

博士論文

ウェイトトレーニング手段として用いられる
クリーンエクササイズの負荷特性
—付加重量と動作様式に着目して—

平成 28 年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 コーチング学専攻

林 陵平

目次

略語	1
表のタイトル一覧	2
図のタイトル一覧	3
博士論文に関する業績一覧	5
第1章 緒言	1
第2章 文献研究	3
1. ウェイトトレーニング手段としてのクリーンに関する研究	3
(1) クリーンのバリエーション	4
(2) クリーンによるトレーニング効果および他の運動パフォーマンスとの関係 ..	5
2. クリーンや他のウェイトトレーニング手段におけるプル局面の力・パワー発揮 特性に関する研究	6
(1) クリーンにおけるプル局面の負荷特性	6
(2) クリーンにおけるキャッチ局面の負荷特性	11
3. 文献研究から得られた知見のまとめ	13
第3章 研究目的および研究課題	15
1. 研究目的	15
2. 研究課題	15
第4章 研究の意義、仮説および限界	16
1. 研究の意義	16
2. 研究の仮説	16
3. 作業の仮定	16
4. 研究の限界	17

第 5 章 クリーンのプル局面およびキャッチ局面における力・パワー発揮特性 (研究課題 1)	18
1. 目的	18
2. 方法	19
(1) 被験者.....	19
(2) 実験運動.....	20
(3) 測定項目および測定項目.....	20
(4) 測定項目.....	20
(5) 分析局面およびデータの規格化・平均化.....	21
(6) 統計処理.....	22
3. 結果	22
4. 考察	31
(1) 地面反力の最大値および力積.....	31
(2) 下肢 3 関節における力・パワー発揮特性.....	35
5. 要約	37
第 6 章 クリーンのプル局面における付加重量と下肢 3 関節の力発揮特性の関 係 (研究課題 2)	39
1. 目的	39
2. 方法	40
(1) 被験者.....	40
(2) 実験運動.....	40
(3) 測定項目および測定項目.....	41
(4) 測定項目.....	41
(5) 分析局面およびデータの規格化・平均化.....	42
(6) 統計処理.....	43
3. 結果	43

4. 考察.....	60
5. 要約.....	65
第8章 討論.....	67
1. クリーンにおけるプル局面およびキャッチ局面の負荷特性.....	67
2. 個人が発揮したキネティクスの大きさに着目して検討したクリーンのプル局面 における負荷特性.....	69
3. ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンの負荷特性.....	71
第9章 結論.....	74
謝辞.....	76
文献.....	77

略語

SSC : Stretch-Shortening Cycle 伸張－短縮サイクル

ECC 局面 : SSC 運動におけるエキセントリック局面

CON 局面 : SSC 運動におけるコンセントリック局面

表のタイトル一覧

Table 1 Comparison of time between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60%, and 90% of 1RM.

Table 2 Comparison of kinetics between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60%, and 90% of 1RM.

Table 3 Relative loads of all subjects during clean exercises.

Table 4 Parameters of kinetics during clean exercises with loads from 20 kg to 90 kg.

Table 5 Parameters of kinetics per body weight during clean exercises with loads from 20 kg to 80 kg.

Table 6 Relationships between mean ground reaction force and mean joint torque during clean exercises with loads from 20 kg to 90 kg.

図のタイトル一覧

- Fig. 1 Typical example of vertical ground reaction force (GRF), joint angular velocity, joint torque and joint torque power during the power clean at 60% of 1RM.
- Fig. 2 Averaged patterns of vertical ground reaction force, joint angular velocity, joint torque and joint torque power during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.
- Fig. 3 Comparison of peak vertical ground reaction force and impulse between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.
- Fig. 4 Comparison of peak joint torque and peak joint torque power between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.
- Fig. 5 Comparison of barbell height between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.
- Fig. 6 Comparison of Δ Center of mass in catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.
- Fig. 7 Mean vertical ground reaction during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.
- Fig. 8 Mean vertical ground reaction force and mean joint torque of hip during clean exercises with loads from 20 kg to 105 kg.
- Fig. 9 Relationships between mean ground reaction force and additional loads during clean exercises.
- Fig. 10 Relationships between mean ground reaction force per weight and additional loads during clean exercises.
- Fig. 11 Slope of ground reaction force during clean exercise.

- Fig. 12 Relationships between mean joint torque of hip and additional loads during clean exercises.
- Fig. 13 Relationships between mean joint torque of hip per weight and additional loads during clean exercises.
- Fig. 14 Slope of mean joint torque of hip during clean exercise.
- Fig. 15 Relationships between slope of mean ground reaction force and mean joint torque of hip during clean exercises with loads from 20 kg to 80 kg.
- Fig. 16 Relationships between Δ Ground reaction force (submaximal - 1RM) during clean exercises.
- Fig. 17 Mean ground reaction force and peak joint torque of hip during clean exercises with loads from 20 kg to 90 kg.
- Fig. 18 The load characteristics of the clean exercises in weight training method.

博士論文に関する業績一覧

本論文は, 以下に示した投稿論文, 学会発表および未発表資料をまとめたものである.

【原著論文】

林 陵平・荻山 靖・図子浩二 (2016) クリーンエクササイズにおける挙上重量と下肢3関節の力発揮特性. 体力科学, 65 : 243-254.

林 陵平・荻山 靖・吉田拓矢・図子浩二 (印刷中) クリーンエクササイズのキャッチ局面動作をトレーニング手段に用いる場合の負荷特性 : 主要局面であるプル局面との比較を通して. 体育学研究, 61.

【査読付学会議事録】

Hayashi R., Kariyama Y., Yoshida, T., Takahashi K., Zushi A., Zushi K. : Comparison of pull and catch phases during clean. Proceedings of the 33rd Congress of International Society of Biomechanics in Sports. Poitiers, France 346-349. 2015.

【学会議事録】

Hayashi R., Kariyama Y., Yoshida, T., Takahashi K., Zushi A., Zushi K. : Comparison of pull and catch phases during clean. Comparison of pull and catch phases during clean exercises. The 33rd Conference on Biomechanics in Sports, Poitiers, France : 2015, 06.

林 陵平, 吉田拓矢, 荻山 靖, 図子浩二 : クリーンエクササイズにおけるキャッチ動作をトレーニング指導することの重要性 : 第 27 回日本トレーニング科学会大会 : 2014 年 11 月.

林 陵平, 荻山 靖, 岡子浩二 : クリーンエクササイズにおける付加重量と下肢関節が実際に発揮する力との関係 : 第 25 回日本トレーニング科学会大会 : 2012 年 04 月.

第1章 緒言

各種スポーツ種目では、できるだけ大きな力やパワーを発揮する能力がパフォーマンスの優劣に影響を及ぼす一つの要因となる (Stone, and O'Bryant, 1987; 図子ほか, 1993). この能力を向上させるためのトレーニング手段の1つとして、ウェイトトレーニングが用いられている. ウェイトトレーニングは、様々なスポーツ種目において多くのアスリートが競技パフォーマンスの改善を図るために用いるトレーニング手段である (Stone and O'Bryant, 1987; Newton, 2010). その中でも特に爆発的な力・パワー発揮能力を改善する手段として、床から肩の高さまで一気にバーベルを挙上するとともに、即座に胸の前でキャッチする運動であるクリーンエクササイズ (以下、クリーンと略す) が挙げられる (Garhammer, 1984; Rippetoe and Bradford, 2011; Stone, 1993).

クリーンは、バーベルを床から挙上するプル局面とバーベルを胸の前で受け止めるキャッチ局面とに大別することができる. これまでのプル局面に関する研究では、付加重量の増加に伴って地面反力は増大することが報告されている (Comfort, 2013; Kawamori et al., 2005). また、下肢主働筋は主にコンセントリックな筋収縮によって力を発揮していること (Enoka, 1988), 下肢3関節の中でも特に股関節における関節トルクおよびトルクパワー発揮が大きいこと (Kipp, 2011) が報告されている. しかし、下肢3関節の関節トルクおよびトルクパワーに関する情報は、最大挙上重量 (One repetition maximum : 1RM) に対する65%以上の付加重量と、比較的重い付加重量のみを用いた試技に限定した内容に留まっている (Enoka, 1988; 長尾ほか, 2012; Kipp et al., 2011). ウェイトトレーニングでは、付加重量の大きさはトレーニングの強度を決定する際に重要な要因となること (図子, 2000) から、ウェイトトレーニングを効果的に行うためには、付加重量と下肢3関節の関節トルクおよびトルクパワーとの関係を理解しておくことが重要になると考えられる. しかし、実際のトレーニング現場では、1RMの65%よりも軽い付加重量を用いる場合もある. そのために、それよりも軽い付加重量を用いた際の下肢3関節の関節トルクおよびトルクパワーについても明らかに

することができれば、クリーンをウェイトトレーニング手段として用いる際に有益な情報となることが考えられる。

ウェイトトレーニングでは、発揮する力の大きさは用いる付加重量の大きさのみによって決定されるものでなく、挙上動作の素早さを反映する加速度の大きさにも依存することが推測できる。このために、一定の付加重量を挙上する場合であっても、加速度の大きさに違いが生じる場合には、下肢3関節のキネティクスや地面反力は個人によって異なる可能性があると考えられる(図子, 2008)。しかし、付加重量の増加に伴う負荷特性について個別に評価したものは見当たらない。

一方、プル局面に引き続き生じるキャッチ局面では、落下するバーベルの付加重量を身体で受け止めなければならないために、バーベルをキャッチする際の下肢主働筋は、主にエキセントリックな筋収縮によって力を発揮していることが推察される。先行研究では、下肢3関節の中でも特に膝関節における関節仕事が多いこと(Moolyk et al., 2013)が示されている。これらのことから、クリーンのキャッチ局面における下肢の力・パワー発揮特性について、上述したプル局面の特性と比較した場合には、動員される主要筋群や筋の収縮様式、その出力の大きさは両局面で異なることが推察される。このために、プル局面とキャッチ局面において動員される筋群や発揮される力やパワーの大きさを明らかにすることでできれば、ウェイトトレーニングでクリーンを用いる際に有益な知見になると考えられる。しかし、これまでに各局面における力・パワー発揮特性について比較したものは存在しない。

以上のことから、動作様式が異なるクリーンのプル局面およびキャッチ局面の負荷特性について様々な付加重量を用いて検討することによって、ウェイトトレーニング手段としてクリーンを用いる際に役立つ知見を得ることができると考えられる。

第2章 文献研究

1. ウェイトトレーニング手段としてのクリーンに関する研究

陸上競技における疾走動作や踏切動作，サッカー，バレーボール，バスケットボールなどの各種球技スポーツにおける方向転換動作やジャンプ運動では，できるだけ大きな力やパワーを発揮する能力がパフォーマンスの優劣に影響を及ぼす一つの要因となる (Stone, and O'Bryant, 1987; 関子ほか, 1993). この能力を向上させるためのトレーニング手段の1つとして，ウェイトトレーニングが用いられている. ウェイトトレーニングは，バーベルや重りなどの付加重量を用いて行うエクササイズであり，上述した様々な種目において筋力・パワー発揮能力の向上を目的として用いられるトレーニング手段である (Hoffman, et al., 2004; Stone et al., 1980; Stone, and O'Bryant, 1987; Newton, 2010). ウェイトトレーニングでは，上肢の力・パワー発揮能力を改善するためのトレーニング手段としてベンチプレス，また，下肢の力・パワー発揮能力を改善するためのトレーニング手段としてスクワットなどが用いられることが多い. さらに，全身の力・パワー発揮能力を改善するための代表的なトレーニング手段としてクリーンやスナッチが挙げられる (Chen, et al., 2013; 瓜田ほか, 1992). これらの種目の中でも，クリーンはクイックリフトとも呼ばれており (長尾ほか, 2014; 関口, 2007)，床から肩の高さまで素早くバーベルを挙上するとともに，即座に胸の前でバーベルをキャッチする運動である (Comfort et al., 2012; Garhammer, 1984). クリーンは，主に大腿四頭筋，大腿二頭筋，僧帽筋，臀筋群，脊柱起立筋，腓腹筋を動員する運動であり (Stone, and O'Bryant, 1987)，これらの筋群における力・パワー発揮能力の向上を目的としたトレーニング手段として，陸上競技の短距離種目や跳躍種目や各種球技種目などにおいて幅広く用いられている (Gorostiaga et al., 2003; Kilduff et al., 2007; 瓜田ほか, 1992; Young et al., 2001). この他にも，クリーンやスナッチと同様なプル動作として，床にあるバーベルを膝の高さまで挙上するデッドリフトが存在する. クリーンはデッドリフトと比較して素早くバーベルを挙上することができ，デッドリフトの約5—6倍もの大

きな力を発揮することができることが示されている (Rippetoe and Bradford, 2011). クリーンとスクワットにおいて発揮された最大パワーの大きさを比較した先行研究では, クリーンにおける最大パワーがスクワットと比較して大きいことが示されている (Garhammer, 1993; McBride et al., 2011; Stone, 1993). また, 短時間にできるだけ大きな力を発揮する能力の指標である Rate of force development (Aagaard et al., 2002; Andersen and Aagaard; 2006) についてみると, クリーンにおける値は垂直跳やジャンプスクワットと比較して大きいこと (Mackenzie et al., 2014) が報告されている.

以上のことから, ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンは様々なスポーツ種目において用いられる専門的な筋力・パワートレーニング手段であり, 他のウェイトトレーニングや垂直跳, ジャンプスクワットといった運動と比較して, より爆発的な力・パワー発揮能力を改善するためのトレーニング手段であることが理解できる.

(1) クリーンのバリエーション

クリーンは, 爆発的な力発揮を行うことのできるウェイトトレーニング手段であり, 様々な方法が存在する. 例えば, 床からバーベルの挙上を開始し, 胸の前でキャッチ動作を遂行するパワークリーン (Garhammer, 1984), 膝の高さからバーベルの挙上を行うハングパワークリーン (Kawamori et al., 2005), 大腿部の高さからバーベルの挙上を行うミッドサイククリーン (Comfort et al., 2011a) などが挙げられ, プル動作を開始する位置を変化させて行う方法が存在している. また, クリーンプル (Comfort et al., 2012b) やミッドサイククリーンプル (Kawamori et al., 2006) などの, キャッチ動作を行わず, プル動作のみを行う方法も存在する. プル動作のみを行う方法については, キャッチ動作を遂行する必要がないために, 通常のパワークリーンよりも重い付加重量を用いることが可能になることが報告されている (Comfort et al., 2011a). この他にも, クリーンと同様にプル動作を行うスナッチや (Baumann et al., 1988), ウェイトリフティング競技として最大挙上重量を競うクリーン&ジャークなどが挙げられる (Kauhanen, et al., 1984). このように, クリーンにはプル動作を開始する位置を変化させて行う方法や, キャッチ動作を行わず, 挙上動作のみを行う方法などの様々なバリ

ーションが存在するとともに、競技としても用いられていることが理解できる。実際のトレーニング現場では、これら様々なクリーンの中でも、パワークリーンが一般的な手段として用いられることが多い (Bosch, 2015; Newton, 2010; Everett, 2012)。

(2) クリーンによるトレーニング効果および他の運動パフォーマンスとの関係

これまでの先行研究では、様々なウェイトトレーニング種目の中からクリーンのみをトレーニング手段の対象としてトレーニングを実施し、クリーンが他の運動パフォーマンスに及ぼす影響について検討したものは見当たらない。しかし、クリーンと他のウェイトトレーニング手段を組み合わせ実施した際のトレーニング効果について検討したものが存在する。Winchester et al. (2005) は健康な男性を対象に、週 3 回の頻度で 4 週間に渡って低強度と高強度のクリーンを組み合わせたトレーニングを行わせ、トレーニング前後におけるクリーンの地面反力の最大値とパワーの最大値の比較を行った。その結果、トレーニング後には 1RM に対する 50%, 70%, 90% の付加重量を用いて行った際の地面反力の最大値やパワーの最大値が増大したことを報告している。このことから、クリーンをトレーニング手段として用いた場合には、クリーン自体の力・パワー発揮能力が改善されることが明らかとなっている。Gorostiaga et al. (2003) はサッカー選手を対象に、パワークリーンやスクワットなどのレジスタンストレーニングを週 1-2 回の頻度で 11 週間に渡って実施するトレーニング群と、トレーニングを実施しないコントロール群の 2 つの群に分け、トレーニング効果について検討している。11 週間のトレーニング期間終了後には、トレーニング群においてのみ垂直跳の跳躍高が増大したことを報告している。また、Tolcoli et al. (2016) は、大学生を対象として、パワークリーン、ハイプル、クリーン&ジャーク、ハーフスクワットなどのウェイトトレーニングを週 3 回の頻度で 8 週間に渡って実施した。8 週間のトレーニング後には、スクワットジャンプおよび垂直跳の跳躍高、10 m のスプリント走タイムが短縮したことを報告している。このように、クリーンを含むウェイトトレーニングを実施することによって垂直跳の跳躍高が増大することについては、Arabatzi et al. (2010) や Otto et al. (2012) も同様に報告している。これらのことから、各種クリーンを含んだウェイトト

レーニングは、垂直跳やスクワットジャンプなどのジャンプ能力を改善することのできるトレーニング手段であることが明らかとなっている。また、クリーンのパフォーマンスと他の運動におけるパフォーマンスとの関係について検討したものも存在する。Kawamori et al. (2005) は、ハングパワークリーンにおける最大挙上重量やパワーの最大値と、垂直跳における跳躍高や静止した状態から行う鉛直方向へのジャンプ運動における力発揮との間に有意な相関関係が認められたことを報告している。また、Hori et al. (2008) は、ハングパワークリーンにおける最大挙上重量と垂直跳の跳躍高、20 m スプリント走タイム、および方向転換能力との間に有意な相関関係が認められたことを報告している。

以上のことから、クリーンは垂直跳やスクワットジャンプなどの、下肢の爆発的な力・パワー発揮能力を改善するために有効なトレーニング手段であることが理解できる。これに加えて、クリーンのパフォーマンスがスプリント能力や方向転換能力などとも関係していることが明らかとなっている。クリーンをウェイトトレーニング手段として用いる際には、地面反力や下肢3関節における関節トルクやトルクパワーといったキネティクスの特性を理解する必要がある。これらを理解することによって、より効果的なトレーニングを推進することが可能になると考えられる。

2. クリーンや他のウェイトトレーニング手段におけるプル局面の力・パワー発揮特性に関する研究

(1) クリーンにおけるプル局面の負荷特性

1) 地面反力

クリーンのプル局面における地面反力の挙動については、はじめに床からバーベルを引き上げた直後に増大し (1st pull 局面)、その後身体が抜重するために一度減少する (Unweighted 局面)。そして、バーベルが大腿部を通過するときに再び増大を示し (2nd pull 局面)、この 2nd pull 局面において地面反力の最大値が出現すること (Garhammer, 1984; Hakkinen et al., 1984; Kauhanen et al., 1984; Mackenzie et al., 2014; Souza et al., 2002a, 2002b) が明らかとなっている。

トレーニング現場において実際にウェイトトレーニングを行う際には、1RM の値を測定し、その値をもとにして付加重量を設定する (Zatsiorsky and Kramer, 2006). つまり、付加重量の大きさはトレーニングの強度を決定する際に重要な要因となる (図子, 2000) ために、これまでのクリーンに関する先行研究では、付加重量と地面反力との関係に関するものが多く存在する. Cormie et al. (2007a, 2007b) はサッカーや陸上競技を専門とする者を対象に、McBride et al. (2011) はウェイトトレーニングの経験者を対象に、Comfort et al. (2012a) はラグビーやホッケー、サッカーを専門とする者を対象にして、パワークリーンにおける付加重量と地面反力との関係について検討しており、これら全ての研究において付加重量の増加に伴って地面反力の最大値は増大することが報告されている. また、パワークリーンとプル動作を開始する位置が異なるハングパワークリーン (Kawamori et al., 2005; Kilduff et al., 2007), ミッドサイククリーンプル (Comfort et al., 2012b; Kawamori et al., 2006), ハングハイプル (Suchomel et al., 2015) を用いて付加重量と地面反力との関係について検討したものも存在しており、これら全てにおいて付加重量の増加に伴って地面反力の最大値が増大することが報告されている. これらの結果については、男女の大学生を対象に同じ付加重量を用いた Comfort et al. (2015) の報告においても同様な見解が得られている.

以上のことから、各種クリーンのプル局面では、付加重量の増加に伴って地面反力が直線的に増大することが明らかとなっている.

