

【原著論文】

## 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

新井 彩<sup>1)</sup>, 坂本 明日香<sup>1)</sup>, 坂本 志穂<sup>1)</sup>, 中井 聖<sup>2)</sup>

Effect of continuous rebound jumping with rhythm control on the stretch-shortening cycle

Aya Arai<sup>1)</sup>, Asuka Sakamoto<sup>1)</sup>, Shiho Sakamoto<sup>1)</sup>, Akira Nakai<sup>2)</sup>

### Abstract

This research aimed to develop a new index showing the effect of rebound jumping with rhythm control on the stretch-shortening cycle (SSC). Rebound jumping with maximum effort or rhythm control was performed by 115 healthy female subjects. The rhythm control rate was set for 6 conditions, ranging from 60 to 110 beats per minute (bpm), at intervals of 10 bpm. Under each condition, subjects performed about 12 consecutive rebound jumps, and five sets of stable and continuous data were used for analysis. The contact time (CT), air time (AIR), and rebound height were measured with a multi-jump tester.

Jump time (CT and AIR) became shorter as the rhythm control rate increased, and longer if the rhythm slowed. However, an increase in jump time did not necessarily permit a higher jump, and it became clear that the highest jump was associated with an optimal rhythm. As the rhythm slowed, the CT was longer than the AIR for each jump. The estimated rhythm at which the ratio of CT to AIR approached 50% was lower for those with higher jumping ability. This estimated rhythm can be used to determine whether it is possible to achieve shorter CT with rhythm control. It has been suggested that rhythm control can be used for training and that training can effectively improve exercise efficiency. These results showed the effect of continuous rebound jumping with rhythm control on SSC.

**キーワード**：伸張-短縮サイクル, リバウンドジャンプ, リズム統制, プライオメトリックトレーニング

**Key words**：stretch-shortening cycle, rebound jump, rhythm control, plyometric training

## I. 緒 言

身体運動では、反動動作を利用することによって大きなパワーを発揮することができる。反動動作時の筋や筋-腱複合体は、伸張性筋活動局面が主運動となる短縮性筋活動局面に先立って活動し、これを伸張-短縮サイクル (Stretch-shortening cycle: SSC) と呼んでいる<sup>1) 2) 3)</sup>。SSC運動は、スプリント走や各種ジャンプ、フットワークなどの多くのスポーツにおいて優れたパフォーマンスを達成するために用いられる。このためには、下肢が短時間でより大きな地面反力を獲得することが重要となる。こ

のSSC運動を遂行する能力を向上させるための方法としてプライオメトリックトレーニング (プライオメトリクス) が挙げられ<sup>4) 5)</sup>、その代表的な手段として両脚で踏切時間を短く、かつ、鉛直方向へできるだけ高く跳躍するリバウンドジャンプが用いられている。このリバウンドジャンプの遂行能力は、RJindex<sup>6) 7)</sup>で評価されてきた。RJindexは、1回の跳躍において、跳躍高をその接地時間で除すことによって、その跳躍のパワーを評価している。これらのリバウンドジャンプやドロップジャンプのような、主に足関節中心のSSC運動では、特に接地時間を短縮しながらパワー発揮することに重点を置きト

1) 武庫川女子大学健康・スポーツ科学部  
健康・スポーツ科学科

2) 京都光華女子大学 健康科学部  
健康栄養学科

Mukogawa Women's University Department of Health and Sports  
Sciences, 6-46, Ikebiraki-cho, Nishinomiya, Hyogo, 663-8558 Japan  
Kyoto Koka Women's University Department of Health Sports and  
Nutrition

レーニング目標とすることが多い。陸上競技の短距離走では疾走速度の増加と共に接地時間が短くなる<sup>8)</sup>ため、それに対応した能力の開発として用いられる。しかしながら、リバウンドジャンプトレーニングを行う際に目標とするのは、接地時間を短くかつ高く跳ぶ努力をする、という主観的なものでしかないことも多い。RJindexは、接地時間を犠牲にしても高く跳ぶ、あるいは、高く跳べていなくとも接地時間を極端に短くすることで高まるため、接地時間と跳躍高の2つの目標に対して同時には取り組んでいないことがあると考えられる。このことから、リバウンドジャンプトレーニングにおけるタスクをより明確にかつ単純化できる方法があれば良いのではないかと考えた。

