

小・中学生男子における5分間の自体重負荷ジャンプトレーニングが 全身持久力に与える効果

原村未来¹⁾, 高井洋平²⁾, 吉本隆哉¹⁾, 中谷深友紀²⁾, 藤田英二²⁾, 山本正嘉²⁾

¹⁾国立スポーツ科学センター

²⁾鹿屋体育大学

キーワード: レジスタンス運動, ジャンプ運動, 心拍数, 20m シャトルラン, 学校現場

【要旨】

本研究では, 学校現場で小・中学生が自体重負荷を利用した短時間の運動の継続により, 持久力を改善することが可能かを検討することを目的とした. はじめに, 数分間の下肢の屈曲伸展を伴う自体重負荷運動について, ジャンプ動作を含まない運動 (以下, レジスタンス運動) とジャンプ動作を含む運動 (以下, ジャンプ運動) で生理学的な負荷特性を定量した. 次に, 生理学的な負荷特性の高い運動を選択して継続的なトレーニングを行わせることで, 子どもの持久力の改善に効果がみられるのかを明らかにしたいと考えた. 対象者は, 5分間のレジスタンス運動およびジャンプ運動を行った. 運動時の生理的負荷を定量するために, 心拍計で心拍数を測定した. 運動中の心拍数は, 推定最大心拍数に対する相対値 (%HRmax) で示した. その結果, ジャンプ運動時の%HRmax (68.6 ± 5.0%) は, レジスタンス運動時のそれ (63.8 ± 5.5%) よりも有意に高かった. 次に, 20週間のジャンプ運動トレーニング (週5回, 1日5分) を行った結果, ジャンプ運動プログラム後半における%HRmaxの上昇が抑えられ, また20mシャトルランの成績が改善した. このことから, 小・中学生における5分間のジャンプ運動トレーニングは, 全身持久力を改善する可能性のあることが明らかにされた.

スポーツパフォーマンス研究, 10, 162-174, 2018年, 受付日: 2017年7月4日, 受理日: 2018年6月27日

責任著者: 高井洋平: 〒891-2393 鹿屋市白水町1番地 鹿屋体育大学 Email: y-takai@nifs-k.ac.jp

* * * * *

Effects of body mass-based jump training on aerobic capacity in male elementary and junior high school children

Miki Haramura¹⁾, Yohei Takai²⁾, Takaya Yoshimoto³⁾, Miyuki Nakatani¹⁾,

Eiji Fujita²⁾, Masayoshi Yamamoto²⁾

¹⁾Japan Institute of Sports Sciences

²⁾National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: resistance exercise, jump exercise, heart rate,

20-m shuttle run, school curriculum

[Abstract]

The present study aimed to quantify physiological load during body-mass-based resistance and jump exercises and to elucidate effects of body-mass-based jump training on the physiological load and scores of a 20-m shuttle-run test done for elementary and junior high school boys. The participants performed body-mass-based resistance exercises or jump exercises for 5 min, and body-mass-based jump training for 20 weeks (5times/week). Their heart rate (HR) during each exercise was measured with a heart rate monitor to be able to quantify the physiological load. HR during each exercise was normalized to the estimated maximum HR (%HRmax). The %HRmax measure was significantly higher in the jump exercise ($68.6 \pm 5.0\%$ HRmax) than in the resistance exercise ($63.8 \pm 5.5\%$ HRmax). After the 20-wk jump training program, the increase in the %HRmax in the latter half of the exercise program was attenuated, and the scores of a 20-m shuttle run test were improved. These findings suggest that body-mass-based resistance and jump exercise programs provide a moderate physiological load, and the jump training attenuates increase in physiological load in the latter half of an exercise program, and that scores of a 20 m shuttle run test may improve after this training.

I. 緒言

文部科学省の平成 27 年度体力・運動能力・運動習慣等調査 (2016) によれば, 50m 走, 立ち幅跳び, ソフトボール投げおよび 20m シャトルランの平均値は, 1985 年頃をピークに, それ以降低下し, 現在も低い水準にある. 子どもの走・跳躍能力および持久力は, 日常生活での身体活動量と関連することから(Armstrong and Welsman., 2001; Atomi et al., 1986; Cunningham et al., 1976), 子どもの体力低下の要因の一つに, 日常生活での身体活動の減少が考えられる. 体育の授業以外に 1 週間の総運動時間が 60 分未満である子どもの割合は, 男子で 6.6%, 女子で 13.0%であり, 昭和 60 年代から低下傾向が続いている. これらのことから, 子どもの体力低下を抑止しようとするならば, 1 日の中で多くの時間を過ごす学校教育下において, 身体活動の機会を増やす取り組みを考えていく必要があるといえよう. しかし, 学校現場では正課の授業や正課外の部活動の枠組みが決められているという時間的な制約, 大勢の子どもを一斉に運動させるために専門的なトレーニング機器を使用することができないという設備的な制約がある. これらの問題点を解決するためには, 休み時間等の空き時間を利用して実践できるような, 短時間の簡便な運動プログラムを開発し, 継続的にトレーニングを推進していくことが望ましいと考えられる.

