

修士学位論文

肩甲骨の抵抗運動が
対側ヒラメ筋 H 波に及ぼす経時的影響
～運動方向の差異による検討～

(西暦) 2018 年 1 月 5 日 提出

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻

理学療法科学域

学修番号：16895602

氏名：井手 夏葵

(指導教員名：新井 光男)

(西暦) 2017 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名 (注: 学位論文題名が英語の場合は和訳をつけること)

肩甲骨の抵抗運動が対側ヒラメ筋 H 波に及ぼす経時的影響
～運動方向の差異による検討～

学位の種類: 修士 (理学療法学)

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 理学療法科学域

学修番号 16895602

氏名: 井手 夏葵

(指導教員名: 新井 光男 教授)

注: 1 ページあたり 1,000 字程度 (英語の場合 300 ワード程度) で、本様式 1~2 ページ (A4 版) 程度とする。

【背景】

臨床において、筋力低下により十分な筋収縮が得られない場合、健常な部位の抵抗運動によりアプローチを行う間接的アプローチがあり、その一つである下行性の遠隔効果の有効性が多く検証されている。下行性の遠隔効果として、肩甲骨の前方挙上の抵抗運動による静止性収縮 (SCAE) と後方下制の抵抗運動による静止性収縮 (SCPD) が同側ヒラメ筋 H 波に及ぼす影響として、抵抗運動中に促通傾向を示すことが報告されているが、対側への影響は明らかでない。

本研究の目的は、右肩甲骨の抵抗運動の方向の差異により、対側下肢に及ぼす下行性の神経生理学的遠隔効果・後効果を左ヒラメ筋 H 波により検証することである。

【方法】

対象は整形外科的・神経学的既往のない利き手・利き脚が右側の健常成人 12 名 (男性 6 名・女性 6 名、平均年齢 23.7 ± 3.4 歳) とした。3 種類の課題 (SCAE 課題・SCPD 課題・安静課題) を無作為に各被験者に実施し、抵抗運動の負荷量は 50%MVC とした。課題前安静 20 秒間・課題時 190 秒間 (SCAE 課題・SCPD 課題では抵抗運動時 10 秒間と抵抗運動後 180 秒間) の計 210 秒間において、左ヒラメ筋より小さな M 波を伴う H 波を記録し、H 波振幅値を最大 M 波振幅値で基準化して H/Mmax と表した。統計解析は、H/Mmax を指標とし、課題・時間・個人を要因とした三元配置分散分析を行い、有意な主効果を認めたものは多重比較検定を行った。有意水準は 5% とした。

【結果】

H/Mmax を指標とし、課題・時間・個人を要因とした三元配置分散分析の結果、課題要因に有意な主効果を認めた。多重比較検定の結果、SCPD 課題・安静課題と比較して SCAE 課題において有意に抑制し、安静課題と比較して SCPD 課題において有意な促通効果を示した。時間要因において有意な主効果は認められなかったが、SCAE 課題では抵抗運動後の神経生理学的遠隔後効果として、安静課題と比較し抑制傾向が認められた。

【結論】

拮抗する肩甲骨の抵抗運動による対側ヒラメ筋への神経生理学的遠隔後効果は、運動方向により効果が異なる結果となった。また、SCAE 課題では神経生理学的遠隔後効果として安静課題と比較し抑制傾向を示すことから、ホールド・リラックス手技といった直接的アプローチと同様に、関節可動域の増大が得られる可能性が示唆された。

【要旨】

右肩甲骨の抵抗運動方向の差異が対側下肢に及ぼす神経生理学的遠隔効果・後効果を、左ヒラメ筋H波を指標として検証した。右利き健常成人12名を対象に、3種類の課題（前方挙上の抵抗運動による静止性収縮と運動後安静（SCAE課題）・後方下制の抵抗運動による静止性収縮と運動後安静（SCPD課題）・安静課題）を無作為に各被験者に実施した。左ヒラメ筋H波を課題前安静20秒・課題時190秒の計210秒間誘発し、10秒ごとに相分けした。H/Mmaxを指標とした多重比較検定の結果、SCPD課題・安静課題と比較してSCAE課題において有意に抑制した。また、安静課題と比較してSCPD課題において有意な促通を示した。時間要因に有意な主効果は認められなかったが、SCAE後の神経生理学的遠隔後効果として抑制傾向を示すことから、遠隔の特定の方向への抵抗運動による静止性収縮によりリラクゼーション効果が得られる可能性が示唆された。

キーワード：ヒラメ筋H波，遠隔後効果，肩甲骨，運動方向，PNF

【本文】

I. 背景

1. はじめに

臨床現場において、筋力低下により十分な筋収縮が得られない場合、健常な部位の抵抗運動によりアプローチを行う間接的アプローチがある。間接的アプローチの例として、神経生理学的には下行性の遠隔効果¹⁻³⁾が報告されており、その有効性が検証されている。

下行性の遠隔効果とは、目的とする筋よりも頭側の筋の抵抗運動により得られる遠隔効果である。下行性の遠隔効果の一つであるジェンドラシック法は、上肢の随意収縮による下肢の腱反射増強法であるが、先行研究では手関節伸筋群の選択的な随意収縮により、遠隔のヒラメ筋の運動ニューロンの促通と反射の亢進を認めたと報告されている^{1,2)}。また、上肢の神経への電気刺激による下肢筋群の筋電図値の増大³⁾やヒラメ筋H波の促通⁴⁾が報告されている。

