

持続可能なその場跳躍運動における跳躍テンポの変化が 酸素摂取量，心拍数，跳躍動作に与える影響

川端良介¹⁾²⁾，戸塚学³⁾，相馬優樹⁴⁾，大島義晴⁵⁾

Effect of changes in jump tempo on oxygen uptake, heart rate and jumping motion
during a sustainable rebound jump

Ryosuke KAWABATA¹⁾²⁾, Manabu TOTSUKA³⁾, Yuki SOMA⁴⁾, Yoshiharu Ohshima⁵⁾

Abstract

Sustained rebound jumps with a defined jumping tempo show the highest oxygen uptake in the 100-130 beats per minute (bpm) range. However, the causes of the maximum values of oxygen uptake and heart rate at particular jumping tempos are unclear. Herein, we measured the oxygen uptake and heart rate during sustainable rebound jumps with defined jumping tempos. In addition, a kinematic analysis was performed. The factors generating the highest oxygen uptake and heart rate were examined. The subjects were 11 high school students who participated in an athletic club. They performed continuous jump exercises at six different jump tempos (70, 93, 115, 138, 160, and 183 bpm) for 6 min. The average oxygen uptake and heart rate within 5–6 min were calculated. Motion analysis was conducted for the three leaps immediately after 5 min had elapsed. The oxygen uptake and heart rate peaked at the jump tempo of 115 bpm and decreased when the jump cycle diverged from 115 bpm. At 70 and 93 bpm, there was a tendency to repeat flexion and extension twice at each joint after ground contact. At 115, 138, 160, and 183 bpm, there was a tendency to flex and extend after ground contact. Therefore, the occurrence of an optimal jumping tempo with the highest oxygen uptake and heart rate in a sustainable rebound jump can be attributed to changes in the jumping motion.

Key words : heart rate, energy expenditure, joint angle

キーワード：心拍数，エネルギー消費量，関節角度

1)八戸工業高等専門学校総合科学教育科

〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1

2)弘前大学大学院医学研究科社会医学講座

〒036-8562 青森県弘前市在府町 5

3)弘前大学教育学部保健体育講座

〒036-8560 青森県弘前市文京町 1

4)岩手県立短期大学部生活科学科

〒020-0693 岩手県滝沢市菓子 152-52

5)東北女子大学児童学科

〒036-8530 青森県弘前市清原 1-1-16

1. 緒言

長時間継続可能なリバウンドジャンプ, ホッピングなどのその場跳躍運動は, 跳躍テンポを変化させることで, エネルギー消費量 (榎木ほか, 1973; Jette et al., 1979; 黒田ほか, 1990; 丹羽ほか, 1960; 小川ほか, 1974; Quirk and Sinning, 1982; Town et al, 1980; 山本ほか, 1978), 心拍数 (Myles et al., 1981), 地面反力 (山口ほか, 2000), 筋, 腱-弾性系関与の割合 (山口ほか, 2002), トレーニング効果 (Jones et al., 1962) などに違いがでる. そのため, フィジカルトレーニングや健康づくりの現場において, 長時間継続可能なリバウンドジャンプ, ホッピングのテンポ設定は, 運動強度の調節のために考慮すべき要素の一つであると考えられる.

縄跳び運動やその場跳躍運動ではある一定の跳躍テンポで酸素摂取量, 心拍数の最高値が出現した報告がみられる. 縄跳び運動では, 榎木ほか (1973) は中学生 10 名を対象とし, 1 回旋 1 跳躍両足跳びを 60, 90, 110 bpm (beats per minute) 及び個人が行える最大跳躍速度の 4 種類の跳躍周期に規定したときの酸素摂取量を測定した結果, 酸素摂取量は 110 bpm で最高値を示したと報告している. また, 山本と平松 (1978) は男子大学生 2 名を対象とし, 8 種類 (60–130 bpm) の跳躍周期で同様の測定を行った結果, 酸素摂取量は 100 bpm で最高値を示したと報告している. 一方, 黒田ほか (1990) は男子大学生 6 名を対象とし, 7 種類 (20–180 bpm) の跳躍周期に規定し, その場跳躍運動を行わせたときの酸素摂取量, 心拍数を測定した結果, 110–130 bpm 間に酸素摂取量, 心拍数が最高値になることを明らかにしている. しかし, 榎木ほか (1973), 山本と平松 (1978) の報告では生理学的分析しか行っておらず, 黒田ほか (1990) の報告では生理学的分析に加え, 接地時間, 離地時間の測定のみであった.