これまで, 子どもの体力向上をねらいとして, 特別な機器を用いない短時間の運動を継続したトレーニング研究では, 5 分間の自体重負荷スクワット運動を週 5 回の頻度で 8 週間実施した結果, 座位による膝関節屈曲位からの等尺性最大伸展筋力および垂直跳びの跳躍高が改善することが報告されている(Takai et al., 2013; Yoshimoto et al., 2016). これらの研究では, 学校現場の時間的および設備的な制約があっても, 工夫次第で, 筋力や瞬発力を改善することが可能であることを示している.

しかしながら, 現在のところ, 自体重負荷運動により子どもの持久力が改善したという報告は見当たらない. 成人男性を対象とした先行研究では, 自体重負荷スクワット中の生理的負荷が全身持久力の指標である最大酸素摂取量と負の相関関係にあることから, 自体重負荷運動が全身持久力に影響を与える可能性が示唆されている (Haramura et al., 2017b). この研究を手掛かりに, 子どもの全身持久力が低下し続けているという現代的な課題の解決に取り組むことが出来れば, 学校教育現場に対して, より具体的なトレーニング手段や方法を提案できると考えられる.

そこで, 本研究では, 学校現場において子どもが自体重負荷を利用した短時間の簡便な運動の継続により, 持久力を改善することが可能かを検討することとした. はじめに, 短時間の下肢の屈曲伸展を伴う自体重負荷運動について, ジャンプ動作を含まない運動 (以下, レジスタンス運動) とジャンプ運動で生理学的な負荷特性を定量し, 各運動の負荷と全身持久力の指標との相関関係を調べた. 次いで, 生理学的な負荷特性の高い運動を選択して継続的なトレーニングを行わせることで, 子どもの全身持久力に効果がみられるのかを明らかにしたいと考えた.

II. 方法

1. 被検者

被検者は, 健康な男子児童 (小学 5・6 年生) および生徒 (中学 1・2 年生) 36 名とした. 被検者は, レジスタンス運動群 (13 名) およびジャンプ運動群 (23 名) に分けた. 被検者の身体特性は, 表 1 に示した. 両群の身体特性には有意な差は認められなかった. 本研究では, 鹿屋体育大学の倫理審査

委員会による実験遂行の承認を得るとともに、被検者およびその保護者に対して研究の目的・方法および運動に伴う危険性を詳細に説明した上で、実験参加の同意を得た。

表 1. 被検者の身体特性

	レジスタンス運動群 (N=13)	ジャンプ運動群 (N=23)
年齢(歳)	13.0 ± 0.7	12.5 ± 1.2
身長(cm)	156.2 ± 8.0	152.0 ± 10.7
体重(kg)	50.7 ± 14.2	42.8 ± 18.3
Body mass index (kg/m ²)	20.6 ± 4.8	18.3 ± 3.2

2. 運動プログラム

運動プログラムは、一般的な小・中学校の現場で導入可能であることを念頭に、研究協力校の所属長および教員と協議した結果、運動時間は5分程度と結論付けられた。本研究では、研究協力校の校歌が2分30秒であることに着目し、10秒間の間奏を挟んで2曲繰り返すことで5分の目安とした。運動種目は以下に示す3種目とし、1種目あたり約20秒間ずつ実施した。1曲あたりで行う動作の回数はスクワット16回、フロントランジ16回、サイドランジ16回の計48回であった。それを2回行い、1回のトレーニングで行う試技回数は計96回であった。

1) レジスタンス運動(動画1)

レジスタンス運動では、スクワット、フロントランジおよびサイドランジの3種目を選定した。スクワットは、肩幅に脚を開いた状態で大腿部と床が平行になる位置まで膝を屈曲する運動とした。フロントランジは、腰幅に広げた立位姿勢から左右交互に前方へ脚を踏み出す運動とした。サイドランジは、肩幅に広げた立位姿勢から左右交互に横方向に脚を踏み出す運動とした。

2) ジャンプ運動(動画2)

ジャンプ運動では、スクワットジャンプ、スプリットジャンプおよびサイドジャンプの3種目を選定した。スクワットジャンプは、膝関節90度屈曲位から真上にジャンプする運動とした。スプリットジャンプは、立位姿勢から脚を前後に開いてフロントランジの姿勢を取った後、ジャンプして元の立位姿勢に戻る運動とした。サイドジャンプは、運動開始位置を中央として、左右のいずれかに移動した側の脚で踏み込んでから逆方向へジャンプする運動とした。

