

博士論文

両脚および片脚跳躍能力の発達特性の解明

2024 年

兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科
教科教育実践学専攻

(岐阜大学)

日置佑輔

目次

略語

表のタイトル一覧

図のタイトル一覧

博士論文に関する業績一覧

I. 緒言	1
II. 文献研究	4
1. 子どもの基礎的運動能力に関する研究	4
2. 下肢の SSC 運動に関する研究	5
(1) 下肢の SSC 運動とその評価法	5
(2) 下肢の SSC 運動能力と各種運動能力との関連	7
(3) 子どもにおける下肢の SSC 運動能力と各種運動能力との関係	8
(4) 下肢の SSC 運動能力の発達	9
(5) 子どもにおける下肢のプライオメトリクスの効果	11
3. 片脚 SSC 運動に関する研究	12
(1) 片脚跳躍の動作および力発揮特性	12
(2) 片脚 SSC 運動能力と各種運動能力との関係	13
(3) 片脚プライオメトリクスの効果	14
(4) 片脚 SSC 運動能力の発達	16
4. 文献研究から得られた知見	16
5. これまでに未解決な問題点	17
III. 本研究の目的および課題	18

1.	研究目的	18
2.	研究課題	18
IV.	本研究の意義, 仮説および限界	19
1.	研究の意義	19
2.	研究の仮説	20
3.	作業の仮定	20
4.	研究の限界	20
V.	両脚および片脚踏切 CMJ と RJ の遂行能力の発達過程 (研究課題 1).....	22
1.	目的.....	22
2.	方法.....	24
(1)	対象者.....	24
(2)	実験試技.....	25
(3)	測定項目および測定方法.....	28
(4)	統計処理.....	28
3.	結果.....	29
4.	考察.....	42
(1)	加齢に伴う片脚跳躍能力の変化.....	42
(2)	両脚跳躍能力と片脚跳躍能力の関係.....	43
5.	要約.....	45
VI.	両脚および片脚跳躍における力発揮能力の発達過程 (研究課題 2).....	46
1.	目的.....	46
2.	方法.....	48

(1) 対象者	48
(2) 実験方法	50
(3) 測定項目および算出項目	50
(4) 統計処理	51
3. 結果	51
4. 考察	58
(1) 加齢に伴う両脚 CMJ および片脚 CMJ のキネティクスの変化	58
(2) 加齢に伴う両脚 RJ および片脚 RJ のキネティクスの変化	59
5. 要約	60
VII. 両脚および片脚跳躍における跳躍動作の発達過程 (研究課題 3)	62
1. 目的	62
2. 方法	63
(1) 対象者	63
(2) 実験方法	65
(3) 測定項目および測定方法	65
(4) 算出項目	66
(5) 動作の分析局面およびデータの規格化・平均化	67
(6) 統計処理	67
3. 結果	67
4. 考察	84
(1) 加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍動作の変化	84
(2) 加齢に伴う RJ および SRJ の踏切準備動作の変化	85
5. 要約	87

VIII. 討論	89
1. 両脚および片脚踏切 CMJ と RJ の遂行能力の発達過程	90
2. 両脚および片脚跳躍における力発揮能力の発達過程	91
3. RJ および SRJ における跳躍動作の発達過程	93
4. 両脚跳躍能力と片脚跳躍能力からみた個人の跳躍能力特性	96
5. 両脚および片脚跳躍能力の発達特性	97
6. 実践現場への示唆	100
7. 研究の限界	101
IX. 結論	102

謝辞

文献

略語

本研究で用いる略語は、以下の通りである.

- FMS : Fundamental motor skills 基礎的運動能力
- SSC : Stretch-shortening cycle 伸張-短縮サイクル
- CMJ : Counter-movement jump カウンタームーブメントジャンプ
- RJ : Rebound jump リバウンドジャンプ
- RDJ : Rebound drop jump リバウンドドロップジャンプ
- SCMJ : Single-leg counter movement jump 片脚カウンタームーブメントジャンプ
- SRJ : Single-leg rebound jump 片脚リバウンドジャンプ
- SJ : Squat jump スクワットジャンプ

表のタイトル一覧

- Table 1 Anthropometric characteristics in this study.
- Table 2 Jumping height of countermovement jump (CMJ) and single-leg CMJ (SCMJ) at ages 7 to 15.
- Table 3 Rebound jump (RJ) -index of RJ and single-leg RJ (SRJ) at ages 7 to 15.
- Table 4 Contact time of rebound jump (RJ) and single-leg RJ (SRJ) at ages 7 to 15.
- Table 5 Jumping height of rebound jump (RJ) and single-leg RJ (SRJ) at ages 7 to 15.
- Table 6 Cross table of age and jump ability type.
- Table 7 Values for group characteristics.
- Table 8 Counter-movement jump variables in each group.
- Table 9 Single-leg counter-movement jump variables in each group.
- Table 10 Rebound jump variables in each group.
- Table 11 Single-leg rebound jump variables in each group.
- Table 12 Values for group characteristics.
- Table 13 Ankle joint angles and angular displacement in double and single leg rebound jumps.
- Table 14 Knee joint angles and angular displacement in double and single leg rebound jumps.
- Table 15 Hip joint angles and angular displacement in double and single leg rebound jumps.
- Table 16 Correlation coefficients between knee flexion rate and RJ and SRJ variables.
- Table 17 Cross table of preparatory action and age group in RJ.
- Table 18 Cross table of preparatory action and age group in SRJ.
- Table 19 Knee joint flexion rate in RJ and SRJ.
- Table 20 Changes in various variables with age.

図のタイトル一覧

- Figure 1 Relationship between jump abilities and body height.
- Figure 2 Relationship between contact time and body mass.
- Figure 3 Relationship between single- and double-leg jump for each variable.
- Figure 4 Change of the percentage of subjects in jump ability type.
- Figure 5 Averaged patterns of joint angle of hip, knee and ankle joints of RJ in each groups.
- Figure 6 Averaged patterns of joint angle of hip, knee and ankle joints of SRJ in each groups.
- Figure 7 Averaged patterns of joint angle velocity of hip, knee and ankle joints of RJ in each groups.
- Figure 8 Averaged patterns of joint angle velocity of hip, knee and ankle joints of SRJ in each groups.

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】

日置佑輔・古橋侑季・林 陵平 (2022) 小学生および中学生における両脚および片脚踏切
跳躍能力の発達特性. 体育学研究, 67 : 125-141.

Yusuke Hioki, Yuki Furuhashi, Kosho Kasuga, Ryohei Hayashi (2023) Age-related differences in
kinetics during double- and single-leg jumps in boys. *The Journal of Sports Medicine and
Physical Fitness*, 63: 550-557.

【学会議事録】

Hioki Y., Kasuga K., Hayashi R. Age-related changes in the kinematics of the lower limbs during
double-and single-leg rebound jumps. 28th Annual Congress of the European College of Sport
Science, Paris, France : 2023, 07.

I. 緒言

走るや跳ぶといった運動は基礎的運動能力 (Fundamental motor skills: FMS) と呼ばれる (Duncan et al., 2019), スポーツで必要とされる様々な運動能力と関連していることが報告されている (Logan et al., 2012). 走や跳の運動は, 子どもたちがスポーツに参加するための基本的な運動能力であり (Wrotniak et al., 2006), これらの能力を高めることによって子どもの体力を向上させ, 運動や遊びなどの活動への参加を増加させることが出来るとされている (Pattisina, 2023). また, 子どもの運動技能や運動能力は, 適応促進期に適切なトレーニング刺激を与えることで, 獲得した運動技能や運動能力の発達を加速させることができる (Lloyd et al., 2011). したがって, 加齢に伴う子どもの基本的な運動能力を調査することは, 子どもの運動能力を向上させるために極めて重要な情報であり, 子どもの体力向上に対して大きな意義を持つことが考えられる.

歩行や走, 跳などの基本的な運動には, 下肢筋一腱は一度引き伸ばされ, その後即座に短縮する SSC 運動が内在する (Komi, 1984). 下肢の SSC 運動は, ジャンプやスプリント, ホッピングといった各種動作を効率的に遂行することを可能にする (Asmussen and Bonde-Pertersen, 1974; Bosco and Komi, 1979; Bosco et al., 1981). 下肢の SSC 運動能力は, 子どものスプリント (Endo et al., 2008; 坂口ほか, 2014) やフットワーク (Endo et al., 2008), 走り幅跳びの踏切 (大宮ほか, 2009), 持久力 (Kasović et al., 2021) と関連していることが報告されている. 加えて, SSC 運動を強制的に行うプライオメトリックトレーニング (以下, 「プライオメトリクス」と略す) は, 子どもの筋力 (Nobre et al., 2017), スプリント能力 (Marzouki et al., 2022), ジャンプ能力 (Nobre et al., 2017; Sortwell., 2021; Marzouki et al., 2022) を改善し, 子どもにとって安全に様々な運動能力を改善することができる方法の一つであると言われている (Pattisina, 2023). これらの知見は, 子どもの下肢の SSC 運動能力は各種運動を行う際に最も重要な体力要素の一つであり, 下肢の SSC 運動能力を改善することで, 様々な運動能力を改善できることを示唆しているものである.

下肢の SSC 運動能力の評価には、出来るだけ高く跳ぶことを目的とした CMJ や、短い接地時間で出来るだけ高く跳ぶことを目的とした RJ といった跳躍運動が用いられることが多い。この 2 つの跳躍運動の運動遂行時間に着目すると、CMJ は 0.5–1.0 秒程度 (高松ほか, 1989)、RJ は 0.1–0.2 秒程度 (図子ほか, 1993) であり、運動遂行時間には異なる特性が存在する。RJ のような運動遂行時間の極めて短い運動はバリスティック運動と定義されており (Brooks and Thach, 1981)、比較的長い運動遂行時間で大きな力積を獲得することが運動課題となる CMJ と比較すると、各跳躍運動において要求される体力的・技術的要因 (図子ほか, 1993) や運動特性 (Young et al., 1995) が異なる。また、RJ と運動課題が類似している RDJ と CMJ の関係を検討した研究では、RDJ と CMJ の類似性は必ずしも高くはないことが明らかとなっている (図子・高松, 1995)。さらに、RJ と CMJ の間には有意な相関関係が存在するものの、決定係数はあまり高くない。このために、個人の跳躍能力の特性を評価するためには、CMJ と RJ の両方を評価する必要のあることが指摘されている (遠藤ほか, 2007)。こうしたことから、下肢の SSC 運動能力を評価する際には、運動遂行時間が比較的長い跳躍運動である CMJ と、運動遂行時間が極めて短いバリスティックな跳躍運動である RJ の 2 つの跳躍運動を用いる必要がある。

下肢の SSC 運動能力は、各種運動に関わる能力であることから、幼児から児童および生徒を対象として、発育発達の観点からの検討が行われている。下肢の SSC 運動能力の指標となる CMJ や RJ の遂行能力は、経年的な発育に伴い向上することが報告されている (Bosco and Komi, 1980; 志手・新開谷, 1996; 遠藤ほか, 2007; Endo et al., 2008; 坂口・図子, 2013)。また、CMJ を対象とした研究では、発育に伴って跳躍動作が変化することも報告されている (Wdowski et al., 2020)。加えて、CMJ と RJ では要求される体力的要素が異なる。これらのことから、跳躍能力の発達には個人の特性が生じることも示唆されており、発達の個人差は 9–13 歳以降に拡大することが報告されている (遠藤ほか, 2007)。

一方で、各種スポーツ動作に目を向けると、レイアップシュートや陸上競技の走種目・跳種目、ハンドボールのシュートなど、片脚で動作を遂行する場面が多い。また、片脚の

ジャンプ能力は、スポーツパフォーマンスと強く関連することが報告されている (Miura et al., 2010). 加えて、子どもが片脚のプライオメトリクスを実施した場合、両脚のプライオメトリクスを実施した場合よりも、筋力、スプリント能力、片脚のジャンプ能力を有意に改善したとの報告も存在する (Drouzas et al., 2020). すなわち、片脚 SSC 運動能力は、走運動や跳運動が内在するスポーツ種目にとって重要な要素の一つであるとともに、片脚 SSC 運動を含むプライオメトリクスは、子どものジャンプやスプリント能力を向上させるための効果的な方法の一つであると言える. これらのことを考慮すると、子どもの下肢の SSC 運動能力を評価する場合にも、両脚・片脚の両方を用いることが必要であると考えられる.

また、両脚と片脚 SSC 運動の間には、力発揮特性や動作 (荊山ほか, 2012; 2013), 力-速度関係 (Bobbert et al., 2006; Samozino et al., 2014), 筋間協調 (Rejc et al., 2010) など、神経メカニズムや運動特性にいくつかの相違点が存在する. したがって、両脚 SSC 運動と片脚 SSC 運動の間では要求される体力的要素や技術的要素が異なることが考えられ、加齢に伴う遂行能力の変化傾向が異なることが推察できる. 加えて、両脚 SSC 運動能力と片脚 SSC 運動能力の関係をみると、両脚 SSC 運動能力の発達ที่ใหญ่いタイプ、もしくは片脚 SSC 運動能力の発達ที่ใหญ่いタイプなど、下肢の SSC 運動能力の発達特性に個人差が生じる可能性があることも考えられる. 両脚および片脚の SSC 運動能力に関して、加齢に伴う変化や両脚 SSC 運動と片脚 SSC 運動能力の発達過程における個人差についての情報は、子どもの下肢の SSC 運動能力、あるいは運動能力そのものを向上させるために重要になると考えられる.

II. 文献研究

1. 子どもの基礎的運動能力に関する研究

走る、跳ぶといった運動能力は、FMSに含まれている (Duncan et al., 2019). FMSは、各種スポーツに含まれるような、より高度で複雑な運動技能の構成要素となる (Clark, 1994; Clark and Metcalfe, 2002; Logan et al., 2018). このためFMSの習得は、小学校や中学校教育の体育カリキュラムに含まれる各種スポーツを行うために必要な動作を獲得する際に重要であることが指摘されている (Duncan et al., 2019). FMSは子どもの身体活動量 (Williams et al., 2008 ; Robinson et al., 2012 ; Jaakkola & Washington., 2013) や健康関連体力 (Cattuzzo et al., 2016) と正の相関関係があること、肥満や過体重の子どもはFMSが低く、身体活動量も少ないこと (Logan & Getchell., 2010; Logan et al., 2012) などが示されている。したがって、FMSは身体活動や健康と関連する重要な能力の一つであると考えられる。さらに、FMSに含まれている走や跳といった運動は、子どもたちがスポーツに参加するために必要となる基本的なスキルである (Wrotniak et al., 2006). このために、これらの能力を高めることによって子どもの体力を向上させ、運動や遊びなどの活動への参加を増加させることが出来るとされている (Pattisina, 2023). これらのことから、FMSは様々なスポーツや運動に参加するために必要な能力であるとともに、身体活動を増加させ、健康に生きていくために重要であることが考えられる。

FMSは、発達過程の中で自然に習得されるものではない (Hardy et al., 2009). FMSを習得するためには、様々な動作を学習・練習し、発達させる必要がある (Logan et al., 2012 ; Bolger et al., 2021). 一般的に、多くの子どもは7歳ごろから専門的なスキルを必要とする各種身体活動やスポーツ活動に取り組み始めるために、FMSの習得には幼児期が重要な時期であるされている (Bolger et al., 2021). 一方で、Duncan et al. (2019) は、6歳から9歳の児童のFMS習熟度を調査し、FMSを習得していたのは全体の5分の1の子どものみであったことを報告している。また、O'Brien et al. (2016) は11歳から12歳の子どもにおける

FMS に関する調査を実施し、FMS を習得、あるいはほぼ習得していたのは、全体の 11% のみであったことを報告している。この他にも、小学生から中学生の年代における FMS の習熟度は低いことを報告している研究が複数存在する (Morley et al., 2015; Bryant et al. 2016)。このために、Logan et al. (2012) は、FMS の習熟度を向上させる際には、学校体育の中で子どもに十分な FMS 習得の機会を与えることが重要であり、発達段階に応じた教育と学習活動が必要であることを指摘している。さらに、子どもの運動技能や運動能力は、適応促進期に適切なトレーニング刺激を与えることで、獲得した技能や能力を加速させることができるとされている (Lloyd et al., 2011)。これらのことから、子どもが FMS を習得し、その能力を高めるためには、発達段階あるいは適応促進期を踏まえ、適切な時期に各種運動を行うことが必要であることが考えられる。また、各種運動能力について年齢変化の観点から調査することは、適切な時期に適切な運動を処方することに役立つ情報となり、子どもの運動能力を向上させるために極めて重要になると考えられる。

2. 下肢の SSC 運動に関する研究

(1) 下肢の SSC 運動とその評価法

ヒトが歩く、走る、跳ぶといった運動を行う際、下肢主働筋は一度引き伸ばされ、エキセントリックな筋収縮を行うことで負荷を受け止め、その後即座に短縮し、コンセントリックな筋収縮を行う (Komi, 1984)。このような下肢筋の振る舞いは SSC 運動と呼ばれており、純粋なコンセントリック収縮と比較して、より大きな力を生み出すことが出来る (Cavagna et al., 1968)。こうした SSC 運動による効果には、いくつかの要因が影響している。一つ目は、予備緊張による筋の活性化である。主動作に先立って主働筋をアイソメトリックあるいはエキセントリックに収縮させる、すなわち予備緊張させることで、主動作における主働筋のコンセントリック収縮の力の立ち上がりを速くできる (van Ingen Shenau et al., 1984; 高松ほか, 1991)。SSC 運動におけるコンセントリック収縮に先立つエキセントリック収縮は、この予備緊張の一種としてみることが出来る (高松ほか, 1991)。二つ目は、

筋の伸張による増強効果である。筋伸張によって誘発される伸張反射は、主働筋の筋活動の増加 (Jones and Watt, 1971) や収縮効率の改善を促す (van Ingen Schenau et al., 1997)。三つ目は、筋や腱における弾性エネルギーの貯蔵と再利用である。エキセントリック局面において筋が伸張されることで、筋や腱部には弾性エネルギーが蓄積される。この弾性エネルギーはコンセントリック局面において再利用され、骨格筋のパフォーマンスを向上させる (Bosco and Komi, 1979) ことや、スプリントや跳躍における筋活動の経済性に重要な役割を果たす (Asmussen and Bonde-Petersen, 1974) ことが報告されている。これらの要因により、SSC 運動では効率的に、かつ大きなトルクやトルクパワーを発揮することが可能になっていると考えられている (Enoka et al., 1996)。

下肢の SSC 運動能力の評価には、出来るだけ高く跳ぶことを目指す CMJ や、短い接地時間で出来るだけ高く跳ぶことを目指す RJ といった跳躍運動が用いられることが多い。この2つの跳躍運動の運動遂行時間に着目すると、CMJは0.5–1.0秒程度 (高松ほか, 1989)、RJは0.1–0.2秒程度 (図子ほか, 1993) のバリスティック運動 (Brooks and Thach, 1981) であり、運動遂行時間には異なる特性が存在する。比較的運動遂行時間の長い SSC 運動は Long SSC、運動遂行時間の短いバリスティックな SSC 運動は Short SSC とも呼ばれている (Young et al., 1995a)。これらの2種類の SSC 運動では、神経制御機構や力発揮に関する調節機序が大きく異なり (Marsden, 1976; 米田, 1989)、要求される体力的・技術的要因 (図子ほか, 1993) や運動特性 (Young et al., 1995a) が異なる。このために、Long SSC と Short SSC では、それぞれを区別して検討する必要があることが指摘されている (Young et al., 1995a)。また、CMJ と RJ と運動課題が類似している RDJ との関係を検討した研究では、これらの間には低い相関関係しか認められないことから、CMJ と RDJ の類似性は必ずしも高くないと指摘されている (図子・高松, 1995)。加えて、CMJ と RJ の遂行能力の間には有意な相関関係が認められるものの、その決定係数はあまり高くないこと (遠藤ほか, 2007) が報告されている。以上のことから、個人の SSC 運動能力を評価するためには、CMJ などの比較

的運動遂行時間の長い運動と、RJなどの運動遂行時間の短い運動の両方を評価する必要がある(図子ほか, 1993; 遠藤ほか, 2008).

(2) 下肢のSSC運動能力と各種運動能力との関連

下肢のSSC運動能力と各種運動能力の関係については、これまで多くの研究が行われており、スプリント、中距離走のパフォーマンス、方向転換能力などに関連していることが報告されている。

生田ほか(1981)は、男子大学生を対象として50m疾走タイムと座位ステッピング、脚伸展筋力、CMJ、最大無酸素パワーとの関係について検討している。その結果、50m疾走タイムとCMJの跳躍高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。Nagahara et al.(2014)は、陸上競技短距離選手を対象にして、SJ、CMJ、RJ、アングルジャンプの各種ジャンプ能力とスプリントの加速局面における加速度との関係を検討している。その結果、CMJの跳躍高とスプリント走の加速局面前半の加速度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。岩竹ほか(2002)は、陸上競技短距離競技者を対象にして、RJの遂行能力と60m走におけるスプリントランニングパワー、最高疾走速度との関係について検討している。その結果、加速局面と中間疾走局面のいずれにおいても、身体質量当たりのスプリントランニングパワーおよび最高疾走速度と身体質量当たりのRJ-indexであるRJ-power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。この他にも、CMJ(Mero et al., 1981; Young et al., 1995b; 岩竹ほか, 2008; 山田ほか, 2020)、RJやDJ(Young et al., 1995b; 岩竹ほか, 2008; 遠藤ほか, 2008; 山田ほか, 2020)のいずれの遂行能力もスプリント能力と関連していることが報告されており、Long SSCとShort SSCのどちらのSSC運動能力もスプリントにとって重要な要素であることが考えられる。

武田ほか(2010)は、男子長距離ランナーを対象にして、最大下スピードで走るランニングにおけるランニングエコノミー、最大下ホッピングエクササイズにおけるホッピングエコノミーおよびパワー、RJのRJ-indexの関係を検討している。その結果、最大下ホッピ

ングエクササイズを用いて評価する下肢の SSC 運動能力がランニングエコノミーと関連することを報告している。後藤ほか (2023) は、高校生男子中距離選手を対象にして、RJ-index および CMJ の跳躍高と中距離走パフォーマンスとの関係を検討している。その結果、1500 m 走のシーズンベストと RJ-index の間に有意な正の相関関係が認められ、下肢の SSC 運動能力は走速度が高く、競技時間の短い中距離走パフォーマンスと関連することを報告している。これらのことから、下肢の SSC 運動能力はランニングエコノミーや中距離走パフォーマンスとも関連することが理解できる。

山田ほか (2020) は、大学男子サッカー選手を対象にして、CMJ および RJ の遂行能力と 30 m 走の疾走タイムおよび方向転換能力の関係を検討している。その結果、CMJ と RJ いずれにおいても 30 m 走の疾走タイムと方向転換能力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。この他にも、下肢の SSC 運動能力と方向転換能力の間に有意な相関関係が認められており (Young et al., 2002; 笹木ほか, 2011)、下肢の SSC 運動能力は方向転換能力にも関連していると考えられる。

これらのことから、下肢の SSC 運動能力は各種運動能力と関連しており、各種運動やスポーツを行う上で重要な能力であると考えられる。

(3) 子どもにおける下肢の SSC 運動能力と各種運動能力との関係

Endo et al. (2008) は、12 歳から 18 歳を対象にして、跳躍能力と疾走能力、フットワーク能力の関係について検討している。その結果、CMJ 能力に対して RJ 能力が高い RJ タイプの子どもは、疾走速度およびフットワーク能力が高いことを報告している。坂口ほか (2014) は、2 歳から 6 歳までの幼児を対象にして、20 m 走と CMJ および RJ との関係について検討している。その結果、CMJ および RJ 遂行能力と疾走能力の指標である走速度指数、歩幅指数および歩数指数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。

さらに、RJ の構成要素である RJ の跳躍高と疾走中の滞空時間、RJ の接地時間と疾走中の接地時間との間に有意な相関関係があると報告しており、疾走能力の向上にはバリスティ

ックな下肢の SSC 運動能力を高めることが重要であると指摘している。大宮ほか (2009) は、小学 6 年生児童を対象にして、走り幅跳び能力に対する RJ 能力の影響について検討している。その結果、RJ 能力の高い小学生は、走り幅跳びにおける助走速度、跳躍距離および鉛直初速度が高いことを報告している。谷所ほか (2017) は、小学 4 年生から 6 年生児童を対象にして、20 m 走、RJ、アジリティテスト、T 字テストの関係を検討している。その結果、男児において RJ とアジリティテストおよび T 字テスト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。

これらのことから、下肢の SSC 運動能力は子どものスプリント、フットワーク、跳躍能力、アジリティなどに関連しており、子どもにおいても各種運動を遂行する上で重要な能力であることが考えられる。

(4) 下肢の SSC 運動能力の発達

下肢の SSC 運動能力は各種運動に関わる能力であることから、幼児から児童および生徒を対象として、発育発達の観点から検討が行われている。Bosco and Komi (1980) は、4 歳から 73 歳を対象にして、加齢に伴う SJ、CMJ および DJ の遂行能力の変化について検討している。その結果、いずれの跳躍においても跳躍高は 20 歳ごろまで経年的に増加することを報告している。志手・新開谷 (1996) は、小学 4 年生から 6 年生を対象にして、発育に伴う RDJ の遂行能力の発達について検討している。その結果、RDJ の遂行能力は 5 年生から 6 年生にかけて増加することを報告している。遠藤ほか (2007) は、6 歳から 18 歳の男子を対象にして、CMJ と RJ の遂行能力について横断的に検討している。その結果、CMJ の跳躍高、RJ-index および RJ の跳躍高は経年的な発育に伴い発達する傾向があることを報告している。一方、RJ の接地時間については加齢に伴う変化は認められず、どの年齢でもほぼ一定の接地時間を示すことを報告しており、加齢に伴う RJ-index の増加は跳躍高に依存したものであることを示唆している。また、個人内の CMJ と RJ の跳躍能力は必ずしも対応しながら発達するわけではなく、CMJ と RJ の遂行能力が対応するタイプ (even タ

タイプ), CMJ に対して RJ 遂行能力が優れるタイプ (RJ タイプ), CMJ に対して RJ 遂行能力が劣るタイプ (CMJ タイプ) の 3 タイプに分類できることを報告している。特に, 発育スパート年齢 (9 歳-13 歳 : Mailime and Buchard, 1991) 以降に RJ タイプあるいは CMJ タイプが増加することを報告しており, 発育スパート開始時期以降に個人の跳躍能力の特性が顕在化する可能性があることを示唆している。また, 坂口・図子 (2013) は 2 歳から 6 歳の幼児を対象にして, CMJ および RJ の遂行能力について横断的に検討している。その結果, 幼児の CMJ および RJ の遂行能力は経年的な発育に伴って発達していくことを報告している。加えて, 幼児の RJ 能力は月齢 50 ヶ月を境にして, その発達が優れる幼児と停滞する幼児にばらつきが生じ始めることを報告している。これらのことから, 下肢の SSC 運動能力は 2 歳ごろから 20 歳ごろまで加齢に伴って発達すること, またその発達は CMJ と RJ で必ずしも対応しているわけではなく, 発達タイプには個人差が生じることが考えられる。

加齢に伴う跳躍能力の変化は, 力発揮能力と跳躍動作の変化に依存する。このために, 加齢に伴う力発揮能力および跳躍動作の変化についても検討が行われている。Wdowski et al. (2020) は, 8 歳から 12 歳を対象に 9 歳以下 (U9) と 12 歳以下 (U12) のグループに分類し, グループ間の CMJ における力発揮能力と跳躍動作の違いについて検討している。その結果, U9 グループと比較して U12 グループでは跳躍高, 平均エキセントリックフォース, 平均コンセントリックフォースが有意に大きく, 足関節可動域と膝関節最小角度にグループ間で有意な差が認められたことを報告している。Jones et al. (2020) は, 7 歳から 11 歳を対象にして CMJ をフォースプレート上で実施し, 加齢に伴う CMJ の各種変数の変化について検討している。その結果, 最小地面反力, 最大地面反力, 地面反力レンジ, 力の立ち上がり率 (Rate of force development: 以下, 「RFD」と略す) は加齢に伴い増加することを報告している。Temfemo et al. (2008) は, 11 歳から 16 歳を対象にして加齢に伴う RJ の平均パワーの変化について検討している。その結果, RJ の平均パワーは加齢に伴い有意に増加することを報告している。遠藤 (2008) は, 10 歳から 17 歳の対象者を小学校高学年生 (EL), 中学生 (JHS), 高校生 (HS) の 3 つに区分し, CMJ タイプと RJ タイプそれぞれ

