした。

身体活動量を評価するために、国際標準化身体活動質問票: International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)を用いた。直近1週間において歩行や中等度および強い身体活動を何日行ったか、1日あたりの合計時間を自記式質問紙によって測定する。IPAQによって得られた各強度別の運動日数及び時間を用い、総METs (METs・時/週)を算出し、IPAQ分析ガイドライン<sup>10)</sup>に基づいて、身体活動のレベルを高、中、低の3つに分類した。

#### (2) サルコペニア判定

サルコペニアは、Asian Working for Sarcopenia 2019(AWGS2019)の診断基準に準じて、非サルコペニア群、サルコペニア予備群、サルコペニア群の3群に分類した<sup>11)</sup>。筋力低下(握力:男性28kg未満、女性18kg未満)または身体機能低下(5回椅子起立:12秒以上)でサルコペニア予備群とした。それに該当し、かつ骨格筋量が低下(SMI:男性7.0kg/m<sup>2</sup>未満、女性5.7g/m<sup>2</sup>未満)している者をサルコペニア群とする。該当しない者を非サルコペニア群とした。

### 3. 統計解析

サルコペニアの判定結果より、非サルコペニア群、サルコペニア予備群、サルコペニア群に分類し、一般状況、基本チェックリストの得点及び下位項目の該当状況について、カイ二乗検定とKruskal-Wallis検定を用いて比較検討した。また、サルコペニアの有無に関連する要因を検討するためサルコペニアの有無を従属変数、サルコペニアの判定別比較において有意差がみられた評価項目を独立変数としたロジスティック回帰分析(強制投入法)を用いて分析した。統計解析には、SPSS statistics version 22 (IBM社)を使用し、有意水準は5%未満とした。

## 結果

### 1. 高齢者サロン全体の状況(表1)

#### (1) 対象者の状況

全対象者85名の内訳は、男性11名(12.9%)、女性74名(87.1%)で平均年齢は79.0±5.5歳であった。

サルコペニア群に該当する者は11名(12.9%)、サルコペニア予備群は5名(5.9%)、非サルコペニア群は69名(81.2%)であった。男女別にみると、男性でサルコペニア群が1名(9.1%)、非サルコペニア群が10名(90.9%)であり、サルコペニア予備群に該当する者はいなかった。女性はサルコペニア群が10名(13.5%)、サルコペニア予備群が5名(6.8%)、非サルコペニア群が59名(79.7%)であった。

#### (2) 身体機能と問診の結果

身体機能の各評価項目の平均は、BMI23.1±3.5kg/m<sup>2</sup>、SMI5.9±0.9 kg/m<sup>2</sup>、握力23.1±5.8kg、5回椅子起立6.3±1.7秒、開眼片脚立位28.5±21.5秒、TUG6.3±1.4秒であった。

表 1 高齢者サロン参加者全体の特徴

	全体(n=85)	非サルコペニア群(n=69)	サルコペニア予備群(n=5)	サルコペニア群(n=11)	p値
性別(n,男/女)	11/74	10/59	0/5	1/10	0.5959
年齢(歳)	79.0±5.5	78.5±5.6	82.8±3.1	83.1±4.9	0.0146
要支援(n,%)	9(10.6)	7(10.1)	1(20.0)	2(18.18)	0.6258
独居(n,%)	29(34.1)	22(31.8)	3(60.0)	4(36.3)	0.4343
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.1±3.5	23.1±3.1	27.3±3.4	20.2±4.0	0.0072
SMI(kg/m <sup>2</sup> )	5.9±0.9	6.0±0.8	6.3±0.3	5.0±0.7	0.0009
握力(kg)	23.1±5.8	24.7±4.9	15.3±2.5	16.2±3.5	0.0010
5回椅子起立(秒)	6.3±1.7	6.0±1.5	7.2±2.1	7.1±2.5	0.1401
開眼片脚立位(秒)	28.5±21.5	31.6±22.0	18.4±11.3	13.9±11.8	0.0293
TUG(秒)	6.3±1.4	6.0±1.3	7.9±1.2	7.1±1.2	0.0004
運動器低下(n,%)	14(16.5)	1(1.4)	0(0.0)	1(9.1)	0.1708
低栄養(n,%)	4(4.7)	9(13.0)	2(40.0)	3(27.3)	0.0741
口腔機能低下(n,%)	16(18.8)	2(2.9)	0(0.0)	2(18.2)	0.9963
閉じこもり(n,%)	8(9.4)	13(18.8)	1(20.0)	2(18.2)	0.7542
認知機能低下(n,%)	31(36.5)	7(10.1)	0(0.0)	1(9.1)	0.3924
うつ傾向(n,%)	15(17.6)	23(33.3)	3(60.0)	5(45.5)	0.0008
KCL点数(点)	4.2±3.5	3.6±3.3	6.2±3.9	6.9±3.1	0.0043
フレイル(n,%)	13(15.3)	8(11.6)	2(40.0)	3(27.3)	0.1163
活動レベル(高/中/低)	15/24/46	12/18/39	2/1/2	1/5/5	0.6172

