

# Para Powerlifting 競技の強化に向けたベンチプレス・フォームの改良に対するバイオメカニクス的アプローチの実践研究

*A Study of Improvement of the Bench Press Form to Strengthening in Para Powerlifting Game, Practical Research on Biomechanical Approach*

石田 直章 *Naotaka Ishida*

(人間発達学部教養部会)

菅嶋 康浩 *Yasuhiko Sugajima*

(デザイン学部教養部会)

## 1. 緒言

パラリンピックにおける重量挙げ種目は、現在 IPC Powerlifting と呼称されているが、リオ・パラリンピック以後は Para Powerlifting にその呼び名が変更されることが提案されている。競技形態はベンチプレスである。参加選手は、下肢切断や脊髄損傷、脳性麻痺、ポリオ後遺症あるいは小人症等で上肢の使用に問題を持たない者に限定されているため、台上に仰臥位で位置し、バーベルを挙上する能力を競い合うベンチプレスは最適な競技方法である。Para Powerlifting では、健常者が通常行うベンチプレス形態とは異なり、両脚を乗せることができる専用のベンチプレス台を使用し、両脚を伸展して台上に乗せた仰臥位の状態で試技を行う。この様なフォームを強いられるベンチプレスでは、両脚を床面に接地して行う場合とは多くの点で異なる課題を克服しなければならない。しかしながら、この様に不利な条件で行われる試技であっても、Para Powerlifting の競技記録は同体重の健常者のベンチプレスの記録に比して、これを上回っている場合が多く<sup>1)</sup>、健常者のベンチプレス競技者も学ぶべき点は多い。現在、本邦の Para Powerlifting の競技者は、標準記録を上回り、且つ世界の各階級のランキングが10位以内でなければ出場できない Rio de Janeiro パラリンピックに僅かに男子選手が3人出場できるに過ぎない。男女合わせて最大20名が参加可能であるにもかかわらずである。勿論競技人口が少ないという統計上の課題は有るものの、世界の上位にランキングされる選手を育てるためには、科学的なアプローチに基づくトレーニングを行っていく必要が有る事は否めない。そこで筆者らは「パラリンピックにおけるパワーリフティング競技の強化に向けたベンチプレス・フォームの改良に対するバイオメカニクス的アプローチの提案」と題する論文を提示し<sup>2)</sup>、Para Powerlifting 競技におけるベンチプレス強化方法に関する科学的アプローチを行うにあたり「海外の優れた競技者のフォームの研究」「ベンチ台上におけるベンチプレス動作時の肩甲骨周囲の圧分布の解析」「三次元動作解析によるベンチプレス動作の時系列解析」等、バイオメカニクス的なアプローチ方法を提案し、その有効性を主張してきた。

健常者が行う様な両脚の足底部を床に接地したベンチプレス・フォームは、脚部の力や

臀部、背部の力を使えるため、台上で仰臥位をとって行うフォームとは、必然的に多くの点で異なる。従って科学的アプローチを試みる場合においても、Para Powerlifting に特化したベンチプレス・フォームに対する分析は独自に行われる必要が有る。しかしながら、Para Powerlifting のフォームを対象とした科学的分析を行った報告は皆無である。また、健常者の行うベンチプレスに関する文献を概観しても、その多くが当人の経験に基づくトレーニング方法の紹介を行ったものであり、科学的アプローチによる研究は少ない。これまでに行われた研究としては、本邦では、古く、中川・熊本が行った筋電図学的分析を見る事ができる<sup>3)</sup>。彼らは、ウェイトリフティングの選手にベンチプレスを行わせた時の筋の作用機序について筋電図学的に検討しており、その論文では、手関節の姿勢制御を示すような筋の働きが認められないことや、肘関節は単純に伸展を行っているだけで、姿勢制御を示す筋の働きは殆んど無い事、或いは、筋力に余裕のあるときでは肘関節伸展は上腕三頭筋外側頭のみで行われ、筋力の劣るときは同筋長頭も参画する事等を報告している。さらには、長頭の収縮がもたらす肩関節伸展の力は、肩関節屈曲筋群の活動の増強で消却される事や肩関節は水平位内転と屈曲の合成された動きを示す筋放電様相を呈する事、挙上能力の劣る者には、無駄な、かつまた抑制的と考えられる筋放電も認められた事等を報告しており、ベンチプレス動作に関する多くの知見を見出している。中川らは、その後も筋電図学的研究を続け、数回の学会発表と論文の公表を行っている<sup>4)</sup>。同じく筋電図を用いた研究報告としては、半田らによる、異なる上体の傾斜角度による種目(フラットベンチプレス、インクラインベンチプレス、デクラインベンチプレス)時の大胸筋、前鋸筋、三角筋の活動を分析した研究も行われている<sup>5,6)</sup>。その後もベンチプレス動作に関する筋電図解析による研究報告は幾つか認められる<sup>7,8)</sup>が、ベンチプレスをパラリンピック競技として扱い、その強化を検討した研究は見られない。海外の研究においても同様に健常者のベンチプレスに関する報告は幾つか散見されるものの<sup>9-12)</sup>、Para Powerlifting に関するフォームの研究は皆無である。

そこで本研究では、従前に報告している IPC Powerlifting 競技のベンチプレス強化に向けたフォームの改善<sup>2)</sup>に対するバイオメカニクスの見地からの提案について、Rio de Janeiro パラリンピックに参加する選手を対象として、実際に測定を行い、その有用性を検討する事とした。なお、その際には、選手が実際に抱えている課題を検出し、その解決方法を模索する事にも本研究の具体的な目標として取り組む事とした。加えて、本検証を通して今後の応用可能な科学的アプローチの方向性を確認する事を目的とした。

## 2. 方法

### 2.1. 対象

対象は Rio de Janeiro Paralympic で実施される競技である Para Powerlifting の 54kg 級に参加する N 選手 (以下 TN とする) であった。TN は、23 歳時の交通事故により脊椎