縄跳び運動やその場跳躍運動において, 跳躍テンポを速くすることが単位時間当たりの跳躍回数の増加を導くにも関わらず, 酸素摂取量及び心拍数の最高値が 100–130 bpm で出現するということは, この跳躍テンポ前後において跳躍動作に変化がみられる可能性が考えられる. しかし, これらの跳躍運動をバイオメカニクスの分析により比較した報告は見られず, 縄跳び運動やその場跳躍運動の酸素摂取量及び心拍数の最高値が出現する要因は未だ明確にはなっていない.

そこで, 本研究では, その場跳躍運動において, ある一定の跳躍テンポで酸素摂取量, 心拍数が最高値を示す原因が, 跳躍動作の変化に起因するかを明らかにすることを目的として, 酸素摂取量と心拍数の測定に加え, キネマティクスの分析, 及び地面反力の測定を行い, 取得したデータの関連を検討した.

2. 方法

2.1 対象者

対象者は, 運動部に所属する男子高校生 11 名とした. また, 対象者の身体的特徴は Table 1 に示した. なお, 本研究では平成 31 年度八戸工業高等専門学校研究倫理審査委員会の承認を得た上で, 規定

に基づき事前に十分な説明を研究対象者, 研究対象者の保護者に対して行い, 両名に書面にて参加の同意を得て実施した。

Table 1 Characteristics of subjects

(n = 11)	Mean	±	SD
Age (year)	17.4	±	0.4
Height (cm)	171.3	±	6.3
Body mass (kg)	65.5	±	6.4
$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	52.4	±	5.1
HRmax (bpm)	186.1	±	11.6

2.2 運動課題

実験ではメトロノーム (SEIKO 社製, SQ200) を使用し, 6 種類の跳躍テンポ (70, 93, 115, 138, 160, 183 bpm) を設定した。なお, 縄跳び運動やその場跳躍を対象とした過去の報告では跳躍テンポの設定は統一されていなかったため, 独自の跳躍テンポ設定を行った。先行研究において酸素摂取量, 心拍数の最高値が 100–130 bpm で出現しているため (黒田ほか, 1990; 山本と平松, 1978), 115 bpm を中心に跳躍テンポの設定を行った。また, 予備実験において跳躍テンポの間隔が狭くなることにより個人差が出現したため, 個人差が出現しにくい最小限の間隔で設定し, 47, 70, 93, 115, 138, 160, 183 bpm の 7 種類の跳躍テンポで測定を行う予定であった。しかし, 47 bpm は実験対象者がメトロノームのテンポに併せて跳躍することが困難であったため, 結果的に 47 bpm を除いた 6 種類の跳躍テンポを運動課題とした。

対象者にはテンポを規定した 6 種類のその場跳躍運動をフォースプレート (テック技販社製, TF-4060) 上で 6 分間行わせた。本研究では腕の振り込み動作の影響がでないように腰に手を当て, 運動課題を行うよう指示した。また, 予備実験において, 対象者に跳躍テンポと跳躍高を規定して, その場跳躍運動を行わせたところ, 跳躍テンポが安定しなかったため, フォースプレートからわずかに足が離れる程度の跳躍を行うように指示し, 正確な跳躍高の設定については条件から排除した。

試技の前には十分なウォーミングアップを行い, 1 日の最高試技数を 2 種類に設定した。また, 試技間には疲労の影響がでないように十分な休息をとらせた。なお, 各テンポの施行順序はランダムで行い, 施行順序による影響が出ないように配慮した。

