

修士学位論文

運動方向を考慮した上肢筋群による抵抗運動が
ヒラメ筋 H 波に及ぼす影響

(注：学位論文題名が英語の場合は和訳をつけること。)

(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

理学療法学域

学修番号：16895607

氏名：保原 壘

(指導教員名： 新井 光男 教授)

(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)

運動方向を考慮した上肢筋群による抵抗運動がヒラメ筋 H 波に及ぼす影響

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 16895607

氏名: 保原 壘

(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、脳卒中後片麻痺や筋力低下や関節可動域制限により患側肢のリラクゼーションや運動単位の動員が困難な場合、健常な部位への抵抗運動により患側肢へアプローチする間接的アプローチが用いられることがある。間接的アプローチの一つである下行性の遠隔効果には多くの報告があるが、拮抗する上肢の抵抗運動方向の違いが対側ヒラメ筋 H 波へ及ぼす影響は明らかでない。本研究の目的は、健常者における一側上肢の抵抗運動方向の違いが対側ヒラメ筋 H 波へ及ぼす神経生理学的遠隔効果・後効果の差異をヒラメ筋 H 波を指標として検証することである。

【方法】

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 9 名, 女性 3 名, 年齢 23.4 ± 2.7 歳) を対象に 50% MVC の負荷量で肩関節屈曲 - 外転 - 外旋の抵抗運動による静止性収縮 (R-F-A-E)・肩関節伸展 - 内転 - 内旋の抵抗運動による静止性収縮 (R-E-A-I) と抵抗運動後の安静を課題とし、背臥位安静保持を含めた 3 課題を無作為に実施した。H 波振幅値が最初の課題前の安静時の値に戻ったことを確認し、課題前の安静 (20 秒間)・抵抗運動時 (10 秒間)・抵抗運動後の安静 (180 秒間) の M 波を伴う左ヒラメ筋 H 波を記録し、10 秒毎に相分けし H 波振幅値を最大 M 波振幅値で除し基準化した (H/Mmax)。統計解析は、H/Mmax を指標とし、時間・課題・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】

時間を要因とした多重比較検定の結果、課題後の安静と比較し課題時の H/Mmax が有意に増大した。課題を要因とした多重比較検定の結果、R-F-A-E 課題と比較し R-E-A-I 課題において H/Mmax が有意に増大した。しかし、課題前の安静を基準とした H/Mmax の変化率では R-E-A-I は抵抗運動時の増大が顕著であり、抵抗運動後の安静では安静課題と比較しても減少傾向であった。

【結論】

拮抗する上肢の抵抗運動方向の違いによる対側ヒラメ筋 H 波への神経生理学的遠隔効果・後効果は、抵抗運動方向により異なり、R-E-A-I 課題は R-F-A-E 課題と比較し促進効果が大きいことが示唆された。また、R-E-A-I 課題では抵抗運動時に促進し、抵抗運動後は抑制傾向であったことから、R-E-A-I 課題の神経生理学的遠隔効果・後効果は、下腿三頭筋の抵抗運動時に促進し、抵抗運動後に抑制するホールド・リラックス手技と同様の効果が得られる可能性が示唆された。

【要旨】

健常者における上肢への抵抗運動方向の差異が対側ヒラメ筋H波へ及ぼす神経生理学的遠隔効果・後効果をヒラメ筋H波を指標とし検証した。健常者12名に肩関節屈曲-外転-外旋の抵抗運動による静止性収縮 (R-F-A-E)・肩関節伸展-内転-内旋の抵抗運動による静止性収縮 (R-E-A-I)・安静の3課題を無作為に各被験者に施行し、左ヒラメ筋H波を課題前安静20秒・課題時10秒・課題後の安静180間誘発し、10秒毎に相分けした。H/Mmaxを指標とした多重比較検定の結果、課題要因ではR-F-A-E課題と比較しR-E-A-I課題で有意に促進し、時間要因では課題後の安静 (C2~C19) と比較し課題時 (C1) に有意に促進した。R-E-A-I課題は課題時のH/Mmaxが一番大きかったが、課題後の安静では安静課題よりH/Mmaxが減弱した。R-E-A-Iの神経生理学的遠隔効果は抵抗運動時に促進し、遠隔後効果として抵抗運動後に抑制する傾向が推察され、直接的アプローチであるホールド・リラックス手技と同様にリラクセ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: 遠隔効果・後効果, 抵抗運動, ヒラメ筋H波, PNF, 上肢

