

2024年度 3月修了 修士論文

高等学校 1 年生男子を対象とした
スクワットトレーニングが
筋力と球速に与える影響

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5023A080-4

鷺田 拓未

研究指導教員： 松井 泰二 教授

目次

I. 緒言	1
1. 研究背景	1
(1) 投球速度と下肢筋力の関係	1
(2) 青少年とウエイトトレーニング	2
(3) 日本野球とウエイトトレーニング	4
2. 研究の目的	5
II. 方法	6
1. 被験者	6
2. 験者	7
3. 実験手順	7
4. トレーニング方法およびトレーニングプログラム	10
(1) スクワットプログラム	10
(2) スクワットスキル指導	11
(3) 投球指導	13
5. 測定項目および測定方法	14
(1) 筋力測定	14
(2) 投球速度測定	14
6. 統計処理	15
7. 研究倫理	15
III. 結果	16
1. 筋力測定について	17
(1) 5RM 挙上重量	17
(2) 2 群間の 5RM 挙上重量の増加量	18

2. 投球速度測定に関して	19
(1) 投球速度	19
(2) 2 群間の投球速度の増加量	20
IV. 考察	21
1. 筋力測定に関して	21
2. 投球速度測定に関して	22
3. コーチング実践への示唆	24
V. 結論	28
VI. 文献	29
VII. 謝辞	35

I. 緒言

1. 研究背景

(1) 投球速度と下肢筋力の関係

野球において、ピッチャーの投球速度はパフォーマンスにとって重要な特性であり、投球速度を増加させることは対戦相手に対して優位に立つために不可欠である（ジョブほか，2023）との報告がある。ピッチャーの投球速度が増加することによって、バッターはボールを見極める時間が短くなるため、空振り率が上昇し、打球角度が下がるため、安打や長打をより防ぐことができる（森山，2021）と示されている。

投球速度を増加させるための方法の1つとして、筋力を向上させることが挙げられる。澤村ほか（2006）によれば、投球速度には大腿四頭筋・大腿二頭筋・大殿筋などの下肢の最大筋力が大きく関与しており、勝亦ほか（2006）によると大腿筋量および膝関節伸展筋力と投球速度には有意な相関関係が認められていると報告されている。これらは投球速度において下肢筋力が重要な役割を果たしていることを示唆している。蔭山ほか（2015）は、投球速度の大きい投手は股関節および膝関節の動作による力発揮によって、体幹を維持しながらの体重移動や体幹の回旋動作と捻転動作の増加を行っており、体幹部や上肢へのエネルギーを大きくするために下肢の力学的仕事量を大きくしていることを示唆しており、より大きなエネルギーを上肢、腕、指先と伝達していくためにも下肢筋力の向上は重要であると考えられる。

下肢筋力の向上にはウェイトトレーニングが有効であり、バーベルスクワットやデッドリフト、ランジなど様々なトレーニングが行なわれている（石井ほか，2023）。本研究におけるウェイトトレーニングとは、ダンベルやバーベルといったトレーニング器具の重量を負荷として用いて

体力の向上を図る目的で実施されるトレーニングとする（河森，2024，pp. 20-22）。特にバーベルスクワットは，股関節と膝関節の両方の屈曲筋群と伸展筋群が関与するため，最も重要な下肢の筋力向上エクササイズのひとつとされている（Abelbeck, 2002; Loren and Eric, 2012; コンフォートほか，2019；Escamilla, R.F., 2001; ロッキー，2020）。また，バーベルスクワットの目的の1つとして体幹の適切な位置関係を維持することとされており，体幹筋群を強く共収縮させて腹腔内圧を最大限に発揮させることで，その結果として体幹の剛性が向上して安定性を高めることができるとされている（ウルム，2023）。さらに，バーベルスクワットは動作軌道が固定されているスミスマシンスクワットや，オープンキネティックチェーンであるレッグプレスやレッグエクステンションよりも高い筋活動を示しており（クラークほか，2017），ランジなどの片足系トレーニングと比較してより高強度の負荷をかけられることで下肢筋力を効果的，効率的に向上させることができるとされている（平山，2017，p. 12）。これらの理由からバーベルスクワットは野球選手のウエイトトレーニングとして親しまれており，Major League Baseball（以下「MLB」と略す）では1970年代から取り組まれている（ライアン・ハウス，2010）。

（2）青少年とウエイトトレーニング

ウエイトトレーニングは青少年（18歳未満の男女）の筋力とパワー向上にも十分に有効であるとされており，8週間の漸進的トレーニングによって最大74%の筋力の向上がみられ（Faigenbaum et al., 1993），青少年の身体的成長からは独立した筋力の向上をもたらす（ザチオルスキー・クレーマー，2009，p. 213）ことが報告されている。青少年によるウエイトトレーニングは，筋力の向上のほかに潜在的な恩恵として，骨の健

康や心臓疾患系のリスク改善，心理的な健康，スポーツ傷害の減少などの効果があり，青少年の身体的成長にマイナスの影響を与えることを示唆する証拠は報告されていない（ファイゲンバウムほか，2011，pp. 7-10）。

MLB および USA Baseball は，「American Development Model Report」（USA Baseball, online1, pp. 7-22）として青少年選手育成におけるウェイトトレーニングを含めた長期的なガイドラインを発信しており，日本国内の他競技についても，日本サッカー協会は「フィジカルフィットネスプロジェクト」（日本サッカー協会，online2）として，選手育成におけるトレーニングを含めた長期的なガイドラインを示しており，日本バスケットボール協会は「育成環境ガイドライン」（日本バスケットボール協会，2023）として同様なガイドラインを公表している。

USA Baseball（online1, pp. 12-21）は，12歳から14歳は基本的なウェイトトレーニングの動作を学ぶ期間，14歳から16歳は筋力だけでなく全身のパワーを発揮するトレーニングに従事する期間，それ以降は打球や打撃といったより専門的な動作を含めた負荷の高いトレーニングに従事する期間としている。

日本バスケットボール協会は，Age of Peak high Velocity（以下「PHA」と略す）を基準として4つのフェーズに分けており，出生してから身長伸び率が一度落ち，その後急激に身長が伸び始める時点までをフェーズ1として基礎体力の養成期間としている。そこから年間の身長の伸びがピークになる時点までをフェーズ2として，全身持久力の強化期間としている。身長の伸びのピーク時点から年間の身長増加量が1cm未満になる時点までをフェーズ3として，筋力向上トレーニング期間としている。それ以降をフェーズ4として，大人と同様のトレーニング期間とし

ている (2018).

