

伸張－短縮サイクル運動遂行能力の向上に対する 縄跳びトレーニングの可能性

－大学陸上競技選手および一般大学生を対象として－

安永 奈央*・丹 信介**・曾根 涼子**

Effect of Jump Rope Training on the Stretch-Shortening Cycle Ability
in University Track and Field Athletes and Untrained Students

YASUNAGA Nao*, TAN Nobusuke**, SONE Ryoko**

(Received September 22, 2022)

大学陸上競技選手と一般学生を対象として、多回旋跳びを段階的に増やした4週間の縄跳びトレーニングが伸張－短縮サイクル（SSC）運動遂行能力と走跳能力に及ぼす影響を検討した。陸上選手は通常のトレーニングのみ行わせる群と、それに加えて縄跳びトレーニングを行わせる群に分けた。縄跳びはできる限り短い接地時間で行わせた。縄跳びトレーニングによって、陸上選手では最大連続跳躍（RJ）の跳躍高/接地時間の値（RJ-index値）および走跳種目の記録に変化はなかったが、同じ縄跳びトレーニングを行わせた一般学生ではRJ-index値と立ち幅跳びの記録が向上した。個人値を用いた検討の結果、90回/分の1回旋跳びでは2回旋跳びに比べて接地時間は長い傾向があったが跳躍高は高く、RJ-index値は同程度であった。縄跳びトレーニングによって陸上選手では効果はないが、一般学生のSSC運動遂行能力は向上する可能性があること、また、リズムが約90回/分の短い接地時間での1回旋跳びは多回旋跳びとともにSSC運動遂行能力を高めるトレーニング手段となる可能性が示唆された。

1. 緒言

陸上競技や球技スポーツでは、走行やジャンプ時に脚を一旦曲げた後、瞬時に蹴り出すという反動動作が多く行われている。この時、下肢の主働筋は、短時間のうちに筋が伸張されながら力を発揮するエキセントリック収縮の直後に、筋が短縮しながら力を発揮するコンセントリック収縮を行っている。このような一連の筋活動は伸張－短縮サイクル（Stretch-Shortening Cycle：SSC）運動と呼ばれており、伸張反射の働きや筋の弾性要素の貢献（弾性エネルギーの貯蔵・再利用）で運動初期から大きな力を急激に発揮したり、運動の効率を高くしたりすることができる（Asmussen and Bonde-Petersen, 1974；Cavagna et al., 1964；Komi and Bosco, 1978）。SSC運動遂行能力は、陸上競技の短距離種目や跳躍種目の優れた選手で高いことが示されており（図子ほか, 1993）、この能力を高い水準に向上させることは、それらの種目のパフォーマンスとの関係で重要である（小

林ほか, 2018；図子ほか, 2017）。

SSC運動遂行能力の測定評価方法として、その場で繰り返しジャンプする連続リバウンドジャンプ（RJ）や、ある高さの台上から跳び降り、着地とともに跳び上がるドロップジャンプ（DJ）が用いられている（遠藤ほか, 2007；吉田ほか, 2018；図子ほか, 2017；図子ほか, 1993）。いずれもできるだけ短い接地時間で高く跳ぶようにさせ、測定された跳躍高を接地時間で除した結果によって評価する。したがって、より短い接地時間でより高く跳躍できる場合にSSC運動遂行能力が高いと評価される。各ジャンプ時の跳躍高を接地時間で除して求めたリバウンドジャンプ指数（RJ-index）とドロップジャンプ指数は、短距離の全力疾走（スプリント）、立ち幅跳び、立ち五段跳び、垂直跳び等の走能力や跳躍能力との間に有意な相関が認められており（遠藤ほか, 2007；岩竹ほか, 2008；永松・武田, 2009；志賀, 2013；図子・高松, 1995）、優れた陸上競技の跳

* リーフラス株式会社 ** 山口大学教育学部 〒753-8513 山口市吉田1677-1, sone@yamaguchi-u.ac.jp

躍選手でこれらの値が高値を示すことや、これらの値が上昇したときに跳躍種目の競技パフォーマンスが向上する可能性が示唆されている（図子ほか，2020；図子ほか，2017）。

一般的な縄跳び運動の筋の収縮動態は典型的なSSC運動であり、縄跳び運動でSSC運動遂行能力が強化される可能性が示唆されている（Miyaguchi et al., 2015；Miyaguchi et al., 2014）。Miyaguchi et al. (2014) は、若年者に前方1回旋跳びと2回旋跳び（1跳躍あたりの縄の回旋数が2回）を各自の様式（リズムおよびタイミング）で行わせ、その時の跳躍高を接地時間で除して縄跳び運動のRJ-indexを求め、最大努力でのRJによるRJ-index（最大のSSC運動遂行能力）と比較した結果から、2回旋跳びについて、SSC運動遂行能力の約70%を活用して行われていたことを報告している。この先行研究では、最大努力のRJ-index（2.5m/s未満）と2回旋跳びのRJ-indexとの間に有意な正の相関が認められており、2回旋跳びはSSC運動遂行能力の強化に有効な運動である可能性が推測されている。また、対象が小学生であるが、Miyaguchi et al. (2015) は、2回旋跳びの連続跳躍回数から判定した縄跳び能力が低い者に比べて高い者の方がSSC運動遂行能力の指標は高く、20m走の全力疾走タイムも速かったこと等から、2回旋跳びは走能力の向上に寄与することや、1跳躍あたりの縄の回旋数を増やした、より多回旋での縄跳びトレーニングがSSC運動遂行能力の向上のために有効であることを示唆している。

SSC運動パフォーマンスを高めるためのトレーニング法であるプライオメトリクスの中で縄跳びは比較的強度が低いものとされている（中村，2002）が、1跳躍あたりの縄の回旋数を増やすと、縄に脚が引っかからないようにより短い接地時間でより高く跳躍しなければならなくなり、先行研究にあるようにSSC運動遂行能力に対する効果が認められることが期待される。また、回旋数が少ない場合でも、より短い接地時間でより高く跳躍するように努めれば、SSC運動遂行能力に対する効果が期待できるかもしれない。2020年春より続くコロナ禍においては、手軽に一人でも行える縄跳び運動の有効性に関する検討を行うことは有意義であると考えられる。

そこで本研究では、大学陸上競技選手を対象として多回旋跳びを段階的に増やす縄跳びトレーニングを実施し、最大努力のRJ-indexを指標としてSSC運動遂行能力およびその能力と密接な関係が認められている走跳能力への影響について検討した。また、定期的に運動を行っていない一般大学生にも同じ縄跳びトレーニングを行わせ、その結果も合わせて検討した。加えて、縄跳びでのSSC運動遂行能力を最大努力のRJの場合と比較することで