3. 生理的負荷の定量化

レジスタンスおよびジャンプ運動中の生理的負荷を定量するため、心拍計(RC3 GPS, Polar社製)を用いて、心拍数(HR)をテレメリー法で1秒毎に記録した。さらに得られたデータから、10秒毎の平均値を算出した。本研究では、Mahon et al. (2010)の報告を参考に、次式(208-0.7×年齢)から子どもの推定最大心拍数(HRmax)を求めた。運動時のHRは、得られたHRmaxで正規化し、相対値(%HRmax)として表した。

4. トレーニングと持久力の評価

トレーニングする運動プログラムは、レジスタンス運動とジャンプ運動時の%HRmax を比較し、生理的負荷が高く、以下に示す全身持久力指標と相関関係があるほうとした。結果、ジャンプ運動のほうが高い生理的負荷を示したため、ジャンプ運動群（23 名）にジャンプトレーニングを導入した。被検者には、通常の授業が行われる週 5 日の登校日に、授業が始まる前の時間を利用して運動を実施させた。トレーニングの期間は、2015 年 10 月から 2016 年 2 月までの 20 週間とした。トレーニングの前後には、文部科学省の新体力テストで実施されている 20m シャトルランテストを実施して、その最大本数を全身持久力の指標とした。

20m シャトルランは、文部科学省の新体力テスト実施要項に倣い実施した。被検者は、20m 間隔で平行に引かれた 2 本の線の一方に立ち、電子音に合わせて他方の線へ向けて走り、次の電子音で反対方向へ向けて走り出し、スタートの線にタッチし、電子音に合わせてこの走行を繰り返す。電子音は、開始当初は折り返しの時間の間隔が長いですが、約 1 分ごとに短くなっていく。合図音についていけなくなり 2 回連続で線にタッチできなくなったときを終了とし、最後に到達した回数を記録として採用した。

5. 統計処理

すべての測定値は、平均値および標準偏差で示した。レジスタンス運動群およびジャンプ運動群における身体特性およびシャトルランの成績を比較するために、対応のない t 検定を用いた。HR および%HRmax における運動プログラム間の違いを調べるために、対応あり・なしの二元配置分散分析（セット×群）を用いて、主効果および交互作用を確認した。有意な交互作用が認められた場合には、事後検定として単純主効果の検定を用いた。20m シャトルランの成績と両運動時の%HRmax との相関関係を明らかにするために、ピアソンの積率相関係数 (r) を用いた。トレーニング前後の HR および%HRmax を比較するために、対応のある二元配置分散分析（時間×セット）を行った。有意な交互作用が認められた場合には、事後検定として単純主効果の検定を用いた。トレーニング前後の 20m シャトルランの成績を比較するために、対応のある t 検定を用いた。すべての統計処理は、統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics, IBM 社製, Japan) を用いて行った。有意水準は、5%未満とした。

III. 結果

1. 自体重負荷レジスタンス運動およびジャンプ運動時の生理的負荷特性

本研究で実施した 20m シャトルランテストの成績は、レジスタンス運動群が 84.0 ± 22.4 回であったのに対してジャンプ運動群が 84.3 ± 32.7 回であり、両群間の値に統計的な差は認められなかった。

図 1 は、5 分間のレジスタンス運動およびジャンプ運動における HR および%HRmax のセット毎の平均値を比較したものである。いずれも、1 セット目においてジャンプ運動群がレジスタンス運動群に比較して有意に高い値を示した。また、両群ともに 1 セット目に比較して 2 セット目で有意に高くなった。2 セット目では、運動間に有意な差は認められなかった。図 2 は、各運動時の HR および%HRmax を 10 秒毎に平均し、それらの経時変化を示したものである。図のように、セット間の休息时间（10 秒）を除いた全ての時間で、ジャンプ運動群がレジスタンス運動群に比較して高い値を示し続けた。また、ジャンプ運動群では運動終了間際の 300 秒付近で HR が低下するという特徴を示した。

