

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

ウエイトリフティングの競技力に関連した
動作パワー評価法の検討

～ウエイトリフターにおける特異動作パワーの意義～

A study of the evaluation methods for movement power
related to weightlifting performance

- Significance of the specific movement power in Olympic weightlifters -

2014年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

岡田 純一
OKADA, Junichi

目次

| | |
|---|----|
| 1. 序論 | 1 |
| 1-1 ウエイトリフティングにおける日本の競技水準 | 1 |
| 1-2 競技のカテゴリーと普及 | 2 |
| 1-3 競技力向上のために | 4 |
| 2. 本論文の目的と構成 | 6 |
| 3. ウエイトリフティング選手の体力，技術に関する先行研究 | 8 |
| 3-1 競技の概要 | 8 |
| 3-2 ウエイトリフティング競技の生理学的特徴 | 11 |
| 3-3 選手の体力的特徴 | 15 |
| 3-4 競技力の向上 | 17 |
| 4. ウエイトリフティング競技におけるパワーの重要性 | 18 |
| 4-1 ウエイトリフティング競技に求められる体力 | 18 |
| 4-2 筋の量的アプローチ | 19 |
| 4-3 国際競技力向上における技術と体力に関するキネマティック分析 | 20 |
| 4-4 結論 | 29 |
| 5. ウエイトリフターにおける特異動作パワー | 30 |
| 5-1 大学生ウエイトリフティング選手における特異動作パワー | 30 |
| 5-2 マスターズ選手における特異動作パワー | 41 |
| 5-3 結論 | 44 |
| 6. ウエイトリフティング・エクササイズの効用 | 45 |
| 6-1 マスターズ選手の骨密度，筋力，筋断面積から見たウエイトリフティングの影響 | 45 |
| 6-2 結論 | 54 |
| 7. 総合論議 | 55 |
| 7-1 少年運動能力テスト | 55 |
| 7-2 一般体力テスト | 56 |
| 7-3 タレント発掘の観点から | 57 |
| 7-4 競技者レベルの観点から | 58 |
| 7-5 トップレベルのウエイトリフティング選手の競技力の裏付けとなるパワー評価法としての特異動作パワー | 59 |
| 8. 結語 | 62 |
| 9. 文献 | 63 |

1. 序論

1-1 ウェイトリフティングにおける日本の競技水準

我が国におけるウェイトリフティング競技は1952年の第15回オリンピック競技大会で初めてとなる代表選手を送り出して以来、年々競技の普及と強化が図られて来た。1959年には三宅義信がバンタム級でSnatch 107.5kg、山崎弘がライト級でClean & Jerk 160kgの世界記録を樹立した。これは日本人によるウェイトリフティング競技で初の世界記録であった。1964年の第18回オリンピック競技大会（東京）において、日本選手金メダル第一号となったのはフェザー級の三宅義信であった。さらに同大会ではバンタムおよびミドル級でも銅メダルを獲得したほか、参加した日本選手7名全員が6位入賞を果たし、柔道、レスリングと並んで、”日本のお家芸”と称された。その後、1968年の第19回メキシコ大会においては、三宅義信がフェザー級で2連覇、同階級で弟の三宅義行が銅メダルを獲得し共に表彰台に上がった。さらにミドル級の大内が銀メダルとなり、五輪参加以来の最高成績を収めた。その後、モントリオール大会（1976）およびロサンゼルス大会（1984）まではメダルを堅持してきたが、ソウル大会（1988）以降、2012年のロンドン大会までの28年間、オリンピック競技大会のメダルから遠ざかることとなった。一方、女子のウェイトリフティング競技の歴史は男子に比べて浅く、世界選手権は1987年に開始され、シドニー大会（2000）から五輪正式種目として採用された。国内においても全国大会の創設など女子への競技普及とともに、世界選手権においてはメダルを獲得して来たが、五輪ではメダル獲得に至っていなかった。女子が五輪種目に採用される過程において、男女合わせたウェイトリフティング競技全体の参加選手数を抑制するため、階級を減らし、世界選手権における各国の成績に基づいて各国の出場枠を決定するなどの国際ルールの変更がなされた。すなわち、ウェイトリフティングは個人競技であるが、個人成績を得点化し、いわゆる団体戦によって五輪参加枠を争う制度となった。男子において、ルール改正前とはいえバルセロナ大会（1992）には10名が日本から出場していたにも関わらず、ソ連の崩壊や各国が台頭する中、一貫指導体制の遅れた日本は2004年アテネ大会（4名）、2008年北京大会（3名）と毎回

枠取りに苦しんだ（男子の国別最大枠は6名）。とくに2012年のロンドン大会へ向けては、男子の世界選手権国別ランキングが27位となり、五輪参加枠取りに失敗し、大陸選手権枠による1名だけとなってしまった。女子においても、国内の草創期を担った世代がシドニー大会で引退した後、次世代の育成が遅れ、アテネ大会（2004）の参加枠は1名を確保するにとどまった。しかし、その後のジュニア（U-20）からナショナルチームへの一貫指導が奏功し、北京大会（2008）へは3名、ロンドン大会（2012）には女子の国別参加最大枠の4名が出場するまでになった。このように女子が国際競技力を高めてきた中で、ロンドン大会・女子48kg級の三宅宏実が2位となり、日本に28年振りのメダルをもたらした。

優秀な個人が1～2名いれば、メダル獲得は可能かもしれないが、このように参加枠獲得を考慮すると、競技の底辺を拡大し選手層を厚くすることが日本のお家芸復活に向けて必定である。

1-2 競技のカテゴリーと普及

国際ウエイトリフティング連盟（IWF）の規定において、設定されている競技の年代グループ（Age Group）は以下の4つである（2013年現在）。

- ① ユース 13～17歳
- ② ジュニア 15～20歳
- ③ シニア 15歳以上
- ④ マスターズ 35歳以上

さらにマスターズにおいては、年代が35～39歳、40～44歳、45歳～49歳…75歳～79歳、80歳以上のようになり、5歳毎に計10グループに区分されている。このように国際的なルールにおいて、老若男女が競技に参加できる仕組みが整備されている。

一般的に、筋力は体重に比例するため、ウエイトリフティングは代表的な階級制競技でもある。その体重階級（Body-weight Categories）は男女それぞれの年代に以下のような階級が国際ルールで規定されている。

男子 8階級

ユース

- ① 50kg級
- ② 56kg級
- ③ 62kg級
- ④ 69kg級
- ⑤ 77kg級
- ⑥ 85kg級

⑦ 94kg 級 ⑧ +94kg 級

ジュニア， シニア， マスターズ

① 56kg 級 ② 62kg 級 ③ 69kg 級 ④ 77kg 級 ⑤ 85kg 級 ⑥ 94kg 級
⑦ 105kg 級 ⑧ +105kg 級

女子 7 階級

ユース

① 44kg 級 ② 48kg 級 ③ 53kg 級 ④ 58kg 級 ⑤ 63kg 級 ⑥ 69kg 級
⑦ +69kg 級

ジュニア， シニア， マスターズ

① 48kg 級 ② 53kg 級 ③ 58kg 級 ④ 63kg 級 ⑤ 69kg 級 ⑥ 75kg 級
⑦ +75kg 級

このような年代や階級は，幾つかの変遷を経ている．ひとつの契機となったのが 1988 年ソウル五輪であった．この大会では陸上男子 100m の Ben Johnson によるドーピングが世界の注目を浴びたが，ウェイトリフティング競技においても蛋白同化剤のほか，利尿剤を含め 5 名のドーピングが発覚した．とくにブルガリアチームは，大会前半に出場した選手に陽性が出て，他の選手も検査によって薬物使用が発覚するのを恐れ，大会期間中に試合前の選手も含めて帰国した．すなわち，世界の強国では薬物使用が常態化している実態が浮き彫りとなった．それ以降，ドーピング検査態勢を強化するとともに，それまでの世界記録を薬物使用による”不正”な記録として一旦リセットする意味で，1989 年から階級グループを変更した．一方，女子への競技普及を推進するため，IWF はオリンピックでの女子競技開催を目指した．それにともない，オリンピックの肥大化を懸念する国際オリンピック委員会 (IOC) の意向に沿うため，ウェイトリフティングの五輪参加選手数を調整をする必要があった．結果としてアトランタ五輪後の 1997 年から，男子は従来の 10 階級から 8 階級へ減数され，現在に至っている．

1-3 競技力向上のために

2012年の日本の競技（日本ウエイトリフティング協会への登録者）人口は、男性3,894名、女性450名、計4,344名であり、4年前の2009年と比べて8%の増加（平均2%/年）であった。僅かながら増加が見られ

表 1-1 ウエイトリフティング登録人口
(日本ウエイトリフティング協会資料より作表)

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----|------|------|------|------|------|
| 役員 | 1260 | 1280 | 1255 | 1256 | 1248 |
| 一般 | 370 | 392 | 412 | 412 | 432 |
| 大学 | 500 | 502 | 500 | 500 | 504 |
| 高校 | 1790 | 1707 | 1827 | 1955 | 2037 |
| 中学 | 81 | 108 | 91 | 101 | 93 |
| 小学 | 0 | 4 | 10 | 20 | 30 |

た主な要因としては、高校女子および小中学生登録者の増加であった。

ユース年代からの一貫指導の重要性は強国の例を見るまでもなく明らかである。学校体育（部活動）中心の日本の児童、生徒のスポーツ環境において、高体連にはウエイトリフティング専門部があり、全国218校に部が存在する。しかし、中体連、小体連に含まれていないため、小中学生のウエイトリフティングは都道府県ウエイトリフティング協会、あるいは地域の有志による民間組織によって、その活動が支えられている。

IWF主催の第1回マスターズ世界選手権大会は1986年にオーストリアで開催され、2013年で28回目を迎えている。一方、全日本マスターズ選手権大会は1983年から31回を数え、世界に先駆けたマスターズの根強い活動実態が見られる。前述のように競技の普及という視点では、多くの選手が高校の部活として競技を開始する例が多いこと、小中学生の練習環境（施設や指導者）に乏しいことが課題に挙げられる。しかし、国際ルールで規定されるユースの強化を鑑みると、小中学生年代の競技者を増やす必要がある。したがって、高校以外の練習環境を整備する必要があり、そのような面では全国各地で活動するマスターズは都道府県競技団体の役員を兼ねる例も多く、競技指導ならびに行政や財界にも働きかけるなど多様な活動が期待される。

国際競技力向上のためには、日本選手の更なるレベルアップが必要であり、そのためには多様な科学的研究が求められる。また山頂（トップ

選手)を高くするためには、これを支える幅広い裾野が必要である。底辺を支える裾野を拡大させるため、あるいは希有なエリートを発掘するためにも、幅広い年代にウエイトリフティングが受け入れられ、親しんで貰うことが必要であろう。高齢化社会の現代、健康増進から介護予防へと目的が広がるなかで、筋力向上は高齢者が自立した生活を送るための重要課題と位置づけられて来ている(鈴木と大淵, 2004)。青年期から競技を継続しているマスターズ選手であれば10年~20年を超えるトレーニング経験を有している。すなわち、長期的にレジスタンストレーニングを実践している集団である。マスターズ選手の身体特性を研究することも、現代社会の課題にも貴重な情報をもたらすであろう。

2. 本論文の目的と構成

長所・短所の把握やトレーニングの進歩を確認するため、あるいはパフォーマンスの可能性を推定するために種々の体力測定が競技力向上に活用されている(Pyke, 2000). 選手の形態や生理学的特性を参考に競技への適性を評価することでタレント発掘の手がかりとなり、体力因子と競技パフォーマンスの関係を明らかにすることで、選手の目標設定や競技の特性を活かしたトレーニングに活用することができる。

一般人も含めた広い対象の中では、単関節動作における筋力や立ち幅跳び、垂直跳びなどの一般的体力測定項目に優れていることが、ウエイトリフティングの競技力に関係していると考えられる。例えば「タレント発掘」を目的とした青少年対象のバッテリーテストにおいても、垂直跳び、立ち幅跳び、MB 投げ、30m 走などのパワー測定が採用されており、これらの能力が高い者がウエイトリフティングの適性があると判断される(日本ウエイトリフティング協会 2009)。

これらの一般(汎用)パワー測定をウエイトリフティング選手だけに適用するとどうであろうか。少年と成年。都道府県レベルと全国レベル…という能力差がある集団では相関関係が見られても、等質の集団、すなわち全国レベル、あるいはナショナルレベルの選手では、一般的なパワー測定に関わる能力は一樣に鍛錬されているため、競技力に関係した尺度とはならない。篩(ふるい)に例えると、一般測定では目が荒く、その用途は大まかな選別に限られるため、さらにきめ細かな篩が求められる。

基礎的な体力評価においては、純粋な身体能力を評価するため、技術的因子の影響が少ない動作を用いることが多い。しかし、実際のスポーツ動作は力、速度、パワー、関節角度、姿勢など種々の条件下で複数の関節を巧みに連動させるなかで、ある動作の出力が発揮される。『特異性の原理』に基づけばこれらの条件が異なれば、異なる結果が導き出される(Baechle et al 2008)。したがって、競技に類似した運動条件下での測定が、より競技特性を反映する尺度となろう。

〈仮説〉

特異動作パワー（測定）は，スポーツ動作を模した運動中のパワーを評価することを目的として開発され，単関節あるいは動作特異性が低い一般測定よりも，競技力を反映したパワー評価指標としてウエイトリフティングへ適用が有効であると考えられる．また，パワーの構成因子であるパワー出現時の力と速度，それぞれと競技力との関係も検討することが可能であろう．

〈研究目的〉

本研究は，ウエイトリフティングの競技力向上に資するパワー評価法として，特異動作パワー測定の有効性を明らかにすることを目的とした．以下，第3章では，ウエイトリフティング選手の技術，体力に関する特性を先行研究から俯瞰する．第4章では，国際比較からウエイトリフティング競技におけるパワーの重要性を明らかにする．第5章では，異なる対象に特異動作パワー測定（競技動作を模した運動時のパワー測定）を実施し，パワー関連指標と競技力との関係を明らかにする．

3. ウエイトリフティング選手の体力，技術に関する先行研究

3-1 競技の概要

ウエイトリフティング競技はスナッチ (Snatch) およびクリーン&ジャーク (Clean & Jerk) という 2 種目の最高挙上重量によって争う。Snatch は床上のバーベルを引き上げ，頭上まで一気に挙上する。一方，Clean & Jerk は床から引き上げたバーベルを一旦胸 (鎖骨上) で保持する動作 (Clean) と，膝の反動を使って胸から頭上へ押し上げる動作 (Jerk) からなっている。Snatch と Clean における引き上げ動作については，Snatch の方が広い手幅を使うため，スタート時の姿勢がやや低い，バーベルを引き上げるための足，膝，股関節といった身体各部の動きはほぼ同様である。各種目での挙上を成功させるためには，身体の出力を効果的にバーベルへ伝達し，頭上で支持するための技能が不可欠である。とくに Snatch 種目においては僅か 2 秒に満たない時間でバーベルを頭上へ引き上げるために，力だけではなく，爆発的なパワー出力が求められる (Garhammer 1980, O'Shea 2000)。したがって，高い身体出力とスキルレベルが同時に求められる種目と言えよう。

3-1-1 Snatch (図 3-1)

Snatch の技術分析に関する多くの研究が実験室あるいは競技会を対象として行われてきた。実験室的研究 (Laboratory research) においては，試合を想定して試技を 3 回とするなどシミュレーション動作を対象とした実験がなされている (Gregolius et al 2002)。しかし，これらのシミュレーション実験では，重量設定あるいは試技への集中などが重要な要因となる実際の競技会とは異なるという欠点を持つ。一方，競技会を対象とした研究では，競技施設の点から床反力などの運動力学的データの収集は困難であり，ビデオ映像を用いた運動学的分析が主となる。

このような研究上の制限はあるが，競技会における技術分析において，バーベルの動きは選手の身体が働きかけた結果として重要な情報を持つ。実際，競技会を対象とした先行研究ではバーベルの変位から得られる諸変量を評価したものが多 (Bauman 1988, Burdett 1982, Campos et al 2006, Garhammer 1985, 1991, Gourgoulis et al 2000, 2002, 2004, Hoover et al 2006, 池田ら 2010, Isaka et al 1996)。

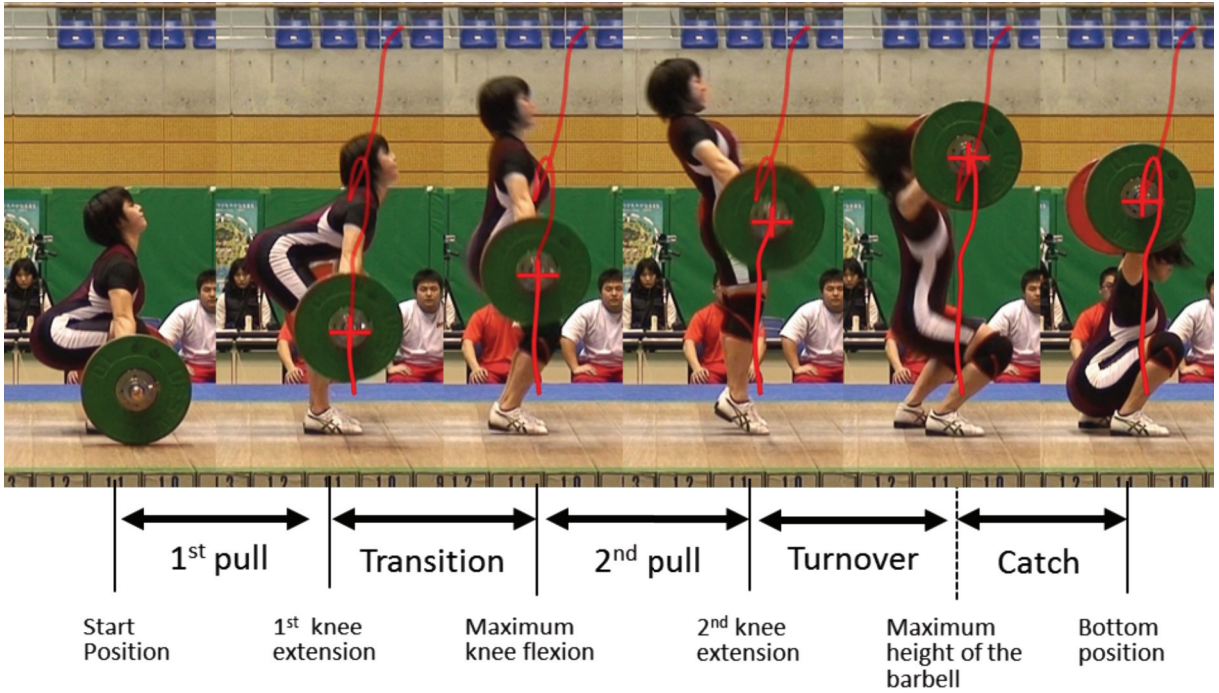


図3-1 Snatchの動作局面
(Campos 2006に基づき作図)

女子選手の Snatch 競技中の動作分析研究として、米国の国内大会 (Hoover et al 2006) やギリシャナショナルチーム女子選手 (Gregolius et al 2004) に関する研究報告が見られる。Hoover ら (2006) は全米選手権において女子選手の動作を二次元分析し、既知の男子選手の報告 (Isaka et al 1996 ; 図 3-2) と比較して、キャッチ時の落下距離 (Drop distance) が大きいことを示唆している。また、男子において挙上中のバーベルの最高速度が女子より低いことが国際レベルの選手を対象とした研究において報告されている (Garhammer 1991) 。このように先行研究では男子との比較において幾つかの相違が認められている。競技力向上においてはこのような男女差の他に、日本と世界の比較、あるいは競技レベルや年齢などの様々な要因について情報を蓄積することが重要であると考えられる。

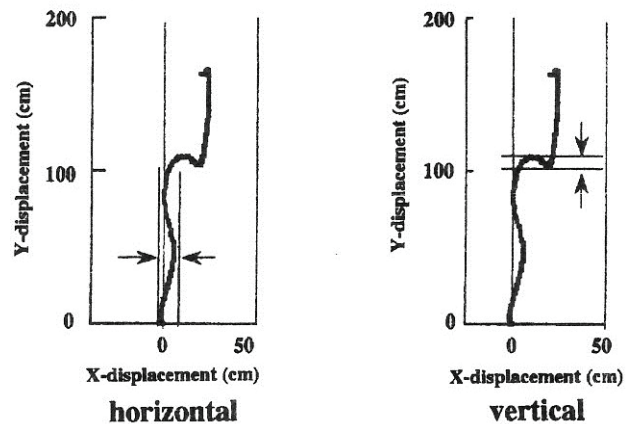


図 3-2 バーの軌跡からみた前後動揺(左図)と落下距離(右図) (矢印参照)
(Isaka et al 1996)

3-1-2Clean & Jerk

Clean 動作（図 3-3）はバーベルのプル動作（引き上げ）中の身体各部の動きが Snatch と類似しており，指導や技術評価も同様の尺度が使われている（日本ウエイトリフティング協会 2009）．一方，この種目の 2/3 の失敗は，肩・鎖骨上に保持したバーベルを一気に頭上へ差し上げる Jerk 時に生じていると報告されている（Medvedev et al 1982）．2002 年世界選手権大会の試技を分析した報告（岡田ら 2003）では，その分析結

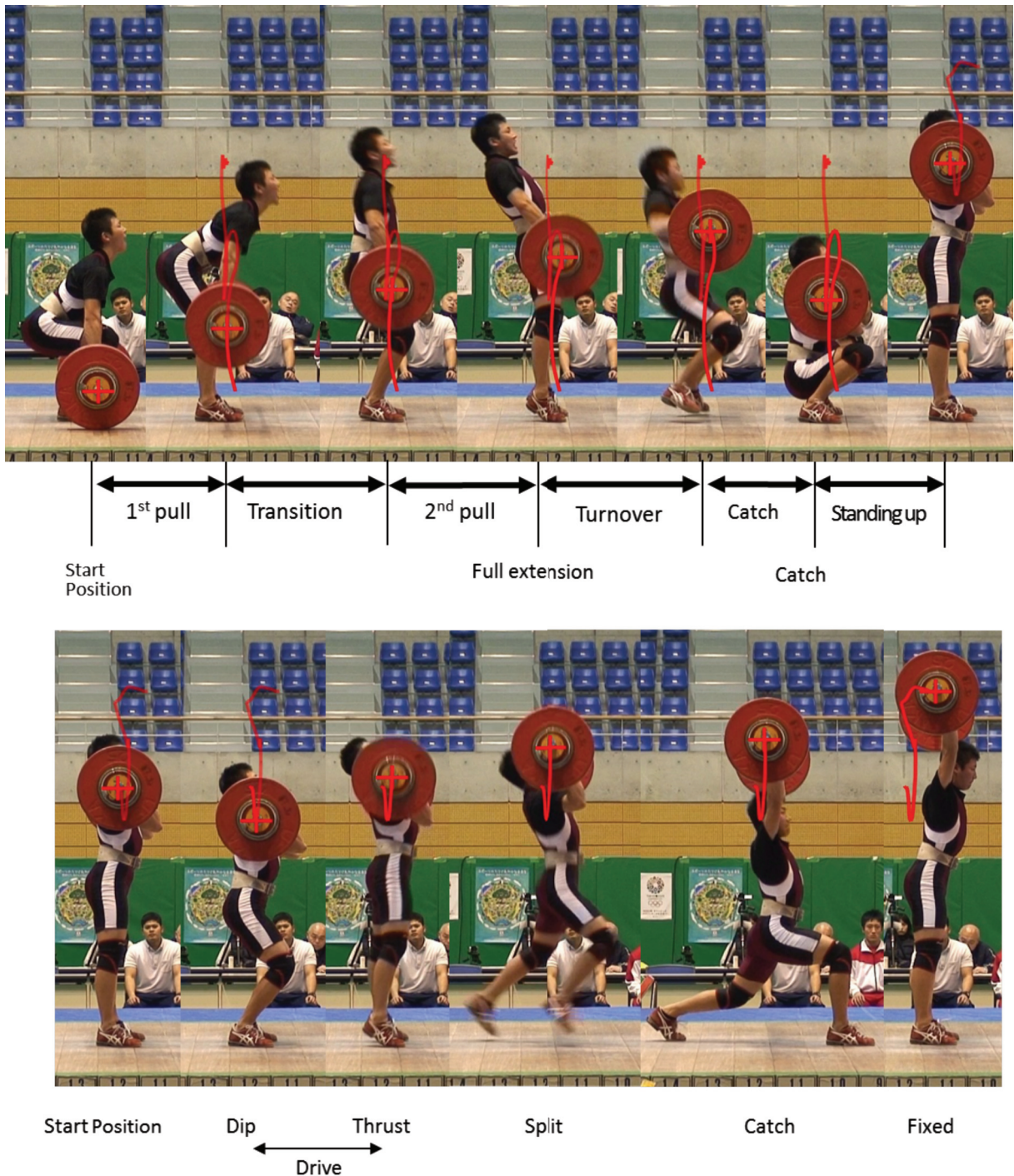


図3-3 Clean(上段)&Jerk(下段)の動作局面

果から Jerk のポイントとして以下の 4 項目を挙げた。①膝の屈曲の程度は 125 度前後である，②ディップの最大膝関節速度は 200 度／秒程度である，③ドライブ時の股，膝，足関節伸展角速度はそのピークが同期されている，④ディップおよびドライブ時に腰（転子点）は垂直方向に動くことが望ましく，前後に動揺することはそれを代償する上肢の働きが必要となる。

フィンランドの全国レベルと地方レベルの選手を対象に実験室で得られた知見 (Kauhanen et al 1984) において，ディップ時の膝の屈曲角度は，全国レベル選手 5 名は 120～130 度に分布し，1 名が 110 度であった。ディップの最大膝関節速度は 131.3（全国）および 119.8 度／秒（地方）となっており，世界選手権代表選手より遅いことがうかがえる。Grabe ら（1988）は Jerk に関する 29 指標についてクラスター分析を行い，そのデータから対象者の技術向上の方法として，①ディップ局面を浅くする，②平均 18%（身長比）のスラスト高（バーが鎖骨から離れる高さ）を 14-16% にすること，③ドライブ局面の力を高めること，④ディップ動作時の水平移動（前後の動揺）を減らすこと，⑤プライオメトリクスなどのエクササイズを用いて，ディップ／ドライブの切り返しを早くすること，⑥スプリット（足の前後開脚）をより早く行うこと，の 6 つを導いている。

3-2 ウェイトリフティング競技の生理学的特徴

3-2-1 エネルギー供給および消費量

これら競技 2 種目の挙上動作は極めて短時間に行われる。Clean & Jerk 種目では Clean 動作と Jerk 動作の間に動きが一度途切れるために，総運動時間は試行によって異なるけれども，挙上のためにバーベルに主要な力を作用させる時間は Snatch および Clean で 0.8 秒，ジャークは 0.2 秒ほどである。すなわち，動作そのものが素早い動きであるために，Squat や Bench press といった他のレジスタンスエクササイズと比較して，非常に高いパワー発揮が要求されている。したがって，動作時間からみても，ウェイトリフティングのエネルギーの供給源は ATP-CP 系であることは明白である。

Snatch や Clean & Jerk の 1 試技每で見ると，前述のように無酸素的

に一瞬で動作が終了するために，エネルギー消費量を定量することは困難である．しかし，実際の競技会において，選手は各種目を3試技ずつ行うとともに，各々の種目の前に15-30分程度のウォーミングアップを行う．また，日々のトレーニングプログラムにおいては，最大下の負荷で反復を繰り返し，他のレジスタンスエクササイズを含めてその所要時間は2時間以上に及ぶ場合もある．勿論，この内容はプログラムに依存し，負荷強度や反復回数の設定によって，ATP-CP系だけで終了する1~3回程度の反復回数のトレーニングから，1セットに数十秒を要し乳酸系の動員も伴う場合もありうる．一般に，大筋群のレジスタンスエクササイズでは6~18kcal/分を消費するといわれているが(Stone 1994)，強度や反復回数による違いのほかに運動種目によって動員される筋群や筋量もことなることからその範囲には幅がある．動員される筋量が多い(大きい)運動では少ない(小さい)運動に比べてエネルギー消費量が大きくなる．また，トレーニング中の休息時間もエネルギー消費量に影響を与える一因である．同じ内容の強度や回数であっても，セット間の休息時間が短くなると1回のトレーニング中の平均エネルギー消費量が増大することになる．ウェイトリフティング選手の1日のエネルギー消費量(合宿時)にはこのような種々の要因を含んではいるが，56~75kcal/kg/日という報告がある(Stone 1994)．

3-2-2 循環系応答

ウェイトリフティングの動作中は全身にわたり強い筋収縮を行うこと，とくに競技レベルでは全力で行うことから強い努責をとまなう．また，運動自体に由来するもの以外に，より重いバーベルを扱うことへの精神的緊張も血圧や心拍数上昇の誘因となる．高野と端(1986)はSnatchとClean & Jerk動作中の心拍数および動作直後の血圧応答を報告している．表3-1のように，100%のSnatch時の心拍数は運動前69拍/分から

表 3-1 安静および最大挙上重量(100%1RM)時の心拍数と血圧
(高野と端 1986)

| Experiments Parameters | Rest | | 100%・1 RM | | | |
|---------------------------|----------|--------|-----------|--------|-----------------|--------|
| | "Snatch" | "Jerk" | Exercise* | | post-exercise** | |
| | | | "Snatch" | "Jerk" | "Snatch" | "Jerk" |
| Heart rate, beats/min | 69± 8 | 66±6 | 114±9 | 111±7 | 111±10 | 107±22 |
| Systolic pressure, mmHg | 122±12 | 121±9 | — | — | 144±23 | 146±14 |
| Diastolic pressure, mmHg | 67± 7 | 66±6 | — | — | 78± 8 | 76± 5 |
| Mean blood pressure, mmHg | 86± 7 | 85±6 | — | — | 100±12 | 99± 7 |

Values are means±SD (n=8). *: During exercise, **: 12 sec after exercise

運動中 114 拍/分へ，Clean & Jerk において運動前 66 拍/分から運動中 111 拍/分へと増加しているものの，運動時間が短いため持久性運動に比して低いレベルであった．収縮期血圧は運動直後の計測では 144mmHg を示していたが，運動中の測定はなされていなかった．しかし，努責や強い筋力発揮にともなう血圧の応答については，局所のレジスタンスエクササイズ（レッグプレス）においても収縮期 300mmHg／拡張期 180mmHg を超える報告がある．

1 例（17 歳男子）ではあるが，実際の競技中の心拍数を連続的に記録した図 3-4

（Gibbs 1977）では動作中の心拍数が 193 拍/分に達しているとともに，動作の直前，すなわち演技台の上で準備している時点ですでに 150 拍/分を

超えていることがわかる．このことから，ウエイトリフティングの競技動作が大筋群を動員する運動であることばかりでなく，精神的側面へも強く影響していることが推察される．

3-2-3 筋力・パワー

いずれの競技においても選手は競技会で自己の最高のパフォーマンスを発揮できるように全力を尽くしていることはいうまでもない．しかしながらウエイトリフティングでは競技そのものが最大努力で筋力・パワーを発揮するものであり，競技会での挙上記録そのものが

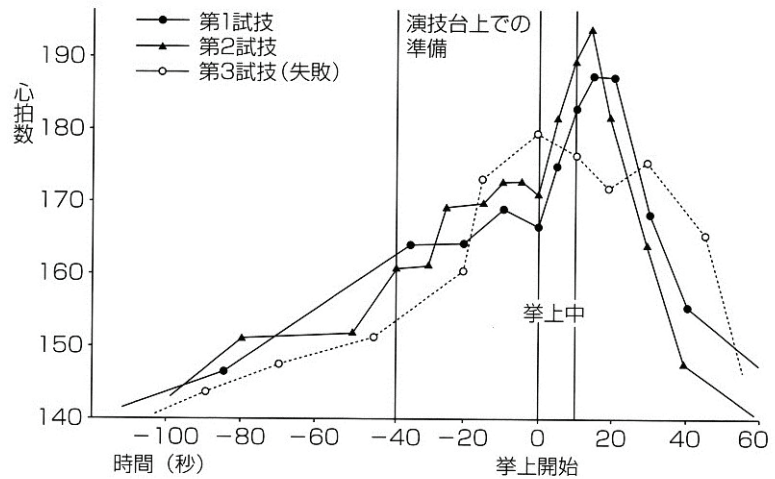


図 3-4 スナッチ競技中の心拍数 (Gibbs 1977)
岡田(2001)より図引用

表 3-2 IWF 公認最高記録
(2013 年 10 月 16 日現在)

| Men's world record | | | | | | | | | |
|--------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Category | | 56 | 62 | 69 | 77 | 85 | 94 | 105 | +105 |
| Snatch | kg | 138 | 153 | 165 | 175 | 187 | 188 | 200 | 214 |
| Clean & Jerk | kg | 169 | 182 | 197 | 210 | 218 | 233 | 238 | 263 |
| Total | kg | 305 | 327 | 357 | 379 | 394 | 418 | 436 | 472 |

| Women's world record | | | | | | | | |
|----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Category | | 48 | 53 | 58 | 63 | 69 | 75 | +75 |
| Snatch | kg | 98 | 103 | 111 | 117 | 128 | 135 | 151 |
| Clean & Jerk | kg | 121 | 131 | 141 | 143 | 158 | 163 | 188 |
| Total | kg | 217 | 230 | 251 | 257 | 286 | 296 | 333 |

<http://www.iwf.net/results/world-records/>

最大筋力(1RM)と考えられる。実際には全ての競技会で自己の最高記録である訳ではないけれども、少なくともその時点での1RMであることには違いない。

表3-2は現在の世界記録である。これらの記録は他のレジスタンスエクササイズと比較して、大きなパワーによってもたらされていることに注目したい。ウェイトリフティングと同様にレジスタンスエクササイズを種目とするパワーリフティング(Bench press, Squat, Deadliftの挙上記録で争う競技)とを比べてみると理解が容易である。O'Shea(2000)

が世界チャンピオンの挙上重量、バーベルの移動距離、所要時間から換算したところ、Deadliftにおいて405kgを挙上したKenady(USA)および265kgをClean & JerkしたPisarenko(URS)のClean動作を比べると、仕事量がそれぞれ1587.6Jおよび2337.3J、パワーが同じく793.8Wおよび2597Wであった。したがって、ウェイトリフティングの挙上記録は単なる筋力(strength)を示すばかりでなく、選手に内在するパワーをも表すものといえよう。

さらに詳細に動作中の発揮筋力(バーベルに作用した力)を評価する場合にはバーの加速度か

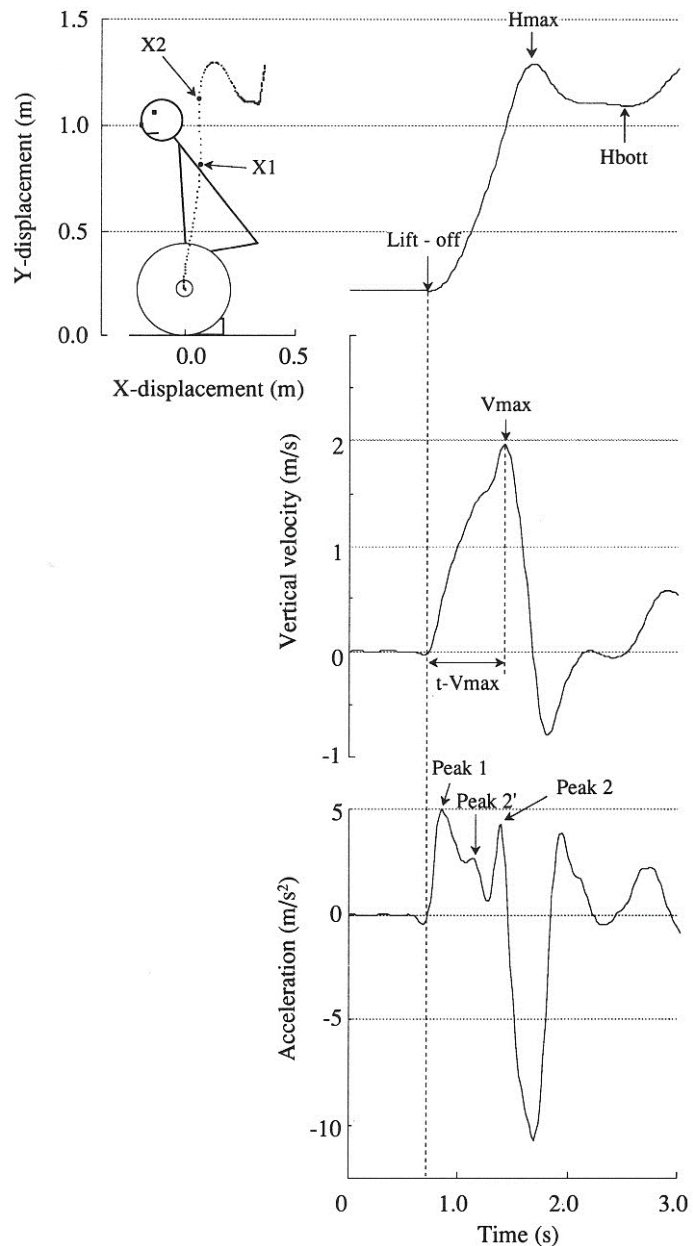


図3-5 バーの軌跡(Y変位)から求める速度および加速度(岡田ら1995より)

らこれを求める(図 3-5). 90%1RM の Snatch では, 膝を越えてバーベルの速度が最高に達する局面で 1.3~1.6 倍の力をバーベルに加えており, 100kg のバーベルを挙上する際にも, 最大で 160kg の力をバーベルに加えていることになる(岡田ら 1995) .

