

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

新井光男

つくば国際大学医療保健学部理学療法学科

【要 旨】セラピストが坐骨結節に接触して骨盤の後方下制方向の動きへの抵抗運動(SCPD 手技)により遠隔の上肢の障害関節の自動・他動関節可動域が改善するが生理学的機序は明確でない。側臥位安静時に橈骨神経を刺激し総指伸筋のH反射(潜時22 ms)を誘発した時に50 msの潜時(C1波)と150 msの潜時(C2波)の波形が高い再現性で誘発できた神経学的に健常な症例を対象に、骨盤のSCPD手技施行前後に反射的波形の変化を検証した。その結果、C1波・C2波の潜時の短縮が骨盤のSCPD手技後に高い再現性で確認された。潜時から脳幹と皮質レベルの神経回路の興奮性を反映している可能性がある。今回、骨盤のSCPD手技の上肢への遠隔反応に関与すると推察される脊髄固有反射と長経路反射および中枢パターン発動(CPGs)に関する文献レビューを行った。(医療保健学研究 第1号: 3-13頁)

キーワード: 長経路反射; 脊髄-延髄-脊髄反射(SBS反射); 超皮質性反射; SCPD手技;
抵抗運動; 脊髄固有反射

1. 骨盤の抵抗運動が上肢に及ぼす効果

遠隔反応の臨床的検証として、新井ら(2002)は、上肢関節障害のある患者に対して、直接アプローチとして、拮抗筋を伸張するストレッチと間接的アプローチ(遠隔反応を促すアプローチ)である骨盤筋群の後下方運動の中間域でセラピストが坐骨結節に接触して抵抗運動を加えることで静止性収縮を促す手技(骨盤の後方下制方向の動きへの抵抗運動(Sustained

Contraction of Posterior Depression Technique; SCPD手技))を用い(図1)、上肢の障害関節の可動域の改善を比較した結果、間接的アプローチであるSCPD手技実施後に上肢障害関節の自動・他動関節可動域が有意に拡大することを初めて報告した。また、脳卒中後片麻痺患者の肩関節の可動域の改善にも骨盤からのSCPD手技は有効であることが報告されている(名井 他, 2002)。

神経生理学的検証では、骨盤のSCPD手技時の遠隔の橈側手根屈筋のH波の計測により、SCPD手技時の脊髄レベルの抑制とその後の促通効果が生じることが確認されている(新井, 2003, 2004, 2009)。この研究は、健常者を無作為にSCPD手技を行う群とH波計測の反対の手による握力計の把持(把持群)の2群に分け、

連絡責任者: 新井光男

〒300-0051 茨城県土浦市真鍋 6-8-33

つくば国際大学医療保健学部理学療法学科

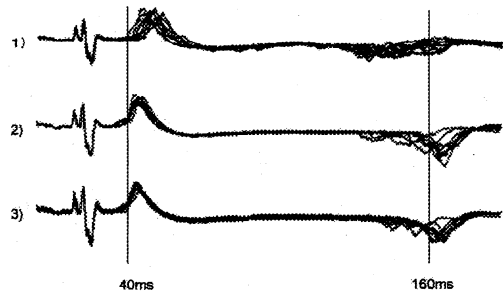
TEL: 029-883-6033

FAX: 029-883-6033

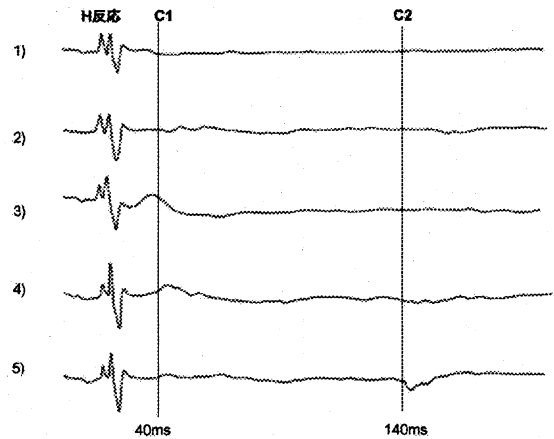
e-mail: m-arai@tius-hs.jp



図1. SCPD手技時のセラピストの抵抗方向. 骨盤の後方下制は、側臥位で、PNFパターンである股関節伸展-外転-内旋パターンに伴う骨盤の前傾の動きに対する抵抗運動でセラピストが坐骨結節から骨盤の動きに抵抗運動を加える手技である。後方下制は体側線に対して15~30°位の傾きの対角線上を骨盤挙上位を開始肢位として坐骨結節にセラピストが接触し後方下制位までの抵抗運動を体幹の代償なしで行う。SCPD手技は、対象者の坐骨結節へのセラピストの抵抗(約1~5kg)に抗させながら、骨盤の後方下制パターンの中間域で数秒間、下部体幹の静止性収縮を行わせる手技である。



(a)



(b)

