

抵抗運動による間接的アプローチが非運動肢ヒラメ筋 H 反射  
に及ぼす影響Influence of resistive exercise as an indirect-approach on the unexercised  
soleus H-reflex

重田有希 <sup>1)</sup> Shigeta Yuki	白谷智子 <sup>2)</sup> Shiratani Tomoko	保原塁 <sup>2)</sup> Hobara Rui
井手夏葵 <sup>3)</sup> Ide Natsuki	榎本一枝 <sup>4)</sup> Masumoto Kazue	新井光男 <sup>5)</sup> Arai Mitsuo

- 1) 介護老人保健施設やすらぎ リハビリテーション科  
Department of Rehabilitation, Yasuragi Geriatric Health Services Facility
- 2) 苑田第二病院 リハビリテーション科  
Department of Rehabilitation, Sonoda Second Hospital
- 3) つくば国際大学 医療保健学部 理学療法学科  
Department of Physical Therapy, Faculty of Medical and Health Sciences, Tsukuba International University
- 4) しげのぶ整形外科リウマチ・リハビリクリニック リハビリテーション科  
Department of Rehabilitation, Shigenobu Orthopedics Rheumatism Rehabilitation Clinic
- 5) 首都大学東京 健康福祉学部  
School of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University

## 要旨

目的とする筋の抵抗運動による静止性収縮（以下，RSCPF）と目的とする筋の対側下肢の抵抗運動による静止性収縮（以下，CRSC）の交叉性教育および同側の骨盤の抵抗運動による下部体幹筋群の静止性収縮（以下，RSCPD）の下行性の遠隔効果による神経生理学的効果に負荷量の差異が及ぼす影響を検証した。健康者 17 名に抵抗運動（右 RSCPF・左 CRSC・右 RSCPD）と負荷量（軽負荷・重負荷）の 6 通りの組み合わせを各 20 秒間 1 回行わせ、安静時・抵抗運動時・抵抗運動後の非運動肢の右ヒラメ筋 H 反射を誘発し記録した。多重比較検定の結果、左 CRSC×重負荷のみが他の組み合わせに比べ H 反射を抵抗運動時に有意に増大した。また、全ての抵抗運動で抵抗運動後に H 反射が有意に減弱した。重負荷の抵抗運動による静止性収縮時の交叉性教育が非運動肢の中枢性の興奮性の増大を誘発し、抵抗運動後は中枢性の抑制が全ての抵抗運動で生じることが示唆された。

## キーワード

抵抗運動, 負荷量, 交叉性教育, 骨盤後方下制, ヒラメ筋 H 反射

## はじめに

目的とする筋に直接的にアプローチするのが困難な場合、健全な部位の抵抗運動によって間接的にアプローチする方法が臨床で用いられている<sup>1,2,3,4,5,6)</sup>。間接的なアプローチとして、交叉性教育の応用<sup>1,2,3)</sup>と下行性の遠隔効果・後効果の応用<sup>4,5,6)</sup>が報告されている。

交叉性教育とは一側肢の運動時に対側の非運動肢の筋活動が生じる現象である<sup>1)</sup>。対側下肢の抵抗運動による静止性収縮

(contralateral resistive static contraction: 以下, CRSC) による非運動肢の足関節底屈筋群の最大随意収縮力 (maximal voluntary contraction: 以下, MVC) の即時的増大<sup>2)</sup>や筋力増強<sup>3)</sup>、非運動肢のヒラメ筋ホフマン反射 (Hoffman reflex: 以下, H 反射) の振幅値増大が報告されている<sup>7)</sup>。

