

大学生における下肢の伸張—短縮サイクル運動の遂行能力と 遠投能力との関係

村田由華¹⁾・豊嶋陵司²⁾

The relationship between stretch-shortening cycle movement of lower limbs and long throw ability in college students

Yuka MURATA and Ryoji TOYOSHIMA

本研究では、一般の大学生を対象に、ジャンプ能力と遠投能力との関係を明らかにすることを目的とした。大学生 30 名を対象に、SJ、CMJ および RDJ の 3 種類のジャンプと、ハンドボールを用いた遠投を、助走なし (N-run) および助走あり (run) で行わせた。その結果、SJ および CMJ の跳躍高、RDJ-index はいずれも、N-run および run それぞれの初速度との間に有意な相関関係は認められなかった。遠投の初速度に対する助走の貢献度を示す初速度変化率は、女子の SJ 跳躍高との間にのみ有意な相関関係が認められた。以上のことから、下肢の SSC 運動能力は、ボールの遠投における初速度とあまり関係しないことが示唆された。一方で、女子においては、短縮性筋収縮のみの運動である SJ の能力が、遠投の初速度に対する助走速度の貢献に関係している可能性が示唆された。

Keywords: 伸張—短縮サイクル、ジャンプ、遠投、初速度、下肢

Stretch-shortening cycle, Jump, Long throw, Initial velocity, Lower limb

1. 緒言

投動作は、ハンドボールで他の選手にボールをパスすることなどのスポーツ場面に数多く存在する。投動作の中でも遠投は、小学校や中学校などの学校現場で実施されている新体力テストでも、「ソフトボール投げ」や「ハンドボール投げ」が種目として採用されていることから、基礎的な投動作と言える。

遠投の飛距離は抗力および揚力の影響も受けるが、これらが存在しない真空状態であれば、投射角度、投射高、初速度の 3 要素で決定する。その中でも、初速度を高めるためには、身体の上肢においては肩から肘、手首、ボールへ力を伝える運動連鎖が重要であると考えられる。阿江・藤井(2022)は、投動作では、下肢によって生み出された力、エネルギー、速度などが上肢に伝達さ

1) 愛知淑徳大学健康医療科学部スポーツ・健康医科学科 学部生

2) 愛知淑徳大学健康医療科学部スポーツ・健康医科学科

れて末端に伝わる運動連鎖によって、リリース時にはかなり大きな速度が得られると示唆している。また、投運動の初速度に影響する要素として、爆発的な力を短時間で発揮する能力、肩と腰における回転速度、および助走速度などが挙げられる。その中でも、爆発的な力を短時間で発揮する能力には、伸張-短縮サイクル(Stretch-shortening cycle、以下 SSC)運動が用いられている。田内ら(2003)は、投動作において、上肢の SSC 運動がより良いパフォーマンスを発揮するために重要な役割を果たしているとし唆している。

一方、身体の下肢の SSC 運動も、投運動の初速度に貢献すると考えられる。助走から投動作に移行する際の踏み込み脚による突っ張り動作、いわゆる「ブロック」において、下肢の SSC 運動が発生する(田内ら、2002)。踏み込み時に SSC で大きい力が発揮されることにより、重心速度が急激に減少し、助走で得た下肢の力学的エネルギーが体幹部や上肢に伝達され、初速度が高まると考えられる。槍投げにおける個人内でパフォーマンスの優劣が生じる動作要因は、左脚のブロック動作の成否にあるとされている(瀧川ら、2020)。また、田内ら(2002)は、リバウンドドロップジャンプ指数(Rebound drop jump index、以下 RDJ-index)と槍投げの記録との関係から、下肢の爆発的なパワー発揮能力が槍投げの競技成績を高める条件になり得る可能性を示唆している。RDJ-index は、出来るだけ短い接地時間で高く跳躍することを目指すリバウンドドロップジャンプ(以下、RDJ)において、跳躍高を接地時間で除した値であり、下肢の爆発的なパワー発揮能力を評価するものとして、図子ら(1993)が提案したものである。

