

滋賀大学体育会運動部活動生における下肢の伸張－短縮サイクル運動遂行能力の特徴

垂直跳とリバウンドジャンプ測定による調査

岡子浩太佑

Kodayu Zushi

滋賀大学 経済学部 / 特任講師

走・跳・蹴・方向転換は、様々なスポーツに内在しており、これらの運動中、下肢の筋群は極めて短時間に大きな力を発揮している^{1)、2)}。また、投・打などの上肢が主体となる運動においても、下肢における力発揮がパフォーマンス発揮に貢献していることが報告されている^{3)、4)}。これらの運動では主動作の前に、主動作と反対の方向に身体を動かす反動動作や身体の勢いを脚で受け止める動作を伴うことが多い。このとき、下肢の伸展筋群は収縮することで力を発揮するものの、関節が屈曲方向に動くため、一度、強制的に引き伸ばされる伸張性(エキセントリック)筋収縮を伴う局面の後に、短縮性(コンセントリック)筋収縮が行われて、関節が伸展する局面が開始する。このように骨格筋が一度伸ばされるエキセントリック局面とその後爆発的に短縮するコンセントリック局面を伴う筋の活動様式は、伸張－短縮サイクル(以下、「SSC」と略す)と呼ばれている⁵⁾。SSCを伴う運動(SSC運動)は、単純な伸展運動より大きな力・パワー、スピードの獲得(機械的出力の増加)に加えて、運動効率の上昇効果がある^{6)、7)、8)}。例えば、直立状態から下肢を曲げる反動動作を利用するカウンタームーブメントジャンプ(以下、「CMJ」)は、SSCが生じない下肢を曲げたスクワット姿勢から跳び上がるスクワットジャンプより約8%高く跳ぶことができる⁹⁾。これらのことから、下肢におけるSSC遂行能力の改善は、多くのスポーツ競技において優れた運動能力を達成するための重要課題である。

SSC運動における機械的出力の増加や運動効率の上昇に関する主な要因として、① 予備緊張によって筋活動や筋張力が高い状態で主動作を開始できること、② 骨格筋の強制伸張が刺激となっ

て筋力を発揮しやすい状態になること(伸張反射)。
③ 筋線維は一度伸張されることで通常よりも大きな筋力が発揮されること(増強効果)。
④ 伸張によって筋と腱に弾性エネルギーが蓄積され、主動作中に放出されること。以上の4点が考えられている。これら要因の効果は、1. 主働筋群における筋活動の活性化のタイミング(タイミングの良い力発揮)、2. エキセントリック局面からコンセントリック局面への移行の素早さ、3. 骨格筋内の筋と腱の長さや収縮速度の変化によって制御されていると考えられており、これらの要因は、SSC運動を用いたトレーニング手法であるプライオメトリックトレーニングで改善されることが確認されている^{5)、7)、8)}。

このような下肢SSC遂行能力を測定評価する方法として、CMJやドロップジャンプ(以下、「DJ」と略す)、リバウンドジャンプ(以下、「RJ」と略す)などのジャンプ運動が様々なスポーツ種目の選手を対象に用いられている^{10)、11)、12)、13)、14)}。CMJは、立位の状態から下肢を屈曲させる抜重による反動動作の後に、下肢を伸展させることで鉛直方向に跳躍する運動である。一方で、DJは決められた高さの台から落下し、その落下衝撃を爆発的な下肢伸展力の発揮によって受け止め、即座に鉛直方向に跳び上がる運動であり、RJは立位の状態から跳躍を行い、跳躍による落下衝撃を受け止め、即座に鉛直方向に跳び上がる跳躍を連続で行う運動である。これらの運動能力は、単なる「跳躍能力」ではなく、下肢の筋力・パワー発揮特性を示す手がかりとして測定される^{15)、16)}。そして、その簡易的な評価指標として、CMJやRJ、DJのパフォーマンスから、跳躍高や接地時間(踏切時間)、跳躍高を接地時間で除した値であるリバウンドジャンプ指数(以下、「RJ-index」と略す)が用いられている^{17)、18)}。これら跳躍能力の評価指標は、競技レベルや

走・跳・蹴・方向転換などの運動能力と強い関連があることが報告されている^{11)、12)、13)、14)、17)、19)、20)}。また、下肢のSSC能力は歩行能力とも関連することが報告されていることから²¹⁾、日常生活における運動能力や危機回避においても重要な役割を占める可能性がある。

CMJとRJ、DJの運動様式が異なることから、それぞれ個別のテストとして実施されている。例えば、CMJでは反動動作による自発的な抜重によって主働筋群を伸張させるが、DJやRJでは空中からの落下を利用して主働筋群を素早く伸張させる。これらの特徴の違いから、CMJは下肢を大きく屈伸させて跳び上がるため、約0.5-1.0秒の運動遂行時間を要する²²⁾のに対して、DJやRJ遂行中における下肢の屈伸量は少なく、着地運動遂行時間は約0.2秒以下になる傾向にある^{18)、23)}。CMJにおいて、比較的長い運動遂行時間の中で大きな力積を獲得することが高い跳躍高を獲得するための運動課題である一方で、RJやDJは、落下衝撃を完全に緩衝しないよう、限られた時間内にできるだけ大きな力を発揮することが主な運動課題である。これらの運動様式の違いから、CMJはLong SSCやプレス型、CMJ型、RJやDJはShort SSCやリバウンド型、RJ型と呼ばれ、区別されることがあり^{5)、11)、24)}、SSC運動における出力上昇の要因や下肢三関節(足・膝・股関節)のふるまい方、生じる地面反力が異なることが報告されている^{25)、26)}。以上のことから、CMJ型とRJ型のジャンプテストの両方を用いて評価を実施することで、より詳細な下肢のSSC運動遂行能力の特徴を評価することができる。また、RJとDJの違いについて、DJは、台高設定により伸張負荷を調節することができるため、条件が統制しやすいこと、跳躍高より高い台高を設定できるため、より大きな伸張負荷を下肢に加えることができる一方で、RJは、プラットフォーム

ム(台の高さの設定)を必要とせず、自身の跳躍高によって伸張負荷が決まるため安全にかつ簡単に実施することができる。

幼児、生徒児童、体育・スポーツ関連学部 of 学生、やプロのスポーツ選手を対象としたSSC運動遂行能力に関するデータは充実している^{10)、11)、12)、13)、14)、15)、16)、18)、23)、27)、28)}。しかし、それ以外のアマチュアスポーツ競技活動を行う高校卒業以降の集団を対象としたSSC運動遂行能力のデータに乏しいのが現状である。前述したようにSSC運動は、競技力だけではなく基本的な移動運動と関連しているため、アスリート以外を対象としたデータの資料的価値も高いと考えられる。また、今後の彦根キャンパス体育会運動部活動における体力的な課題を明らかにするための基本情報となることが考えられる。これらのことから、滋賀大学彦根キャンパス体育会運動部活動生のSSC運動遂行能力の実態を評価するとともに、下肢の筋力・パワーに関するトレーニング課題を再検討することを目的とした。

II 方法

(1) 調査対象

滋賀大学体育会に所属する運動部の内、下肢伸展に関する筋力・パワー発揮能力がパフォーマンスに重要となると考えられる球技系運動部、陸上競技部及び、漕艇部に所属し、測定時点で競技活動を行っている大学生を調査対象とした。令和5年度の3月時点において、男子156名(サッカー部14名、漕艇部17名、卓球部15名、硬式庭球部11名、バスケットボール部11名、バドミントン部8名、ハンドボール部15名、バレーボール部17名、ラグビー部18名、陸上競技部13名、硬式野球部17名)、女子18名(漕艇部3名、卓球部3名、硬式庭球部1名、

女子ラクロス部7名、陸上競技部4名)のデータを取得している。陸上競技部、硬式庭球部、サッカー部の各1名において後述のリバウンドジャンプの測定を実施しなかった。表1において、全対象者と男女別の年齢、身長、体重の平均値±標準偏差を示した。陸上競技部の短距離跳躍種目とバレーボール部は、複数回測定しているため各対象者における最新のデータを使用している。なお、各運動部のトレーニング期間に実施しているが、各運動部の活動スケジュールに配慮したため、運動部ごと異なる日時や場所で測定を実施した。対象者は、測定を行う前に本調査の目的、方法および測定に伴う危険性について十分説明を受け、測定に参加するための同意を得た場合にのみ参加した。本調査内容は、滋賀大学研究倫理委員会によって承諾された(承認番号：A220610)。

