論文種別：原著論文

表題：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

Developmental characteristics in double- and single-leg jumping ability of elementary and junior high school students

著者名：

- 1) 日置 佑輔 HIOKI Yusuke
- 2) 古橋 侑季 FURUHASHI Yuki
- 1), 3) 林 陵平 HAYASHI Ryohei

所属先：

- 1) 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科 Joint Graduate School in Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education
- 2) 岐阜大学大学院教育学研究科 Graduate School of Education, Gifu University
- 3) 岐阜大学教育学部 Faculty of Education, Gifu University

所属先住所：

- 1) 〒673-1494 兵庫県加東市下久米 942-1
942-1 Shimokume, Kato, Hyogo 673-1494
- 2) 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
1-1 Yanagito, Gifu, Gifu 501-1193
- 3) 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
1-1 Yanagito, Gifu, Gifu 501-1193

キーワード：伸張－短縮サイクル, 片脚跳躍, 垂直跳, リバウンドジャンプ

Key word : Stretch-shortening cycle, single leg jump, counter movement jump, rebound jump

ランニングタイトル：両脚および片脚跳躍能力の発達特性

連絡先担当者：日置 佑輔 yusukerikujo@yahoo.co.jp

Abstract:

The study aimed to investigate the developmental characteristics of double- and single-leg countermovement jump (CMJ) and rebound jump (RJ) in elementary and junior high school students. A total of 823 students (401 boys and 422 girls) aged 7 to 15 years performed CMJ, RJ, single-leg CMJ (SCMJ), and single-leg RJ (SRJ). To evaluate jumping ability, we measured jumping height and RJ-index for CMJ and SCMJ and for RJ and SRJ, respectively. The main results of this study are the following:

- 1) In boys, both the CMJ and SCMJ jumping heights and the RJ- and SRJ- indexes were shown to develop with age.
- 2) In girls, the developmental characteristics of both CMJ and RJ abilities were different between single- and double-leg.
- 3) In both sexes, the ground contact time of SRJ increased significantly after ages 9 to 10 years ($p < 0.01$).
- 4) Regarding the CMJ jump height, a significant correlation was found between CMJ and SCMJ in both sexes ($p < 0.01$). For the RJ-index, significant correlation was found between RJ and SRJ in both sexes ($p < 0.01$).
- 5) The number of boys and girls with a SRJ type may increase after junior high school, and the number of girls with a RJ type may decrease after junior high school.

Our findings indicate that the developmental process of double- and single-leg jumping in elementary and junior high school students is similar in boys but different in girls. In comparison between double- and single-leg jumping ability, CMJ showed a high coefficient of determination, while RJ showed a lower value. Additionally, the number of boys and girls with a SRJ type may increase after junior high school. Therefore, especially when evaluating the performance of RJ, it is necessary to measure the performance of double-leg and that of single-leg.

I. 緒言

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 運動遂行能力の評価には、できるだけ高く跳ぶことを目的とした垂直跳 (以下, 「CMJ」と略す) 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リバウンドジャンプ (以下, 「RJ」と略す) 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リバウンドドロップジャンプ (以下, 「RDJ」と略す) 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 運動遂行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 運動遂行能力は, 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 運動遂行能力は, 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 運動遂行能力は, 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 運動遂行能力は, 各種運動に関わる能力であることから, 幼児 (坂口・図子, 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 運動遂行能力の指標となる 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、バスケット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（荏山ほか，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、10m 走（Meylan et al., 2009），25m 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、バスケット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 運動遂行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。

II. 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 歳の児童および生徒 823 名（男子：401 名、女子：422 名）とした（表 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、跳躍能力を評価するために、CMJ と RJ、片脚 CMJ（以下、「SCMJ」と略す）と片脚 RJ（以下、「SRJ」と略す）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。

