

〈原 著〉

最大酸素摂取量向上を目的とした高強度インターバルトレーニングの一形態としてのボックスジャンプの生理的負荷

Physiological loads of box jumping as a form of high-intensity interval training to enhance $\dot{V}O_{2max}$

星川 佳広¹, 平田 圭織²YOSHIHIRO HOSHIKAWA¹ AND KAORI HIRATA²

Abstract

High intensity interval training (HIIT) has become widely popular in the past 10 years. Previous studies have reported its potential benefit for improving $\dot{V}O_{2max}$; however, most of these studies focused on running or cycling as the mode of exercise. This study aimed to determine whether box jumping at different tempos met the physiological load necessary to be an effective HIIT exercise. Six female college students (age 20-23 years, height 160.3 ± 4.7 cm, body mass 59.1 ± 9.1 kg, $\dot{V}O_{2max}$ 37.7 ± 2.8 ml/kg · min) participated in the study. Participants underwent a countermovement jump (CMJ) test and a graded cycle ergometry test to assess $\dot{V}O_{2max}$ and HR_{max} . They then performed two box-jumping protocols on different days: one jump every 4 seconds (1/4s), and one jump every 3 seconds (1/3s). Heart rate and respiratory gases were measured during the two protocols. Box height was set at 150% of each participant's CMJ height, and both protocols included four sets of 30 jumps with 20-second passive recovery intervals. We found that % HR_{max} reached 95% in the 1/3s protocol and 90% in the 1/4s protocol. Average % $\dot{V}O_{2max}$ was significantly higher in the 1/3s ($78.8 \pm 5.4\%$) than in the 1/4s ($72.3 \pm 4.5\%$), especially in the later sets. Time above 90% $\dot{V}O_{2max}$ ($T > 90\% \dot{V}O_{2max}$) was longer in the 1/3s (110 ± 86 seconds) than in the 1/4s protocol (52 ± 63 seconds); however, there was no significant difference because of large inter-individual variability. However, $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ increased with each set, and showed significant difference in the third set of the 1/3s protocol. These findings suggest that the physiological load of box jumping varies with tempo, and the 1/3s protocol may impose comparable loads to HIIT exercises that have been reported to be effective such as running or cycling.

Key words: interval training, rest duration, tempo, % $\dot{V}O_{2max}$

¹ 日本女子体育大学スポーツ科学科

Department of Sports Science, Japan Women's College of Physical Education, 8-19-1 Kitakarasuyama, Setagaya, Tokyo, 157-8565, Japan

² 日本女子体育大学大学院スポーツ科学研究科

Master's Course in Sports Science, Japan Women's College of Physical Education

緒言

垂直方向へのジャンプは強度の高い運動様式の一つであり、エルゴメータのような特別な機器を用いることなく、また狭い場所でも実施可能な運動である。2020年度からのCOVID-19感染拡大による外出制限時においては、その特徴が重宝され、自宅で行えるトレーニングとしてスポーツ選手の体力レベルの維持・増進に利用された (Font et al. 2021)。

Kramer et al. (2018) はジャンプの高強度性に着目し、高強度インターバルトレーニング (High Intensity Interval Training: HIIT) におけるジャンプの利用可能性を検討している。インターバルトレーニング自体は持久性向上を目的に古くから行われてきたトレーニングであるが、近年はそれに高強度の運動を用いる HIIT が、同じ仕事量の定常運動よりも短時間の実施でより大きな効果が得られることが数多く報告され (Tabata et al. 1996; Helgerud et al. 2007; Seiler et al. 2013), 時間効率の高いトレーニングとして注目されている (田畑 2023)。HIIT は負荷制御が精緻にできるエルゴメータやトレッドミルを使用して行われることが多いが、ジャンプの生理的負荷がより明確に定量できれば、HIIT 実施の選択肢を増やすことができる。

HIIT の計画には運動の強度と時間、休息となるインターバルの強度と時間、それらを繰り返すセット数などの設定すべき変数が多々ある。そしてその組み合わせによって、さらには被検者の体力レベルにも依存して、期待される生理的な効果は質的、量的に変化する (Laursen and Jenkins 2002; Buchheit and Laursen 2013)。最近では、短時間のみ実施できる極めて高い強度の運動を行い、筋の無酸素・有酸素性代謝系両者に対して負荷するとともに神経筋系の改善をも目的とした Sprint interval training と、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の 90~120% 程度の強度の運動を 60 秒以下の短い休息を介して繰り返す、筋の有酸素性代謝系と呼吸循環系へ負荷

し、 $\dot{V}O_{2max}$ 等の持久性向上を主目的とする HIIT を区別する場合もある (Buchheit and Laursen 2013; MacInnis and Gibala 2017)。