ボールの遠投と槍投げは、物体をより遠くへ飛ばすことを目指すという点では同様であるが、助走の様相が同じであるとは限らず、投擲物の形状も異なることから、RDJ-index との関係も同様であるとは限らない。しかし、ボールの遠投と RDJ-index を用いて評価される下肢の爆発的なパワー発揮能力との関係を明らかにした研究はみられない。また、田内ら(2002)の研究は、日常のトレーニングにおいて RDJ を経験している男子の投擲競技者と跳躍競技者が対象者であり、RDJ の未経験者、女子や陸上競技部員以外の対象者は含まれていない。これらの対象者についても分析することによって、遠投の飛距離を伸ばすためには、下肢の爆発的なパワーを発揮するトレーニングを取り入れるか検討するために有用な知見が得られると考えられる。

下肢の SSC 運動を伴うジャンプは RDJ の他にも存在している。その 1 つとして、立位姿勢から膝関節および股関節を一度屈曲させる反動動作を用いて上方に跳躍するカウンタームーブメントジャンプ(Counter movement jump、以下 CMJ)が挙げられる。RDJ は足関節に関与する筋群が接地時間に大きく影響する(図子・高松、1995)のに対し、CMJ は、股関節の力発揮がジャンプパフォーマンスに重要であり(武野ら、2011)、下肢のパワー発揮能力を評価するための方法として用いられる(松林、2020)。つまり、CMJ と RDJ は下肢の SSC 運動が用いられるという点では共通しているが、各ジャンプに対する身体各部の貢献度は両者間で異なる。したがって、RDJ に加えて CMJ についても遠投との関係を明らかにすることにより、遠投と下肢 SSC 運動との関係がより詳細に理解できると考えられる。さらに、CMJ や RDJ と同じ垂直方向へのジャンプであるが SSC 運動を伴わないスクワットジャンプ(以下、SJ)についても、遠投能力との関係を明らかにすることで、遠投パフォーマンスを高めるためにどのような下肢の能力を高める必要があるかという知見が得られると考えられる。

以上のことから本研究では、一般の大学生を対象に、SJ、CMJ および RDJ によるジャンプ能力と遠投による飛距離との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1. 対象者

対象者は、A 大学に在学する男子大学生 14 名(年齢:21.0±0.9 歳)、女子大学生 16 名(年齢:20.6±1.1 歳)の計 30 名であった。対象者には、実験内容や倫理上の配慮などについて口頭及び文書を用いて十分な説明をした後、文書による同意を得て行った。

本研究は、愛知淑徳大学健康医療科学部スポーツ・健康医科学科の倫理委員会の承認(21-020)を得て行った。

2.2. 実験試技および測定方法

試技前に、対象者任意のウォーミングアップと試技の練習を行った。試技間には、疲労の影響がなくなるまで十分休息をとらせた。

実験試技は、スクワットジャンプ(以下、SJ)、カウンタームーブメントジャンプ(以下、CMJ)、リバウンドドロップジャンプ(以下、RDJ)の 3 種類のジャンプとハンドボールを用いた遠投とし、ジャンプ、遠投の順に全て同日に行わせた。以下、試技の詳細である。

2.2.1. ジャンプ

ジャンプの試技は、SJ、CMJ、RDJ の順に行った。理由としては、RDJ は比較的に負荷が高く、疲労が大きいとみられることから、他の試技への影響を防ぐためであった。

各ジャンプにつき、試技を 2 回行った。ジャンプの全試技はマットスイッチの上で行い、マルチジャンプテスタ(DKH 社製)によって計測した。各ジャンプの詳細は以下の通りである。

