

高齢者のための足踏みを用いた全身持久力の間接的測定方法

A simple method for measuring the endurance of the elderly using steps

高波 利恵 Rie Takanami

大分県立看護科学大学 広域看護学講座 保健管理学 Oita University of Nursing and Health Sciences

片瀬 由加里 Yukari Katase

大分県立看護科学大学 広域看護学講座 保健管理学 Oita University of Nursing and Health Sciences

草間 朋子 Tomoko Kusama

大分県立看護科学大学 広域看護学講座 保健管理学 Oita University of Nursing and Health Sciences

2006年2月17日投稿, 2006年6月19日受理

要旨

段差を用いず、狭い場所でも簡易に実施できる高齢者のための全身持久力測定方法として、足踏み時の心拍数 (HR) や血圧を評価指標として用いることを発案した。研究目的は、年齢 64.8 ± 2.4 歳の健康な女性5名を対象に、120ピッチの足踏みを6分間行い、その際の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、HR、収縮期血圧 (SBP) の推移を明らかにすることと、自転車エルゴメータを用いてATから求めた全身持久力と足踏みに必要なHR、SBPの関係について検討することである。足踏みによるHR、SBPの定常状態は足踏み開始後5分目までに現れた。 $\dot{V}O_2$ の定常状態が現れたのはBとCの2名だけで、定常状態時の $\dot{V}O_2$ は、被験者Bが13.8 ml/kg/min、Cが15.1 ml/kg/minであった。AT時の $\dot{V}O_2$ は 13.2 ± 3.9 ml/kg/minであった。ATから求めた全身持久力と足踏み時のHRとの相関関係は強い負の関係 ($r=-0.85$) で、SBPとは弱い負の関係 ($r=-0.50$) が示された。以上より、足踏みを5分以上実施することで、全身持久力を推定することができる可能性が示された。今後は、本研究の被験者よりも幅広い全身持久力をもつと思われる地域住民を対象に適用するための検討として、地域居住の高齢者を対象に足踏みを行い、適切な足踏みのピッチや必要な運動負荷時間、全身持久力との関係を明らかにする。

Abstract

We investigated the endurance of elderly people using the "120 pitch step method". The purpose of this study was to clarify the transition of oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), heart rate (HR) and systolic blood pressure (SBP) using the "120 pitch step method", and to investigate the relationship between the $\dot{V}O_2$ of Anaerobic Threshold (AT) and HR, SBP of the "120 pitch step method". Five healthy women with an average age of 64.8 ± 2.4 performed the "120 pitch step method" for six minutes. Their endurance was tested with a cycle ergometer. Steady states of HR and SBP appeared by the 5 minute point in the "120 pitch step method". Steady states of $\dot{V}O_2$ appeared in only 2 people (Subjects B and C). Their $\dot{V}O_2$ at the steady states were 13.8 ml/kg/min and 15.1 ml/kg/min. The average of $\dot{V}O_2$ at AT was 13.2 ± 3.9 ml/kg/min. There were correlations between the $\dot{V}O_2$ at AT and HR, SBP in the "120 pitch step method" (HR: $r=-0.85$, SBP: $r=-0.50$). Endurance was so high that HR and SBP were low. Those results show that the "120 pitch step method" over 5 minutes may be able to measure the endurance capacity of elderly people. But further examinations are required for applying this to elderly people who are living in the community.

キーワード

高齢者、全身持久力、無酸素性作業閾値 (AT)、足踏み

Key words

elderly people, endurance, anaerobic threshold (AT), step

1. 緒言

高齢になっても自立した生活を送るためには、病気にかからないだけでなく、健康関連体力を備えることが必要である。桜井らは、高齢者が日常の健康づくりの中で体力を意識し、それを高められるように、老人保健法の基本健康診査(健診)の

機会に体力測定を行うことを提案し、A町の健診で体組成(体脂肪率)、筋力(握力)、柔軟性(長座体前屈)を測定・評価してきた(桜井他2001, 高波他2005, 稲垣他2005)。健康関連体力項目の一つである全身持久力は疲労を感じることなく活動を続けられる能力を示す重要な体力測定項目で