縄跳びトレーニングの可能性について検討した。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、Y大学の陸上競技部に所属し、短距離走、ハードルや混成競技を専門としている男子12名と半年間以上の間、定期的に運動を行っていない男女各2名、計4名の一般大学生であった。陸上競技選手は実験を実施した2020年には春以降、新型コロナウイルス感染症の影響で部としての活動は場所や時間が制限されほとんど行えなかったが、実験の約1.5ヶ月前から制限が緩和されたため2時間以内の通常のトレーニング（走り込み、専門練習やウェイトトレーニング）を1週間に5回程度、実験期間中も行った。12名は半々になるように通常のトレーニングのみ行うTC群（年齢：19.0±1.5歳、身長：170.4±5.9歳、体重：63.7±5.2kg）と通常のトレーニングに加えて縄跳びトレーニングを行うTT群（年齢：21.2±0.8歳、身長：172.5±3.8歳、体重：65.2±5.3kg）に分けた。一般大学生（UT群）には縄跳びトレーニングを行なわせた（年齢：21.3±0.5歳、身長：165.4±6.7歳、体重：62.8±5.9kg）。研究実施にあたり、被験者には、本研究の目的、方法等について十分に説明を行い、書面にて同意を得た。本研究は、ヘルシンキ宣言に則り研究計画を立て、国立大学法人山口大学における人を対象とする一般的な研究に関する審査委員会の承認を受けて実施した（2020-025-01）。

被験者には、全測定の場合にその前日は普段以上の激しい運動を控え、当日は測定まで間できるだけ安静に過ごさせた。また、測定前日の夕食は就寝の2時間前までに取り、十分な睡眠を取ることや、前夜からアルコールやカフェインの摂取を控えること、食事は測定の2時間前までに済ませること等によって、測定に備えてもらった。測定場所に到着後には、まず健康状態に関する問診票、および前日からの生活記録表への記入を被験者に行わせ、それらの確認も行った上で、測定を実施した。

2-2. 実験方法

被験者は全員、縄跳びトレーニングの前（Pre）にRJ-indexや走跳能力を2日間に分けて測定し、その4週間後（Post）にそれらの測定を再度行った。RJ-indexの測定方法については、Pre測定より前の別日に被験者に慣れるまで十分に練習させた。トレーニング群は、PreとPostの測定間に、プライオメトリクスの効果を検討した先行研究（Oxfeldt et al., 2019；図子，2006）を参考に1週間に隔日で3回、計12回（4週間）の縄跳びトレーニングを実施した。縄跳びによるトレーニングと測定にはすべて同じ縄（アシックスジャパン社、クリアー

トビナワ)を用いた。また、縄の長さは、事前に縄を両足で踏んで持ち手が臍の高さになる位置を目安にして被験者自身に決めさせ、常にその長さとした。実験は2020年10月19日から同年12月11日の間に行った。この期間は競技シーズンが変わる時期ではあったが、コロナウイルス感染症の状況も鑑み、決定した。

2-3. 測定項目および測定方法

PreとPostの両測定で、初日には最初に体重を測定した後、RJと縄跳びの各RJ-indexおよび垂直跳びの測定を体育館で体育館シューズを着用させて行った。その後、基本的に数日間開けて立ち幅跳び、立ち五段跳びおよび60m走の測定をこの順番で大学の陸上競技場で実施した。スパイクの使用は控えさせた。両日ともに測定の前には十分なウォーミングアップを行わせた。また、PreとPostの測定は、同一被験者については同じ時間帯に行うようにした。

RJについては、被験者に、その場で連続して6回両脚で跳躍させた。跳躍時には、両手を腰(側腹部)に当て腕の振込動作を排除し、膝や股関節の大きな緩衝動作を利用せずに、3回目以降にできる限り接地時間を短く、かつできるだけ高く跳躍させた。試技は、十分な休憩を挟んで2回行わせた。試技中には床に置いたデジタルカメラ(カシオ社、EXILIM EX-F1)を用いて足部をフレームレート300fpsで左右から撮影し、実験後にその撮影映像をもとに、動作解析ソフトFrame-DIAS IV(DKH社)を用いて接地時間と滞空時間を測定した。接地時間は、地面に足が接地した時点から、地面から足が完全に離れる時点までの時間を測定した。滞空時間は、足が地面から完全に離れた時点から、再び足が地面に接地した時点までの時間を測定した。それらの測定値を用いて、式(1)より跳躍高を算出し、次に式(2)よりRJ-indexを算出した。

$$\text{跳躍高 (m)} = (1/8) \times 9.81 \times \text{滞空時間 (s)}^2 \cdots \text{式 (1)}$$

(9.81は重力加速度 (m/s²) を示す)

$$\text{RJ-index (m/s)} = \text{跳躍高 (m)} / \text{接地時間 (s)} \cdots \text{式 (2)}$$

試技の途中で跳躍動作が乱れたり、カメラの画角から足部がはみ出たりした場合は失敗試技とし、3回までやり直した。RJ-indexの記録には成功した2回の試技に含まれる最大努力での跳躍の中の最高値を用いた。この測定方法は岡子ほか(1993)を参考にした。

縄跳びのRJ-indexは、前方1回旋跳びおよび実行可能な多回旋跳びをそれぞれ基本的に連続で10回×2試技を試技間に十分な休憩を挟んで行わせ、先述のRJのRJ-indexと同じ方法で接地時間と滞空時間を測定して求めた。縄の跳び方は、RJの場合と同様にできる限り短い接地時間で、膝や股関節の大きな緩衝動作を利用せず

に、真上に跳ばせた。また、跳ぶ速さを調整しやすい1回旋跳びは電子メトロノームの音に合わせて90回/分と110回/分の2つのリズムで行わせた(それぞれ1回旋跳び-90および1回旋跳び-110)。これらのリズムを選んだ理由は、RJの場合ではあるが、先行研究(新井ほか, 2017; 川端ほか, 2020)において、約90回/分のリズムでのRJ-indexが最も高い値を示していたこと、および120回/分以上の速いリズムでは離地しない現象が多く認められていたことである。多回旋跳びの場合は、予備跳躍を3回程度行わせた。各回旋跳びについて試技の途中で跳躍動作の乱れやカメラの画角から足部がはみ出たり、10回連続で跳べなかったりした場合には1回の試技に対して3回までやり直させた。結果的に連続跳躍回数が少ない場合等があったが、各縄跳び種目のRJ-indexは、基本的に跳躍高、接地時間、RJ-indexおよびリズムのすべてが安定しており、跳躍回数が合計5回以上あることを条件として、その平均値を記録として用いた。また、各縄跳び種目のRJ-indexをRJのRJ-indexで除し、100を乗じて百分比を求めた(%RJ-index)。1回の接地時間と直後の滞空時間を合わせた1跳躍時間を用いて実際のリズム(1分間あたりの跳躍回数)を求めた。