下行性の遠隔効果を応用した例として、固有受容性神経筋促通法（Proprioceptive Neuromuscular Facilitation：以下、PNF）による方法がある。脳卒中後片麻痺患者を対象とした肩甲骨への抵抗運動による下肢への下行性の遠隔効果として、肩甲骨前方挙上とその拮抗パターンである後方下制の中間域での静止性収縮後に、足関節底・背屈の関節可動域（range of motion：以下、ROM）が改善したという報告や^{5,6)}、肩甲骨後方下制により足関節の自動運動速度の向上⁷⁾を認めたとする報告がある。

運動方向が拮抗する抵抗運動により遠隔効果に差異が生じることも報告されている。PNFの拮抗する肩甲骨の抵抗運動（前方挙上・後方下制の中間域での静止性収縮）による下行性の遠隔効果の神経生理学機序として、抵抗運動時に同側ヒラメ筋H波振幅値比が増大し、前方挙上では抵抗運動後3分において促通傾向を示したと報告されている⁸⁾。しかし、対側への影響は明らかではない。

拮抗する抵抗運動が及ぼす両側への下行性の遠隔効果として、上肢PNFパターン（負荷量：最大筋力（Maximum voluntary contraction：以下、MVC）の50%）の運動方向の違いが両側ヒラメ筋H波（最大M波（Mmax）により基準化したH/Mmaxを指標）に及ぼす影響が検

証されており、運動肢と同側のヒラメ筋H波に及ぼす影響は運動方向に依存するが、対側ヒラメ筋H波は運動方向に依存しないと報告されている^{9,10}。さらに、上肢PNFパターン（屈曲 - 内転 - 外旋）の運動により、同側・対側ヒラメ筋の経時的なリラクセーション効果を認めることが示唆されている^{9,10}。

このように、遠隔部位の抵抗運動がヒラメ筋H波に及ぼす効果は抵抗運動の方向に依存し、同側肢と対側肢に及ぼす影響が異なる可能性がある。臨床的にも下行性の遠隔効果を応用して健側肩甲骨の抵抗運動による患側下肢の促通を行うが、肩甲骨の運動方向の違いが対側ヒラメ筋H波に及ぼす差異は明らかとなっていない。

2. 仮説

健常者において、拮抗する肩甲骨の抵抗運動による対側ヒラメ筋への神経生理学的遠隔効果・後効果の促通・抑制に差異が生じる。

健常者とは、整形外科的・神経学的既往のない利き手と利き脚が右の成人とした。拮抗する肩甲骨の抵抗運動とは、肩甲骨前方挙上・後方下制パターンの抵抗運動による静止性収縮とした。神経生理学的遠隔効果とは抵抗運動時の対側ヒラメ筋 H/Mmax の増減とし、神経生理学的遠隔後効果とは抵抗運動後の H/Mmax の増減とした。促通とは H/Mmax の増大、抑制とは H/Mmax の減少と定義した。

3. 研究の目的

健常者を対象に右肩甲骨の抵抗運動の方向の差異により、対側の遠隔部位における神経生理学的遠隔効果・後効果を対側ヒラメ筋 H/Mmax を指標として検証することである。

4. 臨床的意義

運動方向が拮抗する肩甲骨への抵抗運動による対側下肢への下行性の遠隔効果・後効果の差異を検証することにより、下肢の運動が困難な場合の間接的アプローチとして、肩甲骨の抵抗運動による対側下肢への神経生理学的遠隔効果・後効果を明らかにすることができる。また、神経生理学的エビデンスを提示することで、治療手技を選択する一助となる。

II. 方法

1. 対象

対象は整形外科的・神経学的既往のない利き手と利き脚が右の健常成人 12 名（男性 6 名、女性 6 名）で、平均年齢±標準偏差は 23.7±3.4 歳であった。利き手はエディンバラ利き手テスト¹¹にてラテラリティ係数 80%以上の右利きであることを確認した。利き脚はボールを蹴る脚¹²が右側であることを確認した。応募者 19 名中、実験を通して小さな M 波が誘発できなかった 4 名・最大 M 波を痛みのため誘発できなかった 2 名・H 波を誘発できなかった 1 名を除外し、最終的な被験者は 12 名となった。

本研究は首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理委員会の承認（承認番号 17013）を得た上で、全ての被験者に実験の趣旨を説明し、参加することの同意を得て実施した。

2. 使用機器・測定方法

1) 課題

姿勢は左側臥位で、肩関節中間位・肘関節 90° 屈曲位とし、脊柱が屈曲・伸展中間位となるよう股関節・膝関節を屈曲させ、枕を置いて調節した。以下の3つの課題を、乱数表を用いて無作為に実施した。

- ① 右肩甲骨前方挙上の抵抗運動による10秒間の静止性収縮 (Static Contraction of Anterior Elevation: 以下, SCAE) と抵抗運動後の安静180秒間: SCAE 課題 (図1-A)