また、ザチオルスキー・クレーマー (2009, p. 217) は、11 歳から 13 歳はすべての基本的なトレーニング技術を学び、各々のトレーニングの負荷を漸増していく、14 歳から 15 歳はより高度で目指すスポーツに専門的なトレーニングを行なう、16 歳以上は基本となるエクササイズを習得した後、大人と同様のプログラムを行なうことを求めている。USA Baseball およびザチオルスキー・クレーマーの報告は、平均 PHA が 14 歳である (三野, online3) 欧米人を対象としたガイドラインであり、平均 PHA は 13 歳である (文部科学省, 2017) 日本人に適応させられるかは検討の余地があるが、これらの報告から、中学校から高等学校にかけてのタイミングで、基礎的な筋力を身に着けるためのウエイトトレーニングを開始することが望ましいと考えられる。

(3) 日本野球とウエイトトレーニング

一方、全日本野球協会や日本高等学校野球連盟から青少年選手育成におけるウエイトトレーニングを含めた長期的なガイドラインは発信されていない。日本野球では古くから走り込みや投げ込み、打ち込みを中心とした練習が常識とされており、中学校、高等学校、大学といった各カテゴリー内で成果を上げることを目的として選手育成が行なわれる傾向にあるため、ウエイトトレーニングが現場で導入されようとも、即時的な効果がないものはすぐに淘汰されてしまうのが現状である (中垣, 2018, pp. 15-18)。そのため、日本野球界では青少年に対するトレーニング方法が体系的に確立されていない。現場の関心は肩関節や肘関節周辺を中心とした局所的な機能訓練や、バランスボールを用いて全身のバランス感覚を養成するトレーニング、ラダーやミニハードルなどを用い

たアジリティを養成するトレーニングなどに多く向けられており、これらは傷害予防の観点から非常に重要ではあるが、顕著にパフォーマンスに直結するものではない、とされている（中垣，2018，p. 17）。

また、筋力は向上しないと青少年のウエイトトレーニングに疑念を抱いている保護者も多く存在しており（原ほか，2011；ウィリアムス，2017），ウエイトトレーニングに関して正しい認識が浸透していないことが示されている。さらには、前述した投球速度と下肢筋力の関係については、プロ野球や社会人野球，大学野球といったカテゴリーの選手について研究であり，青少年を対象とした研究は行なわれていない。

2. 研究の目的

このような背景により，青少年によるバーベルスクワットの筋力および投球速度への影響を検討することは，日本野球界の青少年選手育成の長期的なガイドラインの一部としてのウエイトトレーニングという考え方を定着させていくための有用な知見になりうると考えられる。

そこで本研究では，15歳および16歳の高等学校1年生を対象として，バーベルスクワットが青少年の下肢筋力と投球速度にどのような影響を及ぼすかを明らかにし，今後の日本野球の青少年選手育成のトレーニングガイドライン作成の一助とするとともに，野球競技の競技力向上に寄与することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、現在高等学校での運動部活動やスポーツクラブに所属しておらず、日常的な運動習慣が学校体育以外になく、かつこれまでトレーニングに継続的に従事した経験のない高等学校 1 年生男子 22 名とし、実験群は 11 名であり、対照群は 11 名に分類した。本実験に先立って口頭による調査を行ない、上記の条件に当てはまる者を採用した。Mirwald et al. (2002) の Maturity Offset 法を用いて被験者の PHA を推定した。pre テスト開始時点での実験群は年齢が 15.3 ± 0.5 歳であり、PHA は 14.2 ± 0.3 歳、身長は 169.4 ± 5.2 cm、体重は 53.6 ± 5.3 kg であった。一方、対照群は年齢が 15.4 ± 0.5 歳であり、PHA は 14.0 ± 0.6 歳、身長は 171.1 ± 5.6 cm、体重は 54.0 ± 5.7 kg であった (表 1)。被験者に対して本研究の目的、実験内容、安全性についての説明を行ない、保護者による同意を書面にて得たうえで研究を行なった。

表 1 被験者の身体特性

	実験群 (n=11)	対照群 (n=11)
年齢 (歳)	15.3 ± 0.5	15.4 ± 0.5
PHA (歳)	14.2 ± 0.3	14.0 ± 0.6
身長 (cm)	169.4 ± 5.2	171.1 ± 5.6
体重 (kg)	53.6 ± 5.3	54.0 ± 5.7

2. 験者

筋力測定およびトレーニング介入については、NSCA CSCS の資格を有する有識者同伴のもと、青少年のトレーニング指導を行なっている著者が行なった。投球速度測定および投球指導については、青少年の野球指導者である著者が指導を行なった。

有識者は 24 歳で、都内高等学校のサッカー部や都内高等学校の野球部のトレーニング指導歴を有している。著者は 23 歳で、16 年間の野球競技歴および 2 年間の中学生硬式野球クラブの指導歴を有している。

3. 実験手順

すべての実験に先立ち、両群に対して基礎的なスクワットスキル、および補助の方法（図 1, 2）を身に付けさせることを目的として、最初の 1 週間において週 2 回各回 20 分の説明と実演を交えたオリエンテーション期間を設定した。2 週目には両群に対し、筋力測定および投球速度測定を実施した。3 週目から 10 週目にかけて、実験群に対しては 8 週間週 2 回のバーベルスクワットを行なわせ、投球指導を行なった。対照群に対しては 8 週間週 2 回のスクワットスキル指導および投球指導を行なった。11 週目には両群に対し、筋力測定および投球速度測定を実施した（図 3）。なおバーベルスクワットプログラムおよびスクワットスキル指導については後述の「4. 方法」に示した。