$\dot{V}O_{2max}$ 向上を目的とした有酸素性トレーニングの強度については既に数多くの研究があり、効果が得られる強度は 50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上であるが、最も高い効果は呼吸循環系にほぼ 100% の負荷をかける 90~100% $\dot{V}O_{2max}$ で得られるとされる (Wenger and Bell 1986; Laursen and Jenkins 2002; 田畑 2023)。一方、インターバルトレーニングの場合、運動と休息を繰り返すためその負荷の程度を表現することが難しくなるが、トレーニング中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) が 90% $\dot{V}O_{2max}$ を超える時間 ($T > 90\% \dot{V}O_{2max}$)、あるいは 95% 超、100% $\dot{V}O_{2max}$ に達していた時間が $\dot{V}O_{2max}$ 向上のために着目され研究対象になっている (Billat et al. 2000; Midgley et al. 2006; Rozenek et al. 2007; Buchheit and Laursen 2013; Turnes et al. 2016)。Billat et al. (2000) は、 $v \dot{V}O_{2max}$ ($\dot{V}O_{2max}$ を導く走速度) を使ったトレーニングにおいて、定常運動では 100% $\dot{V}O_{2max}$ に達する時間を 2 分 42 秒しか維持できなかったが、30 秒の運動と 30 秒の休息を繰り返すインターバル形式にすると、100% $\dot{V}O_{2max}$ の時間を 7 分 51 秒まで延長できたとし、インターバル形式では血中乳酸濃度の増加を定常運動時と比べて緩やかにすることができ、その結果、呼吸循環系をより長い時間にわたり 100% 近くに負荷することができ、トレーニング効果に利するであろうと述べている。実際に Turnes et al. (2016) は、自転車競技者を対象に強度や時間の組み合わせが異なる HIIT を 4 週間実施し、トレーニング中に 100% $\dot{V}O_{2max}$ に達した時間が長かった HIIT の方が $\dot{V}O_{2max}$ および乳酸性閾値がより大きく向上したことを報告している。

前述の Kramer et al. (2018) は、連続的なジャンプの生理的強度 (心拍数, 血中乳酸, $\dot{V}O_2$) および $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ を 5 種類のプロトコルと比較し、HIIT への利用可能性を検証している。

いずれのプロトコルも1セットの運動は40秒間、トータルで180回のジャンプは共通とし、セット間の休息とジャンプ間の休息時間の組み合わせを0秒と0秒（以下、0-0のように表記）、すなわち休息なしに連続的にジャンプするプロトコルの他に、30-0、15-1、30-1、30-2のプロトコルを比較している。その結果、0-0および15-1で $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ は平均86秒、91秒でほぼ同じであったのに対して、30-1では47秒、30-2ではわずか7秒にとどまることを報告し、ジャンプの $\% \dot{V}O_{2max}$ や $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ にはジャンプ間の休息時間の影響が強いことを示唆した。さらに、0-0では疲労のためにジャンプの動作が乱れ跳躍高が大きく低下するため、適切に短いセット間、ジャンプ間に休息を入れることで、自覚的強度（RPE）を低く抑えながらも $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ をより長く確保できることを示唆している。Kramer et al. (2018)は、これらの結果を参考にし、プロトコルを工夫することでジャンプをHIITとして利用できると述べている。

さらにジャンプによるHIITでは、 $\dot{V}O_{2max}$ 向上にとどまらず神経筋への刺激によるストレッチショートニングサイクル（Stretch Shortening Cycle: SSC）機能向上や、着地衝撃による骨密度増加の期待もできる（Brown et al. 2010; Ache-Dias et al. 2016; Kramer et al. 2018）。Brown et al. (2010)は、80cmの高さからの10回×8セットのデプスジャンプが、平均で $82.5\% \dot{V}O_{2max}$ の強度であり、本来はプライオメトリクスのトレーニングであるが、有酸素性持久性も同時に高めうると指摘している。また、Ache-Dias et al. (2016)は、ランナーを対象に30秒間の連続ジャンプを5分間のインターバルで4～6セット、週3回、4週間実施し（ただし、他のトレーニングも併用）、 $\dot{V}O_{2max}$ の向上とともに、垂直跳高の向上、膝伸筋筋力の力の立ち上がり率の改善等を同時に観察している。球技系選手においては、跳躍能力が競技力向上に重要なため、ジャンプは頻繁に行われるト

レーニングである。したがって、ジャンプトレーニングのプロトコルを $\dot{V}O_{2max}$ 向上のHIITに必要な負荷を満たすように計画すれば、跳躍能力等に加えて $\dot{V}O_{2max}$ 向上を同時に図れる可能性がある。

ジャンプトレーニングの一つの形態にボックスに飛び乗るボックスジャンプ（BJ）がある。BJは、ジャンプの頂点近辺の時点で股関節、膝関節を屈曲してボックス上に着地するため、着地衝撃が垂直跳より軽減される。ジャンプの着地においては、その繰り返しによる傷害リスクが女性においては下肢筋力やアライメントの関係上、男性よりも高いことが知られており、BJは女性のジャンプトレーニングの導入、あるいは低強度のプライオメトリクスとして利用される（Mothersole et al. 2017）。また、垂直跳は被検者が任意に力発揮をするため、トレーニングとして繰り返しジャンプする場合には、疲労等のために徐々に力発揮を低下させてしまう可能性があるが、BJではボックスに飛び乗るため、ある一定以上の力発揮を継続させられる特徴も挙げられる。

Kramer et al. (2018)が示唆するように、BJにおいてもジャンプ間の休息時間（ジャンプのテンポ）は生理的負荷に強く影響すると予想される。そこで本研究はKramer et al. (2018)を参考に、BJにおいてジャンプの回数やセット間休息時間（20秒）は同じであるが、異なるジャンプのテンポがBJの生理的負荷に与える影響を検討することを目的とした。特に、BJトレーニングによる $\dot{V}O_{2max}$ 向上を念頭に、着目したのは $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ であった。