【本文】

I. 背景

1. はじめに

臨床で脳卒中後片麻痺による長期臥床や活動制限により廃用性の筋力低下や関節可動域制限を呈した症例を多く経験する。患側肢のリラクセーションや運動単位の動員が困難な場合、健常な部位への抵抗運動により患側肢へアプローチする間接的アプローチが用いられることがある。間接的アプローチの臨床的效果として固有受容性神経筋促進法 (Proprioceptive neuromuscular facilitation; PNF) を用いた先行研究があり、肩関節伸展 - 外転 - 内旋パターン¹⁾の静止性収縮による膝関節伸展自動可動域の増大¹⁾や肩関節伸展 - 内旋方向への抵抗運動による股関節屈曲自動可動域の増大²⁾などが報告されており、これらの機序として下行性の遠隔効果が示唆されている。

下行性の遠隔効果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。下行性の遠隔効果を応用した先行研究では、手関節伸筋群の抵抗運動による静止性収縮で上肢から遠隔のヒラメ筋の運動ニューロンの促進を認めたという神経生理学的遠隔効果が報告されている^{3, 4)}。

また、拮抗する抵抗運動方向により遠隔効果に差異が生じることも報告されている。肩関節伸展-外転-内旋パターンとその拮抗パターンである肩関節屈曲-内転-外旋パターンの中間域での静止性収縮時と静止性収縮後の安静時のヒラメ筋H波を比較し、運動肢と同側のヒラメ筋H波 (最大M波 (Mmax) により基準化したH/Mmaxを指標) に及ぼす影響は運動方向に依存するが、対側ヒラメ筋H波に及ぼす影響は運動方向に依存しない。さらに、同側・対側ヒラメ筋H波共に静止性収縮後に有意な抑制が認められ、屈曲-内転-外旋パターンにおいては同側ヒラメ筋H波に経時的なリラクセーション効果を認めたことが報告されており、拮抗する上肢の抵抗運動方向による同側・対側下肢への神経生理学的遠隔効果・後効果は異なることが示唆されている^{5, 6)}。

このように拮抗する上肢の抵抗運動方向の違いがヒラメ筋H波に及ぼす影響には差異が

生じることが示唆されており，肩関節屈曲-外転-外旋の抵抗運動による静止性収縮 (Resistive static contraction of the shoulder flexion - abduction - external rotation; R-F-A-E)とその拮抗パターンである肩関節伸展-内転-内旋の抵抗運動による静止性収縮 (Resistive static contraction of the shoulder extension - adduction - internal rotation; R-E-A-I) が対側ヒラメ筋 H 波に及ぼす影響にも差異があると考えられるが明らかでない。

2. 仮説

健常者において，拮抗する上肢への抵抗運動による対側ヒラメ筋 H 波への神経生理学的遠隔効果・後効果に差異が生じる。

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。拮抗する上肢への抵抗運動とは，R-F-A-E と R-E-A-I 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対側ヒラメ筋 H/Mmax の増減とした。促進とは 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

健常者を対象に上肢への抵抗運動方向の違いによる対側ヒラメ筋 H 波への神経生理学的遠隔効果・後効果の差異を，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

健側上肢への抵抗運動方向の違いによる下行性の神経生理学的遠隔効果・後効果の差異を明らかにすることにより，直接的アプローチによる患側下肢のリラクセーションや運動単位の動員が困難な場合の間接的アプローチを選択する際のエビデンスを提示できる。

II. 方法

1. 対象

対象は，神経学的・整形外科的疾患の既往のない利き手と利き脚が右の健常者 20 名で，利き手はエディンバラテストを用いて右利きであることを確認した。利き脚はボールを蹴る足が右であることを確認した⁷⁾。被験者 20 名中，小さな M 波を誘発できなかった 1 名と痛みのため最大 M 波 (Mmax) を誘発できなかった 6 名と H 波を誘発できなかった 1 名を除外し，最終的に被験者は 12 名 (男性 9 名，女性 3 名)，平均年齢±標準偏差は 23.4±2.7 歳であった。

本実験は首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理審査委員会による審査・承認 (承認番号：17012) を得た上で，全ての対象者に実験の趣旨を説明し，同意を得て行った。

2. 測定方法と使用機器

1) 課題

被験者の肢位は背臥位で両大腿の下に枕を置き股関節・膝関節を軽度屈曲位とし，両上肢は体側に位置させ，以下の 3 つの課題を乱数表を用い無作為に実施した。

① 肩関節屈曲-外転-外旋の抵抗運動による 10 秒間の静止性収縮 (R-F-A-E) : R-F-A-E 課題 (図 1)

右肩関節屈曲 90° , 肘関節伸展 0° , 前腕回内 45° , 手関節軽度背屈位で滑り止めを付けたロープを手関節にかけ, 50%MVC (Maximum voluntary contraction; MVC) の負荷量で肩関節伸展-内転-内旋方向への牽引に対しその肢位を保持し静止性収縮を実施した.