基本チェックリストで評価した生活機能低下の該当者は、認知機能低下31名(36.5%)、口腔機能の低下16名(18.8%)が多く該当していた。基本チェックリストの平均合計点数は4.2±3.5点、フレイルに該当する者が13名(15.3%)であった。

IPAQで評価した活動レベルは高15名(17.6%)、中24名(28.2%)、低46名(54.1%)と低身体活動レベルの者が多かった。

サルコペニアの判定基準別により3群間で比較した結果、有意差がみられた項目は、年齢、BMI、SMI、握力、開眼片脚立位、TUG、うつ傾向、基本チェックリストの合計点数であった。

男性の人数が少なく、サルコペニアの状況に偏りがみられること、サルコペニア予備群に該当する者が少なかったことから、解析対象は女性のみ

にし、サルコペニア予備群を非サルコペニア群に含めた2群間にて比較・検討し、サルコペニアに至る要因分析を行った。なお、統計手法はMann-WhitneyのU検定、カイ二乗検定とロジスティック回帰分析を用いた。

## 2. 女性におけるサルコペニアの特徴(表2)

サルコペニア群の平均年齢は82.4±4.9歳で非サルコペニア群の78.5±5.0歳と比較して有意に高かった。BMIは19.5±3.6kg/m<sup>2</sup>、SMIが4.8±0.6kg/m<sup>2</sup>であり、非サルコペニア群と比較して有意に低下していた。身体機能については、握力、開眼片脚立位、TUGに有意差がみられ、それぞれ、15.3±2.4kg、14.1±13.0秒、7.1±1.3秒であった。IPAQで評価した活動レベルは非サルコペ

表 2 女性におけるサルコペニアの特徴

	非サルコペニア群 (n=64)	サルコペニア群 (n=10)	p値
年齢(歳)	78.5±5.0	82.4±4.9	0.039
要支援者(n,%)	7(10.9)	2(20.0)	0.565
独居(n,%)	21(32.8)	4(40.0)	0.655
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.47±3.30	19.5±3.6	0.006
SMI(kg/m <sup>2</sup> )	5.8±0.7	4.8±0.6	0.000
握力(kg)	22.7±3.6	15.3±2.4	0.000
5回椅子起立(秒)	6.28±1.6	7.21±2.3	0.176
開眼片脚立位(秒)	28.8±21.3	14.1±13.0	0.035
TUG(秒)	6.2±1.3	7.1±1.3	0.014
運動器低下(n,%)	11(17.2)	2(20.0)	0.828
低栄養(n,%)	2(3.1)	2(20.0)	0.028
口腔機能低下(n,%)	14(21.9)	2(20.0)	0.893
閉じこもり(n,%)	6(9.4)	1(10.0)	0.950
認知機能低下(n,%)	21(32.8)	5(50.0)	0.290
うつ傾向(n,%)	12(18.8)	2(20.0)	0.925
KCL合計(点)	3.9±0.4	6.8±1.1	0.010
フレイル(n,%)	9(14.1)	2(20.0)	0.624
活動レベル高/中/低(n)	12/15/37	1/4/5	0.498

ニア群,サルコペニア群ともに低身体活動レベルに該当する者が多かった。基本チェックリストで評価した生活機能について有意差がみられた項目は、低栄養のリスクであり、サルコペニア群の2名(20.0%)が該当していた。基本チェックリストの合計点数の平均では、非サルコペニア群が3.9±0.4点、サルコペニア群が6.8±1.1点と有意に高かった。フレイルには有意差がみられず、非サルコペニア群は9名(14.1%)、サルコペニア群は2名(20.0%)であった。

### 3. サルコペニアに関連する要因(表3)

サルコペニアに関連する要因の抽出するために、サルコペニアの有無を従属変数、サルコペニアの判定別比較において有意差がみられた評価項目を独立変数としたロジスティック回帰分析を用いて分析した。

年齢で調整した結果、サルコペニアにはBMI(オッズ比0.531, 95%CI 0.30-0.95, p=0.034)と握力(オッズ比0.411, 95%CI 0.20-0.95, p=0.013)が関連した。

表 3 ロジスティック回帰分析の結果

	p値	Odds ratio	95%CI
年齢	0.514	1.090	0.84-1.41
BMI	0.034	0.531	0.30-0.95
握力	0.013	0.411	0.20-0.83
TUG	0.406	1.517	0.50-4.58
低栄養	0.797	0.430	0.00-271.9

## 考察

本研究は長崎市内高齢者サロン参加者85名を対象にサルコペニアの状況を調査した。さらに女性高齢者についてサルコペニア群と非サルコペニア群に分類し、身体機能と問診結果を比較し、サルコペニアの出現に関わる要因を検討した。

本研究の結果より、高齢者サロン参加者のサルコペニアの割合は12.9%であった。同年代の地域在住高齢者を対象とした先行研究では、サルコペニアの該当率は12.3~17.8%<sup>9),12),13)</sup>、諸外国