① SJ

対象者に、腕の振込みの影響を無くすために腰に手を当てさせ、膝関節角度 90°(完全伸展位を 180°とする)の状態から最大努力で上方へ跳躍させた。目視で明らかに反動動作が見られれば、再度試技を行わせた。

② CMJ

対象者に、腕の振込みの影響を無くすために腰に手を当てた立位姿勢をとらせ、一度下肢関節を屈曲する反動動作を用いて最大努力で上方へ跳躍させた。下肢関節の屈曲の大きさは、対象者の任意とした。

③ RDJ

対象者に、手を腰に当てた立位姿勢で高さ 0.3mの台から落下させ、できるだけ短い接地時間で高く跳ぶように指示した。落下する際は、出来るだけ上方に跳ばず、自由落下になるよう意識させた。なお、台の高さを 0.3mとした根拠は、下肢の爆発的なパワー発揮能力を最適に、かつ安全に測定評価できるとした図子ら(1993)の報告に基づくものである。

2.2.2. 遠投

遠投は、ハンドボール(男女共に 2 号球)を使用し、屋外の全天候型走路で行った。遠投の全試技は、投擲ラインから右側方 10mに設置したハイスピードカメラ(コーチングカム、JVC ケンウッド社製)を 1 台用いて、撮影速度 240fps、シャッター速度 1/1000 で撮影した。遠投は助走ありおよび助走なしをそれぞれ 2 試技行わせた。各遠投の詳細は以下の通りである。

① 助走ありの場合(以下、run)

投擲ラインから 10m以内の地点から助走し、できるだけ遠くへ投げるように教示し、最大努力で遠投させた。足が投擲ラインを踏んだ場合や、越えた場合は無効試技とし、再度試技を行わせた。

② 助走なしの場合(以下、N-run)

両足を地面につけたまま、できるだけ遠くへ投げるように教示し、最大努力で遠投させた。遠投

時または遠投後に足が地面から離れた場合は、無効試技とし、再度試技を行わせた。

2.3. 分析方法

撮影によって得られた遠投の画像をパソコンに取り込み、画像解析ソフト(Frame-DIAS V、DKH社製)を用いて、ボールの中心の1点を、ボールが手から離れた瞬間から4コマをデジタル化し、2次元4点実長換算法にて実座標値を得た。その際、遠投を行った走路の進行方向をX軸、鉛直上方向をY軸とした。

2.4. 分析項目

以下を分析項目とした。

① 各ジャンプの跳躍高[m]

以下の式によって算出した。

$$h = g \cdot t^2 / 8$$

なお、 h は跳躍高[m]、 g は重力加速度(=9.81)[m/s²]、 t はマルチジャンプテストによって測定された滞空時間[s]を示している。

② RDJ-index[m/s]

以下の式によって算出した。

$$\text{RDJ-index} = h_{\text{RDJ}} / \text{CT}$$

なお、 h_{RDJ} はRDJの跳躍高、 CT はマルチジャンプテストによって測定されたRDJの接地時間を示している。

③ ボール飛距離[m]

ボール飛距離は、投擲ラインから目視で決定した落下地点までを、メジャーを用いて計測した距離とした。

④ ボール初速度[m/s]

ボール初速度は、X軸方向とY軸方向のボール速度を合成したものとし、ボールが手から離れた瞬間から4コマの平均した値とした。

⑤ 初速度変化率[%]

初速度変化率は、助走をすることによってどの程度初速度が変化したかを表す指標であり、以下の式によって算出した。

$$\text{初速度変化率} [\%] = \frac{V_{\text{run}} - V_{\text{N-run}}}{V_{\text{N-run}}} \times 100$$

なお、 V_{run} はrunのボール初速度、 $V_{\text{N-run}}$ はN-runのボール初速度を示している。

2.5. 統計処理

SJ および CMJ は、跳躍高が最大である試技を代表値として用いた。RDJ は、RDJ-index が最も高値である試技を代表値として用いた。遠投は、各条件において飛距離が最も大きい試技を代表値として用いた。