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)。

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

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．なお，有意水準は，すべて危険率を 5%未満とした．

III. 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，男女ともに全てにおいて高い値を示した (男子：CMJ = 0.936, SCMJ = 0.920, RJ = 0.890, SRJ = 0.908, 女子：CMJ = 0.910, SCMJ = 0.881, RJ = 0.902, SRJ = 0.897)．

表 1 には，対象者の形態的特性を男女別に示した．男子の身長は 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 歳の間に有意な差が認められた ($F=352.7$, $p<0.01$)．男子の体重は，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 歳の間に有意な差が認められた ($F=139.6$, $p<0.01$)．女子の身長は，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，7-13 歳と 13-15 歳の間に有意な差が認められた ($F=324.6$, $p<0.01$)．女子の体重は，7 歳と 8-9 歳，7-8 歳と 10 歳，7-10 歳と 11-12 歳，7-12 歳と 13 歳，7-13 歳と 14-15 歳の間に有意な差が認められた ($F=159.9$, $p<0.01$)．※ここに Table1 を挿入

表 2 には，加齢に伴う CMJ および SCMJ の跳躍高の変化を男女別に示した．男子における CMJ の跳躍高については，7 歳と 9 歳-10 歳，7 歳-9 歳と 11-12 歳，7 歳-10 歳と 13 歳，7 歳-13 歳と 14-15 歳の間に有意な差が認められた ($F=68.1$, $p<0.01$)．男子における SCMJ の跳躍高については，7 歳と 9 歳-10 歳，7 歳-9 歳と 11 歳-13 歳，7 歳-13 歳と 14 歳-15 歳の間に有意な差が認められた ($F=50.5$, $p<0.01$)．女子における CMJ の跳躍高については，7 歳-8 歳と 9 歳-15 歳の間に有意な差が認められた ($F=21.7$, $p<0.01$)．女子における SCMJ の跳躍高については，7 歳と 9 歳，7 歳-8 歳と 10 歳-12 歳，7 歳-10 歳と 13 歳，7 歳-9 歳と 14 歳-15 歳の間に有意な差が認められた ($F=22.6$, $p<0.01$)．※ここに Table2 を挿入

表 3 には、加齢に伴う RJ-index および SRJ-index の変化を男女別に示した。男子における RJ-index については、7 歳と 11 歳–12 歳，7 歳–8 歳と 13 歳，7 歳–13 歳と 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=21.3$, $p<0.01$)。男子における SRJ-index については、7 歳と 12 歳，7 歳–9 歳と 13 歳，7 歳–13 歳と 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=21.0$, $p<0.01$)。女子における RJ-index については、7 歳と 9 歳および 11 歳–13 歳，7 歳–8 歳と 10 歳および 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=7.9$, $p<0.01$)。女子における SRJ-index については、7 歳と 10 歳–11 歳，7 歳–8 歳と 13 歳，7 歳–9 歳および 12 歳と 14 歳，7 歳–9 歳と 15 歳の間に有意な差が認められた ($F=9.4$, $p<0.01$)。※ここに Table3 を挿入

表 4 には、加齢に伴う RJ および SRJ の接地時間の変化を男女別に示した。男子における RJ の接地時間については、7 歳と 13 歳の間に有意な差が認められた ($F=2.5$, $p<0.05$)。男子における SRJ の接地時間については、7 歳–10 歳と 11 歳–13 歳，9 歳と 14 歳，7 歳および 9 歳と 15 歳の間に有意な差が認められた ($F=7.5$, $p<0.01$)。女子における RJ の接地時間については、9 歳と 13 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=4.8$, $p<0.01$)。女子における SRJ の接地時間については、9 歳と 12 歳，7 歳および 9 歳と 13 歳–14 歳，7 歳–10 歳と 15 歳の間に有意な差が認められた ($F=7.5$, $p<0.01$)。※ここに Table4 を挿入