では22.2~27.6%<sup>14),15),16)</sup>と報告され、先行研究と同程度の該当率であった。

対象者全体の状況については、身体機能の平均は握力23.1±5.8kg, 5回椅子起立6.3±1.7秒, 開眼片脚立位28.5±21.5秒, TUG6.3±1.4秒であった。令和元年度長崎市介護予防事業評価報告書<sup>17)</sup>の生涯元気事業(一般介護予防事業に該当)に参加した高齢者のデータでは、握力21.7kg, 5回椅子起立6.7秒, 開眼片脚立位27.8秒, TUG6.9秒であり、今回の結果と大きな差は認められなかった(表4)。角田ら<sup>18)</sup>は低体力水準にある高齢者においては、短期間かつ週1回の運動介入でも運動効果が期待できると報告している。そのため、今回の対象者は週に1回、高齢者サロンで運動を行うことで、身体機能の維持を図ることができているのではないかと考えた。生活機能については、前述の長崎市のデータと比較して、うつ傾向に該当する者が少なく(本研究17.6%, 長崎市24.7%)、低栄養に該当する者が多かった(本研究4.7%, 長崎市0.4%)。岩永<sup>19)</sup>は、高齢者サロンはネットワーク強化が期待でき、人と話す機会の増加や閉じこもり・孤立防止などの効果があると報告している。また片倉ら<sup>20)</sup>は、地域グループ活動の参加でうつ状態が改善し、生きがいを感じると報告している。このことから、今回の対象者は、高齢者サロンに通い、地域住民との関わりが増えたことでうつ傾向に該当する者が少ないことが考えられた。

サルコペニアの判定基準別の3群間で比較した結果、有意差がみられた項目は、年齢、BMI、SMI、握力、開眼片脚立位、TUG、うつ傾向、基本チェックリストの合計点数であった。TUG、うつ傾向については有意差がみられたものの、サルコペニア予備群がサルコペニア群と比較して低下していた。これは、サルコペニア予備群の対象者が5名と少なく、また男性が該当しなかったことが影響していると考えられる。今回、サルコペニアの判定基準別の特徴を見出すことはできなかった。

男性の人数が少なく、サルコペニアの状況に偏りがみられることから、解析対象を女性のみにし、サルコペニア予備群を非サルコペニア群に含めた2群間にて比較・検討するとともに、サルコペニアに至る要因分析を行った。

女性におけるサルコペニア群と非サルコペニア群の各指標を比較した結果、年齢、BMI、低栄養リスク、握力、開眼片脚立位、TUGに有意差が認められ、全対象者と異なる点として低栄養のリスクに有意差がみられた。

韓国の地域在住高齢者を対象とした研究では、女性において高齢であること、栄養状態、活動量低下がサルコペニアに関連することが報告されており<sup>21)</sup>、先行研究を支持する結果となった。それに加えて、開眼片脚立位、TUGの身体機能面でも有意差がみられた。筋肉量の低下という器質的な変化が歩行やバランス能力にも影響を及ぼしている可能性がある。しかし、サルコペニア群に該当する者の身体機能は非サルコペニア群と比較して低下しているものの、開眼片脚立位14.1±13.0秒、TUG7.1±1.3秒であり、転倒リスクの参考値である開眼片脚立位12.7秒<sup>22)</sup>、TUG13.5秒<sup>23)</sup>に至っていないため、身体機能にまで影響を及ぼしているかどうかは定かではない。

さらに女性高齢者においてサルコペニアの関連要因として、握力とBMIが抽出された。サルコペニアの判定に用いた握力に加えて、低栄養の指標であるBMIが抽出されたことから、女性高齢者におけるサルコペニアの予防・改善のためには十分な栄養を摂取する必要があることが示唆された。加齢に伴う食欲の減退や摂食嚥下障害などの要因により低栄養状態に陥りやすい<sup>24)</sup>とされていることから、高齢者は特に意識して栄養を摂取する必要があると考えられる。

今回対象とした高齢者サロンは、運動を中止に実施されており、その効果から身体機能を維持できているものと推察する。しかしながら、全対象者においてサルコペニア予備群およびサルコペニア群で身体機能に有意に低い傾向がみられた。さらに女性のみでは身体機能が低値を示すとともに低栄養のリスクにも関連していた。従って高齢者サロンにおけるサルコペニアの予防・改善には、継続した運動とともに栄養面の介入をする必要があるものと考えられた。

本研究の限界として、男性、サルコペニア予備群の人数が少なく、男性におけるサルコペニアの傾向やサルコペニアに至る変化について見出すことができなかつたこと、疾患の有無や既往について聴取していなかつたため、その影響を除く

ことができている可能性があること、身体活動量を図るために用いたIPAQにばらつきが大きく、活動量による違いを検討することができなかつたこと、横断的研究であるため要因の因果関係の照明が困難であることなどが挙げられた。