② 肩関節伸展-内転-内旋の抵抗運動による 10 秒間の静止性収縮 (R-E-A-I) : R-E-A-I 課題 (図 2)

右肩関節屈曲 90° , 肘関節伸展 0° , 前腕回内 45° , 手関節軽度掌屈位で滑り止めを付けたロープを把持させ, 50%MVC の負荷量で肩関節屈曲-外転-外旋方向への牽引に対しその肢位を保持し静止性収縮を実施した.

③ 背臥位安静保持 : 安静課題

両大腿の下に枕を置き股関節・膝関節を軽度屈曲位とし, 両上肢は体側に位置させ背臥位を 190 秒間保持させた.

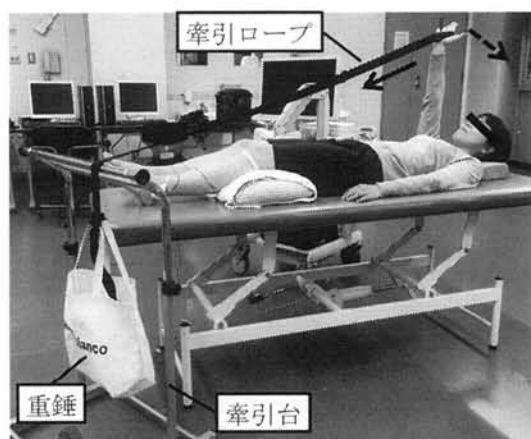


図1. R-F-A-E
点線矢印: 運動方向, 実線矢印: 牽引方向



図2. R-E-A-I
点線矢印: 運動方向, 実線矢印: 牽引方向

2) 最大筋力の測定と負荷量の決定

徒手筋力計 (酒井医療株式会社製) を使用し肩関節屈曲-外転-外旋と肩関節伸展-内転-内旋の最大筋力 MVC を乱数表を用いて 3 回測定し最大値を採用した. 測定肢位は, 各課題時と同様とした. 各課題の MVC に 50% を乗じて, 100g 未満を四捨五入した値を負荷量とした.

3) 主観的運動強度

R-F-A-E・R-E-A-I 課題後に主観的運動強度を 11 段階の数値評価スケール (Numerical Rating Scale; NRS) にて評価した. 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時の主観的運動強度を NRS の 10 とし, 全く努力を必要としない状態の主観的運動強度を NRS の 0 とした.

4) 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・Neuropack MEB9100）を用いて M 波を伴う H 波を誘発した。導出用電極を貼付する部位を剃毛し、皮膚処理用ジェル（日本光電工業株式会社製、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（電気刺激：持続時間 1ms, 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⁸⁾とし、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、課題前の安静 20 秒間と課題時 10 秒間・課題後 180 秒間（安静課題では安静 190 秒間）の計 210 秒で、各課題間で休憩を取り、H 波振幅値が最初の課題前の安静の振幅値に戻ったことを確認し次の課題を開始した。

3. 実験手順

- 1) 3 課題（R-F-A-E 課題・R-E-A-I 課題・安静課題）の施行順を乱数表に従い無作為に決定した。
- 2) 3 課題を対象者に説明し練習を行った。
- 3) R-F-A-E・R-E-A-I 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の決定のために、R-F-A-E・R-E-A-I の MVC 測定直後に最も運動強度が大きかった抵抗運動を聴取し、主観的運動強度の NRS10 とした。
- 5) 課題実施前に、左ヒラメ筋の最大 M 波を誘発し記録した。
- 6) 左ヒラメ筋 H 波・M 波を課題前の安静 20 秒間と課題時 10 秒間・課題後の安静 180 秒間（安静課題では安静 190 秒間）の計 210 秒間誘発・記録した。
- 7) R-F-A-E 課題・R-E-A-I 課題の主観的運動強度を NRS にて聴取した。
- 8) H 波振幅値が最初の課題前の安静の振幅値に戻ったのを確認し次の課題を開始した。

4. 右ヒラメ筋 H 波・M 波の解析方法

得られた波形を 10 秒毎に相分けして各相の 10 本の波形を加算平均した。振幅値を頂点間振幅（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、課題前の安静 1~10 秒間、課題前の安静 11~20 秒間、課題時 10 秒間（C1）・課題後の安静 180 秒間（C2~C19）（安静課題では安静 190 秒間を C1~C19）とし、課題時・課題前の安静の 190 秒間を 10 秒毎に相分けした。