3-3 選手の体力的特徴

3-3-1 身体組成

表 3-3 ソウル・オリンピック日本代表選手の身体組成
(船渡 1992)
(%Fat:体脂肪率, Fat:体脂肪量, LBM:除脂肪体重)

| | 身長 (cm) | 体重 (kg) | %Fat (%) | Fat (kg) | LBM (kg) |
|----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1] 真鍋和人 | 154.0 | 55.50 | 8.78 | 4.87 | 50.63 |
| 2] 並木良憲 | 160.2 | 54.80 | 6.17 | 3.38 | 51.42 |
| 3] 市場孝士 | 152.1 | 58.05 | 8.09 | 4.69 | 53.35 |
| 4] 原 徹 | 159.0 | 58.70 | 8.77 | 5.15 | 53.55 |
| 5] 小栗和成 | 164.3 | 63.10 | 3.56 | 2.25 | 60.85 |
| 6] 佐々木保重 | 168.3 | 72.15 | 7.53 | 5.43 | 66.71 |
| 7] 砂岡良治 | 170.7 | 84.30 | 8.74 | 7.37 | 76.93 |
| 8] 戸松伸隆 | 177.2 | 101.10 | 14.83 | 14.99 | 86.10 |
| N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Mean | 163.2 | 68.46 | 8.31 | 6.02 | 62.44 |
| s. d. | 8.6 | 16.55 | 3.18 | 3.92 | 13.17 |

(1988年6月28日, 東京大学教養学部にて測定)

ウェイトリフティング競技は現在男子 8 階級 (56, 62, 69, 77, 85, 94, 105, +105), 女子 7 階級 (48, 53, 58, 63, 69, 75, +75) のカテゴリーがある. かつては男子が 52kg 級から +110 級までの 10 階級であったが, 1997 年から現階級になっている. ソウル・オリンピック (1988) 日本代表選手 8 名の競技会 2 ヶ月前の測定において, 水中体重法で求めた体脂肪率は 100kg 級の選手が 14.8% であった他は, 52~82.5kg 級の選手全てが 9% 未満であった (表 3-3). 一方, バルセロナオリンピック (1992) 代表候補選手 25 名を対象とした測定では体重 50kg 台の選手において平均 7.3%, 60kg 台では 10.3%, 75kg 級では 12.4%, 82.5 および 90kg 級 13.6%, 110 および +110kg 級では 27.8% と大きな値を示した選手もいた. 後者の対象には最終的に代表選考から漏れた選手も含まれている. 階級制であるために, 体重差については公平であろうが, 身体組成の違いはその競技成績に大きく影響する. つまり, 同じ階級であっても体脂肪率の高い選手は除脂肪体重 (Lean Body Mass; LBM) が低く, 同じ階級であっても筋力発揮の源である筋量が少ないことになってしまう.

このことは LBM と競技成績（トータル重量）との間に有意な正の相関関係が認められている（図 3-6；岡田ら 1996）ことから明らかである。

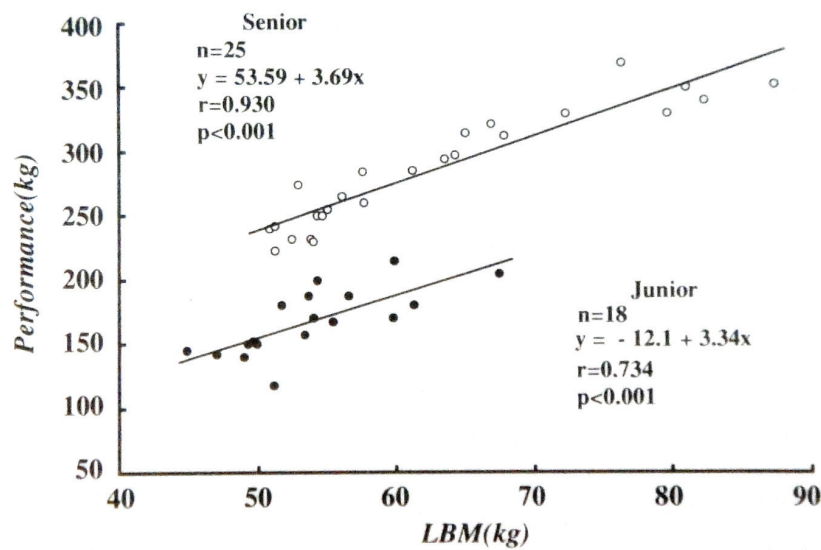


図 3-6 ジュニア，シニア選手の LBM と競技力（岡田 1996）

3-3-2 力およびパワー発揮能力

① 垂直跳び

競技特性および日常のトレーニング内容を反映し、ウエイトリフティング選手は他の競技選手と比較して、その身体能力に特徴的な傾向を示す。その代表的な体力測定項目がパワーの指標である垂直跳びである。ロサンゼルス・オリンピック日本代表選手報告（黒田ら 1985）によると、ウエイトリフティング重量級では平均 89.63cm，陸上・投擲は 75.15cm，ウエイトリフティング軽量級は 71.65cm，陸上・跳躍は 71.63cm，ウエイトリフティング中量級は 68.63cm，そしてバレーボールの 67.63cmと続いている。Mcbride ら (1999) はウエイトリフティング，パワーリフティング，短距離選手とコントロール群についてより詳細な比較をフォースプレートによる床反力を用いて行った。その結果，床反力ピーク値，最高速度，ピークパワーおよび跳躍高の全てにおいて，ウエイトリフティング選手はパワーリフティングおよびコントロール群よりも高い値を示していた。このような例から，他競技の選手に対してもパワー養成のためのレジスタンストレーニング，とりわけウエイトリフティング動作の重要性が示唆されるのである。

② 筋形態と出力

レジスタンストレーニングを日常的に行っているため，ウエイトリフ

ティング選手は他の競技者と比べれば筋が発達し、肥大していると言えるが、トレーニングの目的が筋肥大に特化した競技がボディビルである。両者の筋断面積を比較した船渡ら(1995)の報告では、上腕屈筋群、大腿伸筋・屈筋、足背屈群の筋断面積において差は認められなかったが、前腕伸筋群、上腕伸筋・屈筋群、下腿の足底屈筋群においてはボディビル群が有意に高い値を示していた。しかし、単位断面積あたりの筋力を比較したところ、上腕の伸展、屈曲および膝の屈曲においてウエイトリフティング群が有意に高く、筋量の割に大きな筋出力を発揮する能力に優れていることが示唆されている。挙上重量の向上を目指したウエイトリフティングのトレーニングは高強度低回数がその特徴である。肥大を目的とした場合にはこれよりは低強度(67~85%)で反復回数も多く(6~12回)行われる(Baechle et al 2008)。高強度のトレーニングが低強度のトレーニングに比べて、筋活動量(IEMG)を向上させる(Häkkinen et al 1988)ことからウエイトリフティング選手は運動単位の動員や発火頻度が高いといった筋力発揮における神経系の要因について改善されていることが考えられる。

3-4 競技力の向上

3-4-1 ジュニア期のウエイトリフティング選手の事例

経験 2-3 年のジュニア選手(中学生)においても、前述のようにシニア(全日本クラス)と同様に LBM と競技成績の間には相関関係がある(図 3-6)。このことから、ウエイトリフティング選手は筋量を高めていくことが競技成績に直結していることが分かる。しかし、ジュニア選手は発育に応じて筋量も増加する可能性があり、筋肥大に偏重した激しいトレーニングをすることには慎重になるべきであろう。ジュニアの時点でシニアの選手との間には同じ LBM でも挙上重量にはトータルで 65kg の差がみられているように、ジュニア期の選手は LBM あたりの挙上重量あるいは単位断面積あたりの筋力に改善の余地(Trainability)を残していることが考えられる。この選手たちが高校生になると身体の成熟度が増し、本格的な高強度トレーニングへと進み、それに伴い記録も向上してシニア選手へと近づいていくと推察される。

4. ウェイトリフティング競技におけるパワーの重要性

4-1 ウェイトリフティング競技に求められる体力

ウェイトリフティング選手を対象として、挙上動作のバイオメカニクス的解析、選手の形態および身体組成（体脂肪率、除脂肪体重、筋断面積）、あるいは筋力、パワー出力に関する検討など様々な側面から研究がなされている。

除脂肪体重（Lean Body Mass; LBM）は競技成績に関わる身体的因子として確認されており（加藤ら 1990, 岡田ら 1996）、下肢の筋断面積あるいは筋量を評価した研究においても同様の結果が報告されている（金久ら 1989）。

しかし、競技は階級制（男子 8 階級、女子 7 階級）であり、一部の階級（男子 56kg 級および 105kg 超級、女子 48kg 級および 75kg 超級）を除き、各階級では女子 5-6kg, 男子 6-11kg の範囲の体重の者が出場していることになる。したがって、同一階級内では、ほぼ同様な LBM あるいは筋量であるもの同士が争っていることになるが、当然ながら競技成績においては選手間に差が生まれている。

すなわち、一般的傾向としての競技力（挙上重量）は LBM あるいは筋断面積と相関しているけれども、それらだけでは実際の競技力は決まらない。同程度の LBM（筋量）のものが争い、その中で挙上重量に差が生じている背景として、

神経系の働きや筋断面積あたりの筋力、などがその因子として推察されるが、ウェイトリフティング選手を対象として、この点に焦点を当てた研究は報告されておらず、推測の域を出ていない。

一方、年代が異なる対象において、同じ体

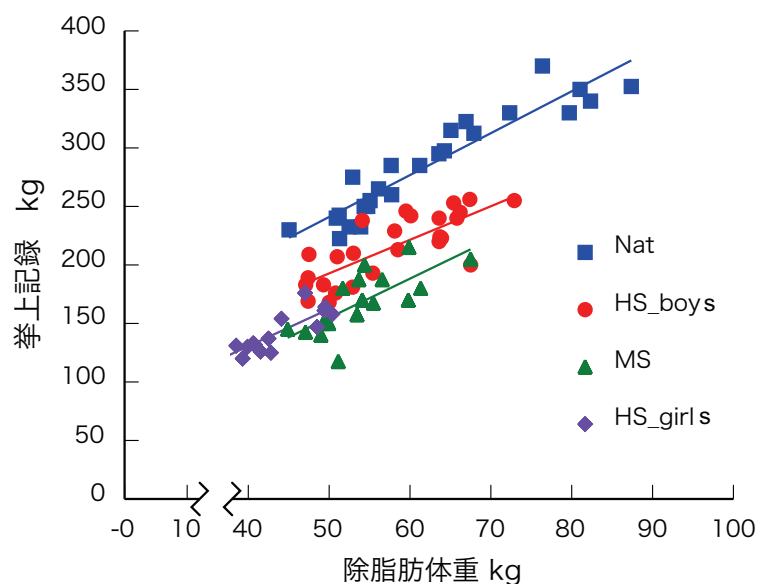


図4-1 中学生(MS)、高校生(HS)男女(boys, girls)、およびナショナル候補選手(Nat)における除脂肪体重と挙上記録
(岡田 1996 に未発表資料追加)

重であってもその挙上重量は異なっている。ジュニア期とシニア期の選手における挙上重量と LBM の関係において、それぞれにおいて相関関係が認められ、回帰式の傾きはほぼ同様だが、切片が大きく異なっていた（岡田ら 1996）。つまり LBM の増大とともに挙上重量も増加しているけれども、ジュニア期（中学生）からシニア期（ナショナル）に移行する過程で単位 LBM あたりの出力が増大していくことが観察されている。これに筆者らが 2012 年に得た高校生のデータ（未発表資料）を追記すると、図 4-1 のように、高校生は中学生とシニアの中間に位置し、この仮説を裏付ける結果であった。すなわち、筋量の増大のみならず、単位 LBM 当たりの挙上重量を高めることが重要であることが示唆される。

4-2 筋の量的アプローチ

体重が同じでも競技力が異なる理由を探るため、体重を構成する筋の分布を筋厚や筋断面積を用いる研究がなされている（船渡ら 1992, 金久ら 1989）。すなわち LBM が同様でも筋の付き方の差違がパフォーマンスに影響しているのではないか、という仮説である。

前述の通り、これまでに LBM を筋量の指標と捉え、シニア（オリンピック候補）およびジュニア（全国中学生大会入賞者）における LBM と競技パフォーマンス（挙上重量：トータル）の関係が検討されている（図 4-1；岡田ら 1996）。ジュニアおよびシニアともに挙上重量と LBM は比例関係にあり、LBM を高めることは競技力向上の大きな要因である。しかし、シニアとジュニアの回帰直線の傾きは同様であったが、挙上重量の差は大きい。

一方、2006 年の国際大会に参加した日本選手とその世界大会優勝者の挙上動作を比較しても技術的に顕著な相違はなかったが、優勝者は日本選手の発揮パワーの最大値より 35%高い値を示していた（Okada et al 2008）。すなわち、体重や LBM が同程度でもジュニアとシニア、あるいは日本と世界を比較したとき、LBM だけでは競技力の差を十分に説明できない現状がある。LBM は全身の筋量を把握する尺度として汎用性が高いが、ウェイトリフティングの動作分析から、股関節伸展運動の貢献が大きい（Baumann et al 1988）ことも報告されている。単に筋量が多いというだけではなく、必要な部位の筋が発達しているといった「筋の分布」

が体重に制限のあるなかで最高のパフォーマンスを引き出すために重要と考えられる。我々が2011年の62kg級全日本優勝選手MIとオリンピック60kg級3大会連続金メダルを獲得したNS選手について身体各部位の筋厚を比較したところ(図4-2), 股関節伸展に貢献する下肢の後部や下背部の筋厚に差異があった。金メダリストは股関節伸展をともなう動作において特に高い出力を発揮できることが推察される。

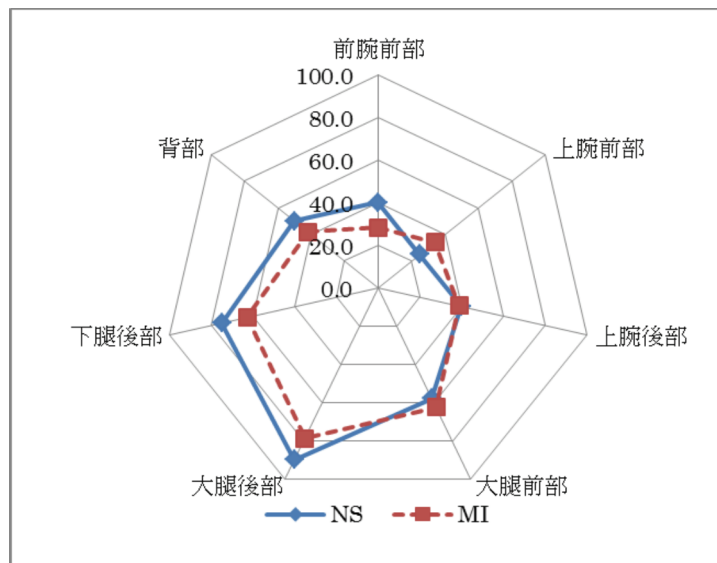


図4-2 ソウルオリンピック60kg級金メダリスト(NS)と2011年全日本選手権62kg級優勝者(MI)における身体各部の筋厚

筋の出力特性に関して, 単関節運動(膝伸展)ではウェイトリフティング群(WL)はボディビル群より低い筋力発揮レベルであったが, 多関節運動(スクワット)ではWLが優れていることが報告されている(船渡ら 1995)。また, 単位断面積あたりの等尺性筋力は, サッカーやパワーリフティングにおいて高値を示し, 筋力・パワー系アスリートを代表する短距離やウェイトリフティングは一般人と同様であった(金久ら 1986)ことから, 特異性を考慮した評価が必要であると考えられる。すなわち, 実験的な単関節運動および等尺性筋活動をウェイトリフティング競技に照らすと, それらは”非特異的”である。ウェイトリフティング選手が日常のトレーニングで多用している競技動作に類似した動的な多関節運動によって筋出力を評価することで, 当該競技に即した情報が得られるであろう。

4-3 国際競技力向上における技術と体力に関するキネマティック分析 ～2006年世界ジュニア選手権大会より(研究I: Okada et al 2008)

4-3-1 緒言

本研究は, ジュニア世界選手権に出場した女子選手の Snatch 競技中の動作を分析し, 世界および日本選手の技術的特徴を明らかにすることを

目的とした。ジュニアは20歳以下が対象だが，世界記録や日本記録を樹立し，シニアを凌ぐ選手が存在している。これらの選手の技術を評価することで，現在の女子ウエイトリフティング選手の Snatch 技術を記述し，日本と世界との比較といった競技力向上に資する情報を得ることがねらいである。

4-3-2 方法

① 資料・対象

2006年5月28日～6月3日に中国杭州市において開催された第12回女子ジュニア世界ウエイトリフティング選手権大会において，日本代表選手および各階級上位の選手をビデオ撮影した。撮影した試技のうち，各階級の Snatch 種目優勝者(World Champion; WC)および日本代表選手(Japanese; JP)の最高挙上重量の試技を分析対象とした。分析対象とした選手の競技結果および体重を公式記録に基づいて表4-1に示した。なお，この大会に際し，日本は代表選手選考において，75kg級に選手をエントリーせず63kg級を2名としている。Snatch 種目優勝者(WC)のうち58，63，69および75kg級の選手はトータルにおいても優勝を納めている。また，JP-4(63kg級)およびWC-6(75kg級)はトータルにおいて，それぞれ日本新記録および世界新記録を樹立した。すなわち，分析対象の選手はジュニアではあるけれども，シニアに匹敵する競技レベルを有していると考えられる。

表4-1 Weight category and competition results of junior world champions and Japanese lifters

| Category | Lifter | Body Weight | Snatch | Place | Category | Lifter | Body Weight | Snatch | Place |
|----------|--------|-------------|--------|-------|----------|--------|-------------|--------|-------|
| | | kg | kg | | | | kg | kg | |
| 48 | JP-1 | 47.93 | 70 | 7 | 48 | WC-1 | 47.84 | 80 | 1 |
| 53 | JP-2 | 52.21 | 72 | 10 | 53 | WC-2 | 52.66 | 93 | 1 |
| 58 | JP-3 | 57.64 | 80 | 13 | 58 | WC-3 | 57.57 | 106 | 1 |
| 63 | JP-4 | 62.54 | 85 | 6 | 63 | WC-4 | 58.08 | 98 | 1 |
| 63 | JP-5 | 62.48 | 78 | 13 | 69 | WC-5 | 68.76 | 117 | 1 |
| 69 | JP-6 | 68.37 | 80 | 7 | 75 | WC-6 | 74.97 | 128 | 1 |
| +75 | JP-7 | 99.68 | 90 | 10 | +75 | WC-7 | 95.74 | 117 | 1 |

JP: Japanese, WC: Junior world champion

なお，本資料は日本ウエイトリフティング協会医科学委員会の調査研究活動の一貫として記録されたものである。

② 撮影および分析手順

本研究の映像記録にはデジタルビデオカメラ（PC-300K，Sony社製）を用いた。試技を行う選手の右側から矢状面における動きが解析できるように，カメラをバーベルの端から15m離れた位置に置き，レンズ高をバーベルが挙上される範囲のおよそ中間になるよう床から1.5mとした。また，分析に必要なキャリブレーションスケール（2m×2m）を競技の合間に撮影した。

ビデオテープに記録された映像をパーソナルコンピュータに取り込み，ファイル化（AVI形式）した後，動作解析ソフトウェア（Frame-DIAS，DKH社製）を用いて2次元解析した。ビデオのサンプリング頻度は30フレーム/秒であった。バーベルの離床から頭上で支持するまでを分析区間とし，1）バーベルの右先端，2）頭頂，3）頸部，4）肩，5）肘，6）手，7）転子点，8）膝，9）踵，10）つま先，11）腰仙部，12）足関節外顆をフレーム毎にディジタイズした。ディジタイズ作業は全て同じ検者が行い，動作中にディスクによって関節が隠れるフレームについては，その前後で関節が表出しているフレームを参考として補間した。その上で，2次元座標（ x ， y ）として得られた変位-時間データに遮断周波数を4Hzとした2次のButterworthフィルターを用いて平滑化を施した

（Garhammer 1989）。これらに基づいてバーベルおよび各関節に関する諸変量を求めた。関節のkinematicsに関して，股関節（肩-転子点-膝），膝関節（転子点-膝-足関節外顆），並びに足関節（膝-足関節外顆-つま先）を定義し，関節角度および角速度を算出した。

③ バーベルの変位および諸変量の定義

バーベルの軌跡は多くの選手で開始位置から，離床とともに後方（身体方向）へ動き，次に一旦前方へ“ふくらみながら”上昇する

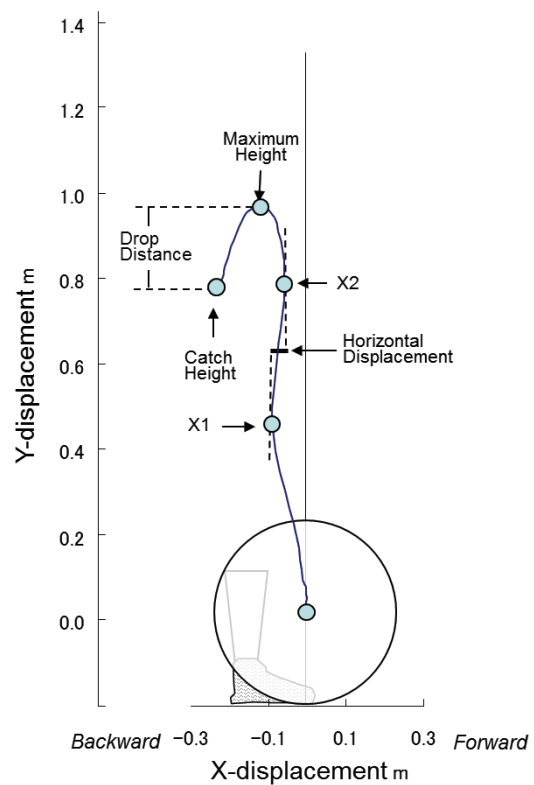


図4-3 Sample of barbell trajectory and kinematic parameters from X and Y displacement

が、最高点に向かい再び後方へ移動し、キャッチ位置へ落下する、というS字様を描く(図4-3)。そこでバーベルの軌跡から得る変量として、バーベルの前後の変位(X1およびX2)、最高挙上高(Maximum Height)およびキャッチ高(Catch Height)、最高速度(Vmax)を求めた。これらの高さに関する指標および最高速度については、その高さおよび最高速度の出現位置をディジタルモデルから得た身長を推定値を用いて身長比として表した。さらに、挙上重量とVmaxとを乗じ、バーに作用した最大パワーを単位体重あたりのパワー(W/kg)として表した(Hori et al, 2006)。また、Camposら(2006)はSnatch動作においてみられる離床～第1の膝伸展動作を「ファーストプル局面」、第1の膝伸展動作～最大膝屈曲を「Transition局面」、最大膝屈曲～第2の膝伸展動作を「セカンドプル局面」、最高挙上高～バーベルを受け止める時点までを「キャッチ局面」と定義している(図3-1参照)。本研究ではこの定義に基づいて、ファーストプル局面において到達したバーベル速度を求めた。

④ 統計処理

JPおよびWC群それぞれについて平均値±標準偏差を示した。平均値の差の検定には対応のないt検定を用い、危険率5%未満($p < 0.05$)を有意とした。

4-3-3 結果

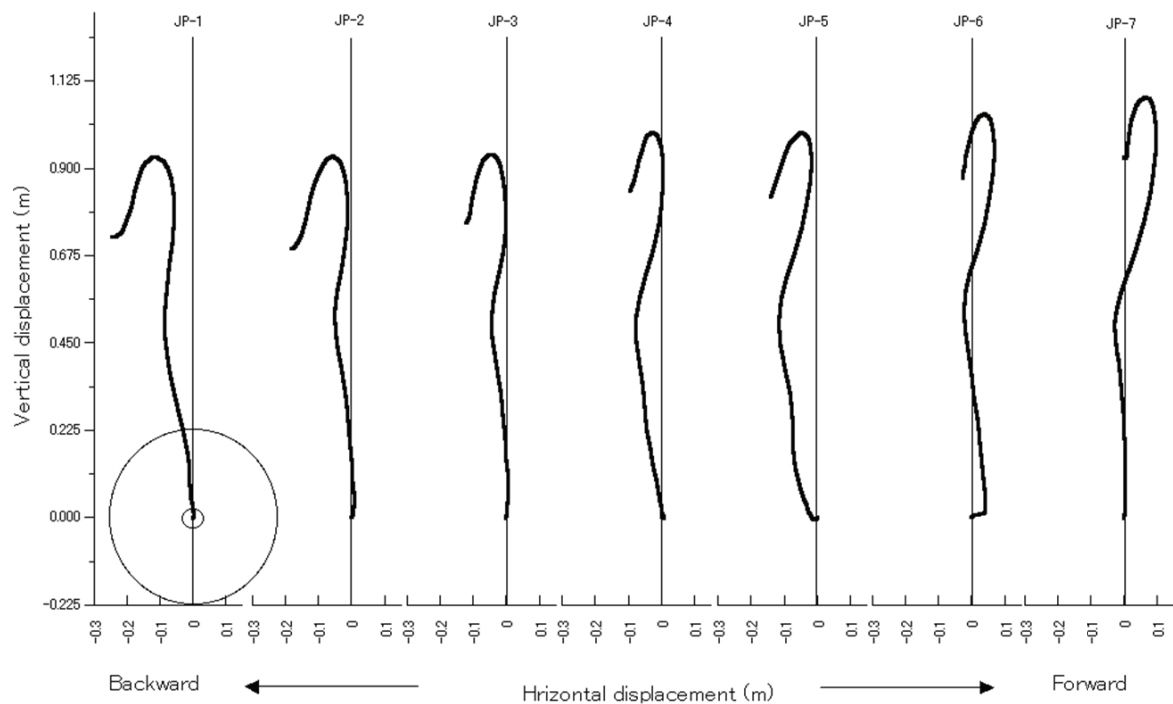


図4-4 Barbell trajectory (JP)

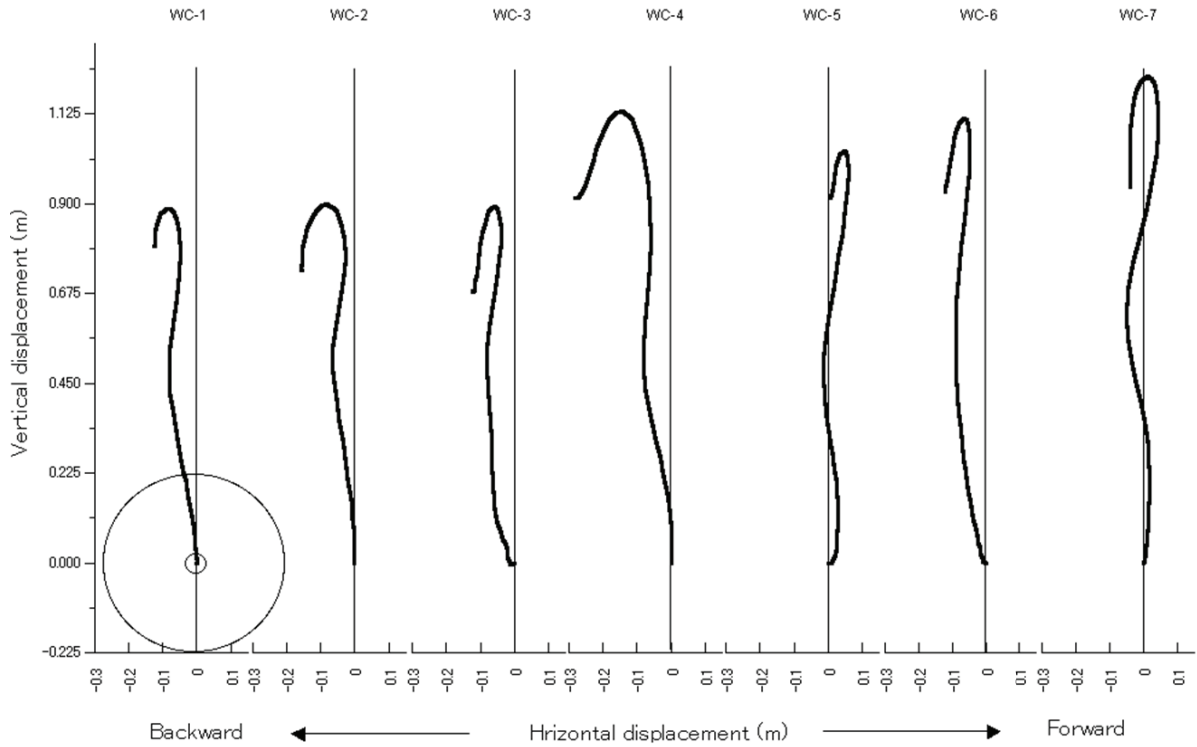


图4-5 Barbell trajectory (WC)

表4-2 Kinematic analysis of the barbell

| Cat. | Lifter | Lifted load kg | Y-displacement | | | | X-displacement | | |
|-------------|--------|-------------------|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|------------------------------|
| | | | Vmax m/s | Maximum height m | Catch height m | Drop distance m | X1 m | X2 m | Horizontal displacement m |
| 48 | JP-1 | 70.0 | 1.87 | 0.93 | 0.72 | 0.21 | -0.09 | -0.06 | -0.03 |
| 53 | JP-2 | 72.0 | 1.77 | 0.93 | 0.69 | 0.24 | -0.05 | -0.01 | -0.04 |
| 58 | JP-3 | 80.0 | 1.70 | 0.94 | 0.76 | 0.18 | -0.04 | 0.00 | -0.04 |
| 63 | JP-4 | 85.0 | 1.85 | 0.99 | 0.84 | 0.16 | -0.08 | 0.01 | -0.08 |
| 63 | JP-5 | 78.0 | 1.91 | 0.99 | 0.83 | 0.17 | -0.12 | -0.02 | -0.10 |
| 69 | JP-6 | 80.0 | 1.96 | 1.04 | 0.87 | 0.17 | -0.02 | 0.07 | -0.09 |
| +75 | JP-7 | 90.0 | 1.93 | 1.08 | 0.93 | 0.16 | -0.03 | 0.10 | -0.12 |
| Mean | | 79.3 | 1.86 | 0.99 | 0.81 | 0.18 | -0.06 | 0.01 | -0.07 |
| SD | | 6.9 | 0.09 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |

| Cat. | Lifter | Lifted load kg | Y-displacement | | | | X-displacement | | |
|-------------|--------|-------------------|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|------------------------------|
| | | | Vmax m/s | Maximum height m | Catch height m | Drop distance m | X1 m | X2 m | Horizontal displacement m |
| 48 | WC-1 | 80.0 | 1.87 | 0.89 | 0.79 | 0.09 | -0.08 | -0.05 | -0.03 |
| 53 | WC-2 | 93.0 | 1.73 | 0.90 | 0.73 | 0.17 | -0.06 | -0.03 | -0.04 |
| 58 | WC-3 | 106.0 | 1.66 | 0.89 | 0.68 | 0.21 | -0.08 | -0.04 | -0.04 |
| 63 | WC-4 | 98.0 | 2.13 | 1.13 | 0.91 | 0.22 | -0.08 | -0.06 | -0.02 |
| 69 | WC-5 | 117.0 | 1.98 | 1.03 | 0.91 | 0.12 | -0.01 | 0.06 | -0.07 |
| 75 | WC-6 | 128.0 | 2.09 | 1.11 | 0.93 | 0.19 | -0.09 | -0.05 | -0.04 |
| +75 | WC-7 | 117.0 | 2.11 | 1.22 | 0.94 | 0.28 | -0.05 | 0.04 | -0.09 |
| Mean | | 105.6 | 1.94 | 1.03 | 0.84 | 0.18 | -0.07 | -0.02 | -0.05 |
| SD | | 16.5 | 0.19 | 0.14 | 0.11 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.03 |

JP および WC のバーベルの変位に基づいた諸変量を表 4-2 に、関節角度および角速度について表 4-3 に示した。垂直方向 (Y 変位) に基づくバーベルの最高速度 (V_{max})、最大挙上高 (Maximum Height)、キャッチ高 (Catch Height) および落下距離 (Drop distance = Maximum Height - Catch Height) は WC と JP との間に有意差はみられなかった。同様に V_{max} の出現位置、最大挙上高およびキャッチ高を身

長比で算出した値に関して有意な差は見られなかった (表 4-4)。水平方向 (X 変位) に関する指標として、

挙上直後の身体方向への変位 (X1)、それに続く前方への変位 (X2) を求めた (表 4-2)。これも Y 変位と同様に両群の間に有意差は認められなかった。股関節、膝関節、および足関節における動作中の関節角度および角速度の最大値は WC と JP に有意差は無く同様な値を示していた (表 4-3)。

図 4-6 にはバーに作用した最大パワーを示した。JP (単位体重当たり $23.1 \pm 3.0 W/kg$) に対し WC ($31.3 \pm 3.5 W/kg$) は 35% 高い値を示した ($p < 0.001$)。

図 4-7 には WC-6 (トータルにおける世界記録) および JP-6 の股関節角速度およびバーベルの速度曲線を例示した (日本選手に WC-6 と同じ階級の出場がないため体重が近似している JP-6 を示した)。ファーストプ

表4-3 Kinematic analysis of the joint angle

| Lifter | Maximum joint angle | | | Peak angular velocity | | |
|-------------|---------------------|------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | Hip | Knee | Ankle | Hip | Knee | Ankle |
| | deg | deg | deg | deg/s | deg/s | deg/s |
| JP-1 | 189 | 159 | 139 | 445 | 257 | 158 |
| JP-2 | 183 | 147 | 134 | 449 | 192 | 191 |
| JP-3 | 179 | 144 | 142 | 416 | 148 | 134 |
| JP-4 | 192 | 156 | 135 | 439 | 223 | 118 |
| JP-5 | 189 | 155 | 147 | 435 | 195 | 159 |
| JP-6 | 193 | 154 | 140 | 397 | 220 | 167 |
| JP-7 | 185 | 155 | 162 | 356 | 231 | 265 |
| Mean | 187 | 153 | 143 | 419 | 209 | 170 |
| SD | 5 | 5 | 10 | 34 | 35 | 48 |

| Lifter | Maximum joint angle | | | Peak angular velocity | | |
|-------------|---------------------|------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | Hip | Knee | Ankle | Hip | Knee | Ankle |
| | deg | deg | deg | deg/s | deg/s | deg/s |
| WC-1 | 182 | 155 | 145 | 418 | 245 | 130 |
| WC-2 | 188 | 159 | 142 | 423 | 335 | 243 |
| WC-3 | 187 | 158 | 148 | 407 | 149 | 175 |
| WC-4 | 185 | 173 | 142 | 407 | 303 | 139 |
| WC-5 | 191 | 162 | 153 | 431 | 274 | 176 |
| WC-6 | 185 | 155 | 151 | 375 | 131 | 219 |
| WC-7 | 180 | 155 | 141 | 430 | 234 | 236 |
| Mean | 185 | 160 | 146 | 413 | 239 | 188 |
| SD | 4 | 7 | 5 | 20 | 76 | 45 |

表4-4 Y-displacement of the bar / stature ratio

| Lifter | Height at Vmax | Maximum height | Catch height | Lifter | Height at Vmax | Maximum height | Catch height |
|-------------|----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|----------------|--------------|
| JP-1 | 0.44 | 0.63 | 0.49 | WC-1 | 0.41 | 0.60 | 0.54 |
| JP-2 | 0.41 | 0.59 | 0.44 | WC-2 | 0.41 | 0.57 | 0.46 |
| JP-3 | 0.44 | 0.60 | 0.49 | WC-3 | 0.39 | 0.58 | 0.44 |
| JP-4 | 0.45 | 0.65 | 0.55 | WC-4 | 0.46 | 0.71 | 0.57 |
| JP-5 | 0.43 | 0.62 | 0.52 | WC-5 | 0.47 | 0.64 | 0.57 |
| JP-6 | 0.48 | 0.66 | 0.55 | WC-6 | 0.43 | 0.67 | 0.56 |
| JP-7 | 0.45 | 0.64 | 0.55 | WC-7 | 0.47 | 0.70 | 0.54 |
| Mean | 0.44 | 0.63 | 0.51 | Mean | 0.43 | 0.64 | 0.53 |
| SD | 0.02 | 0.02 | 0.04 | SD | 0.03 | 0.06 | 0.05 |

ル時点でのバーベル速度（垂直方向）は JP ($1.06 \pm 0.06 \text{ m/s}$) と WC ($1.09 \pm 0.15 \text{ m/s}$) の間に有意差はなかった。一方、この速度は V_{max} に対して、それぞれ $57.1 \pm 4.0\%$ (JP) および $56.0 \pm 6.9\%$ (WC) を示していた。さらに、身体動作がバーベルへ力を働きかけるタイミングを検討するために、股関節の伸展角速度ピークと V_{max} の出現時間の差を求めた。このピーク出現の時間差は WC が JP に比べて有意に低値を示した (JP: $0.14 \pm 0.02 \text{ sec}$ および WC: $0.10 \pm 0.03 \text{ sec}$; $p < 0.05$)。

4-3-4 考察

本研究の目的はジュニア世界選手権に出場した女子選手

の Snatch 競技中の動作を分析し、世界のエリート選手および日本選手の技術的特徴を明らかにするとともに、日本と世界との比較を行うことを目的とした。その結果、バーベルの軌跡に関しては、WC と JP に有意差は見られなかった。しかし、パワー出力は WC が JP より 35% 高い値 ($p < 0.001$) を示した。また、挙上動作中の股関節伸展角速度におけるピークおよび V_{max} の出現時間間隔は WC が JP より短いという傾向が見られた。

バーベルの軌跡に基づく各評価指標および下肢の関節角度について JP および WC を比較したが、統計的に有意な差は認められなかった。この結果から、バーベルの軌跡に基づいて評価した技術レベルにおいて、日本人女子選手は世界と同等であり、同じ世界大会 (Junior World Championship) に出場し中位に位置する日本選手と優勝者とを平均値で比較することで技術差は認められないことが明らかとなった。

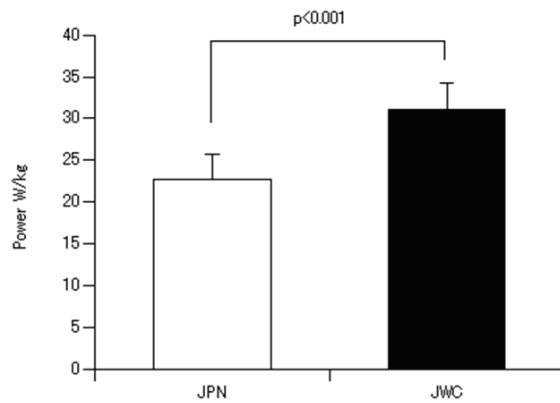


図4-6 Maximum power derived from lifted load and maximum velocity of the barbell

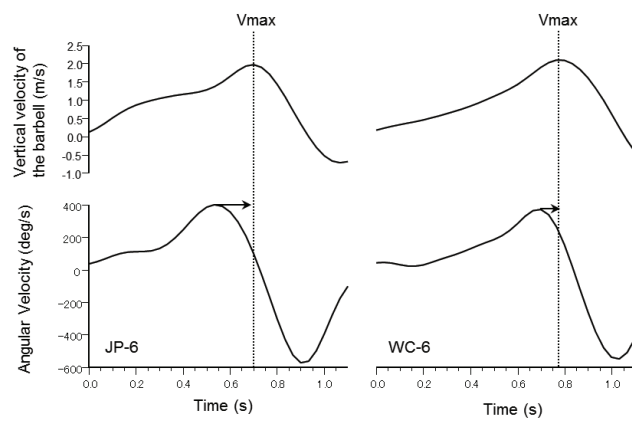


図4-7 Velocity of the barbell and angular velocity of hip joint. Dashed line indicates the maximum velocity of the barbell. Arrows showed the time difference of the peak between Hip and Barbell.

