

修士学位論文

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。)

負荷量を考慮した下部体幹筋群の静止性収縮と
下肢筋群の静止性収縮が非運動肢のヒラメ筋 H
反射に及ぼす影響

(西暦) 2017 年 1 月 6 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：15895608

氏 名：竹澤美穂

(指導教員名：新井光男)

(西暦) 2016 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)

負荷量を考慮した下部体幹筋群の静止性収縮と下肢筋群の静止性収縮が
非運動肢のヒラメ筋 H 反射に及ぼす影響

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 15895608

氏 名: 竹澤 美穂

(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。

【はじめに】

主動作筋の筋力低下や疼痛のため, 自動・他動関節可動域制限を向上させる直接的アプローチをすることが困難な場合, 臨床の現場では間接的アプローチが有効な場合がある。間接的アプローチは下行性の効果として骨盤前方挙上抵抗運動による静止性収縮 (以下, RSCAE) または, Cross-education として反対側の抵抗運動 (以下, CRSC) があるが神経生理学的な効果の差異は明らかでない。

【目的】

本研究の目的は, 非運動肢の右ヒラメ筋 H 反射を指標とし, 異なる抵抗運動時の負荷量を用いて, 右 RSCAE と CRSC の神経生理学的効果と後効果を比較した。

【方法】

健常成人 16 名に, 抵抗運動による静止性収縮 (右 RSCAE・CRSC) ×異なる負荷量 [軽負荷 (10%) または重負荷 (30%)] を無作為に行った。右ヒラメ筋 H 反射は, 抵抗運動による静止性収縮前の安静時相 (condition-BE), 抵抗運動による静止性収縮時相 (condition-DE), 抵抗運動による静止性収縮後の安静時相 (condition-AE) に計測した。各々の H 反射の振幅値は, H 反射振幅値を最大 M 波振幅値で基準化し, H/Mmax と表した。

【結果】

四元配置分散分析の結果, 抵抗運動による静止性収縮と H/Mmax の時間経過との間に有意な交互作用を示した。多重比較検定の結果, 左 CRSC の condition-DE は, RSCAE の condition-DE よりも有意に H 反射の振幅値が増大した。しかし, CRSC と RSCAE の condition-AE は, condition-BE と比較して遠隔の後効果として抑制効果が認められた。

【考察】

今回の結果から, Cross-education の効果を期待した CRSC は, 静止性収縮時はヒラメ筋 H 反射に反射性の興奮を引き出し, 運動後の安静相において抑制効果が続いて起こることが示唆された。

【要旨】

【目的】右骨盤前方挙上筋群の抵抗運動（以下，右 RSCAE）による下行性の遠隔効果と左足関節底屈筋群の抵抗運動（以下，左 CRSC）による交叉性教育における負荷量の差異が，右ヒラメ筋 H 反射の経時的変化に及ぼす神経生理学的効果を検証した．【方法】健康成人 16 名に，抵抗運動（右 RSCAE・左 CRSC）×負荷量（軽負荷・重負荷）の 4 通りの組み合わせを無作為に行わせ，右ヒラメ筋 H 反射を経時的に計測した．H/Mmax を指標とし，四元配置分散分析と多重比較検定を行った．【結果】抵抗運動と時間間に交互作用を認め，右 RSCAE と比較し左 CRSC の抵抗運動時において有意な H/Mmax の増大を認めた．しかし，両抵抗運動後に H/Mmax の漸減傾向を示した．【結論】交叉性教育の方が抵抗運動時の促通効果が大きく，抵抗運動後に緩徐な抑制効果をもたらすことが示唆された．

キーワード：ヒラメ筋 H 反射，負荷量，抵抗運動，交叉性教育，下行性の遠隔効果

【本文】

I. 背景

1. はじめに

患側の部位を固定している時や患部の疼痛が強く直接筋力強化や関節可動域訓練をすることができない場合，健康な部位への抵抗運動により患肢へアプローチする方法（間接的アプローチ）として，ジェンドラシック手技（Jendrassik maneuver）の応用¹⁾や交叉性教育²⁾（Cross-education）の応用が報告されている．

Jendrassik maneuver とは，膝蓋腱反射が減弱ないし消失している場合，患者の両手を組んで左右へ引かせることにより膝蓋腱反射を増強させる方法である¹⁾．Jendrassik maneuver の応用として，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が促通されると報告されており，神経生理学的機序として下行性の脊髓固有反射が関与していると推察されている¹⁾．臨床的效果として，骨盤の前方挙上方向への抵抗運動による静止性収縮（Resistive Static Contraction of Anterior Elevation: 以下，RSCAE）後の肩関節屈曲他動関節可動域の増大や³⁾，リーチ動作の改善⁴⁾，逆下肢伸展挙上運動の自動関節可動域の増大が報告されており⁵⁾，神経生理学的機序として上行性の脊髓固有反射の関与が推察されている⁶⁾．