ジャンプに関する項目と、遠投に関する項目との関係を分析するために、Pearson の積率相関係数を算出し、有意性は危険率 5% で判定した。なお、統計処理には IBM SPSS Statistics Ver.27 を使用した。

3. 結果

3.1. ボールの飛距離と初速度の関係

表 1 に、ボールの飛距離と初速度の平均値および標準偏差と、両者の相関関係を示した。N-run において、ボールの飛距離と初速度との間には、男女ともに有意な正の相関関係が認められた(男子 $r = 0.923$, $p < 0.05$; 女子 $r = 0.899$, $p < 0.05$)。run においても同様に、ボールの飛距離と初速度との間には、男女ともに有意な正の相関関係が認められた(男子 $r = 0.832$, $p < 0.05$; 女子 $r = 0.902$, $p < 0.05$)。そのため本研究では、初速度が飛距離の強い決定要因であると捉え、初速度とジャンプの関係を検討することとした。

表 1 飛距離と初速度との関係

		飛距離[m]	初速度[m/s]	r
N-run	男子	32.5 ± 5.2	19.1 ± 2.0	0.923*
	女子	16.1 ± 4.2	12.3 ± 2.1	0.899*
run	男子	37.4 ± 7.1	21.2 ± 2.4	0.832*
	女子	20.7 ± 5.8	14.6 ± 2.4	0.902*

* $p < 0.05$, r : 飛距離と初速度との相関係数

3.2. 各ジャンプ能力とボールの初速度との関係

表 2 に、各ジャンプ能力の評価指標である SJ および CMJ の跳躍高、RDJ-index の平均および標準偏差を男女別で示した。また、それらの項目とのボールの初速度との関係を図 1 に示した。

SJ の跳躍高と N-run のボールの初速度との間には、男女ともに有意な相関関係が認められなかった(男子 $r = 0.183$, $p = 0.532$; 女子 $r = -0.170$, $p = 0.528$)。同様に、SJ の跳躍高と run のボール初速度との間にも、男女ともに有意な相関関係が認められなかった(男子 $r = -0.043$, $p = 0.885$; 女子 $r = 0.111$, $p = 0.683$)。

CMJ の跳躍高と N-run のボール初速度との間には、男女ともに有意な相関関係が認められなかった(男子 $r = -0.157$, $p = 0.592$; 女子 $r = 0.093$, $p = 0.733$)。同様に、CMJ の跳躍高と run のボール初速度との間にも、男女ともに有意な相関関係が認められなかった(男子 $r = -0.194$, $p = 0.616$; 女子 $r = 0.223$, $p = 0.407$)。

RDJ-index と N-run のボール初速度との間には、男女ともに有意な相関関係が認められなかった(男子 $r = -0.363$, $p = 0.202$; 女子 $r = 0.188$, $p = 0.486$)。同様に、RDJ-index と run のボール初速度との間にも、男女ともに有意な相関関係は認められなかった(男子 $r = -0.235$, $p = 0.418$; 女子 $r = 0.370$, $p = 0.158$)。

表 2 各ジャンプ能力の平均値および標準偏差

	男子	女子
SJの跳躍高[m]	0.379 ± 0.045	0.270 ± 0.044
CMJの跳躍高[m]	0.433 ± 0.047	0.290 ± 0.039
RDJ-index[m/s]	1.554 ± 0.258	1.128 ± 0.356