5. 統計解析方法

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。

1) 各課題前の安静における H/Mmax の差異の検証

各課題前の安静における H/Mmax の差異を検証するために各課題前の安静の H/Mmax を指標とし、時間（1~10 秒・11~20 秒）・課題（R-F-A-E 課題・R-E-A-I 課題・安静課題）・個人を要因とした三元配置分散分析を実施した。

2) 時間・課題・個人の要因における課題時・課題後の安静の H/Mmax の差の検証

課題時・課題後の安静における H/Mmax の差異を検証するために、H/Mmax を指標とし時

間 (C1~C19)・課題 (R-F-A-E 課題・R-E-A-I 課題・安静課題)・個人を要因とした三元配置分散分析を実施し、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) を実施した。

3) 課題時の主観的運動強度と H/Mmax の関係

R-F-A-E・R-E-A-I 時の主観的運動強度と H/Mmax の相関を検証するために、Spearman 順位相関係数を求めた。また、R-F-A-E・R-E-A-I 課題の課題時の主観的運動強度の差を比較するために Wilcoxon の符号付順位検定を実施した。

4) 各課題の 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 の変化率を次式より算出した。

変化率 (%) = (各相の H/Mmax - 課題前の安静の H/Mmax) / (課題前の安静の H/Mmax) × 100

III. 結果

1) 各課題前の安静における H/Mmax の差異の検証

各課題前の安静の H/Mmax を指標とし時間・課題・個人を要因とした三元配置分散分析の結果、時間 ($F_{1,55}=1.03$, $p=0.31$), 課題 ($F_{2,55}=3.12$, $p=0.52$), 個人 ($F_{11,55}=85.84$, $p=0.00$) で各課題間に有意差は認められず、各被験者の最初の課題前の安静の H 波振幅値に戻っていた。

2) 時間・課題・個人の要因における課題時・課題後の安静の H/Mmax の差の検証

H/Mmax を指標とし、時間・課題・個人を要因とした三元配置分散分析の結果、時間 ($F_{18,616}=2.30$, $p=0.02$), 課題 ($F_{2,616}=8.47$, $p=0.00$), 個人 ($F_{11,616}=1340.94$, $p=0.00$) に有意な主効果を認め、時間×課題においては有意な交互作用は認められなかった ($F_{36,616}=0.93$, $p=0.59$)。時間を要因とした多重比較検定の結果、課題後の安静 (C2~C19) と比較し課題時 (C1) で H/Mmax が有意に大きかった (表 1)。課題を要因とした多重比較検定の結果、R-F-A-E 課題と比較し R-E-A-I 課題において有意な増大を認めた ($p=0.00$) (図 3)。

3) 課題時の主観的運動強度と H/Mmax の関係

R-F-A-E・R-E-A-I 時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、 $\rho=-0.10$ ($p=0.66$) であり、有意な相関を認めなかった。また、R-F-A-E・R-E-A-I の課題時の主観的運動強度の差を比較するために Wilcoxon の符号付順位検定を行った結果、有意差は認められなかった ($p=0.48$)。

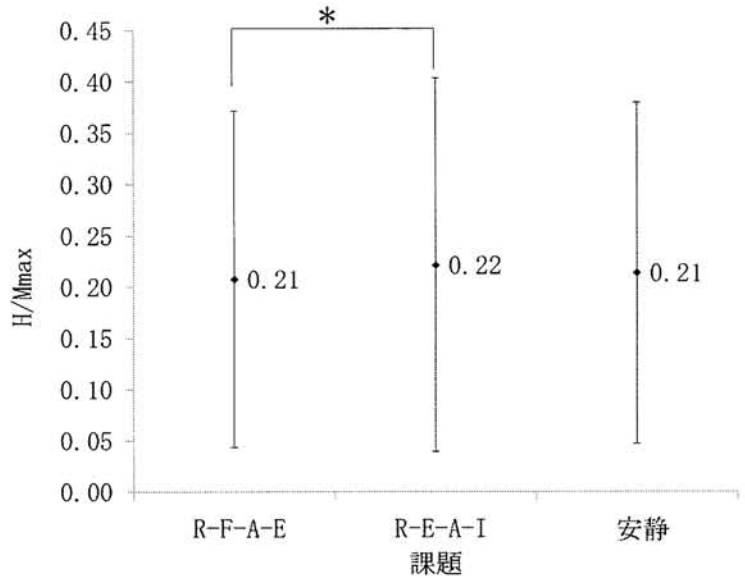
4) 各課題の H/Mmax の変化率

H/Mmax の変化率は、R-F-A-E 課題では課題時に 23.01% 増大し、課題後の安静 10 秒 (C2) は -2.06%、20 秒 (C3) は -4.96% と減少傾向であったがその後は促進傾向であった。R-E-A-I 課題では課題時に 30.09% 増大し、課題後の安静では安静課題と比較して減少傾

