

## 脊髄損傷による筋の機能障がい範囲に レジスタンス・トレーニングは影響を及ぼすか

### *The Area of Muscular Functional Disorder in Spinal Cord Injuries! Dose Resistance Training Have an Effect?*

石田 直章 Naotaka Ishida

(人間発達学部教養部会)

菅嶋 康浩 Yasuhiro Sugajima

(デザイン学部教養部会)

#### 1. はじめに

脊髄は頭側から尾側に向かって頸髄 (C1～C8)、胸髄 (Th1～Th12)、腰髄 (L1～L5) および仙髄 (S1～S5) によって構成されている神経細胞と神経線維の集合体である。脊髄損傷は、多くの場合脊椎に何らかの力が加わって起こる骨折や脱臼などに伴って発症する神経根の損傷によって引き起こされる<sup>1)</sup>。脊髄の損傷部において長索路の機能が完全に断たれたものが完全損傷、機能が一部でも残存しているものが不完全損傷である。本邦では、現在約 10 万人の脊髄損傷患者が存在し、さらに人口 100 万人あたり年間約 40 人が新たに外傷性脊髄損傷を負うと言われている<sup>2)</sup>。その多くは、交通事故を原因としており、新宮の報告によれば、全体の 43.7% を占めている<sup>3)</sup>。その他の原因としては、高所からの転落 (28.9%) や転倒 (12.9%)、物による打撲・下敷 (5.5%)、さらには、スポーツの事故を原因とする場合も 5.4% 存在する。損傷した部位によって、頸髄損傷 (cervical cord injury) や胸髄・腰髄損傷と呼ばれ、それぞれ異なる病態を呈する。その他にも脊髄損傷に伴い、神経根引き抜き損傷 (nerve root avulsion injury) や外傷性脊柱管内血腫 (traumatic intraspinal hematoma)、外傷性脊髄空洞症 (traumatic syringomyelia) 等の病態を呈する場合がある。神経根引き抜き損傷では、損傷された神経根に一致した上肢部位の運動障害と全感覚脱失の感覚障害を招来するが、下肢運動機能障害は伴わない。外傷性脊柱管内血腫では、血腫高位以下の運動麻痺や感覚麻痺に加えて膀胱・直腸障害を呈する。また外傷性脊髄空洞症は、外傷後 1～33 年後に脊髄外傷の遅発性後遺症として発症し、損傷部位よりも頭側の高位レベルに空洞が進展する。上肢のしびれや疼痛を伴い上肢の筋力低下の状態を呈する障がいである。一側性の場合が多い。

頸髄損傷では、第 4 頸髄節 (C4) 以上の損傷は、肋間筋や横隔膜が麻痺するために全ての呼吸筋が麻痺し呼吸器による管理が必要となる。損傷高位の運動麻痺や感覚麻痺を伴い膀胱・直腸障害、発汗障害の状態を呈する。胸髄以下の損傷では対麻痺 (paraplegia) の状態となる。胸髄損傷では体幹と下肢が麻痺するが、腰髄以下の損傷では体幹の麻痺は

ない。このような損傷部以下の運動および感覚障がいが脊髄損傷の主症状である。運動（筋力）の障がいと感覚の障がいにより神経学的な損傷高位（neurological level）と損傷の重症度（完全損傷ならびに不完全損傷）とによって機能障がいの評価を行う。神経学的損傷高位（損傷レベル）の決定は、正常な機能が残存する主導筋の筋節（myotome）および表在感覚の皮膚分節知覚帯（dermatome）の支配分節部レベルによって決定される。

本研究で対象とするのは、急性期や安静臥床期を経て慢性期にある患者である。通常この時期に至っている患者では、麻痺レベルは固定しており、リハビリテーションを継続したとしても動作可能な筋のレベルは変化する事は無い。すなわち運動器（筋）は、損傷を受けた脊髄分節レベルの神経支配範囲によって恒常的に作動できる筋が既定されているのである。従って脊髄損傷者は、脊髄の損傷部位レベルによって運動感覚麻痺が起きたり不随意となったりする部位が同定される。本論文の対象者であり筆者がパラリンピックに同行した選手の場合、第5胸髄（Th5）に損傷が有るため、背部伸筋群・腹筋群に麻痺が発生し、当然ながらそれ以下の筋群（腸腰筋：iliopsoas muscles・大殿筋：gluteus maximus muscles・大腿筋膜張筋：tensor fasciae latae muscles・大内転筋：adductor magnus muscles・大腿四頭筋：quadriceps femoris muscles・膝屈筋群：hamstring muscles・長腓骨筋：long peroneal muscles・短腓骨筋：short peroneal muscles・前脛骨筋：anterior tibial muscles・後脛骨筋：posterior tibial muscles・下腿三頭筋：triceps muscle of calf など）は、全て不随意である。臨床医学ではこの診断は正しく、皮膚感覚も運動麻痺が発生している部位に等しく感受性を喪失している。

しかしながら、パラリンピックに出場できる様な極めて強度の高いレジスタンス・トレーニングを実践した選手（患者）の場合、皮膚分節知覚帯と運動麻痺が発生する脊髄レベルに相違が生じている状態をしばしば目にする事が有る。この事実は、既に「障害者に対するレジスタンス・トレーニングの効果（3）脊髄損傷の場合」（名古屋芸術大学研究紀要, 30, 1-35, 2009.）に報告している<sup>4)</sup>。具体的には、対象者の脊髄損傷部位から想定される上体背部伸筋群や上体前部の腹筋群が、想定される範囲を超えて機能している事を視覚的・触覚的に示したものである。これらのトレーニングによる変化は、医学的には想定されておらず従来文献の中にはみる事が出来ない。従って生理学的な証明は行われていない。