垂直跳びについては、直立姿勢から膝と股関節を曲げてしゃがみ込み、素早く切り返し、最大努力で跳躍させた。RJと同様に腕の振込み動作の影響を排除するために、両手を腰に当てた姿勢で行わせた。跳躍高はデジタル垂直跳び測定器(竹井機器工業社、T.K.K. 5106)を用いて測定した。立ち幅跳びについては、新体力テスト(文部科学省, online)と同じ方法で行った。すなわち、両足を軽く開いて、つま先が踏切線の前端に揃うように立ち、両足で同時に踏み切って最大努力で前方へ跳ばせた。身体が砂場に触れた位置のうち、最も踏切線に近い位置と、踏切前の両足の中央の位置(踏切線の前端)とを結ぶ直線の距離を測定した。立ち五段跳びについては、立ち幅跳びと同様にして両足で同時に踏み切って前方へ跳び、その後4回の交互片脚跳躍を連続で行い、最大の跳躍距離を獲得するように行わせた。跳躍距離の測定方法は立ち幅跳びと同じであった。垂直跳び、立ち幅跳び、および立ち五段跳びの記録はいずれもm単位とし、小数点第二位未満は切り捨てた。UT群については立ち五段跳びの経験がない者が多く、けがの恐れや経験の差が記録に影響することが考えられたため、実施しなかった。60m走については、計測はスタートの技術的要素が関与しないようスタンディングスタートで行わせ、タイムは手動時計で0.01s単位で計測した。走跳各種目はいずれも基本的に2回実施し、良い方の記録を採用した。また、試技間には十分な休憩を挟んだ。

2-4. 縄跳びトレーニング

縄跳びトレーニングは表1に示すようにステップが進む毎に多回旋跳びの回数を徐々に増やした。表1の各回旋跳びの回数は失敗した跳躍を含んだ。第1回のトレーニングでは、各回旋跳びの最高連続回数を測定した後、第1ステップを行った。また、その後のトレーニングでは、基準をクリアしたら次のトレーニングで1ステップ進む方法で行った。セット間休憩は1分間とし、1回旋跳びから2回旋跳びのように1跳躍当たりの回旋数が増えるときには十分な休憩を挟んだ。1回旋跳びについては、リズムを第1回のトレーニングでは任意としたが、第2回以降では110回/分とし、電子メトロノームの音に合わせて跳ばせた。このようにリズム統制したのは、リズムが異なることで生体への負担やトレーニング効果に差が生じないようにし、かつより跳躍し易い速いリズムで1回旋跳びを行うことで多回旋跳びに取り組みやすくするためであった。多回旋跳びについてはすべて任意のリズムで行った。跳び方については、縄跳びのRJ-index測定時と同様に短い接地時間で、膝や股関節の大きな緩衝動作を利用せずに、真上に跳ぶようにさせた。また、できる限り連続で跳ぶことを指示した。なお、毎回のトレーニングの前後には軽く体操等を行わせた。

本研究における縄跳びトレーニングは、コロナ禍で実施したため集まっては行わず、各被験者に、周りの人との距離を確保して安全に行える時間と場所（陸上競技場や自宅周辺）を選んで行わせた。毎回の縄跳びトレーニングについて、取り組んだ日時、場所、天気、トレーニングのステップ、実際に行った各回旋跳びの最高連続回数、トレーニング前後の身体の状態、トレーニングの主観的強度、およびその他の気づきを専用の記録用紙

に記入させるとともに、SNSによって実験者に報告させた。また、その各被験者への返信で、実験者は跳び方の確認等を繰り返し行った。トレーニングの主観的強度は、Borgによる主観的運動強度の表（Borg, 1973）を用いて、6～20までの15段階の中から該当する数値を選んで記録させた。

2-5. 統計解析

全データは平均値±標準偏差で示した。各縄跳び種目、RJ、および走跳種目の測定結果および体重のそれぞれについて、群要因（TC群・TT群）と時間要因（Pre・Post）による反復測定二元配置分散分析法を行い2要因の主効果と交互作用の有意性を検定した。体重については有意差がなかったためPreとPostの平均値を示した。跳躍高、接地時間およびRJ-indexのそれぞれについて、各縄跳び種目とRJの間の比較にはそれぞれ一元配置分散分析法を用いた。分散分析の事後検定にはTukey-Kramer法を用いた。UT群のPreとPostの結果の比較には対のあるt検定を用いた。2変数間の関係はピアソンの相関係数（r）を求めて検討した。なお、統計処理ソフトはオーエムエス社のStatcel 4を使用し、有意水準5%をもって統計学的有意とした。

3. 結果

縄跳びトレーニングはTT群とUT群の全被験者が完遂し、トレーニングの主観的強度は両群ともにトレーニング期間を通して大きな変化はなく、平均して12～14（楽である～ややきつい程度）（Borg, 1973）であった。縄跳びトレーニングの最終回のステップは、TT群では第4ステップが2名、第5ステップが3名で、1

表1 縄跳びトレーニング

ステップ	縄跳びトレーニング内容			次のステップへ進む基準
	1回旋跳び	2回旋跳び	3回旋跳び	
第1	100×5セット			2回目のトレーニング以降、1回旋跳びを少なくとも1セットについて、連続して100回行えるようになったら、第2ステップへ
第2	100×5セット	25回×1セット		2回旋跳びを連続して10回行えるようになったら、第3ステップへ
第3	100×4セット	50回×1セット		2回旋跳びを連続して20回行えるようになったら、第4ステップへ
第4	100×3セット	50回×2セット	10回×1セット	2回旋跳びを連続して30回行えるようになったら、第5ステップへ
第5	100×2セット	50回×2セット	20回×2セット	3回旋跳びを連続して10回行えるようになったら、次ステップへ（多回旋跳びを増やす）