【抵抗運動方法】: 右肩峰に錘付きの滑り止めが付いたロープをかけ、後方下制方向に牽引して、10秒間の静止性収縮を実施した。負荷量は50%MVCとした。

- ② 右肩甲骨後方下制の抵抗運動による10秒間の静止性収縮 (Static Contraction of Posterior Depression: 以下, SCPD) と抵抗運動後の安静180秒間: SCPD 課題 (図1-B)

【抵抗運動方法】: 右肘部に錘付きの滑り止めが付いたロープをかけ、前方挙上方向に牽引して10秒間の静止性収縮を実施した。負荷量は50%MVCとした。

- ③ 左側臥位安静保持 (以下, 安静課題): 左側臥位を190秒間保持させた。

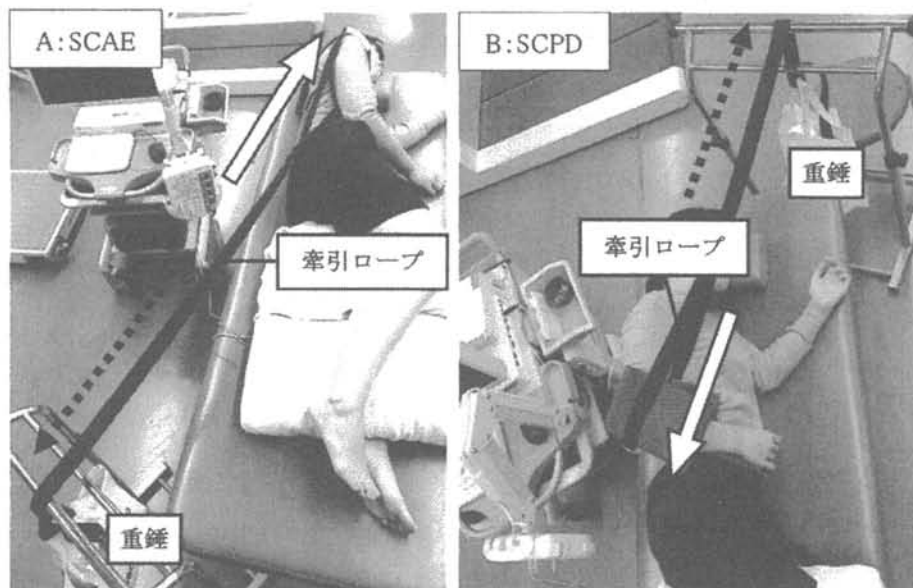


図1. 実験風景

左図A: SCAE(前方挙上の静止性収縮), 右図B: SCPD(後方下制の静止性収縮)

白線矢印: 運動方向, 点線矢印: 牽引方向

2) 最大筋力の測定と負荷量の決定

ハンドヘルドダイナモメーター (酒井医療株式会社, モービィ) を用いて、各課題の MVC を3回測定し最大値を採用した。測定肢位は各課題の姿勢と同様にし、測定の順番は乱数表を用いて無作為に実施した。各抵抗運動の MVC に50%を乗じて、100g未滿を四捨五入した値を負荷量とした。

3) 左ヒラメ筋 H 波・M 波の誘発と記録

誘発電位・筋電図検査装置（日本光電社製，NeuropackX1 MED-2312）を用いて，M 波を伴う H 波を導出した．導出用電極を貼付する部分を剃毛し，皮膚処理用ジェル（日本光電社製，スキンピュア）で皮膚処理しアルコール綿で清拭後，インピーダンスが $1k\ \Omega$ 以下であることを確認した．記録電極を左ヒラメ筋筋腹上，基準電極を左外果に貼付し，左膝窩より脛骨神経を電気刺激した（刺激時間 1msec の矩形波，刺激頻度 1Hz）．最初に最大 M 波を決定し，刺激強度はわずかに M 波が観察できる強度とし¹³⁾，実験中は M 波の定常性を確保するよう調整した．測定時間は，課題前安静 20 秒間・課題時 190 秒間（SCAE 課題・SCPD 課題では抵抗運動時 10 秒間と運動後 180 秒間）の計 210 秒間とした．各課題間で休憩を取り，H 波振幅値が安静時の振幅値に戻ったことを確認し，次の課題を開始した．

4) 抵抗運動による静止性収縮の主観的運動強度

11 段階の数値評価スケール（Numerical Rating Scale：以下 NRS）を用いて，各運動課題（SCAE 課題・SCPD 課題）終了直後に主観的運動強度を評価した．基準は，MVC 測定直後に聴取した「最も運動強度が大きかった抵抗運動による静止性収縮」を NRS の 10 とし，「全く努力を必要としない状態」を NRS の 0 とした．

3. 実験手順

- 1) 被験者に 3 課題の施行順は乱数表を使用して無作為に決定した．
- 2) 3 課題（SCAE 課題・SCPD 課題・安静課題）を被験者に説明し，練習を行った．
- 3) 2 種類の抵抗運動（SCAE・SCPD）の MVC を測定し，負荷量を決定した．
- 4) 主観的運動強度の基準を決定するために，2 種類の抵抗運動の MVC 測定直後に最も運動強度が大きかった課題を聴取し，NRS の 10 とした．
- 5) 1 番目の課題施行前に，左ヒラメ筋の最大 M 波を誘発・記録した．
- 6) 左ヒラメ筋の H 波・M 波を，課題前安静 20 秒間・課題時 190 秒間（SCAE 課題・SCPD 課題では抵抗運動時 10 秒間と抵抗運動後 180 秒間）の計 210 秒間誘発・記録した．
- 7) SCAE 課題もしくは SCPD 課題の場合，抵抗運動時の主観的運動強度を NRS で聴取した．
- 8) H 波が安静時の振幅値に戻ったことを確認して次の課題を開始した．

