

Para Powerlifting 競技における Bench Press の動作解析の有効性

—日本記録保持者2名の動作解析を通して—

石田直章*¹⁾ 菅嶋康浩*²⁾

キーワード：Para Powerlifting, bench press, motion analysis, spinal cord injured, above-knee amputation

I. はじめに

Para Powerlifting 競技は、Paralympic における人気種目であり、観客動員数も多く、毎大会、大変な盛況を呈している。Paralympic のみならず Asia Paralympic や世界選手権においても人気種目となっている。その理由は、競技における勝敗が絶妙な駆け引きに左右されるという試合の面白さに由来することも一つであろうが、何よりも競技者たちの扱うバーベルの重量が健常者のそれを大きく上回っていることが最大の魅力となっているのであろう。例えば、現在の最重量級(107kg 超級)の世界記録は310kg であるが、この重量を Bench Press できる健常者は皆無である。一方、軽量級であっても、男子54kg 級は205kg、59kg 級では211kg と、体重の約4倍の重量を挙上しており、これも健常者の記録を大きく上回っている。驚くべきことに、特定の競技者だけが卓越して強いというだけではなく、追従する多くの選手たちがこの世界記録を塗り替えようと切磋琢磨している状況にある。一方、本邦の選手に目を向けてみると同様の階級である男子54kg 級では136kg、59kg 級は138kg が日本記録であり世界記録とは大きな隔たりが有ることが分かる。最も強い日本の選手であっても、男子88kg 級で196kg、107kg 級で197kg が公認の日本記録である。このような状態にある日本チームがどのような方法で世界に追い付きメダルを獲得できるまでに成長できるのか、その方法を見付けることが喫緊の課題である。この課題解決のために選手・コーチの努力は勿論のこと、多くの研究領域から適切なトレーニング方法の確立に向けた支

援を行うことが急務である。その一つとして運動生理学的視点から出来得る基礎的な資料を収集し、様々なアプローチを行うことが必要と考えている。筆者らは、より適切な Bench Press のフォームの確立に向けた運動生理学的測定手法を提案し¹⁾、実際に測定も試み、報告している²⁾。他方、従来行われている Bench Press 強化に関する運動生理学研究を概観すると、健常者に関する報告は散見されるものの Para Powerlifting を念頭に置いた研究は皆無であった。健常者が行う様な両脚の足底部を床に接地した Bench Press フォームは、脚部の力や臀部、背部筋群の力を使えるため、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。従って運動生理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 Bench Press フォームに対する分析は独自に行われる必要が有る。とは言え、基礎的な Bench Press フォームの研究は必要不可欠である。そこで健常者を対象とした運動生理学の視点から実施された研究を概観すると、本邦においては、古く、中川、熊本が行った筋電図学的分析を見ることが出来る³⁾。彼らは、Weight Lifting の選手に Bench Press 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こと、或いは、筋力に余裕のある時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こと等を報告している。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

* 1) 愛知学院大学心身科学部健康科学科

* 2) 朝日大学保健医療学部健康スポーツ科学科

(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: naotaka@dpc.agu.ac.jp

消却されること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こと、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こと等を報告しており、Bench Press 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⁴⁾。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 (Flat Bench Press, Incline Bench Press, Decline Bench Press) 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^{5,6)}。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^{7,8)}が、Bench Press を Paralympic 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 Bench Press に関する報告は幾つか見られるものの⁹⁻²⁰⁾、その多くが様々なトレーニング条件下の Bench Press 動作時に使用される筋の活動を筋電図によって解析しているものであり、Para Powerlifting に関するフォームの研究は皆無である。しかしながら、筆者らもフォームそのものを研究する以前に筋電図学的分析を行うことの必要性を考え、Para Powerlifting の競技者を対象とした Bench Press 中の筋電図測定を実施してきた^{21,22)}。また、その測定時には、筋電図測定に加えて、身体背面の圧力分布の測定や goniometer による肘関節角度の測定を行い、Bench Press 動作中の身体の左右の動きの差を観察した²¹⁾。筋電図測定は、連続する Bench Press 中の主導筋である大胸筋や上腕三頭筋或いは三角筋の

他、広背筋や上腕二頭筋から導出した。その結果、繰り返して行う Bench Press では、後半の挙上に遅れが生じ、視覚的には殆ど認識できない左右の挙上のタイミングにズレが生じていることを確認することが出来た。またこれらのズレは、肘の角度や肩甲骨の圧力分布を見た床反力からも確認された。しかしながら、これらのデータからは挙上中の左右の肩と肘の下がり方や、その位置関係については何ら情報を得ることが出来なかった。そこで筆者らは、より直接的な動作を確認するために、健常者の元マスターズ日本チャンピオンの協力の下、ベンチプレス時に VICON 社製 Vantage/Vero カメラ 9 台による動作解析ならびに KISTLER 社製多成分フォースプレート型式 9281E を用いた床反力の測定を同時に行い、その有効性について検証した。その結果、視覚的な情報からは見出すことのできない左右の肘の動きの差や、シャフトの傾きが明確に検出された。この詳細は、「Para Powerlifting における適切なベンチプレス・フォームの確立に向けた運動生理学的アプローチ。—健常者のベンチプレス時の動作分析から確認できること—」と題する論文²³⁾にまとめ報告したので参照されたい。

本研究では、従来行ってきた健常者を対象として実施した検証実験に加え、Para Powerlifting の競技者を対象として同様の測定を実施した。その測定対象者は、既に 3 回に亘り Paralympic に出場した本邦における最強の競技者と、さらには、Paralympic 出場を目前にする現在日本最高記録を保有する選手であるため、前述した様に、現状以上の高い競技力を獲得するための



Fig. 1 Subject B is a male suffered above-knee amputation of right leg.

The scene of the subject B (above-knee amputation of right leg) challenging to lift the highest weight in Japan. The table used for Para Powerlifting is the one used for attempt by putting both legs on the table.

何らかのヒントが得られることも期待している。Fig 1は、本研究の対象者Bが日本最高重量に挑戦しようとしている様子である。この図に見られる様に、本来ならば Para Powerlifting 競技で使われる Bench Press 台は両脚を台上に乗せて試技を行う物であるため、その条件で測定することが望ましいと考えている。しかしながら本研究では、健常者によって実施した従来のデータとの比較も考慮して、両脚足底部床面に設置した状態で Bench Press を行うこととした。さらには、この両者は異なる障がいであるため、障がいに由来する種々の身体的な特性が Bench Press のフォームに微妙な影響を与えている可能性が有る。本研究では、その個別特性を詳細な動作解析から検出し、それらの特性が選手の Bench Press にどのような影響を与えているのか、またそれが Bench Press の適切なフォームの確立に貢献し得るものであるのかを併せて検証した。

II. 方法

1. 対象

被験者は2名であった。2名とも Para Powerlifting の競技者である。

1) 対象者A

対象者Aは、18歳の時にオートバイの事故により第5胸髄(T5)の完全断列を受傷した、現在44歳(1974年10月生れ)の男性である。22歳から Bench Press に取り組み始め、11年目にして Paralympic (Beijing Paralympic) への出場を果たした Para Powerlifting の選手である。Beijing Paralympic では75kg級で8位入賞、London Paralympic は80kg級で7位入賞、続くRio Paralympic でも88kg級で8位入賞という実績を持つ選手である。身長168cm、体重は測定時83kgであり、階級は88kg級に所属している。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。公認された最高記録は196kgであるが、未公認では200kgを挙上している。本測定の約1年3カ月前に右上腕二頭筋長頭腱脱臼を伴う鍵盤断裂の鏡視下における修復術を受けている。そのため測定当日は回復の途上にあり、医療的リハビリテーション期間を経て競技への復帰を目指して取り組みを継続している最中であった。

2) 対象者B

対象者Bは、19歳の時の交通事故により右大腿骨切断を受傷した、現在49歳(1969年11月生れ)の男

性である。33歳から Bench Press の練習に取り組み始めた。身長は173cm、体重は100kgであり、現在の Para Powerlifting への出場は107kg級であるが、階級の基準変更以前(2011年に変更)は100kg級の選手として活躍していた。主な海外の大会における成績は、2010年に中国広州で開催された第1回 Asia Paralympic において100kg級に参加し、190kgを挙上して5位、2017年12月に行われた世界選手権では107kg級で190kgを記録し10位であった。現在公認されている日本最高記録である197kg(2017年7月16日 Japan cup, 107kg級)の記録保持者である。未公認の最高挙上記録は200kgである。

2. 測定

1) 測定条件

測定は、対象者の Bench Press 最大挙上重量(One Repetition Maximum: 1RM)を確認して、その70%と50%の重量で5回の反復挙上を行うことで実施することを本測定の基本条件としたが、対象者Aは、肩の怪我の回復期にあるために50%の負荷のみ実施した。具体的には、両対象者共に最高挙上重量が200kgであるので、設定した重量は、140kgと100kgであるが、対象者Aの場合は、100kgのみであった。対象者Bの場合は、100kgを5回 Bench Press した後に十分な休憩を取り、140kgを5回 Bench Press するという手順により実施した。

2) 測定器具ならびに測定項目

Bench Press 動作中の動作分析を行うため、VICON社製 Vantage/Vero カメラシステム9台を用いて実施した。また解析に用いた基幹ソフトウェアはNEXUS2であった。Fig 2は、測定時の Bench Press 姿勢と反射マーカ貼付位置を示している。被験者の身体の動きを追跡するために体表面にマーカを貼付した部位と数は、肩峰に2カ所、頭部に4カ所、肘関節内側に2カ所、肘関節外側に2カ所、手関節内側に2カ所、手関節内側に2カ所、第10肋骨に2カ所の16カ所であった。これ加えて、Barbell shaft(以下 shaft)の動きを確認するために shaft に2カ所貼付し、合計18カ所とした。また Fig 3は、右図に Bench Press 動作解析用のカメラシステム9台とビデオカメラの配置位置を示し、右図には、計測されたベンチプレス動作を解析するために、コンピューター画面上で再現している様子を提示した。

また床反力を測定するために KISTLER 社製多成分 force plate 型式9281Eを使用した。Bench Press 台は、

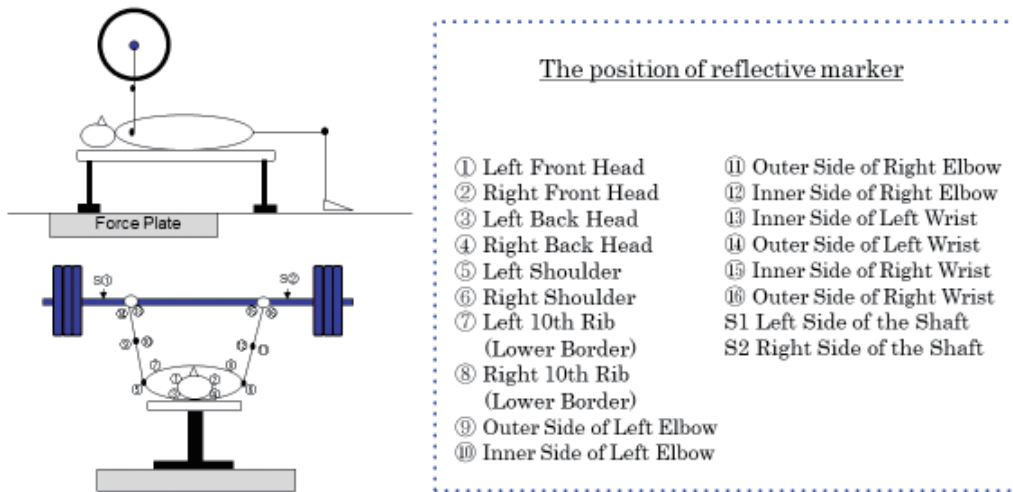


Fig. 2 The position of bench press posture and reflective marker

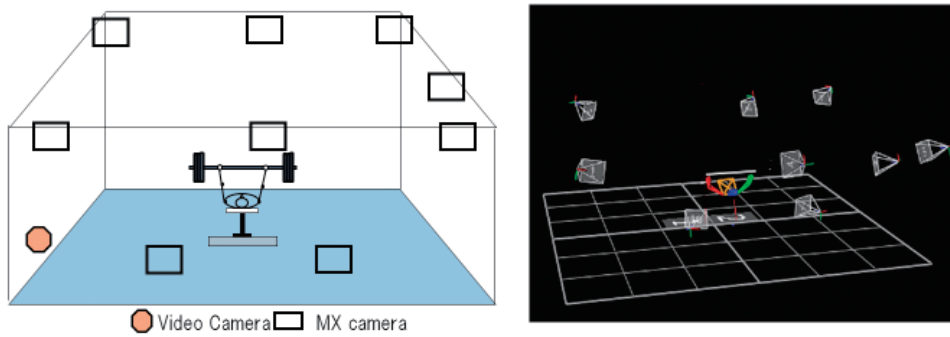


Fig. 3 Photographic environment of The VICON Vantage / Vero camera and recording video camera



Fig. 4 Subject A do the bench press on a bench press table with horizontally on force plate.

