

平成国際大学女子バレーボール部員における跳躍能力の現状報告 — 下肢筋量と膝関節トルクとの関連からの分析 —

市原 英

The present condition of jump ability in female volleyball players of Heisei International University, from the viewpoint of the relationship between lower limb muscle volume and knee joint torques.

Suguru Ichihara

I. 緒言

バレーボール競技において、跳躍能力は最も重要な体力的要素の一つである。スパイク、ブロックといったネットの高さを超えて実施するプレーでは、垂直方向での高さが必須となっている。また、セッターやリベロによるジャンプトスは練習内での跳躍回数が多く、ジャンプを伴うことも多いプレーであるサーブは、レシーバーも含めたすべての選手が行うなど、バレーボール競技では練習の段階から跳躍動作は必要不可欠であると言える。跳躍能力はフィジカルトレーニング等で強化をすることができるため、カテゴリーや競技レベルに関わらず、跳躍能力を向上させるための多様なトレーニングが実施されている（岡野ほか、2018；Powers, 1996；Villarreal et al., 2010）。

跳躍能力を向上させる要素について、特に股関節・膝関節・足関節に関わる下肢の筋との関連が多く報告がされている。相沢・松田（2010）は、片脚での垂直方向への跳躍と股関節筋力の関連についての検討を実施している。吉本ほか（2012）は、筋断面積や筋力発揮が著しく発達する前の中学生において、体重あたりの下肢の筋量や、関節最大トルクの絶対値等の力発揮能力の絶対的な大きさが、走能力および跳躍能力に影響すると報告している。バレーボール選手を対象にした研究においても、田中ら（2007）、湯浅ら（2019）のように各関節の筋力に着目したり、岡野ら（2018）のように跳躍の種類からトレーニングへのアプローチを検討したり等、下肢の筋量や筋力と跳躍能力の関連は明らかであると考えられ、下肢の筋に対し

て有効的なアプローチすることが、跳躍能力の向上に不可欠であると認識してフィジカルトレーニングを実施する必要がある。

計画的にフィジカルトレーニングを行う上では、その成果を確認するための測定が必要となる。跳躍能力の測定として最も代表的なものが垂直跳びである。バレーボール競技においても垂直方向への跳躍が重要となるため、競技に則した測定であると考えられる。一方で、跳躍は方向だけでなく、動作等の条件の違いも考慮する必要があると考えられる。垂直跳びは、その場で助走を用いずに最大努力で垂直方向へ跳躍を行うという動作であり、主に下肢の筋によるパワー発揮が重要となっている（Hedrick, 1996）。この際、例えば腕の後方への振り込み等の上半身の反動や助走を用いることで結果は大きく異なる。実際のバレーボール競技における多くの跳躍では、助走を用いて最大跳躍を実施する。スパイク時の助走を用いての跳躍は、下肢の筋力発揮による力積の大きさや、下肢における伸長-短縮サイクル（Stretch-Shortening Cycle：SSC）が大きく寄与していると報告されている（岡野ほか、2017）。そこで、バレーボール競技に必要な跳躍能力の測定としては、異なる条件での跳躍における結果の相違について確認する必要があると考えられる。また、跳躍能力に関連する身体的な要素である下肢の筋に着目した成果確認も必要となる。代表的なものとしては、生体インピーダンス法を用いた体組成測定による筋量の増減の確認や、筋のパワー発揮についてのトレーニングマシンやフリーウエイトを用いた最大挙上重量の測定、関節運動として等速性筋力測定

装置による関節最大トルクの測定等が挙げられる(日本スポーツ協会, 2022)。

このように、バレーボール競技における競技力の重要な要素である跳躍能力を向上させるためには、特に下肢の筋を対象としたフィジカルトレーニングを実施し、成果を確認しながら継続していくことが必要であると考えられる。しかしながら、平成国際大学女子バレーボール部の活動において、これまで計画的なフィジカルトレーニングは実施されていない。今後競技力を向上させるためのフィジカルトレーニングの内容を検討し実施していくにあたり、選手の体力的要素の現状を確認することにより、基礎的資料を得ることが有用であると考えられる。そこで本研究では、本学女子バレーボール選手の跳躍能力と下肢の筋量や力発揮との関係についての現状を調査し、今後跳躍能力の向上を主な目的として行うフィジカルトレーニングの内容について検討することを目的とした。

II. 方法

1. 対象

平成国際大学女子バレーボール部所属の全選手7名を対象とした。7名の内、6名がプレーにおいて多くジャンプを行うポジション(ウイングスパイカー、ミドルブロッカー、セッター)、1名がプレーではジャンプが要求されず、練習メニューとしてジャンプを行うポジション(レシーバー)であった。

