
エアロビック・ダンスのハイ・インパクト系各種ステップにおける ピッチと酸素摂取量の関係

藤田 幸雄¹ 万波 健吾² 吉岡 伸彦¹ 村松 成司¹ 真鍋 求³ 片岡 幸雄¹
¹千葉大学教育学部 ²株式会社ピープル ³東京外国語大学

A study on the relationship between jumping frequencies and the oxygen uptake during stationary jumping step exercises

Yukio FUJITA¹, Kengo MAN-NAMI², Nobuhiko YOSHIOKA¹, Shigeji MURAMATSU¹,
Motomu MANABE³ and Yukio KATAOKA¹

¹Faculty of Education, Chiba University ²PEOPLE Co.,Ltd.

³Tokyo University of Foreign Studies

Abstract

This study was conducted to clarify the relationship between jumping frequencies and the oxygen uptake(VO_2) in several jumping step movements. Subjects(5 males) performed the 5 minute continuous jumping exercises(Stationary Jump, Stationary Run, Kick Motion and Knee Up) at step frequencies of 120, 135, 150, 165 and 180 (Beats Per Minute:BPM).

The following results were obtained:

1)The values of VO_2 were ordered as(from largest to smallest) Knee Up, Stationary Run, Kick Motion and Stationary Jump in each step frequency.

2)In Knee Up, Stationary Run and Kick Motion, the VO_2 showed smallest value at 150 BPM. The higher(and/or lower) the step frequencies became from 150 BPM, the larger VO_2 were obtained. The largest value of VO_2 in each jumping exercise was obtained at 180 BPM.

3)The VO_2 in Stationary Jump showed largest value at 120 BPM. The higher the step frequencies were, the larger VO_2 were obtained.

4)The VO_2 in Knee Up at 120, 135, 165 and 180 BPM, and in Stationary Run at 120 and 180 BPM were larger than Anaerobic Threshold(AT) level.

【緒言】

エアロビック・ダンスの運動強度を調べた報告は近年種々認められるが¹⁾²⁾³⁾⁵⁾⁹⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁹⁾、これらの報告では実際のレッスン中の実態把握といった実用面から分析がなされているものが多く、エアロビック・ダンスを構成する大きな要素である、各種のステップ動作について詳細に調べたものは少ない。

また各種ステップ動作において、その動作の反復速度を規定するピッチの設定は、エアロビック・ダンスの負荷設定の基準として重要なものであるが、過去の報告では測定時のピッチを一定にして調査したものが多く、ステップ動作の運動強度がピッチによってどう変化するのかを調べたものはほとんど見

あたらない。

エアロビック・ダンスの動きを構造的、かつ分析的にとらえるためには、これに含まれるステップ動作の要素とピッチの要素との関係について、包括的に調べる必要があるものと思われる。

そこで本研究では、エアロビック・ダンスにおいてハイ・インパクト系ステップと称されている各種のステップ動作に着目し、これらステップ動作の継続時の酸素摂取量を、ピッチとの関連で調べることを目的とした。

【実験方法】

実験には恒常的に持久的運動を行っている健康な男子5名を被験者とした。各被験者の形態的特徴はTableの通りである。実験に先立ち本研究の目的と

手順について説明し、十分な同意を得た上で協力を依頼した。

1. 自転車駆動運動によるAT測定

まず各被験者の無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold: ATと略称する)¹⁶⁾を測定した。その際に負荷する運動様式として自転車駆動運動を用いた。すなわち電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (竹井機器社製ハイパワーエルゴメータ) にて直線的に漸増する負荷を設定し、その駆動運動を10分間継続させた。負荷は50Wから毎分20Wずつ漸増 (10分後で250W) するものとした。

被験者には呼気ガス採集用マスクを装着させ、ガス分析器 (ミナト医科学社製AE-280) にて換気量、呼気および吸気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度を各呼吸ごと (breath-by-breath) に測定し、換気特性を示す諸パラメータ ($\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 、 RER 等) を算出した。また胸部双極誘導による心電波形から運動中の心拍数を監視した。ATの判定にはV-Slope法をはじめ、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の変化を伴わない $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ の極小点を視認する方法などを併用しつつ、諸パラメータの数値を総合的な判断に供した。