2.3 酸素摂取量, 心拍数の測定

最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake, 以下, $\dot{V}O_{2max}$), HRmax の測定には呼吸代謝測定装置 (Medical Graphics Corporation 社製, VO2000), 心拍センサー (Polar 社製, H2), 自転車エルゴメーター (Konami 社製, 75XLIII) を使用した. 測定に用いたプロトコールは, 60rpm の回転速度, 90W の負荷で 2 分間駆動し, その後は回転速度を保ちながら 1 分毎に 30W ずつ漸増負荷するものであり, 対象者には最高努力に達するまで駆動させ, そのときの酸素摂取量及び心拍数を結果として用いた. また, 山地 (1992, pp. 14-15) は最大努力を客観的にチェックする項目として, $\dot{V}O$ のプラトー現象の発現, 年齢から推定される最高心拍数 ($HR_{max}=20-age$) にほぼ達していること, Respiratory quotient (以下, RQ) $>1.0\sim 1.5$, 血中乳酸が 10mmol/l 以上に達すること, RPE (主観的運動強度) が 19 あるいは 20 の 5 つの指標がすべて満たされることが理想であるが, 一般的には 5 つの指標の中 2 つ以上を満足するものを $\dot{V}O_{2max}$ とすると言及している. そのため, 本研究では, $\dot{V}O$ のプラトー現象の発現, 年齢から推定される最高心拍数にほぼ達していること, $RQ>1.0\sim 1.5$ の 3 項目を満足したときに最大努力に達したと判断した.

その場跳躍運動中の酸素摂取量, 心拍数の測定においても上記した呼吸代謝測定装置, 心拍センサーを使用した. 本研究では, 予備実験にて, 約 5 分で全ての跳躍テンポにおいて定常状態が見られたため, 測定開始後 5-6 分の 1 分間の酸素摂取量・心拍数の平均値を各対象者の結果とした.

$\% \dot{V}O_{2max}$, $\%HR_{max}$ は各テンポで得られた 1 分間の酸素摂取量, 心拍数の平均値をそれぞれ最大酸素摂取量, 最高心拍数で除して算出した.

2.4 力学的分析による測定

本研究では, 酸素摂取量, 心拍数の測定時間の統一や, 1 跳躍毎の跳躍動作が安定しない場合を考慮し, 全ての跳躍テンポにおいて跳躍時間が 5 分を経過した直後からの連続した 3 跳躍を分析対象とした. その場跳躍運動の様子と足, 膝, 股関節の角度定義は Fig.1 に示した. 対象者右側方 15m の地点にハイスピードカメラ (CASIO 社製, EX-FH25, 240Hz) を設置し, 2×2 cm のマーカーを添付した身体計測点 5 点 (肩峰, 大転子点, 膝関節中心, 外果点, 第 5 中足骨頭) の 2 次元座標データと校正マーク 4 点をデジタルソフト (ディテクト社製, Dipp-Motion DIG) を利用し, デジタル化を行った. その後, 4 点実長換算法によって得られた 2 次元座標値を, Butterworth digital filter によって遮断周波数 7Hz で平滑化した. なお, 本研究ではその場跳躍運動が左右対称であると仮定して分析を行った. また, 地面反力を測定するために, フォースプレートを使用した. 得られた地面反力の鉛直成分データから, 20N 以上を閾値として, 接地時間及び滞空時間を求め, 以下の式に滞空時間を代入し, 跳躍高を算出し