表 5 には、加齢に伴う RJ および SRJ の跳躍高の変化を男女別に示した。男子における RJ の跳躍高については、7 歳と 10 歳，7 歳–9 歳と 11 歳–12 歳，7 歳–10 歳と 13 歳，7 歳–13 歳と 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=50.0$, $p<0.01$)。男子における SRJ の跳躍高については、7 歳と 10 歳，7 歳–9 歳と 11 歳，7 歳–10 歳と 12 歳–13 歳，7 歳–13 歳と 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=46.8$, $p<0.01$)。女子における RJ の跳躍高については、7 歳と 8 歳–9 歳および 12 歳，7 歳–8 歳と 10 歳–11 歳および 13 歳，7 歳–9 歳と 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=19.5$, $p<0.01$)。女子における SRJ の跳躍高については、7 歳と 10 歳および 12 歳，7 歳–9 歳と 11 歳および 13 歳，7 歳–12 歳と 14 歳–15 歳の間に有意な差が認められた ($F=26.0$, $p<0.01$)。※ここに Table5 を挿入

図 1 には、男子における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 ($p<0.01$)。※ここに Figure1 を挿入

図 2 には、女子における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 ($p < 0.01$)。※ここに Figure2 を挿入

図 3 には、男女における体重と 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 ($p < 0.01$)。※ここに Figure3 を挿入

図 4 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男女別に示した。その結果、CMJ の跳躍高と SCMJ の跳躍高との間 (男女ともに : $p < 0.01$)、RJ-index と SRJ-index との間 (男女ともに : $p < 0.01$)、RJ の接地時間と SRJ の接地時間との間 (男女ともに : $p < 0.01$)、および RJ の跳躍高と SRJ の跳躍高との間 (男女ともに : $p < 0.01$) 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 (男子 : 0.691 ; 女子 : 0.564) は、CMJ と SCMJ の回帰直線の決定係数 (男子 : 0.826 ; 女子 : 0.692) よりも低かった。そこで、遠藤ほか (2007) や坂口・図子 (2013) の方法を参考にして、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 : 男子 305 名, 女子 293 名), RJ に対して SRJ の跳躍能力が高いタイプ (SRJ タイプ : 男子 39 名, 女子 62 名), RJ に対して SRJ の跳躍能力が低いタイプ (RJ タイプ : 男子 57 名, 女子 67 名) に分類された。※ここに Figure4 を挿入

図 5 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。表 6 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 (男子 : $\chi^2 = 13.74$, $p < 0.05$, 女子 : $\chi^2 = 20.47$, $p < 0.01$)。残差分析を行った結果、男子については、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。女子については、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、期待度数に対して RJ タイプに属する者は、小学校中学年で有意に多く、中学生においては有意に少ないことが認められた (表 6)。※ここに Figure5 を挿入※ここに Table6 を挿入

IV. 考察

本研究における CMJ および RJ の発達傾向をみると、男子は加齢に伴い CMJ の跳躍高および RJ-index が増加する傾向が認められ (表 2 および表 3)、女子は 10 歳以降で CMJ の跳躍高および RJ-index が停滞する傾向が認められた (表 2 および表 3)。男子の 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。また、女子の CMJ (Bosco and Komi, 1980 ; Focke et al., 2013) および RJ (金高ほか, 1998) の遂行能力は 10–14 歳の間に停滞あるいは低下することが示されており、このことは本研究の結果と類似していた。さらに、男子における身長と CMJ および RJ の関係 (図 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 歳の男子を対象にして 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

1.1 男子における片脚跳躍能力の経年変化

はじめに、男子における 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 (表 2)。男子の 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)。また、本研究における SCMJ の発達傾向は、CMJ の結果と類似していることが示されている (表 2)。加えて、身長と SCMJ の跳躍高の間には有意な正の相関関係も認められている (図 1)。これらのことから、7 歳から 15 歳までの男子における SCMJ の跳躍高は、ある年齢段階で急激に上昇することや停滞することはなく、加齢に伴い増加する可能性があると考えられる。