上体背部の筋群ならびに前部筋群において、もし脊髄損傷レベル以下の、機能する事が不可能と想定される部位に在る筋群の筋活動が認められるならば、脊髄損傷によって機能不全を起こしていると考えられている筋群が、高強度トレーニング（ベンチプレストレーニンング）によって僅かでも機能回復をもたらす可能性を示す極めて重要な知見となり、従来実施されていたリハビリテーションの可能性を大きく上回る効果が期待されるものである。また、これらの知見は、新たな臨床的治療方法の可能性を模索する手掛かりにもなるであろう。

本研究では、パラリンピック代表選手のベンチプレス動作時の上体背部筋群ならびに前

部筋群活動を筋電図学的に調査することを試みた。なお、本稿では上記事象が存在する事を1例でも示す事を目的としたため研究対象を1名のみとした。

## 2. 実験方法

### 2.1 対象

対象は、18歳の時にオートバイの事故により第5胸髄（Th5）の完全断列を受傷した、現在38歳の男性である。22歳からレジスタンス・トレーニングに取り組み始め、2008年の北京パラリンピックでは75Kg級に出場し8位入賞（記録は187.5Kg）、2012年ロンドンパラリンピックでは82.5Kg級に出場し6位入賞（記録は191Kg）の実績を持つディスエイブル・パワーリフティングの選手である。身長168cm、体重は80Kgであり、身障者手帳は1種1級である。移動には車椅子を使用しているが、車椅子への乗り移りは左程困難ではない。他方、排尿・排便に困難を有するが自立した生活を送っている。対象者が実施しているレジスタンス・トレーニングは、自身をIPCパワーリフティングの競技選手として位置付けている事から、トレーニングはその大半がベンチプレスである。以下にその概要を紹介する。

ベンチプレスの強化を目的とするトレーニングには、種々のバリエーションはあるものの、トレーニング時間の殆どはベンチプレスに費やしている。ベンチプレスのトレーニングは通常1日おきに実施しているので、1週間に4回のペースでベンチプレスを行っている事になる。ここでベンチプレスについて若干の説明を加えたい。ベンチプレスは、ベンチ台の上に仰臥位で位置し、両手で重量（プレート）のついたバー（シャフト）を握り、胸の前で挙上動作を繰り返すトレーニング種目である。脚が不自由であったとしても行うことができる最も障がい者に適した運動種目である。そこでパラリンピック競技においても正式種目として早期から採用され、多くの国の選手が競技として取り組んでいる<sup>5)</sup>。ベンチプレスは、上体の前面の筋群（大胸筋：pectoralis major muscles・小胸筋：pectoralis minor muscles・前鋸筋：serratus anterior musclesなど）を使用するのみならず、背面の筋群（広背筋：latissimus dorsi muscles・肩甲拳筋：levator scapulae muscles・菱形筋：rhomboideu muscles・小円筋：teres minor muscles・大円筋：teres major muscles・肩甲下筋：subscapularis muscles・棘上筋：supraspinatus muscles・棘下筋：infraspinatus musclesなど）をも多用することで高重量を挙上することが可能となる。したがって、正確な動作で行われるベンチプレスは、上体前面の筋群のみならず、背面の筋群をも強化できる、上半身の強化トレーニングとして大変有効な種目である。これらの大筋群に加えて、肩の筋（三角筋：deltoid muscles）や上腕の筋（上腕三頭筋：triceps brachii muscles）を動作の中で使用するため、これらの筋群の強化に対しても効果的である。

## 2.2 測定

測定は、ジーワンシステム社製筋電図アンプを用いて行った。筋電測定部位は大胸筋、広背筋、腹直筋、脊柱起立筋（最長筋）の4か所であり、全て体幹部右側の筋であった。図1、図2は、実際に筋電図測定用の電極を装着している様子を示している。図にみられるように、筋電図は銀塩化銀ディスプレイ電極（メッツ社製、エルロード）を用いて双極誘導によって表面筋電図法により導出し、時定数0.03ミリ秒のローパスフィルターで平滑化した。



図1 体幹部前面の筋電図測定部位（大胸筋と腹直筋）



図2 体幹部後面の筋電図測定部位（広背筋と脊柱起立筋）

## 2.2.2 測定条件

筋電図測定は、ベンチプレスを行っている動作時に行った。すなわち、対象者がベンチプレス台上に仰臥位で位置して合図と共にバーベルをラックアウトし、ゆっくりとした動作でバーベルを胸の上に降ろしてバーを一瞬静止させ、その後に両腕（肘関節）が完全に伸びきるまでバーを挙上する一連の動作期間を測定した（図3）。使用したバーベルの重量は、対象者のベンチプレス最高挙上重量の50%(100kg)、70%(140kg)とした。さらに、座位安定状態における各筋の様子を知るために、ベンチプレス台上での座位姿勢時の筋電図測定を行った。