今後、対象者数を増やすとともに継続した評価を実施していきたい。

## 謝辞

本研究にあたり、研究に参加、協力していただいたサロン参加者の皆様及び、サロン運営に関わるスタッフの皆様には厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省：高齢社会白書令和3年度版  
[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/zenbun/pdf/1s1s\\_01.pdf](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf)（2022年12月20日引用）
- 2) 厚生労働省：令和2年度介護保険事業状況報告。  
[https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyosyo/20/dl/r02\\_point.pdf](https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyosyo/20/dl/r02_point.pdf)（2022年12月20日引用）
- 3) 厚生労働省：介護保険制度の概要。  
[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi\\_kaigo/kaigo\\_koureisha/gaiyou/index.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/gaiyou/index.html)（2022年12月20日引用）
- 4) 社会福祉協議会の組織・事業・活動について、社会福祉法人全国社会福祉協議会地域福祉部  
<https://www.mhlw.go.jp/content/12000000/000768521.pdf>（2022年12月26日引用）
- 5) 田近敦子, 井出一茂, 他:「通いの場」への参加は要支援・要介護リスクの悪化を抑制するか JAGES2013-2016縦断研究. 日本公衆衛生学会雑誌. 2022; 69: 136-145.
- 6) 白瀬由美香, 泉田信行:高齢者ふれあいサロンへの参加と外出行動—サロン参加者・非参加者の比較—. 厚生指標. 2016;63(15)14-19.
- 7) Hikichi H, Kondo K et al.: Social interaction and cognitive decline: Results of a 7-year community intervention. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical*

- Intervention.2017; 3: 23-32.
- 8) サルコペニア診療ガイドライン2017年版一部改訂. ライフサイエンス出版. [https://minds.jcqhc.or.jp/docs/gl\\_pdf/G0001021/4/sarcopenia2017\\_revised.pdf](https://minds.jcqhc.or.jp/docs/gl_pdf/G0001021/4/sarcopenia2017_revised.pdf) (2022年12月26日引用)
  - 9) Kitamura A, Seino S et al. : Sarcopenia: prevalence, associated factors, and the risk of mortality and disability in Japanese older adults. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*.2021; 12: 30-38.
  - 10) 国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン [http://www.tmu-ph.ac/news/data/180327\\_1.pdf?t](http://www.tmu-ph.ac/news/data/180327_1.pdf?t) (2022年12月26日引用)
  - 11) Chen L-K, Woo J, Assantachai P et al. : Asian Working Group for Sarcopenia:2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *J Am Med Dir Assoc*. 2020; 21: 300-307.
  - 12) 長野正広, 樺山舞, 他:フレイル検診における後期高齢者質問票の有用性—診療所における活用例—. *日本老年医学会雑誌*. 2022; 59: 360-370.
  - 13) 佐藤菜々, 牧迫飛雄馬, 他:地域在住高齢者における社会参加とサルコペニアとの関連. *日本サルコペニア・フレイル学会誌*.2021; 5: 73-80.
  - 14) Yun-Chen Ko, Wei-Chu Chie et al. : A cross-sectional study about the relationship between physical activity and sarcopenia in Taiwanese older adults. *Scientific Reports*. 2021; 11: 1-9.
  - 15) Jing Zhong, Wenqing Xie at al. : The Prevalence of Sarcopenia among Hunan Province Community-Dwelling Adults Aged 60 Years and Older and Its Relationship with Lifestyle: Diagnostic Criteria from the Asian Working Group for Sarcopenia 2019 Update. *Medicina(Kaunas)*.2022; 58: 1-12.
  - 16) Jirapon Sri-on, Yipadee Fusakul et al. : The prevalence and risk factors of sarcopenia among Thai community-dwelling older adults as defined by the Asian Working Group for Sarcopenia ( AWGS-2019 ) criteria: a cross-sectionaal study. *BMC Geriatrics*.2022; 22: 1-9.
  - 17) 令和2年度長崎市介護予防事業評価事業評価報告書.
  - 18) 角田憲治, 尹智暎, 他:体力水準の異なる高齢者に対する, 短期間, 低頻度の運動介入の効果—Square-Stepping Exerciseを中心とした運動介入—. *厚生の指標*. 2011; 58: 6-13.
  - 19) 岩永耕:「ふれあい・いきいきサロン」の効果に課する—考察—サロンの担い手への研究の知見から—. *現代社会学部紀要*.2019; 18: 117-124.
  - 20) 片倉和子, 栃本千鶴, 他:地域におけるグループ活動参加高齢者の身体的・精神的状況と生活習慣および体力の実態. *中京学院大学看護学部紀要*.2016;6(1) 1-15.
  - 21) Hun Jee Choe, Be Long Cho et al. :Gender differences in risk factors for the 2 year development of sarcopenia in community-dwelling older adults. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*.2022; 13: 1908-1918
  - 22) Ziga Kozinc, Stefan Lofler et al. :Diagnostic Balance Tests for Assessing Risk of Falls and Distinguishing Older Adult Fallers and Non-Fallers: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Diagnostics*. 2020; 10: 1-16
  - 23) A Shumway-Cook, S Brauer, et al. : Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go test. *Phys Ther*.2000; 80: 896-903
  - 24) 葛谷雅文:高齢者における栄養管理上の問題. *外科と代謝・栄養*. 2018; 52: 11-16
- (指導教員 井口 茂)