(2) 測定運動

立位姿勢から両脚踏切を用いてその場で実施する5回連続跳躍運動のRJと立位姿勢から下肢の反動動作を用いて鉛直方向へ跳躍するCMJをマルチジャンプテスターII (Q's fix社製、IFS-31E)

表1 全対象者と男女別の年齢、身長、体重の平均値±標準偏差

	身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
全対象者 (n = 174)	171.3 ± 7.5	65.3 ± 10.1	19.9 ± 1.86
男子 (n = 156)	172.8 ± 6.2	66.6 ± 9.6	20.0 ± 1.58
女子 (n = 18)	158.0 ± 4.6	52.4 ± 5.7	19.2 ± 0.90

Mean: 平均値、SD: 標準偏差

のマットスイッチ上で行わせた^{11)、15)、16)}。なお、屋内での測定は滋賀大学体育館メインフロア、トレーニングルームまたはギャラリー、屋外での測定はコンクリートまたは、オールウェザー上で実施し、各対象者が所有する靴を利用した。測定前に準備運動として、各運動部が日常的に実施しているウォーミングアップを行わせた。

RJは「できるだけ短い接地時間で真上に高く跳ぶこと」、CMJは「真上にできるだけ高く跳ぶこと」を口頭で指示した^{18)、23)}。また、全ての試技において腕の振込み動作に制限を与えなかった。試技の成否に関して、着地時に足部がマットスイッチから出た場合は失敗試技とした。また、試技後すぐに動画を用いて離地時と接地時と姿勢を確認し、両時点における姿勢が大きく異なる試技を失敗とした。各測定運動で成功試技が2回得られるまで測定した。試技間の休息時間は対象者の任意で設けた。後述する跳躍高が前の試技と比較して約10%以上低下した場合その試技は成功試技に数えず、5分以上の休息時間を設けた後に追加の試技を実施した。分析には、成功試技かつ対象者の内省が高い試技の中から、CMJは跳躍高の最も高い試技、RJはRJ-indexの最も高い試技を分析した。

(3) 算出方法

CMJから跳躍高(以下「CMJ-JH」と略す)を算出した。また、RJからは跳躍高(以下「RJ-JH」と略す)、接地時間(以下「RJ-CT」と略す)とRJ-indexを算出した。跳躍高は、マットスイッチから取得した滞空時間(tair, sec)と重力加速度($g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)を以下の式に代入することで算出した。

$$\text{Jump height} = (g \cdot \text{tair}^2) \cdot 8^{-1}$$

RJ-indexは、跳躍高を接地時間で除すことによって算出した^{11)、12)、15)、16)、17)}。

(4) 統計処理

対象者全員と男女別の各算出項目に関して、Kolmogorov-Smirnov法による正規性の検討を行った。その結果、全対象者と男子におけるRJ-CTに正規性が保証されなかった($p < 0.05$)。このことを踏まえて、各算出項目における中央値±四分位偏差を対象者全員、男女ごとに算出し、度数分布図を作成するとともに最大値(RJ-CTの場合は最短値)と尖度、歪度を算出した。次に各算出項目に関する男女間の比較を行った。RJ-CT以外の算出項目において、対応の無いt検定、RJ-CTにおいては、Mann-WhitneyのU検定を用いて男女間の差を分析した。

最後に対象者の跳躍タイプを分類するためにCMJ-JH、RJ-JH、RJ-CT、RJ-indexを全対象者のデータをもとにZ変換することで各算出項目の標準得点を算出した。これらの標準得点を用いて男女それぞれにおけるCMJ-JHとRJ-JHの標準得点間の関係をPearsonの積率相関係数を用いて分析するとともに、RJ-indexに対するRJ-JHとRJ-CTの影響の大きさを強制投入法による重回帰分析を用いて検討した。いずれの分析も有意性は危険率を5%未満で判定した。

III 結果

表2には、各算出項目における全対象者の中央値±四分位偏差と男女別の中央値±四分位偏差と各算出項目における男女の比較に関する分析結果を示した。全対象者におけるCMJ-JHの中央値±四分位偏差は、 $46.5 \pm 2.6 \text{ cm}$ 、RJ-JH、RJ-CTとRJ-indexの中央値±四分位偏差はそれぞれ $37.9 \pm 2.6 \text{ cm}$ 、 $185 \pm 10 \text{ ms}$ 、 2.02 ± 0.23 であった。男子におけるCMJ-JHの中央値±四分位偏差、 $47.6 \pm 4.7 \text{ cm}$ 、RJ-JH、RJ-CTとRJ-indexの中央

表2 全対象者および男女における各算出項目の中央値±四分位偏差と男女の比較

	CMJ-JH (cm)		RJ-JH (cm)		RJ-CT (ms)	RJ-index
	n	Median ± Q	N	Median ± Q	Median ± Q	Median ± Q
全対象者	174	46.5 ± 2.6	171	37.9 ± 2.6	185 ± 10	2.02 ± 0.23
男子	156	47.6 ± 4.7	153	38.3 ± 4.7	186 ± 20	2.05 ± 0.38
女子	18	32.6 ± 3.8	18	30.3 ± 5.4	180 ± 16	1.64 ± 0.35
男女間比較		t = 8.38		t = 5.41	U = 1259	t = 3.17
		d = 2.09		d = 1.35	z = 0.46	d = 0.79
		p < 0.05		p < 0.05	p = 0.64	p < 0.05

Median: 中央値、Q: 四分位偏差、d: t検定の効果量、p: 有意確率、U: Mann-WhitneyのU、z: 標準正規分布の確率変数

値±四分位偏差はそれぞれ38.3±4.7 cm、186±20 ms、2.05±0.38であった。女子におけるCMJ-JHの中央値±四分位偏差は、32.6±3.8 cm、RJ-JH、RJ-CTとRJ-indexの中央値±四分位偏差はそれぞれ30.3±5.4 cm、180±16 ms、1.68±0.35であった。各算出項目における男女の差について、CMJ-JHは男子が女子より有意に高い値を示した (t = 8.38, d = 2.09 [95%CI: 1.55-2.62], p < 0.05)。また、RJ-JHとRJ-indexについても男子が女子より有意に高い値を示した (RJ-JH: t = 29.3, d = 5.41 [95%CI: 0.84-1.86], p < 0.05; RJ-index: t = 3.17, d = 0.79 [95%CI: 0.29-1.29], p < 0.05)。しかし、RJ-CTにおいて有意差は認められなかった (U = 1259, z = 0.46, p = 0.64)。

図1には、全対象者および男女における各算出項目の度数分布図を示した。全対象者におけるCMJ-JHの最高値、尖度、歪度はそれぞれ74.2 cm、0.65、0.23であった。RJ-JHの最高値、尖度、歪度はそれぞれ53.2 cm、0.04、-0.08、RJ-CTの最短値、尖度、歪度は136 ms、1.38、0.94であり、RJ-indexの最高値と尖度、歪度は3.75、-0.07、0.22だった。

図1中央列には、男子の各算出項目における度数分布を示した。男子の最高値は、CMJ-JH、RJ-JH、RJ-indexにおいて全対象者と同じ最高値を示した。尖度と歪度はそれぞれCMJ-JHで0.85と0.74、RJ-JHで-0.53と0.19、RJ-indexで-0.17と0.32であった。RJ-CTの最短値および尖度、歪度はそれぞれ140msおよび1.46、0.98であった。一方、図1右列には、女子の各算出項目における度数分布図を示した。女子のRJ-CTの最短値は全対象者と同じ値を示し、尖度と歪度はそれぞれRJ-CTで0.76と0.56であった。女子のCMJ-JH、RJ-JHとRJ-indexにおいて、CMJ-JHの最高値、尖度、歪度はそれぞれ41.5 cm、-0.38、-0.15であり、RJ-JHの最高値、尖度、歪度はそれぞれ40.1 cm、-0.10、-0.49、RJ-indexの最高値と尖度、歪度は2.78、-0.31、-0.02であった。

図2には、RJ-JHとRJ-CTにおける標準得点間の関係を示した。RJ-JHとRJ-CTの標準得点間の相関係数 r は、全対象者、男子と女子でそれぞれ-0.31、-0.32と-0.62であった。データの分布に関して、RJ-JHの標準得点とRJ-CTの標準得点の両方が0より小さい値を示した対象者が39名で

あった。反対に、RJ-JHの標準得点とRJ-CTの標準得点の両方が0より大きい値を示した対象者が32名であった。また、RJ-JHの標準得点が0より大きく、RJ-CTの標準得点が0より小さい値を示した対象者が50名であり、RJ-JHの標準得点が0より