## 2.2.3 筋電図データ処理

導出された筋電図は、16ビットAD変換ボード（コンテック製ADA16-32/2F）により、パーソナルコンピュータに12kHzのサンプリング周波数で集積し、その後オフラインで解析した。そして動作時の筋電図活動の周波数特性を経時的に捉えるために、ガボールウェーブレット手法による筋電図のパワースペクトル解析を行った。解析にはジーワンシステム社製の解析ソフト（Analog Recorder Pro）を用いた。

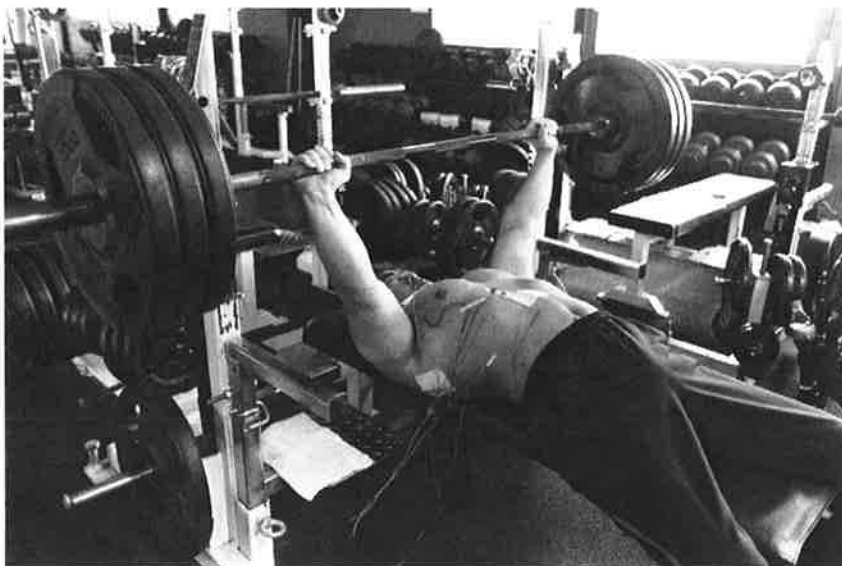


図3 ベンチプレス時の筋電図側風景  
最高挙上重量の70%（140Kg）をベンチプレスしている様子

## 3. 結果

### 3.1 座位安静時の筋電図

図4にベンチプレス台上で座位安静状態の筋電図記録を示した。座位での各筋の筋電図には、わずかな筋電図活動が見られた。また脊髄損傷レベル以下の脊柱起立筋に心電図活動とともに筋電図活動が認められた。これらの筋電図について、ウェーブレットによるパ

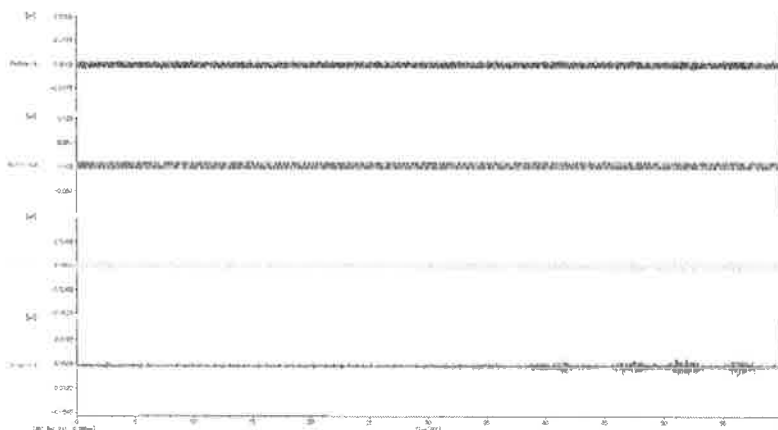


図4 座位姿勢時の筋電図  
上から大胸筋、腹直筋、広背筋、脊柱起立筋の筋放電を示している

ワースペクトル解析を行った (図5、図6)。大胸筋、広背筋において約 30Hz の周波数帯域に律動的活動、約 40 から 80Hz の周波数帯域に持続的パワー成分が認められ、それぞれ心電図と筋電図活動と考えられた。脊髄損傷レベル以下の脊柱起立筋では、50Hz 付近をピークとした約 20 から 150Hz の周波数帯域に顕著なパワー成分が認められた。腹直筋は約 30Hz の周波数帯域に律動的活動、約 40 から 80Hz の周波数帯域に持続的パワー成分が認められたが、現象が小さく、80Hz 以上の帯域に不規則な雑信号も認められ、筋電図活動として明確な判断が付けられなかった。