2. 方法

2-1. 研究デザイン

被験者に対し、下肢筋量測定、膝関節伸展・屈曲トルク測定、跳躍能力測定を実施した。被験者はまず身体組成計により下肢筋量を測定した。その後エアロバイクを用いて3分間のペダリングによるウォーミングアップを実施した。ウォーミングアップ後、膝関節伸展・屈曲トルクの測定、続けて各種跳躍能力の測定を実施した。

測定結果に基づき、下肢筋量と膝関節伸展・屈曲トルクの関連を7名の被験者において検討した。また、膝関節伸展・屈曲トルクと跳躍能力の関連について、プレーでジャンプを行うポジションに該当する被験者6名において検討した。

2-2. 下肢筋量測定

身体組成計(InBody770, Inbody Japan)を用い、被験者の下肢筋量の測定を実施した。得られた両脚の筋量を合計し、下肢筋量の測定値とした。

2-3. 膝関節伸展・屈曲トルク測定

多用途筋機能評価運動装置(Biodex system4, Biodex Medical Systems)を用いて、膝関節伸展運動および屈曲運動の最大トルクを測定した。エアロバイクによるウォーミングアップ後、被験者は椅子に座り、上半身を付属のシートベルトで固定した。運動範囲は膝関節伸展 90° ~ 180° の範囲内で被験者の主観において無理のない最大の範囲とし、最大努力により伸展・屈曲運動を交互に実施した。測定は角速度 $60\text{deg}/\text{sec}$ (以下「低速」)、 $180\text{deg}/\text{sec}$ (以下「中速」)、 $300\text{deg}/\text{sec}$ (以下「高速」)の異なる3種類の角速度で実施した。低速および中速は3回ずつ、高速は5回の伸展・屈曲運動を実施し、各測定における最大トルク、および最大トルクを体重で除した値(最大トルク体重比)の両脚の平均値を測定値とした。

2-4. 跳躍能力測定

マットスイッチ計測システム(マルチジャンプテスタ, DKH)を用いて、跳躍能力の測定を実施した。実施した跳躍はスクワットジャンプ(Squat Jump: SJ)、腕振り込み無しカウンタームーブメントジャンプ(Non Armswing Counter Movement Jump: NA)、腕振り込み有りカウンタームーブメントジャンプ(Counter Movement Jump: CMJ)、リバウンドジャンプ(Rebound Jump: RJ)の4種類を実施した。SJでは、被験者は腰に手を当てた状態で、任意の角度でしゃがみこんだ状態から垂直方向へ最大跳躍を実施した。NAでは、被験者は腰に手を当てた状態で、脚の反動動作を用いて垂直方向へ最大跳躍を実施した。CMJでは、被験者は脚の反動動作に合わせて腕を前後に振り込み、垂直方向へ最大跳躍を実施した。RJでは、腰に手を当てた立位姿勢から、膝関節を曲げすぎないように、接地時間を極力短くする中での最大跳躍を、7回連続で実施した。SJ, NA, CMJは3回ずつ実施し、跳躍高の最高値を測定値とした。RJでは跳躍高を接地時間で除した、リバウンドジャンプ指数(RJ-index)を

算出し、最高値となった RJ-index を測定値とした。

2-5. 統計処理

測定値はすべて平均値および標準偏差で表した。7名の被験者における下肢筋量と膝関節伸展・屈曲最大トルクの関係、および6名の被験者における各跳躍能力と最大トルク体重比の関係について、単回帰分析により相関係数を算出した。なお、有意水準は10%未満を有意傾向、5%未満を有意差有りとした。

Ⅲ. 結果

1. 下肢筋量と膝関節最大トルクの関係について

被験者全体7名の下肢筋量は 14.55 ± 1.61 (kg)であった。また、膝関節伸展・屈曲最大トルクは低速伸展： 133.84 ± 20.47 ，屈曲： 61.44 ± 11.07 ，中速伸展： 89.32 ± 11.45 ，屈曲： 47.67 ± 11.26 ，高速伸展： 72.50 ± 7.09 ，屈曲： 41.42 ± 8.88 (各 $n \cdot m$) であった。

下肢筋量と膝関節伸展・屈曲最大トルクとの関係について Table1 および Figure1 に示した。下肢筋量と有意な相関が認められたのは低速伸展 ($r=0.759$, $p<0.05$) 低速屈曲 ($r=0.765$, $p<0.05$)，中速伸展 ($r=0.777$, $p<0.05$)，高速伸展 ($r=0.818$, $p<0.05$) であった。中速屈曲，高速屈曲は有意な相関関係は認められなかった。

2. 跳躍能力と膝関節最大トルク体重比の関係について

被験者のうち、対象者6名の跳躍能力の測定値は SJ： 24.73 ± 2.44 ，NA： 28.01 ± 2.81 ，CMJ： 33.69 ± 2.71 (各 cm)，RJ-index： 1.52 ± 0.27 であった。また、膝関節伸展・屈曲最大トルク体重比は低速伸展： 227.3 ± 14.86 ，屈曲： 110.25 ± 5.98 ，中速伸展： 151.33 ± 9.26 ，屈曲： 83.58 ± 13.26 ，高速伸展： 122.93 ± 8.09 ，屈曲： 72.55 ± 10.31 (各%) であった。