小さく、RJ-CTの標準得点が0より大きい値を示した対象者が47名存在した。

次にRJ-indexに対するRJ-JHとRJ-CTの影響の大きさを検討するために、RJ-indexを従属変数、RJ-JHとRJ-CTを独立変数として重回帰分析を

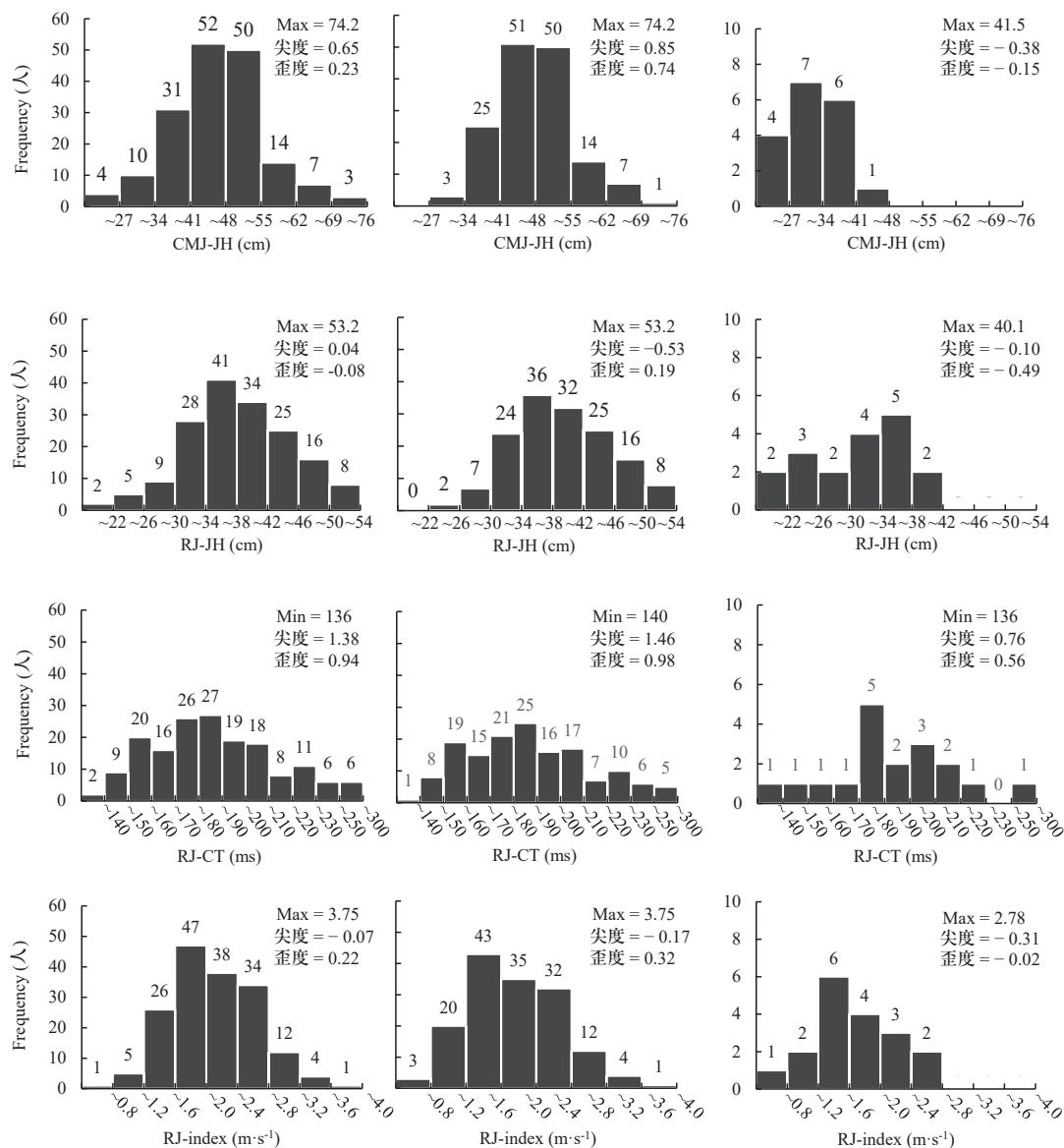


図1 全対象者(左列)、男子(中央)と女子(右列)における各算出項目の度数分布図

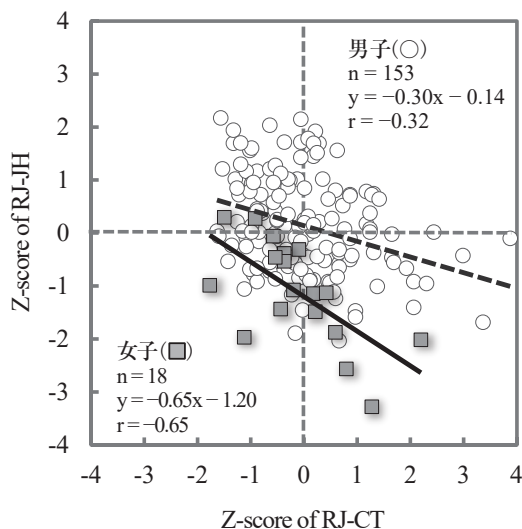


図2 RJ-JHとRJ-CTにおけるZスコア間の関係
(○: 男子、■: 女子)

行った。その結果、全対象者、男子と女子のいずれにおいても、有意な回帰式が得られた。全対象者における回帰式は、 $Y = 1.87 + 0.05x_{jh} - 9.82x_{ct}$ (x_{jh} : RJ-JH, x_{ct} : RJ-CT) であり、標準化係数はそれぞれRJ-JHは0.69、RJ-CTは -0.52 であった。また、男子のみを対象とした場合の回帰式は、 $Y = 1.87 + 0.06x_{jh} - 9.93x_{ct}$ であり、標準化係数はそれぞれRJ-JHは0.66、RJ-CTは -0.55 であった一方で、女子のみを対象とした場合の回帰式は、 $Y = 1.87 + 0.05x_{jh} - 8.44x_{ct}$ であり、標準化係数はそれぞれRJ-JHは0.65、RJ-CTは -0.43 であった。

図3には、CMJ-JHとRJ-JHの標準得点間の関係を示した。CMJ-JHとRJ-JHの標準得点間の相関係数 r は全対象者、男子と女子でそれぞれ0.79 [95%CI: 0.72-0.84]、0.73 [95%CI: 0.64-0.80]と0.870.79 [95%CI: 0.66-0.95]であった。データの分布に関して、CMJ-JHの標準得点が0より大きく、RJ-JHの標準得点が0より小さい値を示した対

象者が18名であり、反対にCMJ-JHの標準得点が0より小さく、RJ-JHの標準得点が0より大きい値を示した対象者が15名存在した。一方、CMJ-JHとRJ-JHの両方の標準得点が0より大きい値を示した対象者が67名、両方の標準得点が0より小さい値を示した対象者が68名であった。

最後に各算出項目における中央値±四分位偏差を運動部別に示した(表3)。各算出項目における男子全体と各運動部の中央値を比較すると、CMJ-JHにおいてバスケットボール部、バレーボール部、ハンドボール部、硬式野球部と陸上競技部が男子全体のCMJ-JHにおける中央値より高い跳躍高を示した。また、RJに関してバスケットボール部、バレーボール部、硬式テニス部、硬式野球部と陸上競技部が男子全体の中央値より高いRJ-JHとRJ-indexおよび、全体値の中央値より短いRJ-CTを示した。ハンドボール部は、RJ-JHにおいて男子全体の中央値より高い値を示した一方で、RJ-CTは男子全体の中央値より長いことが示された。表3下部には女子の各算出項目におけ

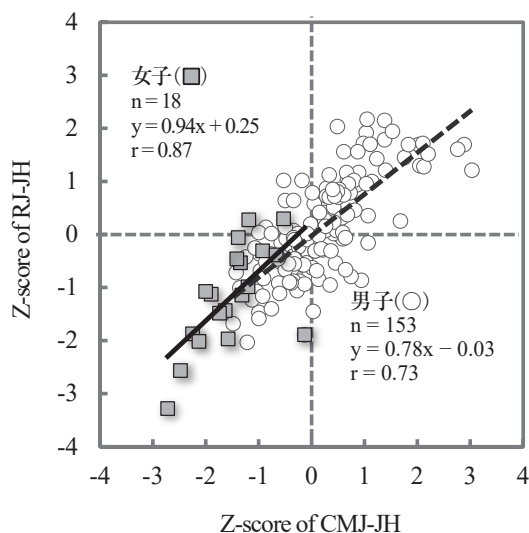


図3 CMJ-JHとRJ-JHにおけるZスコア間の関係
(○: 男子、■: 女子)

