

# その場歩行運動中の歩行テンポの変化が 生理学的運動強度に与える影響

## Effect of change in walking tempo on physiological exercise intensity during in-situ walking exercise

川端 良介\*・戸塚 学\*\*

Ryosuke KAWABATA\*・Manabu TOTSUKA\*\*

### 概要

本研究では、被験者に5種類（80-186 bpm）の歩行テンポに規定した大腿をできるだけ高く上げる条件下でその場歩行運動を行わせ、この動作中の酸素摂取量及び心拍数を測定した。その結果、133、160、186 bpmの酸素摂取量及び $\% \dot{V}O_2 \max$ 、 $\% \dot{V}O_2 R$ は80 bpmと比較して、有意に大きい結果となった。そのため、大腿をできるだけ高く挙上する条件下のその場歩行運動において速い歩行テンポは遅い歩行テンポと比較して、160 bpmまでは段階的に生理学的運動強度が高くなることが明らかとなった。本研究では、160 bpm以上で酸素摂取量および心拍数が横ばい状態になったが、そのときの股関節角度の変化については明らかとなっていない。また、この変化に伴い、足、膝、股関節伸展・屈曲筋群への負荷に影響を及ぼすことが予想される。そのため、今後は力学的分析を並行して行い、これらを明らかにすることで、その場歩行運動のトレーニング効率を高めるための知見を得られると考える。

キーワード：その場歩行、歩行テンポ、酸素摂取量、心拍数

### 1. 序論

現在、世界中で新型コロナウイルスの影響による外出自粛が求められているため、児童・生徒・学生の運動量の低下が懸念されている。これに伴い、屋内の限られたスペースで行うことが可能であり、高価な道具が必要ないなどの条件下で行える運動が注目されている。また、これらの条件を満たす代表的な運動として、縄跳び運動、その場跳躍運動、その場歩行運動等が挙げられる。

これらのいずれの運動においても、運動のテンポが運動強度に影響することから、その後の運動効果を考える上で、運動のテンポと運動強度の関連を検討することは重要である。

縄跳び運動やその場跳躍運動における、跳躍テンポと生理学的運動強度の関連を検討した報告は多くみら

れ、縄跳び運動では跳躍テンポが100-110 spm(skip per minutes)<sup>1-2)</sup>、その場跳躍運動では110-130 spm<sup>3-4)</sup>において酸素摂取量、心拍数の最高値が出現し、これらの跳躍テンポから離れるとともに低下することが明らかにされている。また、川端ほか<sup>3)</sup>はこれらの結果が跳躍動作の変化に起因する可能性を示唆している。

一方、その場歩行運動の先行報告は数少なく、高橋ほか<sup>5)</sup>の女子学生を対象にした研究がみられるが、運動強度が最高値を示す歩行テンポの検証に至っていない。その場歩行運動では、大腿をできるだけ高く挙上する条件下において、歩行テンポが速くなるとともに大腿が最も上がったときの股関節角度が変化することが予想されるため、テンポが歩行動作により生態負担度が変化する可能性が考えられる。しかし、これらの条件下における歩行テンポと生理学的運動強度の関連は明らかにされておらず、生理学的運動強度が

\* 八戸工業高等専門学校総合科学教育科  
Department of General Science Education, National Institute of Technology, Hachinohe College.

\*\* 弘前大学教育学部保健体育講座  
Department of Physical Education, Faculty of Education, Hirosaki University.

