

Para Powerlifting 選手の筋特性

石 田 直 章^{*1)} 菅 嶋 康 浩^{*2)}

本研究は、Para Powerlifting の競技力向上を目的として実施している運動生理学を用いた支援方法の確立に向けた研究の一部である。そのため、競技形態である Bench Press の強化に寄与する基礎資料の抽出・提供を最終的な到達点としている。本測定で言えば、筋厚の測定結果と Biodex system4 による肩関節周りのトルクを等速度運動により測定し、その結果が競技者の身体や Bench Press 時の動きとの関連を正確に反映できているかということである。その観点で検討を行った結果、以下の様な結果を得た。本研究の対象者は、日本最高記録を挙上可能な2名の選手であった。また、対照者としてマスターズの元日本チャンピオンを用いた。3名とも最高挙上重量は凡そ200kgである。

筋厚の測定からは、筋厚が、トレーニングの際の競技者のフォームや身体的な特徴を強く反映するものであることが分かった。換言すれば、トレーニング時に、より多くの負荷が掛かっている筋が、より強く反応し、厚い筋厚になることが示唆された。筋厚に左右差がある場合には、トレーニング時のフォームに左右差があることも推察され、怪我の予防の観点からも知る必要のある基礎資料となり得るものと確認された。対象者Aは、怪我治療のための手術後の回復期間中であつたが、怪我の回復状況を反映するデータが筋厚測定から得られた。すなわち筋厚測定は、選手に怪我が有った場合でも、その治療経過を正確に評価する測定として用いることが可能であることが示唆された。

肩関節周りの180度屈曲トルクならびに対角運動時の180度トルクの等速性収縮時の測定から、対象者は両名共に対角運動時の肩関節トルクが肩関節屈曲時のトルクに比して著しく大きかった。これは Bench Press という運動の特異的なトレーニング効果を反映しているものと考えられた。

Bench Press 時の微細な身体の歪や各セグメントの位置が、筋厚や肩関節トルクに影響を及ぼしていることが確認されたことから、動作解析による分析結果と本測定結果を重ねて評価することにより、選手の身体的特徴を、より正確に評価できることが示唆された。

Keywords: Bench Press, 筋厚, 肩関節周りの等速性筋力測定

I はじめに

Para Powerlifting は Paralympic における正式種目であり、2020年の夏に行われる東京 Paralympic でも正式種目として採用されている。その競技形態は Bench Press であり、健常者と同じ条件で競うことができる種目としても注目すべき競技種目である。競技として扱うバーベルの重量は、現在の世界最重量記録が310kgと300kgを越しており、また日本最重量記録でも202kgであり200kgを上回っている。Para Powerlifting

は、この高い競技力だけでなく、試合の駆け引きの面白さも加わり Paralympic では人気種目の一つとなっている。Bench Press の競技時間は凡そ3秒間であると言われ、その動作も単純明快であるので一見すると簡単な競技である様にも思えるが、実際には自身の能力で挙上可能な最高重量を挙げようとする、克服しなければならない多くの課題が在ることが分かる。それ故に、競技力の向上には複雑な多岐に亘る身体能力の改善を必要としている。そこで、運動生理学的視点からも出来得る限りの資料を収集し、それに基づく

* 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

様々なアプローチを行うことが必要である。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⁾、実際に測定も試みて報告している²⁾。Para Powerlifting における Bench Press は、健常者が行う両脚を床に下したフォームとは異なり、ベンチ台上に両脚を乗せた状態で行うため、必然的に使用可能な身体部位は制限され、異なるフォームで行われる。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事ができる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消却されることや肩関節は水平位屈曲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、上体の異なる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)}。その他にも Bench Press 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)}。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る。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、後半の挙上に時間的な遅れが生じ、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測定からも確認された。さらに筆者らは、挙上中の左右の肩や肘の下がり方や、その位置関係について、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、Bench Press 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²³⁾。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。続いて、同様の測定を Para Powerlifting 競技の日本記録保持者である 2 名に対して実施し、僅かな肩の故障による動作の乱れや、片下肢の喪失が上体に与える影響なども、詳細な動作解析を行えば、視覚的な情報だけに比べてはるかに正確な分析が行えることを報告した²⁴⁾。

本研究では、従来行ってきた動作分析に加え、Bench Press に必要な筋群の状態を知ることによりパフォーマンスとの関係が推測できるかを検証した。そのために、対象者はこれまでに被験者を依頼した日本最高記録を持つ Para Powerlifting の選手 2 名と、対照となる健常者にもマスターズの元日本チャンピオンである選手を採用し、Bench Press 動作との関係が評価できる様に工夫した。Para Powerlifting 競技で使われる Bench Press は両脚を台上に乗せて試技を行うフォームであるため、その条件で測定することが望ましいと考えているが、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、両脚足底部を床面に設置した状態で Bench Press を行うこととした。また対象者の一人は怪我の回復のための手術を受け、その後のリハビリ期間を経て選手として再起をする過程に居る者である。本研究では、その回復過程を今回の測定が客観的に表現し得るものであるかという検証も目的の一つとしている。