リバウンドジャンプは、一般的に連続するリズムがばらつかないように注意して行う。山口ほか<sup>9)</sup>は100から170bpmの範囲で、跳躍周期(リズム)が速くなると筋放電消失時間の割合が増加し、筋、腱-弾性系関与の割合が増加することで機械的効率が上昇したとしている。このことから、リズムをガイドラインにすることで接地時間と滞空時間(跳躍高に相当する)の合計である跳躍に要する時間を統制し、タスクを1つにしたSSC運動を行わせ、評価しようと考えた。そのために、本研究では、まずリズム統制下での跳躍高や、接地時間と滞空時間の割合と、RJindexとの関係について検討し、リバウンドジャンプにおけるSSC運動能力を評価するためのリズムを用いた指標を検討することを目的とした。

## Ⅱ. 方 法

被験者は、健康な女子大学生115名(年齢:19.9±1.7歳,身長:161.7±4.5cm,身体質量:56.7±6.5kg)とした。本研究では、運動課題である連続リバウンドジャンプの実施が可能な運動能力を有する者を対象とし、予め運動テストを実施した上で実験参加させた。全ての被験者には、十分な説明を行い実験参加に対する同意を得た。本研究は、武庫川女子大学研究倫理審査委員会の承認を得て行われた(承認番号:15-83)。

### プロトコール

本研究では、最大努力での連続リバウンドジャンプおよびリズム統制した連続リバウンドジャンプを

用いた。リズム統制条件では、110 bpm (beats per minute) から60 bpmまで10 bpm毎の6段階の条件を設定し、メトロノーム音に合わせて正確にリバウンドジャンプを行うよう指示した。すべての条件で、マットスイッチ(660×1000 mm)上で両脚つま先接地での連続リバウンドジャンプを10~12回実施させた。被験者には、腕の振り込み動作の影響を排除するため、腰に手を当てた状態で行わせ、各条件の下でできる限り接地時間を短く高い跳躍を目指すように指示した。バランスを崩した場合や、リズム統制条件で著しくリズムから逸脱した場合は失敗試技とし、全条件で成功試技のデータを得た。全ての条件は、被験者毎にランダムオーダーで行い、試技間には疲労の影響がないよう十分に休憩時間を設けた。本研究では、先行研究<sup>9)</sup>で用いられている120 bpm以上の速いリズムを試みた際に、跳躍能力の低い被験者の多くで離地しない現象が多く認められたため、連続リバウンドジャンプが成立する最も速いリズムとして上限を110 bpmとした。

### 算出項目

試技中に、マルチジャンプテスト(DKH社製)を用いて1回の跳躍毎に接地時間、滞空時間を基に、跳躍高とパワーを意味するRJindexを以下の式を用いて算出した。

$$\text{跳躍高} = 1/8 \cdot g \cdot \text{AIR}^2$$

$$\text{RJindex} = 1/8 \cdot g \cdot \text{AIR}^2 / \text{CT}$$

(AIR:滞空時間, CT:接地時間,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ )  
全ての条件において、跳び始め3回程度はプレジャンプとし、安定した高さのジャンプが連続した5回をデータとして採用した。本研究では、1回の接地時間(CT)と直後の滞空時間(AIR)を合わせて1跳躍時間とし、1跳躍中のCTとAIRの割合を算出した(図1)。5回の平均1跳躍時間を基に1分間当たりの跳躍回数を算出し、その条件での実施リズムとした。さらに、各個人内で、速いリズム(110 bpm)から遅いリズム(60 bpm)までのCTとAIRの連続データをみると、短いCTと長いAIRのジャンプから、長いCTと短いAIRのジャンプに変わっていく傾向が認められた。また、115名の被験者を最大跳躍高が上位の者から20名ずつ(最下群のみ15名)の群に分け、各リズム統制条件での1跳躍時間中のCTとAIRの割合の平均をみると、上位群と下

位群では、CTとAIRの割合が入れ替わるリズムに違いがあることが観察される（図2）。このような変化を定量化するため、本研究では、CTとAIRの割合が入れ替わる前後の条件のデータを用いて2条件間のCTとAIRそれぞれに回帰直線を引き、この2式の連立方程式を解くことで交点を算出し、CTとAIRが50%になるリズムを推定した（図3）。本研究で検討したCTとAIRが50%になるリズムは、リズム統制された中で、いかに短い接地時間を獲得し、高いリバウンドジャンプを行うことができるか、という部分に焦点を当てることが出来ており、