向であった。安静課題 (C1~C19) では減少傾向であった (表 2)。

表1. 時間を要因とした多重比較検定の結果

時間	H/Mmax
C1	0.25±0.18
C2	0.21±0.17*
C3	0.21±0.17*
C4	0.22±0.18*
C5	0.21±0.18*
C6	0.21±0.18*
C7	0.21±0.18*
C8	0.22±0.18*
C9	0.21±0.18*
C10	0.22±0.17*
C11	0.21±0.17*
C12	0.21±0.17*
C13	0.22±0.17*
C14	0.21±0.17*
C15	0.21±0.17*
C16	0.22±0.17*
C17	0.21±0.17*
C18	0.21±0.18*
C19	0.21±0.17*



平均値±標準偏差

多重比較検定の結果 (Bonferroni法), C1と比較し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

C1: 課題時10秒間, C2~C19: 課題後の安静180秒, (10秒間毎に相分け)

図3. 課題を要因とした多重比較検定の結果

多重比較検定の結果 (Bonferroni法), 有意差のあるものを*で示した. (*: p<0.05)

表2. 各課題のH/Mmaxの変化率 (%)

時間	R-F-A-E	R-E-A-I	安静
C1	23.01	30.09	5.23
C2	-2.06	0.47	5.18
C3	-4.96	-2.22	4.29
C4	3.34	1.64	5.95
C5	0.01	-1.82	6.44
C6	0.47	-1.73	0.28
C7	-0.57	-3.09	6.15
C8	6.68	0.35	3.99
C9	3.42	0.45	3.15
C10	6.93	-2.40	6.14
C11	-0.04	-3.87	2.86
C12	2.46	-1.38	1.73
C13	9.87	-1.59	1.63
C14	9.61	-4.10	-3.13
C15	10.97	-1.70	0.13
C16	6.49	4.79	1.19
C17	7.45	0.53	0.45
C18	3.40	0.52	-1.25
C19	5.20	-1.03	2.85

変化率 (%) = (各相のH/Mmax - 課題前の安静時H/Mmax) / (課題前の安静時H/Mmax) × 100
 C1: 課題時10秒間, C2~C19: 課題後の安静180秒間, (10秒間毎に相分け)

IV. 考察

拮抗する上肢への抵抗運動 (R-F-A-E 課題・R-E-A-I 課題) による対側ヒラメ筋 H 波への神経生理学的遠隔効果・後効果は, R-F-A-E 課題と比較し R-E-A-I 課題で有意に促通した. また, 課題後の安静と比較し課題時に有意に促通した. さらに, R-E-A-I 課題は課題時の H/Mmax がいちばん大きかったが, 課題後の安静では安静課題より H/Mmax が減弱したことから, 拮抗する上肢への抵抗運動方向の違いにより対側ヒラメ筋 H 波への神経生理学的遠隔効果・後効果には差異が生じた. R-E-A-I 課題で R-F-A-E 課題と比較し課題時の促通効果が大きく, 課題時と比較し課題後の安静が有意に抑制したことより, R-E-A-I 課題では課題後の安静は安静課題よりも抑制傾向であることが示唆された.