ある。しかし、その間接的測定方法として提案されているシャトルスタミナテスト (木村 他 1998) や6分間歩行 (文部科学省 2004) は広い場所を必要とするため、公民館や集会所で行われる健診の場では利用困難である。また、狭い場所でも実施できる踏み台昇降テストは段差を用いるため、高齢者にとっては危険な上、身長や下肢長が運動負荷量に影響するという問題がある (東郷 他 1994)。そのため、高齢者を対象として妥当性、安全性、簡易性を備えた全身持久力の測定方法がない。そこで、広い場所や段差を用いない運動負荷方法として、その場での足踏みに着目した。全身持久力が優れている者ほど同じ運動でも相対的に運動負荷が低く、心拍数 (HR) や血圧の上昇の程度が少なくすむため、これらの指標を用いて全身持久力を評価することができるのではないかと考えた。

本研究では、60歳代の女性を対象に1分間に120回のリズムで足踏みを行い、その際の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) とHRおよび収縮期血圧 (SBP) の経時的推移を明らかにし、無酸素性作業閾値 (AT) を用いた全身持久力と足踏み時のHR、SBPとの関連について検討した。

2. 研究方法

2.1 被験者

被験者は、座業を主とする年齢 64.8 ± 2.4 (平均±標準偏差) 歳の女性5名 (被験者A-E) である (表1)。被験者には、予め研究の目的等について説明を行い、研究協力についての同意を得た。被験者からは既往歴、現病歴、運動習慣、現在の飲酒・喫煙習慣の情報を入手した。被験者のうちA、C、Dの3名が週に4〜7日の頻度で1回40分程度のウォーキングを実施していた。循環器・呼吸器・筋骨格器系の現病歴を有する者はいなかった。なお、本研究を行うにあたって大分県立看護科学大学研究・倫理安全委員会の審査を経た。

2.2 足踏み試験

足踏みのリズムは1分間に120回 (120ピッチ) とし、電子メトロノーム (ME-200, YAMAHA 製) のピッチ音に合わせて行った。120ピッチを採用した理由は、健診会場で実施する場合、1秒に2回のリズムであるためメトロノームを用いなくても実施できることと、20歳代前半の女性を対象

に行った実験で、135ピッチや150ピッチに比べて、多くの者がリズムに合わせて足踏みしやすいピッチであった (高波 他 2004) ためである。足踏みの時間を6分間としたのは、若齢者を対象とした場合、足踏みによるHRの定常状態が足踏み開始後3分目に現れた (高波 他 2004) ことと、高齢者は若齢者よりもHRが定常状態を示す時間が遅れる (石河 1988) ことによる。足踏みの位置は $30 \times 30\text{cm}$ の枠内、股関節の屈曲角度を45度とし、これを維持するため全身鏡の前で確認しながら行った。腕の振りは被験者の自然な状態とした。

足踏み試験の際には $\dot{V}O_2$ 、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$)、換気量 (VE)、HR、血圧、RPEを測定した。HR、血圧、RPEは足踏み直前と開始後は1分毎に測定した。HRは心電図計 (WEP-7202, 日本光電) で、CM5誘導で記録し、R-R間隔から1分間値を求めた。血圧はコロトコフ音の聴診器法を用いて、Swanの第1点をSBPとした。血圧測定を聴診器法で行ったのは、足踏みは腕振りを伴うため、運動負荷用の自動血圧計を用いた測定では正確な値が得られない (高波 他 2004) ことによる。運動時に聴診器法を用いた場合、拡張期血圧の正確な測定値が得にくいことと、歩行レベルの運動負荷量では脈圧の増大はSBPの増加に基づく (佐藤 他 1977) ことから、血圧はSBPのみを用いた。RPEはBorgの指標の日本語版 (小野寺・宮下 1976) を用い、RPEの表の数値を指示してもらう方法で確認した。 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、VEは呼気ガス代謝計測器 (K4b², COSMED) を用いてbreath-by-breath法で採取し、30秒間の平均値を用いた。足踏みの前には、やり方を見せ、練習を行った後、測定を開始した。被験者には予め前日からの食事、運動、睡眠、喫煙・飲酒についての注意事項を伝え、運動負荷直前に、これらの事項について確認を行った。また、測定の妨げとならない運動用の服装をしてもらい、測定は温度22〜24度、湿度