の第11胸椎：Th11 - 第1腰椎：L1に完全断裂の脊髄損傷を受傷したため、両下肢を動かす事は全くできない。1977年4月生まれで現在39歳である。身長は165cm、体重は54kgである。最近の競技成績は次の様である。

- ・2014年は、西日本障害者パワーリフティング選手権大会 男子54kg 級で優勝（131kg）、同年に、韓国の仁川（インチョン；Jinsen）行われた Asia Paralympic 男子54kg 級で6位（123kg）に入賞している。
  - ・2015年には、全日本障害者パワーリフティング選手権大会 男子54kg 級優勝（133kg）。これは日本新記録であった。同年 Powerlifting Asia Open Championships (Kazakhstan) 男子54kg 級6位（123kg）。さらに同年、西日本パラ・パワーリフティング選手権大会 男子54kg 級で優勝（127kg）している。
  - ・2016年には、2月に UAE（Dubai）で行われた The 7th FAZZA IPC Powerlifting World cup において男子54kg 級に参加して3位（130kg）に入賞し、その後 Rio de Janeiro Paralympic 出場を決めている。
- なお本研究は、名古屋芸術大学研究倫理委員会の承認を受けている。

## 2.2. Para Powerlifting におけるベンチプレスとは

ベンチプレスとは、ベンチ台の上に仰臥位で位置し、両手で重量（プレート）のついたバーベルシャフトを握り、胸の前で挙上動作を行う種目である。健常者が行うベンチプレスは、両脚の足底部を床面と接した状態で実施するが、Para Powerlifting では、両脚を台上に載せて仰臥位で試技を行う事に特徴が有る。脚が不自由であったとしても行うことができる障がい者に適した運動種目の一つである。そのためパラリンピックでは、ベンチプレスを重量挙げの種目として早期から採用している。健常者が行うベンチプレスは、両脚を床面に接地しているの、背部のアーチを作り易く、シャフトの動く距離を少しでも短くする様なフォームによって行っている。一方、Para Powerlifting では、両脚を伸展させて台上に乗せるため、健常者のフォームとは必然的に異なるフォームを採る。

## 2.3. 測定

### 2.3.1. 測定条件

測定の対象としたベンチプレスは、対象者である TN の1回の最大挙上重量（One Repetition Maximum：1RM）を確認し、その70%の重量で10回の反復挙上を行うという条件で実施した。TN がこの重量でベンチプレスを行った場合、最初の数回は本人にとって軽い設定であるため、左右の筋活動を意図的に調整する事が可能であるが、筋疲労蓄積が起きる10回目の挙上では、無理なく挙上する事が困難である。そのため、TN の弱い部位が必然的に表れて来る事が想定され、フォームの乱れが予想される。測定は、この状態を意図的に作り出すために10回の挙上全ての反復試技について実施した。これにより、

視覚的には確認できない筋活動レベルのフォームの乱れを客観的に観察出来る可能性について検討する事とした。

### 2.3.2. 筋電図の導出

ベンチプレスで使用する筋は、上体前面の筋群（大胸筋：pectoralis major muscles・小胸筋：pectoralis minor muscles・前鋸筋：serratus anterior muscles など）や背面の筋群（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）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）等である。本研究では、これらの筋群の中でも特にフォームの構成に大きく関与するものと思われる、大胸筋、広背筋、三角筋中央部の3カ所を導出筋として採用し、筋力発揮の左右差を見るために左右同じ筋の、出来るだけ同じ位置に電極を貼付し、左右6カ所から筋電図を導出した。電極の貼付位置の同定は栢森の方法<sup>13)</sup>を参照して行った。筋電図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。筋電図導出には銀塩化銀ディスポーザブル電極（メッツ社製、エルローデ）を用いて双極誘導により表面筋電図法で導出し、時定数0.03ミリ秒のローパスフィルターで平滑化した。筋電図として得られた電気信号は、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10kHz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。

図1は、実際に測定時に貼付した電極と導出の状況を正面と背面から見た場面を示したものである。上図は、被験者を正面から見ているので、大胸筋と三角筋中央部の電極貼付位置を見る事が出来、また左肩に貼付しているのはアースである。下図は、背面から観察した様子であり、広背筋に貼付した電極を示している。詳細は後述するが、肘に装着したゴニオメーターの様子も図に示している。

### 2.3.3. 肘関節角度の測定

ベンチプレス動作中の左右の肘関節角度の変化を時系列に従って確認するために両肘関節にゴニオメーターを取り付けた。使用したゴニオメーターはS&ME社製（DL-260）であり、図1に示した様に、肘関節の軸と一致する様に装着した。すなわちゴニオメーターのアームは肘関節をまたいで前腕と上腕に固定用のテープを使用して取り付けた。ゴニオメーターから得られた電気信号は、筋電図と同様に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10kHz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。

### 2.3.4. 背面圧分布の測定

Para Powerliftingのベンチプレスは、台上に仰臥位で位置し、身体背部は、後頭部、肩甲骨周辺、臀部、さらには伸展した脚部の裏側全体をベンチ台表面に付けて実施する。



図1 電極並びにゴニオメーターを装着した様子  
上図は正面から、下図は背部から電極の装着位置と  
ゴニオメーターの装着状況を示している。

中でも肩甲骨周辺部位はバーベルの重量が直接掛かる場所であり、その重さを全て受けて、また押し返すための床からの反力も受けて制御しなければならない大切な部分である。従って、この肩甲骨周辺の背面圧の状態を床反力から検出し、ベンチプレス動作中の背面圧分布を詳細に測定する事により左右均等にバーベルを押し挙げるフォームを獲得する事は競技力向上に向けた大きな課題の1つである。そこで本研究では、ベンチプレス動作中の肩甲骨周辺の背面圧分布を、住友理工製圧測定シート SR ソフトビジョン（数値版