1) 抵抗運動による神経生理学的遠隔効果・後効果と抵抗運動方向の差異による影響

患側下肢への介入方法として, ホールド・リラックス手技等を用いる直接的アプローチと健常な部位への抵抗運動により遠隔の患側肢へアプローチする間接的アプローチがある. 本研究では, 拮抗する上肢への抵抗運動方向の違いが対側ヒラメ筋 H 波へ及ぼす影響の差異を検討した結果, 時間の要因では課題後の安静と比較し, 課題時に H/Mmax が有意に増大したことより, 課題時に脊髄レベルの興奮性が促通したことが推測される. また, 課題の要因では, R-E-A-I 課題は R-F-A-E 課題と比較し H/Mmax の有意な増大を認めた. H/Mmax の変化率では安静課題では変動は少なかったが, R-E-A-I 課題では課題時の増大が顕著であり, 課題後の安静では安静課題と比較しても減少傾向であったことから, R-E-A-I 課題において課題時 (神経生理学的遠隔効果) は脊髄レベルの興奮性が促通し, 課題後の安静 (神経生理学的遠隔後効果) は脊髄レベルの興奮性が抑制されたことが推測される. 従って R-E-A-I 課題の神経生理学的遠隔効果・後効果は, 直接的アプローチであるホールド・リラックス手技と同様の効果が生じた可能性が示唆された. ホールド・リラックス手技は, リラクゼーションさせたい筋 (拮抗筋) を伸張し, 2~3 秒間最大静止性収縮させ, その後のリラクゼーション後に主動筋の自動運動を行わせる手技である⁹⁾. ホールド・リラックス手技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^{10, 11, 12)}. 先行研究では, 下腿三頭筋の随意収縮後, ヒラメ筋 H 波は 10~60 秒後に抑制された報告¹³⁾や, 足関節底屈筋群の随意収縮後, H/Mmax は初めは有意に低下し 1 分後にベースラインに戻ったと報告されている¹⁴⁾. その機序として, 拮抗筋へのアプローチによる I b 抑制の関与が示唆されている^{11, 12)}. I b 抑制は最大静止性収縮よりも弱い抵抗運動でも認められ¹⁵⁾, 交連介在ニューロンが I b 抑制に影響を及ぼすことが示唆されている¹⁶⁾. また, 後発射が終了するまでには 15 秒間は必要であることが示唆されている¹⁷⁾. これらの知見より, R-E-A-I 課題において抵抗運動時に脊髄レベルの興奮性が促通し抵抗運動後に抑制が生じたことは, 拮抗筋の静止性収縮による I b 抑制を用いてアプローチすることができない場合, 神経生理学的遠隔後効果の誘発によるリラクゼーション効果を獲得できる可能性が示唆された. このことは, 臨床的に脳卒中後片麻痺や関節可動域制限を呈する患者において患側肢に直接的アプローチが困難な場合, リラクゼーション効果や運動単位の動員を目的とした間接的アプローチとして有用であることが示唆される.

2) 抵抗運動方向の差異による神経生理学的遠隔効果・後効果の機序の仮説

本研究ではR-F-A-E課題と比較してR-E-A-I課題でH/Mmaxの有意な促進効果が認められ、上肢の拮抗する抵抗運動方向の差異により神経生理学的遠隔効果・後効果異なることが示唆された。主観的運動強度と課題時のH/Mmaxに有意な相関が認められなかったことから抵抗運動の強度ではなく、上肢の抵抗運動方向の違いにより対側下肢の脊髄レベルの興奮性に差異が生じたことが推測される。

運動による体性感覚入力は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、求心性神経を伝導し脊髄後角より入り脊髄または延髄で交叉し体性感覚野に伝導する。先行研究では、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すると関節固定時には筋放電は著しく増大するが、あらかじめ脊髄後根を切断するとこの現象が消失することから、固有受容感覚系への刺激が促進効果を与えることが示唆されている¹⁸⁾。また、体性感覚野と一次運動野には連絡があり、体性感覚野への刺激が一次運動野に影響する¹⁹⁾。サルの上肢随意収縮時の体性感覚野と一次運動野の関連を検証した先行研究では、体性感覚野から一次運動野へ向かう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となっている可能性が示唆されている²⁰⁾。これらの知見からヒトでも同様に、抵抗運動やその方向の差異などの固有受容器への刺激が上行し体性感覚野に伝わり、一次運動野からの筋の興奮状態に影響を及ぼしている可能性がある。

また、脳からの下行路である皮質脊髄路は四肢の運動に関与し75~90%が延髄の錐体で交叉し外側皮質脊髄路を下行するが、5~15%は交叉せずに前皮質脊髄路を下行することが知られており²¹⁾、この交叉しない前皮質脊髄路が非運動肢への効果の要因と考えられている。さらに、左右半球間は脳梁を介して接続しており顔面や体幹領域など身体の正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が知られているが、サルのニューロン活動を検証した先行研究では、身体の正中部だけでなく、手指、上腕領域、腰部、下肢領域、足の領域にも両側性のニューロンが存在することが報告されていることから^{23, 24)}、一次運動野から脳梁を介して抑制性^{25, 26)}または促進性²⁷⁾のインパルスが対側へ下行する可能性がある。本研究では、右上肢への抵抗運動による固有受容器への刺激が上行し左大脳半球へ伝わり、前皮質脊髄路を通る同側性の下行路と、脳梁結合により右大脳半球へ伝えられ外側皮質脊髄路を通る交叉性の下行路が影響し、左ヒラメ筋H波の興奮性に関与する可能性が示唆された。