1回旋跳びのリズムは第1回トレーニングでは任意とし、第2回以降は110回/分とする。多回旋跳びのリズムは任意とする。

表 2 陸上競技選手について縄跳びトレーニング前後における各縄跳び種目とリバウンドジャンプ、および走跳種目の結果

種目	TC群		TT群		分散分析の結果			
	Pre	Post	Pre	Post	群	Pre・Post	交互作用	
1回旋跳び (90 bpm)	跳躍高 (m)	0.278 ± 0.030	0.281 ± 0.029	0.266 ± 0.044	0.279 ± 0.036	ns	ns	ns
	接地時間 (s)	0.175 ± 0.013	0.178 ± 0.013	0.188 ± 0.030	0.181 ± 0.028	ns	ns	ns
	RJ-index (m/s)	1.61 ± 0.28	1.60 ± 0.28	1.48 ± 0.47	1.60 ± 0.42	ns	ns	ns
	リズム (bpm)	92.3 ± 2.0	91.5 ± 1.6	92.1 ± 1.7	91.5 ± 2.7	ns	ns	ns
1回旋跳び (110 bpm)	跳躍高 (m)	0.175 ± 0.014	0.179 ± 0.012	0.165 ± 0.031	0.171 ± 0.026	ns	ns	ns
	接地時間 (s)	0.171 ± 0.010	0.167 ± 0.008	0.177 ± 0.024	0.175 ± 0.029	ns	ns	ns
	RJ-index (m/s)	1.03 ± 0.13	1.07 ± 0.09	0.97 ± 0.32	1.02 ± 0.30	ns	ns	ns
	リズム (bpm)	109.7 ± 2.2	109.6 ± 2.8	110.8 ± 3.1	109.6 ± 1.5	ns	ns	ns
2回旋跳び	跳躍高 (m)	0.226 ± 0.038	0.231 ± 0.043	0.228 ± 0.003	0.237 ± 0.052	ns	ns	ns
	接地時間 (s)	0.160 ± 0.012	0.164 ± 0.010	0.171 ± 0.023	0.169 ± 0.021	ns	ns	ns
	RJ-index (m/s)	1.43 ± 0.28	1.42 ± 0.30	1.37 ± 0.37	1.42 ± 0.32	ns	ns	ns
	リズム (bpm)	102.3 ± 5.9	101.2 ± 6.1	100.0 ± 2.9	99.5 ± 8.1	ns	ns	ns
リバウンド ジャンプ	跳躍高 (m)	0.326 ± 0.049	0.340 ± 0.051	0.331 ± 0.043	0.342 ± 0.035	ns	ns	ns
	接地時間 (s)	0.162 ± 0.015	0.163 ± 0.010	0.171 ± 0.022	0.171 ± 0.021	ns	ns	ns
	RJ-index (m/s)	2.04 ± 0.46	2.09 ± 0.37	1.97 ± 0.42	2.03 ± 0.31	ns	ns	ns
垂直跳び (m)	0.43 ± 0.03	0.45 ± 0.03	0.42 ± 0.07	0.46 ± 0.06	ns	p<0.05	ns	
立ち幅跳び (m)	2.21 ± 0.17	2.31 ± 0.11	2.23 ± 0.21	2.25 ± 0.27	ns	ns	ns	
立ち五段跳び (m)	11.77 ± 0.69	11.74 ± 0.42	12.40 ± 0.95	12.31 ± 0.89	ns	ns	ns	
60m走 (s)	7.88 ± 0.26	8.07 ± 0.25	7.93 ± 0.25	8.00 ± 0.22	ns	p<0.05	ns	

n数は1回旋跳び(90 bpm)のTC群が5およびTT群が6、2回旋跳びのTC群とTT群が各5、その他の種目ではTC群、TT群ともに6である。
nsは非有意(not significant)である。

名のみは連続して10回以上2回旋跳びができず第2ステップであった。UT群では第4ステップと第5ステップが各2名であった。

表2は、TC群とTT群について、PreとPostにおける各縄跳び種目およびRJのRJ-indexに関する測定結果と走跳種目の記録を示している。データ数(n)は、PreとPostの両時点で測定できない場合があったため、1回旋跳び-90のTC群と2回旋跳びの両群について5であった。また、3回旋跳びについては両時点で測定できた被験者はTC群の2名のみであり、群間比較ができなため結果に示さなかった。Pre、Postともに、1回旋跳びのリズムは両群で指定のリズムとほぼ一致し、2回旋跳びのリズムは約100回/分であった。分散分析の結果、各縄跳び種目およびRJのそれぞれの跳躍高、接地時間およびRJ-indexについて、いずれも群要因と時間要因の主効果および交互作用ともに有意ではなかった。垂直跳び、立ち幅跳び、立ち五段跳びおよび60m走の記録については、いずれにも有意な交互作用は認められなかったが、垂直跳びと60m走については時間要因に有意な主効果が認められ、Preに比べてPostの方が垂直跳びの跳躍高は高くなり(p<0.05)、60m走のタイムは延長した(p<0.05)。それら以外では、有意な主効果、交互作用を示す項目は認められなかった。

表3にUT群の結果を示した。2回旋跳びについては

表 3 一般大学生 (UT群) について縄跳びトレーニング前後における各縄跳び種目とリバウンドジャンプ、および走跳種目の結果

種目	Pre	Post	
1回旋跳び (90 bpm)	跳躍高 (m)	0.224 ± 0.057	0.234 ± 0.025
	接地時間 (s)	0.222 ± 0.049	0.191 ± 0.010
	RJ-index (m/s)	1.08 ± 0.48	1.24 ± 0.19
	リズム (bpm)	92.8 ± 2.4	95.6 ± 2.4
1回旋跳び (110 bpm)	跳躍高 (m)	0.148 ± 0.024	0.159 ± 0.011
	接地時間 (s)	0.199 ± 0.020	0.186 ± 0.003
	RJ-index (m/s)	0.76 ± 0.2	0.86 ± 0.07
	リズム (bpm)	110.2 ± 2.4	110.0 ± 2.1
2回旋跳び	跳躍高 (m)	0.178 ± 0.028	0.174 ± 0.022
	接地時間 (s)	0.177 ± 0.007	0.178 ± 0.015
	RJ-index (m/s)	1.01 ± 0.19	0.98 ± 0.19
	リズム (bpm)	107.6 ± 4.4	108.4 ± 2.4
リバウンド ジャンプ	跳躍高 (m)	0.317 ± 0.039	0.336 ± 0.026
	接地時間 (s)	0.189 ± 0.020	0.180 ± 0.020
	RJ-index (m/s)	1.69 ± 0.27	1.89 ± 0.30*
垂直跳び (m)	0.43 ± 0.07	0.44 ± 0.08	
立ち幅 (m)	2.09 ± 0.28	2.23 ± 0.24*	
60m走 (s)	8.82 ± 0.96	8.95 ± 0.94*	

n数は2回旋跳びが3、その他の種目が4である。*p<0.05。

n数は3であった。また、3回旋跳びについては測定できた者はいなかった。Pre、Postともに、1回旋跳びのリズムは指定のリズムとほぼ一致し、2回旋跳びのリズムは約108回/分であった。UT群では、Preに比べてPostでRJのRJ-indexが有意に上昇し ($p < 0.05$)、立ち幅跳びの跳躍距離は有意に長くなった ($p < 0.05$)。一方、Preに比べてPostの方が60m走のタイムは陸上競技選手と同様に有意に延長した ($p < 0.05$)。その他に有意差は認められなかった。

これ以降の結果は、各縄跳び種目と最大努力のRJの間で比較するため、跳躍高、接地時間およびRJ-indexのそれぞれについて、Preにおける全被験者の測定値を用いて分析した結果を示した。n数は1回旋跳び-90が15、2回旋跳びが13、3回旋跳びが2、その他の種目が16であった。統計解析はn数が少ない3回旋跳びを除いて行った。

図1は、跳躍高、接地時間、RJ-index、および%RJ-indexのそれぞれについて、各縄跳び種目とRJの平均値と個人値を示している。3回旋跳びは統計解析を行っていないため、右端に示した。また、陸上競技選手を黒

丸、一般大学生を白丸で示した。分散分析の結果、すべてに有意な主効果が認められた(接地時間 $p < 0.05$ 、それ以外 $p < 0.01$)。多重比較検定の結果、跳躍高は1回旋跳び-110が最も低く、2回旋跳び、1回旋跳び-90、RJの順に高くなる傾向が認められた(1回旋跳び-90と2回旋跳びの間 $p < 0.05$ 、それ以外 $p < 0.01$)。接地時間は1回旋跳び-90が長く、それに比べて2回旋跳びやRJが短い傾向があったが、多重比較検定の結果では有意な差は認められなかった。RJ-indexおよび%RJ-indexには跳躍高と同様の傾向が認められたが、両者の1回旋跳び-90と2回旋跳びとの間、およびRJ-indexの1回旋跳び-110と2回旋跳びの間に有意差はなかった。また、%RJ-indexは、低い順に1回旋跳び-110が約50%、2回旋跳びが約70%、1回旋跳び-90が約74%、3回旋跳びが約84%であった。