次に、男子の加齢に伴う 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。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 (図 1)。これらのことから、7 歳から 15 歳の男子における SRJ の 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、加齢に伴い増加する可能性があると考えられる。一方で、男子の SRJ の接地時間については 10 歳を境に増大する傾向が認められた (表 4)。この結果は、加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 の結果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 (図 1 および図 3)。また、相関係数の差を検討しても、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。

1.2 女子における片脚跳躍能力の経年変化

次に、女子における SCMJ の跳躍高は、13 歳まで増加し、その後は 15 歳まで停滞する傾向が認められた (表 2)。CMJ や立幅跳の跳躍高・跳躍距離の発達に 9—12 歳の間に停滞すること (Bosco and Komi, 1980 ; 金高ほか, 1998 ; 高本ほか, 2003) を考慮すると、女子の場合、両脚で実施する運動の下肢のパワー発揮能力はこれらの年齢の間に発達が停滞すると考えられる。SCMJ と CMJ の関係についてみると、強い相関を示しているために (図 4)、SCMJ の遂行能力は CMJ の遂行能力に依存することが考えられる。こうしたことを考慮すると、SCMJ の下肢のパワー発揮能力についても 9 歳以降に停滞する可能性が高いことが推察できる。一方で、深代 (1993) は、女子の走り幅跳びにおいて片脚で踏み切る際の踏切の様式や下肢の動きは、特別な練習をしない場合には 11 歳以降に全員が獲得すると報告している。また、深代 (1993) は、跳躍運動における跳躍動作 (巧みさ) の獲得は、体格や筋組成などの量的な因子に比べて、環境的 (後天的) 影響を受けやすい因子であることを示唆している。すなわち、このような片脚で実施する跳躍動作の獲得には、類似した運動の学習や経験が大きく影響していると考えられる。これを考慮すると、SCMJ の発達が停滞する年齢が CMJ と比較して遅かったことについては、9 歳以降で、体育授業において走り幅跳びなどの片脚踏切の跳躍運動が実施された結果、巧みな跳躍動作を獲得したことが跳躍高の獲得に影響したのではないかと考えられる。ただし、走り幅跳びと SCMJ とで

は、助走の有無や跳躍方向の違いなどに相違点が存在するために、本研究においても当てはまるとは言えず、今後詳細に検討する必要がある。これらのことから、女子においては、両脚で遂行する CMJ の跳躍能力は 9 歳以降で停滞するのに対して、片脚で遂行する SCMJ の跳躍能力は CMJ よりも停滞する年齢が遅いことが示唆された。

女子における SRJ-index および跳躍高は、12 歳を除いて、14 歳まで経年的な増加傾向が認められ(表 3 および表 5)、接地時間は 11 歳以降で有意に長くなることが認められた(表 4)。女子における RJ の発達過程を調査した研究では、12 歳以降で接地時間が増大し、跳躍高が停滞するために、RJ-index は低下傾向を示すことが報告されている(金高ほか, 1998)。また、本研究の結果では、RJ における接地時間は 12 歳以降で増大しており、RJ-index は停滞傾向を示している。したがって、女子の RJ 能力は 12 歳以降で低下あるいは停滞する一方で、SRJ については、跳躍高は経年的に増加すること、接地時間は 11 歳を境に延長すること、SRJ-index については経年的に増大することが認められたために、RJ とは異なる発達傾向となる可能性がある。SRJ の跳躍高については SCMJ と同様に、片脚踏切の動作獲得およびそれに伴う力発揮能力の向上が、跳躍高獲得に影響を及ぼした可能性があると考えられる。接地時間が増大している要因について、身長および体重と接地時間の関係から検討した結果、RJ および SRJ とともに有意な正の相関関係が認められた(図 2 および図 3)。一方で、相関係数の差について検討してみると、身長と体重いずれにおいても SRJ の相関係数は RJ と比較して有意に高かった(身長: $p < 0.01$; 体重: $p < 0.01$)。このことは、女子における SRJ の接地時間は、RJ と比較して形態的な影響を受けている可能性があることを示すものである。女子の中学生以降における体重の増加は、除脂肪量ではなく体脂肪に依存する可能性が示唆されている(秋原ほか, 2020)。本研究では体脂肪量および除脂肪量を測定していないものの、体重および身長の結果はこの先行研究と類似していたことから、女子においてのみ SRJ の接地時間が形態的要因の影響を受けたことには、男女の体組成の相違が影響したものと推察される。また、SRJ は片脚あたりに支持する必要がある身体質量が大きいため、RJ と比較して足関節による負の仕事の貢献度が小さく、股関節による負の仕事が大きくなることが示されている(荏山ほか, 2012)。したがって、受け止めるべき身体質量が増加すると、股関節の貢献が大きくなるために、短時間での運動遂行が難しくなった可能性が考えられる。これらのことから、11 歳を境に接地時間が延長した要因の一つとして、体重や身長の増加といった形態的な変化が影響しているものと考えられる。加えて、男子と同様に動作や神経-筋系の機能的な変化などの要因について