一方，Cross-education とは対側への遠隔効果で，一肢の抵抗運動時に反対側の非運動肢に筋活動が生じる現象であり²⁾，神経生理学的機序として発散現象による運動ニューロンの促通や皮質・皮質下・脊髓レベルの関与が推察されている^{7,8,9,10)}．また，足関節底屈筋群の抵抗運動により対側ヒラメ筋 H 反射の振幅値が増大し，その効果は収縮強度が増大すると大きくなることから，抵抗運動の負荷量の差異による影響が示唆されている¹¹⁾．

臨床的には，抵抗運動時の負荷量の差異により間接的アプローチ効果に影響を及ぼすことを経験している．先行研究において，肩・肘関節の肢位と負荷量の差異による影響を検証した結果，軽負荷と比較し重負荷において主動筋の積分筋電図値の増大と手関節自動関節可動域の増大を認めたと報告されている¹²⁾．さらに，骨盤への抵抗運動の負荷量の差異に伴うヒラメ筋 H 反射への影響を検討した結果，最大随意収縮（maximum voluntary contraction: 以下，MVC）の 10%の負荷量より 20%MVCの方がヒラメ筋 H 反射振幅値の増大が認められている¹³⁾．

このように、RSCAE による遠隔部位への効果や^{3,4,5)} Cross-education による対側肢への効果^{2,11)} についての報告は散見されるが、負荷量の差異を考慮した神経生理学的效果や経時的効果については明らかにされていない。

2. 研究仮説

右骨盤の抵抗運動による右下肢の神経生理学的效果（下行性の遠隔効果）よりも、左下肢の抵抗運動による右下肢の神経生理学的效果（Cross-education による反応）の方が大きく、抵抗運動後は経時的に抑制傾向となる。また、その効果は抵抗運動時の負荷量により影響される。

右骨盤の抵抗運動とは右 RSCAE、左下肢の抵抗運動とは左足関節底屈筋群の抵抗運動（左 Contralateral resistive static contraction: 以下、左 CRSC）とした。右下肢の神経生理学的效果とは右ヒラメ筋 H 反射の振幅値を基準化した値（H 反射振幅値/最大 M 波振幅値比: 以下、H/Mmax）¹⁴⁾ の増減、抑制とは H 反射振幅値の減弱とした。抵抗運動時の負荷量の差異は、各抵抗運動の MVC の 10%（軽負荷）と 30%（重負荷）とした。

3. 研究の目的

健常者における抵抗運動方法の差異（下部体幹筋群の抵抗運動による下行性の遠隔効果・足関節の抵抗運動による非運動肢への交叉性教育）と、抵抗運動の負荷量の差異が及ぼす神経生理学的效果の経時的影響を検証することである。

4. 臨床的意義

右 RSCAE と左 CRSC による右ヒラメ筋への神経生理学的效果と、負荷量の差異による影響を明らかにすることにより、患部の固定や疼痛により抵抗運動が困難な場合の間接的アプローチとして、抵抗運動方法と負荷量を選択するエビデンスの一助となる。

II. 方法

1. 対象

対象は健常成人 21 名から H 反射と M 波を誘発することができなかった 5 名を除外した 16 名（男性 10 名、女性 6 名）で、平均年齢±標準偏差は 23.4±3.2 歳であった。組み入れ基準は、神経学的・整形外科的に既往がなく、利き足（ボールを蹴る足）が右足の者とした¹⁵⁾。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：16010）を得た上で、全ての対象者に実験の趣旨を説明し、参加することの同意を文書に署名を得て実施した。研究安全倫理審査の研究計画書に基づき、首都大学東京荒川キャンパスにて行った。実施に際し、いつでも実験への参加撤回が可能であり、それによっていかなる不利益も生じないことを対象者に説明した。

2. 使用機器と測定方法

1) 抵抗運動による静止性収縮の方法

抵抗運動による静止性収縮は右 RSCAE と左 CRSC の 2 種類とした。

実験肢位は、ベッド上左側臥位（体幹中間位、両股関節 60° 屈曲位、両膝関節 60° 屈曲位、左足関節 20° 底屈位）とし、右上肢を体幹の前に置いたクッションの上に乗せ、両手はベッドを把持せずにリラックスさせた。また、牽引ロープを付けることができる骨盤ベルトを右上前腸骨棘に重なるように装着した。

右 RSCAE は、右上前腸骨棘に抵抗がかかるように重り付きの牽引ロープを骨盤ベルトに

付け、右肩峰と右大転子を結んだ線（基準線）に対して 30° のラインで尾側方向に牽引を行った（図 1-1）。左 CRSC は、左前足部に重り付きの牽引ロープが付いたストラップをかけ、基準線に対して 30° のラインに平行な左前足部を通る線上で頭側方向に牽引を行った（図 1-2）¹⁶⁾。被験者には定めた肢位を保持するように指示し、抵抗運動による静止性収縮になるように努力させた。測定前に被験者は 2 つの抵抗運動の練習を行った。