について RJ における力発揮および跳躍動作の変化を検討している。その結果、全ての年代において RJ タイプの子どもは CMJ タイプと比較して、RJ において短時間に大きな力積を獲得していることを報告している。また、RJ タイプの子どもは CMJ タイプの子どもと比較して、下肢 3 関節の着地中の屈曲量に対する着地前の屈曲量が大きく、着地準備動作がみられることや、下降局面における膝および股関節の角度変位を小さくして RJ を遂行していると報告している。

これらのことから、下肢の SSC 運動能力は経年的な発育に伴い発達すること、この発達には力発揮能力の変化と跳躍動作の変化が影響していることが明らかとなっている。これらに加えて、CMJ と RJ の遂行能力は必ずしも対応しながら発達するのではなく、発達には個人差が生じることが明らかとなっている。

(5) 子どもにおける下肢のプライオメトリクスの効果

下肢の SSC 運動能力の向上には、台上から跳び下り、着地して即座に跳び上がるドロップジャンプ (高松ほか, 1989) やハードルジャンプ, バウンディング (岩竹ほか, 2008) といったプライオメトリクスが有効であると考えられている (図子, 2006). Nobre et al. (2017) は、7 歳から 9 歳の男子を対象にして週 2 回の頻度で 12 週間のプライオメトリクスを実施し、各種運動能力への効果を検討している。その結果、筋力、立幅跳、マイルランテスト、カールアップ、アジリティ能力が有意に向上したことを報告している。Marzouki et al. (2022) は、8 歳から 12 歳の男女を対象にして 4 週間のプライオメトリクスを実施し、SJ, 立幅跳, 20 m 走, 5-10-5 シャトルラン, ダイナミックバランス, 最大有酸素速度の能力が有意に改善したことを報告している。Sortwell et al. (2022) は、7 歳から 8 歳の男女を対象にして 8 週間の体育授業内 (週 2 回, 1 回あたり 15 分) でプライオメトリクスを実施した。その結果、運動パフォーマンススキルの熟練度, 上肢および下肢の筋力が有意に増加したことを報告している。岩竹ほか (2008) は、15 歳から 16 歳の男子を対象にしてジャンプトレーニング (ハードルジャンプ, スキップおよびバウンディング) を週 1 回の頻度で 8 週間実施

した。その結果、RJ の接地時間、RJ-power、立五段跳の跳躍距離、立三段跳の跳躍距離、50 m 平均疾走速度、最大疾走速度、30–40 m および 40–50 m 区間における疾走速度が有意に向上したことを報告している。

これらのことから、SSC 運動を内在している下肢のプライオメトリクスは、子どもの筋力、スプリント、アジリティ、ジャンプ能力といった様々な運動能力を改善することが明らかとなっている。

3. 片脚 SSC 運動に関する研究

(1) 片脚跳躍の動作および力発揮特性

片脚跳躍における跳躍高や RJ-index といった跳躍能力の指標となる変数は、両脚跳躍と比較して低い値を示すことが明らかとなっている (Bračić et al., 2010; Miura et al., 2010; 荻山ほか, 2012; Sado et al., 2020)。一方で、片脚跳躍における跳躍高は、両脚跳躍の 50% よりも大きい値を示すことが多くの研究で報告されており、この現象は両側性機能低下 (Bilateral deficit: 以下、「BLD」と略す) と呼ばれている (Challis, 1998)。BLD が生じるメカニズムについては、注意力の分散や大脳半球間抑制による神経駆動力の低下といった両側性運動中の神経の変化 (Otsuki et al., 1983 ; Ferbert et al., 1992) や、運動単位の動員変化 (Oda et al., 1994 ; Jakobi et al., 2001)、筋間協調の変化 (Rejc et al., 2010) などが挙げられる。また、跳躍運動において BLD が生じる要因には、上記の神経系の要因以外にもカー速度の関係や三次元バイオメカニクスの相違も影響していると考えられている。Bobbert et al. (2006) は、両脚 SJ と片脚 SJ の比較から、両脚跳躍は片脚跳躍と比較して重心速度が高いため、両脚跳躍ではより高い速度で伸筋が短縮され、その結果、力の発生が減少して力学的仕事量が少なくなったことを示唆している。また、Bobbert et al. (2006) は筋骨格系モデルのシミュレーションを行っており、両脚跳躍の短縮速度が高いことは、BLD の 75% を説明できることを明らかにしている。Samozino et al. (2014) は両脚と片脚の爆発的な下肢伸展運動の比較から、BLD の約 43% が移動速度の変化によるカー速度関係の変化によって

説明でき、残りの部分は神経的要因に起因することを明らかにしている。Sado et al. (2020) は、両脚および片脚 SJ を実施し、垂直方向への機械的エネルギー（以下、「Evert」と略す）の発生量を三次元バイオメカニクスの観点から検討している。その結果、片脚 SJ と両脚 SJ の Evert の差が生じる要因として、片脚 SJ 時に生じる自由脚側の骨盤の上昇によるものが大きいことを報告している。

荊山ほか (2012) は、RJ と比較した際の SRJ における動作および力発揮特性について検討している。その結果、RJ と比較して SRJ は足関節における負の仕事の貢献度が小さく、股関節における負および正の仕事の貢献度が大きいことを報告している。同時に、片脚当たりの落下高および自重負荷が大きいことに加えて、反対脚による振込動作が生じることによって股関節伸展トルクが増大し、大きな鉛直地面反力を獲得できることを明らかにしている。また、SRJ は RJ と比較して股関節の貢献度が大きいことから、片脚あたりでみた場合、大きな仕事を遂行し大きな力積を獲得して高く跳ぶことは可能であるが、短時間での運動遂行には劣ることを示唆している。RJ と SRJ の相違について、3 次元的な比較を行った荊山ほか (2013) の研究では、SRJ は RJ と比較して股関節外転および内旋トルクが大きく、このことが影響して股関節における内外転軸および内外旋軸まわりの関節仕事が大いことが明らかにされている。加えて、SRJ においてのみ股関節外転トルクの発揮が跳躍高の増加に影響しており、このことが SRJ は RJ よりも片脚あたりにより高く跳ぶことができる 1 つの要因であることを示唆している。さらに、SRJ では体幹において側屈トルクが発揮され側屈運動が生じ、骨盤の挙上動作による身体重心の左右変位を抑制することで SRJ を成立させていることを示唆している。

これらのことから、両脚跳躍と片脚跳躍の間には神経メカニズムや動作、力-速度の関係、力発揮特性などいくつかの相違点が存在することが明らかとなっている。

(2) 片脚 SSC 運動能力と各種運動能力との関係

Meylan et al. (2009) は、80 名の男女学生を対象にして、片脚跳躍能力とスプリントおよび方向転換能力の関係を検討している。その結果、SCMJ の跳躍高は 10 m 走のスプリント

タイムおよび方向転換走タイムと有意な相関関係が認められたことを報告している。McCurdy et al. (2010) は、15名の女子サッカー選手を対象として、両脚および片脚のジャンプパフォーマンスとスプリントパフォーマンスとの関係を検討している。その結果、右脚 SCMJ の跳躍高、SCMJ の左右脚の跳躍高の合計、右脚 SCMJ の滞空時間と接地時間の比が 25 m 走のスプリントタイムと有意な相関関係が認められたことを報告している。Pamuk et al. (2023) は、14歳から17歳の青少年バスケットボール選手を対象にして、SCMJ とスプリントおよびアジリティとの関係を検討している。その結果、SCMJ の各変数と 20 m スプリントタイムおよび T ドリルアジリティタイム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。Miura et al. (2010) は、バスケットボール選手を対象にして、バスケットボールのレイアップシュートを想定したジャンプ (以下、「LSJ」と略す) の遂行能力と RJ および SRJ の遂行能力との関係を検討している。その結果、LSJ と RJ および SRJ の各変数の相関関係についてみると、LSJ の遂行能力を示す LSJ-index および LSJ の跳躍高は、RJ よりも SRJ との相関関係が強いことを報告している。

これらことから、片脚の SSC 運動能力はスプリントや方向転換能力、アジリティ、実際のスポーツを想定したジャンプ能力などに関連しており、走運動や跳運動が内在するスポーツにとって重要な能力であることが考えられる。加えて、下肢のパワー発揮能力を評価する際には、両脚と片脚の両方を用いることの必要性も指摘されている (Murtagh et al., 2017)。

(3) 片脚プライオメトリクスの効果

これまでの片脚プライオメトリクスの効果に関する研究では、成人から子どもを対象にして、筋力、ジャンプ能力、スプリント能力への効果が検討されている。

Makaruk et al. (2011) は、女子大学生 49 名を対象にして両脚プライオメトリクスと片脚プライオメトリクスを 12 週間実施し、トレーニング前後のピークパワーおよびジャンプ能力の変化について検討している。その結果、両脚トレーニング群と片脚トレーニング群

のどちらにおいても両脚のピークパワーおよびジャンプ能力に同様の増加が認められたことを報告している。Bogdanis et al. (2019) は、トレーニング経験のある 15 名を対象にして、両脚と片脚のプライオメトリクスを 6 週間実施し、筋力およびジャンプ能力の変化を検討している。その結果、CMJ 能力および両脚でのレッグプレス能力は両脚トレーニング群と片脚トレーニング群いずれにおいても同様の改善を示したことを報告している。一方で、右脚および左脚の SCMJ の跳躍高の合計は片脚トレーニング群でのみ有意に増加したこと、片脚レッグプレスでは右脚と左脚の合計力および RFD は両脚トレーニング群と比較して片脚トレーニング群で大きく増加したことを報告している。McCurdy et al. (2005) は、男女 38 名を対象にして両脚および片脚での筋力トレーニングとプライオメトリクスを組み合わせ、8 週間実施した。その結果、両側のテストでは、最大パワーと CMJ 能力は両群で同様の結果が得られたこと、片側のテストでは、片脚トレーニング群が両脚トレーニング群よりも最大パワーと SCMJ 能力が大きく改善したことを報告している。Drouzas et al. (2020) は、思春期前の子ども 68 名を対象に、10 週間の両脚プライオメトリクスと片脚プライオメトリクスが、筋力、スプリント能力、下肢パワーに及ぼす影響を検討している。その結果、片脚トレーニング群は、コントロール群と比較してハムストリングスの筋力、5 m スプリントタイム、片脚 CMJ、両脚および片脚 SJ、片脚ホップのパフォーマンスが大きく改善したこと、両脚トレーニング群でコントロール群と比較して改善が見られたテストは、両脚および片脚 SJ のみであったことを報告している。また、このために片脚プライオメトリクスは、両脚プライオメトリクスと比較した際、筋力およびパワー向上に効果的であることを示唆している。

これらのことから、片脚プライオメトリクスは筋力やジャンプ能力を改善することができ、特に片脚の筋力やジャンプ能力の改善に効果的である可能性がある。また、片脚プライオメトリクスは、子どもの筋力、スプリント能力、ジャンプ能力を向上させる最も効果的な方法の 1 つであると考えられる。

(4) 片脚 SSC 運動能力の発達

上記のことを踏まえると、片脚 SSC 運動能力の発達に関する情報は、子どもの SSC 運動能力や各種運動能力の向上に対して極めて重要な情報となることが考えられる。しかしながら、これまで片脚 SSC 運動能力が年齢とともにどのように変化するか検討した研究はほとんど存在しない。唯一、丸橋ほか (2011) が Hopping Jump のパフォーマンスおよび動作の発達特性について検討しているが、下肢の SSC 運動能力の評価によく用いられる CMJ や RJ についての検討は行われていない。このために、これまでの研究だけでは、片脚 SSC 運動能力の発達を捉えることには限界がある。

4. 文献研究から得られた知見

文献研究から得られた知見は以下の通りである。

- (1) 走や跳といった FMS は、各種スポーツを行うために必要な動作を獲得する際に重要な能力の一つであり、また身体活動量や健康関連体力と関連している。FMS を獲得するためには、発達段階に応じた運動学習が重要である。
- (2) 走や跳の運動には、下肢の SSC 運動が内在している。また、下肢の SSC 運動能力の評価には、CMJ や RJ といった跳躍運動が用いられる。これら 2 種類の跳躍運動では運動特性が異なるため、その両方を加味して評価する必要がある。
- (3) 下肢の SSC 運動能力は成人、子どものどちらにおいても様々な運動能力と関連しており、各種運動を遂行する上で重要な能力である。
- (4) 下肢の SSC 運動能力は、経年的な発育に伴い発達し、発達には力発揮能力の変化と跳躍動作の変化が影響する。また、CMJ と RJ の遂行能力は必ずしも対応しながら発達するのではなく、発達の仕方には個人差が生じる。
- (5) 両脚跳躍と片脚跳躍の間には神経メカニズムや動作、力ー速度の関係、力発揮特性などいくつかの相違点が存在する。

- (6) 片脚 SSC 運動能力はスプリントや方向転換能力、アジリティ、実際のスポーツを想定したジャンプ能力などに関連しており、走運動や跳運動が内在するスポーツにとって重要な能力である。
- (7) 片脚プライオメトリクスは、子どもの筋力、スプリント能力、ジャンプ能力を向上させる最も効果的な方法の 1 つである。

5. これまでに未解決な問題点

一方、これまでに未解決のままとなっている問題点は以下の通りである。

- (1) 小学生および中学生における両脚 SSC 運動の発達過程を検討したものは多いが、片脚 SSC 運動の発達過程については検討されていない。また、両脚 SSC 運動と片脚 SSC 運動では、神経メカニズムや運動特性が異なることから、要求される体力的要素や技術的要素は異なることが考えられる。これに伴って跳躍能力の発達特性に個人差が生じる可能性があるが、この個人差については検討されていない。
- (2) 跳躍能力の発達には、力発揮能力の変化が影響すると考えられるが、この点について加齢に伴う片脚跳躍の力発揮能力の変化については検討されていない。
- (3) 跳躍能力の発達には、跳躍動作の変化が影響することが考えられるが、この点について加齢に伴う片脚跳躍の跳躍動作の変化については検討されていない。

Ⅲ. 本研究の目的および課題

1. 研究目的

本研究では、7歳から15歳までの子どもを対象とし、両脚および片脚で実施するCMJとRJについて、加齢に伴う跳躍運動の遂行能力の変化、力発揮能力の変化、跳躍動作の変化の3点を検討し、子どもの両脚および片脚跳躍の発達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】

両脚および片脚踏切CMJとRJの遂行能力の発達過程の解明

両脚および片脚で実施するCMJとRJの遂行能力に関する発達特性について、パフォーマンスの指標（跳躍高、接地時間、RJ-index）を手掛かりに検討する（第V章）。

【研究課題 2】

両脚および片脚跳躍における力発揮能力の発達過程の解明

両脚および片脚で実施するCMJとRJの力発揮能力の加齢に伴う変化について、鉛直地面反力を手掛かりに検討する（第VI章）。

【研究課題 3】

両脚および片脚跳躍における跳躍動作の発達過程の解明

両脚および片脚で実施するRJの跳躍動作の加齢に伴う変化について、各跳躍運動におけるキネティクスを手掛かりに検討する（第VII章）。

IV. 本研究の意義，仮説および限界

1. 研究の意義

本研究では，両脚および片脚で実施する CMJ と RJ の発達過程について，CMJ および RJ のパフォーマンス，力発揮能力，跳躍動作の 3 点を手掛かりに検討を行う．下肢の SSC 運動能力は，様々なスポーツや身体活動において重要な体力要素の一つである．また，片脚の SSC 運動は子どもの筋力やスプリント能力，ジャンプ能力を向上させる最も効果的な方法の一つである．これらのことから，両脚および片脚 SSC 運動能力の加齢に伴う変化や両脚 SSC 運動と片脚 SSC 運動能力の発達過程における個人差についての情報は，子どもの下肢の SSC 運動能力を向上させるための重要な情報となると考えられる．また，現行の小学校学習指導要領（文部科学省，2018）には，各学年において片脚で踏み切る，跳ぶといった運動が例示されている．加えて，基礎的な運動能力の向上には，学校体育において発達段階に応じた教育と学習活動が必要であるという指摘も存在する．これらのことを踏まえると，学校体育においても，発達段階に応じて両脚および片脚 SSC 運動をそれぞれ取り入れることが必要になると考えられるが，特に片脚 SSC 運動の発達過程については現段階で不明である．そこで，両脚および片脚 SSC 運動能力がどのような過程で発達するのかを明らかにすることができれば，学校体育において両脚および片脚 SSC 運動を取り入れる時期の選択や，それぞれの発達段階（学年）における両脚 SSC 運動か片脚 SSC 運動かといった種目を選択する際に有用な示唆を提供できる．

以上のことから，子どもの両脚および片脚跳躍能力の発達に関して検討することで，指導者が学校の体育授業や指導現場において，跳躍運動を指導す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) CMJ と RJ のいずれの遂行能力においても、両脚と片脚では発達特性が異なる。また、両脚跳躍の遂行能力と片脚跳躍の遂行能力は、必ずしも対応せず、両脚跳躍に対して片脚跳躍の能力が高いタイプ、両脚跳躍に対して片脚跳躍の能力が低いタイプといった跳躍タイプの個人差が存在する。
- (2) 両脚跳躍の力発揮能力は経年的に発達するが、片脚跳躍の力発揮能力は経年的な変化が小さい。
- (3) 両脚跳躍と片脚跳躍では、加齢に伴う各跳躍におけるキネティクス変数の変化傾向は異なる。また、踏切準備動作についても同様に、変化傾向は異なる。

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的な手法を用いて行ったために、以下の仮定を設けた。

- (1) 矢状面の 2 次元動作分析によって、跳躍動作の特徴を捉えることができる。
- (2) 対象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) 本研究の対象者はほぼ左右対称の動作を遂行したため、両脚跳躍については右半身の動作を分析することにより、全身の動作を捉えることができる。

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、男子小学生および中学生を対象とした。このために、本研究で得られた知見を、女子児童および生徒や幼児、成人といった他の性別、年齢層にそのまま適応するに

は限界がある。また、本研究で取得したデータは横断的なものであるために、縦断的な発達過程が同様であるとは限らない。

(2) 方法による限界

本研究では、腕の振込の影響を排除するために、全ての跳躍運動について手を腰に当てた状態で行わせた。このため、腕の振込制限を行わない跳躍運動において、本研究の知見を適応するには限界がある。また、本研究の片脚跳躍の対象脚は、対象者自身の判断で行いやすい脚（利き足）のみとした。このため、本研究の知見を非利き足での片脚跳躍運動に適応することには限界がある。

(3) 運動条件による限界

本研究では、両脚および片脚での鉛直方向への跳躍運動を運動課題とした。このため、本研究の知見は、水平方向への跳躍等、運動方向が異なる他の跳躍運動に適応するには限界がある。

V. 両脚および片脚踏切 CMJ と RJ の遂行能力の発達過程 (研究課題 1)

1. 目的

ヒトが歩く、走る、跳ぶといった運動を行う際の下肢筋群に着目すると、伸張-短縮サイクル (Stretch shortening cycle : SSC) 運動により動作が遂行されている (Komi, 1984). こうした下肢の SSC 運動によって、ジャンプやスプリント、ホッピングといった各種運動を効率的に行うことが可能となる (Asmussen and Bond-Petersen, 1974 ; Bosco and Komi, 1979 ; Bosco et al., 1981). 下肢の SSC 運動能力の評価には、できるだけ高く跳ぶことを目的とした CMJ や、短い接地時間でできるだけ高く跳ぶことを目的とした RJ といった跳躍運動が用いられることが多い. RJ と運動課題が類似している RDJ と CMJ の遂行能力の関係を検討した研究では、RDJ と CMJ の類似性は必ずしも高くないことが明らかとなっている (図子・高松, 1995). また、RJ と CMJ の間には有意な相関関係が存在するものの、決定係数はあまり高くないために、個人の跳躍能力の特性を評価するためには、CMJ と RJ を評価する必要のあることが示されている (遠藤ほか, 2007). このために、下肢の SSC 運動能力を検討する際には、運動遂行時間が比較的長い跳躍運動である CMJ と、運動遂行時間が極めて短いバリスティックな跳躍運動である RJ の 2 つの跳躍運動が用いられてきた.

下肢の SSC 運動能力は、スプリントやフットワークなどの能力 (Mero et al., 1981 ; Rusko et al., 1993, Young et al., 1995 ; Endo et al., 2008 ; Nagahara et al., 2014) や、走の経済性 (武田ほか, 2010), ヒトの基本的な移動方法である歩行の能力 (三井・図子, 2006) と関連していることが報告されている. これらを考慮すると、下肢の SSC 運動能力は、ヒトが移動を伴う運動を行う上で重要な能力であると推察できる. このことは、子どもにおいても同様であり、子どもの下肢の SSC 運動能力はスプリント (Endo et al., 2008 ; 坂口ほか, 2014), フットワーク (Endo et al., 2008), 走り幅跳びの踏切 (大宮ほか, 2009) などの能力と関連している. 加えて、下肢の SSC 運動能力は、各種運動に関わる能力であることから、幼児 (坂

口・凶子, 2013) から児童および生徒 (遠藤ほか, 2007) を対象として, 発育発達の観点からの検討も行われている。これらの研究では, 下肢の SSC 運動能力の指標となる CMJ や RJ の能力は, 経年的な発育に伴って 18 歳ごろまで向上することが報告されている。また, CMJ を対象とした研究では, 発育に伴う CMJ の動作の変化 (Maximilian et al., 2020) や, CMJ の跳躍高の発達には性差が存在すること (Temfemo et al., 2009 ; Focke et al., 2013) などが報告されている。加えて, CMJ と RJ では要求される体力的要素が異なることから, 跳躍能力の発達には個人の特性が生じることも示唆されており, 発達の個人差は 9—13 歳以降に拡大すること (遠藤ほか, 2007) が報告されている。これらのことから, 跳躍能力の発達に関して調査する場合, 小学生から中学生 (7 歳—15 歳) の時期に着目することが重要であると考えられる。

一方で, バasketボールやハンドボールのシュート, 陸上競技の走運動や跳運動などでは, 各種動作を片脚で遂行する場面が多く存在する。したがって, 各種スポーツ種目では, 片脚跳躍能力が優れたパフォーマンスを発揮するために重要となると考えられる。両脚跳躍と片脚跳躍運動に着目してみると, これらの間には力発揮特性や動作 (荻山ほか, 2012 ; 2013), 力-速度の関係 (Bobbert et al., 2006 ; Samozino et al., 2014), 筋間協調 (Rejc et al., 2010) などの神経メカニズムや運動特性にいくつかの相違点が存在することが明らかになっている。また, 片脚 CMJ の跳躍高は, 10 m 走 (Meylan et al., 2009), 25 m 走のスプリントタイム (McCurdy et al., 2010) および方向転換走タイム (Meylan et al., 2009) と有意な相関関係があることや, バasketボールのレイアップシュート時の跳躍高は, 片脚の跳躍能力の方が両脚よりも強い関係が認められている (Miura et al., 2010)。さらに, サッカーのエリート選手と非エリート選手における両脚と片脚の CMJ 能力を調査した研究では, 両脚 CMJ の鉛直ピークパワーが, エリート選手と非エリート選手の間に差は認められないものの, 片脚 CMJ の鉛直ピークパワーについてはエリート選手の方が有意に高いことが報告されており, 下肢のパワー発揮能力を評価する際には, 両脚・片脚 CMJ の両方を用いることの必要性が指摘されている (Murtagh et al., 2017)。したがって, 片脚跳躍能力は走運動

や跳運動などが内在するスポーツ種目にとって重要な要素の一つであり、下肢の SSC 運動能力を評価する場合には、両脚・片脚跳躍の両方を用いることが必要であると考えられる。

さらに、上述したことから、両脚跳躍と片脚跳躍では要求される体力要素や技術的要素が異なることが考えられ、加齢に伴う跳躍能力の発達過程では、両脚跳躍能力と片脚跳躍能力の関係からみて、両脚跳躍能力の発達が大きいタイプ、もしくは片脚跳躍能力の発達が大きいタイプなど、跳躍能力の発達特性に個人差が生じる可能性があると考えられる。

しかしながら、これまで行われてきた子どもの跳躍能力の発達過程に関する研究は、両脚での跳躍を対象としたものがほとんどであり、各種運動パフォーマンスと関係が強いとされる片脚跳躍運動について、発育発達の観点から調査した研究は見当たらない。小学校学習指導要領解説体育編 (2018) において、小学校 1—2 年 (低学年) では「跳の運動遊び」として片脚でのケンパー遊びや片脚でのゴム跳び遊びが例示され、小学校 3—4 年 (中学年) では「多様な動きをつくる運動」として短なわを用いた片脚連続跳びや、「走・跳の運動」として幅跳びや高跳びといった片脚で踏み切って跳ぶ運動が例示されている。このような片脚で踏み切る、跳ぶといった運動を指導する際に、片脚跳躍能力がどのような過程で発達するのか理解しておくことは重要になると考えられる。以上のことから、子どもの両脚および片脚跳躍能力の発達過程や、両脚跳躍と片脚跳躍の発達過程における個人差などの情報は、学校の体育授業で跳躍運動を指導する際に役立つと考えられる。

そこで本研究では、7 歳から 15 歳までの子どもを対象とし、両脚および片脚で実施する CMJ と RJ の発達特性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 対象者

対象者は、G 大学附属小中学校に通う 7 歳—15 歳の男子児童および生徒 401 名とした (Table 1)。実験開始前に、学校長、保護者、対象者に本研究の目的、方法、安全性について説明を行い、実験参加の同意を得た。また、実験開始前に、対象者に既往歴 (腰、膝、足

関節の障害、内部疾患等、運動実行に支障をきたす疾患)を確認し、既往歴がある者については対象者から除外した。なお、本研究の対象者は全員 18 歳未満であったために、保護者からインフォームド・コンセントを得た。本研究は、中部学院大学研究倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号：C-20-0022)。

(2) 実験試技

本研究では、両脚 SSC 運動能力を評価するために、CMJ と RJ を、片脚 SSC 運動能力を評価するために、SCMJ と SRJ を対象とした。CMJ と SCMJ は、立位姿勢から脚の反動を用いてできるだけ高く跳ぶように指示した。CMJ の実施方法については遠藤ほか (2007) の方法を、SCMJ の実施方法については、McCurdy et al. (2010) の方法を参考にした。ただし、本研究において遊脚の制限は行わなかった。RJ については、立位姿勢からその場で両脚踏切を用いた 5 回連続して跳躍する運動とし、SRJ については、片脚立位姿勢からその場で片脚踏切を用いた 5 回連続して跳躍する運動とした。RJ および SRJ の実施方法については荻山ほか (2013) の方法を参考にした。RJ および SRJ のいずれの跳躍においても、できるだけ接地時間を短く、かつできるだけ高く跳ぶように指示をした。SCMJ および SRJ については、対象者の最大努力で運動課題を達成しやすいよう、対象者自身の判断から、SCMJ および SRJ を行いやすい脚を対象脚とした。なお、SCMJ と SRJ の対象脚は同側の脚とした。また、同様の理由から SCMJ と SRJ の遊脚の振込動作については、特に制限を設けずに自由な条件で実施した。腕の振込動作については、実験開始 1 週間前からの練習期間において、腕の振り込みを制限した各種跳躍動作の練習を行わせ、全ての年齢において腕の振込動作なしで各種跳躍運動を問題なく遂行できることを確認した。そのために、本研究では全ての跳躍を腰に手を当てた状態で行わせた。なお、腕の振込動作の制限については、遠藤ほか (2007) および McCurdy et al. (2010) を参考にした。全ての跳躍を 2 回ずつ行い、記録の良い方を分析に用いた。RJ および SRJ については、RJ-index が最も大きい値を示したものを分析に用いた。跳躍の一連の動作が完了したものを成功試技とし、一連

の動作を完了できなかった場合には再度測定を行った。なお、4種類の跳躍の測定順序はランダムとした。対象者には、実験日の1週間前から、本研究の実験試技に精通した陸上競技選手によるデモンストレーションを見せながら、CMJ、RJおよびSCMJ、SRJの練習を行わせた。また、実験日の測定前にも同様の方法を用いて練習を行わせた。

Table 1. Anthropometric characteristics in this study.