2) 下肢3関節における関節トルクおよびトルクパワー

クリーンは全身の力・パワー発揮能力を改善するための手段であるが、これらの中でも特に下肢筋群が主働となる運動であることから、これまでに下肢3関節における関節トルクおよびパワーについて検討した研究が多く存在する. 上述したように、付加重量の大きさは、トレーニングの強度を決定する際に重要な要因となること (図子, 2000) から、付加重量と下肢3関節において発揮される関節トルクやトルクパワーの大きさとの関係について検討した研究が多く存在する. Kipp et al. (2011) は、異なる種目の競技者を対象に、1RM に対する 65 %, 75 %, 85 %の付加重量を用いて、パワークリーン

中の下肢3関節の関節トルクおよびトルクパワーについて検討した。その結果、関節トルクパワーについては変化が認められなかったものの、関節トルクについては、全ての付加重量において股関節および足関節の値が膝関節と比較して大きかったことを報告している。また、長尾ほか(2012)は男子大学生を対象に、1RMに対する70%の付加重量を用いて下肢3関節における関節仕事について検討しており、特に股関節の仕事の値が最も大きいことを示している。クリーンのプル局面における関節仕事については、瓜田ら(1992)も検討しており、体幹の反動動作を用いて行うクリーン(オリンピックリフト方式のクリーン)と、体幹の反動動作を用いないで行う挙上を行うクリーン(体幹部をできるだけ起こした姿勢から行うクリーン)における下肢3関節の仕事について比較した。その結果、どちらのクリーンにおいても、股関節における仕事が下肢3関節の中で最も大きな値を示したことを報告している。しかし、この研究では各条件の試技で異なる対象者1名のみを用いて比較しているために、この結果には、個人の動作が影響している可能性があると考えられる。また、長尾ほか(2012, 2014)は、熟練者が未熟練者と比較して下肢3関節のキネティクスの値が大きいことを報告しており、これには、高負荷状況下においてバーベルに加速度を与えるための技術であるダブルニーベンドやセカンドニーベンド(Enoka, 1979, 1985)などの技術が影響している可能性があることを示唆している。

一方で、ウェイトリフターを対象とした研究も存在する。Enoka(1988)はウェイトリフターを対象に、競技会における最大挙上重量に対する69%, 77%, 86%の付加重量を用いてクリーン&ジャークを行わせた。その結果、クリーンのプル局面では股関節における伸展トルクと正のパワーが大きいことを報告している。また、クリーンと同様に、下肢や体幹などの全身の筋群を動員して行う運動として、同じプル動作であるスナッチが挙げられる。Baumann et al.(1988)は、スナッチのプル局面における下肢3関節の関節トルクについて検討しており、股関節において発揮された関節トルクの大きさは、膝関節および足関節と比較して約2—3倍大きい値を示すこと、挙上中における股関節トルクの最大値と競技成績との間には相関関係があることを明らかにしている。また、下肢3関節の力・パワー発揮特性については、熟練者と未熟練者を比較した研究も存

在している。Enoka (1988) は、ウェイトリフティングの経験年数の異なるウェイトリフターを対象として、クリーンのプル局面における下肢 3 関節の関節トルクおよびパワーについて検討しており、経験年数の長い者は、経験年数の短い者と比較して、股関節において発揮したパワーの値が大きく、発揮パターンについても異なっていたことを報告している。これに関しては、スナッチを対象とした研究 (Garhammer, 1980) においても同様なことが報告されている。

これらのことから、ウェイトトレーニング手段として用いられているクリーン、または、ウェイトリフティング種目であるクリーン&ジャークのクリーンやスナッチといった床からバーベルを挙上する運動では、下肢 3 関節の中でも特に股関節における関節トルクやトルクパワーが大きく、熟練者は未熟練者と比較して発揮する力が大きいことが明らかとなっている。しかし、これまでに示してきた下肢 3 関節のキネティクスについての知見については、1RM の 65%以上と、ある特定の付加重量を用いた試技に留まっている (Enoka, 1988; 長尾ほか, 2012; Kipp et al., 2011)。実際にクリーンを用いる場合には、1RM の 65%よりも軽い付加重量を用いる場合があるために、軽い付加重量から重い付加重量までの様々な付加重量を用いて付加重量と下肢 3 関節の力発揮発揮能力との関係について検討する必要があると考えられる。

3) クリーンのプル局面における力発揮

これまでに示したクリーンに関する付加重量と地面反力との関係に関する先行研究では、全被験者の平均値を用いて検討しているものが非常に多く存在しており、付加重量の増加に伴って地面反力の大きさは直線的に増大することが明らかとなっている (Comie et al., 2007a, 2007b; Comfort et al., 2012a, 2012b, 2015; Kawamori et al., 2005, 2006; Kilduff et al., 2007; McBride et al., 2011; Suchomel et al., 2015)。一方で、個人が発揮した地面反力の大きさに着目することの重要性を指摘しているものも存在する。船渡・関口 (1989) は、ソウル五輪の金メダリストと日本代表クラスのリフターを対象に、110 kg のスナッチ試技における地面反力の大きさを比較しており、異なる 2 選手が同じ付加重量のバーベルを挙上しているにも関わらず、地面反力の鉛直成分およ

び前後成分には差が生じていたことを報告している。これに関しては、船渡（1993）も同様な報告をしている。また、図子（2008）はクリーンにおける付加重量と地面反力の最大値との関係について、同じ重さの付加重量を挙上しているにも関わらず、地面反力の最大値の大きさは個人によって異なる可能性があること、最大挙上重量の試技における地面反力の最大値が必ずしも最大値を示さない可能性があることを報告している。これらのことから、クリーンにおける付加重量と地面反力との関係をみると、個人によって異なっていることが考えられる。永松ほか（2003）は、スクワットの反動動作の有無による地面反力の相違について検討しており、同じ付加重量を用いているにも関わらず、地面反力の大きさについては、反動動作を用いて連続的に行うスクワットの方が反動動作を用いないスクワットと比較して大きかったことを報告している。付加重量が同じ大きさであるにも関わらず、反動動作ありのスクワットで地面反力が大きかったことは、加速度が大きかったこと、つまり挙上動作が素早かったことが影響していた可能性のあることを報告している。このことを考慮すると、クリーンで同じ付加重量を用いているにも関わらず、地面反力の値が個人によって異なることについては、挙上動作の素早さが影響していることが考えられる。また、クリーンでは地面反力と付加重量との関係が個人によって異なっていることを考慮すると、付加重量と下肢3関節のキネティクスとの関係についても地面反力と同様に個人で異なっていることが推測される。このように、個人によって用いる付加重量と発揮されるキネティクスとの関係が異なることについては、個人の筋の横断面積、神経系の要因、筋組成や動作要因（深代，1990；市橋，1996）が影響していることが考えられる。先行研究では、クリーンでは股関節周りの筋群がより多く動員されることが明らかとなっており（船渡，1995；Kipp，2011；長尾ほか，2012），大きな力を発揮するためには、これら股関節周りの筋群の中でも特に大腿二頭筋，大殿筋，脊柱起立筋をより多く動員することが重要な要因となる（船渡・関口，1989）。このために、クリーンではこれらの筋群における量的要素と質的要素を高めるとともに、より多く動員することが重要になることが考えられる。一方で、動作様式に着目すると、クリーンにおいてできるだけ多くの股関節伸展筋群を動員するためには、体幹部を地面に対してできるだけ垂直になるように保持することが重要となる（Kipp et al., 2012）。

この姿勢を保持することができれば、脊柱起立筋や広背筋といった脊柱のアライメントを保持するために重要となる筋群（石井，1996）が動員されることになり、結果としてプル局面においてより大きな力やパワーを発揮することができることが報告されている（Kipp et al., 2012）。このため、股関節周りに関与する筋群において大きな力を発揮するためには、体幹部を立てて脊柱のアライメントを保持する姿勢によってバーベルを挙上することが重要な一要因になることが考えられる。

以上のことから、付加重量の増加に伴う個人の地面反力の推移に着目した場合には、被験者全体の平均値の推移とは異なる傾向を示す可能性がある。これらのことを考慮した上で、クリーンにおける付加重量と地面反力や下肢 3 関節のキネティクスとの関係を明らかにすることができれば、実際のトレーニングにおいてトレーニング強度の大きさを設定する際に役立つ知見になることが考えられる。しかしながら、これまでに付加重量と下肢 3 関節のキネティクスとの関係について個人間で検討したものは見当たらない。

(2) クリーンにおけるキャッチ局面の負荷特性

クリーンのキャッチ局面では、膝関節を約 30—45 度程度屈曲させ（Garhammer, 1984）、肘は前方に突き出し、落下してくるバーベルを肩および鎖骨の上に乗せるといった動作によって、プル動作後に落下してくるバーベルを身体で受け止めなければならない（Everett, 2012; Newton, 2010; Rippetoe and Bradford, 2011）。このように、キャッチ局面では落下してくるバーベルを受け止めなければならないために、下肢主働筋は主にエキセントリックな筋収縮が生じていると考えられる。

これまでのキャッチ局面に関する先行研究では、クリーンのキャッチ局面における動作と各種ジャンプ運動の着地動作における力・パワー発揮特性について比較しているものが存在している。Moolyk et al. (2013) は、クリーンのキャッチ動作とジャンプ運動における着地動作とが類似している動作であることを指摘しており、10 名の女性を対象として 1RM の 80% の付加重量を用いたクリーンと、垂直跳および高さ 60 cm の台から落下させるといった運動を行わせ、クリーンのキャッチ動作とジャンプ運動の着地

動作時における下肢3関節の関節仕事について比較した。その結果、クリーンのキャッチ局面における下肢の総仕事については、ジャンプ運動と比較して小さいことを報告している。これに加えて、クリーンのキャッチ動作時には、下肢3関節の中でも特に膝関節の各種キネティクスに関する値が最も大きいことを明らかにしている。また、Burkhaedt et al. (1990) は、8名のアスリートを対象として、1RMの80%および90%の付加重量を用いたクリーン、垂直跳および42 cmと63 cmの台高を用いたドロップジャンプを行わせ、クリーンのキャッチ局面とジャンプ運動の着地局面における地面反力の大きさについて検討した。その結果、クリーンのキャッチ局面における地面反力の最大値については、ジャンプ運動における地面反力の最大値と比較して小さかったことを報告している。しかし、この研究では、全被験者8名のうち、ある個人の典型例しか示されていないために、この知見を一般化することには問題があると考えられる。これらのことから、クリーンのキャッチ局面では、下肢3関節の中でも特に膝関節における力発揮が大きく、下肢主働筋では主にエキセントリックな筋収縮が生じていることが考えられる。一方のプル局面では、下肢3関節の中でも特に股関節における力・パワー発揮が大きく (Kipp, 2011)、下肢主働筋では主にコンセントリックな筋収縮が生じていることが示されている (Enoka, 1988)。したがって、キャッチ局面とプル局面における力・パワー発揮特性について比較した際には、動員される筋群や筋の収縮様式、出力される力の大きさは異なることが予想される。しかし、両局面の力・パワー発揮特性について比較したものは見当たらない。このように、プル局面との比較からみたキャッチ局面の負荷特性が明らかになっていないが、実際のスポーツ競技においてキャッチ局面が存在するのはウェイトリフティング種目だけに留まっているために、キャッチ動作をトレーニングの際に取り入れる必要がない (Suchomel et al., 2015) と指摘するものも存在する。しかし、実際のスポーツ競技における様々な動作において、下肢筋群が一度伸張する局面がみられる (図子, 2006; 図子ほか, 1993) ことを考えると、キャッチ局面についてもエキセントリックな負荷特性を加味したトレーニング手段として用いることが可能であることが考えられる。以上のことから、クリーンのキャッチ局面における力・パワー発揮特性についてプル局面との比較から明らかにすることができれば、プ

ル局面からキャッチ局面全体における負荷特性はより明確になるとともに、下肢のエキセントリックな負荷特性を加味したトレーニング手段としての有用性が期待されるが、これらに関する知見は見当たらない。

3. 文献研究から得られた知見のまとめ

以上の先行研究の結果から、ウェイトトレーニング手段として用いるクリーンに関して、以下の知見を得ることができた。

- (1) クリーンは様々なスポーツ種目において全身の力・パワー発揮能力を改善するための手段として幅広く用いられており、様々なバリエーションが存在する。
- (2) 各種クリーンにおけるプル局面では、付加重量の増加に伴って地面反力が増大する。
- (3) 各種クリーンにおけるプル局面では、付加重量の増加に伴って下肢 3 関節の関節トルクおよびトルクパワーが増大する。そして、下肢 3 関節の中でも特に股関節における関節トルクおよびトルクパワー発揮が大きい。
- (4) キャッチ局面では、下肢 3 関節の中でも特に膝関節における関節仕事大きい。

一方で、ウェイトトレーニング手段としてのクリーンを用いるために必要とされる未解決の問題点は以下の通りである。

- (1) クリーンのプル局面における付加重量と地面反力や下肢 3 関節の関節トルクおよびトルクパワーとの関係については、1RM に対する 65%以上と、比較的重い付加重量を用いた試技に留まっている。また、クリーンのプル局面とキャッチ局面における筋の収縮様式や下肢 3 関節の力・パワー発揮特性については、両局面で異なることが考えられるが、これについては明らかにされていない。
- (2) クリーンのプル局面では、付加重量の増加に伴う地面反力や関節トルクおよびトルクパワーなどの変化の仕方は個人によって異なると考えられるが、これらの関

係について個人間で検討したものは存在しない.

第 3 章 研究目的および研究課題

1. 研究目的

本研究では、ウェイトトレーニング手段として用いられているクリーンに関して、動作様式の異なるプル局面およびキャッチ局面における負荷特性について検討することによって、ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンの負荷特性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究課題

本研究では、上記の研究目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

【研究課題 1】

ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンのプル局面およびキャッチ局面における地面反力や下肢 3 関節のキネティクスの相違について明らかにする (第 5 章)。

【研究課題 2】

個人が発揮したキネティクスの大きさに着目して、ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンのプル局面における付加重量と地面反力や下肢 3 関節のキネティクスとの関係について明らかにする (第 6 章)。

第4章 研究の意義，仮説および限界

1. 研究の意義

本研究では，クリーンのプル局面からキャッチ局面における付加重量と地面反力や下肢3関節の力・パワー発揮特性との関係について検討する．これら，クリーンのプル局面からキャッチ局面にかけての一連の負荷特性を明らかにすることができれば，クリーンをウェイトトレーニング手段として用いる際に，プル局面およびキャッチ局面における力学的な負荷特性を理解した上で実施することが可能になると考えられる．

以上のことから，本研究で得られた知見は，競技者や指導者が，ウェイトトレーニング手段としてクリーンを用いる際に役立つ知見を提示できることが考えられる．

2. 研究の仮説

- (1) クリーンのプル局面およびキャッチ局面では，動員される筋群や筋の収縮様式，その出力の大きさは両局面で異なる．
- (2) クリーンのプル局面では，付加重量の増加に伴って地面反力および下肢関節キネティクスの増大の仕方については個人によって異なる．また，同じ付加重量を挙上しているにも関わらず，個人が発揮した地面反力や下肢3関節のキネティクスの大きさには差が生じる．

3. 作業の仮定

本研究では，動作の分析をバイオメカニクスの手法を用いて行ったために，以下の仮定を設けた．

- (1) 身体各セグメントは剛体としてみなすことができ，各関節は摩擦がないピンジョイントとみなすことができる．また，身体各部への質量や慣性特性は阿江（1996）の推定式を用いて算出できる．
- (2) 被験者に作用する外力は重力と地面反力のみで，空気抵抗は無視できる．

- (3) 本研究で扱った被験者は、ほぼ左右対象の動作を行ったために、どちらか一方の動作を分析することで全身の動作を知ることができる。

4. 研究の限界

本研究では、研究方法および得られた知見の一般化・普遍化に関する限界が存在する。

(1) 対象による限界

本研究では、陸上競技の跳躍種目および混成種目を専門とする男性を対象とした。このために、本研究で得られた知見を、子供や成人といった他の年齢層、女性、さらには他の競技を専門とする競技者にそのまま適応するには限界がある。

(2) 方法による限界

- 1) 本研究では、トレーニング現場で行われている運動を参考に、クリーンの試技においてはプル動作を統一せずに、プル局面では全力で素早く挙上すること、キャッチ局面では普段のトレーニングと同様にキャッチ動作を行うように指示した。このために、本研究で得られた知見を他の運動課題によるクリーンに適応することには限界がある。
- 2) 本研究では、床の位置からプル動作を開始するパワークリーンの試技を対象とした。このために、本研究で得られた知見を他のクリーンに適応することには限界がある。

第5章 クリーンのプル局面およびキャッチ局面における力・パワー発揮特性 (研究課題 1)

1. 目的

クリーンは、下肢および体幹筋群を強化するためのトレーニング手段として幅広く用いられている (石井, 1995; Rippetoe and Bradford, 2011). これまでのクリーンに関する研究では、地面反力や下肢 3 関節におけるキネティクスの情報を用いて、プル局面における力・パワー発揮特性について検討しているものが多い (Cormie et al., 2007a, 2007b; 船渡, 1995; 長尾ほか, 2012, 2014). プル局面では、付加重量の増加に伴って地面反力は増大し (Comfort, 2013; Kilduff et al., 2007), 下肢 3 関節の中でも特に股関節における関節トルクやトルクパワー発揮が大きいことが示されている (Kipp, 2011). これに加えて、下肢主働筋では主にコンセントリックな筋収縮によって動作が行われていることが報告されている (Enoka, 1988).

一方、プル局面に引き続き生じるキャッチ局面は、落下するバーベルの重量を身体で受け止めなければならないために、バーベルをキャッチする際の主働筋は、主にエキセントリックな筋収縮によって大きな関節トルクやトルクパワーを発揮している運動であると推察される. キャッチ局面に関する先行研究では、キャッチ動作とジャンプ運動の着地動作時における下肢 3 関節のキネティクスについて比較した研究が存在しており (Moolyk et al., 2013), クリーンのキャッチ局面では、下肢 3 関節の中でも膝関節における関節仕事が最も大きいことが示されている. これらのことから、クリーンにおける下肢の負荷特性についてプル局面とキャッチ局面とで比較した場合には、動員される筋群や筋の収縮様式、その出力の大きさは両局面で異なることが推察できる. しかしながら、これまでにクリーンのプル局面からキャッチ局面にかけての負荷特性について検討したものは見当たらない. クリーンのプル局面からキャッチ局面にかけての一連の負荷特性を明らかにすることができれば、クリーンをウェイトトレーニング手段として用いる際に有益な知見になると考えられる.

ウェイトトレーニングを行う際には、付加重量の大きさがトレーニングの強度を決定する際に重要な要因になること（図子，2000）から、筋力・パワートレーニングを効果的に行うためには、用いる付加重量と下肢3関節において発揮される力やパワーの大きさとの関係を理解しておくことが重要であると考えられる。しかし、プル局面に関しては1RMの65%以上という重い付加重量のみを用いた試技において、一方のキャッチ局面に関しては1RMの80%という特定の付加重量のみを用いた試技に限定した内容（Moolyk et al., 2013）に留まっている。これらの内容を考慮すると、どちらの局面においても軽い付加重量から重い付加重量までの様々な重量を用いた検討が必要であると考えられる。以上のことから、軽い付加重量から重い付加重量までを用いて、クリーンのプル局面とキャッチ局面におけるキネマティクスおよびキネティクスの相違について比較することができれば、クリーンの負荷特性をより明確にできるとともに、下肢のエキセントリックな負荷特性を加味して、ウェイトトレーニング手段としてクリーンを用いる際に役立つ知見を得ることができると考えられる。

そこで本研究では、ウェイトトレーニング手段として用いるクリーンのプル局面およびキャッチ局面における地面反力や下肢3関節のキネティクスの相違について明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

被験者には、陸上競技の跳躍および混成種目を専門とする体育専攻の男子大学生 11名（年齢：23.0±3.3 years，身長：1.72±4.24 m，体重：65.6±4.5 kg，最大挙上重量：93.46±7.47 kg）を対象とした。実験を開始するにあたり、全ての対象者に対して研究目的、方法および実験の安全性を説明するとともに、実験への参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行ったものである。

(2) 実験運動

実験試技は、床からプル動作を開始するパワークリーンとした。その際に用いた付加重量については、事前に測定した 1RM に対する 30%、60%および 90%とし、各試技はランダムに行わせた。試技開始時におけるバーベルの高さについては、全ての試技で統一した。対象者には各重量ともプル動作をできるだけ素早く全力で行い、普段のトレーニングと同様にキャッチ動作を行うように指示した。本研究では、プル動作からキャッチ動作までの一連の過程が達成できたことを成功の条件とし、各重量での試技を 3 回ずつ行わせた。成功試技の中から対象者の内省が最も良好であった試技を代表値として用いた。なお、疲労の影響を無くすために、試技間の休息は十分に確保した。

(3) 測定項目および測定項目

光学式自動動作分析装置 (Vicon Motion Systems 社製, 250 Hz) を用いて、各試技の身体各部位 (47 点)およびバーベルの左右側面 (2 点) に反射マーカを添付し、3 次元座標データを収集した。静止座標系は、試技開始時の対象者前方に直交する方向を X 軸、試技開始時の対象者前方を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸とする右手座標系と定義した。得られた身体各部の座標値は、座標成分ごとに最適遮断周波数 (5.0—15.0 Hz) を Wells and Winter (1980) の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。

地面反力は、左右それぞれの脚において測定するために 2 枚のフォースプラットフォーム (Kistler 社製, 9287C) を用いて計測し、1,000 Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後、パーソナルコンピュータ (Abee 社製, AS Enclosure 44OVT) に取り込んだ。

(4) 測定項目

地面反力は、後述する分析区間における2枚のフォースプラットフォームの合算力から算出し、得られた地面反力のデータを時間積分することによって、後述する各局面における力積を算出した。なお、下肢3関節におけるキネマティクスおよびキネティクス