表1. Characteristics of the subjects

Variable	(n=5)
Age (years)	64.8 ± 2.4
Height (cm)	153.9 ± 4.5
Body weight (kg)	52.6 ± 5.1
Fat (%)	26.7 ± 3.6
	Mean ± SD

50～60%に調整し、騒音を制御した室内で行った。測定スケジュールは、疲労の影響を考慮して先に足踏み試験を行い、次に示す自転車エルゴメーターによる全身持久力の測定との間に3日以上の間隔をおいた。

2.3 自転車エルゴメーターによる全身持久力の測定

自転車エルゴメーター（エアロバイク 75XL II, コンビ）を用いて10 Wで1分間のウォームアップを行い、以降1分間に15 Wずつ増加するRamp 負荷法による運動負荷試験を行った。運動中は $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、VE、HR、血圧、RPEを足踏み試験と同じ方法で測定した。 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、VEは15秒の平均値を用い、その結果からATを求め（Davis et al 1976）、AT時の体重あたりの $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)を全身持久力の評価指標として利用した。

2.4 統計処理

$\dot{V}O_2$ 、HR、SBP、RPEの正規性の確認をShapiro-Wilks検定を用いて行った。足踏みの際の全データが非正規分布であったため、データは中央値（最小値-最大値）で示した。2時点間の比較にはWilcoxonの符号付順位検定を用いた。個人のデータの定常状態の成立基準は徳田 他（1982）の方法を参考に、測定値の差が5%未満であることが2回以上続いた場合とし、それに該当

しない場合は定常状態なしとした。

自転車エルゴメーターを用いた全身持久力測定の際の全データは正規分布であったため、データは平均値±標準偏差で示した。統計的有意水準は5%とした。

3. 結果

3.1 足踏み試験

全被験者がピッチに合わせて6分間の足踏みを行うことができた。

RPEの変化は足踏み前から足踏み開始後6分目までに、「9: かなり楽である (6: 非常に楽である-11: 楽である)」から「13: ややきつい (9: かなり楽である-15: きつい)」へ上昇した。RPEの被験者毎の経時的変化は、5名全員が2分目で一定のきつさに達した後、4名は終了まで変化がなかったが、Bのみが「15: きつい」まで上昇した。

4名の被験者の $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)の経時的推移を図1に示す（被験者Dの結果は得られなかった）。足踏み前から足踏み開始後6分目までに4.7 (4.0-7.2) から12.4 (7.8-13.7) へと上昇したが、統計的に有意な変化ではなかった。定常状態が出現した時間は、Bは3分目、Cは1分30秒目であった。AとEについては6分目まで定常状態が現れなかつ