試技を行った際に両腕（腕の先にある shaft の）が挙上する動きを正確に反映する様に、左右均等加重となる様に force plate 上にセットした。force plate からの床反力情報は、縦軸方向と横軸方向の合力として示され、挙上時の僅かな時間的な遅れや位置のずれ等を正確に把握できる様にした。Fig 4は、force plate 上に水平に設置した Bench Press 台を用いて対象者 A が Bench Press を行っている様子である。図からも分かる様に、shaft を支えるために設置した power lock は、force plate の外に配置し、Bench Press 動作による床反力の測定に全く影響を与えない様にした。

III. 結果

本研究の主たる目的である Para Powerlifting 競技に取り組むにあたり、より適切なフォームの獲得に運動生理学が寄与出来るかを検討するために必要であると考えられる基礎的データを提示する。また、もう一つの目的として設定した個々の選手の障がい起因する動作特性を的確に検出し得るのかも検討するために、対象者それぞれに特徴的に見られた幾つかの測定結果を個々に示すことにする。

1. 対象者 A の連続挙上動作における左右方向の圧中心の変化

Fig 5は、対象者 A が 5 回連続して Bench Press を行った際の背部の圧中心（Center of Pressure: CoP）の変化を示したものである。グラフは、仰臥位をとって試

技をした際の背部の圧中心がセンターライン上となる様に作成してあり、上方への偏倚が、左側への圧中心の移動（ズレ）を示し、逆に下方への偏倚は右側への圧中心の移動を表している。横軸は時間を示している。この図で言う左側とは、対象者の左体側のことを示しており、これは図中の Bench Press 時のイラストに記載した様に、Bench Press 中の動きを頭部後方から眺めた場合の左側のことである。また右側はその逆である。グラフ中、青色で示したトライアングルは barbell を挙上した時点を、また赤色は胸上に barbell を下して shaft が最下部に位置した時点を示している。このグラフから、対象者 A の 5 回の Bench Press における左右方向への偏倚は非常に少ないことが分かる。これを具体的な数値で見ると、平均的な偏倚は top position で $7.0 \pm 7.8\text{mm}$ 、bottom position で $8.5 \pm 4.1\text{mm}$ と、若干ではあるが左側に偏倚する傾向にあったが、共に 1cm 以内の動きであり、非常に正確な、左右への動きが少ない Bench Press が行われていたことを示している。換言すれば、対象者 A の Bench Press は、背骨を中心とするセンターライン上に常に圧中心が位置して行われていたと言うことができよう。

2. 対象者 A の連続挙上動作における shaft の位置の左右差

連続する 5 回の Bench Press 動作中の shaft の挙動を詳細に確認するために、貼付した 2 個のマーカの動きを分析した。Fig 6のグラフは、対象者 A が 100kg の Bench Press を行った際のマーカの動きを示したも

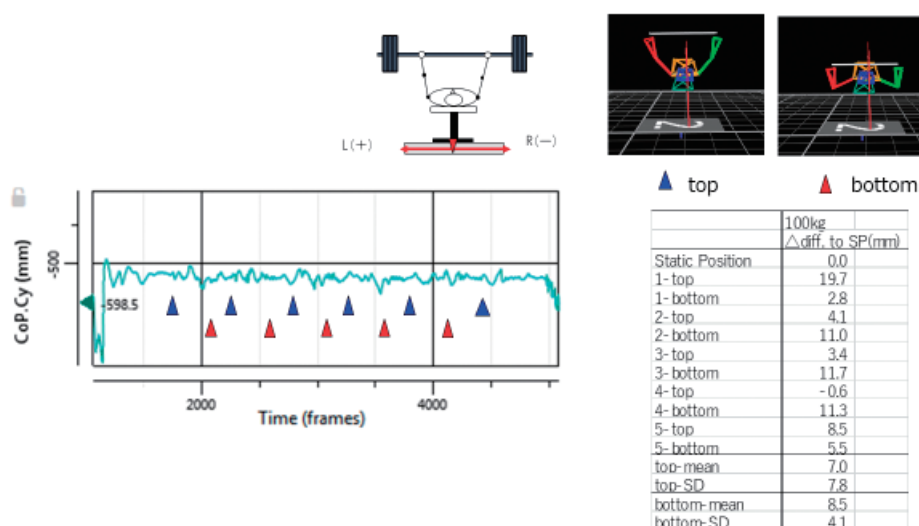


Fig. 5 Pressure centric changes in the left and right directions on the continuous 100kg Bench Press (CoP. Cy) by a Spinal Cord Injured Athlete

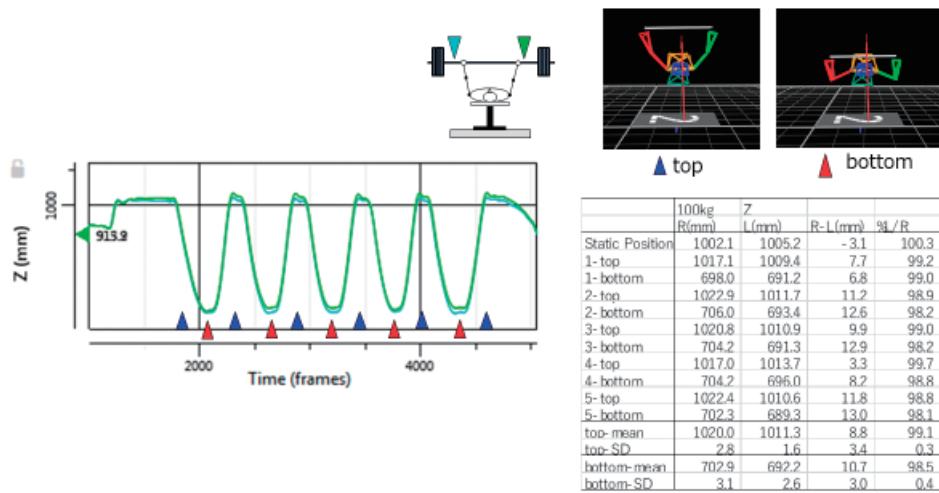


Fig. 6 The Left and Right Difference of Barbell Shaft Height at the Continuous 100kg Bench Press by a Spinal Cord Injured Athlete (Blue line: Left shoulder, Green line: Right shoulder)

のである。図中のイラストに示した様に、左側のマーカーの動きは水色実線で、右側のマーカーの動きは緑色実線で示している。実線が下方に向かっていている時は shaft が胸に向かって下方に下りて来ている時であり、逆に実線が上方に向かっていている場合には shaft が上方に移動しつつある時である。shaft の動きが左右均等であれば、両者が重なり全くの1本の実線になる。また、図中に示した数値は左右それぞれの shaft 上のマーカーの床面からの距離を示しており、R-Lはその位置の差を、%L/Rは位置の差を割合として示したものである。このグラフからも分かる様に、対象者AのBench Pressは全ての回で右側が僅かに高く、これは top position でも bottom position でも同様であった。これを具体的な数値で見ると、左側から見た右側の位置は top position では $8.8 \pm 3.4\text{mm}$ だけ上方に位置しており、bottom position でも $10.7 \pm 3.0\text{mm}$ 上方に位置していることが分かった。またこの差を割合で見ると、top position では $99.1 \pm 0.3\%$ 、bottom position では $98.5 \pm 0.4\%$ の一致率であった。

3. 対象者Aの連続挙上での肩関節高の左右差

前項と同様の Bench Press の挙上動作について、肩関節の動きを検討したものが Fig 7 である。図中のグラフにおける水色の実線は左肩の動きを、また緑色の実線は右肩の動きを上下の成分のみ抽出して示している。前図と同様に赤色のトライアングルは bottom position を、青色のトライアングルは top position を指している。図中の数値は右肩と左肩のマーカーの床面

からの高さを示している。また、R-Lは左右の肩関節高の差を示し、%L/Rは左右の肩関節高の差の比率を示している。グラフからは、明らかに肩の高さに左右差が認められた。肩関節高の動きは、top position では常に右肩が高い傾向にあり、逆に bottom position では常に左肩が高い傾向にあることが分かった。これを数値で見ると top position では、右肩が左肩よりも $13.6 \pm 1.3\text{mm}$ 、比率にして右肩から $97.4 \pm 0.2\%$ の位置に左肩があり、bottom position では、 $-18.4 \pm 1.1\text{mm}$ 、比率では top position とは逆に右肩から $103.7 \pm 0.2\%$ だけ左肩が上方に位置している事が確認された。この現象は、5回の挙上動作の内、毎回、全ての挙上に確認されており、特徴的な動きであった。

4. 対象者Aの連続挙上での肘関節高の左右差

Fig 8は、5回の挙上動作中の肘関節外側の動きを示したマーカーから確認される肘関節高の左右差を示したものである。なお、図中で使用しているトライアングル・マーカーは他の図と同様に水色が左肘関節の床面からの高さを、緑色が右肘関節の床面からの高さを示し、グラフ中の実線は、同色でそれぞれの時系列に沿ったマーカーの位置を示した。また、青色のトライアングルは top position を、赤色のトライアングルは bottom position を示している。グラフからは両肘の位置にそれ程大きな差は認められないが、その具体的な数値を確認すると、僅かではあるが bottom position において左肘が右肘に比して下がっていることが分かる。%L/Rは、top position では平均 $99.4 \pm 0.4\%$ であ

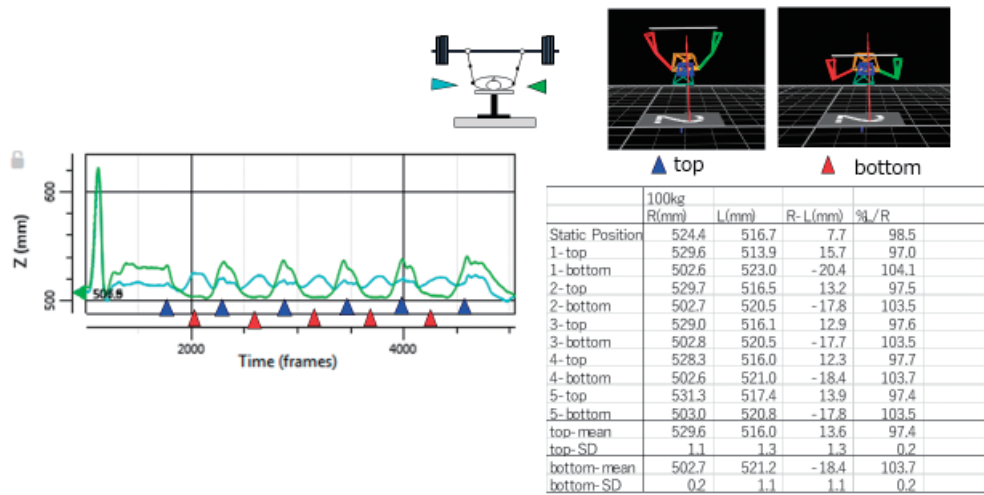


Fig. 7 The Left and Right Difference of Shoulder Joint Height at the Continuous 100kg Bench Press by a Spinal Cord Injured Athlete
(Blue line: Left shoulder, Green line: Right shoulder)