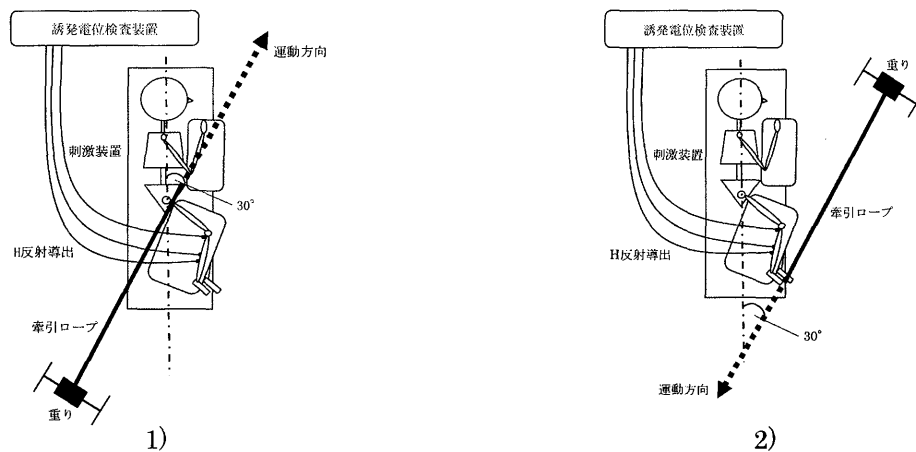


図 1. 抵抗運動による静止性収縮の方法と機器設定

- 1) 右 RSCAE の抵抗運動方法
- 2) 左 CRSC の抵抗運動方法
- 右 RSCAE: 右骨盤前方挙上の抵抗運動（静止性収縮）
- 左 CRSC: 左足関節底屈筋群の抵抗運動（静止性収縮）

2) MVC の測定・負荷量の設定

測定肢位は抵抗運動による静止性収縮時と同様の肢位とし、両手はベッドを把持させた。右 RSCAE と左足関節底屈筋群の MVC を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）で測定した。右 RSCAE の MVC の測定方法は、右骨盤前方挙上・後方下制の中間域で右上前腸骨棘にハンドヘルドダイナモメーターを当て、検者は骨盤を後方下制する方向に抵抗をかけ、被験者に骨盤前方挙上方向への静止性収縮を行わせた。左足関節底屈筋群の MVC の測定方法は、左足関節 20° 底屈位で左前足部にハンドヘルドダイナモメーターを当て、検者は足関節背屈方向に抵抗をかけ、被験者に足関節底屈方向への静止性収縮を行わせた。それぞれ 3 回ずつ測定し、最も高い数値を採用した。

負荷量は、右 RSCAE では右下部体幹筋群の MVC の 10%（軽負荷）および 30%（重負荷）、左 CRSC では左足関節底屈筋群の MVC の 10%（軽負荷）および 30%（重負荷）とした。負荷量を一定にする為に重り付きの牽引ロープを使用した。

3) 抵抗運動による静止性収縮と負荷量の組み合わせ

対象者に、4 通りの抵抗運動による静止性収縮と負荷量の組み合わせ（右 RSCAE×軽負荷、右 RSCAE×重負荷、左 CRSC×軽負荷、左 CRSC×重負荷）の施行順を乱数表によって無作為に割り付けた。

4) 右ヒラメ筋 H 反射の測定

誘発電位検査装置（日本光電工業株式会社、Neuropack X1, MEB-2312）にて右ヒラメ筋

H 反射・M 波を誘発し記録した．各被験者の導出用電極を貼付する部位の皮膚表面をカミソリで剃毛した後，皮膚処理用ジェル（日本光電工業株式会社，スキンプュア）で処理し，皮膚インピーダンスを $5k\Omega$ 以下に減弱させた．直径 10mm の銀-塩化銀電極（日本光電工業株式会社，NE-132B）を使用し，導出用電極は右ヒラメ筋の筋腹に電極間距離 2.0cm で貼付し，接地電極は右外果に貼付した（図 2）．

右ヒラメ筋 H 反射の誘発は，刺激装置（日本光電工業株式会社，表面刺激電極，NM-420S）を使用し膝窩部で経皮的に右脛骨神経を刺激した．電気刺激は，刺激時間 1msec，刺激頻度 1Hz の矩形波とした．筋電位は周波数帯域 10Hz～5kHz で増幅し記録した．刺激強度は条件間における刺激の定常性を確保するために，M 波の振幅値が最大 M 波の 4～8% となるように大きさを確認しながら測定した¹⁷⁾．測定時間は抵抗運動前の安静 40 秒間と抵抗運動 20 秒間，抵抗運動後の安静 120 秒間の計 180 秒間とした．

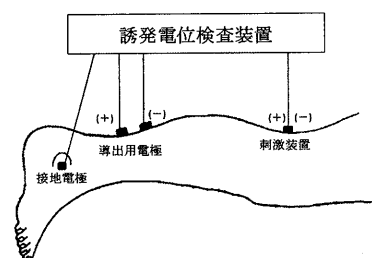


図 2. 誘発電位検査装置の電極配置

5) 抵抗運動による静止性収縮×負荷量の主観的努力度

主観的努力度の評価は 11 段階の数値評価スケール（Numerical Rating Scale: 以下，NRS）で対象者に聴取することで得た¹⁸⁾．基準は，MVC 測定直後に聴取した最も努力度が大きかった抵抗運動による静止性収縮×負荷量の主観的努力度を NRS の 10 とし，まったく努力を必要としない状態の主観的努力度を NRS の 0 とした．測定は，右ヒラメ筋 H 反射誘発・記録の終了直後に抵抗運動による静止性収縮×負荷量の主観的努力度について NRS で聴取した．