た．なお，本研究では重力加速度は $9.81(\text{m/s}^2)$ として計算を行った．

$$\text{跳躍高} = (\text{重力加速度} \times \text{滞空時間}^2) / 8$$

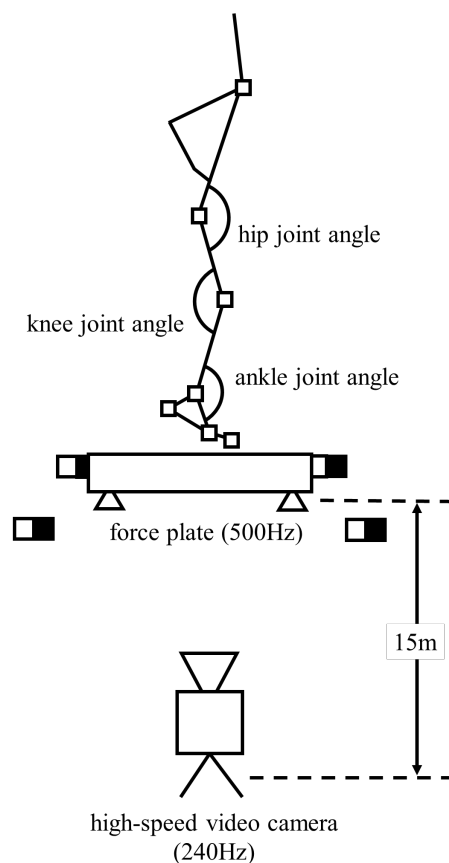


Fig. 1 Experimental setting for motion analysis and definitions of joint angle

2.5 データの規格化

本研究では，足の接地から離地までの接地局面を分析の対象とした．また，各対象者の地面反力の結果は分析対象となった3跳躍の接地局面に要した時間を100%として地面反力，関節角度のデータを規格化し，1%ごとに平均した．さらに，全ての対象者の地面反力，関節角度は各対象者の地面反力，関節角度の結果を平均して示した．また，地面反力は対象者の体重で規格化し，酸素摂取量は対象者の体重，時間で規格化した．

2.6 統計処理

各測定項目は平均値±標準偏差で示した．本研究では，跳躍テンポの速さによる酸素摂取量，心拍数，

接地時間の違いを検討するため, 跳躍テンポの速さを要因とした一要因反復測定分散分析を行い, 事後検定に Bonferroni の方法を用いた. なお, 統計解析には SPSSver.25 を使用し, 有意水準は危険率 5% 未満とした.

3. 結果

Table 2 には跳躍テンポと酸素摂取量, $\dot{V}O_2\max$, 心拍数, %HRmax, 接地時間, 離地時間, 跳躍高, 実際に対象者が遂行した跳躍テンポ (spm (skip per minute)) を示した. $\dot{V}O_2\max$, HRmax はともに 115 bpm で最高値 (それぞれ, 58.8%, 79.6%), 93 bpm で最低値 (それぞれ 40.0%, 64.3%) が出現した. また, 接地時間は跳躍テンポが速くなるとともに短くなり, 滞空時間及び跳躍高に関しては大きな差はみられなかった.

Table 2 Physiologic and kinematic variables in jump cycles between 70 and 183 bpm

(n = 11)	70 bpm			93 bpm			115 bpm					
	Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD			
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	21.2	±	4.3	c,d	20.9	±	3.4	c,d	30.8	±	4.1	a,b,d,e,f
% $\dot{V}O_2\max$	40.7	±	8.0	c,d	40.0	±	6.4	c,d	58.8	±	6.5	a,b,d,e,f
Heart rate (bpm)	122.0	±	10.4	c,d	119.4	±	12.9	c,d	147.9	±	14.9	a,b,d,e,f
%HRmax	65.7	±	5.9	c,d	64.3	±	6.6	c,d	79.6	±	7.3	a,b,d,e,f
Contact time (s)	0.766	±	0.026	b,c,d,e,f	0.577	±	0.015	a,c,d,e,f	0.420	±	0.033	a,b,d,e,f
Air time (s)	0.092	±	0.020		0.070	±	0.012	d	0.098	±	0.032	
Jump height (m)	0.011	±	0.005		0.006	±	0.002	d	0.013	±	0.008	
Jump tempo (spm)	69.9	±	0.6	b,c,d,e,f	92.7	±	1.4	a,c,d,e,f	115.9	±	2.4	a,b,d,e,f