しかしながら、競技成績には JP と WC との間には大きな隔たりが存在する。各階級での挙上記録を比較すると、JP は 10～25% 低値となる (表 1)。そこでバーベルの重量と最高速度の積という簡便な方法 (Hori et al 2006) によって、バーに作用した最大パワーを見積もると、単位体重当たり 23.1 ± 3.0 (JP) および 31.3 ± 3.5 W/kg (WC) と 35% も WC 群の出力が高いことになった ($P < 0.05$)。Snatch において、股関節のモーメントは膝関節の 2～4 倍に相当し、バーベル重量の増大にともない、股関節の負担が高まることが示唆されている (Baumann et al 1988)。したがって、Snatch におけるバーベルの上方への引き上げにとって、股関節の伸展動作は最も貢献度の高い関節と位置づけられている。本研究では身体動作がバーベルへ力を働きかけるタイミングに着目し、股関節の角速度曲線とバーベルの速度曲線について検討した。その結果、セカンドプル局面において股関節の伸展角速度、さらにバーの速度においてピーク値 (極大値) が出現していることが観察されたが、股関節角速度ピークはバーベルの最高速度に先行して出現していた。この時間差を JP と WC で比較したところ、身体出力をバーベルへ伝達するタイミングは WC が JP に比較して早い傾向にあることが認められた。WC は股関節伸展動作が産生した出力を JP より早くバーに伝達していることを示している。すなわち JP と WC における最大パワーの差は股関節伸展の出力に帰因すると推察される。

ウェイトリフティング世界選手権に女子が参加して 20 年が経過し、女子の競技力向上も著しい。Clean & Jerk 競技の世界記録では、48kg 級の選手が 121kg (体重の 2.5 倍) を示し、+75kg 級では 188kg を挙上している。本研究はジュニア (U-20) 大会を対象としたが、この大会においてシニアの世界記録 (WC-6) および日本記録 (JP-4) が樹立されていることから、「ジュニア選手はシニア選手に比べて技術が未熟である」、あるいは「技術獲得が発達途上のレベルである」とは言えないであろう。しかし、技術分析を通じた男女差が報告されており、女子選手の技術レベルが男子に比べてまだ途上にあるという意見がある (Gourgoulis et al 2002, Hoover et al 2006)。

バーベルの挙上高に関する指標として、最大挙上高 (Maximum height)、キャッチ時の垂直高 (Catch height) およびその差 (Drop distance) が

よく用いられる。1975年の男子世界選手権では62%、全米大学選手権では69% (Burdett 1982)、男子ヨーロッパジュニア選手権では軽量級が69.2%、重量級では70.3%、ギリシャナショナルチームで77.3% (ジュニア) および75.5% (成年) (Gourgoulis et al 2000)などの報告がある (最大挙上高/身長比)。したがって、競技会のように選手のベスト記録 (最高挙上重量) に近い重量の挙上ではおよそ60から70%であるが、競技レベルの低い選手においては、やや高い値であることが推察される。本研究でみられた63% (JC) および64% (WC) はこの範囲と一致し、且つ男子のトップレベルに近い値であると言える。

この最大挙上高が大きいことは、より余裕をもった入り込み動作 (Turnover phase) を許容する。高重量をより高く挙上するためには、より高いパワーをバーベルに作用させる必要があり、パフォーマンスの成否に影響する重要なファクターと考えられる。しかし、競技会においては主に深くしゃがみ込む“スクワットスタイル”が用いられており、低い挙上高でもキャッチできる技能がより高重量のSnatchを成功させることになる。先行研究では女子選手の落下距離 (Drop distance) は 20 ± 5 cm (Hoover et al 2006)、 18.6 ± 3.7 cm (Gourgoulis et al 2004)と報告されており、本研究の18cmはこれらに一致した結果であった。男子に関しては平均値で12.7cm (Gourgoulis et al 2006)、11cm、13cm (Gourgoulis et al 2004)、13.5cm (Gourgoulis et al 2002)が報告されており、いずれも女子に比べて低い値である。すなわち、男子においては「低い挙上高でも、バーベルをキャッチし挙上を成功させる」という技能が高いものと推察される。

女子選手のバーの最高速度 (Maximum vertical velocity of the bar) について、6名のギリシャナショナルチーム (Gourgoulis et al 2002) で報告されている値は 1.98 ± 0.09 m/sであり、全米選手権 (Hoover 2006) で報告されている値は 1.648 ± 0.191 m/sであった。本研究においてJP およびWCで記録された 1.86 ± 0.09 m/s (1.70~1.96) および 1.94 ± 0.19 m/s (1.66~2.13)はギリシャのナショナルチームとほぼ同様であった。本研究はジュニアを対象としているが、その試技はシニアの国際レベルに匹敵していると考えられる。

バーベルの速度について、幾つかの先行研究ではファーストプル局面

で到達したバーベルの速度を求め、最高速度と比較している。これによってファーストプル(1st Pull)とそれに続くセカンドプル(2nd Pull)のどちらが強調されているかを推定することになる。例えば男子で報告されている値は、1.13m/s (Gourgoulis et al 2002) ~ 1.17m/s (Campos et al 2006)であり、最高速度に対する相対値が68%~77%となっている。すなわちファーストプルの時点で最高速度のおよそ70%以上に到達していることになる。しかし女子において、この到達度が男子に比べて低いこと(56.7%)が報告されている(Gourgoulis et al 2002)。この傾向は本研究でも同様であり、平均値でJP57%, WC56%と非常に近似していた。これらのことから、女子は男子に比べるとファーストプルでの加速能力が低い、あるいはファーストプルでは加速を控え、セカンドプルを強調する傾向にあるとも考えられ、今後さらなる検討が必要であろう。

4-4 結論

ウエイトリフティングの競技力には除脂肪体重(筋量)が強く関係している。競技会においては階級制によって同様な筋量の者が戦う。しかし、日本選手とオリンピック金メダリストでは筋厚の分布、とくに股関節伸展を担う身体後面の筋に違いが見られた。すなわち同じ筋量でも、より高重量の挙上に重要な関節周囲の筋が発達している。

一方、世界ジュニア選手権のSnatch競技の映像記録からバーベルおよび身体のKinematic分析を行い、世界大会に出場した女子ウエイトリフティング選手における技術的特徴および日本選手と優勝者との差異を検討した。その結果、日本選手と優勝者との間にバーベルの軌跡および関節角度からみた技術に顕著な差はみられなかった。しかし、優勝者は身体の動きをバーベルへ伝達するタイミングが日本選手に比較して早い傾向にあること、バーに作用した最大パワーが日本選手より35%高いことが明らかとなった。

これらの知見から、日本選手はバーベル挙上時のパワー出力に重要な股関節伸展筋群の筋量が世界のトップ選手に比べて不足しており、挙上時のパワー出力が低いため、世界のトップに競技力で遅れをとっていると考えられた。

5. ウェイトリフターにおける特異動作パワー

5-1 大学生ウェイトリフティング選手における特異動作パワー（研究Ⅱ：岡田 2013）

5-1-1 緒言

スポーツ競技において、各種の筋力やパワー等の測定を通じ、当該競技選手に求められる体力レベルを客観的に評価すること、あるいは個々の長所および短所などの現状を把握することは、トレーニング目標を設定し、至適なトレーニングプログラムを構築する上で重要である。ウェイトリフティング競技は、スナッチ（Snatch）およびクリーン&ジャーク（Clean & Jerk）の挙上重量を競う。トレーニングにおいてはこの2種目以外にも関連する補助種目として様々なレジスタンスエクササイズを実施している。その代表といえるエクササイズがスクワット（Squat）である（Garhammer and Takano 1992）。Stoneら（2005）は米国ナショナルチームおよびジュニア選抜男女65名の調査から、最高挙上重量（1RM）においてSquatとSnatchとの間に $r=0.94$ 、同じくSquatとClean & Jerkとの間に $r=0.95$ の高い相関関係を報告している。さらに“パワーバランス”と称し、Squatを基準として各種エクササイズの最高挙上重量（1RM）とどのような関係にあるか、個人において得手不得手があるか、といった個々の評価やトレーニング目標の設定に活用されている尺度がある

（加藤ら1990、岡田ら1993）。これはSquatを基準（100%）とし、競技種目であるSnatchおよびClean & Jerkのほか、競技力向上に必須と位置づけられ、日常のトレーニングで補強種目として行っている種目（Military Press [MP], High Snatch [HS], High Clean [HC], Push Jerk [PJ], Front Squat [FSQ]）の1RMを相対値で表している。このようにウェイトリフティングの競技成績の基盤となる能力としてSquatの挙上記録が位置づけられ、トレーニングにおいても重要視されている。

Squatは背中にバーベル保持し、深くしゃがみ込み、立ち上がる動作である。Snatchより高重量を挙上できるが、伝統的な力-速度関係（Hill 1938）に従い、重く、高重量になると低速となり、パワーリフティング競技の例では最高重量において 0.5m/s と言われている（Garhammer 1989）。一方、バーベルを床から一気に頭上まで引き上げるSnatchは頭上でバー

ベルをキャッチすることができなければ挙上が成立しない。そのため、バーベルをキャッチできる高さまで瞬時に引き上げる必要があり、そのピーク速度は 1.6m/s 以上となる (Gourgoulis et al 2002, Hoover et al 2006, Okada et al 2008)。つまり Snatch の動作自体に大きなパワー出力が求められている (Garhammer 1980, 1989, Okada et al 2008)。このように Squat はウエイトリフティング競技の基盤となる能力とされる一方で、競技種目である Snatch とはその動作および力と速度からみた機械的パワーの出現条件に違いが見られる。

ウエイトリフティング競技において、体力測定項目と競技力との関係が検討される中で、背筋力や垂直跳びなどの測定が取り上げられてきたが、同一階級内のエリート選手では背筋力が一様にトレーニングされており、一般的に行われている背筋力測定から競技力の優劣を決定できないことが明らかとなっている (船渡ら 1992)。また、垂直跳びは簡易なパワーの評価指標として有用であり、タレント発掘においてはウエイトリフティング選手の特長を見極める重要な一項目となっている (船渡ら 1990)。しかし、日本代表選手を対象とした報告では競技成績 (トータル重量) と垂直跳びの測定結果に対する有意な相関は認められなかった (船渡ら 1992)。

スポーツ動作は多くの異なる筋群が関与し多関節を協調させる運動様式である。すなわち様々なスポーツ場面で発揮される筋出力は単関節運動による最大筋力ではなく、それぞれの競技特有の動きのなかで、スキルをともなって発揮され、且つ種々の力と速度の条件下で行われている。このような複数の関節を組み合わせた動きのパワー (動作パワー) は、筋腱のパワーが神経系のコントロールのもとで意図する動きに従って発揮される (福永 1996)。さらに、Funato ら (2000) はスポーツパフォーマンスに関連づけた筋力・パワーの測定が「そのスポーツ動作に近い (特異的) 動作中に行うことが有効である」として、特異動作パワー (Specific movement power) と定義した。1RM はレジスタンスエクササイズの遂行能力として、身体各部位の筋力の指標として、日常のトレーニングや研究において活用されている (Earle and Baechle 2008)。しかし、再現性という点で一般的な筋力測定項目以上に、心身のコンディショニングによって変動すると考えられる (Carlock et al 2004, McGuigan and Kane 2004,

Stone et al 2005) . そのため技術的難度が高い種目，あるいは 1RM が高いレベルの選手であれば日々のパフォーマンスも変動するであろう．また，指導現場では身体能力としての一般的な筋力やパワーの向上が直接挙上パフォーマンス（記録）に結びつかない，あるいはそれらが向上しても挙上記録に現れるまでに時間を要する例が見られる．そのため，ウェイトリフティング競技において最高挙上重量を推し量る指標は強化の上での重要な情報をもたらすと考えられる．

そこで，本研究は Snatch と Squat を対象とし，その動作を模した特異動作中のパワーと挙上記録との関係を明らかにすることを目的とした．

5-1-2 方法

① 被験者

対象は，大学生の男子ウェイトリフティング選手であった．全ての選手は，3年以上の競技経験を有し，大学選手権 I 部のチームに所属していた．本研究はチームが強化の一環として定期的に実施している測定データを責任者（部長，監督）の許可を得て活用した．チームでの測定は毎年実施されるため，一人の選手が複数のデータを有していることになるが，当該選手の最高値を抽出するとともに，欠落値や怪我などの注記のあるデータを除外した．その結果，56kg 級 2 名，62kg 級 3 名，69kg 級 5 名，77kg 級 4 名，85kg 級 2 名，94kg 級 4 名，105kg 級 2 名および +105kg 級 2 名の合計 24 名が分析対象

表5-1 被験者特性

となり，全ての階級から選手が抽出されていた．対象者の年齢，身長，体重の平均値および標準偏差を表 5-1 に示した．

| | | n=24 | |
|--------------------|-----------|--------------|--------------|
| | | Mean | SD |
| Age | <i>yr</i> | 19.6 | 1.1 |
| Height | <i>cm</i> | 169.3 | 6.5 |
| Body Weight | <i>kg</i> | 79.62 | 16.20 |

② 最高挙上重量（One repetition maximum: 1RM）

測定の対象となる Squat および Snatch はウェイトリフティング選手のトレーニング種目として頻繁に実施されている．競技パフォーマンスの尺度として，一般的には競技会成績が最も重要であるが，Squat は競技種目ではないこと，そして競技会参加時には減量など日常とは異なる条件下であることも多い（Carlock et al 2004, Stone et al 2005）．そのため，Squat および Snatch の 1RM は当該測定時のトレーニング記録から抽出した．

③ 特異動作パワー測定

本研究のパワー測定には多用途パワー測定装置（パワープロセッサ II, VINE 社製）を用いた。この装置は、軸の回転時間検出装置、ワイヤーの張力検出装置およびワイヤー巻き取り装置から構成され、電圧調節によるパウダーブレーキによって等張力性の負荷を制御している

(Funato et al 2000)。軸に巻き付けてあるワイヤーの牽引速度は、軸に取り付けたロータリーエンコーダーから 1/500 回転毎に出力されるパルス間隔から求めた。また、ワイヤーの張力は引っ張りロードセルを用いて直接測定した。500Hz で出力されるデータはパーソナルコンピュータに取り込まれ、ワイヤーが牽引される方向の線速度に演算処理し、時間軸に対する速度曲線を求めた。さらに力曲線と速度曲線を 5msec 毎に乘じパワー曲線を得た。このデータから各試行の力曲線の最大値、パワー曲線の最大値およびその時点の力と速度を抽出した。また、実際の動作により近づけるため、このワイヤーに特別注文のアタッチメントを介しウエイトリフティング用の

バー（女子 15kg, 男子 20kg）を連結した（図 5-1）。すなわち、被験者には、通常の競技会及びトレーニングと同じ器具を用いて動作を実施できる環境を整えた。このため実験前にバネばかりを用いて、機器の較正を行うとともに、データ処理において力曲線にバーベルの重量を加算した。

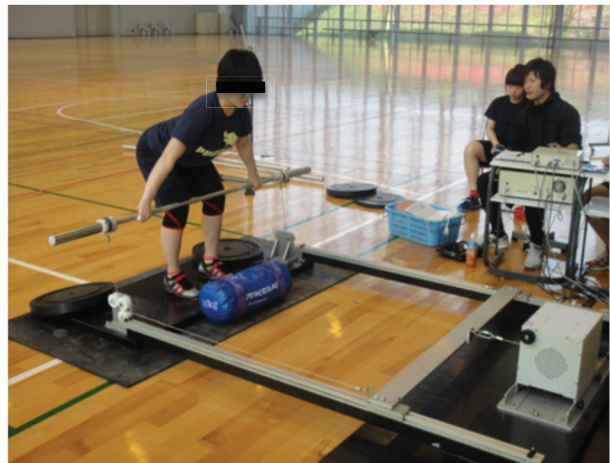


図5-1 Power Processorおよびウエイトリフティング特異動作アタッチメント

本装置での測定手順について、先行研究（Funato et al 2000, 岡田ら 1996）と同様に、各試行のパワーの極大値（Peak Power; PP）を確認しながら装置の負荷を段階的に上げていった。このとき負荷の増大とともに PP は増加するが、ある負荷で最大値を示し、その後低下する（Funato et al 2000, 岡田ら 1996）。測定に際しては、0~4V から電圧負荷を 2~4V ずつ増加させ、各負荷 2 回ずつ実施し、PP の低下を確認した上で終了した。再現性を考慮し、各負荷 2 回の試行においてパワーの差が 100W

以上見られた場合は，再測定とした．各負荷の試行間隔はトレーニング時のセット間隔に基づいて2～3分とした．これら一連の試行で得られたパワーの最大値をその動作の最大パワー（Maximum Power; P_m ）とし，その試行を分析対象として抽出した．

バーをハイバーポジション（Earle and Baechle 2008）で僧帽筋上に保持し，一般にハーフスクワットと定義される膝関節角度90度から Squat の特異動作を開始した．検者は“用意”と声を掛け，被験者の開始姿勢および静止したことを確認し，装置のスタートボタンを押した．

このとき装置が音を発することで，被験者への測定開始の合図とした．被験者には各試行を“全力”で行い，股関節および膝関節が伸展した立ち上がり動作終了まで力を抜かないよう指示した（図5-2）．



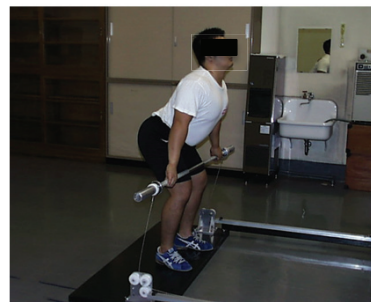
Start



Finish

図5-2 Squat特異動作

同様に Snatch の特異動作においては実際の競技動作時と同様にフックグリップを使用して競技用のバーを握り，膝上にバーを構えるハン



Start



Finish

図5-3 Snatch特異動作

グポジション（Earle and Baechle 2008）を開始姿勢とした（図5-3 Start）．Squatと同様に開始姿勢で静止した後の合図によって，最大努力でバーを引き上げる動作を行わせた（図5-3 Finish）．実際の Snatch は床に置かれたバーベルを引き上げ，頭上へ挙上する動作であるが，装置の機構上，牽引したワイヤーが測定中に巻き取られない．そのため身体を沈み込ませるキャッチ動作を適切に行うことができないことから，本測定においてはハン

れている (Baumann et al 1988, Garhammer and Takano 1992, Campos et al 2006, Okada et al 2008). なお, Squat および Snatch の測定順序は無作為とした.

④ 統計処理

各被験者の Squat および Snatch 特異動作中において PP が最大値を記録した試行を最大パワー (Pm) として分析対象とし, PP 出現時の力【F(Pm)】および速度【V(Pm)】を求めた. 結果は SPSS ver19 を用いて, 平均値および標準偏差で示すとともに, パワー関連指標と 1RM について有意水準を 5% 未満として線形回帰分析を行った.

5-1-3 結果

被験者の Squat および Snatch の挙上記録 (1RM) はそれぞれ $187.6\text{kg} \pm 28.2\text{kg}$ および $112.6 \pm 12.2\text{kg}$ であり, Snatch は Squat の 61% に相当していた (表 5-2). Squat と Snatch における特異動作パワーの最大値 Pm, 最大パワー出現時の力 F(Pm) および速度 V(Pm) を比較すると, Snatch は Squat の 94%; Pm, 81%; F(Pm), 117%; V(Pm) であった.

Squat および Snatch 特異動作時の Pm, F(Pm) および V(Pm) と

1RM(kg) の関係を図 5-4 および図 5-5 に示した. Squat において, 1RM と有意な関係が認められたのは, Pm ($r=0.51, p<0.05$) および F(Pm) ($r=0.62, p<0.001$) であった. 一方, Snatch においては全ての指標で有意な正の相関 ($r=0.44 \sim 0.79$) を認め, Pm が最も高い値 ($r=0.79, p<0.001$) を示していた. しかし, 1RM の体重比 (1RM/BW) においてはいずれも有意ではなかった.

表5-2 特異動作の最大パワーおよび1RM関連指標

| | | | | n=24 | |
|--------|--------|-------|-------|-------|--|
| | | Mean | SD | | |
| Squat | Pm | W | 2281 | 369 | |
| | F(Pm) | N | 1534 | 230 | |
| | V(Pm) | m/s | 1.497 | 0.186 | |
| | 1RM | kg | 187.6 | 28.2 | |
| | 1RM/BW | kg/kg | 2.39 | 0.29 | |
| Snatch | Pm | W | 2135 | 462 | |
| | F(Pm) | N | 1227 | 220 | |
| | V(Pm) | m/s | 1.749 | 0.280 | |
| | 1RM | kg | 112.6 | 12.2 | |
| | 1RM/BW | kg/kg | 1.45 | 0.21 | |
| Sn/Sq | Pm | | 0.94 | 0.17 | |
| | F(Pm) | | 0.81 | 0.15 | |
| | V(Pm) | | 1.17 | 0.16 | |
| | 1RM | | 0.61 | 0.06 | |
| | 1RM/BW | | 0.61 | 0.06 | |

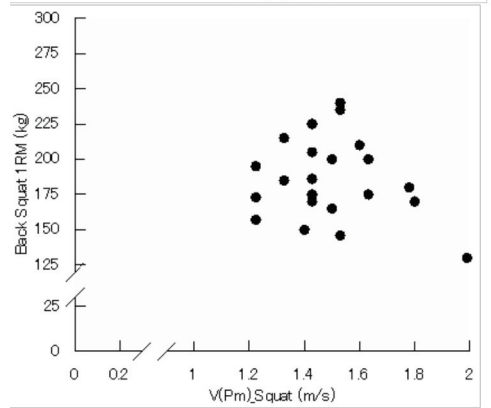
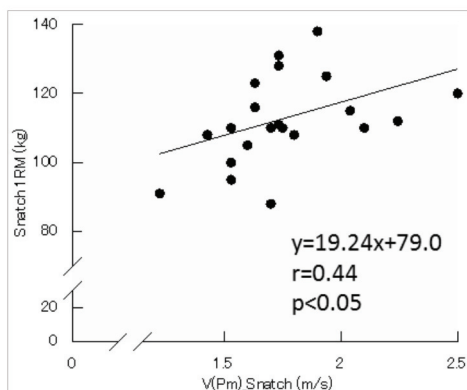
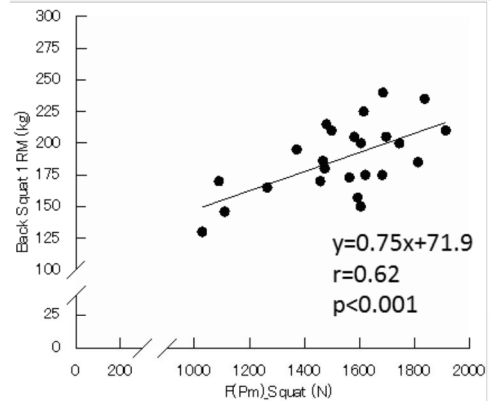
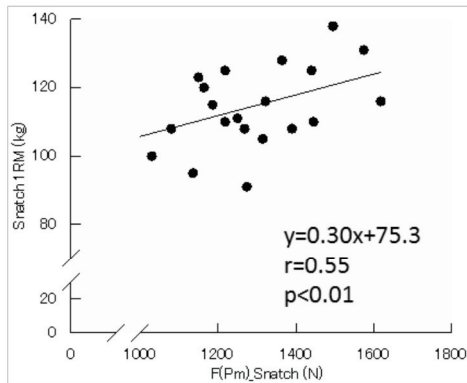
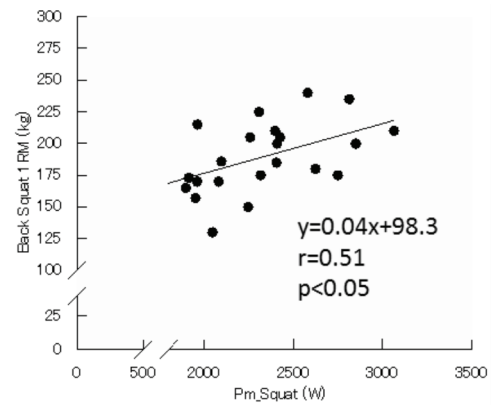
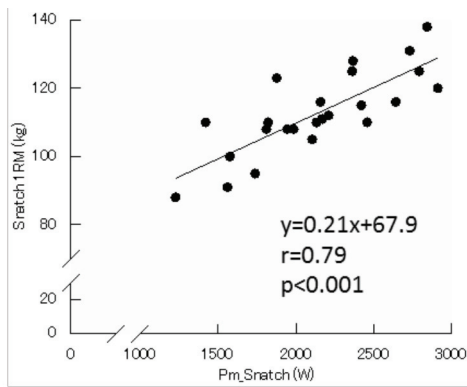


図5-4 Snatch特異動作時の最大パワー(Pm), 最大パワー発揮時の力 F(Pm) および速度 V(Pm)と1RM(kg)の関係

図5-5 Squat特異動作時の最大パワー(Pm), 最大パワー発揮時の力F(Pm)および速度V(Pm)と1RM(kg)の関係

5-1-4 考察

本研究は、大学生のウェイトリフティング選手を対象とし、Snatchの挙上記録とSquatの関係、および特異動作時に発揮したパワー出力とそれぞれの最大挙上重量(1RM)の関係について検討した。その結果、1RM(kg)において、SnatchはSquatの61%、Snatch特異動作時のパワー(Pm)はSquatの94%であった。Snatch特異動作時のPm、F(Pm)およびV(Pm)と1RM(kg)との関係において、全ての指標で有意な正の相関($r=0.44\sim 0.79$)を認め、Squat特異動作時にはPm、およびF(Pm)と1RM(kg)との

間に有意な相関関係を認めた ($r=0.51$ および 0.62) .

ウェイトリフティング競技において、パフォーマンスを挙上記録から評価し、トレーニング目標を得るために、相対値を利用した尺度が用いられている (加藤ら 1990, 岡田ら 1993) . つまり Squat を基準 (100%) とし、競技種目である Snatch [Sn] および Clean & Jerk [CJ] のほか、競技力向上に必須と位置づけられ、日常のトレーニングで補強種目として行っている種目 (Military Press [MP], High Snatch [HS], High Clean [HC], Push Jerk [PJ], Front Squat [FSQ]) を相対値で表している. 有力選手の記録を基に作成された理想値 (MP45%, HS55%, Sn63.75%, HC68%, PJ73.75%, CJ80%, FSQ89%) あるいは個人毎の各種目の Squat 比を参考に、それぞれの種目の目標設定に活用している. 本研究の対象における Snatch は 61% であり、加藤ら (1990) が示す理想値の 63%, 全日本代表選手で報告されている 60.7% ならびに全国中学大会入賞者 60.9% (岡田ら 1993) と同水準であった. この数値には個人差があり、各種目の得意、不得意あるいはトレーニングでの実施頻度が影響すると言われている (加藤ら 1990). 初心者では技術習得過程で多用される HC の値が 78% と顕著に高い値を示している (加藤ら 1990) . また、中・上級者においても挙上技能が劣っているものは Snatch が低い、あるいは挙上技能が優れている者では Snatch や HC が高いといった傾向が見られているが、平均値でみると、十分な経験を積んだ選手では年代に関係なく理想値とされる 60% 付近に集約されている (岡田ら 1993) . 本研究の結果は先行研究から約 20 年経過した後の選手たちの記録であったが、日本人選手における Snatch 記録の Squat 比が変化していないことを示唆するものである.

ウェイトリフティング競技はその特性から筋力・パワー系種目と位置づけられる (Stone et al 1980, Fry et al 2003, Garhammer 1989) . しかし、代表的なパワー測定項目である垂直跳びとウェイトリフティング競技成績との関係について検討した先行研究 (Stone et al 1980, 船渡ら 1992, Carlock et al 2004) においては、一致した見解が得られていない. Stone ら (1980) は 13 名の初心者に 14 週間のウェイトリフティングトレーニングを実施し、Snatch および Clean & Jerk における記録の向上とともに垂直跳びが 8.8% 向上したことを報告し、競技成績と

の関係を示唆しているが、Snatchとの相関係数はトレーニング前 ($r=0.22$)、中 ($r=0.46$) および後 ($r=0.09$) とバラツキがあった。同じく垂直跳びから求めたパワー値はトレーニング前、中、後に $r=0.63\sim 0.75$ を示し、跳躍高よりパワーとの相関係数が高かった。すなわち、垂直跳びはパワーの指標として実施されているけれども、跳躍高を用いると上肢、腕振りの使い方など跳躍の技術が影響し、真の下肢の出力が反映されない場合も懸念される (Carlock et al 2004)。そこで、Carlockらは手を腰に当て、腕振りを用いずに脚の反動だけを用いるCMJ; Counter movement jump, と反動を用いないSJ; Squat jumpにおける跳躍高と発揮パワーと挙上重量の関係を米国ナショナルチームおよびジュニア選抜合宿の選手を用いて検討した。その結果、CMJとSJの跳躍高とSnatch, Clean & Jerk, Squatの挙上記録の間の相関係数は $r=0.52\sim 0.64$ であったが、ジャンプ時のPeak Powerにおいては、 $r=0.90\sim 0.93$ という高い相関を示した。しかしながら、日本代表レベルの選手において、垂直跳びの跳躍高と競技成績(トータル重量およびトータル重量/体重)との間に有意な相関は認められていない(船渡ら1992)。このように垂直跳びはウエイトリフティングの挙上記録の裏付けとなっているが、一定の競技レベルの選手の中では、跳躍高にバラツキがあり、一致した見解が得られていない。跳躍の方法を限定する、あるいはパワーを求めることでウエイトリフティング競技の潜在能力をより高い精度で評価できることになるが、競技現場での利用を考えたときには、指導者が容易に測定できないなどの課題が残る。

このような競技力を推定する、あるいは競技力の背景となる筋出力の検討を進めるなかで、競技により類似した動作中のパワー測定が考案され、それが特異動作パワー (Specific movement power) と名付けられた (Funato et al 2000)。この測定は装置に付属するワイヤーを牽引する際のパワーを評価するため、様々な姿位や関節運動を扱うことが可能である。しかし、先行研究(船渡ら1992, Funato et al 2000)ではバーの中央にワイヤーを連結したため、バーの牽引動作時にワイヤーや連結金具が被験者の身体に触れる状況が見られた。そこで本研究ではこの装置のワイヤーに特別注文のアタッチメントを連結し(図5-1)、競技用のバーを装着することで、実際の動作をより忠実に再現できるように配慮

した。また，先行研究（船渡ら 1992, Funato et al 2000）ではパワーとの関係を検討する競技成績をトータル重量（Snatch+Clean & Jerk）としていたが，本研究では 2 種の特異動作パワーと挙上記録との検討においては Squat および Snatch それぞれの挙上記録を対象とした。本研究で記録された最大パワーと先行研究の値を比較すると，Squat (2281W vs 1351W[Funato et al 2000])，および Snatch (2135W vs 1878W[船渡ら 1992]) 両動作において，本研究の方が高値を示した。Funato ら (2000) が Squat と称して実施した動作はしゃがんだ姿勢からバーを引き挙げながら立ち上がるという動作であったため，下肢の可動域は本研究と類似していたが，背中にバーを担いではいなかった。同様に Snatch については，本研究が競技用のバーを用いており，手の滑りを抑制しグリップを強化する処理（ナーリング）が施されていた。したがって，本研究の模擬動作は，先行研究よりも実際の運動場面に近い状況で選手の身体能力を評価しており，1RM との関係を検討する上で適切であったと考えられる。

Snatch は床から一連の動作で頭上へ引き上げる動作である。そのキネマティック分析から，バーベルの最高速度はギリシャの女子ナショナルチームの報告では 1.98 ± 0.09 m/s (Gourgoulis et al 2002)，全米選手権大会 1.648 ± 0.191 m/s (Hoover et al 2006)，ジュニア世界選手権における日本人選手では 1.86 ± 0.09 m/s (1.70-1.96) および優勝者 1.94 ± 0.19 m/s (1.66-2.13) といった値が示されている (Okada et al 2008)。本研究の Snatch 特異動作は膝上にバーを構えるハングポジションから開始した。すなわちセカンドプルと定義され，股関節および膝関節を伸展させて最大の加速を得ようとする局面である (Baumann et al 1988, Garhammer and Takano 1992, Campos et al 2006, Okada et al 2008)。本研究の特異動作中の $V(P_m)$ は平均で 1.7 ± 0.3 m/s であり，これら競技時の Snatch における値に相当している。一方，Snatch 特異動作における $F(P_m)$ は 1227N であり，Snatch の 1RM (1103N) の 1.11 倍に相当していた。すなわち，本研究で用いた特異動作パワー測定は実際の競技動作を模しているだけでなく，得られた最大パワーは競技場面に類似した力-速度条件下で生じていたことが推察される。

Snatch の 1RM(kg) と特異動作中の最大パワー [P_m]，最大パワー出現時の力 [$F(P_m)$] および速度 [$V(P_m)$] との関係，全てにおいて有意な相関が認

められた。一方、SquatにおいてPmおよびF(Pm)と1RM(kg)との間に有意な相関が見られたが、速度においては認められなかった。本研究のSquat特異動作においては最大パワー出現時の速度が 1.497 ± 0.186 m/sであった。特異動作試行は最大努力で動作を行うものであり、スピードを調整させていない。Snatchなどのウェイトリフティング・エクササイズはクイックリフトとも呼ばれ、その動作自体に最大速度を得ようと努力しながら動作することが求められている(岡田 1997)。しかし、Squatのとくに一般のトレーニング場面においては、動作速度を一定に保つことによって高負荷での姿勢を保持している(Zink et al 2001, Earle and Baechle 2008)。また、実際のSnatchでは約1.6m/s以上のピーク速度で挙上されている(Gourgoulis et al 2002, Hoover et al 2006, Okada et al 2008)が、Squatにおいて50%1RMでは約1.2m/s(Stevenson et al 2010)、90%1RMでは0.839m/s(Zink et al. 2001)、パワーリフティング競技会試技では0.5 m/s(Garhammer 1986)とピーク速度が遅く、Snatchの半分程度の速度となっている。力-速度関係に基づき、Squatは最大努力の挙上において速度が遅く、Snatchよりも発揮筋力レベルが高い動作である。

このようなSnatchとSquatの動作様式の違いが、最大パワー出現の条件に影響しているものと考えられた。すなわち、SnatchにおいてPm、F(Pm)およびV(Pm)において有意な関係が認められたのに対し(図5-4)、Squatにおいては、PmおよびF(Pm)においては有意であったが、V(Pm)では有意な相関が認められなかった(図5-5)。最大筋力はパワー出力に影響する基礎的因子である(Schmidtblacher 1992)とされ、Stoneら(1980)は最大筋力が爆発的パワースポーツに大きく影響すると結論している。したがって、最大パワーが高いこと、および最大パワーがより高い力発揮レベルで発現することが、SnatchおよびSquatのようなエクササイズでより高重量を挙上するために必要な要素であると考えられる。しかし、動作自体がより高速条件でなければ成立しない(挙上が成功しない)Snatchと、より低速条件でも1RM挙上が可能であるSquatでは、最大パワーの出現状況が異なっていたと考えられる。すなわち、Snatchにおいて最大パワー[Pm]と1RM(kg)に有意な相関が見られ、最大パワー出現時の力[F(PM)]および速度[V(Pm)]も同様な相関を認めたことは、こ

の最大パワーが大きな力をより早く発揮するなかで獲得されたことを意味していよう。一方, Squat においては $V(P_m)$ と 1RM に有意な関係が見られなかったが, $F(P_m)$ と 1RM との関係性が最も高かった ($p < 0.001$) ことから, Snatch においては最大パワー, Squat では最大パワー発揮時の力が最高挙上重量の決定に最も重要な因子であることが示唆された。

5-2 マスターズ選手における特異動作パワー (研究Ⅲ: 岡田ら 2013)

5-2-1 緒言

前項で述べたウエイトリフティングの競技力に関連した特異動作パワー測定は, 学生や全日本クラスとは異なる集団においてどのような情報をもたらすであろうか。そこで, ウエイトリフティングを実施しているマスターズ選手を対象に特異動作パワーを測定した。

5-2-2 方法

① 被験者

対象は, 定期的なトレーニング習慣のあるマスターズ・ウエイトリフティング選手 9 名 (MWL 群) とした。MWL 群は全日本マスターズ・ウエイトリフティング選手権大会に出場経験があり, ウエイトリフティング競技のトレーニングあるいはレジスタンストレーニングを継続的に (10 年 ~ 35 年) 実施していた。彼らが実験 6 ヶ月以内に記録した最高挙上重量は, Snatch 79.2 ± 16.3 kg, Clean & Jerk 102.5 ± 23.8 kg, Squat 155 ± 53.5 kg (2 名は該当する記録なし; $n=7$) であった。