方法

1. 被検者

被検者は、健康でジャンプに支障のない体育大学の学部生および大学院生の女子6名であった（Table 1）。このうち現在、日常的に競技スポーツに取り組むのは1名のみ（No. 4）であ

り、この1名は陸上競技（走幅跳）を専門とした。被検者の身長、体重、BMIはそれぞれ160.3±4.7cm, 59.1±9.1kg, 22.9±2.7kg/m²であった。被検者からは、本研究の目的と内容を口頭と書面をもって説明したのち、研究参加への同意を書面をもって取得した。本研究は日本女子体育大学研究倫理委員会での承認を得て実施された（承認番号：2023-3）。

Table 1 Subjects' characteristics

Subject No.	Age (yrs)	Height (cm)	Body Mass (kg)	BMI (kg/m ²)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg · min)
1	23	153.8	46.9	19.8	35.6
2	23	158.0	54.0	21.6	39.2
3	23	158.0	62.6	25.1	42.6
4	20	165.5	58.0	21.2	37.1
5	23	165.8	74.2	27.0	36.0
6	20	160.4	59.0	22.9	35.4

2. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$)

$\dot{V}O_{2max}$ の測定には自転車エルゴメータ（エアロバイク 75XLIII, コナミスポーツ&ライフ）を用いた。運動開始後2分間は25W, その後1分毎に15W ずつの割合でランプ方式により負荷を増大し、疲労困憊まで運動させた。運動中の換気量、 $\dot{V}O_2$ 等は、生体ガス分析用質量分析装置 ARCO-2000（アルコシステム）を使用し、ブレスバイブレス法で測定した。ブレスバイブレスにより求めた $\dot{V}O_2$ 等の10秒ごとの平均値を6点で移動平均することで1分間当たりの数値とし、その最大値を $\dot{V}O_{2max}$ 等とした。また、心拍数は、Verity Sense (Polar) を使用し1秒ごとに測定し、測定中に得られた最高値を HR_{max} とした。疲労困憊に達した参照として、負荷の漸増にもかかわらず $\dot{V}O_2$ のレベリングオフが観察されたこと、RERが1.15を超えていたことを確認した。ただし、以下に述べるように1名の被検者については、自転車エルゴメータの漸増負荷試験時による $\dot{V}O_{2max}$ 以上の $\dot{V}O_2$ をBJ中に観察したため、分析にはその値を $\dot{V}O_{2max}$ として利用した。結果的に被検者の $\dot{V}O_{2max}$ は37.7±2.8ml/kg · minであった。

3. 垂直跳

BJに用いるボックス高を決定するために、OptoJumpNext (Microgate) を用いて、垂直跳のジャンプ高 (Counter Movement Jump: CMJ) を測定した。この装置はジャンプの滞空時間より CMJ を計算する。ジャンプ時には手を腰に当てさせ腕振りを用いないようにし、立位から一旦沈み込んだのち反動を使って全力でジャンプするように指示した。測定は3回行い、最も高い測定値を CMJ とした。

4. ボックスジャンプ (BJ)

BJにおけるボックス高は、予備実験より CMJ の150%を目安とした。このボックス高は、以下に述べるプロトコルでBJを120回繰り返すことが可能で、かつできるだけ高い高さであることを予備実験にて試行錯誤のうえ決定した。また、本研究では10cm 毎に高さを調節するボックスを使用したため、ボックス高を CMJ の150%丁度には設定できなかった。そのため、ボックス高は5cm 単位とし、5cm の高さの調節は2.5cm 厚のベニヤ板2枚をボックスの下に設置し対応した。各被検者の CMJ と設定したボックス高を Table 2 に示した。

Table 2 CMJ and Box height settings for BJ

Subject No.	CMJ (cm)	Box height (cm)
1	23.5	35
2	26.2	40
3	22.4	35
4	38.6	55
5	29.9	45
6	28.3	45

CMJ: Counter Movement Jump, BJ: Box Jump

BJのプロトコルはKramer et al. (2018) のプロトコルを参考に、1セットあたりのジャンプ数は30回、セット間休息は20秒、セット数は4セットで計120回のジャンプであった（これを1シリーズと呼ぶ）。このプロトコルにおいて、ジャンプを3秒に1回のテンポで行うBJ（1/3s）と4秒に1回のテンポで行うBJ（1/



Picture 1 Experimental settings

4 s) を実施した。BJ の実施においては、手を腰に当てさせ腕振りを用いないようにし、立位から一旦沈み込んだのち反動を使ってボックス上にジャンプするように指示した。また、安全性への配慮として被検者にハーネスをつけて、上部からつるすことで転倒を防止した (Picture 1)。BJ 中はマスクを着用し、 $\dot{V}O_2$ 等を生体ガス分析用質量分析装置 ARCO-2000 (アルコシステム) を使用し、ブレスバイブレス法で測定した。ブレスバイブレスにより求めた $\dot{V}O_2$ 等の 10 秒ごとの平均値を 6 点で移動平均することで 1 分間当たりの数値とし、 $\dot{V}O_{2max}$ に対する割合 ($\% \dot{V}O_{2max}$) 等を求めた。また、BJ 中の心拍数は、Verity Sense (Polar) を使用し連続的に測定した。

