

大学生女子陸上中長距離選手における 5 分間の 連続リバウンドジャンプの指標と 1500 m の競技成績の関係

中 井 聖

I. はじめに

陸上競技の中長距離走のような長時間の持続的な運動において、そのパフォーマンスは課題とされる運動を成し遂げるために必要な仕事量に要する時間で評価される (Coyle, 1999). 課題運動を実施している間に、単位時間あたりの出力エネルギーが多ければ、必要な仕事量をより短時間に成し遂げることができ、パフォーマンスは向上する (中井, 2012). 活動筋は、外力等によって受動的に伸張されると、弾性エネルギーが蓄積され、そのいくらかがそれに続くコンセントリックな筋収縮時に再利用される (Cavagna et al., 1968). このようなエキセントリックな収縮とコンセントリックな収縮の組み合わせは、stretch-shortening cycle (以下, SSC; Norman and Komi, 1979) と呼ばれ、この仕組みが課題運動中に有効に作用すれば、出力エネルギーの増大によってパフォーマンスの向上が期待できる. この SSC は、中長距離走時においても発現するとされており (Komi and Bosco, 1978), SSC が有効に作用するか否かが中長距離走のパフォーマンスに影響を与えると考えられる.

一般的に、下肢における SSC の遂行能力は、最大努力で 1 回のリバウンドドロップジャンプ (図子ほか, 1993), あるいは数回のリバウンドジャンプ (岩竹ほか, 2002) を行った際の平均パワーで評価される. これらは、主として爆発的かつ大きなパワー発揮を必要とする、短距離走や跳躍種目でのコーチングの指標として用いられている. 一方、三本木ほか (1999) は、長距離走の走行中に数回の最大努力でのリバウンドジャンプを行わせ、下肢の SSC の遂行能力の低下が長距離走のパフォーマンスに影響することを指摘している. また、木村・古泉 (2015) は、最大努力で 20 回の連続リバウンドジャンプを行った際の跳躍高の減衰率が、5000 m のパフォーマンスの有効な指標となり得ると述べている. しかしながら、これらの報告では、

下肢の SSC の遂行能力と長距離走のパフォーマンスとの関連を調べるため、最大努力でのリバウンドジャンプが測定されている.

中長距離走は、短距離走や跳躍種目のような短時間の最大努力の運動ではなく、比較的長時間にわたって最大下で持続的に行われる運動である. したがって、先行研究 (武田ほか, 2010) でも指摘されているとおり、中長距離走を対象として下肢の SSC の遂行能力を評価するには、その運動実施時間を模して、長時間の最大下での連続リバウンドジャンプを行うことが有益であると考えられる. そして、その際に下肢の SSC の遂行能力をどの程度維持できるかどうか、中長距離走のパフォーマンスを左右することが予想される. 武田ほか (2010) は、同様の考えに基づき、男子陸上長距離選手が 10 分間の最大下のホッピング運動を行った際の跳躍高や RJ index と競技成績との関連について報告している. しかし、女子陸上中長距離選手については、長時間の連続リバウンドジャンプが適用可能であるかどうか、あるいはその試行に適切な継続時間やピッチに関して、これまで知見が得られていない.

そこで、本研究では、大学生女子陸上中長距離選手を対象に、比較的長時間の最大下での連続リバウンドジャンプを実施し、女子陸上中長距離選手に対しての適切な試行につながる情報を得ること、その際の跳躍高や下肢の SSC の遂行能力を示す指標と 1500 m の競技成績との関係を検討し、競技成績の優れた選手の長時間の連続リバウンドジャンプ時の特徴を明らかにすることを目的とした.