オリエンテーション期間に行なったスクワットスキルの指導内容は NSCA ジャパン（2015, pp.15-16）によるスクワットの師範方法とした（表 2）。



図 1 スクワットの補助方法 1

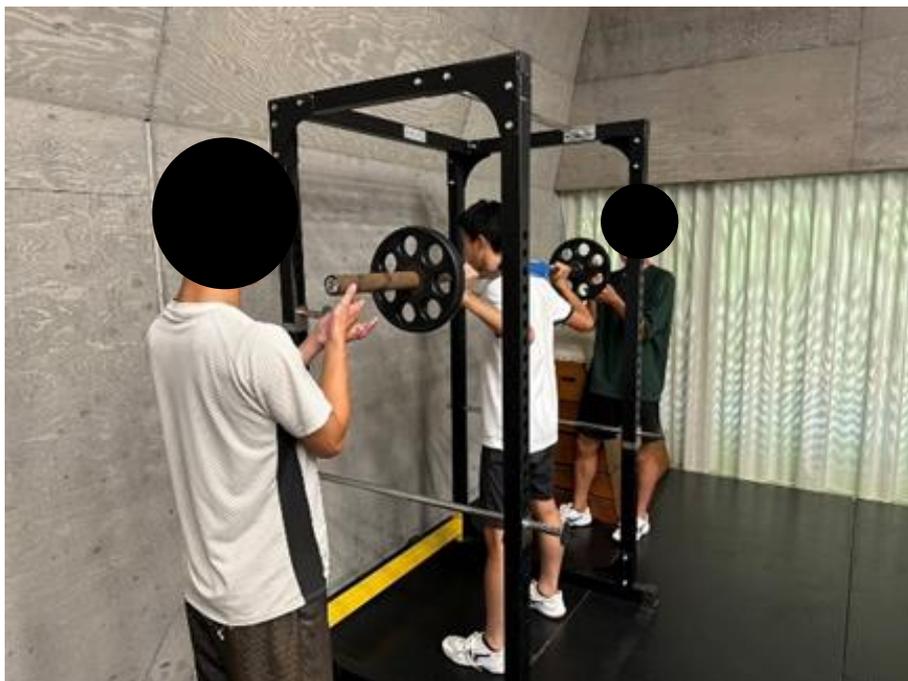


図 2 スクワットの補助方法 2

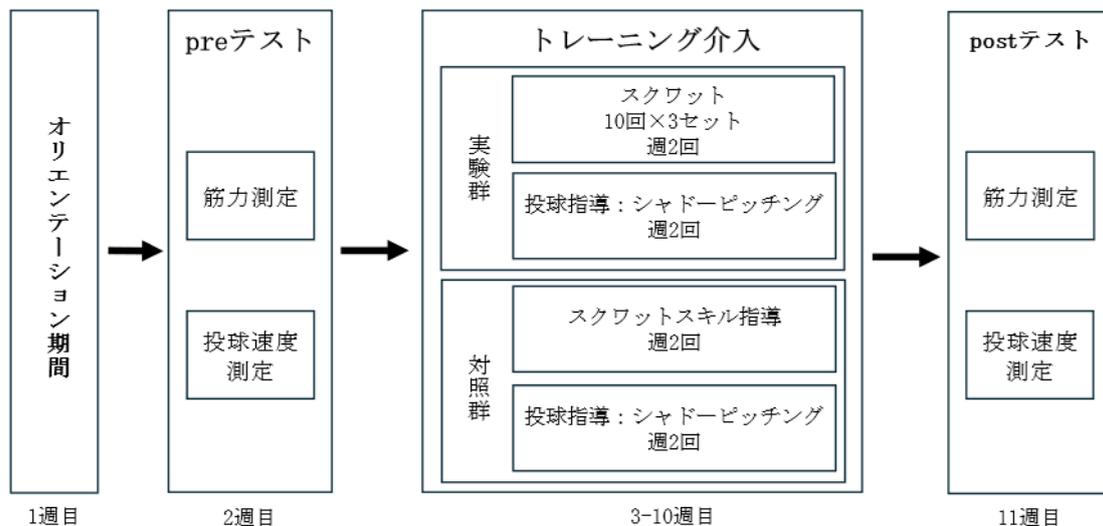


図 3 プレポストテストおよびトレーニング介入の実験手順

表 2 オリエンテーションにおけるスクワット指導のプログラム

(NSCA ジャパン, 2015, pp. 15-16 を基に作成)

スクワット指導内容	
スタート姿勢	
1:	ラックを挙上者の腋窩の高さ（鎖骨から乳頭の間）にセットする
2:	バーを左右均等な位置で肩幅よりもやや広く握る
3:	バーの中央と脊柱の位置が一致するように、バーの下に潜り込む
4:	上背部の筋で「棚」を作るように肘を上げ、そこにバーを乗せる
5:	股関節と両足をバーの真下に位置させる
6:	股関節と膝関節を伸ばして、ラックからバーを持ち上げる
7:	前後左右対称にスタンスをとり、つま先をやや外側に向ける
下るす動作	
1:	体幹と床のつくる角度を一定に保ちながら、股関節と膝関節を曲げていく
2:	背筋を真っ直ぐにし、肘を高く保つ
3:	視線は正面か、わずかに上に向ける
4:	かかとを床から浮かせてはならない
5:	膝は足（つま先）の延長線上に置く
6:	大腿中央部が床と平行になるまでバーを下ろしていく
7:	最下点でバウンドしたり、体幹の緊張を緩めたりしてはならない
上げる動作	
1:	股関節と膝関節を同じ割合で伸ばす
2:	上背部を丸めたり、上体を過度に前傾したりしてはならない
3:	体重をつま先側にかけてはならない
4:	膝は足（つま先）の延長線上に保つ

4. トレーニング方法およびトレーニングプログラム

(1) スクワットプログラム

実験群は 8 週間に週 2 回の頻度で、バーベルスクワットを 1 セット 10 回として 3 セット行なわせた。

1 回のセッションは約 10 分間のウォーミングアップ、次いで約 20 分間のスクワット、最後に約 10 分間のクールダウンで構成された。

ウォームアッププログラムは心拍数 (beats per minute : 以下「bpm」と略す) が 90 程度の 5 分間のランニングと、4 種類のストレッチ(表 3)とした (マン・ジョーンズ, 2000)。クールダウンプログラムはウォームアッププログラムと同様とした。

セット間の休憩は 1 分とした。呼吸を整えさせ、任意で水分補給を行なわせた。

トレーニング開始の 1 週目においては 5RM の 50% の強度から開始し、最終セットである 3 セット目においては 12 回の挙上が可能な場合は、次回のトレーニングにおいて 5% から 10% の挙上重量増加を行なう形の漸進的トレーニングとした。指導内容はオリエンテーションで示した表 2 と同様とした。

なお、験者は個別に指導する際は、被験者全員に同じ回数、同じ内容を指導するよう留意した。

表 3 動的ストレッチのプログラム

動的ストレッチ
片側の手を反対側のつま先につけるハムストリングスのストレッチ
サイドランジによる動的ストレッチ
フォワードランジによる動的ストレッチ
相撲スタイルの鼠径部のストレッチ

(2) スクワットスキル指導

験者は、対照群に対してスクワットスキル指導をトレーニング介入期間中、週 2 回の頻度で行なった。

1 回のセッションは約 10 分間のウォーミングアップ、次いで約 20 分間のスクワットスキル指導、最後に約 10 分間のクールダウンで構成された。

ウォームアッププログラムおよびクールダウンプログラムはスクワットプログラムと同様とした。

指導内容は NSCA ジャパン (2015, pp.15-16) によるスクワットの師範方法を基に、以下の表 4 のようにした。実際にラックに入り、ラックアップ (バーベルを担ぐこと) はしないため、ラックアップに関する師範方法を除いた。まず初めに対照群全員に対して指導内容を口頭および模範を見せて解説し、その後各々で重量負荷をかけずに自重トレーニングとして、スクワットを 1 セット 10 回として 3 セット行なった。

なお、験者は個別に指導する際は、被験者全員に同じ回数、同じ内容を指導するよう留意した。

表 4 スクワットスキル指導のプログラム
 (NSCA ジャパン, 2015, pp. 15-16 を改変)

スクワット指導内容
スタート姿勢
1: バーを左右均等な位置で肩幅よりもやや広く握る 2: 股関節と両足をバーの真下に位置させる 3: 前後左右対称にスタンスをとり, つま先をやや外側に向ける
下ろす動作
1: 体幹と床のつくる角度を一定に保ちながら, 股関節と膝関節を曲げていく 2: 背筋を真っ直ぐにし, 肘を高く保つ 3: 視線は正面か, わずかに上に向ける 4: かかとを床から浮かせてはならない 5: 膝は足 (つま先) の延長線上に置く 6: 大腿中央部が床と平行になるまでバーを下ろしていく 7: 最下点でバウンドしたり, 体幹の緊張を緩めたりしてはならない
上げる動作
1: 股関節と膝関節を同じ割合で伸ばす 2: 上背部を丸めたり, 上体を過度に前傾したりしてはならない 3: 体重をつま先側にかけてはならない 4: 膝は足 (つま先) の延長線上に保つ