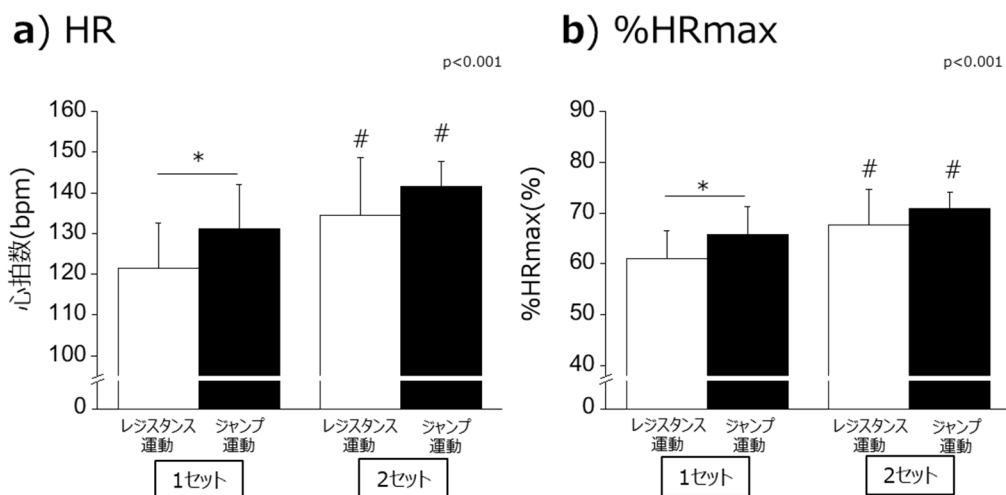


図 1. 自体重負荷レジスタンス運動とジャンプ運動時の心拍数の比較
* レジスタンス運動 vs ジャンプ運動 # 1 セット vs 2 セット

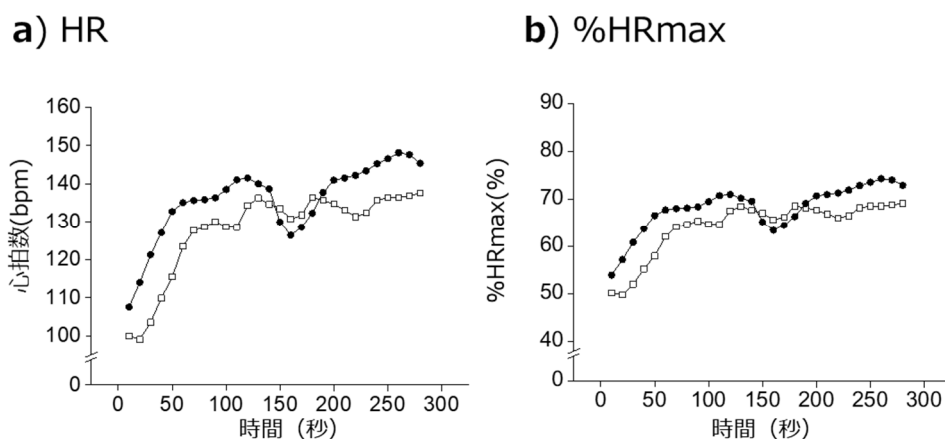


図 2. 自体重負荷レジスタンス運動とジャンプ運動時の心拍数の経時変化
□レジスタンス運動 (n=13) ●ジャンプ運動 (n=23)

図 3 は、各運動における 5 分間の %HRmax と 20m シャトルランテストの成績との関係を示すものである。レジスタンス運動群では両変数間に負の相関傾向が認められたが、統計的には有意でなかった。一方、ジャンプ運動群ではそれらの関係は有意な負の相関関係にあった ($r = -0.478$, $p < 0.05$).

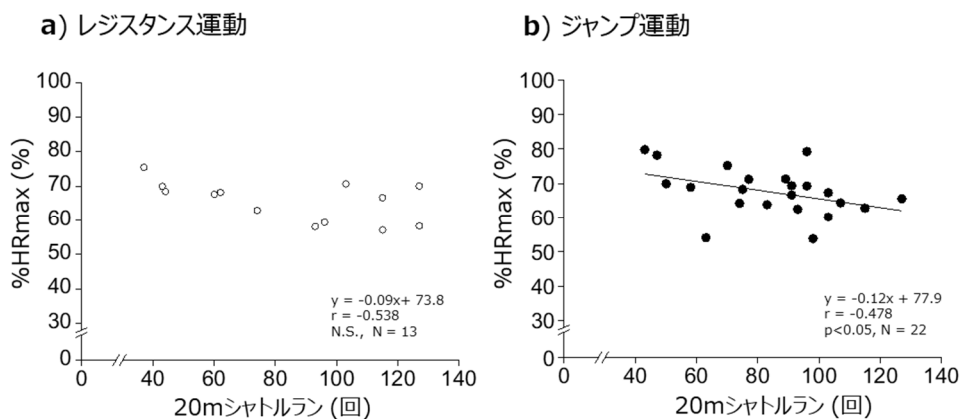


図 3. 20m シャトルランの成績と自体重負荷レジスタンス運動 (a) およびジャンプ運動 (b) 時の%HRmax との関係

2. ジャンプ運動トレーニング前後における全身持久力の変化

本研究では、レジスタンス運動とジャンプ運動の生理的な負荷を比較した結果 (図 1), ジャンプ運動のほうがレジスタンス運動よりも生理的な負荷が高かった. そこで, ジャンプ運動を導入するトレーニング運動に選定し, トレーニング実験を行った結果について示していく. 図 4 は, トレーニング前後における 20m シャトルランテストの成績の変化を示したものである. トレーニング前における 20m シャトルランの成績は 84.0 ± 22.4 本で, トレーニング後には 90.9 ± 21.1 本と有意に増加した. その変化率は, 平均で 8.2%であった.