2. 各ピッチにおける各種ハイ・インパクト系ステップの運動強度

今回測定したのはエアロビク・ダンスのハイ・インパクト系ステップの中で基本的な動きとなる、1) その場両足ジャンプ (以下これをステーションナリー・ジャンプと称する)、2) その場かけ足 (以下これをステーションナリー・ランと称する)、3) 2度づつ交互に片足ジャンプしながら、遊脚の足部を後方から前方へ蹴り出すステップ (以下これをキック・モーションと称する。キックの頻度は2拍に1回である)、4) 両足ジャンプしながら交互に大腿部を水平まで挙上するステップ (以下これをニー・アップと称する。挙上の頻度は2拍に1回である) の4種類とした。

これらのステップ運動中に、呼気ガスを採集し酸素摂取量の測定を行った。用いた器材及び測定様式は前項と同一である。用いたピッチは120、13

5、150、165、180拍/分 (Beats Per Minute: 以下BPMと表示する) の5種類であり、電子メトロノームで4拍子のピッチ音を聞かせることにより、被験者に随意的にステップの速度を一定化させた。運動実施中にはピッチに関わらず同一のフォームを保つよう常時指示を加えた。各ピッチでのステップはそれぞれ5分間継続させ、3分~5分の間に得られた $\dot{V}O_2$ の平均値をもって、その条件における運動強度と規定した。ステップ動作継続中には、できる限り上肢の運動を伴わないよう指示した。各ピッチの試行順序は被験者ごと、ステップごとにランダムに設定した。

3. 統計的処理

結果はすべて全被験者の平均値±標準偏差で示した。ステップ因子とピッチ因子、また各ステップについてのピッチ因子と個体差の因子について、二元配置の分散分析を用い、有意水準は5%とした。有意と認められた因子については、さらにTukeyのHSD法による多重比較を行った。

【実験結果】

1. 自転車駆動運動によるATの酸素摂取量

自転車駆動運動において得られた各被験者のATにおける $\dot{V}O_2$ は、最大2410ml/min、最小1770ml/min、平均2170ml/minであった。この値を体重当たりにしたものをFig. 1で示した。最大34.3ml/Kg/min、最小31.4ml/Kg/min、平均 32.8 ± 1.24 ml/Kg/min

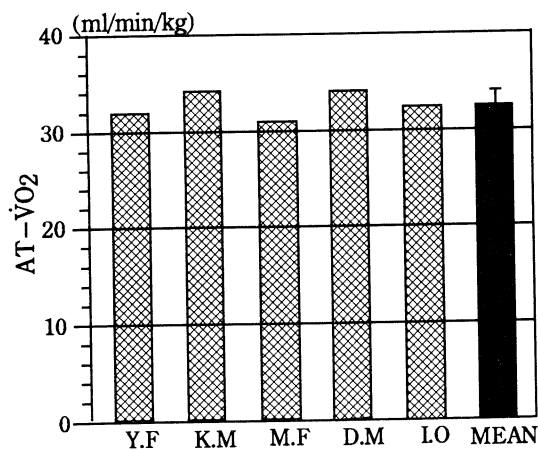


Fig.1. $\dot{V}O_2$ at AT of each subject.

(平均±SD) という値が得られた。

2. 各ピッチと各種ステップによる運動強度の変化

各ステップ、各ピッチの試行時に測定した体重当たりのVO₂の値をFig. 2 (ステーションナリー・ジャンプ)、Fig. 3 (ステーションナリー・ラン)、Fig. 4 (キック・モーション)、Fig. 5 (ニー・アップ) で示す。ステーションナリー・ジャンプ以外のステップでは、150BPMで最小値(ステーションナリー・ラン: 31.0±3.95ml/Kg/min、キック・モーション: 25.2±3.83ml/Kg/min、ニー・アップ: 32.4±3.39ml/Kg/min)を示し、これよりピッチが高くて低くてもVO₂は増加し180BPMで最大値(ステーションナリー・ラン: 37.4±4.79ml/Kg/min、キック・モーション: 30.3±5.39ml/Kg/min、ニー・アップ: 38.2±5.57ml/Kg/min)を示した。ステーションナリー・ジャンプでは120BPMで最大値(23.3±0.52ml/Kg/min)を示し、150~1