II. 方法

1. 被験者

本研究では、K 大学の陸上競技部に所属する大学生女子陸上中長距離選手 9 名を被験者とした. 被験者の年齢 (平均±標準偏差) は 20.0 ± 1.3 歳、身体特徴は、

身長が 156.5 ± 5.9 cm, 体重が 43.6 ± 6.4 kg, 体脂肪率が $15.1 \pm 2.8\%$ であった。直接聞き取った被験者の 1500 m のベストタイムは 4 m 43 ± 11 s であった。なお, 被験者には予め, 研究の目的や方法, 予測される影響, 得られた情報の取り扱いについて十分に説明し, インフォームド・コンセントを得た後, 実験を実施した。

2. 実験プロトコル

本研究における全ての実験は, K 大学の実験室内で実施した。身長を身長計 (YG200DY, ヤガミ社製), 体重および体脂肪率を体組成計 (DC-320, タニタ社製) によって測定し, 十分にウォームアップさせた被験者に, マットスイッチ (FSE-KDMS90, フォーアシスト社製) 上で, 最大努力でのスクワットジャンプ (maximal squat jump; MSJ), および長時間の連続リバウンドジャンプ (long-time repeated rebound jump; LRJ) を行わせた。被験者には, MSJ, LRJ の試行とも, 試行時に左右の手掌をそれぞれ同側の腸骨稜付近に当てさせ, 上肢による反動動作を使わずに両脚で跳躍するよう指示した。

まず, MSJ では, 静止立位から沈み込んで一旦停止した後に, 上方にできるだけ高く 1 回跳躍させた。そして, 被験者に MSJ の試行による疲労が及ばないように, 十分な休息を取らせた後, LRJ の試行を行った。LRJ では, リバウンドジャンプ用測定ソフト (フォーアシスト社製) によって制御された電子メトロノームが発する 110 bpm のリズム音にあわせ, 5 分間にわたって連続して繰り返しリバウンドジャンプさせた。新井・中井 (2016) は, 連続でリバウンドジャンプを行う際, 各被験者の跳躍高の最大値は統制するリズム音のピッチの遅速に依存することを指摘している。武田ほか (2010) が行った 10 分間のホッピング運動では, 先行研究 (Farley et al., 1991) で最も経済性が高い

とされる 132 bpm のピッチが用いられたが, 本研究では, LRJ がより SSC 効果の高い跳躍運動となるよう, 跳躍のピッチを彼らのピッチよりもやや遅いピッチとした。また, 継続時間は, 大学生女子陸上中長距離選手の記録 (公益社団法人日本学生陸上競技連合, online) を参考に, 女子 1500 m の競技時間に近似した 5 分間に設定した。そして, できるだけ接地時間を短くしてできるだけ高く跳躍し, 試行終了後に疲労困憊となるように跳躍するよう指示して試行させた (図 1 参照)。

3. 測定方法および分析方法

マットスイッチおよびタイムカウンタ (FA-NEW-SEA, フォーアシスト社製) を用いた測定システムを使用し, MSJ 時の滞空時間, あるいは LRJ 時の接地時間と滞空時間を, 計測時間単位 1 ms で測定した。そして, リバウンドジャンプ用測定ソフトを使用し, Asmussen and Bonde-Petersen (1974) が用いた式 (式 (1)) により, MSJ 時の滞空時間から跳躍高を求めた。

$$h = \frac{1}{8}gt_a^2 \quad (1)$$

ここで, h は跳躍高, g は重力加速度, t_a は滞空時間を示す。

LRJ については, リバウンドジャンプ用測定ソフトを使用して, 跳躍 1 回ごとの滞空時間から式 (1) によって各回の跳躍高を逐次算出した。関子ほか (1993) は, リバウンドジャンプにおける下肢の SSC の遂行能力は RJ index を用いて評価できるとしており, 本研究でも彼らの報告で示された式 (式 (2)) を用いて, 跳躍 1 回ごとに RJ index を算出した。

$$\text{RJ index} = \frac{h}{t_c} \quad (2)$$

ここで, t_c は接地時間を示す。加えて, 村木・稲岡 (1996)