下行性の遠隔効果は、両手を組ませて左右へ引かせることで膝蓋腱反射が増強する Jendrassik maneuver で知られて

いるが、手関節伸筋群の選択的な抵抗運動による静止性収縮でも遠隔のヒラメ筋の運動ニューロンの促通を得られることが報告されている<sup>8)</sup>。骨盤後方下制の中間域における抵抗運動による静止性収縮 (Resistive static contraction of posterior depression: 以下, RSCPD) でも神経生理学的な下行性の遠隔効果・後効果が認められており<sup>4,9)</sup>、臨床的效果として脳卒中後片麻痺患者における歩行速度増加<sup>5)</sup>や整形外科疾患患者の膝関節伸展関節可動域拡大が報告されている<sup>6)</sup>。

また、負荷量の違いによる神経生理学的効果の差異について、足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮 (Resistive static contraction of the plantar flexors: 以下, RSCPF) による直接的アプローチの研究では収縮力増大に伴うヒラメ筋 H 反射振幅値の増大が報告されている<sup>10)</sup>。RSCPD の研究では、負荷量として 10%MVC より 20%MVC を用いた方がヒラメ筋 H 反射振幅値を有意に増大したことが報告されている<sup>11)</sup>。しかし、直接的アプローチと CRSC による交叉性教育と RSCPD による下行性の遠隔効果・後効果の神経生理学的効果に負荷量の差異が及ぼす影響の差異については明らかでない。

そこで、健常者において、目的とする筋の抵抗運動による直接的アプローチである右 RSCPF と間接的アプローチである左足関節底屈筋群 CRSC (以下, 左 CRSC)・右の RSCPD による右下肢 (非運動肢) への神経生理学的効果・後効果に差異があり、その効果は経時的に変化し、抵抗運動の負荷量の差異により影響されると仮説を立てて検証した。

右下肢 (非運動肢) への神経生理学的効果・後効果とは、右ヒラメ筋 H 反射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) の増大または減弱とした。負荷量の差異とは、各抵抗運動による静止性収縮の MVC の 10% (軽負荷) と 30% (重負荷) とした。

## 対象と方法

### 1. 対象

20代で、神経障害歴・整形外科疾患歴・心疾患歴がなく、利き足 (ボールを蹴る足)<sup>12)</sup>が右足で、依頼内容の説明後に文書で同意の確認がとれた者を対象とした。応募者 21 名中、H 反射や小さな M 波を得られなかった 4 名を除外し<sup>13)</sup>、最終的な対象者は 17 名 (男性 9 名, 女性 8 名) で、平均年齢 ± 標準偏差は 23.5 ± 3.3 歳であった。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による審査・承認を得て実施した (承認番号 16009)。

### 2. 使用機器・測定方法

#### 1) 抵抗運動

実験肢位は、左側臥位、体幹中間位、両側の股関節・膝関節 60° 屈曲位で、右 RSCPF は右足関節 20° 底屈位、左 CRSC は左足関節 20° 底屈位、右 RSCPD は右骨盤後方下制の中間域とした (図 1)<sup>9)</sup>。MVC 測定時は両手で治療台を把持させたが、H 反射誘発・記録時は両手をリラックスさせた。重錘付きのロープを右 RSCPF は右前足部足底、左 CRSC は左前足部足底、右 RSCPD は右坐骨結節に装着し、右肩峰と右大転子を結んだ線 (基準線) に対し 30° のラインで頭側方向に牽引することで抵抗を加え、各肢位を保持することで抵抗運動による静止性収縮を 20 秒間 1 回行わせた (図 1)<sup>9)</sup>。