II 方法

1. 対象

被験者は Para Powerlifting の競技者 2 名と対照者と

して健常者 1 名の計 3 名である。

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) の完全断裂を受傷した、測定時 44 歳 (1974 年 10 月生まれ) 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、測定時 49 歳 (1969 年 11 月生まれ) 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。また 2019 年 7 月に行われた世界選手権では 107kg 級で 202kg を挙上して 9 位であった。この記録は、現在公認されている日本最高挙上重量記録である。

3) 対象者 C (対照者)

対象者 C は、元マスターズの日本チャンピオンであり、測定時 48 歳 (1970 年 8 月 13 日生まれ) の男性である。身長は 177cm、体重は 90kg である。Bench Press のトレーニング歴は約 20 年に成り、2013 年には全日

本マスターズ Bench press 選手権大会の 93kg 級で 1 位を獲得している。Bench Press の最高挙上重量は 200kg である。

以上 3 名の対象者は口頭ならびに文書による本研究計画概要の説明を受け、実験計画・測定手法の理解をした上で被験者となることを同意し、同意書を提出している。

2. 測定

1) 測定項目ならびに測定器具

Bench Press を行う際に最も関与の多い筋群として考えられるのは、大胸筋、三角筋、上腕三頭筋、広背筋等である。本研究では、これらの筋群の筋厚 (Muscle Thickness) に加えて上腕二頭筋の筋厚も測定した。この筋厚測定は誠鋼社製超音波皮厚計 SM-306 によって実施した。また、肩関節周りの回転トルクの測定は、腕を身体前面下部から上方に挙上する肩関節 180 度屈曲時の等速性収縮における最大筋力と、Bench Press の筋力発揮方向とは完全には一致しないものの、肩関節を中心とする Bench Press 動作に程近い肩関節 180 度屈曲の反対の動作時における肩関節回転トルクを測定した。なお本研究では、この上肢を身体前面において上方から下方へと下す動作を、対角運動と呼ぶこととする。対角運動時の肩関節トルクは、Bench Press のパフォーマンスに影響を及ぼすものと推定される。測定は BIODEX 社製多用途筋機能評価運動装置 Biodex system4 BDX-4 を用いて行った。

2) 測定条件

筋厚測定は、測定項目に示した通りの 5 カ所について実施した。大胸筋は、力を入れた時の筋腹の最上部を測定した。また三角筋は鎖骨部 (前部) の筋腹を測定した。さらに上腕三頭筋と上腕二頭筋についても筋腹の最上部を測定した。広背筋については、肩甲骨下部の起始と停止部の中央を測定した。

肩関節 180 度屈曲トルクならびに対角運動時の 180 度トルクについては、対象者を座位で肩関節を 180 度、肘関節は怪我の予防を考慮して完全には伸ばさず、少し曲げた状態にして全力で力発揮を行わせた。図 1 は測定の状況を示している。筋収縮様式は、角速度 60deg/sec の isokinetic contraction とした。なお、対象者 A は、肩の怪我の手術後からの回復期であることを考慮して、本測定は行わなかった。関節トルクの値は、AD 変換を行ってデジタル化し、サンプリング周波数



図1 Biodex system 4による肩関節トルク測定の様子

左図が対象者B, 右図が対象者Cの測定時風景である

100Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。

III 結果

1. 筋厚の測定結果

各対象者の筋厚測定の結果を表1に示した。表は、上から順に大胸筋の右側左側の筋厚、同様に三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、広背筋の右側左側の筋厚である。大胸筋は対象者Bが最も厚く、大胸筋の筋量が多いことが窺える。また、対象者Bは、三角筋の厚さも特徴的であり筋量の多さを認めた。それに対して対象者Aは、広背筋の厚さが際立っていた。また、左右の筋厚についても比較し%L/Rの欄にその比率を記載した。この左右差については、特徴的な関係が認めら

れたので、個別に結果を示すことにする。

1.1. 対象者Aの筋厚の左右比較

図2は対象者Aの各測定部位別に左右の筋厚を比較した図である。図の左から大胸筋、三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、広背筋の左右比較を行った結果を示している。その結果、大胸筋と広背筋については若干ではあるが、右側が左側に比して厚いという結果であり、逆に三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋については、左側が右側よりも厚くなっていることが分かった。大胸筋では97.6%、広背筋についても97.8%が左右比であるので、問題となるほどの大きな差ではないことが分かった。しかしながら、三角筋の128.6%と上腕三頭筋の111.5%という左右比は、右側の筋量が左側に比して明らかに少なくなっている事を示しているもの