SSC運動のパフォーマンスの高さを示す可能性があると考えた。

**統計処理**

各測定項目の値は平均値±標準偏差で示した。各条件での跳躍高、接地時間、滞空時間、1跳躍時間、1跳躍時間の接地時間および滞空時間の割合、RJindex、実施リズムは、110bpmから60bpmの6水準で一要因の分散分析を行い、F値が有意であった項目については、PSLD法による多重比較を行った。各項目間の関係を検討するために、ピアソンの

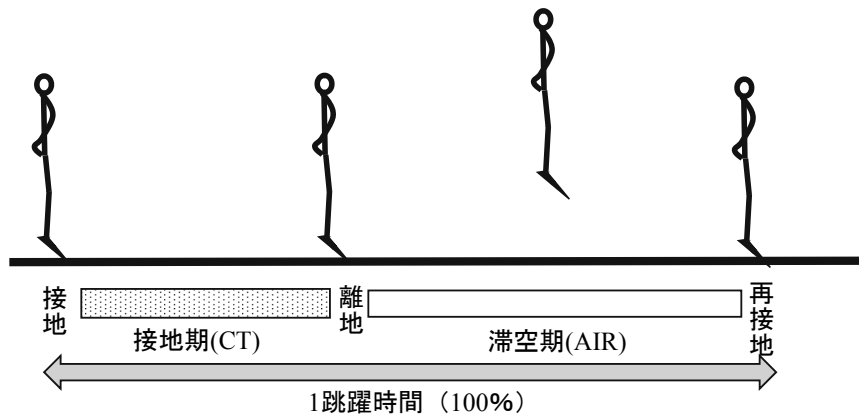


図1. 連続リバウンドジャンプの局面定義

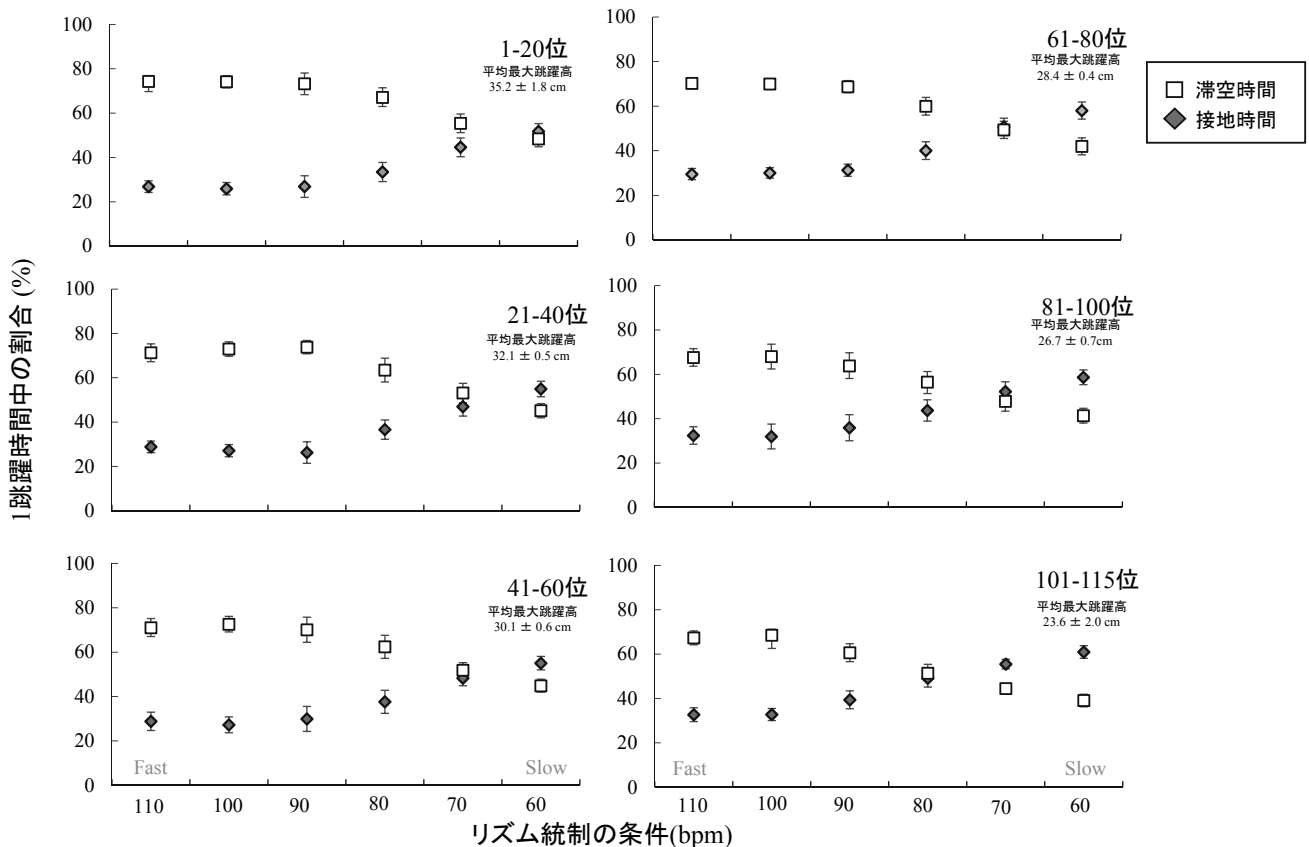


図2. 各リズム統制条件での1跳躍時間中のCTとAIRの割合 (最大努力での跳躍高の上位から20名毎の平均値)

積率相関係数を算出した。いずれも有意性は危険率5%未満で判定した。

### Ⅲ. 結 果

表1に、全ての条件での跳躍高、接地時間、滞空時間、1跳躍時間、1跳躍時間の接地時間および滞空時間の割合、RJindex、実施リズムを示した。最大努力時の実施リズムは、 $89.8 \pm 4.2$  bpmであった。リズム統制の条件では、全ての試技で、設定したリズムに合わせて連続リバウンドジャンプを行うことができていた。リズム統制条件では、速いリズムで滞空時間が短く、跳躍高は低く、90 bpmで最