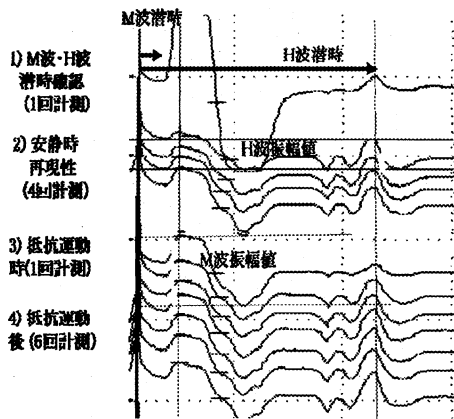


図2. SCPD手技時の橈側手根屈筋のH波の推移. 一番上の波形は、最大M波を誘発したあと、筋の直接応答であるM波と、脊髄内での単シナプス反射の指標であるH波を同時に誘発し潜時を確認した。そのあと、M波が安定しH波が最大になる出力でM波とH波を同時に誘発し、安静時に4回計測し平均値を基準値とした。そのあと、SCPD手技時と抵抗運動後に、M波とH波を6回誘発した。遠隔部位の骨盤のSCPD手技による抵抗運動が橈側手根屈筋運動ニューロンに及ぼす現象は、抵抗運動後よりも、抵抗運動時に有意な抑制がなされることが示唆され、SCPD手技の効果は発散以外の機序によることが明らかになった。H波は、SCPD手技時に抑制され、逆に、SCPD手技後の安静時に促進された(新井, 2004)。

図3. 安静時の誘発電位と SCPD 手技後の総指伸筋の誘発電位群(20 回平均加算)(新井ら, 2003)

(a) 安静時の誘発電位

- 1) 安静時(対照)の誘発電位
- 2) 上前腸骨棘接触安静時の誘発電位
- 3) 坐骨結節接触安静時の誘発電位

(b) SCPD 手技後の総指伸筋の誘発電位群

- 1) 抵抗運動後直後の安静時誘発電位
- 2) 抵抗運動 4 分後安静時の誘発電位
- 3) 抵抗運動 5 分後安静時の誘発電位
- 4) 抵抗運動 6 分後安静時の誘発電位
- 5) 抵抗運動 7 分後安静時の誘発電位

橈側手根屈筋の H 波の変化を検証した。SCPD 手技での橈側手根屈筋の H 波は運動後に有意な抑制が生じ(図 2)、その後には有意な興奮が示唆された(新井, 2004)。この現象から、整形外科疾患で上肢の障害を有する患者の骨盤の SCPD 手技後の痛みの緩解と関節運動改善の生理学的根拠が示唆された(新井, 2003, 2009)。すなわち、運動時に脊髄レベルを反射的に抑制することにより筋スパズムの軽減と他動関節

可動域改善の可能性が示唆された。また、その後の橈側手根屈筋の H 波の興奮性の増大により遠隔部位の自動運動を増大させる臨床的効果の生理学的根拠が示された(新井, 2004)。

また、25 歳男性で神経学的問題がなくサッカー競技により半月板損傷がある一症例を対象に、側臥位安静時に橈骨神経を 1 分毎に 0.8 mA の定電流で総指伸筋の H 反射(潜時 22 ms)を誘発した時に 50 ms の潜時(C1 波)と 150 ms の潜時(C2 波)の波形が高い再現性で誘発できた、潜時から脳幹の神経回路の興奮性を反映している可能性がある。長潜時の安静時に誘発された C1 は脊髄-延髄-脊髄(spino-bulbo-spinal reflex; SBS)反射が関与し、C2 は潜時から考えて皮質性の関与が考えられた(新井, 2003)。安静時の各波形の再現性を確認したあと(図 3-a1)、SCPD 手技後に誘発電位を計測した結果、SCPD 手技直後では C1 と C2 の波は消失した。図 3b で示すように C1 の促通作用が 5 分後に強く出現し脳幹レベルの促通が示唆されたが、C2 は消失したままであった。C2 も安静時約 160 ms から SCPD 手技 7 分後(図 3-b5)には約 140 ms に潜時が短縮され(長潜時反射の短絡)、中枢促通が示唆された。これは、臨床的に骨盤の抵抗運動後に上肢の関節可動域の改善と自動運動能力の向上が得られる現象の生理学的機序を示唆した。

遠隔部位のこの効果は神経生理学的には、下記の 3 つの遠隔反応が関与することが文献検索により仮説された。

仮説 1：脊髄固有反射(propriospinal-like neuron)

仮説 2：脳幹または小脳を介した長経路反射(long loop reflex)

仮説 3：中枢パターン発動(Central Pattern Generators; CPGs)

上記の仮説は明確に区別することはできず相互に関連するが、以下にこの 3 つの仮説を概説する。

2. 遠隔反応の神経生理学的仮説

2-1. 脊髄固有反射

脊髄反射は反射経路の脊髄内の広がりによって分類され、脊髄固有経路(propriospinal tract)が一つまたは近接の脊髄節内に限られる反射を体節性反射(segmental reflex)といい、遠隔の脊髄節の間で起こる反射を節間反射(intersegmental reflex)または長脊髄反射(long spinal reflex)という。これらを脊髄固有反射と呼び、感覚神経が多くの分節に信号を伝達するものを多分節結合(multi-segmental connections)と呼ぶ(Guyton and Hall, 1996)。