の各変数については、右脚を被験脚とし、キネティクスの各変数を算出する際には、被験脚の地面反力の値を用いた。

身体に貼付した反射マーカールをもとにして、それぞれの関節角度および角速度を算出するために、下肢3関節における関節中心を算出した。足関節および膝関節については、それぞれの関節における内顆および外顆の midpoint、股関節については、臨床歩行分析研究会の提唱する推定法（倉林ほか、2003）を用いて関節中心を算出した。関節角速度については、下肢の関節角度の変位を時間微分することによって算出した。このとき、関節角速度の正の値を伸展、負の値を屈曲と定義した。なお、キネマティクスおよびキネティクスの各変数を算出するには、荻山ほか（2013）と同様な座標系を用いた。

試技中の下肢3関節の関節トルクを算出するために、下肢を足、膝および股関節で分割した3次元リンクセグメントモデルを構築した。また、Free Body Diagramにもとづき、後述するプル局面およびキャッチ局面において、各部分の近位端に作用する関節トルクを運動方程式により算出するとともに、関節トルクと関節角速度の内積を関節トルクパワーとして算出した。なお、各セグメントの重心や慣性モーメントの算出には阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いた。

また、バーベルの左右側面に貼付した反射マーカールの位置からバーベルの midpoint を算出し、最大バーベル高を算出した。

(5) 分析局面およびデータの規格化・平均化

本研究では、バーベルが動き始めた時点から、足部がフォースプラットフォームから離地した時点までをプル局面とし、プル局面後、足部がフォースプラットフォームに接地する時点から、身体重心の最下降時点までをキャッチ局面と定義した。また、分析の対象とした全ての試技において、プル局面後に足部がフォースプラットフォームから離地していることを鉛直成分の地面反力から確認し、この局面を移行局面として定義した。本研究では、各被験者がそれぞれの局面に要した時間を算出し、この結果を考慮して、プル局面に要した時間を 60%、移行局面およびキャッチ局面に要した時間をそれぞれ 20%としてデータを規格化し、1%ごとに平均化した。なお、地面反力、関節トルクお

よび関節トルクパワーについては、被験者の体重で除すことで規格化した。

(6) 統計処理

本研究における全ての統計処理は、SPSS ver. 21.0 (SPSS 社製) を用いて行われた。各変数における差の検定には 2 要因分散分析を用いた (局面×付加重量)。交互作用の有無を確認し、交互作用が認められた場合には単純主効果の検定を行い、交互作用が認められなかった場合には主効果の検定を行い、それぞれで F 値が有意であると認められた場合には、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。また、各重量間におけるクリーンにおける最大バーベル高、系重心の変化量、および力学的エネルギーの変化量の差について検討するために、1 要因分散分析を用いた。F 値が有意であると認められた場合には、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。危険率を 5%未満で判定した。なお、関節トルクパワーについては、プル局面とキャッチ局面において正負の逆の符号を示したために、それぞれの変数を絶対値化して比較を行った。

3. 結果

Fig. 1 には、1RM の 60%の付加重量を用いてクリーンを行った際の地面反力の鉛直成分、下肢 3 関節の関節角速度、関節トルクおよびトルクパワーの変化パターンについての典型例を示した。地面反力についてみると、キャッチ局面はプル局面に比べて棘波形のパターンを示し、プル局面よりも高い値を示す傾向にあった。次に、関節トルクおよびトルクパワーについてみると、プル局面では地面反力の値が最も大きな値を示した約 0.3 秒時点において股関節、膝関節、足関節の順にそれぞれ大きな値を示した。これに対して、キャッチ局面では関節トルクおよびトルクパワーが全ての関節で棘波形のパターンを示すことが認められた。

Table 1 には、クリーンのプル局面およびキャッチ局面に要した時間を、30%、60% および 90%に分けてそれぞれ平均値で示した。局面と付加重量との間に有意な交互作

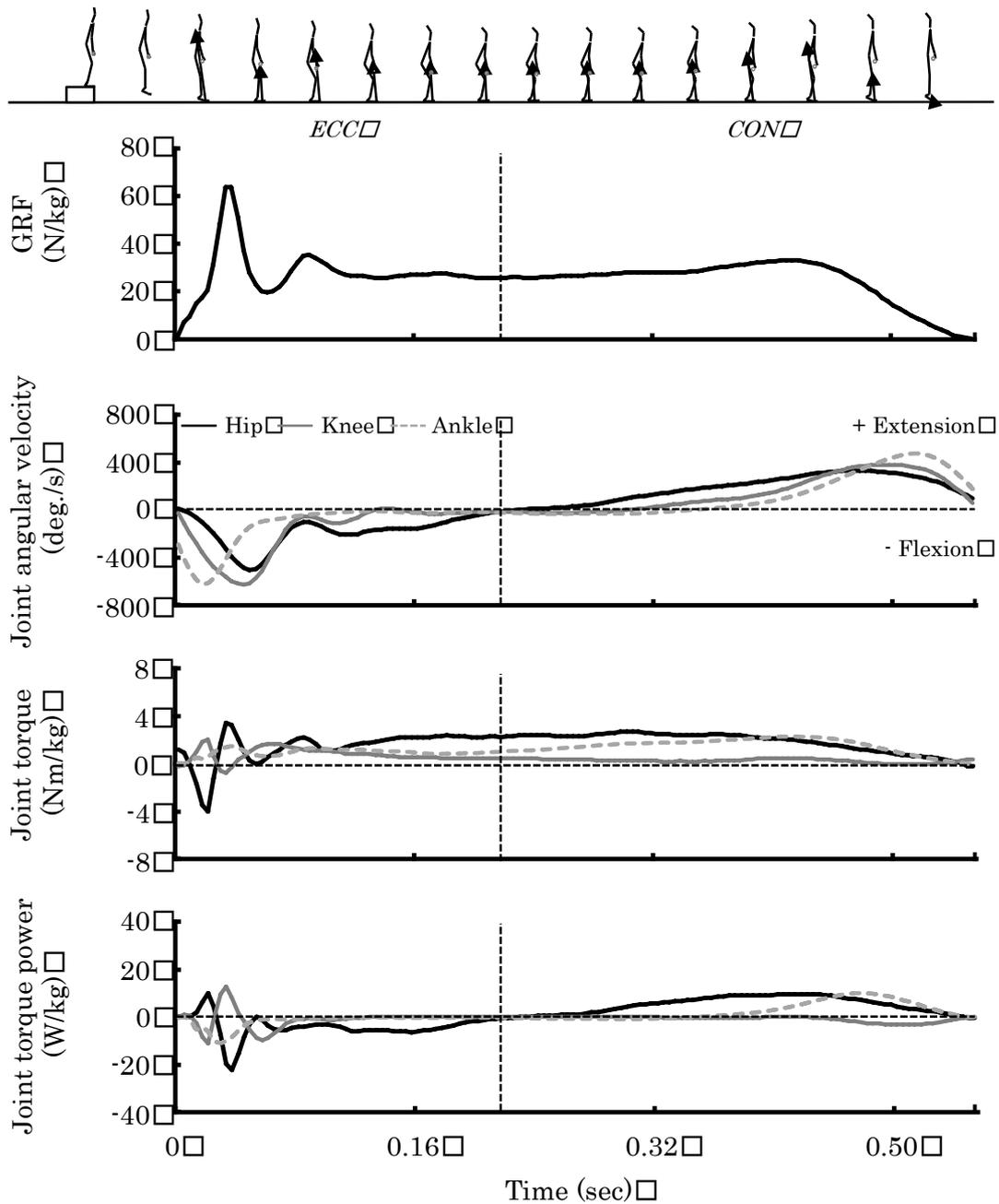


Fig. 19 Typical example of vertical ground reaction force (GRF), joint angular velocity, joint torque and joint torque power during the drop clean (Drop clean B: 1.0 body weight, 0.25 m).

Table 1 Comparison of time between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60%, and 90% of 1RM.

	Time (s)			
	30% of 1RM	60% of 1RM	90% of 1RM	Difference
Pull phase	0.323 ± 0.065	0.444 ± 0.066	0.603 ± 0.101	30%<60%<90%
Catch phase	0.137 ± 0.040	0.149 ± 0.040	0.148 ± 0.048	n. s.
Difference	Catch < Pull	Catch < Pull	Catch < Pull	-

(<; $P < 0.01$)

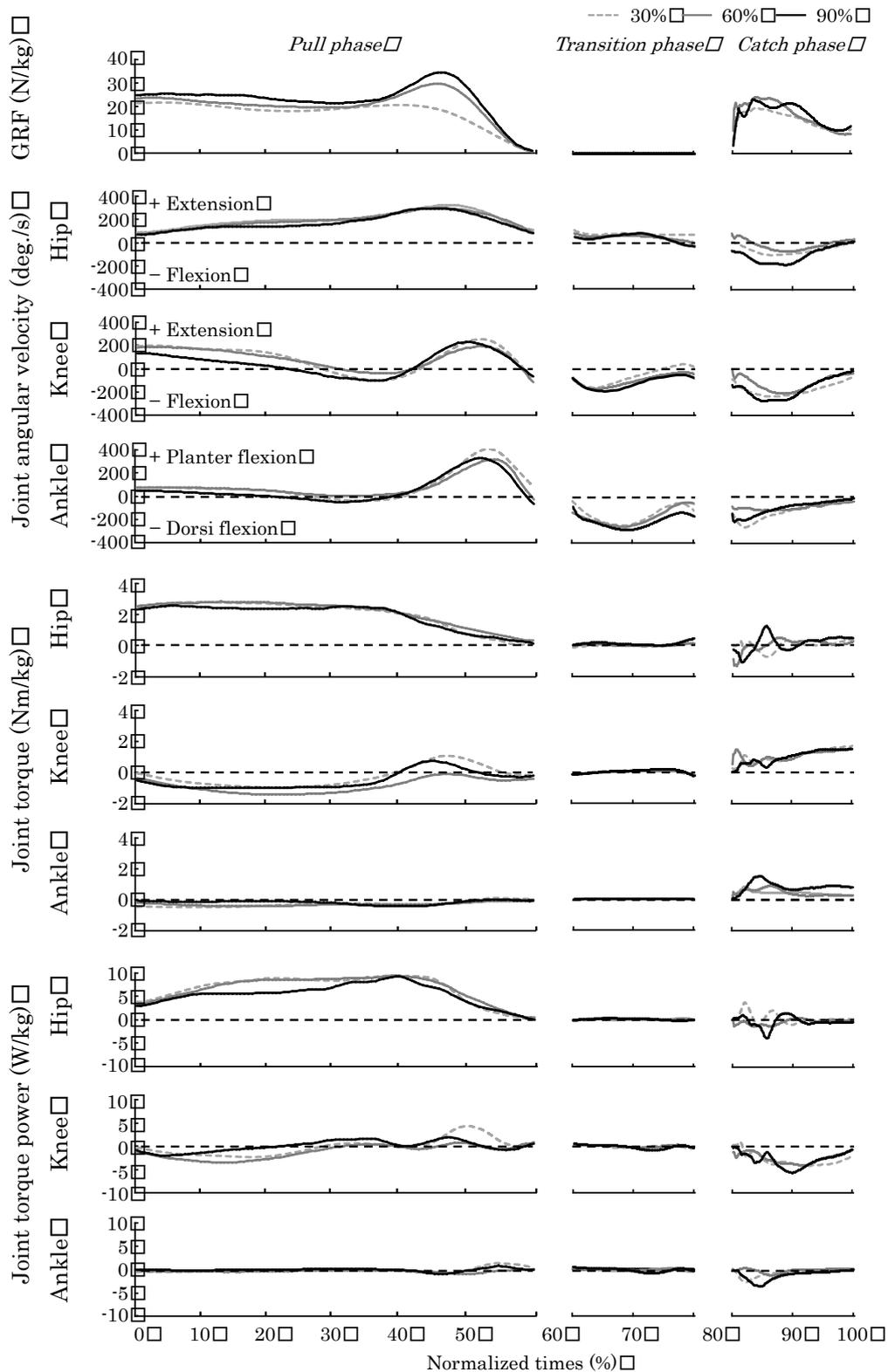


Fig. 2 Averaged patterns of vertical ground reaction force, joint angular velocity, joint torque and joint torque power during the power clean at 60%, 30% and 90% of 1RM.

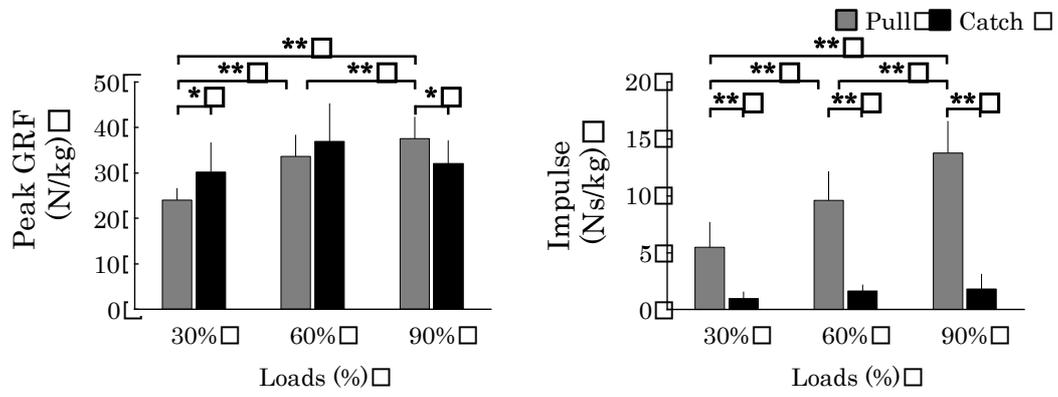


Fig. 3 Comparison of peak vertical ground reaction force and impulse between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM. (*; $P < 0.05$, **; $P < 0.01$)

Table 2 Comparison of kinetics between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60%, and 90% of 1RM.

Joint	Phase	30% of 1RM	60% of 1RM	90% of 1RM	Difference (30% vs. 60% vs. 90%)
Ground reaction force (N/kg)	Pull	23.96 ± 2.73	33.61 ± 4.79	37.58 ± 4.74	30% < 60% < 90%**
	Catch	30.17 ± 6.56	36.95 ± 8.41	32.08 ± 5.14	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Pull < Catch *	n. s.	Catch < Pull *	
Impulse (Ns/kg)	Pull	5.47 ± 0.95	9.59 ± 1.63	13.76 ± 1.80	30% < 60% < 90%**
	Catch	2.20 ± 0.65	2.59 ± 0.58	2.82 ± 1.30	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Catch < Pull **	Catch < Pull **	Catch < Pull **	
Hip	Pull	2.68 ± 0.38	2.88 ± 0.35	3.23 ± 0.38	n. s.
	Catch	1.68 ± 1.77	1.71 ± 1.08	1.87 ± 1.38	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Catch < Pull **	Catch < Pull **		
Knee	Pull	0.15 ± 0.44	0.93 ± 0.90	1.51 ± 1.09	30% < 60%** 90%, 60% < 90%*
	Catch	2.19 ± 1.69	2.20 ± 0.67	1.97 ± 1.12	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Pull < Catch **	Pull < Catch **	n. s.	
Ankle	Pull	3.30 ± 0.85	2.16 ± 0.61	1.49 ± 0.39	n. s.
	Catch	3.40 ± 0.92	1.78 ± 0.35	1.55 ± 0.56	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Pull < Catch **	Pull < Catch **		
Hip	Pull	11.25 ± 1.86	11.04 ± 2.26	11.54 ± 2.01	n. s.
	Catch	-3.55 ± 3.44	-2.83 ± 2.39	-6.15 ± 5.66	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Catch < Pull **	Catch < Pull **		
Knee	Pull	1.56 ± 1.27	3.69 ± 3.68	6.12 ± 4.80	30% < 90%** 60% < 90%*
	Catch	-8.66 ± 7.64	-7.18 ± 2.80	-7.70 ± 5.50	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Pull < Catch **	Pull < Catch *	n. s.	
Ankle	Pull	0.45 ± 0.69	1.11 ± 1.03	2.93 ± 2.77	30%, 60% < 90%*
	Catch	-4.66 ± 8.09	-2.08 ± 2.05	-5.53 ± 3.76	n. s.
	Difference (Pull vs. Catch)	Pull < Catch *	n. s.	n. s.	

*; P < 0.05, **; P < 0.01 □

用が認められた ($F=45.86, P<0.01$). 各局面に要した時間についてプル局面およびキャッチ局面を比較した結果, 全ての付加重量においてキャッチ局面の方がプル局面と比較して短いことが認められた ($P<0.01$). また, 付加重量の変化に伴う時間の変化についてみると, プル局面では 60%および 90%の値が 30%と比較して, 90%の値が 60%と比較して長いことが認められた ($P<0.01$). 一方, キャッチ局面においては差が認められなかった.

Fig. 2 には, クリーンのプル局面, 移行局面, およびキャッチ局面における下肢 3 関節の関節角速度, 関節トルク, トルクパワーの変化パターンをそれぞれ規格化時間で示した. プル局面では股関節は終始正の値を示し, 膝関節および足関節は正の値から一度負の値になり, その後局面の後半にかけて増大し, 再び正の値を示すパターンであった. また, 関節トルクおよびトルクパワーについては, 股関節, 膝関節, 足関節の順に最大値が出現することが示された. キャッチ局面では全ての関節において関節角速度が終始負の値を示した. 次に関節トルクについてみると, 膝関節および足関節では股関節とは異なり, 終始正の値を示した. 関節トルクパワーについてみると, 膝関節および足関節においては終始負の値を示した. また, 付加重量の変化に伴う関節トルクパワーの変化に着目すると, 下肢 3 関節全てにおいて同程度のばらつきが生じていることが示された.

Fig. 3 および Table 2 には, クリーンのプル局面およびキャッチ局面における地面反力の最大値および力積を, 1RM の 30%, 60%および 90%に分けてそれぞれ平均値で示した. 地面反力の最大値については, 局面と付加重量との間に有意な交互作用が認められた ($F=7.36, P<0.01$). 地面反力の最大値についてプル局面およびキャッチ局面を比較した結果, 1RM の 30%においてはキャッチ局面の方がプル局面と比較して大きく ($P<0.05$), 逆に 1RM の 90%においてはプル局面の方が大きいことが認められた ($P<0.05$). また, 付加重量の変化に伴う地面反力の最大値の変化についてみると, プル局面では 1RM の 30%, 60%, 90%の順に大きいことが認められたが ($P<0.01$), キャッチ局面においては, 各重量において差は認められなかった. 一方, 力積については, 各局面における力積と局面との間に有意な交互作用が認められたが ($F=108.12, P<0.01$). 力積についてプル局面およびキャッチ局面を比較した結果, 全ての付加重量に

においてプル局面の方がキャッチ局面と比較して大きいことが認められた ($P < 0.01$). また, 付加重量の変化に伴う力積の変化についてみると, プル局面では 60%および 90%の値が 30%と比較して, 90%の値が 60%と比較して大きいことが認められた ($P < 0.01$). 一方, キャッチ局面においては差が認められなかった.

Fig. 4 および Table 2 には, クリーンのプル局面およびキャッチ局面における関節トルクおよびトルクパワーの最大値を 1RM の 30%, 60%および 90%に分けてそれぞれ示した. はじめに, 関節トルクの最大値についてみると, 膝関節トルクにおいてのみ局面と付加重量との間に有意な交互作用が認められた ($F = 5.17, P < 0.05$), 股関節および足関節においては有意な交互作用が認められなかった (股関節: $F = 0.21, n.s.$, 足関節: $F = 0.88, n.s.$). なお, 股関節および足関節において主効果の有無を検討した結果, 股関節 (キャッチ局面 < プル局面, $P < 0.01$) および足関節 (プル局面 < キャッチ局面, $P < 0.01$) において局面の要因に有意な主効果が認められた. 関節トルクの最大値について, プル局面およびキャッチ局面を比較した結果, 膝関節では 1RM の 30%および 60%においてキャッチ局面の方がプル局面と比較して大きいことが認められた ($P < 0.01$). 付加重量の変化に伴う関節トルクの最大値の変化についてみると, プル局面においてのみ差が認められ, 膝関節において, 1RM の 90%の値が 30%と比較して大きいことが認められた ($P < 0.01$). 次に, 関節トルクパワーの最大値についてみると, 膝関節および足関節トルクパワーにおいて有意な交互作用が認められたが (膝関節: $F = 4.09, P < 0.05$, 足関節: $F = 4.48, P < 0.05$), 股関節には有意な交互作用が認められなかった ($F = 1.74, n.s.$). なお, 股関節において主効果の有無を検討した結果, 局面の要因において有意な主効果が認められた (キャッチ局面 < プル局面, $P < 0.01$). 関節トルクパワーの最大値について, プル局面およびキャッチ局面を比較した結果, 膝関節および足関節では, 1RM の 30%においてのみキャッチ局面の方がプル局面と比較して小さい (負の値であり, 絶対値としては大きい) ことが認められた (膝関節: $P < 0.01$, 足関節: $P < 0.05$). 付加重量の変化に伴う関節トルクパワーの最大値の変化についてみると, プル局面においてのみ差が認められ, 膝関節では 1RM の 90%の値が 30%と比較して, 足関節では 1RM の 60%および 90%の値が 30%と比較してそれぞれ大きいことが

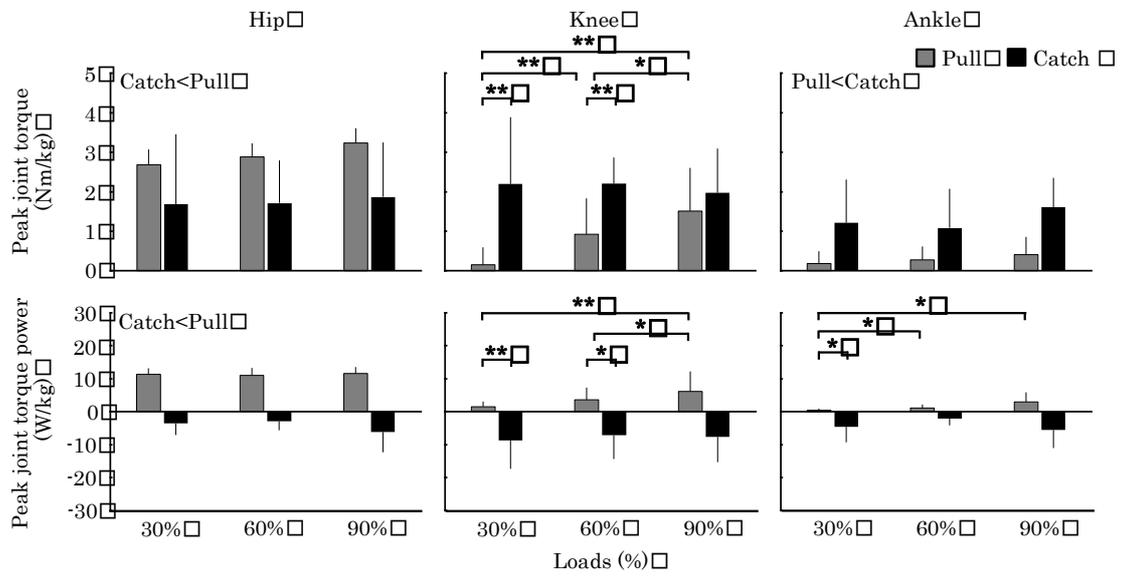


Fig. 4 Comparison of peak joint torque and peak joint torque power between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60%, and 90% of 1RM.