3. 実験手順

- 1) 4 通りの抵抗運動による静止性収縮×負荷量の施行順を乱数表によって無作為に割り付けた．
- 2) 右 RSCAE と左 CRSC の抵抗運動による静止性収縮の方法を対象者に説明し，数秒間の練習を各 1 回行った．
- 3) 右 RSCAE と左 CRSC の MVC を測定した．各抵抗運動による静止性収縮の 10%MVC と 30%MVC を算出し，軽負荷・重負荷の 2 種類の負荷量を決定した．
- 4) 主観的努力度の基準を決定するために，2 種類の抵抗運動による静止性収縮の MVC 測定直後に努力度が大きかった抵抗運動による静止性収縮を聴取し，主観的努力度の NRS の 10 とした．
- 5) 1 番目の抵抗運動による静止性収縮×負荷量の施行前に右ヒラメ筋の安静時の最大 M 波を誘発・記録した．

- 6) 抵抗運動による静止性収縮前の安静時（40 秒間）、抵抗運動による静止性収縮時（20 秒間）、抵抗運動による静止性収縮後の安静時（120 秒間）の右ヒラメ筋 H 反射を測定した。
- 7) 右ヒラメ筋 H 反射の測定終了直後に、NRS を用いて抵抗運動による静止性収縮時の主観的努力度を聴取した。
- 8) 必要最小限の休憩後、H 反射の振幅値が抵抗運動による静止性収縮前の安静時の H 反射振幅値と同じ高さになっていることを確認し、次の抵抗運動による静止性収縮×負荷量での H 反射の測定を行った。

4. 右ヒラメ筋 H 反射・M 波の解析方法

得られた波形を 10 回加算平均して振幅値を peak-to-peak で計測し、H/Mmax を算出した。時間経過の指標として、150 秒間を 10 秒毎に区切り、相分けした。各相は、抵抗運動による静止性収縮前の安静時 10 秒間（以下、C1）、抵抗運動による静止性収縮時 1～10 秒間（以下、C2）、抵抗運動による静止性収縮時の 11～20 秒間（以下、C3）、抵抗運動による静止性収縮終了直後から 120 秒後までの安静時の 10 秒間毎（以下、C4～C15）とした。

5. 統計処理

統計解析には SPSS（IBM SPSS Statistics23, IBM 社製）を用いた。有意水準はすべて 5%とした。

1) 抵抗運動による静止性収縮前の安静時の H/Mmax の再現性

抵抗運動による静止性収縮前の安静時の H/Mmax の再現性を検証するために、抵抗運動による静止性収縮前の安静 40 秒間から 10 秒間毎に得た H/Mmax の級内相関係数（Intraclass Correlation Coefficients: 以下、ICC）を求めた。

2) 抵抗運動による静止性収縮・時間・負荷量・個人の要因が H/Mmax に及ぼす影響

要因が H/Mmax に及ぼす影響を比較するために、H/Mmax を指標として抵抗運動による静止性収縮・負荷量・時間・個人を要因とした四元配置分散分析を行い、有意な主効果を認めたものについては多重比較検定（Bonferroni 法）を行った。有意な交互作用を認めた場合の事後検定は、その要因間の組み合わせで多重比較検定（Bonferroni 法）を行った。

3) H/Mmax の回帰式

H/Mmax の経時的変化の予測のために、H/Mmax を目的変数、時間を説明変数とした回帰分析により整次多項式を求めた。

4) 各抵抗運動による静止性収縮×負荷量の主観的努力度の比較

主観的努力度（NRS）を指標として抵抗運動による静止性収縮×負荷量を要因とした Kruskal-Wallis 検定を行い、有意差が認められた場合には多重比較検定（Bonferroni 法）を行った。

5) 主観的努力度と抵抗運動による静止性収縮時 H/Mmax の関係

主観的努力度と抵抗運動による静止性収縮時の H/Mmax との相関を検証するために、Spearman の順位相関係数を求めた。

Ⅲ. 結果

1) 抵抗運動による静止性収縮前の安静 H/Mmax の再現性

抵抗運動による静止性収縮前の安静時の H/Mmax の ICC (1, 4) は 0.99 ($p=0.00$) と高い再現性を示した。

2) 抵抗運動による静止性収縮・時間・負荷量・個人の要因が H/Mmax に及ぼす影響

時間経過と抵抗運動による静止性収縮×負荷量の H/Mmax の平均値（標準偏差）を表 1 に示した。四元配置分散分析の結果、抵抗運動による静止性収縮 ($F_{1,885}=31.36$, $p=0.00$)・時間 ($F_{14,885}=14.50$, $p=0.00$)・個人 ($F_{15,885}=593.88$, $p=0.00$) の要因において有意な主効果が認められ、抵抗運動による静止性収縮と時間の組み合わせ ($F_{14,885}=2.27$, $p=0.01$) に有意な交互作用が認められた。負荷量 ($F_{1,885}=2.40$, $p=0.12$) には主効果が認められず、負荷量と時間の組み合わせ ($F_{14,885}=0.83$, $p=0.64$)・負荷量と抵抗運動による静止性収縮の組み合わせ ($F_{1,885}=0.97$, $p=0.32$) に交互作用は認められなかった。