(n = 11)	138 bpm			160 bpm			183 bpm					
	Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD			
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	25.2	±	2.7	a,b,c,e,f	22.5	±	2.6	c,d	21.7	±	1.0	c,d
% $\dot{V}O_2\max$	48.3	±	5.1	a,b,c,e,f	43.1	±	4.6	c,d	41.7	±	3.9	c,d
Heart rate (bpm)	130.0	±	11.1	a,b,c,e	125.1	±	12.0	c,d	122.8	±	10.5	c
%HRmax	70.0	±	5.6	a,b,c,e	67.3	±	5.8	c,d	66.0	±	4.1	c
Contact time (s)	0.327	±	0.016	a,b,c,e,f	0.281	±	0.016	a,b,c,d,f	0.246	±	0.024	a,b,c,d,e
Air time (s)	0.106	±	0.012	b	0.091	±	0.018		0.08	±	0.025	
Jump height (m)	0.014	±	0.003	b	0.011	±	0.004		0.009	±	0.005	
Jump tempo (spm)	138.9	±	3.0	a,b,c,e,f	161.4	±	3.5	a,b,c,d,f	183.8	±	3.0	a,b,c,d,e

^a significant difference (P < 0.05) vs 70 bpm; ^b significant difference vs 93 bpm; ^c significant difference vs 115 bpm;

^d significant difference vs 138 bpm; ^e significant difference vs 160 bpm; ^f significant difference vs 183 bpm

Fig. 2 には各跳躍テンポにおける足関節, 膝関節, 股関節の関節角度の時系列的変化パターンを規格化時間で示した. 70, 93 bpm においては接地後, 各関節において屈曲と伸展を2度繰り返す傾向がみられ, 115, 138, 160, 183 bpm においては, 接地後に屈曲, 伸展する傾向がみられた.

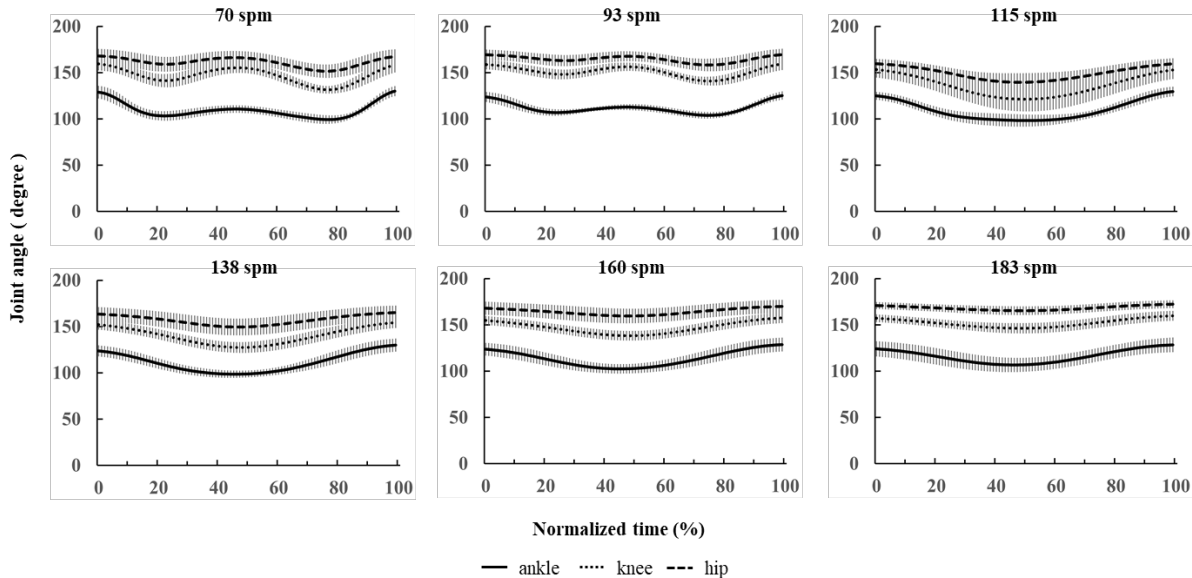


Fig. 2 Averaged patterns of joint angle during ground contact phase in jump cycles between 70 and 183 bpm

Fig. 3 には, それぞれ各跳躍テンポにおける鉛直方向の地面反力を規格化時間で示した. 鉛直地面反力は70, 93 bpm に二相性波形, 115, 138, 160, 183 bpm に単相性波形が見られ, 183 bpm において最も高い値で推移する傾向がみられた.