脊髄固有反射は下行性脊髄固有反射と上行性脊髄固有反射に分類される。

2-1-1. 下行性脊髄固有反射の影響(descending propriospinal reflex)

Meinck と Piesiur-Strehlow (1981)は、57 名の健常者を対象に、ヒトの上肢の求心性神経刺激による遠隔の下肢運動ニューロンへの影響を、ヒラメ筋 H 波と前脛骨筋の緊張性筋電図により検証した。上腕神経は表面電極で矩形波で刺激(持続時間:0.5 ms, パルス間隔:3 ms)し、ヒラメ筋 H 波は M 波出現閾値の 1.1 倍の強さで刺激した。上腕神経刺激によりヒラメ筋 H 波に促通(平均出現潜時:80 ms)が生じ、この反射が長い脊髄経路の直接的な下行路を経て伝導していることを推定した。

上肢の筋群の収縮による下肢の腱反射の亢進や運動ニューロンの促通は多くの報告がある(Delwaide and Toulouse, 1980, 1981; Toulouse and Delwaide, 1980)。

Toulouse と Delwaide (1980)は、手関節伸筋群の選択的な随意的収縮により、遠隔の下肢の屈筋と伸筋の運動ニューロンの遠隔促通(remote facilitation)と下肢の反射の亢進を認めた。大腿四頭筋の反射の促通の程度はヒラメ筋

や大腿二頭筋よりも大きかった。大腿四頭筋の腱反射は、三角筋の収縮よりも母指球の筋群の収縮により促通されやすく、手関節屈筋群の収縮よりも手関節伸筋群の収縮により促通されたことを報告している。

Delwaide と Toulouse (1980, 1981) は、『Jendrassik (1883)の上肢の筋群の収縮による下肢の腱反射の亢進』と同様に、手関節伸筋群の選択的な随意的収縮により、遠隔のヒラメ筋の運動ニューロンの促通(遠隔促通)と反射の亢進を認めた。ヒラメ筋 H 波は腱反射と同様に促通できたが手関節伸筋群の収縮後 200 ms から 600 ms の収縮のピーク時(2相)のみに有意な促通が認められ、収縮開始時(1相)と弛緩移行期(3相)には有意な促通は認められなかった。

2-1-2. 上行性脊髄固有反射(ascending propriospinal reflex)

①ネコの上行性脊髄固有反射

急性脊髄ネコでは後肢の神経の電気刺激で同側の大胸筋と広背筋の運動ニューロンの放電を誘発することができるが、橈骨神経や尺骨神経からは誘発できない。この後肢からの誘発は 5-12 ms で生じ、10-25 ms 続く。また、両側後肢からの刺激は上記の筋の抑制を 10-20 ms で生じさせ 40 ms でピークに達し 100-300 ms 続く。T₉ 髄節での抑制は背側網様体路であり、興奮は腹側網様体路を通る長い上行性の脊髄固有の投射路であることが解剖学的に証明された(Miller et al, 1971)。

②ヒトの脊髄固有ニューロンの上行路

Zehr ら(2001)は、神経学的に健常な 10 名を対象に、浅腓骨神経(足背側)または橈骨神経浅枝(手背外側)を電気刺激して遠隔の上肢と下肢(三肢)の筋収縮を促通した結果、75 ms 以下(第 1 相)と 75-120 ms(第 2 相)および 120 ms 以上(第 3 相)の潜時の反射的筋電図活動が出現した。浅腓骨神経を刺激した時は、上肢 106

筋群中 44 筋に、振幅値が有意に増加し、一番短い潜時(第 1 相)の四肢間反射が出現した。橈骨神経浅枝を刺激した時は、下肢 103 筋群中 44 筋に第 1 相の四肢間反射が出現した。腓骨神経浅枝を刺激した時は上肢 10 筋群中 89 筋、浅橈骨神経を刺激した時は下肢 103 筋群中 87 筋に、各々 2 番目の潜時(第 2 相)で、振幅値が有意に増加し、四肢間反射が出現した。これらの検証により、ヒトでも四肢間反射は手と足で同程度の確率で出現することが明らかになった。

2-2. 長経路反射(long loop reflex)

Kagamihara ら(2003)は、健常者を対象に、正中神経刺激時に、下肢や咬筋の H 波と平均筋電図および運動ニューロンの発射頻度の増減を継時的に分析した結果、ヒラメ筋 H 波は 50-70 ms で促通が生じ、100-120 ms で痛みを誘発することなく促通がピークを示した。筋電図と運動単位発射頻度増減の時間的経過の分析により、上腕二頭筋と同側の橈側手根屈筋および橈側手根伸筋に促通が生じ、咬筋と反対側の橈側手根屈筋および前脛骨筋に抑制が示唆された。咬筋の反射性抑制は 10-15 ms で生じ、抑制の潜時は咬筋が一番短く、次に反対側の橈側手根屈筋で一番潜時が長いのは前脛骨筋であった。潜時より、少なくとも脳幹を介した長経路反射である SBS 反射(島村, 1963)と推定した。