多重比較検定を行った結果、右 RSCAE の抵抗運動による静止性収縮前の安静時 (C1) より右 RSCAE の抵抗運動による静止性収縮後の安静時 (C7, C11, C13, C14) において有意な H/Mmax の減弱が認められた ($p<0.05$) (図 3-1)。また、左 CRSC の抵抗運動による静止性収縮前の安静時 (C1) より左 CRSC の抵抗運動による静止性収縮時 (C2, C3) に有意な H/Mmax の増大が認められ ($p<0.01$)、左 CRSC の抵抗運動による静止性収縮前の安静時 (C1) より抵抗運動による静止性収縮後の安静時 (C5, C6, C7, C8, C9, C10, C12, C13) において有意な H/Mmax の減弱が認められた ($p<0.05$) (図 3-2)。また、右 RSCAE の抵抗運動による静止性収縮時 (C2, C3) より左 CRSC の抵抗運動による静止性収縮時 (C2) において有意な H/Mmax の増大が認められた ($p<0.05$) (図 3-3)。

表 1. 時間経過と抵抗運動による静止性収縮×負荷量の H/Mmax

時間経過	右 RSCAE×軽負荷	右 RSCAE×重負荷	左 CRSC×軽負荷	左 CRSC×重負荷
C1	0.20 (0.13)	0.20 (0.12)	0.21 (0.13)	0.22 (0.13)
C2	0.22 (0.13)	0.21 (0.12)	0.26 (0.13)	0.27 (0.14)
C3	0.22 (0.12)	0.21 (0.12)	0.25 (0.13)	0.26 (0.13)
C4	0.20 (0.12)	0.19 (0.12)	0.21 (0.13)	0.20 (0.12)
C5	0.19 (0.12)	0.18 (0.12)	0.19 (0.13)	0.19 (0.12)
C6	0.19 (0.12)	0.18 (0.12)	0.19 (0.13)	0.19 (0.13)
C7	0.18 (0.12)	0.18 (0.12)	0.19 (0.13)	0.18 (0.12)
C8	0.19 (0.12)	0.18 (0.12)	0.18 (0.13)	0.19 (0.12)
C9	0.19 (0.12)	0.18 (0.12)	0.19 (0.12)	0.19 (0.12)
C10	0.19 (0.12)	0.18 (0.12)	0.19 (0.12)	0.18 (0.12)
C11	0.18 (0.12)	0.18 (0.12)	0.25 (0.24)	0.19 (0.12)
C12	0.18 (0.12)	0.18 (0.12)	0.19 (0.12)	0.19 (0.12)
C13	0.18 (0.13)	0.18 (0.12)	0.19 (0.13)	0.19 (0.12)
C14	0.19 (0.13)	0.18 (0.12)	0.18 (0.13)	0.20 (0.13)
C15	0.18 (0.12)	0.17 (0.12)	0.19 (0.12)	0.19 (0.13)

平均値（標準偏差）

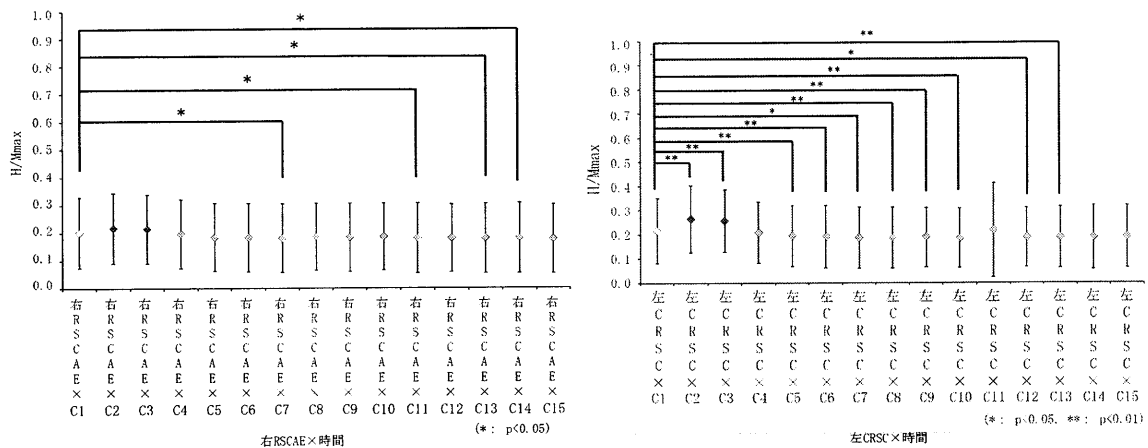
右 RSCAE: 右骨盤前方挙上の抵抗運動（静止性収縮）

左 CRSC: 左足関節底屈筋群の抵抗運動（静止性収縮）

軽負荷: 10%MVC, 重負荷: 30%MVC

C1: 抵抗運動前の安静時 10 秒間, C2, C3: 抵抗運動時 20 秒間（各 10 秒間）,

C4~C15: 抵抗運動後の安静時 120 秒間（各 10 秒間）



1)