1/3 s において、1 名の被検者は、第 3 セット終了時点で疲労困憊の様子が観察されたため被検者の状態と安全面を考慮して第 4 セットを行わずに測定を終了した。そのため、以下の結果では第 3 セットまでは 6 名分、第 4 セットについては 1/3 s、1/4 s ともにその被検者を除いた 5 名分をまとめ、分析対象とした。

5. データ整理, 統計

統計処理はエクセル統計 (柳井 2012) を使用した。一回換気量 (TV), 呼吸数 (RR), 換気量 (VE), $\dot{V}O_2$ 体重比, 呼吸交換比 (RER), $\% \dot{V}O_{2max}$, $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ の各指標について、シリーズ全体を対象にプロトコル間 (1/3 s, 1

/4 s), セット間, 交互作用の効果の検定のため重複測定の分散分析を行った。ただし、1/3 s の第 4 セットができなかった被検者 1 名 (No. 4) がいたため、分散分析は第 1 セットの運動から第 3 セット後の休息までを対象とした。結果的にいずれの指標にもプロトコル間に有意な効果は見られなかったが、交互作用に有意な効果が見られた指標に対しては、各セットの運動と休息において 1/3 s と 1/4 s を比較するために対応のある t 検定を行った。また、 $\% \dot{V}O_{2max}$ および $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ については、1/3 s および 1/4 s それぞれの 1 シリーズ全体の平均値および合計値も求め対応のある t 検定により比較した。このとき No. 4 については 1/3 s, 1/4 s ともに第 4 セットを除いたうえで 1 シリーズ全体の平均値, 合計値を算出した。さらに、交互作用に有意な効果が見られた場合には、1/3 s, 1/4 s それぞれにおいて、第 1, 2, 3 セットの運動間において Tukey-Kramer 法による多重比較を行い、各指標のセット間の有意差を検定した。有意水準は 5 % 未満とした。

結果

各セットの運動時間は 1/3 s では 90 秒間, 1/4 s では 120 秒間であり、セット間休息の時間は 1/3 s, 1/4 s ともに 20 秒間であるため、1 シリーズ全体の時間は 1/3 s が 420 秒間 (7 分間), 1/4 s が 540 秒間 (9 分間) であった。

Fig. 1 に $\%HR_{max}$ の被検者全体の平均値の推移を示した。 $\%HR_{max}$ はセットの進行とともに徐々に増加し、1/3 s では第 3 セット終了時に最高で $94.7\%HR_{max}$ に到達した一方、1/4 s では第 4 セット終了時に $90.0\%HR_{max}$ に到達するのが最大であった。

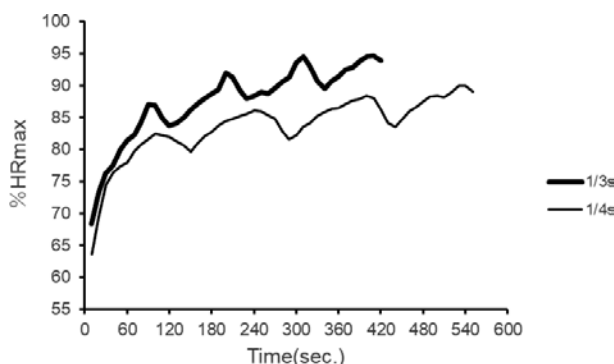
Fig. 1 %HR_{max} during 1/3s and 1/4s protocols

Table 3 Respiratory indices during 1/3s and 1/4s

	Protocol	Work1	Rest1	Work2	Rest2	Work3	Rest3	Work4	ANOVA			
									Protocol	Set	Interaction	Between Ws
TV (L)	1/3s	1.20±0.37	1.60±0.35	1.62±0.46	1.83±0.33	1.64±0.43	1.68±0.45	1.55±0.46	NS	NS	NS	
	1/4s	1.12±0.21	1.45±0.29	1.43±0.32	1.63±0.37	1.56±0.37	1.56±0.36	1.48±0.36				
RR (/min)	1/3s	35.3±5.4	32.8±9.7	38.8±4.9	33.0±7.5	40.9±5.4	37.6±9.1	41.6±3.9	NS	p<0.05	p<0.05	W1<W3 NS
	1/4s	34.9±4.3	34.2±9.0	35.9±4.6	28.8±3.8	33.8±3.6	32.3±5.5	34.9±2.9				
VE (L/min)	1/3s	38.4±5.8	49.4±14.8	58.9±10.4*	58.5±16.9*	64.6±16.2*	59.7±19.7	63.0±18.5	NS	p<0.01	p<0.05	W1<W2,W3 W1<W2,W3
	1/4s	37.0±5.5	46.0±8.6	48.8±9.4	46.2±11.3	50.2±11.1	49.6±13.1	49.7±11.2				
$\dot{V}O_2$ (ml/kg · min)	1/3s	23.1±3.0	29.6±3.1	31.1±2.2	31.9±1.5**	31.9±2.4**	30.2±1.7	31.4±3.8*	NS	p<0.01	p<0.01	W1<W2,W3 W1<W2,W3
	1/4s	23.5±3.5	29.5±4.4	28.8±3.1	28.7±3.2	28.8±2.7	28.1±2.5	28.6±2.3				
RER	1/3s	0.85±0.12	0.95±0.20	1.01±0.16	1.00±0.18	1.04±0.13	1.03±0.13	1.03±0.09	NS	NS	p<0.05	W1<W2,W3 W1<W2,W3
	1/4s	0.88±0.05	0.93±0.05	0.95±0.03	0.93±0.09	0.98±0.05	1.01±0.07	0.99±0.07				