2-2-1. SBS 反射

ネコの S₁ 後根に単一電気刺激を加え、種々な高さの脊髄前根から反射電位を導出すると、2 群の電位が記録される。1 群の電位は脊髄固有反射と類似の性質をもち、腰髄で潜時が最も短く、胸髄、延髄など脊髄上位すなわち刺激導出距離が離れるにしたがい潜時も延長した。この電位は脊髄ネコでもみられるので脊髄固有反射と推定した。これに対して他の群の電位は脊髄上位で潜時が短縮した。

また、四肢の対角線と相反的で四足の他動運動時の右前肢の屈筋を支配している網様体脊髄路ニューロンの放電パターンを分析すると、同側の前肢が後方に動かす時スパイクは増え、前方に動かすと減少した(Shimamura and Kogure, 1983)。対照的に反対側の前肢を前方に動かすとスパイクは上昇し、後方に動かすと減少した。網様体脊髄路ニューロンの約 15% は四足の動きに呼応して放電した。左前肢と右後肢を後方に動かし、右前肢と左後肢を前方に動かすと放電は増え、反対に動かすと放電は減少した(Shimamura and Kogure, 1983)。この現象を、延髄網様体を反射中枢とする SBS 反射と島村(1963)は定義した。

2-2-2. 脊髄固有反射と SBS 反射

クロラロス麻酔したネコの脊髄固有性の腰髄介在ニューロンと SBS の遠心性反射の関係を研究するため体性(筋、皮膚)または内臓神経を刺激した結果、軸索投射パターンは、1) 遠心性の脊髄固有成分(脊髄固有群)、2) SBS 成分(SBS 群)、3) 脊髄固有成分と SBS 成分の両要素(脊髄固有-SBS 群)の 3 群に分類された(Zehr et al, 2001)。SBS 群と脊髄固有-SBS 群の介在ニューロンは、灰白質腹側四分の一に局在した。体性または内臓神経の刺激により、脊髄固有群と SBS 群のシステムは密接な関与があることが示唆された。

2-2-3. 中枢パターン発動(CPGs)

脊髄反射経路を断った中脳ネコを用い、延髄網様体に投射する中脳移動運動領域(mesencephalic locomotor lesion)を刺激して歩行を誘発すると、歩行のリズムに同期して発射活動が変調するニューロンが多数、中間帯から前角にかけて存在し(VIかX層)、前角の外側と背外側部にニューロンは著明な変調を示した(Whelan, 1996 ; Magnuson, 1998)。小脳や皮膚受容器から情報を得た延髄網様体核は脊

髄運動ニューロンと多シナプス結合と単シナプス結合し、脊髄へ投射され移動運動の基本的リズムが生成されるが、歩行がどのように発動されているかは明らかにされていない(Whelan, 1996 ; Magnuson, 1998)。

原始的脊椎動物ヤツメウナギの研究では、各肢は CPGs 配列をもっており、この各 CPGs は中枢配列を 2 個もつ振動子である。半中枢の一つは屈筋を、もう一つは伸筋を駆動し、両者は相互に結合している。各半中枢は周期的にバースト活動電位を生成し、交互に振動する。この振動は固有の周期があり、一方の半中枢が発火停止するともう一方の半中枢がバースト発火する。こうして 2 つの半中枢の間で交互に生じるバースト発火の連鎖が CPGs による移動となる(Sigvardt and Miller, 1998)。

2-3-1. 腰仙髄と CPGs

新生ラットの研究では、種々の神経化学薬物溶液や求心性神経による仙尾髄の刺激により CPGs が生じることが明らかになった(Delvolve et al, 2001 ; Gabbay et al, 2002)。神経化学薬物溶液(serotonin, N-methyl-D-aspartate (NMDA), noradrenaline)に分離した脊髄を浸したり、脊髄後根の電気刺激によりリズム的な運動パターンを発生させることができる(Whelan, 1996)。この活性化された脊髄神経ネットワークが CPGs である。Lev-Tov と Delvolve (2000)の報告では、エーテル麻酔したラットの仙尾髄の求心性線維の電気刺激(5-100 パルス, 10Hz)により、尻尾の筋群のバースト活動電位が発生し、尻尾の片側の屈筋と伸筋と外転筋の活動が生じた。この活動は胸腰髄を外科的に切除しても生じることより仙尾髄由来の運動と推定した。また、尻尾と腰のリズミカルな運動は仙尾髄の刺激が側索と前側索を上行して発生していることが確認された。この仙尾髄のリズムは DOPA 投与により遠心性バースト活動電位が誘発される DOPA 反射と同じ現象である(Whelan,

1996 ; Magnuson et al, 1998)が、この実験では薬物の投与がなくても誘発できたことに意義がある (Lev-Tov and Delvolve, 2000)。DOPA 反射は、屈曲反射 (flexor reflex afferents)と同じ反射で同側の屈筋と反対側の伸筋を促通すると同時に相反抑制により拮抗筋を抑制し、リズムカルな運動をリセットする働きがあることが推定された (Hultborn et al, 1998)。