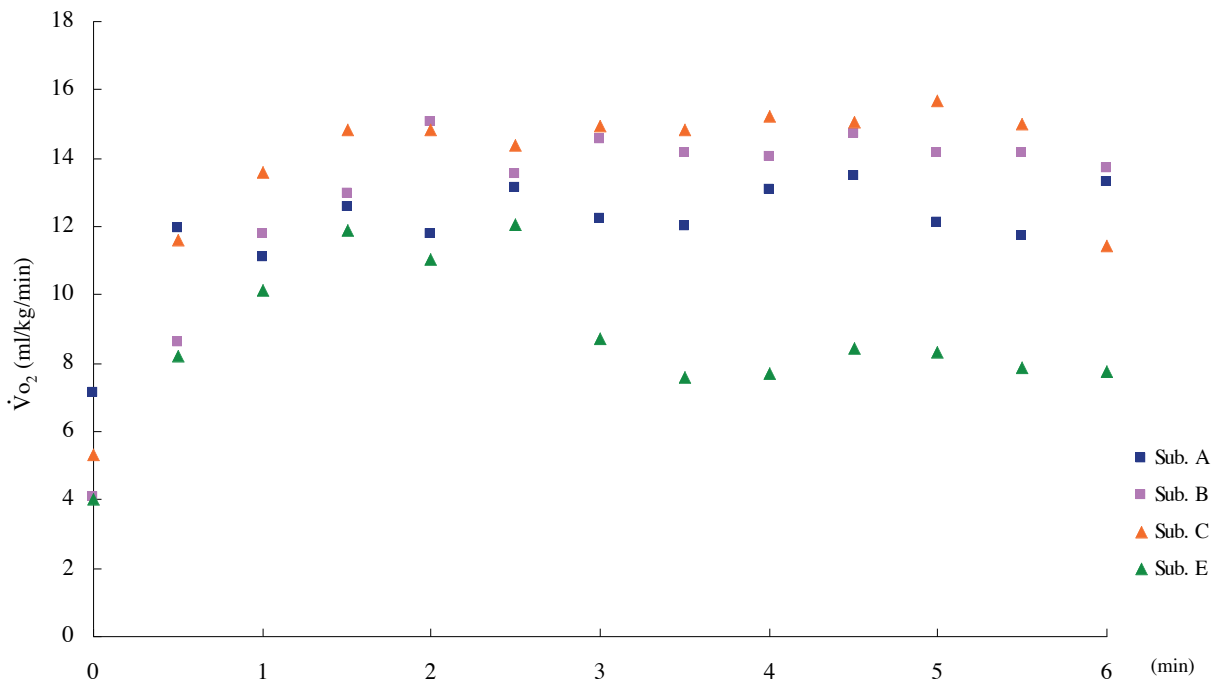


図1. Change of individual $\dot{V}O_2$ during step

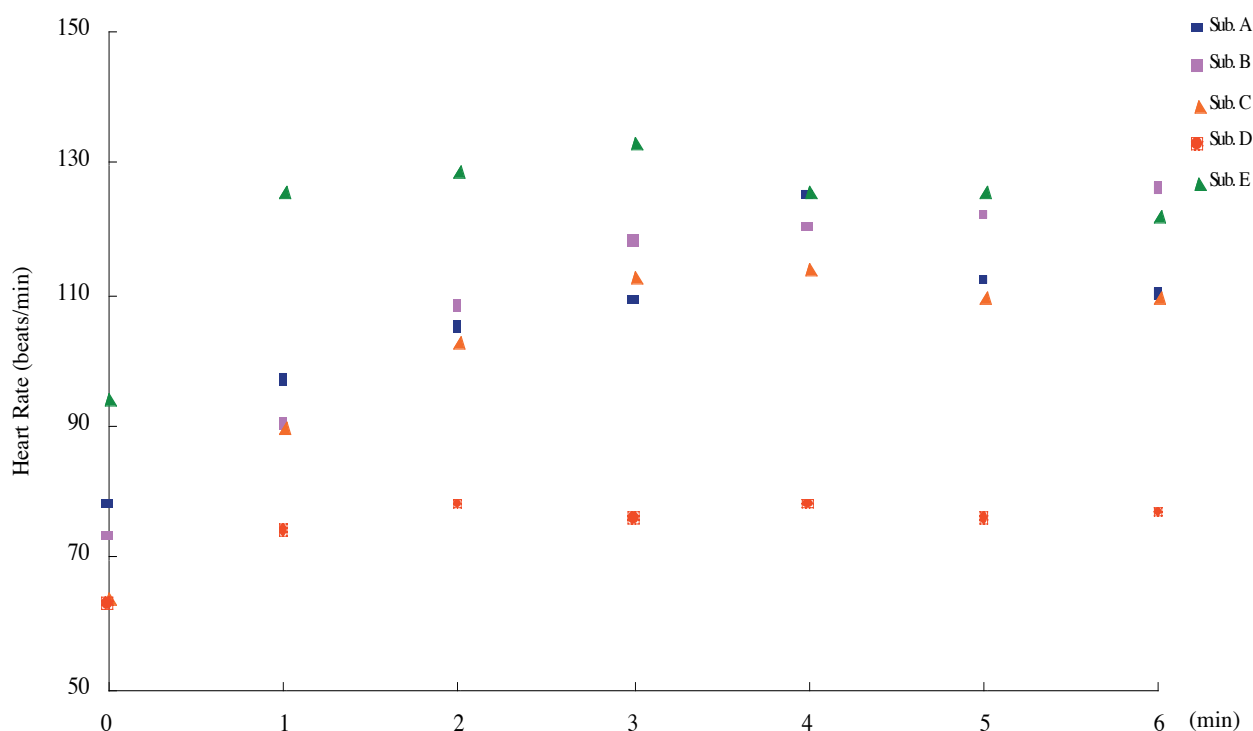


図2. Change of individual heart rate during step

た。そこで、 $\dot{V}O_2$ の定常状態が現れたBとCの3～6分目の平均値を足踏みの酸素需要量として算出したところ、13.8と15.1であった。

被験者毎のHR (回/分)の経時的推移を図2に示す。HRは足踏み前から6分目までに、73 (63–94)から110 (77–126)へと統計的に有意に上昇した ($p=0.04$)。被験者によってHRの経時的反応様式は異なった。定常状態の出現した時間は、AとEが足踏み開始後5分目、BとCは3分目、Dは2分目であった。足踏み開始後6分目のHRは予測最高心拍数(HRmax: 220–年齢)の70 (50.0–82.8) %であった。

被験者毎のSBP (mmHg)の経時的推移を図3に示す。SBPは足踏み前から6分目までに、118 (112–122)から138 (126–146)へと有意に上昇した ($p=0.04$)。AとBは少しずつ上昇し、3分目でほぼ一定の値となった。Cは3～4分目に、Eは2～3分目に10 mmHg上昇した後、それぞれ4分目と5分目に定常状態となった。Dは1分目以降、ほとんど変化がなかった。