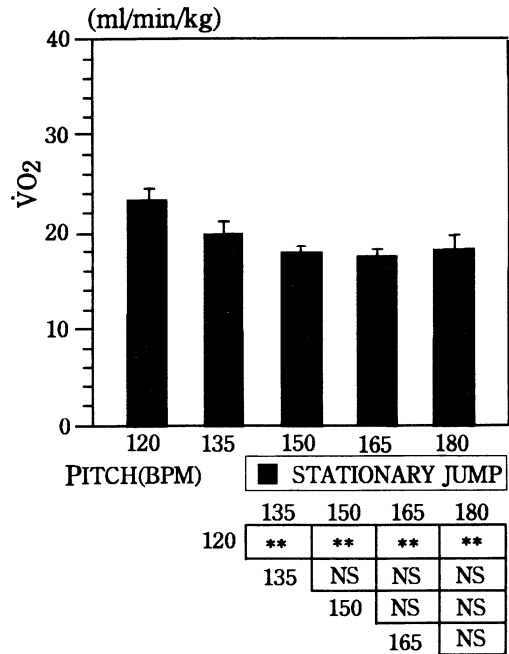


Fig.2. Relationship between movement tempo and oxygen uptake during Stationary Jump-step exercise.

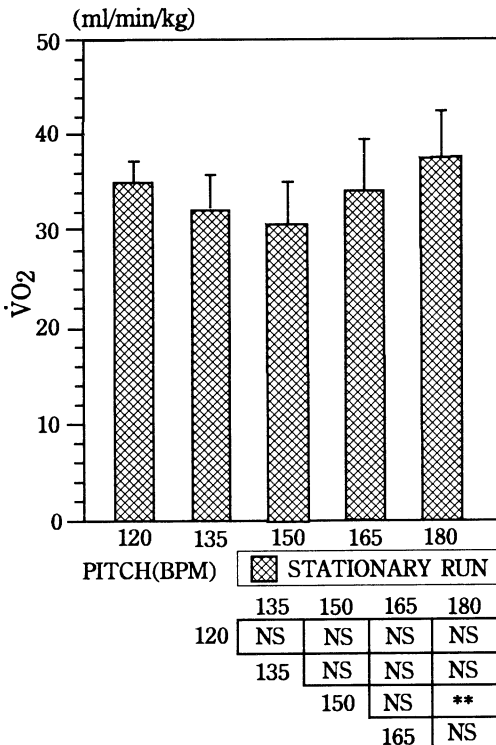


Fig.3. Relationship between movement tempo and oxygen uptake during Stationary Run-step exercise.

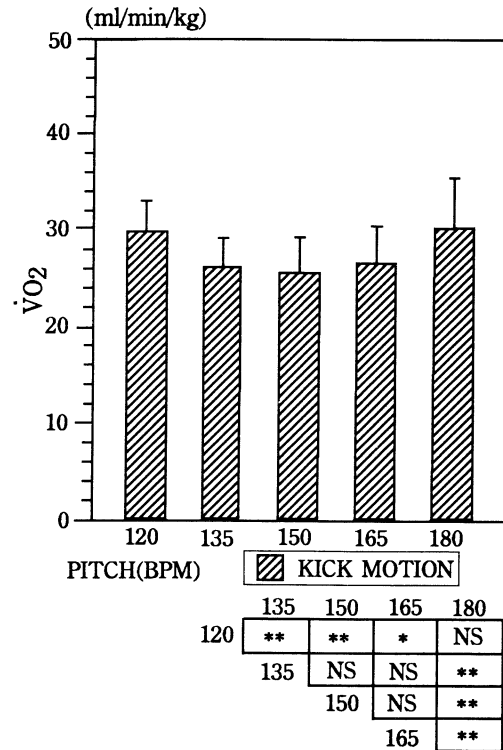


Fig.4. Relationship between movement tempo and oxygen uptake during Kick Motion-step exercise.

80BPMではほとんど差が認められなかった。ピッチ因子の各水準間の変動は、ステーションナリー・ラン、キック・モーション、ニー・アップでは1%水準で、ステーションナリー・ランでは5%水準で有意であった。平均値の順位傾向はすべての被験者において、ほぼ共通するものであった。またステーションナリー・ラン、キック・モーション、ニー・アップでは個体差の因子が1%水準で有意であった。

同一のピッチごとにそれぞれのステップを比較すると(Fig. 6)、どのピッチにおいてもニー・アップ→ステーションナリー・ラン→キック・モーション→ステーションナリー・ジャンプの順に高いVO₂の値が得られ、この因子の変動は有意であった(p<0.01)。この傾向は心拍数でも同様であった(p<0.01)(Fig. 7)。全てのステップ動作を総括したVO₂-HR関係は $y=2.27x+73.2(r=0.881)$ で一次回帰され、1%水準で有意であった。