も長い滞空時間で高い跳躍高を獲得し、以降の遅いリズムになると滞空時間が短くなり低い跳躍高を示した。このとき、RJindexは100から90bpmで高く、遅いリズムになるほど低い値を示した ( $F(5,690) = 176.8, p < 0.01$ , 表1)。1跳躍時間は110 bpmから60 bpmまでリズムが遅くなるほど長くなり ( $F(5,690) = 4186.5, p < 0.01$ , 表1), 接地時間は110 bpmから60 bpmまでリズムが遅くなるほど長くなり ( $F(5,690) = 1604.7, p < 0.01$ , 表1), 滞空時間は短くなった ( $F(5,690) = 42.7, p < 0.01$ , 表1)。1跳躍時間中の接地時間の割合は、リズムが遅くなるほど増加し ( $F(5,690) = 533.3, p < 0.01$ , 表1), 滞

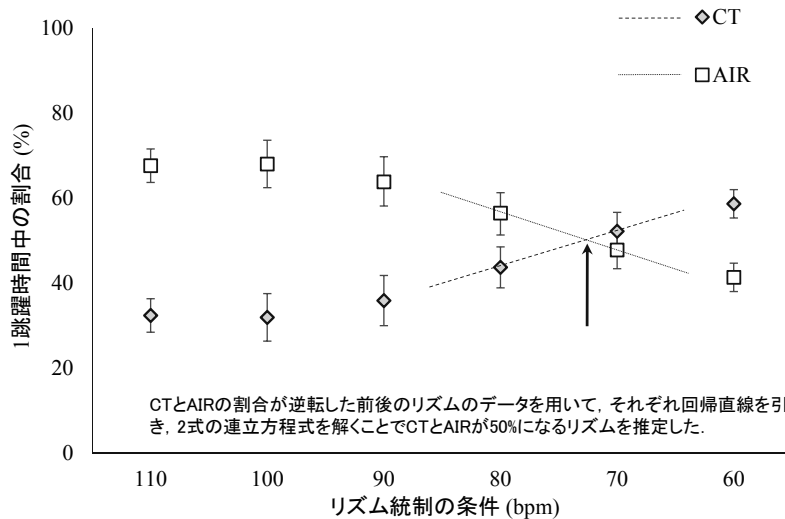


図3. CTとAIRが50%になるリズムの推定方法

表1. 各条件での跳躍高、接地時間、滞空時間、1跳躍時間、実際のリズム (n = 115)