Maximal oxygen uptake (以下,  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) 向上を目的としたトレーニングに適しているかを検討した報告もみられない。

本研究では, 5種類の歩行テンポを規定し, できるだけ大腿を挙上する条件下におけるその場歩行運動を生理学的観点(有酸素性作業能力)から分析する。そして, その場歩行運動における歩行テンポと生理学的運動強度の関係を明らかにするだけでなく, その場歩行運動の生理学的運動強度が有酸素性作業能力の指標である  $\dot{V}O_2\text{max}$  向上のためのエクササイズとして適しているかの検討を行った。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は, 男子学生9名とした。また, 被験者の年齢及び身体的特徴は Table 1に示した。なお, 本研究では令和3年度八戸工業高等専門学校研究倫理審査委員会(承認番号: R2-3)の承認を得た上で, 規定に基づき事前に十分な説明を被験者に対して行い, 書面にて参加の同意を得て実施した。

**Table 1** Characteristics of subjects

(n = 9)	Mean	±	SD
Age (year)	18.7	±	0.5
Height (cm)	173.1	±	3.9
Weight (kg)	68.7	±	5.8
$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml / kg / min)	54.7	±	8.1
$\dot{V}O_2\text{rest}$ (ml / kg / min)	4.4	±	1.2
$\dot{V}O_2R$ (ml / kg / min)	50.2	±	8.4
HRmax (bpm)	186.8	±	9.8

### 2. 運動課題

被験者には座位姿勢で, 安静時心拍数を3分間測定した後, 歩行テンポを規定した5種類のその場歩行運動をできるだけ大腿を挙上する条件下で4分間行わせた。運動課題実施の際には, 安静時心拍数の測定後十分なウォーミングアップを行わせ, 試技間には疲労の影響がでないように十分な休養を設けた。また, 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。

### 3. 跳躍テンポの設定

実験ではメトロノーム(SEIKO社製, SQ200)を使用し, 5種類のテンポ(80, 107, 133, 160, 186

beats per minutes (以下, bpm))を設定した。なお, 本研究の運動課題は, 日常的な運動場面を想定しているため, 運動時に視聴されると考えられる一般的な音楽のテンポを参考に歩行テンポの上限と下限を決定した。

### 4. 酸素摂取量・心拍数の測定

対象者の有酸素性作業能力を明らかにするため, 最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\text{max}$ )および, 最大酸素摂取量測定時の最大心拍数(HRmax)の測定を行った。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, エアロバイク75XL III)を使用し, 最初に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ずつ漸増負荷し, 対象者には最大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<sup>6)</sup>は最大努力を客観的にチェックする項目として, ① $\dot{V}O$ のプラトー現象の発現, ②年齢から推定される最高心拍数(HRmax=20-age)にほぼ達していること, ③Respiratory quotient (以下, RQ) >1.0~1.5, ④血中乳酸が10mmol/l以上に達すること, ⑤RPE(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つの指標のうち2つ以上を満足するものを $\dot{V}O_2\text{max}$ 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>1.0~1.5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。

その場歩行運動の酸素摂取量・心拍数の測定には上記の測定装置を用い, 測定中1秒毎にサンプリングを行った。本研究では, 予備実験にて, 約3分で全てのリズムにおいて定常状態が見られたため, 測定開始後3-4分の1分間の酸素摂取量・心拍数の平均値を各被験者の結果とした。また, 安静時心拍数は1-2分の酸素摂取量・心拍数の平均値を各被験者の結果とした。

% $\dot{V}O_2\text{max}$ , %HRmax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, 最大心拍数で除して算出するとともに, 各方向テンポの相対酸素予備量(% $\dot{V}O_2R$ )は, 以下の式により算出した。

$$\% \dot{V}O_2R = (\dot{V}O_2 - \dot{V}O_2\text{rest}) / (\dot{V}O_2\text{max} - \dot{V}O_2\text{rest})$$

なお、酸素摂取量は被験者の体重、時間で規格化した。

### 5. 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、歩行テンポの速さによる酸素摂取量・心拍数の違いを検討するため、歩行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、有意水準は両側検定で危険率5% 未満とした。

### III. 結果

Table 2には歩行テンポと酸素摂取量、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2R}$ 、心拍数、%HRmax を示した。歩行テンポ 133, 160, 186 bpm の酸素摂取量及び  $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2R}$  は80 bpm と比較して、テンポの上昇とともに段階的に増加し、133bpm より速いテンポにおいて有意差 ( $p < 0.05$ ) がみられた。心拍数及び %HRmax は、酸素摂取量と同様にテンポが速くなるにつれて上昇したが、有意差はみられなかった。また、酸素摂取量、心拍数は186 bpm、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2R}$ 、%HRmax は160 bpm で最大値を示した。