各跳躍能力と膝関節伸展・屈曲最大トルク体重比との関係について Table2 および Figure2, 3, 4 に示した。有意な相関が認められたのは中速屈曲と CMJ ($r=0.893$, $p<0.05$)，高速伸展と CMJ ($r=0.859$, $p<0.05$) であった。また、相関関係の傾向にあったのが低速屈曲と CMJ ($r=0.788$, $p<0.10$)，中速伸展と SJ ($r=0.767$, $p<0.10$)，NA ($r=0.751$, $p<0.10$) および CMJ ($r=0.770$, $p<0.10$)，中速屈曲と SJ ($r=0.717$, $p<0.10$)，NA ($r=0.731$, $p<0.10$)，および RJ-index ($r=0.764$, $p<0.10$)，高速屈曲と CMJ ($r=0.811$, $p<0.10$) および RJ-index ($r=0.736$, $p<0.10$) であった。その他の項目については有意な相関，および相関関係の傾向は認められなかった。

Table1 下肢筋量と膝関節伸展・屈曲最大トルクの測定結果と相関係数

| | | 60 deg/sec | | 180 deg/sec | | 300 deg/sec | |
|------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | | (n · m) | | (n · m) | | (n · m) | |
| | | 伸展 | 屈曲 | 伸展 | 屈曲 | 伸展 | 屈曲 |
| | | 133.84 | 61.44 | 89.32 | 47.67 | 72.50 | 41.42 |
| | | ± 20.47 | ± 11.07 | ± 11.45 | ± 11.26 | ± 7.09 | ± 8.88 |
| 下肢筋量 | 14.55 | | | | | | |
| (kg) | ± 1.61 | 0.759 * | 0.765 * | 0.777 * | 0.669 | 0.818 * | 0.701 |