表3 各運動部における各算出項目の中央値±四分位偏差

	CMJ-JH (cm)		RJ-JH (cm)		RJ-CT (ms)	RJ-index
	N	Median ± Q	n	Median ± Q	Median ± Q	Median ± Q
部活動 (男子)						
ラグビー	18	42.9 ± 3.1	18	34.0 ± 2.3	205 ± 15	1.62 ± 0.12
サッカー	14	41.4 ± 4.6	13	38.3 ± 3.8	181 ± 25	2.05 ± 0.27
バスケットボール	14	50.5 ± 7.6	14	38.8 ± 6.0	186 ± 22	2.34 ± 0.34
バレーボール	17	56.0 ± 4.6	17	46.5 ± 3.3	169 ± 14	2.79 ± 0.30
ハンドボール	15	49.4 ± 5.3	15	39.7 ± 5.2	188 ± 22	2.02 ± 0.47
硬式野球	17	49.6 ± 3.8	17	40.6 ± 4.5	172 ± 16	2.45 ± 0.27
硬式庭球	11	44.1 ± 4.6	10	38.6 ± 4.9	174 ± 22	2.29 ± 0.55
バドミントン	8	44.9 ± 4.4	8	35.1 ± 5.8	203 ± 6	1.89 ± 0.26
卓球	12	45.9 ± 4.5	12	32.5 ± 3.8	196 ± 18	1.68 ± 0.21
陸上競技	13	55.8 ± 7.2	12	42.4 ± 5.5	161 ± 12	2.56 ± 0.27
漕艇	17	43.4 ± 3.5	17	35.9 ± 2.2	195 ± 26	1.86 ± 0.20
部活動 (女子)						
女子ラクロス	7	31.4 ± 3.4	7	<u>30.5 ± 4.9</u>	<u>177 ± 17</u>	<u>1.68 ± 0.40</u>
陸上競技	4	<u>37.8 ± 2.9</u>	4	<u>37.6 ± 3.9</u>	<u>152 ± 18</u>	<u>2.39 ± 0.32</u>
卓球	3	30.4 ± 5.2	3	24.3 ± 6.3	194 ± 35	1.43 ± 0.45
漕艇	3	<u>34.3 ± 4.5</u>	3	30.1 ± 2.9	193 ± 8	1.56 ± 0.22

Median: 中央値、Q: 四分位範囲、Bold: > 男子の中央値 (RJ-CTはBold: < 男子の中央値)、Underscore: > 女子の中央値 (RJ-CTはUnderscore: < 女子の中央値)、※硬式テニス部で測定を実施した女子部員は1名のため記載せず

る中央値±四分位偏差を運動部別に示した。CMJ-JHにおいて漕艇部と陸上競技部が女子全体のCMJ-JHにおける中央値より高い跳躍高を示した。また、RJに関して女子ラクロス部と陸上競技部は女子全体の中央値より高いRJ-JHとRJ-indexおよび、より短いRJ-CTを示した。

IV 考察

(1) 本学体育会運動部活動生の傾向

本研究の目的は、滋賀大学彦根キャンパス体育会運動部活動生におけるSSC運動遂行能力の実態を明らかにするとともに、各運動部の下肢の筋力・パワーに関するトレーニング課題を再検討

することであった。現在も調査は継続中だが、本稿には滋賀大学彦根キャンパス体育会に所属する12団体のデータを分析に用いた。

CMJ-JHについて、男子と女子のCMJ-JHの中央値は、それぞれ 47.6 ± 4.7 cmと 32.6 ± 3.8 cmであった(表2)。国立スポーツ科学センターで実施されているトップアスリートを対象としたフィットネス・チェックを参照すると、男子の平均値が 53.2 ± 6.8 cm ($n = 807$)、女子の平均値が 39 ± 4.1 cm ($n = 518$)と報告されている¹⁵⁾。また、鹿屋体育大学の入試で実施されたCMJ測定の平均値が、男子 51.3 ± 6.3 cm ($n = 1246$)、女子の平均値が 37 ± 4.9 cm ($n = 306$)であった²⁷⁾。これらのことから、本調査の対象者は、男女ともにトップアスリートと比較してCMJ-JHが約5 cm低い傾向にある。国立スポーツ科学センターで実施されているフィットネス・チェックでは、測定値によって5段階の評価基準が設けられており、男子の評価基準は評価1が43 cm、評価2が49.8 cm、評価3が56.6 cm、評価4が63.44 cm、評価5が70.2 cmであり¹⁵⁾、女子の評価基準は評価1が32.9 cm、評価2が37 cm、評価3が41.1 cm、評価4が45.2 cm、評価5が49.3 cmであった¹⁵⁾。本調査結果に参照すると、男子17名、女子1名が3以上の評価であった。そのほかに、アスリート以外を対象としたデータでは、腕の振り込みを用いないCMJにおいて、17-18歳の男子高校生における跳躍高の平均値が 40.4 ± 6.3 cm ($n = 82$)と報告されている¹²⁾。腕の振り込みを用いることで約10%程度跳躍高が高くなることから、腕振りを用いた場合、約44-46 cm程度に平均値が上昇する可能性がある。また、平成9年まで実施されていた旧スポーツテストにおける、18-23歳のCMJの結果を参照するとCMJの跳躍高は、約59-61cmであった²⁸⁾。なお、このCMJ測定は、床面から腰部

に取り付けたワイヤーが跳躍中に伸びた長さから跳躍高を計測するヒモ式を採用している。理論的には、ヒモ式は立位時とつま先立ち時の重心高の差だけマット式より跳躍高が高くなる。実際に男子における跳躍高は平均 17.3 ± 4.8 cm高くなる²⁹⁾。これらのことから、本キャンパス運動部における男子のCMJ-JHは、一般男子の平均値と同水準か、わずかに高い水準であると考えられる。旧スポーツテストにおける18-23歳女子の値は40-43cmであった²⁸⁾。ヒモ式による女子の跳躍高はマット式により平均 14.4 ± 3.7 cm高くなる²⁹⁾。よって、本キャンパス運動部における女子のCMJ-JHも一般女子と同水準かわずかに高い水準であると考えられる。

RJについて、本キャンパス運動部の男子と女子のRJ-JHの中央値は、それぞれ 38.3 ± 4.7 cmと 30.3 ± 5.4 cm、RJ-CTの中央値はそれぞれ 186 ± 20 msと 180 ± 16 ms、RJ-indexの中央値は 2.05 ± 0.38 と 1.64 ± 0.35 であった(表2)。度数分布において、各算出項目の中でRJ-CTが最も分布が中心に集中していたが、反対にRJ-JHとRJ-indexの分布の範囲は広い傾向にあった(図1)。国立スポーツ科学センターで実施されているフィットネス・チェックの結果はRJ-indexのみが公表されているが、男子におけるRJ-indexの平均値が約 2.25 ± 0.37 ($n = 506$)、女子の平均値が 1.78 ± 0.28 ($n = 296$)と報告されている¹⁶⁾。また、様々な種目のアスリートが含まれた先行研究におけるRJ-indexは、男子約 2.33 ± 0.59 (武道、陸上競技、球技 230名)²³⁾、女子約 2.20 ± 0.5 (サッカー、バレーボール、バスケットボール、ハンドボール102名)であった¹⁸⁾。国立スポーツ科学センターにおけるRJ-indexの5段階評価は男子において評価1が1.689、評価2が2.061、評価3が2.433、評価4が2.805、評価5が3.17であり、女子における評価

基準は、評価1が1.359、評価2が1.642、評価3が1.925、評価4が2.208、評価5が2.491であり¹⁶⁾、本調査結果を照らし合わせると、評価5が男子5名、女子1名、評価3-4が男子43名、女子7名であった。また、17-18歳の男子高校生のRJ-indexの平均値は 1.911 ± 6.0 であった¹²⁾。これらのことから、本キャンパス運動部学生 RJ-indexにおいて、CMJ-JHと同様に男女ともに一般人と同水準か、わずかに高い水準だが、アスリートと同水準以上の学生数がCMJ-JHより多く存在するため、本キャンパスの運動部活動生はCMJよりRJに優れる傾向にあると考えられる。