(3) 投球指導

験者は、実験群および対照群に対して投球指導をトレーニング介入期間中、週2回の頻度で行なった。

指導内容は松尾・平野（2013）のアンケート調査を基に、野球未経験者でも理解できるよう改変し、以下の表5のようにした。

まず初めに、対象者全員に対して指導内容を、模範を見せながら口頭にて解説し、その後15分間のシャドーピッチングを行なう形をとった。

シャドーピッチングは各自で行なわれた。

験者は順番に1対1で指導を行ない、被験者の動きを評価し、各セッションで指導内容の内から1つだけ口頭および模範を見る形での指導を受けさせた。

なお、験者は個別に指導する際は、被験者ごとに指導時間に差が出ないように留意した。

表5 投球指導の内容
(松尾・平野, 2013 を改変)

投球指導内容
1: バランスポジション付近において軸足の膝を外に向けないこと
2: 同時期に軸足がずれないようにすること
3: ステップ時に踏み出し足を投球対象に向けて直線的に出すこと
4: ステップ時に両肩を結ぶ線が投球方向と平行になるように出ること
5: ステップ中、投球側およびグラブ側の前腕を回内すること
6: テイクバック時に投球側の肩関節を水平内転しないこと

5. 測定項目および測定方法

測定項目は、下肢筋力 (kg) および投球速度 (km/h) の 2 項目とし、トレーニングプログラムを実施した前後に測定を行なった。

(1) 筋力測定

筋力測定は一般的に 1RM テストが用いられることが多いものの、被験者の筋や関節に大きなストレスを与える危険性があるため、本研究では筋損傷のリスクがより低い 5RM テスト (Gail and Kunzell, 2014) を採用した。ウォームアッププログラムは、bpm 90 程度の 5 分間のランニングと、任意重量を申告させた上でのバーベルスクワット 10 回を 1 セット行なわせた。被験者には全力での挙上を行なわせ、挙上に成功した場合は 5kg から 10kg の範囲で負荷を漸進させた上で、挙上に失敗した直前の重量を 5RM として採用した。

(2) 投球速度測定

ウォームアッププログラムは、bpm 90 程度の 5 分間のランニングと 15m 間での 10 球のキャッチボールとした。セットポジションの姿勢から 15m 先に立つ捕手に向かって全力での投球を 5 回測定できるまで行なわせた。使用したボールは、硬式球 (GD85D, SSK 社, 日本) であった。投球速度の測定には、スピードガン (Pocket Radar, Pocket Radar 社, アメリカ合衆国) を用いた。スピードガンの設置場所は測定誤差の少ない捕手の真後ろ (宮西ほか, 2000) とし、その照準を被験者のボールリリース位置に向けて測定を行なった。なお、本研究では投球 5 球の平均値を結果として採用した。

6. 統計処理

本研究の統計処理方法について、二要因分散分析の採用を検討したが、等分散性の条件を満たすことができなかつたため、以下に記した統計処理方法を採用した。

統計解析ソフトウェア (SPSS statistics ver. 29, IBM, 日本) を用いて、実験群のトレーニング介入前後および対照群のトレーニング介入前後の2群間において対応のある t 検定を用いて、5RM 挙上重量と投球速度についてそれぞれ行なった。さらに、実験群のトレーニング介入前後での増加量と対照群のトレーニング介入前後での増加量の2群間において対応のない t 検定を用いて 5RM 挙上重量と投球速度についてそれぞれ行なった。本研究では、複数の統計処理を行なったため、第1種の過誤を制御するためにボンフェローニ補正を適用した。全体の有意水準を $\alpha = .05$ に設定し、補正後の有意水準を $\alpha / 2 = .025$ とした。各 t 検定において、有意性の判断基準を $p < .025$ とした。

7. 研究倫理

本研究は、早稲田大学倫理審査委員会の承認 (承認番号 2024-134) を得て実施した。

III. 結果

トレーニング介入前後に測定された実験群および対照群の筋力および投球速度の結果を示した(表5, 6). 両群において, preテスト時点での筋力および投球速度に差は見られなかった. また, 今回のオリエンテーション期間からプレテスト, トレーニング介入期間, ポストテストを通してすべてのプログラム内で被験者の身体異常や傷害は報告されなかった.

表5 実験群における介入前後の筋力および投球速度の結果

被験者(n=11)	筋力(kg)		投球速度(km/h)	
	pre	post	pre	post
A	57.5	85.0	52.6	57.2
B	52.5	67.5	50.0	49.0
C	52.5	62.5	89.2	91.4
D	65.0	90.0	57.6	59.2
E	65.0	80.0	67.8	68.8
F	62.5	70.0	65.0	65.8
G	52.5	62.5	53.8	61.6
H	57.5	67.5	51.8	57.8
I	32.5	57.5	54.0	58.6
J	70.0	85.0	69.4	71.0
K	70.0	77.5	65.2	72.8
Ave ± SD	57.95 ± 10.71	73.18 ± 10.84	61.50 ± 11.54	64.83 ± 11.24

表6 対照群における介入前後の筋力および投球速度の変化

被験者(n=11)	筋力(kg)		投球速度(km/h)	
	pre	post	pre	post
L	62.5	67.5	60.6	61.2
M	45.0	50.0	54.4	56.8
N	52.5	55.0	61.4	58.4
O	57.5	57.5	44.6	47.6
P	65.0	70.0	66.2	64.4
Q	55.0	57.5	65.6	65.2
R	52.5	55.0	63.4	64.2
S	67.5	72.5	61.0	63.0
T	57.5	60.0	73.0	74.2
U	55.0	57.5	49.2	51.6
V	70.0	72.5	62.4	62.0
Ave ± SD	58.18 ± 7.42	61.36 ± 7.86	60.16 ± 8.03	60.78 ± 7.15

1. 筋力測定について

(1) 5RM 挙上重量

トレーニング介入後の 5RM 挙上重量が実験群，対照群ともにトレーニング介入前の 5RM 挙上重量より有意に増加した（実験群： $t(10)=6.85$ ， $p<.001$ ， $g=1.91$ ，対照群： $t(10)=-6.53$ ， $p<.001$ ， $g=1.82$ ）（図 4）。

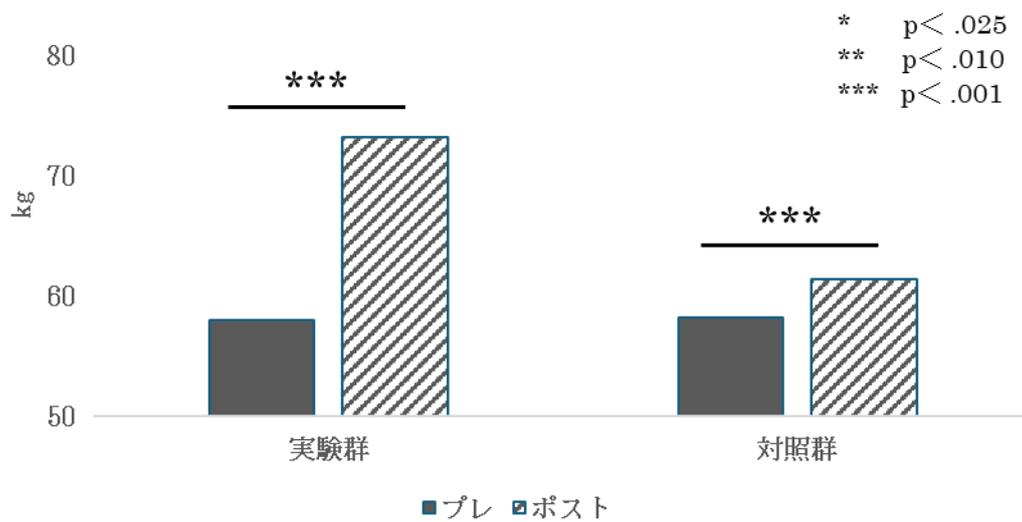


図 4 両群におけるトレーニング介入前後の 5RM 挙上重量の比較

(2) 2 群間の 5RM 挙上重量の増加量

実験群における 5RM 挙上重量の増加量が，対照群における 5RM 挙上重量の増加量よりも有意に大きかった ($t(20)=5.30$, $p<.001$, $g=2.17$) (図 5).