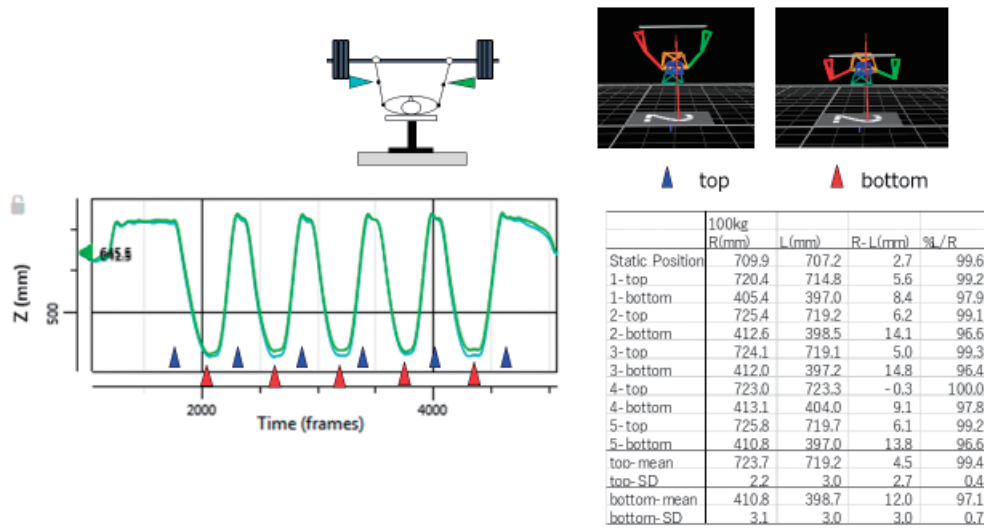


Fig. 8 The Left and Right Difference of Elbow Joint Height (outer side) at the Continuous 100kg Bench Press by a Spinal Cord Injured Athlete (Blue line: Left elbow, Green line: Right elbow)

るのに対して bottom position では、平均で $97.1 \pm 0.7\%$ と、若干の位置の相違が大きくなっていることが認められた。しかしながらこの差の実際の距離の相違は、平均 $12 \pm 3.0\text{mm}$ であるので、極めて小さな左右差であった。5回の Bench Press の個々の試技を見ても、bottom position では、毎回、左肘の方が右肘よりも下方に下りていることが確認された。僅かに確認されるこの傾向は、肩の位置の左右差の変化と全く逆の関係にあることも特徴的であった。

5. 対象者Aの連続挙上時の肩関節角度の左右差

100kg を 5 回連続挙上した時の肩関節角度の変化を Fig 9 に示した。図中左側の Bench Press のイラストに示した様に、肩関節角度は、両肩の肩峰点に貼付したマーカーを結んだ直線と、各肘関節マーカーが作り出す角度とした。また、各トライアングルが示す位置は前項までの図と同様に top position と bottom position を指している。グラフは上段に左肩、下段に右肩の状態を表している。各試行を詳細にみると top position では、右肩関節角度が 159.5 度、 158.2 度、 158.2 度、 158.3 度、

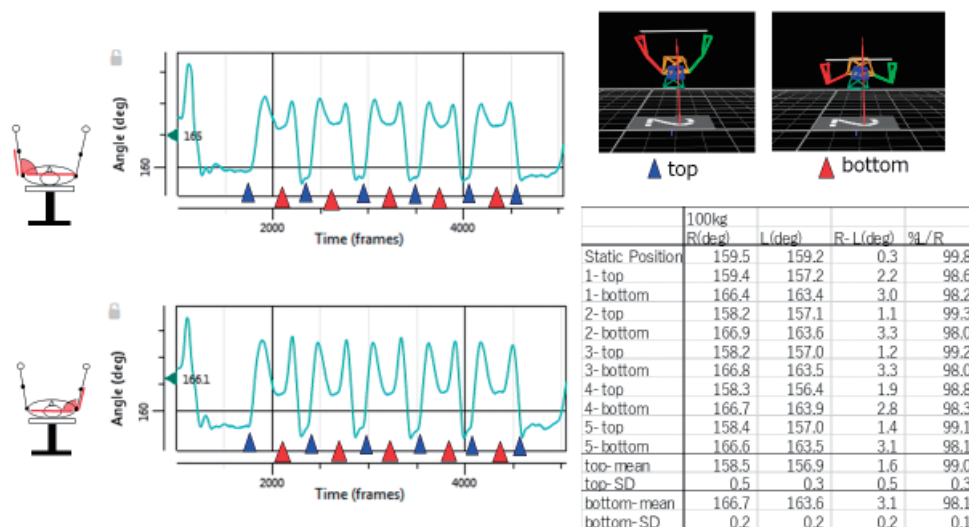


Fig. 9 The Left and Right Difference of Shoulder Joint Angle in Continuous 100kg Bench Press by a Spinal Cord Injured Athlete (Upper chart: Left shoulder, Bottom chart: Right shoulder)

158.4度で平均は158.5±0.5度であった。他方 bottom position では、166.4度、166.9度、166.8度、166.7度、166.6度であり平均は166.7±0.2度であった。top position, bottom position の関節角度は共に毎回の試行において大きく変動することなく、安定した位置関係が取れていることが示された。また左の肩関節角度は top position では、159.2度、157.1度、157.0度、156.4度、157.0度、平均は156.9±0.3度であったのに対し、bottom position は163.4度、163.6度、163.5度、163.9度、163.5度、平均163.6±0.2度であり、左肩関節角度も標準偏差が小さく、毎回安定した動作が行われていたことが分かる。また左右の角度の差を見ると、top position では大きな左右差が認められなかった (99.0±0.3%の一致率) が、bottom position においては左肩の関節角度に比して右肩関節角度が僅かながら (3.1±0.2度) 開かれていること (左右差は98.1±0.1%の一致率) が確認された。各試行の標準偏差は全体を通して極めて小さい (0.2~0.5) ことも特徴的であった。

6. 対象者Aの連続挙上時の肘関節角度の左右差

Fig 10は、5回連続で Bench Press を行った時の肘関節角度の変化を示している。図中左側の Bench Press のイラストに示した様に、肘関節角度は、肘関節外側のマーカーを中心として、手首のマーカーと肩峰に貼付したマーカーが作る角度を計測することによって求めた。また、各トライアングルが示す位置は前項までの図と同様に top position と bottom position を指している。グラフは上段に左肘関節角度、下段に右

肘関節角度の変化を記載した。top position では、右肘関節角度は168.4度、169.9度、170.2度、170.7度、170.1度であり平均は169.9±0.9度であった。同様に bottom position では、133.4度、134.0度、133.8度、134.1度、134.0度であり、平均は133.9±0.3度という測定値であった。top position, bottom position 共に標準偏差が極めて小さかった。また左肘関節角度は、top position では171.9度、172.6度、172.7度、173.4度、172.7度であり、平均は172.7±0.5度であった。一方 bottom position では、137.4度、137.5度、137.4度、138.0度、137.4度であり、平均は137.5±0.3度であった。bottom position における肘関節角度のばらつきも、標準偏差が0.3度という極めて小さなものであった。また各試行の左右差を見ると top position, bottom position 共に右肘よりも左肘の関節角度が若干ではあるが毎回大きくなる傾向が確認され、この差は平均3.7±0.3度であった。これは対象者Aの Bench Press が、shaft を rack から挙上して構えた時から右肘よりも左肘の関節角度が開いた状態で始まっており、それが shaft を胸上へ下ろした際に、さらに大きくなる様な状態で行われていることを示唆するものである。

7. 対象者Bの連続挙上動作における左右方向の圧中心の変化

Fig 11は、対象者Bが5回連続して bench Press を行った際の背部の圧中心 (CoP) の変化を示したものである。グラフは、仰臥位をとって試技をした際の背部の圧中心がセンターライン上となる様に作成してあ

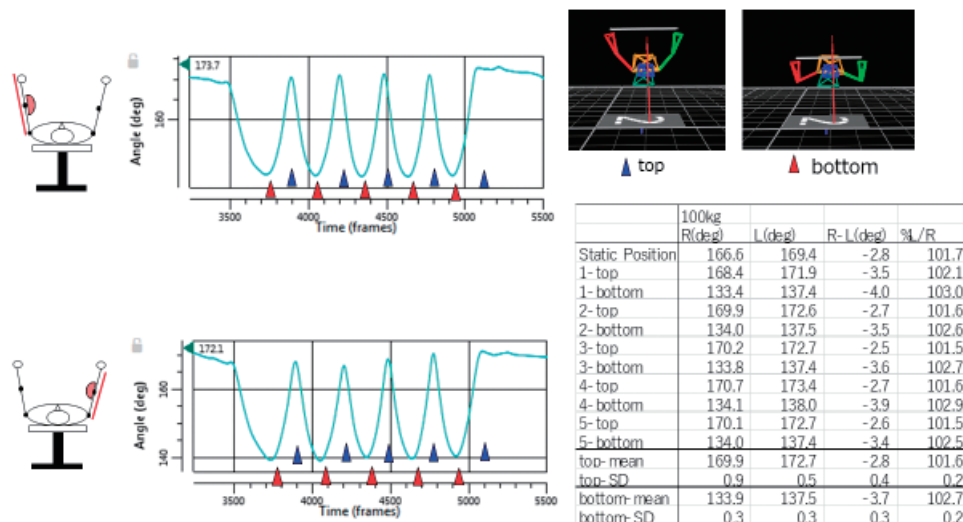


Fig. 10 The Left and Right Difference of Elbow Joint Angle in Continuous 100kg Bench Press by a Spinal Cord Injured Athlete (Upper chart: Left elbow, Bottom chart: Right elbow)

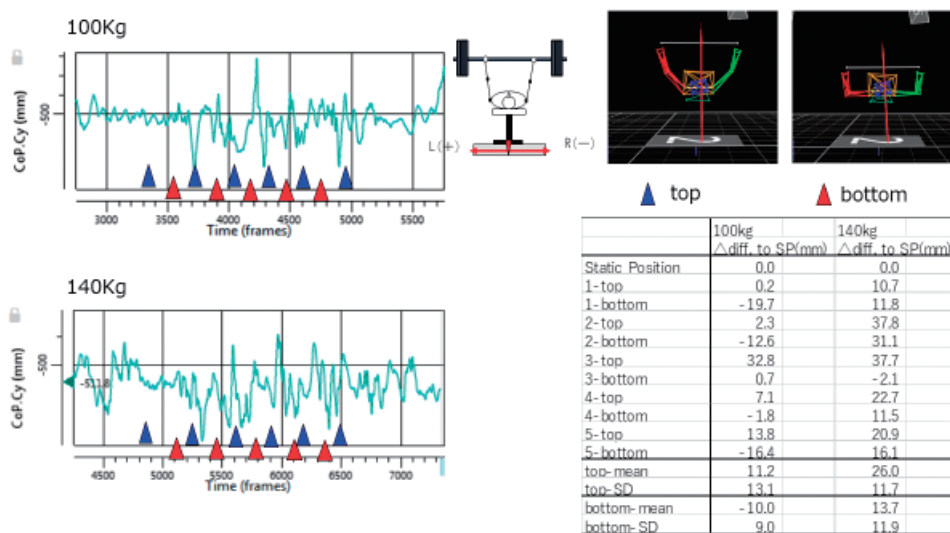


Fig. 11 Pressure Centric Changes in the Left and Right Directions on the Continuous Bench Press (CoP. Cy) by an Above Knee Amputee Athlete (Upper chart: 100kg, Bottom chart: 140kg)