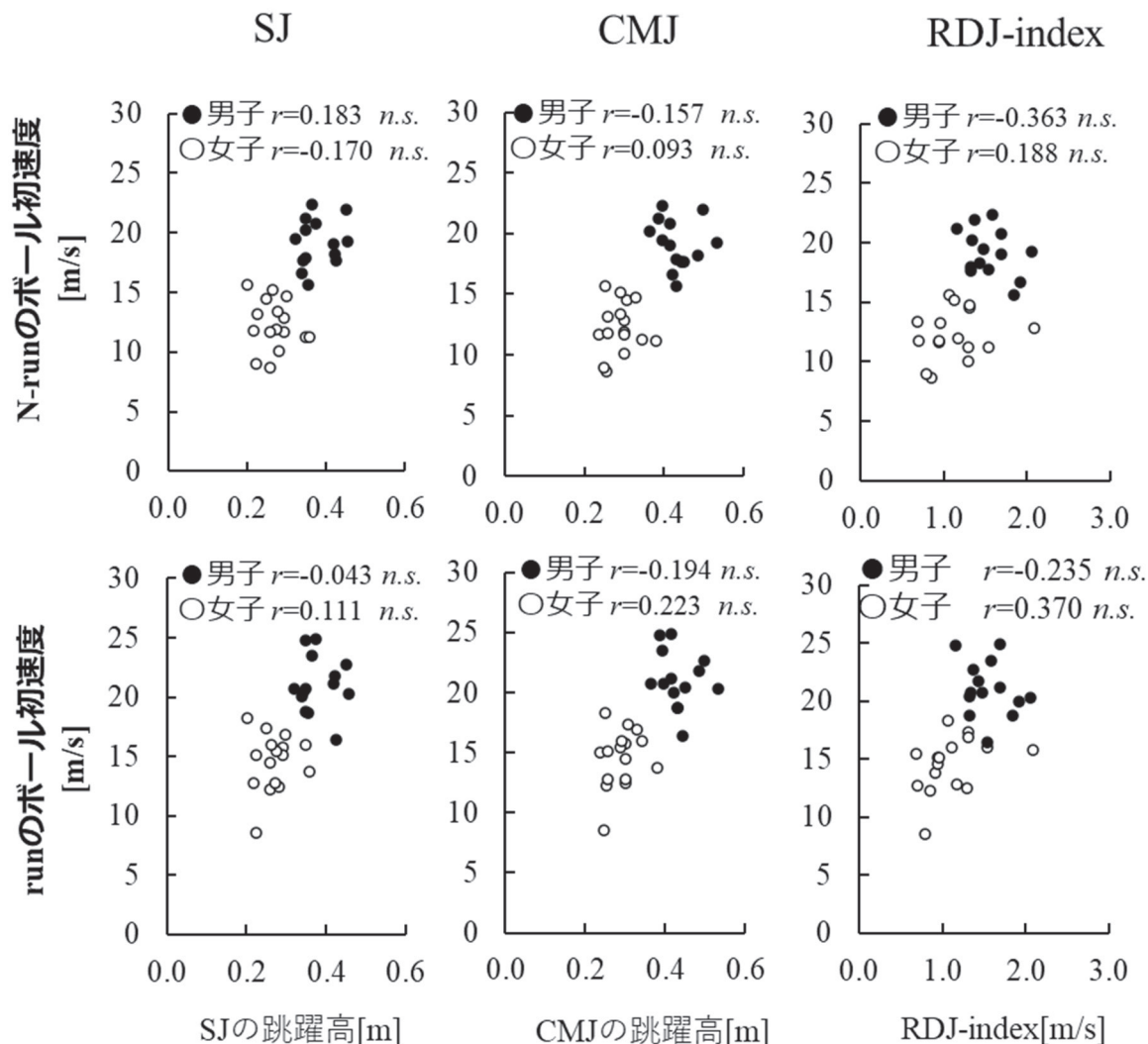


図1 各ジャンプ能力と初速度との関係

3.3. 各ジャンプ能力と初速度変化率との関係

図2に、各ジャンプ能力の評価指標であるSJおよびCMJの跳躍高、RDJ-indexと初速度変化率との関係を示した。SJの跳躍高と初速度変化率との間には、男子は有意な相関関係が認められなかったが($r = -0.319, p = 0.266$)、女子は有意な正の相関関係が認められた($r = 0.507, p < 0.05$)。CMJの跳躍高と初速度変化率との間には、男女ともに有意な相関関係が認められなかった(男子 $r = -0.060, p = 0.839$; 女子 $r = 0.225, p = 0.402$)。RDJ-indexと初速度変化率との間には、男女ともに有意な相関関係は認められなかった(男子 $r = -0.176, p = 0.548$; 女子 $r = 0.299, p = 0.260$)。