2-3-2. 上行性の CPGs の経路

CPGs は脊髄レベルではなく、外側網様体核まで上行していることが確認された (Magnusson et al, 1996)。Magnusson ら (1996)は、新生ラットの前外側索の経路を選択的に刺激した時に同側と対側の L₃ と L₅ 前根から、交互に発生するバースト活動電位を発生させ、その腰髄ニューロンをビオシチン (biocytin)によりラベルして追跡した。その結果、バースト活動電位は、背外側白質を上行し、外側網様体核に密度の高い終末領域が見出された。

2-3-3. I 群求心性線維と CPGs

腱紡錘からのインパルスの情報により、筋の緊張状態が大脳皮質の運動野に伝えられて深部感覚になる (Whelan et al, 1995)。ゴルジ腱器官は歩行に関与していると仮説があり、歩行時の動きに応じて異なる筋群の出力を絶えず変える役目をし、Ib 求心性線維は歩行リズムのタイミングに重要な影響を与えている (Delvolve et al, 2001)。立脚時、Ib 求心性線維からの入力で屈筋には抑制が働き、立脚期から遊脚期にかけても Ib 求心性線維が重要な働きをする (Craig and Oatis, 1995 ; Whelan et al, 1995)。Ib 求心性線維の平均発火頻度の上昇後に立脚相での下腿三頭筋の筋電図活動が生じる (Whelan et al, 1995)。

立脚時の時間(伸展)と伸筋活動量は Ia 求心性線維と Ib 求心性線維からの入力によるフィードバックで決定され、荷重がかかっている時の股関節屈曲を防止すると仮説されている (Pearson et al, 1998)。

固有受容器の刺激により CPGs のリズムが変調する (Duysens and Pearson, 1980 ; Gossard et al, 1994)。Gossard ら (1994)は、除脳ネコに DOPA を投与して脊髄歩行を誘発した。屈筋群のバースト活動電位時に膝と足関節の伸筋群の I 群求心性線維を電気刺激するとバースト活動電位は停止し、伸筋群のバースト活動電位時に膝と足関節の伸筋群からの I 群求心性線維を電気刺激すると伸筋群の活動時間が延長したことを報告している。脊髄ネコの研究では (Grillner and Rossignol, 1978)、トレッドミルの一側の肢を股関節伸展 30°以内までの関節角度で保持するとその肢は停止するが、股関節を 30°以上伸展させて保持すると、あるところで急に伸筋活動が消失し屈曲運動が生じたとしている。しかし、Duysens と Pearson (1980)は、股関節の角度ではなく体重の支持の有無で遊脚するという仮説を立て除脳ネコで検証した結果、下腿三頭筋に 4kg 以上の力が加わっている時は対側の前脛骨筋のバースト活動を急激かつ完全に抑制した。このことより、支持脚から遊脚への抑制を推定した。

Whelan ら (1995)は、脊髄ネコの外側下腿三頭筋と足底筋と内側・中間広筋の I 群求心性線維を内側下腿三頭筋のバースト活動電位の出現をトリガーとして電気刺激した結果、伸筋群のバースト活動電位が延長し、屈筋群のバースト活動電位の出現が遅れた。外側下腿三頭筋の支配神経を刺激した時にこの影響が一番強く、屈筋群のバースト活動電位は足底筋と内側・中間広筋の支配神経の電気刺激が終わった時に出現した。この効果のための I 群求心性線維の閾値は、M 波閾値の 1.3~1.6 倍の低閾値であった。足底筋と内側・中間広筋の支配神経を同時に電気刺激した方が単独で刺激するより効果的であったことから、空間的加重が確認でき

た。また、I群求心性線維の立脚時の興奮性は全伸筋群にわたって影響を与えていることが筋電図活動の促通で推定された。

3. 脊髄固有反射・長経路反射・CPGsの関連

脊髄固有反射と SBS (長経路反射)のシステムは、機能的に密接な関係が活性化されることが裏付けられているが(Pavlassek and Duda, 1975)、長経路反射と CPGs の中枢は脊髄・延髄の関与が示唆されている(Pavlassek and Duda, 1975 ; Grillner and Rossignol, 1978 ; Duysens and Pearson, 1980 ; Gossard et al, 1994 ; Craik and Oatis, 1995 ; Whelan et al, 1995 ; Whelan, 1996 ; Magnuson et al, 1998 ; Pearson et al, 1998 ; Sigvardt and Miller, 1998 ; Lev-Tov and Delvolve, 2000 ; Delvolve et al, 2001 ; Dietz et al, 2002 ; Gabbay et al, 2002 ; MacKay-Lyons, 2002)。CPGs は、ヒトを含め脊椎動物に出現し、脳と脊髄の情報の相互作用で、末梢受容器からの感覚フィードバックにより形成される運動発現であり(Craik and Oatis, 1995)、脊髄固有反射と長経路反射が関与することが示唆される。