SVZB4545L) を用いて測定した。SR ソフトビジョン (数値版) は、マットサイズが450×450mm、本体重量は260gである。センサーの数は256個であり、前後左右方向に16分割され、圧力の計測範囲は20~200mmHgであり、圧の上昇に伴い、白→水色→黄緑→黄→赤で圧分布を表示できるものである。また画面の更新間隔は約0.2秒と、とても高速である。図2は、ソフトビジョンのマットをベンチプレス台に設置した様子を示した写真である。マットの位置は被験者の肩甲骨の直下に来る様に設定し、その際にはベンチプレス動作を行っている間でもマットからはみ出さない様にセットした。圧測定シートから導出された信号は無線LAN通信によりスマートフォンに記録した。その後、データをパーソナルコンピュータに転送し、SR ビジョン専用解析ソフトウェアを活用して解析した。



図2 ベンチプレス台に設置したSRソフトビジョン(数値版)のセンサーシート

### 2.3.5. 手掌部圧の測定

ベンチプレスを行う際には、必ず両手でバーベルシャフトを握らなければならないが、ルールでは、シャフトを握った両手の間隔は81cm以内であり、シャフト上には、この81cmを示すマークが刻まれている。そのマークが親指と人差し指で握って隠れる処まで手幅を広げる事が可能であるため、バーベルシャフトの胸上の挙上距離を最小にするようにグリップ幅をとろうとすれば、手幅は81cmという決まった値となる訳である。しかしながら、実際には選手は様々な手幅を採用しており、その手幅の違いによって、主としてベンチプレス動作に關与する事が可能な筋群にも若干の違いが想定される。手幅を広くすれば挙上距離は少なく済み、有利であるという考え方も有る。この場合、より多く使われる筋群は大胸筋や小胸筋等の身体全面にある筋群である。それに対して、手幅をナローにして試技を行えば、身体背部の肩甲骨周りの筋群 (背筋広や肩甲拳筋、菱形筋、円筋、大円

筋等)を多く使って試技をするフォームになる事が想定される。さらには、上腕の筋群(上腕三頭筋)の関与も増えるはずである。この様に、最適で有効な手幅の確定は今後の重要な課題であるが、それと同時にその手幅を採用する事で、挙上時の左右の使用筋群に差が生じる事も意識しなければならない。手幅を狭くすれば、上腕筋群の関与が増える事で、左右均等なフォームを取る事が、より難しくなるのも、多く経験する事である。本研究では、特に左右差を直接に手掌に加わる圧力として測定し、左右差を少なくするフォームの獲得を目指して、手掌部の圧測定を行った。この測定は将来的には理想的なグリップの手幅の確立に於いても有効な手段と成り得るものとも考えている。

手掌部圧の測定は、S&ME社製フットセンサー(DL-250)を用いて行った。図3は、手掌圧部を測定するフットセンサー(DL-250)を装着してシャフトを握っている様子を示したものである。両手掌部にシャフトに直接接触する部位にセンサーを装着し、圧を電圧の信号として導出した。導出した信号は、その他の信号と同様に、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10kHz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。



図3 手掌圧部を測定する S&ME 社製フットセンサー(DL-250)を装着してシャフトを握っている様子

### 2.3.6. 測定値の処理と解析

導出された筋電図信号、手掌圧及び肘関節角度の信号は、全て同期させ、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10kHzのサンプリング周波数で集積した後、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解析を

行った。解析にはジーワシステム社製の解析ソフト (Analog Recorder Pro) を用いた。また、背面圧分布は、筋電図信号、手掌圧信号並びに肘関節の信号と同期させ、圧測定シートから導出した信号を、無線 LAN 通信によりデータをスマートフォンに記録した後、データをパーソナルコンピュータに転送し、SR ビジョン専用解析ソフトウェアを活用して解析した。

### 3. 結果

図4は、被験者の最高挙上重量の70%に当たる105kgを使用重量として連続10回のベンチプレスを行った際の筋電図、手掌圧、肘関節角度、肘関節角速度の変化を、時間を同期させて示したものである。本測定は日常的に行っているトレーニングと同様の試行によって行ったものであり、図示した測定結果は第2回目のものである。筋電図は、上から右側の大胸筋、左側の大胸筋、右側の三角筋、左側の三角筋、右側の広背筋、左側の広背筋から導出したものを順に示している。さらに下方に右手のバーを握った状態での手掌圧、左手の手掌圧、バーを挙上する時の右肘の関節角度、左肘の関節角度、右肘の関節角速度、左肘の関節角速度を筋電図の時系列変化と同期させ、それぞれ示している。筋電図は、初期の放電量に比して終盤には放電量の増加が確認される。逆に手掌圧はトレーニング開始時にはしっかりと握っている事が示されているが、後半には握りが弱くなっている

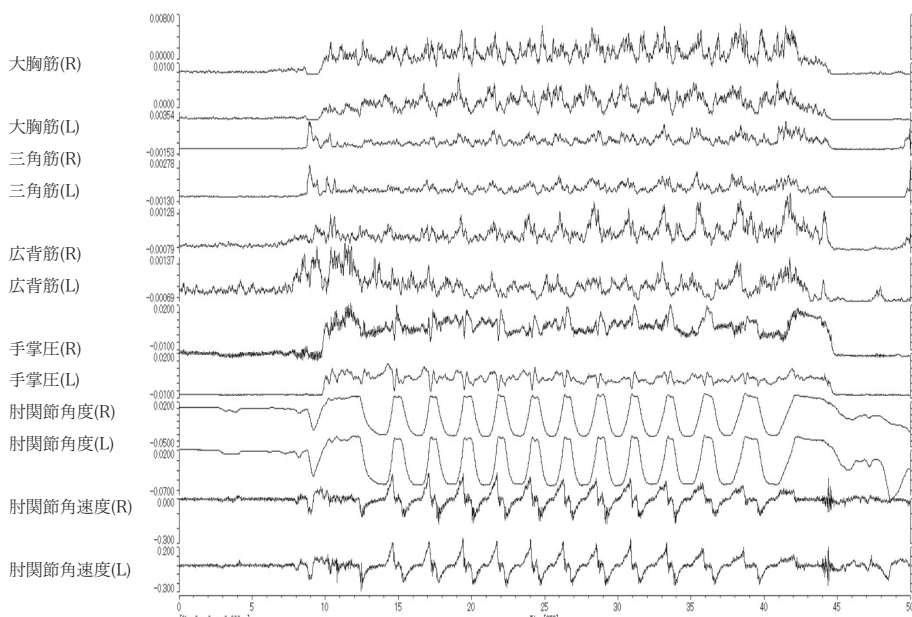


図4 最高挙上重量の70%負荷でベンチプレスを繰り返し実施した時の各測定値の変化 (2nd)