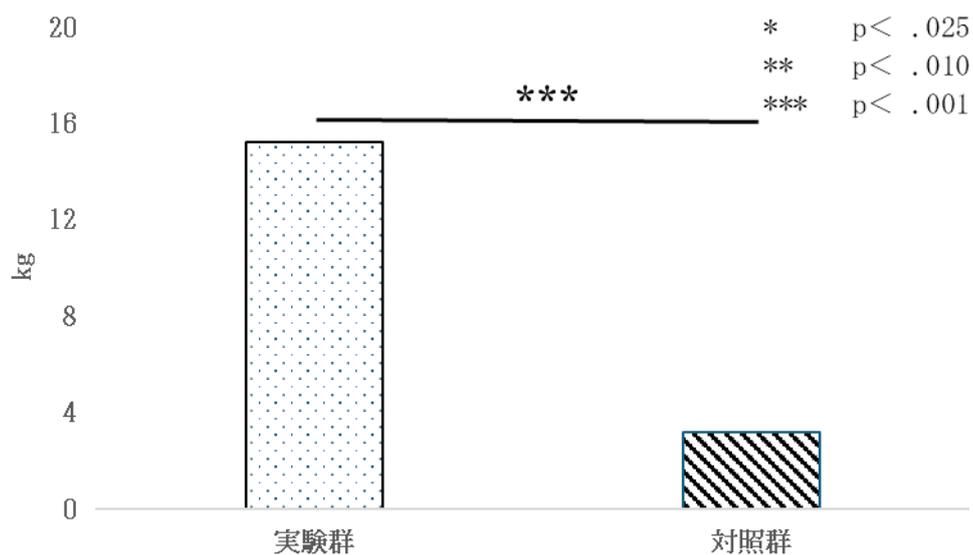


図 5 2 群間のトレーニング介入前後の 5RM 挙上重量の増加量

2. 投球速度測定に関して

(1) 投球速度

実験群において，トレーニング介入後の投球速度がトレーニング介入前の投球速度より有意に増加した ($t(10)=-3.78$, $p=.004$, $g=1.05$) (図6).

対照群においては有意差が認められなかった.

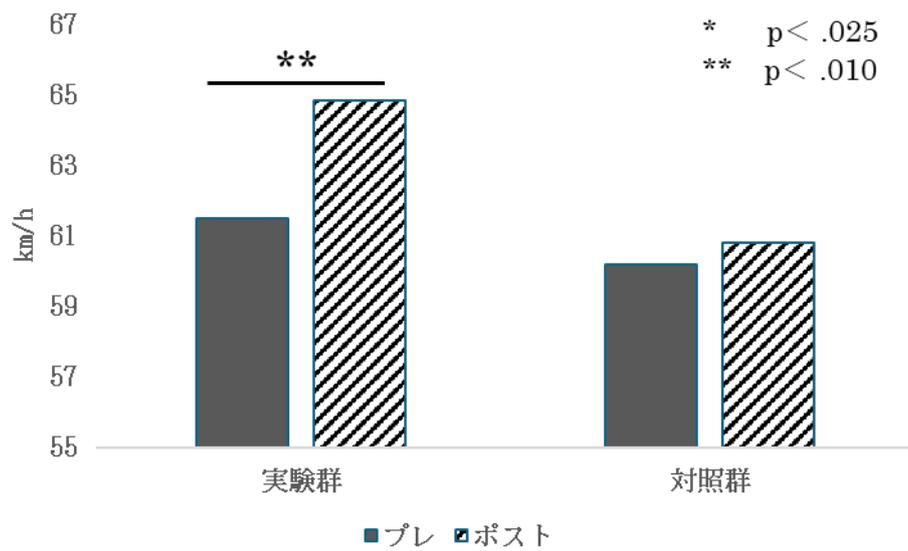


図6 両群におけるトレーニング介入前後の投球速度の比較

(2) 2 群間の投球速度の増加量

実験群における投球速度の増加量が，対照群における投球速度の増加量よりも有意に大きかった ($t(20)=2.59$, $p=.017$, $g=1.06$) (図 7).

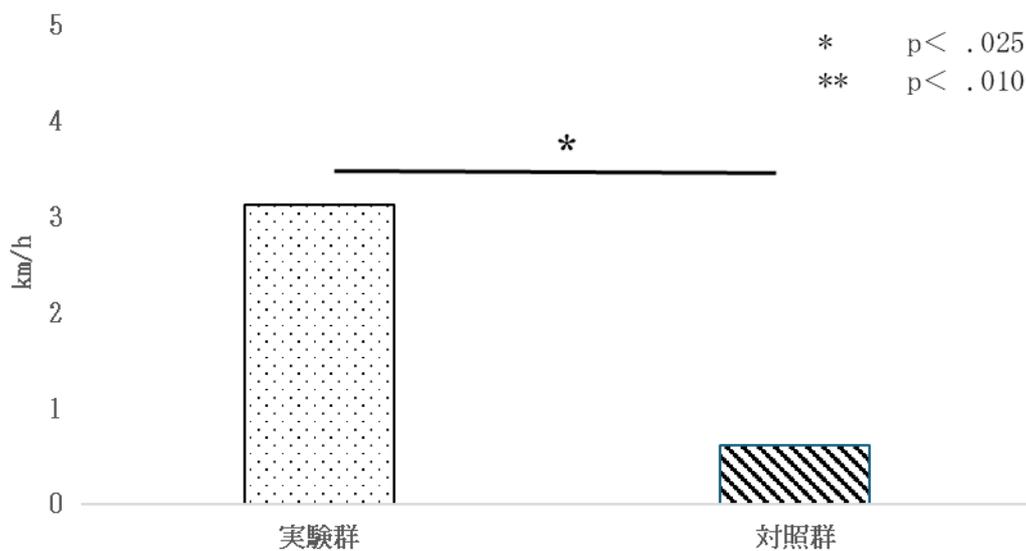


図 7 2 群間のトレーニング介入前後の投球速度の増加量

IV. 考察

1. 筋力測定に関して

トレーニング介入前後での 5RM 挙上重量の変化においては、実験群および対照群ともに有意差が認められ、実験群では $g=1.91$ という大きな効果を示した。対照群においても $g=1.82$ という大きな効果を示した（図 4）。また、トレーニング介入前後では被験者の身体的成長が筋力の向上の要因となりうるため、それぞれの群の 5RM 挙上重量の増加量の比較を行なった。推定 PHA は同程度であることから、両群のトレーニング介入期間での身体的成長度合いは同等であると仮定し検討した。その結果、実験群が対照群より増加量が有意に大きく、 $g=2.17$ と極めて大きな効果量を示しており（図 5）、負荷の有無にかかわらず、スクワットによって青少年の下肢筋力の向上は実現するが、バーベルスクワットによって、自重スクワットと比較してより大きな効果を得ることができるとが示された。