次に本キャンパス運動部学生におけるRJの結果をRJ-JHとRJ-CTを伴う先行研究と比較した。男子に関してZushi et al., (2024)²³⁾では、RJ-JHとRJ-CTの中央値がそれぞれ 40.6 ± 8.2 cmと 178 ± 22 msであった。また、17-18歳の男子高校生のRH-JHとRJ-CTの平均値がそれぞれ 33.5 ± 6.0 cmと 179 ± 24 ms ($n = 82$) と報告されている¹²⁾のに対して、本調査の男子対象者の中央値は、RJ-JHが 38.3 ± 4.7 cm、RJ-CTが 186 ± 20 msであった(表2)。これらのことから、本キャンパス運動部の男子学生は、短い接地時間で跳躍を行うことが不得意である可能性が示唆された。女子に関して、Zushi et al., (2022)¹⁸⁾では、RJ-JHとRJ-CTの平均値がそれぞれ約 38 ± 7.0 cmと約 160 ± 20 msであった。本調査の女子よりRJ-JHが約8 cm高い傾向にある。また、重回帰分析における標準化係数の大きさに注目すると、女子は、RJ-JHの標準化回帰係数が大きく(RJ-JH: $\beta = 0.65$, RJ-CT: $\beta = -0.43$)、RJ-indexに対してRJ-JHの影響が大きい可能性が示唆された。くわえて、本調査の女子における度数分布をみるとRJ-JHが高い方向への分布は狭い傾向にあり(図1右列)、さらに、RJ-JHとRJ-CTの標準得点によ

る散布図に注目すると、跳躍高が高く、接地時間が長い対象者のみ存在しなかった(図2)。これらのことは、本キャンパス運動部の女子学生は、短い接地での運動遂行は得意であるが、高い跳躍高を獲得することが不得意であることを示唆している。

(2) トレーニングへの示唆

CMJやRJにおける各算出項目の特徴は、下肢の筋力・パワー発揮特性を推察するための手がかりとなる。まず、CMJ-JHを高めるためには、下肢の各関節の動作範囲を大きく、大きな筋群を動員し、大きな下肢伸展筋力を発揮することで、長い時間にわたってできるだけ大きな地面反力を生成し、力積を獲得する必要がある^{7)、22)、25)、26)}。そのため、CMJ-JHに対して、反動動作後のコンセントリック局面中の下肢三関節の伸展運動において、大きな力学的仕事(力学的パワーの時間積分)をすることが重要となる⁷⁾。加えて、CMJは膝・股関節伸展筋群における力発揮の貢献度が高いこと^{22)、25)、26)}から、CMJ-JHに優れる者は、膝・股関節の可動域や伸展筋群における力発揮能力に優れていることが推察できる。反対に、CMJ-JHが低い選手は、股・膝関節における可動域の改善や伸展筋群における最大筋力や筋力の発揮速度の向上、これらの要素を効果的に利用する動作の習得が課題となる。

RJは、落下による伸張負荷に抗することやCMJより短時間に運動を遂行することが運動課題に含まれる。加えて、CMJより足関節底屈筋群における力発揮の貢献度が高いこと、膝・股関節伸展筋群においても瞬発的に力を発揮する必要があることが報告されている^{22)、25)、26)、30)}。実際にRJの各算出項目に影響を与える力学的仕事と力学的パワー(関節トルクと関節角速度の内積)について

検討した先行研究^{18)、31)}において、RJ-indexはエキセントリック局面中の力学的パワーの影響を強く受けること、力学的仕事よりパワーの影響が大きいことが示されている。

次に図2において、RJ-JHは高いがRJ-CTが長い。もしくは、RJ-CTは短いがRJ-JHは低い対象者が71名存在することが示された。さらに、RJ-JHは高いがRJ-CTが長い者は男子学生に多く、反対にRJ-CTは短いがRJ-JHが低い者は女子学生に多い傾向にあり(表2と図1右列)。これは全体の約40%に当たる。RJ-JHとRJ-CTに影響を与える下肢伸展における力学的仕事と力学的パワーに注目すると、コンセントリック局面中の力学的仕事、エキセントリック局面中の力学的パワーの順でRJ-JHに対する影響が大きい^{18)、31)}。RJ-JHは、CMJ-JH(図3)や最大脚伸展力との間に有意な正の相関関係が認められていることから^{23)、32)}、RJ-JHを高めるためには、高いCMJ-JHを獲得する場合と同様に、コンセントリック局面において大きな力積を獲得する必要がある。さらに、エキセントリック局面において、素早く力が発揮されるほど大きな弾性エネルギーを筋腱複合体に蓄えることができ、続くコンセントリック局面で発揮される力が増強されることから、高いRJ-JHの獲得には、エキセントリック局面で素早く大きな下肢伸展力を発揮する必要がある⁵⁾。

RJ-CTに対してエキセントリック局面中の力学的仕事、コンセントリック局面中の力学的パワーの影響が大きいことが示されている^{18)、31)}。RJにおいて落下による伸張負荷は体重約3倍以上³³⁾となることから、エキセントリック局面中に大きな下肢伸展力が必要となる。さらに、エキセントリック局面終了時の下肢が屈曲した状態から素早く跳び上がるために、瞬発的な力(高いパワー)を発揮する必要がある。これらのことを踏まえると、RJ-JHは

高いがRJ-CTが長い者は、エキセントリック局面に下肢伸展力を適切に発揮できていないこと、コンセントリック局面における下肢伸展力の発揮速度が低いことが推察できる。また、伸張負荷によるSSCの効果を有効に利用できていないことから、下肢の伸展量を大きくすることで高く跳び上がろうとしていると考えられる。よって、RJ-JHは高いがRJ-CTが長い者は、下肢に伸張負荷が加わる際にタイミングよく大きな力を発揮できるように筋力の向上に加えて、適切な予備緊張や動作・姿勢を習得する必要がある。反対に、RJ-CTは短いがRJ-JHが低い者は、コンセントリック局面において素早く下肢を伸展させている一方で下肢伸展力が小さいことが推察できる。これらのことから、前述したCMJ-JH向上に関するトレーニング課題に加えて、短い運動時間内で膝・股関節伸展筋群を素早く動員するための筋力や動作の習得が課題となる。

CMJやRJには各スポーツ種目の特性を反映していることが報告されている^{17)、32)}。例えば、スピードスケートやスキージャンプ選手は、RJ能力よりCMJ能力が高い一方で、体操競技や剣道の選手は、RJ能力のほうが高い傾向にある¹⁷⁾。本調査においても、運動部ごとに異なる特徴を示した(表3)。一般的にCMJは、バスケットボールのジャンプシュートやリバウンド、バレーボールのオープンスパイク、ボートのストローク、短距離種目や球技におけるスタートダッシュなどの膝・股関節を大きく伸展させながら力発揮を行う運動に加えて、投・打やコンタクトプレーなど、身体が持つ力学的エネルギーの総量がパフォーマンスにとって重要な運動と関連が強いと考えられる。その一方でRJは、バスケットボールのレイアップやハンドボールのジャンプシュート、跳躍種目におけるジャンプ運動、バレーボールのクイックスパイク、バドミン

トンのランジや卓球のステップ、最大疾走局面におけるスプリントなど、膝・股関節をあまり伸展させず助走などの勢いを利用して力を発揮する運動と関連が強いことが推察できる。このようなスポーツ種目の特性や運動のパフォーマンス構造を把握したうえで、各スポーツ種目におけるRJやCMJの重要性や自分自身のパフォーマンスの向上と各算出項目の関連性を検討したうえでRJやCMJをトレーニングやテストに利用する必要がある。

V 結論

本研究の目的は、滋賀大学彦根キャンパス体育会運動部活動生におけるSSC運動遂行能力の実態を明らかにするとともに、各運動部の下肢の筋力・パワーに関するトレーニング課題を再検討することであった。滋賀大学彦根キャンパス体育会に所属する運動部活動生を対象にCMJとRJテストを実施し、CMJ-JH、RJ-JH、RJ-CT、RJ-indexを算出し、先行研究と比較した。滋賀大学彦根キャンパス運動部活動生の傾向として、CMJとRJともに一般人と同水準か、わずかに高い水準であること、CMJよりRJに優れていることが示された。また、RJ-JHとRJ-CTにおいて、アスリートや男子高校生と比較して、男子はRJ-CTが長い傾向にあり、女子はアスリートと比較してRJ-JHが低い傾向にあった。これらの傾向を踏まえると、本キャンパス運動部学生に対して、大きな力を発揮できるように膝・股関節伸展筋群の筋力を改善すること、下肢三関節の力の発揮速度を高めること、予備緊張や伸張負荷を効果的に受け止める動作技術を習得することがトレーニング課題として考えられる。