被験者毎に $\dot{V}O_2$ 、HR、SBPが定常状態を示した順序をみたところ、Bは、全て同時期に定常状態が現れた。Cは、まず $\dot{V}O_2$ が定常状態を示し、

その1分30秒後にHRが定常状態を示した。A、B、D、EのSBPはHRよりも早期または同時に定常状態を示したが、CのみがHRが先に定常状態を示し、その1分後にSBPが10 mmHg程度の上昇を示した。

3.2 ATによる全身持久力

AT時の各測定項目値を表2に示す。自転車エルゴメーターを用いた運動負荷試験によるATは、測定開始から 276.0 ± 32.3 秒後の 64.0 ± 8.1 Wの運動負荷量をかけた時点で現れた。AT時の $\dot{V}O_2$ の平均は 13.2 ± 3.9 ml/kg/min、SBPは 136.0 ± 5.9 mmHg、RPEは 11.8 ± 1.6 の「楽であるーややきつい」程度であった。HRは 111.0 ± 8.6 回/分と、各被験者の71.6% HRmax程度であった。

3.3 全身持久力と足踏み試験との関係

足踏みによるHR、SBPが全身持久力を反映しているかを明らかにするため、被験者全員のAT時の $\dot{V}O_2$ と足踏み開始後6分目のHR、SBPの関係を求めた。その結果、HRがAT時の $\dot{V}O_2$ と強い負の相関関係 ($r=-0.85$)を示し、SBPが弱い負の相関関係 ($r=-0.50$)を示した(図4)。