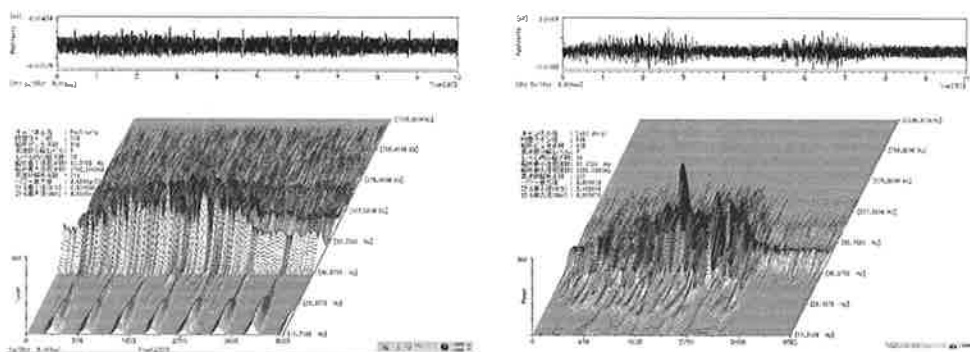


図5 座位時の大胸筋 (左図) と広背筋 (右図) の筋電図から求めたパワー成分

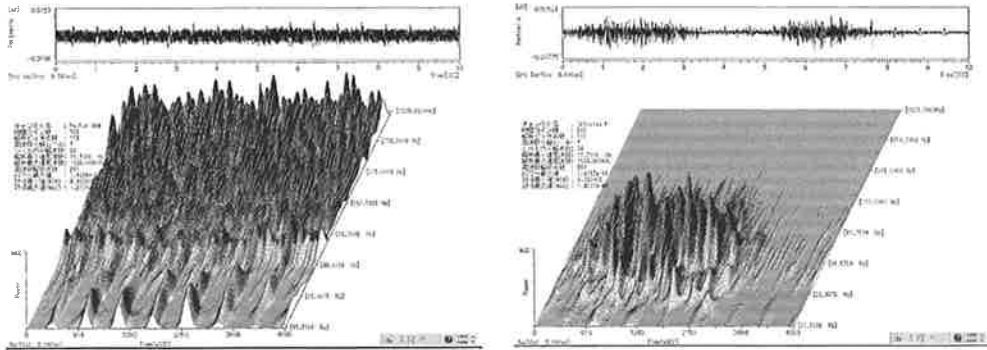


図6 座位時の腹直筋（左図）と脊柱起立筋（右図）の筋電図から求めたパワー成分

### 3.2 最高挙上重量の50%の筋電図

図7に最高挙上重量の50%（以下、50%拳上）でのベンチプレス時の筋電図記録を示した。ラックアウト開始の合図（最下位の矩形信号）でベンチプレスを行った際、大胸筋（最上位）において動作に応じて律動的な筋電図活動が著明に認められた。また広背筋（上から3番目）にはわずかではあるが動作に応じた比較的持続的な筋電図活動が観察された。脊髄損傷レベル以下の脊柱起立筋においても広背筋と同期した比較的持続的な筋電図活動が認められた。

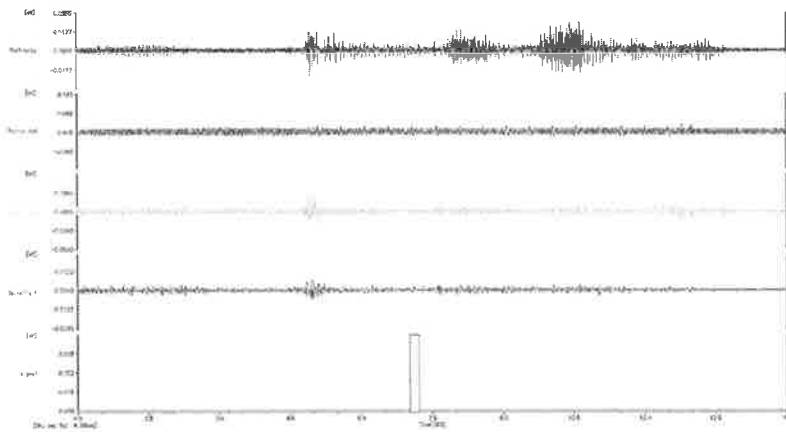


図7 最高挙上重量の50%（100Kg）のベンチプレスを行ったときの筋電図上から大胸筋、腹直筋、広背筋、脊柱起立筋の筋放電を示している

ベンチプレス動作時の筋のパワースペクトルは、大胸筋において50Hz付近をピークとした約20から150Hzの広い周波数帯域に顕著なパワー成分が律動的に出現した。広背筋は、100Hz付近をピークとした約20から150Hzの周波数帯域にパワー成分が比較的持続的に出現した。これら機能的残存部位にある筋のパワー成分の分布を図8に示した。また、それ以外の筋（腹直筋と脊柱起立筋）のパワー成分の分布を図9に示した。その際には、機能的残存部位のパワースペクトルよりもピーク値が小さいため、全体的に拡大して表示

した。脊椎損傷レベル以下の腹直筋は、拳上時に 50Hz 付近に急峻で顕著なピークが出現した。脊柱起立筋は約 40 から 80Hz の周波数帯域に広背筋と同期した持続的パワー成分が認められた。