2)

3)

図3. 多重比較検定の結果

1) 右 RSCAE の抵抗運動前安静時 (C1) と抵抗運動時・抵抗運動後安静時の比較

2) 左 CRSC の抵抗運動前安静時 (C1) と抵抗運動時・抵抗運動後安静時の比較

3) 右 RSCAE と左 CRSC の抵抗運動時の比較

右 RSCAE: 右骨盤前方挙上の抵抗運動 (静止性収縮)

左 CRSC: 左足関節底屈筋群の抵抗運動 (静止性収縮)

C1: 抵抗運動直前の安静時 10 秒間

C2, C3: 抵抗運動時 20 秒間 (各 10 秒間)

C4~C15: 抵抗運動後の安静時 120 秒間 (各 10 秒間)

3) H/Mmax の曲線推定

H/Mmax を目的変数, 時間を説明変数とした曲線推定の左 CRSC の結果, 有意な整次多項式 $y = -0.004x + 0.242$ ($p < 0.01$) が得られ, 漸減傾向であった. 右 RSCAE は有意な整次多項式は得られなかった ($p = 0.08$) .

4) 各抵抗運動による静止性収縮×負荷量の主観的努力度の比較 (表 2, 図 4)

主観的努力度を指標として抵抗運動による静止性収縮×負荷量を要因とした Kruskal-Wallis 検定の結果, 有意差が認められた ($\chi^2 = 35.16$, $p = 0.00$) . 多重比較検定の結果, 左 CRSC×重負荷は左 CRSC×軽負荷と右 RSCAE×軽負荷と比較し主観的努力度が有意に大きかった ($p = 0.00$) . また, 右 RSCAE×重負荷は右 RSCAE×軽負荷よりも主観的努力度が有意に大きかった ($p = 0.00$) .

表 2. 抵抗運動による静止性収縮×負荷量の主観的努力度

抵抗運動×負荷量	主観的努力度
右 RSCAE×軽負荷	1.8 (0.6)
右 RSCAE×重負荷	4.4 (1.6)
左 CRSC×軽負荷	3.0 (1.0)
左 CRSC×重負荷	5.7 (1.8)

平均値 (標準偏差)

右 RSCAE: 右骨盤挙上の抵抗運動, 左 CRSC: 左足関節底屈筋群の抵抗運動

軽負荷: 10%MVC, 重負荷: 30%MVC

主観的努力度: Numerical rating scale (NRS)

を用い, 下記の基準で評価した.

(0: まったく努力を必要としない状態の努力度,

10: 最大随意収縮力の測定時に最も努力度が大きかった抵抗運動の努力度)

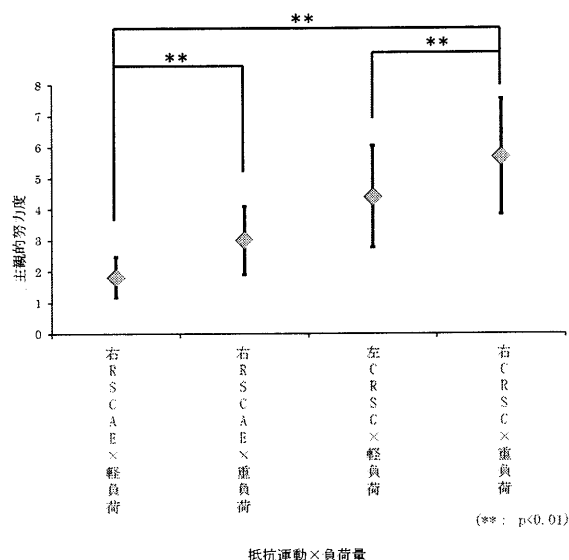


図 4. 要因間における主観的努力度の比較

右 RSCAE: 右骨盤前方挙上の抵抗運動 (静止性収縮)

左 CRSC: 左足関節底屈筋群の抵抗運動 (静止性収縮)

軽負荷: 10%MVC, 重負荷: 30%MVC

主観的努力度: Numerical rating scale (NRS)

5) 主観的努力度と抵抗運動による静止性収縮時 H/Mmax の関係

主観的努力度と抵抗運動による静止性収縮時の H/Mmax について Spearman の順位相関係数を求めた結果、抵抗運動による静止性収縮時の 1~10 秒間 (C2) では $\rho = -0.03$ ($p = 0.84$)、抵抗運動による静止性収縮時の 11~20 秒間 (C3) では $\rho = 0.02$ ($p = 0.90$) であり、主観的努力度と抵抗運動による静止性収縮時の H/Mmax に有意な相関はなかった。