4. 考察

本研究では、大学生30名(男子14名、女子16名)を対象に、ジャンプ能力とハンドボールを用いた遠投能力との関係について明らかにすることを目的として実験を行った。実験試技は3種類のジャンプ(SJ、CMJ、RDJ)と、ハンドボールを用いた2種類の遠投(助走あり:runおよび助走なし:N-run)とした。SJの跳躍高、CMJの跳躍高、およびRDJにおけるRDJ-indexと遠投時のボール初速度との相関関係の結果から、遠投能力に対してジャンプ能力が関係している

かを考察する。

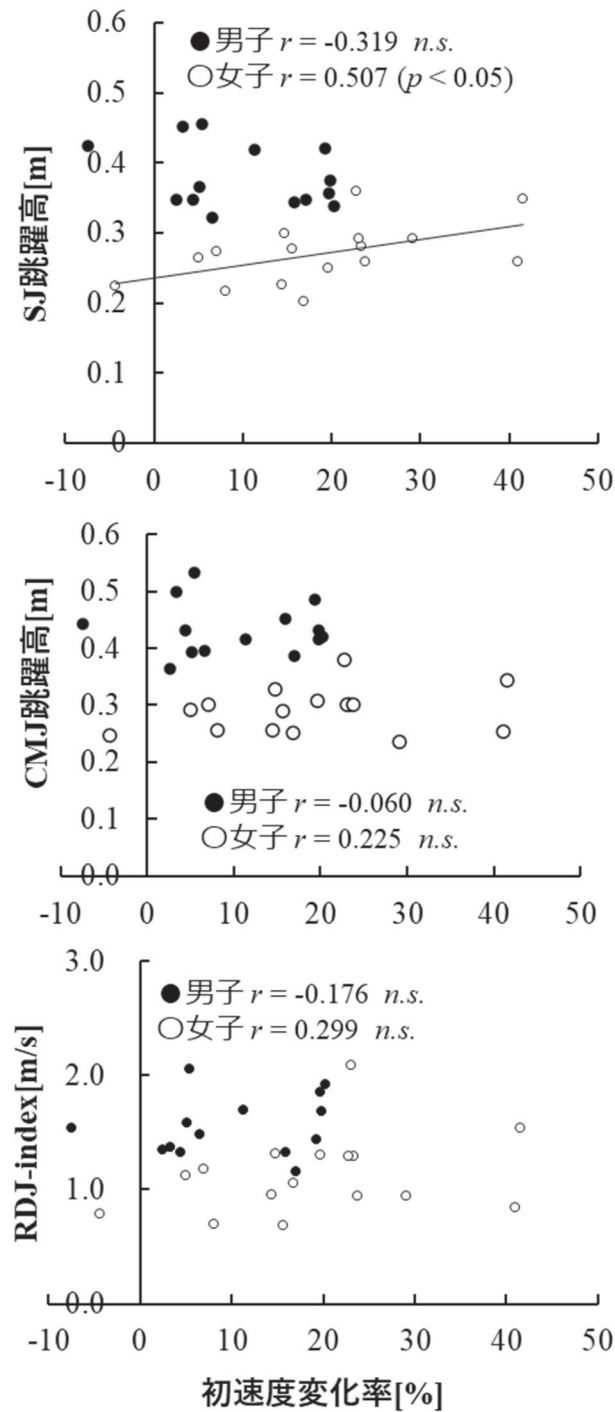


図2 各ジャンプ能力と初速度変化率との関係

n.s.: non-significant

4.1. ボール初速度と各ジャンプ能力との関係について

SJ、CMJの跳躍高、RDJ-indexはいずれも、N-runおよびrunそれぞれの初速度との間に有意な関係はみられなかった。このことから、SSC運動の有無にかかわらず、垂直方向へのジャンプ能力は、ハンドボールの遠投における初速度への影響が小さいと考えられる。