Data are presented as mean±standard deviation

TV: Tidal Volume, RR: Respiratory Rate, VE: Ventilation, RER: Respiratory Exchange Ratio

W1, W2, W3 refer to Work1, Work2, Work3

NS: not significant, ** p<0.01, * p<0.05 significant difference between 1/3s and 1/4s

Table 3に呼吸関連の指標の推移を示した。分散分析の結果はいずれの指標もプロトコル間に有意な効果がなかったが、TV以外のいずれの指標も交互作用の効果が有意であった。RRについては1/3sでは第1セットの運動より第3セットの運動が有意に多かった一方で、1/4sでは運動のセット間に有意差がなかった。また、いずれのセットの運動、休息においても1/3sと1/4s間に有意差はなかった。VEについては、1/3s、1/4sともに第1セットの運動に比べて第2セット、第3セットの運動が有意に大きく、かつ第2セットの運動とその後の休息、第3セットの運動において、有意に1/3sが1/4sよりも大きかった。 $\dot{V}O_2$ についてはVEと同様に、1/3s、1/4sともに第1セットの運動に比べて第2セット、第3セットの運

動が有意に大きく、かつ第2セット後の休息以降、1/3sにおいて1/4sより大きい傾向にあり、第2セット後の休息、第3および4セットの運動において有意差があった。RERは、1/3s、1/4sともに第1セットの運動に比べて第2セット、第3セットの運動が有意に大きかったが、1/3sと1/4s間に有意差はなかった。しかし、1/3sのRERは、第2セットの運動以降平均で1.0を超えたのに対して、1/4sでは運動中に1.0を超えることがなかった。

Fig. 2に $\% \dot{V}O_{2max}$ を示した。Fig. 2左には各セットの運動およびセット間休息それぞれの $\% \dot{V}O_{2max}$ の平均を、Fig. 2右にはそれぞれの $\% \dot{V}O_{2max}$ のピーク値を示した。 $\% \dot{V}O_{2max}$ の平均 (Fig. 2左)の分散分析の結果は、プロトコル間に有意な効果は見られなかったが、セット間お

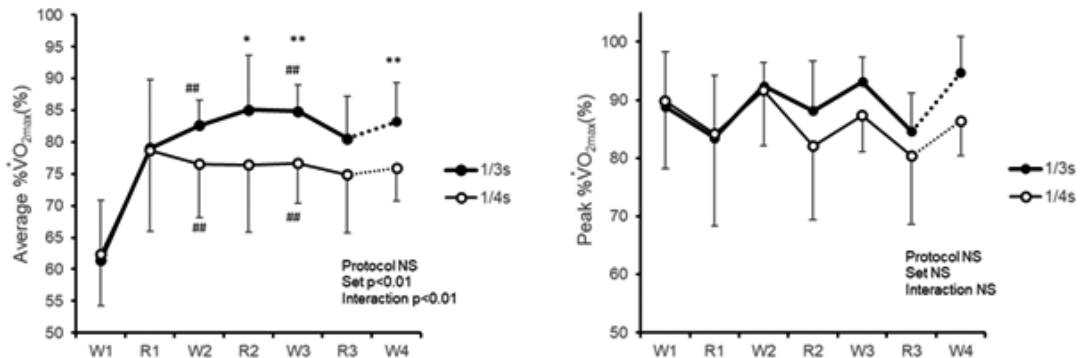


Fig. 2 % $\dot{V}O_{2max}$ during 1/3s and 1/4s protocols (Left: section average, Right: section peak)

W: Work, R: Rest

Data are presented as mean and standard deviation.

In Fig. 2 and 3, the dash lines between R3 and W4 indicated that the data of 6 subjects were averaged until R3, but only 5 subjects were averaged at W4 because one subject could not complete W4.

* $p < 0.01$ significant difference between 1/3s and 1/4s

$p < 0.01$ significant difference compared to W1

よび交互作用の効果が有意であり、1/3s、1/4sともに第2、3セットの運動では第1セットの運動よりも有意に高かった。しかし、第1セットの運動とその後の休息にかけて1/3sと1/4sはほぼ同じように増加したが、1/3sでは第2セット以降も増加を続け、第2セット後の休息、第3セットの運動において約85% $\dot{V}O_{2max}$ に到達し、第2セット後の休息、第3および4セットの運動において1/4sよりも有意に高い値を示した。シリーズ全体では、% $\dot{V}O_{2max}$ の平均値は1/3s、1/4sそれぞれで $78.8 \pm 5.4\%$ 、 $72.3 \pm 4.5\%$ であり、1/3sが有意に高かった。

% $\dot{V}O_{2max}$ のピーク値 (Fig. 2 右) の分散分析では、プロトコル間、セット間、交互作用いずれも有意な効果を観察しなかった。しかし、1/3s、1/4sともに第1セットの運動において約90% $\dot{V}O_{2max}$ を示し、その後1/3sでは第2、3、4セットの運動においてわずかながら増加する傾向を示す (第4セットで94.7%) 一方、1/4sにおいてはセットごとに徐々に低下し、第3セット以降90% $\dot{V}O_{2max}$ を下回った。