CPGs は動物実験により証明されてきたが(Grillner and Rossignol, 1978 ; Duysens and Pearson, 1980 ; Gossard et al, 1994 ; Craik and Oatis, 1995 ; Whelan et al, 1995 ; Pearson et al, 1998 ; Dietz et al, 2002 ; MacKay-Lyons, 2002)、ヒトでも CPGs の仮説の証明がされつつある(Grillner and Rossignol, 1978 ; Duysens and Pearson, 1980 ; Gossard et al, 1994)。Dietzら(2002)は、6名の両下肢麻痺もしくは四肢麻痺の脊髄完全損傷と3名の健常者を対象に、両股関節と膝関節の動きを正常歩行と同じ角度でコントロールできて足関節を他動的に背屈させる弾性ストラップ付きの装具により、トレッドミル上を歩行させ、筋活動パターンを分析した。被験者を吊り上げることにより70%の体重を免荷させて、1)正常歩行、

2)ヒップ歩行(膝を伸展位にして歩行)、3)片足歩行(右下肢のみ正常歩行させ左下肢は動かさない)の3つの方法で歩行させた。3)の片足歩行では健常群は両下肢に筋活動が生じたが、患者群は動いている右下肢筋群のみであったことから四肢間の協調性は上位中枢により促通されていることが推定された。1)正常歩行も2)ヒップ歩行も下肢の筋電図活動パターンは同じで、健常群と患者群の違いは、振幅値が患者群で小さいだけであった。膝のロックと足関節のストラップをはずして膝関節と足関節を自由にしても筋電図活動パターンは変わらなかったことより、股関節の Ia 求心性線維と Ib 求心性線維からの入力によるフィードバックが下肢の筋活動に重要な役割を果たしていることが推定された。また、100%免荷させて歩行させると、健常群も患者群も下肢の筋活動は生じなかった。よって、股関節の荷重受容器と股関節の求心性入力との組み合わせによる活動が重要であり、膝と足関節の求心性フィードバック(Ia 求心性線維と Ib 求心性線維からの入力によるフィードバック)は局所的運動のみ寄与すると推定した(Prokop et al, 1995)。

Prokopら(1995)は、11名の健常者にベルトが2つに分かれたトレッドミルで各々のベルトのスピードを変えて(0.5ms と 1.5ms)、30歩トレッドミル上を歩かせた。遅いトレッドミルで支持を主に行い、速いトレッドミルで遊脚を主に行うサイクルで歩かせた。その結果、1回目は、適応するのに14~15歩要したが、2回目では3~4歩で適応した。しかし、その後、速いトレッドミルと遅いトレッドミルを逆にして歩かせると、最初の試行と同じように適応するまでに14~15歩かかった。これらのことより、片側の特殊な固有受容性の情報(Ia 求心性線維と Ib 求心性線維からの入力によるフィードバック)は歩行のコントロール時に必要であり、各肢の固有受容器のフィードバックは脊髄性を起源とした CPGs により誘発された歩行を調節することを仮定した。

また、Grillner と Rossignol (1978)の脊椎ネコと同様に、Yang ら(1998)のヒトの4~10ヶ月の乳児(21名)をトレッドミル上で歩行させた実験でも股関節の角度が遊脚に影響を及ぼすことが分かった。また、Duysens と Pearson (1980)と同様に、Yang ら(1998)は、歩行時骨盤を下方に押しつけて荷重をかけて股関節屈曲位にすると遊脚の開始が遅れ、下腿三頭筋の筋電図は延長し前脛骨筋の筋電図の発現は遅れた。また、下方に押す力が増加するほど立脚相が増加し、力が減少すると立脚相が短縮した。この現象は成人では生じないことより、歩行時の荷重に対する反応の為の脊髓/脳幹の回路が乳児の方が強力であることを推定した(Dietz と Duysens, 2000)。支持時の時間(伸展)と伸筋活動量はIa求心性線維とIb求心性線維からの入力によるフィードバックで決定され、荷重がかかっている時の股関節屈曲を防止すると仮説されている(Pearson et al, 1998)。

CPGsは、感覚フィードバックがなくても発現できるが(Whelan, 1996; Magnuson, et al, 1998; Lev-Tov and Delvolve, 2000)、CPGsは、感覚フィードバックにより修飾され(Ia求心性線維とIb求心性線維から運動ニューロンへの反射回路)(Craik and Oatis, 1995; Pearson et al, 1998)、CPGsと感覚フィードバックは相互にパフォーマンスに関与し脊髓で統合される(McCrea, 2001; Angel et al, 2005)。

4. 下部体幹の抵抗運動による上肢への影響の考察

CPGsは、ヒトを含め脊椎動物に出現し、脳と脊髓の情報の相互作用で末梢受容器からの感覚フィードバックにより形成される運動発現であり神経系の調節により発現が修飾される(Shimamura and Kogure, 1983)。ヒトの二足歩行は、動物の四足移動と比較し、重心が高い身体の平衡をコントロールするため動物と比較してより強い四肢の協調性が必要とされ