* : $p<0.05$

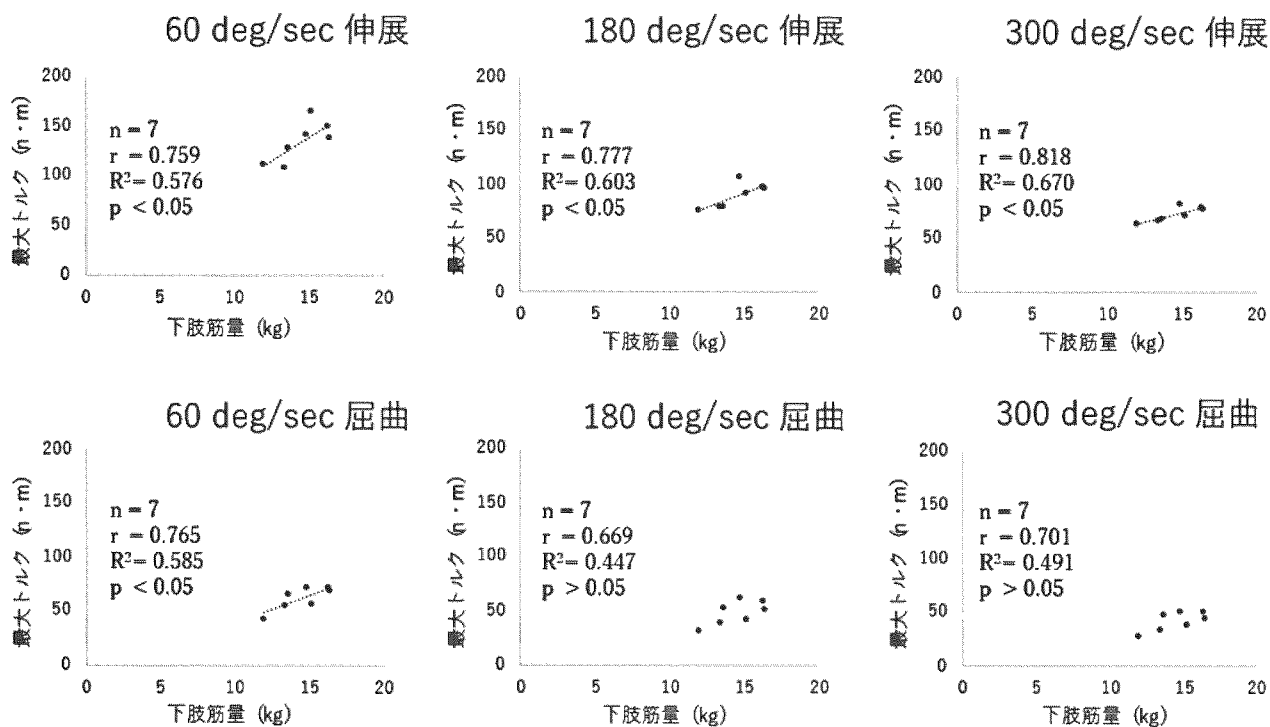


Figure1 下肢筋量と膝関節伸展・屈曲最大トルクの相関

Table2 各跳躍能力と膝関節伸展・屈曲最大トルク体重比との関連

| | 60 deg/sec | | 180 deg/sec | | 300 deg/sec | |
|----------|------------|--------|-------------|---------|-------------|---------|
| | (%) | | (%) | | (%) | |
| | 伸展 | 屈曲 | 伸展 | 屈曲 | 伸展 | 屈曲 |
| | 227.37 | 110.25 | 151.33 | 83.58 | 122.93 | 72.55 |
| | ± 14.86 | ± 5.98 | ± 9.36 | ± 13.26 | ± 8.09 | ± 10.31 |
| SJ (cm) | 24.73 | | | | | |
| | ± 2.44 | 0.132 | 0.562 | 0.767 † | 0.717 † | 0.467 |
| NA (cm) | 28.01 | | | | | |
| | ± 2.81 | 0.073 | 0.614 | 0.751 † | 0.731 † | 0.547 |
| CMJ (cm) | 33.69 | | | | | |
| | ± 2.71 | 0.482 | 0.788 † | 0.770 † | 0.893 * | 0.859 * |
| RJ-index | 15.2 | | | | | |
| | ± 0.27 | 0.203 | 0.703 | 0.441 | 0.764 † | 0.420 |