② 特異動作パワー測定

前項同様に, 特異動作パワーを計測するため, 多用途パワー測定装置 (パワープロセッサ II; VINE 社製) を用いた (Funato et al, 2000)。装置のワイヤーに専用のアタッチメントを介して, 競技で使用している公認バー (20kg) を連結し, 競技種目に特異的な動作パワーを測定した。

対象とした動作は Snatch を模した引き上げ (Snatch 動作) および Squat を模した立ち上がり (Squat 動作) であった。Snatch 動作においては, 膝蓋骨上縁にバーを構えた姿勢 (ハングポジション) から動作を開始し, 競技時と同様な動作で最大努力によるバーの牽引を行うよう指示した。一方, Squat 動作においては, 上背部 (僧帽筋) にバーを担ぐハイバーポジション (Earle and Baechle 2008), 膝関節角度 90 度を開始姿勢とし,

同じく最大努力で立ち上がるよう指示した。パワーテストの手順において、被験者はブレーキ抵抗を最小にした 0V から試行を開始し、順次抵抗を高めた。それぞれの試行後にパワー値を確認し、負荷の増大にともなうパワーの増加を確認した。そしてパワーが最大値 (Pm) に達し、その後負荷が増してもパワーが低下したことを確認し測定を終了した。この Pm と Pm が出現した試行の張力のピーク値 Fm を分析に用いた。

③ 統計処理

パワー関連指標と挙上記録の関係については回帰分析を行い有意水準を 5% 未満とした ($p < 0.05$)。

5-2-3 結果

図 5-6 に Squat を模した特異動作中のパワーと実際のバーベルでの最高挙上記録の関係を示した。Squat においてパワー測定を中止 (1 名) あるいは 1RM を実施しておらず、2 名の 1RM が不明だったことから 6 名のデータとなった。Snatch においてはパワー関連指標との有意な関係は認められなかったが、Squat の挙上記録と Pm ($r = 0.91$, $p < 0.05$) および Fm ($r = 0.94$, $p < 0.01$) との間に有意な相関関係が認められた。

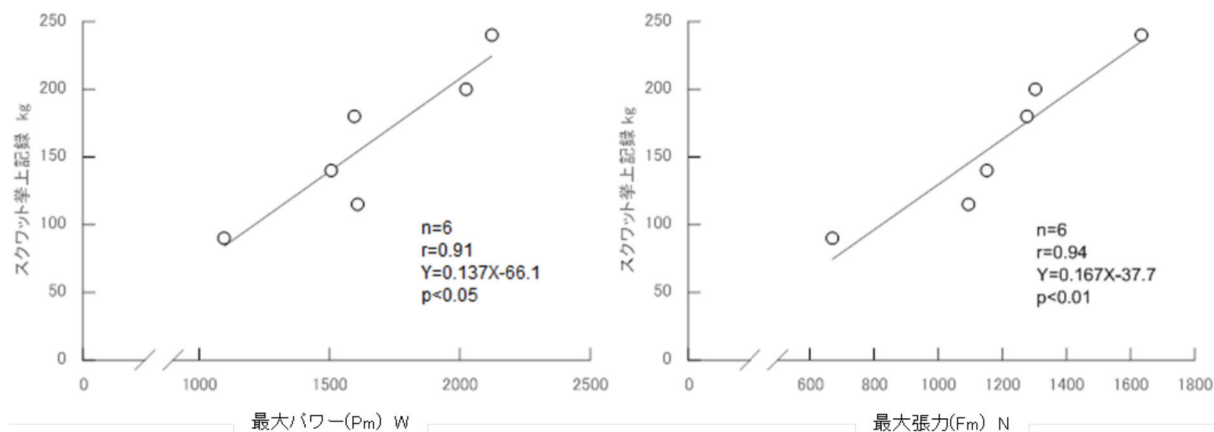


図5-6 スクワットの挙上記録とスクワット模擬動作時の最大パワー (Pm) および最大張力 (Fm) との関係

5-2-3 考察

マスターズ選手特有の問題として、若い選手と比較して、記録の向上より維持を目的とし、厳しいトレーニングに身を曝していないことが考えられる。青年期であれば痛みを我慢してでも必要なトレーニングを実施することもあるだろう。しかし、関節の痛みや苦手意識があるために、Squat 運動を敬遠していることも考えられる。挙上記録の聞き取りにおいて、Squat の 1RM を実施していないとの回答が 2 名からあった。すな

わち大腿前部の筋群の主要な強化手段である Squat(Baechle et al 2008) について, MWL 群が一様なトレーニング状況ではないことも事実であった。また, 本研究において, 違和感を感じ膝伸展および Squat の特異動作パワー測定を1名が中止している。マスターズ・ウエイトリフティング選手を対象とした先行研究においても, 多くの選手がテスト中に膝の不快感を訴えたと述べられている (Pearson et al 2002)。このようにマスターズ選手においては, 競技に取り組む姿勢が異なる可能性があること, あるいは傷害を有している可能性も高いことから, 青年期のアスリートほど均質な集団ではないこと推察される。

WL 群において実施した Snatch および Squat の特異動作中の最大パワー (特異動作パワー; Pm) は Snatch で 1536 ± 445 W, Squat では 1613 ± 473 W であった。この値は日本代表候補選手の Snatch よりグリップ幅が狭い Clean 特異動作時のパワー (1766 ± 576 W) より低く, 同じくジュニア (中学生) 選手 (1238 ± 397 W) より高い値 (岡田ら 1995) であった。また, Snatch の Pm と挙上記録の間に有意な正の相関関係 ($r=0.88$, $P<0.01$) が大学生選手において認められている (Okada 2000)。本研究において Snatch における Pm および Fm (最大張力) と挙上記録の間に有意な関係は見られなかったが, Squat においては Pm ($r=0.91$, $p<0.05$) および Fm ($r=0.94$, $p<0.01$) との間に有意な関係が認められた。このことから, Squat よりも Snatch の方が高い速度およびパワーを要するという動作特性が一つの要因として考えられる。最大筋力はパワー出力に影響する基礎的因子であるとされ (Schmidtbleicher 1992), Stone ら (1980) は最大筋力が爆発的パワースポーツに大きく影響すると結論している。したがって, 最大パワーが高いこと, および最大パワーをより高い力発揮レベルで発現することが, Snatch および Squat のような高強度エクササイズでは必要な要素であると考えられる。しかし, エクササイズとして Snatch と Squat を比較すると, 一気に頭上へ挙上する Snatch の方が, 動作自体がより高速でなければ成立しない (挙上が成功しない) ため, 高いパワー出力が要求される。一方, Squat はしゃがんで立ち上がるだけの運動で, Snatch に比して技術的影響も小さく, 0.5 m/s で 1RM 挙上が可能である (Garhammer 1986)。さらに, Pearson ら (2002) の報告では, 一般高齢者と同様な加齢にともなう等尺性膝関節伸展筋力および脚伸展

パワーの低下がマスターズ・ウエイトリフティング選手においてみられ、パワー（1.3%/年）の方が筋力（0.6%/年）に比べて低下率が大きい傾向にあった。この加齢にともなうパワーの低下率が筋力より大きいことも、Squatよりパワーを要するSnatchにおける挙上記録とパワーの関係がMWLにおいて若年者と異なる結果となった要因と考えられる。

5-3 結論

SnatchとSquatを対象とし、それらの挙上記録と特異動作パワーの関係を明らかにすることを目的とし、大学生およびマスターズ選手の測定を実施した。大学生のSquatにおいては1RMとの有意な相関が最大パワー[Pm]および最大パワー出現時の力[F(Pm)]において認められ、力の方がより強い相関であった（ $r=0.62$, $p<0.001$ ）。一方、Snatchにおいては全ての指標で有意な正の相関（ $r=0.44\sim 0.79$ ）を認め、最大パワーが最も高い値（ $r=0.79$, $p<0.001$ ）を示していた。これらのことから、大学生におけるSnatchの特異動作パワーにおいては最大パワー、Squatでは最大パワー発揮時の力が最高挙上重量の決定に最も重要な因子であることが示唆された。

一方、マスターズにおいては、加齢にともない、筋力よりもパワーの低下率が大きいことから、SnatchとSquatを比較すると、Snatchの方が加齢による影響を受けやすく、最高挙上重量とパワーの関係が若年者と異なる傾向にあった。

6. ウェイトリフティング・エクササイズの効果

6-1 マスターズ選手の骨密度，筋力，筋断面積から見たウェイトリフティングの影響（研究Ⅲ：岡田ら 2013）

6-1-1 緒言

アスリートのみならず，中高年者の体力づくりプログラムにおいて，レジスタンストレーニングが盛んに取入れられてきている．さらに虚弱高齢者を対象とした介護予防の分野においても筋力の維持・向上が重要な課題となっている (Elizabeth Best-Martini et al 2003)．中高齢者において，レジスタンストレーニングに期待されている効果は，筋力の増加に伴う身体活動レベルの向上が主である．しかし，その他にも筋量増加により基礎代謝量が高められ，肥満を改善し成人病予防に寄与すること，加齢にともなう骨密度の減少を予防する効果などが挙げられる (Westcott and Baechle 1998, Faigenbaum 2008)．

ウェイトリフティング競技はボディビルあるいはパワーリフティングと同様にレジスタンス・エクササイズを主とした活動である．とくにウェイトリフティングは Snatch および Clean & Jerk 種目において，より重い重量を頭上に挙げるのが目的となっている．しかし，日常のトレーニングはこれらの競技種目および関連する補助エクササイズとともに一般的なレジスタンス・エクササイズから構成される (Garhammer and Takano 1992, Kanehisa et al 1998)．したがって，ウェイトリフティング競技者の身体は継続的な高強度レジスタンストレーニングの影響を受けており，その特徴を明らかにすることはレジスタンストレーニングの効果やその程度を明らかにする一助となる．

骨密度に及ぼす運動の影響に関する横断的研究から，青少年期の激しい運動経験を有するスポーツ選手は中高年期における骨密度が同年代の平均値より高いこと (Conroy et al 1993, 岡田ら 1994)，あるいはスポーツ選手は引退後に中高年期を迎えても非運動群より骨折の危険性が低いことが指摘されており (Guadalupe-Grau et al 2009)，中高年期になっても高い骨密度を維持するためには，若い頃の運動が重要であると言われている (Conroy et al 1993, Ratamess 2008)．また縦断的研究では，55歳から75歳を対象に実施した50%1RM強度のレジスタンストレー

ニングでは骨密度は維持されるに止まったが，54歳から61歳の被験者においては65-87% 1RM に相当する5-15RMのトレーニングを4ヶ月実施し，2.0%の腰椎骨密度の増加を報告している(Menkes et al 1993)．30歳から40歳で最大骨量(Peak Bone Mass)を迎え，その後加齢にともない減少していく骨量が，中高年あるいはそれ以上の年代に対して注目されるのは，低下した骨量が骨粗鬆症のリスクを高めるためである(Conroy et al 1993, Heaney et al 2000)．

Kanehisaら(1998)は対照群(一般大学生)に比べてウエイトリフティング選手において，上肢および下肢の筋断面積および骨断面積が有意に高値(22~57%)であることを報告し，ウエイトリフティングへの長期間の参加によって，ウエイトリフティングのトレーニングが筋とともに骨の顕著な肥大を促したと考察しているが，骨密度は評価されていなかった．一方，Conroyら(1993)は長期的かつより強い力学的ストレスの影響を受けているジュニア・ウエイトリフティング選手(17.4歳)を対象に横断的調査を実施し，同年代の対照群より有意に高い腰椎および大腿骨骨密度であったことを報告している．また，その値は一般成人(20-39歳)の標準値を13~31%上回っていたと報告している．青年期においては，これらのウエイトリフティング選手を対象とした先行研究から，長期的なレジスタンストレーニングによる筋肥大および骨密度への影響が見られている．しかし中高齢者に関する情報は乏しく，40歳代~80歳代の世界マスターズ・ウエイトリフティング選手権の参加者において，筋力およびパワー指標について報告されている(Pearson et al 2002)が，筋断面積あるいは骨密度は含まれていない．

そこで本研究は，マスターズ・ウエイトリフティング選手における長期的な高強度レジスタンストレーニングが筋力，筋断面積および骨密度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした．

6-1-2 方法

① 対象

本研究の対象は，定期的なトレーニング習慣のあるマスターズ・ウエイトリフティング選手9名(WL群)，および対照群6名(C群)とした．WL群は全日本マスターズ・ウエイトリフティング選手権大会に出場経験があり，ウエイトリフティング競技のトレーニングあるいはレジスタン

ストレーニングを継続的に（10年～35年）実施していた。一方C群は、ウォーキング、水泳等の健康増進を意図した運動を定期的に（1回～5回／週）実施していたが、両群の特性（年齢，身長，体重および体脂肪率）に有意差は無かつ

た（表6-1）。被験者には、予め研究内容，測定に関するリスク等を書面および口頭で説明し，書面による同意を得た。

表6-1 被験者特性

| | | WL | | | C | | |
|------|----|----|-------|-----|---|-------|-----|
| | | n | Mean | SD | n | Mean | SD |
| 年齢 | 歳 | 9 | 52.6 | 6.8 | 6 | 52.0 | 8.3 |
| 身長 | cm | 9 | 167.4 | 5.9 | 6 | 171.0 | 5.1 |
| 体重 | kg | 9 | 73.7 | 8.0 | 6 | 66.3 | 6.2 |
| 体脂肪率 | % | 9 | 24.7 | 4.9 | 6 | 22.3 | 3.4 |

②測定項目

身体組成，骨密度および下肢筋力を両群において測定した。WL群に対してはこれに加え，競技に特異的な動作中のパワー測定を実施した。なお骨密度（DEXA）およびMRI撮影は協力医療機関において実施した。

4極式インピーダンス体脂肪測定器（TBF-300，TANITA社製）を用いて体重，体脂肪率を求めた（Nuñez et al 1997）。骨密度は，踵骨について超音波法（AOS-100，Aloka社製，Tsuda-Futami et al 1999），腰椎（L2-L4）にはDEXA法（QDR-1000，Hologic社製）を用いて測定した。股関節の等尺性屈曲および伸展筋力をハンドヘルドダイナモメータ；Power Track II（Jtech Medical Industry）を用いて測定した。すなわち，検者は大腿部遠位端にダイナモメータを当て，腹臥位（伸展時）あるいは仰臥位（屈曲時）の被験者に膝を伸ばした状態で右脚を全力で挙上させた。このとき床面から10cm程度脚部を持ち上げた位置で等尺性筋力を測定した（小林 2001）。また両群ともに繰り返し測定の実現性（CV%）が5%以内の同一検者によって実施された（鳥居 2003）。

等速性膝関節伸展および膝関節屈曲筋力（右脚）をCybex II+を用いて測定した。座位で膝を90度に屈曲した位置から最大伸展位まで動作させ，一旦静止させた後に屈曲動作を実施した。角速度を60度／秒とし，最大努力で3試行実施し，ピークトルクの最大値を分析に用いた。

大腿部の筋断面積を評価するために，MRI撮像を実施した。MRI（Signa 1.5T）の撮像条件をFOV300，TR/TE 500/17とし，スライス厚5mmとした。スライスは大腿長を基準に10%毎の位置から得た。同様に大腰筋の

横断像を得るために、第5腰椎(L5)上縁で体幹部の横断像を撮像した。これにより得られた画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像処理ソフトウェア(Image J; NIH)を用いて、大腿前部(内側広筋, 外側広筋, 大腿直筋および中間広筋), 大腿後部(大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋など), 内転筋群, 大殿筋および大腰筋を計測した。解析においては同一の検者が全対象者の筋断面積を計測した。

③統計処理

測定の結果を平均値および標準偏差で表し、WL群およびC群間の差の検定には対応のないt検定を用いた。筋断面積における群間比較には分散分析(反復測定)を用い、群間差が有意の場合はBonferroniの検定を行った(Stat view 5.0)。また、筋力と筋断面積の関係については回帰分析を行い、いずれも有意水準を5%未満とした($p < 0.05$)。

6-1-3 結果

両群の骨密度および筋出力指標の平均値および標準偏差を表6-2に示した。踵骨骨密度(OSI; osteo sono-assesment index)はWL群およびC群それぞれにおいて 3.0 ± 0.3 および 2.8 ± 0.4 ($\times 10^6$)であり、有意差は認められなかった。一方、腰椎骨密度においてはWL群がC群に比べて38%有意な高値を示した(WL; 1.4 ± 0.3 , C; $1.0 \pm 0.2 \text{g/cm}^2$; $p < 0.01$)。

表6-2 骨密度および筋出力

| 項目 | WL | | | C | | | p | |
|----------|--------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | n | Mean | SD | n | Mean | SD | | |
| 骨密度 | 踵骨 OSI(10^6) | 9 | 2.987 | 0.308 | 6 | 2.786 | 0.421 | 0.008 |
| | 腰椎 g/cm^2 | 9 | 1.387 | 0.262 | 6 | 1.003 | 0.180 | |
| 等尺性股関節筋力 | 伸展 N | 9 | 274.8 | 64.1 | 6 | 241.3 | 43.6 | |
| | 屈曲 N | 9 | 222.6 | 57.7 | 6 | 186.5 | 27.8 | |
| 等速性膝関節筋力 | 屈曲 Nm | 8 | 109.7 | 18.0 | 6 | 99.8 | 20.8 | |
| | 伸展 Nm | 8 | 169.7 | 32.1 | 6 | 144.9 | 28.1 | |
| 模擬動作パワー | スナッチ W | 9 | 1536 | 445 | | | | |
| | スクワット W | 8 | 1613 | 473 | | | | |

等尺性股関節伸展筋力, 等尺性股関節屈曲筋力, 等速性膝関節伸展筋力, および等速性膝関節屈曲筋力において両群間に差は見られなかった。なお1名(WL群)が等速性膝関節筋力測定において違和感を訴え測定を中止した。

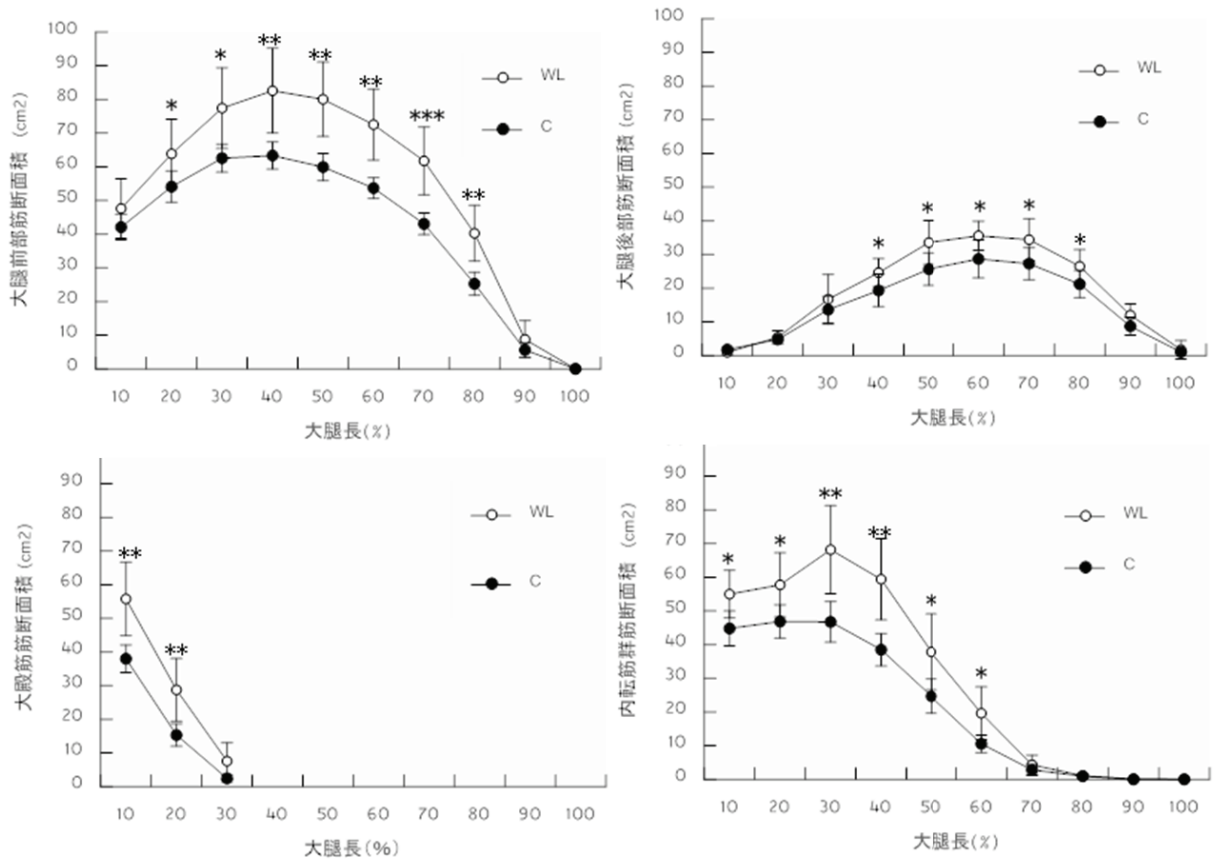


図6-1 MRIによる下肢の筋断面積
横断像は大腿長の10%毎に得た
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

大腿前部，大腿後部，内転筋群および大殿筋における大腿長の10%毎の筋断面積について平均値および標準偏差を図6-1に示した．大腿前部（内側広筋，外側広筋，大腿直筋および中間広筋）において，WL群およびC群の筋断面積は40%部位で最大値(WL; 82.6 ± 12.6 , C; $63.33 \pm 4.06 \text{ cm}^2$)を示すとともに，20%～80%部位において，WL群が高値であった．大腿後部（半腱様筋，半膜様筋，大腿二頭筋）においては60%部位が最大(WL; 35.5 ± 4.3 , C; $28.68 \pm 5.65 \text{ cm}^2$)であり，40～80%部位に有意差が認められた．同じく内転筋群では10～60%部位，大殿筋は10～20%部位においてWL群が有意に高い値を示した．また，大腰筋の筋断面積はWL群において右 12.2 ± 2.6 ，左 $12.1 \pm 2.7 \text{ cm}^2$ ，同じくC群において右 10.1 ± 3.0 ，左 $10.4 \pm 2.9 \text{ cm}^2$ であり，両群間に有意差は認められなかった．

筋力と筋断面積の関係について，大腿前部の筋断面積について図6-2に，同じく大腿後部について図6-3に示した．大腿前部が主に関与する等速性膝関節伸展筋力ならびに等尺性股関節屈曲筋力との関係を描画したが，両群ともに有意な関係は認められなかった．一方，大腿後部と等

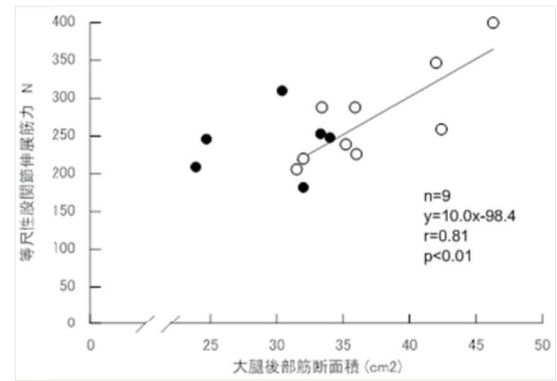
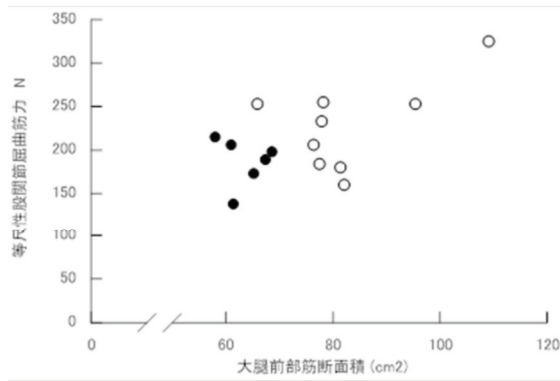
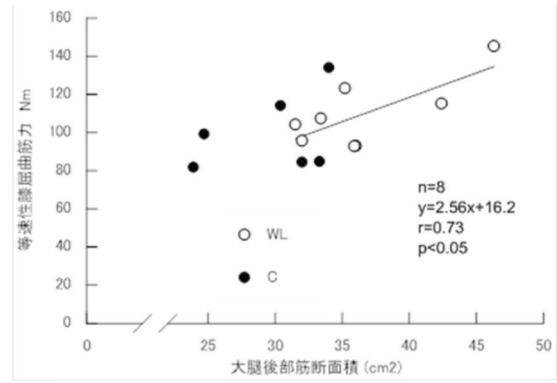
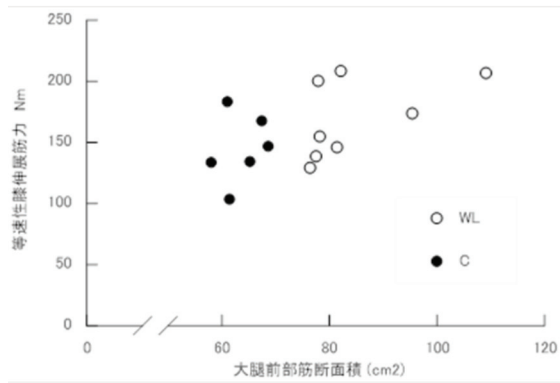


図6-2 等尺性股関節屈曲筋力および等速性膝伸展筋力 (60度/秒)と大腿前部筋断面積との関係
○ウエイトリフティング群 ●対照群

図6-3 等尺性股関節伸展筋力および等速性膝屈曲筋力 (60度/秒)と大腿後部筋断面積との関係
○ウエイトリフティング群 ●対照群

尺性股関節伸展筋力 ($r=0.81$, $p<0.01$) および等速性膝関節屈曲筋力 ($r=0.73$, $p<0.05$) との間には WL 群においてだけ、有意な相関関係が認められた。

6-1-4 考察

本研究は、マスターズ・ウエイトリフティング選手 (WL 群) を対象とし、骨密度、下肢筋力、および筋断面積を評価した。その結果、等速性膝関節伸展筋力、等速性膝関節屈曲筋力、等尺性股関節伸展筋力、および等尺性股関節屈曲筋力の平均値においては対照群 (C 群) と差は認められなかったが、筋断面積および腰椎骨密度において WL 群が有意に高い値を示した。

大学生 WL 選手と同年代の対照群を比較した先行研究 (Kanehisa et al 1998) において、50% 部位の膝関節伸展筋群の筋断面積が 53%、同膝屈曲筋群では 34%、WL 群が高値を示していた。本研究において WL 群と C 群との間に年齢、身長、体重に有意差を認めなかったが、同様に 50% 部位を比較すると大腿前部筋断面積において 34% ($p<0.01$)、同じく大腿後部において 31% ($p<0.05$)、C 群よりも WL 群の方が有意に高値を示していた。大殿筋 (10-20% 部位) および内転筋群 (10-60% 部位) も同様に

WL群が大きな値を示した。WL群の競技特性として下肢および体幹の筋力、パワーが重要であることから、主要なトレーニング種目に Squat が位置づけられている (Garhammer and Takano 1992)。中高齢のマスターズ選手においても、大学生と同様な対照群との差を有していることが示唆された。一方、大腰筋において有意差が認められなかったことは、WL群において股関節屈曲が主要な動作ではないこと (Baumann et al 1988)、あるいはC群もウォーキングなどの股関節屈曲をともなう運動習慣を有していることがその一因と推察された。

等速性膝関節伸展筋力、等速性膝関節屈曲筋力、等尺性股関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力の平均値において、両群間に有意差は認められなかった。WL群が筋断面積においては高値を示したが、これら筋力の指標において両群に差が見られなかった。そのため本研究の等速性膝関節筋力と先行研究で多く用いられている50%部位の大腿部筋断面積から単位筋断面積当たりの筋力を算出した。大腿前部ではWL群が 2.08 ± 0.03 、C群では $2.41 \pm 0.41 \text{ Nm/cm}^2$ 、同様に大腿後部では 3.43 ± 0.57 および $3.95 \pm 0.77 \text{ Nm/cm}^2$ となり、いずれもC群の方が高値となったが有意差は認められなかった。一般にレジスタンストレーニングの効果として、神経系の適応、すなわち運動単位の動員が高まることで単位筋断面積当たりの筋力が増大することが知られている (福永 1978)。したがって、高い筋力発揮を要する競技を実施しているWL群はC群より高い値を示すと考えられる。しかし、全日本選手権出場レベルの11競技種目の男子選手と一般人の単位筋断面積当たりの等尺性膝関節伸展筋力を種目別に比較した Kanehisa ら (1986) の報告では、サッカーおよびパワーリフティングが他の種目に比べて有意に高い値を示し、ウェイトリフティング、柔道、相撲といった種目の平均値は一般男子より低値であった。また、単位筋断面積当たりの筋力においては種目に関係なく個人差が大きく、筋力的要素の強い種目が必ずしも高い絶対筋力を示すとは限らないと報告されている。さらにスポーツ選手と一般人の男女を問わず、単位筋断面積当たりの筋力の分布範囲は等尺性膝伸展筋力では $4 \sim 11 \text{ N/cm}^2$ と広範囲であった (金久ら 1988)。その要因として筋線維組成および神経系の作用 (福永 1983) あるいは筋線維の走行方向 (Maughan and Nimmo 1984) などの先天的あるいは解剖学的な要素が考察されている (金

久ら 1988) .

大腿前部筋断面積の最大値とその筋群が主に貢献する等速性膝関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力の関係 (図 6-2) , ならびに大腿後部筋断面積の最大値と等速性膝関節屈曲筋力および等尺性股関節伸展筋力の関係 (図 6-3) において, 群毎で有意な関係が見られたのは WL 群における大腿後部筋断面積と等速性膝関節屈曲筋力および等尺性股関節伸展筋力においてだけであった. 筋断面積と筋力に有意な関係が見られることは, 他の部位に比べて, 被験者の単位断面積当たりの筋力に個人差が少なく一様であったことを示している (福永 1978) . ウェイトリフティングの Snatch 動作の分析から, バーの引き上げ動作においては足関節底屈および膝関節伸展よりも股関節伸展の貢献度が高く, Snatch 挙上時の全身の筋出力の約 60% と見積もられている. すなわち股関節伸展筋群 (大腿後部, 殿部および背部) の重要性が競技動作の特徴として示されている (Baumann et al 1988) . この引き上げ動作は Clean & Jerk 競技においても同様であり, トレーニングにおいて高い頻度で動員されることから (Garhammer and Takano 1992), ウェイトリフティングにおけるこの筋群の重要性が反映されていた結果と考えられた.

本研究の踵骨骨密度において, 52.6 ± 6.8 歳の WL 群が 2.987 ± 0.31 , 同じく 52 ± 8.3 歳の C 群は 2.789 ± 0.42 の踵骨骨密度 (OSI) であったが, WL 群と C 群の間に有意差は認められなかった. しかし, WL 群は平均 35.2 ± 5.5 歳 (14 名) について報告されている 2.98 ± 0.36 (Tsuda-Futami et al 1999) に匹敵し, C 群は同年代 (50 ± 12 歳, 4,183 名) の平均値 2.85 ± 0.32 より低い数値であった (Hirose et al 2003) . 骨量は成長とともに増加し 30 歳~40 歳にピークを迎え, その後低下していく. とくに女性においては閉経後に骨形成を促進するエストロゲンなどの分泌低下から, 骨量の減少傾向が加速されると言われている (Heaney et al 2000, Brown and Weir 2004) . 骨粗鬆症予防においてライフスパンで見ると, 青少年期の運動が骨量の増大を促し, 最大骨量 (Peak Bone Mass) を高め, 中年期以降の骨粗鬆症リスクを低減させると考えられている (Ratamess 2008) . 体重の 10 倍に及ぶ床反力に曝されている 9 歳の女子体操選手を対象とした研究では, 同年代の対照群にくらべ 5.7% 高い骨密度であった (Daly 1999) . 同じく 9 歳の男子サッカー選手を対象とし

た研究では，下肢 4%，腰椎 2%，大腿骨頸部 5%，非活動的な同年の対照群に比べてそれぞれ高値であった（Alfredson 1996, Vicente-Rodriguez 2003, 2004）．このように体枝，体軸骨格へ作用する骨原性張力はジャンプ，キック，スプリント走，急激な方向変換など様々なスポーツ場面で生じている．一方，重力の影響が少ない水泳や漕艇のようなスポーツでは機能的体力因子への有効性はあるが，骨形成に対する利得はみられないと言われている（Guadalupe-Grau et al 2009）．このように運動は骨形成に有効であるが，運動の特性，種類，とくに力学的内容によって，その影響に違いがあることが分かる（Huuskonen et al 2001, Menkes et al 1993, Stewart 2005）．中高年者を対象とした研究において，運動の種類あるいは強度が骨密度に及ぼす影響が見られている．Menkesら（1993）は，54歳～61歳の男性において，週3回4ヶ月のレジスタンストレーニングを5-15RMの強度で実施させた．その結果，2%および3.8%の腰椎および大腿骨頸部骨密度の増加を認めた．一方，40-60% $\dot{V}O_2\max$ の定期的な有酸素運動が53歳～62歳の男性において48ヶ月継続されたが，加齢にともなう大腿骨骨密度の減少に対する改善効果はみられていない（Huuskonen et al 2001）．しかし，有酸素運動（60-90% HRmax）が50% 1RMの軽レジスタンストレーニングと合わせて6ヶ月実施された事例では，男性において骨密度が維持されたが，女性では減少していた（Stewart 2005）．これらの先行研究から，運動の種類によって骨密度に与える影響は異なること，加齢にともない骨量が減少している中高年者においても運動時に加わる力学的な作用のより大きい運動が，骨密度減少を抑制する，あるいは骨密度を増加へ転じさせることが示唆されている．

このような骨格への機械的ストレスの高いスポーツ選手のプロフィール（Daly 1999, Alfredson et al 1996, Vicente-Rodriguez et al 2003, 2004），あるいはレジスタンスエクササイズを用いたトレーニング実験（Huuskonen et al 2001）から，それらが骨密度増加に好影響を有することは明らかなようである．本研究で評価した腰椎（DEXA法）の骨密度においてWL群がC群に比べ有意に高値であった（ $p < 0.01$ ）．Conroyら（1993）は長期的かつより強い力学的ストレスの影響をジュニア・ウエイトリフティング選手（平均17.4歳）を対象に検討し，同年代の対照群よ

り有意に高い腰椎および大腿骨骨密度であったことを報告している。また、その値は一般成人（20-39歳）の標準値を13～31%上回っていた。本研究のWL群は平均52歳であったが、最低でも10年以上の競技経験があり、学生時代から継続している者では35年に及ぶ競技歴を有していた。また、単なるレジスタンストレーニング実践者ではなく、ウエイトリフティング競技を長期に実践していた。従って、トレーニングマシンなどによる単関節運動あるいは特定の筋群に着目したレジスタンストレーニングだけではなく、SnatchおよびClean & Jerkというバーベルを頭上へ挙上する運動を競技種目として実施し、SquatやDeadliftを主な補強種目として実施していた（Garhammer and Takano 1992）。これらはいずれも体肢だけに負荷の掛かる運動ではなく、体軸性骨格である脊柱にストレスが加わるため、トレーニング科学の専門書ではとくに“Structural Exercise”として分類されている（Baechle et al 2008, Ratamess 2008）。Kanehisaら（1998）は骨密度を評価していないが、対照群に比べて大学生WL選手において、上肢および下肢の骨断面積が有意に高値（22～57%）であることを報告し、ウエイトリフティングへの長期間の参加によって、ウエイトリフティング動作が筋とともに骨の顕著な肥大を促したと考察している。すなわち本研究において踵骨において有意差は見られなかったが、腰椎においてWL群がC群より38%高い骨密度を示したことは、長期間にわたる“Structural Exercise”が体軸骨格へ機械的刺激を与えた影響であろうと考えられた。

6-2 結論

ウエイトリフティング競技による長期的なレジスタンストレーニングの影響として、マスターズ・ウエイトリフティング選手の腰椎骨密度および下肢の筋断面積が対照群よりも高値になること、他の部位に比べて大腿後部の筋群の断面積や出力に強く影響することが示唆された。

7. 総合論議

7-1 少年運動能力テスト（スポーツ能力基本評価法として）

文部省スポーツテストは、1961年に成立したスポーツ振興法に基づいて1964年から10歳～29歳を対象とした体力診断テスト、運動能力テストが始まり、1967年には壮年体力テスト、1983年には小学校低・中学年運動能力テストが加わっている（青木と新井 1997；表 7-1）。この体

表 7-1 体力・運動能力調査の内容
（青木と新井 1997）

| 名称 | 小学校低・ 中学年運動能力テスト | 小学校スポーツテスト | スポーツテスト | 壮年体力テスト |
|---------|--|---|---|---------|
| 開始年度 | 昭和58年度 | 昭和39年度 | 昭和39年度 | 昭和42年度 |
| 対象 | 6～9歳 | 10・11歳 | 12～29歳 | 30～59歳 |
| 運動能力テスト | 1 50m 走 2 立ち幅とび 3 ソフトボール投げ 4 とび越しくぐり 5 持ち運び走 | 1 50m 走 2 走り幅とび 3 ソフトボール投げ 4 斜懸垂腕屈伸 5 ジグザグドリブル 6 連続逆上がり | 1 50m 走 2 走り幅とび 3 ハンドボール投げ 4 懸垂腕屈伸(斜懸垂) 5 持久走(1500,1000m) | ————— |
| | 5 種目を、種目ごとに1級～10級に判定 | 1 種目20点(ジグザグドリブル、連続逆上がりは10点) 総合得点(100点満点)により、1級～5級に判定 | ————— | ————— |
| 体力診断テスト | ————— | 1 反復横とび 2 垂直とび 3 背筋力 4 握力 5 伏臥上体そらし 6 立位体前屈 7 踏み台昇降運動 | 1 反復横とび 2 垂直とび 3 握力 4 ジグザグドリブル 5 急歩(1500m,1000m) | ————— |
| | ————— | 1 種目5点(7種目計35点満点) 総合判定は総得点の年齢別によりA～Eの5段階評価 | 1 種目20点(5種目計100点満点)総得点により体力年齢を判定 | ————— |