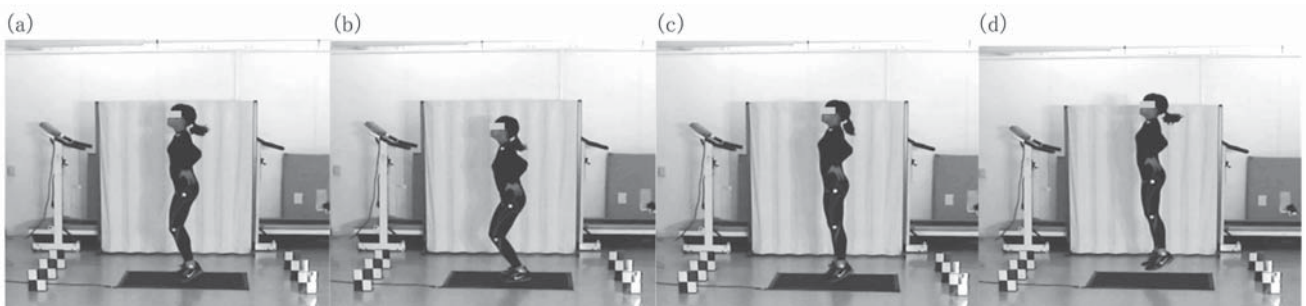


図 1. LRJ の (a) 接地時点, (b) 最下点, (c) 離地時点, (d) 最高到達点の試行例

が用いた式(式(3))により、跳躍1回ごとのパワーを算出した。

$$p = \frac{wgh}{t_c} \quad (3)$$

ここで、 p はパワー、 w は体重を示す。

4. 統計処理

得られたMSJあるいはLRJの各変数の平均および標準偏差を、跳躍全体あるいは跳躍回数10%ごとに算出した。被験者から聞き取った1500mのベストタイムを競技成績とし、競技成績と各変数の間、あるいは各変数間の関連を、Pearsonの積率相関係数を用いて評価した。また、跳躍回数10%ごとの各変数の差を、一元配置分散分析(対応あり)を用いて検討し、有意な主効果が認められた場合には、Bonferroniの方法による多重比較検定を行った。全ての統計処理は、統計解析ソフト(IBM SPSS Statics 23, IBM社製)を使用して行い、統計的有意水準は5%未満に設定した。

Ⅲ. 結果および考察

1. MSJの跳躍高と競技成績の関係

垂直跳、すなわち本研究におけるMSJの跳躍高は、下肢筋パワーの発揮能力を間接的に評価する指標として広く用いられている(Canavan and Vescovi, 2004)。本研究の被験者のMSJでの跳躍高は 20.3 ± 3.8 cmであった(表1)。これは、中井・新井(2016)が同様の方法で測定した体育系学部に所属する20歳の大学生女子の跳躍高(25.2 ± 4.6 cm)と比べて、相対

的に低い値であった。木村・古泉(2015)は、大学生男子陸上長距離選手のハーフスクワットジャンプの跳躍高が一般男子学生よりも低かった理由を、長期間にわたる持久的トレーニングによる影響としている。また、川初・猪飼(1972)は、陸上競技選手の膝関節伸筋の最大パワーを比較し、短距離選手に対して、中距離選手はその約80%、長距離選手はその約70%の最大パワーであったと述べている。これらのことから、本研究の被験者は、MSJの跳躍高の測定では、長期間の持久的トレーニングで培われた陸上中長距離選手としての特徴を呈し、他のスポーツ種目においてトレーニングされた同年代の大学生女子と比較して相対的に低い下肢筋パワーであったと考えられる。

表1および図2(a)に示したとおり、MSJの跳躍高と競技成績の間には有意な相関関係が認められた($r = -.736, p < .05$)。MSJの跳躍高が高いほど1500mの競技成績が優れているという関係は、出村ほか(1984)の報告と同様であった。Bosco et al.(1983)は、本研究のMSJのような垂直跳は、下肢筋パワーの最大発揮能力を示す指標となり得るとしている。また、MSJは、沈み込みによる反動動作を含まない、コンセントリックな筋力発揮のみによる脚伸展運動である。これらのことは、1500mの競技成績が優れた選手ほど、短縮性の脚伸展最大パワーが高いことを示唆している。先行研究(木村・古泉, 2015)では、5000mのような長距離走のパフォーマンスを向上させるためには、下肢筋パワーを高める必要があるとされており、本研究ではこれを支持する結果となった。