		リズム統制の条件							
		最大努力	110bpm	100bpm	90bpm	80bpm	70bpm		60bpm
跳躍高	(cm)	$29.6 \pm 3.8$	$18.1 \pm 2.1$	$22.2 \pm 2.8$	$25.7 \pm 4.6$	$24.8 \pm 5.0$	$23.1 \pm 4.6$	$23.4 \pm 4.8$	† † 1
RJindex	(a.u.)	$1.75 \pm 0.38$	$1.15 \pm 0.27$	$1.33 \pm 0.34$	$1.34 \pm 0.48$	$0.91 \pm 0.35$	$0.57 \pm 0.19$	$0.43 \pm 0.12$	† † 2
1跳躍時間	(msec)	$669.9 \pm 30.9$	$545.1 \pm 24.0$	$598.5 \pm 9.1$	$664.2 \pm 11.1$	$740.1 \pm 14.8$	$853.7 \pm 16.4$	$992.1 \pm 57.8$	† † 3
接地時間	(msec)	$172.7 \pm 23.6$	$162.7 \pm 21.8$	$173.6 \pm 26.1$	$207.6 \pm 43.2$	$293.2 \pm 51.7$	$421.8 \pm 49.9$	$560.0 \pm 51.2$	† † 3
滞空時間	(msec)	$497.2 \pm 31.1$	$382.4 \pm 0.5$	$424.8 \pm 27.4$	$456.5 \pm 42.2$	$447.6 \pm 46.7$	$431.9 \pm 44.2$	$432.1 \pm 56.0$	† † 4
1跳躍中の接地時間の割合	(%)	$25.8 \pm 3.2$	$29.7 \pm 4.0$	$29.0 \pm 4.4$	$31.3 \pm 6.4$	$39.8 \pm 6.8$	$49.5 \pm 5.2$	$56.4 \pm 4.4$	† † 3
1跳躍中の滞空時間の割合	(%)	$74.2 \pm 3.2$	$70.4 \pm 4.4$	$71.1 \pm 4.7$	$68.6 \pm 6.4$	$60.4 \pm 6.7$	$50.5 \pm 5.2$	$43.6 \pm 4.4$	† † 4
リズム	(bpm)	$89.8 \pm 4.2$	$110.4 \pm 8.0$	$100.3 \pm 1.6$	$90.4 \pm 1.5$	$81.0 \pm 1.7$	$70.3 \pm 1.5$	$60.9 \pm 7.1$	† † 4

† † 1: 110bpm < 100bpm < 90bpm > 80bpm > 70bpm > 60bpm (p<0.01)  
 † † 2: 110bpm < 100bpm = 90bpm > 80bpm > 70bpm > 60bpm (p<0.01)  
 † † 3: 110bpm < 100bpm < 90bpm < 80bpm < 70bpm < 60bpm (p<0.01)  
 † † 4: 110bpm > 100bpm > 90bpm > 80bpm > 70bpm > 60bpm (p<0.01)