## 頸部屈曲筋力と呼吸筋力および舌圧との関連性

山木惇平

### 要旨

本研究では、頸部屈曲筋力と呼吸筋力および摂食嚥下機能の強さの一指標である舌圧との関連性について検討した。健常者 40 名を対象に、頸部屈曲筋力、呼吸筋力(吸気、呼気)、舌圧(最大、嚥下時)を測定した。頸部屈曲筋力は膝立て背臥位、頸部 30° 屈曲位にて対象者に最大随意収縮を指示した際の測定値を解析に用いた。結果、頸部屈曲筋力と呼吸筋力および最大舌圧のいずれも有意な相関関係を認めた。また、呼吸器力と最大舌圧を従属変数に、年齢、身長、体重、頸部屈曲筋力を独立変数とした重回帰分析の結果、頸部屈曲筋力の影響度は有意に大きいことが明らかとなった。頸部屈曲筋力の評価は、呼吸や嚥下の筋力の間接的な評価の指標となる可能性が示唆された。また、同筋力が低下している者においては、呼吸筋力や摂食嚥下機能が低下しているのではないかと予測でき、それぞれの項目を評価する根拠となると考えた。

### はじめに

入院患者において、長期臥床によって生じる末梢骨格筋の筋力低下は、基本動作や歩行を障害する原因として重要である。このような廃用性の筋力低下は、四肢のみならず頸部や体幹においても同様に生じるものである。中でも頸部屈曲筋群の筋力低下は、臥位での頭部挙上が困難になることで認識されやすい。このような患者では、起き上がりなどの起居動作や座位保持への影響に加えて、吸気筋力も弱化し、深吸気が困難となったり、摂食嚥下機能も低下していることを経験する。

頸部屈曲筋力の低下と、呼吸および摂食嚥下機能の低下は深く関係しており、同筋群の臨床的重要性は高く、その筋力の維持や増強は不可欠であると言える。例えば、臨床現場で多用される頭部挙上練習は、頸部屈曲筋群の筋力増強のみならず、舌骨上筋群といった喉頭挙上に関与する筋が強化されることで喉頭の前上方運動を改善して食道入口部の開大を図るもので、その有効性も示されている<sup>1)</sup>。

頸部屈曲筋群は胸鎖乳突筋、頭長筋、頸長筋、斜角筋群、前頭直筋、外側頭直筋および舌骨上・下筋群によって構成され<sup>2)</sup>、それぞれ左右

一対である。運動学的には、両側の作用によって頸部の屈曲を、片側のみで回旋や側屈の運動を発現させる<sup>3)</sup>。また、これらの筋群は呼吸および摂食嚥下運動の役割も有しており、前者では胸鎖乳突筋や斜角筋群が呼吸補助筋として胸郭の挙上を介して吸気運動に関与し、後者では舌骨上筋群を中心に摂食嚥下時の喉頭挙上、ひいては食道入口部の開大に重要な役割を果たしている。

頸部屈曲筋力と呼吸および摂食嚥下機能との関連性については、いくつかの研究報告がある。佐々木ら<sup>4)</sup>は、1 秒率が 50%未満の重症肺気腫を対象として頸部屈曲筋力を測定し、肺活量、努力肺活量、1 秒率、最大呼気流速といった呼吸機能との有意な関連性を認めている。また、同著者らは若年健常者を対象に、同様の検討を行い、呼吸機能との有意な関連性を得ている<sup>5)</sup>。

同筋力と摂食嚥下機能との関連について、坂口ら<sup>6)</sup>は高齢の入院患者を対象に、摂食嚥下機能の指標としてスクリーニング検査である反復唾液嚥下テストと改訂水飲みテストを用いて両者との関連性を検討した。その結果、頸部屈曲筋力は、いずれの指標とも有意な相関関係があることを示した。

しかしながら、これらの報告には、いくつかの

課題や疑問が残されている。まず、頸部屈曲筋力と呼吸機能との関係については、呼吸筋力との関連性は検討されていないために不明である。先行研究での肺活量といった呼吸機能の指標は、呼吸運動の強さを直接的に測定したものではない。頸部屈曲筋力と呼吸機能の関連性をより明らかにするためには、呼吸補助筋として呼吸運動に関与する強さ、つまり呼吸筋力を評価する必要がある。摂食嚥下機能に関しても同様で、先述の研究では摂食嚥下機能のスクリーニング検査との関連性を示しているが、これはあくまで摂食嚥下機能に問題があるか否かの目安である。呼吸機能と同様に、その強さを反映する直接的かつ客観的な指標を用いて頸部屈曲筋力との関連性を評価することが求められる。

そこで本研究では、健常者を対象として呼吸筋力、および摂食嚥下機能の強さの一指標である舌圧<sup>7)</sup>を用いて、頸部屈曲筋力との関連性を明らかにすることを目的とした。加えて、頸部屈曲筋力を測定することで、呼吸筋力および嚥下の強さを予測できる可能性があるかも検討した。これが明らかになることで、頸部屈曲筋力から吸気および嚥下に関連する筋力を推定するための応用研究に寄与できるものと期待できる。