Age	n	Body height (m)	difference	Body weight (kg)	difference
7	45	1.18 ± 0.05		20.90 ± 2.83	
8	43	1.24 ± 0.07	7<	24.20 ± 4.31	
9	45	1.30 ± 0.05	7,8<	28.47 ± 4.73	7<
10	45	1.35 ± 0.04	7,8,9<	31.83 ± 5.94	7,8<
11	43	1.40 ± 0.06	7,8,9,10<	35.45 ± 7.17	7,8,9<
12	46	1.47 ± 0.07	7,8,9,10,11<	39.25 ± 7.92	7,8,9,10<
13	46	1.56 ± 0.08	7,8,9,10,11,12<	44.90 ± 8.17	7,8,9,10,11,12<
14	43	1.65 ± 0.07	7,8,9,10,11,12,13<	52.39 ± 8.90	7,8,9,10,11,12,13<
15	45	1.65 ± 0.05	7,8,9,10,11,12,13<	55.68 ± 8.76	7,8,9,10,11,12,13<

(3) 測定項目および測定方法

それぞれの跳躍運動の遂行能力の指標として、CMJ および SCMJ については跳躍高を算出した。RJ については跳躍高および RJ-index を、SRJ については跳躍高および SRJ-index をそれぞれ算出した。全ての跳躍運動をフォースプレート (PH-6210A, 0.9×0.9 m ; DKH 社製) 上で行わせ、滞空時間および接地時間を計測した。滞空時間および接地時間は Ex-Jumper (IFS-63A, DKH 社製) を用いて算出した。フォースプレートについては 1000 Hz にて計測を行った。跳躍高は、滞空時間を以下の式に代入することにより算出した (Asumssen and Bonde-Perterson, 1974)。

$$\text{跳躍高} = 1/8 \cdot 9.81 \cdot (\text{滞空時間})^2$$

RJ-index および SRJ-index については、以下の式によって算出した (遠藤ほか, 2007)。

$$\text{RJ-index (SRJ-index)} = \text{跳躍高} / \text{接地時間}$$

(4) 統計処理

各算出項目は、平均値±標準偏差で示した。本研究における統計処理は、SPSS Ver. 25.0 (IBM 社製) を使用した。各測定値における信頼性を確認するために、2 試行間の級内相関係数 (ICC) を算出した。身長、体重および各種跳躍能力における年齢間の有意差検定には一元配置の分散分析を用い、F 値が有意であった項目については Tukey 法により多重比較検定を行った。相関係数は Pearson の方法を用いて算出した。本研究では、相関係数を 0.0-0.2 はほとんど相関なし、0.2-0.4 を弱い相関、0.4-0.7 を中程度の相関、0.7-1.0 を強い相関とした (Guilford, 1956)。さらに、相関係数の差については、相関係数を z 値に変換して算出することで検討を行った。また、CMJ および RJ における両脚跳躍と片脚跳躍の関係については、単回帰分析を行い、残差を算出した。さらに、発達段階と跳躍能力の発達タイプに関するクロス集計表を作成し、 χ^2 検定および残差分析を行った。効果量は、Cohen's *d* を用いて決定し、0.2-0.5 を小、0.5-0.8 を中、0.8 以上を大として解釈した (Cohen, 1988)。なお、有意水準は、全て危険率を 5% 未満とした。

3. 結果

本研究の4種類の測定項目における1回目と2回目の級内相関係数 (ICC) は、全てにおいて高い値を示した (CMJ = 0.936, SCMJ = 0.920, RJ = 0.890, SRJ = 0.908).

Table 1 には、対象者の形態的特性を示した。身長については、7歳と8歳、7—8歳と9歳、7—9歳と10歳、7—10歳と11歳、7—11歳と12歳、7—12歳と13歳、7—13歳と14—15歳の間には有意な差が認められた ($F = 352.7$, $p < 0.01$). 体重については、7歳と9歳、7—8歳と10歳、7—9歳と11歳、7—10歳と12歳、7—12歳と13歳、7—13歳と14—15歳の間には有意な差が認められた ($F = 139.6$, $p < 0.01$).

Table 2 には、加齢に伴う CMJ および SCMJ の跳躍高の変化を示した。CMJ の跳躍高については、7歳と9歳 ($d = 1.00$)—10歳 ($d = 1.41$) , 7歳—9歳と11歳 (vs. 7歳: $d = 1.43$, vs. 8歳: $d = 1.08$, vs. 9歳: $d = 0.79$)—12歳 (vs. 7歳: $d = 1.91$, vs. 8歳: $d = 1.47$, vs. 9歳: $d = 1.17$), 7歳—10歳と13歳 (vs. 7歳: $d = 1.97$, vs. 8歳: $d = 1.55$, vs. 9歳: $d = 1.27$, vs. 10歳: $d = 0.87$), 7歳—13歳と14歳 (vs. 7歳: $d = 2.80$, vs. 8歳: $d = 2.44$, vs. 9歳: $d = 2.27$, vs. 10歳: $d = 1.93$, vs. 11歳: $d = 1.30$, vs. 12歳: $d = 1.32$, vs. 13歳: $d = 1.17$)—15歳 (vs. 7歳: $d = 3.82$, vs. 8歳: $d = 3.36$, vs. 9歳: $d = 3.25$, vs. 10歳: $d = 2.27$, vs. 11歳: $d = 1.86$, vs. 12歳: $d = 1.96$, vs. 13歳: $d = 1.76$) の間に有意な差が認められた ($F = 68.1$, $p < 0.01$). SCMJ の跳躍高については、7歳と9歳 ($d = 0.98$)—10歳 ($d = 1.39$), 7歳—9歳と11歳 (vs. 7歳: $d = 1.48$, vs. 8歳: $d = 0.98$, vs. 9歳: $d = 0.85$), 12歳 (vs. 7歳: $d = 1.70$, vs. 8歳: $d = 1.13$, vs. 9歳: $d = 0.98$), 13歳 (vs. 7歳: $d = 1.99$, vs. 8歳: $d = 1.40$, vs. 9歳: $d = 1.26$), 7歳—13歳と14歳 (vs. 7歳: $d = 2.64$, vs. 8歳: $d = 2.19$, vs. 9歳: $d = 2.09$, vs. 10歳: $d = 1.62$, vs. 11歳: $d = 1.04$, vs. 12歳: $d = 1.18$, vs. 13歳: $d = 1.05$)—15歳 (vs. 7歳: $d = 3.45$, vs. 8歳: $d = 2.92$, vs. 9歳: $d = 2.84$, vs. 10歳: $d = 2.19$, vs. 11歳: $d = 1.36$, vs. 12歳: $d = 1.59$, vs. 13歳: $d = 1.45$) の間に有意な差が認められた ($F = 50.5$, $p < 0.01$).

Table 3 には、加齢に伴う RJ-index および SRJ-index の変化を示した。RJ-index については、7歳と11歳 ($d = 1.05$)—12歳 ($d = 0.99$), 7歳—8歳と13歳 (vs. 7歳: $d = 1.05$, vs. 8

歳: $d = 0.69$), 7歳—13歳と14歳 (vs. 7歳: $d = 2.05$, vs.8歳: $d = 1.65$, vs. 9歳: $d = 1.62$, vs. 10歳: $d = 1.39$, vs. 11歳: $d = 1.14$, vs. 12歳: $d = 1.09$, vs. 13歳: $d = 0.75$) —15歳 (vs. 7歳: $d = 2.07$, vs.8歳: $d = 1.61$, vs. 9歳: $d = 1.59$, vs. 10歳: $d = 1.32$, vs. 11歳: $d = 1.04$, vs. 12歳: $d = 0.98$, vs. 13歳: $d = 0.62$) の間に有意な差が認められた ($F = 21.3$, $p < 0.01$). SRJ-index については, 7歳と12歳 ($d = 0.87$), 7歳—9歳と13歳 (vs. 7歳: $d = 1.15$, vs. 8歳: $d = 0.88$, vs. 9歳: $d = 0.78$), 7歳—13歳と14歳 (vs. 7歳: $d = 1.91$, vs.8歳: $d = 1.71$, vs. 9歳: $d = 1.62$, vs. 10歳: $d = 1.21$, vs. 11歳: $d = 1.31$, vs. 12歳: $d = 1.01$, vs. 13歳: $d = 0.76$) —15歳 (vs. 7歳: $d = 1.88$, vs.8歳: $d = 1.67$, vs. 9歳: $d = 1.58$, vs. 10歳: $d = 1.14$, vs. 11歳: $d = 1.24$, vs. 12歳: $d = 0.93$, vs. 13歳: $d = 0.67$) の間に有意な差が認められた ($F = 21.0$, $p < 0.01$).

Table 4 には, 加齢に伴う RJ および SRJ の接地時間の変化を示した. RJ の接地時間については, 7歳と13歳 ($d = 0.58$) の間に有意な差が認められた ($F = 2.5$, $p < 0.05$). SRJ の接地時間については, 7歳—10歳と11歳 (vs. 7歳: $d = 0.67$, vs. 8歳: $d = 0.58$, vs. 9歳: $d = 0.91$, vs. 10歳: $d = 0.68$), 12歳 (vs. 7歳: $d = 0.76$, vs. 8歳: $d = 0.66$, vs. 9歳: $d = 1.12$, vs. 10歳: $d = 0.82$), 13歳 (vs. 7歳: $d = 0.79$, vs. 8歳: $d = 0.69$, vs. 9歳: $d = 1.19$, vs. 10歳: $d = 0.87$), 9歳と14歳 ($d = 0.49$), 7歳および9歳と15歳 (vs. 7歳: $d = 0.70$, vs. 9歳: $d = 1.06$) の間に有意な差が認められた ($F = 7.5$, $p < 0.01$).

Table 5 には, 加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍高の変化を示した. RJ の跳躍高については, 7歳と10歳 ($d = 1.19$), 7歳—9歳と11歳 (vs. 7歳: $d = 1.80$, vs. 8歳: $d = 1.21$, vs. 9歳: $d = 1.12$) —12歳 (vs. 7歳: $d = 1.84$, vs. 8歳: $d = 1.28$, vs. 9歳: $d = 1.19$), 7歳—10歳と13歳 (vs. 7歳: $d = 1.80$, vs. 8歳: $d = 1.34$, vs. 9歳: $d = 1.26$, vs. 10歳: $d = 0.88$), 7歳—13歳と14歳 (vs. 7歳: $d = 2.69$, vs.8歳: $d = 2.25$, vs. 9歳: $d = 2.19$, vs. 10歳: $d = 1.80$, vs. 11歳: $d = 1.33$, vs. 12歳: $d = 1.19$, vs. 13歳: $d = 0.80$) —15歳 (vs. 7歳: $d = 3.09$, vs.8歳: $d = 2.59$, vs. 9歳: $d = 2.55$, vs. 10歳: $d = 2.06$, vs. 11歳: $d = 1.50$, vs. 12歳: $d = 1.32$, vs. 13歳: $d = 0.84$) の間に有意な差が認められた ($F = 50.0$, $p < 0.01$). SRJ の跳躍高については, 7歳と10歳 ($d = 0.72$), 7歳—9歳と11歳 (vs. 7歳: $d = 1.36$, vs. 8歳: $d = 0.95$, vs. 9歳: $d = 0.99$), 7歳—10歳と12

歳 (vs. 7 歳: $d = 1.54$, vs. 8 歳: $d = 1.18$, vs. 9 歳: $d = 1.22$, vs. 10 歳: $d = 0.74$) —13 歳 (vs. 7 歳: $d = 1.84$, vs. 8 歳: $d = 1.52$, vs. 9 歳: $d = 1.57$, vs. 10 歳: $d = 1.05$), 7 歳—13 歳と 14 歳 (vs. 7 歳: $d = 2.58$, vs. 8 歳: $d = 2.33$, vs. 9 歳: $d = 2.40$, vs. 10 歳: $d = 1.77$, vs. 11 歳: $d = 1.46$, vs. 12 歳: $d = 1.11$, vs. 13 歳: $d = 0.76$) —15 歳 (vs. 7 歳: $d = 2.89$, vs. 8 歳: $d = 2.68$, vs. 9 歳: $d = 2.79$, vs. 10 歳: $d = 1.93$, vs. 11 歳: $d = 1.62$, vs. 12 歳: $d = 1.20$, vs. 13 歳: $d = 0.79$) の間に有意な差が認められた ($F = 46.8$, $p < 0.01$).

Table 2. Jumping height of countermovement jump (CMJ) and single-leg CMJ (SCMJ) at ages 7 to 15.

Age	n	CMJ		SCMJ	
		Jump height (m)	difference	Jump height (m)	difference
7	45	0.214 ± 0.037		0.098 ± 0.025	
8	43	0.230 ± 0.041		0.115 ± 0.024	
9	45	0.248 ± 0.031	7<	0.121 ± 0.021	7<
10	45	0.262 ± 0.039	7<	0.134 ± 0.027	7<
11	43	0.286 ± 0.061	7,8,9<	0.149 ± 0.042	7,8,9<
12	46	0.294 ± 0.046	7,8,9<	0.148 ± 0.033	7,8,9<
13	46	0.301 ± 0.050	7,8,9,10<	0.154 ± 0.031	7,8,9<
14	43	0.373 ± 0.072	7,8,9,10,11,12,13<	0.195 ± 0.046	7,8,9,10,11,12,13<
15	45	0.395 ± 0.056	7,8,9,10,11,12,13<	0.201 ± 0.034	7,8,9,10,11,12,13<

Table 3. Rebound jump (RJ) -index of RJ and single-leg RJ (SRJ) at ages 7 to 15.

		RJ		SRJ	
Age	n	RJ-index (m/s)	difference	SRJ-index (m/s)	difference
7	45	0.886 ± 0.266		0.308 ± 0.110	
8	43	1.005 ± 0.279		0.346 ± 0.092	
9	45	1.053 ± 0.223		0.360 ± 0.086	
10	45	1.091 ± 0.276		0.386 ± 0.126	
11	43	1.170 ± 0.275	7<	0.384 ± 0.107	
12	46	1.170 ± 0.307	7<	0.412 ± 0.127	7<
13	46	1.247 ± 0.404	7,8<	0.444 ± 0.127	7,8,9<
14	43	1.536 ± 0.362	7,8,9,10,11,12,13<	0.545 ± 0.138	7,8,9,10,11,12,13<
15	45	1.464 ± 0.291	7,8,9,10,11,12,13<	0.528 ± 0.124	7,8,9,10,11,12,13<

Table 4. Contact time of rebound jump (RJ) and single-leg RJ (SRJ) at ages 7 to 15.

		RJ		SRJ	
Age	n	Contact time (s)	difference	Contact time (s)	difference
7	45	0.180 ± 0.033		0.248 ± 0.056	
8	43	0.184 ± 0.051		0.254 ± 0.054	
9	45	0.177 ± 0.028		0.245 ± 0.033	
10	45	0.187 ± 0.035		0.254 ± 0.037	
11	43	0.194 ± 0.036		0.286 ± 0.055	7,8,9,10<
12	46	0.197 ± 0.029		0.285 ± 0.039	7,8,9,10<
13	46	0.200 ± 0.036	7<	0.286 ± 0.036	7,8,9,10<
14	43	0.190 ± 0.029		0.276 ± 0.033	9<
15	45	0.195 ± 0.028		0.282 ± 0.037	7,9<

Table 5. Jumping height of rebound jump (RJ) and single-leg RJ (SRJ) at ages 7 to 15.

		RJ		SRJ	
Age	n	Jump height (m)	difference	Jump height (m)	difference
7	45	0.154 ± 0.038		0.073 ± 0.026	
8	43	0.177 ± 0.036		0.086 ± 0.020	
9	45	0.182 ± 0.033		0.086 ± 0.018	
10	45	0.198 ± 0.036	7<	0.093 ± 0.030	7<
11	43	0.220 ± 0.036	7,8,9<	0.107 ± 0.024	7,8,9<
12	46	0.225 ± 0.040	7,8,9<	0.114 ± 0.028	7,8,9,10<
13	46	0.239 ± 0.055	7,8,9,10<	0.124 ± 0.030	7,8,9,10<
14	43	0.284 ± 0.057	7,8,9,10,11,12,13<	0.148 ± 0.032	7,8,9,10,11,12,13<
15	45	0.281 ± 0.044	7,8,9,10,11,12,13<	0.146 ± 0.025	7,8,9,10,11,12,13<

Fig. 1 には、身長と両脚および片脚跳躍の各変数の関係をそれぞれ示した。その結果、全ての項目との間に有意な相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

Fig. 2 には、体重と RJ および SRJ の接地時間の関係をそれぞれ示した。その結果、全ての項目との間に有意な相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

Fig. 3 には、CMJ の跳躍高と SCMJ の跳躍高との関係、RJ-index と SRJ-index との関係、RJ の接地時間と SRJ の接地時間との関係、および RJ の跳躍高と SRJ の跳躍高との関係を示した。その結果、CMJ の跳躍高と SCMJ の跳躍高との間 ($p < 0.01$)、RJ-index と SRJ-index との間 ($p < 0.01$)、RJ の接地時間と SRJ の接地時間との間 ($p < 0.01$)、および RJ の跳躍高と SRJ の跳躍高との間 ($p < 0.01$) に有意な正の相関関係が認められた。一方で、RJ と SRJ の回帰直線の決定係数は、CMJ と SCMJ の回帰直線の決定係数よりも低かった (RJ と SRJ: 0.691, CMJ と SCMJ: 0.826)。そこで、遠藤ほか (2007) や坂口・図子 (2013) の方法を参考に、回帰直線の残差の $\pm 1SD$ を基準にして RJ と SRJ の跳躍能力のタイプ分けを試みた。その結果、RJ と SRJ が対応しているタイプ (RJ = SRJ タイプ: 305 名)、RJ に対して SRJ の跳躍能力が高いタイプ (SRJ タイプ: 39 名)、RJ に対して SRJ の跳躍能力が低いタイプ (RJ タイプ: 57 名) に分類された。

Table 6 には、小学校低学年、中学年、高学年、中学生の 4 つのグループにおける各タイプの人数の割合を示した。

Fig. 4 には、4 つのグループと RJ と SRJ の跳躍能力のタイプについてのクロス集計表を示した。 χ^2 検定の結果、各グループにおける各タイプに属する人数の偏りは有意であった ($\chi^2 = 13.74$, $p < 0.05$)。また、残差分析を行った結果、期待度数に対して SRJ タイプに属する者は、中学生において有意に多いことが認められた ($p < 0.05$)。

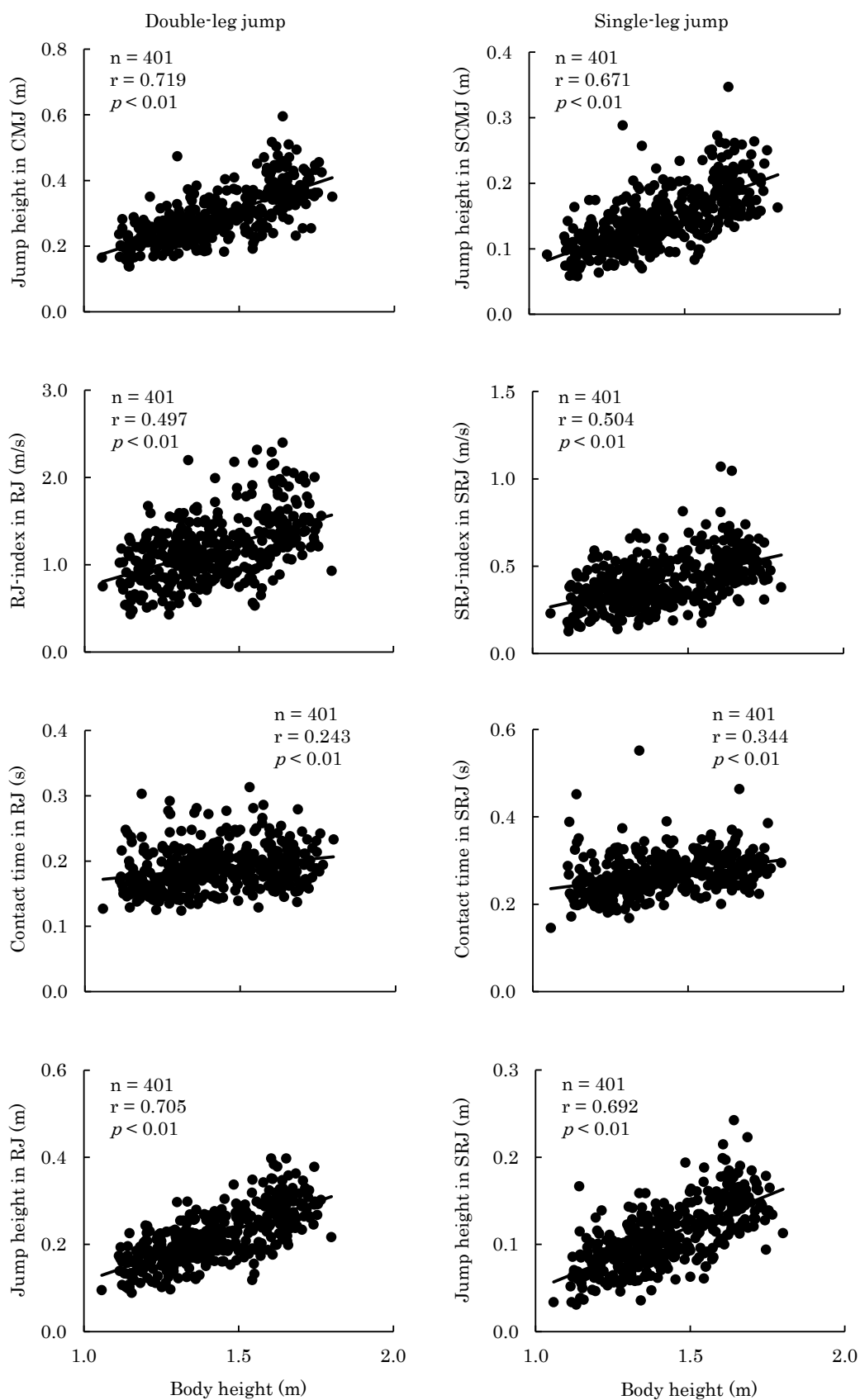


Figure 1. Relationship between jump abilities and body height.

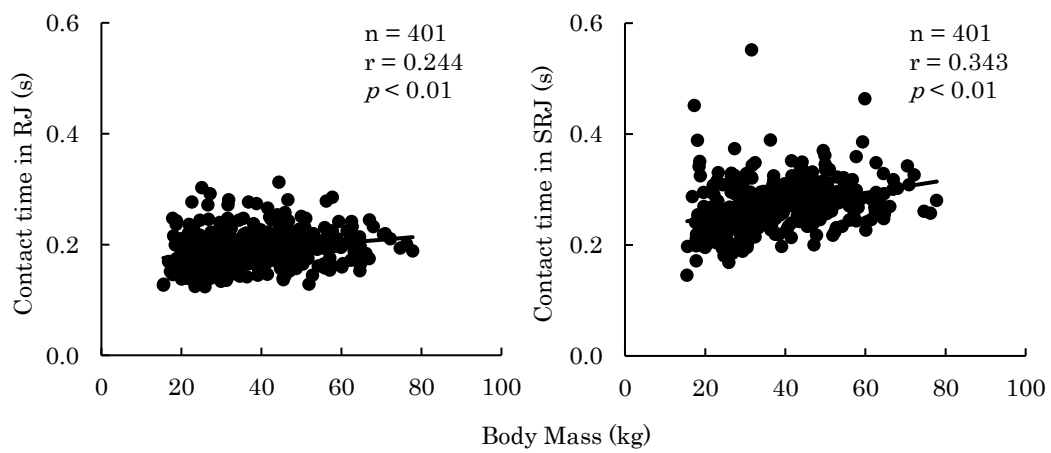


Figure 2. Relationship between contact time and body mass.

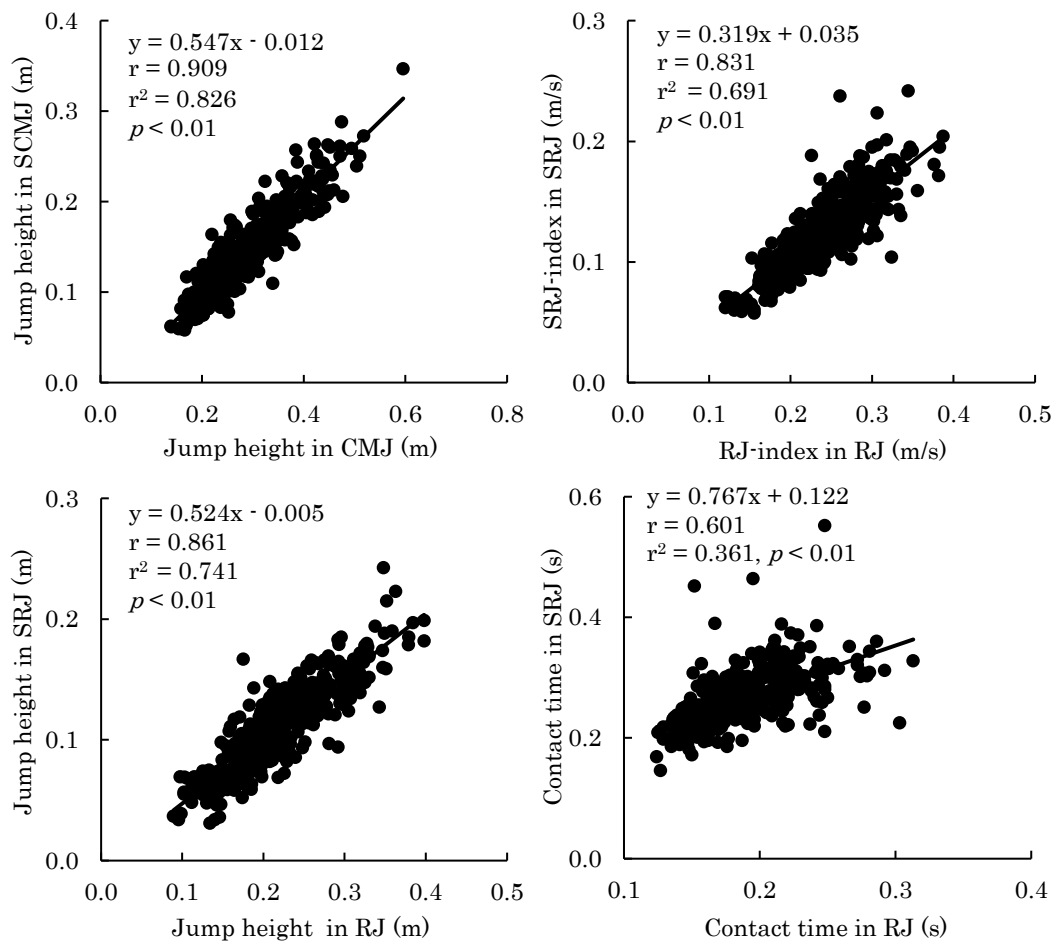


Figure 3. Relationship between single- and double-leg jump for each variable.

Table 6. Cross table of age and jump ability type.

Grade		Jump ability type			Total
		SRJ type	RJ = SRJ	RJ type	
Lower	observed frequency	5	73	10	88
	adjusted residual	-1.45	1.72	-0.87	
Middle	observed frequency	7	71	12	90
	adjusted residual	-0.71	0.71	-0.27	
Upper	observed frequency	5	66	18	89
	adjusted residual	-1.48	-0.48	1.84	
JHS	observed frequency	22	95	17	134
	adjusted residual	3.20 *	-1.72	-0.62	
Total		39	305	57	401

Lower : Lower grade in elementary school ; Middle : Middle grade in elementary school ; Upper : Upper grade in elementary school ; JHS : Junior high school.