4. 左ヒラメ筋 H 波・M 波の解析方法

得られた波形を 10 秒毎に相分けし，各相の 10 本の波形を加算平均した．振幅値は頂点間振幅（peak-to-peak）で計測し，H 波振幅値を最大 M 波振幅値で除して基準化し指標とした（H/Mmax）．各相は，課題前安静 1～10 秒・11～20 秒，課題時 190 秒間を 10 秒毎に C1～C19（SCAE 課題・SCPD 課題：抵抗運動時 10 秒間を C1，抵抗運動後 180 秒間を C2～C19）とした．

5. 統計解析方法

統計解析には SPSS ver.23 for Windows（IBM 社製）を用い，有意水準は 5%とした．

1) 課題前安静における H/Mmax の差異の検証

課題前安静における H/Mmax の差異を検証するために，H/Mmax を指標とし，課題（SCAE

課題・SCPD 課題・安静課題）・時間（1～10 秒・11～20 秒）・個人を要因とした三元配置分散分析を行った。

- 2) 課題・時間・個人の要因における抵抗運動時・運動後の H/Mmax の差の検証
抵抗運動時・運動後における H/Mmax の差異を検証するために、H/Mmax を指標とし、課題・時間（C1～C19）・個人を要因とした三元配置分散分析を行い、有意な主効果を認められたものについては多重比較検定（Bonferroni 法）を行った。
- 3) 抵抗運動時の主観的運動強度と H/Mmax の関係
各運動課題（SCAE 課題・SCPD 課題）における抵抗運動時（C1）の主観的運動強度と H/Mmax の相関を検証するために、Spearman の順位相関係数を求めた。
また、各運動課題（SCAE 課題・SCPD 課題）の主観的運動強度の差を検証するために、Wilcoxon の符号付順位検定を行った。
- 4) 各課題における H/Mmax の変化率
各課題の経時的な H/Mmax の変化を検証するために、各相（C1～C19）における H/Mmax の変化率を次式により算出した。
変化率（%）=（各課題における各相の H/Mmax-課題前安静時の H/Mmax）/（課題前安静時の H/Mmax）×100

III. 結果

- 1) 各課題前安静における H/Mmax の差異の検証
各課題前安静の H/Mmax を指標とし、課題・時間・個人を要因とした三元配置分散分析を行った結果、課題（ $F_{2,55}=1.78$, $p=0.18$ ）・時間（ $F_{1,55}=0.04$, $p=0.84$ ）・個人（ $F_{11,55}=106.21$, $p=0.00$ ）で、課題間に有意差は認められなかった。
- 2) 課題・時間・個人の要因が H/Mmax に及ぼす影響
H/Mmax を指標とし、課題・時間・個人を要因とした三元配置分散分析の結果、課題（ $F_{2,616}=31.55$, $p=0.00$ ）・個人（ $F_{11,616}=679.54$, $p=0.00$ ）に有意な主効果を認め、交互作用は認められなかった。時間の要因に有意な主効果はなく、H/Mmax の経時的変化は認められなかった。多重比較検定（Bonferroni 法）の結果、SCPD 課題・安静課題と比較し SCAE 課題において H/Mmax が有意に減少し（ $p=0.00$ ）、安静課題と比較して SCPD 課題において H/Mmax の有意な増大を認めた（ $p=0.02$ ）（図 2）。
- 3) 抵抗運動時（C1）の主観的運動強度と H/Mmax の関係
各運動課題（SCAE 課題・SCPD 課題）における抵抗運動時（C1）の主観的運動強度と H/Mmax について Spearman の順位相関係数を求めた結果、 $\rho=-0.23$ （ $p=0.27$ ）であり、有意な相関は認められなかった。また、各運動課題間の NRS の差について Wilcoxon の符号付順位検定を行った結果、有意な差は認められなかった（ $p=0.62$ ）。
- 4) 各課題における H/Mmax の変化率（表 1）
課題前安静の H/Mmax を基準とした各相の H/Mmax の変化率を表 1 に示した。抵抗運動時（C1）は SCAE 課題・SCPD 課題ともに促通し、抵抗運動直後（C2）に抑制した。また、経時的変化として、SCAE 課題においては抵抗運動後（C3～C19）に抑制傾向を示し、SCPD 課題においては課題前安静と比較して抵抗運動後（C2～C19）に促通傾向を示した。