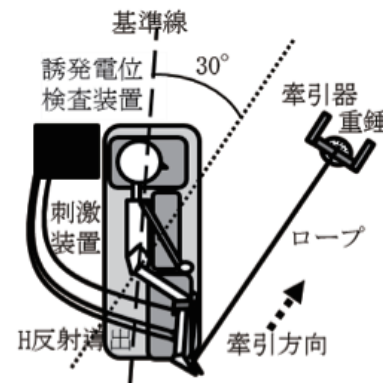


図 1-a 右 RSCPF

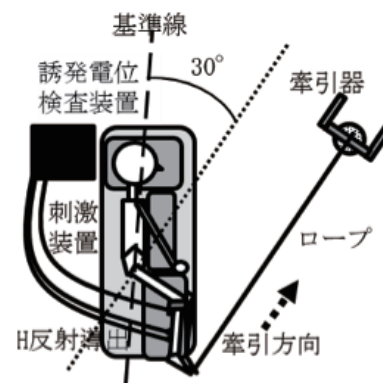


図 1-b 左 CRSC

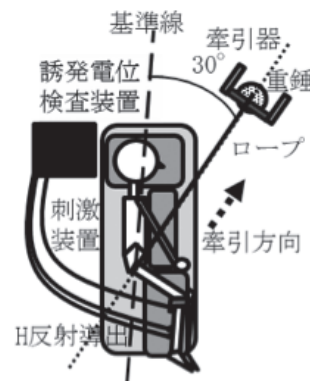


図 1-c 右 RSCPD

図 1. 各抵抗運動による静止性収縮の方法と実験設備

右 RSCPF: 右足関節 20° 底屈位で右前足部の足底に重錘付きのロープがついたストラップをかけ、右肩峰と右大転子を結んだ線 (基準線) に対し 30° の線に平行な右前足部を通る線上でロープを頭側方向に牽引して抵抗を加え、20 秒間保持することで抵抗運動による静止性収縮になるよう指示した。

左 CRSC: 左足関節 20° 底屈位で左前足部の足底に重錘付きのロープがついたストラップをかけ、基準線に対し 30° の線に平行な左前足部を通る線上でロープを頭側方向に牽引して抵抗を加え、20 秒間保持することで抵抗運動による静止性収縮になるよう指示した。

右 RSCPD: 右骨盤後方下制の中間域で右坐骨結節に抵抗がかかるよう重錘付きのロープがついた骨盤帯ベルトを装着し、右肩峰と右大転子を結んだ基準線に対し 30° の線上で頭側方向にロープを牽引して抵抗を加え、20 秒間保持することで抵抗運動による静止性収縮になるよう指示した。

## 2) MVC の測定・負荷量の決定

MVC の測定の順番は乱数表に従った。各実験肢位で徒手筋力計（酒井医療株式会社製，モービィ）を右 RSCPF は右前足部足底，左 CRSC は左前足部足底，右 RSCPD は右坐骨結節に当てて臨床経験 5 年以上の理学療法士 1 名が各 3 回 20 秒間の休憩を入れて MVC を測定した。各実験肢位での最大値に 10%・30% を乗じて 100 g 未満を四捨五入し，負荷量を決定した。

## 3) 抵抗運動と負荷量の組み合わせ

対象者に，6 通りの抵抗運動と負荷量の組み合わせ（右 RSCPF×軽負荷・左 CRSC×軽負荷・右 RSCPD×軽負荷・右 RSCPF×重負荷・左 CRSC×重負荷・右 RSCPD×重負荷）の施行順を乱数表を用いて無作為に割り付けた。

## 4) 右ヒラメ筋 H 反射・M 波の誘発と記録

右ヒラメ筋 H 反射・M 波の誘発と記録には誘発電位検査装置（日本光電工業株式会社製，NeuropackX1 MEB-2312）を用いた。皮膚処理用ジェル（日本光電工業株式会社製，スキンプュア）で皮膚処理をし，インピーダンスを 5 kΩ 以下にした。直径 10 mm の銀・塩化銀皿電極（日本光電工業株式会社製，誘発脳波用皿電極 NE-132B）を右ヒラメ筋の筋腹上に電極間距離 2.0 cm で貼付して導出用電極とし，接地電極は右外果に貼付した。右膝窩部に表面刺激装置（日本光電工業株式会社製，表面刺激電極 NM-420S）を当てて右脛骨神経を刺激時間 1 ms の矩形波で刺激頻度 1 Hz で刺激して H 反射・M 波を誘発した。筋電位は周波数帯域 10 Hz ～ 5 kHz で増幅し，記録した。最大 M 波を 1 番目の抵抗運動×負荷量の施行前に誘発・記録した。H 反射・M 波の誘発と記録は抵抗運動前の安静時 40 秒間・抵抗運動時 20 秒間・抵抗運動終了後の安静時 120 秒間行った。刺激強度の定常性を確認するために，M 波の振幅値が実験を通して最大 M 波の 4 ～ 8% になるよう<sup>14)</sup>，H 反射と M 波が同時に得られる刺激強度で行った。次の抵抗運動×負荷量での誘発・記録前に，安静時の H 反射・M 波の振幅値が元の値に戻ったことを画面上で確認した。