** : $p < 0.05$*

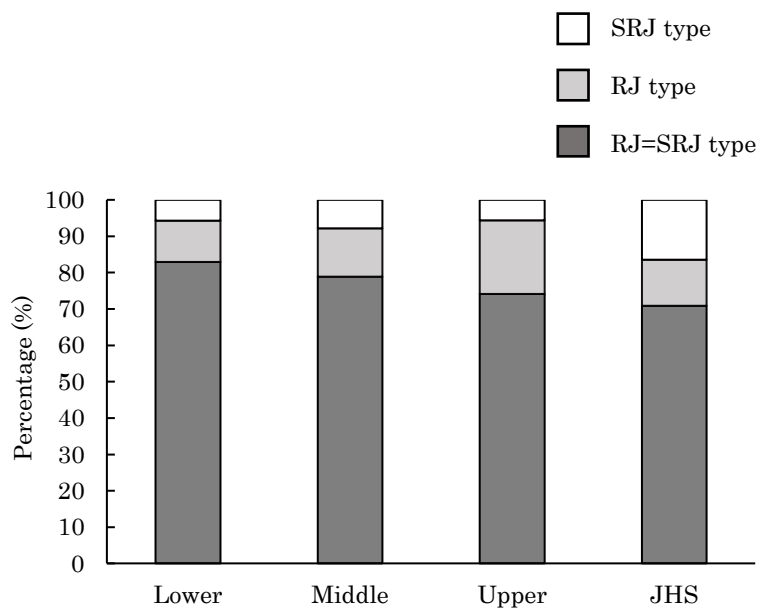


Figure 4. Change of the percentage of subjects in jump ability type.
Lower : Lower grade in elementary school ; Middle : Middle grade in elementary school ; Upper : Upper grade in elementary school ; JHS : Junior high school.

4. 考察

本研究における CMJ および RJ の発達傾向をみると、加齢に伴い CMJ の跳躍高および RJ-index は増加する傾向が認められた (Table 2 および Table 3). CMJ (Bosco and Komi, 1980 ; 遠藤ほか, 2007 ; Focke et al., 2013) および RJ (志手・新開谷, 1996 ; 遠藤ほか, 2007) の遂行能力は、加齢に伴い増加することが報告されており、このことは本研究の結果と一致していた。さらに、身長と CMJ および RJ の関係 (Fig. 1) については、有意な正の相関関係が認められた。加えて、身長の発育と CMJ および RJ の遂行能力との関係について、相関係数の差を検討した結果、身長と RJ-index の相関係数は、身長と CMJ の跳躍高の相関係数よりも有意に低い値であった ($p < 0.01$)。したがって、RJ-index は CMJ の跳躍高よりも形態的な影響が小さいことが考えられる。このことは、7 歳—18 歳を対象にして CMJ と RJ の遂行能力の発達について検討した先行研究 (遠藤ほか, 2007) と一致するものであった。そのために、これ以降は SCMJ および SRJ の発達傾向に焦点を当てながら考察を行う。

(1) 加齢に伴う片脚跳躍能力の変化

はじめに、SCMJ の跳躍高は 14 歳まで経年的に発達することが認められた (Table 2). CMJ の発達過程を検討した先行研究では、CMJ の跳躍高はある年齢で停滞することではなく、経年的に発達する傾向を示すことが明らかになっている (Bosco and Komi, 1980 ; 遠藤ほか, 2007 ; Focke et al., 2013). 本研究における SCMJ の発達傾向は、CMJ の結果と類似しており (Table 2), また、身長と SCMJ の跳躍高の間には有意な正の相関関係が認められた (Fig. 1). これらのことから、7 歳から 15 歳までの SCMJ については、ある年齢段階で急激に上昇することや停滞することではなく、加齢に伴う発育とともに跳躍高が増加する可能性があると考えられる。

次に、加齢に伴う SRJ の各変数の変化についてみると、SRJ-index および跳躍高は経年的に増加する傾向が認められた (Table 3). このことは、RJ や RDJ の発達を検討した研究 (志手・新開谷, 1996 ; 遠藤ほか, 2007) や本研究の RJ の結果と類似する結果であった。

また、身長と SRJ-index および SRJ の跳躍高との間には有意な正の相関関係が認められた (Fig. 1). これらのことから、7 歳から 15 歳の SRJ における SRJ-index および跳躍高は、ある年齢段階で急激に上昇することや停滞することではなく、加齢に伴う発育とともに増加する可能性があると考えられる。一方で、SRJ の接地時間については 10 歳を境に延長する傾向が認められた (Table 4). この結果は、年齢に関係なく接地時間は一定であるとする RJ の先行研究 (志手・新開谷, 1996; 遠藤ほか, 2007) や本研究における RJ における接地時間の結果 (Table 4) とは異なるものであった。この要因について、身長および体重と接地時間の関係を検討した結果、RJ と SRJ ともに有意な正の相関関係が認められ、どちらも弱い相関関係であった (Fig. 1 および Fig. 2). また、相関係数の差を検討しても、どちらも有意な差は認められなかった (身長: $p=0.11$; 体重: $p=0.13$). このことは、RJ と SRJ で接地時間に対する形態的な影響は変わらないことを示している。こうしたことを考慮すると、本研究において SRJ の接地時間が 10 歳を境に延長している要因については、形態的な変化の影響は大きくないと考えられ、SRJ を成立させるための動作の変化や神経—筋系の機能的な変化が影響している可能性があると考えられる。しかしながら、本研究でこの点について明らかにすることはできないために、今後詳細に検討する必要がある。

(2) 両脚跳躍能力と片脚跳躍能力の関係

両脚跳躍と片脚跳躍の関連についてみると、CMJ の跳躍高と SCMJ の跳躍高との間には、有意な正の相関関係が認められ (Fig. 4), 強い相関関係を示した ($r = 0.909$). このことから、CMJ の遂行能力が高い者は、SCMJ の遂行能力も高いことが考えられる。

次に、RJ と SRJ の関係についてみると RJ-index と SRJ-index の間には、有意な正の相関関係が認められた (Fig. 3). 一方で、この相関係数 ($r=0.831$) は CMJ と SCMJ の間の相関係数と比較して、有意に低い値であった ($p < 0.01$). RJ の評価指標である RJ-index は、運動遂行時間と跳躍高の 2 つのから算出するものであり、これら 2 つは互いに独立した異なる能力であることが示唆されている (図子・高松, 1995). このことは、RJ-index と算出方

法が同じである SRJ-index についても当てはまると考えられる。これに対して、CMJ や SCMJ の評価指標は跳躍高のみであり、運動遂行時間は評価に含まない。また、RJ と SRJ の跳躍高の関係についてみると、強い相関関係 ($r = 0.861$) が認められるのに対し、RJ と SRJ の接地時間の関係については中程度の相関関係 ($r = 0.601$) であった (Fig. 4)。したがって、RJ と SRJ の評価指標である RJ-index および SRJ-index は、跳躍高に加えて接地時間がその評価に含まれるために、RJ-index と SRJ-index の相関係数が CMJ と SCMJ の値よりも低くなったと推察される。

また、CMJ の SCMJ に対する説明率と比較して、RJ-index の SRJ-index に対する説明率は低いために (Fig. 3)、個人内の RJ と SRJ の遂行能力は必ずしも対応していないことが考えられる。そこで、遠藤ほか (2007) や坂口・凶子 (2013) の方法を参考にして、跳躍タイプを3つに分類し、小学校低学年、中学年、高学年および中学生の4つのグループにおける各タイプの人数を検討した。その結果、各グループにおいて各タイプに属する人数の偏りに有意な差が認められた。期待度数に対して SRJ タイプに属する者は、中学生において有意に多いことが認められた (Table 6)。このことは、特に中学生の時期において SRJ タイプに属する者が増加する可能性があることを示すものである。また、SRJ タイプに属する者の割合が増加した中学生の時期は、CMJ の遂行能力に対する RJ の遂行能力からみた跳躍能力の個人差が拡大する時期 (遠藤ほか, 2007) と一致していた。発育スパート期において、遠藤ほか (2007) の示した CMJ と RJ の遂行能力の発達タイプの個人差に加えて、RJ における両脚と片脚の遂行能力の発達タイプの個人差も生じる可能性が示されたことは、注目すべき点である。遠藤ほか (2009) や坂口・凶子 (2013) は、CMJ と比較した際の RJ における個人の跳躍能力の特性に対して、形態的な影響は少なく、筋の機能的な要因が影響していることを示唆している。本研究においても、RJ-index と SRJ-index に対する身長の影響は変わらないために (Fig. 1)、RJ と SRJ の遂行能力からみた跳躍タイプの個人差が生じた要因の1つとして、神経—筋伝達といった機能的な要因が影響していることが推察される。

5. 要約

本研究では、7歳から15歳までの男子を対象とし、両脚および片脚で実施するCMJとRJの発達特性を明らかにすることが目的であった。本研究における主な結果は以下の通りである。

- (1) CMJおよびSCMJの跳躍高、RJおよびSRJのRJ-indexと跳躍高は、経年的に発達することが示された。
- (2) SRJの接地時間は、10歳を境に有意に長くなることが示された。
- (3) CMJの跳躍高とSCMJの跳躍高との間に有意な相関関係が認められた。また、RJのRJ-indexとSRJのSRJ-indexとの間に有意な相関関係が認められた。
- (4) RJ-indexとSRJ-indexの関係から得られた回帰直線の残差の±1SDを基準にして、RJとSRJの跳躍能力のタイプを、RJとSRJが対応しているタイプ(RJ = SRJタイプ：305名)、RJに対してSRJの跳躍能力が高いタイプ(SRJタイプ：39名)、RJに対してSRJの跳躍能力が低いタイプ(RJタイプ：57名)の3つに分類した。その結果、中学生以降でSRJタイプに属する者が有意に増加することが示された。

以上のことから、7歳から15歳における両脚跳躍と片脚跳躍は、SRJの接地時間を除いて、類似した傾向で発達していくことが明らかとなった。また、両脚跳躍と片脚跳躍の関連をみた場合、CMJについては両脚跳躍が優れている者は片脚跳躍も優れることが示された。RJについては、両脚跳躍の遂行能力が必ずしも片脚跳躍の遂行能力と対応しないことが示された。さらに、中学生以降でSRJタイプに属する者が増加する可能性がある。これらのことから、下肢のSSC運動能力の発達特性やその個人差を適切に評価するためには、特にRJにおいて両脚と片脚両方の遂行能力を測定する必要があることが示唆された。

VI. 両脚および片脚跳躍における力発揮能力の発達過程 (研究課題 2)

1. 目的

走る、跳ぶ、投げるなどの運動は、基礎的運動能力 (FMS) の 1 つである。FMS は、スポーツで必要とされる様々な運動能力と関連しており (Logan et al., 2012), 初等・中等教育における体育カリキュラムにおいて、スポーツに特化した動作習得のために重要である (Hardy et al., 2010)。FMS は、発達過程において自然に習得されるものではなく、反復練習によって習得されるものである (Hardy et al., 2010)。また、子どもの運動能力の向上速度は、運動機能の発達や成長に影響されるために変動しやすく (Virus et al., 1999), 適応促進期にトレーニングなどの刺激を追加することで、その能力の発達を加速させることができる (Lloyd et al., 2011)。したがって、子どもが FMS を習得し、その能力を高めるためには、適切な時期にトレーニング刺激を与える必要がある。これらのことから、子どもの FMS を向上させることを目的としてトレーニングプログラムを考案・提供する際には、子どもの運動能力の発達過程を考慮することが重要であると考えられる。

上述した走や跳などの運動には、下肢の SSC 運動が内在している (Komi, 1984 ; Asmussen and Bonde-Petersen, 1974 ; Bosco et al., 1981)。下肢の SSC 運動能力は、スプリント能力、フットワーク能力 (Endo et al., 2008 ; Nagahara et al., 2014), 持久力 (Kasović et al., 2021) など各種運動に関わる能力であるため、幼児から児童および生徒を対象として、発育発達の観点からの検討が行われてきた (Bosco and Komi, 1980 ; 志手・新開谷, 1996 ; 遠藤ほか, 2007 ; Endo et al., 2008 ; 坂口ほか, 2013)。

各種スポーツ動作は、片脚で行われる場合が多く (レイアップシュート, 走高跳など), 片脚のジャンプ能力がスポーツパフォーマンスと強く関連していることが報告されている (Miura et al., 2010)。また、片脚プライオメトリクスは子どものジャンプおよびスプリント能力を向上させる最も効果的な方法の 1 つである (Drouzas et al., 2020)。これらのことを考慮すると、子どもの片脚 SSC 運動能力の発達に関する情報は、子どものジャンプやスプリ

ントといったスポーツパフォーマンスを向上させる際に、極めて重要になると考えられる。しかしながら、これまでの下肢の SSC 運動能力の発達に関する研究のほとんどが、CMJ や RJ といった両脚 SSC 運動を対象に実施されており、片脚 SSC 運動能力の発達を検討した報告は見当たらなかった。このことを踏まえて研究課題 1 では、7 歳から 15 歳の男子を対象に、両脚および片脚の CMJ と RJ の遂行能力の発達過程について調査した。その結果、両脚跳躍と片脚跳躍の遂行能力は類似した傾向で発達するものの、RJ の接地時間については、両脚と片脚で異なる発達傾向となる可能性があることが明らかとなった。また、両脚跳躍と片脚跳躍の関連をみた場合、CMJ については両脚跳躍が優れている者は片脚跳躍も優れること、RJ については、両脚跳躍の遂行能力が必ずしも片脚跳躍の遂行能力と対応しないことを示した。これらのことから、下肢の SSC 運動能力の発達特性やその個人差を適切に評価するためには、特に RJ において両脚と片脚両方の遂行能力を測定する必要があることが示唆された。

子どもの下肢の SSC 運動能力の発達に関する研究は、研究課題 1 で用いたような跳躍高や RJ-index、接地時間などを評価指標として行われることが多い (Endo et al., 2008 ; Tauchi et al., 2008)。その一方で、子どもを対象とした場合には、CMJ の跳躍高には体格が大きく影響するために、成長と発達を分けて検討することは困難であると指摘されている (Jones et al., 2020)。また、CMJ の跳躍高は、成人に基づく方法で算出される変数であり、子どもの CMJ の跳躍高を算出する方法は開発されていない (Owen et al., 2014)。このため、成人に基づく方法を用いて子どもの CMJ の跳躍高を評価しても、信頼できる測定値が得られない可能性があることが指摘されている (Jones et al., 2020)。以上のことから、子どもの下肢の SSC 運動能力を調査する際には、跳躍高や RJ-index など跳躍運動の遂行能力に関する変数だけでなく、力発揮能力に関する変数、すなわち鉛直地面反力 (vGRF) などについて、体格の影響を考慮しながら検討する必要がある。この点を明らかにすることは、子どもの FMS を向上させるためにジャンプ運動を取り入れる際に、年齢や下肢 SSC の発達特性に基づいて運動を処方する際に役立つと考えられる。

そこで本研究課題では、両脚および片脚で実施する CMJ と RJ の力発揮能力に関する発達特性について、鉛直地面反力を手掛かりに検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 対象者

対象者は、トレーニング等を実施していない男子児童および生徒 143 名とした (Table 7)。各種変数に対する年齢による影響を検討するために、Focke et al. (2013) や遠藤 (2008) を参考に、対象者を 4 つの年齢区分 (7—8 歳, 9—10 歳, 11—12 歳, 11—15 歳) に分類した。対象者は、実験前および実験中にプライオメトリクスやレジスタンストレーニングは行っていない者であった。また、全ての対象者は、定期的に体育授業に参加している者であった。本研究は、中部学院大学研究倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号: C-20-0022)。本研究の全ての対象者は 18 歳未満であったため、研究開始前に保護者からインフォームド・コンセントを得た。

Table 7. Values for group characteristics.

Age	n	Body height (m)	Body mass (kg)
7–8	30	1.20 ± 0.06	25.08 ± 5.09
9–10	32	1.33 ± 0.05	31.65 ± 6.41
11–12	28	1.45 ± 0.07	42.49 ± 9.49
13–15	53	1.63 ± 0.06	54.93 ± 9.85

(2) 実験方法

本研究では、研究課題 1 と同様に、両脚 SSC 運動能力を評価する運動として CMJ と RJ を、片脚 SSC 運動能力を評価する運動として SCMJ と SRJ を対象とした。CMJ と RJ の実施方法については遠藤ほか (2007) の方法を、SCMJ の実施方法については McCurdy et al. (2010) の方法を、SRJ の実施方法については Kariyama et al. (2013) の方法を参考にした。全ての跳躍運動は、フォースプレート (PH-6210A, 0.9×0.9 m ; DKH 社製) 上で実施した。同跳躍運動の試技間は、1 分間の休息を設け、各跳躍運動間には 2 分間の休息を設けた。対象者には、CMJ では直立姿勢から、CMJ では片脚立ちの姿勢から、自分で決めた深さまで反動をつけ、できるだけ高くジャンプするよう指示した。RJ と SRJ では、それぞれ直立姿勢と片脚立ちの姿勢から、できるだけ高くかつできるだけ接地時間を短く、5 回連続してジャンプするよう指示した。SCMJ と SRJ に使用する脚は、対象者自身が決定した。また、SCMJ と SRJ は同側の脚で実施した。SCMJ または SRJ を最大努力で行うために遊脚の振り込みは制限しなかったが、本研究の対象者で遊脚の振り込みを行った者はいなかった。跳躍運動の順序の影響を排除するために、各跳躍運動の順番はランダムに行った。一連の動作が完了できなかった試技については、1 分後に再度測定を行った。全ての跳躍運動で上半身の影響を排除するために、対象者には腰に手を当てて跳躍を行うよう指示した (McMahon et al., 2017)。対象者には、実験日の 1 週間前から、本研究の実験試技に精通した陸上競技選手によるデモンストレーションを見せながら、本研究で行う全ての跳躍運動の練習を行わせた。

(3) 測定項目および算出項目

CMJ と SCMJ の遂行能力を評価する指標として、跳躍高 (CMJ-JH, SCMJ-JH), 最大地面反力 (CMJ-PvGRF, SCMJ-PvGRF), 相対地面反力 (CMJ-RvGRF, SCMJ-RvGRF) を算出した。RJ と SRJ の遂行能力を評価する指標として、RJ-index (RJ-index, SRJ-index), 跳躍高 (RJ-JH, SRJ-JH), 接地時間 (RJ-CT, SRJ-CT), 最大地面反力 (RJ-PvGRF, SRJ-PvGRF), 相

対地面反力 (RJ-RvGRF, SRJ-RvGRF) を算出した。最大地面反力は、フォースプレートを用いて 1,000 Hz で収集した。滞空時間、接地時間および最大地面反力については、フォースプレートのデータから直接取得した。相対地面反力は、最大地面反力を対象者の体重で除して算出した。CMJ と SCMJ については、跳躍高が最大であった試技を、RJ と SRJ については、RJ-index が最大であった試技を分析に用いた。

(4) 統計処理

各算出項目は、平均値±標準偏差で示した。各測定値における信頼性を確認するために、2 試行間の級内相関係数 (ICC) を算出した。各測定値の正規性の検定には、Shapiro-Wilk 検定を用いた。正規性が確認されたデータについては、一元配置の分散分析を用いて各変数に対する年齢の影響を検討した。分散の等質性は Levene の等分散性の検定を用い、等分散が認められなかった場合は、Welch の調整によって F 比を算出した。等分散が仮定された場合は、Tukey 法により、多重比較検定を行った。等分散が仮定されていない場合は、Games-Howell 法を用いて群間の有意差を決定した。ノンパラメトリックデータについては、有意差を決定するために Kruskal-Wallis 検定を用い、事後検定として Steel-Dwass 法を用いた。効果量は、Cohen's d を用いて決定し、0.2–0.5 を小、0.5–0.8 を中、0.8 以上を大として解釈した (Cohen, 1988)。有意水準は、全て危険率を 5%未満とした。全ての統計解析は、IBM SPSS Version 25 (IBM 社製) を使用した。

3. 結果

本研究の 4 種類の跳躍運動における 2 回の試技間の ICC は、いずれも高い値を示した (CMJ = 0.918, SCMJ = 0.902, RJ = 0.886, SRJ = 0.893)。

Shapiro-Wilk 検定の結果、CMJ と SCMJ の跳躍高、RJ と SRJ の跳躍高は正規分布していることが認められた。一方、CMJ-PvGRF, SCMJ-PvGRF, CMJ-RvGRF, SCMJ-RvGRF, RJ-

index, SRJ-index, RJ-CT, SRJ-CT, RJ-PvGRF, SRJ-PvGRF, RJ-RvGRF, SRJ-RvGRF は正規分布していないことが認められた ($p < 0.05$).

CMJ の各種変数に対する年齢の影響をみると, CMJ-JH ($F = 49.6, p = 0.00$), CMJ-PvGRF ($\chi^2 = 105.7, p < 0.001$), CMJ-RvGRF ($\chi^2 = 21.0, p < 0.001$) で有意な年齢群の主効果が認められた. 事後検定の結果, CMJ-JH は 7—8 歳群と比較して他の年齢群で有意に大きく, 9—10 歳群および 11—12 歳群と比較して 13—15 歳群が有意に大きい値であった (Table 8). CMJ-PvGRF は, 年齢が上がるにつれて有意に増加した (Table 8). CMJ-RvGRF は, 7—8 歳群と比較して 11—12 歳群で有意に大きく, 7—8 歳群および 9—10 歳群と比較して 13—15 歳群で有意に大きい値であった (Table 8). SCMJ の各種変数に対する年齢の影響をみると, SCMJ-JH ($F = 31.0, p = 0.00$), SCMJ-PvGRF ($\chi^2 = 108.1, p < 0.001$), SCMJ-RvGRF ($\chi^2 = 18.1, p < 0.001$) で年齢群の有意な主効果が認められた. 事後検定の結果, SCMJ-JH は 7—8 歳群と比較して他の群で有意に大きく, 9—10 歳群および 11—12 歳群と比較して 13—15 歳群で有意に大きい値であった (Table 9). SCMJ-PvGRF はとともに有意に増加した (Table 9). SCMJ-RvGRF は, 7—8 歳群および 9—10 歳群と比較して 13—15 歳群で有意に大きい値であった (Table 9). RJ の各種変数に対する年齢の影響をみると, RJ-index ($\chi^2 = 22.7, p < 0.001$), RJ-JH ($F = 31.9, p < 0.001$), RJ-PvGRF ($\chi^2 = 107.9, p < 0.001$), RJ-RvGRF ($\chi^2 = 18.3, p < 0.001$) に年齢群の有意な主効果が認められた. 事後検定の結果, RJ-index は 7—8 歳群と比較して他の群で有意に大きい値であった (Table 10). RJ-JH は 7—8 歳群と比較して他の年齢群で有意に大きく, 9—10 歳および 11—12 歳群と比較して 13—15 歳群で有意に大きい値であった (Table 10). RJ-PvGRF はとともに有意に増加した (Table 10). RJ-RvGRF は, 7—8 歳群と比較して 11—12 歳群および 13—15 歳群で有意に大きい値であった (Table 10). SRJ の各種変数に対する年齢の影響をみると, SRJ-index ($\chi^2 = 32.9, p < 0.001$), SRJ-JH ($F = 31.9, p < 0.001$), SRJ-CT ($\chi^2 = 29.0, p < 0.001$), SRJ-PvGRF ($\chi^2 = 99.9, p < 0.001$), SRJ-RvGRF ($\chi^2 = 8.1, p < 0.05$) において, 年齢群の有意な主効果が認められた. 事後検定の結果, SRJ-index は 7—8 歳群と比較して他の群で有意に大きい値であった (Table 11). SRJ-

JH は 7—8 歳群と比較して他の群で有意に大きく、9—10 歳群および 11—12 歳群と比較して 13—15 歳群の SRJ-JH はより有意に大きい値であった (Table 11). SRJ-CT は、9—10 歳群と比較して 11—12 歳群および 13—15 歳群で有意に大きく、7—8 歳群と比較して 13—15 歳群で有意に大きい値であった (Table 11). SRJ-PvGRF はとともに有意に増加した (Table 11). SRJ-RvGRF は、7—8 歳群と比較して 9—10 歳群で有意に大きい値であった (Table 11).

Table 8. Counter-movement jump variables in each group.

Age	n	CMJ-JH (m)	95%CI	difference (Effect size)	CMJ-PvGRF (N)	95%CI	difference (Effect size)	CMJ-RvGRF (N/kg)	95%CI	difference (Effect size)
7-8	30	0.21 ± 0.03	0.20 - 0.22	n.s.	547.8 ± 130.6	501.9 - 594.2	n.s.	2.23 ± 0.30	2.12 - 2.34	n.s.
9-10	32	0.27 ± 0.04	0.25 - 0.28	> 7-8 (1.69)	717.2 ± 156.7	663.5 - 772.1	> 7-8 (1.17)	2.33 ± 0.36	2.20 - 2.45	n.s.
11-12	28	0.29 ± 0.06	0.27 - 0.31	> 7-8 (1.70)	1025.7 ± 231.9	940.3 - 1112.2	> 7-8 (2.56) > 9-10 (1.58)	2.49 ± 0.39	2.35 - 2.63	> 7-8 (0.75)
13-15	53	0.34 ± 0.07	0.32 - 0.36	> 7-8 (2.21) > 9-10 (1.16) > 11-12 (0.75)	1390.2 ± 289.0	1312.7 - 1468.4	> 7-8 (3.45) > 9-10 (2.71) > 11-12 (1.35)	2.60 ± 0.40	2.49 - 2.70	> 7-8 (1.01) > 9-10 (0.70)

Abbreviations: n = number, m = meter, N = newton, kg = kilogram, CMJ = counter-movement jump, JH = jump height, PvGRF = peak vertical ground reaction force, RvGRF = relative vertical ground reaction force, CI = confidence interval, n.s. = no significant difference

Table 9. Single-leg counter-movement jump variables in each group.

Age	n	SCMJ-JH (m)	95%CI	difference (Effect size)	SCMJ-PvGRF (N)	95%CI	difference (Effect size)	SCMJ-RvGRF (N/kg)	95%CI	difference (Effect size)
7-8	30	0.10 ± 0.03	0.10 - 0.11	n.s.	449.3 ± 98.8	414.5 - 485.9	n.s.	1.84 ± 0.16	1.77 - 1.89	n.s.
9-10	32	0.13 ± 0.03	0.12 - 0.14	> 7-8 (1.17)	581.3 ± 111.5	543.4 - 620.6	> 7-8 (1.25)	1.88 ± 0.19	1.82 - 1.05	n.s.
11-12	28	0.14 ± 0.03	0.13 - 0.15	> 7-8 (1.58)	790.7 ± 173.4	726.5 - 855.9	> 7-8 (2.44) > 9-10 (1.46)	1.91 ± 0.26	1.82 - 2.01	n.s.
13-15	53	0.17 ± 0.04	0.16 - 0.18	> 7-8 (2.05) > 9-10 (1.09) > 11-12 (0.81)	1085.9 ± 208.3	1030.6 - 1142.7	> 7-8 (3.60) > 9-10 (2.83) > 11-12 (1.50)	2.03 ± 0.21	1.96 - 2.08	> 7-8 (0.98) > 9-10 (0.74)

Abbreviations: n = number, m = meter, N = newton, kg = kilogram, SCMJ = single-leg counter-movement jump, JH = jump height, PvGRF = peak vertical ground reaction force, RvGRF = relative vertical ground reaction force, CI = confidence interval, n.s. = no significant difference

Table 10. Rebound jump variables in each group.

Age	n	RJ-index (m/s)	95%CI	difference (Effect size)	RJ-JH (m)	95%CI	difference (Effect size)	RJ-CT (s)	95%CI	difference (Effect size)
7-8	30	0.90 ± 0.31	0.79 - 1.01	n.s.	0.18 ± 0.03	0.17 - 0.19	n.s.	0.22 ± 0.07	0.19 - 0.24	n.s.
9-10	32	1.17 ± 0.31	1.07 - 1.28	> 7-8 (0.87)	0.22 ± 0.04	0.21 - 0.24	> 7-8 (1.13)	0.20 ± 0.04	0.18 - 0.21	n.s.
11-12	28	1.21 ± 0.25	1.21 - 1.31	> 7-8 (1.10)	0.24 ± 0.04	0.22 - 0.25	> 7-8 (1.71)	0.20 ± 0.03	0.19 - 0.22	n.s.
13-15	53	1.29 ± 0.34	1.20 - 1.39	> 7-8 (1.18)	0.28 ± 0.06	0.27 - 0.30	> 7-8 (1.95) > 9-10 (1.12) > 11-12 (0.74)	0.21 ± 0.03	0.21 - 0.23	n.s.
Age	n	RJ-PvGRF (N)	95%CI	difference (Effect size)	RJ-RvGRF (N/kg)	95%CI	difference (Effect size)			
7-8	30	1129.9 ± 257.2	1030.4 - 1214.9	n.s.	4.63 ± 1.01	4.27 - 4.99	n.s.			
9-10	32	1607.0 ± 315.0	1498.4 - 1716.8	> 7-8 (1.68)	5.03 ± 1.05	4.94 - 5.66	n.s.			
11-12	28	2315.8 ± 546.7	2113.1 - 2518.4	> 7-8 (2.83) > 9-10 (1.62)	5.46 ± 1.03	5.26 - 6.03	> 7-8 (0.99)			
13-15	53	3071.0 ± 720.0	2877.0 - 3265.8	> 7-8 (3.26) > 9-10 (2.43) > 11-12 (1.13)	5.71 ± 0.97	5.45 - 5.98	> 7-8 (1.10)			

Abbreviations: n = number, m = meter, N = newton, kg = kilogram, RJ = rebound jump, JH = jump height, CT = ground contact time, PvGRF = peak vertical ground reaction force, RvGRF = relative vertical ground reaction force, CI = confidence interval, n.s. = no significant difference

Table 11. Single-leg rebound jump variables in each group.