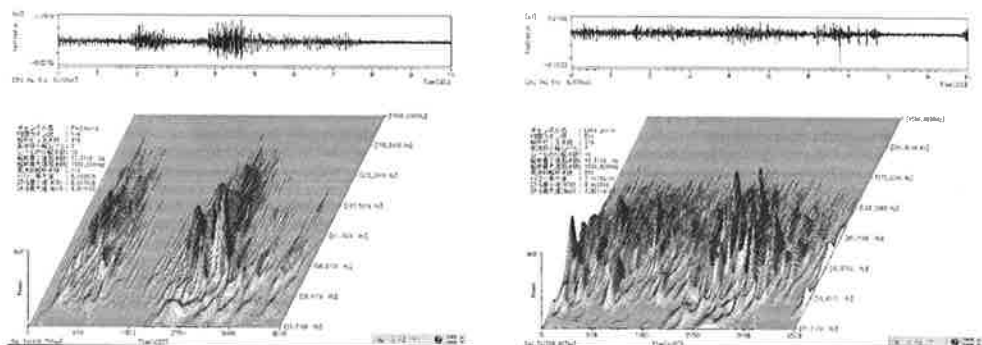


図8 最高挙上重量の 50% (100Kg) 重量のベンチプレス時の大胸筋 (左図) と広背筋 (右図) の筋電図から求めたパワー成分

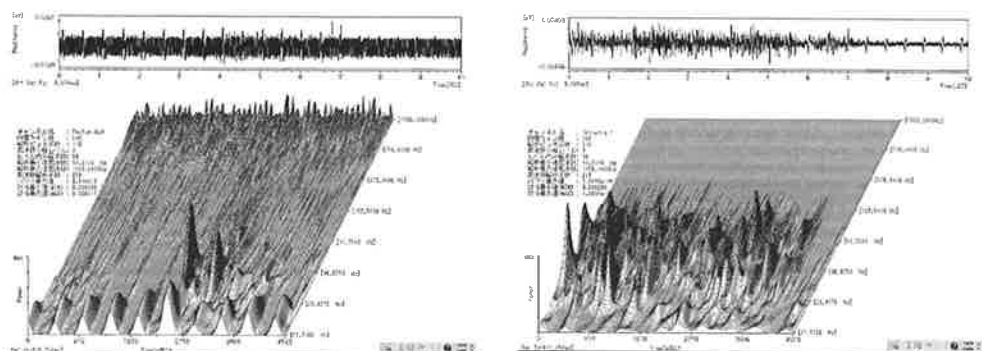


図9 最高挙上重量の 50% (100Kg) 重量のベンチプレス時の腹直筋 (左図) と脊柱起立筋 (右図) の筋電図から求めたパワー成分

### 3.3 最高挙上重量の 70% の筋電図

図 10 に最高挙上重量の 70% (以下、70% 拳上) でのベンチプレス時の筋電図記録を示した。70% 拳上時の筋電図活動は、50% 拳上時と同様のパターンで筋電図活動がみられたが、重量の増加に伴った筋電図活動の増大がみられ、動作に応じた律動的な筋電図活動が顕著に観察された。



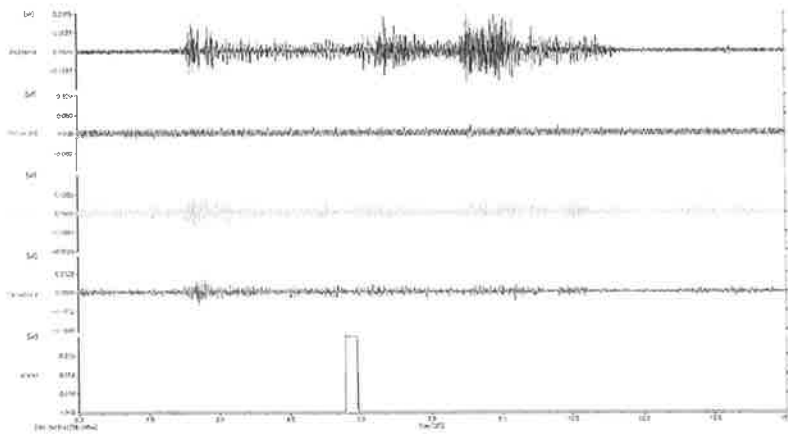


図10 最高挙上重量の70% (140Kg) のベンチプレスを行ったときの筋電図上から大胸筋、腹直筋、広背筋、脊柱起立筋の筋放電を示している

ベンチプレス動作時の筋のパワースペクトルでも50%挙上と同様の周波数帯域に、同様の局面でパワー成分が認められ、そのパワーが顕著に増大した。特に、脊髄損傷レベル以下の腹直筋では、挙上時に50Hz付近に認められたピークがより急峻で顕著となった。また脊柱起立筋でも約40から80Hzの周波数帯域に急峻で顕著なパワーの増大が認められた。大胸筋と広背筋のパワースペクトルは50%挙上時に比して筋の活動量が多いものの類似した活動形態であったため、機能的残存部位以外にある腹直筋と脊柱起立筋についてのみ筋放電のパワー成分を図11に示した。

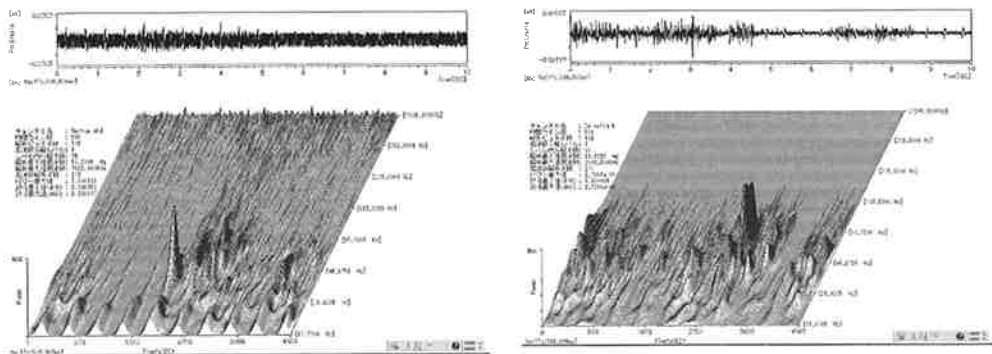


図11 最高挙上重量の70% (140Kg) のベンチプレス時の腹直筋 (左図) と脊柱起立筋 (右図) の筋電図から求めたパワー成分

## 4. 考察

### 4.1 脊髄損傷による機能障がいの医学的評価

脊髄損傷による障がいの主症状は、損傷部位以下の運動・感覚麻痺である。したがって、その機能障がいの評価も神経学的診断によって行われている。損傷の重症度は麻痺域の運動や感覚機能の残存程度等、神経機能の残存程度により、完全損傷から不完全損傷までの