## 5) 抵抗運動×負荷量の主観的努力度

各抵抗運動×負荷量の主観的努力度を H 反射誘発・記録終了直後に 11 段階の数値評価スケール（Numerical Rating Scale: 以下，NRS）で聴取した<sup>15)</sup>。MVC 測定時に最大だった抵抗運動の主観的努力度を NRS の 10，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) 対象者に 6 通りの抵抗運動×負荷量の施行順を乱数表を用いて無作為に割り付けた。
- 2) 3 種類の抵抗運動を対象者に説明し，数秒間の練習を各 1 回行った。
- 3) 3 種類の抵抗運動の MVC を測定し，軽負荷・重負荷の 2 種類の負荷量を決定した。
- 4) MVC 測定で最も努力度が大きかった抵抗運動を聴取し，主観的努力度の基準を決めた。
- 5) 1 番目の抵抗運動×負荷量の施行前に右ヒラメ筋の最大 M 波を誘発・記録した。
- 6) 右ヒラメ筋の H 反射・M 波を抵抗運動前の安静時・抵抗

運動時・抵抗運動後の安静時に誘発・記録した。

- 7) 抵抗運動×負荷量の主観的努力度を NRS で聴取し，必要最小限の休憩後に次の抵抗運動×負荷量での H 反射の誘発・記録を行った。

## 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 で計測して H/Mmax を算出し，抵抗運動開始直前の安静時 10 秒間（以下，C1）・抵抗運動時の 1 ～ 10 秒間（以下，C2）・抵抗運動時の 11 ～ 20 秒間（以下，C3）・抵抗運動後の安静時を 10 秒間毎（以下，C4 ～ C15）に表した。

## 5. 統計解析方法

- 1) 抵抗運動前の安静時の H/Mmax の再現性を検証するために，抵抗運動前の安静時 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) 時間・抵抗運動・負荷量・個人の要因が H/Mmax に及ぼす影響を比較するために，H/Mmax を指標として時間・抵抗運動・負荷量・個人を要因とした四元配置分散分析を行い，有意な主効果があれば多重比較検定（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，その要因の組み合わせで多重比較検定（Bonferroni 法）を行った。
- 3) 各抵抗運動×負荷量における H/Mmax を時間から予測可能かを検証するために，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×負荷量の主観的努力度を比較するために，主観的努力度を指標として抵抗運動×負荷量を要因とした Kruskal-Wallis 検定を行い，有意な主効果があった場合は多重比較検定（Bonferroni 法）を行った。
- 5) 主観的努力度と抵抗運動時の H/Mmax の関係をみるために，Spearman 順位相関係数を求めた。
- 6) 統計解析には SPSS Statistics version 23（IBM 社製）を用い，有意水準は 5% とした。