* : p<0.05 † : p<0.10

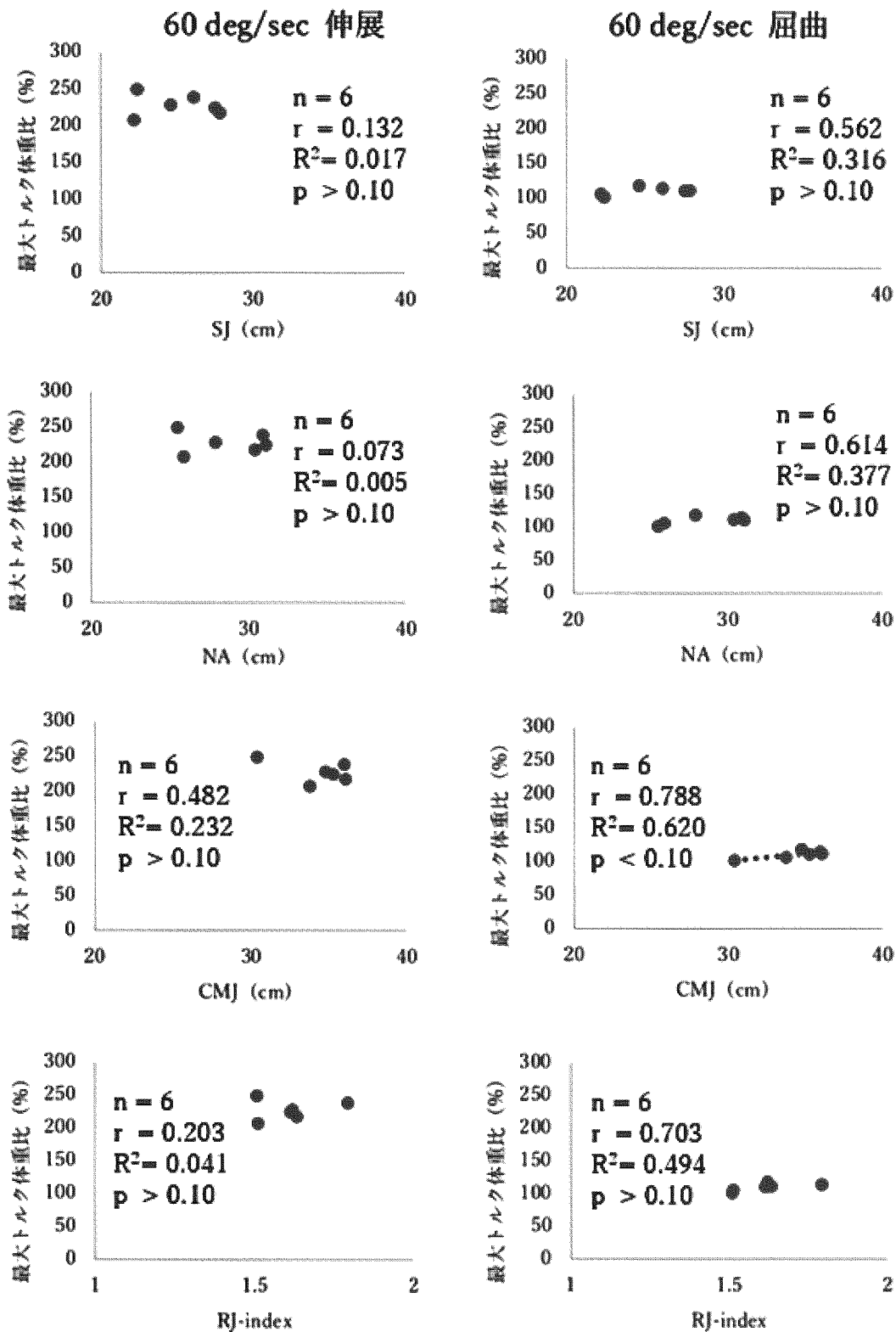


Figure 2 60 deg/sec 最大トルク体重比と各跳躍能力の相関

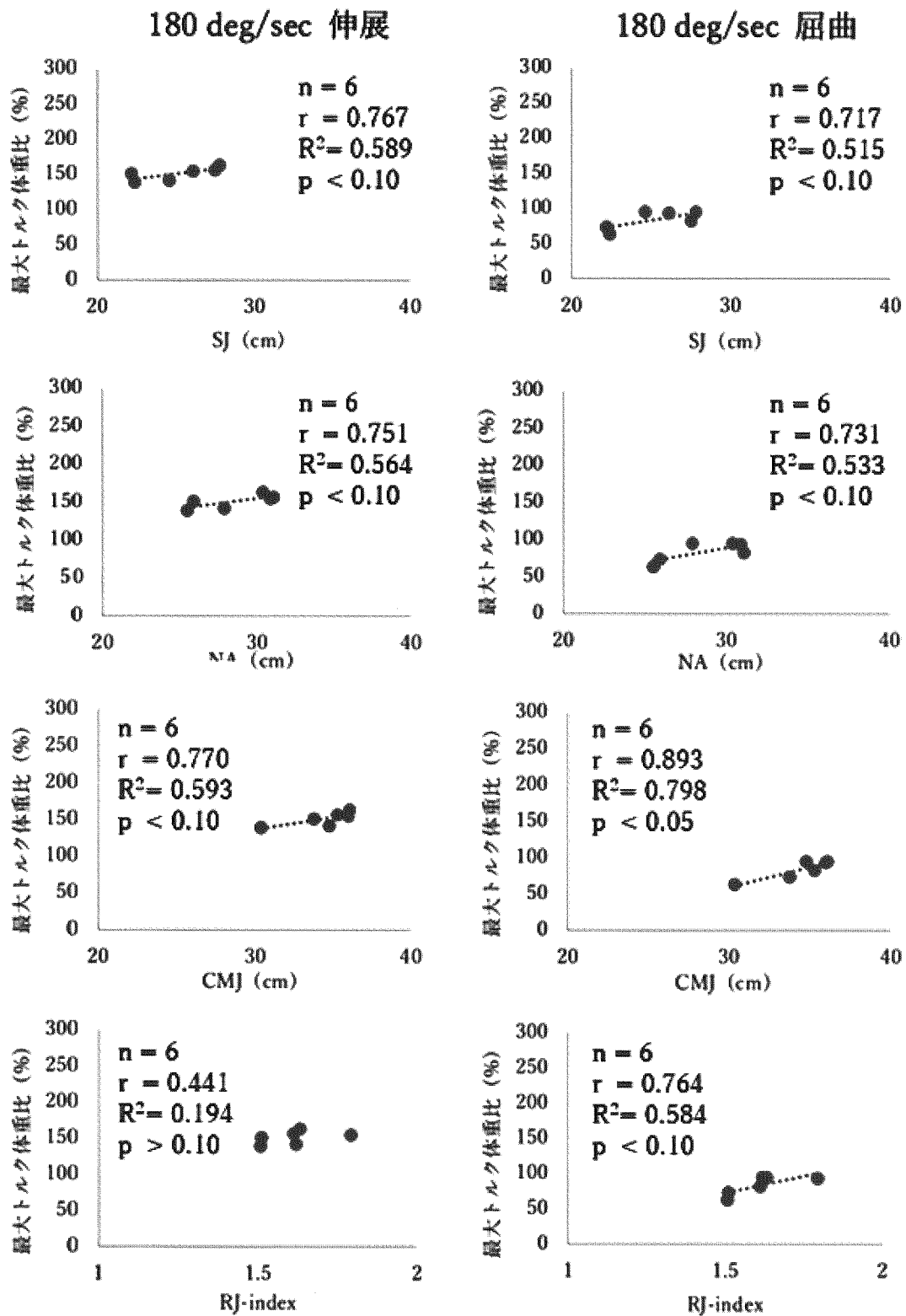


Figure 3 180 deg/sec 最大トルク体重比と各跳躍能力の相関

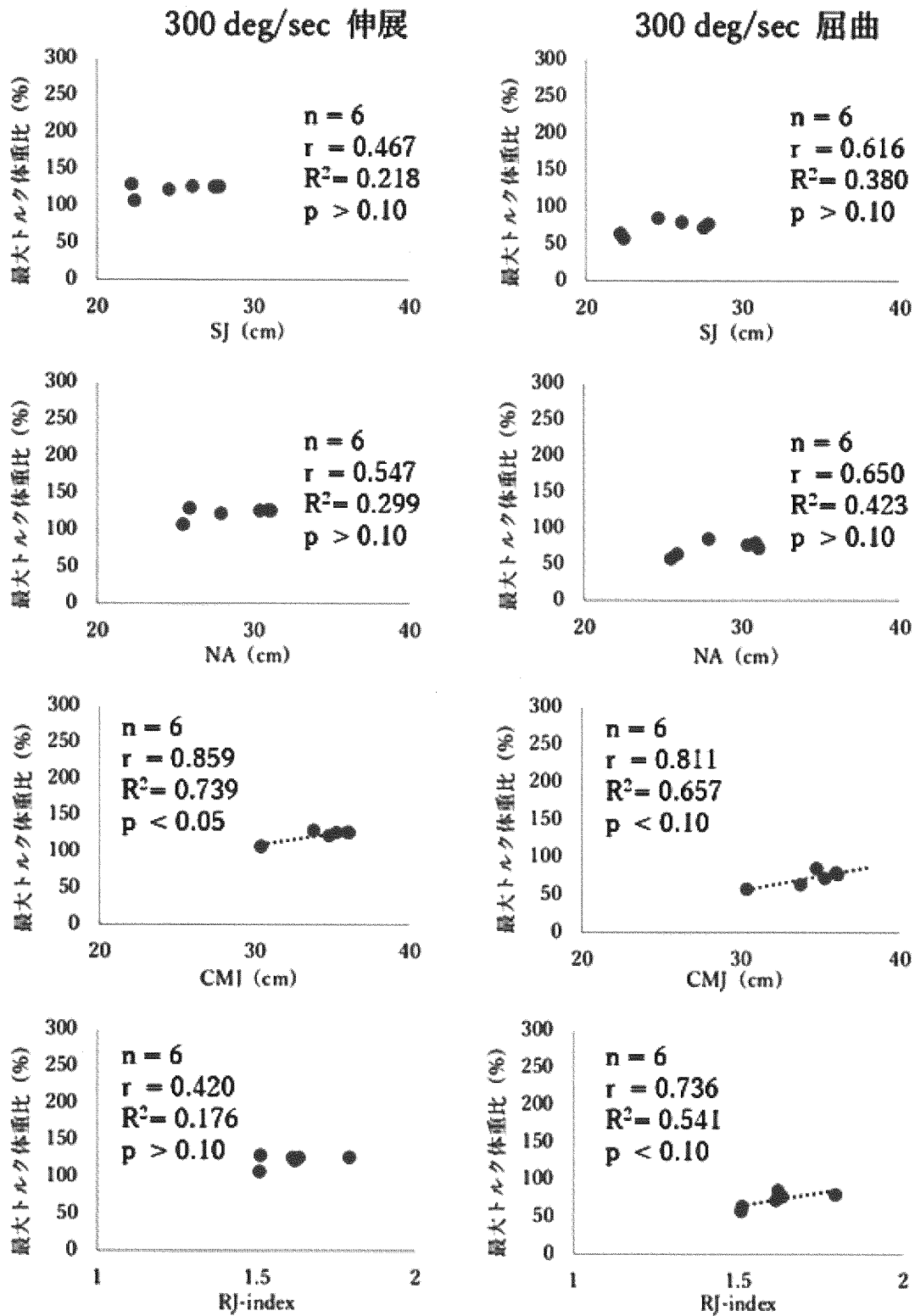


Figure4 300 deg/sec 最大トルク体重比と各跳躍能力の相関

IV. 考察

1. 対象者の現状について

先行研究より、バレーボールにおける主な跳躍であるスパイクジャンプと関連が強い跳躍能力は、CMJのような力積を大きくするような跳躍や、RJ-indexに影響を及ぼすSSC能力を用いた跳躍であると報告されている (Sheppard et al., 2008; 岡野ほか, 2017). CMJについて、日本におけるトップレベルの大学女子バレーボール選手を対象に行った研究では、有賀ほか (2021) は $48.27 \pm 4.81\text{cm}$, Kinomura et al. (2021) は NA で $34.1 \pm 5.0\text{cm}$ と報告している. 本対象者では CMJ は $33.69 \pm 2.71\text{cm}$, NA で $28.01 \pm 2.81\text{cm}$ と跳躍高は低い結果となった. RJ-index についても、有賀ほかは 1.84 ± 0.42 , Kinomura et al. は 1.81 ± 0.30 と報告している一方で、本対象者においては、 1.52 ± 0.27 と低値を示した. 以上の結果より、本対象者の跳躍能力は、同カテゴリーのトップ選手と比較して劣っていると考えられる.