ると同時にかなりの機能的柔軟性の持続が必要である(Hultborn et al, 1998)。また、歩行時の上肢筋群と下肢筋群の柔軟な神経学的連結が推定され(Dietz and Duysens, 2000)、網様体脊髓路を経由した小脳の関与がネコとヒトで推定されている(Dietz et al, 2002)。CPGsには、股関節の荷重受容器と股関節の求心性入力との組み合わせによる活動が重要であり(Dietz et al, 2002)、下方に押す力が増加するほど立脚相が延長し、その力が減少するほど立脚相が短縮する(Gossard et al, 1994)。伸筋群に荷重センサーがあり、荷重時の伸筋群への伸張刺激と、Ia求心性線維およびIb求心性線維によるフィードバックによりCPGsのリズムがコントロールされる(Dietz and Duysens, 2000)。また、新生ネズミのCPGsは、種々の神経化学物質や求心性神経による仙尾髄の刺激により生じる(Delvolve et al, 2001; Gabbay et al, 2002)、セラピストの坐骨結節からの抵抗により静止性収縮を促通しながら仙腸関節を圧縮すると荷重の探知器が立脚相の伸展活動を発生させるCPGsが出現し、中枢の抑制と促通を誘発できることが示唆される。すなわち、骨盤の後方下制は、セラピストの坐骨結節からの抵抗により仙腸関節に圧縮が加わり、荷重の探知器(load detectors)によりCPGsが発生し立脚相の伸展活動を活性化させ(Duysens and Pearson, 1980; Pearson et al, 1998; Dietz et al, 2002)、上肢の振り(屈曲運動パターン)が促通され関節可動域の改善が認められた可能性が推測される。

参考文献

- 新井光男 (2003) 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: 54-59.
 新井光男 (2004) 手関節自動関節運動改善のアプローチ法の検討—上肢静止性収縮と下部体幹の静止性収縮が手関節自動関節運

- 動に及ぼす影響。学位請求論文および参考論文(広島大学)。64-70.
- 新井光男 (2009) モビライゼーション PNF 手技。メディカルプレス。21-23.
- 新井光男, 清水一, 柳澤健, 清水ミシェル・アイズマン, 田中良美, 村上恒二 (2003) 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: 54-59.
- 新井光男, 清水一, 清水ミシェル・アイズマン, 田中良美, 柳澤健 (2002) 固有受容性神経筋促通法による骨盤の後方下制のホールド・リラックスが上肢障害関節に及ぼす効果。PNF リサーチ。2: 22-26.
- 島村宗夫 (1963) 延髄網様体を反射中枢とする運動反射, SBS 反射について。脳と神経。15: 1165-1172.
- 名井幸恵, 新井光男, 上広晃子, 清水ミシェル・アイズマン, 田中良美, 榎本一枝, 柳澤健 (2002) 脳卒中後片麻痺患者の患側の骨盤の後方下制が患側上肢に及ぼす即時効果。PNF リサーチ。2: 27-31.
- Angel MJ, Jankowska E, McCrea DA (2005) Candidate interneurons mediating group I disynaptic EPSPs in extensor motoneurons during fictive locomotion in the cat. *J Physiol* 563: 597-610.
- Craik RL, Oatis CA (1995) *Gait Analysis: Theory and Application*, St. Louis, Mosby, pp 46-64.
- Delvolve I, Gabbay H, Lev-Tov A (2001) The motor output and behavior produced by rhythmogenic sacrocaudal networks in spinal cords of neonatal rats. *J Neurophysiol* 85: 2100-2110.
- Delwaide PJ, Toulouse P (1980) Jendrassik maneuver vs controlled contractions conditioning the excitability of soleus monosynaptic reflexes. *Arch Phys Med Rehabil* 61: 505-510.
- Delwaide PJ, Toulouse P (1981) Facilitation of monosynaptic reflexes by voluntary contraction of muscles in remote parts of the body. *Brain* 104: 704-719.
- Dietz V, Duysens J (2000) Significance of load receptor input during locomotion: a review. *Gait Posture* 11: 102-110.
- Dietz V, Muller R, Colombo G (2002) Locomotor activity in spinal man: significance of afferent input from joint and load receptors. *Brain* 125: 2626-2634.
- Duysens J, Pearson K G (1980) Inhibition of flexor burst generation by loading ankle extensor muscles in walking cats. *Brain Res* 187: 324-332.
- Gabbay H, Delvolve I, Lev-Tov A (2002) Pattern generation in caudal-lumbar and sacrococcygeal segments of the neonatal rat spinal cord. *J Neurophysiol* 88: 734-739.
- Gossard JP, Brownstone RM, Barajon I, Hultborn H (1994) Transmission in a locomotor-related group Ib pathway from hindlimb extensor muscles in the cat. *Exp Brain Res* 98: 214-228.
- Grillner S, Rossignol S (1978) On the initiation of the swing phase of locomotion in chronic spinal cats. *Brain Res* 146: 269-277.
- Guyton AC, Hall JE (1996) *Textbook of Medical Physiology*, 9th ed, USA, WB Saunders Company, pp. 687-697.
- Hultborn H, Conway BA, Gossard JP, Brownstone R, Fedirchuk B, Schomburg ED, Enríquez-Denton M, Perreault MC (1998) How do we approach the locomotor network in the mammalian spinal cord? *Ann N Y Acad Sci* 860: 70-82.
- Kagamihara Y, Hayashi A, Masakado Y, Kouno Y (2003) Long-loop reflex from arm afferents to remote muscles in normal man. *Exp Brain Res* 151: 136-144.