## 結果

- 1) 抵抗運動前の安静時の H/Mmax の再現性  
抵抗運動前の安静時の H/Mmax の ICC(1,4) は，0.99(p = 0.00) と高い再現性を示した。
- 2) 時間・抵抗運動・負荷量・個人の要因が H/Mmax に及ぼす影響  
各抵抗運動×負荷量の H/Mmax の平均値±標準偏差の経時的变化を表 1 に示した。四元配置分散分析の結果，時間 ( $F_{14,1424} = 22.66, p = 0.00$ )，抵抗運動 ( $F_{2,1424} = 11.34, p = 0.00$ )，個人 ( $F_{16,1424} = 648.07, p = 0.00$ ) に有意な主効果が認められ，抵抗運動×負荷量に有意な交互作用 ( $F_{2,1424} = 8.42, p = 0.00$ ) が認められた。負荷量には有意な主効果は認められなかった ( $F_{1,1424} = 2.66, p = 0.103$ )。時間を要因とした多重比較検定の結果，C1 に比べ C2・C3 に有意な増大と，C4 ～ C15 に有意な減弱が認められた（表 2）。抵抗運動×負荷量を要因とした反復測定分散分析の結果，有意な主効果が認められた (p = 0.00)。多重比較検定（Bonferroni 法）の結果，左 CRSC×重負荷のみ他の全ての抵抗運動×負荷量に比べ有意な増大を示した (p = 0.00)（表 3）。

表 1. 各抵抗運動による静止性収縮 × 負荷量の H/Mmax の経時変化

	右 RSCPF × 軽負荷	右 RSCPD × 軽負荷	左 CRSC × 軽負荷	右 RSCPF × 重負荷	右 RSCPD × 重負荷	左 CRSC × 重負荷
C1	0.25 ± 0.16	0.24 ± 0.15	0.23 ± 0.16	0.23 ± 0.15	0.24 ± 0.15	0.26 ± 0.16
C2	0.26 ± 0.18	0.27 ± 0.18	0.27 ± 0.17	0.26 ± 0.17	0.29 ± 0.20	0.30 ± 0.20
C3	0.23 ± 0.14	0.28 ± 0.19	0.27 ± 0.17	0.25 ± 0.21	0.29 ± 0.20	0.29 ± 0.20
C4	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.23 ± 0.16	0.17 ± 0.13	0.22 ± 0.15	0.23 ± 0.16
C5	0.20 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.18 ± 0.13	0.20 ± 0.14	0.22 ± 0.14
C6	0.20 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.18 ± 0.13	0.19 ± 0.13	0.22 ± 0.14
C7	0.21 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.19 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.22 ± 0.14
C8	0.22 ± 0.15	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.20 ± 0.14	0.20 ± 0.14	0.22 ± 0.14
C9	0.21 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.20 ± 0.14	0.21 ± 0.14	0.22 ± 0.14
C10	0.21 ± 0.14	0.19 ± 0.12	0.20 ± 0.13	0.20 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.22 ± 0.14
C11	0.21 ± 0.14	0.19 ± 0.13	0.20 ± 0.13	0.20 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.22 ± 0.14
C12	0.21 ± 0.14	0.19 ± 0.13	0.20 ± 0.13	0.20 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.23 ± 0.14
C13	0.21 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.15	0.20 ± 0.14	0.23 ± 0.14
C14	0.21 ± 0.14	0.18 ± 0.13	0.20 ± 0.13	0.20 ± 0.14	0.19 ± 0.13	0.22 ± 0.14
C15	0.21 ± 0.14	0.20 ± 0.13	0.21 ± 0.14	0.22 ± 0.16	0.20 ± 0.13	0.22 ± 0.14

平均値 ± 標準偏差

右 RSCPF：右足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮，右 RSCPD：右骨盤後方下制筋群の抵抗運動による静止性収縮，左 CRSC：左足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮，軽負荷：最大随意収縮力の 10%，重負荷：最大随意収縮力の 30%，H/Mmax：H 反射振幅値 / 最大 M 波振幅値比，C1：抵抗運動前の安静時 1～10 秒間，C2：抵抗運動時 1～10 秒間，C3：抵抗運動時 11～20 秒間，C4～15：抵抗運動終了直後から 120 秒後までの安静時を 10 秒間毎に相分けた。