り、上方への偏倚が左側への圧中心の移動（ズレ）を示し、逆に下方への偏倚は右側への圧中心の移動を表している。横軸は時間を示している。グラフの上図は100kgでBench Pressを行った際のものであり、下図は140kg時のものである。この図の左右方向が示す内容は、Fig 5の説明と同様である。また他の図同様にグラフ中、青色で示したトライアングルはbarbellを挙上した時点を示し、赤色は胸上にbarbellを下してshaftが最下部に位置した時点を示している。このグラフから、対象者Bの5回の連続挙上における左右方向への偏倚

は、100kgのbench Press時のtop positionでは0.2mm、2.3mm、32.8mm、7.1mm、13.8mmだけ中央から右側に偏倚する傾向が見られ、平均して11.2±13.1mmだけ右に偏倚していたことが分かる。またbottom positionでは-19.7mm、-12.6mm、0.7mm、-1.8mm、-16.4mmと左方向への偏倚が確認されることが多く、平均しても-10.0±9.0mmであり、左方向へ偏倚する傾向が認められた。同様に140kgのBench Press時では、top positionで10.7mm、37.8mm、37.7mm、22.7mm、20.9mm、平均して26.0±11.7mmだけ中央から右方向

側に偏倚する構えを取っていること示された。さらに bottom position では、11.8mm, 31.1mm, -2.1mm, 11.5mm, 16.1mm, 平均 13.7 ± 11.9 mm だけ中央から偏倚していたことが確認された。これら各回の top position と bottom position の位置の差を見ると、100kg の Bench Press では、19.9mm, 14.9mm, 32.1mm, 8.9mm, 30.2mm, 平均21.2mm だけ位置が偏倚しており、また140kg の bench press でも 1.1mm, 6.7mm, 39.8mm, 11.2mm, 4.8mm 平均12.3mm の差が認められた。毎回、試行毎に左右への位置の偏倚が比較的大きい Bench Press を行っていることと、平均的には100kg よりも140kg の方が上部で shaft を構えてから胸上に shaft を下ろしてくる間の左右への位置の偏倚が小さくなる傾向にあることが示唆された。

8. 対象者Bの連続挙上動作における shaft の位置の左右差

連続する5回の Bench Press 動作中の shaft の動きを詳細に確認するために、貼付した2個のマーカークの位置の変化 (shaft の床面からの高さ) を分析した。Fig 12のグラフは、上図が100kg の Bench Press 実施時のもの、下図は140kg で実施時のものである。2個のマーカークの動きを床面からの距離 (高さ) として計測して示している。図中の Bench Press のイラストに示した様に、左側のマーカークの動きは水色実線で、右側のマーカークの動きは緑色実線で示した。実線が下方に向かっている時は shaft が胸に向かって下方に下りて来ている時であり、逆に実線が上方に向かっている場合には shaft が上方に移動しつつある時である。また図

中に示した数値は左右それぞれの shaft 上のマーカークの床面からの距離の実測値であり、R-L はその位置の差を、%L/R は位置の差を比率として示したものである。100kg による Bench Press の連続挙上を行った際の上図を見ると shaft 上の左右のマーカークの位置が重なっており、殆ど差が見られないことが分かる。実際の測定値でも、top position における左右差は 4.7 ± 8.4 mm であり、その比率は99.5%となり、大半が一致していた。これは bottom position でも同様で平均 6.7 ± 5.5 mm の差で平均 $99.1 \pm 0.7\%$ が一致していた。それに対して140kg の Bench Press 時では、下図のグラフのように top position でも bottom position でも左右の位置の差が明らかに認められ、100kg 時に比して、その差が大きくなっていることが分かった。実際の測定値では、top position は、平均 12.7 ± 4.1 mm と100kg 挙上時よりも僅かにその差が大きくなっていることが明らかであり、一致率も平均 $98.7 \pm 0.4\%$ と若干下がっていることが分かる。一方 bottom position では、平均 16.5 ± 3.4 mm と100kg 挙上時に比して差が大きくなる傾向が認められ、一致率で見ても平均 $97.8 \pm 0.4\%$ と、top position の時よりもさらに低い値であった。

9. 対象者Bの連続挙上における肩関節高の左右差

同様の Bench Press の挙上動作について、肩関節の動きを検討したものが Fig 13である。図中のグラフにおける水色の実線は左肩の動きを、また緑色の実線は右肩の動きを上下の成分のみ抽出して示している。前図と同様に赤色のトライアングルは bottom position を、青色のトライアングルは top position を指している。

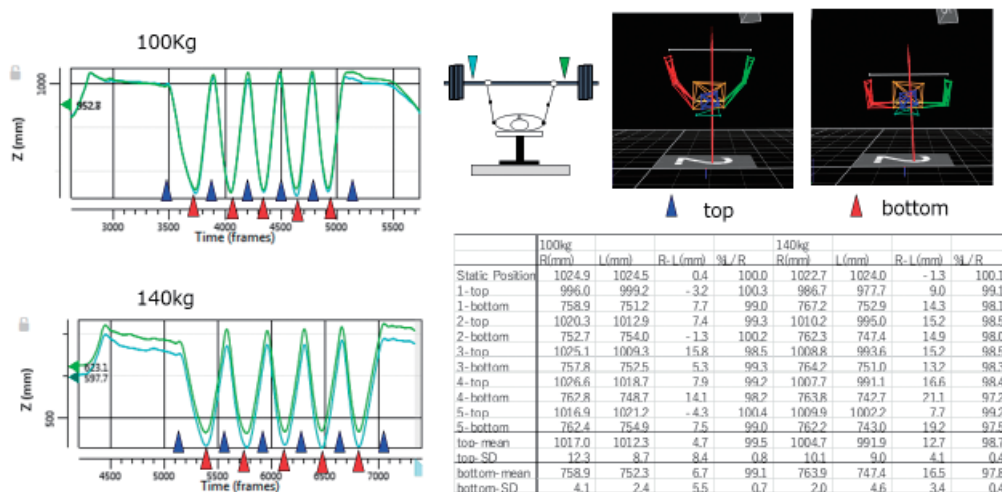


Fig. 12 The Left and Right Difference of Barbell Shaft Height at the Continuous Bench Press by an Above Knee Amputee Athlete (Upper chart: 100kg, Bottom chart: 140kg / Blue line: Left, Green line: Right)

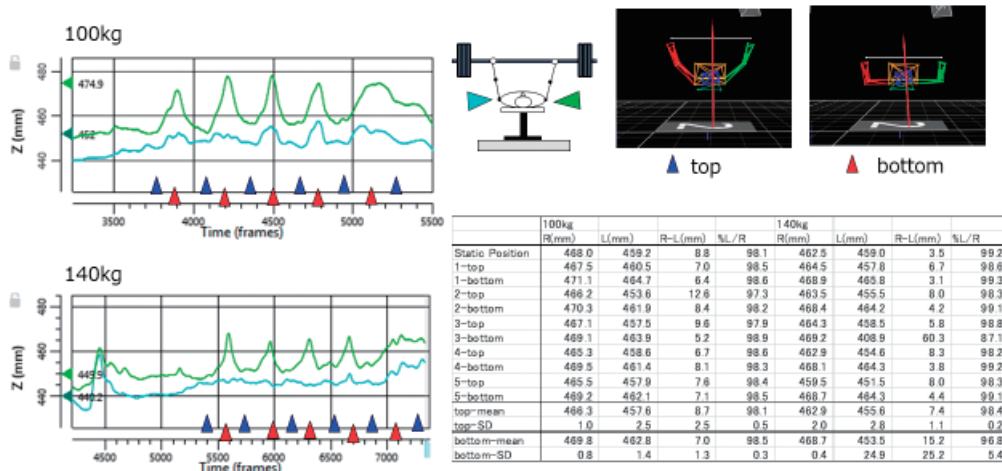


Fig. 13 The Left and Right Difference of Shoulder Joint Height at the Continuous Bench Press by an Above Knee Amputation Athlete (Upper chart: 100kg, Bottom chart: 140kg / Blue line: Left shoulder, Green line: Right shoulder)

左側グラフの上図は100kgのBench Pressを実施した際の状態を、下図は140kgのBench Pressの時のものである。図中の数値は右肩と左肩のマーカの床面からの高さを示している。また、R-Lは左右の肩関節高の差を示し、%L/Rは左右の肩関節高の差の比率を示している。100kgのBench Pressの際に見られる肩関節高の位置の変化について比較してみると、top positionでは、右肩が左肩よりも平均 6.7 ± 2.5 mm高く、これを一致率で見ると $98.1 \pm 0.5\%$ という高い割合で左右の肩が同じ位置にあることが分かった。またbottom positionでも、平均 7.0 ± 1.3 mmの差しかなく、一致率で見ても $98.5 \pm 0.3\%$ と、こちらも高い割合で左右の肩の位置が一致していた。他方、140kgのBench Press時においては、top positionの差の平均が 7.4 ± 1.1 mmであり、一致率は $98.4 \pm 0.2\%$ と、100kg 挙上時と変わらない状態であったのに対して、bottom positionでは、平均が 15.2 ± 25.2 mmであり、一致率も $96.8 \pm 5.4\%$ と低値を示していた。これは3回目の挙上においてbottom positionで左肩が下がっていなかったために、大きな左右差となって表現されてしまったものである。その値が無ければ、むしろ140kgの時の方が100kg時よりも左右差の少ないBench Pressをしていたことが分かる。また100kg時と140kg時の肩関節高を比較してみると、まずtop positionは、100kg時では右肩が平均 466.3 ± 1.0 mm、左肩が平均 457.6 ± 2.5 mmであったのに対して140kg時では、右肩が平均 462.8 ± 2.0 mm、左肩は 455.6 ± 2.8 mmと重量による差は殆ど認められなかった。一方bottom positionでも、100kg時の平均は右肩が 469.8 ± 0.8 mm、左肩は 462.8

± 1.4 mmであり、140kg時では、右肩が平均 468.7 ± 0.4 mm、左肩が平均 453.5 ± 24.9 mmと同様の値となっており、こちらも重量による差は殆ど認められなかった。

10. 対象者Bの連続挙上動作における肘関節位置の左右差

Fig 14は、5回の挙上動作中の肘関節外側の動きを示したマーカから確認される肘関節高の左右差を示したものである。なお、図中で使用しているトライアングルは他の図と同様に水色が左肘関節の高さを、緑色が右肘関節の高さを示し、グラフ中の実践は、同色でそれぞれの時系列に沿ったマーカの位置を示した。また、青色のトライアングルはtop positionを、赤色のトライアングルはbottom positionを示している。他の図と同様に上図は100kgのBench Press時のものを、下図は140kgのBench Press時のものを示している。グラフからは、両肘の位置が100kg、140kgのBench Press共に、top positionとbottom positionの両方で、それぞれに左右差が示された。その具体的な数値を確認すると、100kg 挙上時における左右の肘の高さの平均はtop positionで 13.5 ± 4.9 mmであり、一致率は $97.8 \pm 0.8\%$ であった。それに対してbottom positionでは若干差が大きく、平均 15.9 ± 11.1 mm、一致率は平均 96.6% と、top positionと比して僅かながら左右差が大きくなっていることが分かる。さらに140kg 挙上時の状態を見ると、top positionでは、平均 6.8 ± 4.3 mm、一致率は $98.9 \pm 0.7\%$ と、100kg 挙上時よりも左右の差が少なかったが、bottom positionにおい