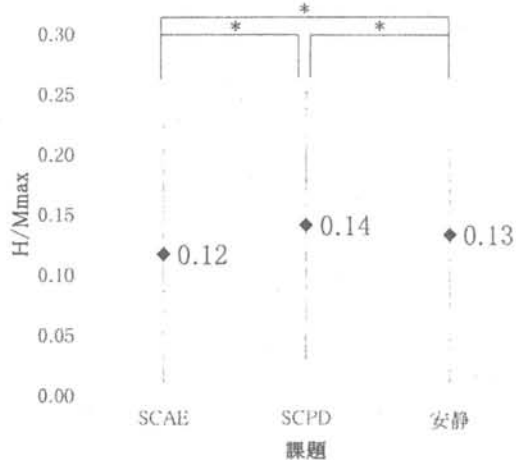


図2. 各課題におけるH/Mmaxの比較
Bonferroni法による多重比較検定の結果, 有意差のあるものを*で示した(*: p<0.05).
H/Mmax: H波振幅値/最大M波振幅値
SCAE: 前方挙上の抵抗運動による静止性収縮
SCPD: 後方下制の抵抗運動による静止性収縮
安静: 左側臥位保持

表1. 各課題におけるH/Mmaxの変化率

時間	SCAE	SCPD	安静
C1	24.54	26.12	-1.77
C2	0.89	6.70	-4.23
C3	-8.18	6.04	-0.10
C4	-8.70	10.41	4.30
C5	-7.92	7.90	8.15
C6	-6.77	5.71	9.25
C7	-10.55	11.60	8.36
C8	-5.78	10.79	9.99
C9	-5.61	14.16	8.52
C10	-9.03	13.54	9.18
C11	-7.81	13.33	15.52
C12	-7.71	11.05	14.43
C13	-4.95	14.48	11.13
C14	-8.09	16.05	4.08
C15	-9.34	12.40	9.04
C16	-11.97	19.23	5.51
C17	-10.92	13.79	-0.08
C18	-12.50	14.26	4.72
C19	-7.10	18.74	5.91

変化率(%)=(各相のH/Mmax - 課題前安静時のH/Mmax)/(課題前安静時のH/Mmax) × 100
C1: 抵抗運動時 1~10秒間, C2~C19: 抵抗運動後安静時 1~180秒間(10秒間毎に相分け)

IV. 考察

本研究の目的は, 健常者における拮抗する肩甲骨の抵抗運動による対側ヒラメ筋への神経生理学的遠隔効果・後効果の差異を検証することであった。結果より, 抵抗運動時は同側ヒラメ筋への影響⁸⁾と同様に SCAE・SCPD ともに H/Mmax が促進したことから, 拮抗する肩甲骨の抵抗運動による対側ヒラメ筋への神経生理学的効果に差異が生じるという仮説は否定された。一方, 抵抗運動後においては, SCAE では抑制効果・SCPD では促進効果をもたらすことから, 拮抗する肩甲骨の抵抗運動による対側ヒラメ筋への神経生理学的後効果に差異が生じるという仮説は肯定された。H/Mmax は, 運動発現に関与する下位運動中枢とそれを制御する上位中枢の影響により変化するといわれている^{13,14)}。したがって, 肩甲骨の抵抗運動により下位運動中枢や上位中枢のいずれかの部位の興奮性に変化が生じ, 下行性の遠隔後効果として対側の遠隔部位(ヒラメ筋)の神経生理学的効果に差異が生じた可能性が示唆された。

1. 抵抗運動による神経生理学的遠隔効果・後効果とアプローチ方法の差異による影響

肩甲骨の抵抗運動による経時的な効果について有意差は認められなかったものの, 安静課題と比較して, SCAE 課題では抑制傾向であることから, 直接的アプローチの一つであるホールド・リラックス手技(Hold relax: 以下, HR)と同様の効果が得られる可能性が示唆された。下肢に対して行うアプローチ方法として, HR 等を用いる直接的アプローチと, 今回の研究と同様に, 健常な遠隔部位の抵抗運動により患側肢へアプローチを行う間接的ア

アプローチがある。HR とは、PNF 運動パターンを用い、リラクゼーションさせたい筋（拮抗筋）を伸張し、拮抗筋を 2~3 秒間最大静止性収縮させ、その後の弛緩後に主動筋の自動運動を行わせる手技である¹⁵⁾。HR の神経生理学的効果・後効果は抵抗運動時に促通し、抵抗運動後に抑制が生じるとされ^{16,17)}、先行研究では、下腿三頭筋の求心性収縮後に抵抗運動前と比較してヒラメ筋 H 波の抑制が 10~60 秒間持続したという報告や^{16,18)}、足関節底屈筋群の 10%MVC での随意収縮直後は H/Mmax が有意に低下しその後の後効果として 1 分後にはベースラインに戻った¹⁹⁾と報告されている。また、その機序として、Ib 抑制により拮抗筋の脊髄レベルの興奮性が抑制していると推察されている^{20,21)}。Ib 抑制は HR のような最大静止性収縮よりも弱い負荷量の抵抗運動でも認められ²²⁾、さらに、交連介在ニューロンが Ib 群線維の介在ニューロンの興奮性を減弱することにより、運動ニューロンの興奮性を抑制することが示唆されている²³⁾。本研究では、SCAE において H/Mmax に緩徐な抑制傾向を認めていることから、HR より弱い負荷量の SC AE においても遠隔部位である対側ヒラメ筋にリラクゼーション効果が生じ、対側足関節背屈自動 ROM が増大すると考えられる。また、SCAE 後の神経生理学的遠隔後効果として、SCAE 実施後 180 秒 (C19) でもベースラインに戻らずに抑制傾向が継続している。抵抗運動後の後発射が終了するには 15 秒間は必要とされており²⁴⁾、さらに遠隔部位への後効果は潜時が長くなると考えられることから、抑制性の効果が持続した可能性があり、HR 等の直接的アプローチと同等またはそれ以上のリラクゼーション効果として抵抗運動後 60 秒後以降も抑制が持続する可能性が示唆された。今回の研究では直接的アプローチとの比較を行っていないため、今後検証していく必要がある。