最後に本研究では、滋賀大学彦根キャンパス体育会12団体の測定を実施し、取得したデータを

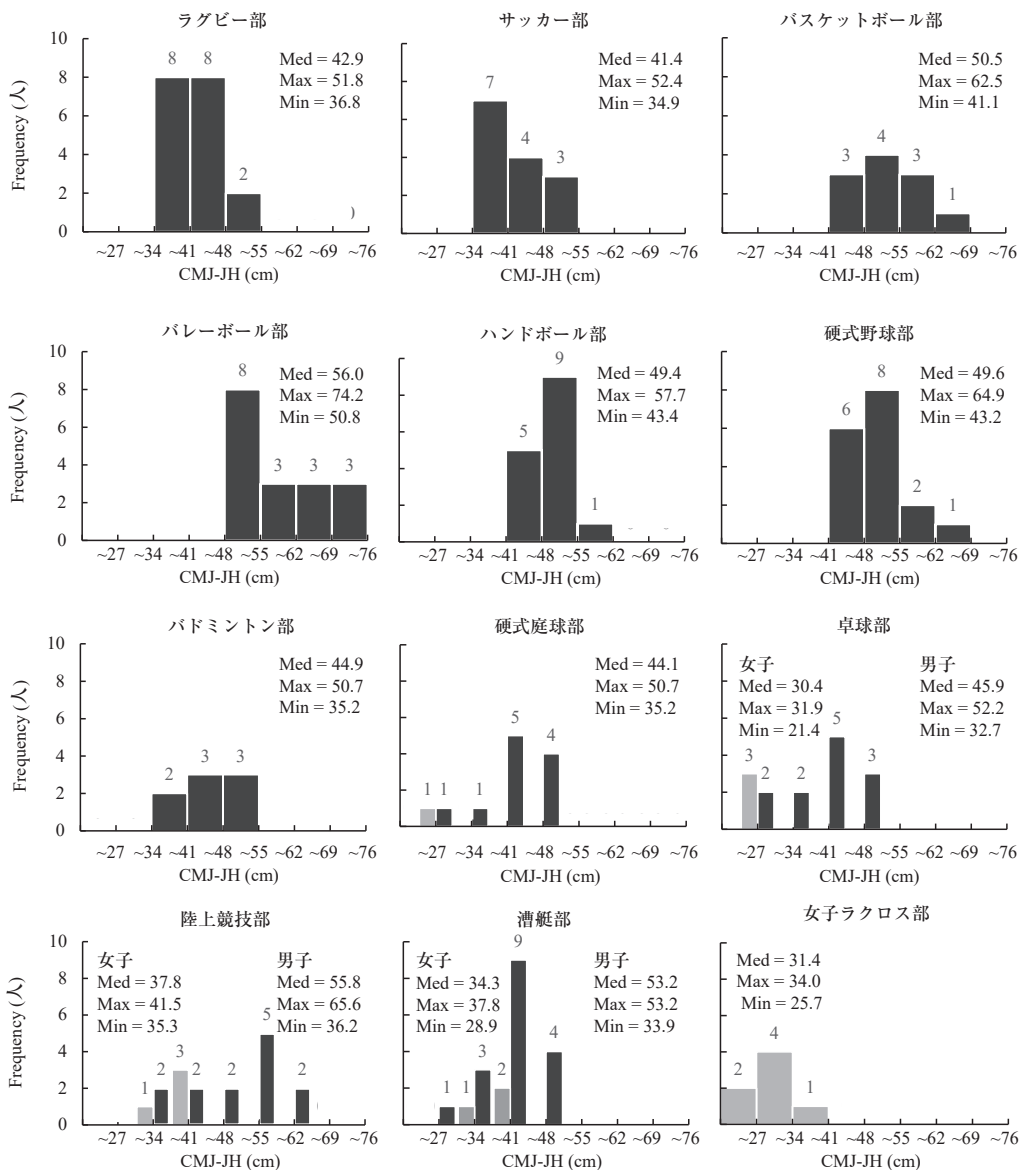
本稿に記載した。しかし、全ての運動部のデータは収集するには至っていないことに加えて、今回取り扱った12団体においても全部員のデータを収集することはできなかった。よって、滋賀大学彦根キャンパス体育会運動部活動生におけるSSC運動遂行能力の実態に関する正確な情報を得るためにも、今後も調査を進めていく必要がある。

文献

- 1) Zatiorsky, M. V. and Kraemer, J. W. (2006) Basics of strength conditioning, Task-specific strength. Science and practice of strength training (2nd ed.). Human Kinetics: Champaign, pp. 22-45.
- 2) 木村健二・桜井伸二 (2010)「方向転換の下肢キネマティクス」、『体育の科学』60: 745-750。
- 3) 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』4 (1): 47-60。
- 4) 堀内元・中島大貴・桜井伸二 (2018)「野球のバッティングにおける股関節のダイナミクス」、『体育学研究』63: 695-705。
- 5) Komi, P.V. (2003) Stretch shortening cycle. Strength and Power in Sport. Oxford Blackwell Science, pp. 184-202.
- 6) Kyröläinen, H. and Komi, P. V. (2011) Mechanical efficiency of SSC exercise. In Komi P. V. (Eds.) Neuromuscular aspects sport performance. Wiley-Blackwell, pp. 03-113.
- 7) 平山邦明 (2022)「Stretch-shortening cycleによるパフォーマンス増強とそのメカニズム」、平山邦明編『アスレティックパフォーマンス向上のためのトレーニングとリハビリの科学的基礎』、文光堂：東京、pp. 81-103。
- 8) 荻山靖 (2013)「プライオメトリックトレーニング手段としての各種リバウンドジャンプの用い方に関する原則：両脚型と片脚型および鉛直型と水平型の相違に着目して」、筑波大学、博士論文、pp. 5-10。
- 9) Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I. and Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. Journal of strength and conditioning research, 18 (3): 551-555.