Age	n	SRJ-index (m/s)	95%CI	difference (Effect size)	SRJ-JH (m)	95%CI	difference (Effect size)	SRJ-CT (s)	95%CI	difference (Effect size)
7-8	30	0.33 ± 0.12	0.28 - 0.37	n.s.	0.08 ± 0.02	0.07 - 0.09	n.s.	0.27 ± 0.09	0.24 - 0.30	n.s.
9-10	32	0.43 ± 0.13	0.39 - 0.47	> 7-8 (0.80)	0.11 ± 0.02	0.10 - 0.11	> 7-8 (1.50)	0.26 ± 0.04	0.24 - 0.27	n.s.
11-12	28	0.43 ± 0.14	0.38 - 0.48	> 7-8 (0.77)	0.12 ± 0.03	0.11 - 0.13	> 7-8 (1.58)	0.30 ± 0.06	0.27 - 0.32	> 7-8 (0.39) > 9-10 (0.80)
13-15	53	0.50 ± 0.13	0.46 - 0.54	> 7-8 (1.34)	0.15 ± 0.03	0.13 - 0.15	> 7-8 (2.61) > 9-10 (1.50) > 11-12 (1.00)	0.30 ± 0.04	0.29 - 0.31	> 7-8 (0.48) > 9-10 (1.00)
Age	n	SRJ-PvGRF (N)	95%CI	difference (Effect size)	SRJ-RvGRF (N/kg)	95%CI	difference (Effect size)			
7-8	30	813.7 ± 178.3	750.3 - 877.4	n.s.	3.33 ± 0.51	3.15 - 3.51	n.s.			
9-10	32	1123.3 ± 242.6	1039.4 - 1207.0	> 7-8 (1.45)	3.65 ± 0.59	3.45 - 3.86	> 7-8 (0.58)			
11-12	28	1422.4 ± 344.1	1295.4 - 1550.4	> 7-8 (2.24) > 9-10 (1.02)	3.45 ± 0.61	3.23 - 3.68	n.s.			
13-15	53	1922.8 ± 471.2	1796.4 - 2050.2	> 7-8 (2.83) > 9-10 (1.99) > 11-12 (1.16)	3.56 ± 0.50	3.43 - 3.70	n.s.			

Abbreviations: n = number, m = meter, N = newton, kg = kilogram, SRJ = single-leg rebound jump, JH = jump height, CT = ground contact time, PvGRF = peak vertical ground reaction force, RvGRF = relative vertical ground reaction force, CI = confidence interval, n.s. = no significant difference

4. 考察

(1) 加齢に伴う両脚 CMJ および片脚 CMJ のキネティクスの変化

はじめに、CMJ の跳躍高についてみると、加齢とともに CMJ-JH は増加することが認められ (Table 8)、これは研究課題 1 および先行研究 (Focke et al., 2013 ; Temfemo et al., 2009) と同様の傾向を示した。また、SCMJ-JH についても CMJ-JH と同様に、加齢とともにその値は増加することが認められ (Table 9)、研究課題 1 と同様の傾向であった。したがって、CMJ の跳躍高は、両脚と片脚いずれにおいても、加齢とともに類似した傾向で増加する可能性があると考えられる。次に、CMJ の最大地面反力についてみると、加齢とともに CMJ-PvGRF は増加した (Table 8)。この結果は、先行研究 (Jones et al., 2020 ; Focke et al., 2013) と同様であった。これまでの研究において、SCMJ-PvGRF に対する年齢の影響について報告したものは見当たらないが、本研究の結果から SCMJ-PvGRF についても CMJ-PvGRF で示された傾向と同様に、加齢とともにその値は増加することが示された (Table 9)。先行研究では、CMJ-PvGRF の増加は成長による体格の増加の影響を受けることが明らかとなっている (Focke et al., 2013)。このことを考慮すると、本研究の対象者についても、加齢に伴い体重は増加する傾向にあることから (Table 7)、CMJ-PvGRF および SCMJ-PvGRF の増加は、発育に伴う体格の増加が影響したものと推察される。次に、CMJ の相対地面反力についてみると、CMJ-RvGRF は 11—12 歳および 13—15 歳群ではそれ以前の年齢群よりも有意に大きく (Table 8)、SCMJ-RvGRF は 13—15 歳群では 7—10 歳群よりも有意に大きいことが認められた (Table 9)。これらの結果は、CMJ と SCMJ の vGRF は、体重の要因を考慮した場合でも、加齢とともに増加することを示唆している。Lloyd et al. (2011) は、加齢に伴う CMJ の遂行能力の向上は、CMJ の運動パターンと長時間の CT を考慮すると、自然に加速されたコンセントリック筋力の適応である可能性を示唆している。したがって、加齢に伴う CMJ-PvGRF および SCMJ-PvGRF の増加には、加齢に伴うコンセントリック筋力の増加 (Seger and Thorstensson, 2000) が影響しているものと推察される。一方で、CMJ-RvGRF は年齢間で変化しないという報告も存在する (Focke et al., 2013, Jones et al., 2020)。これに

は、対象者の年齢範囲あるいは CMJ の遂行能力の相違が影響している可能性があると考えられる。いずれにせよ、CMJ-RvGRF および SCMJ-RvGRF を年齢群間で比較した研究はほとんどないために、今後の研究でさらに検討する必要がある。

(2) 加齢に伴う両脚 RJ および片脚 RJ のキネティクスの変化

次に、加齢に伴う RJ のキネティクス変数の変化についてみると、RJ-index と RJ-JH は増加することが認められた (Table 10)。加齢に伴うこれらの変化傾向は、研究課題 1 および先行研究 (Endo et al., 2008) と一致していた。このことから、RJ-index と RJ-JH は加齢に伴い上昇することが示唆された。また、SRJ-index および SRJ-JH についても加齢とともにその値は増加することが認められ (Table 11)、加齢による SRJ-index および SRJ-JH の変化傾向は、RJ と同様であることが示された。RJ-CT は、各年齢群間で有意な差は認められなかった (Table 10)。したがって、研究課題 1 や先行研究 (Endo et al., 2008) で示されているように、RJ-CT については年齢による影響を受けず、年齢間で変化しないことが明らかとなった。一方で SRJ-CT についてみると、9—10 歳と比較して 11—15 歳で有意に長いことが認められた (Table 11)。10 歳以降で SRJ-CT が長くなる傾向は研究課題 1 と一致しており、SRJ-CT は 10 歳を境として増加する可能性が示唆された。

加齢に伴うジャンプ能力の変化は、力発揮能力 (Lloyd et al., 2011) と跳躍動作 (Wdowski et al., 2020) の変化に依存するとされている。このために、RJ と SRJ において接地時間の変化傾向に相違が生じている要因には、力発揮能力や跳躍動作の変化が影響している可能性がある。そこで、RJ および SRJ における加齢に伴う vGRF の変化についてみると、RJ-PvGRF と SRJ-PvGRF は加齢とともにその値は増加することが認められた (Table 10, 11)。この点については、CMJ-PvGRF および SCMJ-PvGRF と同様に、発育に伴う体格の増加が影響したものと推察される。一方で、RJ-RvGRF は 7—8 歳群と比較して 9—15 歳群で有意に大きい値を示したが (Table 10)、SRJ-RvGRF は 7—8 歳群と 9—10 歳群の間にのみ有意な差が認められた (Table 11)。本研究は、RJ と SRJ の vGRF に対する年齢の影響を報告し

た最初の研究である。本研究の結果から、RJ-RvGRF は加齢に伴って増加するが、SRJ-RvGRF は加齢による変化はない可能性があることが示された。

RJ のような短い接地時間が要求される Short SSC 運動は、速いエキセントリック動作の後、即座にコンセントリック動作を行うことが特徴である (Krzyszowski et al., 2022)。コンセントリックおよびエキセントリック筋力は、年齢が上がるにつれて増加することが示されている (Seger and Thorstensson, 2000)。したがって、RJ-RvGRF が加齢とともに増加する要因の 1 つには、加齢に伴うコンセントリックおよびエキセントリック筋力の増加が影響しているものと推察される。上述したような、加齢に伴うコンセントリックおよびエキセントリック筋力の増加を考慮すると、SRJ-RvGRF についても加齢に伴って増加することが予想される。しかしながら、本研究の結果から SRJ-RvGRF において年齢群間に有意差が認められたのは、7—8 歳群と 9—10 歳群の間のみであった。SRJ は片脚で体を支える必要があるため、姿勢制御による安定化が必要となる (荻山ほか, 2013)。これに加えて、SRJ では片脚で支える必要のある重量が RJ の 2 倍となる。したがって、こうした運動の諸条件の相違が、加齢に伴う相対地面反力の変化傾向の相違に影響した可能性がある。最後に、研究課題 1 で示したように、接地時間に対して RJ と SRJ で体重の影響は変わらないこと (日置ほか, 2022) を考慮すると、SRJ において 10 歳以降で接地時間が延長する要因の一つには、SRJ-RvGRF が変化しないことが影響していることが考えられる。

5. 要約

本研究では、小学生および中学生の男子を対象とし、両脚および片脚で実施する CMJ と RJ の力発揮能力に関する発達特性について、鉛直地面反力を手掛かりに検討することが目的であった。本研究における主な結果は以下の通りである。

- (1) CMJ と SCMJ の跳躍高、最大地面反力および相対地面反力は、加齢に伴って同様の傾向で変化することが示された。

(2) RJ と SRJ の RJ-index (SRJ-Index), 跳躍高および最大地面反力は, 加齢とともに同様の傾向で変化することが示された.

(3) RJ の相対地面反力は加齢に伴い増加するのに対して, SRJ の相対地面反力は加齢に伴う変化は認められなかった.

以上のことから, 加齢に伴う CMJ のキネティクス変数の変化は, 両脚と片脚で同様の傾向を示すことが示唆された. さらに, 加齢に伴う RJ のキネティクス変数の変化は両脚と片脚で一部異なっており, 相対的な力発揮の経年的適応に違いが生じていることが示唆された.

VII. 両脚および片脚跳躍における跳躍動作の発達過程 (研究課題 3)

1. 目的

研究課題 2 では、両脚および片脚 SSC 運動における加齢に伴う力発揮能力の変化について検討した。その結果、CMJ と SCMJ の力発揮能力については、加齢に伴い類似した変化傾向を示すことが明らかとなった。一方で、RJ と SRJ の接地時間および相対地面反力は異なる変化傾向を示し、加齢に伴う SRJ の接地時間が延長する要因については、相対地面反力が年齢間で変化しないことが影響している可能性が示唆された。これらのことを踏まえると、加齢に伴う RJ および SRJ の発達度合いに対しては、力発揮能力の変化だけではなく、跳躍動作の変化も影響することが推察される。これらのことから、RJ と SRJ に焦点を当てながら、加齢に伴う跳躍動作の変化についても明らかにすることができれば、バイオメカニクスの観点から子どもの跳躍能力の発達の全容を捉えることができると考えられる。

図子・高松 (1996) は、RJ と類似した運動である RDJ について動作特性を検討しており、膝関節は接地瞬間までに全屈曲変位の 48.6% 屈曲していること、この屈曲率が大きいほど接地時間が短く、滞空時間が長くなり、最終的に RDJ-index が高くなることを報告している。このために、RDJ-index を高めるためには、接地直前の局面において膝関節を瞬時に屈曲する着地動作 (以下、「踏切準備動作」と略す) が重要であることを示唆している。さらに、RJ では接地前から膝関節を屈曲した姿勢で接地することを意識した姿勢づくりを指導することで、膝関節の接地瞬間から最大屈曲までの角度変位が小さくなり、RJ-index が増加したことが報告されている (小森ほか, 2012)。これらのことから、RJ において RJ-index を高めるためには、接地局面における膝関節の屈曲範囲を小さくする跳躍動作が重要な 1 つの技術的な要素になると考えられる。

加齢に伴う RJ の跳躍動作の変化について遠藤 (2008) は、10 歳から 17 歳の男児を対象に検討しており、いずれの年代においても相対的に RJ 能力に優れるタイプは、踏切準備動作を行っており、それに関連して接地局面における膝および股関節の角度変位を小さく

して RJ を遂行することで、高い RJ-index を獲得していたことを報告している。一方で、
荻山ほか (2012) は、SRJ の動作特性について RJ と比較すると、踏切前半では下肢 3 関節
の屈曲範囲が大きく、踏切後半では股関節における伸展範囲が小さいことを報告しており、
踏切動作は RJ と SRJ で異なる特徴があることを示唆している。こうした RJ と SRJ の動作
特性の相違を考慮すると、RJ と SRJ とでは加齢に伴う動作の変化についても異なる可能性
が推察される。また、RDJ ではできるだけ短時間で跳ぶためには、下肢の各関節の運動範
囲を小さくすることが必要であることが示唆されている (図子・高松, 1995)。加えて、先
述したように踏切準備動作は、接地時の下肢関節の角度変位を小さくし、短い接地時間で
高く跳ぶために重要な動作である。これらのことを考慮すると、研究課題 1 および研究課
題 2 で示された RJ と SRJ における接地時間の変化傾向の相違に対しては、加齢に伴う踏
切準備動作の発達度合いや下肢 3 関節の角度変位が異なることが影響している可能性があ
る。

そこで研究課題 3 では、加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍動作の変化について、各跳躍
運動のキネマティクスを手掛かりに検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 対象者

対象者は、トレーニング等を実施していない男子児童および生徒 86 名とした (Table 12)。
研究課題 2 と同様に、各種変数に対する年齢による影響を検討するために対象者を 4 つの
年齢区分 (7—8 歳, 9—10 歳, 11—12 歳, 13—15 歳) に分類した。対象者は、実験前およ
び実験中にプライオメトリクスやレジスタンストレーニングは行っていない者であった。
また、全ての対象者は、定期的に体育授業に参加している者であった。本研究は、中部学
院大学研究倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号: C-20-0022)。本研究の全ての対象
者は 18 歳未満であったため、研究開始前に保護者からインフォームド・コンセントを得
た。

Table 12. Values for group characteristics.

Age	n	Body height (m)	Body mass (kg)
7–8	17	1.19 ± 0.04	23.46 ± 2.38
9–10	20	1.32 ± 0.05	31.34 ± 7.07
11–12	19	1.44 ± 0.09	41.23 ± 8.12
13–15	28	1.62 ± 0.09	55.42 ± 9.71

Abbreviations: n = number, m = meter, kg = kilogram

(2) 実験方法

本研究では、RJ と SRJ を実験運動とした。研究課題 1 および研究課題 2 と同様に、対象者には、実験日の 1 週間前から本研究の実験試技に精通した陸上競技選手によるデモンストレーションを見せながら、RJ および SRJ の練習を行わせた。実験に先立ち、対象者は動的ストレッチを含むウォーミングアップを 10 分間行った。その後、実験運動についての説明を受け、各跳躍運動を 1 回ずつ練習した。RJ の実施方法については遠藤ほか (2007) の方法を、SRJ の実施方法については Kariyama et al. (2013) の方法を参考にした。全ての跳躍運動は、フォースプレート (PH-6210A, 0.9×0.9 m ; DKH 社製) 上で実施した。同跳躍運動の試技間には 1 分間の休息を設け、各跳躍運動間には 2 分間の休息を設けた。対象者には、RJ と SRJ においてそれぞれ直立姿勢と片脚立ちの姿勢から、できるだけ高くかつできるだけ接地時間を短く、5 回連続してジャンプするよう指示した。SRJ に使用する脚は、対象者自身が決定した。SRJ を最大努力で行うために遊脚の振り込みは制限しなかったが、本研究の対象者で遊脚の振り込みを行った者はいなかった。跳躍運動の順序の影響を排除するため、跳躍運動の順番はランダムに行った。一連の動作が完了できなかった試技については、1 分後に再度測定を行った。全ての跳躍運動で上半身の影響を排除するために、対象者には腰に手を当てて跳躍を行うよう指示した (McMahon et al., 2017)。

(3) 測定項目および測定方法

両跳躍動作を、対象者の側方から高速度ビデオカメラ (スポーツコーチングカム, スポーツセンシング社製) を用いて、毎秒 300 フレーム、露出時間 1 / 2000 秒で撮影した。また、両跳躍運動はフォースプレート (PH-6210A, 0.9×0.9 m ; DKH 社製) 上で行うことにより、地面反力を測定した。フォースプレートについては 1000 Hz にて計測を行った。撮影されたビデオ画像をパーソナルコンピューターに取り込み、ビデオ動作解析システム (FrameDIAS IV, DKH 社製) を用いて、毎秒 150 フレームで身体分析点 7 点 (足先・拇指球・かかと・外果・腓骨頭・大転子・肩峰) と較正マーク (対象者の近傍 4 点) の 2 次元座

標を読み取った。動作分析は、フォースプレートへの接地 20 フレーム前から離地後 10 フレームとした。画像から読み取った身体各部の座標は、較正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数 (x 成分 : 8.5–17.8Hz, y 成分 : 11.7–17.8Hz) を Winter (1990) の方法に基づいて決定し、4 次のバターワース型ローパスフィルタを用いて平滑化した。

(4) 算出項目

それぞれの跳躍運動の遂行能力の指標として、RJ については跳躍高および RJ-index を、SRJ については跳躍高および SRJ-index をそれぞれ算出した。滞空時間および接地時間は Ex-Jumper (IFS-63A, DKH 社製) を用いて算出した。跳躍高は、滞空時間を以下の式に代入することにより算出した (Asumssen and Bonde-Perterson, 1974)。

$$\text{跳躍高} = 1/8 \cdot 9.81 \cdot (\text{滞空時間})^2$$

RJ-index および SRJ-index については、以下の式によって算出した (遠藤ほか, 2007)。

$$\text{RJ-index (SRJ-index)} = \text{跳躍高} / \text{接地時間}$$

足関節は拇指球と外顆、腓骨頭と外顆それぞれを結んだ線分、膝関節は腓骨頭と外顆、大転子と腓骨頭それぞれを結んだ線分、股関節は大転子と腓骨頭、肩と大転子それぞれを結んだ線分がなす角度と定義した。各関節角度の最小値を最大屈曲位と定義し、接地時 (Touch-down)、最大屈曲位 (Mid-point)、離地時 (Toe-off) の関節角度を算出した。また、接地時の関節角度から最大屈曲位の関節角度を減じた値を屈曲量、離地時の関節角度から最大屈曲位の関節角度を減じた値を伸展量として算出した。さらに、各関節の角度変位を時間微分し、関節角速度を算出した。加えて、着地前の準備動作について検討するために、関子・高松 (1996) を参考にして、膝関節角速度から、着地前における関節の屈曲開始地点を算出し、着地後の全屈曲量に対する着地前の屈曲量の割合 (以下、「膝関節屈曲率」と略す) を算出した。また、着地前に膝関節の屈曲動作がみられる場合を踏切準備動作がある者として、各学年群において踏切準備動作を行っている者の人数を算出した。

(5) 動作の分析局面およびデータの規格化・平均化

踏切局面を踏切脚の接地地点から離地地点までとした。各跳躍運動において、各対象者が踏切局面に要した時間を 100 % としてデータを規格化し、5 % ごとに平均した。

(6) 統計処理

各算出項目は、平均値±標準偏差で示した。各測定値における信頼性を確認するために、2 試行間の級内相関係数 (ICC) を算出した。各測定値の正規性の検定には、Shapiro-Wilk 検定を用いた。正規性が確認されたデータについては、一元配置の分散分析を用いて各変数に対する年齢の影響を検討した。分散の等質性は Levene の等分散性の検定を用い、等分散が認められなかった場合は、Welch の調整によって F 比を算出した。等分散が仮定された場合は、Tukey 法により、多重比較検定を行った。等分散が仮定されていない場合は、Games-Howell 法を用いて群間の有意差を決定した。ノンパラメトリックデータについては、有意差を決定するために Kruskal-Wallis 検定を用い、事後検定として Wilcoxon の t 検定を用いた。効果量は、Hedges'g を用いて決定し、0.2-0.5 を小、0.5-0.8 を中、0.8 以上を大として解釈した (Cohen, 1988)。有意水準は、全て危険率を 5%未満とした。全ての統計解析は、IBM SPSS Version 25 (IBM 社製) を使用した。

3. 結果

Shapiro-Wilk 検定の結果、RJ および SRJ の関節角度および関節角度変位は正規分布することが認められた。膝関節屈曲率については、RJ と SRJ のいずれも正規分布していないことが認められた。

Table 13 には、足関節における各ポイント (Touch-down, Mid-point, Toe-off) の関節角度および関節角度変位をそれぞれ示した。はじめに、RJ における関節角度についてみると、Touch-down ($F = 7.7, p < 0.01$), Mid-point ($F = 2.9, p < 0.05$) および Toe-off ($F = 3.4, p < 0.05$) で有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、Touch-down における RJ の足関

節角度は、7—8歳群と比較して11—12歳群および13—15歳群が有意に大きい値を示した。Mid-pointにおけるRJの足関節角度は、7—8歳群と比較して13—15歳群が有意に小さい値を示した。Toe-offにおけるRJの足関節角度は、7—8歳群と比較して13—15歳群が有意に小さい値を示した。SRJにおける関節角度についてみると、Touch-down ($F = 11.6, p < 0.01$)、Mid-point ($F = 5.1, p < 0.01$) で有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、Touch-downにおけるSRJの足関節角度は、7—8歳群と比較して9—10歳群、11—12歳群、13—15歳群が有意に大きい値を示した。Mid-pointにおけるSRJの足関節角度は、7—8歳群と比較して11—12歳群が有意に小さい値を示した。次に、RJにおける足関節角度変位（屈曲範囲、伸展範囲）についてみると、屈曲範囲 ($F = 18.6, p < 0.01$) に有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、RJの足関節屈曲範囲は、7—8歳群と比較して9—10歳群、11—12歳群および13—15歳群が有意に大きく、9—10歳群と比較して13—15歳群が有意に大きい値を示した。SRJにおける足関節角度変位（屈曲範囲、伸展範囲）についてみると、屈曲範囲 ($F = 17.4, p < 0.01$) および伸展範囲 ($F = 4.0, p < 0.05$) に有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、RJの足関節伸展範囲は、7—8歳群と比較して9—10歳群、11—12歳群および13—15歳群が有意に大きい値を示した。SRJの足関節伸展範囲については、7—8歳群と比較して11—12歳群が有意に大きい値を示した。

Table 14には、膝関節における各ポイント（Touch-down, Mid-point, Toe-off）の関節角度および関節角度変位をそれぞれ示した。はじめに、RJにおける関節角度についてみると、Toe-off ($F = 5.3, p < 0.01$) で有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、Toe-offにおけるRJの膝関節角度は、7—8歳群および9—10歳群と比較して13—15歳群が有意に小さい値を示した。SRJにおける関節角度についてみると、全てのポイントで有意な年齢群の主効果は認められなかった。次に、RJにおける膝関節角度変位（屈曲範囲、伸展範囲）についてみると、屈曲範囲、伸展範囲ともに有意な年齢群の主効果は認められなかった。SRJにおける足関節角度変位（屈曲範囲、伸展範囲）についてみると、屈曲範囲 ($F = 3.2, p$

<0.05) に有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、SRJ の足関節伸展範囲は、7—8 歳群と比較して 13—15 歳群が有意に大きい値を示した。

Table 15 には、股関節における各ポイント (Touch-down, Mid-point, Toe-off) の関節角度および関節角度変位をそれぞれ示した。はじめに、RJ における関節角度についてみると、Touch-down ($F = 8.6, p < 0.01$) および Mid-point ($F = 3.1, p < 0.05$) で有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、Touch-down における RJ の股関節角度は、7—8 歳群と比較して 9—10 歳群、11—12 歳群および 13—15 歳群が有意に大きい値を示した。Mid-point における RJ の股関節角度は、7—8 歳群と比較して 13—15 歳群が有意に大きい値を示した。SRJ における関節角度についてみると、Touch-down ($F = 6.3, p < 0.01$)、Mid-point ($F = 3.4, p < 0.05$) および Toe-off ($F = 3.9, p < 0.05$) で有意な年齢群の主効果が認められた。事後検定の結果、Touch-down における SRJ の股関節角度は、7—8 歳群と比較して 13—15 歳群が有意に大きい値を示した。Mid-point における SRJ の股関節角度は、7—8 歳群と比較して 13—15 歳群が有意に大きい値を示した。Toe-off における SRJ の股関節角度は、7—8 歳群と比較して 13—15 歳群が有意に大きい値を示した。次に、RJ における股関節角度変位 (屈曲範囲、伸展範囲) についてみると、有意な年齢群の主効果は認められなかった。SRJ における股関節角度変位 (屈曲範囲、伸展範囲) についてみると、有意な年齢群の主効果は認められなかった。

Table 13. Ankle joint angles and angular displacement in double and single leg rebound jumps.

RkJ							
Age	N.	Touch-down (deg.)	Difference (Effect size)	Mid-point (deg.)	Difference (Effect size)	Toe-off (deg.)	Difference (Effect size)
7-8	17	120.3 ± 10.0		96.8 ± 11.5		144.4 ± 8.1	
9-10	20	126.0 ± 11.3	n.s.	91.1 ± 7.8	n.s.	142.5 ± 5.2	n.s.
11-12	19	131.5 ± 7.9	> 7-8 (1.32)	90.8 ± 7.2	n.s.	141.0 ± 10.7	n.s.
13-15	28	134.5 ± 11.1	> 7-8 (1.36)	88.9 ± 8.5	< 7-8 (0.84)	137.0 ± 8.0	< 7-8 (0.91)
Age	N.	Flexion (deg.)	Difference (Effect size)	Extension (deg.)	Difference (Effect size)		
7-8	17	23.5 ± 9.5		47.6 ± 13.3			
9-10	20	34.9 ± 10.5	> 7-8 (1.17)	51.4 ± 5.7	n.s.		
11-12	19	40.7 ± 6.5	> 7-8 (1.96)	50.2 ± 7.5	n.s.		
13-15	28	45.6 ± 11.5	> 7-8 (2.06) > 9-10 (0.95)	48.1 ± 8.4	n.s.		
SRJ							
Age	N.	Touch-down (deg.)	Difference (Effect size)	Mid-point (deg.)	Difference (Effect size)	Toe-off (deg.)	Difference (Effect size)
7-8	17	115.8 ± 7.2		98.7 ± 7.4		140.7 ± 9.5	
9-10	20	125.5 ± 11.8	> 7-8 (0.99)	94.5 ± 6.8	n.s.	141.5 ± 8.6	n.s.
11-12	19	129.2 ± 10.1	> 7-8 (1.57)	89.6 ± 4.6	< 7-8 (1.24)	142.5 ± 9.0	n.s.
13-15	28	132.3 ± 7.6	> 7-8 (2.22)	93.2 ± 8.2	n.s.	140.2 ± 9.4	n.s.
Age	N.	Flexion (deg.)	Difference (Effect size)	Extension (deg.)	Difference (Effect size)		
7-8	17	17.2 ± 7.8		42.1 ± 10.9			
9-10	20	31.0 ± 13.1	> 7-8 (1.28)	47.0 ± 9.0	n.s.		
11-12	19	39.6 ± 11.3	> 7-8 (2.25)	52.9 ± 8.5	> 7-8 (1.09)		
13-15	28	39.2 ± 10.5	> 7-8 (2.32)	47.0 ± 9.2	n.s.		