2. 下肢筋量と膝関節最大トルクの関連について

下肢筋量と膝関節最大トルクの関連について、伸展運動については、すべての運動速度で有意な相関がみられた. 一方で、屈曲運動は有意な相関が確認できたのは低速運動のみであった. 筋量の増加に伴って出力は大きくなるが、加えて Evanovich et al. (1998) は運動速度が速くなるにしたがって筋活動は増大することを報告している. 本研究においては伸展筋群については運動速度の増加に伴って相関係数が大きくなっていった (低速: $r < 0.759$, 中速: $r < 0.777$, 高速: $r < 0.818$). 一方で、屈曲運動は運動速度が速くなった際に、最大トルクの発揮と筋量の関連が確認できなかった. そのため、膝関節屈筋群については筋量と出力の関連が不透明であり、下肢全体の筋量と屈曲運動における筋出力が見合っていない可能性が推察される. 以上の結果から、対象者の下肢筋量は伸展筋群の筋量に依存している可能性が考えられる. また、トレーニング特異性の原則より、対象者について動作速度の速い運動においては、伸展筋群が用いられている可能性が考えられる. バレーボール競技において動作速度の速い運動として跳躍が挙げられるが、力積を用いて跳躍する

動作では、下肢全体の仕事量に対する各関節における貢献度は、股関節40.0%、足関節35.8%、膝関節24.2%であると報告されている (Robertson and Fleming, 1987). しかしながら、本研究の対象者においては、膝関節伸展筋群が速い運動速度において活発に活動している可能性がある点、また股関節の伸展作用も持つ膝関節屈曲筋群が速い運動速度において筋量に応じた力発揮ができていない可能性がある点から、上記報告と比較して跳躍についての貢献度が股関節の伸展は小さく、膝関節の伸展は大きくなっている可能性が示された.

3. 跳躍能力と膝関節最大トルク体重比の関連について

跳躍能力と膝関節最大トルク体重比の関連について、CMJと中速屈曲、高速伸展のみ有意な相関が確認された. CMJは、大きな力を長い時間作用させ、力積を大きくすることで垂直方向へ大きく跳躍する運動である. また、筋パワーは筋力と速度を掛け合わせて発揮されるため、作用時間と動作時間のトレードオフの観点から、中速および高速での最大トルク体重比が大きく関連したと考えられる. 相関関係の傾向について含めた場合、中速および高速において膝関節伸展・屈曲ともに最大トルク体重比とCMJとの関連がみられ、CMJについては特に比較的速い動作での力発揮が重要となることが推察される. また、特に中速での伸展および屈曲については、屈曲運動とRJ-indexを除くすべてに傾向がみられたため、特に中速での力発揮は、跳躍の条件に関わらず重要となることが考察される.

RJ-indexに関しては、中速屈曲および高速屈曲のみ相関関係のある傾向がみられた. RJ時には接地時間を短くするため、膝関節の関節運動が発生しないような運動を実施しており、膝関節の筋力発揮は関連が小さいことが推察できる. そのような中で、膝関節の代表的屈筋であるハムストリングス (大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋) は股関節の伸展作用を持ち、またアキレス腱として足部のSSCに寄与する腓腹筋は、膝関節屈曲作用を持っている. そのため、動作速度の速い膝関節屈曲運動の最大トルク体重比がRJ-indexと相関関係がある傾向となった可能性が考えられる.

4. 調査結果から考える対象者の現状及び今後の展望

先述のように、バレーボール競技に必要な跳躍能力を向上させるためには、特にCMJやRJ-indexの向上を目指すことが重要である。

CMJに関して、本研究の対象者においては、下肢の筋量の膝関節伸筋群への依存が示唆されており、速度の速い動作である跳躍において膝関節伸筋群に出力が由来している可能性がある。しかし本来は股関節や足関節の方が貢献度は大きいため、本対象者についてはそれらの能力が十分に備わっておらず、跳躍能力が劣っている可能性が考えられる。CMJを高めるためには股関節の伸張の機能を持つ筋を鍛える必要があり、本研究の結果から検討すれば、膝関節の屈曲筋群をトレーニング等によって強化していくことがパフォーマンス向上につながることを示唆された。