も影響している可能性もある。

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、男女どちらにおいても有意な正の相関関係が認められた (図 4)。この相関係数は男子で 0.909、女子で 0.832 と強い相関関係を示した。このことから、男女ともに CMJ の遂行能力が高い者は、SCMJ の遂行能力も高いと考えられる。

次に、RJ と SRJ の関係についてみると RJ-index と SRJ-index の間には、男女どちらについても有意な正の相関関係が認められた (図 4)。一方で、この相関係数 (男子 : $r = 0.831$; 女子 : $r = 0.751$) は CMJ と SCMJ の間の相関係数と比較して、男女ともに有意に低い値であった (男子 : $p < 0.01$; 女子 : $p < 0.01$)。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と示唆されている (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であった (図 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 (図 4)、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・図子 (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。男子については、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 (表 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。一方で、女子については、期待度数に対してRJ = SRJタイプに属する者は全てのグループにおいて同程度であった(表6および図5)。また、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、期待度数に対してRJタイプに属する者は、小学校中学年で有意に多く、中学生においては有意に少ないことが認められた(表6)。このことから、女子については、特に中学生の時期においてRJとSRJの遂行能力の発達タイプに変化が生じる可能性があると考えられる。遠藤ほか(2009)や坂口・図子(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、男女ともにRJ-indexとSRJ-indexに対する身長の影響は変わらないために(図1および図2)、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。加えて、先述したSRJを成立させる動作の獲得についても要因の1つとして推察される。

以上のことから、7歳から15歳における男子については、SRJの接地時間を除いて、片脚跳躍は両脚跳躍と類似した傾向で発達していくことが明らかとなった。一方で、女子については、片脚跳躍と両脚跳躍では異なる発達傾向とな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には、CMJについては男女ともに、両脚跳躍が優れている者は片脚跳躍も優れることが示唆された。RJについては男女ともに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唆された。さらに、男女ともに中学生以降でSRJタイプに属する者が増加すること、女子については中学生以降でRJタイプに属する者が減少することが示された。以上のことから、特にRJにおいては、両脚と片脚それぞれの遂行能力を評価する必要があると考えられる。

V. 要約

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) 男子においては、CMJおよびSCMJの跳躍高、RJおよびSRJのRJ-indexと跳躍高のいずれにおいても経年的に発達することが示された。

- (2) 女子においては、CMJ と RJ のどちらの遂行能力についても、両脚と片脚では異なる発達傾向であることが示された。
- (3) SRJ の接地時間は、男子では 10 歳、女子では 11 歳を境に有意に長くなることが示された。
- (4) CMJ の跳躍高では、男女ともに CMJ と SCMJ の間に有意な相関関係が認められた。RJ-index についても、男女ともに RJ と SRJ の間に有意な相関関係が認められた。
- (5) 男女ともに中学生以降で、SRJ タイプに属する者が増加すること、女子については中学生以降で、RJ タイプに属する者が減少することが示された。