Fig. 3に $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ を示した。分散分析の結果、セット間、交互作用に有意な効果が見られた。第1セットの運動とその後の休息では

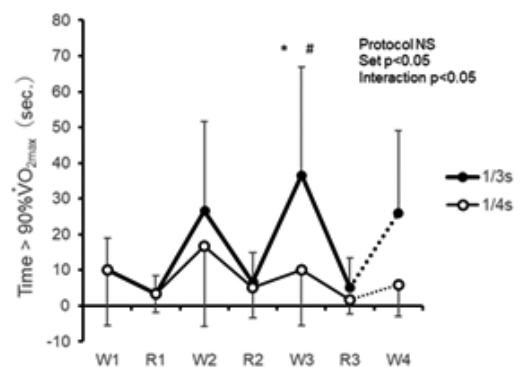


Fig. 3 Time > 90% $\dot{V}O_{2max}$ during 1/3s and 1/4s protocols

W: Work, R: Rest

Data are presented as mean and standard deviation.

* $p < 0.05$ significant difference between 1/3s and 1/4s

$p < 0.05$ significant difference compared to W1

1/3sと1/4sともにほぼ同じであったが、1/3sではセットを重ねるごとに $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ が延長し、第3セットで第1セットの運動よりも有意に長かったのに対して、1/4sではセット間に有意差なく、いずれのセットの運動も平均20秒未満であった。また、標準偏差が大きいため1/3sと1/4sの有意差は第3セットの運動においてのみに観察された。シリーズ全体では、 $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ は1/3s、1/4sそれぞれで 110 ± 86 秒、 52 ± 63 秒であり、1/3sで長い傾向があったが有意差はなかった。

考察

本研究はボックスジャンプ (BJ) を $\dot{V}O_{2max}$ 向上目的の HIIT に応用することを念頭に、2つのテンポの異なる BJ (1/3s: 3秒に1回, 1/4s: 4秒に1回) について、その生理的負荷を比較したものである。被検者の $\dot{V}O_{2max}$ は $37.7 \pm 2.8 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ であり、20代前半の日本人女性の平均的な最大酸素摂取量 $34.5 \sim 36.4 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ (首都大学東京体力標準値研究会 2007), $34.3 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ (鈴木ら 2009) と同程度かわずかに高い程度であった。その結果、1/3s ではシリーズ全体で平均 $78.8\% \dot{V}O_{2max}$, $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ は 110 秒であり、以下に述べるようにプロトコルを工夫することにより $\dot{V}O_{2max}$ 向上の HIIT として利用可能であると考えられる (Buchheit and Laursen 2013; Kramer et al. 2018)。

一方、1/4s ではシリーズ全体での $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ は 1/3s と有意差はなかったものの 52 秒と半減したため、HIIT を想定して BJ を行う場合には、1/3s のテンポの方が適していると考えられた。ジャンプトレーニングは狭い場所で行うことが可能という特徴に加え、特に跳躍能力を必要とする球技系の選手においてはジャンプ高そのものが高まる効果や SSC 機能向上の可能性も考えられる (Brown et al. 2010; Ache-Dias et al. 2016)。さらに、ジャンプからの着地衝撃がボックスに跳び乗ることで緩和されるため、女性に多い下肢の傷害リスクも避けられ (Mothersole et al. 2017), BJ による HIIT はジャンプ力と持久性をともに必要とする球技系の女子スポーツ選手において、安全に複数の生理的機能を高めるために優れた運動形態になりうることが示唆された。

HIIT としての BJ を想定した場合、1/3s と 1/4s のたかだか 1 秒のテンポの違いにより生理的負荷は大きく異なる事実は、効果的なトレーニングを計画するうえで重要な情報といえる。先行研究の Kramer et al. (2018) も同様

に垂直跳のジャンプ間の休息により生理的負荷が大きく変わることを指摘しているが、Kramer et al. (2018) はジャンプ間休息を 0 秒もしくは 1 秒とした場合に対して、2 秒とした場合には、比較的回復の早いクレアチンリン酸 (PCr) に回復する時間的余裕が生まれ、 $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ が大幅に減少することを報告している。逆にいうとジャンプ間休息が 1 秒以下では、PCr の不十分な回復を補うように有酸素系を強く働かせてエネルギーを賄う必要が生じ、高い $\% \dot{V}O_{2max}$ が維持され则认为られる (Bogdanis et al. 1996)。本研究の BJ の場合、ボックスに跳び乗った後、ボックスから降りる動作があるため、3 秒に 1 回のテンポはほぼ動きを続けている状況となり、テンポをより早くすることは不可能ではないが、動作を正しく繰り返し行う上ではちょうどよいリズムの早さといえる。実際には BJ のテンポやセット間休息、あるいはボックス高の組み合わせは無限にあり、そのすべての組み合わせの生理的負荷を検討することは難しいが、BJ を $\dot{V}O_{2max}$ 向上目的の HIIT として用いる場合には 3 秒に 1 回の跳躍というのは、本結果から得られた重要な参照すべき点の一つになる。