(*; $P < 0.05$, **; $P < 0.01$)

認められた ($P < 0.01$).

Fig. 5 には各重量における最大バーベル高の結果を, 1RM の 30%, 60%および 90% に分けてそれぞれ平均値で示した. 1RM の 30%, 60%, 90%の順に大きいことが認められた ($F = 32.94$, $P < 0.01$).

Fig. 6 には, クリーンのキャッチ局面における身体重心の変化量の結果を, 1RM の 30%, 60%および 90%に分けてそれぞれ平均値で示した. 系重心の変化量および力学的エネルギーの変化量のどちらにおいても有意な差は認められなかった.

4. 考察

(1) 地面反力の最大値および力積

はじめに地面反力の最大値について, プル局面とキャッチ局面とを比較した結果, 1RM の 60%の付加重量においては差が認められなかった (Fig.3 および Table 2). これに対して, 1RM の 30%の付加重量においては, キャッチ局面と比較して大きい値を示し, 1RM の 90%の付加重量においては, 逆にプル局面と比較して大きいことが認められた. これに関しては, プル局面では付加重量の増加に伴って地面反力が増大するが, キャッチ局面では地面反力に変化がみられず, 付加重量の増加に伴う地面反力の最大値における変化の仕方が各局面で異なっていることを示している. また, 1RM の 30%の結果を考慮すると, キャッチ局面では軽い付加重量を用いた場合に, 主要な局面であるプル局面と同程度の負荷を与えることのできるトレーニング手段となり得ることが示唆された. また, 実際のスポーツ競技では, 短時間に大きな力・パワー発揮をする能力が要求される場面が多い. このことを考慮すると, 1RM の 30%と比較的軽い付加重量を用いた際には, プル局面のみならず, 局面に要した時間が短く, 地面反力の最大値がプル局面と比較して大きいことが示されたキャッチ局面も有効なトレーニング手段であると考えられる.

各局面における地面反力の最大値の変化についてみると, プル局面では付加重量の増

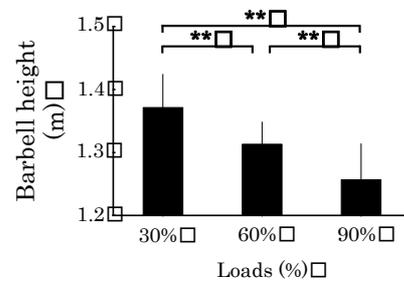


Fig. 5 Comparison of barbell height between the pull and catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM. (**; $P < 0.01$)

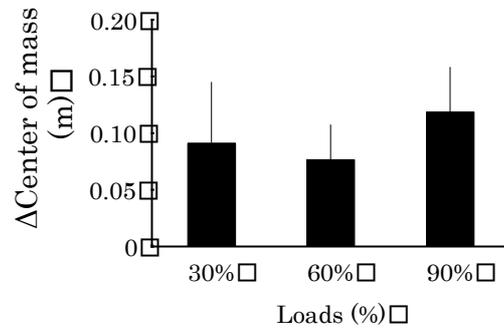


Fig. 6 Comparison of Δ Center of mass in catch phases during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM.

加に伴って地面反力の最大値は増大することが示された (Fig.3 および Table 2). この結果は, 本研究と同様の重量設定でクリーンを行わせた先行研究 (Cormie et al., 2007b; Comfort, 2012b) と同様であった. しかし, 付加重量の増加に伴う地面反力の変化についてみると, 付加重量が 30% の際の地面反力の最大値は 23.96 ± 2.73 N/kg であり, 2 倍の 60% では 33.61 ± 4.79 N/kg, 3 倍の 90% では 37.58 ± 4.74 N/kg であった. これらのことから, クリーンのプル局面では用いる付加重量が 2 倍, 3 倍と増加しても, 地面反力の最大値については, 同様な変化を示さないことが示された. したがって, 付加重量とそれを挙上する際の負荷強度, つまり地面反力の大きさを理解した上で, クリーンを実施することが有益になると考えられる. 一方, キャッチ局面では, 付加重量が増加しても地面反力の最大値や力積の大きさに有意な差は認められなかった. 本研究では, これらに変化が認められなかった原因について検討するために, 各付加重量における最大バーベル高とキャッチ局面における身体重心の変化量について検討した. はじめに最大バーベル高についてみると, 付加重量の増加に伴って最大バーベル高が有意に低くなることが示された (Fig. 5). この結果から各付加重量においてキャッチ瞬時にバーベルが有している運動エネルギーを構成する質量と速度の要因について考えてみると, 付加重量の増加に伴って質量の要因となる付加重量については増加することが考えられる. これに対して, 最大バーベル高については有意に低くなるために, 速度の要因となるキャッチする瞬間のバーベル速度については付加重量の増加に伴って減少することが考えられる. このため, 付加重量の増加に伴って質量と速度の 2 つの要因が相反する結果となったために, キャッチ局面において発揮される力の大きさには変化がみられなかったことが推察される. また, 付加重量間におけるキャッチ局面の開始時から終了時にかけての身体重心の変化量 (Fig. 6) について比較した結果, 付加重量間には有意な差が認められなかった. したがって, クリーンのキャッチ局面では用いた付加重量の大きさに関わらず, 同じ身体の沈み込み動作によってバーベルを受け止めていたことが推察され, この理由から, キャッチ局面における時間や力積には変化がみられなかったことが考えられる.

(2) 下肢 3 関節における力・パワー発揮特性

下肢 3 関節における関節トルクおよびトルクパワーの最大値の大きさについて検討した結果 (Fig.4 および Table 2), プル局面では股関節における関節キネティクスが大きいことが認められた. これに対して, キャッチ局面では膝関節および足関節における関節キネティクスが大きいことが認められた. これらのことから, 下肢 3 関節におけるキネティクスについて, プル局面とキャッチ局面とを比較した場合には, プル局面動作では股関節に関与する筋群が高い貢献を示すのに対して, キャッチ局面動作では膝関節および足関節に関与する筋群が高い貢献を示す特性を有していることが考えられる. 一方, 付加重量の増加に伴う関節トルクおよびトルクパワーの最大値の変化についてみると, プル局面では膝関節においてのみ関節トルクが有意に増大し, 膝関節および足関節における関節トルクパワーが有意に増大することが認められた. 先行研究では, クリーンのプル局面における付加重量と下肢 3 関節の力発揮との関係について検討されており (Kipp et al., 2011), 付加重量の増加に伴って下肢 3 関節全てにおける関節トルクが増大することが示されている. しかし, 本研究では, 股関節および足関節における関節トルクについては, 付加重量の増加に伴う変化が示されなかった. 先行研究では (Kipp et al., 2011), ウェイトリフティング種目を専門とするナショナルコーチの指導を受けた女性と男性の被験者が対象であったのに対して, 本研究ではウェイトリフティングを専門とする指導者による指導が行われていない男性のみの被験者が対象であった. このため, 先行研究と異なる結果が示されたことについては, 被験者の性別やプル動作の技術レベルが異なったために, 動員される筋群や発揮される力やパワーの大きさが異なったことが影響していると考えられる. 一方で, キャッチ局面における下肢 3 関節のキネティクスをジャンプ運動と比較した研究 (Moolyk et al., 2013) では, 下肢 3 関節の中でも特に膝関節におけるキネティクスが大きいことが報告されており, 本研究の結果はこの結果を支持するものであった. しかし, この先行研究では, 1RM の 80% という特定の付加重量のみを用いた試技に限定した内容に留まっている. 本研究では, 1RM の 30%, 60%, 90% の 3 つの付加重量を用いた検討を行っており, キャッチ局面では地面反力の最大値の結果と同様に, 付加重量が増加しても全ての関節で関節トルクおよびトル

クパワーの最大値に変化は認められなかった。したがって、クリーンのキャッチ局面では、付加重量の増加が伴っても下肢 3 関節における関節キネティクスは増大しないことが示された。これらのことから、クリーンは軽い付加重量から重い付加重量にかけて、プル局面では股関節における関節キネティクスが大きく、キャッチ局面動作では膝関節および足関節における関節キネティクスが大きいという特性を有するトレーニング手段であることが考えられる。

クリーンのプル局面における下肢筋群の収縮様式に着目すると、主に股関節伸展筋群におけるコンセントリックな筋収縮が生じていることが先行研究によって明らかとなっている (Enoka, 1988; Kipp et al., 2011; 長尾ほか, 2012)。これに対して、キャッチ局面を対象とした本研究の結果では、全ての付加重量で膝関節および足関節の関節角速度については負の値、関節トルクについては正の値、関節トルクパワーについては負の値になることが認められた (Fig. 2)。これらのことから、キャッチ局面では、1RM の 30%と比較的軽い重量から 1RM の 90%と比較的重い重量までの全ての付加重量において、主に膝関節伸展筋群および足関節底屈筋群はエキセントリックな筋の収縮様式によって力やパワーを発揮し、落下してくるバーベルを受け止めていることが考えられる。したがって、本研究の結果からクリーン中の下肢 3 関節における主働筋の収縮様式については、軽い重量から重い重量にかけてプル局面とキャッチ局面とでは全く相反する特徴であることが示された。下肢 3 関節がそれぞれ有している構造的および機能的について検討した先行研究 (図子ほか, 1998) では、股関節は身体を中心部に位置し、質量比および慣性モーメントの大きい体幹部を動かす機能を有していることが報告されている。また、Rippetoe and Bradford (2011) は、クリーンのプル局面では、初期姿勢において股関節が下肢 3 関節の中でも最も大きなモーメントアームを有することを報告している。これらの理由から、プル局面では股関節まわりに関与する大殿筋や内転筋群などの非常に大きな筋群が主要な原動力となっていたために、膝関節における関節トルクおよびトルクパワーが大きかったと推察できる。一方、キャッチ局面では、全ての付加重量において膝関節および足関節におけるエキセントリックな筋の収縮様式によってキャッチ動作が遂行されていることが示された。先行研究では、膝関節周りには膝蓋

腱、足関節周りにはアキレス腱などが存在しているために、股関節と比較して筋に対する腱部の占める割合が大きく、弾性エネルギーの貯蔵と再利用の働きによって力を発揮する特性を有していると考えられている (図子ほか, 1998). このために、膝関節および足関節に関与する筋群ではエキセントリックな筋収縮が生じていたことが考えられる. また、キャッチ局面では、体幹部が前傾しないような姿勢によってバーベルを保持している (Fig. 1). この際に、体幹部が過度に前傾した姿勢になってしまうと、股関節のモーメントアームが大きくなることから、股関節にかかる負荷が大きくなってしまい、キャッチ動作を保持することが難しくなってしまうことが考えられる. したがって、キャッチ動作時には股関節における負荷をできるだけ小さくするために体幹部を前傾させず、膝関節のモーメントアームを大きくした姿勢によってバーベルを受け止めていたことが考えられ、このことによって膝関節における関節トルクおよびトルクパワーの最大値が大きかったと推察できる. 先行研究では、クリーンのキャッチ動作とジャンプ運動における着地動作は同じインパクト動作であることが報告されており (Moolyk et al., 2013), ドロップジャンプなどの運動では、股関節伸展筋群と比較して膝関節および足関節伸展筋群による力発揮が大きいことが示されている (Bobbert et al., 1987). これらのことから、クリーンのキャッチ動作はジャンプ運動における着地動作と同様な動作特性を有しているために、膝関節および足関節に関する筋群に対して負荷が課せられ、末端部に位置する 2 つの関節が動員されていた可能性があることも推察できる.

以上のことから、クリーンのプル局面とキャッチ局面における下肢 3 関節の力・パワー発揮特性について比較した結果、動員される筋群や筋の収縮様式、その出力の大きさについては、各局面で異なることが明らかとなった.

5. 要約

本研究では、ウェイトトレーニング手段として用いるクリーンのプル局面およびキャッチ局面における地面反力や下肢 3 関節のキネティクスの相違について明らかにする

ことを目的とした。陸上競技の跳躍および混成種目を専門とする体育専攻の男子大学生 11 名を対象にして、1RM に対する 30%、60%および 90%の付加重量による床からのプル動作を開始するパワークリーンを行わせた。各試技における下肢 3 関節のキネティクス変数を算出した。本研究から得られたクリーンのプル局面およびキャッチ局面における特性については、以下の通りである。

- (1) 軽い付加重量から重い付加重量の全てにおいて、プル局面では股関節における関節トルクおよびトルクパワーの最大値が大きいものに対して、キャッチ局面では膝関節および足関節における関節トルクおよびトルクパワーの最大値が大きい特性を有することが示された。
- (2) クリーン中の下肢筋群に関する筋収縮様式に着目すると、プル局面では主にコンセントリックな筋収縮が生じているものに対して、キャッチ局面では主にエキセンリックな筋収縮が生じていることが示された。
- (3) キャッチ局面では付加重量を変化させても、発揮する地面反力の最大値や関節トルクおよびトルクパワーの最大値は増大しないことが示された。

以上の結果から、クリーンのプル局面とキャッチ局面とでは、異なる負荷特性を有していることが示唆された。したがって、ウェイトトレーニング手段としてクリーンを用いる際には、プル局面とキャッチ局面における負荷特性の相違に配慮し、トレーニングの目的、すなわち下肢筋群に対してコンセントリックな負荷を与えたいのか、エキセンリックな負荷を与えたいのかによって、キャッチ局面を取り入れるべきかを検討すべきである。

第 6 章 クリーンのプル局面における付加重量と下肢 3 関節の力発揮特性の関係 (研究課題 2)

1. 目的

下肢筋群および体幹筋群は多くのスポーツ競技における動作において主要な役割を果たすために、これらの筋群において大きな筋力を発揮することが、目標とする運動課題を達成するために必要な条件の一つになる (石井, 1995; Rippetoe and Bradford, 2011). これらの能力を改善するためのトレーニング手段としてクリーンが挙げられる. クリーンを実施する場合には、用いる付加重量, 回数, セット数, 休息時間をトレーニング目的に応じて変化させることが必要となり, この場合のトレーニング強度は, 一般的には付加重量によって調節されている (Zatsiorsky and Kramer, 2005). このため, クリーンのプル局面に関する先行研究では, 付加重量と地面反力の最大値 (Comfort, 2012a, 2013; Kawamori et al., 2005; Kilduff et al., 2007) および下肢 3 関節における関節トルクやトルクパワー (Kipp et al., 2011; 長尾ほか, 2012) との関係に関する研究が多く存在しており, プル局面では付加重量の増加に伴って地面反力や下肢 3 関節のキネティクスについては増大することが報告されている.

一方, 運動方程式を考慮しながら, 付加重量と力発揮との関係について考えてみると, 発揮する力は用いる付加重量のみによって決定されるものではなく, 加速度との積となることが理解できる. このことをクリーンに当てはめると, 加速度はバーベルを挙上する際のフォームやバーベルの挙上速度を反映したものである. したがって, 一定の付加重量を挙上する場合であっても, 挙上フォームや挙上速度に違いが生じる場合には, 下肢 3 関節の地面反力やキネティクスは大きく異なる可能性があると予想される. このために, プル局面における付加重量の増加に伴う力発揮特性を個別に評価した場合には, 力発揮の増加の仕方が個人によって異なり, これには個人の筋の横断面積, 神経系の要因, 筋組成や動作要因 (深代, 1990; 市橋, 1996) が影響している可能性がある. 関子 (2008) は, 付加重量の増加に伴う地面反力の変化について個別にみた場合には, 付加

重量が増加した場合には、挙上速度が著しく低下する、すなわち加速度が著しく低下するため、地面反力は増大しない可能性があること、最大挙上重量の試技における地面反力が必ずしも最大値にならない可能性があること、各被験者が同じ重さの付加重量を用いても地面反力は大きく異なる可能性があることと指摘している。クリーンでは、下肢 3 関節のキネティクスについても地面反力と同様に、個人によって異なっている可能性があると考えられるが、これに関して検討したものは存在しない。これらのことから、クリーンにおける個人が発揮したキネティクスの大きさに着目して、用いた付加重量と地面反力および下肢 3 関節のキネティクス変数との関係について検討することができれば、クリーンにおける付加重量と力発揮との関係についてはより明確になるとともに、付加重量を適切に設定するための知見を得ることができると考えられる。

そこで本研究では、個人が発揮したキネティクスの大きさに着目して、クリーンのプル局面における付加重量と地面反力や下肢 3 関節のキネティクスについて明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

被験者には、陸上競技の跳躍および混成種目を専門とする体育専攻の男子大学生 13 名（年齢： 22.0 ± 1.6 歳，身長： 1.75 ± 4.34 m，体重： 68.4 ± 4.7 kg，最大挙上重量： 83.18 ± 11.02 kg）を対象とした。実験を開始するにあたり、全ての対象者に対して研究目的、方法および実験の安全性を説明するとともに、実験への参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系倫理委員会の承認を得て行ったものである。

(2) 実験運動

実験試技は、床からプル動作を開始し、キャッチ動作が終了時点までとした。付加重量については、最初の重さを 20 kg とし、それ以降は 80 kg まで 10 kg 間隔で増加させ

続けた。その後 80 kg からは、最大挙上重量に近い対象者が出現することを考慮して、挙上重量を 5 kg 間隔で増加させた。試技開始時におけるバーベルの高さについては、全ての試技で統一した。対象者には各重量とも挙上動作をできるだけ素早く全力で行うように指示し、各重量の試技ごとに 3 回ずつ行わせた。なお、バーベルを 1 回挙上するごとに十分な休憩時間を設けて次の挙上に移るという手順で測定を行った。本研究では、挙上動作からキャッチ動作までの一連の過程が達成できたことを成功の条件とし、同重量で 3 回失敗するまで試技を行わせた。分析の対象とした試技については、成功試技の中から後述するプル局面の地面反力の最大値が最も大きかった試技を分析対象とした。

(3) 測定項目および測定項目

光学式自動動作分析装置 (Vicon Motion Systems 社製, 250 Hz) を用いて、各試技の身体各部位 (47 点) およびバーベルの左右側面の座標データを収集した。静止座標系は、試技開始時の対象者前方に直交する方向を X 軸、試技開始時の対象者前方を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸とする右手座標系と定義した。得られた身体各部の座標値は、座標成分ごとに最適遮断周波数 (10.0—15.0 Hz) を Wells and Winter の方法 (Well and Winter, 1980) にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。

地面反力は、左右それぞれの脚において測定するために 2 枚のフォースプラットフォーム (Kistler 社製, 9287C) を用いて計測し、1,000 Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後、パーソナルコンピュータ (DELL 社製, DXP061) に取り込んだ。

(4) 測定項目

地面反力については、後述する分析区間における 2 枚のフォースプラットフォームの合算力から最大値および平均値を算出した。また、本研究では 2 次元平面状 (矢状面: YZ 平面) での分析を行うために、得られた座標値を YZ 平面に投影し、キネマティクスおよびキネティクス変数を算出した。なお、関節角度や関節トルクやトルクパワーなどについては、右脚を被験脚として後述のようにしてデータを算出した。

身体に貼付したランドマークをもとにして、それぞれの関節角度および角速度を算出するために下肢3関節における関節中心を算出した。足関節および膝関節については、それぞれの関節における内顆および外顆の midpoint、股関節については、臨床歩行分析研究会の提唱する推定法（倉持ほか，1996）を用いることによって関節中心を算出した。関節角度については、足関節は膝関節中心と足関節中心を結ぶ線と足関節中心と爪先部を結ぶ線がなす角度、膝関節は股関節中心と膝関節中心を結ぶ線と膝関節中心と足関節中心を結ぶ線がなす角度、股関節は左右の肋骨下端の midpoint と股関節中心を結んだ線と股関節中心と膝関節中心を結ぶ線がなす角度としてそれぞれ定義した。関節角速度については、下肢の関節角度の変位を時間微分することによって算出した。このとき、関節角速度の正の値は伸展、負の値は屈曲を示した。