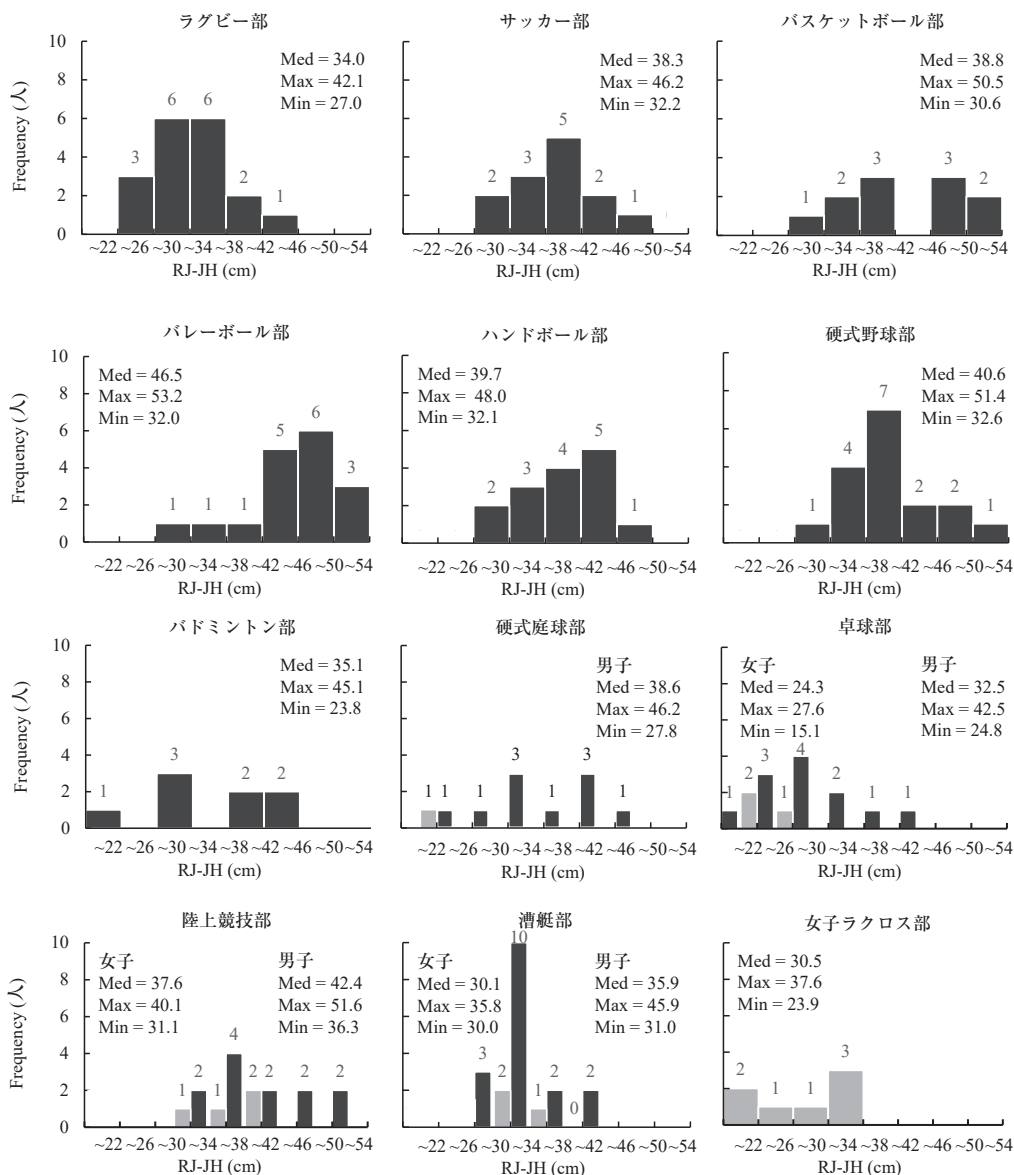
- 10) 松林武生編、(2020)『フィットネスチェックハンドブック－体力測定に基づいたアスリートへの科学的支援－』、大修館書店：東京。
- 11) 有賀誠司・積山和明・藤井壮浩・緒方博紀・生方謙 (2012)「方向転換動作のパフォーマンス改善のためのトレーニング方法に関する研究：女子バレーボール選手におけるリバウンドジャンプ能力に着目して」、『東海大学スポーツ医科学雑誌』24: 7-18。
- 12) 遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣貢 (2007)「リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究」、『体育学研究』52: 149-159。
- 13) 竹内宗章・與名本稔・有賀誠司 (2012)「陸上競技投てき選手のリバウンドジャンプ能力について」、『東海大学医科学雑誌』26: 39-44。
- 14) 関子あまね・荻山靖・関子浩二 (2017)「リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価」、『体力科学』66: 79-86。
- 15) 国立スポーツ科学センター“フィットネス・チェックマニュアル 7. 垂直跳、CMJ、SJ(無酸素パワー)”。ハイパフォーマンスセンター ホームページ。 n. d. https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/Portals/0/resources/jiss/column/fcmanual/07r_suichoku_cmj_sj.pdf (参照2024-2-15)。
- 16) 国立スポーツ科学センター。“フィットネス・チェックマニュアル 8. RJ(無酸素パワー)” ハイパフォーマンスセンター ホームページ。 n. d. https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/Portals/0/resources/jiss/column/fcmanual/08_RJ.pdf (参照2024-2-15)。
- 17) 関子浩二・高松薫・古藤高良 (1993)「各種スポーツ選手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。
- 18) Zushi, A., Yoshida, T., Zushi, K., Kariyama, Y. And Ogata, M. (2022) Characteristics of three lower limb joint kinetics affecting rebound jump performance. PloSone 17 (8), e0268339.
- 19) 荻山靖・渡来真人・関子浩二 (2014)「サッカーのインステップキックにおけるボール速度に影響する支持脚の筋力およびジャンプ能力：助走速度の相違に着目して」、『体育学研究』59: 755-770。
- 20) Miura, K., Yamamoto, M., Tamaki, H. and Zushi, K. (2010). Determinants of the abilities to jump higher and shorten the contact time in a running 1-legged vertical jump in basketball. J. Strength. Cond. Res., 24: 201-206.
- 21) 三井孝・関子浩二 (2006)「身体の逆振り子運動からみた高齢者歩行における歩幅の獲得要因」、『体育学研究』51: 447-457。
- 22) Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A. and van Ingen Schenau, G. J. (1986b) Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. Eur. J. Appl. Physiol., 54: 566-573.
- 23) Zushi, K., Kariyama, Y., Nagahara, R., Yoshida, T., Zushi, A., Ohyama-Byun, K. and Ogata., M. (2024) Association of multi-phase rates of force development during an isometric leg press with vertical jump performances. PloSone 19 (2) e0292428.
- 24) 荻山靖 (2017)「各種跳能力におけるリバウンドジャンプ能力の位づけ」、『体育の科学』67 (4): 226-231。
- 25) Fukashiro, S. and Komi, P. V. (1987) Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. International Journal of Sports Medicine 8: 15-21.
- 26) Moran, K. A. and Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. Human Movement Science, 26: 824-840.
- 27) 藤田英二、高井洋平、長島未央子、幾留紗智、山本正嘉 (2021)「鹿屋体育大学での一般入学試験で実施した運動能力検査結果の特徴」、『大学体育スポーツ学研究』18: 112-120。
- 28) 増本達哉 (2018)「大学生アスリートにおける身体能力～垂直跳びに着目して～」、『国士舘大学体育研究所報』37: 69-72。
- 29) 金高宏文 (1998)「垂直跳の測定方法についての分析」、『スポーツトレーニング科学』3: 43-46。
- 30) 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。

- 31) 図子あまね (2019)「陸上競技跳躍選手におけるリバウンドジャンプを用いた下肢筋力・パワー発揮特性のアセスメント法の開発」、令和元年度 筑波大学 人間総合科学研究科 コーチング学専攻 学位論文博論、pp 21-36。
- 32) 図子浩二・高松薫 (1995)「バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－筋力および瞬発力に着目して－」、『体力科学』44: 147-154。
- 33) 荻山靖・遠藤俊典・藤井宏明・森健一・尾縣貢・図子浩二 (2012)「片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプの動作および力発揮特性：両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプと比較して」、『体育学研究』57: 143-158。