本研究では課題として拮抗する上肢の抵抗運動を用いたが、四肢の拮抗する運動は歩行でも認められ、健常者の歩行においては、シナプス前抑制により運動ニューロンの興奮性が調節されており、ヒラメ筋由来のIa求心性線維の前抑制により運動ニューロンの興奮性を機能的に調整して歩行を制御している²⁸⁾。また、Ia求心性線維によるフィードバックが脊髄固有反射や中枢パターン発動(Central pattern generators; CPGs)に関与し歩行リズムに影響することが示唆されている²⁹⁾。上肢の拮抗する抵抗運動方向の差異による同側ヒラメ筋H波を検証した先行研究では、肩関節伸展筋群への抵抗運動よりも肩関節屈曲筋群への抵抗運動により同側ヒラメ筋H波が有意に促進したことが報告されている⁵⁾。歩行において一側上肢が伸展位の場合、対側下肢は立脚相で伸筋群の活動が有意となる。本研究でR-E-A-I課題による一側上肢の伸筋群への抵抗運動により対側下肢のヒラメ筋H

波の神経生理学的遠隔効果は促通が認められ、神経生理学的遠隔後効果として抑制傾向が認められたことは歩行時の上下肢の相反運動と同様であると推測され、これらの機序として脊髄固有反射²⁹⁾やCPGs²⁹⁾の関与も示唆される。

本研究では脊髄レベルの興奮性を検証することができたが、一側上肢の抵抗運動が対側ヒラメ筋H波に及ぼす神経生理学的遠隔効果・後効果の機序を明らかにすることができなかった。しかし、上肢の抵抗運動方向の違い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) 臨床的意義

本研究結果より、脳卒中後片麻痺や筋力低下や関節可動域制限を呈し左下肢に直接的アプローチが困難な場合、間接的アプローチとして右肩関節屈曲-外転-外旋・肩関節伸展-内転-内旋の抵抗運動による静止性収縮を用いることにより、抵抗運動時に促通効果が得られることが示唆された。また、肩関節伸展-内転-内旋の抵抗運動による静止性収縮は、直接的アプローチであるホールド・リラックス手技と同様にIb抑制を用いた間接的アプローチとして有用であることが示唆された。

4) 本研究の新規性

拮抗する上肢への抵抗運動方向の違いによる対側ヒラメ筋H波に及ぼす神経生理学的遠隔効果・後効果には差異が生じ、肩関節屈曲-外転-外旋と比較し肩関節伸展-内転-内旋で促通効果が大きいことが示唆された。また、肩関節伸展-内転-内旋の神経生理学的遠隔効果は脊髄レベルの興奮性が促通し、神経生理学的遠隔後効果は脊髄レベルの興奮性が抑制傾向であることから、直接的アプローチであるホールド・リラックス手技と同様の効果が得られることが示唆された。

5) 今後の課題

本研究では脊髄レベルの興奮性を検証することができたが、一側上肢の抵抗運動方向の差異が対側ヒラメ筋H波に及ぼす神経生理学的遠隔効果・後効果の機序として一次運動野や皮質脊髄路、また、脊髄固有反射や歩行反射などの上位中枢の関与が示唆された。その解明のために今後、fMRIなど脳画像イメージング技術を用いた検証が必要である。

V. 引用文献

- 1) 原田泰宏, 新井光男, 福島豊, 他: 上肢PNFパターンによる静止性収縮が膝関節伸展自動可動域に及ぼす効果 - ハムストリングスの伸展性改善における持続的ストレッチ手技とPNF手技の効果の比較 -. PNFリサーチ 12: 52-57. 2012.
- 2) 西浦健蔵, 新井光男, 重松栄一 他: 肩関節の抵抗運動が股関節屈曲可動域に及ぼす影響. PNFリサーチ 6: 15-19. 2006.
- 3) Delwaide PJ, Toulouse P: Jendrassik maneuver vs controlled contractions conditioning the excitability of soleus monosynaptic reflexes. Arch Phys Med Rehabil 61: 505-510. 1980.
- 4) Delwaide PJ, Toulouse P: Facilitation of monosynaptic reflexes by voluntary