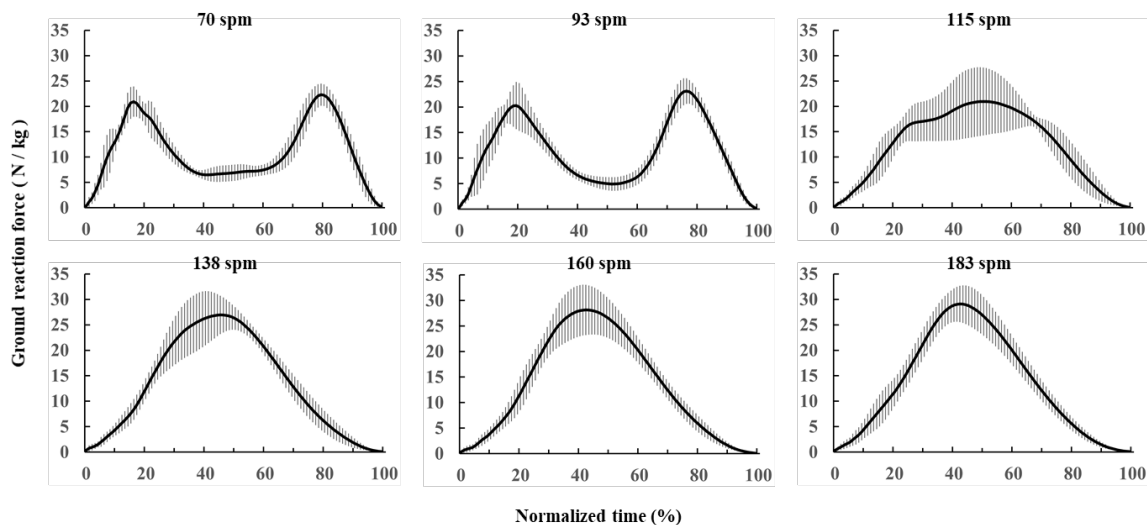


Fig. 3 Averaged patterns of vertical ground reaction force during ground contact phase in jump cycles between 70 and 183 bpm

4. 考 察

本研究では, 6 種類の跳躍テンポに規定した持続可能なその場跳躍運動における酸素摂取量及び心拍数を測定した (Table 2).

黒田ほか (1990) は男子大学生 6 名を対象とし, その場跳躍運動を行わせたときの酸素摂取量, 心拍数を測定した. その後, 跳躍テンポを独立変数, 酸素摂取量, 心拍数を従属変数として, 測定した結果を 2 次曲線に近似したところ全ての対象者において 110–130 bpm で酸素摂取量, 心拍数ともに最高値が得られることを示唆している. 本研究の結果は, 前述した報告の酸素摂取量, 心拍数の最高値の推定 (110–130 bpm) とおおよそ一致し, 115 bpm ($58.8\% \dot{V}O_{2\max}$, $79.6\% HR_{\max}$), 最低値は 93 bpm (それぞれ $40.0\% \dot{V}O_{2\max}$, $64.3\% HR_{\max}$) に出現した. 山地と横山 (1987) は持久能力の指標である $\dot{V}O_{2\max}$ を高めるための運動負荷の下限値を $40-50\% \dot{V}O_{2\max}$ と報告している. さらに, 健康成人の換気閾値には多くの報告がみられ (Anderson and Mahon, 2007; Cheatham et al., 2000; Mahon et al., 1997) これらの結果は $59.0-67.3\% \dot{V}O_{2\max}$ であった. 本研究におけるその場跳躍運動の結果は 93bpm を除いた全ての跳躍テンポにおいて運動負荷の下限値とされる $40\% \dot{V}O_{2\max}$ を上回り, かつ, 跳躍運動中の運動強度が先行研究で示された, 換気閾値に対応する運動強度よりも低い結果となった. また, $\%HR_{\max}$ は持久運動における生理学的運動強度の指標とされており, この値が最高値を示した 115 bpm は全てのテンポの中で最も運動強度が大きいことが明らかとなった. そのため, 持続可能なその場跳躍運動は運動時間との組み合わせにより, $\dot{V}O_{2\max}$ 向上を目的としたトレーニングとして利用できる可能性が示唆され, 115 bpm 前後の跳躍テンポが最も生理学的運動強度が高くなることが明らかとなった.