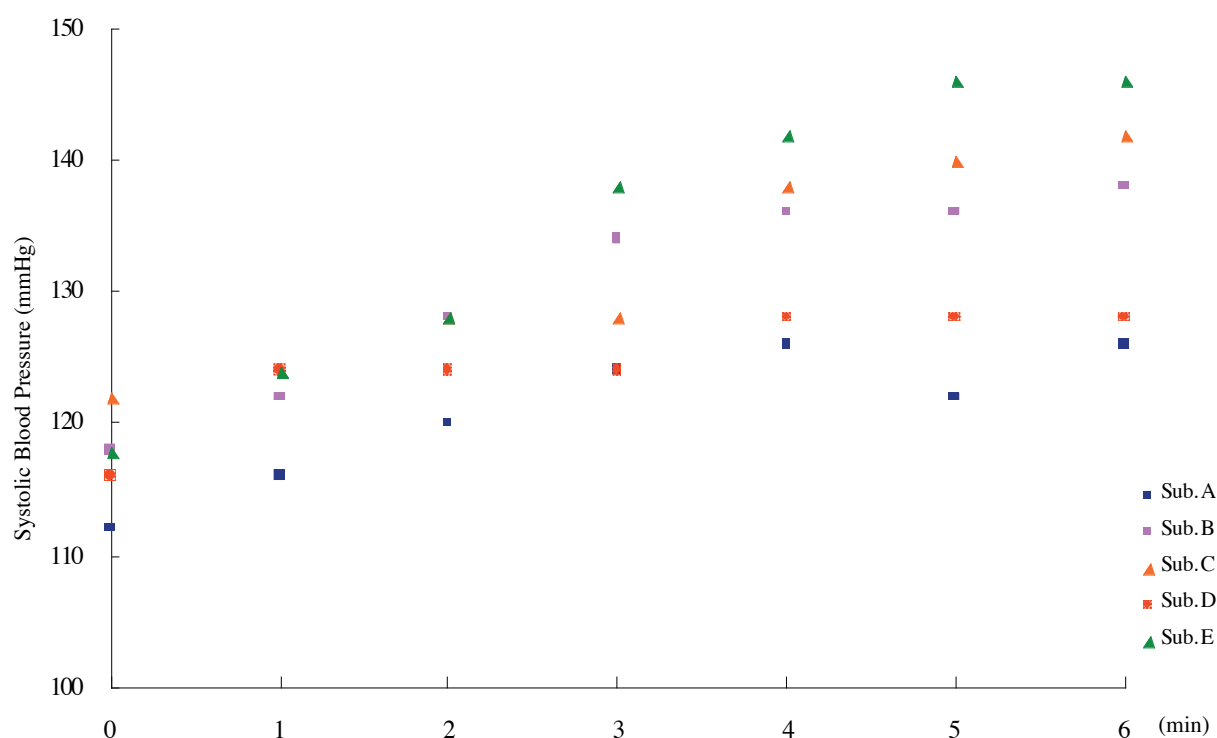


図3. Change of individual systolic blood pressure during step

表2. $\dot{V}O_2$, HR, SBP, RPE, and work intensity at the anaerobic threshold

Variable	(n=5)
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	13.2 ± 3.9
Heart Rate (beats/min)	111.0 ± 8.6
Systolic Blood Pressure (mmHg)	136.0 ± 5.9
Rating of Perceived Exertion	11.8 ± 1.6
Work intensity (W)	64.0 ± 8.1
	Mean ± SD

4. 考察

自転車エルゴメーターによる運動負荷をかけ、全身持久力の評価指標にATを用いた三浦 (1996) の報告によると、60歳代の女性の場合、AT時の $\dot{V}O_2$ の標準値は11.8 ± 1.6 ml/kg/minであることから、Dの全身持久力は標準よりもかなり高く、その他の者は標準程度であるといえる。

足踏みに必要な $\dot{V}O_2$ は13.8～15.1 ml/kg/minであった。男性高齢者を対象に、6分間歩行とシャトルスタミナテストを行った佐竹 他 (2004) の報告によると、それぞれの運動に要する $\dot{V}O_2$ は6分間歩行で19.5 ± 2.0 ml/kg/min、シャトルスタミ

ナテストで22.2 ± 4.3 ml/kg/minであった。よって、性差を考慮しても、本研究の被験者にとって120ピッチの足踏みは、全身持久力推定のための運動負荷量としては少なすぎると思われる。

$\dot{V}O_2$ が測定できた被験者4名のうち、AとEには足踏みを行った6分間に $\dot{V}O_2$ の定常状態が現れなかった。本研究と同年代の女性高齢者を対象にした徳田 他 (1982) の報告では、 $\dot{V}O_2$ 、HR、SBPのうち、定常状態を示す順序はHRが比較的早く、 $\dot{V}O_2$ が最も遅い。AとEはHRの定常状態が足踏み開始後5分目に現れていることから、 $\dot{V}O_2$ の定常状態は足踏み開始後6分目以降に確認できた可能性がある。HRの定常状態は足踏み開始後5分目までに現れた。120ピッチの足踏みを20歳代前半の女性に行った際は、全員が足踏み開始後3分目までにはHRの定常状態が現れた (高波 他 2004)。この年齢間の時間差は、加齢とともにHRの立ち上がりが遅くなるという佐藤 他 (1977) の結果と同様である。その要因として、全身持久力の決定要因である i) 肺のガス交換能力、ii) 心臓のポンプ能力、iii) ヘモグロビン濃度、iv) 筋における酸素拡散能力・酸素利用能力が加齢に伴い低下する (池上 1990) ため、同じ運動負荷方法で