範囲に渡り判定される。一方、機能の損傷範囲は、神経学的な損傷高位によって示される。前述した様に、この損傷高位は、損傷レベルとも表現され、正常な機能が残存する主導筋の筋節 (myotome) 並びに皮膚分節知覚帯 (dermatome) によって決定される。現在、本邦における脊髄損傷の医学的評価は「脊髄損傷の神経学的および機能的分類のための国際基準 (International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury)」に基づいて行われている。この基準は、脊髄損傷の障がい評価法として米国脊髄損傷協会 (American Spinal Injury Association ; ASIA) が 1992 年に改訂したものを、国際パラプレジア医学会 (International Medical Society of Paraplegia ; IMSOP) も公認し基準化したものである<sup>6)</sup>。その評価基準は凡そ以下の通りである<sup>7)</sup>。

#### 4.1.1 神経学的評価 (Neurological examination)

感覚の評価 (sensory examination) は、第 2 頸髄節 (C2) から第 4、第 5 仙髄節 (S4,S5) の 25 の皮膚分節知覚帯について検査点 (key sensory point) を定め、これら各点の感触 (light touch) と痛覚 (pin prick) を検査し、0 (脱失)、1 (鈍麻または過敏)、2 (正常) の 3 段階に分けて、左右それぞれについて実施する。また、運動の評価 (motor examination) は、第 5 頸髄節 (C5) から第 1 胸髄節 (Th1) および第 2 腰髄節 (L2) から第 1 仙髄節 (S1) の各筋節について各々一つの検査筋 (key muscle) を定め、各 key muscle の筋力を記録する事で行う。筋力評価は 0 から 5 までの 6 段階で行い、左右それぞれについて実施する。

#### 4.1.2 感覚スコアと運動スコア / 神経学的レベル (Sensory and Motor Scores / Levels)

感覚と運動の残存機能を数量的に表す指標として、感覚スコアと運動スコアが設定されている。神経学的レベル (neurological level) は、感覚レベル (sensory level) と運動レベルを点数で評価し、各々左右の合計を求めて触覚スコア (light touch score) と痛覚スコア (pin prick score) とする。感覚レベルは、損傷部位において触覚と痛覚の両者ともに正常な最下位の筋節の番号で表す。この場合には、原則として直上の key muscle の筋力が 6 段階中 5 (最高位) である事を条件とする。

#### 4.1.3 完全損傷と不完全損傷の定義

第 4 仙髄節 (S4) 第 5 仙髄節 (S5) 領域 (肛門周辺と肛門内) の感覚が脱失し、かつ外肛門括約筋の随意収縮が不可能なものを完全損傷とする。いずれか一つでも機能が残存すれば、不完全損傷とする。

#### 4.1.4 部分的機能残存域

完全損傷の場合に神経学的レベルより下位に運動・感覚機能が部分的に残存している領域 (zone of partial preservation ; ZPP) があればその髄節番号をすべて記載する。

#### 4.1.5 ASIA impairment scale (modified from Frankel)

Frankel<sup>8)</sup>による重症度分類を改変した機能障がいの重症度スケールによって完全損傷 (complete) と不完全損傷 (incomplete) を筋力により分類して明確に評価する。すなわち、不完全損傷を、神経学的レベルより下位の運動は完全麻痺、感覚は S4-S5 領域を含み残存するものを B (incomplete)、神経学的レベルより下位に運動が残存し麻痺域の key muscle の過半数が筋力 3/5 未満のものを C (incomplete)、神経学的レベルより下位に運動が残存し麻痺域の key muscle の過半数が筋力 3/5 以上のものを D (incomplete) と分類し評価する。

#### 4.2 対象者の機能的残存部位の評価

対象者は第5胸髄 (Th5) レベルにおける完全断裂の脊髄損傷者である。医学的診断評価では、胸髄・腰髄損傷は手の機能は健全で、主に下半身に麻痺を持ち、内、第8胸髄損傷 (Th8) 以上は、内臓機能不全等を伴う体幹麻痺と、腹筋・背筋麻痺による座位不安定があり、座位姿勢をとるには、何かにもたれる必要がある。更に、第5胸髄損傷 (Th5) 以上は、発汗体温調整機能不全を併せ持つ。本研究の対象者は、図12に示した様に、体幹部前面では乳頭部から下部の皮膚知覚は無く、また運動感覚 (筋感覚) もそれに一致する部位でそれ以下の領域が機能不全を起こしている。また図13は、対象者の背部の様子を示しているが、白線で示した部分以下の皮膚知覚は完全になく運動感覚も消失している。したがって機能的残存部位は、図12、図13において白線で示した位置より上部領域にある筋群である。すなわち、ベンチプレスを行う時に必要な大胸筋や小胸筋、前鋸筋などの体幹部前面の筋群に加えて、広背筋や肩甲拳筋、菱形筋の一部、小円筋、大円筋、肩甲下筋、棘上筋、棘下筋など、背部にある筋群も機能している。さらに、図12によっても観察される様に、随意的には収縮する事が不可能な背部に在る筋群で、白線よりも下部に位置している筋群についても、ベンチプレス動作時には機能している様に見受けられ、写真からは菱形筋の下部や脊柱起立筋が発達している事が窺われる。本研究では、視覚的ならびに触覚的に判断して、機能している様に推測されるこれらの筋群に対して筋電図法を用いた検証を行い、その状態を明らかにした。