上から、大胸筋・三角筋・広背筋の筋電図、手掌圧、肘関節角度、肘関節角速度のそれぞれ左右の測定値を時系列に従って示した。



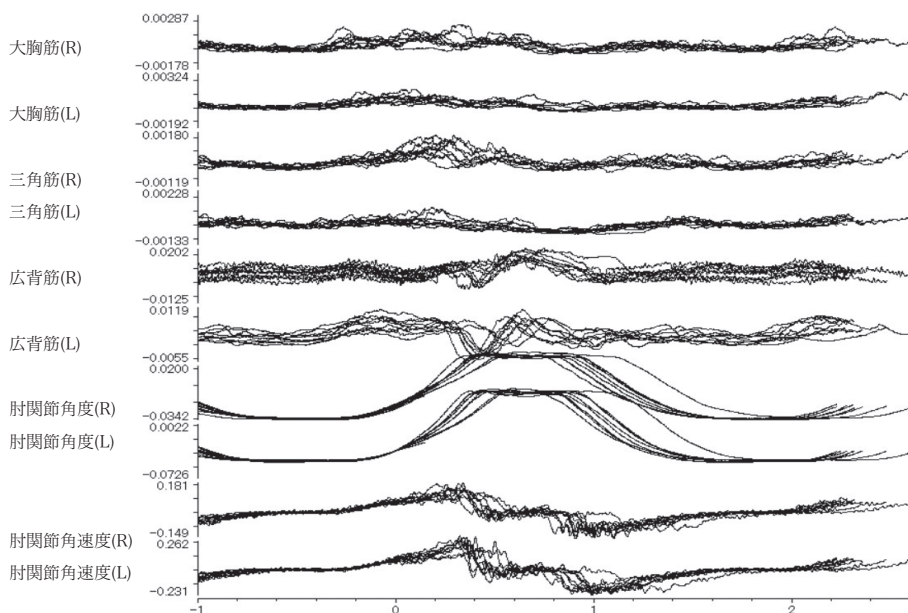


図5 10回連続して行ったベンチプレス時の各測定値の重ね書き (2<sup>nd</sup>)  
 同じペースで挙上を繰り返しているのに、重ね書きしてもほぼ同じ曲線を描く筈であるが、肘関節角度は初期と後半に大きな差が認められる。

事が示されている。

図5は、図4に示した連続10回のベンチプレス時の測定から得られた各データを、1回の試行毎に抽出して重ね書きしたものである。但し、図4で測定した指標の内、手掌圧については、処理の都合上省いている。本来は、10回の試行が全て同様の速度や角度によって行われている事が理想であるが、重ね書き処理をする事によって、個々の試技にバラつきがある事が視覚的に理解できるようになる。

さらに図6は、第3回目のトレーニング試行時のデータを、図4に示した方法と同様の処理によって提示したものである。第3試行では、第2試行時と比較して、筋疲労が蓄積している筈であり、その影響を見る事を目的として作成している。或いは逆に、ベンチプレスのスキルを考慮した場合、予想とは異なる生理的状況を観察する事も可能かもしれない。その意味からしても図6は重要な資料と成り得るものである。

また、図6によって示された連続10回の各測定値を、図5の作成と同様の処理を行う事に依って重ね書きしたものを図7に示した。図7では図5と異なり、手掌圧の変化も重ね書きしている。その提示位置は、大胸筋、三角筋、広背筋の左右筋電図の下である。この処理により、第2回目のセットに比して第3回目の試行が、筋疲労の影響をどの様に受けているのかを検討したい。

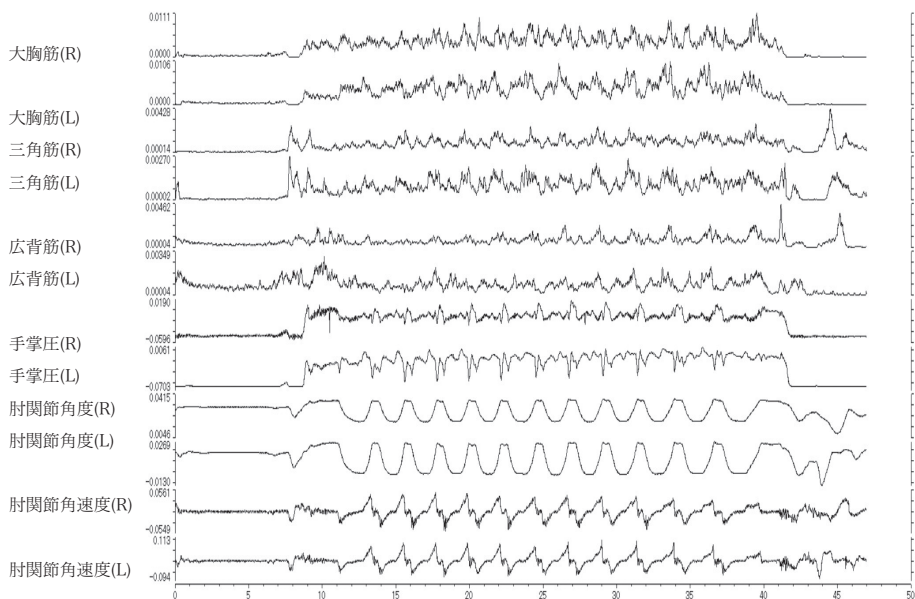


図6 最高挙上重量の70%負荷でベンチプレスを繰り返し実施した時の各測定値の変化 (3<sup>rd</sup>)  
 2回目のトライアルよりも正確なフォームを意識して行っている。後半になるにしたがって大胸筋の筋放電が増えていることが分かる。