以上の結果から、小学生および中学生における両脚跳躍と片脚跳躍の発達過程についてみると、男子では両脚跳躍と片脚跳躍は同様の発達過程を示すものの、女子については両脚跳躍と片脚跳躍で異なる発達過程を示すことが明らかとなった。また、両脚跳躍と片脚跳躍における遂行能力の関係については、CMJ において高い決定係数を示したが、RJ はそれよりも低い値を示した。加えて、男女ともに中学生以降で 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 運動遂行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。

文献

- Asmussen, E., Bonde - Petersen, F. (1974) Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta. Physiol. Scand.*, 92 (4) : 537-545.
- 秋原 悠・小田俊明・山本忠志・曾我部晋哉 (2020) 小学校 1 年生から中学校 3 年生の体組成の特徴や発育による変化 : Inbody470 を用いて. *発育発達研究*, 89 : 22-32.
- Bobbert, M.F., de Graaf, W.W., Jonk, J.N. and Casius, L.R. (2006) Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *J. Appl. Physiol.*, 100 (2) : 493-499.
- Bosco, C. and Komi, P.V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta. Physiol. Scand.*, 106 (4) : 467-472.
- Bosco, C. and Komi, P.V. (1980) Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 45 (2-3) : 209-219.
- Bosco, C., Komi, P.V. and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta. Physiol. Scand.*, 111 (2) : 135-140.
- Endo, T., Tauchi, K. and Ogata, M. (2008) Development of running and footwork abilities from a viewpoint of jumping ability characteristics. *International Journal of Sport and Health Science*. 6 : 120-127.
- 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 (2) : 149-159.
- Focke, A., Strutzenberger, G., Jekauc, D., Worth, A., Woll, A., Schwameder, H. (2013) Effects of age, sex and activity level on counter-movement jump performance in children and adolescents. *Eur. J. Sport. Sci.*, 13 (5) : 518-526.
- 深代千之 (1993) 跳躍動作からみた筋・腱連合組織のダイナミクス. 東京大学大学院教育学研究科学位論文 (博士).
- Guilford, J. P. (1956) *Fundamental statistics in psychology and education*. New York: McGraw Hill.
- 荻山 靖・藤井宏明・森 健一・図子浩二 (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 (1) : 91-109.
- 荻山 靖・遠藤俊典・藤井宏明・森 健一・尾縣 貢・図子浩二 (2012) 片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプの動作および力発揮特性 : 両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプと比較して. *体育学研究*, 57 (1) : 143-158.

- 金高宏文・佐伯直也・図子浩二・西薊秀嗣・會田 勝・平田文雄 (1998) 小学生から中学生までのリバウンドジャンプ力の横断的な発達. スポーツトレーニング科学, 2 : 37-42.
- Komi, P.V. (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 (1) : 81-122.
- Maximilian, MW., Mark, N., Peter, DM., Marianne, JRG., Michael, JD. (2020) The Kinematic and Kinetic Development of Sprinting and Countermovement Jump Performance in Boys. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 8. doi: 10.3389/fbioe.2020.547075.
- McCurdy, KW., George, JL., Langford, GA., Kutz, MR., Guerrero, JM., McMillan, J. (2010) The relationship between kinematic determinants of jump and sprint performance in division I women soccer players. *J. Strength. Cond. Res.*, 24 (12) : 3200-3208.
- 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, John., Mohammad, CI., Rogers, C., 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 (4) : 1140-1147.
- 三井 孝・図子浩二 (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 (6) : 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 (1) : 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 : 東京, pp. 51-89.
- Murtagh, CF., Vanrenterghem, J., O'Boyle, A., Morgans, R., Drust, B., Erskine, RM. (2017) Unilateral jumps in different directions: a novel assessment of soccer-associated power?. *J. Sci. Med. Sport.*, 20 (11) : 1018-1023.
- Nagahara, R., Naito, H., Miyashiro, K., Morin, JB., Zushi, K. (2014) Traditional and ankle-specific vertical jumps as strength-power indicators for maximal sprint