IV. 考察

本研究の目的は、健常者における抵抗運動方法と負荷量の差異が及ぼす神経生理学的効果を検証することであり、結果から Cross-education の方が抵抗運動時の促通効果が大きく、抵抗運動後に緩徐な抑制効果をもたらすことが示唆された。このことから、右骨盤の抵抗運動による右下肢の神経生理学的効果（下行性の遠隔効果）よりも左下肢の抵抗運動による右下肢の神経生理学的効果（Cross-education による反応）の方が大きく、抵抗運動後は経時的に抑制傾向となるという仮説は肯定された。一方、抵抗運動時の負荷量が及ぼす効果に差異は認められなかったことから、抵抗運動による神経生理学的効果は抵抗運動時の負荷量により影響されるという仮説は否定された。

1) 左 CRSC による神経生理学的効果 (Cross-education 効果)

Cross-education による神経生理学的効果は促通を示したことから先行研究と一致しており¹¹⁾、その機序としては運動している筋群の神経分枝から直接生じるインパルスのオーバー・フロー効果や²⁾、同側の皮質脊髄路の非交叉性分枝を通る中枢制御の拡散が考えられる¹⁰⁾。Gellhorn (1949) は、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結果、関節固定時で筋放電が著しく増大するが、脊髄後根を切断して行くとこの現象が消失することから、関節固定による固有受容感覚の刺激が皮質刺激による運動に促通効果を与えることを報告した¹⁹⁾。また、四肢が関与する反射は脊髄反射経路と運動皮質を含む長経路反射によって仲介されることが報告されている²⁰⁾。本研究においても左 CRSC による触覚・固有受容感覚が対側（右）の脳に影響し、右の運動皮質から皮質脊髄路の非交叉性分枝によって H 反射が促通された可能性がある。

一方、Cross-education 効果による神経生理学的後効果は抑制傾向であった。一側下肢の運動により非運動肢の筋に筋活動が不随意的に生じるため²¹⁾、抑制効果の機序としてシナプス前抑制の関与が推察される²²⁾。

2) 右 RSCAE による神経生理学的効果 (下行性の遠隔後効果)

右 RSCAE による神経生理学的後効果は抑制であった。先行研究において、RSCAE の臨床的効果として脳卒中後片麻痺患者における歩行速度の短縮が報告されており、歩行の遊脚相における骨盤前方回旋運動の改善により前方推進機能が増加し、歩幅が増大したと推察されている²³⁾。今回、RSCAE により同側のヒラメ筋 H 反射が経時的に抑制傾向となったことから、脳卒中片麻痺患者のヒラメ筋のリラクセーション効果により足関節背屈運動が可能となり、歩行速度の増加につながった可能性が推察される。

3) 臨床的意義

右下肢の固定や疼痛などにより抵抗運動が困難な場合、左 CRSC による筋萎縮などの廃用予防や、右 RSCAE・左 CRSC によるリラクセーション効果が期待できる。

4) 本研究の新規性

間接的アプローチとして Cross-education の効果を期待した左 CRSC は、静止性収縮時はヒラメ筋 H 反射に反射性の興奮を引き出し、運動後の安静相において抑制効果が続いて起こることが示唆された。

5) 研究の限界と今後の課題

本研究では負荷量を一定にするために重り付きの牽引ロープを使用した持続牽引により抵抗を加えたが、臨床的には徒手で抵抗を加えるため、今回の神経生理学的効果とは異なる可能性がある。今後、徒手による刺激の再現性を確認し、再現性のある方法により検証を行う必要がある。

今回、疲労による影響を考慮したため、抵抗運動と負荷量の組み合わせによる 4 種類の課題の効果しか検証できなかった。筋電図を使用した発散現象の研究では、抵抗運動の課題によって発散現象が異なることが示唆されており²⁴⁾、他の抵抗運動では神経生理学的効果が異なる可能性が考えられる。また負荷量の差異により結果が変わる可能性もあるため、今後の研究課題として抵抗運動方法や負荷量を変えた更なる検証が必要である。

V. 結論

健常者において、右 RSCAE と左 CRSC による右ヒラメ筋に対する神経生理学的効果について負荷量を変えて検証した結果、左 CRSC による Cross-education 効果によって抵抗運動時に促通効果が大きく、抵抗運動後に抑制効果をもたらした、この効果は負荷量に影響されないことが示唆された。

VII. 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: 505-510, 1980.
- 2) Pink M.: Contralateral effects of upper extremity proprioceptive neuromuscular facilitation patterns. Phys Ther 61: 1158-1162, 1981.
- 3) 上広晃子, 新井光男, 清水一, 他: 脳卒中後片麻痺患者の骨盤の抵抗運動パターンの相違が患側肩関節可動域に及ぼす効果. PNF リサーチ, 4: 24-27, 2004.
- 4) 田中良美, 新井光男, 他: 脳卒中後片麻痺患者の骨盤への PNF アプローチが非麻痺側上肢のリーチ動作に及ぼす継時的影響. PNF リサーチ, 7: 66-72, 2007.
- 5) 住田哲昭, 住田ちひろ, 他: 下部体幹筋群の抵抗運動が整形外科疾患患者の股関節伸展自動関節可動域に及ぼす効果の検証. PNF リサーチ, 15: 33-38. 2015.
- 6) 新井光男, 清水一, 柳澤健, 他: 骨盤抵抗運動による総指伸筋長脊髓反射の潜時に及ぼす影響-ケース・スタディー-. PNF リサーチ, 3: 52-59, 2003.
- 7) Hellebrandt FA, Parrish AM, Houtz SJ.: Cross education The influence of unilateral exercise on the contralateral limb. Arch. Phys. Med, 28: 76-85, 1947.
- 8) Rothwell JC.: Control of human voluntary movement second edition. 2: 218-251, Chapman & hall, London, 1994.
- 9) Kanouchi T, Yokota T, Isa F, et al.: Role of the ipsilateral motor cortex in mirror movements. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry 62: 629-632, 1997.