表1 各対象者の筋厚測定結果

測定筋			対象者A	対象者B	対象者C
大胸筋	R	mm	42.0	50.0	29.0
	L	mm	41.0	49.0	34.0
	%L/R	%	<u>97.6</u>	<u>98.0</u>	<u>117.2</u>
三角筋	R	mm	28.0	40.0	33.0
	L	mm	36.0	43.0	35.0
	%L/R	%	<u>128.6</u>	<u>107.5</u>	<u>106.1</u>
上腕二頭筋	R	mm	45.0	43.0	34.0
	L	mm	46.0	42.0	31.0
	%L/R	%	<u>102.2</u>	<u>97.7</u>	<u>91.2</u>
上腕三頭筋	R	mm	52.0	57.0	48.0
	L	mm	58.0	60.0	50.0
	%L/R	%	<u>111.5</u>	<u>105.3</u>	<u>104.2</u>
広背筋	R	mm	45.0	39.0	
	L	mm	44.0	38.0	
	%L/R	%	<u>97.8</u>	<u>97.4</u>	

である。なお、上腕二頭筋の左右比102.2%は、上腕三頭筋の左右差と異なり、殆ど左右差が確認されなかったと判定しても良いであろう。

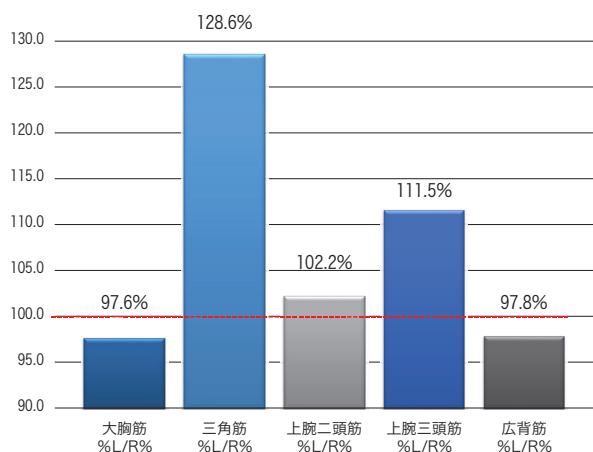


図2 対象者Aの筋厚の左右比較 (L/R ratio)

1.2. 対象者Bの筋厚の左右比較

図3は対象者Bの各測定部位別の筋厚の左右差を示したものである。図の位置関係は図2と同様である。対象者Bの場合にも対象者Aと同様に、三角筋と上腕三頭筋が右側に比して左側の筋厚が厚いことが認められた。その値は三角筋が107.6%であり上腕三頭筋では105.3%という結果であった。一方、大胸筋、上腕二頭筋、広背筋については、それぞれ98.0%、97.7%、97.4%と左右の筋厚にそれ程大きな差異は認められなかったため、この部位の筋量に関しては大きな左右差が無かったものと評価しても良いであろう。

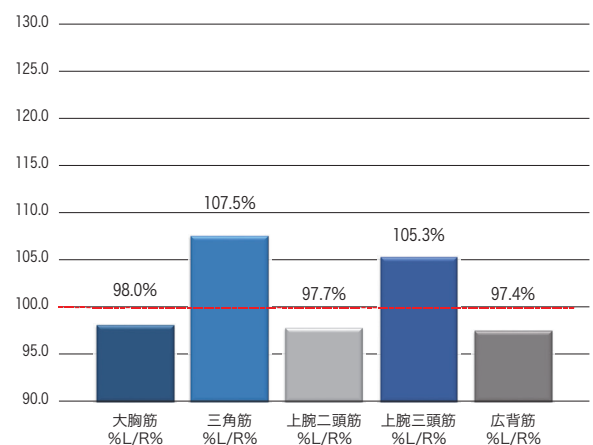


図3 対象者Bの筋厚の左右比較 (L/R ratio)

1.3. 対象者Cの筋厚の左右比較

図4は対象者C（対照者）の各測定部位別の筋厚の

左右比較を示している。図の位置関係は図2と同様であるが、広背筋については正確なデータを確保することが出来なかったため割愛した。この図からも明らかな様に、対象者Cの筋厚の左右差は対象者Aや対象者Bの状態と明らかに異なり、大胸筋の筋厚に大きな左右差が認められたことが特徴的であった。その差は比率で見ると117.2%と左側が右側に比べて大きな筋厚であることが分かった。一方、上腕二頭筋は91.2%という比率で左側が右側に比べ薄い（小さな）筋厚であることが分かった。さらには、三角筋と上腕三頭筋についても大胸筋ほどでは無いが、左右差が確認され、それぞれ106.1%、104.2%と左側の方が右側よりも筋厚が厚いことが窺える結果であった。

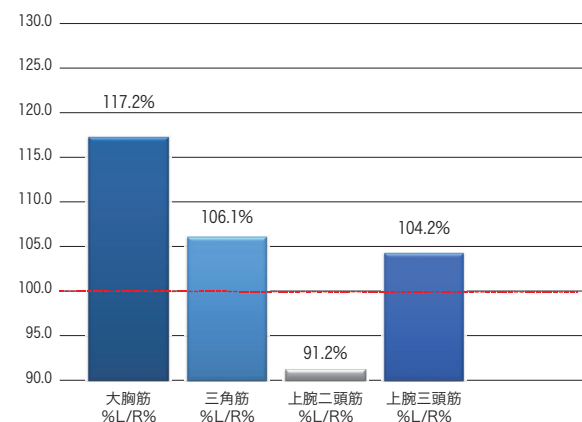


図4 対象者Cの筋厚の左右比較比較 (L/R ratio)