2. LRJの跳躍全体での各変数

LRJの跳躍全体でのピッチは 113.1 ± 3.9 bpmであったことから(表1)、本研究の被験者は、設定したピッチをほぼ維持して跳躍していたことが分かる。跳躍全体での接地時間は 0.250 ± 0.037 s、滞空時間は 0.279 ± 0.035 s、これらから求められた跳躍高は 9.8 ± 2.4 cm、RJ indexは 0.412 ± 0.145 m/s、パワーは 175.5 ± 67.5 Wであった。武田ほか(2010)は、男子陸上長距離選手が本研究と類似した132 bpmでの10分間のホッピング運動を行った場合の跳躍高を 8.2 ± 1.7 cm、その際の接地時間を 0.245 ± 0.021 sと報告している。彼らが行ったホッピング運動、本研究のLRJとともに、下肢においてSSCが作用する最大下の運動様式である。こ

表1. MSJ, LRJでの各変数と競技成績の関係

項目	M	SD	r
MSJ			
跳躍高 (cm)	20.3	3.8	-.736*
LRJ			
ピッチ (bpm)	113.1	3.9	
接地時間 (s)	0.250	0.037	.359
滞空時間 (s)	0.279	0.035	-.561
跳躍高 (cm)	9.8	2.4	-.589
RJ index (m/s)	0.412	0.145	-.601
パワー (W)	175.5	67.5	-.778*

Mは平均, SDは標準偏差, rはPearsonの積率相関係数。

* $p < .05$.