これはハリソン（2013）による、自重トレーニングは外部の負荷を動かす筋力に大きな向上をもたらさない、という主張を覆す形となり、青少年の筋力向上において自重トレーニングは一定の効果を生むことが示唆されたが、負荷がほぼ一定であり漸進性過負荷の原則（河森，2024，pp. 115-131）に反するため、下肢筋力の向上に限度があるという側面も示された。しかし、特別な器具を用いることなく筋力を向上させることができる点は自重トレーニングのメリットであり（ハリソン，2013）、筋力の低い青少年に対して、トレーニング施設や設備が整っていない場合には筋力向上の有効な手段となりえることが示された。

また、少量短期間のトレーニングプログラムによる筋力の変化は、通常の身体的成長による筋力の向上と見分けがつかない可能性がある

(Docherty et al., 1987; Ross, 1976) との報告があるが、本プログラムの 8 週間に週 2 回の頻度で、バーベルスクワットを 1 セット 10 回として 3 セット、最終セットである 3 セット目において 12 回挙上することが可能な場合は、次回のトレーニングにおいて 5%から 10%の挙上重量増加を行なう形の漸進的トレーニングでは下肢筋力の向上を得るには十分な刺激と期間であったといえる。

今回実験群は 8 週間週 2 回のトレーニング介入によって約 26%の筋力の向上が観測された。8 週間のトレーニング介入によって 74%の筋力の向上が観測されたという報告はあるものの、一般的に青少年を対象とした 8 から 20 週間の短期間プログラムでは約 30%の筋力の向上がみられており（ファイゲンバウムほか，2011，p.5），本研究においても同様な結果が得られた。

一方筋力測定において、両群間のモチベーションの変化がトレーニング効果に影響を与えた可能性があるかと推測される。実験群は重量の増加によって数値的に自身の筋力の向上が観測される一方、今回の対照群は負荷のない自重スクワットのため、自身の筋力の向上を体感しづらい環境であった。こういった背景から、群間においてトレーニングに対するモチベーションに差異があった可能性が否めず、今後の課題として心理的な差がトレーニング効果に与える影響を考慮する必要があると考えられる。

2. 投球速度測定に関して

トレーニング介入前後における投球速度の変化においては、実験群のみに有意差が示された（図 6）。また、トレーニング介入前後では被験者の身体的成長が筋力の向上の要因となりうるため、それぞれの群における投球速度の増加量の比較を行なった。推定 PHA は同程度であること

から、両群のトレーニング介入期間での身体的成長度合いは同等であり、pre テスト時点で投球速度は同程度であること、投球指導が両群で同等に行なわれたことから、両群の投球スキルも同等であると仮定し検討した。その結果、実験群が対照群より有意に増加量が大きく、 $g=1.06$ と大きな効果を示しており（図 7）、バーベルスクワットによる下肢筋力の向上が青少年の投球速度を有意に増加させる要因の 1 つであることが示された。

前述の通り、バーベルスクワットの目的の 1 つは体幹の適切な位置関係を維持することである（ウルム, 2023）。野球の投球といったオーバーヘッドスローの投球速度は、骨盤、脊椎、および体幹筋群の安定性、筋力およびパワーに大きく依存しており、体幹筋群は下肢から体幹、そして上肢への運動量の伝達を促進する（オヤマ・パーマー, 2024）。実験群における投球速度の増加は、バーベルスクワットによる下肢筋力の向上のみによるものではなく、バーベルスクワットによる体幹部の安定性の向上が貢献している可能性がある。

また、運動スキルの向上において、関与する筋群の協調性が重要な役割を担っている可能性があり（ファイゲンバウムほか, 2011; Jean et al., 1990; John et al., 1994）、バーベルスクワットは下肢筋力の向上だけでなく、固有感覚に刺激を与え、下肢全体の協調性向上も期待できる運動として重要視されている（池添ほか, 2003; Kevin et al., 1996; Randal et al., 1991; Terry et al., 1980）。本研究における実験群の投球速度の増加の要因として、バーベルスクワットによる下肢筋力の向上だけでなく、下肢筋群の協調性も向上し、投球動作のスキル獲得に貢献した可能性が考えられる。

自重スクワットでは下肢筋力の向上は示されたものの、投球速度を増

大きさせることは示されなかった。その理由としては、筋力は向上したものの、投球へ転移させられるほどの筋力向上ではなかったこと、上述したような体幹部の安定性や下肢筋群の協調性を十分に獲得することができなかつたことが推測される。

平山（2017, p. 12）は、バーベルスクワットを行なう目的は負荷の高いオリンピックリフティングやジャンプ系トレーニングを行なうために必要な最低限の筋力を確保することであると捉えている。一方で、筋力の低いアスリートの場合は、バーベルスクワットと競技動作中での関節角度や各筋の貢献度が異なる場合でも、バーベルスクワットを行なうだけでパフォーマンスが向上することがあると指摘している。これらから、バーベルスクワットによる下肢筋力の向上は、実際に青少年の投球速度を増大させるとともに、発育が進んでからの高負荷なトレーニングに耐える基盤を作ることにも貢献していると考えられる。

本研究の今後の課題として、バーベルスクワットには下肢筋力の向上のみならず、体幹部の安定性の向上や筋間の協調性の向上といった効果が存在しており、下肢筋力の向上と投球速度の増加を直接的に結びつけることができなかつた点が挙げられる。トレーニング時の筋活動の測定やモーションキャプチャによる投球動作における運動連鎖の評価を行なうことで、バーベルスクワットのどの効果が投球速度の増加に影響をおよぼしているのかを解明することができると考えられる。

3. コーチング実践への示唆

今回の実験の結果、バーベルスクワットによって投球速度の増加がみられたが、ウェイトトレーニングとジャンプトレーニングなどのプライオメトリクストレーニングの組み合わせがアスリートに最も大きな恩恵

をもたらす可能性がある」と報告されている（ファイゲンバウムほか., 2011, p.9). プライオメトリクストレーニングとは, ストレッチーショートニングサイクルといわれる, 筋が伸ばされて縮む際の弾性エネルギーを利用するトレーニングである. 単一のトレーニングだけでなく, 筋収縮の形態にバリエーションを持たせることでより効果を発揮できる可能性が考えられるだろう.

また, 力発揮の方向という点においては, 水平方向に力発揮を必要とするアスリートは水平成分を含むトレーニングを行ない, 鉛直方向に力発揮を必要とするアスリートは鉛直成分を含むトレーニングを行なうことで, トレーニング効果のパフォーマンスへの転移の度合いが高くなるとされており（ランデルほか, 2013), ズワイフェル（2018）も初心者アスリートに対してはバーベルスクワットのような鉛直方向に負荷のかかるトレーニングを必要とし, より上級レベルのアスリートでは, 水平方向に負荷のかかる運動も行なう必要があるとしている. 投球動作は並進運動と回転運動によって構成されており（宮下ほか, 1999; 島田ほか, 2004; 島田ほか, 2000; 内田ほか, 2017), 並進運動は水平方向への力発揮を必要とするため, 今回行なった鉛直方向に力を加えるバーベルスクワットだけでなく, 水平方向に力を加えるヒップスラストのようなトレーニングも並行して行なっていくことで, より優れた転移をもたらす可能性がある.