2. 肩関節周りの等速性筋力測定の結果

表2にBiodex4を使用して等速性筋力を測定した肩関節周りのトルクを示した。なお本測定は、右肩の怪我の治療のために手術をした対象者Aについては、術後の回復期であったので、怪我の再発予防を考慮して測定は行っていない。したがって、この表は対象者Bと対象者Cの測定結果のみを示したものになっている。個別にデータを見てみると、対象者Bの肩関節対角運動トルクは129.4Nm（右肩）、124.2Nm（左肩）平均126.8Nmと、何れも大きな筋トルクを発生できている。これは肩関節屈曲トルクに関しても同様で、102.5Nm（右肩）、95.2Nm（左肩）平均98.85Nmと、こちらも大きなトルクを発生している。他方対象者Cの結果を見ると、肩関節対角運動トルクは、右肩が147.9Nm、左肩が115.3Nm 平均131.6Nmであり、右肩の対角運動トルクが極めて大きいことが特徴であった。また肩関節屈曲トルクは、72.4Nm（右肩）、75.8Nm（左肩）平均74.1Nmと対象者Bよりも小さな

表 2 各対象者の肩関節屈曲・対角運動における等速性筋力測定の結果

			対象者 B	対象者 C
60 度 / 秒対角運動	R	Nm	129.4	147.9
	L	Nm	124.2	115.3
	%L/R	%	96.0	78.0
60 度 / 秒屈曲	R	Nm	102.5	72.4
	L	Nm	95.2	75.8
	%L/R	%	92.9	104.7
ROM (可動域)	R	deg	116.6	131.5
	L	deg	127.7	130.0
	%L/R	%	109.5	98.9

値であるが、左右差が少ない筋力発揮特性が認められた。さらに肩関節可動域は、対象者 B では 116.6 度（右肩）、127.7 度（左肩）平均 122.15 度、対象者 C では 131.5 度（左肩）、130.0 度（右肩）平均 130.75 度と、両者の差は約 8 度であり、大きな相違は認められなかった。

2.1. 対象者 B の肩関節トルクの左右比較

図 5 は、対象者 B の肩関節対角運動・屈曲トルクの左右差並びに肩関節可動域の左右差を示したものである。左側から肩関節対角運動トルクの左右比、中央が屈曲トルクの左右比、右側が肩関節可動域の左右比である。対象者 B の場合、対角運動トルク・屈曲トルクはそれぞれ 96.0%、92.9% であり、何れも右肩の方が左肩に比べて大きな等速性トルクを発揮できることが示された。しかしながらその差は 1 割以内に止まっていた。一方、肩関節可動域の左右比は 109.5% という値であり、右肩関節の可動域が左肩関節よりも 1 割程度少ない可動域であることが分かった。

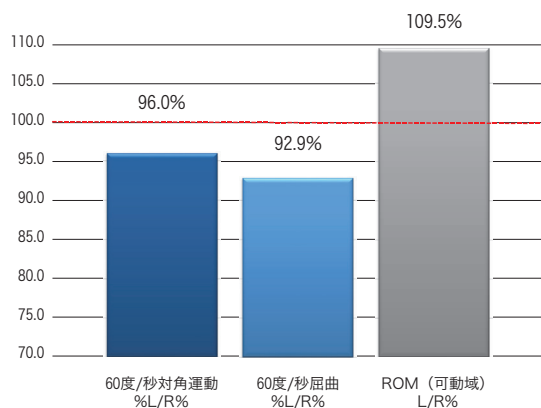


図 5 対象者 B の肩関節等速性筋力の左右比較 (L/Rratio)

2.2. 対象者 C の肩関節トルクの左右比較

図 6 は、対象者 C の肩関節対角運動・屈曲トルクの

左右差並びに肩関節可動域の左右差を示したものである。図の示す意味は、図 5 と同様である。対象者 C は、肩関節対角運動トルクの左右差が大きく、その値は 78.0% と、2 割程度も右肩の対角運動トルクが左肩の回転トルクよりも大きかった。他方、肩関節屈曲トルクの左右比は 104.7% であり、左肩関節の屈曲トルクが若干勝るものの、対角運動トルクに比して大きな左右差は認められず、大凡左右共に同様の力発揮が出来ていることが分かった。また、肩関節可動域の左右差については 98.9% という比率であり、ほぼ同様の可動域が確保されていることが示された。