またそれぞれの試行で得られたVO₂を自転車駆

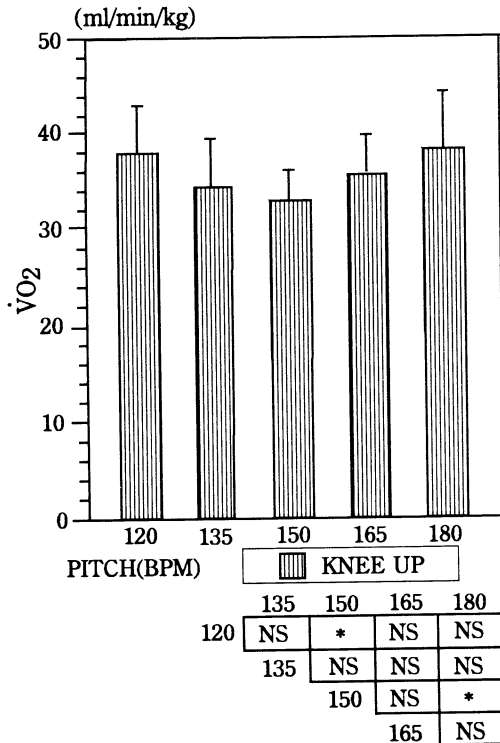


Fig.5. Relationship between movement tempo and oxygen uptake during Knee Up-step exercise.

動運動のATに対する比率としてみると(Fig. 8) 150BPMにおいてはどのステップでもATより低い値であったが、ニー・アップとステーションナリー・ランではこれよりピッチが高くて低くてもAT以上の値となった。キック・モーション、ステーションナリー・ジャンプではどのピッチにおいてもAT以下の値が示された。

【考察】

A. 各種ステップと運動強度

ハイ・インパクト系の各種ステップは、エアロビック・ダンスのステップの中でも運動強度の高いものとして経験的に位置づけられ、下肢の各関節に衝撃が加わりやすいことから指導現場での使用には注意を要するが、その実用的価値はきわめて高いものと思われる。しかしながらこれらステップの運動強度を明確に示した実験的報告は見当たらない。茶木ほか²⁾は数種類のハイ・インパクト系ステップについて、それぞれ132BPMのピッチで行ったときのVO₂を調べており、その値は最大値を示したステップで21.8ml/Kg/minであったとしているものの、用いたステップの詳細な形態は明記されていない。

沢井ほか¹¹⁾はその場かけ足運動(Stationary Running)のVO₂を調べた。その結果145BPMで25.8ml/Kg/minという値を得ている。また山岡ほか¹⁸⁾もその場かけ足運動のVO₂が、150BPMで約24ml/Kg/minであったことを報告している。本研究において各種ステップで得られた平均値は150BPMではステーションナリー・ジャンプ18.0ml/Kg/min、ステーションナリー・ラン31.0ml/Kg/min、キック・モーション25.2ml/Kg/min、ニー・アップ32.4ml/Kg/minであり、また135BPMではステーションナリー・ジャンプ19.7ml/Kg/min、ステーションナリー・ラン31.7ml/Kg/min、キック・モーション25.8ml/Kg/min、ニー・アップ33.8ml/Kg/minであった。これらの値は、ステーションナリー・ジャンプのものを除けば、過去の報告にみられる他のステップに対して、ほぼ同一のピッチでの比較において高い値を示している。また以前著者らが4名