- acceleration. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 54 (6) : 691-699.
- 大宮真一・木越清信・尾縣 貢 (2009) リバウンド跳躍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 (1) : 55-66.
- Rejc, E., Lazzer, S., Antonutto, G., Isola, M. and Di Prampero, P.E. (2010) Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contractions against different overloads. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 108 (1) : 157-165.
- 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.
- 坂口将太・図子浩二 (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 (2) : 599-615.
- 坂口将太・藤林献明・荻山 靖・図子浩二 (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.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P.E., Belli, A. and Morin, J.B. (2014) Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46 (1) : 107-114.
- 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 (1) : 39-46.
- 高本恵美・出井雄二・尾縣 貢 (2003) 小学校児童における走, 跳および投動作の発達：全学年を対象として. *スポーツ教育学研究*, 23 (1) : 1-15.
- 武田誠司・石井泰光・山本正嘉・図子浩二 (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 (1) : 107-118.
- Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, SH., Ahmaidi, S. (2009) Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *Eur. J. Pediatr.*, 168 (4) : 457-464.
- 辻野 昭・岡本 勉・後藤幸弘・橋本不二雄・徳原康彦 (1974) 発育にともなう動作とパワーの変遷について—跳動作 (垂直跳び, 立ち幅跳び) —. キネシオロジー研究会編 身体運動の科学 I. 杏林書院：東京, pp. 203-243.
- Young, W., Mc Lean, B. and Ardagna, J. (1995) Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 35 (1) : 13-19.

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 (1) : 147-154.

Table 1. Anthropometric characteristics of boys and girls in this study.

Boys					
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<
Girls					
Age	n	Body height (m)	difference	Body weight (kg)	difference
7	47	1.16 ± 0.06		20.54 ± 3.68	
8	47	1.23 ± 0.04	7<	24.51 ± 4.24	7<
9	48	1.29 ± 0.06	7,8<	27.68 ± 5.00	7<
10	49	1.35 ± 0.05	7,8,9<	31.04 ± 5.19	7,8<
11	44	1.42 ± 0.08	7,8,9,10<	35.06 ± 6.07	7,8,9,10<
12	36	1.48 ± 0.06	7,8,9,10,11<	37.79 ± 6.41	7,8,9,10<
13	45	1.53 ± 0.06	7,8,9,10,11,12<	42.70 ± 6.73	7,8,9,10,11,12<
14	44	1.56 ± 0.05	7,8,9,10,11,12<	48.32 ± 6.31	7,8,9,10,11,12,13<
15	62	1.56 ± 0.06	7,8,9,10,11,12<	48.74 ± 6.47	7,8,9,10,11,12,13<

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

Boys					
CMJ			SCMJ		
Age	n	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<
Girls					
CMJ			SCMJ		
Age	n	Jump height (m)	difference	Jump height (m)	difference
7	47	0.181 ± 0.032		0.091 ± 0.023	
8	47	0.209 ± 0.041		0.104 ± 0.023	
9	48	0.240 ± 0.042	7,8<	0.119 ± 0.029	7<
10	49	0.245 ± 0.039	7,8<	0.125 ± 0.024	7,8<
11	44	0.246 ± 0.040	7,8<	0.128 ± 0.026	7,8<
12	36	0.248 ± 0.043	7,8<	0.134 ± 0.023	7,8<
13	45	0.260 ± 0.044	7,8<	0.145 ± 0.034	7,8,9,10<
14	44	0.261 ± 0.036	7,8<	0.140 ± 0.022	7,8,9<
15	62	0.265 ± 0.047	7,8<	0.140 ± 0.028	7,8,9<