試技中の下肢3関節の関節トルクを算出するために、下肢を足、膝および股関節で分割した2次元リンクセグメントモデルを構築した。また、Free Body Diagramにもとづき、各部分の近位端に作用するトルクを運動方程式により算出するとともに、トルクと関節角速度の内積を関節トルクパワーとして算出した。なお、各セグメントの重心や慣性モーメントの算出には阿江の身体部分慣性係数（阿江，1996）を用いた。本研究では、上述したキネティクスの各変数を算出する際には、個人の最大挙上重量の大きさの影響を少なくするために、全被験者13名のうち、最大挙上重量が95 kg±5 kgの被験者9名を対象とした。

後述する付加重量と地面反力の平均値との関係について全被験者の結果をみると、付加重量の増加に伴ってキネティクスは有意に増大することが認められたが、その増大の仕方には個人によって異なることが認められた。そこで本研究では、この個人が発揮するキネティクスの相違について詳細に検討するために、付加重量に対する地面反力の平均値を回帰直線に近似させた場合の傾きを被験者ごとに算出した。なお、本研究では股関節平均トルクについても同様な方法を用いて傾きを検討した。

(5) 分析局面およびデータの規格化・平均化

本研究では、バーベルが動き始めた時点から、足部がフォースプラットフォームから

離地した時点までをプル局面と定義した。なお、地面反力、関節トルクおよび関節トルクパワーについては、被験者の体重で除すことで規格化した。

(6) 統計処理

各変数は平均値±標準偏差で示した。本研究における統計処理は、SPSS ver19.0 for Windows (SPSS 社製) を用いて行われた。各重量間における各変数の差の検定には 1 要因分散分析を用い、F 値が有意であると認められた場合には、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。各変数間の関係性の有無については、相関係数を Pearson および Spearman の方法を用いて算出した。なお、有意性は危険率を 5%未満で判定した。

3. 結果

本研究では試技開始時の重量を 20 kg とし、それ以降、挙上重量は 10 kg 間隔で増加させ続け、80 kg からは 5 kg 間隔で挙上重量を増加させた。その結果、最大挙上重量が 80 kg となった対象者が 1 名、最大挙上重量が 85 kg となった対象者が 1 名、90 kg が 5 名、95 kg が 2 名、100 kg が 2 名、105 kg が 2 名となった。したがって、80 kg 以降の重量ごとの被験者数は異なった。Table 3 は各被験者が用いた付加重量を 1 RM に対する相対的な値 (%) に置き換えて示したものである。

Fig. 7 には、各被験者の付加重量に対する地面反力の平均値を回帰直線に近似させ、回帰式を算出し、その回帰式から推定した 1RM の 30%、60%、90%における地面反力の平均値の値を示した。その結果、1RM の 60%および 90%の値が 30%と比較して、90%の値が 60%と比較して大きいことが認められた ($P < 0.01$)。

Table 4 には、全ての被験者が存在する 20 kg から 90 kg までのキネティクス変数について平均値で比較した結果を示した。なお、これらの結果については方法でも述べた通り、全被験者 13 名のうち、最大挙上重量が $95 \text{ kg} \pm 5 \text{ kg}$ の被験者 9 名を対象として検討を行ったものである。地面反力の最大値については、20 kg、30 kg の値と比較して

Table 3 Relative loads of all subjects during clean exercises. □

Subjects	Loads (kg)											
	20	30	40	50	60	70	80	85	90	95	100	105
A	23.53	35.29	47.06	58.82	70.59	82.35	94.12	100.00				
B	25.00	37.50	50.00	62.50	75.00	87.50	100.00					
C	22.22	33.33	44.44	55.56	66.67	77.78	88.89	94.44	100.00			
D	22.22	33.33	44.44	55.56	66.67	77.78	88.89	94.44	100.00			
E	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	
F	19.05	28.57	38.10	47.62	57.14	66.67	76.19	-	85.71	90.48	95.24	100.00
G	Loads (%)	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00
H	21.05	31.58	42.11	52.63	63.16	73.68	84.21	89.47	94.74	100.00		
I	19.05	28.57	38.10	47.62	57.14	66.67	76.19	-	85.71	90.48	95.24	100.00
J	22.22	33.33	44.44	55.56	66.67	77.78	88.89	94.44	100.00			
K	22.22	33.33	44.44	55.56	66.67	77.78	88.89	94.44	100.00			
L	21.05	31.58	42.11	52.63	63.16	73.68	84.21	89.47	94.74	100.00		
M	22.22	33.33	44.44	55.56	66.67	77.78	88.89	94.44	100.00			
Average	21.53	32.29	43.05	53.82	64.58	75.34	86.10	92.12	94.63	95.16	97.62	100.00
±SD	1.73	2.59	3.46	4.32	5.19	6.05	6.92	4.77	5.88	4.26	2.75	-

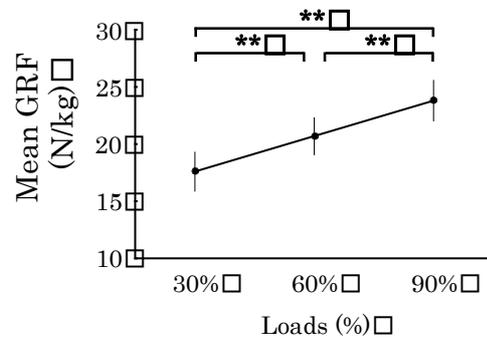


Fig. 7 Mean vertical ground reaction during the power clean at 30%, 60% and 90% of 1RM. (**; $P < 0.01$)

Table 4 Parameters of kinetics during clean exercises with loads from 20 kg to 80 kg.

	Loads (kg)										F value	Difference
	20	30	40	50	60	70	80	85	90	90		
Peak ground reaction force (N)	1574.11 ± 171.62	1722.31 ± 209.35	1851.16 ± 192.87	2036.93 ± 173.79	2156.66 ± 195.48	2380.21 ± 167.58	2512.27 ± 201.61	2481.02 ± 250.10	2607.90 ± 212.09	2607.90 ± 212.09	56.46*	20•30<50•85, 40<60•90, 50<70•90, 60<70•80
Mean ground reaction force (N)	1139.26 ± 123.97	1227.09 ± 123.60	1329.32 ± 96.46	1488.27 ± 110.45	1513.42 ± 104.85	1597.62 ± 121.90	1642.42 ± 85.38	1693.35 ± 117.00	1701.96 ± 190.12	1701.96 ± 190.12	78.05*	20<40•90, 30•40<50•90, 50<60•90, 60<70•85
Peak joint torque (Nm)												
Hip	163.27 ± 13.32	187.37 ± 20.08	196.64 ± 14.32	205.63 ± 18.34	221.07 ± 30.32	220.34 ± 19.34	224.30 ± 26.52	240.10 ± 31.39	243.30 ± 37.10	243.30 ± 37.10	17.52*	20<40•90, 30<70•85•90, 40<70
Knee	31.76 ± 21.22	35.58 ± 16.66	18.85 ± 16.54	20.78 ± 14.12	27.17 ± 24.88	43.70 ± 32.08	64.47 ± 28.87	64.68 ± 41.27	67.82 ± 30.54	67.82 ± 30.54	7.97*	40<90
Ankle	81.27 ± 18.15	100.06 ± 26.06	109.12 ± 12.32	116.30 ± 15.05	124.25 ± 18.54	131.89 ± 18.30	136.69 ± 15.97	134.43 ± 17.74	144.19 ± 22.10	144.19 ± 22.10	24.37*	20<40•90, 30<60•85•90, 40<80•90, 70<90
Mean joint torque (Nm)												
Hip	117.12 ± 23.50	122.67 ± 26.18	132.42 ± 24.13	139.99 ± 24.38	145.08 ± 15.11	150.52 ± 14.36	148.09 ± 23.96	159.73 ± 8.16	161.94 ± 23.97	161.94 ± 23.97	9.14*	20<60•70•85, 30<85
Knee	15.85 ± 16.27	19.13 ± 10.01	20.31 ± 10.02	23.67 ± 10.94	22.99 ± 10.11	28.25 ± 15.10	35.25 ± 15.55	41.69 ± 23.65	37.59 ± 10.80	37.59 ± 10.80	1.62	n. s.
Ankle	61.06 ± 16.17	70.44 ± 19.07	71.84 ± 13.03	74.04 ± 15.88	79.84 ± 18.71	79.05 ± 16.87	82.77 ± 12.54	81.07 ± 15.47	82.70 ± 17.87	82.70 ± 17.87	4.71	n. s.
Peak joint torque power (W)												
Hip	870.53 ± 139.17	865.92 ± 132.33	916.28 ± 162.99	827.13 ± 147.97	830.94 ± 141.73	802.23 ± 119.91	767.55 ± 180.74	821.02 ± 216.29	812.42 ± 190.63	812.42 ± 190.63	1.56	n. s.
Knee	83.21 ± 61.16	105.47 ± 45.72	84.12 ± 59.45	108.29 ± 70.69	146.88 ± 97.41	222.74 ± 94.21	231.31 ± 82.81	260.42 ± 180.98	251.92 ± 71.34	251.92 ± 71.34	7.32*	20•40•50<90
Ankle	185.72 ± 118.88	249.06 ± 140.85	312.56 ± 116.34	417.92 ± 112.71	465.70 ± 115.82	522.98 ± 76.08	577.13 ± 107.87	470.06 ± 167.25	587.29 ± 102.76	587.29 ± 102.76	17.68*	20<40•80•90, 30<80, 40<60•90
Mean joint torque power (W)												
Hip	482.79 ± 87.13	519.36 ± 77.73	549.46 ± 63.03	539.31 ± 84.30	503.15 ± 80.11	471.45 ± 74.80	449.54 ± 71.97	432.79 ± 84.27	425.64 ± 94.98	425.64 ± 94.98	7.11*	40>70•85, 50>80•85, 60>85
Knee	38.40 ± 48.24	25.46 ± 20.73	29.46 ± 25.73	56.03 ± 47.26	57.54 ± 59.38	71.17 ± 46.60	72.94 ± 49.69	85.14 ± 70.63	91.38 ± 54.68	91.38 ± 54.68	3.45	n. s.
Ankle	70.37 ± 37.20	92.34 ± 35.84	87.93 ± 34.15	98.29 ± 36.35	101.60 ± 29.52	103.73 ± 34.19	113.94 ± 44.57	96.75 ± 44.07	105.07 ± 36.88	105.07 ± 36.88	1.96	n. s.

H: Hip, K: Knee, A: Ankle
 < , > , * : P < 0.05

50 kg から 85 kg の値が, 40 kg の値と比較して 60 kg から 90 kg の値が, 50 kg の値と比較して 70 kg から 90 kg の値が, 60 kg の値と比較して 70 kg, 80 kg の値が, それぞれ 5%水準で有意に大きいことが認められた. また, 地面反力の平均値については, 20 kg の値と比較して 40 kg から 90 kg の値が, 30 kg, 40 kg の値と比較して 50 kg から 90 kg の値が, 60 kg の値と比較して 70 kg から 85 kg の値が, それぞれ 5%水準で有意に大きいことが認められた. 関節トルクの最大値については, 股関節では 20 kg の値と比較して 40 kg から 90 kg の値が, 30 kg の値と比較して 70 kg, 85 kg, 90 kg の値が, 40 kg の値と比較して 70 kg 値が, 膝関節では 40 kg の値と比較して 90 kg の値が, 足関節では, 20 kg の値と比較して 40 kg から 90 kg の値が, 30 kg の値と比較して 60 kg, 85 kg, 90 kg の値が, 40 kg の値と比較して 80 kg から 90 kg の値が, 70 kg の値と比較して 90 kg の値が, それぞれ 5%水準で有意に大きいことが認められた. 関節トルクの平均値については, 股関節においてのみ有意差が認められ, 20 kg の値と比較して, 60 kg, 70 kg, 85 kg の値が, 30 kg の値と比較して 85 kg の値がそれぞれ 5%水準で有意に大きいことが認められた. なお, 関節トルクに関する結果についても, 体重あたりに規格化したデータを用いた場合にも同様であった. 関節トルクパワーの最大値については, 膝関節では 20 kg, 40 kg, 50 kg の値と比較して 90 kg の値が, 足関節では 20 kg の値と比較して 40 kg から 80 kg と 90 kg の値が, 30 kg の値と比較して 90 kg の値が, 40 kg の値と比較して 60 kg と 90 kg の値が, それぞれ 5%水準で有意に大きいことが認められた. しかし, 股関節では全ての付加重量間で有意差は認められなかった. 平均値については, 股関節においてのみ有意差が認められ, 40 kg の値と比較して, 70 kg から 85 kg の値が, 50 kg の値と比較して 85 kg, 85 kg の値が, 60 kg の値と比較して 85 kg の値が, それぞれ 5%水準で有意に大きいことが認められた. なお, Table 5 には体重あたりに規格化した場合の結果を示しており, 同様な結果が得られた.

Table 6 には, 各付加重量における地面反力の平均値と関節トルクの平均値との関係について示した. 股関節では 20 kg および 80 kg を除く全ての付加重量において有意な正の相関関係が認められた. また, 足関節では 70 kg のみにおいて有意な正の相関関係が認められた. しかし, 膝関節では有意な相関関係は認められなかった.

Table 5 Parameters of kinetics per body weight during clean exercises with loads from 20 kg to 80 kg.

	Loads (kg)										<i>F</i> value	Difference
	20	30	40	50	60	70	80	85	90	90		
Peak ground reaction force (N/kg)	22.00 ± 2.76	24.09 ± 3.43	25.81 ± 2.55	28.42 ± 2.47	30.07 ± 2.45	33.33 ± 1.95	35.07 ± 3.06	34.62 ± 3.51	38.35 ± 2.42	59.42*	20·30<50-85, 40<60-90, 50<70-90, 60<70-80	
Mean ground reaction force (N/kg)	15.92 ± 2.00	17.15 ± 2.05	18.56 ± 1.56	20.09 ± 1.83	21.14 ± 1.79	22.31 ± 1.94	22.92 ± 1.32	23.63 ± 1.76	23.75 ± 2.66	82.02*	20<40-90, 30·40<50-90, 50-60-90, 60<70-90	
Peak joint torque (Nm/kg)	2.35 ± 0.24	2.62 ± 0.33	2.75 ± 0.28	2.87 ± 0.31	3.10 ± 0.52	3.08 ± 0.35	3.14 ± 0.46	3.35 ± 0.44	3.40 ± 0.59	17.44*	20<40-90, 30<70-85-90, 40<70	
Peak joint torque (Nm/kg)	0.40 ± 0.31	0.39 ± 0.30	0.21 ± 0.23	0.29 ± 0.20	0.34 ± 0.35	0.61 ± 0.44	0.81 ± 0.49	0.91 ± 0.60	0.95 ± 0.43	7.80*	40<90	
Peak joint torque (Nm/kg)	1.13 ± 0.25	1.40 ± 0.38	1.52 ± 0.18	1.63 ± 0.24	1.74 ± 0.35	1.84 ± 0.44	1.91 ± 0.49	1.88 ± 0.60	2.02 ± 0.43	24.02*	20<40-90, 30<60-85-90, 40<80-90, 70<90	
Mean joint torque (Nm/kg)	1.64 ± 0.36	1.72 ± 0.39	1.85 ± 0.37	1.95 ± 0.36	2.03 ± 0.23	2.10 ± 0.23	2.06 ± 0.32	2.23 ± 0.16	2.26 ± 0.32	9.21*	20<60-70-85, 30<60-85	
Mean joint torque (Nm/kg)	0.17 ± 0.20	0.18 ± 0.17	0.16 ± 0.17	0.18 ± 0.20	0.18 ± 0.19	0.22 ± 0.26	0.28 ± 0.31	0.33 ± 0.40	0.29 ± 0.30	1.67	n. s.	
Mean joint torque (Nm/kg)	0.85 ± 0.23	0.99 ± 0.28	1.00 ± 0.19	1.03 ± 0.23	1.12 ± 0.27	1.11 ± 0.26	1.15 ± 0.18	1.14 ± 0.24	1.16 ± 0.27	4.69	n. s.	
Peak joint torque power (W/kg)	10.84 ± 4.25	10.97 ± 4.24	11.42 ± 4.58	10.33 ± 4.06	10.40 ± 4.04	10.04 ± 3.69	9.61 ± 3.89	10.25 ± 4.31	10.26 ± 4.03	1.20	n. s.	
Peak joint torque power (W/kg)	1.17 ± 0.85	1.48 ± 0.64	1.17 ± 0.83	1.51 ± 1.00	2.04 ± 1.35	3.10 ± 1.30	3.23 ± 1.21	3.68 ± 2.64	3.51 ± 1.00	7.16*	20·40·50<90	
Peak joint torque power (W/kg)	2.60 ± 1.69	3.48 ± 2.00	4.36 ± 1.65	5.86 ± 1.68	6.50 ± 1.66	7.30 ± 1.11	8.05 ± 1.52	6.61 ± 2.39	8.19 ± 1.41	17.87*	20<40-80-90, 30·40<90	
Mean joint torque power (W/kg)	6.77 ± 1.38	7.27 ± 1.27	7.70 ± 1.11	7.55 ± 1.34	7.05 ± 1.29	6.60 ± 1.18	6.29 ± 1.09	6.07 ± 1.31	5.95 ± 1.38	7.06*	40>70-85, 50>80-85	
Mean joint torque power (W/kg)	0.42 ± 0.64	0.24 ± 0.30	0.22 ± 0.31	0.43 ± 0.63	0.53 ± 0.77	0.66 ± 0.71	0.79 ± 0.76	0.94 ± 1.04	0.99 ± 0.87	3.50	n. s.	
Mean joint torque power (W/kg)	0.98 ± 0.53	1.29 ± 0.50	1.23 ± 0.49	1.38 ± 0.53	1.42 ± 0.43	1.45 ± 0.50	1.59 ± 0.64	1.36 ± 0.65	1.47 ± 0.54	1.94	n. s.	

H: Hip, K: Knee, A: Ankle
 <, >, * : $P < 0.05$

Fig. 8 には、付加重量の増加に伴う地面反力の平均値と股関節トルクの平均値の変化について、被験者全体の平均値と同時に各被験者のデータを同時に示した。地面反力の平均値および股関節トルクの平均値ともに、被験者全体の平均値でみた場合には付加重量の増加に伴って増大するにも関わらず、各被験者のデータでみた場合には、個人によって増大の仕方にはばらつきが存在することが認められた。

Fig. 9 には、付加重量と地面反力の平均値との関係について、Fig. 10 には付加重量と体重あたりの地面反力の平均値との関係について被験者別に示した。いずれの被験者についても、有意に高い正の相関関係が認められたものの、その際の回帰直線の傾きは被験者別に異なることが認められた。Fig. 11 には、回帰直線における傾きが高い順に被験者を配列して示した。また、股関節トルクの平均値についても同様に付加重量との関係について被験者別に示し、回帰直線における傾きが高い順に被験者を配列して示した。なお、付加重量と股関節トルクの平均値との間に有意な正の相関関係が認められなかった被験者 C, H, M については、傾きを算出していない。Fig. 12, Fig. 13 および Fig. 14 はその結果である。

Fig. 15 には、付加重量と股関節トルクの平均値との間に、相関関係が認められた 10 名を対象として、地面反力の平均値における傾きと股関節トルクの平均値における傾きとの関係について示した。その結果、地面反力の平均値における傾きと股関節トルクの平均値における傾きとの間には、有意な正の相関関係が認められた ($P < 0.05$)。

Fig. 16 には、最大挙上重量の 1 つ前の付加重量から最大挙上重量にかけての地面反力の平均値における変化率と最大挙上重量との関係性について示した。全被験者でみた場合には、関係は認められなかったものの、外れ値の者を除いた場合には、有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.774$, $P < 0.05$)。

Fig. 17 には、最大挙上重量が同じ 90 kg である被験者 C および M の地面反力の最大値および股関節トルクの最大値の値を示し、全被験者の平均値についても同時に示した。その結果、同じ付加重量であっても、被験者 C と M の地面反力および股関節トルクの大きさについては、個人によって異なっていることが認められた。

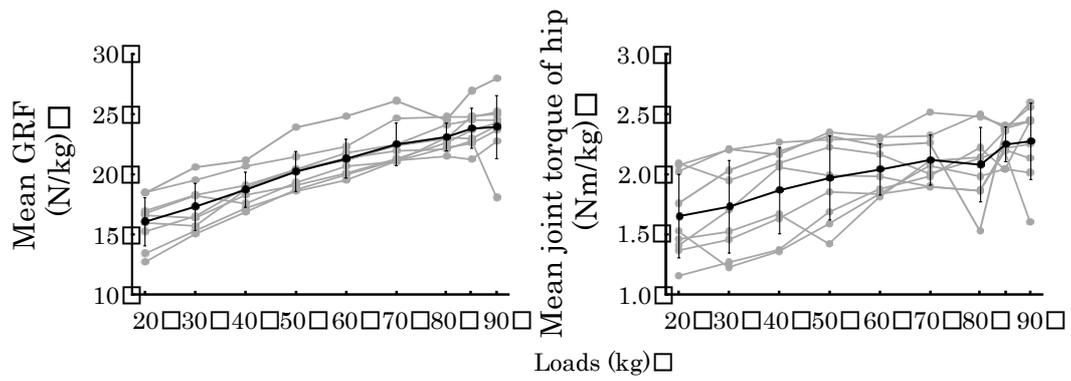


Fig. 8 Mean vertical ground reaction force and mean joint torque of hip during clean exercises with loads from 20 kg to 105 kg.