2. 神経生理学的遠隔効果・後効果に関する機序の仮説と運動方向による差異

今回の研究では、両手技 (SCAE・SCPD) とともに抵抗運動時は発散効果^{1,2)}に伴う H/Mmax の促通傾向を認め、抵抗運動後の神経生理学的遠隔後効果では手技間に差異が生じ、SCAE の抑制効果が顕著であった。主観的運動強度と抵抗運動時の H 波に有意な相関が認められないことから、抵抗強度ではなく肩甲骨の運動方向の差異により対側下肢の脊髄レベルの興奮性にも差異が生じている可能性が考えられる。

まずは、神経生理学的機序として上行性（求心路）の影響を推察する。先行研究では、抵抗運動により遠隔部位の皮質脊髄興奮性の促通をもたらすことが多く報告されており²⁵⁻³¹⁾、この促通効果は近位から遠位、遠位から近位の両方向に起こるとされている。抵抗運動による体性感覚入力（運動遂行のためのフィードバック）を提供するとされ、体性感覚刺激は脊髄または延髄で交叉し体性感覚野に伝達される。固有受容感覚が及ぼす神経生理学的効果として、サルの大脳皮質に電気刺激を加え、関節固定時と非固定時の誘発筋電図を比較した研究により、固有受容感覚系の刺激が皮質刺激による運動時に促通効果を与えることが示唆されている³²⁾。固有受容性の感覚は脊髄小脳路により上行し、その後小脳からの伝達は一次運動野だけでなく、前頭前皮質や頭頂葉皮質および側頭皮質に投射し、相互関係を通じて行為の多面的な様相を制御しているといわれている³³⁾。

また、体性感覚野と一次運動野にも連絡があり、サル大脳皮質において、体性感覚野と一次運動野の間の情報の流れが、運動のフィードバック制御などの筋収縮調節の重要な要素になっている可能性が示唆されている³⁴⁾。顔面や体幹領域など身体の中中部には脳梁結合が多く存在し両側が統合されていることから³⁵⁾、体性感覚野への刺激が一次運動野から脳

梁を介して対側に抑制性の影響を及ぼす可能性がある³⁶⁻³⁸⁾。これらの知見から、ヒトでも同様に、固有受容感覚系の刺激が脊髄小脳路を通り上行性に情報が伝達し、脳梁を介して対側の体性感覚野にも伝わることで、一次運動野からの筋の興奮状態の制御に影響していることが推察される。また、一側肢の運動時に一次運動野以外にも神経活動が生じる脳のエリア（運動前野、補足運動野、後頭頂葉、小脳）があることや^{39,40)}、高次中枢の共通入力経路の一つとして、背側運動前野から両側一次運動野への抑制性入力があることが多く報告されており⁴¹⁻⁴⁵⁾、対側下肢の脊髄興奮性に関与している可能性がある。

次に、神経生理学的機序として下行性（遠心路）の影響を推察する。ヒトが随意的に筋収縮を行う場合、まず一次運動野の神経細胞が興奮し、その興奮が皮質脊髄路を経由して脊髄に伝わる。皮質脊髄路の75~90%は外側皮質脊髄路で延髄の錐体を経由する際に交叉して対側の脊髄を下行し、5~15%は前皮質脊髄路として交叉せずに下行する⁴⁶⁾。この交叉しない前皮質脊髄路によって対側下肢に影響を与えたことが考えられる。

上記のように、下肢の自発的な制御を行う神経活動が皮質運動回路において互いに作用し、皮質脊髄興奮性に影響を及ぼすことが示唆されており、SCAEにおいて対側ヒラメ筋H/Mmaxに緩徐な抑制傾向を認めたのは、これらの上位中枢からの抑制性の制御が関与した可能性が推察される。

今回の研究では、肩甲骨の抵抗運動が対側ヒラメ筋に及ぼす影響として、脊髄レベルの興奮性を検証することができた。その機序は明らかでないが、肩甲骨の抵抗運動方向の差異により上位中枢の制御にも差異が生じ、神経生理学的遠隔効果・後効果に影響を及ぼす可能性が示唆された。

3. 今後の課題

今回の研究によって、肩甲骨の抵抗運動による対側ヒラメ筋への神経生理学的遠隔後効果として、SCAEでは抑制効果をもたらす可能性が示唆された。その機序として、前皮質脊髄路や一次運動野・体性感覚野への影響といった上位中枢からの制御や固有受容感覚などが関与している可能性があるが、どの要因が影響しているのかは明らかでない。

今後は機能的磁気共鳴画像（functional magnetic resonance imaging: fMRI）法などを用いて更なる検証をしていく必要があると考える。また、直接的アプローチとの比較も考慮していく必要がある。