図2は、RJ-indexと跳躍高の関係(A)およびRJ-indexと接地時間の関係(B)を各縄跳び種目とRJのそれぞれの場合について示している。1・2回旋跳びとRJのいずれについてもRJ-indexと跳躍高の間には有意な強い正の相関が認められ ($p < 0.01$)、RJ-indexと接

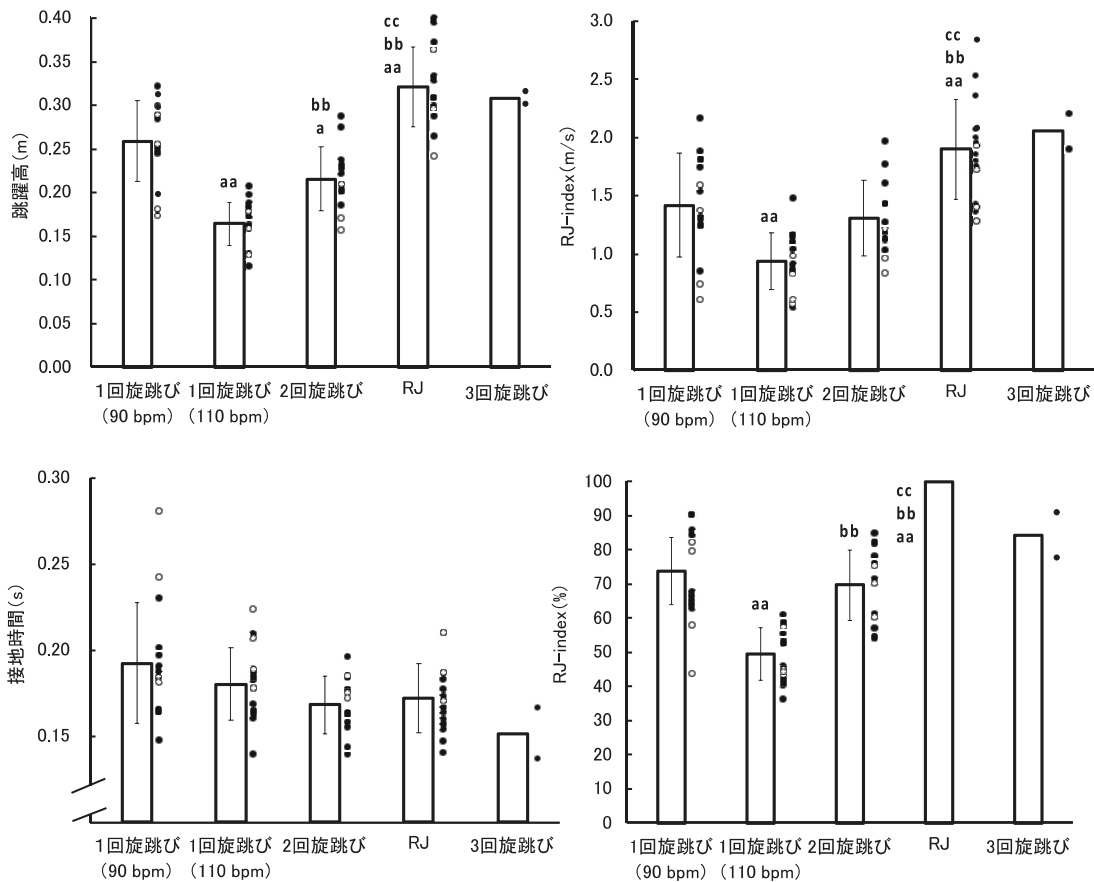


図1 各縄跳び種目およびリバウンドジャンプ (RJ) の跳躍高、接地時間およびRJ-index

n数は1回旋跳び (90 bpm) が15、2回旋跳びが13、3回旋跳びが2、その他の種目が16である。白丸は一般大学生、黒丸は陸上選手を示す。a およびaaは1回旋跳び (90 bpm) との有意差 (それぞれ $p < 0.05$ および $p < 0.01$)、bbは1回旋跳び (110 bpm) との有意差 ($p < 0.01$)、およびccは2回旋跳びとの有意差 ($p < 0.01$) である。

地時間の間には有意な強い負の相関が認められた ($p < 0.01$)。

図3は、跳躍高 (A)、接地時間 (B) およびRJ-index (C) のそれぞれについて、RJの結果と各縄跳び種目の結果の関係を示している。跳躍高について、RJと1回旋跳び-110、およびRJと2回旋跳びとの間にそれぞれ中程度の有意な正の相関が認められた ($p < 0.05$)。それら以外についてはすべてに強い正の相関が認められた (いずれも $p < 0.01$)。

4. 考察

4-1. 縄跳びトレーニングについて

本研究では多回旋跳びによる縄跳びトレーニングがSSC運動遂行能力に及ぼす効果を検証することを目的としたが、対象とした一般大学生だけでなく、陸上競技選手の中にも縄跳び経験が少ない者がいたこともあり、縄跳びトレーニングは1回旋跳びをある程度行わせた上で多回旋跳びを行わせるようなものにした。また、多回旋跳びは段階的に増やすようにした。

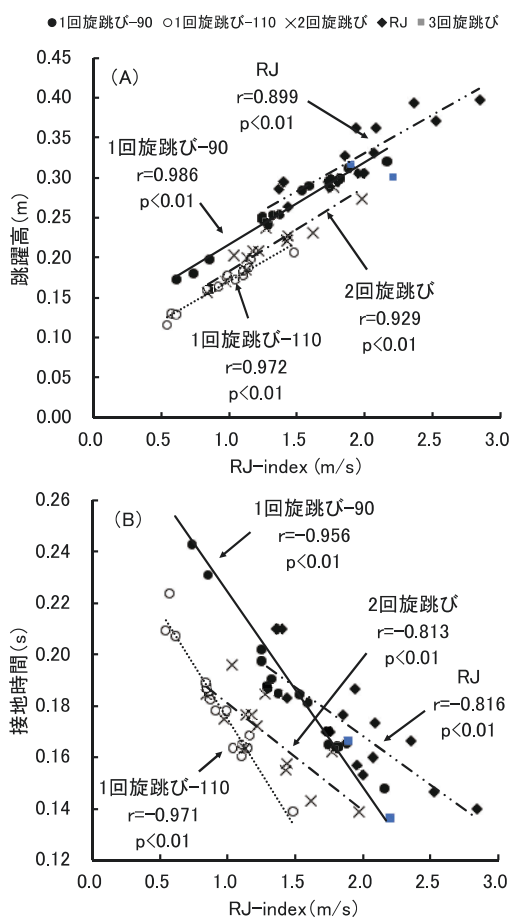


図2 各縄跳び種目およびリバウンドジャンプ (RJ) のRJ-indexと跳躍高の関係 (A) およびRJ-indexと接地時間 (B) の関係
n数は1回旋跳び-90が15、2回旋跳びが13、3回旋跳びが2、その他は16である。