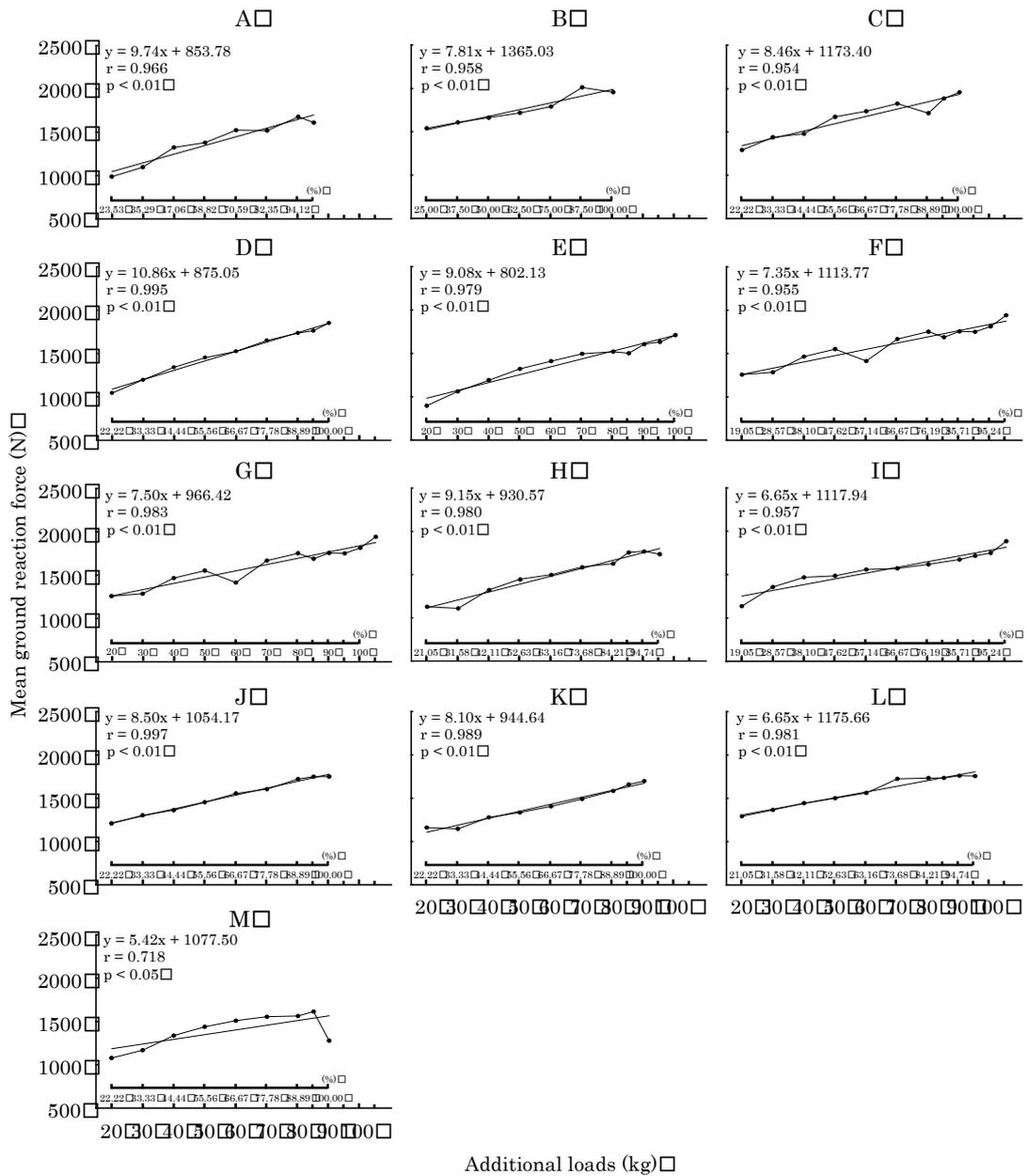


Fig.9 Relationships between mean ground reaction force and additional loads during clean exercises with loads from 20 kg to 105 kg.

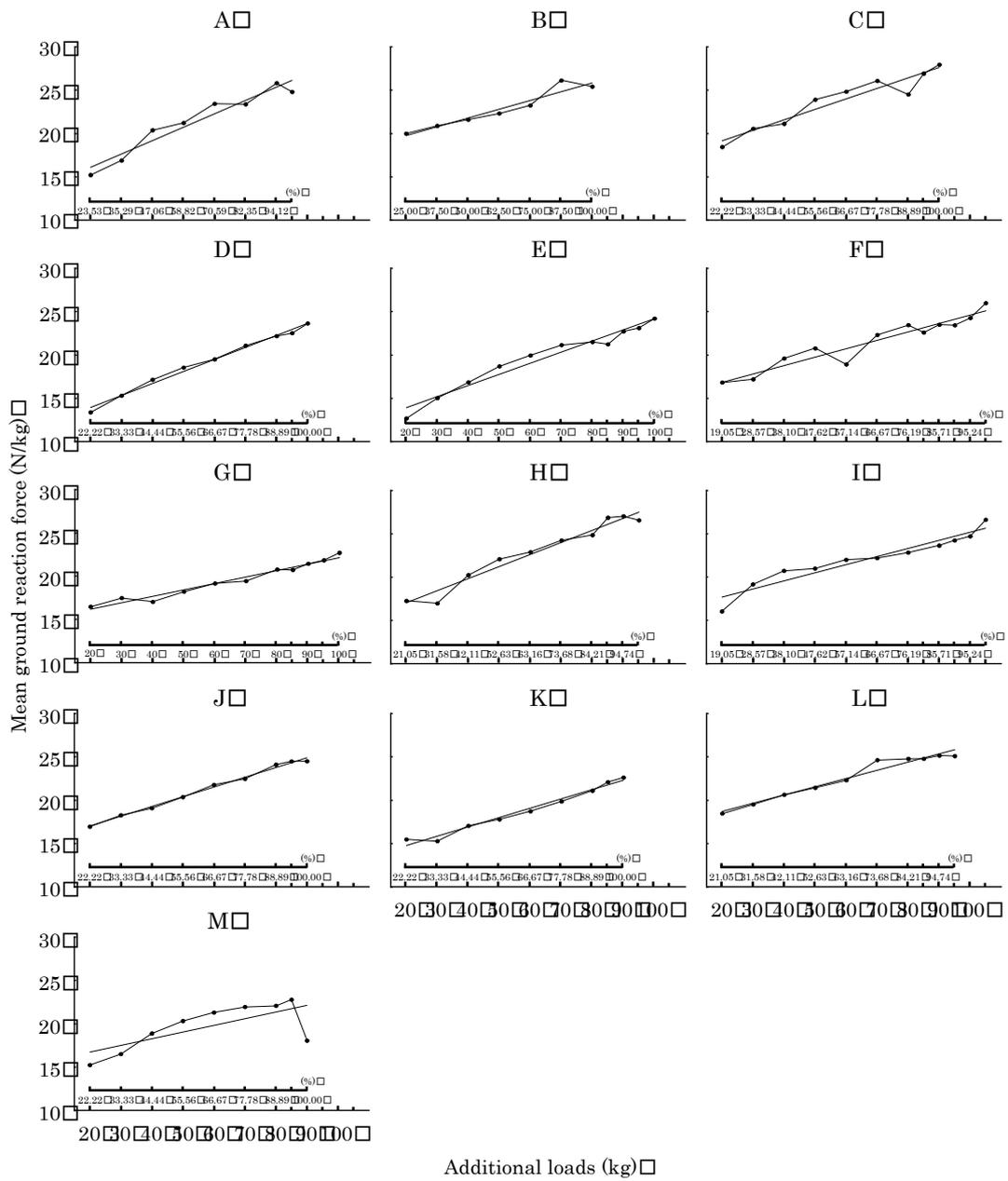


Fig.10 Relationships between mean ground reaction force and additional loads during clean exercises with loads from 20 kg to 105 kg.

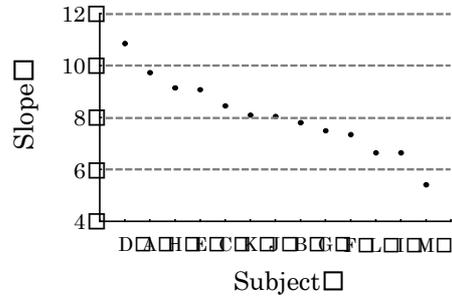


Fig.11 Slope of mean ground reaction force during clean exercise with loads from 20 kg to 105 kg.

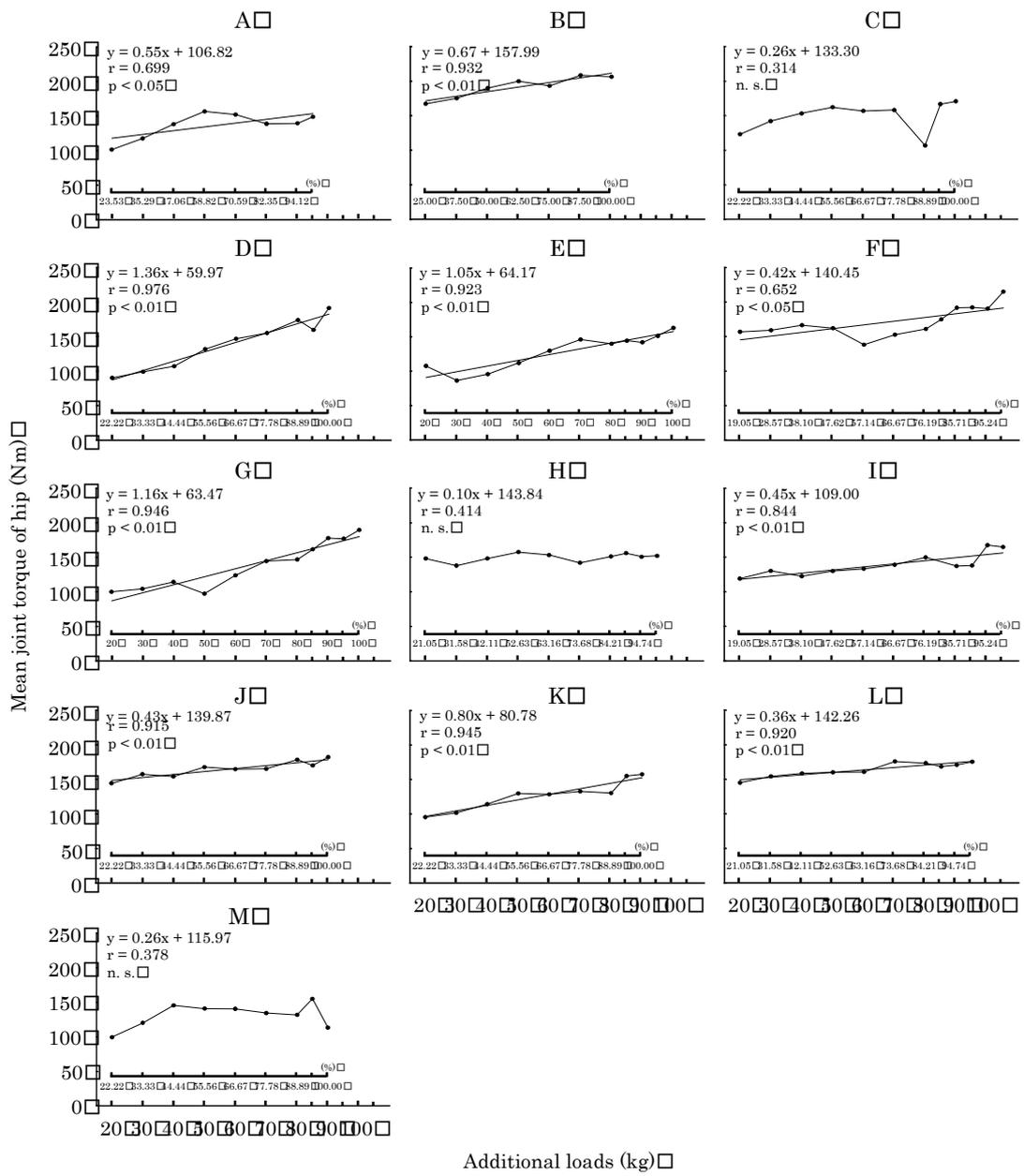


Fig.12 Relationships between mean joint torque of hip and additional loads during clean exercise with loads from 20 kg to 105 kg.

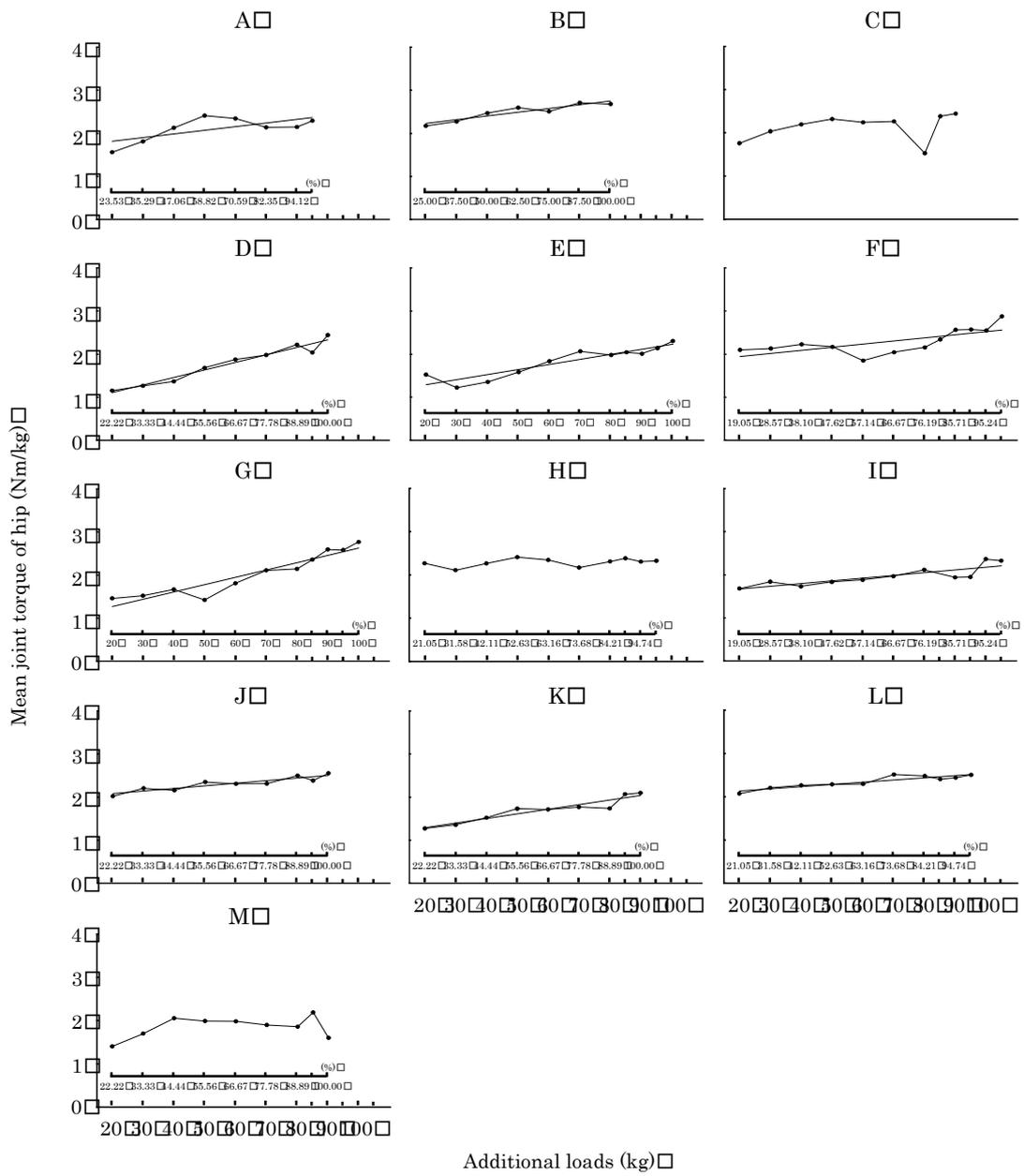


Fig.13 Relationships between mean joint torque of hip and additional loads during clean exercise with loads from 20 kg to 105 kg.

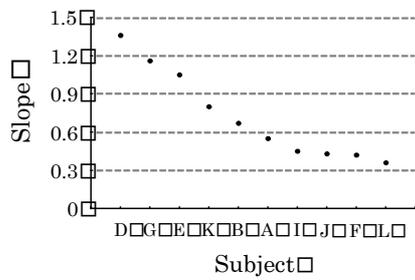


Fig.14 Slope of mean joint torque of hip during clean exercise with loads from 20 kg to 105 kg.

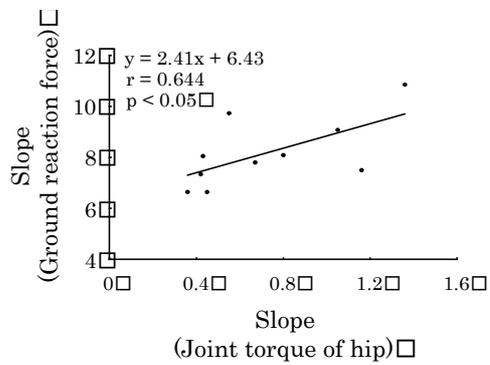


Fig.15 Relationships between slope of mean ground reaction force and mean joint torque of hip during clean exercises with loads from 20 kg to 80 kg.

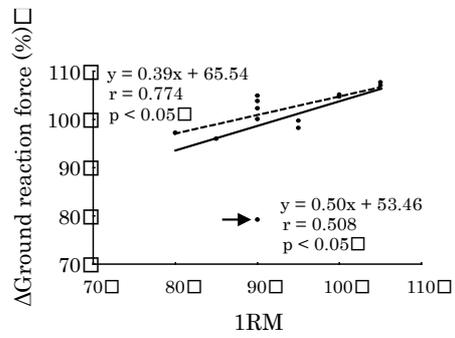


Fig.16 Relationships between Δ Ground reaction force (submaximal - 1RM) during clean exercises. □

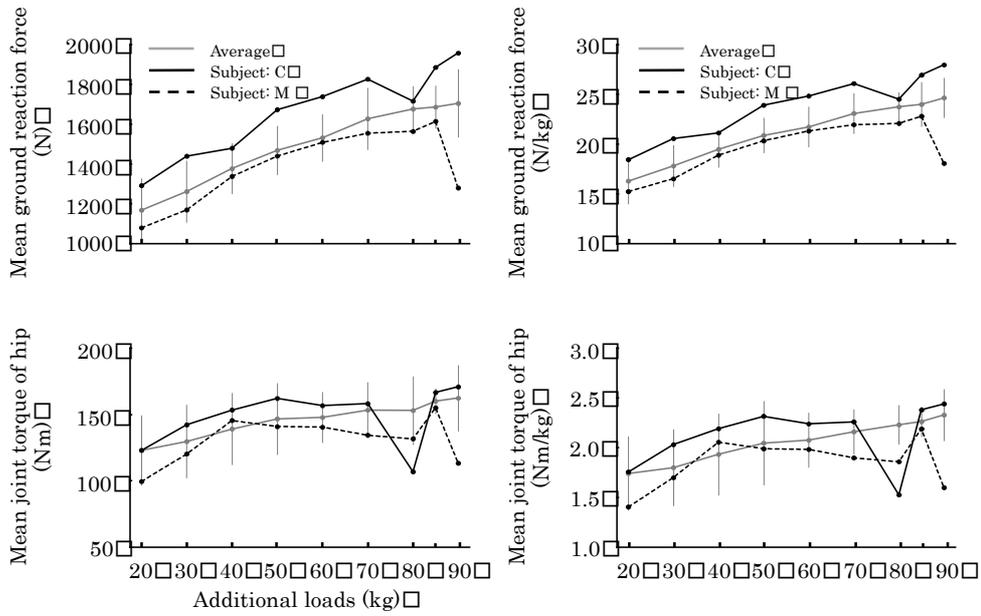


Fig. 17 Mean ground reaction force and peak joint torque of hip during clean exercises with loads from 20 kg to 90 kg (Subject C and M, 1RM = 90 kg).