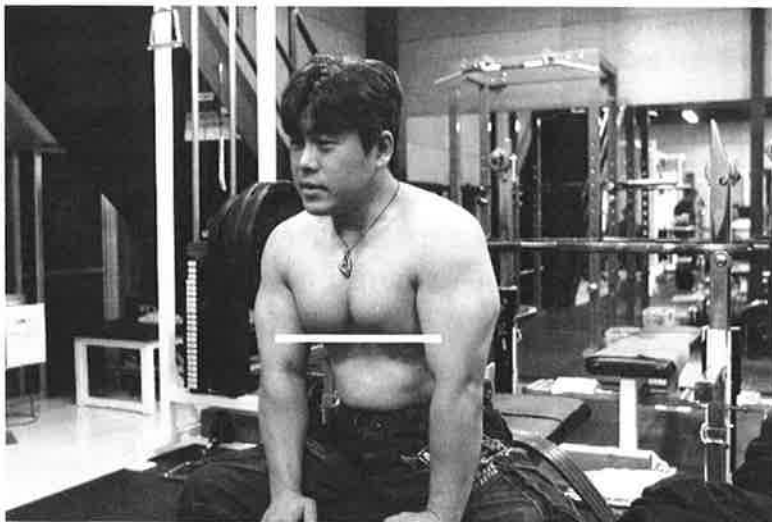


図 12 体幹前面の知覚麻痺が始まる境界線  
この白線以下の皮膚感覚は消失しており、筋感覚も無い



図 13 背部筋群の様子  
知覚麻痺が始まる境界線を白線で示している。

#### 4.3 筋電図から判断できる筋活動の評価

筋電図測定の結果から、機能的残存部位にある大胸筋や広背筋に全てのベンチプレス動作時で顕著な筋の活動が観察された。これらの筋はベンチプレス動作を行う際に必要な主導的な役割を果たす筋であるため、その活動が確認されるのは当然の事である。他方、機能的残存部位以外に在る腹直筋や脊柱起立筋（最長筋）についても、両条件（最大挙上重量の 50%・70%）共に、筋放電が認められた事は特筆に値する結果である。つまり、この

事実は機能的残存部位以外に在る筋が筋活動をしている可能性を示唆するものである。

本研究における筋電図測定は、表面筋電図によって行っている。この表面筋電図の放電は、放電振幅と放電頻度によって構成されている。一般に、これらの放電を評価するためには積分筋電図 (IMEG) やパワースペクトル (周波数分析) が用いられ、結果に示した図 (図 5,6,8,9,11) はそれである。この内、積分筋電図は、筋放電振幅と頻度が統合されたものであり、量的評価の指標として用いられている。他方パワースペクトルは筋放電頻度を多く反映したものであり、質的な評価を行う際に用いられている。永田<sup>9)</sup> は、パワースペクトルの周波数帯域の分析から、測定された筋電図の周波数帯域を、低周波数帯域 (45Hz 以下)、中間周波数帯域 (40 ~ 80Hz)、高周波数帯域 (80Hz 以上) の 3 群に統計的に分類した。その上で、45Hz を中心とした周波数帯域は、静的な運動や姿勢保持のための緊張系の運動単位の興奮に相当し、また 70Hz (針電極を使用しており、表面電極法ではもう少し低い) を中心とした周波数帯域は動的な筋群の活動を反映するものである事を報告している。さらに、同じ動的な運動でも筋群の種類によって異なった放電状態が示され、与えられた運動に直接関係している筋群のみが相動的な筋放電を示すものとしている。この知見を念頭において、機能的残存部位にある大胸筋ならびに広背筋の筋電図を概観すると、両者共に約 40 から 80Hz の間に周波数帯域が分布しており、中間周波数帯域を中心とした動的な筋活動が行われていた事を示していると考えられる。また脊柱起立筋の筋電図のパワースペクトルから、その周波数帯域を概観すると、広背筋や大胸筋の活動によって示されたパワースペクトルのピーク値よりも低いものの、同様に約 40 から 80Hz の間に周波数帯域が分布しており、中間周波数帯域を中心とした動的な筋活動が行われていた事を示唆する結果が得られた。今回測定した部位は、脊柱起立筋と呼ばれる 3 種 (細かくは 9 種であるが) の筋群 (最長筋 : longissimus muscles · 腸肋筋 : iliocostal muscles · 棘筋 : spinalis muscles) の内の最長筋であり、この筋の働きは姿勢の保持だけでなく、背中をアーチ状に反らせる役割を果たしている。この動作はベンチプレスを行う際に姿勢を安定させ挙上する力を発揮し易い様に働き、多くのベンチプレス競技者が使う動作である。この事からすれば、脊柱起立筋にみられた筋電図パワースペクトルの周波数帯域が、本筋活動の動的な部分を反映したものである事を推察させる。さらに腹直筋の筋電図においては、より小さなピーク値ではあるが、25 から 50Hz の間に周波数帯域の放電が観察され、低周波数帯域によって示された静的な筋活動であったことを推察させた。この結果は、腹直筋がベンチプレス動作時に姿勢・動作を安定させるべくコントロールする働きをしている事を示唆するものであり、筆者らがベンチプレスを行う際に意識する動作と一致するものである。