Miyaguchi et al. (2014) は、多回旋跳びにおけるSSC運動遂行能力の発揮の程度を示す指標として、縄跳びのRJ-indexを最大努力のRJ-indexで除して求めた%RJ-indexを用いている。本研究の2回旋跳びにおける%RJ-indexは約70%であった。これはSSC運動遂行能力の強化に対する多回旋跳びによる縄跳びトレーニングの有効性を示唆したMiyaguchi et al. (2014) の結果と一致した。この先行研究では活動的で健康な若年男性を対象として

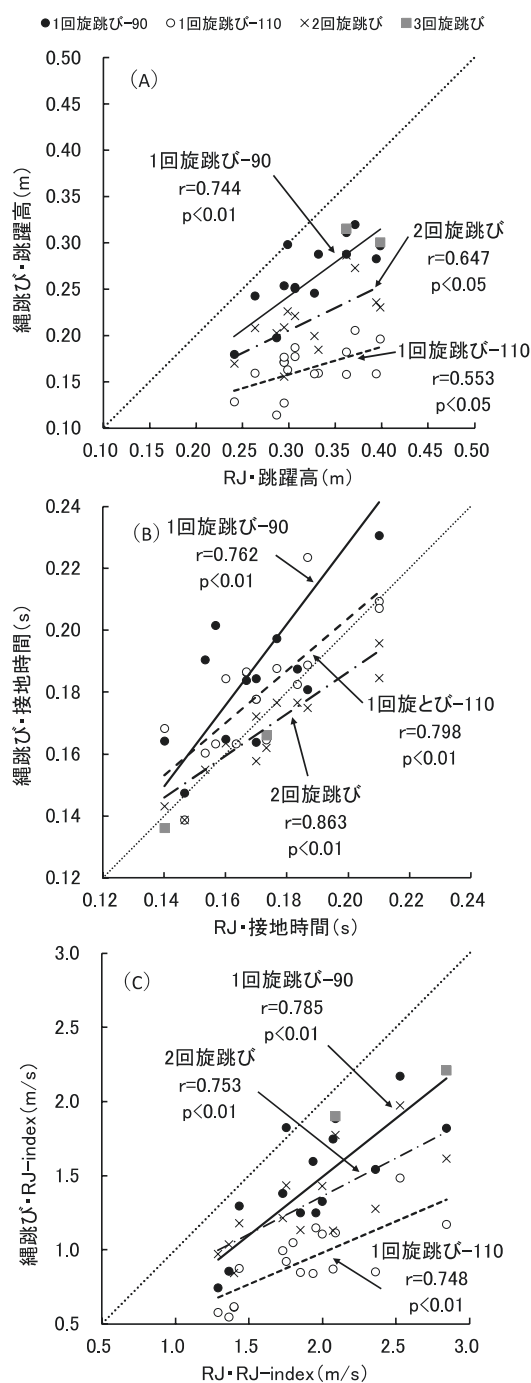


図3 跳躍高 (A)、接地時間 (B) およびRJ-index (C) に関するリバウンドジャンプ (RJ) の結果と各縄跳び種目の結果との関係
n数は1回旋跳び-90が15、2回旋跳びが13、3回旋跳びが2、その他は16である。

おり、最大努力でのRJにおける接地時間、跳躍高とRJ-indexは本研究とほぼ同様の値であった。また、3回旋跳びについては、2回旋跳びに比べて高いSSC遂行能力の発揮が必要であり、その程度は本研究では約84%であった。先行研究（武田・永松，2013）において3回旋跳びの熟練者でも本研究に近い結果（約77%）が報告されている。

本研究の縄跳びトレーニングにおける多回旋跳びの回数は、第1ステップでは0回、第2・3ステップでは2回旋跳びがそれぞれ25回および50回、第4・5ステップでは2回旋跳びが100回と3回旋跳びがそれぞれ10回および40回であり（表1）、第4ステップ以上で100回を超えた。通常のプライオメトリクスでは、その量（回数）について1セッションあたりの足の接地回数が50回では少ないが、200回以上では多いと報告されている（Davies et al., 2015）。したがって、本研究の縄跳びトレーニングでは第3ステップまでについては量的に不十分であったことが考えられる。また、プライオメトリクスではSSC運動遂行能力の向上のため筋のエキセントリック収縮からコンセントリック収縮への切り替え時間を短くすることが重要である（Davies et al., 2015）ため、本研究の縄跳びトレーニングは種目に関わらず短い接地時間で行うことを重要なポイントとして行った。

4-2. 縄跳びトレーニングの効果

本研究における大学陸上競技選手の結果（表2）をみると、SSC運動遂行能力の指標とした最大努力でのRJ-index（遠藤ほか，2007；関子ほか，2017）とその場合の接地時間と跳躍高、および先行研究（遠藤ほか，2007；岩竹ほか，2008；永松・武田，2009；志賀，2013；関子・高松，1995）においてSSC運動遂行能力と有意な相関が認められている走跳種目の記録のいずれにも群要因（TC群・TT群）と時間要因（Pre・Post）の有意な交互作用は認められなかった。また、PreとPostの両時点で測定できた1・2回旋跳びの跳躍高、接地時間とRJ-indexにも群要因と時間要因に有意な交互作用は認められなかった。したがって、本研究の大学陸上競技選手においては、縄跳びトレーニングによって、SSC運動遂行能力に対する効果は認められないこと、および1・2回旋跳びの跳び方、ひいては縄跳び時のSSC利用にも変化はなかったことが考えられる。

大学陸上競技選手において、SSC運動遂行能力に対する縄跳びトレーニングの効果が認められなかった原因については以下の点が推察される。第一に縄跳びトレーニング期間が十分でなかったことが考えられる。先述のように2回旋以上の多回旋跳びの回数は第4ステップ以上では100回を超えたが、実際に第4ステップ以

上でトレーニングを行った回数は全12回のうち平均5.8回（約2週間）であった。また、本研究では先行研究（Oxfeldt et al., 2019；関子，2006）を参考にして縄跳びトレーニングの期間をプライオメトリクスの効果が得られる範囲内に設定したが、4週間はその下限であった。これらのこと、および縄跳びは高強度のプライオメトリクス（Davies et al., 2015）ではなかったこともあり、本研究ではトレーニングの期間、ひいては量が陸上競技選手に対しては十分ではなく、その効果が認められなかった可能性があると考えられる。第二に陸上競技選手の通常のトレーニングが影響したことが推測される。先行研究（Oxfeldt et al., 2019；Pienaar and Coetzee, 2013）において、元々のトレーニング量が多く、体力レベルが高い場合にはプライオメトリクスの効果が現れにくいことが示唆されている。これらのことから、陸上競技選手ではコロナ禍ではあったが、定期的に行われた専門的トレーニングの影響によって縄跳びトレーニングの効果が得られなかったことが考えられる。