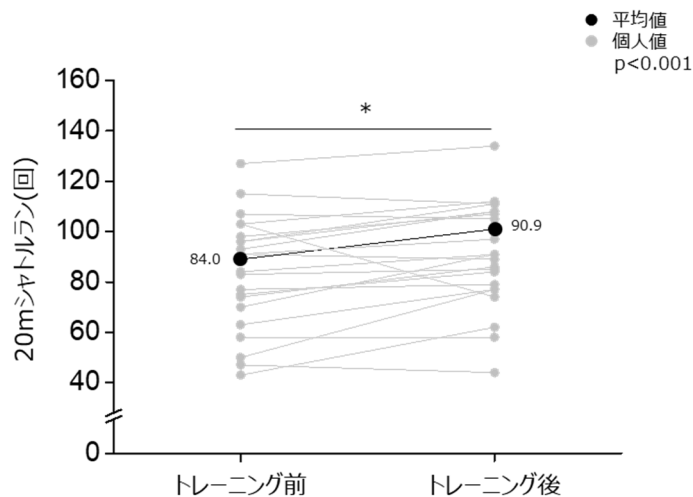


図 4. 自体重負荷ジャンプトレーニング前後の 20m シャトルランテストの最高本数の変化

図 5 は、5 分間のジャンプ運動におけるセット毎の HR および%HRmax をトレーニング前後で比較したものである。トレーニング前では、HR および%HRmax は、1 セット目よりも 2 セット目で有意に高かったが、トレーニング後ではいずれのセット間でも有意な差は認められなかった。

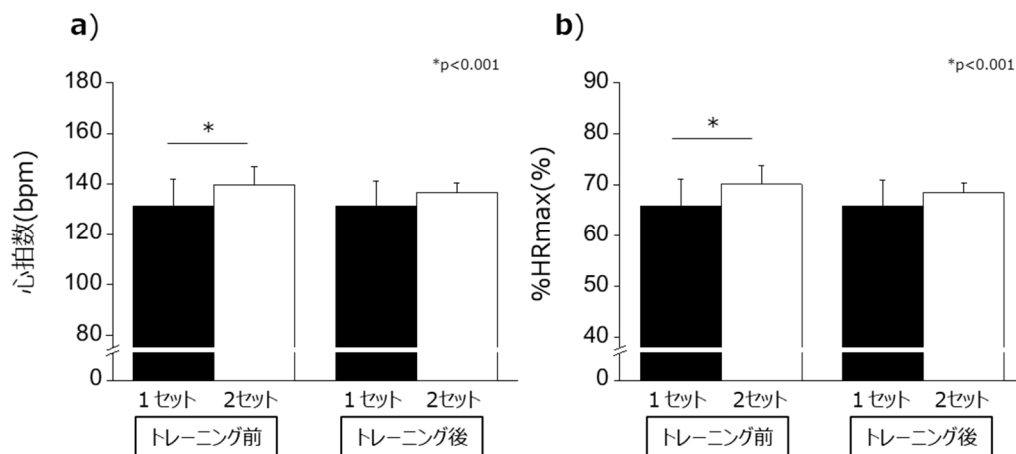


図 5. 自重負荷ジャンプトレーニング介入前後の心拍数の変化

図 6 は、運動中の HR および%HRmax の経時変化をトレーニング前後で比較したものである。運動開始から 250 秒まではトレーニング前後で違いが認められなかったが、トレーニング後に、運動開始から 250 秒以降で HR および%HRmax の上昇が抑えられたことが観察できる。

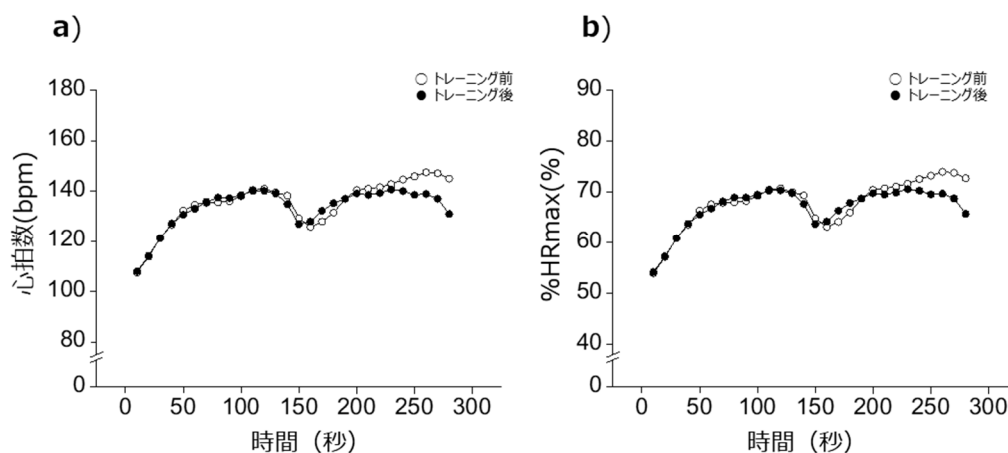


図 6. 自重負荷ジャンプトレーニング介入前後の心拍数の経時変化

IV. 考察

本研究の目的は、学校現場において、子どもが自体重負荷を利用した短時間の簡便な運動の継続により、全身持久力を改善することが可能かを検証することであった。はじめに約 5 分間のレジスタンス運動およびジャンプ運動の 2 種類の運動について生理学的な負荷を定量した。次いで、生理学的な負荷強度の高かったジャンプ運動をトレーニングとして介入し、子どもの持久力が改善するか否かにつ