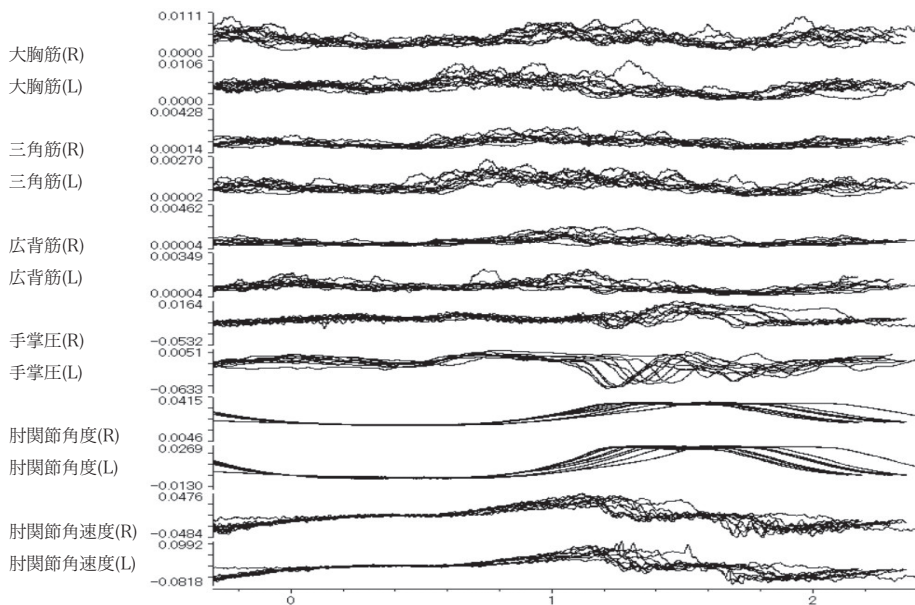


図7 10回連続して行ったベンチプレス時の各測定値の重ね書き (3<sup>rd</sup>)  
 2回目のトライアルでは、測定ができなかった手掌圧についても重ね書きをした。バーを挙上する時のバラつきが多い事が分かる。

図8は、第3回目のセット時の後半における1回の挙上動作時の各局面における各測定値の動きと、実際の様子を示している。実際の対象者の動作を重ねる事により、視覚的に評価可能とするために作成した図である。波形は、上から大胸筋の右左筋電図、三角筋の右左筋電図、広背筋の右左筋電図、手掌圧、左右肘関節角度、左右肘関節角速度を示し、さらに図の最下部には背面圧の各局面における状態を示した。これにより、見た目には変化の少ないベンチプレストレーニングにおいて、各局面で、どのような生理的応答が起きているのかを知る事が出来る。

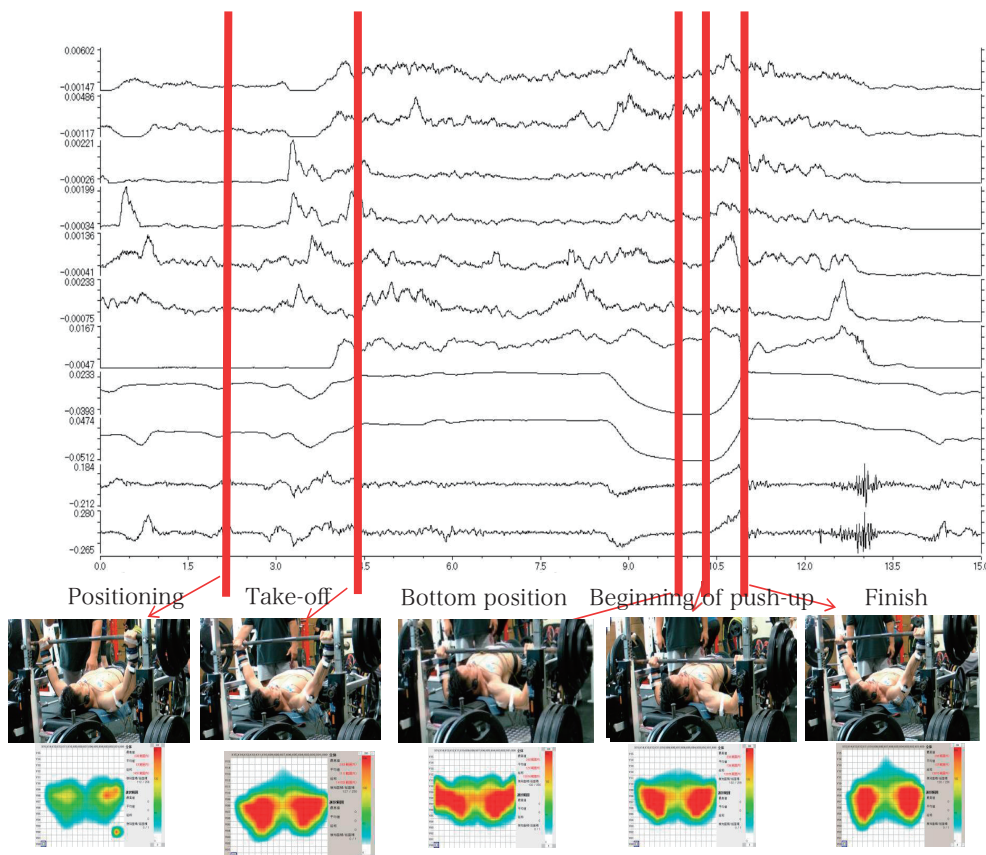


図8 1回の挙上動作時の各局面に於ける各測定値の動きと、実際の様子  
 波形は、上から大胸筋の右左筋電図、三角筋の右左筋電図、広背筋の右左筋電図、  
 手掌圧、左右肘関節角度、左右肘関節角速度を示し、さらに最下部には背面圧の各  
 局面における状態を示した。