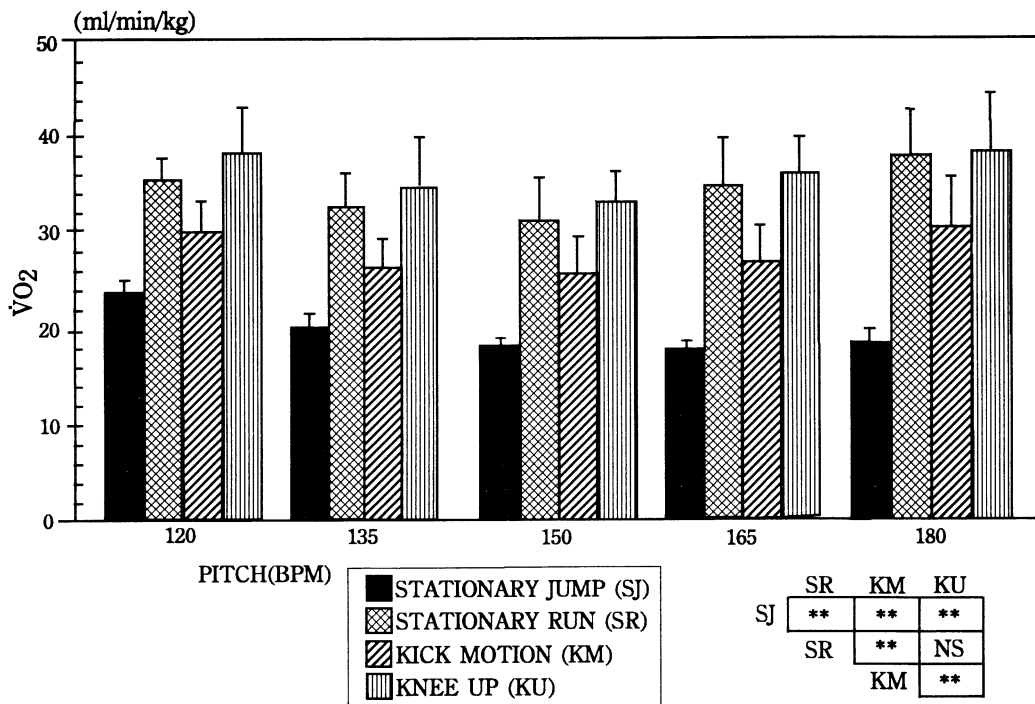


Fig.6. Comparison of oxygen uptake among 4 step exercises in each movement tempo.

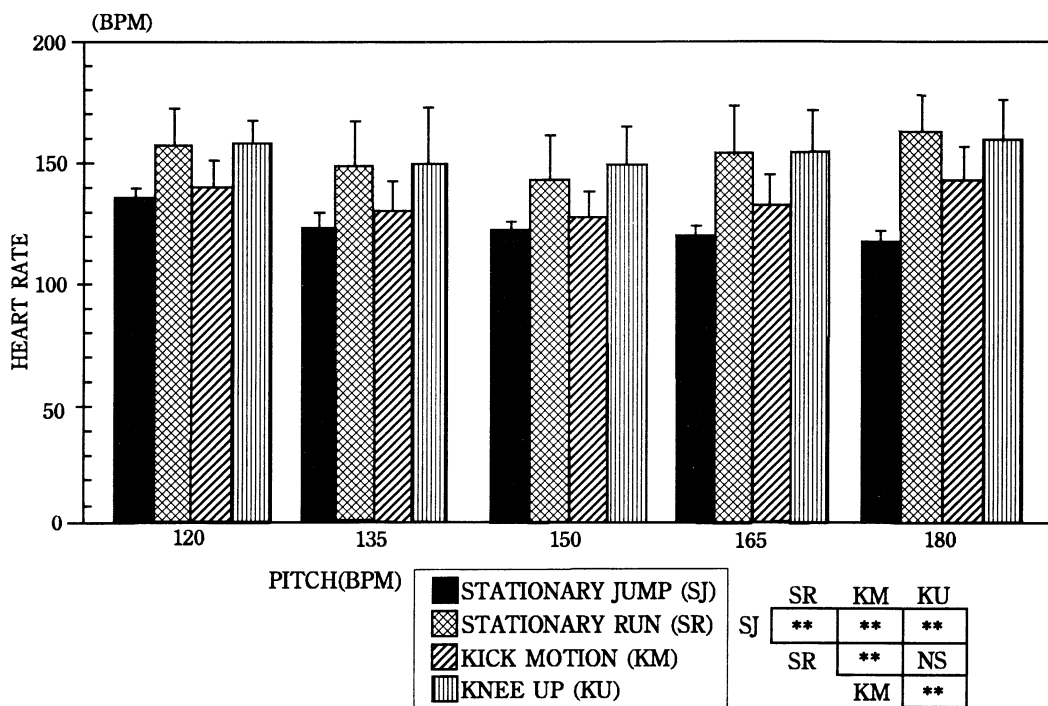


Fig.7. Comparison of Heart Rate among 4 step exercises in each movement tempo.