いて検証した。

A. レジスタンス運動およびジャンプ運動の生理的負荷について

本研究で考案した5分間の運動プログラムのHRの平均値は、レジスタンス運動で 126.3 ± 10.9 bpm, ジャンプ運動で 136.8 ± 9.9 bpm であった。また、%HRmax は、レジスタンス運動で $63.8 \pm 5.5\%$ HRmax, ジャンプ運動で $68.6 \pm 5.0\%$ HRmax であった。いずれもジャンプ運動のほうがレジスタンス運動よりも生理的負荷が高かった。山地 (1981) は、子どもの運動種目とHRとの関係を検討した結果、跳躍種目実施時のHRが132~144bpm程度であると有酸素能力の改善に効果的としている。また、心拍数に基づいて定量されたACSMのガイドライン (1998) によると、呼吸循環器系の能力を改善しうる運動強度は、65-90%HRmaxである。矢部ら (1998) は、10歳の子どもの呼吸循環器系の能力を向上させるためには、60%HRmaxに相当する運動を5分以上継続することが望ましいとしており、本研究の運動プロトコルによる結果は、その条件を満たしている。以上のことから考えると、本研究で採用したジャンプ運動時の生理的負荷は、推奨されるトレーニング強度の範囲内にあることが分かる。

心拍数は、動員される筋の数および筋の発揮張力の影響を受ける (Lind and McNicol., 1967)。バックスクワットとジャンプスクワット動作間の筋の活動の違いについて、MRI (核磁気共鳴画像) のT2強調画像を用いて比較した Sugisaki et al. (2014) は、外側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋の筋活動水準については両動作間で違いはなかったが、大臀筋および股関節内転筋群においてジャンプスクワットのほうが高い活動であることを示している。本研究では筋電図を用いて筋活動量の定量を行っていないため、この点について明らかにすることができないが、この先行研究を子どもに適用して考えると、本研究の運動プログラム間の生理的負荷の違いは、動員される筋の数および筋活動レベルの違いが影響した可能性がある。

レジスタンス運動時の%HRmaxは、20mシャトルランの成績と相関関係を認めることは出来なかったが ($r = -0.538$, N.S.), ジャンプ運動時のそれらの関係は有意であった (図3)。先行研究で、自体重負荷スクワット時の酸素摂取量は、最大酸素摂取量と負の相関関係にあり、自体重負荷スクワット時の運動強度は有酸素性作業能力に影響を受けている (Haramura et al., 2017a)。また、酸素摂取量と心拍数との間には有意な正の相関関係がある (Andersen et al., 1960; Andersen and Hart., 1963) ことを考慮すると、本研究の結果は、子どもにおいても自体重負荷運動時の%HRmaxが実施者の全身持久力の影響を受けていることを示唆している。

本研究で採用した5分間のプログラムでは3種目の運動を20秒毎に順番に行った。自体重負荷フロントランジ時の心拍数は、スクワット時のそれよりも高い (原村ら, 2017)。これは、運動の種類によって生理的負荷が異なることを示しており、本研究のようにいくつかの運動を組み合わせたプログラムではそれに応じた心拍数の応答が起こる可能性があった。しかしながら、図2をみても分かるように、運動種目に関連した心拍数の経時的な変化はみられなかった。このことは、先行研究が1種目を9分間連続して実施したのに対して、本研究では1種目を20秒間という短い時間で3種目を交互に実施したことにより、複合的な運動の生理的な応答として表れたものと推察される。

B. ジャンプトレーニング介入によるトレーニング前後の生理的負荷の変化および 20m シャトルランの成績の改善について

ジャンプ運動トレーニングによって、運動プログラムの後半における%HRmax の上昇が減弱した。有酸素性作業能力を改善させるトレーニングは、トレーニング後に最大下作業時の HR を低下させる (Eddy et al., 1977; Hamilton and Andrew., 1976; Mayers et al., 1979; Van Handel et al., 1976)。この HR の減少は、心拍出量の増加 (Douglas and Becklake., 1968; Van Handel et al., 1976)、動静脈酸素較差の増大 (Cunningham et al., 1976; Ekblom and Hermansen., 1968; Fox et al., 1977; Van Handel et al., 1976)、運動中の血液量の増加 (Benestad., 1965) および総ヘモグロビンの増加 (Holmgren et al., 1960) により、酸素運搬能力が高められることや、活動筋のミトコンドリアの増加 (Fox et al., 1977; Hickson et al., 1976) によるものと考えられている。本研究のジャンプトレーニングにおいても、これらの生理的要因が変化することで、運動終盤の HR や%HRmax がトレーニング前に比較して低く抑えられた可能性がある。