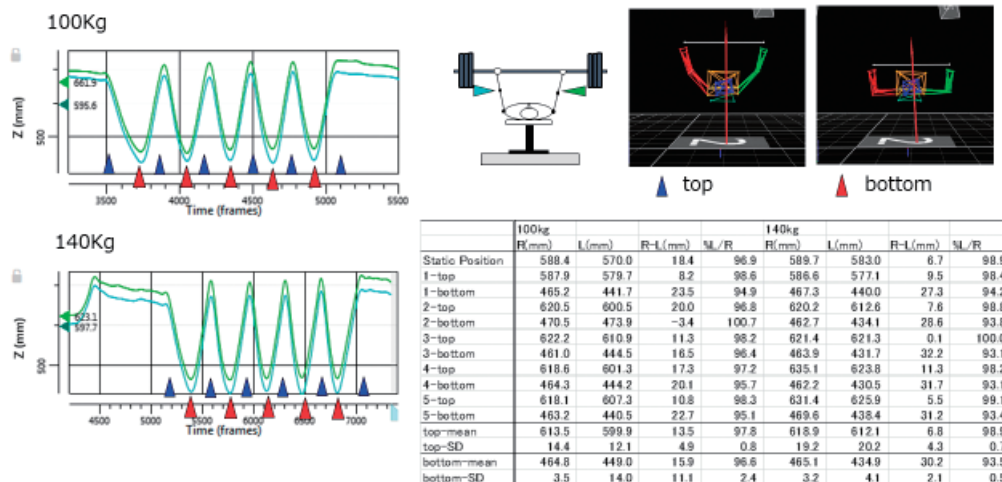


Fig. 14 The Left and Right Difference of Elbow Joint Height at the Continuous Bench Press by an Above Knee Amputation Athlete (Upper chart: 100kg, Bottom chart: 140kg / Blue line: Left elbow, Green line: Right elbow)

ては平均 $30.2 \pm 2.1\text{mm}$ と非常に大きな左右差を確認し、したがって一致率も平均 $93.5 \pm 0.5\%$ という低い値であった。標準偏差が小さいことから bottom position では、毎回、左肘の方が右肘よりも下方に同程度だけ下りていることが分かった。5回の試技全体に渡って、100kg 挙上時よりも140kg 挙上時の方が、特に bottom position において左右の肘の位置（高さ）に差が大きく認められることが確認された。また100kg 時と140kg 時の肘関節高を比較してみると、先ず top position は、100kg 時では右肘が平均 $613.5 \pm 14.4\text{mm}$ 、左肘が平均 $599.9 \pm 12.1\text{mm}$ であったのに対して、140kg 時では右肘が平均 $618.3 \pm 19.2\text{mm}$ 、左肘は $612.1 \pm 20.2\text{mm}$ と100kg 時の方が高い位置で shaft を構えていたことが分かる。一方 bottom position でも、100kg 時の平均は右肘が $464.8 \pm 3.5\text{mm}$ 、左肘は $449.0 \pm 14.0\text{mm}$ であり、140kg 時では、右肘が平均 $465.1 \pm 3.2\text{mm}$ 、左肘が平均 $434.9 \pm 4.1\text{mm}$ であった。すなわち bottom position における肘の位置は、右肘では使用重量によってそれ程大きな差は無いが、左肘は約1.5cm 程140kg 挙上時の方が下方に下がっていることが分かった。

11. 対象者Bの100kg 連続挙上動作における肩関節角度の左右差

100kg を5回連続挙上した時の肩関節角度の変化を Fig 15 に示した。図中左側の Bench Press のイラストに示した様に、肩関節角度は、両肩の肩峰点に貼付したマーカーを結んだ直線と、各肘関節マーカーが作り出す角度とした。また、各トライアングルが示す位置

は前項までの図と同様に top position と bottom position を指している。グラフは上段に左肩、下段に右肩の状態を示した。各試行を詳細にみると top position では、右肩関節角度が 156.7 度、 156.8 度、 157.3 度、 156.5 度、 155.8 度で、平均は 156.6 ± 0.5 度であった。他方 bottom position では、 166.1 度、 165.5 度、 164.6 度、 164.8 度、 164.7 度であり、平均は 165.1 ± 0.6 度であった。top position, bottom position の関節角度は共に毎回の試行において大きく変動することなく、安定した位置関係が取れていることが示された。また左の肩関節角度は top position は、 154.8 度、 153.9 度、 153.9 度、 153.5 度、 153.6 度あり、平均は 153.9 ± 0.5 度であった。一方 bottom position は 167.0 度、 167.0 度、 166.5 度、 166.4 度、 166.9 度、平均 166.8 ± 0.2 度であり、左肩関節角度も標準偏差が小さく、毎回安定した動作が行われていたことが分かる。また左右の角度の差を見ると、毎回の挙上で top position において左肩の方が右肩よりも若干大きく開く傾向 ($98.3 \pm 0.4\%$) にあることが示唆された。他方、bottom position では、左肩関節の方が毎回大きく開かれた（差は平均 1.6 ± 0.5 度、一致率 $101 \pm 0.3\%$ ）Bench Press を行っている傾向が認められた。各試行の標準偏差は全体を通して極めて小さい ($0.3 \sim 0.5$) ことも特徴的である。

12. 対象者Bの140kg 連続挙上動作における肩関節角度の左右差

140kg を5回連続挙上した時の肩関節角度の変化を Fig 16 に示した。肩関節角度の測定方法は前項で説明した通りである。また、各トライアングルが示す位置

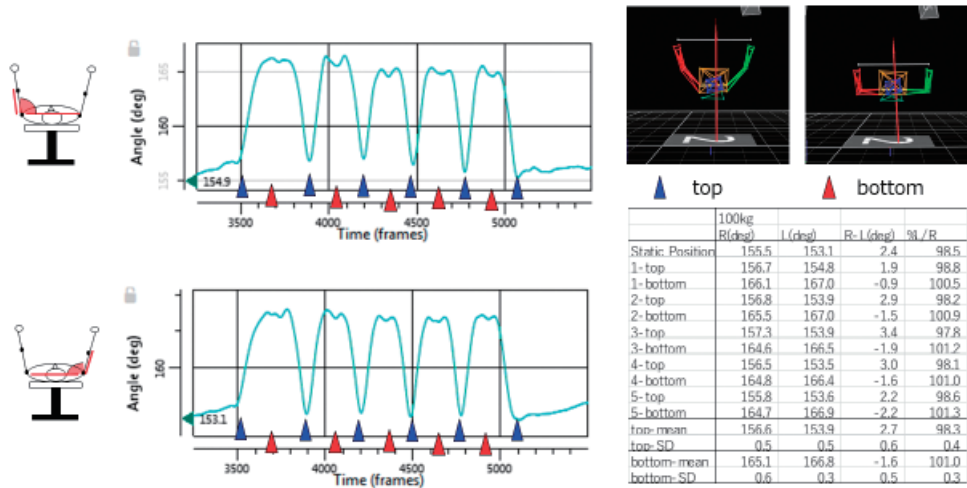


Fig. 15 The Left and Right Difference of Shoulder Joint Angle in Continuous 100kg Bench Press (Upper chart: Left shoulder, Bottom chart: Right shoulder)

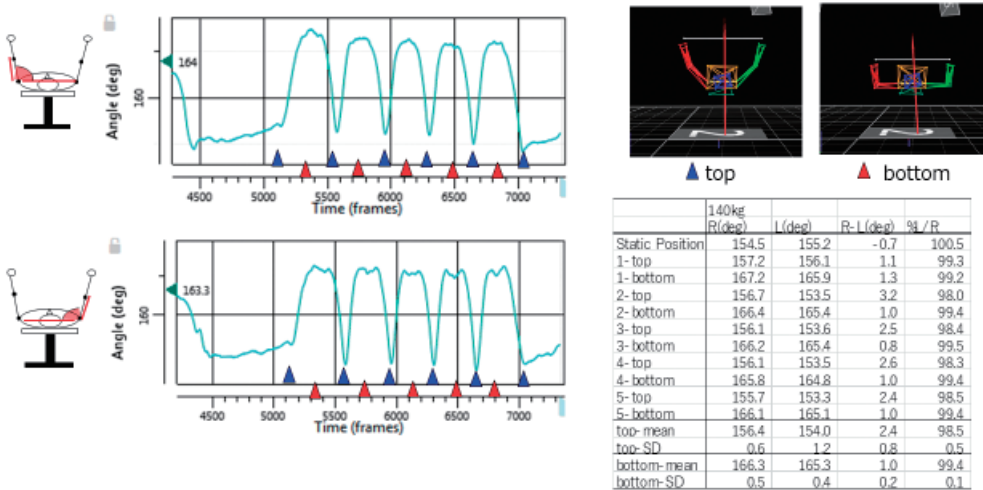


Fig. 16 The Left and Right Difference of Shoulder Joint Angle in Continuous 140kg Bench Press (Upper chart: Left shoulder, Bottom chart: Right shoulder)

も前図 (Fig 15) と同様に top position と bottom position を指し、グラフは上段に左肩、下段に右肩の状態を表している。各試行を詳細にみると 100kg 挙上時とは異なり、top position, bottom position 共に全試行で右肩関節の方が左肩関節に比して若干ではあるが大きく開かれている傾向が確認された。具体的には、右肩関節角度が top position では、157.2度、156.7度、156.1度、156.1度、155.7度で、平均は 156.4±0.6度であった。他方 bottom position では、167.2度、166.4度、166.2度、165.8度、166.1度であり、平均は 166.3±0.5度であった。top position, bottom position の関節角度は共に毎回の試行において大きく変動することなく、

安定した位置関係が取れていることが示された。また左肩関節角度は top position では、156.1度、153.5度、153.6度、153.5度、153.3度であり、平均は 154.0±1.2度であった。一方 bottom position は 165.9度、165.4度、165.4度、164.8度、165.1度、平均 165.3±0.4度であり、左肩関節角度も標準偏差が小さく、このことから毎回安定した動作が行われていたことが分かる。また左右の角度の差を見ると、毎回の挙上で top position において左肩の方が右肩よりも若干大きく開く傾向 (98.5±0.5%) にあることが示唆された。同様に bottom position でも右肩関節の方が毎回大きく開かれた (差は平均 1.0±0.2度、一致率 99.4±0.1%) Bench Press を

行っている傾向が認められたがその差は僅かである。各試行の標準偏差は100kg 挙上時よりも僅かに大きい(0.4~1.2)が、top position における1回目の試行の値が若干大きくなっていることを除けば、とても安定した Bench Press を行っていたことが窺われる。

13. 対象者Bの100kg 連続挙上動作における肘関節角度の左右差

100kg を5回連続挙上した時の肘関節角度の変化を Fig 17 に示した。図中左側の Bench Press のイラストに示した様に、肘関節角度は、肘関節外側のマーカーを中心として、手首のマーカーと肩峰に貼付したマーカーが作る角度を計測することによって求めた。また、各トライアングルが示す位置は前図と同様に top position と bottom position を指し、グラフは上段に左肩、下段に右肩の状態を表している。各試行を詳細にみると top position, bottom position 共に全試行で右肘関節の方が左肘関節に比して大きく開かれている傾向 (top position の SD : 1.0, bottom position の SD : 0.2) が確認された。具体的には、右肘関節角度が top position では、168.9度, 1570.5度, 171.2度, 171.4度, 170.7度で、平均は 170.5 ± 1.0 度であった。他方 bottom position では、146.3度, 146.0度, 145.9度, 145.9度, 146.1度であり、平均は 146.0 ± 0.2 度であった。top position よりも bottom position の方が肘関節角度は毎回同じ様に開かれる傾向にあるが、全試行に亘って安定した Bench Press が行われていたことが確認された。また左肘関節角度は top position では、167.5度, 168.2度, 167.0度, 168.9度, 170.3度であり、平均は 168.4 ± 1.3 度であった。