本研究でのセット間休息は試験的に 20 秒とし、その他の時間は試していないので 1/3s における適切なセット間休息の時間設定については深くは考察できない。しかし、Kramer et al. (2018) はジャンプ間休息が 1 秒の垂直跳において、セット間休息を 15 秒と 30 秒とで比較した場合に、 $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ は前者が 91 秒に対して後者が 47 秒と半減することを報告しており、30 秒のセット間休息は長すぎると考えられた。一方、セット間休息が 15 秒の場合、30 秒の場合と比較して疲労のために垂直跳の跳躍高が有意に低下することも報告されており、ボックスに跳び乗るために一定の跳躍高を維持させなければならない本研究の BJ の場合、15 秒のセット間休息は短すぎるとも考えられた。HIIT においてセット間休息は高強度運動に使われた

ATP-PCr系を回復させる時間ともいえる (Bogdanis et al. 1995), 不十分な回復では跳躍高を維持できなくなる。高強度運動で使われ分解されたクレアチンリン酸の完全に近い回復には3分以上の時間がかかるが (Bogdanis et al. 1995), はじめの約21秒でその半分は回復し、それ以降緩やかに回復する (Kramer et al. 2018)。また Rozenek et al. (2007) は、 $\dot{V}O_{2max}$ を導く走速度である $v \dot{V}O_{2max}$ の100% (運動) と50% (休息) を繰り返すインターバルトレーニングにおいて、50% (休息) を15秒間とした場合に100% (運動) は最長で60秒間まで、すなわち運動: 休息の時間比は4:1までが上限であり、それ以上の運動時間は早い疲労困憊への到達をもたらす、むしろ $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ を短縮することを示唆している。本研究のセット間は完全休息であり Rozenek et al. (2007) の50%とは同一の条件ではないが、1/3sのプロトコルでは1セットあたり90秒の運動に対して20秒の休息は、運動: 休息の時間比は4.5:1であり、おおよそ Rozenek et al. (2007) の示唆と同程度であった。これらの先行研究と本研究での $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ の結果をあわせると、BJの1/3sプロトコルにおいてセット間休息を20秒に設定したことは、結果的にはおおよそ妥当であったと考えられる。

Buchheit and Laursen (2013) はインターバルトレーニングに関するレビューにおいて、呼吸循環系の適応を促すために $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ は1回のトレーニングセッションあたり、持久性競技選手で約10分、チームスポーツの選手は5-7分が目安になると指摘している。したがって、ジャンプトレーニングを行うことも多いバレーボールやバスケットボール、サッカーといった球技系のチームスポーツ選手における実際のトレーニングを考えた場合、本研究の1/3s (4セット計120回のBJ) を適切なシリーズ間休息を挟みながら3シリーズ行えばおおよそその目安に達することができ、ジャンプのトレーニングと同時に $\dot{V}O_{2max}$ 向上をも兼ねられ

ると考えられる。あるいは、各セットにおけるピークの $\% \dot{V}O_{2max}$ でみた場合 (Fig. 2右), 第1セットにおいてすでに $90\% \dot{V}O_{2max}$ が短時間ではあるものの観察されるので、1セットあたりのBJの回数を数回増やすことでも $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ 増加につなげることができると考えられる。例えば、BJを1セットあたり30回から33回へと増やすと1セットの時間が約10秒間延長し、4セットで $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ を本研究での1シリーズ全体の平均値110秒より40秒増やすことができると予想される。このように実際のBJトレーニングを考えた場合に $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ をより延長するためには、本研究結果を参考にしつつ1セットあたりの運動時間や1シリーズあたりセット数を増やすことなどで、実際のトレーニングに落とし込むことができると考えられる。

本結果から指摘しておくべきことに、ボックス高の設定の難しさが挙げられる。本研究では予備実験の試行錯誤より、各被検者のCMJの150%を目安にボックス高を設定することで、ボックス高による生理的強度を被検者間で統一しようとした。しかし実際には、1/3sの第3セットにおける $\% \dot{V}O_{2max}$ は被検者6名において88.1~99.3%と10%以上の差異があり、1シリーズ全体の $T > 90\% \dot{V}O_{2max}$ においても20~220秒と、被検者間に大きな差異があった。また、第4セットができなかった被検者 (No. 4) は陸上競技 (走幅跳) を専門としCMJが被検者のなかで最も高かったが、設定したボックス高が55cmと他の被検者より10cm以上となり高すぎた印象もあった。最近、Koefoed et al. (2022) は、女子ハンドボール選手を対象に選手が行いうる最大のボックス高とCMJの関係性が強くはない ($r^2=0.31$) ことを報告し、その理由として、BJではボックスへの着地のために下肢三関節 (股、膝、足) を最大限に屈曲する必要があり、その柔軟性が高い選手ほど最大ボックス高が高くなること、BJが垂直方向のみならず前方向への力発揮を伴うため、垂直方向

へのみの CMJ に比べて高いスキルを必要とすることを述べている。すなわち、BJ の生理的負荷には、各被検者の CMJ の能力のみならず、柔軟性や脚長（重心位置）、BJ スキルなども影響すると考えられ、それらが本研究でみられた $\dot{V}O_{2\max}$ や $T > 90\% \dot{V}O_{2\max}$ の個人差の要因となったと考えられる。HIIT に適当な BJ のボックス高の設定については、今後さらに検討すべき課題であるが、Koefoed et al. (2022) を踏まえると、各被検者が行いうる最大のボックス高を求めたうえで、それを目安に設定することも一つのアイデアと考えられる。