Abbreviations: n = number, deg. = degree, RkJ = rebound jump, SRJ = single-leg rebound jump, n.s. = no significant difference

Table 14. Knee joint angles and angular displacement in double and single leg rebound jumps.

RJ							
Age	N.	Touch-down (deg.)	Difference (Effect size)	Mid-point (deg.)	Difference (Effect size)	Toe-off (deg.)	Difference (Effect size)
7-8	17	144.5 ± 8.4		123.7 ± 11.3		168.3 ± 6.2	
9-10	20	148.7 ± 10.6	n.s.	125.6 ± 8.3	n.s.	168.2 ± 6.2	n.s.
11-12	19	149.8 ± 7.9	n.s.	120.9 ± 8.2	n.s.	164.0 ± 7.5	n.s.
13-15	28	151.7 ± 8.0	n.s.	122.4 ± 9.6	n.s.	162.0 ± 6.1	< 7·8 (1.02)
SRJ							
Age	N.	Flexion (deg.)	Difference (Effect size)	Extension (deg.)	Difference (Effect size)		
7-8	17	23.8 ± 14.4		44.6 ± 11.4			
9-10	20	23.1 ± 11.3	n.s.	42.6 ± 9.1	n.s.		
11-12	19	29.0 ± 8.0	n.s.	43.1 ± 10.3	n.s.		
13-15	28	29.3 ± 10.7	n.s.	39.5 ± 9.0	n.s.		
Age	N.	Touch-down (deg.)	Difference (Effect size)	Mid-point (deg.)	Difference (Effect size)	Toe-off (deg.)	Difference (Effect size)
7-8	17	146.9 ± 9.2		129.0 ± 10.6		166.9 ± 8.9	
9-10	20	150.7 ± 8.3	n.s.	129.2 ± 6.3	n.s.	169.2 ± 6.2	n.s.
11-12	19	150.4 ± 7.4	n.s.	125.6 ± 7.3	n.s.	168.5 ± 5.5	n.s.
13-15	28	152.9 ± 6.5	n.s.	127.1 ± 7.5	n.s.	169.1 ± 5.9	n.s.
Age	N.	Flexion (deg.)	Difference (Effect size)	Extension (deg.)	Difference (Effect size)		
7-8	17	17.9 ± 11.2		37.9 ± 11.6			
9-10	20	21.5 ± 8.2	n.s.	40.0 ± 9.8	n.s.		
11-12	19	24.7 ± 9.0	n.s.	42.9 ± 8.5	n.s.		
13-15	28	25.9 ± 7.9	>7-8 (0.85)	42.0 ± 8.6	n.s.		

Abbreviations: n = number, deg. = degree, RJ = rebound jump, SRJ = single-leg rebound jump, n.s. = no significant difference

Table 15. Hip joint angles and angular displacement in double and single leg rebound jumps.

RJ							
Age	N.	Touch-down (deg.)	Difference (Effect size)	Mid-point (deg.)	Difference (Effect size)	Toe-off (deg.)	Difference (Effect size)
7-8	17	145.0 ± 8.8		132.4 ± 12.1		165.64 ± 7.0	
9-10	20	155.6 ± 13.1	>7-8 (0.99)	142.5 ± 14.4	n.s.	169.87 ± 6.9	n.s.
11-12	19	159.3 ± 10.6	>7-8 (1.50)	141.2 ± 14.3	n.s.	167.92 ± 8.3	n.s.
13-15	28	160.0 ± 8.3	>7-8 (1.79)	144.5 ± 11.6	>7-8 (1.04)	170.74 ± 5.0	n.s.
Age	N.	Flexion (deg.)	Difference (Effect size)	Extension (deg.)	Difference (Effect size)		
7-8	17	12.5 ± 13.4		33.2 ± 9.7			
9-10	20	13.1 ± 9.2	n.s.	27.3 ± 11.0	n.s.		
11-12	19	18.2 ± 10.6	n.s.	26.8 ± 8.7	n.s.		
13-15	28	15.6 ± 7.8	n.s.	26.3 ± 11.4	n.s.		
SRJ							
Age	N.	Touch-down (deg.)	Difference (Effect size)	Mid-point (deg.)	Difference (Effect size)	Toe-off (deg.)	Difference (Effect size)
7-8	17	140.1 ± 11.8		126.7 ± 15.9		155.7 ± 10.2	
9-10	20	148.3 ± 8.9	n.s.	135.0 ± 8.8	n.s.	160.6 ± 8.2	n.s.
11-12	19	147.2 ± 6.9	n.s.	132.8 ± 8.2	n.s.	157.9 ± 8.9	n.s.
13-15	28	152.1 ± 8.3	>7-8 (1.12)	137.4 ± 10.6	>7-8 (0.76)	164.0 ± 6.9	>7-8 (0.98)
Age	N.	Flexion (deg.)	Difference (Effect size)	Extension (deg.)	Difference (Effect size)		
7-8	17	13.4 ± 14.6		29.0 ± 10.9			
9-10	20	13.3 ± 6.0	n.s.	25.6 ± 8.5	n.s.		
11-12	19	14.4 ± 8.8	n.s.	25.1 ± 9.3	n.s.		
13-15	28	14.7 ± 7.3	n.s.	26.5 ± 8.8	n.s.		

Abbreviations: n = number, deg. = degree, RJ = rebound jump, SRJ = single-leg rebound jump, n.s. = no significant difference

Fig. 5 には、RJ 中の関節角度について、時系列的な変化を規格化時間で示した。足関節角度については、7—8 歳群が 13—15 歳群と比較して、0—10%時点において有意に小さく、45%—100%時点で有意に大きいことが認められた。また、7—8 歳群は 11—12 歳群と比較して 0—5%時点で有意に小さく、70%時点で有意に大きいことが認められた。膝関節角度については、7—8 歳群が 13—15 歳群と比較して、0—10%時点において有意に小さく、70—100%時点で有意に大きいことが認められた。股関節角度については、7—8 歳群は 13—15 歳群と比較して、0—35%時点で有意に小さいことが認められた。また、7—8 歳群は、11—12 歳群と比較して 0—25%時点で、9—10 歳群と比較して 0—20%時点で有意に小さいことが認められた ($p < 0.05$)。

Fig. 6 には、SRJ 中の関節角度について、時系列的な変化を規格化時間で示した。足関節角度については、7—8 歳群が 13—15 歳群と比較して、0—10%時点において有意に小さく、50%—65%時点で有意に大きいことが認められた。また、7—8 歳群は 11—12 歳群と比較して 0—5%時点で有意に小さく、20—70%時点で有意に大きいことが認められた。膝関節角度については、有意な差は認められなかった。股関節角度については、7—8 歳群は 13—15 歳群と比較して、0—45%および 95—100%時点で有意に小さいことが認められた。また、7—8 歳群は 11—12 歳群と比較して 5—20%時点で有意に小さく、9—10 歳群と比較して 0—25%時点で有意に小さいことが認められた ($p < 0.05$)。

Fig. 7 には、RJ 中の関節角速度について、時系列的な変化を規格化時間で示した。足関節角速度については、7—8 歳群が 13—15 歳群と比較して、5—50%時点において有意に大きく、100%時点で有意に小さいことが認められた。また、7—8 歳群は 11—12 歳群と比較して 5—30%時点および 40%時点で有意に大きく、7—8 歳群は 9—10 歳群と比較して 5—20%時点で有意に大きく、80—85%時点で有意に小さいことが認められた。膝関節角速度については、7—8 歳群が 13—15 歳群と比較して、25—65%時点において有意に大きく、95—100%時点で有意に小さいことが認められた。また、7—8 歳群は 11—12 歳群と比較して 25—60%時点で有意に大きく、95—100%時点で有意に小さいこと、7—8 歳群は 9—10

歳群と比較して 30–40%時点で有意に大きいことが認められた。股関節角速度については、7–8 歳群は 13–15 歳群と比較して、20–60%時点で有意に大きいことが認められた。また、7–8 歳群は 11–12 歳群と比較して 20–60%時点で有意に大きく、9–10 歳群と比較して 25–40%時点で有意に大きいことが認められた ($p < 0.05$)。

Fig. 8 には、SRJ 中の関節角速度について、時系列的な変化を規格化時間で示した。足関節角速度については、7–8 歳群が 13–15 歳群と比較して、5–35%時点において有意に大きいことが認められた。また、7–8 歳群は 11–12 歳群と比較して 0–15%時点で、9–10 歳群と比較して 5–15%時点で有意に大きいことが認められた。膝関節角速度については、7–8 歳群が 13–15 歳群と比較して、0%、25–45%時点において有意に大きいこと、95%時点で有意に小さいことが認められた。また、7–8 歳群は 9–10 歳群および 11–12 歳群と比較して 30–40%時点で有意に大きいことが認められた。股関節角度については、7–8 歳群は 11–12 歳群および 13–15 歳群と比較して、30–55%時点で有意に大きいことが認められた。また、7–8 歳群は 11–12 歳群と比較して 30–45%時点で有意に大きいことが認められた ($p < 0.05$)。

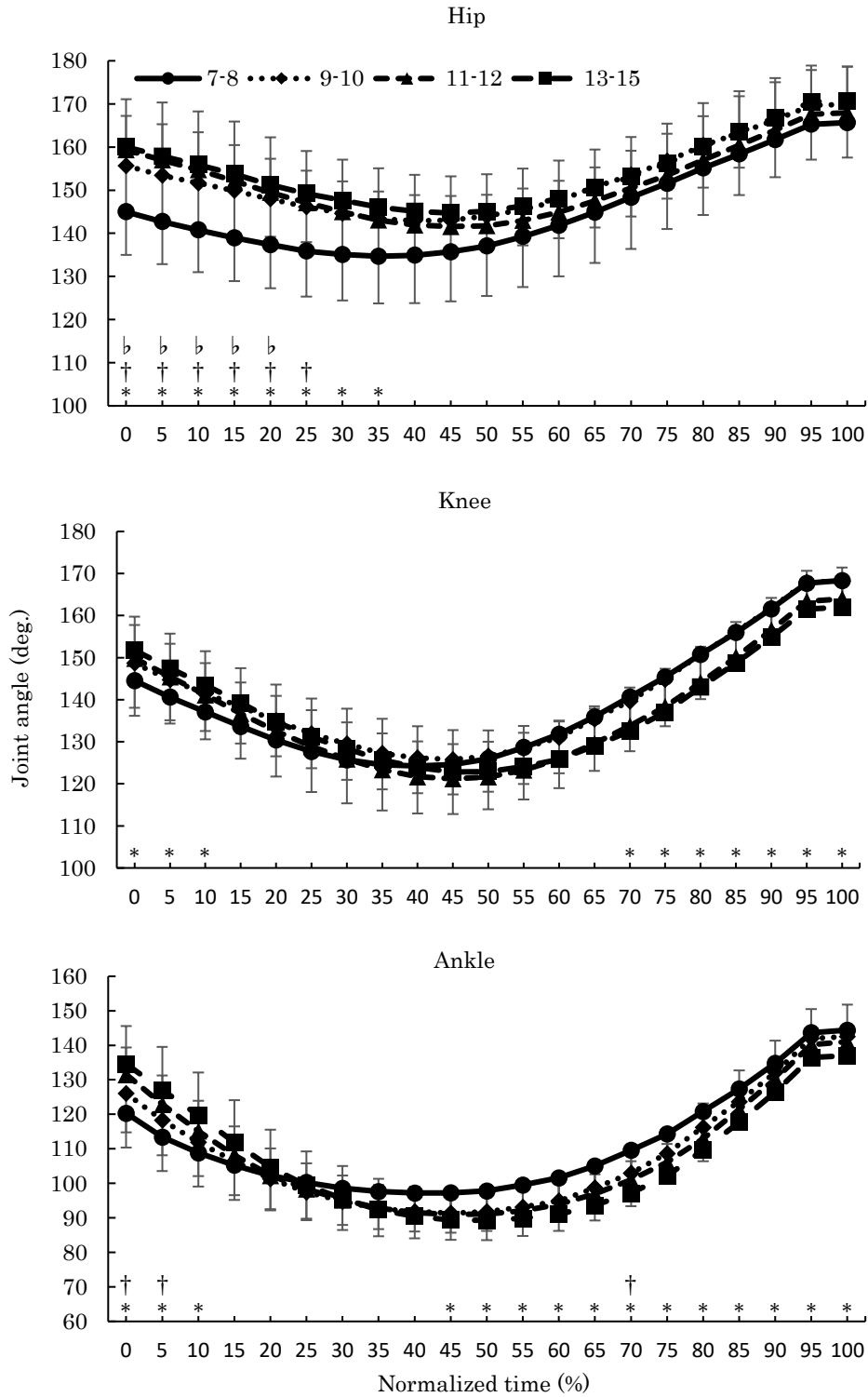


Figure 5. Averaged patterns of joint angle of hip, knee and ankle joints of RJ in each groups.

*: 7-8 vs. 13-15, †: 7-8 vs. 13-15, b: 7-8 vs. 13-15 ($p < 0.05$)

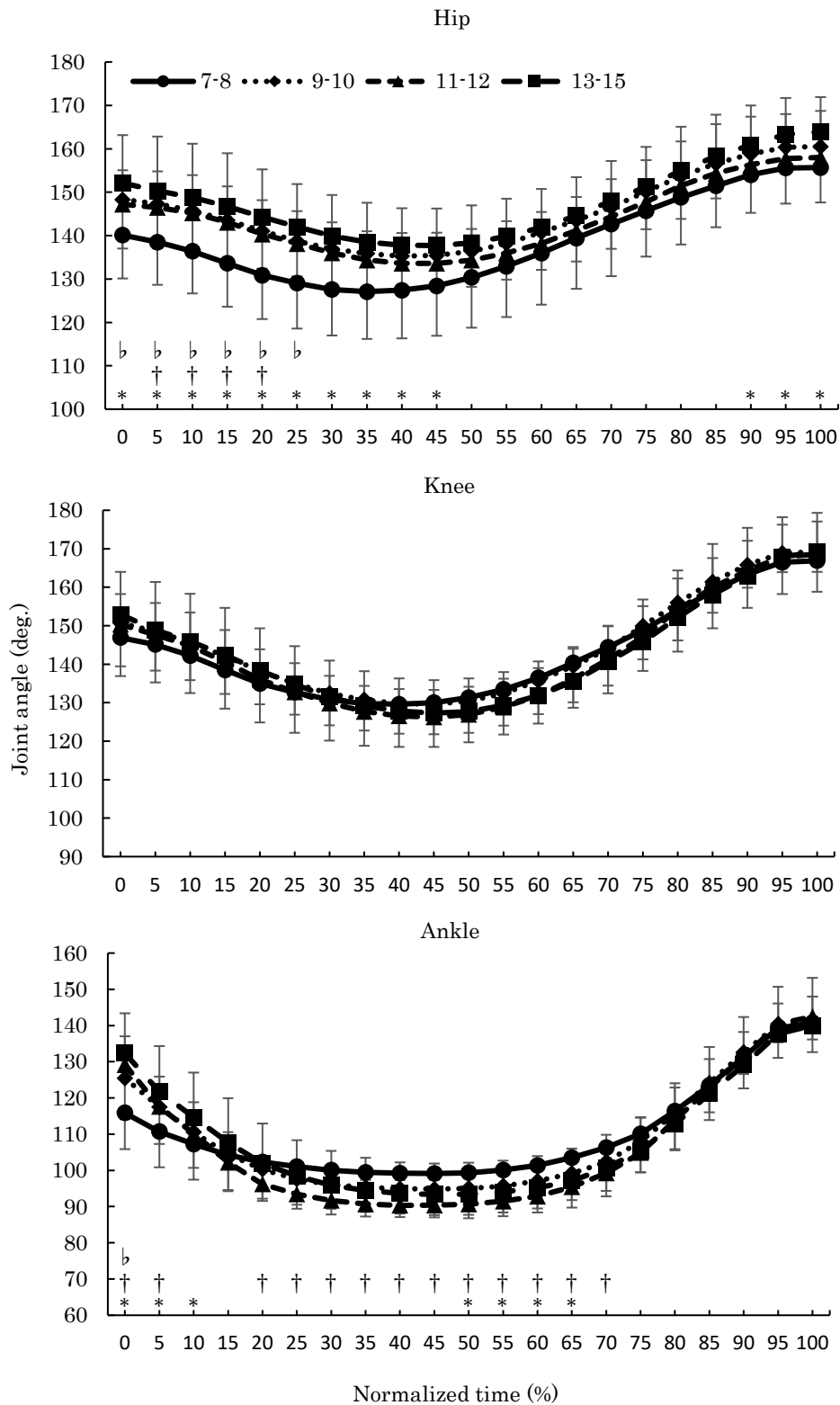


Figure 6. Averaged patterns of joint angle of hip, knee and ankle joints of SRJ in each groups.

*: 7-8 vs. 13-15, †: 7-8 vs. 13-15, ‡: 7-8 vs. 13-15 ($p < 0.05$)

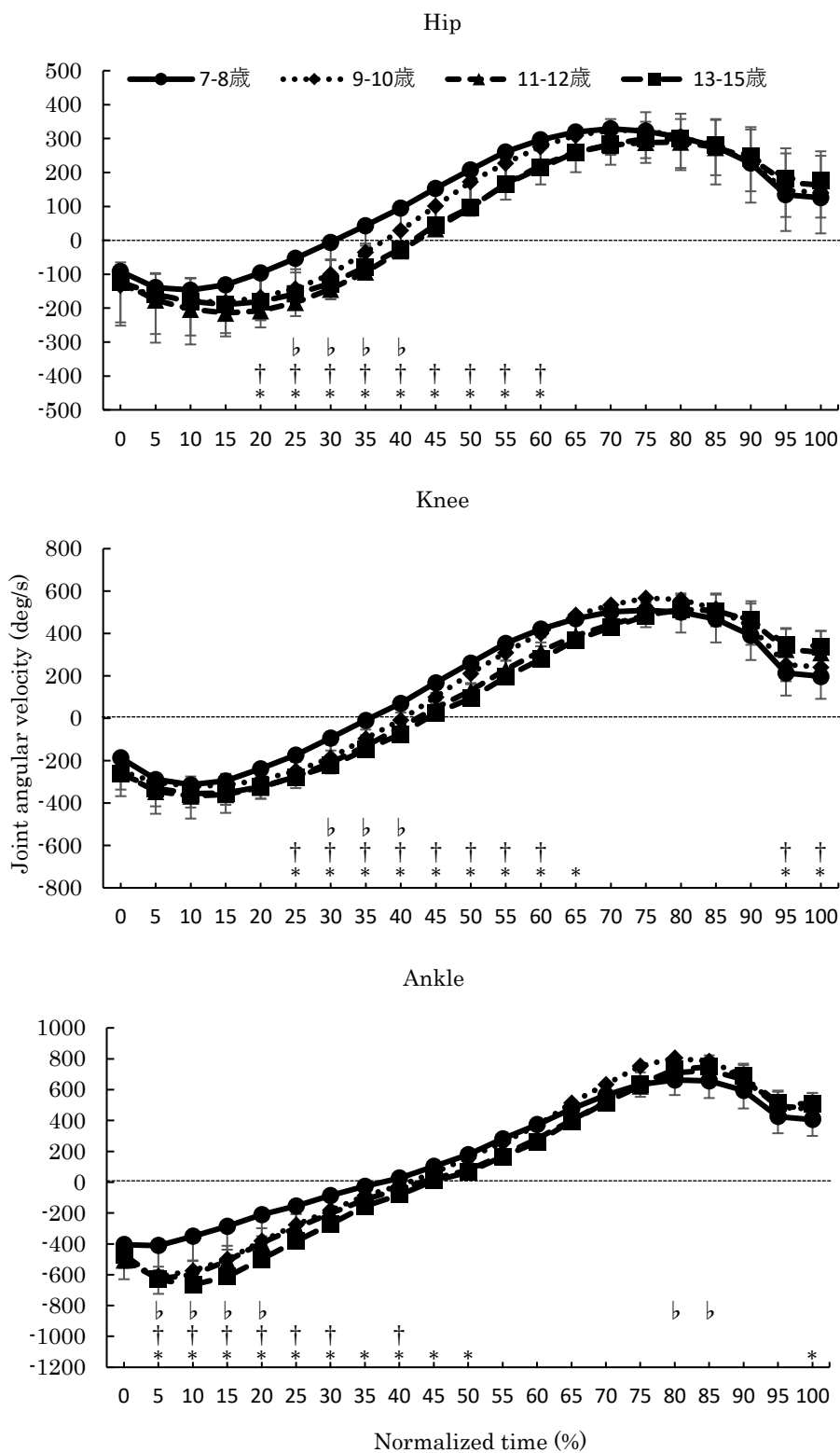


Figure 7. Averaged patterns of joint angle velocity of hip, knee and ankle joints of RJ in each groups.

*: 7-8 vs. 13-15, †: 7-8 vs. 13-15, b: 7-8 vs. 13-15 ($p < 0.05$)

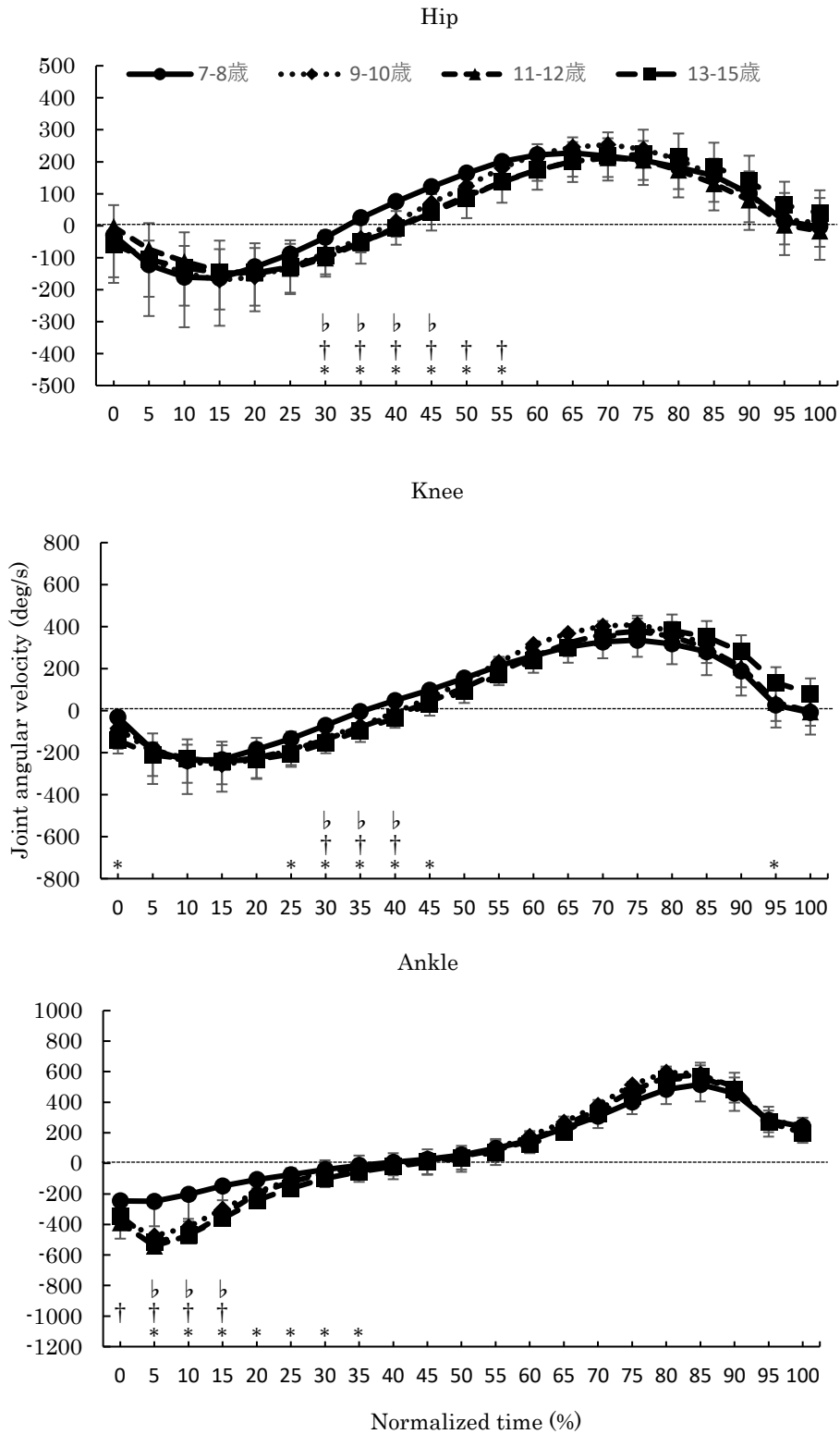


Figure 8. Averaged patterns of joint angle velocity of hip, knee and ankle joints of SRJ in each groups.

*: 7-8 vs. 13-15, †: 7-8 vs. 13-15, b: 7-8 vs. 13-15 ($p < 0.05$)

Table 16 には、膝関節屈曲率と RJ および SRJ の各種変数との関係を示した。その結果、RJ の膝関節屈曲率は、RJ-index ($p < 0.05$) および RJ-CT ($p < 0.05$) との間に有意な相関関係が認められた。また、SRJ の膝関節屈曲率は、SRJ-index ($p < 0.05$) および SRJ-JH ($p < 0.05$) との間に有意な相関関係が認められた。

Table 17 には、RJ における踏切準備動作の有無と学年群の人数のクロス集計表を示した。 χ^2 検定の結果、踏切準備動作の有無における各学年群の人数の偏りは有意であった ($\chi^2 = 12.4$, $p < 0.01$)。また、残差分析を行った結果、踏切準備動作を行っている者は、期待度数に対して、7—8 歳群で有意に少なく、13—15 歳群で有意に多いことが認められた ($p < 0.05$)。

Table 18 には、SRJ における踏切準備動作の有無と各学年群の人数のクロス集計表を示した。 χ^2 検定の結果、踏切準備動作の有無における各学年群の人数の偏りは有意ではなかった。

Table 19 には、RJ および SRJ における膝関節屈曲率を示した。Kruskal-Wallis 検定の結果、RJ と SRJ のいずれも膝関節屈曲率に年齢群の有意な主効果は認められなかった。

Table 16. Correlation coefficients between knee flexion rate and RJ and SRJ variables

RJ			
	RJ-index	RJ-JH	RJ-CT
Flexion ratio	0.262*	0.123	-0.272*
SRJ			
	SRJ-index	SRJ-JH	SRJ-CT
Flexion ratio	0.274*	0.310*	0.111

Abbreviations: RJ = rebound jump, SRJ = single-leg rebound jump, JH = jump height, CT = ground contact time

**: $p < 0.05$*

Table 17. Cross table of preparatory action and age group in RJ.

Preparatory action		Age group				Total
		7-8	9-10	11-12	13-15	
Yes	observed frequency	9	17	15	26	67
	adjusted residual	-3.08 *	0.67	-0.10	2.11 *	
No	observed frequency	8	3	4	2	17
	adjusted residual	3.08 *	-0.67	0.10	-2.11 *	
Total		17	20	19	28	84

* : $p < 0.05$

Table 18. Cross table of preparatory action and age group in SRJ.

Preparatory action		Age group				Total
		7-8	9-10	11-12	13-15	
Yes	observed frequency	5	11	6	16	38
	adjusted residual	-1.47	1.00	-1.36	1.55	
No	observed frequency	12	9	13	12	46
	adjusted residual	1.47	-1.00	1.36	-1.55	
Total		17	20	19	28	84

* : $p < 0.05$

Table 19. Knee joint flexion rate in RJ and SRJ.

Age	N.	RJ		SRJ	
		Flexion ratio (%)	Difference (Effect size)	Flexion ratio (%)	Difference (Effect size)
7–8	17	18.3 ± 24.8		1.3 ± 2.0	
9–10	20	31.9 ± 24.5	n.s.	6.4 ± 8.8	n.s.
11–12	19	20.3 ± 16.5	n.s.	7.6 ± 10.7	n.s.
13–15	28	23.8 ± 17.4	n.s.	7.8 ± 9.9	n.s.