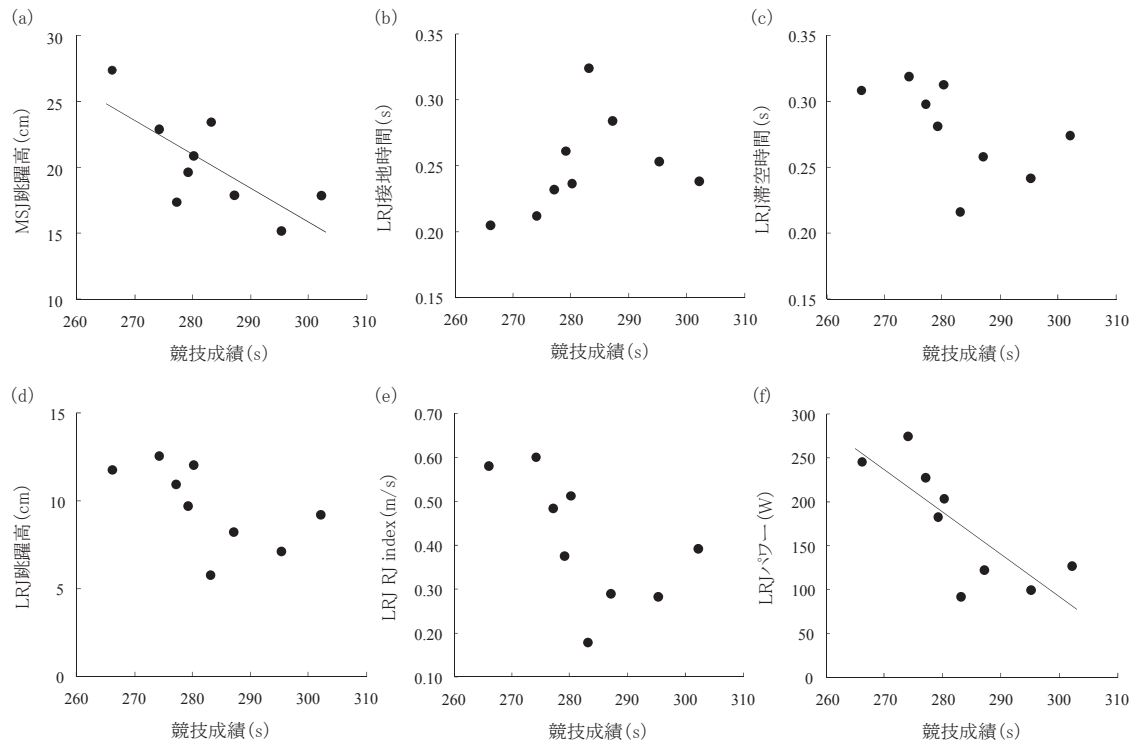


図 2. 競技成績と各変数の関係

のような運動様式を 90 bpm 以上のピッチで行った場合、統制するピッチが遅いほど 1 回の跳躍に要する時間が長くなり、各被験者の跳躍高の最大値は大きくなる (新井・中井, 2016)。この関係性に加え、彼らの被験者と同等の接地時間でより高い跳躍高を得ていたことから、本研究の被験者は、より SSC を有効に用いた跳躍動作を行ったことにより、彼らの被験者よりも高い跳躍高であったと考えられる。

MSJ の跳躍高は、被験者が最大努力で発揮できる跳躍高であり、これをそれぞれの最大跳躍高とすると、本研究の結果から、大学生女子陸上中長距離選手は、最大跳躍高の約 50% の跳躍高で 5 分間継続して連続リバウンドジャンプが実施可能であることが明らかとなった。原村ほか (2014) は、本研究の被験者と同程度の競技成績の大学生女子陸上長距離選手が最大努力での 5 回連続のリバウンドジャンプを行った際の RJ index が 1.6 ± 0.3 m/s であったことを報告している。本研究が被験者とした大学生女子陸上中長距離選手が最大下で 5 分間継続して、つまり 550 回連続してリバウンドジャンプした場合、その RJ index は最大努力の 25% 程度の値となることが分かった。

3. LRJ の跳躍全体での各変数と競技成績の関係

LRJ の 5 分間の跳躍全体での各変数と競技成績との関係を、表 1 および図 2 に示した。LRJ の跳躍全体でのパワーと競技成績との間には有意な相関関係が認められ ($r = -.778, p < .05$)、LRJ 時の発揮パワーが高い選手ほど 1500 m の競技成績が優れていることが分かった。LRJ の跳躍全体でのパワーは、接地時間、滞空時間、跳躍高あるいは RJ index と有意な相関関係が見られた ($r = -.795, p < .05; r = .925, p < .001; r = .938, p < .001; r = .944, p < .001$; 表 2)。金子 (1974) は、本研究で求めたパワーのような平均パワーは跳躍高と強い関連を有するとしており、本研究の結果はこれを支持するものであった。パワーと RJ index との間には高い相関関係が見られたが、これは、式 (2) およ

表 2. LRJ でのパワーと各変数の関係

項目	r
接地時間	-.795*
滞空時間	.925***
跳躍高	.938***
RJ index	.944***

r は Pearson の積率相関係数。

* $p < .05$.

び(3)に示したとおり、本研究のパワーがRJ indexを算出する式に体重を加味して求められたことに直接起因している。LRJ時の接地時間が短く、滞空時間が長いほどパワーは高く、高いパワーを発揮できるほどLRJの跳躍高が高いという関係性や、LRJ時のパワーとRJ indexとの高い関連性から、LRJの跳躍全体でのパワーに加え、跳躍高あるいはRJ indexが1500mの競技成績を類推する指標となり得ることが示唆される。なお、本研究において、LRJの跳躍全体での跳躍高やRJ indexが競技成績と直接関連しなかったのは、被験者数が少数であったことが一因と推察され、被験者数を増やすことによって、これらの変数間の関係は明確になるであろう。以上のことを勘案すると、1500mの競技成績の優れた選手は、トレーニングによって獲得された最大下で有効にSSCを利用できる下肢の機能と動作によって、より高いパワーを発揮し、走行時にそのパワーをうまく利用するため、競技成績が高いと考えられる。また、LRJの跳躍全体での各変数がMSJの跳躍高と関連しなかったことは、先述した下肢筋パワーの最大発揮能力の向上が、このような下肢の機能の向上や動作の獲得に直接つながらないことを示している。