## 対象

本研究の趣旨を理解し、参加への同意が得られた健常者 40 名 (男性, 女性それぞれ 20 名) を対象とした。除外基準は頸椎疾患, 呼吸器疾患, 循環器疾患の既往, 喫煙歴 (過去・現喫煙) がある者とし, 気管支喘息の既往に関しては 1 年以内に症状のある者とした。対象者には, 本研究の目的および手順, 内容, リスクについて口頭および文書で十分に説明し, 書面にて同意を得た上で実施した。なお本研究は, 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科保健学系倫理委員会の承認を得て実施した (許可番号 22031008)。

## 方法

### 1. 評価項目

#### 1) 事前調査

長崎大学医学部保健学科運動療法技術学実

習室にて, 研究説明書を用いて対象者に各評価の目的, 手順, リスク等についてオリエンテーションを行った。体調に関する問診とバイタルサイン (体温, 血圧, 脈拍, 酸素飽和度) の確認を行った後, 身長, 体重, 握力を測定した。握力はスメドレー型握力計を使用し, 立位にて左右それぞれ 2 回ずつ測定した。

#### 2) 頸部屈曲筋力

佐々木らの報告<sup>5)</sup>に従って測定した。測定姿勢は膝立て背臥位で, 対象者には頸部 30° 屈曲位にて, 検者が加える徒手抵抗に対して頭部の位置を 3 秒間保持するよう最大随意収縮を指示した。測定にはアニマ社製ハンドヘルドダイナモメーター  $\mu$ -Tas F1 を使用, 対象者の前額部中央を測定点として 2 回測定し, 最大値を解析に用いた。なお, 測定は全て同一の検者が行った。この方法は同研究にて級内相関係数が 0.977 と良好な検者内信頼性が示されている<sup>5)</sup>。

#### 3) 呼吸機能

努力性肺活量とピークフローを測定した。スパイロメーター (ミナト医科学社製 AUTOSPIRO AS-507) を使用し, 対象者には最大吸気位から最大呼気努力を指示して測定した。2 回測定し, 良好な結果を解析に用いた。

#### 4) 呼吸筋力

上記のスパイロメーターに呼吸筋力計を接続し, 吸気筋力と呼気筋力を測定した。前者は最大呼気位から, 後者は最大吸気位からそれぞれ最大吸気または最大呼気努力の際に発生した口腔内圧の最大値を測定した。機器が判定する再現性の有無を確認するとともに, それぞれ 2 回ずつ測定し, 良好な結果を解析に用いた。

#### 5) 舌圧

JMS 社製舌圧測定計 TPM-02 を用い, 先行研究<sup>7)</sup>に従って測定した。舌圧プローブを口腔内に挿入し, 硬質リングを前歯で軽く把持した後, プローブのバルーンを舌尖部で硬口蓋に対して最大限の力で押し付けるように指示した。その際に発生した圧を最大舌圧とした。同様に, 空嚥下の際の舌圧を嚥下時舌圧として, それぞれ 2 回

ずつ測定, 良好な結果を解析に用いた.

## 2. 統計学的解析方法

評価項目は平均値±標準偏差にて表示した. 頸部屈曲筋力と各評価項目の関連性はピアソンの積率相関係数を用いて解析した. また, 呼吸筋力と最大舌圧に対する頸部屈曲筋力の影響の度合いを検討する目的で, 吸気筋力, 呼気筋力, 最大舌圧をそれぞれ従属変数とし, 年齢, 身長, 体重, 頸部屈曲筋力を独立変数とした重回帰分析を行った. これらの解析には統計解析ソフトウェア JMP® Pro 16 (SAS Institute Japan 株式会社)を用い, 有意水準 5%をもって統計学的有意とした.

## 結果

### 1. 対象者背景および評価項目の測定結果

全対象者 40 名がすべての評価項目を有害事象なく完遂することができ, 解析対象となった. 全対象ならびに, 男性と女性それぞれ 20 名ずつの対象者背景, 頸部屈曲筋力, 呼吸機能, 呼吸筋力, 舌圧の測定結果を表 1 に示す. 全対象者の平均として年齢 21 歳, 身長 163.7cm, 体重 56.3kg, body mass index は 20.9kg/m<sup>2</sup>であった.

頸部屈曲筋力の平均値は全体で 9.2kgf, 男性 11.6kgf, 女性 6.8kgf であった.

### 2. 頸部屈曲筋力と呼吸機能, 呼吸筋力, 舌圧との相関関係

呼吸機能との関係として, 頸部屈曲筋力と努力性肺活量の相関係数は 0.843, ピークフローとは 0.790 といずれも強い有意な相関関係を認めた ( $p<0.0001$ ). 吸気筋力とは相関係数 0.567, 呼気筋力とは 0.697 で, 相関関係はいずれも有意であった ( $p<0.0001$ , 図 1). また, 頸部屈曲筋力と舌圧について, 嚥下時舌圧は測定結果の標準偏差が大きかったため (表 1), 最大舌圧のみとの関連性を解析した. その結果, 両者の間には相関係数 0.443 と有意な相関を示した ( $p=0.0038$ , 図 2).