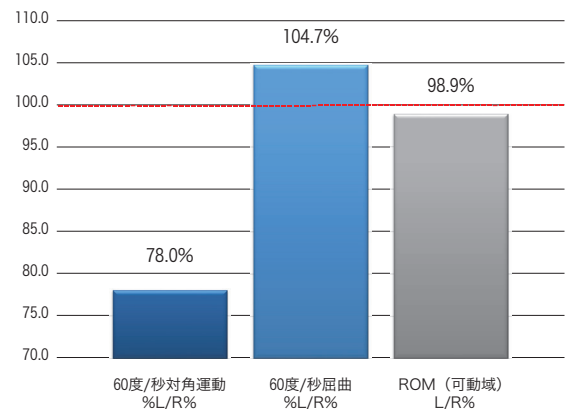


図 6 対象者 C の肩関節等速性筋力の左右比較 (L/Rratio)

IV 考察

1. 筋厚測定から理解されるもの

1.1. 対象者 A の状態

対象者 A は、Rio Paralympic 終了後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。本測定を行う約 1 年 3 カ月前のことである。そのため測定当日は回復の途上であり、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た

取り組みを継続していた時期である。本測定は、その様な状況下にある対象者Aの現在の身体的特徴を客観的に抽出することが可能であるかを検証することも目的の一つとしている。そこで、この検証的視点も含めて対象者Aの筋厚測定の結果を概観してみると、幾つかの特徴を見出すことが出来た。すなわち、結果で示したごとく、また図2からも明らかな様に、右肩の三角筋が左肩に比して筋厚が薄く（小さく）なっていることが認められた。それも約3割も少ないのである。この傾向は上腕三頭筋にも若干認められ、右上腕三頭筋が左腕に比べて1割強の比率で少なく（薄く）なっていることが分かった。これは、手術による影響であると言える。その可能性も否定できないが、術後に、特に左側の三角筋や上腕三頭筋を集中的にトレーニングしていた訳ではないことを考えると、手術前からこの状態は起きていた可能性も捨てきれない。対象者Aは、Rio Paralympicの前から右肩の痛みを訴えていたので、その時点での筋に対する負荷量に左右差があったという可能性も排除できない。現時点では推測の域を出ないが、今後の怪我の予防を考えると、定期的な測定により、回復の状態を正確に把握できる可能性と、今後の怪我の予測も可能であることが示唆され、本測定は貴重なデータを我々に提供してくれる方法であることが確認された。肩や肘の痛みを訴える選手も多いので、筋厚の左右バランスを知ることにより、怪我の程度との関係や回復程度などの手掛かりが掴めれば、競技に向けたトレーニングにおける有効な資料を得られることに成り、大変貴重な結果であった。

1.2. 対象者Bの状態

対象者Bは、右大腿骨切断に伴う右脚 above knee amputeeの選手である。そのために普段の生活では、右脚は膝のジョイントも含めた下肢装具を装着している。装具の重量は1kg～1.2kg程度であるので、実際の脚部の重さに比べて非常に軽く、Para Powerliftingにおける装具を除いた体重計量に加算する重量でも2kgの加算のみである。しかしながら実際の脚部の重量は2kg程度と言うことは無く、少なくとも5kg以上は有るものと推定される。トレーニング時には装具を外しているため、左右の脚部の重量は必然的に大きく不均衡になり、この左右重量差がBench Pressのフォームにどのような影響を及ぼすかについては、筆者らが対象者Bについて動作解析を行い報告している²⁴⁾。対象者BのBench Pressフォームはバーベルを挙上する局面において骨盤を中心として下肢と上体の間に若干のねじれを生じるモーメント力が発生している事を確

認している。これは、フォームの視覚的観察だけでは認められないが、動作分析を行うことにより明らかに確認できたことである。従来の研究で把握できているこれらの事実に加えて、本測定における結果からも、この上体と下肢のねじれに関する興味深いデータが得られたものと考えている。結果からも明らかな様に、対象者Bの三角筋や上腕三頭筋の左右差は、右側よりも左側の筋厚が厚い（筋量が多い）ことが示されている。これは、毎回のトレーニング時に上体の左方向へのねじれを修正すべく左側の三角筋と上腕三頭筋に右側よりも大きな負荷が掛かっていたことを推察させる結果であった。その様なトレーニングフォームによる影響が左側の三角筋・上腕三頭筋により多くの筋量の増加をもたらしたものと思われる。

1.3. 対象者Cの状態

対象者Cは、筋厚測定の結果から大胸筋の値に特徴的な傾向が確認された。すなわち、大胸筋の筋厚が右側よりも左側が17%も厚い（筋量が多い）のである。さらには、左側の三角筋が右側に比して6%厚く（筋量が多い）、上腕三頭筋も左側が4%厚い（多い）ことも特徴として示された。これは、日常的に実施しているBench Pressのトレーニングのフォームに何らかの要因が有ることを推察させる結果である。可能性として考えられるのは、Bench Press挙上時のフォームが全て左側の筋群に多く依存するフォームであるならば、このような筋厚の左右差が惹起するというものである。そこで、対象者CのBench Press時の動作解析について検討した筆者らの論文²³⁾を再見すると、「被験者は右肩に若干痛みを感じていた様であり、それがBench Press全体の動作を左方向へと偏倚させる原因となっている様である。日常的に右肩の痛みを庇う様なフォームを無意識に採用したトレーニングが行われていたことが推察される結果であった。」という記述が確認された。視覚的には評価できない様々な状態が、種々の測定を通して明確化されてきた訳である。これらのフォームの偏りは選手の怪我を招来する可能性を持っており、その意味からも筋厚の測定が、とても貴重な基礎資料になり得るものであるとを示唆する結果であった。