表 2. H/Mmax の経時変化

	H/Mmax		H/Mmax		H/Mmax
C1	0.24 ± 0.16	C6	0.20 ± 0.14*	C11	0.20 ± 0.14*
C2	0.28 ± 0.19*	C7	0.20 ± 0.14*	C12	0.21 ± 0.14*
C3	0.27 ± 0.19*	C8	0.21 ± 0.14*	C13	0.21 ± 0.14*
C4	0.21 ± 0.15*	C9	0.21 ± 0.14*	C14	0.20 ± 0.14*
C5	0.20 ± 0.14*	C10	0.20 ± 0.14*	C15	0.21 ± 0.14*

平均値 ± 標準偏差

Bonferroni 法による多重比較検定を行った結果，C1 との比較において有意差のあるものを\*で示した，\*：p < 0.05。

H/Mmax：H 反射振幅値 / 最大 M 波振幅値比

C1：抵抗運動前の安静時 1～10 秒間，C2：抵抗運動時 1～10 秒間，C3：抵抗運動時 11～20 秒間，C4～15：抵抗運動終了直後から 120 秒後までの安静時を 10 秒間毎に相分けた。

表 3. 各抵抗運動による静止性収縮 × 負荷量における H/Mmax の比較

	右 RSCPF × 軽負荷	右 RSCPD × 軽負荷	左 CRSC × 軽負荷	右 RSCPF × 重負荷	右 RSCPD × 重負荷	左 CRSC × 重負荷
H/Mmax	0.22 ± 0.15*	0.21 ± 0.14*	0.22 ± 0.15*	0.21 ± 0.15*	0.22 ± 0.15*	0.23 ± 0.16

平均値 ± 標準偏差

Bonferroni 法による多重比較検定の結果，左 CRSC × 重負荷との比較において有意差のあるものを\*で示した，\*：p < 0.05。

右 RSCPF：右足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮，右 RSCPD：右骨盤後方下制筋群の抵抗運動による静止性収縮，左 CRSC：左足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮，軽負荷：最大随意収縮力の 10%，重負荷：最大随意収縮力の 30%，H/Mmax：H 反射振幅値 / 最大 M 波振幅値比

### 3) H/Mmax の回帰式

回帰分析の結果，有意な整次多項式が得られたのは右 RSCPD × 軽負荷の  $y = -0.005x + 0.25$  と ( $p = 0.02$ )，右 RSCPD × 重負荷の  $y = -0.005x + 0.26$  のみで ( $p = 0.02$ )，どちらも漸減傾向を示した。

### 4) 各抵抗運動 × 負荷量の主観的努力度の比較

Kruskal-Wallis 検定の結果，有意差が認められた ( $X^2 =$

55.61,  $p = 0.00$ )。多重比較検定の結果，右 RSCPF × 重負荷は軽負荷での右 RSCPF・左 CRSC・右 RSCPD に比べ有意に主観的努力度が大きかった (各々,  $p = 0.01, 0.00, 0.00$ )。左 CRSC × 重負荷は軽負荷での右 RSCPF・左 CRSC・右 RSCPD に比べ有意に主観的努力度が大きかった (各々,  $p = 0.01, 0.00, 0.00$ )。右 RSCPD × 重負荷は右 RSCPD × 軽負荷に比べ有意に主観的努力度が大きかった ( $p = 0.00$ ) (表 4)。

表 4. 各抵抗運動による静止性収縮 × 負荷量における主観的努力度の比較

	右 RSCPF × 軽負荷	右 RSCPD × 軽負荷	左 CRSC × 軽負荷	右 RSCPF × 重負荷	右 RSCPD × 重負荷	左 CRSC × 重負荷
主観的努力度	3.29 ± 1.65a,c	1.76 ± 0.97a,b,c	3.06 ± 1.34a,c	6.12 ± 2.03	4.47 ± 1.50	5.88 ± 1.62