先行研究(田内ら、2002)では、RDJ-indexを用いて評価される下肢の爆発的パワー発揮能

力が、槍投げの競技成績を高める条件になり得る可能性を示唆している。本研究の遠投は、槍投げと同様に投擲物を出来るだけ遠くに投げるといった課題であったが、田内ら(2002)とは異なる結果であった。このような相違を生んだ要因の1つとして、助走速度の違いが挙げられる。先行研究(田内ら、2002)において、RDJ-index との関係が示された遠投能力には槍投げの競技成績が用いられていた。女子槍投げの競技中の助走速度として、瀧川ら(2020)は約 5.6m/s であると示している。本研究の run では、助走速度は対象者の任意であった。槍投げとハンドボールでは、物体の握りやすさが異なることや、対象者が槍投げ選手ではなく、助走からの投動作に慣れていないことなどから、run の助走速度が槍投げ競技者よりも低かった可能性が考えられる。

助走速度が高い場合には、踏み込み時に下肢の SSC 運動によって大きい力を発揮し、重心速度を減速させることで下肢から体幹部および上肢へ力学的エネルギーを伝達することが求められる。一方、松藤ら(2020)は、小さい助走速度では下肢のエネルギーを獲得することが十分ではなく、下肢の SSC 運動によるエネルギーを投擲に効率よく利用するためには、一定以上の速度が必要になると示唆している。つまり、助走速度が低ければ、下肢が持つ力学的エネルギーが小さいため、下肢の SSC 運動があまり貢献せず、体幹部や上肢などの力発揮が初速度に対して大きく貢献すると推察される。

以上のことから、本研究の遠投における初速度と各ジャンプ能力との間に有意な相関関係がみられなかった要因の1つとして、N-run では助走を用いていないこと、run では助走を用いているが下肢 SSC 能力が反映されるほどの助走速度の高さがなかったことが考えられる。つまり、ハンドボールを用いた遠投であっても、助走速度をより高くした場合は、ボールの初速度の高さとジャンプ能力に関係がみられる可能性も否定できず、このことは今後の研究課題として挙げられる。

4.2. 初速度変化率と各ジャンプ能力との関係について

遠投のボール初速度と各ジャンプ能力との間には有意な関係が認められなかった。ボールの初速度は、下肢の能力のほか、体幹部や上肢の能力、およびそれらの相互作用などが複合的に影響する。そこで、遠投能力と下肢の能力との関係をより詳細に明らかにするため、遠投における初速度変化率を算出し、各ジャンプ能力との関係を分析した。初速度変化率は、助走をすることでどれだけ初速度が高まったかを示しており、「助走を生かす能力」と捉えられる。その結果、女子の SJ 跳躍高のみが、初速度変化率との間に有意な正の相関関係が認められた。

SJ では反動動作を用いないため、短縮性筋収縮のみの運動である(小野ら、2015)。したがって、女子においては、SSC 運動を伴わない下肢の短縮性筋収縮によるパワー発揮が、ハンドボールの遠投において助走を生かす能力に関係していると捉えられる。上述したように、本研究の遠投においては、先行研究で示されている槍投げ競技者(田内ら、2002)ほど助走速度が高くなかったことが推察され、伸張性筋収縮による力発揮の貢献が小さかったことが、SJ の跳躍高のみ初速度変化率との関係が認められた1つの要因であると考えられる。