4. LRJの跳躍回数10%ごとの各変数の変化および競技成績との関係

表3および図3に、LRJの跳躍回数10%ごとの各変数を示した。接地時間、滞空時間、跳躍高、RJ index、パワーとも、全ての区間において有意差は認められなかった。よって、本研究の被験者は、LRJの全跳躍にわたってほぼ一定な跳躍を行っていたことが分かる。

LRJの跳躍回数10%ごとの各変数と競技成績の相関係数を表4に示した。跳躍回数10%から20%以降の各区間において、パワーと競技成績との間に有意な相関関係が見られ、後半の区間になるほど相関係数が高くなる傾向が認められた。出村ほか(1984)は、連続スクワットジャンプで測定される下肢の筋持久力が高いほど、1500mの記録が優れていることを報告している。また、木村・古泉(2015)は、大学生男子陸上中長距離選手では、20回連続のハーフスクワットジャンプの跳躍高の減衰率が小さいほど5000mの記録が優れていたことから、下肢の筋持久力をいかに高めるかが競技成績を左右するとしている。滞空時間、跳躍高およびRJ indexについては、競技成績と有意な相関は見られなかったが、パワーと同様に後半の区間になるほど、相関係数が高くなる傾向であった。これらのことから、LRJの試行において、より長くSSCが有効に作用する下肢動作を持続して発揮張力を維持し、より高いパワーを発揮し続ける選手ほど、競技成績が優れていることが分かった。

IV. まとめ

本研究では、大学生女子陸上中長距離選手が最大下での5分間の連続リバウンドジャンプを行った際の接地時間と滞空時間を測定し、それらから算出される各変数と1500mの競技成績の関係を検討した。

その結果、

- 1) 大学生女子陸上中長距離選手が5分間の連続リバウンドジャンプを行った際の跳躍高は、最大跳躍高の約50%であり、その際の発揮パワーは1500mの競技成績を類推する指標として有効であること

表3. LRJの跳躍回数10%ごとの各変数

項目	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%
接地時間 (s)	0.246 (0.012)	0.253 (0.011)	0.256 (0.011)	0.253 (0.011)	0.253 (0.011)	0.251 (0.013)	0.246 (0.014)	0.248 (0.014)	0.245 (0.014)	0.246 (0.016)
滞空時間 (s)	0.288 (0.014)	0.282 (0.012)	0.277 (0.011)	0.276 (0.010)	0.276 (0.010)	0.276 (0.011)	0.281 (0.013)	0.279 (0.014)	0.280 (0.014)	0.280 (0.015)
跳躍高 (cm)	10.4 (1.0)	9.9 (0.8)	9.6 (0.8)	9.5 (0.7)	9.4 (0.7)	9.5 (0.7)	9.9 (0.9)	9.8 (0.9)	9.8 (0.9)	9.9 (1.0)
RJ index (m/s)	0.448 (0.063)	0.41 (0.049)	0.391 (0.046)	0.391 (0.040)	0.387 (0.038)	0.396 (0.044)	0.429 (0.058)	0.419 (0.057)	0.426 (0.059)	0.433 (0.066)
パワー (W)	192.6 (30.2)	175.6 (23.5)	166.1 (20.8)	165.9 (18.2)	164.3 (17.7)	169.0 (21.1)	182.6 (26.8)	178.5 (26.4)	181.0 (26.8)	184.4 (30.1)