一方、本研究において、定期的な運動を行っていない一般大学生についてみると、n数が4と少なかったが、縄跳びトレーニングの進捗は陸上競技選手とほぼ同じであり、最終回のステップは全員が第4と第5であった。縄跳びトレーニング前後で比較すると、最大努力でのRJ-index値および立ち幅跳びの記録はトレーニング後に有意に向上した（表3）。今後、縄跳び以外のトレーニングを行う被験者群やトレーニングを行わない対照群の設定も行う等してさらなる検証が必要であるとは考えられるが、この結果から、多回旋跳びを段階的に増やすようにした4週間の縄跳びトレーニングによって一般大学生ではSSC運動遂行能力が向上する可能性が推測される。

本研究において、60m走のタイムには縄跳びトレーニング期間の前後で有意差があり、大学陸上競技選手と一般大学生とともに縄跳びトレーニング後のPostの方が遅くなった。この原因として、測定時の気温（実験を行ったY市9～15時平均値、気象庁のデータを使用）をみるとPreにおいては約21.6°C、Postには約12.5°Cであり、Postの方が10°C近く低くなっており、屋外での測定でもあったことが影響して特に走種目でパフォーマンスが低くなったことが推測される。また、陸上競技選手では実験期間中に冬期トレーニングへの移行期に入り、スプリントを少なくする等、練習内容が変化したことが影響したことも考えられる。しかしながら、それらによって、陸上競技選手で加えて認められた垂直跳びの記録の変化、すなわちPreに比べてPostの方が垂直跳びの跳躍高が有意に高かったという結果を説明することは難しい。本研究の結果からその原因を明らかにすることはできな

いが、測定を行う中で技能面が改善された可能性はある (Oxfeldt et al., 2019) のではないかと考えられる。

4-3. SSC運動としての最大努力のRJと縄跳びの比較

本研究における最大努力のRJ-index、ひいてはSSC運動遂行能力、および1・2回旋跳びのRJ-index、ひいては各縄跳び種目でのSSC利用について、それぞれの個人差が接地時間と跳躍高のいずれか一方の差によるのかそれとも両方の差によるのかをみると、いずれも両方の差に起因した。すなわち、最大努力のRJと各縄跳び種目のいずれの場合にも、RJ-indexと接地時間の間には強い負の相関、およびRJ-indexと跳躍高の間には強い正の相関があり、より短い接地時間でより高く跳ぶことでより高いRJ-index値が達成されていた (図2)。また、RJ-index、跳躍高および接地時間のそれぞれについて、最大努力のRJと各縄跳び種目の結果 (個人値) の相関分析を行なったところ、すべてで中程度から強い正の相関が認められた (図3)。したがって、同一個人において、最大努力のRJと1・2回旋跳びで示される接地時間、跳躍高およびRJ-indexに関する特徴はよく一致すると言える。

しかし、縄跳びトレーニングの有効性を示唆した先行研究 (Miyaguchi et al., 2014) では、RJ-indexに関して最大努力と2回旋跳びの間には本研究と同様に有意な正の相関を認めているが、1回旋跳びについては本研究と異なり、有意な相関を認めていない。また、2回旋跳びについても、先行研究で認められた相関は、本研究に比べて弱かった (本研究 $r=0.753$ (図3 (c))、Miyaguchi et al. $r=0.28$)。先行研究と本研究の所見が一致しない原因には、縄の跳び方が異なったことが関係しているのではないかと推測される。すなわち、本研究では、どの縄跳び種目の場合にもできる限り短い接地時間で跳ぶようにさせた。その結果、縄跳びの場合にも最大努力でのRJの場合と同様に、各個人がどの程度、接地時間を短縮できて、跳躍高やRJ-index値を高くできるかが評価されることになったために関係がより明らかになったと考えられる。一方、先行研究では縄の跳び方を自由としており、そのために関係が認められにくかったのではないかと考えられる。これらのことから、できる限り短い接地時間で1回旋跳びや2回旋跳びを跳ぶようにすることで、最大努力のRJで評価した各個人が持つSSC運動遂行能力に応じたSSC運動としての跳び方ができると考えられる。

本研究において、大学陸上競技選手については多回旋跳びによる縄跳びトレーニングの有効性を示せなかったが、3回旋跳びを安定して10回×2試技行えた被験者

(1名) では、本研究の被験者の中でRJのRJ-indexが約2.8m/sと最も高く、60m走も最も高いパフォーマンスを示していた。3回旋跳びを安定してできる熟練者では、最大努力のRJ-indexが競技水準の高い跳躍選手 (図子ほか, 2020) と同じく3m/sを超えていたという報告 (武田・永松, 2013) もある。また、その熟練者の3回旋跳びの接地時間は131.9msと短く、最大RJにおける接地時間の130msとほぼ同じであったことが示されている。本研究における接地時間の個人値 (図3 (B)) をみると、1回旋跳びでは大半が最大努力のRJに比べてやや長い接地時間であったが、2・3回旋跳びでは最大努力のRJの場合と同程度か短い者が多かった。これらのことから、多回旋跳びでは接地時間を短くするように規定しなくとも、1跳躍あたりの縄の回旋数が2回、3回と増えることで、縄に脚が引っかからないようにより短い接地時間での素早い跳躍運動になる傾向がある。そのため、陸上競技選手においても、多回旋跳びによる縄跳びトレーニングを継続して行うことによって、そのような跳躍をより安定してできるようになれば、SSC運動遂行能力に対して有効となる可能性はあるのではないかと考えられる。ただし、多回旋跳びの習得のためには縄を素早く回旋しながら、縄の回旋に合わせて跳躍する難しさがあり、習得が遅い場合がある (武田・永松, 2013)。本研究においても、そのために縄跳びトレーニングの進捗が遅かったと考えられる被験者が1名いた。

本研究の結果、90回/分のリズムで1回旋跳びを跳んだ場合のRJ-indexは2回旋跳びのRJ-indexと同程度であり、SSC運動遂行能力発揮の程度は前者が約74%、後者が約70%であった (図1)。90回/分のリズムの1回旋跳びでは2回旋跳びに比べて接地時間はやや長いものの (図3 (b))、跳躍高については2回旋跳びよりも高値を示し、最大努力のRJの跳躍高との間により強い正の相関が認められている (図3 (a))。Miyaguchi et al. (2014) はSSC運動遂行能力発揮の程度が2回旋跳びで平均70%であったこと等をもとに、SSC運動遂行能力の強化に対する多回旋跳びによる縄跳びトレーニングの有効性を示唆している。また、90回/分のリズムはRJのRJ-indexが最も高い値を示すリズムであり (新井ほか, 2017; 川端ほか, 2020)、3回旋跳びのリズムともほぼ一致した (本研究の結果: 平均92回/分)。これらの本研究の結果や先行研究の結果を踏まえると、縄の回旋が素早くできない等で多回旋跳びが上達しない場合には、1回旋跳びをおよそ90回/分のリズムで意識的に接地時間を短く、かつできるだけ高く跳ぶように変更して行わせることが、SSC運動遂行能力に対して効果的な縄跳びトレーニングの選択肢になるのではないかと考えられる。そのように縄跳びトレーニングの方法を改善した場合に