- contraction of muscles in remote parts of the body. *Brain* 104: 704-719. 1981.
- 5) 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. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 21: 528-533. 2017.
 - 6) 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. 第51回日本理学療法学会大会(札幌). 2016.
 - 7) 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.
 - 8) Knikou M: The H-reflex as a probe: Pathways and pitfalls. *Journal of Neuroscience Methods* 171: 1-12. 2008.
 - 9) Voss DE, Ionta, MK, Myers BJ : *Proprioceptive neuromuscular facilitation; Patterns and techniques*, third ed. Harper & Row, New York : 291-311.1985.
 - 10) Condon SM, Hutton RS: Soleus muscle electromyographic activity and ankle dorsiflexion range of motion during four stretching procedures. *Phys Ther* 67 (1) : 24-30. 1987.
 - 11) Crone C, Nielsen J: Methodological implications of the post activation depression of the soleus H-reflex in man. *Exp Brain Res* 78: 28-32. 1989.
 - 12) Moore MA, Kukulka CG: Depression of hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Phys Ther* 71 (6) : 321-329. 1991.
 - 13) Trimble MH, Harp SS: Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Med Sci Sports Exerc* 30 (6): 933-941. 1998.
 - 14) Xenofondos A, Patikas D, Koceja DM, et al. : Post-activation potentiation: the neural effects of post-activation depression. *Muscle Nerve* 52 (2) : 252-259. 2015.
 - 15) Yanagawa S, Shindo M, Nakagawa S : Increase in Ib inhibition by antagonistic voluntary contraction in man. *J. Physiology* 440: 311-323.1991.
 - 16) 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 (6) : 3911-3922. 2006.
 - 17) Till D : The uses of reflexes in the restoration of normal movement. *Physiotherapy* 55 : 2-8. 1969.
 - 18) Gellhorn E: Proprioception and the motor cortex. *Brain* 72: 35-62. 1949.
 - 19) 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.
 - 20) 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.
 - 21) Jang SH: The corticospinal tract from the viewpoint of brain rehabilitation.

- Rehabil Med 46: 193-199. 2014.
- 22) Iwamura Y, Iriki A, Tanaka M, et al. : Bilateral hand representation in the postcentral somatosensory cortex. *Nature* 369: 554-556. 1994.
 - 23) Taoka M, Toda T, Iwamura Y: Representation of the midline trunk, bilateral arms and shoulders in the monkey postcentral somatosensory cortex. *Brain Res* 123: 315-322. 1998.
 - 24) Taoka M, Toda T, Iriki A, et al. : Bilateral receptive field neurons in the hindlimb region of the postcentral somatosensory cortex in awake macaque monkeys. *Brain Res* 134: 139-146. 2000.
 - 25) Ferbert A, Priori A, Rothwell JC, et al. : Interhemispheric inhibition of the human motor cortex. *J Physiol* 453: 525-546. 1992.
 - 26) Daskalakis ZJ, Christensen BK, Fitzgerald PB, et al. : The mechanisms of interhemispheric inhibition in the human motor cortex. *J Physiol* 543: 317-326. 2002.
 - 27) Hanajima R, Ugawa Y, Machii K, et al. : Interhemispheric facilitation of the hand motor area in humans. *J Physiol* 531: 849-859. 2001.
 - 28) Dietz V, Sinkjaer T, et al. : Spastic movement disorder: impaired reflex function and altered muscle mechanics. *Lancet Neurol* 6 (8) : 725-733. 2007.
 - 29) 新井光男:骨盤の抵抗運動が遠隔の上肢関節可動域改善に及ぼす遠隔効果の神経生理学的仮説. *医療保健学研究* 1 (1) : 3-13. 2010.

[Abstract]

The effects of different directional static contraction of the right upper extremity on the contralateral left soleus H-reflex

The purpose of this study was to explore the neurophysiological remote effects and remote after-effects of resistive static contraction of the upper extremity, considering the resistant direction on the contralateral soleus H-reflex.

The participants was 12 normal subjects with a mean (SD) age of 23.4 (2.7) years. A 10 s SC of the muscles of the upper extremity utilizing resistive static contraction of shoulder flexion · abduction · external rotation (R·F·A·E) and shoulder extension · adduction · internal rotation (R·E·A·I) of the upper extremity using the proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF).

Three types of tasks, resistive static contraction of the shoulder flexion · abduction · external rotation (R·F·A·E), resistive static contraction of the shoulder extension · adduction · internal rotation (R·E·A·I) and rest after resistive static contraction as task (R·F·A·E task and R·E·A·I task), including resting task, were randomly performed. The left soleus H-reflex was measured at before the task (20 s), resistive exercise phase (10 s), and rest phase after resistive exercise (180 s). The H-reflex amplitude was normalized to the corresponding maximal M-wave (Mmax) H-reflex, which was expressed by the ratio H/Mmax.

Three-way analysis of variance of the H/Mmax ratio with Bonferroni's post-hoc analysis revealed that the H/Mmax ratio of resistive exercise phase was significantly larger than rest phase after resistive exercise. Whereas R·E·A·I task had significant facilitatory effects compared with the R·F·A·E task, the H/Mmax ratio of the rest phase after R·E·A·I had a tendency to reduce comparing the rest task, which may induce the relaxation as a remote after effect as an indirect approach.

Key words: Remote effect · after-effect, Resistive static contraction, Soleus H-reflex, PNF, Upper extremity.