各跳躍テンポにおける足関節, 膝関節, 股関節の関節角度の変化 (Fig. 2) をみると, 70, 93 bpm では接地後, 各関節において屈曲と伸展を 2 度繰り返す傾向がみられ, 接地後, 下肢 3 関節を一度伸展した後に筋伸張, 筋収縮を行うことで CMJ と同様の反動動作を利用して跳躍していると考えられる. Bosco and Komi (1979) は筋伸張から筋短縮への時間が長くなれば, 筋伸張により得られたエネルギーは熱として消失することを報告している. また, Cavagna (1977) は筋伸張から筋短縮までの時間が長い場合, 短縮性収縮局面に筋活動の増強は起こらないと報告している. さらに, Edman et al. (1978) は筋伸張による増強効果は, 筋の伸張速度の増加に依存することを報告している. 本研究における 70, 93 bpm の下肢 3 関節は規格化時間の約 50% から筋伸張を始めており, それぞれの接地時間は 0.766, 0.577 秒であるため, 筋伸張開始から跳躍まではおおよそ 0.383, 0.289 秒であり, 115 bpm の接地時間 (0.420 秒) と比較しても短くなった. 今後, 同テンポで下肢 3 関節が伸展と屈曲を 2 度繰り返す跳躍と伸展と屈曲が 1 度の跳躍における酸素摂取量, 心拍数の比較を行う必要があるが, 70, 93 bpm では接地後に

下肢 3 関節を一度伸展し、CMJ と同様の反動動作を行うことが、筋伸張から筋収縮までの時間の短縮、筋の伸張速度の増加に繋がり、酸素摂取量、心拍数の低下が出現した可能性が示唆された。

一方、115, 138, 160, 183 bpm では接地後、各関節において屈曲後の伸展がみられた。山口ほか(2000, 2002) はなわとび運動において 100 bpm より速い跳躍テンポに本研究の鉛直地面反力と同様の単相性波形がみられ、跳躍テンポが速くなるとともに下腿の筋、腱-弾性系関与の割合が増加することを示唆している。さらに、山口ほか(2005) はなわとび運動中の下腿の筋、腱-弾性系関与の割合が外力発揮に寄与する時間的要素と量的要素は 1skip あたりの酸素摂取量減少に寄与している可能性を示唆している。そのため、115-183 bpm における跳躍テンポの増加に伴う酸素摂取量、心拍数の低下は足関節底屈筋群の筋、腱-弾性系関与の割合の増加による影響である可能性が示唆された。

よって、本研究のその場跳躍運動において、115 bpm で酸素摂取量、心拍数が最高値を示した要因は 70, 93 bpm と 115, 138, 160, 183 bpm の跳躍動作の違いに起因する可能性が示唆された。

本研究では、その場跳躍運動中の酸素摂取量、心拍数とキネマティクスデータ、地面反力の関連を示すことで、ある一定の跳躍テンポで酸素摂取量、心拍数が最高値を示す原因が跳躍動作の違いに起因するかを検討した。そのため、跳躍動作の違いがなぜ酸素摂取量、心拍数に影響するかを解明には至らず、これらを解決するためには本研究で取得したデータに加え、キネマティクスデータの取得や筋電位のデータを取得し、多面的に検討することで有益な結果が得られると考える。

5. 結 論

本研究では、その場跳躍運動において、ある一定の跳躍テンポで酸素摂取量、心拍数が最高値を示す原因が、跳躍動作の変化に起因するかを明確にすることを目的として、酸素摂取量と心拍数の測定に加え、キネマティクスの分析、及び地面反力の測定を行い、取得したデータの関連を検討した。

その結果、最大酸素摂取量、心拍数の最高値は 115 bpm ($58.8\% \dot{V}O_{2max}$, $79.6\% HR_{max}$)、最低値は 93 bpm (それぞれ $40.0\% \dot{V}O_{2max}$, $64.3\% HR_{max}$) に出現した。また、70, 93 bpm においては接地後、各関節において屈曲と伸展を 2 度繰り返す傾向がみられ、115, 138, 160, 183 bpm においては、接地後に屈曲、伸展する傾向がみられた。