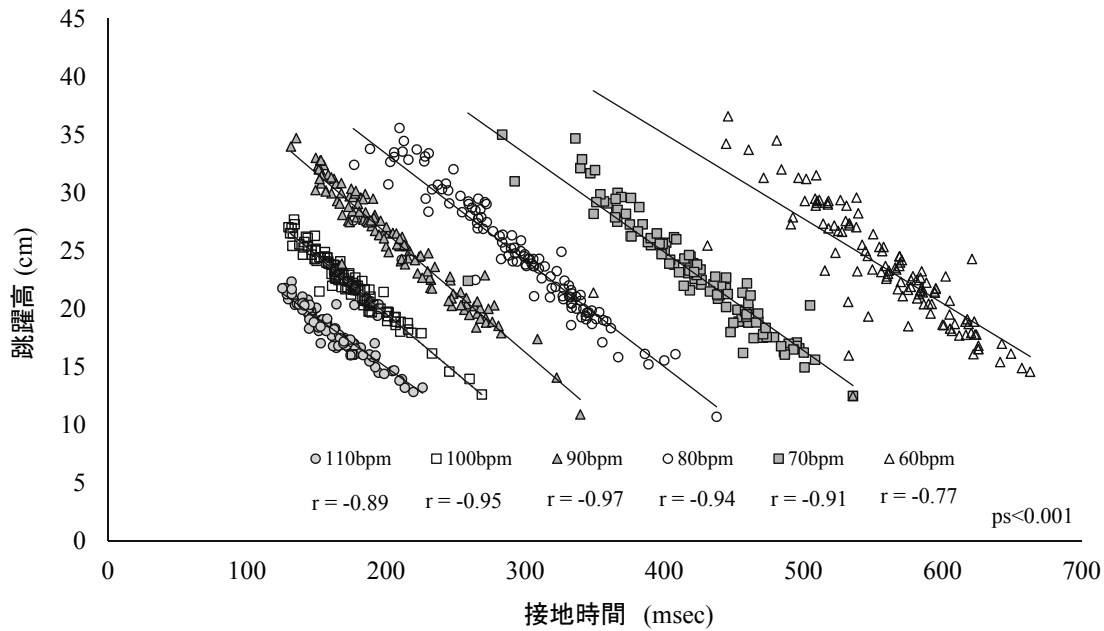


図4. 各リズム条件での接地時間と跳躍高との関係

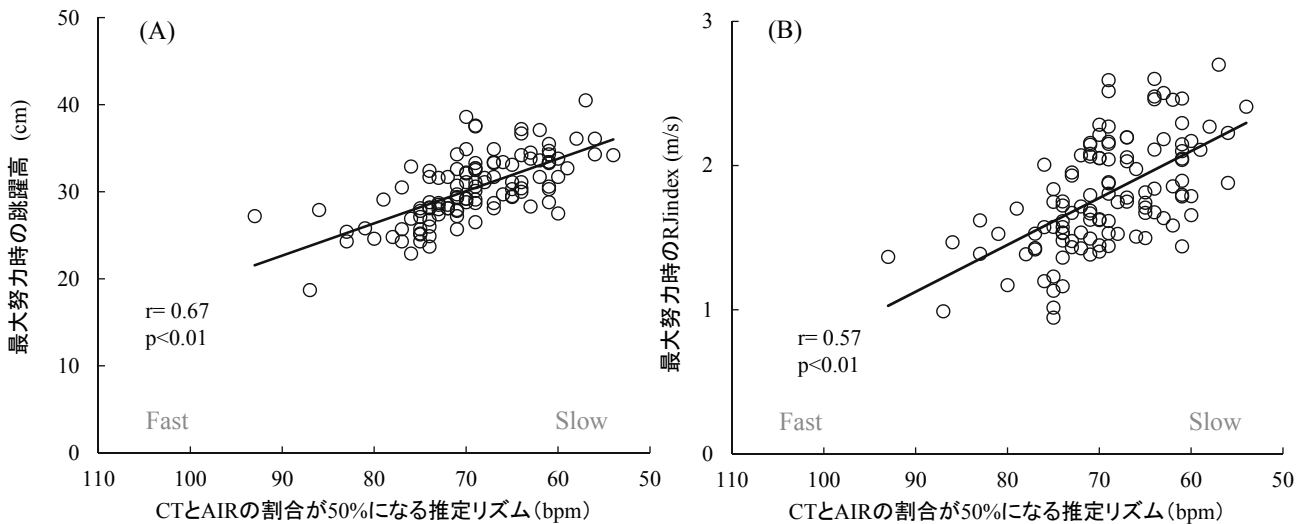


図5. CTとAIRの割合が50%になる推定リズムと最大努力時の跳躍高 (A), 最大努力時のRjindex (B)との関係

空時間の割合が減少した ( $F(5,690) = 524.7$ ,  $p < 0.01$ , 表1)。各リズム統制条件での接地時間と跳躍高との関係は、各条件内で跳躍高が高いほど有意に接地時間が短かった ( $p < 0.001$ , 図4)。

次に、CTがAIRを上回るリズムとして算出したCTとAIRが50%になる推定リズムと最大努力時の跳躍高およびRjindexとの間には、共に有意な正の相関関係を示し、より高い跳躍高を得られRjindexが高い者ほど、CTとAIRが50%になる推定リズムが遅くなる傾向が認められた (図5)。

#### IV. 考 察

本研究では、リズム統制をした連続リバウンドジャンプを用いて、SSC運動の能力を評価する新たな指標を検討しようとした。リズム統制をした条件下では、リズムが遅くなるほど1跳躍時間が長くなるため、高く跳ぶだけの時間が確保される。しかしながら、速いリズムである110 bpmから90 bpmまではリズムが遅くなるにつれて跳躍高が高まったが、以降60 bpmまでは跳躍高が低下した (表1)。このように、6段階のリズムの中で最も高い跳躍高