一方 bottom position は 139.3度, 139.1度, 140.1度, 139.8度, 140.5度, 平均 139.8 ± 0.6 度であり、左肘関節角度も右肘関節角度と同様に top position よりも bottom position の方が標準偏差の小さい (top position の SD : 1.3, bottom position の SD : 0.6) 安定的な繰り返し動作を行っていたことが示された。また左右の角度の差を見ると、毎回の挙上で top position において左肘の方が右肘よりも若干大きく開く傾向 ($98.7 \pm 0.8\%$) にあることが示唆され、さらにこの傾向は bottom position の方がより大きく ($95.7 \pm 0.4\%$) なっていることが確認された。具体的に測定された肘関節角度の左右差は、top position で、平均 2.2 ± 1.4 度、bottom position では平均 $6.3 \pm 0.5\%$ であった。

14. 対象者Bの140kg 連続挙上動作における肘関節角度の左右差

140kg を5回連続挙上した時の肘関節角度の変化を Fig 18 に示した。測定方法は前項で示した通りである。また、各トライアングルが示す位置も前図と同様に top position と bottom position を指し、グラフは上段に左肩、下段に右肩の状態を表している。各試行を詳細にみると top position, bottom position 共に全試行で右肘関節の方が左肘関節に比して大きく開かれている傾向が確認された。具体的には、右肘関節角度が top position では、168.5度, 172.0度, 171.0度, 171.1度, 171.2度で、平均は 170.8 ± 1.3 度であった。他方 bottom position では、148.0度, 147.0度, 147.6度, 147.5度, 147.6度であり、平均は 147.5 ± 0.4 度であった。top position よりも bottom position の方が肘関節角度は毎

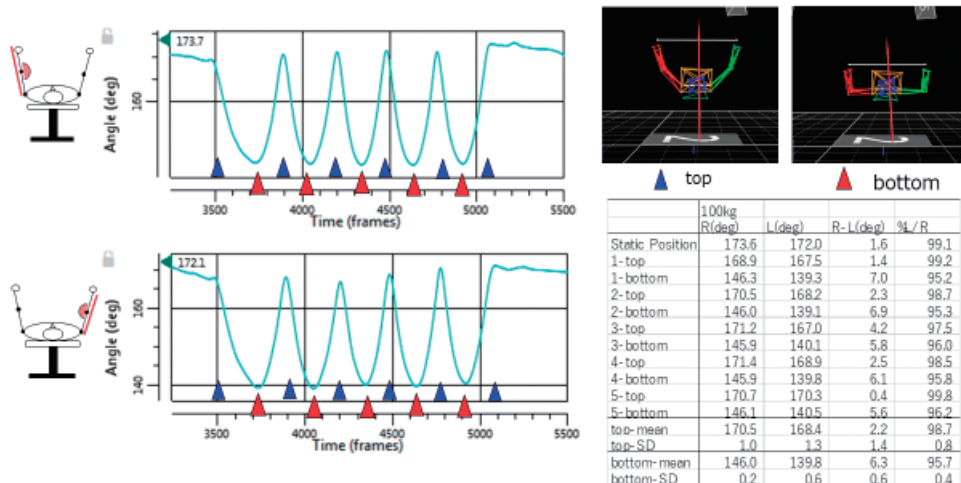


Fig. 17 The Left and Right Difference of Elbow Joint Angle in Continuous 100kg Bench Press (Upper chart: Left elbow, Bottom chart: Right elbow)

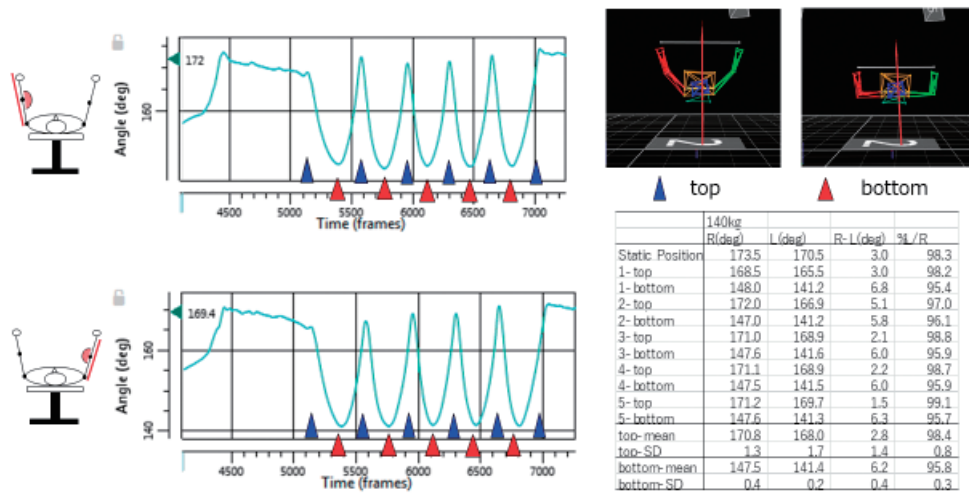


Fig. 18 The Left and Right Difference of Elbow Joint Angle in Continuous 140kg Bench Press
(Upper chart: Left elbow, Bottom chart: Right elbow)

回同じ様な動作が行われる傾向 (top position の SD : 1.3, bottom position の SD : 0.4) があるが、全試行に渡って安定した Bench Press が行われていることが示された。また左肘関節角度は top position は、165.5度、166.9度、168.9度、168.9度、169.7度であり、平均は 168.0 ± 1.7 度であった。一方 bottom position は 141.2度、141.6度、141.5度、141.3度、平均 141.4 ± 0.2 度であり、左肘関節角度も右肘関節角度と同様に top position よりも bottom position の方が標準偏差の小さい (top position の SD : 1.7, bottom position の SD : 0.2) 安定的な繰り返し動作が行われていたことが示された。また左右の角度の差を見ると、毎回の挙上で top position において左肘の方が右肘よりも若干大きく開く傾向 ($98.4 \pm 0.8\%$) にあることが示唆され、この傾向は bottom position の方がより大きく ($95.8 \pm 0.3\%$) になっていることが確認された。具体的に測定された肘関節角度の左右差は、top position で、平均 2.8 ± 1.4 度、bottom position では平均 6.2 ± 0.4 度であった。

IV. 考察

1. 対象者Aの Bench Press に認められた特徴

対象者Aは、Th.5の脊髄損傷者であり、その障がい起因する動きの制限について筆者らは「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」という論文²⁴⁾の中で、筋電図を用いて活動筋の同定を行い、筋群の活動範囲を検討している。その時点での興味は、高強度のレジスタンス・

トレーニングが脊髄損傷による筋の麻痺部分に影響を及ぼすかということであったため、神経支配が無い筋群に焦点を当てたが、神経支配が残存し、機能する筋群についても障がい故にその機能部分に制限が生じていることが理解できる。Bench Press を効果的に行うためには、主導筋である大胸筋や広背筋、三角筋、上腕三頭筋等は当然のこと、それ以外の脊柱起立筋や腹筋に関しても補助的に働き、動きを支えることが必要である。しかしながら対象者Aの場合には、大胸筋下部に shaft を下すことは出来ず、やや上方に偏って shaft を下ろすことで Bench Press を行っており、一般的に行われている Bench Press からすれば、肩の三角筋群に大きく依拠する form を採っていることが分かっている。それ故に、肩の怪我も多く、約2年前に右肩を損傷(右上腕二頭筋長頭腱脱臼を伴う鍵盤断裂)し、その回復のために、測定の1年3カ月前に手術を実施している。手術後のリハビリ経過も良好で Bench Press の練習も行えるようになり、扱える重量こそ不十分ではあるものの、練習による肩の痛みも少ない状態にまで回復している。目視による観察では、shaft も床面と並行に移動し、左右の位置の差が少ない Bench Press が行えていると判断している。Bench Press は、競技として行う場合には左右、前後の位置の差が少なく、傾きのない挙上が求められる。また選手の怪我の予防からも、左右差や前後差の無い動きで行うことが望ましい。そこで本研究の様に、正確な動作による Bench Press が出来ていることを確認することがとても重要な意味を持つものであると考えている。

Fig 5は、Bench Press 中の背中中央にある圧中心

が、どの様に位置しているのかを示したものである。この結果から分かる様に対象者AのBench Pressは、5回の挙上共に僅かながら左方向に偏倚していることが認められたが、数ミリの左右差であり誤差範囲と言っても過言ではないだろう。対象者Aは、国内のコーチ・選手は基より、国外からも、その正確な動作が高い評価を受けている。本測定結果に見られるshaftの正確な動きは、そのことを如実に証明しているものと考えられる。さらにはFig 6に示した様に、Bench Press中のshaft位置の左右差が少ないことから正確な動作が確認できる。しかしながら、Fig 5に示された若干の左方向への背部圧の偏倚と、Fig 6に見られる右側のshaft位置の上方への偏倚が、右肩の怪我に由来している可能性も推察でき、さらなる動作分析の必要性が窺われる結果であった。

Fig 7は、Bench Press中の両肩の動きを見たものであるが、5回の動作中全てに亘ってtop positionでは右肩が左肩よりも上方に位置し、逆にbottom positionでは、左肩が右肩よりも上方に位置しているという傾向が認められた。怪我をして手術をした肩が右側であることから、ruckからshaftを外して上方に構えた際には、意識的に右肩を少し持ち上げて構えを作り、Bench Pressが始まりshaftが下方に動くに従って意識的に右肩を下げていることが推察される。しかしながら、それでも尚且つshaftの位置が床面と水平に保たれているのは、左右両肘の位置関係を、左右両肩の位置関係とは逆にして調整している可能性が考えられる。そこでその詳細をFig 8において確認すると、top positionでは、 $99.4 \pm 0.4\%$ の左右位置が一致しているのに対して、bottom positionを見ると5回の挙上全てにおいて右肘が左肘に比して上方にあり、一致率も $97.1 \pm 0.7\%$ に下がっていることが分かる。これは、右肩の怪我による若干の違和感（関節の固さ）に対して意識的に可動範囲を確保しようとするものの表れであろうと考えられ、そのためのshaftの下方への偏倚を意識的に修正して、shaftを水平に保つための調整を肘の位置調節で補完しているものと思われる。目視からは知り得ない、とても興味深い測定結果であった。そこで、さらにこの位置関係を詳細に分析するために、肩の開き具合と肘の開き具合の両者を加えた検討を行ったのが、Fig 9とFig 10である。Fig 9では、左右の肩関節角度を測定している訳であるが、top positionでは小さな左右差(1.6 ± 0.5 度、左右の一致率は $99.0 \pm 0.3\%$)であったものが、bottom positionにおいてはそれよりも少しだけ大きな左右差(3.1 ± 0.2 度、左右の

一致率は $98.1 \pm 0.2\%$)になっていることが確認された。これは、左肩よりも右肩が少しだけではあるが開いたBench Pressを行っていることを示唆している。さらにはFig 10に示したごとく、肘関節角度の左右差を見ると、常に左肘が右肘に比して大きく開かれており、その差はtop position (-2.8 ± 0.4 度、一致率 $106 \pm 0.2\%$)よりもbottom position (-3.7 ± 0.3 度、一致率 $102.7 \pm 0.2\%$)の方が大きくなる傾向が確認された。この測定結果から、shaftを胸上に下した際には、右肩が左肩よりも少し下がっているが、それを、左肘を右肘よりも深く曲げることでshaftの位置を調整している訳である。すなわちその調整は、左肘を少し開き気味にして左肩の位置が右肩に比して上にあることを調整している結果、shaftを床面と水平に保っているものと解釈される。これらの全ての位置関係は、目視による観察では全く確認することが出来ず、本測定を行うことによるのみ確認することが出来た、とても興味深い結果である。この僅かな左右の差異が怪我の後遺症の状態を反映しており、さらなる怪我の発生を予防するという観点からしても、とても貴重な資料を提供することが出来るものと思われる。