1.4. 対象者の筋厚測定結果の比較

対象者3名共に特徴的な状態を呈していたのであるが、Para Powerliftingの選手である対象者Aと対象者Bの比較だけでなく、対象者Cとも比較することで三者間に見られる新たな特徴を見出すことができた。対象者Aは術後の回復期間であったので、本来の最高挙

上重量である200kgを挙上するには不十分な体調であったことは前述したとおりである。したがって、筋厚(筋量)についても本来の最高の状態では無いことも考慮しなければならないが、それでも上腕二頭筋は左右平均で45.5mm、広背筋も44.5mmであり、三者の中でも最も厚い筋厚を持っていた。それに対して対象者Bは非常に大きな大胸筋(平均49.5mm)を有しており、対象者Aの平均41.5mm、対象者Cの平均31.5mmに比べて際立った厚さを有していることが分かる。これは、対象者Aの障がいT5脊髄損傷であることとも関係が有るものと考え、対象者AのBench Pressは、バーベルを胸上で腕を伸ばして構え、胸に下す一連の動作が、通常行われているBench Pressの位置よりも5cm程度頭部に近い位置(可成り高い位置である)で行われており、この位置で動作を行わないと障がい故に出力できない。このようなポジションを採った場合には、大きな広背筋でバーベルをしっかり支え、押し返すこと無くしては、高重量が挙がらないのである。したがって、対象者Aの広背筋の分厚さは必要条件であると考えられる。他方、対象者Bは、筋量の豊富な大胸筋と三角筋で健常者に近いフォームにより挙上していると思われる。さらには、上腕三頭筋も大きく関与させているのであろう。対象者BのBench Pressを見てみると、バーベル挙上時に上肢が共振現象を起こして、震える様子を見ることがある。これは、身体全面の筋群をより多用して挙上するBench Pressフォームであることによるものと推定される。仮説ではあるが、もし対象者Bの広背筋の筋厚が厚くなり筋量が増える様なトレーニングができ、身体背部の筋群をさらに有効に使うことが出来れば、この共振現象は消失できるのかもしれない。また、対象者Cは現在でも200kgを挙上できる元マスターズの日本チャンピオンである。しかしながら、対象者Aや対象者Bが行うBench Pressとは異なり、床に脚部足底を接地したフォームで行うBench Pressでの記録である。このフォームで行う場合には、背部を反り、所謂ブリッジを使ったBench Pressが可能であり、両脚を台上に伸ばして乗せるPara Powerliftingのフォームとは大きく異なっている。挙上距離もPara Powerliftingの方が長いのである。この差により、身体に掛る負荷の大きさも異なるものと考え、Para Powerliftingの選手の方が、負荷が大きいのである。したがって彼らは、より多くの筋量を備えることによって、Bench Pressを行わなければならないのは必然であると思われる。本測定の結果から、Para Powerliftingの競技者

の筋厚の厚さ(筋量の多さ)が、対照者に比して際立って多いことが確認されたのは、競技形態が異なり使うことができる身体部位の少なさに起因するものであると推察する。

2. 肩関節周りの等速性筋力測定の結果から理解されるもの

対象者Aについては、術後の回復期に有ることから測定を行っていないため、測定を実施した対象者Bと対象者Cの結果についてのみ、比較検討を実施することとする。肩関節の回転トルクに焦点を当てて測定を行った研究は種々見られるが、その多くは野球選手を対象としたものである。その際には肩関節外旋筋力と内旋筋力を測定して評価しており²⁵⁻³²⁾、本研究における測定動作とは若干異なっている。本研究では、野球の投球動作とは若干異なるBench Press動作であるため、使用する筋群はほぼ同様であるが、肩関節の屈曲と、その対極の動作である対角動作を採用した。その結果、対象者のBench Pressのパフォーマンスやフォームとの関係において、幾つかの特徴的な状態を観察することが可能であった。先ず、対照者として測定した対象者Cについて見ると、対角運動時に大きな肩関節トルクの特徴が検出された。それは、図5に示された様に、肩関節屈曲時には左右の筋力に大きな差が無いものの、対角運動時の右肩のトルクが左肩に比べて非常に強いことが示されたことである。この結果は、筋厚の結果と比べた場合に矛盾するようにも見受けられる。対象者Cの筋厚は、大胸筋も三角筋も左側が右側に比べて厚く、そのことから類推すると左肩の対角運動トルクの方が強く測定されることが予測されるのであるが、実際にはその逆であった。この矛盾する事実は、対象者CのBench Press・フォームにどのような影響を与えているのであろうか。対象者Cに対する聞き取り調査によると、主観的な筋力は全て右側が強いと感じており、そのために日常のトレーニングでは意識して左側の筋群(大胸筋や三角筋等)を動かしているとのことであった。つまり、対象者Cに対する場合は、元来身体の右側の力が強く、それを補う形で左側が、トレーニング時により意識されて刺激を受け、良い効果を得ているとも推測され、このような結果が創起されたのかもしれない。とても興味深い結果であった。一方対象者Bの結果を見ると、日本最高重量記録保持者らしく、どの値についても高値を示していることが分かる。また左右差の少ない、とても均衡のとれた筋出力をしていることが認められた。対象者Cの場合に