しかし、女子における SJ の跳躍高と初速度変化率との有意な相関関係は、下肢の短縮性筋収縮力を高めれば助走ありの遠投パフォーマンスが向上するという因果関係を証明するものではない。初速度変化率に直接貢献しているのは上肢や体幹部の筋力であり、それらが高い対象者は下肢の筋力も高いことで SJ の跳躍高が高かったという因果関係があることも否定できず、これらのことは本研究の結果から明らかにすることはできない。また、女子においてみられた SJ の跳躍高と初速度変化率との有意な相関関係が、男子ではみられなかった要因も不明である。

4.3. 研究の限界

本研究では、対象者の選定において、競技歴や身体特性についての情報を十分に収集しなかった。したがって、本研究の実験試技で用いた投動作や跳躍動作に対する慣れや、身長および体重の影響が対象者間で異なっていた可能性があるが、それらを考慮した分析を行っていない点は、本研究の限界といえる。対象者の専門競技や身体特性を分類して分析することにより、ジャンプ能力が遠投能力とどのように関係しているかがより詳細に検討できると考えられる。

5. まとめ

本研究では、一般の大学生を対象に、SJ、CMJ および RDJ によるジャンプ能力と遠投による飛距離との関係を明らかにすることを目的とした。その結果は以下のようにまとめられる。

① 男女ともに、N-run および run のボール初速度は、SJ の跳躍高、CMJ の跳躍高、RDJ-index との間に有意な相関関係は認められなかった。

② 初速度変化率は、女子の SJ 跳躍高との間にのみ有意な正の相関関係が認められた。

以上のことから、下肢の SSC 運動能力は、ボールの遠投における初速度とあまり関係しないことが示唆された。一方で、女子においては、短縮性筋収縮のみの運動である SJ の能力が、遠投の初速度に対する助走速度の貢献に関与している可能性が示された。

本研究の限界として、遠投における助走速度が異なった場合に、ボール初速度と下肢の SSC 運動能力との関係がどのように変化するかは明らかにできておらず、今後の検討課題である。

引用文献

- 阿江通良・藤井範久(2022)第16講 よい動きのバイオメカニクスの原則 2. スポーツバイオメカニクス 20 講(第18刷), 株式会社朝倉書店, 東京, pp119-130.
- 松林武生(2020)フィットネスチェックハンドブック—体力測定に基づいたアスリートへの科学的支援—(初版)大修館書店, 東京, pp104-108.
- 松藤圭汰・八板昭仁・疋田晃久(2020)やり投げ競技者の助走局面から準備局面の特徴による投擲タイプの分類. 九州共立大学紀要, 11, 23-30.
- 小野恵李奈・前川剛輝・亀井良和・湯田淳(2015)大学女子競技者における下肢のパワー発揮能力の評価法の検討. コーチング学研究, 28, 175-182.
- 武野陽平・建内宏重・永井麻衣・市橋則明(2011)ジャンプパフォーマンスと下肢関節スティフネスとの関係性. 第46回日本理学療法学会大会抄録集, 38, PI2-094.
- 瀧川寛子・堀内元・田内健二(2020)女子やり投げ競技者における成功試技と失敗試技とが生じる動作要因の検討. 体育学研究, 65, 143-152.
- 田内健二・尹聖鎮・栗山佳也・高松薫(2002)下肢のバリスティックな伸張—短縮サイクル運動の遂行能力からみた槍投げ競技者の体力特性. 体育学研究, 47, 569-577.
- 田内健二・尹聖鎮・山田哲・高松薫(2003)投動作における上肢の伸張-短縮サイクルの有効性: 伸張局面におけるみかけ上の stiffness 特性に着目して. 体育学研究, 48, 137-151.
- 関子浩二・高松薫・古藤高良(1993)各種スポーツ競技者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・高松薫(1995)リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因: 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育学研究, 40, 29-39.

(2023年1月17日受付)
(2023年2月20日受理)