2. 対象者BのBench Pressに認められた特徴

対象者Bは右大腿骨切断者であり、左右の脚の重量に差が有ることは事実である。その左右の重量差が、Bench Pressを行う際にformの左右差となって影響を及ぼすのかが本対象者の場合の最大の検討事項である。視覚的な観察では、その差は殆ど確認されず、詳細な動作分析が有効に機能するかを判定することが本研究の目的の一つでもあり、競技力向上への一つの鍵となるものと考えている。そこで、基本的なBench Pressの動きを確認するために、対象者Bの背中中の中央の圧中心が連続した挙上動作中にどのような挙動になっているのかを見てみると、100kg挙上時、140kg挙上時共に全体的に左右方向への偏倚が少ない安定したBench Pressを行っていたことが分かった。Fig 11のグラフからも分かる様に、100kg連続挙上動作では、3回目にtop positionで左側に偏った構えを採っており、それが平均値にも影響を与え、 11.2 ± 13.1 mmだけ右側に偏倚する傾向が認められた訳であるが、3回目の挙上時の値を除けば、それ以外の挙上は非常に安定した動きをしていたことが確認出来た。この3回目の挙上時にtop positionで若干右側に偏倚する傾向は140kg挙上時においても同様に確認され、本人の何らかの目的を持った癖の様な動作になっている可能性が有る。

100kg 挙上時では、top position とは逆に bottom position においては、0.7mm だけ右側への偏倚が示され、その値は、3 回目の挙上時以外の値に比して、小さな偏倚として確認された。これは140kg 挙上時でも同様であった。この結果は、対象者 B が連続した挙上を行う局面で、3 回目の挙上時に shaft を胸の上で構える際に、本人が気付かない程度に位置の修正を行っている可能性を示唆するものと考えられる。その結果、shaft を胸に下ろした位置が、1 度リセットされた様に正確に中央に寄り、ズレを修正している様にも捉えられ、この特異な動きは、トレーニングの阻害要因というよりもむしろ、トレーニングの結果として対象者 B が獲得した技術の一つとして捉えることも必要なのかもしれない。大変興味のある現象である。次に shaft の動きを検討するために、床面から左右の shaft 上のマーカーまでの距離を計測したものを Fig 12 に示した。100kg の Bench Press の連続挙上を行った場合を示す上図では、shaft 上の左右のマーカーの位置が重なっており、殆ど差が見られず、top position における左右差は $4.7 \pm 8.4\text{mm}$ であり 99.5% が一致していた。また bottom position でも同様で、平均 $6.7 \pm 5.5\text{mm}$ の差であり 99.1 \pm 0.7% が一致していた。他方 140kg の Bench Press 時では、top position でも bottom position でも左右の位置の差が 100kg 時に比して大きくなっていることが分かった。具体的には、top position では平均 $12.7 \pm 4.1\text{mm}$ と 100kg 挙上時の $4.7 \pm 8.4\text{mm}$ よりも僅かにその差が大きくなっており、一致率も $98.7 \pm 0.4\%$ へと若干下がっていることが分かる。さらに bottom position では、平均 $16.5 \pm 3.4\text{mm}$ と、100kg 挙上時の $6.7 \pm 5.5\text{mm}$ に比して差がより大きくなり、一致率で見ても平均 $97.8 \pm 0.4\%$ と、top position の時よりもさらに低い値になっていた。これは、対象者 B の Bench Press が、何らかの理由により 100kg 挙上時よりも 140kg 挙上時の方が shaft の位置を制御することが難しくなっており、それは胸上で腕を伸ばして shaft を構える時よりも胸上に shaft を下ろした時に、より顕著に表れることを示している。トレーニング時に扱う重量が増えた場合には、左右のバランス制御を、軽い重量の時よりも、より慎重に行わなければならないことを示唆するものである。さらには、この結果だけでは判明できないが、shaft を胸上に下ろした際に重量の影響が顕著に表れた理由を検討する事が必要であろう。

Fig 13 と Fig 14 に肩の動きと肘の動きを、肩関節と肘関節の床面からの高さの変化として捉え、それぞれ

に示した。肩の動きを見ると、100kg bench press の際に見られる肩関節の位置は、top position でも bottom position でも高い割合で左右の位置が一致していた。他方、140kg 時においては、top position の左右差は 100kg 挙上時と変わらない状態であったのに対して、bottom position では、一致率が低値を示しており、左右差が大きくなっていた。これは、3 回目の挙上において bottom position で左肩が下がっていなかったために、大きな左右差となって表現されてしまったことが反映された結果であると思われる。その値が無ければ、むしろ 140kg 時の方が 100kg 時よりも左右差の少ない Bench Press をしていたと考えられる。また肘の位置は、100kg 時、140kg 時の Bench Press 共に、top position と bottom position の両方で、それぞれの位置に左右差が示された。その位置の詳細を見ると bottom position の方が top position と比して僅かながら左右差が大きくなっていることが分かり、その差は肩の位置の左右差よりも大きかった。さらに 140kg 挙上時の状態を見ると、top position では、100kg 挙上時よりも左右の差が少なかったが、bottom position においてはそれよりも大きな左右差を確認した。左右の位置の一致率も平均 $93.5 \pm 0.5\%$ と低値であった。興味深いことに、140kg の 3 回目の挙上では、肩の高さは左肩が下がり切っていない事に起因して左右差が大きく示されていたが、その時の肘の位置の左右差はその他の試行と全く変わっておらず、それにも拘らず shaft の位置としては水平が保たれていた。このことから、肩と肘の関節角度をバランス良く調節することによって修正が出来ていたことが推察される。全体に毎回の試行で左肘に比して右肘が僅かに下がっていない Bench Press を行っていることが分かった訳であるが、さらに詳細に分析すると、特に shaft が胸上に下りている局面では、それが顕著に表れていた。また 5 回の試技全体に亘って、100kg 挙上時よりも 140kg 挙上時の方が、特に bottom position において左右の肘の位置（高さ）に差が大きく認められたことから、重量が増すことで、shaft を胸上に下ろした際には、左右の肘の位置に差が生じやすい事が示唆された。さらには、100kg 挙上時と 140kg 挙上時の肘の位置を比較してみると、shaft を胸上に構えた状態では左肘も右肘も 140kg 時の方が僅かながら高い位置に構えていることが分かるが、shaft を胸上に下ろしてくると、100kg 時では右肘が $464.8 \pm 3.5\text{mm}$ であったのに対して 140kg 時では $465.1 \pm 3.2\text{mm}$ とそれ程の差は見られなかったが、左肘では $449.0 \pm 14.0\text{mm}$ と $434.9 \pm 4.1\text{mm}$ と 140kg 時の方がよ

り下方に下りていたことが分かった。僅かではあるが重量の影響で、左肘がより下方に下がっていたものと考えられ、それが影響して140kg時の肘位置の左右差の拡大に繋がったものと考えられる。これが、前述した重量の影響が顕著に表れた理由であろう。

ここまで概観して来た様に、何らかの作用によって肩や肘の床面からの高さに左右差が生じていることが分かったが、それにも拘らず shaft の位置はそれ程大きく左右に傾いておらず、それをどの様にして調整しているかを検討したい。本件研究ではそのための一助として肩関節と肘関節の角度を測定している。先ず肩関節の開き具合を見ると、100kg 挙上時では Fig 13 に示した様な特徴的な傾向が確認された。すなわち、top position では毎回の挙上全てで右肩関節の方が左肩関節よりも大きく開かれているが、これとは逆に bottom position では全て左肩関節が右肩関節に比して大きく開かれていたということが分かった。これを平均値で見ると肘を伸ばして shaft を胸上で構えた時には右肩関節は 156.6 ± 0.5 度、左肩関節は 153.9 ± 0.5 度という値であり、5回の挙上全てがこの左右関係であった。そして bottom position では右肩関節が 165.1 ± 0.6 度、左肩関節は 166.8 ± 0.3 度という結果であり、こちらも全試技において左肩関節が右肩関節に比してより大きく開かれた Bench Press を行っていたことが確認された。これは、対象者Bの障がいである右大腿骨切断により右脚の重量が左脚よりも軽いため、Bench Press を行うために腕を伸ばして shaft を構えている時には右の脇を少しだけ広げて、(換言すれば、左の脇を少しだけ閉めて) 脚の重量の左右差による体幹のねじれを修正しようとしているための現象であろうと考えられる。逆に、shaft が下りて来て胸の上にある時には、100kg であれば重心位置がそれほど大きく上方に変化することも無いため、左肩関節(左脇)が少しだけ開いた状態(右の脇が閉じた状態)を採用することで修正できているのであろう。しかしながら、同様の測定を140kgで行った場合には、Fig 16に示した様に、top position でも bottom position でも右肩関節が左肩関節よりも平均して 2.4 ± 0.8 度、 1.0 ± 0.2 度だけ広く開かれた Bench Press を行っているという結果が示され、脚部の重量の左右差による影響が barbell の重量により緩和されていることが推察された。脇の開き具合が約2度程度の差であれば、殆ど左右差は無いと言っても過言ではなく、さらには、top position と bottom position の差である平均値で比較して1.4度の差であるので、shaft の上げ下げによる左右差は無いと言って

も良いだろう。肩関節の開き具合の状況だけを見て判断すると、以上の様に、対象者Bにとって、100kgの様な軽い重量では脚部の喪失による影響による左右差が認められるが、140kgという高重量になると、その重さを肩甲骨が直接的に支えて Bench Press を行うことになり、身体全体のねじれはそれ程大きな影響を及ぼしていないのかもしれない。

さらに、肩関節の状態だけではなく、肘関節の状態を加えて検討するために Fig 17, Fig 18 に100kg 使用と140kg 使用での連続する Bench Press 実施時の肘関節高の床からの高さの変化を示した。先ず Fig 17を見ると、右肘も左肘も top position よりも bottom position において標準偏差が小さくなる傾向が有り(右:1.0から0.2へ、左:1.3から0.6へ)、shaft を、肘を伸ばして持ち上げて構えた姿勢よりも、胸上に下ろした位置で支えている時の方が左右差の少ない安定した動作であったことが示された。これは140kg 時でも同様の傾向が確認され、右肘では1.3から0.4へと、左肘では1.7から0.2へと何れも bottom position の方が毎回の試技における差が少なかったことが分かる。これは、対象者Bが熟達した Para Powerlifting の選手であり、胸上における shaft の動きを定めたルールに従い、常に正確な試技を試みているからであろう。胸上における反則行為とは、「胸上における shaft の動きを停止すること」「胸上において shaft が沈み込まないこと」「胸上において shaft が弾まないこと」「胸上で shaft が左右アンバランスにならないこと」等である。試合におけるこれらの反則行為は厳しく判定されるため、対象者Bは、練習時にもこれらの反則行為を犯さない様なトレーニングを心掛けているということである。他方、肘関節高の左右の床面からの高さの差を見ると、100kg 時では、top position よりも bottom position の方が大きく、その値は 170.5 ± 1.0 度と 168.4 ± 1.3 度(左右差は 2.2 ± 1.4 度)と 146.0 ± 0.2 度と 139.8 ± 0.6 度(左右差は 6.3 ± 0.6 度)であった。この傾向は140kg 時でも同様に確認され、その左右差は top position では 2.8 ± 1.4 度、bottom position では、 6.2 ± 0.4 度と、100kg 時とほぼ同じ値であり、同様の Bench Press を行っていたことが示された。これは、肩関節高(脇の開き具合)の状態と併せて検討すると、脚部の重量の左右差による身体のねじれは、100kg 程度の比較的軽い重量を使用する時には、Bench Press フォームに影響が表れ、その修正は、肘関節と肩関節の開き具合(右脇も右肘も少し大きく開く)によって行われていたものと確認された。また、重量を増やして Bench Press を行

った場合には、脚部の重量による身体の左方向へのねじれは、肩甲骨に掛かる barbell の重量によって緩和され、肩関節の開き具合は左右差が減るものの、肘の開きによる身体のねじれの修正だけに依存して行われていることが示唆された。とても興味深い結果である。