Takai et al. (2013) は、8 週間の自体重負荷スクワット運動によって膝伸展筋力が改善することを報告している。筋電図を用いた先行研究 (Fujita et al., 2011; Takai et al., 2013; Haramura et al., 2017b) によれば、身体運動時の下肢筋群にかかる生理的負荷は、下肢筋群の最大筋力と負の相関関係にある。しかし、筋活動の大きさは心拍数に影響すること (Cohen and Johnson., 1971) を考えると、仮にトレーニングによって最大筋力が増加したのであれば、運動の 1 セット目にトレーニング前後で負荷の軽減が起こると考えられる。しかしながら、本研究ではジャンプ運動の後半のみで生理的負荷の減少が認められた。これは、トレーニングによる最大筋力の増加の影響でなく、筋持久力が改善した可能性がある。膝関節伸展運動を連続で 50 回行い筋持久力の評価を行った先行研究は (Sale and Norman., 1982)、作業後半になると有酸素性代謝の貢献が大きくなるとしている。本研究における自体重負荷運動も、連続で 90 回以上行うという先行研究以上の運動量であることから、運動後半の有酸素性作業能力の変化に伴う筋持久力の改善が起こった可能性が考えられる。

本研究では、20 週間のトレーニング介入前後で 20m シャトルランの成績が 84.0 ± 22.4 本から 90.9 ± 21.1 本と有意に増加し、1 ヶ月あたりにすると 1.7 本増加した。年齢別でみると、11 歳で 11.0 本 (2.8 本/月)、12 歳で 0.9 本 (0.2 本/月)、13 歳で 15.0 本 (3.8 本/月)であった。平成 26~27 年度の文部科学省の体力・運動能力調査 (2015, 2016) の結果を自然発育による変化とみなし、20m シャトルランの変化量をみると、11 歳では 8.6 本 (0.7 本/月)、12 歳で 17.2 本 (1.4 本/月)、13 歳で 5.2 本 (0.4 本/月)であり、12 歳の被検者以外は本研究が上回った。本研究の 12 歳の対象者が低かった理由として、7 名中 5 名は増加 (1.9 本/月)していたが、そのうち 2 名は低下していたことによる影響が考えられる。一方で、トレーニング介入後にシャトルランの成績は有意に向上したことから、本研究で実施した自体重負荷トレーニングは子どもの有酸素性作業能力を改善させる可能性を持ち得る運動であることが考えられる。

V. 結論

本研究では、小学校高学年および中学生を対象に、自体重負荷を用いた 5 分間のレジスタンス運動およびジャンプ運動の生理的負荷を比較した。その結果、ジャンプ運動の方がレジスタンス運動よりも高い生理的負荷を示し、有酸素性作業能力を改善する運動強度に至っていることが明らかにされた。そこで、ジャンプ運動が全身持久力に与える効果を検討するため、週 5 回の頻度で 20 週間のトレーニング前後におけるジャンプ運動中の生理的負荷および 20m シャトルランテストの本数を比較した。その結果、ジャンプ運動後半における HR および%HRmax の上昇は抑えられ、シャトルランテスト本数は有意な増加を示した。これらのことから、5 分間のジャンプ運動をトレーニング手段に用いれば、学校現場において子どもが自体重負荷により全身持久力を改善できる可能性が明らかにされた。

謝辞

本研究は、国立大学法人鹿屋体育大学の平成 25～27 年度特別経費「学校現場で活用できる学習能力向上を促すトレーニングプログラムの開発」の助成を受けて実施された。また、本研究にご協力いただいた小中一貫校花岡学園小・中学校の関係者の皆様に感謝の意を表します。

VI. 引用文献

- ・ American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 30(6):975-991, 1998
- ・ Andersen, K., Bolstad, A., Loyning, Y., Irving, L: Physical fitness of arctic Indians. *J Appl Physiol* 15: 645-648, 1960.
- ・ Andersen, K., Hart, J: Aerobic working capacity of Eskimos. *J Appl Physiol*, 18: 764-768, 1963.
- ・ Armstrong, N. and Welsman, J: Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol*, 85: 546-551, 2001.
- ・ Atomi, Y., Iwaoka, K., Hatta, H., Miyashita, M., Yamamoto, Y: Daily physical activity levels in preadolescent boys related to $\dot{V}O_2\max$ and lactate threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55: 156-1561, 1986.
- ・ Benestad, A.M: Trainability of old men. *Acta Med Scand* 178: 321-327, 1965
- ・ Cohen M.J., Johnson H.J: Relationship between heart rate and muscular activity within a classical conditioning paradigm. *J Exp Psychol.* 90(2): 222-226, 1971.
- ・ Cunningham, D.A., Telford, P., Swart, G.T: The cardiopulmonary capacities of young hockey players: age 10. *Med Sci Sports* 8: 23-25, 1976.
- ・ Douglas, F.G., Becklake, M.R: Effect of seasonal training on maximal cardiac output. *J Appl Physiol* 25: 600-605, 1968.
- ・ Eddy, D.O., Sparks, K.L., Adelizi, D.A: The effects of continuous and interval training in women and men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 37: 83-92, 1977.