力診断テストと運動能力テストに関して識者の様々な意見が見られる。両者のねらいの違いについて波多野（1973）は体力診断テストを「敏捷性・瞬発力・静的筋力・柔軟性・心肺機能という要因別テスト」とし、運動能力テストを「走・跳・投の他に他所の演技的な複合動作を中心としたパフォーマンステスト」と表現している。一方、「スポーツテストは、運動能力に関するテストを、体力科学研究者の論理に基づく体力診断テストと、体育現場指導者の論理に基づく運動能力テストに分化させた」と批判的な論議（木下 1995）もみられる。宮下（1997）は体力診断テストを「人間が運動する際の総合的な能力であるとする行動体力を、敏捷性、筋力、持久力など機能別に細分化して、それぞれがよく表された数量化できるテスト項目を集めて構成されたもの」と評している。換言すれば、体力の定義、特に行動体力を構成する内容を身体資源と運動

成果に分ける概念（芝山と深代 1985）であり，体力診断テストと運動能力テストの間にさえ，純粋な身体の機能とスポーツの基礎的能力という評価対象の相違がみられる．

この先行研究と同様に考えると，ウエイトリフティングにおいては筋力・パワーが重要な体力因子ではあるが，本研究の試みは身体能力の測定によって複合的で熟練したスキルをともなう競技パフォーマンスを推し測ることである．垂直跳びや背筋力は筋力やパワーを測る尺度ではあるけれども，競技パフォーマンスを十分に表すことができないと考えられる．

7-2 一般体力テスト（大学レベルアスリートへの適用不可能性）

一般体力テストは評価対象が体力因子であるため，どの因子がその競技にとって重要か，すなわち競技間の比較に基づいて競技特性を特徴づけるには有効である（岡田ら 2002）．小野（1962）の報告では，ウエイトリフティング選手（オリンピック候補）が有する運動能力（背筋力，サイドステップ，垂直跳び，ディッピング，上体おこし，体前屈）は対照群（一般学生）と比較して，全測定項目について顕著に優れた結果を示した．さらに，この報告では，ウエイトリフティングの選手はバスケットボール選手より垂直跳びや背筋力に優れ，「ウエイトリフティング選手の運動能力の定型的な型」を示していると考えられた．大学生における386名の運動部員を対象とした体力テスト結果（岡田ら 2001）では，パワーの指標の一つである垂直跳びの平均値がウエイトリフティング選手において71.8cmと24競技の中で最も高い値であった．同様の傾向はロサンゼルス・オリンピック代表選手（黒田ら 1985）においても認められ，ウエイトリフティング選手の特性として，パワーが重要とされる根拠になっている．

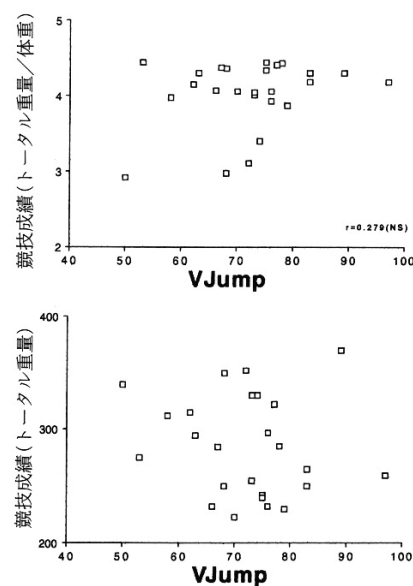


図 7-1 競技成績と垂直跳びの関係
(船渡ら 1992)

しかし，ウエイトリフティング選手の中で比較した場合，垂直跳びの平均値において，一般オリンピック候補選手（61.6cm）と高校オリンピック候補選手（61.3cm）との間に明確な違いは見られなかった（小野 1962）．船渡ら（1992）は競技成績と垂直跳びとの関係を，ナショナル候補選手 25 名（全階級）を対象に検討したが，トータル重量あるいは体重あたりのトータル重量との間に有意な相関関係は認められなかった（図 7-1）．

持久力系の体力測定項目においても，類似した例をみることができる．体力レベルの低い学生（医学生）も含めたグループの場合には，1500m 走の記録と心拍数の間に相関が見られるが，一流長距離ランナーを集めたグループ内では全く相関はない（栗本 1970）．エリートマラソンランナーでは最大酸素摂取量が 70ml/kg/min を超え，マラソンレース速度との間に有意な関係がある．しかし，同じレベルのパフォーマンスを持つグループでは相関関係は見られない（右田 2001）．マラソンの平均速度と最大酸素摂取量との相関係数が，対象となった全選手で求めると $r=0.78$ と有意であった（Sjodin and Svedenhag 1985）．これを 3 時間以内の選手に限定した場合は， $r=0.67$ と有意であったが，2 時間 30 分以内のエリートランナーだけに限定すると $r=0.01$ であった．すなわち，最大酸素摂取量は持久力の代表的な生理学的指標であり，能力差のある集団では競技力を裏付ける主要な体力指標であるけれども，高度に鍛錬されたエリート選手の中では，競技力を弁別する指標とならないことが示されている．同じくウエイトリフティング競技においては，パワーが競技力に密接に関連する体力因子であるが，垂直跳びなどの一般的体力指標だけでは，十分に競技力を推し測れないことが分かる．

7-3 タレント発掘の観点から（垂直跳び・メディスンボール投げ・30m 走・立ち幅跳び・懸垂…）

日本ウエイトリフティング協会では 2001 年からナショナル・トレーニング・システムを推進し，指導教本を発行した．その中で，「競技者の発掘」，「選手の体力向上の指標」ならびに「競技に必要な体力の観察」をねらいとしたテストバッテリーとして，① 30m 走，② 立ち幅跳び，③ メディスンボール後方投げ，④ 30 秒上体起こし，⑤ 懸垂（または鉄棒ぶら

下がり)を導入している。米国の指導書(Totten 1988; Coaching Manual Volume II)においても, ①砲丸後方投げ, ②立ち幅跳び, ③50ヤード走, ④懸垂, ⑤垂直跳び, ⑥12分間走, ⑦メディシンボール両手投げ(チェストパス)と, 日本の指導教本と同様な体力因子とテスト項目が列挙されている。日本では2002年に新体力テストおよび30m走, 立ち幅跳び, メディシンボール後方投げと競技力に関する調査が実施され(加藤2002), 高校生から社会人まで男子248名, 女子32名のデータが集計された。男子選手の各測定項目とSnatchおよびClean & Jerkとの間に0.1%水準の有意な相関が見られたのは, 握力, 50m走, ハンドボール投げ, 30m走, 立ち幅跳び, およびメディシンボール後方投げにおいてであった。女子においては50m走, 30m走, 立ち幅跳び, メディシンボール後方投げにおいて, 同様な関係が認められた。ただし, この結果は高校1年以下(Snatch; 67.8±19.6kg, Clean & Jerk; 84.0±24.0kg)から大学生・社会人(Snatch; 123.1±18.9kg, Clean & Jerk; 154.7±22.2kg)まで, 能力差のある集団であったことが影響していると推測される。すなわち, 垂直跳びなどの一般的体力指標を用いることは, スポーツタレント発掘や能力差のある集団に対しては競技力を推し測る有効な指標である。しかし, 競技レベルの高い集団の中では競技力を推し測る十分な指標とは言えない。

7-4 競技者レベルの観点から(高校生~大学生~ナショナルレベル)

ウエイトリフティングは階級制競技であり, 体格の大きな選手は筋力が大きいけれども, 単位体重当たりの出力は軽量級の選手に比して低くなる(表7-2, 7-3)。現在の世界記録の体重比は男女ともに体重の増加とともに低下している。競技に即してみれば, 男子+105kg級および女子

表 7-2 男子の世界記録と階級

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ①Total kg | 305 | 327 | 357 | 379 | 394 | 418 | 436 | 472.5 |
| ②階級 kg | 56 | 62 | 69 | 77 | 85 | 94 | 105 | +105 |
| 体重比 ①/② | 5.45 | 5.27 | 5.17 | 4.92 | 4.64 | 4.45 | 4.15 | 3.20 |

表 7-3 女子の世界記録と階級

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| ①Total kg | 217 | 230 | 251 | 257 | 286 | 296 | 333 | |
| ②階級 kg | 48 | 53 | 58 | 63 | 69 | 75 | +75 | |
| 体重比 ①/② | 4.52 | 4.34 | 4.33 | 4.08 | 4.14 | 3.95 | 2.35 | |

+75kg 級を除いて体重に上限があり，同じ階級内においては，限られた体重の中でより高い筋量を有し，かつ単位体重当たりの出力が高いものが有利となる．挙上重量を高めるために多くの筋量は必要であるが（岡田ら 1992），体重当たりといった効率論だけで見れば重量級選手は不利である．研究としてウエイトリフティング選手が対象となった場合，56kg 級から+105kg 級をひとつの集団と捉えることに無理のあるケースが考えられる．垂直跳びは自体重を移動させる運動である．仮に，体重 56kg の A 選手より体重 100kg の B 選手の方が 100kg 重いバーベルを挙げるとしても，100kg 余計に挙げられるだけ垂直跳びが高く飛べるのか，というおかしな議論となってしまいうだろう．前述の競技者（タレント）発掘のように，雑多な集団の中からウエイトリフティングへの適性を見出す，あるいは他競技の選手との比較において，垂直跳び，あるいは 30m 走などの体力測定項目は至適な検出力を発揮することだろう．しかし，高い競技レベル，かつ同様な体重のウエイトリフティング選手間で競技力を反映する指標とはならない．

7-5 トップレベルのウエイトリフティング選手の競技力の裏付けとなるパワー評価法としての特異動作パワー

身体運動はすべて筋活動に起因する．筋によるパワーの測定と評価において最も基礎的な研究は動物の摘出筋を用い収縮時の張力や熱量を直接測ることである．次の段階として，肘や膝の屈伸といったヒトの生体における単関節運動を労作計を介して計測すること，そして垂直跳び，階段駆け上がり，ランニングといった自然な身体運動の筋活動へと繋がっていく（深代 1992）．これら走る，跳ぶなどの自然な身体運動だけではなく，競技の固有の目的，ルール，道具，あるいはポジションに依存し，様々な状況下でスポーツ競技動作中のパワーが発揮される．

従来からウエイトリフティングに限らず，多くの競技者に対する筋出力測定が行われていた．しかし，これらの測定の多くは単関節動作による測定が主流であった．競技力向上を目的として得られたデータであっても，他の競技者と比較あるいはレギュラーと補欠，初心者と鍛錬者の比較などから，当該競技種目の体力特性を把握するに止まっていた．すなわち，これらのデータが競技力とどのように関係するか，その数値が

変われば競技力にどれだけ影響するかといった検証が乏しかったといえよう。

パワー測定装置の開発にともない、ローイング動作（船渡ら 1989）、陸上競技（沼澤ら 1991）など、競技動作を模した測定動作、あるいは日常動作に類似した動作様式時のパワーが評価された（福永ら 1992）。

ウェイトリフティングはパワーが重要な競技であるので、競技中の発揮パワーが高いこと（O'Shea 2000）、ウェイトリフティング選手が他の競技者より垂直跳びが高値であることは当然と言える（小野 1962, 岡田ら 2001, 黒田ら 1985）。しかし、日本のトップ選手において、垂直跳びと競技力の間に関係が見られなかった（船渡ら 1992）。

船渡ら（1992）は、それらの選手において、同程度の体重グループの内で競技動作に類似した動作時の発揮パワー（特異動作パワー）と競技力との関係を検討した。引き動作を2分し（Deadlift；DL, Second pull；SP），それぞれのパワーと競技力との相関を求めたところ，SPと競技力との間に有意な正の相関を認めた（ $P < 0.001$ ）（図7-2）。その後，岡田ら（1993），はトップ選手（成人）とジュニア選手（中学生）の特異動作パワーについて，引き動作をさらに細かく3区分とし（DL, SP, Final pull；FP），さらに上肢の Bench Press（BP）を比較した。その結果，SPにおいて最も顕著な差（26%， $P < 0.01$ ）が認められ（図7-3），この局面の重要性を示唆した。

本研究においては，ウェイトリフティング競技に特化して，特異動作パワー評価の意義を明示することを目的とした。世界ジュニア選手権に

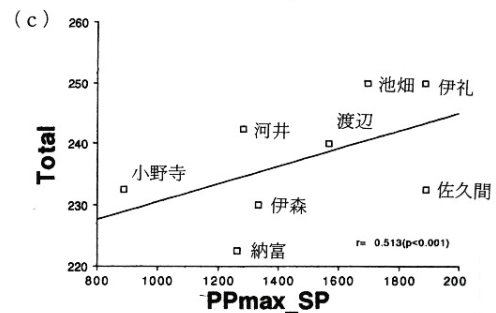
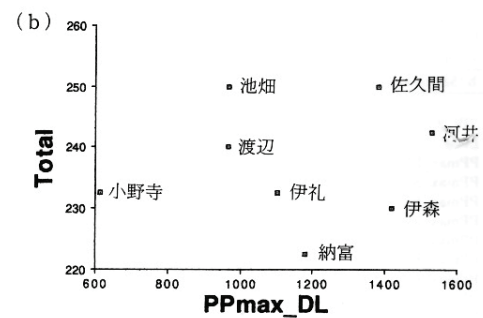


図7-2 52/56kg級の選手について競技成績とDLとSPで発揮されたパワーの関係（船渡ら 1992）

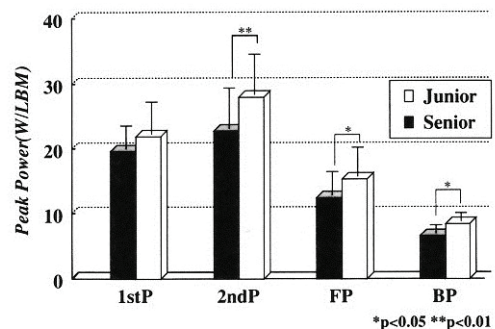


図7-3 各模擬動作におけるピークパワー（岡田ら 1993）

出場した日本選手と優勝者との間に技術的，運動学的評価から差はみられなかった．しかし，優勝者は日本選手よりバーベル挙上時の最大パワーが35%高く，パワー発揮能力が競技力の差に大きく影響しているものと推察された．すなわち，技術レベルが同等の競技者であれば競技力はパワー発揮能力によって強く影響されることが示唆され，ウェイトリフティングにおけるパワー評価の重要性が認められた（研究Ⅰ）．

研究Ⅱの Snatch 特異動作中の $V(P_m)$ は平均で $1.7 \pm 0.3 \text{ m/s}$ であり，これらは競技時のバーの最大速度に相当していた．一方， $F(P_m)$ は 1227 N であり，Snatch の 1RM (1103 N) の 1.11 倍に相当していた．すなわち，本研究で用いた特異動作パワー測定は実際の競技動作を模しているだけでなく，得られた最大パワーは競技場面に類似した力-速度条件下で生じていたことが推察される．また，Squat では最大パワー発揮時の力，Snatch においては最大パワーが最高挙上重量 (1RM) と最も有意な相関関係にあることが示唆された．

マスターズ選手における特異動作パワー測定において(研究Ⅲ)，Squat の最大パワー，最大張力と挙上記録との間に有意な正の相関関係を認めしたが，Snatch では関係性が認められなかった要因として，Snatch と Squat のバーベル挙上時の動作特性および加齢にともなう筋力とパワーの低下率の差異が考えられた．最大筋力はパワー出力に影響する基礎的因子であり，最大パワーが高いこと，および最大パワーがより高い力発揮レベルで発現することが，Snatch および Squat のような高強度エクササイズに必要な要素であると考えられる．しかし，エクササイズとして Snatch と Squat の動作速度が異なり，Snatch の方が高いパワー出力が要求される．一方，Squat はしゃがんで立ち上がるだけの運動で，Snatch に比して技術的影響も小さく， 0.5 m/s で 1RM 挙上が可能である．さらに加齢にともない，筋力よりもパワーの低下率が大きいことから，Snatch と Squat を比較すると，Snatch の方が加齢による影響を受けやすく，最高挙上重量とパワーの関係が若年者と異なるものと推察された．

8. 結語

実際の競技を模した動作時のパワーを測定する特異動作パワー(測定)は、一般の体力測定項目とは相関の見られなかったナショナルチームや全国レベルの大学生の集団において、競技力と有意な相関関係を認めた。さらにパワーの構成因子である最大パワー出現時の力と速度それぞれとの関係も検討することが可能であった。

ウエイトリフティング選手は立ち上がり動作(スクワット系)や引き上げ動作(プル系)を日常のトレーニングで鍛錬している。その成果が(技術など他の因子の影響で)拳上記録に現れていない段階でも、特異動作パワー測定は一般的体力測定項目に比べ、より競技に関連した体力(パワー)指標としてその成果を検出する、ウエイトリフティング選手の競技力に関連したパワーをより精細に評価する尺度であると言える。

9. 文献

- Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R (1996) Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcif Tissue Int* 59(6):438-42
- 青木純一郎, 新井忠 (1997) 文部省体力テスト再考. *体育の科学* 47(11):847-851
- Baechle TR and Earle RW, Wathen D (2008) Anaerobic exercise prescription. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp379-380
- Baechle TR and Earle RW, Wathen D (2008) Resistance training. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp381-412
- Baumann W, Gross V, Quade K, Galbierz P, Schwirtz A (1988) The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sports Biomechanics* 4:68-89
- Brown LE and Weir JP (2004) Resistance training adaptations. Baechle TR and Earle RW Ed. *NSCA's Essentials of personal training.* pp.80-98
- Burdett RG (1982) Biomechanics of the snatch technique of highly skilled and skilled weightlifters. *Research Quarterly* 53(3):193-197
- Campos J, Poletaev P, Cuesta A, Pablos C, Carratala V (2006) Kinematical analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20(4):843-850
- Carlock JM, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Ciroslan DA, Pierce KC, Newton RU, Harman EA, Sands WA, Stone MH (2004) The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res* 18(3):534-539
- Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, Miller PD, Dalsky GP. (1993) Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc.* 25(10):1103-1109.
- Earle RW and Baechle TR (2008) Resistance training and spotting techniques. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd. Humankinetics.* pp.325-376
- Elizabeth Best-Martini, Kim A. Botenhagen-DiGenova (2003) Exercise for Frail Elders. *Human Kinetics* pp.121-150
- Enoka RM(1979) The pull in Olympic weightlifting. *Medicine and Science in Sports* 11(2): 131-137
- Escamilla RF, Lander JE, Garhammer J (2000) Biomechanics of powerlifting and weightlifting exercises. In WE Garrett & DT Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sports Science Philadelphia, PA: Williams & Wilkins* pp.585-615
- Faigenbaum AD (2008) Age- and sex-related differences and their implications for resistance exercise. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and*

conditioning 3rd. *Humankinetics* pp.141-158

Fry AC, Schilling BK, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, hrush JT (2003) Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res* 17(4):746-754

深代千之 (1992) 瞬発性運動における発揮パワーの評価—垂直跳, 階段駆け上がり, ランニングについて—. *J J Sports Sci*, 11(3):176-187

福永哲夫 (1978) ヒトの絶対筋力—超音波法による体肢組成・筋力の分析—. 杏林書院: 東京, pp. 182-227

福永哲夫 (1983) 筋の活動性肥大と筋力. *J J Sports Sci* 2:13-22

福永哲夫 (1996) 身体活動能力に影響する遺伝と環境因子. トレーニング科学研究会編, トレーニング科学ハンドブック. 朝倉書店: 東京, pp1-17

福永哲男, 松尾彰文, 船渡和男, 川上泰雄, 安部孝, 小沢治, 合田浩 (1992) 中高年齢女性の身体運動パワー出力特性. *体力科学* 41:818

船渡和男 (1990) ウエイトリフティング選手の形態・機能の発育発達と競技成績の関係に関する研究～中学生ウエイトリフティング選手の発育発達履歴と競技成績～. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. V スポーツタレントの発掘方法に関する研究第 1 報 pp. 147-156

Funato K, Matsuo A, Fukunaga T (2000) Measurement of specific movement power application: evaluation of weight lifters. *Ergonomics* 43(1):40-54

船渡和男, 石田良恵, 鈴木志保子, 安部孝, 杉田正明, 加藤令子, 岸田謙二, 難波謙二, 阪上勝美, 細谷治朗, 関口脩, 三宅義信, 福永哲夫 (1992) エリートウエイトリフターにおける身体組成, 皮下脂肪厚および筋肉厚と競技成績. 平成 3 年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第 15 報, pp. 245-257

船渡和男, 大橋令子, 池川繁樹, 安部孝, 川上泰雄, 杉田正明 (1995) ウエイトリフターの筋の形態と機能の特異性～ボディビルダーとの比較から～. 平成 6 年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第 18 報 pp. 299-303

船渡和男, 松尾彰文, 川上泰雄, 福永哲夫, 細谷治朗, 関口脩 (1992) エリートウエイトリフターの資質を探る筋出力測定～リフティングパワーと競技力. 平成 3 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第 15 報 pp. 257-270

船渡和男, 松尾彰文, 福永哲男 (1989) ローイング動作で発揮される機械的パワー. *日本体育学会大会号* 40:382

Garhammer J (1980) Power production by Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 12(1): 54-60

Garhammer J (1985) Biomechanical profiles of Olympic weightlifters. *International Journal of Sport Biomechanics* 1:122-130

Garhammer J (1989) Weightlifting and training. In: *Biomechanics of sport*. C.L. Vaughan

ed. Boca Raton: CRC press pp.169-211

Garhammer J (1989) Weightlifting and training. In: C.L. Vaughan, (ed.), Biomechanics of Sport Boca Raton, FL: CRC Publishers pp.169-211

Garhammer J (1991) A comparison of maximum power output between elite male and female weightlifters in competition. *International Journal of Sport Biomechanics* 7:3-11

Garhammer J and Takano B (1992) Training for Weightlifting. In: Strength and Power in Sport. P.V. Komi, ed. London: Blackwell Scientific Publications. pp. 357–369

Gibbs R (1977) Performance criteria, telemetered heart rate and enzyme studies in Olympic weight lifting. *Brit J Sports Med* 11(2):88-93

Gourgoulis V, Aggeloussis N, Antoniou P, Christoforidis C, Mavromatis G, Garas A (2002) Comparative 3-dimensional kinematic analysis of the snatch technique in elite male and female Greek weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 16(3):359-366

Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kalivas V, Antoniou P, Mavromatis G (2004) Snatch lift kinematics and bar energetics in male adolescent and adult weightlifters. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 44(2):126-31

Gourgoulis V, Aggeloussis N, Mavromatis G, Garas A (2000) Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *Journal of Sports Science* 18(8):643-652

Grabe SA and WIDULE CJ (1988) Comparative biomechanics of the jerk in Olympic weightlifting. *Research Quarterly* 59:1-8

Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Calbet JA (2009) Exercise and bone mass in adults. *Sports Med* 39(6):439-68

Häkkinen K, Kauhanen H, Komi PV (1984) Biomechanical changes in the Olympic weightlifting technique of the snatch and clean and jerk from submaximal to maximal loads. *Scand J Sports Sci* 6:57-66

Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Kauhanen H, Komi PV(1988) Neuromuscular and hormonal adaptation in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol* 65:2406-2412

波多野義郎 (1973) 運動能力テストの意味するもの. *体育の科学* 23:93-96

Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, Weaver C (2000) Peak bone mass. *Osteoporos Int* 11(12):985-1009

Hill AV (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond B* 126:136-195

Hirose K, Tomiyama H, Okazaki R, Arai T, Koji Y, Zaydun G, Hori S, Yamashina A. (2003) Increased pulse wave velocity associated with reduced calcaneal quantitative osteo-sono index: possible relationship between atherosclerosis and osteopenia. *J Clin Endocrinol Metab* 88(6):2573-8

Hoover DL, Carlson KM, Christensen BK, Zebas C.J (2006) Biomechanical analysis of women weightlifters during the snatch. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20(3):627-633

Hori N, Newton RU, Nosaka K, McGuigan MR.(2006) Comparison of different methods of determining power output in weightlifting exercise. *Strength and Conditioning* 28(2):34-40

芝山秀太郎, 深代泰子 (1985) 体力テストの現代的意義. *体育の科学* 35:432-436

Huuskonen J, Väisänen SB, Kröger H, Jurvelin JS, Alhava E, Rauramaa R (2001) Regular physical exercise and bone mineral density: a four-year controlled randomized trial in middle-aged men. The DNASCO study. *Osteoporos Int* 12(5):349-55

池田祐介, 松尾彰文, 立正伸, 船渡和男, 淵本隆文, 菊田三代治 (2010) スナッチ種目における日本人男子選手のバーベルのキネマティクス分析. *Jap J Elite Sports Support* Vol.4

International weightlifting federation
<http://www.iwf.net/2011/10/28/iwf-world-masters-weightlifting-championships/>

Isaka T, Okada J, Funato K (1996) Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *Journal of Applied Biomechanics* 12:508-516

金久博昭 (1988) 筋力のトレーナビリティ. *体育の科学* 38:446-455

金久博昭 (1989) 筋断面積からみた筋出力及びスポーツパフォーマンス. *J J Sports Sci* 3:54-61

金久博昭, 福永哲夫, 池川繁樹, 角田直也 (1986) スポーツ選手の単位筋断面積当たりの脚伸展力. *J J Sports Sci* 5:409-414

Kanehisa H, Ikegawa S, Fukunaga T (1998) Body composition and cross-sectional areas of limb lean tissues in Olympic weight lifters. *Scand J Med Sci Sports* 8(5):271-278

加藤令子, 岸田謙二, 船渡和男, 関口脩 (1990) 中学生ウエイトリフターの競技成績に及ぼす形態的および機能的要因. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第13報 pp. 357-363

加藤智子 (2002) フィールドテストと競技力の関係. 平成14年度スポーツ振興くじ助成事業 サポートシステム開発に関する研究 日本ウエイトリフティング協会 27-38

Kauhanen H, Häkkinen K, Komi PV (1984) A biomechanical analysis of the snatch and clean & jerk techniques of Finnish elite and district level weightlifters. *Scand J Sports Sci* 6(2):47-56

木下秀明 (1995) いわゆる「運動能力テスト」の系譜と「体力章検定」. 日本大学文理学部人文科学研究所研究紀要 49:169-186

小林武 (2001) 筋力計測機器<HHD>. 内山靖・小林武・間瀬教史編 計測法入門～計り方, 計る意味. 協同医書出版社:東京, pp. 124-130

栗本関夫 (1973) 体力診断テストの意味するもの. *体育の科学* 23:87-92

黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 金子敬二, 浅野友里 (1985) 第23回ロサンゼルス・オリンピック大会日本代表選手 健康診断・体力測定報告. 昭和59年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 pp. 19-24

MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG, Moroz JR, Sutton JR (1985) Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 58:785-790

Maughan RJ, Nimmo MA (1984) The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males. *J Physiol* 351:299-311

McBride JM, Triplett-McBride T, Davie Allan, Newton RU (1999) A comparison of strength and power characteristics between power lifters, Olympic lifters, and sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13:58-66

McGuigan MR, Kane MK (2004) Reliability of performance of elite Olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(3):650-653

Menkes A, Mazel S, Redmond RA, Koffler K, Libanati CR, Gundberg CM, Zizic TM, Hagberg JM, Pratley RE, Hurley BF (1993) Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 74(5):2478-84

宮下充正 (1995) 体力を問う. *体育の科学* 45(10):797-801

日本ウエイトリフティング協会 (1997) 社団法人日本ウエイトリフティング協会 60年史.

日本ウエイトリフティング協会 (2009) ウエイトリフティング指導教本.

野口義之, 日丸哲也, 永田晟編 (1986) 体育の測定・評価. 第一法規出版: 東京 pp81-90

沼澤秀雄, 船渡和男, 松尾彰文, 川上泰雄, 金久博明, 福永哲夫 (1991) 種々の動作様式で発揮されるパワー出力方法の開発. *体力科学* 40:788

Núñez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z, Heymsfield SB (1997) Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Med Sci Sports Exerc* 29(4):524-531

O'Shea P (1999) Toward an understanding of power. *Strength and Conditioning Journal* 21:34-35

O'Shea, P (2000) Theory of athletic power production. In: *Quantum Strength Fitness II* Corvallis, OR: Patrick's Books pp.85-104

岡田純一 (1997) クイックリフトのすすめ. *コーチングクリニック* 11(4):46

OKADA J (2000) Power and force output during a specific movement in weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14(3):366

岡田純一 (2001) ウエイトリフティングの生理学. 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功編著 *スポーツ生理学* 市村出版: 東京 pp176-182

岡田純一 (2013) ウェイトリフティング選手におけるスナッチおよびスクワットの最高挙上重量と特異動作パワーの関係. スポーツ科学研究 10:151-163

Okada J, Funato K (1993) Power production during weightlifting movement. Japanese Journal of Medical Engineering 31 Suppl.2: 4

Okada J, Iijima K, Fukunaga T, Kikuchi T and Kato K (2008) Kinematic analysis of the snatch technique used by Japanese and international female weightlifters at the 2006 junior world championship. International Journal of Sport and Health Science 6:194-202

岡田純一, 船渡和男 (1996) ジュニアおよびシニア・ウェイトリフターの競技成績と除脂肪体重およびパワー発揮能力の比較. 平成7年度日本オリンピック委員会スポーツ医科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第19報 pp. 278-282

岡田純一, 船渡和男, 大橋令子, 関口脩, 加藤清忠 (1993) パワーバランスから見た中学生ウェイトリフターの競技力向上過程. 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第16報 pp. 257-268

岡田純一, 長谷川伸, 半田徹, 加藤浩人, 志岐幸子, 瀧間久俊, 加藤清忠, 関一誠, 志々田文明, 葛西順一, 矢島忠明, 小野沢弘史, 宮崎正己 (2002) 継続的な体力測定による大学運動部員の体力水準とその推移. 早稲田大学体育学研究紀要 34:25-33

岡田純一, 伊坂忠夫, 菊田三代治, 長谷場久美, 小畑直之, 近藤大貴 (2002) ウェイトリフティングにおけるスキル評価基準の策定. 平成14年度J I S S委託研究報告書 pp. 165-180

岡田純一, 金子敬二, 加藤清忠 (1995) ウェイトリフターのスナッチ動作における挙上技術. ヒューマンサイエンスリサーチ 4:129-140

岡田純一, 加藤清忠, 関一誠 (2001) 早稲田大学体育局体育各部署部員の体力測定(第2報). 早稲田大学体育学研究紀要 33:51-59

岡田純一, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 原孝子, 加藤守 (1994) 一般人の骨量と運動に関する研究. 平成6年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告 pp. 1-12

岡田純一, 柳谷登志雄, 倉持梨恵子, 鳥居俊 (2013) マスターズ・ウェイトリフティング選手の骨密度, 筋力, 筋断面積から見た高強度レジスタンストレーニングの影響. スポーツ科学研究 10:49-61

小野三嗣 (1962) 特殊筋力測定法による重量挙げ選手の筋力解析. 体力科学 11:79-93

Pearson SJ, Young A, Macaluso A, Devito G, Nimmo MA, Cobbold M, Harridge SD (2002) Muscle function in elite master weightlifters. Med Sci Sports Exerc 34(7): 1199-1206

Pyke F (2000) Introduction-Reasons for testing. Australian sports commission Ed, Physiological tests for elite athletes. Human Kinetics:IL, p.xii

Ratamess NA (2008) Adaptations to anaerobic training program. Baechle TR and Earle RW Ed. Essentials of strength training and conditioning 3rd. Humankinetics pp.93-119

Schmidtbleicher, D (1992) Training for power events. In: Strength and Power in Sport. P.V. Komi, ed. London: Blackwell Scientific Publications pp. 381-395

- Sjödín B, Svedenhag J (1985) Applied physiology of marathon running. *Sports Medicine* 2: 83-99
- Stevenson MW, Warpeha JM, Dietz CC, Giveans RM, Erdman AG (2010) Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(11):2944-2954
- Stewart KJ, Bacher AC, Hees PS, Tayback M, Ouyang P, Jan de Beur S (2005) Exercise effects on bone mineral density relationships to changes in fitness and fatness. *Am J Prev Med* 28(5): 453-460
- Stone MH (1990) Muscle conditioning and muscle injuries. *Med Sci Sports Exerc* 22:457-462
- Stone MH (1994) Weight gain and weight loss. *Essentials of strength training and conditioning* (T.R. Baechle Ed.) Humankinetics pp.231-237
- Stone MH, Byrd R, Tew J, Wood M (1980) Relationship between anaerobic power and olympic weightlifting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 20(1):99-102
- Stone MH, O'Bryant H, Garhammer J (1981) A hypothetical model for strength training. *J Sports Med* 21:342-351
- Stone MH, Sands WA, Pierce KC, Carlock J, Cardinale M, Newton RU (2005) Relationship of maximum strength to weightlifting performance. *Med Sci Sports Exerc* 37(6):1037-1043
- 鈴木隆雄, 大淵修一 (2004) 指導者のための介護予防完全マニュアル. 東京都老人総合研究所: 東京, pp118-119
- 高野成子, 端利志明 (1986) 重量挙げ競技者のバーベル挙上運動に伴う心血管系の反応. *体力科学* 35: 255-263
- 鳥居俊 (2003) 軽症変形性膝関節症に対する運動療法の有効例の特性. *Health Sciences* 19(2):122-126
- Totten L (1988) Fitness and power testing. In *United states weightlifting federation (Ed.), Coaching manual II. General physical training for the weightlifter. United states weightlifting federation* pp.74-81
- Tsuda-Futami E, Hans D, Njeh CF, Fuerst T, Fan B, Li J, He YQ, Genant HK (1999) An evaluation of a new gel-coupled ultrasound device for the quantitative assessment of bone. *Br J Radiol* 72(859):691-700
- Vicente-Rodriguez G, Ara I, Perez-Gomez J, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2004) High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 36(10): 1789-1795
- Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone* 33(5): 853-859
- Westcott WL and Baechle TR (1998) Strength training past 50. *Humankinetics* pp.1-10

全国高等学校体育連盟 <http://www.zen-koutairen.com/pdf/reg-24nen.pdf>

Zink AJ, Whiting WC, Vincent WJ, McLaine AJ (2001) The effects of a weight belt on trunk and leg muscle activity and joint kinematics during the squat exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15(2):235-40

Kinematic Analysis of the Snatch Technique used by Japanese and International Female Weightlifters at the 2006 Junior World Championship

Junichi Okada*, Kohei Iijima**, Tetsuo Fukunaga*¹⁾,
Toshimi Kikuchi*** and Kiyotada Kato*

*Faculty of Sport Sciences, Waseda University
3-4-1 Higashi-Fushimi, Nishi-Tokyo, Tokyo 202-0021 Japan
jun1okd@waseda.jp

**Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

***College of Engineering, Nihon University

¹⁾Currently at National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

[Received March 3, 2008; Accepted October 31, 2008; Published online March 30, 2009]

The purpose of the present study was to compare the snatch techniques of Japanese and international female weightlifters using kinematic analysis. Motion analysis of the snatch techniques conducted using videos recorded at the 2006 Women's Junior World Weightlifting Championship. The results indicated no significant differences between the snatch techniques of Japanese and international weightlifters in terms of the kinematic parameters expressed by the barbell trajectory and joint angles. However, the interval of time between the peak velocity of the hip joint and peak vertical velocity of the barbell was longer for Japanese weightlifters, while the power applied to the barbell was 35% greater for international weightlifters. These findings indicate that differences in strength and power production affected the performances of Japanese and international weightlifters.

Keywords: weightlifting, snatch, female, kinematic analysis, elite

[International Journal of Sport and Health Science Vol.6, 194-202, 2008]

1. Introduction

In weightlifting competitions, weightlifters compete on combined (total) lifted weight for the clean and jerk and the snatch. To succeed in a lift of the clean and jerk or the snatch, an essential skill is to transmit physical output effectively to the barbell and support the barbell over the head. Especially in the snatch, in which the barbell is lifted over the head in less than 2 seconds, not only force but also explosive power output is required (Garhammer, 1980; O'Shea, 2000). Thus, weightlifting is considered to require high levels of physical ability and skill together.

Many studies on analysis of snatch techniques have been conducted at laboratories and competitions. For example, laboratory research examined movements simulated by assuming competitive conditions of 3 attempts, etc. (Gourgoulis et al., 2002). However, such simulation experiments are disadvantageous in that

they differ from actual competitions in which important factors as weight selection and mental concentration on the attempt. On the other hand, many research studies on competitions have conducted kinematic analysis using VTRs.

Regarding weightlifting techniques, analysis of barbell movements is informationally important as it involves weightlifters' physical movements. Many previous studies have evaluated variable parameters obtained from the barbell displacement (Burdett, 1982; Garhammer, 1985; Baumann et al., 1988; Garhammer, 1991; Isaka et al., 1996; Gourgoulis et al., 2000, 2002, 2004; Campos et al., 2006; Hoover et al., 2006).