を得られる至適リズムがあることが明らかとなった(表1)。ドロップジャンプでの反動効果高める至適負荷<sup>1)</sup>があることと同様に、至適リズムは跳躍能力や反動効果を評価できる可能性があるのではないかと考えられた。

本研究ではさらに、リズムを用いて連続リバウンドジャンプの遂行能力を評価することを試みた。リズム統制をすると、1跳躍時間の長さを規定することになる。1跳躍時間を規定した中で短い接地時間で高く跳躍するようにさせたため、統制下で接地時間をより短くできた者が高い跳躍高を獲得した(図4)。全てのリズム条件で、同様の傾向が認められたことは、リズム統制された条件に対応して、どのようなリズムでも短い接地時間を実現できた者が高い跳躍高を獲得できることを示している。リバウンドジャンプやドロップジャンプでは、着地前のPre-activationと呼ばれる上位中枢によりコントロールされる筋の事前活動が観察され、跳躍のパフォーマンス向上に重要な役割を果たす<sup>10) 11)</sup>ことが知られている。その筋活動レベルや開始時点は、パワートレーニング実施者や跳躍競技者で大きくかつ早くなる<sup>12) 13) 14)</sup>。図子と高松<sup>15)</sup>は、接地時間を短縮させるためには、時間空間的な予測により跳躍運動に動員される主動筋を適切に予備緊張させる神経系が重要な因子であるとしている。本研究のリズム統制では、時間予測ができる状況でリバウンドジャンプを行っていることになるが、その条件下で、より予備緊張(Pre-activation)が適切に行われていた者が短い接地時間を実現したと考えられる。このことから、リズム統制をして連続リバウンドジャンプを行うことで、適切な予備緊張のタイミングを学習できる可能性があると考えられた。

SSC運動では、ドロップジャンプの接地時間の短縮に伴い下肢スティフネスが増大することや<sup>16)</sup>、パワー発揮に至適なスティフネスが存在すること<sup>16)</sup>、スプリント走での速度増加に対して下肢スティフネスが増加するのに伴って膝関節スティフネスが増加する<sup>17)</sup>など、衝撃や速度、動作の調節に応じて下肢スティフネスや関節スティフネスが調節されることが知られている。また、この運動課題に応じたスティフネスの調節は、Pre-activation等の予備緊張レベルやその後の筋活動レベルの影響を受ける<sup>17) 18) 19) 20)</sup>。本研究では6種類のリズム統制条件

を用いたが、速いリズムから遅いリズムになると、運動様式が変化する様子が観察された。リズムが低下すると、足関節中心の運動様式から、膝関節や股関節の動員の程度が増した様子が確認された。これは、下肢スティフネスの決定要因が足関節から膝関節に移行した<sup>21)</sup>可能性がある。1跳躍時間が長くなったことで、短い接地時間で高い跳躍高を獲得する足関節中心の典型的なSSC運動であるリバウンドジャンプの運動様式の限界を超えたと推察され、そのリズムでの運動課題に実施者が対応した結果であろう。本研究では詳細な動作分析を用いていないため、今後検討を進めたい。

本研究では、運動様式が変化する付近で接地時間の割合が急激に増大することに注目し、1跳躍時間中のCTとAIRの割合を算出した。最大努力時の跳躍高が高い者は、より遅いリズムでもCTが短く、跳躍高が低い者ほどより速いリズムでCTがAIRを上回った(図4, 5)。SSC運動の遂行能力の指標としてRJindex<sup>6) 7)</sup>が用いられることが多いが、これは、跳躍高を接地時間で除したものであり、接地時間が短くかつ高く跳躍できていると高い値を示す。しかしながら、接地時間が長くても高く跳躍できれば高い値を示し、接地時間が短ければ高く跳べていなくとも高い値を示す。RJindexが高いからといって、短い接地時間で高い跳躍高を獲得するリバウンドジャンプができているとは限らない。本研究で検討したCTとAIRが50%になるリズムは、リズム統制された中で、いかに短い接地時間でリバウンドジャンプを行うことができるか、という部分に焦点を当てることが出来ており、SSC運動の能力の高さを示す可能性があると考えた。また、このCTとAIRの割合は、単に接地時間の短い高さのある跳躍を高く評価するだけではなく、足関節中心の典型的な連続リバウンドジャンプを行う個人内での限界値に極めて近いリズムを示すことができていると考えられる。このCTとAIRが50%になるリズムを参考に、より遅いリズム統制下でCTを短くしようとすることは1つのトレーニング目標になるかもしれない。これらのことから、リズム統制を行うことで、効果的に連続リバウンドジャンプのようなSSC運動能力を高めるトレーニングを行える可能性があることが示唆された。