も顕著であるが、対象者Bの測定結果からも、肩関節屈曲時のトルクよりも対角運動時のトルクの方が高値であり、それも極めて大きな差であった。対象者Cでは、その差が、左右平均で比較して57.5Nmあり、対象者Bでは27.95Nmあった。非鍛錬者や野球選手では、肩関節周りの筋群の出力は（本測定の動きとは若干異なるが）、両者間に、あまり差が無い方が（内外旋筋力比のバランスが良い方が）肩関節を安定させるものと認識されている。本測定の結果は、Bench Press動作が押す動作が中心であり、この特殊な動作の方向性に起因して対角運動時の肩関節トルクが、斯くも大きく計測されたのであろう。したがって、競技の特異性によるものと推察される。対象者Bの強い筋力は、前項でも検討した如く、厚く大きな筋量によって発揮されているものと思われる。特に、Bench Press時には動作の拮抗筋として重量を支えるために作動する肩関節屈曲に関わる筋群（三角筋後部、棘上筋等）が、平均98.85Nmというトルクを発生しているという測定結果は、強い拮抗筋群が肩関節や肘関節の怪我を予防することにも寄与していると考えられ、対象者Bの怪我の少なさにも関与しているものと推察されるものであった。さらに対象者Bは、筋厚の値から推測された様に、右下肢切断の影響によりBench Press時に上体のねじれを左側の三角筋と上腕三頭筋の力でカバーすることにより、左側の筋肉がより発達している可能性を指摘した。これを、肩関節の対角運動時トルクの左右差から評価できるものと考えたが、両者間には僅かな差しか確認されなかった。対象者Bは右利きでもあり、通常の動作は全て右腕側が優先的に行っており、対象者Cの場合と同様に、利き腕側の力がやや強い程度という結果であった。したがってBench Press時の上体のねじれを補正するために働く部分の筋量増加と必ずしも一致していないという結果は、対象者Cの場合と同様の原因に由来しているものと推察された。

V おわりに

本研究は、Para Powerliftingの競技力向上を目的として実施している運動生理学を用いた支援方法の確立に向けた研究の一部である。そのため、競技形態であるBench Pressの強化に寄与する基礎資料の抽出・提供を最終的な到達点としている。本測定で言えば、筋厚の測定結果とBiodex system4による肩関節周りのトルクを等速度運動により測定し、その結果が競技者の身体やBench Press時の動きとの関連を正確に反映で

きているかということである。その観点で検討を行った結果、以下の様な結果を得た。なお、本研究では、一般的な競技者を対象としないで、対照者も含めて、日本最高記録を挙上できる選手に依頼した。したがって最高レベルの競技力を有する競技者の身体的な特徴であることも含めて評価をしたので、個々の対象者が持っている特異的な個性も、評価・検討の材料とした。

- 1) 筋厚の測定からは、筋厚が、トレーニングの際の競技者のフォームや身体的な特徴を強く反映するものであることが分かった。換言すれば、トレーニング時に、より多くの負荷が掛かっている筋が、より強く反応し、厚い筋厚になることが示唆された。
- 2) 上記1)から、筋厚に左右差が有る場合には、トレーニング時のフォームに左右差があることも推察され、怪我の予防の観点からも知る必要のある基礎資料となり得るものと確認された。
- 3) 肩関節周りの180度屈曲トルクならびに対角運動時の180度トルクの等速性収縮時の測定から、対象者は両名共に対角運動時の肩関節トルクが肩関節屈曲時のトルクに比して著しく大きかった。これはBench Pressという運動の特異的トレーニング効果を反映しているものと考えられた。
- 4) 対象者Aは、怪我治療のための手術後の回復期間中であつたが、怪我の回復状況を反映するデータが筋厚測定から得られた。すなわち筋厚測定は、選手に怪我が有った場合でも、その経過を正確に評価する測定として用いることが可能であることが示唆された。
- 5) Bench Press時の微細な身体の歪や各セグメントの位置が、筋厚や肩関節トルクに影響を及ぼしていることが確認されたことから、動作解析による分析結果と本測定結果を重ねて評価することにより、選手の身体的特徴を、より正確に評価できることが示唆された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、快く対象者として測定に参加して頂いたPara Powerliftingの競技者である大堂秀樹氏、中辻克仁氏、対照者として参加頂きましたマスターズの元日本チャンピオンであります南條雅紀氏に心より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保健医療学部健康スポーツ科学科の加藤尊氏、本田亜紀子氏、高橋篤史氏に誌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, JJ., (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 VDA Jr., Gentil P., Olivia E. and Do Camo 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 Medicha Esporte, **13**(1), 43e-46e.
- 14) Sakamoto A. and Sinclair PJ., (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 YDAC. And Da Silva SF., (2014) Comparison of electromyographic activity during the bench press and barbell pullover exercises. Moriz Revista de Educacao Fisica, **20**(2), 200-205.
- 16) Norwood JT., Anderson GS., Gaetz MB. and Twist PW., (2007) Electromyographic activity of the trunk stabilizers during stable and unstable bench press. J Strength Condit Res, **21**(2), 343-347.
- 17) Santana JC., Vera-Garcia FJ. and McGill SM., (2007) A kinetic and electromyographic comparison of the standing cable press and bench press, **21**(4), 1271-1277.
- 18) Glass SC. 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 AH. and Fimland MS., (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, (2018) 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. 愛知学院大学論叢 心身科学部紀要 **14**, 1-21.
- 25) Alderlink, G. J., and Kuck, D. J., (1986) Isokinetic shoulder strength of high school and college-age pitchers. J. Orthop. Sports Phys. Ther, **7**, 163-172.