Abbreviations: n = number, RJ = rebound jump, SRJ = single-leg rebound jump, n.s. = no significant difference

4. 考察

(1) 加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍動作の変化

はじめに、RJ と SRJ における関節角度の変化についてみると、Touch-down については、RJ と SRJ のいずれにおいても、加齢に伴って足関節および股関節角度は大きくなること、膝関節角度は変化しないことが認められた (Table 13, 14, 15). Mid-point については、RJ と SRJ のいずれにおいても、加齢に伴って足関節角度は小さくなり、股関節角度は大きくなること、膝関節角度は変化しないことが認められた (Table 13, 14, 15). Toe-off については、加齢に伴って RJ の足関節および膝関節角度は小さくなるが、SRJ は変化しないこと、SRJ の股関節角度は大きくなるが、RJ では変化しないことが認められた (Table 13, 14, 15). また、関節角度の時系列的なパターンについてみると、加齢に伴う踏切後半の関節角度の時系列的なパターンの変化は一部異なるものの、加齢に伴う踏切の前半から中間の関節角度の時系列的なパターンの変化は、RJ と SRJ で類似していることが認められた (Fig. 5, 6). さらに、関節角速度の時系列的なパターンについてみても、加齢に伴う RJ と SRJ の変化傾向については、ほぼ類似していた (Fig. 7, 8). 以上の関節キネマティクスの結果から、RJ および SRJ においては、一部加齢に伴う変化傾向に違いが認められるものの、総合的に判断して、踏切中の関節角度および関節角速度の加齢に伴う変化傾向は、RJ と SRJ で類似していることが考えられる.

次に、加齢に伴う RJ と SRJ の屈曲範囲および伸展範囲についてみると、足関節は RJ と SRJ のいずれも屈曲範囲が増大するものの、伸展範囲は変化しないことが認められた (Table 13). また、股関節については、RJ と SRJ のいずれも加齢に伴う屈曲範囲と伸展範囲の変化は認められなかった (Table 15). したがって、加齢に伴う足関節および股関節の動作については、RJ と SRJ で類似していることが伺える. 一方で、膝関節の屈曲範囲についてみると、RJ では加齢に伴う変化は認められないのに対して、SRJ では加齢に伴って有意に増加することが認められた (Table 14). 荻山ほか (2012) は、SRJ の動作特性について調査しており、SRJ は RJ と比較して、下肢関節の屈曲範囲が大きいことを報告している.

また、SRJ では片脚あたりの落下高と自重負荷が大きいため、屈曲範囲を大きくすることで、落下高と自重負荷による身体の持つエネルギーを緩衝していることを示唆している。このことを考慮すると、加齢とともに SRJ における膝関節の屈曲範囲が増大している要因として、加齢に伴う跳躍高の増加（すなわち、落下高の増加）と体重の増加（すなわち自重負荷の増加）が挙げられ、接地中に落下高と自重負荷を受け止める必要があるために、SRJ では膝関節の屈曲範囲を大きくしていることが考えられる。加えて、図子・高松（1995）は、RDJ において、できるだけ短時間で跳ぶためには、下肢の各関節の運動範囲を小さくすることが必要であると示唆している。すなわち、RJ における接地時間の長短には、下肢 3 関節の運動範囲の大きさが影響していることが推察される。以上のことを踏まえると、研究課題 1 および研究課題 2 で明らかとなった RJ において接地時間が加齢に伴っても変化しないという結果の要因として、RJ では加齢に伴って下肢関節の運動範囲が変化していないことが関連している可能性がある。逆に、SRJ において加齢に伴って接地時間が延長している要因については、加齢に伴う膝関節の屈曲範囲の増大が影響していることが関連している可能性があると考えられる。

(2) 加齢に伴う RJ および SRJ の踏切準備動作の変化

接地直前に膝関節を瞬時に屈曲する踏切準備動作は、RJ において短い踏切時間で高い跳躍高を獲得するために重要な跳躍動作であることが示唆されている（図子・高松，1996）。そこで、本研究では加齢に伴う RJ と SRJ の踏切準備動作の変化についても検討した。

まず、膝関節屈曲率が小学生および中学生の RJ (SRJ) パフォーマンスに及ぼす影響を明らかにするために、RJ および SRJ の膝関節屈曲率と RJ および SRJ の各変数との関係を検討した。その結果、RJ の膝関節屈曲率は RJ-index および RJ-CT と有意な相関関係が認められた (Table 16)。先行研究では、膝関節屈曲率と RDJ-index、接地時間、滞空時間との間に有意な相関関係が認められると報告されている（図子・高松，1996）。本研究の RJ の結果はこの先行研究と概ね一致する結果であり、小学生および中学生においても踏切準備動

作は高い RJ パフォーマンスを獲得するための重要な動作の 1 つであることが明らかとなった。また、SRJ についてみると、膝関節屈曲率と SRJ-index および SRJ-JH と有意な相関関係があることも認められた (Table 16)。これまでに、SRJ の膝関節屈曲率について検討したものは存在しないが、本研究の結果から SRJ においても踏切準備動作は SRJ のパフォーマンスを高めるための重要な動作であると考えられる。

次に、加齢に伴う踏切準備動作の変化を明らかにするために、踏切準備動作を行っている者の人数について年齢群間の差を検討した。その結果、RJ については踏切準備動作を行っている者の人数は 7—8 歳で有意に少なく、13—15 歳で有意に多いことが認められた (Table 17)。このことは、本研究で対象とした年齢幅の子どもにおいては、加齢に伴い踏切準備動作が出現する可能性があることを示唆するものである。陸上競技の跳躍を専門とする男子大学生を対象として RDJ の踏切準備動作について検討した研究をみると、全ての対象者で踏切準備動作が出現していた (図子・高松, 1996)。したがって、踏切準備動作は小学生から中学生の時期に獲得される可能性があり、その後のアスリートに至るまでその動作は継続される可能性がある。一方で、踏切準備動作の指標である膝関節屈曲率の大きさについては、図子・高松 (1996) の報告 ($48.6 \pm 25.4\%$) と比較して小さい値であった (Table 19)。加えて、年齢群間で膝関節屈曲率の大きさに有意な差は認められなかった (Table 19)。このことから、小学生から中学生にかけて踏切準備動作を行う者の人数は増加するものの、膝関節屈曲率の大きさの変化については自然に生じるものではない可能性がある。一方で、SRJ については、踏切準備動作を行っている者の人数は年齢群間で有意な差が認められなかった (Table 18)。これまで SRJ の踏切準備動作について検討したものはないため比較することはできないが、本研究の結果から SRJ については、踏切準備動作は加齢の中で身につけることが難しいことが考えられる。SRJ は、姿勢制御による安定化や自重負荷および落下高を片脚で支える必要のあることなど、RJ とは運動条件が異なる。また、こうした運動条件の違いによって、動作や力発揮特性に相違が生じることが報告されている (荻山ほか, 2012; 2013)。したがって、SRJ において踏切準備動作が加齢に伴って出現しない要因

として、運動特性や動作、力発揮特性などが RJ と SRJ において異なることが関連している可能性がある。また、先行研究 (遠藤, 2008) では、RJ における合理的な動作の獲得や力発揮パターンの獲得には、後天的・習熟的な要因の影響も関連していることが示唆されている。このことを考慮すると、加齢に伴って SRJ の踏切準備動作が変化しないことについては、学校体育や生活の中において SRJ に類似した運動を経験する機会が RJ と比べると少ないことが影響している可能性があると考えられる。

これらのことから、踏切準備動作については、RJ では加齢に伴って出現する可能性があるのに対して、SRJ については加齢が伴っても変化しない可能性のあることが明らかとなった。

5. 要約

本研究では、RJ および SRJ における加齢に伴う跳躍動作の変化について、各跳躍運動のキネマティクスを手掛かりに検討し、跳躍動作の発達特性について明らかにすることが目的であった。本研究における主な結果は以下の通りである。

- (1) 加齢に伴う RJ と SRJ の関節角度および関節角速度の変化は類似している。
- (2) 加齢に伴って RJ の屈曲範囲は変化しないのに対して、SRJ の屈曲範囲は増大する。
- (3) 踏切準備動作は、RJ と SRJ のいずれについても高い RJ パフォーマンスを獲得するための重要な動作の 1 つである。
- (4) 加齢に伴って RJ の踏切準備動作を行っている者の人数は増加するが SRJ の踏切準備動作を行っている者の人数は変化しない。

以上の結果から、加齢に伴って小学生および中学生における RJ と SRJ の関節角度および関節角速度は同様の傾向で変化することが明らかとなった。一方で、RJ と SRJ では加齢に伴う膝関節の屈曲範囲の変化傾向が異なることが示された。また、RJ と SRJ のいずれも踏切準備動作は高い RJ パフォーマンスを獲得するために重要な跳躍動作であり、RJ では加齢に伴い踏切準備動作が出現する可能性があるのに対して、SRJ では変化がない可能性

のあることが示された。これらの結果から、加齢に伴う RJ と SRJ の跳躍動作の変化傾向は異なる可能性のあることが示唆された。

VIII. 討論

基礎的運動能力 (Duncan et al., 2019) に含まれる走や跳の運動には、下肢筋一腱は一度引き伸ばされ、その後即座に短縮する SSC 運動が内在する (Komi, 1984). 下肢の SSC 運動能力は、子どものスプリント (Endo et al., 2008; 坂口ほか, 2014) やフットワーク (Endo et al., 2008), 走り幅跳びの踏切 (大宮ほか, 2009), 持久力 (Kasović et al., 2021) など様々な運動能力と関連しているために、幼児から児童および生徒を対象として、発育発達の観点からの検討が行われてきた (志手・新開谷, 1996; 遠藤ほか, 2007; 坂口ほか, 2013).

一方で、各種スポーツ動作に目を向けると、その動作は片脚で遂行する場面が多く存在する (レイアップシュート, 陸上競技の走運動や跳運動, ハンドボールのシュートなど). また、片脚のジャンプ能力は、スポーツパフォーマンスと強く関連すること (Miura et al., 2010), 片脚 SSC 運動を含むプライオメトリクスは、子どものジャンプやスプリント能力を向上させるための効果的な方法の一つであることが報告されている (Drouzas et al., 2020). これらのことは、片脚 SSC 運動能力は、走運動や跳運動が内在するスポーツ種目にとって重要な要素の一つであることを示唆しているものであると考えられる. また、両脚と片脚 SSC 運動の間には、力発揮特性や動作 (荻山ほか, 2012; 2013), 力-速度関係 (Bobbert et al., 2006; Samozino et al., 2014), 筋間協調 (Rejc et al., 2010) など、神経メカニズムや運動特性にいくつかの相違点が存在している. したがって、両脚 SSC 運動と片脚 SSC 運動では要求される体力的要素や技術的要素が異なり、下肢の SSC 運動能力を評価する場合には、両脚・片脚の両方を用いることが必要であると考えられる. しかしながら、これまでの下肢の SSC 運動能力の加齢変化に関するほとんどの研究は、両脚 SSC 運動にのみ焦点を当てており、片脚 SSC 運動能力の加齢変化についての知見は見当たらない.

以上のことから、両脚および片脚の SSC 運動能力の加齢に伴う変化や両脚 SSC 運動と片脚 SSC 運動能力の発達過程における個人差についての情報は、子どもの下肢の SSC 運動能力あるいは運動能力そのものを向上させるための重要な情報となることが考えられる.

そこで本研究では、7歳から15歳までの子どもを対象とし、両脚と片脚 SSC 運動能力それぞれの発達の特徴について検討した。また、本研究では下肢の SSC 運動能力の評価によく用いられる跳躍高や接地時間、RJ-index といったパフォーマンス指標に加えて、これらのパフォーマンス指標に影響すると考えられる力発揮能力および跳躍動作の発達過程についても検討を行った。

1. 両脚および片脚踏切 CMJ と RJ の遂行能力の発達過程

研究課題 1 では両脚および片脚 SSC 運動の遂行能力の発達過程を検討するために、7歳から15歳までの男子児童および生徒 401 名を対象にして CMJ, SCMJ, RJ, SRJ を実施した。CMJ と SCMJ は跳躍高を、RJ と SRJ は跳躍高、接地時間、RJ-index (SRJ-index) を評価指標とした。

はじめに、CMJ および RJ の遂行能力の発達過程を検討した結果、CMJ の跳躍高、RJ の RJ-index および跳躍高は、加齢に伴い増加する傾向が認められた (Table 2 および Table 3)。また、RJ の接地時間は、経年的な変化は認められなかった (Table 4)。これらの結果は、CMJ (Bosco and Komi, 1980 ; 遠藤ほか, 2007 ; Focke et al., 2013) と RJ (志手・新開谷, 1996 ; 遠藤ほか, 2007) のどちらにおいても先行研究と一致していた。したがって、両脚 SSC 運動能力の経年変化はこれまでの先行研究と同様に、CMJ の跳躍高は経年的に増加することが示され、RJ については接地時間を維持しながら跳躍高が高まることで、経年的に RJ-index が増加することが明らかとなった。

SCMJ の遂行能力の発達過程を検討した結果、SCMJ の跳躍高は 14 歳まで経年的に発達することが認められ (Table 2)、この発達傾向は本研究の CMJ の結果 (Table 2) や先行研究 (Bosco and Komi, 1980 ; 遠藤ほか, 2007 ; Focke et al., 2013) と類似していた。また、SRJ の各変数の加齢に伴う変化についてみると、SRJ-index および跳躍高は経年的に増加する傾向が認められ (Table 3)、本研究の RJ の結果 (Table 3) および先行研究 (志手・新開谷, 1996 ; 遠藤ほか, 2007) と類似する結果であった。一方で、SRJ の接地時間については 10 歳を境

に延長する傾向が認められ (Table 4), この結果は本研究の RJ における接地時間の結果 (Table 4) や先行研究 (志手・新開谷, 1996 ; 遠藤ほか, 2007) とは異なるものであった。これらのことから, SCMJ の跳躍高は, CMJ と同様にある年齢段階で急激に上昇することや停滞することはなく, 加齢に伴う発育とともに跳躍高が増加することが明らかとなった。また, SRJ については 10 歳を境に接地時間が延長する傾向を示しながらも, 跳躍高が増加し, SRJ-index も増加することが明らかとなった。

SRJ において接地時間が延長する要因について, 形態および体重の影響を検討するために, 身長および体重と接地時間の関係を検討した。その結果, RJ と SRJ ともに身長と体重のいずれについても接地時間との間に有意な正の相関関係が認められ (Fig. 1 および Fig. 3), 両者の相関係数についても有意な差は認められなかった。このことから, RJ と SRJ で接地時間に対する形態的な影響は変わらないことが示され, SRJ の接地時間が 10 歳を境に延長している要因については, SRJ を成立させるための動作の変化や神経—筋系の機能的な変化が影響している可能性が示された。

以上のことから, CMJ と SCMJ における跳躍高と, RJ と SRJ における RJ-index (SRJ-index) および跳躍高の加齢に伴う発達傾向は類似していることが示唆された。一方で, RJ と SRJ の加齢に伴う接地時間の変化傾向は異なり, このことに対する形態的な変化の影響は大きくないこと, 跳躍動作あるいは神経—筋系の機能的な変化が影響していることが示唆された。

2. 両脚および片脚跳躍における力発揮能力の発達過程

子どもの下肢の SSC 運動能力の発達に関する研究は, 研究課題 1 で用いたような跳躍高や RJ-index, 接地時間などの変数を用いて行われることが多い (遠藤ほか, 2007; Endo et al., 2008; Tauchi et al., 2008; 坂口ほか, 2013)。一方で, CMJ の跳躍高は, 成人に基づく方法で算出される変数であり, 子どもの CMJ の跳躍高を算出する方法は開発されていない (Owen et al., 2014)。また, 子どもの場合には CMJ の跳躍高に対して体格が大きく影響する

ことが示唆されている (Jones et al., 2020). このため、成人に基づく方法を用いて跳躍高を評価しても信頼できる測定値が得られない可能性があり、跳躍高の増加が成長によるものなのか、発達によるものなのかを分けて検討することが困難であることが指摘されている (Jones et al., 2020). これらのことを考慮すると、下肢の SSC 運動能力の発達について検討する際には、先述したような跳躍高や RJ-index など跳躍運動の遂行能力に関する変数に加え、力発揮能力に関する変数、すなわち鉛直地面反力 (vGRF) などについて、体格の影響を考慮しながら検討する必要がある。そこで研究課題 2 では、加齢に伴う両脚および片脚で実施する CMJ と RJ の力発揮能力に関する発達特性について、鉛直地面反力を手掛かりに検討した。

はじめに、CMJ-PvGRF はとともに増加することが認められた (Table 8). この結果は、先行研究と同様であった (Jones et al., 2020 ; Focke et al., 2013). また、SCMJ-PvGRF についても、加齢に伴い CMJ と同様に増加することが認められた (Table 9). CMJ-PvGRF の増加は成長による体格の増加の影響を受けることが明らかとなっている (Focke et al., 2013). このことから、CMJ-PvGRF および SCMJ-PvGRF は発育に伴う体格の増加により、加齢に伴って増加するものと推察される。次に、CMJ および SCMJ の vGRF について体重の影響を除いて検討するため、それぞれの最大地面反力を体重で除して検討した。その結果、CMJ-RvGRF および SCMJ-RvGRF についても、加齢に伴って増加する傾向が認められた (Table 8, 9). このことから、CMJ と SCMJ の vGRF は体重の要因を考慮した場合でも加齢に伴って増加することが示され、CMJ および SCMJ の力発揮能力は加齢に伴って向上する可能性があることが示された。

次に、RJ-PvGRF と SRJ-PvGRF は加齢とともに増加することが認められた (Table 10, 11). この点については、CMJ および SCMJ の最大地面反力と同様に、発育に伴う体格の増加が影響し、加齢に伴って増加しているものと推察される。RJ の地面反力についても、体重の影響を除いて検討した結果、RJ-RvGRF は加齢に伴って増加する傾向が認められた (Table 10). このことから、加齢に伴って RJ の力発揮能力は向上する可能性があると考えられる。

先述したように、RJでは加齢に伴って接地時間は変わらず、跳躍高が高くなることでRJ-indexが増加することから、同じ運動遂行時間の中でより大きな力発揮をできるように発達していることが示唆されている(遠藤, 2008)。本研究のRJ-RvGRFの結果は、こうした結果を支持するものであり、加齢とともに力発揮能力が高まることで、運動遂行時間を維持しながら高い跳躍高を獲得できるようになっていることが推察される。一方で、SRJ-RvGRFについてみると、加齢に伴う変化は認められなかった(Table 11)。SRJは片脚で運動を遂行するため、RJの2倍の重量を片脚で支える必要があり、姿勢制御による安定化が必要となる。RJとSRJのこうした運動の諸条件の相違が、加齢に伴う相対地面反力の変化傾向の相違に影響したことが考えられる。また、先述したようにSRJにおいて接地時間を維持し、跳躍高を増加するためには、力発揮能力(SRJ-RvGRF)の改善が必要であると考えられる。本研究の結果をみると、加齢に伴うSRJ-RvGRFは増加しないのに対して、SRJ-JHとSRJ-CTのいずれも加齢に伴って増加する傾向が認められた(Table 11)。したがって、SRJにおいて力発揮能力が加齢に伴って変化しないことは、SRJで接地時間を維持することができないことに対して影響を及ぼしている可能性がある。加えて、研究課題1で示したように、接地時間に対してRJとSRJで形態(体重)の影響は変わらないことを考慮すると、SRJにおいて10歳以降で接地時間が延長する要因の一つには、SRJ-RvGRFが変化しないことが影響している可能性が示された。

3. RJおよびSRJにおける跳躍動作の発達過程

先述したように、跳躍能力の発達には力発揮能力の発達(Lloyd et al., 2020; Wdowski et al., 2020)と跳躍動作の変化(Wdowski et al., 2020)が影響すると考えられている。研究課題2では、加齢に伴う両脚および片脚のCMJとRJについて力発揮能力の変化について検討し、特にRJとSRJの力発揮能力の変化傾向は異なることを明らかにした。

RJの跳躍動作に関する先行研究をみると、高いRJ-indexを獲得するためには、接地直前に膝関節を瞬時に屈曲する着地動作(以下、「踏切準備動作」と略す)が重要であることが

示唆されている (図子・高松, 1996; 小森ほか, 2012). また, 踏切準備動作を含む RJ の跳躍動作について小学生から高校生までもを対象に検討した研究では, いずれの年代においても相対的に RJ 能力に優れるタイプは, 運動中に踏切準備動作が存在し, 接地局面における膝および股関節の角度変位が小さいことが報告されている (遠藤ほか, 2008). しかし, RJ の跳躍動作の年齢変化について検討したものは極めて少ないのが現状である. また, RJ と SRJ では動作特性にいくつかの相違点が存在している (荏山ほか, 2012; 2013). このため, 加齢に伴って RJ と SRJ では下肢 3 関節の動作の変化傾向は異なる可能性が考えられるが, これまでに加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍動作の変化を検討したものは存在しない. そこで研究課題 3 では, 加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍動作の変化について, 各跳躍運動のキネマティクスを手掛かりに検討した.

まず, 加齢に伴う RJ および SRJ の関節角度および関節角度変位の変化についてみると, Toe-off における関節角度の変化傾向は一部異なるものの, 関節角度および関節角速度の変化傾向は RJ と SRJ で類似していた (Table 13, 14, 15 および Fig. 5, 6). RJ および SRJ の加齢に伴う屈曲範囲および伸展範囲の変化についてみると, 足関節と股関節の屈曲範囲と伸展範囲, 膝関節の伸展範囲は, RJ と SRJ で類似した傾向を示した. 一方で, 膝関節の屈曲範囲については, 加齢に伴い RJ では変化しないのに対し, SRJ では大きくなることが示された. 先行研究では, SRJ では片脚あたりの落下高と自重負荷が大きいため, 屈曲範囲を大きく取ることで, 落下高と自重負荷による身体の持つエネルギーを緩衝していることが示唆されている (荏山ほか, 2012). このことを考慮すると, SRJ で膝関節の屈曲範囲が加齢とともに増大した要因には, 跳躍高の増加と体重の増加が影響した可能性が考えられる. すなわち, SRJ では加齢に伴って跳躍高が増加するために落下高も大きくなること, 加えて加齢に伴って体重が増加するために自重負荷も大きくなることが考えられ, 加齢に伴って受け止めるべき負荷が大きくなる可能性が高い. SRJ では, 加齢に伴って増大する負荷を片脚で受け止める必要があるために, 膝関節の屈曲範囲を大きくしている可能性があると考えられる.

また、図子・高松 (1995) は、RDJにおいてできるだけ短時間で跳ぶためには、下肢の各関節の運動範囲を小さくすることが必要であると示唆している。このことを考慮すると、RJやSRJにおいても屈曲範囲および伸展範囲の大きさが、接地時間に影響している可能性があると考えられる。研究課題1および研究課題2の結果を考慮すると、RJにおいて接地時間が経年的に変化しない要因には、下肢関節の運動範囲が変化していないことが影響していると推察される。一方で、SRJについて接地時間が延長している要因については、加齢に伴って膝関節の屈曲範囲が増大したことが影響しているものと推察される。

RJ-indexを高める、すなわち短い踏切時間で高い跳躍高を獲得するためには、踏切準備動作が重要である(図子・高松, 1996)。そこで、本研究課題ではRJおよびSRJの膝関節屈曲率についても検討を行った。まず、膝関節屈曲率が小学生および中学生のRJ(SRJ)パフォーマンスに及ぼす影響を検討した。その結果、RJとSRJのどちらも、膝関節屈曲率とRJ-index(SRJ-index)との間に有意な相関関係が認められた(Table 16)。このことから、RJとSRJのどちらについても、踏切準備動作は高いRJ-index(SRJ-index)を獲得するために重要な跳躍動作であることが示唆された。RJ-index(SRJ-index)を構成する要素である跳躍高と接地時間についてみると、RJについては膝関節屈曲率と跳躍高の間に有意な相関関係が認められた(Table 16)。一方で、SRJについては、膝関節屈曲率とSRJ-JHとの間に有意な相関関係が認められ(Table 16)、RJとSRJで膝関節屈曲率が影響する要素が異なることが示された。また、加齢に伴う踏切準備動作を行っていた者の人数の変化についてみると、RJについては加齢に伴い踏切準備動作を行っていた者の人数が増加する一方で、SRJについては変化しないことが示された(Table 17, 18)。このことから、踏切準備動作に焦点を当てると、RJについては加齢に伴って獲得される可能性があること、SRJについては加齢に伴って獲得される可能性は低いことが示された。

4. 両脚跳躍能力と片脚跳躍能力からみた個人の跳躍能力特性

ここまでは、両脚および片脚 SSC 運動について、それぞれの発達の傾向をパフォーマンス、力発揮、跳躍動作の3つの観点から検討を行ってきた。一方で、運動能力の発達について、教育現場や指導現場に対して実践的な示唆を得るためには、全体から捉えられる傾向だけでなく、個人の発達特性にも目を向ける必要があるだろう。遠藤ほか (2007) は、CMJ 能力と RJ 能力との発達が必ずしも対応していないことを指摘し、個人の跳躍能力の特性を両能力が対応しているタイプ (Even タイプ)、相対的に RJ 能力が優れるタイプ (RJ タイプ)、相対的に CMJ 能力が優れるタイプ (CMJ タイプ) の3つに分類し各年齢における各タイプの人数について検討している。その結果、CMJ タイプおよび RJ タイプの人数は、発育スパート期において増加することを報告しており、跳躍能力の発達には個人差が存在すること、個人の跳躍能力の特性が発育スパート期以降に顕在化することを示唆している。先述したように、本研究において実施した両脚跳躍と片脚跳躍には、力発揮特性や動作特性に相違点がある。このため、両脚跳躍と片脚跳躍では要求される体力的・技術的要素が異なることが考えられ、これに伴って、先行研究で示されているような個人の跳躍能力の発達における個人差は、両脚跳躍と片脚跳躍の関係からみた場合にも存在している可能性がある。すなわち、両脚跳躍能力の発達が大きいタイプ、あるいは片脚跳躍能力の発達が大きいタイプなど、個人の発達タイプが存在することが考えられる。そこで、本研究では先行研究 (遠藤ほか, 2007) を参考にして、CMJ と RJ のそれぞれについて両脚跳躍と片脚跳躍の関係を検討した (研究課題 1)。

はじめに、CMJ の跳躍高と SCMJ の跳躍高との関係を検討した結果、有意な正の相関関係が認められ (Fig. 3)、強い相関関係を示した ($r=0.909$)。このことから、CMJ と SCMJ の間には上述したような個人の発達タイプは存在せず、CMJ 能力が高い者は、SCMJ 能力も高いことが示唆された。

次に、RJ-index と SRJ-index との関係を検討した結果、有意な正の相関関係が認められた。しかしながら、CMJ の SCMJ に対する説明率と比較して、RJ-index の SRJ-index に対

する説明率は低かった (Fig. 3). このことは、個人内の RJ と SRJ の遂行能力は必ずしも対応していない可能性を示すものである。そこで、先行研究 (遠藤ほか, 2007; 坂口・図子, 2013) を参考に跳躍タイプを 3 つ (RJ = SRJ タイプ, RJ タイプ, SRJ タイプ) に分類し、小学校低学年, 中学年, 高学年および中学生の 4 つのグループにおける各タイプの人数を検討した。その結果, 中学生の時期において SRJ タイプに属する者が増加する可能性があることが示された (Fig 4). このことから, 小学生から中学生の発達段階の中で RJ の跳躍能力が相対的に大きい者, SRJ の跳躍能力が相対的に大きい者, 両跳躍能力が対応している者といった個人の跳躍能力の発達タイプが存在することが明らかとなった。また, この発達タイプの個人差は特に中学生の時期に生じる可能性があると考えられる。

5. 両脚および片脚跳躍能力の発達特性

本研究の結果を総合的に検討し, 両脚および片脚跳躍の発達過程について考察する (Table 20). まず, CMJ および SCMJ について, これらの遂行能力の指標である跳躍高は加齢に伴い増加した。跳躍高に影響すると考えられる力発揮能力についても, 加齢に伴って増加することが認められた。また, CMJ と SCMJ の跳躍高は, 身長と有意な相関関係も認められた。さらに, 跳躍高と力発揮能力のいずれについても, CMJ と SCMJ で加齢に伴う変化傾向は類似していた。これらのことから, CMJ と SCMJ はいずれも加齢に伴って力発揮能力が増大し, 高い跳躍高を獲得できるように変化することが推察され, 類似した発達傾向を示すことが明らかとなった。

次に RJ については, その遂行能力の指標である RJ-index および跳躍高は加齢に伴い増加したものの, 接地時間は加齢が伴っても変化しなかった。また, 力発揮能力についても加齢に伴い増加することが認められた。一方で, 跳躍動作については加齢に伴って踏切準備動作が獲得される可能性があるものの, 踏切中の屈曲範囲は加齢が伴っても変化しないことが示された。これらのことから, RJ については, 加齢に伴う力発揮能力の増大および踏切準備動作の獲得により, 高い跳躍高の獲得および接地時間の維持が可能となり, 加齢

に伴い RJ-index が増加していることが推察される。一方で、SRJ については、加齢に伴い SRJ-index、跳躍高は増加し、接地時間は延長する傾向が認められたが、力発揮能力については加齢に伴う変化が認められなかった。また、跳躍動作については加齢に伴って踏切準備動作は獲得されない可能性があること、踏切中の屈曲範囲は加齢に伴って大きくなる可能性があることが示された。これらのことから、SRJ については加齢が伴っても踏切準備動作は変化せず、加齢に伴い踏切中の屈曲範囲が大きくなるために、接地時間が延長した可能性がある。以上のことから、RJ と SRJ では、力発揮能力および跳躍動作の変化傾向に相違点があり、このことが接地時間の変化傾向に対して影響を及ぼし、最終的な RJ および SRJ のパフォーマンスがそれぞれ別の影響を受けながら発達している可能性があることが示唆された。

Table 20. Changes in various variables with age.