これらや日本バスケットボール協会（2018), USA Baseball (online1) を参考として, 小学校高学年から中学校前半期までにかけては全身持久力および基礎的な体力の育成を行ない, 中学校前半期から高等学校にかけてバーベルスクワットを中心とした基礎的な筋力を身に着けるためのウエイトトレーニングを開始し, 基礎的な筋力を獲得したのちに, 筋収

縮の形態や力発揮の方向，投球および打撃に特異的な回旋動作といったトレーニングの形態，パワー発揮，スピードなどトレーニングにバリエーションを持たせていく流れが日本野球のウエイトトレーニングに関するガイドラインの一例として示すことができる．このようなガイドラインの作成や，バーベルスクワットを取り入れることで期待できる効果を提示することは，保護者や選手にウエイトトレーニングの意義や正しい認識を浸透させ，長期的な青少年選手育成に貢献するものとなる．ただ本研究では15歳から16歳の高等学校1年生男子を対象としており，その他のPHAに達していない年代やPHAに差し掛かる年代のトレーニングについての知見は提供できていない．より正確なガイドラインを作成するために，今後はより多様な年代で，多様なトレーニング効果について研究を行なうことが求められる．

また，青少年のトレーニングプログラムには，心理社会的な幸福感を促進する要素が求められており，本研究で行なったトレーニングプログラムをコーチング現場に導入するにあたり，オーバートレーニングやバーンアウトを避けるために注意深くモニタリングを行ない，精神的なケアを継続的に行っていくことが必要である（ロイドほか：NSCA JAPAN 訳，2017）．トレーニングを行なう青少年に対しては，競争する代わりに自己改善を受け入れるように奨励し，すべての参加者にとって楽しいトレーニング体験を作り出すよう，指導者やトレーニング監督者は留意する必要がある（ファイゲンバウムほか，2011，p. 11）．

ファイゲンバウムほか（2011）は，トレーニングを行なうための適切な施設や設備が整っていない場合，トレーニング効果を十分に得ることが難しいとしている．学校のトレーニング施設や設備に関しては，必ずしも充実しているわけではなく，学校間での差が大きくなっており，地

域のスポーツジムにおいても、年齢制限が設けられているなど、青少年がトレーニングを享受できる環境が限られている。また、有資格者による指揮および監督が安全かつ効果的な青少年のトレーニングに重要とされているが（ファイゲンバウムほか，2011），資格を保有している学校教員は多くないため，今後よりトレーニングを青少年に浸透させるために，トレーニング施設や設備を拡充していくことも求められている。

V. 結論

本研究では、15歳および16歳の高等学校1年生男子を対象として、バーベルスクワットが青少年の下肢筋力と投球速度の影響を明らかにし、今後の日本野球の青少年選手育成のガイドライン作成の一助とするとともに、野球競技の競技力向上に寄与することを目的とした。その結果以下の結論を得ることができた。

1. 自重スクワットによって青少年の下肢筋力は向上するが、バーベルスクワットの方がより効果的である。
2. バーベルスクワットによる下肢筋力の向上は、青少年の投球速度を増加させる要因の1つである

以上のように、青少年のトレーニングの有効性および下肢筋力の向上と投球速度への影響に関して高等学校1年生男子のみを対象としたが、新たな知見を提示することができた。投球速度の増加にはスキル獲得のための練習のみならず、ウエイトトレーニングも同時に行なっていく必要性があり、そのためのトレーニングは、その後のより特異的なトレーニングを行なうための基盤となりうることは、競技者のみならず指導者にとっても新たな知見となるだろう。

VI. 文献

- Abelbeck, K.G. (2002) Biomechanical model and evaluation of a linear motion squat type exercise. *J Strength Cond Res*, 16 (4) : 516-524.
- コンフォート・マクマーン・スカメル：NSCA JAPAN 訳 (2019) スクワットの最適化を再考する。NSCA JAPAN, 26 (9) : 54-60.
- Docherty, D., Wenger, H., Collis, M., and Quinney, H. (1987) The effects of variable speed resistance training on strength development in prepubertal boys. *Journal of Human Movement Studies*, 13 : 337-382.
- Escamilla, R.F. (2001) Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 33(1) : 127-141.
- ファイゲンバウム・クレーマー・ブリムキー・ジェフリーズ・ミシェリ・ニトカ・トーマス：NSCA JAPAN 訳 (2011) 青少年のレジスタンストレーニング：NSCA ポジションステイトメント 最新版。NSCA JAPAN.
- Faigenbaum, A., Zaichkowsky, L., Westcott, W., Micheli, L., and Fehlandt, A. (1993) The effects of a twice-a-week strength training program on children. *Pediatric Exercise Science*, 5(4) : 339-346.
- Gail, S., and Kunzell, S. (2014) Reliability of a 5-repetition maximum strength test in recreational athletes. *Dtsch Z Sportmed*, 65 : 314-317.
- 原豪志・原田和弘・間野義之・中村好男 (2011) 小学生のレジスタンストレーニング実施の適否に関する保護者の認識とサーキットトレーニングプログラム利用意向との関連。スポーツ産業学研究, 21 (1) : 41-48.
- ハリソン：NSCA JAPAN 訳 (2013) 自重トレーニング：基本に立ち返る。NSCA JAPAN, 20 (5) : 58-61.

平山邦明（2017）レベル I 種目：指導のケーススタディ—スクワットエクササイズ．NSCA JAPAN, 24（6）．

池添冬芽・市橋則明・森永敏博（2003）スクワット肢位における足圧中心位置の違いが下肢筋の筋活動に及ぼす影響．理学療法学, 30（1）：8-13．

石井直方・柏口新二・高西文利（2023）筋力強化の基本書．東京大学出版社，東京．

Jean, R., Cameron, B., Karen, S., Scott, G., Duncan, M., and Digby, S. (1990) Strength training effects in prepubescent boys. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(5) : 605-614.

ジョブ・ネビル・ケーヒル・ブージョワ・クロティン・クロウニン：NSCA JAPAN 訳（2023）野球選手の投球速度を向上させるためのトレーニング方法：簡潔なレビュー．NSCA JAPAN, 30（9）：24-31．

John, O., Alen, M., and Paul, S. (1994) Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(4) : 510-514.