以上の結果から、本研究のその場跳躍運動において、115 bpm で酸素摂取量、心拍数が最高値を示した要因は 70, 93 bpm と 115, 138, 160, 183 bpm の跳躍動作の違いに起因する可能性が示唆された。

参考文献

- Anderson CS, Mahon AD. (2007) The Relationship Between Ventilatory and Lactate Thresholds in Boys and Men. *Res Sports Med* 15: 189-200.
- Bosco C, Komi PV. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand* 106: 467-472.
- Cavagna GA. (1977) Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev* 5:89-129.
- Cheatham CC, Mahon AD, BROWN JD, Bolster DR. (2000) Cardiovascular responses during prolonged exercise at ventilatory threshold in boys and men. *Med Sci Sports Exerc* 32:1080-1087.
- Edman KA, Elzinga G, Noble MI. (1978) Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibres. *J Physiol* 281: 139-155.
- 榎木繁男, 渡部和彦, 山地啓司, 手塚政孝 (1973) なわとびの運動効果. *体育の科学*, 23: 396-401.
- Jette M, Mongeon J, Routhier R. (1979) The energy cost of rope skipping. *J Sports Med Phys Fitness* 19: 33-37.
- Jones DM, Squires C, Rodahl K. (1962) Effect of rope skipping on physical work capacity. *Res Q Exercise Sport* 33: 66-73.
- 黒田浩, 小原繫, 荒木秀夫, 石原昭彦, 松井敦典, 三浦武, 中村久子, 佐竹昌之 (1990) 連続跳躍運動 (その場跳躍) における跳躍頻度と酸素摂取量の関係 (その2), *徳島大学教養部紀要保健体育*, 23: 1-9.
- Mahon AD, Duncan GE, Howe CA, Del Corral P. (1997) Blood lactate and perceived exertion relative to ventilatory threshold: boys versus men. *Med Sci Sports Exerc* 29:1332-1337.
- Myles WS, Dick MR, Jantti R. (1981) Heart rate and rope skipping intensity. *Res Q Exercise Sport* 52: 76-79.
- 丹羽正, 家治川豊, 和久田賢夫 (1960) 各種スポーツの部分的動作に要するエネルギー消費について. *体力科学*, 9: 57-64.
- 小川新吉, 古田善伯, 小原繫, 小原達朗, 大谷和寿, 徳山薫平, 古屋三郎 (1974) 縄跳び運動のエネルギー代謝について. *体力科学*, 23: 89-95.
- Quirk JE, Sinning WE. (1982) Anaerobic and aerobic responses of males and females to rope skipping. *Med Sci Sports Exerc* 14: 26-29.
- Town GP, Sol N, Sinning WE. (1980) The effect of rope skipping rate on energy expenditure of males and females. *Med Sci Sports Exerc* 12: 295-298.

その場跳躍における跳躍テンポの変化が酸素摂取量，心拍数，跳躍動作に与える影響

山口英峰，山元健太，宮川健，宮地元彦，小野寺昇（2000）なわとびにおける跳躍周期の違いが床反力に及ぼす影響．川崎医療福祉学会誌，10: 329-333.

山口英峰，山元健太，枝松千尋，早田剛，宮川健，小野寺昇（2002）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.

山口英峰，山元健太，枝松千尋，高橋康輝，宮川健，西村一樹，小野寺昇（2005）なわとび中の酸素摂取量減少とヒト下腿三頭筋の筋，腱-弾性系との関係について．吉備国際大学社会福祉学部研究紀要，10: 65-73.

山本博男，平下政美（1978）跳躍ペースからみた縄跳び運動．北陸体育学会紀要，18: 35-41.

山地啓司，横山康行（1987）持久性トレーニング（強度，時間，頻度，期間）の最大酸素摂取量への影響．体育学研究，32: 167-179.

山地啓司（1992）最大酸素摂取量の科学．杏林書院.

(2021年1月15日受付 / 2021年4月9日受理)