	CMJ	SCMJ	RJ	SRJ
<u>Research 1</u>				
Jump height	Increase		Increase	
Contact time	—		Unchanged	Increase
RJ-index	—		Increase	
<u>Research 2</u>				
P-vGRF	Increase		Increase	
R-vGRF	Increase		Increase	Unchanged
<u>Research 3</u>				
Knee Flexion	—		Unchanged	Increase
Preparatory action	—		Increase	Unchanged

Abbreviations: CMJ = counter movement jump, SCMJ = single-leg counter movement jump, RJ = rebound jump, SRJ = single-leg rebound jump, PvGRF = peak vertical ground reaction force, RvGRF = relative vertical ground reaction force

6. 実践現場への示唆

小学校学習指導要領体育編（文部科学省,2018）では、低学年における片脚ケンパー遊びや片脚でのゴム跳び遊び、中学年における短なわを用いた片脚連続跳びや跳の運動としての幅跳びなど、片脚で踏み切って跳ぶ運動が例示されている。また、近年では子どもの運動能力向上に対してプライオメトリクスの有効性が指摘され（Pattisina,2023）、その中でも特に片脚のプライオメトリクスの有効性が示唆されている（Drouzas et al.,2020）。本研究では、こうした片脚で踏み切って跳ぶ運動として SCMJ と SRJ を実施し、これらの発達傾向について初めて明らかにすることができた。特に、研究課題 1 で示した SCMJ と SRJ の遂行能力に関するデータについては、小学生および中学生における片脚跳躍能力を評価する際に、その評価の判断材料となるであろう。

また、本研究では片脚跳躍能力の発達過程について両脚跳躍能力の発達過程と比較しながら考察を行った。本研究の結果から、CMJ および SCMJ の発達過程は類似していることが明らかとなった。また、この発達過程はある年齢で急上昇、停滞あるいは低下するものではなく、加齢に伴って増加することが示された。したがって、CMJ などの比較的運動遂行時間の長い跳躍運動は、両脚と片脚のいずれも、小学生から中学生の間にはどの年齢においても継続的に取り組むべきであると考えられる。これに対して、RJ および SRJ については、RJ-index (SRJ-index) および跳躍高はいずれも類似した発達過程を示し、これについてもある年齢で急上昇、停滞あるいは低下する傾向は認められなかった。このため、RJ や SRJ といった短い運動遂行時間が要求される跳躍運動についても、両脚と片脚のいずれも、全ての年齢で継続的に取り組むべきであることが考えられる。

一方で SRJ では、踏切準備動作は発育の中で自然に身につくものではないこと、これに加えて、加齢に伴って屈曲範囲が大きくなることが示唆された。この動作は、SRJ において接地時間が延長することに対して影響している可能性がある。先行研究（遠藤,2008）では、RJ における合理的な動作の獲得や力発揮パターンの獲得には、後天的・習熟的な要因の影響が大きいことが示唆されている。こうした知見を考慮すると、こうした合理的な動

作や力発揮能力を獲得するためには、RJ や SRJ と類似した運動を経験することが重要になると推察される。本研究で SRJ において力発揮能力の変化および踏切準備動作の変化がみられなかったことに対しては、これらに類似した運動を経験する機会が少なかったことが関連している可能性があると考えられる。また、特に片脚のパワーやジャンプ能力は、片脚トレーニングを行った場合にのみ向上することも報告されている (Bogdanis et al., 2019; McCurdy et al., 2005)。これらのことを考慮すると、SRJ において合理的な動作および力発揮能力を高めつつも接地時間の延長を抑制するためには、小学生および中学生の年齢において SRJ に類似した運動に積極的に取り組んでいくことが重要であると考えられる。

7. 研究の限界

本研究にはいくつかの限界がある。

第一に、本研究では RJ と SRJ を用いて、短い接地時間で高く跳ぶという運動課題を設定した。先行研究では、成人では接地時間が短いほどジャンプのパフォーマンスが高くなるが、子どもは接地時間の長いジャンプ技術を採用すると報告されている (Lazaridis et al., 2013)。したがって、RJ や SRJ において、子どもに接地時間を短くすることを要求することは、跳躍高を犠牲にする可能性がある。

第二に、本研究では力発揮能力の変化を検討するために、PvGRF と PvGRF を体重で除した RvGRF を用いた。CMJ と RJ の踏切には、エキセントリック局面とコンセントリック局面が存在しており、それぞれで力発揮が異なる (McMahon et al., 2017; Krzyszkowski et al., 2022; Kariyama et al., 2016)。したがって、今後の研究では各局面を分けて検討することで、各局面における vGRF の年齢による変化の特徴を明らかにすることができるだろう。

第三に、本研究では参加者の成熟段階は評価・検討していない。これらの点については、縦断的データを用いた今後の研究で検討していく必要がある。

本研究にはいくつかの限界があるものの、得られた結果は子どもの跳躍能力の発達に関して極めて重要な知見であることが考えられる。

IX. 結論

本研究では、7歳から15歳までの子どもを対象とし、両脚および片脚で実施するCMJとRJについて、加齢に伴う跳躍運動の遂行能力の変化(研究課題1)、力発揮能力の変化(研究課題2)、跳躍動作の変化(研究課題3)の3つを検討した。本研究によって得られた両脚および片脚跳躍能力の発達特性については、以下の通りである。

- (1) 小学生および中学生における両脚跳躍と片脚跳躍の遂行能力は、SRJの接地時間を除いて類似した傾向で発達することが明らかとなった。また、両脚跳躍と片脚跳躍の関連をみた場合、CMJについては両脚跳躍が優れている者は片脚跳躍も優れるものの、RJについては両脚跳躍の遂行能力が必ずしも片脚跳躍の遂行能力と対応しないことが示された。さらに、中学生以降でSRJタイプに属する者が増加する可能性があることも示された。これらのことから、下肢のSSC運動能力の発達特性やその個人差を適切に評価するためには、特にRJにおいて両脚と片脚両方の遂行能力を測定する必要があることが示唆された。
- (2) 小学生および中学生における加齢に伴うCMJの力発揮能力の変化は、両脚と片脚で同様の傾向を示すことが示唆された。また、加齢に伴うRJの力発揮能力の変化は、両脚と片脚で一部異なっており、相対的な力発揮能力の加齢に伴う変化に違いが生じていることが示唆された。
- (3) 小学生および中学生におけるRJとSRJの下肢3関節の動作に着目すると、加齢に伴う関節角度および関節角速度の変化傾向は、一部を除いて類似していることが明らかとなった。一方で、加齢に伴ってRJとSRJの膝関節の屈曲範囲は異なる傾向で変化した。また、RJの踏切準備動作を行っている者の人数は加齢に伴って増加すること、SRJについては加齢に伴う変化は認められなかった。これらのことから、加齢に伴う

RJ と SRJ の跳躍動作の変化傾向は、踏切準備動作と膝関節の屈曲範囲に相違が生じることが示唆された。

本研究で得られた知見から、小学生および中学生の時期において、両脚跳躍と片脚跳躍は、SRJ の接地時間、力発揮能力および跳躍動作において、異なる傾向で発達することが明らかとなった。また、RJ における合理的な動作や SRJ における合理的な動作および力発揮能力を獲得するためには、小学生および中学生の全ての時期において、これらの運動に類似した運動を積極的に取り入れていくことが重要であることが示唆された。本研究で得られた知見は、学校現場において両脚および片脚跳躍運動を用いる際に有益な知見となる。

謝辞

本論文の作成にあたり，終始懇切丁寧なご指導，ご校閲を賜りました春日晃章教授，林陵平助教に心から感謝いたします。林 陵平助教には大学3年次から修士課程，博士課程と7年間のご指導を賜り，陸上競技部においても貴重なご指導・ご助言をいただきました。改めて心から感謝いたします。

兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科の小田俊明教授，松田繁樹教授，上田真也准教授をはじめとする諸先生方には，論文作成全般にわたり多大なるご指導，ご助言を賜りました。深く感謝いたします。

また，山田雄一郎先生（現岐阜市立島小学校教諭）をはじめ，岐阜大学附属小中学校の皆様には実験にあたり快くご協力を賜りましたこと，ここに厚く御礼申し上げます。

さらに，林研究室の先輩方，後輩の皆様からは，多くの貴重なご助言，ご協力をいただきました。皆様の御指導，御協力に感謝いたします。

日置 佑輔

文献

【A】

Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiol Scand.*, 92 : 537–545.

【B】

Bishop, C., Read, P., McCubbine, J. and Turner, A. (2021) Vertical and Horizontal Asymmetries Are Related to Slower Sprinting and Jump Performance in Elite Youth Female Soccer Players. *J Strength Cond Res.*, 35 : 56–63.

Bobbert, MF., de Graaf, WW., Jonk, JN. and Casius, LJ. (2006) Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *J Appl Physiol.*, 100 : 493–499.

Bogdanis, GC., Tsoukos, A., Kaloheri, O., Terzis, G., Veligeas, P. and Brown, LE. (2019) Comparison between unilateral and bilateral plyometric training on single- and double-leg jumping performance and strength. *J Strength Cond Res.*, 33 : 633–640.

Bosco, C. and Komi, PV. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta. Physiol. Scand.*, 106 : 467-472.

Bosco, C. and Komi, PV. (1980) Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 45 : 209–219.

Bosco, C., Komi, PV. and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand.*, 111 : 135–40.

Bračić, M., Supej, M., Peharec, S., Bačić, P. and Čoh, M. (2010) An investigation of the influence of bilateral deficit on the counter-movement jump performance in elite sprinters. *Kinesiology*, 42 : 73-81.

Brooks, VB. and Thach, WT. (1981) Cerebellar control of posture and movement. In: Brooks, V.B. (Ed.) Handbook of physiology, Section 1, The nervous system, Vol.II. American Physiological Society: Bethesda, pp. 889-891.

Bryant, ES., Duncan, MJ., Birch, SL. and James, RS. (2016) Can fundamental movement skill mastery be increased via a six week physical activity intervention to have positive effects on physical activity and physical self-perception?. *Sports (Basel)*, 4 : 10.

[C]

Cattuzzo, MT., dos Santos Henrique, R., Ré, AHN., de Oliveira, IS., Melo, BM., de Sousa Moura, M., de Araújo, RC. and Stodden, D. (2016). Motor competence and health related physical fitness in youth: A systematic review. *J Sci Med Sport.*, 19 : 123-129.

Cavagna, GA, Dusman, B. and Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol.*, 24 : 21-32.

Challis JH. (1998) An investigation of the influence of bi-lateral deficit on human jumping. *Hum. Mov. Sci.*, 17 : 307-325.

Clark, JE. (1994) Motor development. In V. S. Ramachandran (Ed.), *Encyclopedia of Human Behavior* (3rd ed., pp. 245-255). New York: Academic Press.

Clark, JE., Metcalfe, JS. (2002) The mountain of motor development: A Metaphor. In: Clark JE and Humphrey JH (Eds), *Motor Development: Research and Reviews, Vol2*. Reston VA, United States of America: National Association of Sport and Physical Education, pp163-190.

Cohen J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

【D】

- Drouzas, V., Katsikas, C, Zafeiridis, A., Jamurtas, AZ. and Bogdanis, GC. (2020) Unilateral Plyometric Training is Superior to Volume-Matched Bilateral Training for Improving Strength, Speed and Power of Lower Limbs in Preadolescent Soccer Athletes. *J Hum Kinet.*, 74 : 161-76.
- Duncan, MJ., Roscoe, CM., Noon, M., Clark, CC., O'Brien, W. and Eyre, EL. (2019) Run, jump, throw and catch: How proficient are children attending English schools at the fundamental motor skills identified as key within the school curriculum? *Eur J Educ Rev.*, 2019 : 1–29.

【E】

- 遠藤俊典 (2008) 垂直跳およびリバウンドジャンプの遂行能力の発達過程からみた跳躍能力の特性に関する研究. 筑波大学大学院人間総合科学研究科学学位論文 (博士).
- 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.
- Endo, T., Tauchi, K. and Ogata, M. (2008) Development of running and footwork abilities from a viewpoint of jumping ability characteristics. *Int J Sport Health Sci.*, 6 : 120–127.
- Enoka, RM. (1996) Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol.*, 81: 2339-2346.

【F】

- Ferbert, A., Priori, A., Rothwell, JC., Day, BL., Colebatch, JG. and Marsden, CD. (1992) Interhemispheric inhibition of the human motor cortex. *J Physiol.*, 453 : 525-546.
- Focke, A., Strutzenberger, G., Jekauc, D., Worth, A., Woll, A. and Schwameder, H. (2013) Effects of age, sex and activity level on counter-movement jump performance in children and adolescents. *Eur J Sport Sci.*, 13 : 518–526.

【G】

後藤 晴彦, 谷口 耕輔, 黒澤 亮介, 中 宗一郎, 西谷 和也 (2023) 高校生男子中長距離選手における下肢 SSC 能力とパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 68 : 425-437.

【H】

Hardy, LL., King, L., Farrell, L., Macniven, R. and Howlett, S. (2010) Fundamental movement skills among Australian preschool children. *J Sci Med Sport.*, 13 : 503–508.

【I】

生田 香明, 根木 哲朗, 栗原 崇志, 播本 定彦 (1981) 敏捷性・筋力・パワーからみた短距離疾走能力. 体育学研究, 26 : 111-117.

岩竹 淳, 北田耕司, 川原繁樹, 関子浩二 (2008) ジャンプトレーニングが思春期後期にある男子生徒の疾走能力に与える影響. 体育学研究, 53 : 353-362.

岩竹 淳, 鈴木 朋美, 中村 夏実, 小田 宏行, 永澤 健, 岩壁 達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47 : 253-261.

【J】

Jaakkola, T. and Washington, T. (2012) The relationship between fundamental movement skills and self-reported physical activity during Finnish junior high school. *Phys Educ Sport Pedagogy.*, 18 : 492-505.

Jakobi, JM. and Chilibeck, PD. (2001) Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Can J Appl Physiol.*, 26 : 12-33.

Jones, CM., McNarry, MA. and Owen, NJ. (2020) The effect of body size on countermovement jump kinetics in children aged 7-11 years. *Eur J Sport Sci.*, 20 : 174–181.

Jones, GM. and Watt, DGD. (1971) Muscular control of landing from unexpected falls in man. *The Journal of physiology*, 219 : 729-737.

【K】

Kariyama, Y. (2019) Effect of Jump Direction on Joint Kinetics of Take-Off Legs in Double-Leg Rebound Jumps. *Sports (Basel)*, 7 : 7.

荻山 靖, 遠藤俊典, 藤井宏明, 森 健一, 尾縣 貢, 関子浩二 (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.

荻山 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.

Kariyama, Y. and Zushi, K. (2013). THE DIFFERENCES BETWEEN HORIZONTAL AND VERTICAL DIRECTION DURING A SINGLE-LEG REBOUND JUMP: OBTAINED USING THREE-DIMENSIONAL MOTION ANALYSIS. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.

Kariyama, Y. and Zushi, K. (2016) Relationships between lower-limb joint kinetic parameters of sprint running and rebound jump during the support phases. *J Phys Fit Sports Med.*, 5 : 187–193.

Kasović, M., Štefan, L., Petrić, V., Štemberger, V. and Blažević, I. (2021) Functional endurance capacity is associated with multiple other physical fitness components in 7-14-year-olds: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 21 : 669.

Komi, PV. (1984) Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev.*, 12 : 81–121.

小森大輔, 関子浩二, 小西麻耶子, 小森智美 (2012) リバウンドジャンプ初心者のための指導法—姿勢作りに着目して—. *スポーツパフォーマンス研究*, 4 : 161-170.

Krzyszowski, J., Chowning, LD. and Harry, JR. (2022) Phase-Specific Predictors of Countermovement Jump Performance That Distinguish Good From Poor Jumpers. *J Strength Cond Res.*, 36 : 1257–1263.

【L】

Lazaridis, SN., Bassa, EI., Patikas, D., Hatzikotoulas, K., Lazaridis, FK. and Kotzamanidis, CM. (2013) Biomechanical comparison in different jumping tasks between untrained boys and men. *Pediatr Exerc Sci.*, 25 : 101–113.

Lloyd, RS., Oliver, JL., Hughes, MG. and Williams, CA. (2011) The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *J Strength Cond Res.*, 25 : 1889–1897.

Logan, SW. and Getchell, N. (2010) The relationship between motor skill proficiency and body mass index in children with and without dyslexia: a pilot study. *Res Q Exerc Sport.*, 81 : 518-523.

Logan, SW., Robinson, LE., Wilson, AE. and Lucas, WA. (2012) Getting the fundamentals of movement: a meta-analysis of the effectiveness of motor skill interventions in children. *Child Care Health Dev.*, 38 : 305–15.

【M】

Makaruk, H., Winchester, JB., Sadowski, J., Czaplicki, A. and Sacewicz, T. (2011) Effects of unilateral and bilateral plyometric training on power and jumping ability in women. *J Strength Cond Res.*, 25 : 3311–3318.

Marsden, CD., Merton, PA. and Morton, HB. (1976) Servo action in the human thumb. *The Journal of Physiology*, 257 : 1-44.

- Marzouki, H., Dridi, R., Ouergui, I., Selmi, O., Mbarki, R., Klai, R., Bouhlel, E., Weiss, K. and Knechtle, B. (2022) Effects of Surface-Type Plyometric Training on Physical Fitness in Schoolchildren of Both Sexes: A Randomized Controlled Intervention. *Biology*, 11 : 1035.
- 丸橋弘和・天羽康紀・瀬田豊文・金高宏文 (2011) 児童期における片脚連続跳の発達特性-パフォーマンスと動作に着目して. *学術研究紀要*, 42 : 1-10.
- McCurdy, KW., Walker, JL., Langford, GA., Kutz, MR., Guerrero, JM. and McMillan, J. (2010) The relationship between kinematic determinants of jump and sprint performance in Division I women soccer players. *J Strength Cond Res.*, 24 : 3200-3208.
- McMahon, JJ., Rej, SJ. and Comfort, P. (2017) Sex Differences in Countermovement Jump Phase Characteristics. *Sports (Basel)*, 5 : 5.
- Mero, A. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.*, 3 : 16-22.
- Meylan, C., McMaster, T., Cronin, J., Mohammad, NI., Rogers, C. and deKlerk, M. (2009) Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and change-of-direction performance. *J Strength Cond Res.*, 23 : 1140-1147.
- 三井 孝, 岡子浩二 (2006) はずみ運動を用いて評価した高齢者における伸張-短縮サイクル運動の遂行能力. *体育学研究*, 51 : 773-782.
- 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.
- 文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領解説 体育編. 東洋館出版, pp.51-89.
- Morley, D., Till, K., Ogilvie, P. and Turner, G. (2015) Influences of gender and socioeconomic status on the motor proficiency of children in the UK. *Hum Mov Sci.*, 44 : 150-156.

Murtagh, CF., Vanrenterghem, J., O'Boyle, A., Morgans, R., Drust, B. and Erskine, RM. (2017) Unilateral jumps in different directions: A novel assessment of soccer-associated power? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20 : 1018-1023.

【N】

Nagahara, R., Naito, H., Miyashiro, K., Morin, JB. and Zushi, K. (2014) Traditional and ankle-specific vertical jumps as strength-power indicators for maximal sprint acceleration. *J Sports Med Phys Fitness.*, 54 : 691–699.

Nobre, GG., de Almeida, MB., Nobre, IG., dos Santos, FK., Brinco, RA., Arruda-Lima, TR., de Vasconcelos, KL., de-Lima, JG., Borba-Neto, ME., Damasceno-Rodrigues, EM., Santos-Silva, SM., Leandro, CG. and Moura-dos-Santos, MA. (2017) Twelve weeks of plyometric training improves motor performance of 7- to 9-year-old boys who were overweight/obese: a randomized controlled intervention. *J Strength Cond Res.*, 31 : 2091–2099.

【O】

O' Brien, W., Belton, S. and Issartel, J. (2016) The relationship between adolescents' physical activity, fundamental movement skills and weight status. *J Sports Sci.*, 34 : 1159-1167.

Oda, S. and Moritani, T. (1994) Maximal isometric force and neural activity during bilateral and unilateral elbow flexion in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 69 : 240-243.

大宮真一, 木越清信, 尾縣 貢 (2009) リバウンドジャンプ能力が走り幅跳び能力に及ぼす影響 : 小学校 6 年生を対象として. *体育学研究*, 54 : 55-66.

Ohtsuki, T. (1983) Decrease in human voluntary isometric arm strength induced by simultaneous bilateral exertion. *Behav Brain Res.*, 7 : 165-178.

Owen, NJ., Watkins, J., Kilduff, LP., Bevan, HR. and Bennett, MA. (2014) Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *J Strength Cond Res.*, 28 : 1552–1558.

【P】

Pamuk, Ö., Makaracı, Y., Ceylan, L., Küçük, H., Kızılet, T., Ceylan, T. and Kaya, E. (2023) Associations between force-time related single-leg counter movement jump variables, agility, and linear sprint in competitive youth male basketball players. *Children*, 10 : 427.

Pattisina, FA. (2023). SYSTEMATIC REVIEW: THE EFFECT OF PLYOMETRIC EXERCISE PROGRAM ON CHILDREN 'S DEVELOPMENT. In *International Conference of Early Childhood Education in Multiperspectives* : 380-387.

【Q】

【R】

Rejc, E., Lazzer, S., Antonutto, G., Isola, M. and di Prampero, PE. (2010) Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contractions against different overloads. *Eur J Appl Physiol.*, 108 : 157–165.

Robinson, LE., Wadsworth, DD. and Peoples, CM. (2013) Correlates of School-Day Physical Activity in Preschool Students. *Res Q Exerc Sport.*, 83 : 20-26.

Rusko, H., Nummela, A. and Mero, A. (1993) A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 66 (2) : 97-101.

【S】

Sado, N., Yoshioka, S. and Fukashiro, S. (2020) Free-leg side elevation of pelvis in single-leg jump is a substantial advantage over double-leg jump for jumping height generation. *J Biomech.*, 104 : 109751.

坂口将太, 藤林献明, 荻山 靖, 関子浩二 (2014) 2歳から6歳までの幼児におけるリバウンドジャンプ遂行能力と疾走能力との関係. *発育発達研究*, 62 : 24-33.

坂口将太, 関子 浩二 (2013) 2歳から6歳までの幼児におけるリバウンドジャンプ遂行能力の発達過程. *体育学研究*, 58 : 599-615.

Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, PE., Belli, A., Morin, JB. (2014) Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Med Sci Sports Exerc.*, 46 : 107-114.

笹木正悟, 金子 聡, 矢野 玲, 浅野翔太, 永野康治, 櫻井敬晋, 福林 徹 (2011) 方向転換走と直線走および垂直跳びの関係ー重回帰分析を用いた検討ー. *トレーニング科学*, 23 : 143-151.

Seger, JY. and Thorstensson, A. (2000) Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. *Eur J Appl Physiol.*, 81 : 54-61.

志手典之, 新開谷央 (1996) 小学校児童におけるリバウンドドロップジャンプを用いた跳躍動作のパワー発揮の発達に関する研究. *スポーツ教育学研究*, 16 : 39-46.

Sortwell, A., Newton, M., Marinho, DA., Ferraz, R. and Perlman, D. (2021) The Effects of an Eight Week Plyometric-based Program on Motor Performance Skills and Muscular Power in 7-8-Year-Old Primary School Students. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 9 : 1-12.

【T】

高松 薫, 会田 宏, 関子浩二 (1991) Isometric および eccentric な予備緊張が肘屈曲速度に及ぼす影響 : Concentric な収縮中の負荷重量および動作範囲に着目して. *体育学研究*, 36 : 127-139.

高松 薫, 関子浩二, 会田 宏, 吉田 亮, 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.

武田誠司, 石井泰光, 山本正嘉, 関子浩二 (2010) 長距離ランナーにおけるランニングと連続跳躍による経済性の関係. 体力科学, 59 : 107-118.

谷所 慶, 鷗木秀夫, 矢野琢也, 賀屋光晴, 長野 崇, 平川和文 (2017) 児童の疾走能力と敏捷性能力に関する縦断的研究 : スポーツタレント発掘事業におけるジュニア選手を対象として. 体育学研究, 62 : 455-464.

田内健二 (2005) 大きなパワー発揮が要求される跳躍運動における動作の習熟プロセス. 体育の科学, 55 : 512-516.

Tauchi, K., Endo, T., Ogata, M., Matsuo, A. and Iso, S. (2008) The Characteristics of Jump Ability in Elite Adolescent Athletes and Healthy Males: The Development of Countermovement and Rebound Jump Ability. *Int J Sport Health Sci.*, 6 : 78–84.

Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, SH. and Ahmaidi, S. (2009) Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *Eur J Pediatr.*, 168 : 457–464.

【U】

【V】

van Ingen Schenau, G.J. (1984) An alternative view of the concept of utilisation of elastic energy in human movement. *Human movement science*, 3 : 301-336.

Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneots, L. and Viru, M. (1999) Critical Periods in the Development of Performance Capacity During Childhood and Adolescence. *European Journal of Physical Education*, 4 : 75–119.

【W】

Wdowski, MM., Noon, M., Mundy, PD., Gittoes, MJ. and Duncan, MJ. (2020) The Kinematic and Kinetic Development of Sprinting and Countermovement Jump Performance in Boys. *Front Bioeng Biotechnol.*, 8 : 547075.

Williams, HG., Pfeiffer, KA., O'Neill, JR., Dowda, M., Melver, KL., Brown, WH. and Pate, RR. (2012) Motor Skill Performance and Physical Activity in Preschool Children. *Obesity*, 16 : 1–6.

Winter, DA. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement* (2nd ed., pp. 41-43). New York: John Wiley & Sons.

Wrotniak, BH., Epstein, LH., Dorn, JM., Jones, KE. and Kondilis, VA. (2006) The relationship between motor proficiency and physical activity in children. *Pediatrics*, 118 : e1758-e1765.

【X】

【Y】

山田 魁人, 奥平 柁道, 九鬼 靖太, 吉田 拓矢, 前村 公彦, 谷川 聡 (2020) 男子学生サッカー選手におけるパワー発揮能力とスプリント能力および方向転換能力の関係 : 跳躍タイプによる違いに着目して. *Football Science*, 17 : 1-10.

米田継武 (1989) すばやい力発揮の制御. *Japanese Journal of Sports Science*, 8 : 657-662.

Young, WB., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J Sports Med Phys Fitness.*, 42 : 282-288.

Young, WB., Pryor, JF. and Wilson, GJ. (1995a) Effect of Instructions on characteristics of Countermovement and Drop Jump Performance. *J Strength Cond Res.*, 9 : 232-236.

Young, WB., Mc Lean, B. and Ardagna, J. (1995b) Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 35 (1) : 13-19.

【Z】

関子浩二 (2006) 跳躍動作とその指導・トレーニング-プライオメトリックトレーニングに注目して. *トレーニング科学*, 18 : 297-305.

関子浩二, 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.

関子浩二, 高松 薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響-膝関節角度に着目して-. *体力科学*, 45 : 209-218.

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.