#### 4. 考察

本研究の目的は、日常行われるトレーニングの繰り返しにより、筋力、筋パワーを増大させる事は勿論の事、試合における成功試技の挙上重量を如何にして向上させるかを模索する事である。その一助として本研究では、その方法を科学的に検討し、より正確な身体

の使い方を選手がフィードバックして覚え、怪我が無く、試合での成功試技を獲得するためのコーチングへと繋がる様な実践に対して効果的な評価方法を見出さなければならない。他方 Para Powerlifting は、ベンチプレスの挙上重量を試合として競い合う競技であるため、ベンチプレスの挙上時に厳格なルールを設定しており、その基準を満たさないと成功試技とは認定されない。ベンチプレスの競技におけるルールとは、すなわち、大凡次の様である。

- ①ベンチプレスでバーを挙上する時は、左右均等に（ルール）行う事。
- ②バーを胸上に下ろした時には、一度確実に静止させなくてはならない事。
- ③バーは途中で動きを止めてはならない。

等々である。成功試技になるためにはこれらの基本的なルールを満たす試技を行う必要がある。したがって競技力を高めるためには、単にベンチプレスの挙上重量を増加させれば良いというだけではないのである。そのためには、バイオメカニクスの観点から日常行っているトレーニングにおいて選手が課題として抱えている種々の問題点を分析し、指摘できるかが大きな課題と成る。本測定によって得られた種々の生理学的データを先ず個別に検討する。

#### 4.1. 筋電図による分析

筋電図を用いたベンチプレスに関する研究は、前述した様に健常者を対象としたものしか見受けられず、しかもベンチプレスを競技として行う健常者のパワーリフティング競技におけるベンチプレスに関しては、その強化を主眼とした研究は皆無である。本研究が取り扱う Para Powerlifting を対象とした筋電図測定による研究は、尚更行われていない。そこで、先行研究との比較は困難であると判断し、実験条件として設定した重量については、平田らが行った研究<sup>6)</sup>の重量選択（1 RM の70%）に従って行い、日常的に実施しているトレーニングの状態を極力反映する事を目的として、10回の反復的なベンチプレス時の測定を行う事とした。筋電図の測定部位は、ベンチプレスの主導筋として動作に関与する大胸筋、三角筋に加え、高重量を支えるためには強化が必須条件とも言える広背筋を選択した。図4は、2セット目の様子を反映しているのであるが、大胸筋についてはセットの初期には筋放電は比較的小さいものの、セットの後半になるに従い、徐々に大きな放電へと変化している事が分かる、これは第3回目のセットである図6でも同様の傾向が確認され、回数を重ねるにつれて、大胸筋の筋疲労が増している事を示しているものと推察される。三角筋と広背筋に於いても大胸筋ほど顕著ではないが、その傾向が確認される。これは、ベンチプレスの動作が、主として大胸筋に依存している事を改めて認識させる結果であり、この強化は必須である事を再確認させる結果であった。また、NT の場合、広背筋の筋活動が図4に於いても左右の放電に差が認められ、さらには図6に見られる様に、左の広背筋により顕著な放電が認められ、一見左右均等にバーを挙上している様に見

える動作であっても、重量を支える広背筋の使い方に左右差が存在する事が分かった。この原因を探り左右均等な筋活動となる様なトレーニング方法を見つけ出さなければならないであろう。他方、三角筋は、2セット目よりも3セット目の方がより強く左右差が認められる事から、筋疲労と共に、特に左の三角筋に問題が生じている事が窺われる結果であった。この点についても修正すべき課題であろう。この傾向は、図5の重ね書き部分にも顕著に観察され、特に右の三角筋の動作が開始される部分の放電開始時間に多くのバラつきが認められた。これは、左側の三角筋の関与は意識的に行われているために一定の立ち上がり時間である事と比して、右側の三角筋の関与が遅れたり早まったりを繰り返している事が推察され、この部分に修正が必要であることを窺わせる結果であった。

#### 4.2. 手掌圧による分析

手掌圧の強度は、ベンチプレスを行う際に、挙上するためにバーを下から押し上げる強さを反映しているものと考えられる。従って、挙上する速度が早ければ、換言すれば、同じ重さでも下から突き上げる力が強ければ強い程、競技能力は高いと言える。実際に、手掌圧の値の変化を観察すると、図4でも図6でもベンチプレスの回数を重ねるに従って弱くなっている事が分かる。これは、正に挙上のために、バーを押し上げる力が徐々に落ちている事を示している。握力との関係についても推察されるが、扱っている重量(105kg)からすれば、握力の強度はわずかに影響しているに過ぎないであろう。可能であれば、後半になっても手掌圧の低下が少なく済むような力を付けて行かなければならない。トレーニングの効果を期待したいものである。一方、手掌圧の左右差については、若干認められるものの、筋電図から判断される程には、その差について言及しがたいものである。しかしながら、図7からも判断される様に、セットの後半には、左右の手掌圧に差が認められ、筋活動の左右バランスが悪くなっている事が示唆された。

#### 4.3. 肘関節角度と肘関節角速度による分析

肘関節の動きを時間軸に沿って見てみると、図4と図6に認められる様に、規則正しくベンチプレスを行っている様に見られる。しかしながら、このデータを図5と図7の様に1回の動作毎に分けて重ね書きしたのを見ると、肘が曲がり始める時に、若干のバラつきが認められ、さらに、動作の後半である肘の伸展部分においては、そのバラつきが増大している事が分かる。これは、挙上動作が後半では遅く成る事を示唆している。また、肘関節角速度の重ね書きから左右の動きを比較してみると、肘の動作は、右肘が僅かではあるが先行して始まる事が分かり、右腕が先行して力を発揮し始める事が示された。逆にバーが胸上から上昇を始める局面に於いては、左腕は遅れて伸び始めている事が示されている。これらの事実は、バーの動きだけ見ている場合に比して、実際に筋や関節の動きを観察することにより、実に多くの局面で、左右差の有る動作を行っている事が理解できる