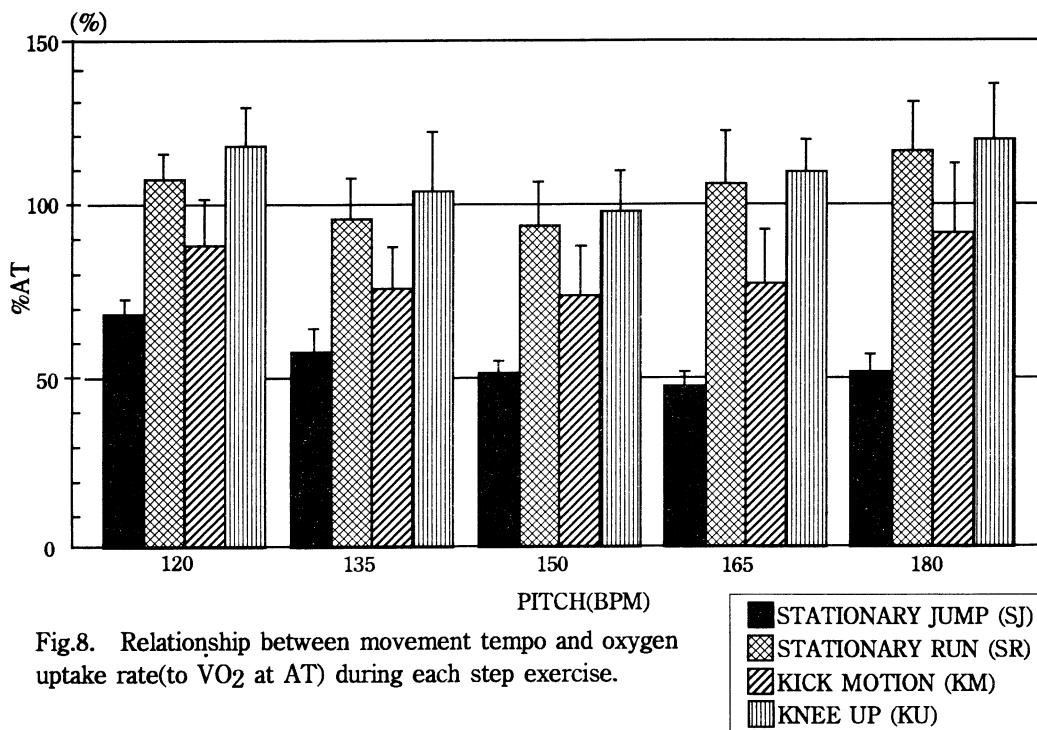


Fig.8. Relationship between movement tempo and oxygen uptake rate(to VO_2 at AT) during each step exercise.

の男性と5名の女性を混合しておこなったニー・アップ運動で得られた値³⁾は、平均値では150BPMで27.0ml/Kg/min、135BPMで27.8ml/Kg/minと他の報告より高値であるものの、本研究の値に対しては低値であった。

これらの相違は用いた被験者の性差、筋力レベルに伴うステップのフォームの正確さ等の違いを反映していると考えられる。さらにその場かけ足運動では、その動作を規定する際に、沢井ほか¹¹⁾¹³⁾は膝関節の屈曲を主動作としているのに対し、山岡ほか¹⁸⁾は股関節の前傾(屈曲)により大腿部を水平にまで拳上させたとしており、同一の呼称でも報告者により行った動作の様式が異なっている。このため本研究では測定方法、動作様式を厳密に統一し、また個体差の因子を考慮に入れた上で、各種ステップ運動と各ピッチとの関係を総合的に明らかにすることを目的としたわけである。

今回得られた結果では、同一のピッチごとにそれぞれのステップを比較すると、どのピッチにおいてもニー・アップ→ステーションナリー・ラン→キック・モーション→ステーションナリー・ジャンプの順に

高いという傾向であった。同一被験者を用い、同一指示を与えた上で、すべてのピッチにおいてみられるこれらの相違は、ステップ動作間の運動強度の差異を示唆するものと考えてよい。またこの差異はステップ動作に動員される筋量の差に依存しているものと考えられ、特にジャンピング・ニーアップ・ステップでは重量の大きい大腿部を水平位置に引き上げる動作をとるため、他のハイ・インパクト系ステップよりも相対的に高い運動強度を示したものと考えられる。

B. ピッチと運動強度との関係

各種のステップの VO_2 を調べる際に用いるピッチは報告者によって異なる。沢井ほかは145BPM¹²⁾や140、160BPM¹⁴⁾を用いたことを報告している。また茶木ほか²⁾は132BPMを、早川ほか⁵⁾は136(ロー・インパクト系)、158(ハイ・インパクト系)BPMであったとしているが、いずれも使用ピッチの選択についての根拠等が不明瞭である。この他にもBPMを記載していな