### 3. 呼吸筋力と最大舌圧に対する頸部屈曲筋力の影響の大きさ

表 2 に重回帰分析の結果を示す. いずれも頸部屈曲筋力のみで有意差を認め, その標準偏回帰係数は吸気筋力で 0.439, 呼気筋力で 0.734, 最大舌圧で 0.556 と, それぞれの指標への影響が有意に高かった.

表 1 対象者背景および各評価項目の測定結果

	全体 (n=40)	男性 (n=20)	女性 (n=20)
年齢, 歳	21.1 ± 1.0	20.9 ± 1.2	21.3 ± 0.8
身長, cm	163.7 ± 7.5	169.5 ± 4.2	157.8 ± 5.1
体重, kg	56.3 ± 10.1	61.5 ± 7.5	51.1 ± 9.6
右握力, kg	32.7 ± 9.1	40.3 ± 5.7	25.0 ± 3.9
左握力, kg	30.4 ± 8.8	37.3 ± 6.1	23.5 ± 4.9
頸部屈曲筋力, kgf	9.2 ± 3.1	11.6 ± 2.1	6.8 ± 2.0
努力性肺活量, L	3.86 ± 0.8	4.50 ± 0.4	3.22 ± 0.6
ピークフロー, L/min	408.9 ± 107.9	494.0 ± 60.4	323.9 ± 71.9
吸気筋力, cmH <sub>2</sub> O	75.5 ± 29.2	88.5 ± 31.0	62.4 ± 20.2
呼気筋力, cmH <sub>2</sub> O	93.8 ± 37.1	114.0 ± 36.1	73.7 ± 25.3
最大舌圧, kPa	43.1 ± 9.2	46.2 ± 8.6	40.1 ± 8.9
嚥下時舌圧, kPa	14.2 ± 7.1	14.6 ± 7.3	13.7 ± 6.9
平均値±標準偏差			

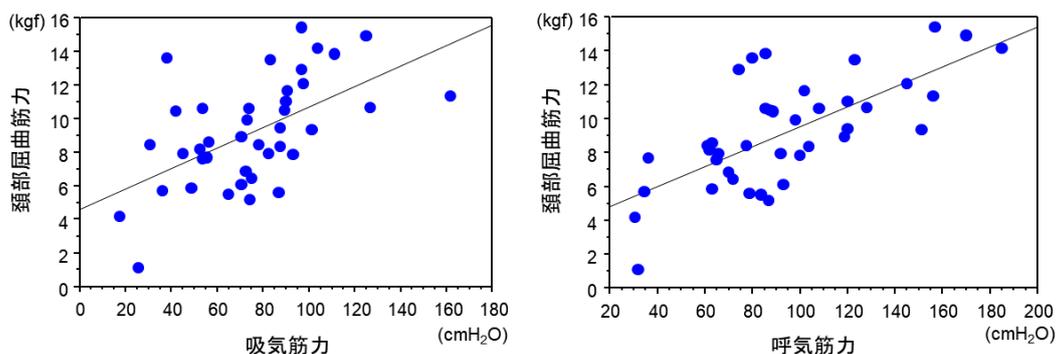


図 1 頸部屈曲筋力と呼吸筋力の関係

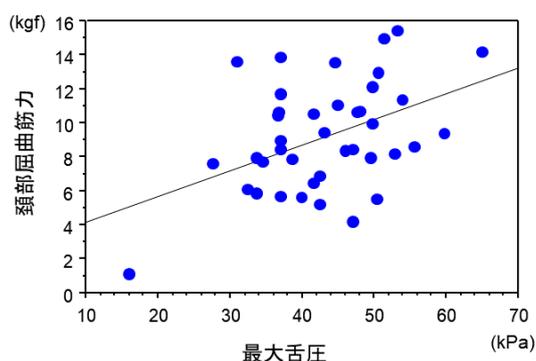


図 2. 頸部屈曲筋力と最大舌圧の関係

表 2 呼吸筋力と最大舌圧に対する頸部屈曲筋力の影響の大きさ

	標準偏回帰係数	95%信頼区間	p
吸気筋力	0.439	0.659-7.518	0.021
呼気筋力	0.734	4.662-12.70	<0.0001
最大舌圧	0.556	0.412-2.858	0.001

## 考察

本研究では健常者を対象に、頸部屈曲筋力と呼吸筋力および舌圧との関連性ととも、頸部屈曲筋力を測定することで、吸気および嚥下に関連する筋群の筋力を予測できる可能性があるかを検討した。その結果、頸部屈曲筋力は呼吸筋力と最大舌圧との間に有意な相関関係があることが明らかとなった。

今回、頸部屈曲筋力の測定は佐々木ら<sup>5)</sup>の方法に従って実施した。健常者を対象としたこの報

告での同筋力は、男性で 13.4kgf、女性で 6.6kgf あり、本研究でも概ね同様の結果となった。したがって、今回の研究で得られた頸部屈曲筋力測定値は妥当な結果であったものと考ええる。