4. 考察

はじめに、各被験者の付加重量に対する地面反力の平均値を回帰直線に近似させ、回帰式を算出し、その回帰式から推定した相対的な付加重量を用いたと仮定した際の地面反力の平均値の結果をみると (Fig. 7), 付加重量の増加に伴って地面反力の平均値は増大することが認められた。また、絶対的な付加重量を用いた際の結果についても同様に、付加重量の増加に伴って地面反力の平均値は増大することが認められた (Table 4 および Table 5)。相対的な付加重量を用いた場合には、用いる付加重量の大きさは各被験者の最大挙上重量に依存することになる。このために、最大挙上重量が 80 kg の者 (1RM の 30% = 24 kg, 60% = 48 kg, 90% = 72 kg) であれば、1RM の 30% から 60% で用いる付加重量の範囲は 24 kg となるが、最大挙上重量が 100 kg の者 (1RM の 30% = 30 kg, 60% = 60 kg, 90% = 90 kg) であれば、1RM の 30% から 60% で用いる付加重量の範囲は 30 kg となり、相対的な付加重量を用いた際には、最大挙上重量の大きさによって、各被験者が用いる付加重量の範囲が異なる。したがって、相対的な付加重量を用いた場合に地面反力や下肢 3 関節のキネティクスが異なることについては、最大挙上重量の大きさに依存する可能性があると考えられる。一方で、絶対的な付加重量を用いた際には、全ての被験者において用いた付加重量の大きさは同じ重さとなるために、各被験者の最大挙上重量の影響を取り除くことが可能になると考えられる。以上の理由から、本研究では絶対的な付加重量を用いて検討した。

1. 付加重量の増加に伴う力発揮度合いの相違

被験者全体の平均値で見ると、付加重量の増加に伴って地面反力の平均値は増大することが認められた (Table 5)。これらの結果は、これまでのクリーンに関する先行研究 (Comfort, 2012a, 2013; 長尾ほか, 2012) における知見と一致するものであった。各重量における地面反力の平均値と下肢 3 関節における関節トルクの平均値との関係について検討した結果 (Table 5), ほぼ全ての付加重量において地面反力の平均値と股関節トルクの平均値との間に有意な正の相関関係が認められた。股関節トルクの平均値につ

いては、上述した地面反力の結果と同様に、付加重量の増加に伴って増大することが示されている (Table 5). これらの結果を踏まえて、本研究では地面反力の平均値と股関節トルクの平均値に焦点を当てて、付加重量の増加に伴う力発揮度合いの相違について検討する.

はじめに、付加重量の大きさと地面反力の平均値との関係について被験者ごとにみると、いずれの被験者においても有意な正の相関関係が認められたために (Fig. 9), 付加重量の増加に伴って地面反力の平均値は増大することが認められた. しかし、付加重量に対す地面反力の平均値を一次方程式に近似させた場合の傾きの大きさについて検討した結果、傾きの大きさについては、各被験者によって異なることが認められた (Fig. 10). このことは、付加重量の増加に伴う地面反力の平均値における増加の仕方については個人で異なることを意味する結果である. つまり、傾きの値が高値を示す被験者 D, A, H については、付加重量の増加に対応して、大きな地面反力を発揮することのできる特性を有しているのに対して、傾きの値が低値を示す被験者 L, I, M については、付加重量の増加が増大しても大きな地面反力を発揮することができない特性を有していることが考えられる. 一方、付加重量と股関節トルクの平均値との間には、相関関係が認められる者と認められない者とが存在していることが認められた (Fig. 13). このために、地面反力の結果と同様に傾きの値が他の被験者と比較して高値を示した被験者 D, G, E については、付加重量の増加に対応して股関節に関与する筋群が大きな関節トルクを発揮することができる特性を有していることが考えられる. この3名の被験者については、他の被験者と比較して股関節伸展筋力が優れていたために、付加重量の増加に対応して大きな股関節トルクを発揮できていたことが推察できる. これに対して、付加重量と股関節トルクの平均値との間に相関関係が認められなかった被験者 C, H, M については、付加重量の増加に対応して、股関節に関与する筋群が大きなトルクを発揮できない者であることを示している. この被験者3名について、付加重量の増加に伴う股関節以外の関節トルクの変化について検討したところ、被験者 C については膝関節トルクが増大していたのに対して、被験者 H, M については、膝関節および足関節トルクが増大していた. このために、付加重量の増加に伴って股関節トルクの平均値が増大

しないことが認められた被験者 C, H, M については、股関節以外の関節に関与している筋群を動員していたことが考えられる。これらのことから、軽い重量から重い重量に変化すると、大きな地面反力や股関節トルクを発揮し続けられる者と、そうでない者が存在していることが示された。股関節周りに関与する筋群において大きな力を発揮するためには、体幹部を立てて脊柱のアライメントを保持する姿勢によってバーベルを挙上することが重要な一要因になることが示されている (Kipp et al., 2012)。このために、付加重量の増加に伴って大きな地面反力や股関節トルクを発揮することができていた者については、付加重量の増加が伴った場合にも脊柱のアライメントを保持することができていたことが考えられる。しかし、本研究ではプル局面における動作については検討していないために、今後、詳細に検討する必要がある。また、付加重量と股関節トルクの平均値との間に相関関係が認められた 10 名を対象として、地面反力の平均値における傾きと股関節トルクの平均値における傾きとの関係を検討した結果、これらの間には有意な正の相関関係 ($r = 0.644$, $P < 0.05$) が認められた (Fig. 15)。この結果は、付加重量の増加に伴い大きな股関節トルクを発揮することができれば、それに伴って大きな地面反力を発揮することができることを示す結果である。このことから、クリーンでは付加重量を増加させることによって股関節トルクが増大し、これに伴って地面反力についても増大することができると考えられる。

これまでの結果において、付加重量の増加に伴う地面反力の平均値や関節トルクの平均値の変化についてみると、重い付加重量を用いた際に大きな地面反力や関節トルクを発揮することができるタイプとそうでないタイプの者が存在することが認められた (Fig. 11 および Fig. 14)。このことを考慮すると、クリーンを行った際の筋力特性については、個人によって異なっている可能性があると考えられる。筋力特性について考えると、大きな付加重量を用いた際に大きな力を発揮することに優れるローギアタイプ (力型) と、軽い付加重量を用いた際に大きな力を発揮することに優れるハイギアタイプ (スピード型) とに分類することができる (高松ほか, 1989)。付加重量の増加に伴う地面反力の平均値の変化について、回帰式における傾きと切片との関係を検討した結果、有意な負の相関関係 ($r = -0.579$, $P < 0.05$) が認められた。このことは、回帰直線の傾

きが大きいほど、切片の値が小さいことを示すものである。つまり、回帰直線の傾きが大きい値を示す者については、付加重量の増加に対応して大きな地面反力を発揮することができ、重い付加重量を用いた際に大きな地面反力を発揮することのできるローギアタイプの筋力特性を有していることが考えられる。一方で、傾きが小さい値を示す者については、軽い付加重量からすでに大きな地面反力を発揮することができ、ハイギアタイプの筋力特性を有していることが考えられる。これらのことを踏まえて、クリーンにおいてより大きな地面反力を発揮することを考えると、ハイギアタイプの筋力特性を有している者については、クリーンを行う際に最大挙上重量に近い付加重量を用いない場合でも、ある程度大きな地面反力を発揮することが可能であると考えられる。この関係については、股関節トルクの平均値においても同様に認められた ($r = -0.828$, $P < 0.01$)。したがって、股関節トルクの結果を用いた場合にも地面反力の結果と同様に、ローギアおよびハイギアの筋力特性を有するタイプなのかを評価することができると考えられる。このために、本研究で用いた傾きの大きさについては、個人の力発揮の優劣を決定するための変数ではなく、クリーンを行った際の個人の筋力特性を評価するための変数として用いることができると考えられる。以上のことから、クリーンでは付加重量の増加に伴って発揮される力の増大の仕方については個人によって異なるとともに、個人の筋力特性についても評価することができる可能性のあることが示唆された。

2. 付加重量別の力発揮水準の違いからみたキネティクスの相違

同一付加重量の試技において個人が発揮した力の大きさについてみると、同じ付加重量を挙上しているにも関わらず、地面反力の最大値および股関節トルクの最大値の値が大きく異なる者が存在していることが確認された。そこで、これらの典型例として被験者 C と被験者 M に着目すると (Fig. 17), 被験者 C は全ての付加重量において、被験者 M よりも大きな地面反力を発揮していることが示された。さらに、85 kg から最大挙上重量である 90 kg への地面反力の最大値の推移に着目すると、被験者 C は増大するのに対して、被験者 M は著しく減少することが示された。被験者 C と M の 90 kg における地面反力の最大値の差をみると、ここでは約 680 N (約 68 kg 重) もの差が出

現することが示された。これらの出来事に関して、運動方程式を考慮すると、地面反力の値が大きかった被験者 C は被験者 M と比較して挙上動作を素早く行っていたために、同じ付加重量を用いているにも関わらず、大きな地面反力を発揮できていたことが考えられる。なお、これらの結果については股関節トルクの最大値でみた場合にも同様であることが認められた。これらのことから、同一付加重量を挙上しているにも関わらず、地面反力および股関節トルクの大きさは個人によって異なっていることが明らかになった。

次に、用いた付加重量の中で最も大きな地面反力が出現した地点についてみると、被験者 C のように最大挙上重量である 90 kg の試技で出現する者もいれば、被験者 M のように最大挙上重量よりも 1 つ前の試技で出現する者も存在していることが認められた。最大挙上重量の 1 つ前の試技から最大挙上重量にかけての地面反力の平均値における変化率と最大挙上重量との関係について検討したところ (Fig. 16), これらの変数間に有意な相関関係は認められなかった ($r = 0.508$, n. s.). しかし、集団から大きく外れたところに位置する被験者 1 名を除いた場合には、有意な相関関係 ($r = 0.774$, $P < 0.01$) が認められた。この結果は、最大挙上重量が大きければ大きい程、最大挙上重量の 1 つ前の試技から最大挙上重量にかけて、地面反力が大きく増大する可能性のあることを意味するものである。これらのことから、重い付加重量を用いたからといって、必ずしも大きな地面反力や関節トルクが発揮されない場合があり、これには個人の最大挙上重量の大きさが関係している可能性があると考えられる。

また、被験者 C は M と比較して、軽い付加重量からすでに大きな地面反力を発揮していることが示された。被験者 C は、M が最も大きな地面反力 (1614.20 N) を発揮した 85 kg の試技において示された 1637.73 N の地面反力を、35 kg 軽い付加重量である 50 kg の試技において発揮していることが示された。この差については、体重あたりで算出した地面反力の結果についても同様に示されたために (Fig. 17), 被験者の体重には影響していないことが理解できる。これらの結果について、運動方程式を考慮して考えると、C は E と比較して軽い付加重量であっても挙上動作を素早く行うことができるために、同じ付加重量を挙上した試技でも大きな力を発揮できていることが説明でき

る。なお、これまでに述べてきた地面反力の差については、個人の筋の横断面積、神経系の要因、筋組成や動作要因によって生じるものであること（深代，1990；市橋，1996）が考えられ、これらの中でも特に股関節周りの筋群の中でも特に大腿二頭筋，大殿筋，脊柱起立筋における量的な要素と質的な要素の相違が影響していたことが推察される。筋の量的な要素と質的な要素による影響に関しては、今後検討する必要がある。以上のことから、クリーンをトレーニング手段として用いる場合には、単に付加重量を重くし、その重さを挙上することができたか、もしくはできなかったかを判断するだけではなく、挙上動作の素早さに注目することも重要であることが示唆された。

5. 要約

本研究では、個人が発揮するキネティクスの大きさに着目して、地面反力と下肢 3 関節のキネティクスとの関係について明らかにすることを目的とした。陸上競技の跳躍および混成種目を専門とする体育専攻の男子大学生 13 名を対象に、付加重量を増加させるクリーンを行わせ、その際の下肢 3 関節のキネティクスの変数を算出した。本研究から得られた、クリーンをトレーニング手段として用いる際の実践的な示唆は、以下の通りである。

- (1) 用いる付加重量が軽い重量から重い重量に変化すると、股関節に関与する筋群を主要な動力源として貢献させ続けることのできる者とそうでない者が存在することが示された。
- (2) 同一付加重量を挙上しているにも関わらず、地面反力の平均値や股関節トルクの平均値には大きな差が生じていることが認められ、用いる付加重量を重くするだけではなく、挙上動作の加速度をより大きくすることも重要であることが示された。
- (3) クリーンでは、最大挙上重量を用いたからといって、必ずしも大きな力を発揮す

ることができるとは限らないことが示された。

以上の結果から、クリーンのプル局面では、付加重量の増加に伴う地面反力や下肢 3 関節のキネティクスの増大の仕方には個人によって異なっていることが示唆された。これらの知見は、クリーンを行う際には単に付加重量を重くし、その重さを挙上することができたか、もしくはできなかったかを判断するだけでなく、挙上動作の素早さに注目することの重要性を指摘するものである。

第8章 討論

1. クリーンにおけるプル局面およびキャッチ局面の負荷特性

クリーンは、床にあるバーベルを肩の高さまで一気に挙上するプル局面と、その後胸の前で即座にバーベルを受け止めるキャッチ局面とに大別できる。プル局面とキャッチ局面における動作を比較した場合には、各局面で動員される筋群や出力の大きさ、筋の収縮様式は異なることが考えられるが、これまでに両局面における負荷特性の相違について検討したものは存在しない。さらに、ウェイトトレーニングにおいて付加重量を設定する際には、トレーニングの目的に応じて軽い付加重量から重い付加重量まで様々な付加重量が用いることになるが、これまでのプル局面 (Kipp, 2011; 長尾ほか, 2012) およびキャッチ局面 (Moolyk et al., 2013) における関節キネティクスに関する先行研究では、どちらの局面においても 1RM の 65% 以上と、重い付加重量を用いた検討だけに留まっているのが現状である。そこで研究課題 1 では、1RM の 30%, 60%, 90% の 3 つの付加重量を用いて、クリーンのプル局面およびキャッチ局面における負荷特性の相違について検討した。

はじめに、3 関節のキネティクスについて比較した結果、全ての付加重量においてプル局面では股関節伸展筋群のコンセントリックな筋の収縮様式によって大きな関節トルクやトルクパワーが発揮されていたのに対して、キャッチ局面では膝関節伸展筋群および足関節底屈筋群のエキセントリックな筋の収縮様式によって大きな関節トルクやトルクパワーが発揮されていることが明らかとなった。このことから、プル局面とキャッチ局面において動員される筋群や筋の収縮様式は両局面で異なることが示唆された。先行研究では、実際のスポーツ競技においてキャッチ局面が存在するのがウェイトリフティング種目だけに留まっているために、それ以外の種目では、キャッチ動作をトレーニングの際に取り入れる必要がないと指摘するものも存在する (Suchomel et al., 2015)。これに加えて、クリーンに関する指導書などでは、キャッチ局面がトレーニング手段として取り上げられることはなかった。また、実際のトレーニング現場において

は、プル局面だけを行うクリーンプル (Comfort et al., 2011a) やミッドサイククリーン (Kawamori et al., 2006) が用いられることが多く、キャッチ局面はトレーニング手段として用いられることは少なかった。しかし、本研究の結果から、膝関節伸展筋群および足関節底屈筋群のエキセントリックな負荷を与えることのできる特性を有していることが示された。したがって、実際のスポーツ競技において ECC 局面が内在する種目を専門とする選手がウェイトトレーニング手段としてクリーンを実施する際には、プル局面だけを行うクリーンプルやミッドサイククリーンではなく、キャッチ動作までを遂行するクリーンを行うことが有効な手段になると考えられる。これらのことから、キャッチ局面は膝関節や足関節に対してエキセントリックな負荷を与えることを目的としたトレーニング手段として用いることが有用であると考えられる。このために、キャッチ局面についてもプル局面と同様にトレーニング手段として適切に管理する必要があると考えられる。

また、各局面における付加重量の増加に伴う地面反力や下肢 3 関節のキネティクスの変化についてみると、プル局面ではキネティクスが増大するのに対して、キャッチ局面ではキネティクスに変化は認められなかった。このため、プル局面では発揮される力やパワーの大きさが付加重量の大きさに依存していることが考えられるために、プル局面で大きな力やパワーを発揮するためには、用いる付加重量を増加させることが有効な手段になると考えられる。これに対して、キャッチ局面ではプル局面とは異なり、発揮される力やパワーが付加重量の大きさには依存していない可能性があると考えられる。また、1RM の 30% ではキャッチ局面にける地面反力の最大値がプル局面と比較して大きかったことを考慮すると、キャッチ局面をトレーニング手段として用いる際には、軽い付加重量を用いた場合でも、重い付加重量を用いた場合と同程度の力やパワーを発揮することのできる特性を有していることが考えられる。これらのことから、用いる付加重量の大きさによって、クリーンの各局面における負荷特性は異なることが示唆された。

以上のことから、プル局面およびキャッチ局面における負荷特性が異なるために、クリーンを行う際には、股関節周りの筋群に対してコンセントリックな負荷を与えたいのか、膝関節および足関節周りの筋群に対してエキセントリックな負荷を与えたいのかに

よって、キャッチ局面を取り入れるか否かを選択する必要があると考えられる。

2. 個人が発揮したキネティクスの大きさに着目して検討したクリーンのプル局面における負荷特性

クリーンのプル局面に関する先行研究では、全被験者の平均値でみた場合、付加重量の増加に伴って地面反力の最大値 (Comfort et al., 2012a; Cormie et al., 2007a, 2007b; McBride et al., 2011) や関節キネティクス (Kipp, 2011) は増大することが明らかとなっている。一方で、付加重量のと地面反力の関係について個別に検討した研究 (図子, 2008) では、付加重量の増加に伴って、同じ重さの付加重量を挙上しているにも関わらず、地面反力の最大値の大きさは個人によって異なること、最大挙上重量の試技における地面反力の最大値が必ずしも最大値を示さない可能性があることが指摘されている。これらのことを考慮すると、付加重量と下肢 3 関節のキネティクスとの関係においても、地面反力と同様なことが生じていると予想されるが、これに関して検討したものは見当たらない。そこで研究課題 2 では、個人が発揮したキネティクスの大きさに着目して、クリーンのプル局面における付加重量と地面反力や下肢 3 関節のキネティクスとの関係について検討した。

付加重量の増加に伴う地面反力の平均値の変化について個別に検討した結果、付加重量の増加に伴って地面反力の平均値は増大することが認められた。しかし、地面反力の平均値を付加重量に対する 1 次方程式に近似させた場合における回帰式の傾きの大きさについて検討した結果、傾きの大きさは個人によって異なることが示された。このことから、付加重量の増加に伴う地面反力の平均値については、増大の仕方が個人によって異なることが示唆された。また、この傾きの大きさから、ローギアタイプの筋力特性を有する者と、ハイギアタイプの筋力特性を有する者に分類できる可能性があると考えられる。

また、ある特定の個人 2 名に焦点を当て、付加重量と地面反力の平均値との関係について検討した結果、①同じ付加重量のバーベルを挙上しているにも関わらず、全ての付加重量において地面反力の平均値には差が生じていること、②最大挙上重量の試技にお

ける地面反力の平均値が必ずしも大きな値を示さない可能性のあることが示された。①の結果については、運動方程式を考慮すると、発揮する力の大きさは用いる付加重量のみによって決定されるものでなく、挙上動作の素早さを反映する加速度との積になることが考えられる。このために、バーベルをできるだけ素早く挙上することによって、より大きな力を発揮することが可能になると考えられる。これらのことから、クリーンをウェイトトレーニング手段として行う際には、指導者は挙上動作の素早さに配慮した指導法および評価・診断法を取り入れることが重要であることが示唆された。また、②の結果を考慮すると、クリーンを行う際には重い付加重量を用いても、必ずしも大きな地面反力や関節トルクを発揮することができない可能性のあることに留意する必要があると考えられる。地面反力の平均値の結果をみると、全被験者 13 名のうち、最大挙上重量を用いた際に最も大きい地面反力を発揮することができた被験者は約半数の 7 名であった。このために、より大きな地面反力を発揮する、すなわちクリーンを実施する際に身体に過負荷を与えるためには、簡易型で安価なフォースプレートシステムを開発するとともに、それをトレーニング実践へと導入し、クリーンにおける地面反力をリアルタイムにモニタリングして評価診断できるようにすることが有益になると考えられる。これによって、実際に発揮した力を手がかりにしたエビデンスに基づいたトレーニングが実施できるようになると考えられる。しかし、このような計測システムは設置されている場所が極めて少ないのが現状である。ここで、プル局面に関する先行研究についてみると、短時間にできるだけ大きな力を発揮する能力の指標となる *Rate of force development* の値が 1RM に対する 70% の付加重量において最も高いこと (Comfort et al., 2012a), これに加えて、1RM に対する 70%—80% において最大パワーが発揮されることが示されている (Comfort et al., 2012a; Cormie et al., 2007a, 2007b, 2012; McBride et al., 2011)。このために、上述したような計測システムが存在しない場合には、*Rate of force development* やパワーが最も大きな値を示すと考えられる 1RM に対する 70% 以上の付加重量を用いることによって、大きな負荷を与えることができると考えられる。

以上のことから、クリーンのプル局面における負荷特性については個人によって異なる

っていることが示唆され、実際にトレーニング現場でクリーンを行う際には、これらの点に配慮する必要があると考えられる。これまでに示してきた個人が発揮した力の相違については、個人の筋の横断面積、神経系の要因、筋組成や動作要因によって生じるものであること（深代，1990；市橋，1996）が考えられるために、それぞれの要因が個人の発揮する力の大きさに対してどの程度影響を及ぼしているのかについては今後詳細に検討すべきである。また、研究課題 2 によって明らかにされた内容については、付加重量を用いて行う他のウェイトトレーニングを実施する際にも生じる可能性があると考えられる。

3. ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンの負荷特性

本研究によって得られた結果を総合的に検討し、ウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンの負荷特性を整理したものを Fig. 18 示した。ウェイトトレーニング手段として用いられているクリーンのプル局面では、股関節のキネティクスが大きく、下肢筋群は主にコンセントリックな筋収縮によって力を発揮している。これに対して、キャッチ局面では、膝関節および足関節のキネティクスが大きく下肢筋群は主にエキセントリックな筋収縮によって大きな力を発揮している。これらのことから、クリーンでは各局面で動員される下肢筋群や筋の収縮様式が異なるために、クリーンをウェイトトレーニング手段として用いる際には、各局面における負荷特性を理解した上でトレーニングを推進することが重要になる。

また、クリーンの主要な局面であるプル局面では、付加重量の増加に伴って大きな地面反力や下肢 3 関節のキネティクスを発揮することができる者とそうでない者が存在する。これに加えて、用いる付加重量と地面反力や下肢 3 関節のキネティクスとの関係が個人によって異なる可能性がある。これらのことから、クリーンのプル局面では力発揮が個人によって異なる可能性があることに配慮する必要がある。

なお、Fig. 18 に提示したクリーンの負荷特性については、本研究と異なる付加重量や実験試技を用いて検討した場合には、異なる可能性のあることに留意すべきである。

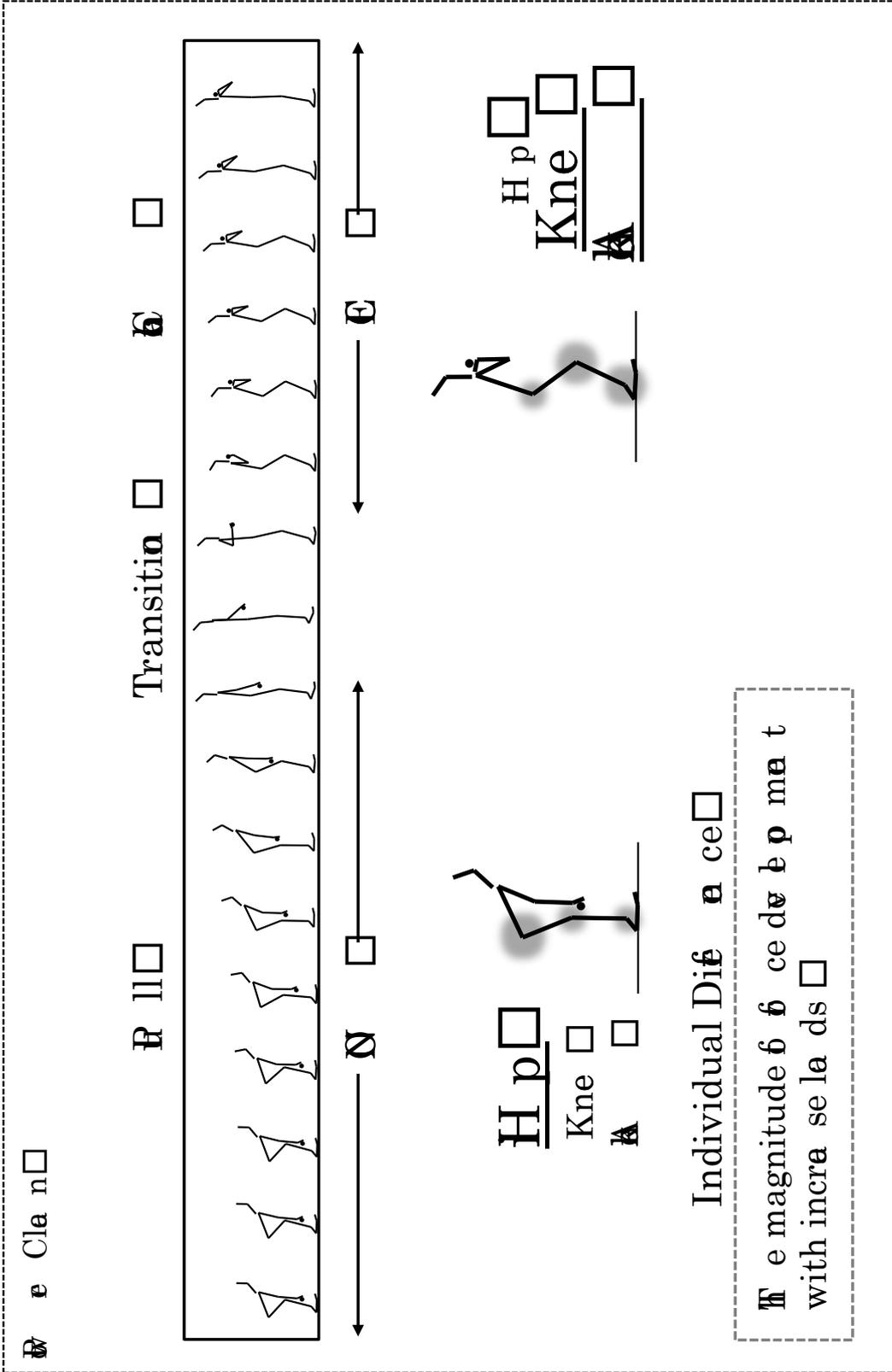


Fig. 18 The load characteristics of the clean exercises in weight training method.

以下は、本研究によって明らかとなったウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンの負荷特性をまとめたものである。

- ① クリーンのプル局面では股関節に関与する筋群に対してコンセントリックな負荷を与えることができ、キャッチ局面では膝関節および足関節に関与する筋群に対してエキセントリックな負荷を与えることができる。また、プル局面では発揮される力やパワーの大きさが付加重量の大きさに依存するのに対して、キャッチ局面では依存しない。
- ② 主要な局面であるプル局面では、付加重量の増加に伴う地面反力や下肢 3 関節におけるキネティクスの増加の仕方が個人によって異なる。また、同じ付加重量のバーベルを挙上しているにも関わらず、発揮される地面反力や下肢 3 関節のキネティクスには差が生じ、最大挙上重量の試技における地面反力が必ずしも大きな値を示さない可能性がある。

本研究によって明らかとなったクリーンに関する負荷特性については、競技者や指導者がウェイトトレーニング手段としてクリーンを用いる際に有益な知見となる。

第9章 結論

本研究では、ウェイトトレーニング手段として用いられているクリーンに関して、プル局面およびキャッチ局面における付加重量と下肢3関節における力・パワー発揮特性との関係について明らかにした。

研究課題1では、クリーンのプル局面およびキャッチ局面における地面反力や下肢3関節のキネティクスの相違について明らかにし(第5章)、研究課題2では、個人が発揮する力の大きさに着目して、主要局面であるプル局面における付加重量と地面反力や下肢3関節のキネティクスの関係について明らかにした(第6章)。本研究によって得られたウェイトトレーニング手段として用いられるクリーンの負荷特性については、以下の通りである。

- (1) 軽い付加重量から重い付加重量にかけて、プル局面では股関節における関節トルクおよびトルクパワーがキャッチ局面と比較して大きく、下肢筋群では主にコンセントリックな筋収縮が生じているのに対して、キャッチ局面では膝関節および足関節における関節トルクおよびトルクパワーがプル局面と比較して大きく、下肢筋群では主にエキセントリックな筋収縮が生じていることが明らかとなった。これらのことから、各局面で動員される筋群、筋の収縮様式、出力の大きさについては異なることが示唆された(第5章)。
- (2) 主要局面であるプル局面では、付加重量の増加に伴う地面反力や下肢3関節のキネティクスの増大の仕方については、個人によって異なること、同じ付加重量を挙上しているにも関わらず、地面反力や下肢3関節のキネティクスの大きさには差が生じていることが明らかとなった。これらのことから、プル局面では力発揮の大きさに差が生じることが示唆された(第6章)。

本研究は、ウェイトトレーニング手段として用いらいるクリーンのプル局面からキャ

タッチ局面にかけての負荷特性について明らかにしたものである。本研究で得られた成果は、トレーニング現場でウェイトトレーニング手段としてクリーンを用いる際に有益となる。

謝辞

本論文の作成にあたり、2016年6月にお亡くなりになった図子浩二先生には、修士課程から博士課程にかけて、終始懇切丁寧なご指導およびご校閲を賜りました。心から感謝いたします。また、図子浩二先生がお亡くなりになった後、懇切丁寧なご指導およびご校閲を賜りました木越清信先生に心から感謝いたします。

コーチング学専攻の浅井 武先生、岡田弘隆先生、渡辺良夫先生、体育科学専攻の藤井範久先生をはじめとする諸先生方には、多大なる御指導、御助言を賜りました。深く感謝いたします。

また、私を図子浩二先生の研究室に送り出してくださり、都留文科大学を卒業してからも多大なる御指導を賜りました麻場一徳先生（現山梨学院大学）に心から感謝いたします。

さらに、図子研究室の荏山 靖氏（現山梨学院大学）をはじめとする諸先輩方、後輩の皆様からは研究に関する多くの貴重な御助言をいただき、筑波大学陸上競技部の跳躍ブロックの後輩の方々には、被験者として実験にご協力いただきました。皆様の御指導、御協力に感謝いたします。

最後に、10年間の大学生活を支えてくださった家族の皆さんに感謝いたします。

2017年3月

林 陵平

文献

【A】

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., and Dyhre-Poulsen, P. (2002) Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J. Appl. Physiol.*, 93 : 1318-1326

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. *J. J. Sports Sci.*, 15 : 155-162.

阿江通良・藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講, 朝倉書店, 東京, pp. 16-22.

Andersen, J. L. and Aagaard, P. (2006) Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol.* 96 : 46-52.

Arabatzis, F., Kellis, E., and Saez-Saez De Villarreal, E. (2010) Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *J. Strength Cond. Res.*, 24 : 2440-2448.

有賀誠司 : 筋力トレーニングのスポーツ選手への適用, *バイオメカニクス研究*, 6: 227-239. 2002.

Asmussen, E. and Bonde-petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta. Physical. scand.*, 91 : 385-392.

【B】

Bobbert, M. F., Huijing, P. A., and van Ingen Schnau, G. J. (1987) Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 339-346.

Bompa, TO. (1990) *Periodization training; Theory and methodology*- 4th. Human kinetics, USA, 315-342.

Bosch, F. (2015) *Strength Training and Coordination: An Integrative Approach*. 2010 Publishers, 265-323.

【C】

Chen, S., Wu, M., Huang, C., Wu, J., Guo, L., and Wu, W. (2013) The analysis of upper limb movement and emg activation during the snatch under various loading conditions. *J. Mech. Med. Biol.* 13 : 1350010. doi: 10.1142/S0219519413500103

Comfort, P., Allen, M., and Graham-Smith, P. (2011a) Comparisons of peak ground reaction force and rate of force development during variations of the power clean. *J. Strength Cond. Res.*, 25 : 1235-1239.

Comfort, P., Graham-Smith, P., and Allen, M. (2011b) Kinetic comparisons during variations of the power clean. *J Strength Cond Res* 25 : 3269-3273.

Comfort, P., Fletcher, C., and McMahon, J. J. (2012a) Determination of optimal loading during the power clean, in collegiate athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 26 : 2970-2974.

Comfort, P., Udall, R., and Jones, P. A. (2012b) The effect of loading on kinematic and kinetic variables during the mid-thigh clean pull. *J. Strength Cond. Res.*, 26 : 1208-1214.

Comfort P. (2013) Within-and between-session reliability of power, force, and rate of force development during the power clean. *J. Strength Cond. Res.*, 27 : 1210-1224.

Cormie, P., McGuigan, M., and Newton, R. (2011) Developing maximal power. Part 1 – biological basis of maximal power production. *Sports Med.*, 41 : 17-38.

Cormie, P., Mccauley, G. O., Triplett, N. T., and McBride, J. M. (2007a) Optimal

loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39 : 340-349.

Cormie, P., McBride, J. M., and Mccauley, G.O. (2007b) The influence of body mass on calculation of power during lower-body resistance exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 21 : 1042-1049.

Cormie, P., McBride, J. M., and Mccauley, G. O. (2007c) Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises *J. Appl. Biomech.*, 23 : 103-118.

【D】

【E】

Enoka, R. M. (1979) The pull in Olympic weightlifting. *Med. Sci. Sports* 11 : 131-137.

Enoka, R. M. (1985) The second knee bend in Olympic weightlifting. In: *Human Performance: Efficiency and Improvements in Sports, Exercise, and Fitness.*, pp. 608-611.

Enoka, R. M. (1988) Load-and skill-related changes in segmental contributions to a weightlifting movement. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20 : 178-187.

Everett, G. (2012) *Olympic weightlifting for sports.* Catalyst Athletics. pp. 22-37.

【F】

深代千之 (1990) *跳ぶ科学* (編著). 大修館書店.

福永哲夫・湯浅景元 (1986) *コーチングの科学*. 朝倉書店.

船渡和男 (1993) *ウェイトリフティングの動き—筋力トレーニングとフォーム—*. 体育

の科学, 43: 563-567.

船渡和男・関口 修 (1993) ウェイトリフティングの力の出し方. 体育の科学, 43: 563-567.

船渡和男 (1995) 持ち上げる. 体育の科学, 45 : 207-210.

【G】

Garhammer J. (1980) Power production by Olympic weightlifters. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 12 : 54-6

Garhammer J. (1984) Power clean: kinesiological evaluation. *Nat. Strength Cond. Assoc. J.*, 6 : 41-62.

Garhammer, J. (1993) A review of power output studies of Olympic and powerlifting: methodology, performance prediction, and evaluation tests. *J. Strength Cond. Res.*, 7 : 76-89.

Gorostiaga E. M., Izquierdo M., Ruesta M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., and Ibanez, J. (2003) Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 91 : 698-707

【H】

Hakkinen, K., Kauhanen, H., and Komi, P. V. (1984) Biomechanical changes in the Olympic weightlifting technique of the snatch and the clean & jerk from submaximal to maximal loads. *Scandinavian Journal of Sport Science.* 6 : 57-66.

Hill, A. V. (1938) The heat of shortening and dynamic constants of muscle. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 126 : 136-95.

Hoffman, J. R., Cooper, J., Wendell, M., and Kang, J. (2004) Comparison of Olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *J. Strength*

Cond. Res., 18 : 129-135.

【I】

石井直方 (1995) レジスタンストレーニングの理論と実際(8) 股関節, 膝関節まわりの筋の強化1. 大腿四頭筋と関連諸筋群のトレーニング. 臨床スポーツ医学, 12 : 1401-1410.

石井直方 (1996) レジスタンストレーニングの理論と実際 (9) 股関節, 膝関節まわりの筋の強化2. 大腿四頭筋と関連諸筋群のトレーニング. 臨床スポーツ医学, 13 : 209-216.

市橋則明 (1996) 筋力トレーニングの基礎知識—筋力に影響する要因と筋力増加のメカニズム—. 京都大学医療技術短期大学部紀要別冊, 9 : 33-38.

【J】

【K】

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

苅山 靖・藤井宏明・森 健一・関子浩二 (2013) 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違. 体育学研究, 58 : 91-109.

Kawamori, N., Crum., A. J., Blumert, P. A., Kulik, J. R., Childers, J. T., Wood, J. A., Stone, M. A., and Haff, G. G. (2005) Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean : Identification of the optimal load. J. Strength Cond. Res., 19 : 698-708.

Kawamori, N, Rossi, S. J., Justice, B. D., Haff, E. E., Pistilli, E. E., O'Bryant, H. S., Stone, M. H., and Haff, G. G. (2006) Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J. Strength Cond. Res.*, 20 : 483-491.

Kilduff, L. P., Bevan, H., Owen, N., Kingsley, Mike, I. C., Bunce, P., Bennett, M., and Cunningham, D. (2007) Optimal loading for peak power output during the hang power clean in professional rugby players. *Int. J. Sports Physiol. Perf.*, 2 : 260-269.

Kipp, K., Harris, C., and Sabick, M. B. (2011) Lower extremity biomechanics during weightlifting exercise vary across joint and load. *J. Strength Cond. Res.*, 25 : 1229-1234.

Kipp K., Redden J., Sabick M.B., and Harris, C. (2012). Weightlifting performance is related to kinematic and kinetic patterns of the hip and knee joints. *J. Strength Cond. Res.*, 26, 1838-1844.

倉林 準・持丸正明・河内まき子 (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. *バイオメカニズム学会誌*, 27 : 29-36.

【L】

【M】

Mackenzie, S. J., Lavers, R. J., and Wallace B. B. (2014) A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *J. Sports Sci.*, 32 : 1576-1585.

McBride, J. M., Haines, T. L., and Kirby, T. J. (2011) Effect of loading on peak power of the bar, body, and system during power cleans, squats, and jump squats. *J. Sports Sci.*, 29 : 1215-1221.

Moolyk, A. N., Carey, J. P., and Chiu, L. Z. F. (2013) Characteristics of lower extremity work during the impact phase of jumping and weightlifting. *J. Strength Cond. Res.*, 27 : 3225-3232.

【N】

長尾秀行・有賀誠司・山田 洋・小河原慶太・小山孟志・小金澤鋼一 (2014) クイックリフトにおける関節トルク立ち上がり速度の分析—最大挙上重量との関係性および動作パターンの相違に着目して—. *トレーニング科学*, 25 : 291-302.

長尾秀行・山田 洋・小河原慶太・宮崎彰吾・有賀誠司・小金澤鋼一 (2012) パワークリーンにおける下肢の力学的特性—熟練者と未熟練者の相違—. *バイオメカニクス研究*, 16 : 206-219.

【O】

Otto, W. H., III, Coburn, J. W., Brown, L. E., and Spiering, B. A. (2012) Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *J. Strength Cond. Res.* 26 : 1199-1202.

【P】

【Q】

【R】

Rippetoe, M. and Bradford, S. (2011) The Power clean. In: Rippetoe, M. (ed.) Starting Strength: Basic Barbell Training (3rd e.). The Aasgard Company, pp. 177-230.

【S】

関口 脩 (2007) クイックリフトとスピードの関連性. 月刊トレーニングジャーナル, 29 : 24-28.

Suchomel, T. J. and Stone, M. H. (2015) Weightlifting pulling derivatives: Rationale for implementation and application. Sports Med., 45 : 823-839.

Suchomel, T. J. and Sato, K. (2013) Baseball resistance training: Should power clean variations be incorporated?. J. Athl. Enhancement, 2 : doi: 10.4172/23249080.1000112.

Stone, M. H. (1993) Position paper and literature review: Explosive exercises and training. Natl. Strength Cond. Assoc. J., 15 : 9-15.

Stone, M. H., Byrd, R., Tew, J., and Wood, M. (1980) Relationship between anaerobic power and olympic weightlifting performance. J. Sports Med. Phys. Fitness., 20 : 99-102.

Stone, M. H. and H. S. O'bryant. (1987) Weight Training: A Scientific Approach. Minneapolis: Burgess International.

【T】

高松 薫, 佐藤芳弘, 宮坂雅章, 高森秀蔵 (1989) 無機的パワーにおける“力型”と“スピード型”のタイプからみたラグビー選手の特性. 体育学研究, 34 : 81-88.

高松 薫, 関子浩二, 會田 宏, 吉田 亨, 石島 繁 (1989) デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢にかかる負荷特性に及ぼす影響. 昭

和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.VIII プライオメトリックアクティブ筋力トレーニングに関する研究—第2報, pp.46-55.

Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., and Ugrinowitsch, C. (2005) Shortterm effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *J. Strength Cond. Res.*, 19 : 433-437.

【U】

瓜田吉久・金高宏文・平田文夫 (1992) 動作の異なるクリーン運動の分析, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 7 : 143-148.

【V】

【W】

Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1 : 92-93.

【X】

【Y】

Young W., Benton, D. Duthie, G., and Pryor. J. (2001) Resistance training for short sprint and maximal speed sprints. *J. Strength Cond. Res.*, 23 : 7-13.

【Z】

- Zatsiorsky, V. M. and Kramer, W. J. (2006) Training Intensity. In: Zatsiorsky, V. M. and Kramer, W.J. (eds.). Science and Practice of Strength Training (2nd ed.). Human Kinetics, pp. 69-88.
- 関子浩二 (2000) SSC理論を応用したトレーニングの可能性. トレーニング科学, 12 : 69-84.
- 関子浩二 (2006) バスケットボールにおけるプライオメトリックスがジャンプとフットワーク能力およびパス能力に及ぼす効果. 体力科学, 55 : 237-246.
- 関子浩二 (2008) スポーツトレーニング実践研究の推進 トレーニング効果の転移問題 (Transfer of Training Effects) の究明と手段の構築. トレーニング科学, 20 : 7-8.
- 関子浩二・高松 薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ種目における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38 : 265-278.
- 関子浩二・平田文夫・西菌秀嗣 (1998) 筋収縮の違いからみた下肢三関節のトルク発揮特性. 体力科学, 47 : 593-600.
- 関子浩二 (2012) プライオメトリクス. 体育の科学, 62 : 44□50.
- 関子浩二 (2012) 体力測定 I : 競技スポーツの場合. 臨床スポーツ医学, 19 : 1461-1472.
- 関子浩二 (2013) トレーニング論 II, トレーニングの理論と方法論. 公認スポーツ指導者養成テキスト, pp. 104-117.