筋電図上の放電は、筋の活動無くして現れる事は無い。したがって筋電図上で放電が確認された事実は筋の活動を表しており、大変重要な結果である。一方筋放電には、直近の放電により干渉される所謂クロストークと呼ばれる混信が存在することが知られている<sup>10)</sup>。

この現象は、隣接する筋群からの筋放電が当該筋に影響を与え、随意的ではないにしても筋電図活動として導出される事象である。しかしながら本研究で対象としたディスエイブル・パワーリフティング選手の場合、視覚的観察によっても筋の緊張収縮が認められることから、隣接筋からのクロストークは否定できないものの、当該筋の活動としてとらえることの方が妥当であると考えられる。前述したパワースペクトル分析からも、実際に筋の活動を伴った放電である事が推察されるが、従来の臨床医学的解釈ではこの事実を説明する事は難しい。本研究は、高強度のレジスタンス・トレーニングを長期間に渡って行った結果、何らかの臨床学的変化が起きている可能性を示したに過ぎず、そのメカニズムに関しては十分な説明を持たない。レジスタンス・トレーニングを長期間実施している選手が、最初は両腕を挙上することで、その重さだけで前のめりに倒れてしまう事もあった（つまり、腕の重さを体幹部分が支えられない）が、現在はその様な心配は無くなった、という報告からも体幹部の筋群の働きが少なからず起きている事を伺わせるものである。

## 5. おわりに

本研究は脊髄損傷者であるディスエイブル・パワーリフティングの選手において、医学的に想定されている機能的残存部位以外に在る筋群の活動を認める事が出来るかを筋電図法によって同定しようとしたものである。その結果、脊柱起立筋については動的な筋活動が推定され、腹直筋では静的な筋活動を推測させる結果が得られた。通常、完全断裂である脊髄損傷者においては、機能的残存部位以下の筋群を意識的に動かす事は不可能である。本研究の対象者においても、その領域に在る筋を随意的に収縮させる事は出来ない。しかしながら、高重量を扱うベンチプレス動作時に本人の意識下ではないにせよ、脊柱起立筋や腹直筋に筋放電が認められた事実は、筋活動が存在する事を示唆するものであり、従来の知見と大きく異なる。この結果は、脊髄損傷者のリハビリテーションにおいても、様々な可能性を想像させるに十分なものである。つまり、本研究の対象者の様に長期間に渡る高強度レジスタンス・トレーニングを継続した場合には、何らかの身体的な変化が起これる可能性が有るという事である。この変化は、通常の強度で実施されるリハビリテーションでは起これないかもしれないし、またその様な患者を目の辺りにする機会も少ないであろう。パラリンピックを目指す様な継続した高強度トレーニングが行われた例を観る事は通常困難である事も医療場面における報告の無さの理由かもしれない。本研究は、あくまで1症例に起きた事象を検証したに過ぎないが、今後症例を増やし高強度レジスタンス・トレーニングの効果の一つとして、本報告の様な事象が普遍化されるのであれば、臨床医学におけるリハビリテーションに対しても大きな示唆を与えるものとなる事は想像に難くない。また、今回記録された筋電図は、現時点での対象者の身体に起きている事実を検証した訳であるが、ここに至るまでに起きた身体内部の変化（おそらくは神経学的変化）については、その詳細なメカニズムは不明である。脊柱起立筋や腹直筋の上部など、かろう

じて神経が到達している部位を今後の重要な研究課題としたい。

## 参考文献

- 1) 窪田 惺：脊椎・脊髄疾患を極める。永井書店，308-365，2010。
- 2) 白澤達蔵、芝 啓一郎、植田尊善、大田秀樹、森 英治、力丸俊一：スポーツによる脊椎・脊髄損傷の特徴。脊椎脊髓5，317-323，1992。
- 3) 新宮彦助：日本における脊髄損傷疫学調査。第3報（1990-1992）。日バラ医学会誌8，26-27，1995。
- 4) 石田直章：障害者に対するレジスタンス・トレーニングの効果（3）脊髄損傷の場合。名古屋芸術大学研究紀要，30，1-35，2009。
- 5) 石田直章：障害者スポーツとしてのディスエイブル・パワーリフティング。名古屋芸術大学研究紀要，26，1-14，2005。
- 6) Ditunno JF Jr, Young W, Donovan WH, Creasey G : The international standards booklet for neurological and functional classification of Spinal cord injury. Paraplegia 32, 70-80, 1994.
- 7) 千野直一編：現代リハビリテーション医学 改訂第3版。金原出版，381-384，2009。
- 8) Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G et al : The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. Paraplegia 7, 179-192, 1969-1970.
- 9) 永田晟：筋と筋力の科学，筋収縮のスペクトル解析。不味堂出版，153-156，1984。
- 10) Winter DA, Fuglevand AJ, Archer SE : Crosstalk in surface electromyography : Theoretical and practical estimates. J Electromyography and Kinesiology 4 (1), 15-26, 1994.