- Lev-Tov A, Delvolve I (2000) Pattern generation in non-limb moving segments of the mammalian spinal cord. *Brain Res Bull* 53: 671-675
- MacKay-Lyons M (2002) Central pattern generation of locomotion: a review of the evidence. *Phys Ther* 82: 69-83.
- McCrea DA (2001) Spinal circuitry of sensorimotor control of locomotion. *J Physiol* 533: 41-50.
- Magnuson DS, Green DM, Sengoku T (1998) Lumbar spinoreticular neurons in the rat: part of the central pattern generator for locomotion? *Ann NY Acad Sci* 860: 436-440.
- Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Dyhre-Poulsen P, McHugh MP, Kjaer M (1996) Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil* 77: 374-378.
- Meinck HM, Piesiur-Strehlow B (1981) Reflexes evoked in leg muscles from arm afferents: a propriospinal pathway in man? *Exp Brain Res* 43: 78-86.
- Miller S, Reitsma DJ, van der Meche FG (1971) Excitatory ascending propriospinal actions between lumbosacral and cervical segments in the cat. *J Physiol* 218: 76-77.
- Pavlasek J, Duda P (1975) Relationship between the activity of postsynaptic spinal cord elements and propriospinal and spino-bulbo-spinal reflexes. *Physiol Bohemoslov* 24: 239-247.
- Pearson KG, Misiaszek JE, Fouad K (1998) Enhancement and resetting of locomotor activity by muscle afferents. *Ann NY Acad Sci* 860: 204-215.
- Prokop T, Berger W, Zijlstra W, Dietz V (1995) Adaptational and learning processes during human split-belt locomotion: interaction between central mechanisms and afferent input. *Exp Brain Res* 106: 449-456.
- Shimamura M, Kogure I (1983) Discharge patterns of reticulospinal neurons corresponding with quadrupedal leg movements in thalamic cats. *Brain Res* 260: 27-34.
- Sigvardt KA, Miller WL (1998) Analysis and modeling of the locomotor central pattern generator as a network of coupled oscillators. *Ann NY Acad Sci* 860: 250-265.
- Toulouse P, Delwaide PJ (1980) Reflex facilitation by remote contraction: Topographic aspects. *Arch Phys Med Rehabil* 61: 514-516.
- Whelan PJ (1996) Control of locomotion in the decerebrate cat. *Prog Neurobiol.* 49: 484-515.
- Whelan PJ, Hiebert GW, Pearson KG (1995) Stimulation of the group I extensor afferents prolongs the stance phase in walking cats. *Exp Brain Res* 103: 20-30.
- Yang JF, Stephens MJ, Vishram R (1998) Transient disturbances to one limb produce coordinated, bilateral responses during infant stepping. *J Neurophysiol* 79: 2329-2337.
- Zehr EP, Collins DF, Chua R (2001) Human interlimb reflexes evoked by electrical stimulation of cutaneous nerves innervating the hand and foot. *Exp Brain Res* 140: 495-504.

Review article**Neurophysiological hypotheses of remote effects of pelvic resistive exercise on the improvement of range of motion of upper extremities****Mitsuo Arai**Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science,
Tsukuba International University**Abstract**

The active and passive ranges of motion (ROM) in patients with orthopedic diseases of the upper extremities are significantly improved by the resistive sustained contraction on the posterior-depression movements of pelvic technique (SCPD) than by the sustained stretching procedure of the most restricted joint itself. However, it is unclear the neurophysiological mechanism of the remote effects of SCPD on the upper extremities. Twenty five-year-old man, who was neurologically normal but had a soccer-related tear of the meniscus of the knee, showed with high reproducibility the first wave with 22 ms latency (H-reflex) followed by the second wave with 50 ms latency (C1-wave) and the third wave with 150 ms latency (C2-wave) when measuring the excitability of extensor digitorum (ED) by the radial nerve stimulation in the side-lying position at rest. We investigated changes in these waves preceding and following the SCPD in this subject. The latencies of the C1- and C2-waves following the SCPD were shortened with high reproducibility than that preceding the SCPD. The durations of the latencies of these waves may reflect both inhibition and facilitation in the brainstem and cerebral cortex. This review summarizes the neurophysiological hypotheses such as propriospinal reflex, long loop reflex, and central pattern generators (CPGs) on the mechanisms of the ROM improvements in the upper extremities by the SCPD. (Med Health Sci Res TIU 1: 3-13)

Keywords: Long loop reflex; Spino-bulbo-spinal (SBS) reflex; Transcortical reflex; Propriospinal reflex; Pelvic resistive exercise; SCPD technique