- 26) Mugnusson, S. P., Gleim, G. W., and Nicholas, J. A., (1994) Shoulder weakness in professional baseball pitchers. *Med. Sci. Sports exercise*, **22**, 5–9.
- 27) Wilk, K. E., Andrews, J. R., Arrigo, C. R., Keirns, M. A., and Erber, D. J., (1993) The strength characteristics of internal and external rotator muscle in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med*, **21**, 61–66.
- 28) Brown, L. P., Niehues, S. L., Harrah, A., Yavorsky, P., and Hirshman, H. P., (1988) Upper extremity range of motion and isokinetic strength of the internal and external shoulder rotation in major league baseball players. *Am. J. Sports Med*, **16**, 577–585.
- 29) Donatelli, R., Ellenbecker, T., Ekedahl, S. R., Wilkes, J. S., Kocher, K., and Adam, J., (2000) Assessment of shoulder strength in professional baseball pitchers. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*, **30**, 544–551.
- 30) Ellenbecker, T. S., and Mattalino, A. J., (1997) concentric isokinetic shoulder internal and external rotation strength in professional baseball pitchers. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*, **25**, 323–328.
- 31) Hinton, R. Y., (1988) Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength in the high school baseball pitching. *Am. J. Sports Med*, **16**, 274–279.
- 32) Sitota, S. C., Malanga, G. A., Eischen, J. J., and Laskowski, E. R., (1997) An Eccentric-and concentric-strength profile of shoulder external and internal rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med*, **25**, 59–64.
- 33) 永畠孝幸, 永淵輝佳, 立山真治, 生友尚志, 米田 稔, 田中健毅, 山田真一, 中川滋人, (2008) 肩関節周囲筋筋力と投球障害肩の術後復帰状況. *J. Sports Injury*, **13**, 26–28.

(最終版令和元年10月2日受理)

Muscle Characteristics of Para Powerlifting Athletes

Naotaka ISHIDA and Yasuhiro SUGAJIMA

This research is a part of a study to establish a support method with exercise physiology to aim to improve Para Powerlifting athletic ability. Therefore, the ultimate goal is to extract and provide basic information/materials contributing to strengthening the Bench Press. In this measurement, whether the results, such as the result from the measurement of muscle thickness and the result from the measurement of shoulder joint (rotator cuff) torque by Biodex system4 with the uniform velocity motion, correctly reflects the relevance of the athlete's body and the movement when working on Bench Press. After considering this viewpoint, the following results were obtained. The subjects for this research were two athletes who were able to lift the Japan highest recorded weight, and a former Japan Champion of the Masters. The highest weight lifted for all three subjects is about 200kg.

The measurement of muscle thickness showed that muscle thickness strongly reflected the athlete's form and/or physical characteristics during training. In other words, it was suggested that the muscle with more load reacted more strongly, becoming thicker during training. It is surmised that if there is a left-right difference in muscle thickness, there would also be a left-right difference in the form, and it was confirmed that it could be basic information that should be known from the viewpoint of injury prevention. As for Subject A, although while in the post-operative recovery period for injury treatment, the data reflecting injury recovery status was obtained from the measurement of muscle thickness. That is, even if the player has an injury, it was suggested that the measurement of muscle thickness can be used for accurately assessing the recovery progress.

From the measurement of the 180-degree-bending torque around the shoulder joint (rotator cuff) and the 180-degree torque at uniform velocity contraction during diagonal movement, the shoulder joint (rotator cuff) torque during diagonal movement was remarkably large when compared to the torque during the shoulder joint bending for both subjects. This was considered to be reflective of the specific training effect of the exercise called Bench Press.

From the confirmation of that slight body distortion and the location of each segment during Bench Press give impact to muscle thickness and shoulder joint torque, it was suggested that the body characteristics for athletes can be assessed more accurately with evaluating both the motion analysis results and these measurement results.