い報告が多々ある。

今回の研究では、ステーションナリー・ジャンプ以外のステップでは、150BPMで最小値を示し、これよりピッチが高くても低くても VO_2 は増加し平均値は180BPMで最大を示した。またステーションナリー・ジャンプでは120BPMで最大値を示し、150～180BPMではほとんど差が認められなかった。

沢井ほか¹¹⁾はその場かけ足運動(Stationary Running)においてピッチによる VO_2 の相違を調べているが、150BPM以上のピッチでは用いた5人の被験者の傾向が一致しなかったことを報告している。本研究ではすべての被験者においてほぼ同一の傾向が生じた。前項でも述べた被験者の性別、身体の形態機能的特徴、動作を規定する指示の方法等による差異はここでも考えられるが、本研究ではステーションナリー・ラン以外のステップでもすべての被験者にほぼ同一の傾向が認められており、これは本研究での実験時における動作規定の妥当性を示すものと考えられる。

またステーションナリー・ジャンプでは、他のステップにみられる150BPM以上のピッチでの VO_2 増加が認められなかった。単純なジャンプ動作では低いピッチと高いピッチでジャンプ高が異なることが観察され、ピッチの上昇に伴う仕事の増加が生じなかった可能性がある。ステーションナリー・ジャンプのような重心の上下だけの単純なステップでは、床反力や重心動揺から仕事を推定することが可能であり、ステップ動作のピッチと生体効率との関連を定量的に分析することが今後の課題となろう。

従来ピッチと VO_2 との関係は主として自転車駆動運動や走運動に関して調べられてきた。Seabury et al.¹⁵⁾は自転車駆動運動を用いて各種負荷における回転数と VO_2 関係を調べ、負荷が40.8Wと軽い場合には回転数が42回転/分で最も VO_2 が小さくなること、また負荷が326.8Wと高くなった場合には、この最小 VO_2 を示す回転数が62回転/分に上昇することを報告している。また万波ほか⁷⁾が自転車駆動運動を用いておこなった研究では、ATレベルにおける至適ピッチが、70RP

M付近であることが示唆されている。

佐竹ほか¹⁰⁾はトレッドミル走運動におけるピッチと VO_2 との関係を調べており、男子においては単位速度に対する VO_2 の割合は170～180Steps/minで最小になることを示した。自転車駆動運動では1回転には左右の足がそれぞれ関連するため、これを2ステップに相当するものと考え、Seabury et al.の報告では326.8Wで124BPM(自転車駆動運動)、万波ほかの報告ではATレベルで140BPM(自転車駆動運動)、佐竹ほかの報告では170～180BPM(トレッドミル走運動)と換算される。

このピッチ数は負荷との関連で異なると考えられるが、これらいずれの運動様式の場合にも、ある一定のピッチにおいて VO_2 の最小値が得られている点に関して、本研究と同様の傾向が示されており興味深い。今回得られた結果は150BPM付近にハイ・インパクト系ステップの至適頻度があることを示唆しており、従来ハイ・インパクトのエアロビク・ダンスで経験的に用いられてきた、140～160BPMというピッチの妥当性を裏付けているものと考えられる。

その場でのジャンプをとまなうステップにおいて、150BPM近傍で至適頻度が生じるメカニズムについては手がかりが少なく、今後他の運動様式における至適頻度との比較検討や、伸張反射の潜時等との関連により、生体の運動効率とピッチとの関係を明らかにしてゆきたい。

C. 各種ステップ、ピッチの運動強度とATとの比較

本研究では各試行で得られた VO_2 を、自転車駆動運動で得られたATの VO_2 と比較した。その結果、150BPMにおいてはどのステップでもATより低い値であった。またニー・アップでは120, 135, 165, 180BPMで、ステーションナリー・ランでは120, 165, 180BPMでAT以上の値となった。キック・モーション、ステーションナリー・ジャンプではどのピッチにおいてもAT以下の値が示された。

これらのことは、ハイ・インパクト系各種ステッ

ブにおいて、150BPMでは運動のエネルギー供給過程は有酸素性のものにとどまるが、ステップとピッチの組み合わせにより、無酸素性エネルギー供給機構の動員を伴う可能性があることを示しているものと考えられる。しかしながら各種運動様式により同一個体でもATの VO_2 が異なるという報告もあり⁴⁾、自転車駆動運動で得られたATの VO_2 とステップ動作で得られた VO_2 を、そのまま比較することが妥当であるかどうかは不明である。各種ステップ動作においてATを測定した報告は見あたらず、各種運動様式の差異とATの差異をふまえた上で、ステップ動作の相対的強度が調べられるべきであろう。