V. 引用文献

- 1) Delwaide PJ, Toulouse P: Jendrassik maneuver vs controlled contractions conditioning the excitability of soleus monosynaptic reflexes. Arch Phys Med Rehabil 61: 505-10, 1980.
- 2) Delwaide PJ, Toulouse P: Facilitation of monosynaptic reflexes by voluntary contraction of muscles in remote parts of the body. Brain 104: 704-719, 1981.
- 3) Zehr EP, Collins DF, Chua R: Human interlimb reflexes evoked by electrical

- stimulation of cutaneous nerves innervating the hand and foot. *Exp Brain Res* 140: 495-504, 2001.
- 4) Kagamihara Y, Hayashi A, Masakado Y, et al.: Long-loop reflex from arm afferents to remote muscles in normal man. *Exp Brain Res* 151: 136-144, 2003.
 - 5) 立石和子, 清水一, 新井光男, 他: 肩甲骨の抵抗運動が足関節の関節可動域におよぼす影響. *PNF リサーチ* 3(1): 43-47, 2003.
 - 6) 崎野祐吾, 白谷智子, 植田良, 他: 肩甲骨への抵抗運動による静止性収縮促通手技が足関節背屈自動関節可動域に及ぼす効果. 第18回日本PNF学会抄録集, 2017.
 - 7) 金本まゆみ, 清水一, 新井光男, 他: 肩甲骨の抵抗運動が同側足関節の自動運動速度に及ぼす影響. *PNF リサーチ* 3(1): 48-51, 2003.
 - 8) 田中良美, 清水千穂, 久和田敬介, 他: 一側肩甲骨に対する抵抗運動が同側ヒラメ筋H波に及ぼす影響. *PNF リサーチ* 15(1): 46-53, 2015.
 - 9) 白谷智子, 新井光男, 来間弘展, 他: 異なる上肢PNFパターンが対側ヒラメ筋H波に及ぼす影響. *理学療法学* 43(2) 第51回日本理学療法学学術大会抄録集, 2016.
 - 10) Shiratani T, Arai M, Kuruma H, et al.: The effects of opposite-directional static contraction of the muscles of the right upper extremity on the ipsilateral right soleus H-reflex. *J Bodyw Mov Ther* 8: 528-533, 2017.
 - 11) Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113, 1971.
 - 12) 石津希代子: 利きの発達と左右差. *日本大学大学院総合社会情報研究科紀要* 12: 157-161, 2011.
 - 13) Knikou M: The H-reflex as a probe: Pathways and pitfalls. *Journal of Neuroscience Methods* 171: 1-12, 2008.
 - 14) 島村宗男: 運動の解析—基礎と臨床応用—, 249-250, 医歯薬出版, 東京, 1980.
 - 15) Voss DE, Ionta MK, Myers BJ: *Proprioceptive neuromuscular facilitation; Patterns and techniques*, Third ed.: 291-311, Harper & Row, New York, 1985.
 - 16) Crone C, Nielsen J: Methodological implications of the post activation depression of the soleus H-reflex in man.: *Exp Brain Res* 78(1): 28-32, 1989.
 - 17) Moore MA, Kukulka CG: Depression of Hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Phys Ther* 71(4): 321-329, 1991.
 - 18) Trimble MH, Harp SS: Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Med Sci Sports Exerc* 30(6), 933-941, 1998.
 - 19) Xenofondos A, Patikas D, Kocejka DM, et al.: Post-activation potentiation: The neural effects of post-activation depression. *Muscle Nerve* 52(2): 252-259, 2015.
 - 20) Tanigawa MC: Comparison of the hold-relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. *Phys Ther* 52: 725-735, 1972.
 - 21) 武富由雄, 村木敏明: 健常者における肩関節内旋筋に対するHOLD-RELAX手技による外旋可動域拡大の効果. *理学療法学* 19(5): 457-460, 1992.

- 22) Yanagawa S, Shindo M, Nakagawa S: Increase in Ib inhibition by antagonistic voluntary contraction in man. *Physiology* 440: 311-323, 1991.
- 23) Cabaj A, Stecina K, Jankowska E: Same spinal interneurons mediate reflex actions of group Ib and group II afferents and crossed reticulospinal actions. *J neurophysiol* 95: 3911-3922, 2006.
- 24) Till D: The uses of reflexes in the restoration of normal movement. *Physiotherapy* 55: 2-8, 1969.
- 25) Kawakita H, Kameyama O, Ogawa R, et al.: Reinforcement of motor evoked potentials by remote muscle contraction. *J Electromyogr Kinesiol* 1: 96-106, 1991.
- 26) Péréon Y, Genet R, Guihéneuc P: Facilitation of motor evoked potentials: timing of Jendrassik maneuver effects. *Muscle Nerve* 18: 1427-1432, 1995.
- 27) Hortobágyi T, Taylor JL, Petersen NT, et al.: Changes in segmental and motor cortical output with contralateral muscle contractions and altered sensory inputs in humans. *J Neurophysiol* 90: 2451-2459, 2003.
- 28) Tazoe T, Sakamoto M, Nakajima T, et al.: Effect of remote muscle contraction on transcranial magnetic stimulation-induced motor evoked potentials and silent periods in humans. *Clin Neurophysiol* 118: 1204-1212, 2007.
- 29) Tazoe T, Sakamoto M, Nakajima T, et al.: Remote facilitation on supraspinal motor excitability is dependent on the level of effort. *Eur J Neurosci* 30: 1297-1305, 2009.
- 30) Chiou SY, Wang RY, Liao KK, et al.: Homologous muscle contraction during unilateral movement does not show a dominant effect on leg representation of the ipsilateral primary motor cortex. *PLoS One* 8: e72231, 2013.
- 31) Chiou SY, Wang RY, Liao KK, et al.: Co-activation of primary motor cortex ipsilateral to muscle contracting in a unilateral motor task. *Clin Neurophysiol* 124: 1353-1363, 2013.
- 32) Gellhorn E: Proprioception and the motor cortex. *Brain* 72: 35-62. 1949.
- 33) Bostan AC, Strick PL: The cerebellum and basal ganglia are interconnected. *Neuropsychol* 20: 261-270, 2010.
- 34) Tsujimoto T, Mima T, Shimazu H, et al.: Directional organization of sensorimotor oscillatory activity related to the electromyogram in the monkey. *Clinical Neurophysiology* 120: 1168-1173, 2009.
- 35) Iwamura Y, Iriki A, Tanaka M: Bilateral hand representation in the postcentral somatosensory cortex. *Nature* 369: 554-556, 1994.
- 36) Veldman MP, Maffiuletti NA, Hallett M, et al.: Direct and crossed effects of somatosensory stimulation on neuronal excitability and motor performance in humans. *Neurosci Biobehav Rev* 47: 22-35, 2014.
- 37) Ferbert A, Priori A, Rothwell JC, et al.: Interhemispheric inhibition of the human motor cortex. *J Physiol* 453: 525-546, 1992.