以上の分析結果は、本研究の目的である、運動生理学的手法を用いた動作分析が Para Powerlifting の強化に貢献し得るかという命題に対して、十分な効果を示し得たと考えている。なぜならば、対象者Aの怪我の影響による若干のフォームの乱れや、対象者Bの脚部の切断によるフォームへの影響などは、視覚的観察からは殆ど確認することが出来ない微細なものであったが、本測定は明確にその影響を提示することが可能であったからである。Bench Press は、特に高重量を扱うレベルの高い競技者にとっては、これらの微細なフォームの不正確さが片や肘の怪我に繋がる可能性があり、怪我をする前に正しいフォームを修得することが予防の観点からも必要不可欠であると考えられる。また競技会においては、正確なフォームによる試技を常に要求される。競技者は日頃のトレーニング場面でも、ルールに違反しない正確なフォームによって Bench Press を行うべきであろう。そのためには、本人にとって理想となる正確なフォームを知ることが大事な前提条件であり、本測定は、その意味においても有効な情報を選手・コーチに与えることが出来る有効な手段であると考えられる。今後は、Para Powerlifting 競技で公認されている正式な Bench Press 台を用いた場面を構築し、競技に則した状況下で測定を行うことにより新たな知見を得ることで、より有効なトレーニング方法の獲得に貢献したいと考えている。継続する課題である。

V. おわりに

筆者らは、従来から Para Powerlifting におけるベンチプレス競技の強化を目的とし、運動生理学的手法を用いて実施可能な様々な測定を行い報告して来た。本研究は、これまでに行ってきた健常者を対象とした測定に加えて、本邦における Para Powerlifting のトップ選手である2名の競技者を対象として、彼らの Bench Press の動作特性を分析した。具体的には、「床反力測定によるベンチプレス動作時の左右バランスの解析」と「三次元動作解析によるベンチプレス動作の時系列解析」に焦点を当てて測定を行った。その結果、対象者Aに関しては、肩の怪我の回復のために行った手術

後のリハビリテーション効果や競技復帰に向けた準備としてのトレーニングが彼の Bench Press にどのような影響を与えているのかを評価することが出来た。競技者としての正確なフォームによる Bench Press を常に心がけている対象者Aであるので、視覚的には全く問題のない試技を行っており、目視による観察では、微細な筋の活動やフォームを評価することは不可能である。本測定では、視覚的には認められない微細な肩と肘の動きとなって表れていることが観察できた。また対象者Bについても、右大腿骨切断の影響から派生するのであろう身体の左右方向へのねじれを、肩関節と肘関節の開き具合の状態で修正して shaft を床面と平行に保っている可能性が示唆された。これも視覚的観察では検知できない微細な調節である。高重量を扱う Para Powerlifting 競技では練習の段階から左右・前後方向への shaft の位置偏倚を出来る限り少なくしなければならない。稀に障がい起因する身体の状態から、その動きが左右均等ではない競技者も存在することは周知であるが、怪我の予防の観点からも左右・前後方向へ均等な動作・重量配分が出来ることが望ましい。さらには、競技会における試技上のルールでも左右均等に shaft が挙上されることが必然であり、選手がその感覚を身に付けることも必要不可欠である。これらの必須条件を背景として、視覚的な観察のみならず、視覚的観察だけでは認識不可能な本研究で示した様な動作分析から明らかにされる微細な左右方向への偏倚情報も、競技者・コーチにとっては貴重な資料となり得るものと思われる。したがって本研究において検証した動作解析の方法は、Para Powerlifting 競技において、とても重要な基礎資料を提供し得る方法であると判断した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、快く被験者をお引き受けいただいた Para Powerlifting の競技者である大堂秀樹氏、中辻克仁氏に心から感謝の意を表します。また、実験を行うにあたって全ての局面において協力して頂いた朝日大学、健康福祉学部、健康スポーツ学科の加藤尊氏、本田亜紀子氏、高橋篤史氏に紙面を借りてお礼を申し上げます。

付記

本研究は、愛知学院大学心身科学部健康科学科および健康栄養学科におけるヒトを対象とする研究倫理審査委員会による承認を得た(第1712号)。

参考文献

- 1) 石田直章, 菅嶋康浩, (2015) 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的アプローチの提案. 名古屋芸術大学研究紀要 **37**, 1-12.
- 2) 石田直章, 菅嶋康浩, (2016) 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. 名古屋芸術大学研究紀要 **38**, 41-57.
- 3) 中川 宏, 熊本水頼, (1973) ベンチプレスの筋電図学的研究. 体育学研究 **18**(2), 83-89.
- 4) 中川 宏, 橋本不二雄, 岡本昌夫, 八木田恭輔, 西河光男, (1977) 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.
- 5) 半田 徹, 加藤浩人, 長谷川 伸, 瀧間久俊, 岡田純一, 加藤清忠, (2002) 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.
- 6) 半田 徹, 加藤浩人, 長谷川 伸, 岡田純一, 加藤清忠, (2008) 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.
- 7) 島野敬四郎, 内藤 譲, 湯浅景元, (1994) 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.
- 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, 飯田祐土, 長谷川伸, (2010) 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.
- 9) Wilson, G. J., Elliot, B. C. and Kerr, G. K., (1989) Bar path and force profile characteristics for maximal and submaximal loads in the bench press. Int. J Sport Biomech., **5**, 390-402.
- 10) Wagner, L. L., Evans, S. A., Weir, J. P., Housh, T. and Jand Jhonson, G. O., (1992) The effect of grip width on bench press performance. Int. J Sport Biomech., **8**, 1-10.
- 11) McCaw, S. T. and Friday, J. J., (1994) A comparison of muscle activity between a free weight and machine bench press. J Strength and Cond Res., **8**, 259-264.
- 12) Barnett, C., Kippers, V. and Turner, P., (1995) Effects of variations of the bench press exercise on EMG activity of the five shoulder muscles. J Strength and Cond Res., **9**, 222-227.
- 13) Rocha Jr., V. D. A., Gentil, P., Olivia, E. and Do Carmo, J., (2007) Comparison among the EMG activity of the pectoralis major, anterior deltoidis and triceps brachii during the bench press and peck deck exercises. Revista Brasileira de Medica Esporte., **13**(1), 43e-46e.
- 14) Sakamoto, A. and Sinclair, P. J., (2012) Muscle activations under varying lifting speeds and intensities during bench press. Eur J Appl Physiol, **112**(3), 1015-1025. Epub 2011/07/08. doi, 10.1007/s00421-011-2059-0 PMID, 21735215
- 15) Campos, Y. D. A. C. and Da Silva, S. F., (2014) Comparison of electromyographic activity during the bench press and barbell pullover exercises. Moriz Revista de Educacao Fisica, **20**(2), 200-205.
- 16) Norwood, J. T., Anderson, G. S., Gaetz, M. B. and Twist, P. W., (2007) Electromyographic activity of the trunk stabilizers during stable and unstable bench press. J Strength Condit Res., **21**(2), 343-347.
- 17) Santana, J. C., Vera-Garcia, F. J. and McGill, S. M., (2007) A kinetic and electromyographic comparison of the standing cable press and bench press., **21**(4), 1271-1277.
- 18) Glass, S. C. and Armstrong, T., (1997) Electromyographical activity of the pectoralis muscle during incline and decline bench press. J Strength Condit Res., **11**(3), 163-167.
- 19) Barnett, C., Kippers, V. and Turner, P., (1995) Effects of variation of the bench press exercise on the EMG activity of five shoulder muscles. J Strength Condit Res., **9**(4), 222-227.
- 20) Saeterbakken, A. H. and Fimland, M. S., (2013) Electromyographic activity and 6RM strength in bench press on stable and unstable surfaces. J Strength Condit Res., **27**(4), 1101-1107.
- 21) 石田直章, 菅嶋康浩, (2016) 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. 名古屋芸術大学研究紀要 **38**, 41-57.
- 22) 菅嶋康浩, 石田直章, 加藤 尊, 本田亜紀子, 山本英弘, (2018) Para Powerlifting における適切なベンチプレスフォームの確立に向けた筋電図学的基礎研究. 健常者の一流男性選手によるベンチプレス動作からの考察. 朝日大学保健医療学部健康スポーツ科学科紀要 **1**, 51-58.
- 23) 石田直章, 菅嶋康浩, (2017) Para Powerlifting における適切なベンチプレス・フォームの確立に向けた運動生理学的アプローチ. 健常者のベンチプレス時の動作分析から確認できること. 愛知学院大学論叢 心身科学部紀要 **13**, 7-21.
- 24) 石田直章, 菅嶋康浩, (2014) 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. 名古屋芸術大学研究紀要 **35**, 19-33.
- 25) 石田直章, (2005) 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.

最終版平成30年9月27日受理

Effectiveness of Motion Analysis of Bench Press in Para Powerlifting Competition —Through motion analysis of two national record holders in Japan—

Naotaka ISHIDA¹⁾ and Yasuhiro SUGAJIMA²⁾

Abstract

Para Powerlifting Competition in Japan is far behind comparing with the world strong competitive countries and has problems on establishment of an effective training method and acquisition of accurate competition form. As one of them, it is required to collect basic materials available from the exercise physiological viewpoint and conduct various approaches. Until now, authors have proposed the measurement method of exercise physiology to establish a more appropriate form for Benchpress³⁾, and already tried actual measurement⁴⁾. In this research, with cooperation from two top domestic athletes from Para Powerlifting Competition, conducted the motion analysis and considered its effectiveness. Subject A is a male suffered a complete disconnection of the fifth thoracic spinal cord (T5), and experienced Paralympics three times. About one year and three months before this measurement, he had an arthroscopic repair surgery for the rotator cuff rupture with the dislocation of right biceps brachii tendon. Therefore, on the day of measurement, he was in the process of recovery and also in the middle of continuing efforts aiming for back to competition after the medical rehabilitation period. Subject B is a male suffered above-knee amputation of right knee. He is in the 107kg-class of Para Powerlifting Competition, and the record holder of 197kg, currently recognized as the highest record in Japan (107kg-class in Japan Cup on July 16, 2017). As the basic condition of this measurement, it shall be conducted by checking the subject's bench press maximum lifting weight (One Repetition Maximum: 1RM) and performing five iteration lifting with the weight of 70% and 50 %. However, the subject A had only 50% weight load because he was in the process of recovery of shoulder injury. The measurement was carried out using 9 VICON Vantage/Vero camera systems, and NEXUS2 was used for analysis as the core software.

From the measurement result, it was found that less opening of shoulder during Bench Press, which seems to be characteristic in the process of recovery from injuries seen in spinal cord injured players, was made an adjustment by the opening degree of the elbow to make the shaft horizontal. The twisting of the left and right body from the weight difference between the left leg and the lost right when lifting the shaft, which was seen in the athlete with above-knee amputation, is mitigated by the barbell weight. However, it was indicated that the difference in opening degree of the shoulder and elbow was unconsciously made an adjustment to the body twisting with its opening degree. In this research, it was shown that it is possible to confirm the slight form difference of the left and right which is not able to be confirmed from the visual information and will be an essential support for the establishment of the form for training and games.

Keywords: Para Powerlifting, bench press, motion analysis, spinal cord injured, above-knee amputation

-
- 1) Naotaka Ishida: Department of Health Science, Faculty of Psychological and Physical Science, Aichi Gakuin University
 - 2) Yasuhiro sugajima: Department of Health & Sports, Faculty of Health and Medical Care, Asahi University
 - 3) Naotaka Ishida, Yasuhiro Sugajima, (2015) Proposal of Biomechanics Approach to Strengthen Bench Press in IPC Powerlifting, Research Bulletin of Nagoya University of the Arts 37, 1–12
 - 4) Naotaka Ishida, Yasuhiro Sugajima, (2015) Proposal of Biomechanics Approach for the Bench Press Form to Strengthen Para Powerlifting Competition, Research Bulletin of Nagoya University of the Arts 38, 41–57