実際に効果が得られるかどうかについては、今後検討する必要があると考えられる。

本研究の縄跳びトレーニングによって、初期には脚全体やふくらはぎに疲労が出たという被験者がいたが、外傷・障害などの有害事象は発生せず、コンディショニングに対する顕著な悪影響も認められなかった。また、縄跳びトレーニングの主観的強度 (Borg, 1973) は平均するとトレーニングを通して「楽である～ややきつい」程度であった。したがって、本研究で行った縄跳びトレーニングよりも強度や量を増やすことは可能であり、そうした場合でも安全にトレーニングを実施できるのではないかと考えられる。

5. まとめ

本研究では、大学陸上競技選手と一般大学生を対象として、多回旋跳びを段階的に増やした4週間の縄跳びトレーニングがSSC運動の遂行能力および走跳能力に及ぼす影響を明らかにすること、および最大努力のRJの場合と縄跳びの場合を比較することで縄跳びトレーニングの可能性を検討することを目的として実験を行った。縄跳びはできる限り短い接地時間で行わせた。その結果、大学陸上競技選手では縄跳びトレーニングの効果は認められなかったが、一般大学生ではSSC運動遂行能力の指標とした最大努力のRJ-index (跳躍高/接地時間) および立ち幅跳びの記録が有意に向上した。個人値を用いた検討の結果、縄跳びのRJ-indexは最大努力のRJ-index (100%) に対して、90回/分および110回/分のリズムの1回旋跳びがそれぞれ約74%および約50%、2回旋跳びが約70%であった。n数が2と少なかったが、3回旋跳びについては約84%であった。最大努力のRJと1・2回旋跳びのいずれについても、RJ-indexと接地時間の間には強い負の相関、およびRJ-indexと跳躍高の間には強い正の相関があった。RJ-index、跳躍高および接地時間のそれぞれについて、最大努力のRJの結果と各縄跳び種目の結果の間にはすべてで中程度から強い正の相関があった。90回/分のリズムの1回旋跳びでは2回旋跳びと比べて跳躍高は高く、接地時間は長い傾向があり、RJ-indexは同程度であった。以上のことから、多回旋跳びを段階的に増やした4週間の縄跳びトレーニングによってSSC運動遂行能力は大学陸上競技選手では変化しないが、運動習慣のない学生では向上する可能性があることが示唆された。また、できる限り短い接地時間で90回/分程度のリズムで1回旋跳びを行うことが、SSC運動遂行能力を高めるトレーニング手段となる可能性が示唆された。

6. 謝辞

本研究にご参加ならびにご協力いただきましたY大学陸上競技部の被験者の皆様に心よりお礼申し上げます。

7. 引用文献

- ・新井 彩, 坂本明日香, 坂本志穂, 中井 聖 (2017) リズム統制した連続リバウンドジャンプを用いたSSC運動能力の評価. 健康運動科学, 7: 1-7.
- ・Asmussen, E., Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. Acta Physiol Scand, 91: 385-392.
- ・Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. Med Sci Sports, 5: 90-93.
- ・Cavagna, G.A., Saibene, F.P., Margaria, R. (1964) Mechanical work in running. J Appl Physiol, 19: 249-256.
- ・Davies, G., Riemann, B.L., Manske, R. (2015) Current concepts of plyometric exercise. Int J Sports Phys Ther, 10: 760-786.
- ・遠藤俊典, 田内健二, 木越清信, 尾懸 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.
- ・岩竹 淳, 山本正嘉, 西蘭秀嗣, 川原繁樹, 北田耕司, 関子浩二 (2008) 思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係. 体育学研究, 53: 1-10.
- ・川端良介, 相馬優樹, 大島義晴 (2020) 跳躍テンポの変化がリバウンドジャンプの構成要素に及ぼす影響. 東北体育・スポーツ科学研究, 1: 1-9.
- ・小林陽介, 寺田和史, 山本大輔 (2018) 試合期における陸上競技選手に対するプライオメトリックトレーニング導入の効果: 無作為化対照試験による検討. 体育学研究, 63: 327-340.
- ・Komi, P.V., Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med Sci Sports Exerc, 10: 261-265.
- ・Miyaguchi, K., Demura, S., Omoya, M. (2015) Relationship between jump rope double unders and sprint performance in elementary school children. J Strength Cond Res, 29: 3229-3233.
- ・Miyaguchi, K., Sugiura, H., Demura, S. (2014) Possibility of stretch-shortening cycle movement training using a jump rope. J Strength Cond Res, 28: 700-705.
- ・文部科学省. 新体力テスト実施要項 (20~64歳対象). https://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/fieldfile/2010/07/30/1295079_03.pdf.

(参照日2021年9月14日) .

- ・永松幸一, 武田誠司 (2009) SSC遂行能力と体力・運動能力評価種目の関係について, 都城工業高等専門学校研究報告, 43 : 1-5.
- ・中村大輔 (2002) ストレッチ・ショートニング・サイクル. トレーニング・ジャーナル, 24 (6) : 78.
- ・Oxfeldt, M., Overgaard, K., Hvid, L.G., Dalgas, U. (2019) Effects of plyometric training on jumping, sprint performance, and lower body muscle strength in healthy adults:A systematic review and meta-analyses. Scand J Med Sci Sports, 29: 1453-1465.
- ・Pienaar, C., Coetzee, B. (2013) Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-levelrugby players after one microcycle of a combined rugby conditioning and plyometric training program, J Strength Cond Res, 27: 398-415.
- ・志賀 充 (2013) 女性スポーツ競技者における各種跳躍能力と疾走能力との関係:片脚跳躍運動の脚動作と疾走速度に着目して, 体育学研究, 58 : 429-443.
- ・武田誠司, 永松幸一 (2013) なわとび3回旋跳びの習得方法 -跳躍高と跳躍頻度を規定したホッピングエクササイズを用いて-. スポーツパフォーマンス研究, 5 : 55-63.
- ・吉田拓矢, 松島一司, 林 陵平, 冨子あまね, 荻山 靖 (2018) 数種類の台高を用いた多段階式ドロップジャンプテストによる伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の評価, 体育学研究, 63 : 673-684.
- ・冨子あまね, 荻山 靖, 吉田拓矢, 木越清信, 尾縣 貢 (2020) 陸上競技跳躍競技者のリバウンドジャンプにおける下肢筋力・パワー発揮特性の縦断変化, 体育学研究, 65 : 225-236.
- ・冨子あまね, 荻山 靖, 冨子浩二 (2017) リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価, 体力科学, 66 : 79-86.
- ・冨子浩二 (2006) バasketボール選手におけるプライオメトリックスがジャンプとフットワーク能力およびパス能力に及ぼす効果, 体力科学, 55 : 237-246.
- ・冨子浩二, 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.
- ・冨子浩二, 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.