- 38) Daskalakis ZJ, Christensen BK, Fitzgerald PB, et al.: The mechanisms of interhemispheric inhibition in the human motor cortex. *J Physiol* 543: 317-326, 2002.
- 39) Rijntjes M, Dettmers C, Büchel C, et al.: A blueprint for movement: functional and anatomical representations in the human motor system. *J Neurosci* 19: 8043-8048, 1999.
- 40) Ehrsson HH, Naito E, Geyer S, et al.: Simultaneous movements of upper and lower limbs are coordinated by motor representations that are shared by both limbs: a PET study. *Eur J Neurosci* 12: 3385-3398, 2000.
- 41) Gerschlagner W, Siebner HR, Rothwell JC: Decreased corticospinal excitability after subthreshold 1 Hz rTMS over lateral premotor cortex. *Neurology* 57: 449-455, 2001.
- 42) Munchau A, Bloem BR, Irlbacher K, et al.: Functional connectivity of human premotor and motor cortex explored with repetitive transcranial magnetic stimulation. *J Neurosci* 22: 554-561, 2002.
- 43) Mochizuki H, Huang YZ, Rothwell JC: Interhemispheric interaction between human dorsal premotor and contralateral primary motor cortex. *J Physiol* 561: 331-338, 2004.
- 44) Baumer T, Bock F, Koch G, et al.: Magnetic stimulation of human premotor or motor cortex produces interhemispheric facilitation through distinct pathways. *J Physiol* 572: 857-868, 2006.
- 45) Koch G, Franca M, Del Olmo MF, et al.: Time course of functional connectivity between dorsal premotor and contralateral motor cortex during movement selection. *J Neurosci* 26: 7452-7459, 2006.
- 46) Sung Ho Jang: The corticospinal tract from the viewpoint of brain rehabilitation. *J Rehabil Med* 46(3): 193-199, 2014.

[Abstract]

The effects of opposite directional resistive static contraction of the muscles of around the scapulae on the unexercised contralateral soleus H-reflex

An indirect approach can be useful in clinical practice when it is difficult to use a direct approach without enough muscle contraction due to muscle weakness.

The purpose of this study was to compare the neurophysiological remote effects and after-effects of the resistive static contraction of the muscles of around the scapulae, considering the resistant direction.

The participants included 12 normal subjects with a mean (SD) age of 23.7 (3.4) years. A 10-s SC of the muscles around the scapula utilizing resistive static contraction of scapular anterior elevation (SCAE) and scapular posterior depression (SCPD) using the proprioceptive neuromuscular facilitation. The subjects were asked to maintain scapular position against the traction force, at a level of resistance that was 50% of the maximum voluntary contraction. The left soleus H-reflexes were elicited sequentially without interruption for a period of 210 s. The period of 210 s was divided into 3 conditions (condition-1 represented the rest phase, 20 s; conditions-2 represented the task phase, 10 s; and condition-3 represented the rest phase after each task, 180 s). For comparison, each H-reflex amplitude during and after each resistive exercise was normalized to the corresponding maximal M wave (Mmax), as expressed by the ratio of H/Mmax. The data were obtained from a randomized block experiment with three tasks (SCAE, SCPD, resting) for each subject (individual factor) over a period of 190 s (19 conditions [time course]: condition C1~C19).

Three-way analysis of variance for the H/Mmax ratio was used with Bonferroni's post-hoc analysis revealed that the SCAE task showed significantly smaller results than both the SCPD and resting tasks, and the SCPD task showed significantly larger results than the resting task ($p < 0.05$). SCAE may induce the neurophysiological inhibitory effects as the remote after-effects, which may induce the relaxation of the remote muscles.

Key words: soleus H-reflex, remote after-effects, scapulae, resistant direction, PNF