本研究をまとめると、ボックスジャンプを 3 秒に 1 回と 4 秒に 1 回の異なるテンポで行う場合では生理的負荷が大きく異なり、3 秒に 1 回のテンポで 1 セットあたり 30 回のボックスジャンプを行い、セット間休息として 20 秒間の時間をとり、これを 4 セット行くとその強度は平均で約 79%、 $T > 90\% \dot{V}O_{2\max}$ は約 110 秒となり、 $\dot{V}O_{2\max}$ 向上の HIIT として利用ができると考えられる。具体的には球技系の女子スポーツ選手の場合、このシリーズを 1 セッションあたりに 3 回行くと良いと考えられる。ただし、ボックス高の設定にはさらなる研究が必要である。

付記

本研究は共著者である平田圭織の令和 6 年度（前期）修士論文「ボックスジャンプトレーニングが最大酸素摂取量と垂直跳パフォーマンスに及ぼす効果」の一部の内容につき、筆頭著者星川佳広がデータを再処理、再検討したうえで、緒言から考察までを再構成してまとめたものである。

謝辞

測定の実施においては、基礎体力研究所技術職員の森山真由美氏の多大なご協力がありまし

た。ここに感謝の意を表します。

文献

- Ache-Dias, J., Dellagrana, R. A., Teixeira, A. S., Dal Pupo, J. and Mono, A. R. P.: Effect of jumping interval training on neuromuscular and physiological parameters: a randomized controlled study. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **41**: 20-25, 2016.
- Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P. and Koralsztejn, J.-P.: Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur. J. Appl. Physiol.* **81**: 188-196, 2000.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K. A. and Nevill, A. M.: Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. *J. Physiol.* **482**: 467-480, 1995.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. and Lakomy, H. K. A.: Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J. Appl. Physiol.* **80**: 876-884, 1996.
- Brown, G. A., Ray, M. W., Abbey, B. M., Shaw, B. S. and Shaw, I.: Oxygen consumption, heart rate and blood lactate responses to an acute bout of plyometric depth jumps in college-aged men and women. *J. Strength Cond. Res.* **24**: 2475-2482, 2010.
- Buchheit, M. and Laursen, P. B.: High-intensity interval training: solutions to the programming puzzle. Part I. cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* **43**: 313-328, 2013.
- Font, R., Irurtia, A., Gutierrez, J. A., Salas, S., Vila, E. and Carmona, G.: The effects of COVID-19 lockdown on jumping performance and aerobic capacity in elite handball players. *Biol. Sport* **38**: 753-759, 2021.
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkass, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, N., Bach, R. and Hoff, J.: Aerobic high-intensity

- intervals improve $\dot{V}O_{2\max}$ more than moderate training. *Med. Sci. Sports Exerc.* **39**: 665-671, 2007.
- Koefoed, N., Dam, S. and Kersting, U. G.: Effect of box height on box jump performance in elite female handball players. *J. Strength Cond. Res.* **36**: 508-512, 2022.
- Kramer, A., Poppendieker, T. and Gruber, M.: Suitability of jumping as a form of high-intensity interval training: effect of rest duration on oxygen uptake, heart rate and blood lactate. *Eur. J. Appl. Physiol.* **119**: 1149-1156, 2018.
- Laursen, P. B. and Jenkins, D. G.: The scientific basis for high-intensity interval training. Optimising training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.* **32**: 53-73, 2002.
- MacInnis, M. J. and Gibala, M. J.: Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J. Physiol.* **595**: 2915-2930, 2017.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R. and Wilkinson, M.: Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med.* **36**: 117-132, 2006.
- Mothersole, G., Cronin, J. B. and Harris, N. K.: 女子のためのジャンプ着地プログラム. 体系的な漸進モデルの開発. *ストレングス&コンディショニングジャーナル* **24**: 30-41, 2017.
- Rozenek, R., Funato, K., Kubo, J., Hoshikawa, M. and Matsuo, A.: Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with $\dot{V}O_{2\max}$. *J. Strength Cond. Res.* **21**: 188-192, 2007.
- Seiler, S., Joranson, K., Olesen, B. V. and Hetlelid, K. J.: Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* **23**: 74-83, 2013.
- 首都大学東京体力標準値研究会編: 新・日本人の体力標準値Ⅱ. 初版. 不昧堂出版, 2007.
- 鈴木政登, 田中喜代次, 須藤美智子, 澤田亨, 小田切優子: 日本人の健康関連体力指標最大酸素摂取量基準値. *デサントスポーツ科学* **30**: 3-14, 2009.
- Tabata, I., Kouzaki, M., Ogita, F. and Miyachi, M.: Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2\max}$. *Med. Sci. Sports Exerc.* **28**: 1327-1330, 1996.
- 田畑泉: タバタトレーニングの生理学とさらなる発展性. *日本女子体育大学附属基礎体力研究所紀要 (J. Exerc. Sci.)* **33**: 29-36, 2023.
- Turnes, T., de Aguiar, R. A. de Oliveira Cruz, R. S. and Caputo, F.: Interval training in the boundaries of severe domain: effects on aerobic parameters. *Eur. J. Appl. Physiol.* **116**: 161-169, 2016.
- Wenger, H. A. and Bell, G. J.: The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med.* **3**: 346-356, 1986.
- 柳井久江: エクセル統計. 第3版. オーエムエス出版, 2012.