平均値 ± 標準偏差

Bonferroni 法による多重比較検定の結果，右 RSCPF × 重負荷との比較において有意差のあるものを a で示した，a：p < 0.05。

Bonferroni 法による多重比較検定の結果，右 RSCPD × 重負荷との比較において有意差のあるものを b で示した，b：p < 0.05。

Bonferroni 法による多重比較検定の結果，左 CRSC × 重負荷との比較において有意差のあるものを c で示した，c：p < 0.05。

右 RSCPF：右足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮，右 RSCPD：右骨盤後方下制筋群の抵抗運動による静止性収縮，左 CRSC：左足関節底屈筋群の抵抗運動による静止性収縮，軽負荷：最大随意収縮力の 10%，重負荷：最大随意収縮力の 30%

主観的努力度：Numerical rating scale (NRS) を用い，下記の基準によって数値を聴取した。

0：まったく努力を必要としない状態の努力度，10：最大随意収縮力測定時に最も努力度が大きかった抵抗運動の努力度



#### 5) 主観的努力度と抵抗運動時の H/Mmax の相関

Spearman の順位相関係数を求めた結果、C2 では  $\rho = 0.18$  ( $p = 0.07$ )、C3 では  $\rho = 0.16$  ( $p = 0.10$ ) であり、各抵抗運動 × 負荷量の主観的努力度と抵抗運動時の H/Mmax には有意な相関を認めなかった。

#### 考察

H 反射振幅値の変化は、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との統合過程を反映する<sup>14)</sup>。

本研究の結果、右ヒラメ筋 H/Mmax は抵抗運動前の安静時に比べ抵抗運動時で有意に増大し、左 CRSC × 重負荷のみの全ての抵抗運動 × 負荷量に比べ有意な増大を示した。抵抗運動時の H/Mmax と主観的努力度の間に有意な相関はなかった。これらのことより、抵抗運動の負荷量の差異により交叉性教育の効果が異なり、強い負荷での抵抗運動による交叉性教育による間接的アプローチが、下行性の遠隔効果を期待した右 RSCPD より中枢性の興奮性を増大させ、直接的アプローチである右 RSCPF よりも中枢性の興奮性を増大することが示唆された。

また、右 RSCPF・左 CRSC・右 RSCPD において右ヒラメ筋 H/Mmax は抵抗運動前の安静時に比べ抵抗運動後の安静時で有意に減弱したことから、抵抗運動後の安静時では抵抗運動前の安静時よりも中枢性に抑制されることが示唆された。

交叉性教育の神経生理学的効果は促進の明確な機序は未解明だが<sup>16)</sup>、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<sup>1)</sup>、皮質脊髄路の非交叉性分枝を通る中枢制御の拡散<sup>17)</sup>が推察されている。Gellhorn (1949) は、サルの大脳皮質に電気刺激を加えて関節固定と非固定時の誘発筋電図を比較し、関節固定時は筋放電が増大したが脊髄後根を切断するとこの現象が消失したことから、関節固定による固有受容器への刺激が皮質刺激による運動に促進効果をもたらすことを報告した<sup>18)</sup>。本研究においても左 CRSC による運動肢からの触覚・固有受容感覚が対側 (右) の脳に影響し、右の運動皮質からの皮質脊髄路の非交叉性分枝によって H 反射が促進された可能性がある。

本研究において RSCPD 後に同側のヒラメ筋 H 反射が経時的に抑制傾向となった。RSCPD によるヒラメ筋のリラクゼーション効果により整形外科疾患患者の膝関節伸展他動関節可動域の拡大<sup>6)</sup>や脳卒中後片麻痺患者の歩行速度の改善<sup>5)</sup>がもたらされた可能性がある。

今後、負荷量の更なる検討、患者を対象とした検証、徒手に行った場合の検証、脳画像イメージング技術を用いた検証が必要である。

#### 引用文献

- 1) Pink M: Contralateral effects of upper extremity proprioceptive neuromuscular facilitation patterns. *Phys Ther* 61: 1158-1162, 1981.
- 2) Panzer S, Schinowski D, Kohle D.: Cross-education and contralateral irradiation. *Journal of Human Kinetics* 27: 66-79, 2011.
- 3) Fimland MS, Helgerud J, Solstad GM, et al.: Neural adaptations underlying cross-education after unilateral

strength training. *Eur J Appl Physiol* 107: 723-730, 2009.