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

Boys					
RJ			SRJ		
Age	n	RJ-index (m/s)	difference	RJ-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	7<
10	45	1.091 ± 0.276		0.386 ± 0.126	7<
11	43	1.170 ± 0.275	7<	0.384 ± 0.107	7,8,9<
12	46	1.170 ± 0.307	7<	0.412 ± 0.127	7,8,9<
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<
Girls					
RJ			SRJ		
Age	n	RJ-index (m/s)	difference	RJ-index (m/s)	difference
7	47	0.829 ± 0.220		0.316 ± 0.090	
8	47	0.953 ± 0.293		0.347 ± 0.095	
9	48	1.107 ± 0.254	7,8<	0.376 ± 0.099	7<
10	49	1.175 ± 0.279	7,8<	0.405 ± 0.113	7,8<
11	44	1.141 ± 0.257	7,8<	0.411 ± 0.106	7,8<
12	36	1.091 ± 0.352	7,8<	0.393 ± 0.091	7,8<
13	45	1.097 ± 0.287	7,8<	0.429 ± 0.133	7,8,9,10<
14	44	1.192 ± 0.345	7,8<	0.472 ± 0.107	7,8,9<
15	62	1.166 ± 0.325	7,8<	0.447 ± 0.130	7,8,9<

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

Boys					
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<
Girls					
RJ			SRJ		
Age	n	Contact time (s)	difference	Contact time (s)	difference
7	47	0.188 ± 0.035		0.239 ± 0.032	
8	47	0.201 ± 0.048		0.254 ± 0.040	
9	48	0.174 ± 0.022		0.238 ± 0.024	
10	49	0.178 ± 0.028		0.250 ± 0.034	
11	44	0.186 ± 0.026		0.257 ± 0.034	
12	36	0.189 ± 0.025		0.261 ± 0.026	9<
13	45	0.195 ± 0.023	9<	0.266 ± 0.028	7,9<
14	44	0.199 ± 0.031	9<	0.264 ± 0.031	7,9<
15	62	0.200 ± 0.026	9<	0.274 ± 0.031	7,8,9,10<

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

Boys					
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<
Girls					
RJ			SRJ		
Age	n	jump height (m)	difference	jump height (m)	difference
7	47	0.150 ± 0.030		0.073 ± 0.018	
8	47	0.179 ± 0.032	7<	0.086 ± 0.022	
9	48	0.189 ± 0.035	7<	0.088 ± 0.020	
10	49	0.205 ± 0.033	7,8<	0.099 ± 0.020	7<
11	44	0.208 ± 0.035	7,8<	0.104 ± 0.023	7,8,9<
12	36	0.201 ± 0.050	7<	0.102 ± 0.023	7<
13	45	0.209 ± 0.042	7,8<	0.112 ± 0.028	7,8,9<
14	44	0.229 ± 0.042	7,8,9<	0.124 ± 0.024	7,8,9,10,11,12<
15	62	0.227 ± 0.046	7,8,9<	0.120 ± 0.025	7,8,9,10,11,12<

Figure 1. Relationship between jump abilities and body height for each individual boy.

Figure 2. Relationship between jump abilities and body height for each individual girl.

Figure 3. Relationship between contact time and body mass.

Figure 4. Relationship between single- and double-leg jump for each variable.

Table 6. Cross table of age and jump ability type of RJ-index.

Grade		Jump ability type (Boys)			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

Grade		Jump ability type (Girls)			Total
		SRJ type	RJ = SRJ	RJ type	
Lower	observed frequency	8	67	19	94
	adjusted residual	-1.92	0.44	1.30	
Middle	observed frequency	9	67	21	97
	adjusted residual	-1.72	-0.08	1.77	
Upper	observed frequency	10	55	15	80
	adjusted residual	-0.62	-0.15	0.78	
JHS	observed frequency	35	104	12	151
	adjusted residual	3.68 *	-0.19	-3.33 *	
Total		62	293	67	422

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 5. Change of the percentage of subjects in jump ability type (RJ-index).
 Lower : Lower grade in elementary school ; Middle : Middle grade in elementary school ; Upper : Upper grade in elementary school ; JHS : Junior high school.