Women's weightlifting, for which the first World Championships was held in 1987, has a shorter history than men's. Recently, kinematic studies of female weightlifters during the snatch have been reported for the U.S. National Weightlifting Championships (Hoover et al., 2006) and the Greek national

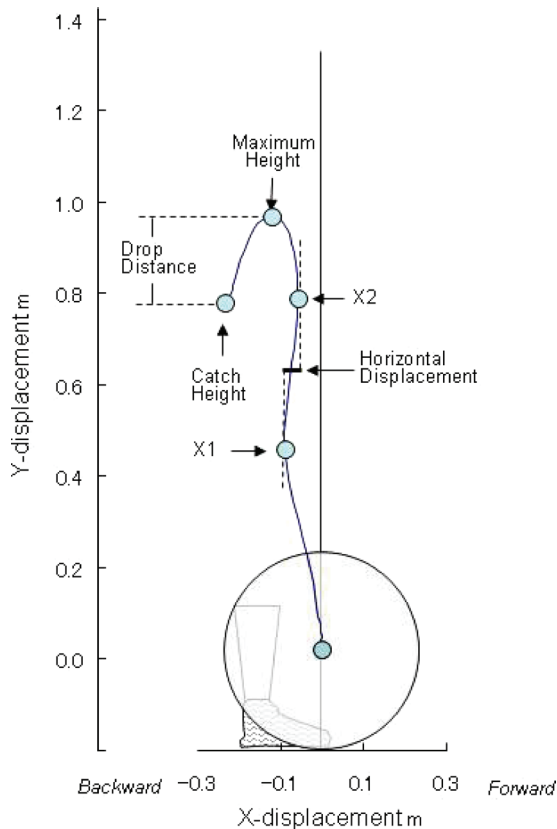


Figure 1 Sample of barbell trajectory and kinematic parameters from X and Y displacement

weightlifting squad (Gourgoulis et al., 2004). Hoover et al. made a 2-dimensional kinematic analysis on weightlifters in the U.S. National Weightlifting Championships and then suggested that the drop distance during the catch phase was long in comparison with existing reports on male weightlifters (**Figure 1**). Further, a study on international level weightlifters reported that male weightlifters had slower maximum velocities of the barbell being lifted than female weightlifters had (Garhammer, 1991). Thus, the previous studies on female weightlifters have shown several differences from male weightlifters. To be more competitive, it may be important to accumulate information about not only such gender differences but also various factors, e.g., Japanese domestic competitors vs. international competitors, competitive level, and age.

The purpose of the present study was to clarify the technical characteristics of international and Japanese weightlifters, by analyzing kinematic movements during the snatch of female weightlifters who appeared in the Junior World Weightlifting Championships. Junior weightlifters refer to competitors 20 years old

and younger, but some of them have established world or national records, outperforming senior weightlifters. By evaluating the techniques of those elite weightlifters, the present study was also intended to describe the snatch techniques of current female weightlifters and obtain information that contributes to competition improvement for Japanese competitors participating in international competitions.

2. Methods

2.1. Material and subjects

In the 12th Women's Junior World Weightlifting Championships, held in Hangzhou, China from May 28 to June 3, 2006, the attempts of Japanese representative weightlifters and higher-ranking winners in each class were recorded by a video camera. The recordings were done as part of a research project of the Japan Weightlifting Association Sports Medicine Committee. Of the recorded attempts, the best performed attempts of the World champion (WC) and Japanese representative (JP) weightlifters were analyzed. **Table 1** shows the final result and body weight of the analyzed weightlifters based on the official records. It should be noted that no JP weightlifter appeared in the women's 75 kg class and 2 JP weightlifters appeared in the women's 63 kg class. Of the WC weightlifters in the snatch, the 58 kg, 63 kg, 69 kg, and 75 kg class champions also won at the combined lifted weight (Total). In addition, the JP-4 (63 kg class) and WC-6 (75 kg class) weightlifters established a new national record and a new world record for the total, respectively. This suggests that the analyzed weightlifters potentially had a competitive level comparable to senior weightlifters despite being only junior weightlifters in terms of age.

2.2. Video recording and analytical procedures

For video recording in the present study, a digital video camera (DCR-PC-300 K, Sony, Japan) was used. To allow for kinematic analysis in the sagittal plane from a right lateral view of the attempting weightlifter, the video camera was placed at a distance of 15 m from the right end of the barbell and the lens height was set 1.5 m above the floor such that the lens was positioned in about the middle of the movement range of the barbell. Also, a calibration scaling required for the analysis (2 m×2 m) was done between attempts.

Table 1 Weight category and competition results of junior world champions and Japanese lifters.

| Category | Lifter | Body Weight kg | Snatch kg | Place | Category | Lifter | Body Weight kg | Snatch kg | Place |
|----------|--------|-------------------|--------------|-------|----------|--------|-------------------|--------------|-------|
| 48 | JP-1 | 47.93 | 70 | 7 | 48 | WC-1 | 47.84 | 80 | 1 |
| 53 | JP-2 | 52.21 | 72 | 10 | 53 | WC-2 | 52.66 | 93 | 1 |
| 58 | JP-3 | 57.64 | 80 | 13 | 58 | WC-3 | 57.57 | 106 | 1 |
| 63 | JP-4 | 62.54 | 85 | 6 | 63 | WC-4 | 58.08 | 98 | 1 |
| 63 | JP-5 | 62.48 | 78 | 13 | 69 | WC-5 | 68.76 | 117 | 1 |
| 63 | JP-6 | 68.37 | 80 | 7 | 75 | WC-6 | 74.97 | 128 | 1 |
| +75 | JP-7 | 99.68 | 90 | 10 | +75 | WC-7 | 95.74 | 117 | 1 |

JP: Japanese, WC: Junior world champion

The frames recorded on the videotapes were acquired on a personal computer to be converted to AVI-format files and then were analyzed on a 2-dimensional basis by using kinematic analysis software (Frame-DIAS, DKH, Tokyo, Japan). The sampling frequency of the video frames was 30 frames/s. The analysis zone was from when the barbell was taken off the floor (lift off) to when it was supported over the head. The following movement points were digitized on a frame basis: (1) right barbell end, (2) vertex, (3) neck, (4) shoulder, (5) elbow, (6) hand, (7) trochanterion, (8) knee, (9) heel, (10) toe, (11) lumbale, and (12) metatarsale laterale (ML). This digitization was done by the same examiner, and in frames where a joint was hidden by a disc, the hidden joint was carefully estimated in reference to previous and subsequent frames where the joint appeared. After the procedures, the resultant displacement-time data of the 2-dimensional coordinate (x, y) were smoothed at a cutoff frequency of 4 Hz by the quadratic Butterworth filter (Garhammer, 1989). Based on these data, variable parameters associated with the barbell and the respective joints were determined. Regarding the kinematics of the joints, after a shoulder-trochanterion-knee stick was defined as the hip joint, a trochanterion-knee-ML stick was defined as the knee joint, and a knee-ML-toe stick was defined as the ankle joint, the joint angles and the angular velocities were calculated.

2.3. Definition of barbell displacements and variable parameters

The trajectory of the barbell is usually an S-shaped pattern: the barbell is lifted up with a backward (i.e. toward the body) movement from the start position as soon as it is taken off the floor, then it is lifted up with a forward movement," before being moved backward

again until it reaches the highest point, finally it is moved down to the catch position (**Figure 1**). Thus, the backward and forward displacements (X1 and X2, respectively), maximum height, catch height, and maximum velocity (Vmax) were determined as variable parameters obtained from the barbell trajectory. These height indices and the height at which Vmax appears were expressed as a height ratio by using the estimated value obtained from the digitized model. In addition, the maximum power applied to the bar, obtained by multiplying the lifted weight by Vmax, was expressed as power per unit body weight (W/kg) (Hori et al., 2006). According to the definitions by Campos et al. (2006), the phase from the barbell take-off to the first knee extension is the *first pull* phase, the phase from the first knee extension to the maximum knee flexion is the *transition* phase, the phase from the maximum knee flexion to the second knee extension is the *second pull* phase, and the phase from the maximum height to the barbell *catch* is the *catch* phase. In the present study, the barbell velocity reached during the first pull phase was determined based on the above definition.

2.4. Statistical processing

The parameters were expressed as mean \pm standard deviation in each of the JP and WC groups. An unpaired t-test was used for testing the difference in mean value; the significance level was $p < 0.05$.

3. Results

Table 2 shows the variable parameters based on the displacements of the barbell and **Table 3** shows the joint angles and angular velocities in JP and WC groups. No significant differences were observed in vertical (Y-displacement) parameters, the maximum

Table 2 Kinematic analysis of the barbell.

| Cat. | Lifter | Lifted load kg | Y-displacement | | | | X-displacement | | |
|------|--------|-------------------|----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|---------|---------------------------------|
| | | | Vmax m/s | Maximum height m | Catch height m | Drop distance m | X1 m | X2 m | Horizontal displacement m |
| 48 | JP-1 | 70.0 | 1.87 | 0.93 | 0.72 | 0.21 | -0.09 | -0.06 | -0.03 |
| 53 | JP-2 | 72.0 | 1.77 | 0.93 | 0.69 | 0.24 | -0.05 | -0.01 | -0.04 |
| 58 | JP-3 | 80.0 | 1.70 | 0.94 | 0.76 | 0.18 | -0.04 | 0.00 | -0.04 |
| 63 | JP-4 | 85.0 | 1.85 | 0.99 | 0.84 | 0.16 | -0.08 | 0.01 | -0.08 |
| 63 | JP-5 | 78.0 | 1.91 | 0.99 | 0.83 | 0.17 | -0.12 | -0.02 | -0.10 |
| 69 | JP-6 | 80.0 | 1.96 | 1.04 | 0.87 | 0.17 | -0.02 | 0.07 | -0.09 |
| +75 | JP-7 | 90.0 | 1.93 | 1.08 | 0.93 | 0.16 | -0.03 | 0.10 | -0.12 |
| | Mean | 79.3 | 1.86 | 0.99 | 0.81 | 0.18 | -0.06 | 0.01 | -0.07 |
| | SD | 6.9 | 0.09 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |

| Cat. | Lifter | Lifted load kg | Y-displacement | | | | X-displacement | | |
|------|--------|-------------------|----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|---------|---------------------------------|
| | | | Vmax m/s | Maximum height m | Catch height m | Drop distance m | X1 m | X2 m | Horizontal displacement m |
| 48 | WC-1 | 80.0 | 1.87 | 0.89 | 0.79 | 0.09 | -0.08 | -0.05 | -0.03 |
| 53 | WC-2 | 93.0 | 1.73 | 0.90 | 0.73 | 0.17 | -0.06 | -0.03 | -0.04 |
| 58 | WC-3 | 106.0 | 1.66 | 0.89 | 0.68 | 0.21 | -0.08 | -0.04 | -0.04 |
| 63 | WC-4 | 98.0 | 2.13 | 1.13 | 0.91 | 0.22 | -0.08 | -0.06 | -0.02 |
| 69 | WC-5 | 117.0 | 1.98 | 1.03 | 0.91 | 0.12 | -0.01 | 0.06 | -0.07 |
| 75 | WC-6 | 128.0 | 2.09 | 1.11 | 0.93 | 0.19 | -0.09 | -0.05 | -0.04 |
| +75 | WC-7 | 117.0 | 2.11 | 1.22 | 0.94 | 0.28 | -0.05 | 0.04 | -0.09 |
| | Mean | 105.6 | 1.94 | 1.03 | 0.84 | 0.18 | -0.07 | -0.02 | -0.05 |
| | SD | 16.5 | 0.19 | 0.14 | 0.11 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.03 |

barbell velocity (V_{max}), maximum height, catch height, and drop distance (maximum height minus catch height), between the WC and JP groups. Also, no significant differences were observed in height ratio values for the V_{max} appearance height, maximum height, and catch height between them (**Table 4**). The determined horizontal (X-displacement) parameters were the displacement toward the body immediately after take-off (X1) and the subsequent forward displacement (X2) (**Table 2**). These parameters did not differ between both groups similarly to the Y-displacements. For the maximum values of the joint angles and angular velocities in the hip, knee, and ankle joints during the lift, no significant differences were observed between the WC and JP groups (**Table 3**).

Table 4 shows the maximum power applied to the bar. The WC group (31.3 ± 3.5 W/kg) exhibited a 35% higher power value per unit of body weight than the JP group (23.1 ± 3.0 W/kg) ($p < 0.001$).

Figure 5 exemplifies the angular velocity of the hip joint and the velocity curve of the barbell for weightlifters WC-6 (who established a world record for the total there) and JP-6 (who weighed close to WC-6); it should be noted that no Japanese weightlifters appeared in the same class as WC-6. The vertical velocity of the barbell during the first pull phase did not differ significantly between the JP (1.06 ± 0.06 m/s) and WC (1.09 ± 0.15 m/s) groups, while it was $57.1\% \pm 4.0\%$ and $56.0\% \pm 6.9\%$ of V_{max} for the JP and WC groups, respectively. Further, to evaluate the time for body movement to apply its force to the barbell, the difference in the appearance time between the peak angular velocity of the hip joint extension and V_{max} was determined. This time difference of the peak appearance was significantly low ($p < 0.05$) in the WC group (0.10 ± 0.03 s) compared to the JP group (0.14 ± 0.02 s).

Table 3 Kinematic analysis of the joint angle.

| Lifter | Maximum joint angle | | | Peak angular velocity | | |
|--------|---------------------|----------|-----------|-----------------------|------------|-------------|
| | Hip deg | Knee deg | Ankle deg | Hip deg/s | Knee deg/s | Ankle deg/s |
| JP-1 | 189 | 159 | 139 | 445 | 257 | 158 |
| JP-2 | 183 | 147 | 134 | 449 | 192 | 191 |
| JP-3 | 179 | 144 | 142 | 416 | 148 | 134 |
| JP-4 | 192 | 156 | 135 | 439 | 223 | 118 |
| JP-5 | 189 | 155 | 147 | 435 | 195 | 159 |
| JP-6 | 193 | 154 | 140 | 397 | 220 | 167 |
| JP-7 | 185 | 155 | 162 | 356 | 231 | 265 |
| Mean | 187 | 153 | 143 | 419 | 209 | 170 |
| SD | 5 | 5 | 10 | 34 | 35 | 48 |

| Lifter | Maximum joint angle | | | Peak angular velocity | | |
|--------|---------------------|----------|-----------|-----------------------|------------|-------------|
| | Hip deg | Knee deg | Ankle deg | Hip deg/s | Knee deg/s | Ankle deg/s |
| WC-1 | 182 | 155 | 145 | 418 | 245 | 130 |
| WC-2 | 188 | 159 | 142 | 423 | 335 | 243 |
| WC-3 | 187 | 158 | 148 | 407 | 149 | 175 |
| WC-4 | 185 | 173 | 142 | 407 | 303 | 139 |
| WC-5 | 191 | 162 | 153 | 431 | 274 | 176 |
| WC-6 | 185 | 155 | 151 | 375 | 131 | 219 |
| WC-7 | 180 | 155 | 141 | 430 | 234 | 236 |
| Mean | 185 | 160 | 146 | 413 | 239 | 188 |
| SD | 4 | 7 | 5 | 20 | 76 | 45 |

Table 4 Y-displacement of the bar/stature ratio.

| Lifter | Height at Vmax | Maximum height | Catch height | Lifter | Height at Vmax | Maximum height | Catch height |
|--------|----------------|----------------|--------------|--------|----------------|----------------|--------------|
| JP-1 | 0.44 | 0.63 | 0.49 | WC-1 | 0.41 | 0.60 | 0.54 |
| JP-2 | 0.41 | 0.59 | 0.44 | WC-2 | 0.41 | 0.57 | 0.46 |
| JP-3 | 0.44 | 0.60 | 0.49 | WC-3 | 0.39 | 0.58 | 0.44 |
| JP-4 | 0.45 | 0.65 | 0.55 | WC-4 | 0.46 | 0.71 | 0.57 |
| JP-5 | 0.43 | 0.62 | 0.52 | WC-5 | 0.47 | 0.64 | 0.57 |
| JP-6 | 0.48 | 0.66 | 0.55 | WC-6 | 0.43 | 0.67 | 0.56 |
| JP-7 | 0.45 | 0.64 | 0.55 | WC-7 | 0.47 | 0.70 | 0.54 |
| Mean | 0.44 | 0.63 | 0.51 | Mean | 0.43 | 0.64 | 0.53 |
| SD | 0.02 | 0.02 | 0.04 | SD | 0.03 | 0.06 | 0.05 |

4. Discussion

The purposes of the present study were to clarify the technical characteristics of international elite and Japanese female weightlifters, by analyzing kinematic movements during the snatch of those weightlifters

who appeared in the Junior World Weightlifting Championships, and to compare Japanese and international weightlifters. As a result, no significant difference was observed in the trajectory of the barbell between the WC and JP groups. However, the WC group exhibited 35% higher power output than the JP

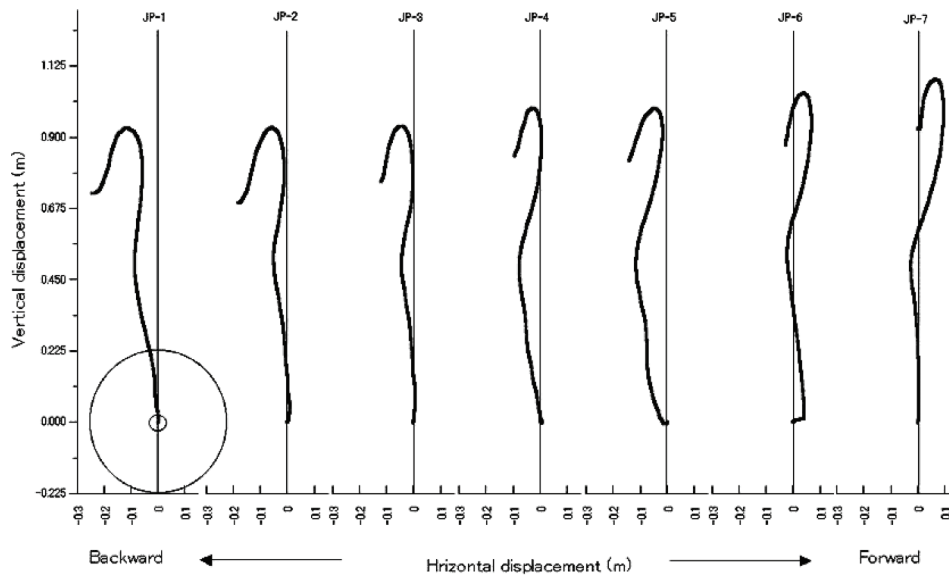


Figure 2 Barbell trajectory (JP).

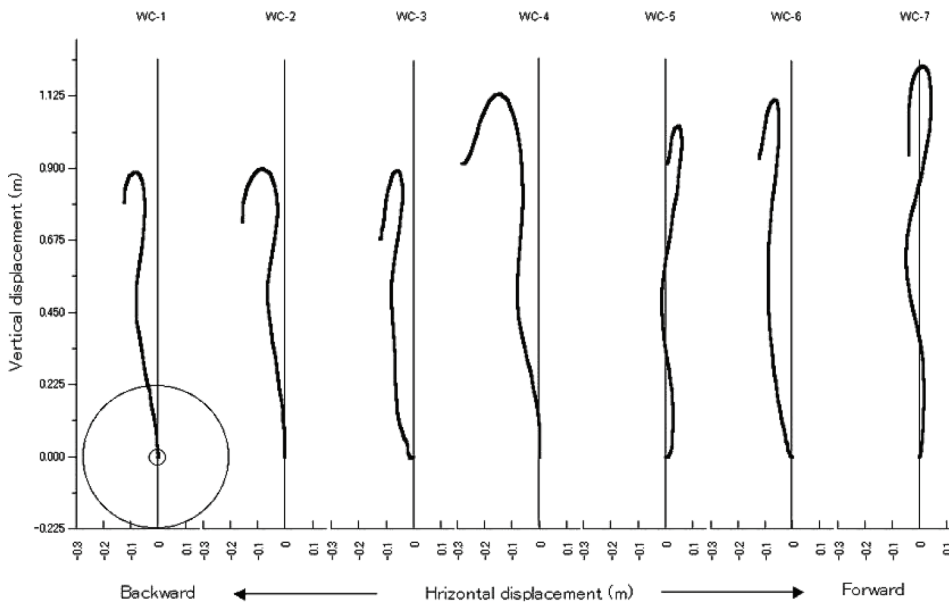


Figure 3 Barbell trajectory (WC).

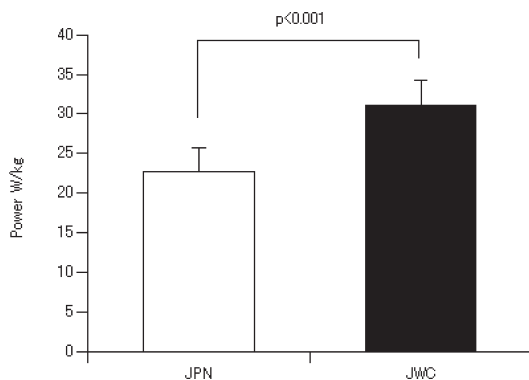


Figure 4 Maximum power derived from lifted load and maximum velocity of the barbell.

group ($p < 0.001$). In addition, for the interval of the appearance time between the peak angular velocity of hip joint extension and V_{max} during the lift, the WC group tended to have a shorter interval than the JP group.

After the comparison of the JP and WC groups for the evaluation indices based on the barbell trajectory and the angles of lower limb joints, no statistically significant differences were observed. This finding demonstrates that Japanese female weightlifters were comparable to the international female weightlifters regarding technical levels evaluated based on the

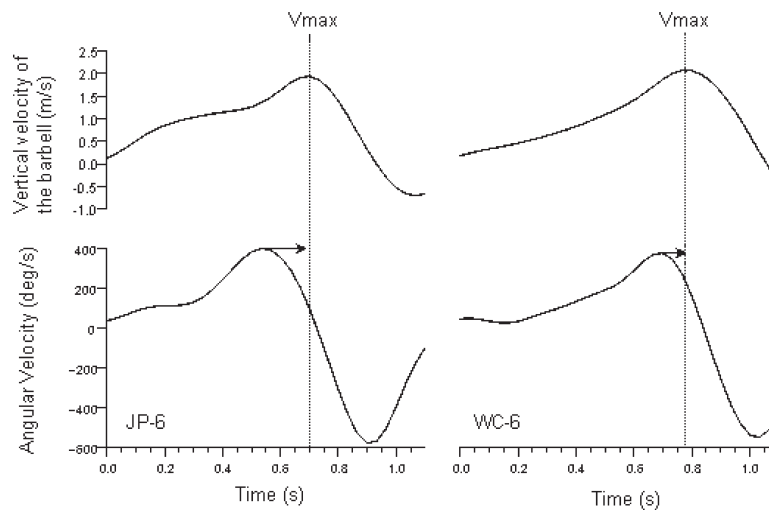


Figure 5 Velocity of the barbell and angular velocity of hip joint. Dashed line indicates the maximum velocity of the barbell. Arrows showed the time difference of the peak between Hip and Barbell.

barbell trajectory and that the Japanese female weightlifters, middle-ranked in the Junior World Weightlifting Championships, and the champions in these championships did not differ in the averaged values for the snatch techniques.

However, the competition results differed widely between the JP and WC groups. The JP weightlifters had 10%-25% lower lifted weights than the WC weightlifters in the same class (**Table 1**). Thus, after maximum power applied to the bar was estimated by using a simple method where the barbell weight was multiplied by V_{max} (Hori et al., 2006), the WC group was found to output 35% higher maximum power per unit body weight (31.3 ± 3.5 W/kg) than the JP group (23.1 ± 3.0 W/kg) ($p < 0.05$). Since the lifted weights in weightlifting correlated highly with the lean body mass (Okada & Funato, 1993), those findings may be attributed mainly to differences in capability to exert force and power such as muscle volume, its distribution, and muscle strength per muscular cross-sectional area.

During the snatch, it may be suggested that the moment of the hip joint corresponds to 2-4 times that of the knee joint and load on the hip joint is increased with increasing barbell weight (Baumann, 1988). Therefore, the extension movement of the hip joint is positioned as the most contributing joint movement during the snatch. In the present study, the time for body movement to apply its force to the barbell was focused on and the angular velocity curve of the hip joint and the velocity curve of the barbell were

examined. As a result, the appearance of the peak values of the angular velocity of hip joint extension and the velocity of the bar were observed during the second pull phase, and the peak of the angular velocity of the hip joint appeared prior to that of the barbell V_{max} . Comparison of the WC and JP groups for that time difference showed that the time to transmit physical output to the barbell tended to be earlier in the WC compared to JP group.

It has been 20 years since female classes were added to the World Weightlifting Championships, and female weightlifters have been improving their competitive performance remarkably. For the clean and jerk in women, the world record of the 48 kg class is 120 kg (2.5 times body weight) and that of the +75 kg class is 186 kg (as of November 2008). The present study analyzed weightlifters in a junior (under 20 years old) competition, in which the WC-6 and JP-4 weightlifters established senior world and national records, respectively; this would mean that junior weightlifters should not be considered to have poor or immature technical levels compared to senior weightlifters. However, analysis on the techniques has reported gender differences and it has been opined that female weightlifters still have immature technical levels compared to male weightlifters (Gourgoulis, 2002; Hoover, 2006).

For indices of barbell height, the maximum height, catch height, and difference between them (drop distance) are usually used. Reported ratios of maximum height to body height are 0.62 for the 1975 World Men

Weightlifting Championships, 0.69 for the U.S. National College Weightlifting Championships (Burdett, 1982), 0.692 for lightweight classes of the European Junior Weightlifting Championships, 0.703 for heavyweight classes of these championships, and 0.773 and 0.755 for junior and adult weightlifters in the Greek national weightlifting squad, respectively (Gourgoulis et al., 2000). Thus, these ratios are assumed to be about 0.6-0.7 if weightlifters lift a weight close to their best record (maximum lifted weight) in competitions, while being assumed to be slightly higher in immaturely competitive weightlifters. In the present study, the ratios were 0.63 for JC and 0.64 for WC groups, which are within the above-described range and may be close to those of male elite weightlifters.

As the maximum height becomes higher, a larger turnover phase is allowed. To lift heavy weights higher, more intense power needs to be applied to the barbell, which may be an important factor affecting whether an attempt is successful. However, a deep squat style is mainly used in competitions, so the technique to enable catching of the barbell even at lower maximum heights leads to more likely success of a snatch attempt of higher weights. In previous studies, the drop distances of female weightlifters were reported to be 20 ± 5 cm (Hoover, 2006) and 18.6 ± 3.7 cm (Gourgoulis et al., 2004), which were consistent with 18 cm in the present study. On the other hand, the drop distances of male weightlifters were reported to be 11 cm, 12.7 cm (Gourgoulis et al., 2006), 13 cm (Gourgoulis et al., 2004), and 13.5 cm (Gourgoulis et al., 2002) on average, all of which were lower than female weightlifters. This assumes that the technique to succeed in an attempt by enabling catching of the barbell even at lower maximum heights may be better in male weightlifters.

The maximum vertical velocities of the bar in female weightlifters were reported to be 1.98 ± 0.09 m/s in 6 female weightlifters of the Greek national weightlifting squad (Gourgoulis, 2002) and 1.648 ± 0.191 m/s in the U.S. National Weightlifting Championships (Hoover, 2006); in the present study, the velocities were 1.86 ± 0.09 m/s (ranging 1.70-1.96) for JP and 1.94 ± 0.19 m/s (ranging 1.66-2.13) for WC groups, which were almost comparable to that of the weightlifters of the Greek national weightlifting squad.

In several previous studies, the velocity of the barbell during the first pull phase was determined for comparison with the maximum velocity. In this way,

whether the first pull phase or the subsequent second pull phase more affected the barbell velocity may be presumed. For example, those determined velocity values for male weightlifters have been reported to be 1.13 m/s (Gourgoulis, 2002) to 1.17 m/s (Campos, 2006), which were 68% to 77% with respect to the maximum velocity; this means that the barbell velocity reached about 70% of the maximum velocity during the first pull phase. However, this percentage has been reported to be low in female weightlifters (56.7%) compared to male weightlifters (Gourgoulis, 2002). In the present study, a similar tendency was observed, which was on average 57% for the JP group and 56% for the WC group. These findings suggest that compared to male weightlifters female weightlifters may have low acceleration capability during the first pull phase or tend to withhold acceleration during the first pull phase and then accentuate the acceleration during the second pull phase; further research is required.

5. Summary

The present study aimed at clarifying the technical characteristics of female weightlifters who appeared in the Junior World Weightlifting Championships and at identifying the difference between the international champions and Japanese weightlifters. This was done by analyzing kinematic movements recorded on videotapes during the snatch in these championships.

As a result, no remarkable differences were observed in the techniques in terms of the barbell trajectory and joint angles between the champions and Japanese weightlifters. However, the champions tended to have an earlier timing to transmit physical movement to the barbell and applied 35% higher maximum power to the barbell than the Japanese weightlifters, presuming that the capability to exert muscle strength and power affected the competitive performance greatly.

Acknowledgments

The present study was part of a medical science project of the Japan Weightlifting Association, implemented with the aid of the Institute of Top Performance in the Project Research Institutes of Waseda University.

References

- Baumann, W., Gross, V., Quade, K., Galbierz, P. & Schwirtz, A. (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sports Biomechanics*, 4: 68-89.
- Burdett, R.G. (1982). Biomechanics of the snatch technique of

- highly skilled and skilled weightlifters. *Research Quarterly*, 53(3): 193-197.
- Campos, J., Poletaev, P., Cuesta, A., Pablos, C. & Carratala, V. (2006). Kinematical analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4): 843-850.
- Earle, R.W. & Baechle, T.R. (2000). Resistance training and spotting techniques. In T.R. Baechle and R.W. Earle (eds.), *Essentials of Strength Training and Conditioning* (pp. 343-389). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Enoka, R.M. (1979). The pull in Olympic weightlifting. *Medicine and Science in Sports*, 11(2): 131-137.
- Escamilla, R.F., Lander, J.E. & Garhammer, J. (2000). Biomechanics of powerlifting and weightlifting exercises. In W.E. Garrett & D.T. Kirkendall (eds.), *Exercise and Sports Science* (pp. 585-615). Philadelphia, PA: Williams & Wilkins.
- Garhammer, J. (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 12(1): 54-60.
- Garhammer, J. (1985). Biomechanical profiles of Olympic weightlifters. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1: 122-130.
- Garhammer, J. (1989). Weightlifting and training. In C.L. Vaughan (ed.) *Biomechanics of Sport* (pp. 169-211). Boca Raton, FL: CRC Publishers.
- Garhammer, J. (1991). A comparison of maximum power output between elite male and female weightlifters in competition. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7: 3-11.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Mavromatis, G. & Garas, A. (2000). Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *Journal of Sports Science*, 18(8): 643-652.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Antoniou, P., Christoforidis, C., Mavromatis, G. & Garas, A. (2002). Comparative 3-dimensional kinematic analysis of the snatch technique in elite male and female Greek weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3): 359-366.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kalivas, V., Antoniou, P. & Mavromatis, G. (2004). Snatch lift kinematics and bar energetics in male adolescent and adult weightlifters. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(2): 126-131.
- Hoover, D.L., Carlson, K.M., Christensen, B.K. & Zebas, C.J. (2006). Biomechanical analysis of women weightlifters during the snatch. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3): 627-633.
- Hori, N., Newton, R.U., Nosaka, K. & McGuigan, M.R. (2006). Comparison of different methods of determining power output in weightlifting exercise. *Strength and Conditioning*, 28(2): 34-40.
- Isaka, T., Okada, J. & Funato, K. (1996). Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *Journal of Applied Biomechanics*, 12: 508-516.
- McGuigan, M.R. & Kane, M.K. (2004). Reliability of performance of elite Olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3): 650-653.
- O'Shea, P. (2000). Theory of athletic power production. In: *Quantum Strength Fitness II* (pp. 85-104). Corvallis, OR: Patrick's Books.
- Okada, J. & Funato, K. (1993). Power production during weightlifting movement. *Japanese Journal of Medical Engineering*, 31 (Suppl. 2): 4 (in Japanese).



Name:
Junichi Okada

Affiliation:
Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Address:
3-4-1 Higashi-Fushimi, Nishi-Tokyo, Tokyo 202-0021 Japan

Brief Biographical History:
1992-1995 Researcher, Sports Science Laboratory, Japan Amateur Sports Association
1995 Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Waseda University
2003 Associate Professor, Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Main Works:

- Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite asian weight lifters. *Journal of Applied Biomechanics* 12: 508-516, 1996.
- Effects of resistance training associated with stretch shortening cycle exercise on force development and muscle volume in human elbow flexors. *Advances in Exercise and Sports Physiology* 7: 65-71, 2001.

Membership in Learned Societies:

- Japan Society of Physical Education, Health and Sports Science
- Japanese Society of Physical Fitness and Sports Medicine
- National Strength and Conditioning Association
- Japan Society of Training Science for Exercise and Sport
- The Japan Society of Sport Methodology

ウエイトリフティング選手におけるスナッチおよびスクワットの
最高挙上重量と特異動作パワーの関係

**Relationships between one repetition maximum and the specific movement power
of the snatch and the squat in Olympic weightlifters**

岡田 純一

Junichi OKADA

早稲田大学スポーツ科学学術院

Faculty of Sport Sciences, Waseda University

キーワード: ウエイトリフティング, スナッチ, スクワット, 力-速度関係, 特異動作パワー

Key Words: Weightlifting, Snatch, Squat, Force-velocity relationship, Specific movement power

抄 録

スポーツ競技において、各種の筋力やパワーの測定を通じ、当該競技選手に求められる体力レベルを客観的に評価すること、あるいは個々の長所および短所などの現状を把握することは、至適なトレーニングプログラムを構築する上で重要である。ウエイトリフティングにおいてスナッチおよびクリーン&ジャークの競技成績はスクワットの最高挙上重量(1RM)と相関が高くトレーニングにおいても重要視されている。しかし、スナッチとスクワットの動作および力と速度からみた機械的パワーの出現条件に違いが見られる。そこで本研究はそれらの1RMと特異動作パワーとの関係を明らかにすることを目的とした。

3年以上の競技経験を持つ、大学生男子ウエイトリフティング選手 24 名(169.3±6.5cm, 79.62±16.20kg)のスナッチおよびスクワットの1RM(絶対値;kg, 体重比; kg/BW)を求めるとともに、スナッチ、スクワットの動作を模倣した特異動作中の最大パワー[Pm], 最大パワー出現時の力[F(Pm)]および速度[V(Pm)]を測定した。

その結果、1RMにおいて、スナッチはスクワットの61%、スナッチ特異動作時のパワーはスクワットの94%であった。スクワットにおいて、1RM(kg)と有意な関係が認められたのは、Pm ($r=0.51$, $p<0.05$)およびF(Pm) ($r=0.62$, $p<0.001$)であった。一方、スナッチにおいては全ての指標で有意な正の相関($r=0.44\sim 0.79$)を認め、Pmが最も高い値($r=0.79$, $p<0.001$)を示していた。しかし、1RMの体重比(kg/BW)においてはいずれも有意ではなかった。

これらのことから、模擬動作を用いた特異動作パワーにおいて、スクワットでは最大パワー発揮時の力、スナッチにおいては最大パワーが1RMと最も有意な相関関係にあることが示唆された。

I 緒言

スポーツ競技において、各種の筋力やパワーの測定を通じ、当該競技選手に求められる体力レベルを客観的に評価すること、あるいは個々の長所および短所などの現状を把握することは、トレーニング目標を設定し、至適なトレーニングプログラムを構築する上で重要である。ウエイトリフティング競技は、スナッチ (Snatch) およびクリーン&ジャーク (Clean & Jerk; CJ) の挙上重量を競う。トレーニングにおいてはこの2種目以外にも関連する補助種目として様々なレジスタンスエクササイズを実施しているが、その代表といえるエクササイズがスクワット (Squat) である (Garhammer and Takano 1992)。Stoneら (2005) は米国ナショナルチームおよびジュニア選抜男女 65 名の調査から、最高挙上重量 (1RM) においてスクワットとスナッチとの間に $r=0.94$ 、同じくスクワットと CJ との間に $r=0.95$ の高い相関関係を報告している。さらに“パワーバランス”と称し、スクワットを規準として各種エクササイズの最高挙上重量 (1RM) がどのような関係にあるか、個人において得手不得手があるか、といった個々の評価やトレーニング目標の設定に活用されている尺度がある (加藤ら 1990, 岡田ら 1993)。これはスクワットを規準 (100%) とし、競技種目であるスナッチおよび CJ のほか、競技力向上に必須と位置づけられ、日常のトレーニングで補強種目として行っている種目 (Military Press [MP], High Snatch [HS], High Clean [HC], Push Jerk [PJ], Clean & Jerk [CJ], Front Squat [FSQ]) の 1RM を相対値で表している。このようにウエイトリフティングの競技成績の基盤となる能力としてスクワットの挙上記録が位置づけられ、トレーニングにおいても重要視されている。

スクワットは背中にバーベルを保持し、深くしゃがみ込み、立ち上がる動作である。スナッチより高重量を挙上できるが、伝統的な力-速度関係 (Hill 1938) に従い、重く、高重量になると低速と

なり、パワーリフティング競技の例では最高重量において 0.5m/s とされている (Garhammer, 1989)。一方、バーベルを床から一気に頭上まで引き上げるスナッチは頭上でバーベルをキャッチすることができなければ挙上が成立しない。そのため、バーベルをキャッチできる高さまで瞬時に引き上げる必要があり、そのピーク速度は 1.6m/s 以上となる (Gourgoulis et al. 2002, Hoover et al. 2006, Okada et al. 2008)。つまりスナッチの動作自体に大きなパワー出力が求められている (Garhammer 1980, 1989, Okada et al. 2008)。このようにスクワットはウエイトリフティング競技の基盤となる能力とされる一方で、競技種目であるスナッチとはその動作および力と速度からみた機械的パワーの出現条件に違いが見られる。

ウエイトリフティング競技において、体力測定項目と競技力との関係について検討される中で、背筋力や垂直跳びなどの測定が取り上げられてきたが、同一階級内のエリート選手では背筋力が一様にトレーニングされており、一般的に行われている背筋力測定から競技力の優劣を決定できないことが明かとなっている (船渡, 1992)。また、垂直跳びは簡易なパワーの評価指標として有用であり、タレント発掘においてはウエイトリフティング選手の特長を見極める重要な一項目となっている (船渡ら, 1990)。しかし、日本代表選手を対象とした報告では競技成績 (トータル重量) と垂直跳びの測定結果に対する有意な相関は認められなかった (船渡ら, 1992)。

スポーツ動作は多くの異なる筋群が関与し多関節を協調させる運動様式である。すなわち様々なスポーツ場面で発揮される筋出力は単関節運動による最大筋力ではなく、それぞれの競技特有の動きのなかで、スキルをともなって発揮され、かつ種々の力と速度の条件下で行われている。そのため、スポーツパフォーマンスに関連づけた筋力・パワーの測定は、そのスポーツ動作に

近い特異動作中に行うことが有効であると言われている(Funato et al. 2000). 1RM はレジスタンスエクササイズの遂行能力として, 身体各部位の筋力の指標として, 日常のトレーニングや研究において活用されている(Earle and Baechle, 2008). しかし, 再現性という点で一般的な筋力測定項目以上に, 心身のコンディショニングによって変動すると考えられる(Carlock et al. 2004, McGuigan and Kane 2004, Stone et al. 2005). そのため技術的難度が高い種目, あるいは 1RM が高いレベルの選手であれば日々のパフォーマンスも変動するであろう. また, 指導現場では身体能力としての筋力やパワーの向上が直接挙上パフォーマンス(記録)に結びつかない, あるいはそれらが向上しても挙上記録に現れるまでに時間を要する例が見られる. そのため, ウェイトリフティング競技において最高挙上重量を推し量る指標は強化の上での重要な情報をもたらすと考えられる.