### IV. 考察

本研究では、被験者に5種類 (80-186 bpm) の歩行テンポに規定した大腿をできるだけ高く上げる条件下でのその場歩行を行わせ、この動作中の酸素摂取量及び心拍数を測定した。

高橋ほか<sup>5)</sup> は若年女子18名を対象に股関節角度が135度になるまで大腿を挙上する条件下で3種類の歩行テンポ (60・90・120 bpm) 中の酸素摂取量を測定し、歩行テンポ間で比較したところ、歩行テンポが速くなるとともに酸素摂取量も増加したことを報告している。本研究においても酸素摂取量、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2R}$  はテンポが速くなるにつれて段階的に上昇し、80 bpm と比較して、133, 160, 186 bpm で有意な高値を示す結果となり、先の報告のように歩行テンポが速くなるとともに段階的に酸素摂取量が大きくなる結果は得られた。一方で、160 bpm, 186 bpm では、生理学的指標に変化はみられずに横ばい状態となった。

本研究では、日常でのその場歩行運動を想定した条件設定をイメージするとともに、その際にテンポが運動強度に影響を可能な限り明らかにするために、歩行運動としてはハイ・テンポな条件まで設定した。その関係で、膝の挙上角度を指定せず、それぞれのテンポ

**Table 2** Physiologic variables in walking tempo between 80 and 186 bpm

(n = 9)	80 bpm			107 bpm			133 bpm				
	Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD		
$\dot{V}O_2$ (ml / kg / min)	24.3	±	3.1	c,d,e	27.0	±	3.4	29.1	±	4.0	a
% $\dot{V}O_2$ max (%)	45.3	±	8.5	c,d,e	50.1	±	7.9	4	±	9.4	a
% $\dot{V}O_2$ R (%)	40.3	±	8.5	c,d,e	45.6	±	8.1	49.8	±	9.8	a
Heart rate (bpm)	145	±	16.7		151.6	±	18.7	154.3	±	19.8	
%HRmax (%)	77.7	±	8.5		81.2	±	9.2	82.7	±	10.0	

  

(n = 9)	160 bpm			186 bpm				
	Mean	±	SD	Mean	±	SD		
$\dot{V}O_2$ (ml / kg / min)	30.8	±	4.3	a	30.8	±	4.0	a
% $\dot{V}O_2$ max (%)	57.0	±	9.5	a	56.9	±	8.3	a
% $\dot{V}O_2$ R (%)	53	±	10.6	a	53.0	±	9.1	a
Heart rate (bpm)	157.3	±	14.3		157.7	±	21.6	
%HRmax (%)	84.3	±	7.6		84.4	±	10.4	

<sup>a</sup> significant difference ( $P < 0.05$ ) vs 80 bpm; <sup>b</sup> significant difference vs 107 bpm; <sup>c</sup> significant difference vs 133 bpm;

<sup>d</sup> significant difference vs 160 bpm; <sup>e</sup> significant difference vs 186 bpm

できるだけ高く上げるという条件設定を行った。その結果、160 bpm 以上のハイ・テンポでは膝の挙上角度の関係により、テンポが速くなくても生理学的指標に変化が示されなかったものと推察する。

山地ほか<sup>7)</sup>は全身持久力の指標である  $\dot{V}O_2\max$  を高めるための生理学的運動強度の下限値を40-50%  $\dot{V}O_2\max$  と報告している。また、健康成人の換気閾値には多くの報告がみられ<sup>8-10)</sup>、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歩行運動の % $\dot{V}O_2R$  は全ての歩行テンポにおいて運動強度の下限値以上かつ換気閾値未満であった。また、アメリカスポーツ医学会<sup>11)</sup>は % $\dot{V}O_2R$  が40-60% を中等度の運動と分類しており、健康・体力を改善させるための最低限の運動強度として推奨している。本研究におけるその場歩行運動は、全てのテンポにおいて % $\dot{V}O_2R$  が40-60% であるため、これらの条件も満たしている。そのため、男子学生を対象とすることができるだけ大腿を挙上する条件下のその場歩行運動は  $\dot{V}O_2\max$  の向上を目的としたトレーニングの運動強度として適しているだけでなく、健康・体力を改善させる最低限の運動強度を保証することが明らかとなった。