上段は平均、下段の()は標準偏差。

そして、1500 m の競技成績が優れた大学生女子陸上中長距離選手は、

2) 短縮性の脚伸展最大パワーが大きく、5 分間の連続リバウンドジャンプ時の発揮パワーが大きいこと

3) 最大下で有効に SSC を利用できる下肢の機能と動作を獲得しており、長時間にわたってより高いパワーを発揮し続け、走行時にそのパワーをうまく利用していることが明らかとなった。

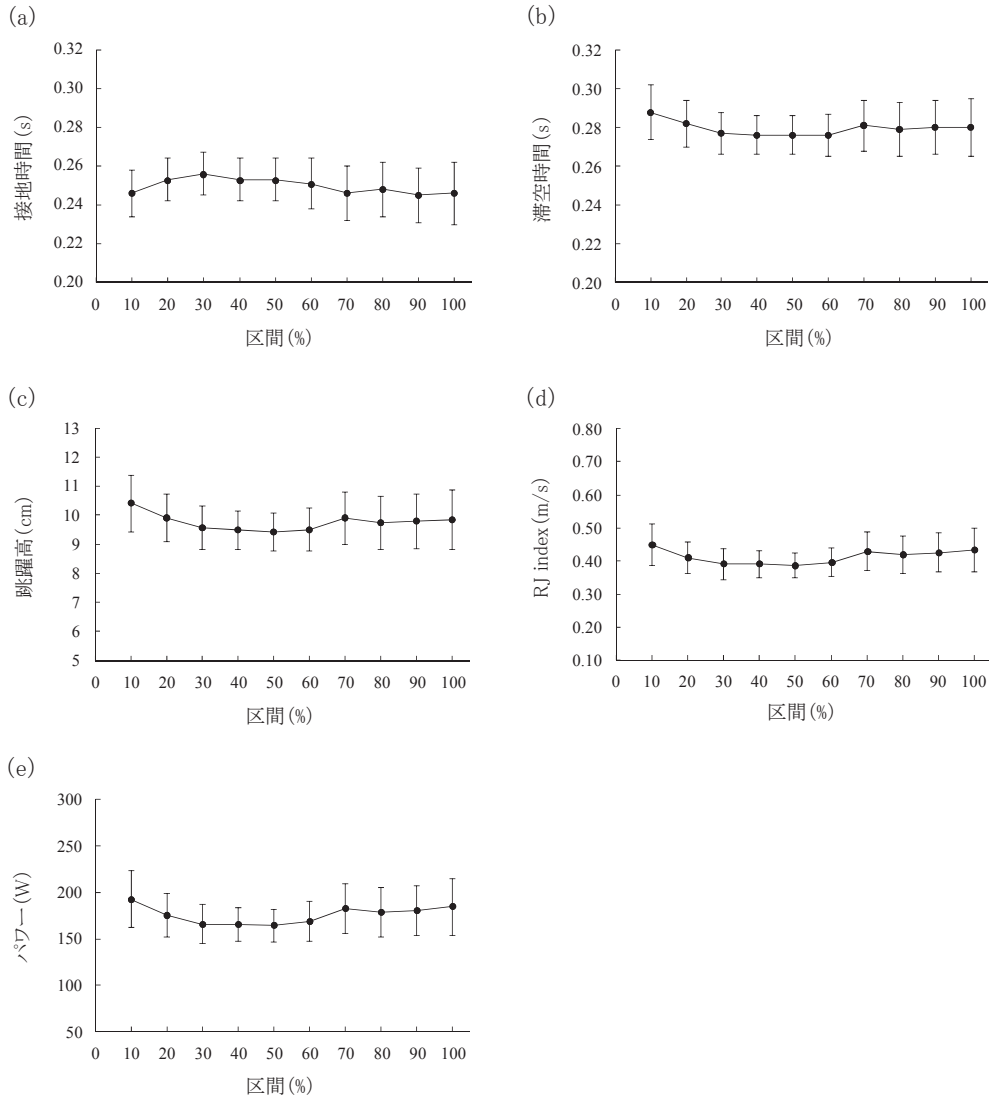


図 3. LRJ の跳躍回数 10%ごとの各変数の変化

表 4. LRJ の跳躍回数 10%ごとの各変数と競技成績の相関係数

区間	接地時間	滞空時間	跳躍高	RJ-index	パワー
0-10%	.523	-.457	-.453	-.490	-.606
10-20%	.431	-.496	-.498	-.535	-.691*
20-30%	.313	-.496	-.516	-.527	-.731*
30-40%	.327	-.485	-.509	-.532	-.776*
40-50%	.281	-.479	-.496	-.495	-.744*
50-60%	.301	-.581	-.608	-.594	-.763*
60-70%	.346	-.534	-.557	-.571	-.733*
70-80%	.346	-.593	-.619	-.609	-.761*
80-90%	.309	-.561	-.593	-.584	-.756*
90-100%	.311	-.591	-.628	-.625	-.761*

* $p < .05$.

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大な協力をいただきました本学卒業生の渡辺恵美さん、ならびに本多奈央さんに、記して感謝の意を表します。

文献

新井彩・中井聖 (2016) リズム統制した連続リバウンドジャンプを用いた跳躍能力の評価指標. 日本体育学会第67回大会予稿集. p.238.

Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica*, 91 (3): 385-392.

Bosco, C., Luhtanen, P., and Komi, P. V. (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50 (2): 273-282.

Canavan, P. K. and Vescovi, J. D. (2004) Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 (9): 1589-1593.

Cavagna, G. A., Dusman, B., and Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24 (1): 21-32.

Coyle, E. F. (1999) Physiological determinants of endurance exercise performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2 (3): 181-189.