ことを物語っている。これらの左右差は、選手の筋肉や関節を痛める可能性を持っており、何より、試合に於ける試技の不完全さにも繋がるものであり、重要な参考資料となり得るものと考ええる。

#### 4.4. 背面圧分布による分析

背面圧分布を測定し、ベンチプレス動作の各局面における変化を観察した。図8は、1回の挙上動作時の各局面における各測定値の動きと、測定時の対象者の動作状況を示したものである。この図における波形は、他のグラフ同様（上から大胸筋の右左筋電図、三角筋の右左筋電図、広背筋の右左筋電図、手掌圧、左右肘関節角度、左右肘関節角速度）の測定結果であり、加えて最下部に背面圧の各局面における測定結果を示している。背面圧の図は、向かって左側が右側肩甲骨、右側が左側肩甲骨の床面との接置部分の圧を示している。ベンチプレス動作においては、左右両方の肩甲骨が床面と接する事により、重量の全てをここで受ける事に成る。従って、肩甲骨周りの筋群は協同して働き、重量を支えている肩甲骨が安定する様に支持をしなければならない。これらの筋群の働きは、ベンチプレスの挙上重量を決定する程、重要な役割である。さらには、肩甲骨が床面と接している状態を正確に把握する事により、肩甲骨周りの筋群だけでなく、三角筋や広背筋等の動きも間接的に知る事が出来るものと思われる。したがって、背面圧の状態は、肩甲骨の動きを反映するだけでなく、バーを挙上するために動員される筋群の活動状況をも評価する事が出来る重要な評価項目と成り得るものである。

ベンチプレスにおけるバーの動きは左右均等である事が望ましく、これをコントロールしているのは大胸筋を始めとする主導筋であり、重量を支える広背筋等の背部の筋群である。背面圧の分布を用いて評価すれば、左右均等に圧力が分布している事が望ましい。TNの場合は、ベンチプレス動作の始まる最初の部分である、ラックアウトの局面（図中、左から2枚目）で、既に若干ではあるが左右差が見られる。そして押し挙げの始まる局面（右から2枚目）では、その差がさらに顕在化し、挙上最後のフィニッシュ局面（最も右図）では、より顕著な左右差となって示されている事が分かる。これは、視覚的観察からは、バーの動きも床面と水平に推移しており判定し難い左右差である。しかいながらグラフからは、明らかに左側の肩甲骨に、より大きな重量負担が掛かっている事が理解され、TNはこの原因を突き止めて改善策を考える必要が有る事が分かる。

#### 4.5. 全データを総合的に検討した分かった事

筋電図の測定結果から、バーを挙上する局面において、左右の三角筋と広背筋の筋放電が始まる時間に若干のずれが生じている事が分かった。三角筋では、一瞬ではあるが左側の筋に、より早く放電が観察され、広背筋を見ると、三角筋の動きに合わせて活動しているのは、主として右側の筋である事が分かった。この時間的なずれは、手掌圧のデータか

からも読み取る事が可能であった。さらには、背面圧の分布状況を検討すると、同局面においては、左側肩甲骨の設置面積が増加している事が認められ、肩甲骨の動きが身体の下方向にずれている事も明らかとなった。これら其々のデータから NT のベンチプレスの状態を詳細に知る事が出来るのと同時に、データを総合的に検討する事により、さらに詳しい分析が可能となるものと考えられる。NT の場合には、この時間的ずれの状態が何によって引き起こされているのかを明らかにしなければならない。そこで、肩甲骨の設置面積が増加した時間にどのような筋放電が起きているのかを時系列に沿って点検する事とした。その結果は次のようであった。すなわち、

- ①バーを胸上から挙上する局面において、先ず、左側の三角筋が主導的に動き始める。
- ②この時に、右肘が一瞬であるが下がる。
- ③ほぼ同時に、右側の三角筋が機能し始める。
- ④一瞬遅れて、左側の押し上げが始まる。従って視覚的にはバーは床面と並行に動いている様に見える。
- ⑤この動きは、肩甲骨の圧分布からは、左側の圧の増加として反映されている。つまり、左側の肩甲骨を含む背部が床面により多く接置した状態として把握される。
- ⑥この傾向は、1セット間の後半に成る程顕著であった。

というものであった。この様なトレーニングを継続して行った場合、負担が強く掛かる筋に偏りがあるために怪我のリスクが高まる事が予測される。また、「⑥この傾向は、1セット間の後半に成る程顕著であった。」ことから、筋疲労が蓄積する後半部分に、不正確な試技の状況が出現している事が分かり、筋力的にも弱い部分に負担が多く掛かっている事が推察された。試合において成功試技を行う為には、トレーニング時でもセット後半の疲労が蓄積してくる局面で、正確な左右差の無いベンチプレスを行う事が大切である。その様な、試合を意識したトレーニングを行う事により、試合において、選手にとって最高挙上重量に近いトライアルに挑戦しても、左右差の無い安定した試技を行う事が出来るものと考えている。その意味からも、本測定において、種々のデータを総合的に検討した結果から得られた、TN の視覚的には違和感として感じる事しか判定できない僅かな動きのズレを、客観的に明らかに出来た事は、とても大きな意味が有る事である。

## 5. まとめ

Para Powerlifting では様々なルールが存在し、競技として取り組む場合には、この厳格なルールに沿った試技を必ずしなければならない。そのためには、正確な試技を日頃のトレーニングの中でも常に心掛け練習することが必要である。加えて、基本ルールでもあるが、バーを挙上する際には、左右均等に押し上げないと、どちらかの肩に負担が集中し怪我の原因とも成る得る。従って、コーチは視覚的に選手のフォームを観察し、左右の筋出力に差が生じてないかを常に点検する事が必要である。しかしながら、視覚情報のみか