- 10) Weir JP, Housh DJ, Housh TJ, et al.: The effect of unilateral concentric weight training and detraining on joint angle specificity. *J Orthop Sports Phys Ther* 25: 264-270, 1997.
- 11) 稲田剛久, 船越浩志, 東登志夫, 他.: 足関節底屈・背屈による対側ヒラメ筋運動ニューロン興奮性への促通効果. *理学療法学*, 29: 123-127, 2002.
- 12) 新井光男, 清水一: 肩・肘関節の肢位と負荷量の違いによる手関節自動抵抗運動改善の即時効果の比較検討, *広島大学保健学ジャーナル*, 4: 27-34, 2004.
- 13) Arai M, Shiratani T, Kuruma H, et al.: The effects of different force directions and resistance levels during unilateral resistive static contraction of the lower trunk muscles on the ipsilateral soleus H-reflex in the side-lying position. *J Nov Physiother* 6: 3, 2016.
- 14) Tucker KJ, Tuncer M, Türker KS, et al.: A review of the H-reflex and M-wave in the human Triceps surae. *Human Movement Science* 24: 667-688, 2005.
- 15) 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用*, 12: 157-161, 2011.
- 16) Shiratani T, Arai M, Kuruma H, et al.: Neurophysiological remote rebound effects of a resistive static contraction using a proprioceptive neuromuscular facilitation pattern in the mid-range of pelvic motion of posterior depression on the soleus H-reflex. *PNFリサーチ*, 15: 24-32, 2015.
- 17) Knikou M.: The H-reflex as a probe: Pathways and pitfalls. *Journal of Neuroscience Methods* 171: 1-12, 2008.
- 18) Downie WW, Leatham PA, Rhind VM, et al.: Studies with pain rating scales. *Ann Rheum Dis* 37:378-381, 1978.
- 19) Gellhorn E.: Proprioception and the motor cortex. *Brain* 72: 35-62, 1949.
- 20) Matthews PBC: The human stretch reflex and the motor cortex. *Trends Neusosci* 14: 87-90, 1991.
- 21) Panzer S, Schinowski D, Kohle D.: Cross-education and contralateral irradiation. *Journal of Human Kinetics* 27: 66-79, 2011.
- 22) Moore MA, Kukulka CG.: Depression of hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Phys Ther* 71: 321-333, 1991.
- 23) 柳澤真純, 白谷智子, 新井光男, 他: 脳卒中後片麻痺患者に対する骨盤抵抗運動パターンの中間域での抵抗運動方向が歩行時間に及ぼす効果の差異. *PNFリサーチ*, 11: 9-14, 2011.
- 24) Arai M, Shimizu H, Shimizu ME, et al: Effects of the use of cross-education to the affected side through various resistive exercises of the sound side and setting of the length of the affected muscles, *Hiroshima J. Med. Sci*, 50: 65-73, 2001.

The effects of resistive static contraction in mid-range pelvic motion and Cross-education with different degrees of resistance on the unexercised soleus H-reflex

Introduction: When direct approach is difficult to use for improving the active and passive range of motion of severely restricted joints because of agonist muscle pain or weakness, indirect approaches can be useful in clinical practice. Indirect approaches often use a resistive static contraction of the pelvic anterior elevators (RSCAE) as descending effects or a contralateral resistive static contraction (CRSC) as Cross-education.

Purpose: The purpose of this study was compare the neurophysiological remote effect and after-effects of right RSCAE and CRSC with different degrees of load on the unexercised soleus H-reflex.

Methods: Ordering effects were controlled for by randomizing the order of the resistive static contraction (RSCAE and CRSC) with different degrees of load [light (10%) or heavy (30%)] for each of the 16 normal subjects. The right soleus H-reflex was measured at rest (condition-BE), during resistive static contraction phase (condition-DE), and rest phase after resistive static contraction (condition-AE). Each H-reflex amplitude was normalized to the corresponding maximum M-waves (Mmax) and H-reflexes, which was expressed as the ratio of H/Mmax.

Results: The results of four-way analysis of variance showed significant interaction between the resistive static contraction and the H/Mmax time course. Post-hoc analysis revealed that CRSC in condition-DE showed significantly greater effects on H-reflex than RSCAE in condition-DE. However, inhibitory effects occurred as remote after-effects in condition-AE compared to those in both CRSC and RSCAE in condition-BE.

Conclusion: These results indicated that CRSC induced contralateral effects act as Cross-education on the soleus H-reflex, which initially caused a reflexive facilitation during CRSC followed by a gradual inhibition after CRSC.

Key words: H-reflex, resistive static contraction, Cross-education, descending remote effects,