RJ-indexはSSC能力の指標であり、プライオメトリクストレーニング等によって強化を行うのが一般的である。代表的な下肢のプライオメトリクスでは、両脚踏切で垂直方向へ跳躍するリバウンドジャンプによるトレーニング等が挙げられる(Villarreal et al., 2010)。本研究の結果から検討する場合、膝関節屈曲運動の最大トルク体重比がRJ-indexと相関関係のある傾向がみられたため、CMJ同様に膝関節屈曲筋群の強化を試みることも向上につながる可能性が考えられる。熊野ほか(2022)が大学女子バレーボール選手に対して、膝関節屈筋群であるハムストリングスのアクティベーションおよび筋力強化を伴ったジャンプトレーニングを実施し、成果を上げたという報告も行っており、本対象者においても同様に、跳躍動作自体へのアプローチに加え、膝関節屈曲筋群の強化が重要である可能性が示された。

V. 結語

本研究は、平成国際大学女子バレーボール部所属選手の跳躍能力特性と下肢の筋量や力発揮との関係についての現状を調査し、今後のフィジカルトレーニング実施に向けて内容を検討することを目的とした。対象者の下肢筋量は膝関節伸筋群に由来する可能性が考えられ、また跳躍についてはCMJが中速での膝屈曲運動および高速での膝

伸張運動との関連が、RJ-indexが中速および高速での膝屈曲運動との関連がある傾向が示された。本研究の対象者が今後跳躍能力を向上させていくためには、各跳躍に際して十分に貢献ができていない可能性がある膝関節屈筋群へのアプローチが有効的であることが示唆された。

文献

- 相澤高治・松田雅弘(2010) 股関節屈曲・伸筋筋力とジャンプ能力テストの関係性の検討. 理学療法科学, 25(6): 889-892.
- 有賀誠司・藤井壮浩・小澤翔・積山和明・生方謙(2021) 女子バレーボール選手の跳躍能力の特性. 東海大学スポーツ医科学雑誌, 33: 37-45.
- Evanovich T K, Housh T J, and Johnson G O, Smith D B, Ebersole K T, and Perry S R (1998) Gender comparisons of the mechanomyographic responses to maximal concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30: 1697-1702.
- Hedrick A (1996) The vertical jump: a review of the literature and a team case study. *Strength and Conditioning*, 18(7): 7-12.
- Kinomura Y, Nishimura S, Kataoka H, Iida S (2021) The influence of vertical jump ability on spike jump height with an approach run in female volleyball players. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 12(1): 11-16.
- 熊野陽人・水野秀一・嘉屋千紘・大沼勇人・山口幸一・山本浩二・吉岡哲(2022) 大学女子バレーボール選手における週1回のジャンプトレーニングがジャンプ能力に与える影響. *The journal of Kansai University of Social Welfare*, 25: 85-91.
- 日本スポーツ協会(2022) アスレティックトレーナー専門科目テキスト 第5巻 検査・測定と評価. 文光堂.
- 岡野憲一・九鬼靖太・秋山央・谷川聡(2018) バレーボール選手における跳躍特性とトレーニング効果に関する事例的研究. *体育学研究*, 63: 355-366.
- 岡野憲一・山中浩敬・九鬼靖太・谷川聡(2017) 伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみたトップレベル男子バレーボール選手の跳躍パフォーマンスの特性. *体育学研究*, 62(1): 105-114.
- Powers M E (1996) Vertical jump training for volleyball. *Strength and Conditioning*, 18(1): 18-23.

- Robertson D G E and Fleming R D (1987) Kinetics of standing broad and vertical jumping. *Can. J. Sport Sci.*, 12 : 19-23.
- Sheppard J M, Cronin J B, Gabbett T J, McGuigan M R, Etxebarria N, Newton R U (2008) Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *J. Strength Cond. Res.*, 22 (3) : 758-765.
- 田中弘之・清水安希・山本洋司宰・松下亮 (2007) 足関節運動の筋力トレーニングが垂直跳びの跳躍高に及ぼす影響－バレーボール競技におけるジャンプパフォーマンス向上のための実践的方策について－. 鳴門教育大学実技教育研究 = *Journal of practical education, Naruto University of Education*, 17 : 27-32.
- 吉本隆哉・高井洋平・藤田英二・福永裕子・金高宏文・西菌秀嗣・金久博昭・山本正嘉 (2012) 小・中学生男子の下肢筋群の筋量および関節トルクが走・跳躍能力に与える影響. *体力科学*, 61 (1) : 79-88.
- 湯浅康弘・栗原俊之・積山和明・小澤翔・有賀誠司・小山孟志・伊坂忠夫 (2019) アスリートにおける方向および様式の異なる跳躍能力と足趾筋力の関係－足趾筋力発揮時の中足趾節関節角度に着目して－. *体力科学*, 68 (1) : 83-90.
- Villarreal E S, Requena B, Newton R U (2010) Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport*, 13 : 513-522.
- 若山章信・柳等・小嶋俊久・山根真紀・杉田正明・深代千之 (1996) 等速性筋力測定法による膝伸展筋の力速度曲線および最大パワーの評価. *体力科学*, 45 : 413-418.