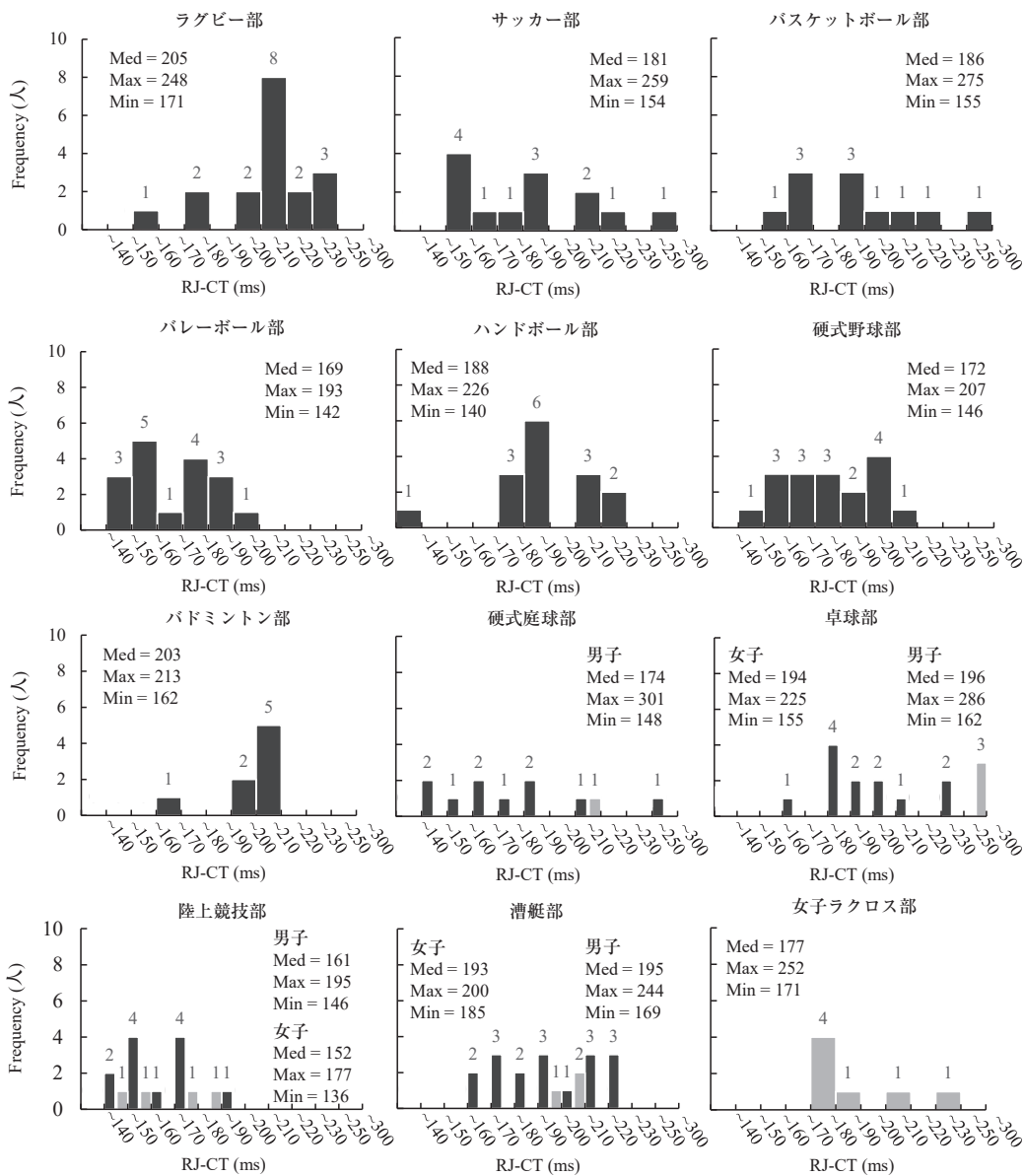
付録1 運動部別のCMJ-JHの度数分布図

■: 男子、■: 女子、Med: 中央値、Max: 最大値、Min: 最小値



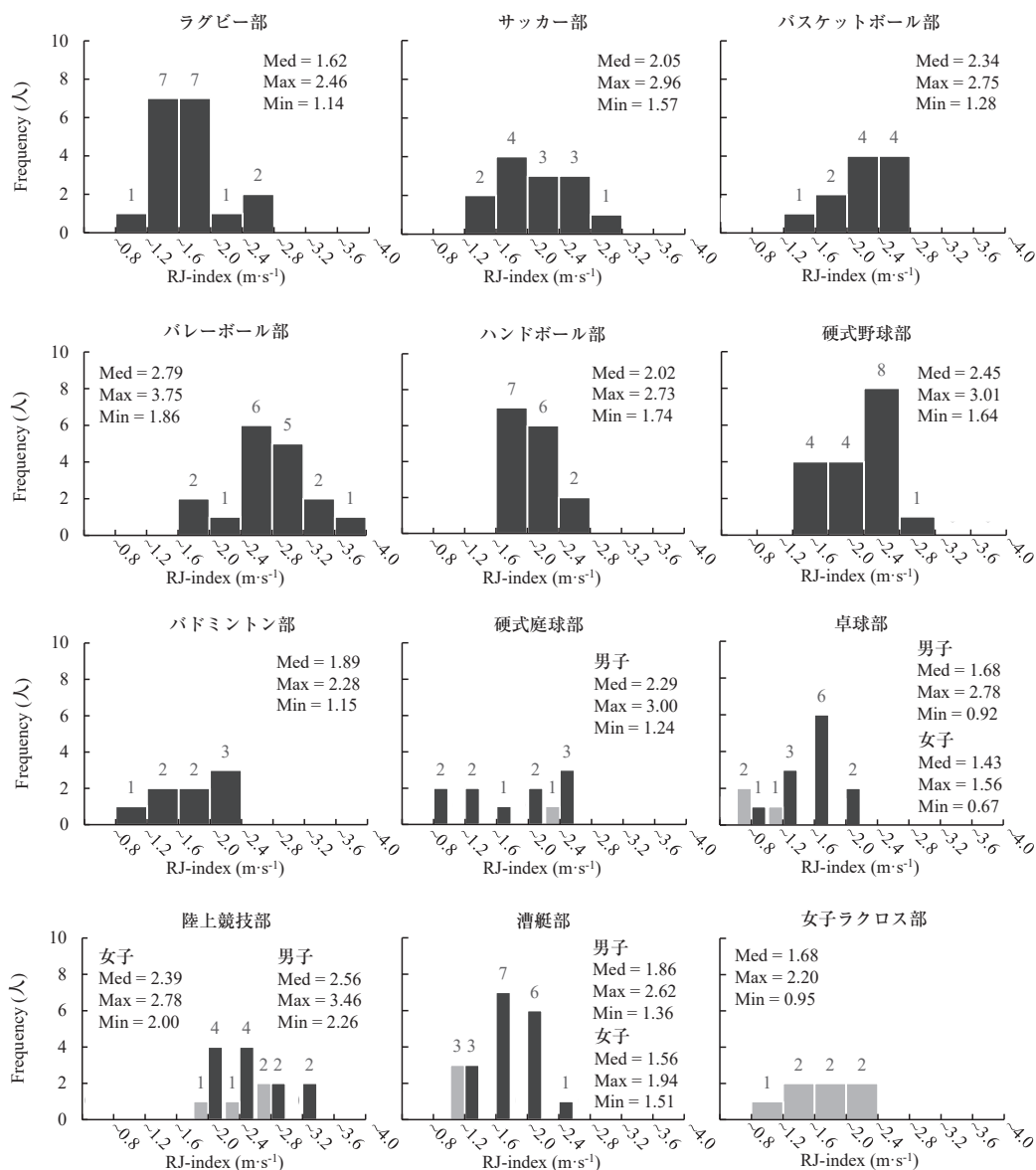
付録2 運動部別のRJ-JHの度数分布図

■: 男子、■: 女子、Med: 中央値、Max: 最大値、Min: 最小値



付録3 運動部別のRJ-CTの度数分布図

■: 男子、■: 女子、Med: 中央値、Max: 最大値、Min: 最小値



付録4 運動部別のRJ-indexの度数分布図

■: 男子、■: 女子、Med: 中央値、Max: 最大値、Min: 最小値

Characteristics of Stretch-Shortening Cycle Exercise Performance Capability of the Lower Limb Among Student Athletes Belonging to the University Sports Club within the Hikone Campus of Shiga University

Survey of Vertical Jump and Rebound Jump Measurements

Kodayu Zushi

The purpose of this study was to investigate the current status of the Stretch-Shortening Cycle (SSC) motor execution ability of the lower limb among student athletes belonging to the university sports club within the Hikone Campus of Shiga University, using the Countermovement Jump (CMJ) and Rebound Jump (RJ) tests, and to propose training interventions aimed at improving lower limb strength and power. One hundred fifty-three male students (age, 20.0 ± 1.58 years; height, 172.8 ± 6.2 cm; mass, 66.6 ± 9.6 kg) and eighteen female students (age, 19.2 ± 0.90 years; height, 158.0 ± 4.6 cm; mass, 52.4 ± 5.7 kg) affiliated with Shiga University participated in the investigation. All participants are athletes of the university sports club, for whom CMJ performance variable (jump height: CMJ-JH) and RJ performance variables (jump height: RJ-JH, contact time: RJ-CT and RJ-index) were measured. Medians and frequency distributions were used to characterize jump performances. Comparing the medians of variables from this investigation to the means of jump performance variables in previous studies and surveys, CMJ and RJ were found to be at the same level or slightly higher than the general population, including untrained individuals. Additionally, participants in this investigation tended to exhibit superior RJ performance compared to CMJ. Moreover, statistical analysis revealed

significant differences, indicating that CMJ, RJ-JH, and RJ-index were higher in males compared to females (CMJ-JH: $t = 8.38$, $d = 2.09$, $p < 0.05$; RJ-JH: $t = 5.41$, $d = 1.35$, $p < 0.05$; RJ-index: $t = 3.17$, $d = 0.79$, $p < 0.05$). However, RJ-CT were no significant differences between males and females ($U = 1259$, $z = 0.46$, $p = 0.64$). Furthermore, the characteristics of RJ by gender were discussed, referencing the standardized regression coefficient of RJ-JH and RJ-CT on RJ-index (male [RJ-JH: $\beta = 0.66$, RJ-CT: $\beta = -0.54$], female [RJ-JH: $\beta = 0.65$, RJ-CT: $\beta = -0.43$]), as well as the scatter plot of Z-score of RJ-JH and RJ-CT. These data suggested that male student athletes on this campus tended to have longer RJ-CT than male high school students and male athletes in previous studies, while females tended to have lower RJ-JH than female athletes in the previous study. Finally, by referring to the results of this investigation and previous studies on biomechanical and neuromuscular factors related to CMJ and/or RJ performance, the status of SSC motor execution ability of the lower limb and training interventions in the student athletes in this campus were speculated.