ら判断していると、バーが床面と平行であり、且つ胸にバーを下した位置も正常な範囲内であれば、関節の状態や筋の動作等の微妙な違いの評価は困難な場合が多い。そこで我々は、選手の背部の床との間に発生する背面圧の分布状況や、筋の出力から観察できる筋出力の左右差の状況等について、筋電図を用いたバイオメカニクスの手法によって検討する事により、正確に判断することが可能である事を提案した<sup>2)</sup>。さらには、VICON やダートフィッシュを用いる事による動作分析も加え、より効率の良い怪我の無いフォームの獲得に向けた研究を進める予定で有り、本研究は、その一環として行ったものである。対象者である TN の場合、筋電図、手掌圧、肘関節角度の測定から、以下の状態である事が把握され、その改善が行われる事を提案するものである。

- ①筋電図は、反復して行うベンチプレスでは、筋疲労が蓄積する後半に成る程放電量が増加し、より多くの筋が関与する事が示唆された。
- ②手掌圧は、回数を重ねる毎に弱くなり、挙上に必要な下方から押し上げる力とスピード(筋パワー)が減少している事が分かる。また、セットの後半では左右差が顕著になり、バーの挙上状態は床面と平行であっても、筋の使用状態は左右に差が生じる事が示唆された。
- ④肘関節角度は、肘関節角速度として判定すると、セットの後半に挙上速度が減速する事が認められた。これは、筋疲労の蓄積からやむを得ない事であるが、今後の検討課題である。
- ⑤肘関節角度の時系列に沿った動きから、後半になると右肘が先行して動作を始めている事が確認され、筋疲労に伴って左右の筋活動にズレが生じてくる事が推察された。
- ⑥背面圧の分布状態から、バーを下し始める時点で既に若干の左右差が生じている事が分かった。さらに、バーの挙上局面では、右側肩甲骨により多くの重量が掛かり、且つ接地面積も大きいことが認められた。対象者は、従来から右腕(右肩)が外側に逃げる癖が有るが、その癖は、軽い重量を使用中は見た目をごまかして修正可能である。しかしながら筋疲労が増加すると、その傾向が顕著に表れる事をこのデータは客観的に示すものである。
- ⑦全データを横断的・縦断的に検討する事により、挙上中のフォームの左右差は、次の様なメカニズムによって発生している事が示唆された。すなわち、バーを胸上から挙上する局面では、先ず左側の三角筋が主導的に動き始め、この時に、右肘が一瞬であるが下がる。ほぼ同時に、右側の三角筋が機能し始め、一瞬遅れて、左側の押し上げが始まるというものである。

本研究は、パラリンピックに参加している1選手を対象にして行ったものであり、多くの対象者を用いた、標準的なフォームの検討を行ったものではない。しかしながら、本研究により、個人の持つフォームの欠点や、弱点を客観的に、かつ詳細に分析する事が可能



である事が示唆されたものと考えている。今後は、さらに、競技能力の高い複数の選手を対象として、より多岐に渡るバイオメカニクスの分析を試みる事で、さらなる効率の良いフォームの確立を目指すことを課題としている。

最後に、パラリンピック前の貴重な時間を本測定のために使って頂いた西崎哲男選手に紙面を借りて心から感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 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 28, 1-14, 2005
- 2) 石田直章, 菅嶋康浩：IPC Powerlifting におけるベンチプレス強化のためのバイオメカニクスのアプローチの提案. 名古屋芸術大学研究紀要37, 1-12, 2015
- 3) 中川宏, 熊本水頼：ベンチプレスの筋電図学的研究. 体育学研究18(2), 83-89, 1973
- 4) 中川宏, 橋本不二雄, 岡本昌夫, 八木田恭輔, 西河光男：ベンチプレスによるトレーニング効果の筋電図学的研究. 体育学研究22(3), 153-160, 1977
- 5) 半田徹, 加藤浩人, 長谷川伸, 瀧間久俊, 岡田純一, 加藤清忠：筋電図学的分析による筋力トレーニングのプレス系5種目における三角筋・上腕三頭筋の活動の違い. ヒューマンサイエンス リサーチ, 11, 125-135, 2002
- 6) 半田徹, 加藤浩人, 長谷川伸, 岡田純一, 加藤清忠：筋力トレーニングのベンチプレス系3種目における大胸筋, 前鋸筋および三角筋の筋電図学的研究. スポーツ科学研究 5, 58-70, 2008
- 7) 島野敬四郎, 内藤譲, 湯浅景元：ハーフスクワットとベンチプレスにおける負荷重量と筋活動量の関係. 中京大学論叢35(2), 75-85, 1994
- 8) 岡田純一, 加藤清忠, 飯島康平, 岡先聖太, 杉崎範英, 赤澤暢彦, 飯田祐士, 長谷川伸：ベンチプレス運動中のパワー出力と筋活動パターンに関する研究. *Strength & conditioning Journal*, 17(1), 4-8, 2010
- 9) Wilson, G. J., Elliot, B. C. and Kerr, G. K.: Bar path and force profile characteristics for maximal and submaximal loads in the bench press. *Int. J. Sport Biomech.*, 5, 390-402, 1989
- 10) Wagner, L. L., Evans, S. A., Weir, J. P., Housh, T. and Jand Jhonson, G. O.: The effect of grip width on bench press performance. *Int. J. Sport Biomech.*, 8, 1-10, 1992
- 11) McCaw, S. T. and Friday, J. J.: A comparison of muscle activity between a free weight and machine bench press. *J. Strength and Cond Res.*, 8, 259-264, 1994
- 12) Barnett, C., Kippers, V. and Turner, P.: Effects of variations of the bench press exercise on EMG activity of the five shoulder muscles. *J. Strength and Cond Res.*, 9, 222-227, 1995
- 13) 栢森良二：筋電図のための解剖ガイド——四肢・体幹. 西村書店, 新潟：pp. 166-177, 190-191, 194-195, 260-261