出村慎一・松沢甚三郎・野口義之 (1984) 各種走パフォーマンスに対する体格及び体力要因の貢献度. *体育学研究*, 29 (2): 153-164.

Farley, C. T., Blickhan, R., Saito, J., and Taylor, C. R. (1991) Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. *Journal of Applied Physiology*, 71 (6): 2127-2132.

原村未来・高井洋平・松村勲・奥島大・福永裕子・隅野美砂輝・山本正嘉・前田明 (2014) 女子長距離選手との比較からみたマラソン世界選手権入賞経験のある女子選手の形態および生理学的特性. *スポーツ*

パフォーマンス研究, 6: 99-112.

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 (3): 253-261.

金子公宥 (1974) 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス. 杏林書院, pp.68-69.

川初清典・猪飼道夫 (1972) ヒトの脚パワーと力・速度要因 -2- 力・スピード・パワーにおける個人特性について. *体育学研究*, 17 (1): 17-24.

木村瑞生・古泉一久 (2015) 大学駅伝チームにおける5000m走のパフォーマンスと脚筋パワーおよび脚筋持久力の関係. *スポーツパフォーマンス研究*, 7: 171-182.

Komi, P. V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine & Science in Sports*, 10 (4): 281-285.

公益社団法人日本学生陸上競技連合 (online) 日本学生記録の変遷. <http://www.iuau.jp/recordroom/w1500.html>, (参照日 2017年8月8日).

村木征人・稲岡純史 (1996) 跳躍運動における主観的強度(努力度合)と客観的出力との対応関係. *スポーツ方法学研究*, 9 (1): 73-79.

中井聖 (2012) ダイアゴナルストライドを用いてローラースキー滑走した際の入出力エネルギーおよび機械的効率が競技成績に与える影響. 大阪体育大学学位(博士)審査論文. p.2.

中井聖・新井彩 (2016) 赤外線深度センサーを用いた垂直跳の即時的測定システムの妥当性. *大阪体育学研究*, 54 (supplement): 26.

Norman, R. W. and Komi, P. V. (1979) Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106 (3): 241-248.

三本木温・佐伯徹郎・岡田英孝・高松薫 (1999) リバウンドジャンプから見た持久走による脚筋疲労. *バイオメカニクス研究*, 3 (2): 86-94.

武田誠司・石井泰光・山本正嘉・冨子浩二 (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.

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 (4): 265-278.