- Ekblom, B., Hermansen, L: Cardiac output in athletes. *J Appl Physiol* 25: 619-625, 1968.
- Fox, E.L., Bartels, R.L., Klinzing, J., Ragg, K: Metabolic responses to interval training programs of high and low power output. *Med Sci Sports Exerc* 9: 191-196, 1977.
- Fujita, E., Kanehisa, H., Yoshitake, Y., Fukunaga, T., Nishizono, H: Association between knee extensor strength and EMG activities during squat movement. *Med Sci Sports Exerc* 43(12): 2328-2334, 2011.
- Hamilton, P., Andrew, G.M: Influence of growth and athletic training on heart and lung functions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 36: 27-38, 1976.
- Haramura, M., Takai, Y., Yamamoto, M., Kanehisa, H: Difference in cardiorespiratory responses body mass-based exercise between boys and adult men, 5th NSCA International conference, 2017a.
- Haramura, M., Takai, Y., Yoshimoto, T., Yamamoto, M., Kanehisa, H: Cardiorespiratory and metabolic responses to body mass-based squat exercise in young men. *J Physiol Anthropol* 36: 14, 2017b.
- 原村未来, 高井洋平, 山本正嘉, 金久博昭. 筋活動水準との関連でみた自体重負荷でのスクワットとフロントランジにおける呼吸循環および代謝応答の違い. *体力科学* 66(1), 101-110, 2017
- Hickson R.C., Heusner W.W., Van Huss W.D. Skeletal muscle enzyme alterations after sprint and endurance training. *J Appl Physiol*. 40(6): 868-871,1976.
- Holmgren, A., Mossfeldt, F., Sjostrand, T., Strom, G: Effect of training on work capacity, total hemoglobin, blood volume, heart volume and pulse rate in recumbent and upright positions. *Acta Physiol Scand* 50: 72-83, 1960.
- Lind, A.R., McNicol, G.W: Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. *J Physiol* 192: 595-607, 1967
- Mahon, A.D., Marjerrison, A.D., Lee, J.D, Woodruff, M.E., Hanna, L.E: Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Res Q Exerc Sports* 81: 466-471, 2010.
- Mayers, N., Gutin, B: Physiological characteristics of elite prepubertal cross-country runners. *Med Sci Sports Exerc* 11: 172-176, 1979.
- 平成 26 年度体力・運動能力調査,
URL: https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00402102&tstat=000001088875&cycle=0&tclass1=000001088877&survey=%E9%81%8B%E5%8B%95%E8%83%BD%E5%8A%9B&result_page=1&second2=1

- ・平成 27 年度体力・運動能力調査,
URL: https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00402102&tstat=000001088875&cycle=0&tclass1=000001088877&survey=%E9%81%8B%E5%8B%95%E8%83%BD%E5%8A%9B&result_page=1&second2=1
- ・平成 27 年度体力・運動能力, 運動習慣等調査,
URL: http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/kodomo/zencyo/1365106.htm
- ・Sale D.G., Norman P.W: Testing strength and power. In: Physiological testing of the elite athlete. MacDougall J.D., Wenger H.A., Green H.J. (eds) The Canadian Association Sports Sciences: 7-37, 1982
- ・Sugisaki, N., Kurokawa, S., Okada, J., Kanehisa, H: Difference in the recruitment of hip and knee muscles between back squat and plyometric squat jump. PLoS One 9, e101203, 2014.
- ・Takai, Y., Fukunaga, Y., Fujita, E., Mori, H., Yoshimoto, T., Yamamoto, M., Kanehisa, H: Effects of body mass-based squat training in adolescent boys. J Sports Sci Med 12: 60-65, 2013.
- ・Van Handel, P.J., Costill, D.L., Getchell, L.H: Central circulatory adaptations to physical training. Res Q 47: 815-823, 1976.
- ・矢部京之介, 都竹茂樹, 脇田裕久, 後藤洋子: 子どもの運動所要量の算出に関する研究. 厚生省心身障害研究(分担研究: 遊びと子どもの健康に関する研究), 88-93, 1998.
- ・山地啓司: 運動処方のための心拍数の科学, 大修館書店. 東京, 1981.
- ・Yoshimoto, T., Takai, Y., Fukunaga, Y., Fujita, E., Yamamoto, M., Kanehisa, H: Effects of school-based squat training in adolescent girls. J Sports Med Phys Fitness 56: 678-683, 2016.