川端ほか<sup>3)</sup>は、男子高校生を対象とした70-183 spm の6種類の跳躍テンポに規定したその場跳躍運動を6分間持続し、5~6分の1分間の酸素摂取量を測定したところ、%  $\dot{V}O_2\max$  の最高値は115 bpm に出現した58.8% であり、運動時の動作様式との関連で6種類のテンポと酸素摂取量の間には直線的な関係がみられなかったことを報告している。一方、本研究では、80bpm から160bpm までは直線的に増加するが、それ以上は横ばいになっており、その場歩行をトレーニングとして導入する際には、それぞれテンポの設定が非常に重要であることが示唆された。

## V. 結論・今後の課題

本研究では、被験者に5種類 (80-186 bpm) の歩行テンポに規定した大腿をできるだけ高く上げる条件下でその場歩行運動を行わせ、この動作中の酸素摂取量及び心拍数を測定した結果、以下2点が明らかとなった。

①本研究における、133, 160, 186 bpm の酸素摂取量及び % $\dot{V}O_2\max$ , % $\dot{V}O_2R$  は80 bpm と比較して、有意に大きい結果となった。そのため、大腿をできるだけ高く挙上する条件下のその場歩行運動において速い歩行テンポは遅い歩行テンポと比較して、160

bpm までは段階的に生理学的運動強度が高くなることが明らかとなった。

② % $\dot{V}O_2\max$  は全ての歩行テンポにおいて、先行研究で報告された同年代の男性の運動強度の下限値以上かつ換気閾値未満であった。また、全てのテンポにおいて % $\dot{V}O_2R$  が40-60% であるため、全身持久力の指標である  $\dot{V}O_2\max$  向上を目的としたトレーニングの運動強度として適しているだけでなく、健康・体力を改善させる最低限の運動強度を保証することが明らかとなった。

本研究では、160 bpm 以上で酸素摂取量および心拍数が横ばい状態になったが、そのときの股関節角度の変化については明らかとなっていない。また、この変化に伴い、足、膝、股関節伸展・屈曲筋群への負荷に影響を及ぼすことが予想される。そのため、今後は力学的分析を並行して行い、これらを明らかにすることで、その場歩行運動のトレーニング効率を高めるための知見を得られると考える。

また、本研究では運動テンポという運動強度に影響を及ぼす要因のみ着目した。しかし、実際の運動処方場面を想定した場合、有酸素性運動による効果を考慮すると運動時間との組み合わせでの検討が必須であり、今後の課題である。

## VI. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。また、本研究は一般財団法人青森県工業技術教育振興会令和2年度若手研究者研究助成を受け行いました。

## 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 川端良介・戸塚学・相馬優樹・大島義晴 (2021) 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. 東北体育・スポーツ科学研究 1:1-11.
- 4) 黒田浩・小原繁・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.
- 5) 高橋一輝・藤沢拓也・菊地優太・佐藤光・鈴木沙斗美・松本栞・藤澤宏幸 (2018) ステップ運動における

- 呼吸循環応答の検討—ステップピッチと手すりの有無を変数とした基礎研究—。理学療法のみ 29(1) : 46-50.
- 6) 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院.
- 7) 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.
- 8) Anderson CS, Mahon AD (2007) The Relationship Between Ventilatory and Lactate Thresholds in Boys and Men. Res Sports Med 15: 189-200.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) アメリカスポーツ医学会編：日本体力医学界体力科学編集委員会監訳 (2011) 運動処方指針原著第 8 版. 南江堂.

(2021 . 8 . 25 受理)