そこで, 本研究はスナッチとスクワットを対象とし, その動作を模した特異動作中のパワーと挙上

記録との関係を明らかにすることを目的とした.

II 方法

1. 被験者

対象は, 男子大学生ウェイトリフティング選手であった. 全ての選手は, 3年以上の競技経験を持ち, 大学選手権 I 部のチームに所属していた. 本研究はチームが強化の一環として定期的に行っている測定データを責任者(部長, 監督)の許可を得て活用した. チームでの測定は毎年実施されるため, 一人の選手が複数のデータを有していることになるが, 当該選手の最高値を抽出するとともに, 欠落値や怪我などの注記のあるデータを除外した. その結果, 56kg 級 2 名, 62kg 級 3 名, 69kg 級 5 名, 77kg 級 4 名, 85kg 級 2 名, 94kg 級 4 名, 105kg 級 2 名および+105kg 級 2 名の合計 24 名が分析対象となり, 全ての階級から選手が抽出されていた. 対象者の年齢, 身長, 体重の平均値および標準偏差を表 1 に示した.

表 1 被験者特性

| | | <i>n</i> =24 | |
|-------------|----|--------------|-------|
| | | Mean | SD |
| Age | yr | 19.6 | 1.1 |
| Height | cm | 169.3 | 6.5 |
| Body Weight | kg | 79.62 | 16.20 |

2. 最高挙上重量 (One repetition maximum: 1RM)

測定の対象となるスクワット(Squat)およびスナッチ(Snatch)はウェイトリフティング選手のトレーニング種目として頻繁に実施されている. 競技パフォーマンスの尺度として, 競技会成績が最も重要であるが, スクワットは競技種目ではないこと, そして競技会参加時には減量など日常とは異なる条件下であることも多い(Carlock et al. 2004,

Stone et al. 2005). そのため, スクワットおよびスナッチの 1RM は当該測定時のトレーニング記録から抽出した.

3. 特異動作パワー測定

本研究のパワー測定には多用途パワー測定装置(パワープロセッサー II, VINE 社製)を用いた. この装置は, 軸の回転時間検出装置, ワイヤの張力検出装置およびワイヤー巻き取り装置

から構成され、電圧調節によるパウダーブレーキによって等張力性の負荷を制御している(Funato et al. 2000). 軸に巻き付けてあるワイヤーの牽引速度は、軸に取り付けたロータリーエンコーダーから 1/500 回転毎に出力されるパルス間隔から求めた。また、ワイヤーの張力は引っ張りロードセルを用いて直接測定した。500Hz で出力されるデータはパーソナルコンピュータに取り込まれ、ワイヤーが牽引される方向の線速度に演算処理し、時間軸に対する速度曲線を求めた。さらに力曲線と速度曲線を 5msec 毎に乘じパワー曲線を得

た。このデータから各試行の力曲線の最大値、パワー曲線の最大値およびその時点の力と速度を抽出した。また、模擬動作により近づけるため、このワイヤーに特別注文のアタッチメントを介しウエイトリフティング用のバー(15-20kg)を連結した(図1)。すなわち、被験者には、通常の競技会及びトレーニングと同じ器具を用いて模擬動作を実施できる環境を整えた。このため実験前にバネばかりを用いて、機器の較正を行うとともに、データ処理において力曲線にバーベルの重量を加算した。

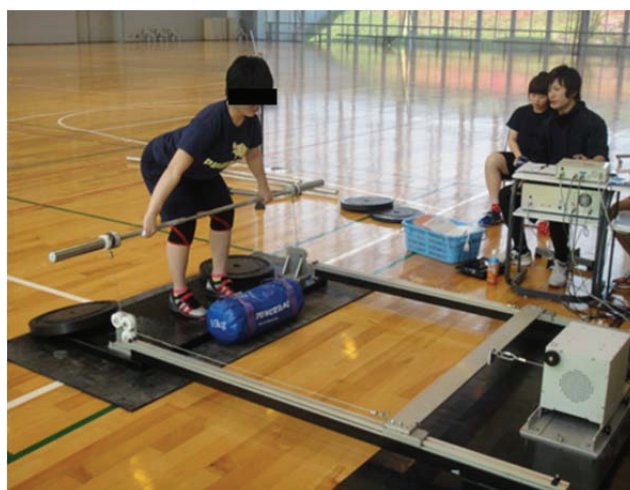


図1 Power Processor およびウエイトリフティング特異動作用アタッチメント

本装置での測定手順について、先行研究と同様(Funato et al. 2000, 岡田ら, 1996)に、各試行のパワーの極大値(Peak Power; PP)を確認しながら装置の負荷を段階的に上げていった。このとき負荷の増大とともに PP は増加するが、ある負荷で最大値を示し、その後低下する(Funato et al. 2000, 岡田ら, 1996)。測定に際しては、0~4V から電圧負荷を2~4V ずつ増加させ、各負荷2回ずつ実施し、PP の低下を確認した上で終了した。再現性を考慮し、各負荷2回の試行においてパワーの差が 100W 以上見られた場合は、再測定とした。各負荷の試行間隔はトレーニング時のセット間隔に基づいて2~3分とした。これらの

一連の試行で得られた、パワーの最大値をその動作の最大パワー(Maximum Power; Pm)とし、その試行を分析対象として抽出した。

スクワットの特異動作は、バーをハイバーポジション(Earle and Baechle, 2008)で僧帽筋上に保持し、一般にハーフスクワットと定義される膝関節角度 90 度から開始した。検者は“用意”と声を掛け、被験者の開始姿勢および静止したことを確認し、装置のスタートボタンを押した。このとき装置が音を発することで、被験者への測定開始の合図とした。被験者には各試行を“全力”で行い、股関節および膝関節が伸展した立ち上がり動作終了まで力を抜かないよう指示した(図2)。



Start



Finish

図2 Squat 特異動作

同様にスナッチの特異動作においては実際の競技動作時と同様にフックグリップを使用し競技用のバーを握り、膝上にバーを構えるハングポジション(Earle and Baechle, 2008)を開始姿勢とした(図3Start)。スクワットと同様に開始姿勢で静止した後の合図によって、最大努力でバーを引き上げる動作を行わせた(図3Finish)。実際のスナッチは床に置かれたバーベルを引き上げ、頭上へ挙上する動作であるが、装置の機構上、牽引

したワイヤーが測定中に巻き取られない。そのため身体を沈み込ませるキャッチ動作を適切に行うことができないことから、本測定においてはハングポジションからの引き上げ動作とした。この局面はスナッチ動作においてセカンドプルと呼ばれ、バーの最大速度が出現する重要な局面とされている(Baumann et al. 1988, Garhammer and Takano 1992, Campos et al. 2006, Okada et al. 2008)。なお、これらの測定の順序は無作為とした。



Start



Finish

図3 Snatch 特異動作

4. 統計処理

各被験者のスクワットおよびスナッチ特異動作中において PP が最大値を記録した試行を最大

パワーとして分析対象とし、PP【Pm】、PP 出現時の力【F(Pm)】および速度【V(Pm)】を求めた。結果は SPSS ver19 を用いて、平均値および標準偏差

で示すとともに、パワー関連指標と 1RM について有意水準を 5%未満として線形回帰分析を行った。

Ⅲ 結果

スクワットおよびスナッチの 1RM はそれぞれ

187.6kg±28.2kg および 112.6±12.2 kg であり、スナッチはスクワットの 61%に相当していた(表2)。スクワットとスナッチにおける特異動作パワーの最大値 Pm, 最大パワー出現時の力 F(Pm)および速度 V(Pm)を比較すると、スナッチはスクワットの 94%;Pm, 81%; F(Pm), 117%; V(Pm)であった。

表2 特異動作の最大パワーおよび 1RM 関連指標

| | | | <i>n</i> =24 | |
|--------|--------|--------------|--------------|-------|
| | | | Mean | SD |
| Squat | Pm | <i>W</i> | 2281 | 369 |
| | F(Pm) | <i>N</i> | 1534 | 230 |
| | V(Pm) | <i>m/s</i> | 1.497 | 0.186 |
| | 1RM | <i>kg</i> | 187.6 | 28.2 |
| | 1RM/BW | <i>kg/kg</i> | 2.39 | 0.29 |
| Snatch | Pm | <i>W</i> | 2135 | 462 |
| | F(Pm) | <i>N</i> | 1227 | 220 |
| | V(Pm) | <i>m/s</i> | 1.749 | 0.280 |
| | 1RM | <i>kg</i> | 112.6 | 12.2 |
| | 1RM/BW | <i>kg/kg</i> | 1.45 | 0.21 |
| Sn/Sq | Pm | | 0.94 | 0.17 |
| | F(Pm) | | 0.81 | 0.15 |
| | V(Pm) | | 1.17 | 0.16 |
| | 1RM | | 0.61 | 0.06 |
| | 1RM/BW | | 0.61 | 0.06 |

スクワットおよびスナッチ特異動作時の Pm, F(Pm)および V(Pm)と 1RM(kg)の関係を図4および図5に示した。スクワットにおいて、1RM と有意な関係が認められたのは、Pm (r=0.51, p<0.05)および F(Pm) (r=0.62, p<0.001)であった。一方、ス

ナッチにおいては全ての指標で有意な正の相関 (r=0.44~0.79)を認め、Pm が最も高い値(r=0.79, p<0.001)を示していた。しかし、1RM の体重比 (1RM/BW)においてはいずれも有意ではなかった。

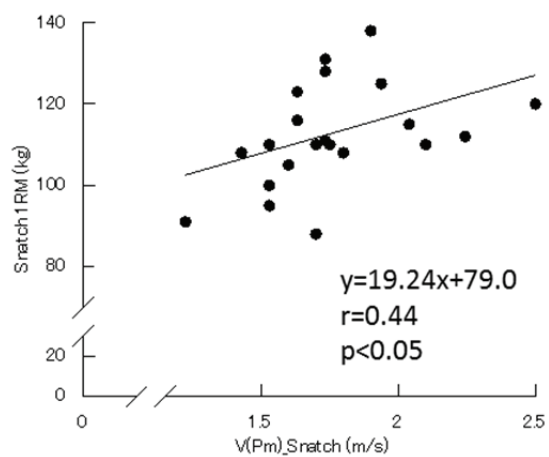
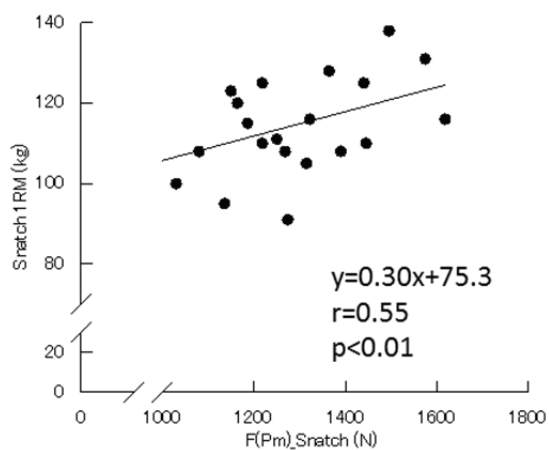
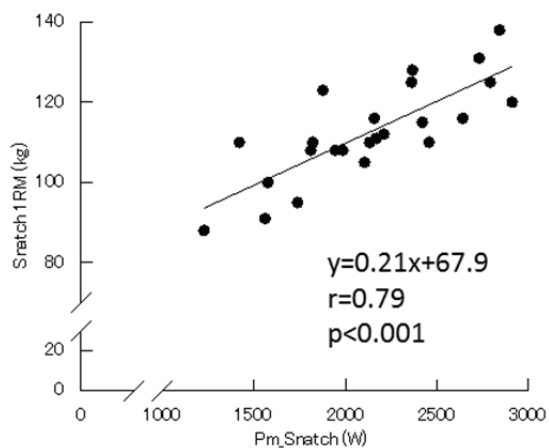


図4 Snatch 特異動作時の最大パワー(Pm), 最大パワー発揮時の力 F(Pm) および速度 V(Pm)と1RM(kg)の関係

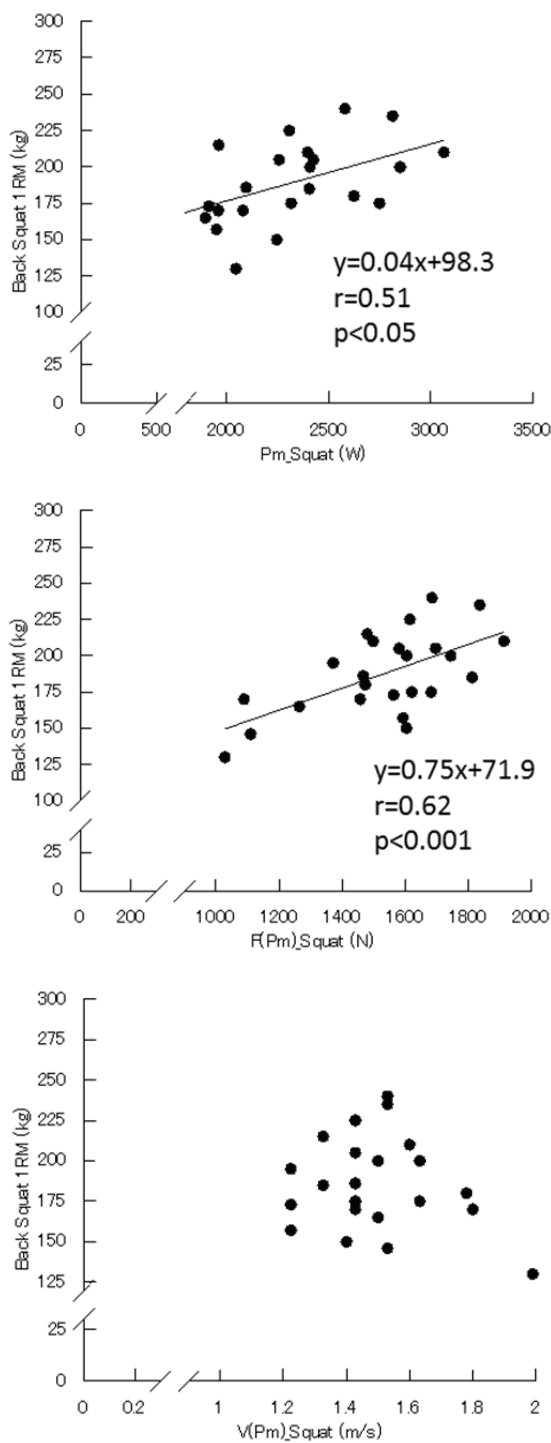


図5 Squat 特異動作時の最大パワー(Pm), 最大パワー発揮時の力 F(Pm) および速度 V(Pm)と1RM(kg)の関係

IV 考察

本研究は, 大学生のウェイトリフティング選手を対象とし, スナッチの挙上記録とスクワットの関係, および特異動作時に発揮したパワー出力とそれぞれの最大挙上重量(1RM)の関係について検討

した. その結果, 1RM(kg)において, スナッチはスクワットの 61%, スナッチ特異動作時のパワー(Pm)はスクワットの94%であった. スナッチ特異動作時の Pm, F(Pm)および V(Pm)と 1RM(kg)との関係において, 全ての指標で有意な正の相関

($r=0.44\sim 0.79$)を認め、スクワット特異動作時においては Pm, および $F(Pm)$ と $1RM(kg)$ との間に有意な相関関係を認めた($r=0.51$ および 0.62) .

ウエイトリフティング競技において、パフォーマンスを挙上記録から評価し、トレーニング目標を得るために、相対値を利用した尺度が用いられている(加藤ら1990, 岡田ら1993). これはスクワットを規準(100%)とし、競技種目であるスナッチおよびクリーン&ジャーク(CJ)のほか、競技力向上に必須と位置づけられ、日常のトレーニングで補強種目として行っている種目(Military Press [MP], High Snatch [HS], High Clean [HC], Push Jerk [PJ], Clean & Jerk [CJ], Front Squat[FSQ])を相対値で表している. 有力選手の記録を基に作成された理想値(MP45%, HS55%, Sn63.75%, HC68%, PJ73.75%, CJ80%, FSQ89%)あるいは個人毎の各種目のスクワット比を参考に、それぞれの種目の目標設定に活用している. 本研究の対象におけるスナッチは61%であり、加藤ら(1990)が示す理想値の63%, 全日本代表選手で報告されている60.7%ならびに全国中学大会入賞者60.9%(岡田ら1993)と同水準であった. この数値には個人差があり、各種目の得意、不得意あるいはトレーニングでの実施頻度が影響すると言われている(加藤ら1990). 初心者では技術習得過程で多用されるHCの値が78%と顕著に高い値を示している(加藤1990). また、中上級者においても挙上技術が劣っているものはスナッチが低い、あるいは挙上技術が優れている者ではスナッチやHCが高いといった傾向が見られているが、平均値でみると、十分な経験を積んだ選手では年代に関係なく理想値とされる60%付近に集約されている(岡田ら1993). 本研究の結果は先行研究から約20年経過した後の選手たちの記録であったが、日本人選手におけるスナッチ記録のスクワット比が変化していないことを示唆するものである.

ウエイトリフティング競技はその特性から筋力・パワー系種目と位置づけられる(Stone et al. 1980, Fry et al. 2003, Garhammer 1989). しかし、代表的なパワー測定項目である垂直跳びとウエイトリフティング競技成績との関係について検討した先行研究(Stone et al. 1980, 船渡ら1992, Carlock et al. 2004)においては、一致した見解が得られていない. Stoneら(1980)は13名の初心者に14週間のウエイトリフティングトレーニングを実施し、スナッチおよびCJにおける記録の向上とともに垂直跳びが8.8%向上したことを報告し、競技成績との関係を示唆しているが、スナッチとの相関係数はトレーニング前($r=0.22$), 中($r=0.46$)および後($r=0.09$)とバラツキがあった. 同じく垂直跳びから求めたパワー値はトレーニング前, 中, 後に $r=0.63\sim 0.75$ を示し、跳躍高よりパワーとの相関係数が高かった. すなわち、垂直跳びはパワーの指標として実施されているけれども、跳躍高を用いると上肢、腕振りの使い方など跳躍の技術が影響し、真の下肢の出力が反映されない場合も懸念される(Carlock et al. 2004). そこで、Carlockらは手を腰に当て、腕振りを用いずに脚の反動だけを用いるCMJ; Counter movement jump, と反動を用いないSJ; Squat jumpにおける跳躍高と発揮パワーと挙上重量の関係を米国ナショナルチームおよびジュニア選抜合宿の選手を用いて検討した. その結果、CMJとSJの跳躍高とスナッチ、CJ、スクワットの挙上記録の間の相関係数は $r=0.52\sim 0.64$ であったが、ジャンプ時のPeak Powerにおいては、 $r=0.90\sim 0.93$ という高い相関を示した. しかしながら、日本代表レベルの選手において、垂直跳びの跳躍高と競技成績(トータル重量およびトータル重量/体重)の間に有意な相関は認められていない(船渡ら1992). このように垂直跳びはウエイトリフティングの挙上記録の裏付けとなっているが、一定の競技レベルの選手の中では、跳躍高にバラツキ

きがあり、一致した見解が得られていない。跳躍の方法を限定する、あるいはパワーを求めることでウエイトリフティング競技の潜在能力をより高い精度で評価できることになるが、競技現場での利用を考えたときには、指導者が容易に測定できないなどの課題が残る。

このような競技力を推定する、あるいは競技力の背景となる筋出力の検討を進めるなかで、競技により類似した動作中のパワー測定が考案され、それが特異動作パワー (Specific movement power) と名付けられた (Funato et al. 2000)。この測定は装置に付属するワイヤーを牽引する際のパワーを評価するため、様々な姿勢や関節運動を扱うことが可能である。しかし、先行研究 (船渡ら 1992, Funato et al. 2000) ではバーの中央にワイヤーを連結したため、バーの牽引動作時にワイヤーや連結金具が被験者の身体に触れる状況が見られた。そこで本研究ではこの装置のワイヤーに特別注文のアタッチメントを連結し、競技用のバーベルを装着することで、実際の動作をより忠実に再現できるように配慮した。また、先行研究 (船渡ら 1992, Funato et al. 2000) ではパワーとの関係を検討する競技成績をトータル重量 (スナッチ + CJ) としていたが、本研究では2種の特異動作パワーと挙上記録との検討においてはスクワットおよびスナッチそれぞれの挙上記録を対象とした。本研究で記録された最大パワーと先行研究の値を比較すると、スクワット (2281W vs 1351W [Funato et al. 2000])、およびスナッチ (2135W vs 1878W [船渡ら 1992]) 両動作において、本研究の方が高値を示した。Funato ら (2000) がスクワットと称して実施した動作はしゃがんだ姿勢からバーを引き上げながら立ち上がるという動作であったため、下肢の可動域は本研究と類似していたが、背中にバーを担いではいなかった。同様にスナッチについては、本研究が競技用のバーを用いており、手の滑りを抑制しグリップを強化

する処理 (ナールング) が施されていた。したがって、本研究の模擬動作は、先行研究よりも実際の運動場面に近い状況で選手の身体能力を評価しており、1RM との関係を検討する上で適当であったと考えられる。

スナッチは床から一連の動作で頭上へ引き上げる動作である。そのキネマティック分析から、バーベルの最高速度はギリシャの女子ナショナルチームの報告では 1.98 ± 0.09 m/s (Gourgoulis et al. 2002)、全米選手権大会 1.648 ± 0.191 m/s (Hoover et al. 2006)、ジュニア世界選手権における日本人選手では 1.86 ± 0.09 m/s (1.70-1.96) および優勝者 1.94 ± 0.19 m/s (1.66-2.13) といった値が示されている (Okada et al. 2008)。本研究のスナッチ特異動作は膝上にバーを構えるハングポジションから開始した。すなわちセカンドブルと定義され、股関節および膝関節を伸展させて最大の加速を得ようとする局面である (Baumann et al. 1988, Garhammer and Takano 1992, Campos et al. 2006, Okada et al. 2008)。本研究の特異動作中の $V(P_m)$ は平均で 1.741 ± 0.29 m/s であり、これら競技時のスナッチ動作における値に相当している。一方、スナッチ特異動作における $F(P_m)$ は 1227N であり、スナッチの 1RM (1103N) の 1.11 倍に相当していた。すなわち、本研究で用いた特異動作パワー測定は実際の競技動作を模しているだけでなく、得られた最大パワーは競技場面に類似した力-速度条件下で生じていたことが推察される。

スナッチの 1RM (kg) と特異動作中の最大パワー [P_m]、最大パワー出現時の力 [$F(P_m)$] と速度 [$V(P_m)$] との関係、全ての項目で有意な相関が認められた。一方、スクワットにおいて P_m および $F(P_m)$ と 1RM (kg) との間に有意な相関が見られたが、速度においては認められなかった。本研究のスクワット特異動作においては最大パワー出現時の速度が 1.497 ± 0.186 m/s であった。特異動作

試行は最大努力で動作を行うものであり、スピードを調整させていない。スナッチなどのウエイトリフティング・エクササイズはクイックリフトとも呼ばれ、その動作自体に最大速度を得ようと努力しながら動作することが求められている(岡田1997)。しかし、スクワットのとくに一般のトレーニング場面においては、動作速度を一定に保つことによって高負荷での姿勢を保持している(Zink et al. 2001, Earle and Baechle 2008)。また、実際のスナッチでは約1.6m/s以上のピーク速度で挙上されている(Gourgoulis et al. 2002, Hoover et al. 2006, Okada et al. 2008)が、スクワットにおいて50%1RMでは約1.2m/s(Stevenson 2010), 90%1RMでは0.839m/s (Zink et al. 2001), パワーリフティング競技会試技では0.5 m/s(Garhammer, 1986)とピーク速度が遅く、スナッチの半分程度の速度となっている。

このようなスナッチとスクワットの動作様式の違いが、最大パワー出現の条件に影響しているものと考えられた。すなわち、スナッチにおいてPm, F(Pm)およびV(Pm)において有意な関係が認められたのに対し(図4), スクワットにおいては、PmおよびF(Pm)においては有意であったが、V(Pm)では有意な相関が認められなかった(図5)。最大筋力はパワー出力に影響する基礎的因子である(Schmidtbleicher 1992)とされ、Stoneら(1980)は最大筋力が爆発的パワースポーツに大きく影響すると結論している。したがって、最大パワーが高いこと、および最大パワーがより高い力発揮レベルで発現することが、スナッチおよびスクワットのような高強度動作で必要な要素であると考えられる。しかし、動作自体がより高速条件でなければ成立しない(挙上が成功しない)スナッチと、より低速条件でも1RM挙上が可能であるスクワットでは、最大パワーの獲得状況が異なっていたと考えられる。すなわち、スナッチにおいて最大パワー[Pm]と1RM(kg)に有意な相関が見られ、最大パワー出

現時の力[F(Pm)]および速度[V(Pm)]も同様な相関を認めたことは、この最大パワーが大きな力をより早く発揮するなかで獲得されたことを意味している。一方、スクワットにおいてはV(Pm)と1RMに有意な関係が見られなかったが、F(Pm)と1RMとの関係性が最も高かった($p < 0.001$)ことから、これらの1RMを推定するには模擬動作で出力される力あるいはパワーの関係性が高いことが示唆された。

V 結論

本研究はスナッチとスクワットを対象とし、それらの挙上記録と特異動作パワーの関係を明らかにすることを目的とした。その結果、スクワットにおいては1RMとの有意な相関が最大パワー[Pm]および最大パワー出現時の力[F(Pm)]において認められ、力の方がより強い相関であった($r = 0.62$, $p < 0.001$)。一方、スナッチにおいては全ての指標で有意な正の相関($r = 0.44 \sim 0.79$)を認め、最大パワーが最も高い値($r = 0.79$, $p < 0.001$)を示していた。

これらのことから、模擬動作を用いた特異動作パワーにおいて、スクワットでは最大パワー発揮時の力、スナッチにおいては最大パワーが1RMと最も有意な相関関係にあることが示唆された。

VI References

- Baumann, W., Gross, V., Quade, K., Galbierz, P. & Schwirtz, A. (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sports Biomechanics*, 4: 68-89.
- Campos, J., Poletaev, P., Cuesta, A., Pablos, C. & Carratala, V. (2006). Kinematical analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *Journal of Strength and Conditioning*

- Research, 20(4): 843-850.
- ・ Carlock JM, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Cirosan DA, Pierce KC, Newton RU, Harman EA, Sands WA, Stone MH. (2004) The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res.* 18(3):534-9.
 - ・ Earle RW and Baechle TR (2008) Resistance training and spotting techniques. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.*325-376.
 - ・ Fry AC, Schilling BK, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, hrush JT. (2003) Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res.* 17(4):746-54.
 - ・ 船渡和男(1990)ウエイトリフティング選手の形態・機能の発育発達と競技成績に関する研究～中学生ウエイトリフティング選手の発育発達履歴と競技成績～. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. V スポーツタレントの発掘方法に関する研究第1報, 147-156.
 - ・ 船渡和男, 松尾彰文, 川上泰雄, 福永哲夫, 細谷治朗, 関口脩(1992)エリートウエイトリフターの資質を探る筋出力測定～リフティングパワーと競技力. 平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究, 15:257-270.
 - ・ Funato K, Matsuo A, Fukunaga T.(2000) Measurement of specific movement power application: evaluation of weight lifters. *Ergonomics.* 43(1): 40-54.
 - ・ Garhammer, J. (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sport and Exercise,* 12(1): 54-60.
 - ・ Garhammer J (1989) Weightlifting and training. In: *Biomechanics of sport.* C.L. Vaughan ed. Boca Raton: CRC press pp.169-211.
 - ・ Garhammer J and Takano B (1992) Training for Weightlifting. In: *Strength and Power in Sport.* P.V. Komi, ed. London: Blackwell Scientific Publications. pp. 357-369.
 - ・ Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Antoniou, P., Christoforidis, C. Mavromatis, G. & Garas, A. (2002). Comparative 3-dimensional kinematic analysis of the snatch technique in elite male and female Greek weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research,* 16(3): 359-366.
 - ・ Hill AV (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. R. Soc. Lond. B* 126:136-195.
 - ・ Hoover, D.L., Carlson, K.M., Christensen, B.K. & Zebas, C.J. (2006). Biomechanical analysis of women weightlifters during the snatch. *Journal of Strength and Conditioning Research,* 20(3):627-633.
 - ・ 加藤令子, 岸田謙二, 船渡和男, 関口脩 (1990)中学生ウエイトリフターの競技成績に及ぼす形態的および機能的要因. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究, 13:357-363.
 - ・ McGuigan, M.R. and Kane M.K. (2004) Reliability of performance of elite Olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research,* 18(3):650-653.
 - ・ 岡田純一(1997)クイックリフトのすすめ. *コーチングクリニック,* 11(4):46.
 - ・ 岡田純一, 船渡和男(1996)ジュニアおよびシニア・ウエイトリフターの競技成績と除脂肪体重およびパワー発揮能力. 平成7年度日本体育

- 協会スポーツ医・科学研究報告 No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究, 19:278-282.
- ・ 岡田純一, 船渡和男, 大橋令子, 関口脩, 加藤清忠(1993)パワーバランスから見た中学生ウエイトリフターの競技力向上過程. 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究, 16:257-268.
 - ・ Okada J, Iijima K, Fukunaga T, Kikuchi T and Kato K (2008) Kinematic analysis of the snatch technique used by Japanese and international female weightlifters at the 2006 junior world championship. *International Journal of Sport and Health Science* 6:194-202.
 - ・ 岡田純一, 金子敬二, 加藤清忠(1995)ウエイトリフターのスナッチ動作における挙上技術. *ヒューマンサイエンスリサーチ* 4:129-140.
 - ・ Schmidtbleicher, D (1992) Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*. P.V. Komi, ed. London: Blackwell Scientific Publications. pp. 381-395.
 - ・ Stevenson MW, Warpeha JM, Dietz CC, Giveans RM, Erdman AG. (2010) Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *J Strength Cond Res.* 24(11):2944-54.
 - ・ Stone MH, Byrd R, Tew J, Wood M. (1980) Relationship between anaerobic power and olympic weightlifting performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 20(1):99-102.
 - ・ Stone MH, Sands WA, Pierce KC, Carlock J, Cardinale M, Newton RU. (2005) Relationship of maximum strength to weightlifting performance. *Med Sci Sports Exerc.* 37(6):1037-43.
 - ・ Zink AJ, Whiting WC, Vincent WJ, McLaine AJ (2001) The effects of a weight belt on trunk and leg muscle activity and joint kinematics during the squat exercise. *J Strength Cond Res.* 15(2):235-40.

マスターズ・ウエイトリフティング選手の骨密度, 筋力, 筋断面積から見た
高強度レジスタンストレーニングの影響

Effects of heavy resistance training on bone mineral density, muscle strength
and cross-sectional area in Master's weightlifters.

岡田 純一*1, 柳谷 登志雄*2, 倉持 梨恵子*3, 鳥居 俊*1

*1 早稲田大学スポーツ科学学術院

*2 順天堂大学スポーツ健康科学部

*3 中京大学スポーツ科学部

キーワード: トレーナビリティ, レジスタンストレーニング, マスターズ, ウエイトリフティング

Key Words: Trainability, Resistance Training, Masters athletes, Weightlifting

抄 録

中高齢者におけるレジスタンストレーニングにおいては, 筋機能向上, 骨粗鬆症予防などの効果が期待されている。ウエイトリフティング競技者の身体は継続的に高強度レジスタンストレーニングの影響を受けており, その特徴を明らかにすることはレジスタンストレーニングの効果やその程度を知る手がかりとなる。そこで本研究は, マスターズ・ウエイトリフティング選手における長期的な高強度レジスタンストレーニングが筋力, 筋断面積および骨密度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

ウエイトリフティング群9名(WL群)(52.6歳±6.8歳)および対照群6名(C群)(52.0±8.3歳)が測定に参加した。WL群は全日本マスターズ大会に参加しており, 最高挙上重量(1RM)はスナッチ 79.2±16.3kg, C&J102.5±23.8kg およびスクワット 155.0±53.5kgであった。

超音波法による踵骨骨密度(OSI)に有意差はなかったが, DEXA法による腰椎骨密度においてWL群が38%有意に高値であった($p < 0.01$)。一方, 等速性膝関節伸展筋力, 等速性膝関節屈曲筋力(60度/s), 等尺性股関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力において差は認められなかった。一方, 大腿前部, 大腿後部, 大殿筋および内転筋群の筋断面積において, WL群はC群よりも高値を示したが, 大腰筋では差異が見られなかった。しかし, WL群においては等速性膝関節屈曲筋力($r=0.73$), および等尺性股関節伸展筋力($r=0.81$)と大腿後部筋断面積との間に有意な相関関係が認められた。その要因として, ウエイトリフティング特有の運動によって長期間にわたり体軸骨格へ機械的刺激が与えられていること, ウエイトリフティングの挙上動作によって大腿後部の筋群が動員される頻度が高いことが考えられた。

これらのことから, ウエイトリフティング競技による長期的なレジスタンストレーニングの影響として, マスターズ・ウエイトリフティング選手の腰椎骨密度および下肢の筋断面積が対照群よりも高値であること, 他の部位に比べて大腿後部の筋群が強く影響を及ぼされていることが示唆された。

I 緒言

アスリートのみならず、中高年者の体力づくりプログラムにおいて、レジスタンストレーニングが盛んに取入れられてきている。さらに虚弱高齢者を対象とした介護予防の分野においても筋力の維持・向上が重要な課題となっている(Elizabeth Best-Martini et al. 2003)。中高齢者において、レジスタンストレーニングに期待されている効果は、筋力の増加に伴う身体活動レベルの向上が主である。しかし、その他にも筋量増加により基礎代謝量が高められ、肥満を改善し成人病予防に寄与すること、加齢にともなう骨密度の減少を予防する効果などが挙げられる(Westcott and Baechle 1998, Faigenbaum 2008)。

ウエイトリフティング競技はボディビルあるいはパワーリフティングと同様にレジスタンス・エクササイズを主とした活動である。とくにウエイトリフティングはスナッチおよびクリーン&ジャーク種目において、より重い重量を頭上に挙げるのが目的となっている。しかし、日常のトレーニングはこれらの競技種目および関連する補助エクササイズとともに一般的なレジスタンス・エクササイズから構成される(Garhammer and Takano 1992, Kanehisa et al. 1998)。したがって、ウエイトリフティング競技者の身体は継続的な高強度レジスタンストレーニングの影響を受けており、その特徴を明らかにすることはレジスタンストレーニングの効果やその程度を明らかにする一助となる。

骨密度に及ぼす運動の影響に関する横断的研究から、青少年期の激しい運動経験を有するスポーツ選手は中高年期における骨密度が同年代の平均値より高いこと(Conroy et al. 1993, 岡田ら 1994)、あるいはスポーツ選手は引退後に中高年期を迎えても非運動群より骨折の危険性が低いことが指摘されており(Guadalupe-Grau et al. 2009)、中高年期になっても高い骨密度を維持するためには、若い頃の運動が重要であると言わ

れている(Conroy et al. 1993, Ratamess 2008)。また縦断的研究では、55 歳から 75 歳を対象に実施した 50%1RM 強度のレジスタンストレーニングでは骨密度は維持されるに止まったが、54 歳から 61 歳の被験者においては 65-87%1RM に相当する 5-15RM のトレーニングを 4 ヶ月実施し、2.0% の腰椎骨密度の増加を報告している(Menkes et al. 1993)。30 歳から 40 歳で最大骨量(Peak Bone Mass)を迎え、その後加齢にともない減少していく骨量が、中高年あるいはそれ以上の年代に対して注目されるのは、低下した骨量が骨粗鬆症のリスクを高めるためである(Conroy et al. 1993, Heaney et al. 2000)。

Kanehisa ら(1998)は対照群(一般大学生)に比べてウエイトリフティング選手において、上肢および下肢の筋断面積および骨断面積が有意に高値(22~57%)であることを報告し、ウエイトリフティングへの長期間の参加によって、ウエイトリフティングのトレーニングが筋とともに骨の顕著な肥大を促したと考察しているが、骨密度は評価されていなかった。一方、Conroy ら(1993)は長期的かつより強い力学的ストレスの影響を受けているジュニア・ウエイトリフティング選手(17.4 歳)を対象に横断的調査を実施し、同年代の対照群より有意に高い腰椎および大腿骨骨密度であったことを報告している。また、その値は一般成人(20-39 歳)の標準値を 13~31% 上回っていたと報告している。青年期においては、これらのウエイトリフティング選手を対象とした先行研究から、長期的なレジスタンストレーニングによる筋肥大および骨密度への影響が見られている。しかし中高齢者に関する情報は乏しく、40 歳代~80 歳代の世界マスターズ・ウエイトリフティング選手権の参加者において、筋力およびパワー指標について報告されている(Pearson et al. 2002)が、筋断面積あるいは骨密度は含まれていない。

そこで本研究は、マスターズ・ウエイトリフティン

グ選手における長期的な高強度レジスタンストレーニングが筋力, 筋断面積および骨密度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II 方法

1. 対象

本研究の対象は、定期的なトレーニング習慣のあるマスターズ・ウエイトリフティング選手9名(WL 群), および対照群6名(C 群)とした。WL 群は全日本マスターズ・ウエイトリフティング選手権大会に出場経験があり, ウエイトリフティング競技のトレーニングあるいはレジスタンストレーニング