本研究では、簡易な方法を用い、トレーニング現

場で計測し易い指標を目指した。そのため、動作分析や地面反力による検討を用いていない。今後は詳細な動作の検討が必要であろう。また、これらの指標をガイドラインに、具体的なトレーニングの指標を構築することを目指して検討を進める必要があるだろう。

## V. まとめ

本研究では、リズム統制をした連続リバウンドジャンプを用いて、SSC運動能力を示す新たな指標を提案しようとした。その結果、①各個人で高い跳躍高を得られる至適リズムがあること、②1跳躍時間中のCTとAIRの割合が50%になる推定リズムがSSC運動能力を示す指標になること、③リズム統制がトレーニングのガイドラインとして用いることができる可能性があることが明らかとなった。

## VI. 謝辞

この研究は、文部科学省科学研究費補助金（課題番号26750295）の助成を受けたものである。

（受付日：平成29年1月13日）

（受理日：平成29年3月15日）

## VI. 引用文献

1. Komi PV, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports and Exerc.* 10, 261-265, 1978.
2. Norman RW, Komi PV. Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta. physiol. DScand.* 106, 241-248, 1979.
3. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigue muscle. *J. Biomech.* 33, 1197-1206, 2000.
4. 関子浩二. プライオメトリクス. *体育の科学*, 62, 44-50, 2012.
5. 荻山靖, 関子浩二. 陸上競技跳躍種目のパフォーマンス向上に対するバウンディングとリバウンドジャンプの用い方に関するトレーニング学的研究. *トレーニング科学*, 25, 41-53, 2013.
6. 関子浩二, 高松薫, 古藤高良. 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, 1993.
7. 遠藤俊典, 田内健二, 木越清信, ほか. 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, 2007.
8. 福田厚治, 伊藤章. 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速：接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. *体育学研究*, 49, 29-39, 2004.
9. 山口英峰, 山元健太, 枝松千尋, ほか. なわとびにおける跳躍周期の差異がヒト下腿三頭筋の筋、腱-弾性系に及ぼす影響. *体力科学*, 51, 185-192, 2002.
10. Melvill-jones G, Watt DGD. Muscular control of landing from unexpected falls in man. *J. Physiol.* 219, 729-737, 1971.
11. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J. Biomech.* 33, 1197-1206, 2000.
12. Kyrolainen H, Komi PV. Differences in mechanical efficiency between power-and endurance-trained athletes while jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70, 36-44, 1995.
13. Viitasalo JT, Salo A, Lahtinen J. Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *Eur. J. Appl. Physiol.* 78, 432-440, 1998.
14. 新井彩, 石川昌紀, 浦田達也, ほか. 陸上短距離選手と競泳選手のドロップジャンプ接地前後の筋束長と筋活動の変化. *体力科学*, 64, 165-172, 2015.
15. 関子浩二, 高松薫. リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. *体育学研究*, 40, 29-39, 1995b.
16. Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Bruggemann GP. The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 13, 533-544, 2001.
17. Kuitunen S, Komi PV, Kyrolainen H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34, 166-173, 2002.
18. Moritani T, Oddsson L, Thorstensson A. Phase-dependent preferential activation of the soleus and gastrocnemius muscle during hopping in humans. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 1, 34-40, 1991.
19. Bosco C. The effect of prestretch on skeletal muscle behavior. *J. Appl. Biomech.* 13, 426-429, 1997.
20. 新井彩, 石川昌紀, 伊藤章. 異なるドロップ高からの着地における筋活動の調節. *健康運動科学*, 2, 21-28, 2011.
21. Hobara H, Inoue K, Omuro K, et al. Determinant of leg stiffness during hopping is frequency-dependent. *Eur. J. App.Physiol.* 111, 2195-2201, 2011.