- 4) 新井光男, 柳澤健.: 痛みに対する PNF モビライゼーション. *理学療法* 23: 195-200, 2006.
- 5) 吉国貴子, 新井光男, 原田恭宏, 他.: 脳卒中後片麻痺患者に対する PNF パターン中間域での骨盤・肩甲骨静止性収縮促進運動が歩行速度に及ぼす効果. *PNF リサーチ* 11: 21-26, 2011.
- 6) Shiratani T, Arai M, Masumoto K, et al.: Effects of a resistive static contraction of the pelvic depressors technique on the passive range of motion of the knee joints in patients with lower-extremity orthopedic conditions. *PNF リサーチ* 13: 8-17, 2013.
- 7) 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進効果. *理学療法* 29: 123-127, 2002.
- 8) Delwaide PJ, Toulouse P.: Jendrassik maneuver vs controlled contractions conditioning the excitability of soleus monosynaptic reflexes. *Arch Phys Med Rehabil* 61: 505-510, 1980.
- 9) 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.
- 10) Hultborn H, Pierrot-Deseilligny E.: Changes in recurrent inhibition during voluntary soleus contractions in man studied by an H-reflex technique. *J Physiol* 297: 229-251, 1979.
- 11) 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.
- 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) 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.
- 14) Knikou M.: The H-reflex as a probe: Pathways and pitfalls. *Journal of Neuroscience Methods* 171: 1-12, 2008.
- 15) Downie WW, Leatham PA, Rhind VM, et al.: Studies with pain rating scales. *Ann Rheum Dis* 37: 378-381, 1978.
- 16) Ruddy KL, Carson RG.: Neural pathways mediating cross education of motor function. *Front Hum Neurosci* 7: 397, 2013.
- 17) 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.
- 18) Gellhorn E.: Proprioception and the motor cortex. *Brain* 72: 35-62, 1949.

**Abstract:**

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 resistive static contraction of pelvic posterior depressors (RSCPD) as descending remote effects and/or contralateral resistive static contraction (CRSC) as Cross-education. The purpose of this study was to compare the neurophysiological effects and after-effects of the right RSCPD, left CRSC, and resistive static contraction of the right plantar flexors (RSCPF) with different degrees of load on the right unexercised soleus H-reflex. The effects of order were controlled by randomly assigning numbers taken from a table of random numbers for the order of the resistive exercise (RSCPD, CRSC, and RSCPF) with different degrees of load (10%: light, 30%: heavy) for 17 normal subjects. The right soleus H-reflex was measured at rest (condition-BE) , during resistive exercise phase (condition-DE) , and rest phase after resistive exercise (condition-AE) . The H-reflex amplitude was normalized to the corresponding maximal M-wave (Mmax) H-reflex, which was expressed by the ratio H/Mmax. The results of four-way analysis of variance showed significant interaction between the resistive exercise and degrees of load for H/Mmax. Post-hoc analysis revealed that CRSC×heavy in the condition-DE had significant facilitatory effects on the H-reflex compared with the other resistive exercises in the condition-DE. However, inhibitory effects were revealed as after-effects in the condition-AE compared with the condition-BE in RSCPD, CRSC, and RSCPF. These results indicated that CRSC×heavy induced contralateral effects as cross-education on the soleus H-reflex, which initially caused reflexive facilitation during CRSC×heavy followed by gradual inhibition after CRSC.

**Key words:**

*resistive static contraction, degrees of load, cross-education, pelvic posterior depressors, Soleus H-reflex*