頸部屈曲筋力と呼吸筋力との相関について、頸部の屈筋群は呼吸筋の役割も兼ねていること、特に胸鎖乳突筋や斜角筋群は上部胸部の挙上に作用し、吸気の呼吸補助筋でもあることから、その関係性が証明されたものと言える。なお、吸気筋力よりも、呼気筋力でより高い相関関係がみられたことについては予想外の結果であり、今回

の結果のみではその理由について考察することは困難であると考え。ただ、呼吸筋群、すなわち強制呼吸時に作用する腹筋群の活動が、体幹の前屈運動に関与することから、同様の運動方向に作用する両筋群の関連性が示唆された。また、吸気と呼吸は常に相互に影響あるいは依存していることから、吸気補助筋としての頸部屈曲筋力が呼吸筋力に間接的に影響した可能性も推察される。

次に最大舌圧との関連について、頸部屈曲筋群のうち、舌骨上筋群は嚥下の際に喉頭を挙上する重要な役割を有していることから、両者に有意な相関関係を認めたと考えた。本研究では嚥下の筋力の指標として舌圧を用いた。青木ら<sup>7)</sup>によると、舌圧は摂食嚥下における口腔期や咽頭期に関連して、食塊形成や送り込みの力を反映すると報告されており、嚥下の強さの指標として妥当性が示されている。つまり、頸部屈曲筋力は嚥下の強さと関連性があることが証明されたといえる。

重回帰分析の結果、呼吸筋力と最大舌圧に対して頸部屈曲筋力の影響の度合いが大きいことが示された。つまり筋力に影響する要素である年齢、身長、体重を考慮しても頸部屈曲筋力の影響度が大きかったということであり、頸部屈曲筋力の評価は、呼吸および嚥下に関連する筋群の筋力を予測できる可能性があるものと考えられた。

本研究の限界として、今回は20歳代の健常者を対象とした研究であり、その結果を他の年代や、臨床現場の患者にそのまま当てはめることは困難である。また、対象者数が40名であり、多変量解析を行う上での制限となった。この点に関しては、研究実施期間を考慮して実施可能性を優先させたことによるものである。今後の展望として、対象者数を増やし、中高年者も含めた検討が必要であると考えた。また、頸部屈曲筋力は、呼吸筋力とより高い相関がみられたため、体幹筋などの他の筋力との関連性についても評価し、さらに検討する必要がある。

今回の結果から、頸部屈曲筋力の評価は、呼吸筋力や舌圧の間接的な評価の指標になる可能性が示唆された。呼吸や嚥下の筋力を測定することは、理学療法の対象者の呼吸機能障害や摂食嚥下機能障害の程度や特徴を把握する上

で不可欠であるが、専用の機器が必要であり、その評価は定着していない現状にある。頸部屈曲筋力はこれらを代替する指標であると断定できないが、同筋力が低下している者においては、呼吸筋力や摂食嚥下機能も低下しているのではないかと予測することができ、両者を評価する必要性の根拠となることが期待できる

## まとめ

本研究では健常者を対象に、頸部屈曲筋力と呼吸筋力および舌圧との関連性を検討した。その結果、それぞれ有意な相関関係を認め、年齢や身長、体重の影響を考慮しても頸部屈曲筋力の影響度が大きいことが明らかとなった。これらの結果より、頸部屈曲筋力の評価は、呼吸筋力や舌圧の間接的な評価の指標となる可能性が考えられた。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の実施に快くご協力いただいた研究対象者の皆様、ご指導いただきました長崎大学大学院医歯薬学総合研究科内部障害リハビリテーション学研究室の方々に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Shaker R, Kern M, et al. Augmentation of deglutitive upper esophageal sphincter opening in the elderly by exercise. *Am J Physiol.* 1997; 272(6 Pt 1): G1518-1522.
- 2) Avers D, Brown M(著), 津山直一,他(訳): 新・徒手筋力検査法(原著第10版). 協同医書出版社, 東京, 2020, pp.38-39.
- 3) 中村隆一, 齋藤 宏, 長崎 浩: 基礎運動学(第6版). 医歯薬出版, 2003, pp.278-279.
- 4) 佐々木賢太郎, 築山尚司, 他: 重症肺気腫を罹患する患者の筋力と呼吸機能の関連性. *呼吸器ケア.* 2005; 3: 51-55.
- 5) 佐々木賢太郎, 小島 聖, 他: 若年健常者における呼吸機能と頸部屈曲筋力の関連性. *保健医療学雑誌.* 2010; 1: 48-52.

- 6) 坂口紅美子, 原 修一: 高齢者の摂食嚥下機能と頸部筋力. 日摂食嚥下リハ会誌. 2017; 21: 61-70. おける舌圧と摂食嚥下機能の関連. 日摂食嚥下リハ会誌. 2014; 18: 239-248.
- 7) 青木佑介, 太田喜久夫: 嚥下障害患者に (指導教員 神津 玲)