を継続的に(10 年~35 年)実施していた。彼らが測定6ヶ月以内に記録した最高挙上重量は、スナッチ 79.2±16.3kg, クリーン&ジャーク 102.5±23.8kg, スクワット 155±53.5kg(2 名は該当する記録なし;n=7)であった。一方C群は、ウォーキング, 水泳等の健康増進を意図した運動を定期的に(1 回~5 回/週)実施していたが, 両群の特性(年齢, 身長, 体重および体脂肪率)に有意差は無かった(表1)。被験者には、予め研究内容, 測定に関するリスク等を書面および口頭で説明し, 書面による同意を得た。

表1 被験者特性

| | | WL | | | C | | |
|------|----|----|-------|-----|---|-------|-----|
| | | n | Mean | SD | n | Mean | SD |
| 年齢 | 歳 | 9 | 52.6 | 6.8 | 6 | 52.0 | 8.3 |
| 身長 | cm | 9 | 167.4 | 5.9 | 6 | 171.0 | 5.1 |
| 体重 | kg | 9 | 73.7 | 8.0 | 6 | 66.3 | 6.2 |
| 体脂肪率 | % | 9 | 24.7 | 4.9 | 6 | 22.3 | 3.4 |

2. 測定項目

身体組成, 骨密度および下肢筋力を両群において測定した。WL 群に対してはこれに加え, 競技に特異的な動作中のパワー測定を実施した。なお骨密度(DEXA)およびMRI撮影は協力医療機関において実施した。

4 極式インピーダンス体脂肪測定器(TBF-300, TANITA 社製)を用いて体重, 体脂肪率を求めた(Nuñez et al. 1997)。踵骨については超音波法(AOS-100, Aloka 社製, Tsuda-Futami et al. 1999), 腰椎(L2-L4)にはDEXA法(QDR-1000, Hologic 社製)を用いて骨密度を測定した。股関節の等尺性屈曲および伸展筋力をハンドヘルドダイナモメータ;Power Track II (Jtech Medical Industry)を用いて測定した。すなわち, 検者は大腿部遠位端にダイナモメータを当て, 腹臥位(伸展時)あるいは仰臥位(屈曲時)の被験者に

膝を伸ばした状態で右脚を全力で挙上させた。このとき床面から10cm程度脚部を持ち上げた位置で等尺性筋力を測定した(小林, 2001)。また両群ともに繰り返し測定の再現性(CV%)が5%以内の同一検者によって実施された(鳥居2003)。

等速性膝関節伸展および膝関節屈曲筋力(右脚)をCybex II+を用いて測定した。座位で膝を90度に屈曲した位置から最大伸展位まで動作させ, 一旦静止させた後に屈曲動作を実施した。角速度を60度/秒とし, 最大努力で3試行実施し, ピークトルクの最大値を分析に用いた。

大腿部の筋断面積を評価するために, MRI撮影を実施した。MRI (Signa 1.5T)の撮像条件をFOV300, TR/TE 500/17とし, スライス厚5mmとした。スライスは大腿長を基準に10%毎の位置から得た。同様に大腰筋の横断像を得るために,

第 5 腰椎(L5)上縁で体幹部の横断像を撮像した。これにより得られた画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像処理ソフトウェア(Image J; NIH)を用いて、大腿前部(内側広筋, 外側広筋, 大腿直筋および中間広筋), 大腿後部(大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋など), 内転筋群, 大殿筋および大腰筋を計測した。解析においては同一の検者が全対象者の筋断面積を計測した。

WL 群において競技およびトレーニング動作を模した動作中のパワーを計測するために、多用途パワー測定装置, パワープロセッサ(ヴァイン社製)を用いた(Funato et al, 2000)。この装置は本体に装備されたワイヤーを引き出すときに、ワイヤーにかかる張力と線速度を測定し、パワーを算出することができる。ロータリーエンコーダを備えた回転軸にワイヤーが巻き付けられており、このワイヤーを引き出すときの張力をトランスデューサーが検出している。さらに電圧制御のパウダーブレーキによって抵抗負荷を加えることができる。パワープロセッサの出力信号は A/D 変換されパーソナルコンピュータに 500Hz で取り込まれた。この張力と速度を乗じて経時的にパワーを求めている。装置のワイヤーに専用のアタッチメントを介して、競技で使用している公認バー(20kg)を連結し、競技種目に特異的な動作パワーを測定した。対象とした動作はスナッチを模した引き上げ(スナッチ動作)およびスクワットを模した立ち上がり(スクワット動作)であった。スナッチ動作においては、膝蓋骨上縁にバーを構えた姿勢(ハングポジション)から動作を開始し、競技時と同様な動作で最大努力によるバーの牽引を行うよう指

示した。一方、スクワット動作においては、上背部(僧帽筋)にバーを担ぐハイパーポジション(Baechle and Earle 2008), 膝関節角度 90 度を開始姿勢とし、同じく最大努力で立ち上がるよう指示した。パワーテストの手順において、被験者はブレーキ抵抗を最小にした 0V から試行を開始し、順次抵抗を高めた。それぞれの試行後にパワー値を確認し、負荷の増大にともなうパワーの増加を確認した。そしてパワーが最大値(Pm)に達し、その後負荷が増してもパワーが低下したことを確認し測定を終了した。この Pm と Pm が出現した試行の張力のピーク値 Fm を分析に用いた。

測定の結果を平均値および標準偏差で表し、WL 群および C 群間の差の検定には対応のない t 検定を用いた。筋断面積における群間比較には分散分析(反復測定)を用い、群間差が有意の場合は Bonferroni の検定を行った(Stat view 5.0)。また、筋力と筋断面積、パワーと挙上記録の関係については回帰分析を行い、いずれも有意水準を 5%未満とした($p < 0.05$)。

III 結果

両群の骨密度および筋出力指標の平均値および標準偏差を表 2 に示した。踵骨骨密度(OSI; osteo sono-assesment index)は WL 群および C 群それぞれにおいて 2.987 ± 0.308 および 2.786 ± 0.421 (10^6)であり、有意差は認められなかった。一方、腰椎骨密度においては WL 群が C 群に比べて 38%有意な高値を示した(WL; 1.387 ± 0.262 , C; $1.003 \pm 0.180 \text{g/cm}^2$; $p < 0.01$)。

表2 骨密度および筋出力

| 項目 | WL | | | C | | | p | | |
|----------|-------|-------------------|----|-------|-------|----|-------|-------|-------|
| | n | Mean | SD | n | Mean | SD | | | |
| 骨密度 | 踵骨 | OSI(10^6) | 9 | 2.987 | 0.308 | 6 | 2.786 | 0.421 | 0.008 |
| | 腰椎 | g/cm ² | 9 | 1.387 | 0.262 | 6 | 1.003 | 0.180 | |
| 等尺性股関節筋力 | 伸展 | N | 9 | 274.8 | 64.1 | 6 | 241.3 | 43.6 | |
| | 屈曲 | N | 9 | 222.6 | 57.7 | 6 | 186.5 | 27.8 | |
| 等速性膝関節筋力 | 屈曲 | Nm | 8 | 109.7 | 18.0 | 6 | 99.8 | 20.8 | |
| | 伸展 | Nm | 8 | 169.7 | 32.1 | 6 | 144.9 | 28.1 | |
| 模擬動作パワー | スナッチ | W | 9 | 1536 | 445 | | | | |
| | スクワット | W | 8 | 1613 | 473 | | | | |

等尺性股関節伸展筋力, 等尺性股関節屈曲筋力, 等速性膝関節伸展筋力, および等速性膝関節屈曲筋力において両群間に差は見られなかった. WL 群においては, 競技およびトレーニング動作を模した動作中のパワーを測定した. スナッチ動作の平均値は 1,536±445W, スクワット動作においては 1,613±473W と個人差が大きく, それぞれ 991~2,146W, 834~2,122W の範囲であった. なお 1 名 (WL 群) が等速性膝関節筋力測定およびスクワット動作の測定において違和感を訴え測定を中止した.

大腿前部, 大腿後部, 内転筋群および大殿筋における大腿長の 10% 毎の筋断面積について平均値および標準偏差を図 1 に示した. 大腿前部 (内側広筋, 外側広筋, 大腿直筋および中間広筋) において, WL 群および C 群の筋断面積は 40% 部位で最大値 (WL; 82.6 ± 12.6, C; 63.33 ± 4.06cm²) を示すとともに, 20%~80% 部位において, WL 群が高値であった. 大腿後部 (半腱様筋, 半膜様筋, 大腿二頭筋) においては 60% 部位が最大 (WL; 35.5 ± 4.3, C; 28.68 ± 5.65cm²) であり, 40~80% 部位に有意差が認められた. 同じく内転筋群では 10~60% 部位, 大

殿筋は 10~20% 部位において WL 群が有意に高い値を示した. また, 大殿筋の筋断面積は WL 群において右 12.2 ± 2.6, 左 12.1 ± 2.7cm², 同じく C 群において右 10.1 ± 3.0, 10.4 ± 2.9cm² であり, 両群間に有意差は認められなかった.

筋力と筋断面積の関係を大腿前部の筋断面積について図 2 に, 同じく大腿後部について図 3 に示した. 大腿前部が主に関与する等速性膝関節伸展筋力ならびに等尺性股関節屈曲筋力との関係を描画したが, 両群ともに有意な関係は認められなかった. 一方, 大腿後部と等尺性股関節伸展筋力 (r=0.81, p<0.01) および等速性膝関節屈曲筋力 (r=0.73, p<0.05) との間には WL 群においてだけ, 有意な相関関係が認められた.

図 4 にスクワット運動を模した動作中のパワーと実際のバーベルでの最高挙上記録の関係を示した. スクワットにおいてパワー測定を中止 (1 名) あるいは 1RM を実施しておらず, 一部で (2 名) 不明だったことから 6 名のデータとなった. スナッチにおいては有意な関係は認められなかったが, スクワットの挙上記録と Pm (r=0.91, p<0.05) および Fm (r=0.94, p<0.01) との間に有意な直線関係が認められた.

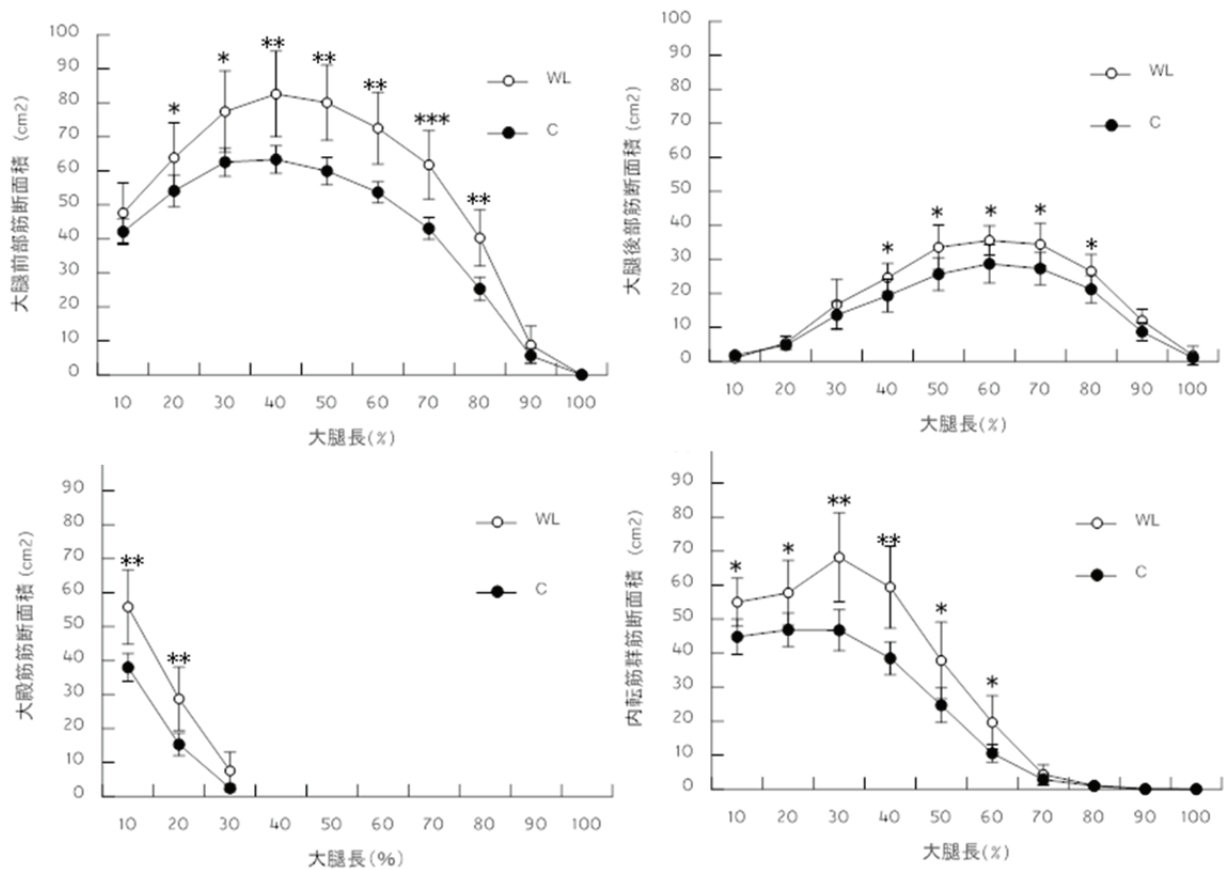


図1 MRIによる下肢の筋断面積
横断像は大腿長の10%毎に得た * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

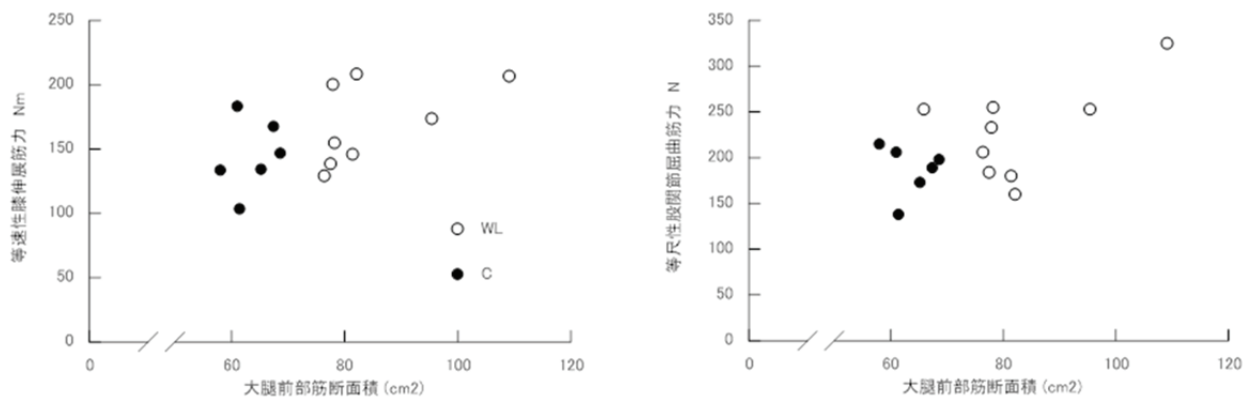


図2 等尺性股関節屈曲筋力および等速性膝伸展筋力 (60度/秒)と大腿前部筋断面積との関係
○ウエイトリフティング群 ●対照群

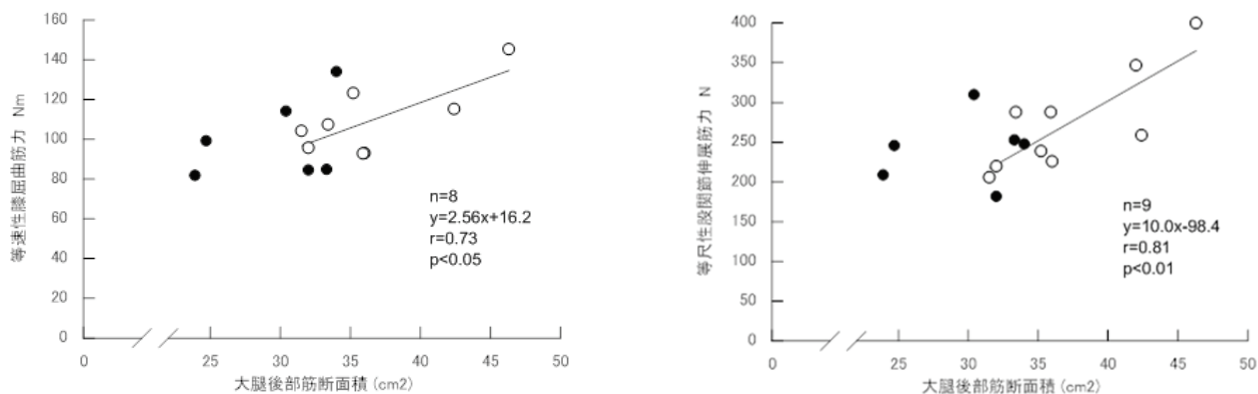


図3 等尺性股関節伸展筋力および等速性膝屈曲筋力 (60 度/秒)と大腿後部筋断面積との関係
○ウエイトリフティング群 ●対照群

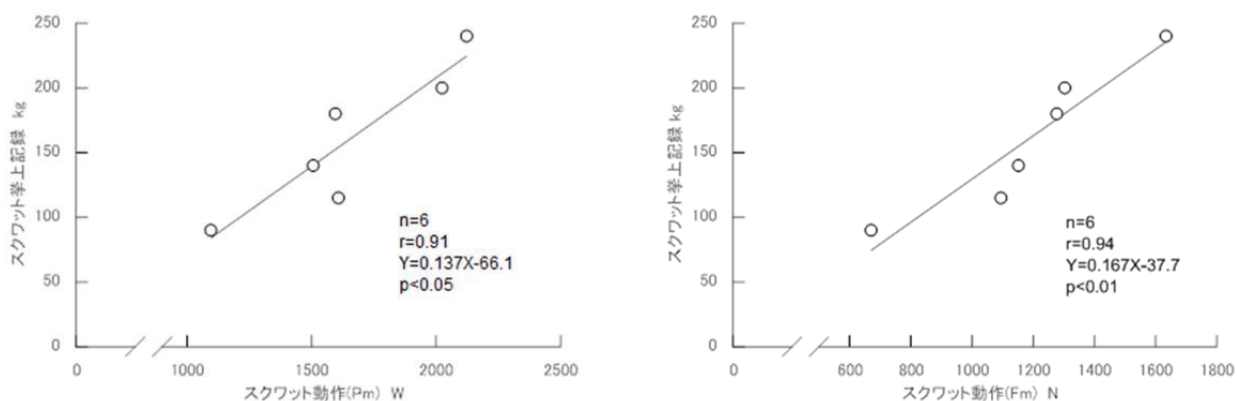


図4 スクワットの挙上記録とスクワット模擬動作時の最大パワー(Pm)および最大張力(Fm)との関係

IV 考察

本研究は、マスターズ・ウエイトリフティング選手(WL 群)を対象とし、骨密度、下肢筋力、筋断面積および模擬動作パワーを評価した。その結果、等速性膝関節伸展筋力、等速性膝関節屈曲筋力、等尺性股関節伸展筋力、および等尺性股関節屈曲筋力の平均値においては対照群(C 群)と差は認められなかったが、筋断面積および腰椎骨密度においてWL 群が有意に高い値を示した。

大学生 WL 選手と同年代の対照群を比較した先行研究(Kanehisa et al. 1998)において、50% 部位の膝関節伸展筋群の筋断面積が 53%、同膝屈曲筋群では 34%、WL 群が高値を示していた。本研究においてWL 群とC 群との間に年齢、

身長、体重に有意差を認めなかったが、同様に 50% 部位を比較すると大腿前部筋断面積において 34% ($p<0.01$)、同じく大腿後部において 31% ($p<0.05$)、C 群よりも WL 群の方が有意に高値を示していた。大殿筋(10-20% 部位)および内転筋群(10-60% 部位)も同様に WL 群が大きな値を示した。WL 群の競技特性として下肢および体幹の筋力、パワーが重要であることから、主要なトレーニング種目にスクワットが位置づけられている(Garhammer and Takano 1992)。中高齢のマスターズ選手においても、大学生と同様な対照群との差を有していることが示唆された。一方、大殿筋において有意差が認められなかったことは、WL 群において股関節屈曲が主要な動作ではないこと(Baumann et al. 1988)、あるいは C 群もウ

オーキングなどの股関節屈曲をとまなう運動習慣を有していることがその一因と推察された。

等速性膝関節伸展筋力, 等速性膝関節屈曲筋力, 等尺性股関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力の平均値において、両群間に有意差は認められなかった。WL 群が筋断面積においては高値を示したが、これら筋力の指標において両群に差が見られなかった。そのため本研究の等速性膝関節筋力と先行研究で多く用いられている 50%部位の大腿部筋断面積から単位筋断面積当たりの筋力を算出した。大腿前部では WL 群が 2.08 ± 0.03 , C 群では $2.41 \pm 0.41 \text{ Nm/cm}^2$, 同様に大腿後部では 3.43 ± 0.57 および $3.95 \pm 0.77 \text{ Nm/cm}^2$ となり、いずれも C 群の方が高値となったが有意差は認められなかった。一般にレジスタンストレーニングの効果として、神経系の適応, すなわち運動単位の動員が高まることで単位筋断面積当たりの筋力が増大することが知られている(福永 1978)。したがって、高い筋力発揮を要する競技を実施している WL 群は C 群より高い値を示すと考えられる。しかし、全日本選手権出場レベルの 11 競技種目の男子選手と一般人の単位筋断面積当たりの等尺性膝関節伸展筋力を種目別に比較した Kanehisa ら(1986)の報告では、サッカーおよびパワーリフティングが他の種目に比べて有意に高い値を示し、ウエイトリフティング, 柔道, 相撲といった種目の平均値は一般男子より低値であった。また、単位筋断面積当たりの筋力においては種目に関係なく個人差が大きく、筋力的要素の強い種目が必ずしも高い絶対筋力を示すとは限らないと報告されている。さらにスポーツ選手と一般人の男女を問わず、単位筋断面積当たりの筋力の分布範囲は等尺性膝伸展筋力では $4 \sim 11 \text{ N/cm}^2$ と広範囲であった(金久ら 1988)。その要因として筋線維組成および神経系の作用(福永 1983)あるいは筋線維の走行方向(Maughan and Nimmo 1984)

などの先天的あるいは解剖学的な要素が考察されている(金久ら 1988)。

大腿前部筋断面積の最大値とその筋群が主に貢献する等速性膝関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力の関係(図2), ならびに大腿後部筋断面積の最大値と等速性膝関節屈曲筋力および等尺性股関節伸展筋力の関係(図3)において、群毎で有意な関係が見られたのは WL 群における大腿後部筋断面積と等速性膝関節屈曲筋力および等尺性股関節伸展筋力においてだけであった。筋断面積と筋力に有意な関係が見られることは、他の部位に比べて、被験者の単位断面積当たりの筋力に個人差が少なく一様であったことを示している(福永 1978)。ウエイトリフティングのスナッチ動作の分析から、バーの引き上げ動作において足関節底屈および膝関節伸展よりも股関節伸展の貢献度が高く、挙上時の筋出力の約 60%と見積もられている。すなわち股関節伸展筋群(大腿後部, 殿部および背部)の重要性が競技動作の特徴として示されている(Baumann et al. 1988)。この引き上げ動作はクリーン&ジャーク競技においても同様であり、トレーニングにおいて高い頻度で動員されることから(Garhammer and Takano, 1992), ウエイトリフティングにおけるこの筋群の重要性が反映されている結果と考えられた。

マスターズ選手特有の問題として、若い選手と比較して、記録の向上より維持を目的とし、厳しいトレーニングに身を曝していないことが考えられる。青年期であれば痛みを我慢してでも必要なトレーニングを実施することもあるだろう。しかし、関節の痛みや苦手意識があるスクワット運動を敬遠していることも考えられる。挙上記録の聞き取りにおいて、スクワットの 1RM を実施していないとの回答が 2 名からあった。すなわち大腿前部の筋群の主要な強化手段であるスクワット(Baechle, 2008)について、WL 群が一様なトレーニング状

況ではないことも事実であった。また、本研究において、違和感を感じ膝伸展およびスクワット動作パワー測定を1名が中止している。マスターズ・ウエイトリフティング選手を対象とした先行研究においても、多くの選手がテスト中に膝の不快感を訴えたと述べられている(Pearson et al. 2002)。このようにマスターズ選手においては、競技に取組む姿勢が異なる可能性があること、あるいは傷害を有している可能性も高いことから、青年期のアスリートほど均質な集団ではないことが推察される。このことも筋力の平均値において C 群との差が見られなかった一因と考えられた。

WL 群において実施したスナッチおよびスクワットを模した動作中の最大パワー(模擬動作パワー; Pm)はスナッチ動作で $1536 \pm 445\text{W}$ 、スクワット動作では $1613 \pm 473\text{W}$ であった。この値は日本代表候補選手のスナッチよりグリップ幅が狭いクリーン模擬動作時のパワー($1766 \pm 576\text{W}$)より低く、同じくジュニア(中学生)選手($1238 \pm 397\text{W}$)より高い値(岡田 1995)であった。また、スナッチ動作の Pm と挙上記録の間に有意な正の相関関係($r=0.88$, $P<0.01$)が大学生選手において認められている(OKADA, 2000)。本研究においてスナッチにおける Pm および Fm(最大張力)と挙上記録の間に有意な関係は見られなかったが、スクワット動作においては Pm ($r=0.91$, $p<0.05$)および Fm($r=0.94$, $p<0.01$)との間に有意な関係が認められた。この要因として、スナッチとスクワットの動作特性および加齢にともなう筋力とパワーの低下率の差異が考えられる。最大筋力はパワー出力に影響する基礎的因子である(Schmidtbleicher 1992)とされ、Stone ら(1980)は最大筋力が爆発的パワースポーツに大きく影響すると結論している。したがって、最大パワーが高いこと、および最大パワーがより高い力発揮レベルで発現することが、スナッチおよびスクワットのような高強度エクササイズで必要な要素であると考えられる。しかし、

エクササイズとしてスナッチとスクワットを比較すると、一気に頭上へ挙上するスナッチの方が、動作自体がより高速でなければ成立しない(挙上が成功しない)ため、高いパワー出力が要求される。一方、スクワットはしゃがんで立ち上がるだけの運動で、スナッチに比して技術的影響も小さく、 0.5m/s で 1RM 挙上が可能である(Garhammer, 1986)。さらに、一般高齢者と同様にマスターズ・ウエイトリフティング選手においても、加齢にともなう等尺性膝関節伸展筋力および脚伸展パワーの低下がみられ、パワー($1.3\%/年$)の方が筋力($0.6\%/年$)に比べて低下率が高い傾向にあった(Pearson et al. 2002)。このように加齢にともない、筋力よりもパワーの低下率が大きいことから、スナッチとスクワットを比較すると、スナッチの方が加齢による影響を受けやすく、最高挙上重量とパワーの関係が若年者と異なる傾向にあったと推察された。

本研究の踵骨骨密度において、 52.6 ± 6.8 歳の WL 群が 2.987 ± 0.31 、同じく 52 ± 8.3 歳の C 群は 2.789 ± 0.42 の踵骨骨密度(OSI)であったが、WL 群と C 群の間に有意差は認められなかった。しかし、WL 群は平均 35.2 ± 5.5 歳(14名)について報告されている 2.98 ± 0.36 (Tsuda-Futami et al. 1999)に匹敵し、C 群は同年代(50 ± 12 歳, 4,183名)の平均値 2.85 ± 0.32 より低い数値であった(Hirose et al. 2003)。骨量は成長とともに増加し 30歳~40歳にピークを迎え、その後低下していく。とくに女性においては閉経後に骨形成を促進するエストロゲンなどの分泌低下から、骨量の減少傾向が加速されると言われている(Heaney et al. 2000, Brown and Weir 2004)。骨粗鬆症予防においてライフスパンで見ると、青少年期の運動が骨量の増大を促し、最大骨量(Peak Bone Mass)を高め、中年期以降の骨粗鬆症リスクを低減させると考えられている(Ratamess 2008)。体重の 10 倍に及ぶ床反力に

曝されている 9 歳の女子体操選手を対象とした研究では、同年代の対照群にくらべ 5.7% 高い骨密度であった (Daly 1999). 同じく 9 歳の男子サッカー選手を対象として研究では、下肢 4%, 腰椎 2%, 大腿骨頸部 5% 非活動的な同年の対照群に比べてそれぞれ高値であった (Alfredson 1996, Vicente-Rodriguez 2003, 2004). このように体枝, 体軸骨格へ作用する骨原性張力はジャンプ, キック, スプリント走, 急激な方向変換など様々なスポーツ場面で生じている. 一方, 重力の影響が少ない水泳や漕艇のようなスポーツでは体力への有効性はあるが, 骨形成に対する利得はみられないと言われている (Guadalupe-Grau et al. 2009). このように運動は骨形成に有効であるが, 運動の特性, 種類, とくに力学的内容によって, その影響に違いがあることが分かる. 中高年者を対象とした研究において, 運動の種類あるいは強度が骨密度に及ぼす影響が見られている. Menkes ら (1993) は, 54 歳~61 歳の男性において, 週 3 回 4 ヶ月のレジスタンストレーニングを 5-15RM の強度で実施させた. その結果, 2% および 3.8% の腰椎および大腿骨頸部骨密度の増加を認めた. 一方, 40~60% $\dot{V}O_{2max}$ の定期的な有酸素運動が 53 歳~62 歳の男性において 48 ヶ月継続されたが, 加齢にともなう大腿骨骨密度の減少に対する改善効果はみられていない (Huuskonen et al. 2001). しかし, 有酸素運動 (60~90% HRmax) が 50% 1RM の軽レジスタンストレーニングと合わせて 6 ヶ月実施された事例では, 男性において骨密度が維持されたが, 女性では減少していた (Stewart 2005). これらの先行研究から, 運動の種類によって骨密度に与える影響は異なること, 加齢にともない骨量が減少している中高年者においても運動時に加わる力学的な作用のより大きい運動が, 骨密度減少を抑制する, あるいは骨密度を増加へ転じさせることが示唆されている.

このような骨格への機械的ストレスの高いスポーツ選手のプロフィール (Daly 1999 Alfredson et al. 1996, Vicente-Rodriguez et al. 2003, 2004), あるいはレジスタンスエクササイズを用いたトレーニング実験 (Huuskonen et al. 2001) から, それらが骨密度増加に好影響を有することは明らかである. 本研究で評価した腰椎 (DEXA 法) の骨密度において WL 群が C 群に比べ有意に高値であった ($p < 0.01$). Conroy ら (1993) は長期的かつより強い力学的ストレスの影響をジュニア・ウエイトリフティング選手 (17.4 歳) を対象に検討し, 同年代の対照群より有意に高い腰椎および大腿骨骨密度であったことを報告している. また, その値は一般成人 (20-39 歳) の標準値を 13~31% 上回っていた. 本研究の WL 群は平均 52 歳であったが, 最低でも 10 年以上の競技経験があり, 学生時代から継続している者では 35 年に及ぶ競技歴を有していた. また, 単なるレジスタンストレーニング実践者ではなく, ウエイトリフティング競技を長期に実践していた. 従って, トレーニングマシンなどによる単関節運動あるいは特定の筋群に着目したレジスタンストレーニングだけではなく, スナッチおよびクリーン&ジャークというバーベルを頭上へ挙上する運動を競技種目として実施し, スクワットやデッドリフトを主な補強種目として実施していた (Garhammer and Takano 1992). これらはいずれも体枝だけに負荷の掛かる運動ではなく, 体軸性骨格である脊柱にストレスが加わるため, トレーニング科学の専門書ではとくに “Structural Exercise” として分類されている (Baechle et al, 2008, Ratamess 2008). Kanehisa ら (1998) は骨密度を評価していないが, 対照群に比べて大学生 WL 選手において, 上肢および下肢の骨断面積が有意に高値 (22~57%) であることを報告し, ウエイトリフティングへの長期間の参加によって, ウエイトリフティング動作が筋とともに骨の顕著な肥大を促したと考察している.

すなわち本研究において、踵骨における有意差は見られなかったが、腰椎においてWL群がC群より38%高い骨密度を示したことは、長期間にわたる“Structural Exercise”が体軸骨格へ機械的刺激を与えた影響であろうと考えられた。

これらのことから、ウエイトリフティング競技による長期的なレジスタンストレーニングの影響として、マスターズ・ウエイトリフティング選手の腰椎骨密度および下肢の筋断面積が対照群よりも高値であること、他の部位に比べて大腿後部の筋群が強く影響を及ぼされていることが示唆された。

参考文献

- ・ Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. (1996) Total and regional bone mass in female soccer players., *Calcif Tissue Int.* 59(6):438-42
- ・ Baechle TR and Earle RW (2008) Resistance training and spotting techniques. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* 325-376
- ・ Baechle TR and Earle RW, Wathen D (2008) Resistance training. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp.381-412
- ・ Baumann, W., Gross, V., Quade, K., Galbierz, P. & Schwirtz, A. (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sports Biomechanics*, 4:68-89
- ・ Brown, LE and Weir, JP (2004) Resistance training adaptations. Baechle TR and Earle RW Ed. *NSCA's Essentials of personal training.* pp:80-98
- ・ Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, Miller PD, Dalsky GP. (1993) Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc.* 25(10):1103-1109.
- ・ Elizabeth Best-Martini, Kim A. Botenhagen-DiGenova (2003) *Exercise for Frail Elders Human Kinetics*, pp121-150
- ・ Faigenbaum AD (2008) Age- and sex-related differences and their implications for resistance exercise. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp.141-158
- ・ 福永哲夫(1978)ヒトの絶対筋力—超音波法による体肢組成・筋力の分析—。杏林書院：東京, pp.182-227
- ・ 福永哲夫(1983)筋の活動性肥大と筋力. *J J Sports Sci.* 2:13-22
- ・ Funato K, Matsuo A, Fukunaga T(2000) Measurement of specific movement power application: evaluation of weight lifters.*Ergonomics* 43(1):40-54
- ・ Garhammer J and Takano B (1992) Training for weightlifting. *Strength and power in sport.* Komi PV Ed. pp.357-369
- ・ Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Calbet JA (2009) Exercise and bone mass in adults. *Sports Med.* 39(6):439-68
- ・ Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, Weaver C (2000) Peak bone mass. *Osteoporos Int.* 11(12):985-1009
- ・ Hirose K, Tomiyama H, Okazaki R, Arai T, Koji Y, Zaydun G, Hori S, Yamashina A. (2003) Increased pulse wave velocity associated with reduced calcaneal quantitative osteo-sono index: possible relationship between atherosclerosis and osteopenia. *J Clin Endocrinol Metab.*

- 88(6):2573-8
- ・ Huuskonen J, Väisänen SB, Kröger H, Jurvelin JS, Alhava E, Rauramaa R (2001) Regular physical exercise and bone mineral density: a four-year controlled randomized trial in middle-aged men. *The DNASCO study. Osteoporos Int.* 2001;12(5):349-55
 - ・ 金久博昭(1988)筋力のトレーナビリティー. *体育の科学*, 38:446-455
 - ・ 金久博昭, 福永哲夫, 池川繁樹, 角田直也 (1986) スポーツ選手の単位筋断面積当たりの脚伸展力. *J. J. Sports Sci.*, 5:409-414
 - ・ Kanehisa H, Ikegawa S, Fukunaga T. (1998) Body composition and cross-sectional areas of limb lean tissues in Olympic weight lifters. *Scand J Med Sci Sports* 8(5):271-278
 - ・ 小林武(2001)筋力計測機器<HHD>. 内山靖・小林武・間瀬教史編 計測法入門～計り方, 計る意味. 協同医書出版社:東京, pp.124-130
 - ・ Maughan RJ, Nimmo MA (1984) The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males. *J Physiol.* 351:299-311
 - ・ Menkes A, Mazel S, Redmond RA, Koffler K, Libanati CR, Gundberg CM, Zizic TM, Hagberg JM, Pratley RE, Hurley BF (1993) Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J Appl Physiol.* 74(5):2478-84
 - ・ Nuñez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z, Heymsfield SB. (1997) Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Med Sci Sports Exerc.* 29(4):524-531
 - ・ OKADA J (2000) Power and force output during a specific movement in weightlifters. *J Str Cond Res* 14(3):366
 - ・ 岡田純一, 船渡和男 (1995) ジュニアおよびシニア・ウエイトリフターの競技成績と除脂肪体重およびパワー発揮能力の比較. *日本オリンピック委員会スポーツ医科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第 19 報* 日本体育協会 278-282
 - ・ 岡田純一, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 原孝子, 加藤守 (1994) 一般人の骨量と運動に関する研究. 平成 6 年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告 No.X, 日本体育協会:東京. 1-12
 - ・ Pearson SJ, Young A, Macaluso A, Devito G, Nimmo MA, Cobbold M, Harridge SD (2002) Muscle function in elite master weightlifters. *Med Sci Sports Exerc.* 34(7): 1199-1206
 - ・ Ratamess NA (2008) Adaptations to anaerobic training program. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp.93-119
 - ・ Stewart KJ, Bacher AC, Hees PS, Tayback M, Ouyang P, Jan de Beur S (2005) Exercise effects on bone mineral density relationships to changes in fitness and fatness. *Am J Prev Med.* 28(5): 453-60
 - ・ 鳥居 俊 (2003) 軽症変形性膝関節症に対する運動療法の有効例の特性. *Health Sciences*, 19(2):122-126
 - ・ Tsuda-Futami E, Hans D, Njeh CF, Fuerst T, Fan B, Li J, He YQ, Genant HK (1999) An evaluation of a new gel-coupled ultrasound device for the quantitative assessment of bone.

Br J Radiol. 72(859):691-700

- Vicente-Rodriguez G, Ara I, Perez-Gomez J, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2004) High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. Med Sci Sports Exerc. 36(10): 1789-95
- Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. Bone. 33(5): 853-859
- Westcott WL and Baechele TR (1998) Strength training past 50. Humankinetics, pp.1-10