蔭山雅洋・鈴木智晴・杉山敬・和田智仁・前田明（2015）大学野球投手における下肢関節の力学的仕事量と投球速度の関係．体育学研究, 60：87-102．

勝亦陽一・長谷川伸・川上泰雄・福永哲夫（2006）投球速度と筋力および筋量の関係．スポーツ科学研究, 3：1-7．

河森直紀（2024）競技力向上のためのウエイトトレーニングの考え方．ナッブ：東京．

Kevin, W., Rafael, E., and Melissa, B. (1996) A comparison of tibiofemoral joint forces and electromyographic activity during open

- and closed kinetic chain exercises. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(4) : 518-527.
- 児玉公正・中山悌一（1997）プロ野球選手のバットスイング速度と下肢の筋力. *日本体育学会大会*, 48 : 452.
- ロイド・クロニン・ファイゲンバウム・ハフ・ハワード・クレマー・ミチェリ・マイヤー・オリバー：NSCA JAPAN 訳（2017）長期的な運動能力の開発に関する NSCA のポジションステイトメント, NSCA JAPAN, 1-20.
- ロッキー：NSCA JAPAN 訳（2020）6 週間の基礎ストレングストレーニングプログラム：アマチュアアスリートのスプリントの加速向上と将来の漸進の基礎. NSCA JAPAN, 27 (3) : 53-63.
- Loren, C., Eric, B. (2011) A teaching progression for squatting exercises. *Strength and Conditioning Journal*, 33(2) : 46-54.
- マン・ジョーンズ：NSCA JAPAN 訳（2000）動的ストレッチングプログラム実施のためのガイドライン. *Strength and Conditioning*, 7 (5) : 12-13.
- 松本晋太郎・古川裕介・小松稔・内田智也・野田優希・石田美弥・佃美智留・大久保吏司・藤田健司（2018）中学野球選手における下肢筋力と投球障害の関係. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 26 (1) : 60-65.
- 松尾知之・平野裕一（2013）投球動作指導の共通項—アンケート調査によるコーチング・ノードの探求—. *コーチング学研究*, 26 (2) : 203-212.
- 宮下浩二・小林寛和・横江清司（1999）投球動作で要求される下肢関節機能に関する検討. *Journal of Athletic Rehabilitation*, 2 (1) : 65-72.
- 三野耕（online3）思春期前から思春期における発育発達からみたスポー

ツ指導について . https://www.rugby-toyonaka.org/cms_2/wp-content/uploads/897aa37ca9eaf00f68515613f9909e1e.pdf, (参照日 2025年1月9日).

西宮智久・向井正剛・川口鉄二・関岡康雄 (2000) スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較. 仙台大学紀要, 31 (2) : 72-77.

文部科学省 (2017) 平成 29 年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査結果 .

https://www.mext.go.jp/prev_sports/comp/b_menu/other/_icsFiles/afieldfile/2018/03/06/1401889_1.pdf, (参照日 2025年1月8日).

森山峻太 (2021) 野球データ革命. 竹書房 : 東京, pp. 35-47.

中垣征一郎 (2018) 野球における体力トレーニングの基礎理論. ベースボール・マガジン社 : 東京.

日本バスケットボール協会 (2018) 中学校部活動におけるバスケットボール指導の手引き . http://www.japanbasketball.jp/wp-content/uploads/Bukatsu-compressed_2018110.pdf, (参照日 2025年1月8日).

日本バスケットボール協会 (2023) 育成環境ガイドライン . <http://www.japanbasketball.jp/training/youthacadmy/documents/>, (参照日 2025年1月8日).

日本サッカー協会 (online2) 関わる : 指導者 : フィジカルフィットネス : フィジカルフィットネスプロジェクトとは . https://www.jfa.jp/coach/physical_project/project.html, (2025年1月8日).

NSCA ジャパン (2015) ベーシックレジスタンスエクササイズ. ストレングス&コンディショニングジャーナル, 22 (3)

- オヤマ・パーマー：NSCA JAPAN 誌（2024）オーバーヘッド競技選手における投球速度の向上を目的としたコアトレーニングプログラムの効果：システマティックレビュー．NSCA JAPAN, 31（4）：38-48.
- ランデル・クロニン・キーオウ・ヒル：NSCA JAPAN 誌（2013）筋力およびパワーの適応を競技パフォーマンスに転移させる：水平および鉛直方向の力発揮．NSCA JAPAN, 20（6）：44-50.
- Randal, P., Kai-Nan, A., Steven, S., and Edmond, C. (1991) Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Medicine*, 11 : 402-413.
- Ross, H. (1976) Effect of isometric training on the elbow flexion force torque of grade five boys. *Research Quarterly American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 47 : 41-47.
- ライアン・ハウス：斉藤信太郎・川島英夫訳（2010）ノーラン・ライアンのピッチングバイブル．ベースボール・マガジン社：東京.
- 澤村省逸・鎌田安久・栗林徹・清水茂幸・上濱龍也・黒川國児・福士宏紀（2006）野球の投球速度・バットスイング速度に影響をもたらす体力因子．岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究, 5:53-62.
- 島田一志・阿江通良・藤井範久・川村卓・高橋佳三（2004）野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れ．*バイオメカニクス研究*, 8（1）：12-26.
- 島田一志・阿江通良・藤井範久・結城匡啓・川村卓（2000）野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクスの研究．*バイオメカニクス研究*, 4（1）：47-60.
- Terry, M., Turner, B., and Lynn, W. (1980) *Knee Rehabilitation. Physical Therapy*, 60(12) : 1602-1610.
- 内田智也・大久保吏司・松本晋太郎・小松稔・野田優希・石田美弥・佃

- 美智留・古川裕之・藤田健司（2017）投球動作における Early Cooking 期における軸足股関節の運動学・運動力学的特徴．日本臨床スポーツ医学会誌，25（1）：16-23.
- ウルム：NSCA JAPAN 訳（2023）安定性とスクワット：フロントスクワットとバックスクワットーパート 4．NSCA COACH，2：43-52.
- USA Baseball（online1）American Development Model Report.
https://api.mobilecoach.org/static/asset/pdf/131_0af48d1c-d21b-45af-9ab9-d32a25b95937_default.pdf.（閲覧日 2025 年 1 月 9 日）.
- ウィリアムス：NSCA JAPAN 訳（2017）子どものパフォーマンスとフィットネス父母のためのストレングス&コンディショニングに関する情報．Personal Training Quarterly，24（4）：16-18.
- ザチオルスキー・クレーマー：高松薫・岡子浩二訳（2009）筋力トレーニングの理論と実践．大修館書店：東京．
- ズワイフェル：NSCA JAPAN 訳（2018）競技パフォーマンスに対する水平負荷運動の重要性．NSCA JAPAN，25（3）：67-72.

VII. 謝辞

本研究を執筆するにあたり、多くのご指導を賜りましたスポーツ科学
学術院松井泰二教授に心より御礼申し上げます。松井教授のもとでコー
チングを学ばせていただいた2年間は私の指導者としての価値観に大
きな影響を与えてくださいました。これからも、松井教授のような指導
者を目指して日々精進してまいりたいと思います。

本研究の副査をご快諾いただきましたスポーツ科学学術院倉石平教
授、堀野博幸教授に心より御礼申し上げます。合同ゼミを中心に、講義
などでもコーチングを中心として様々な視座を与えてくださいました。

本研究の執筆にご協力いただいた松井研究室博士課程1年宮川晃弥
さんに心より御礼申し上げます。宮川さんのご協力なしでは、私は修士
論文を完成させることはできませんでした。

最後に松井研究室の同期である山浦秀斗さん、松本祐依さん、堀野研
究室修士課程2年関根竜汰さん、本研究にご助言とご指導、ご協力を
賜りましたすべての皆様に心より御礼を申し上げます。