【要約】

本研究ではエアロビック・ダンスにおけるハイ・インパクト系の各種ステップについて、そのピッチと運動強度との関係を、 VO_2 を指標として調べた。その結果は以下の通りである。

- 1) 同一のピッチごとにそれぞれのステップを比較すると、どのピッチにおいてもニー・アップ→ステーションナリー・ラン→キック・モーション→ステーションナリー・ジャンプの順に高い VO_2 の値が得られた。ステップ因子の各水準間の変動は有意であった ($p < 0.01$)。心拍数でも同様の傾向が認められた ($p < 0.01$)。
- 2) ステーションナリー・ジャンプを除くハイ・インパクト系ステップでは150BPMで VO_2 、HRとも最小値を示し、このピッチより高くても低くても VO_2 は増加し180BPMで最大値を示した。ピッチ因子の各水準間の変動は有意であった ($p < 0.01$)。
- 3) ステーションナリー・ジャンプでは150BPM以上での VO_2 の増加は見られず、120BPMで最大値を示した。
- 4) ニー・アップでは120, 135, 165, 180BPMで、ステーションナリー・ランでは120, 165, 180BPMでAT以上の酸素摂取量の値が示された。

【参考論文・資料】

- 1) Blyth, M., and Goslin, B.R. (1985). Cardiorespiratory responses to "aerobic dance". *J. Sports Med.* 25: 57-64.
- 2) 茶木香代子、吉川京子 (1991). エアロビックダンスの運動強度—上肢、及び下肢の動きの分類による—日本体育学会第42回大会号: A-340.
- 3) 藤田幸雄、万波健吾、吉岡伸彦ほか (1993). ジャンピング・ニーアップ・ステップにおけるピッチとATを基準とした運動強度との関係、千葉体育学研究 16: 61-66.
- 4) 藤田幸雄、万波健吾、吉岡伸彦ほか (1994). 運動様式による無酸素性作業閾値の相違について 日本体育学会第45回大会号: 273.
- 5) 早川洋子、浅野勝己、西村千尋ほか (1991). Aerobic danceの運動強度 日本体育学会第42回大会号: A-341.
- 6) 平川和文、山岡誠一、野原嗣弘ほか (1977). ジャズ体操の運動強度 日本体育学会第28回大会号: 292.
- 7) 万波健吾、藤田幸雄、吉岡伸彦ほか (1994). 相対的同一負荷における自転車駆動運動のピッチと効率 千葉体育学研究 18: 73-77.
- 8) 大城戸道生 (1990). なわとびと連続下肢屈伸運動における運動強度の検討 *Jpn. J. Sports Sci.* 9: 222-227.
- 9) Otto, R.M., Parker, C.A., Smith, T.K. et al. (1986). The energy cost of low impact and high impact aerobic dance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: S23.
- 10) 佐竹昌之、前河洋一、青柳幸利ほか (1987). 走運動及び自転車運動におけるピッチと酸素摂取量の関係 体育学研究 32: 91-97.
- 11) 沢井史穂、手塚一志、川上泰雄 ほか (1989). ピッチの違いがその場かけ足運動に及ぼす影響 体力科学 38: 628.
- 12) 沢井史穂、吉岡伸彦、平野裕一ほか (1990). 上肢の運動を伴うその場かけ足運動中の心拍数と酸素摂取量 体力科学 39: 582.
- 13) 沢井史穂 (1990). エアロビックダンスのその場

かけ足 Jpn.J.Sports Sci. 9: 215-221.

14) 沢井史穂 (1992). ハイインパクトステップの運動強度 Health Network 99: 13-15.

15) Seabury, J.J., Adams, W.C. and Ramey, M.R. (1977). Influence of pedalling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. Ergonomics 20: 491-498.

16) Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N. et al. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J.Appl.Physiol. 35: 236-243.

17) 山地啓司 (1981). 心拍数の科学 大修館書店、東京

18) 山岡誠一、蜂須賀弘久、五十川敏男ほか(1958). 筋運動の負荷量、筋収縮速度と酸素需要量の関係—スポーツのエネルギー代謝に関する研究 第8報— 体育学研究 3: 37-41.

19) 吉岡伸彦、仲丸幸子、津久浦慶郎ほか(1986). 換気閾値からみたエアロビック・ダンスの運動強度 Jpn.J.Sports Sci. 5: 415-420.

(平成7年11月18日受付)