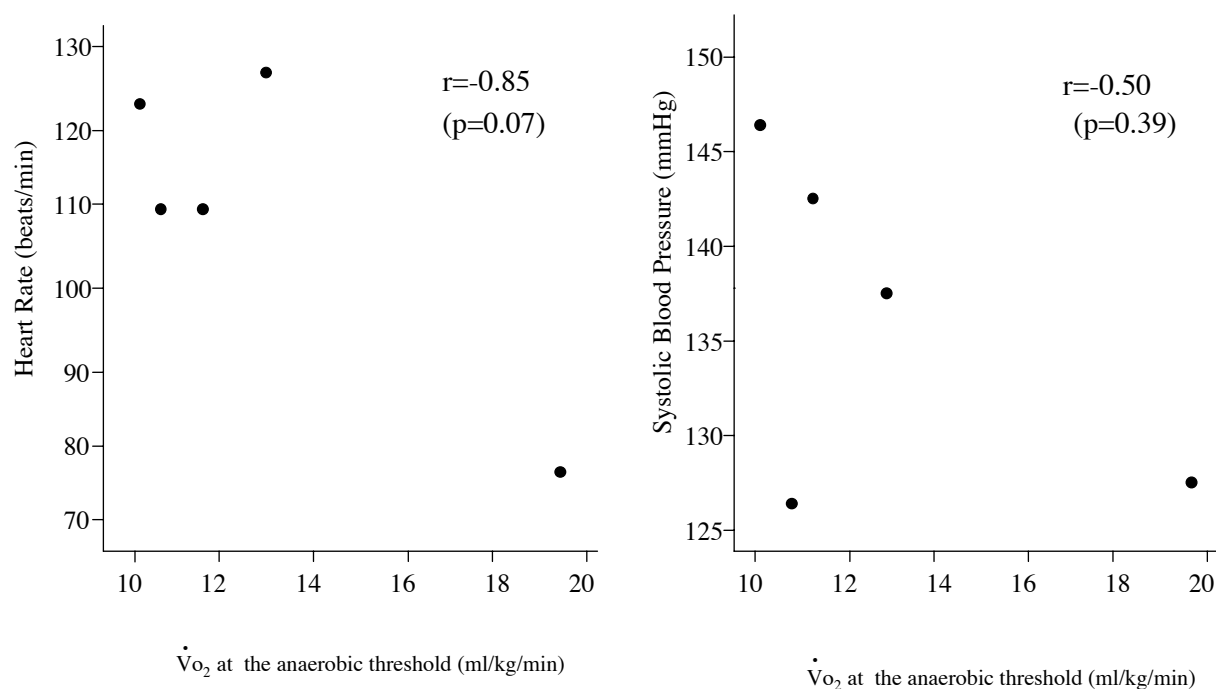


図4. Relationship between $\dot{V}O_2$ at the anaerobic threshold and heart rate, systolic blood pressure

も若齢者と高齢者では相対的な運動負荷量が異なることによる。SBPの定常状態は、C以外の全員がHRの定常状態出現前または同時に現れた。これは、前述した徳田らの報告と異なる結果である。SBPは運動負荷量が少ないと上昇率が少なく、ある程度の負荷量になって上昇をはじめ（Andersen et al 1985）。よって、足踏みの運動負荷量が少なく、必要な心拍量を得るためにSBPを上昇させる必要がなかったことからSBPの定常状態出現が早かったと考えられる。しかし、高齢者は必要な心拍出量を得るためにHRよりもSBPに依存する（徳田 他 1982）ため、足踏みの運動負荷量を増加させれば、徳田らと同様の結果が得られるであろう。

以上より、高齢者の全身持久力を間接的に測定するために足踏みを行い、その際のHRやSBPの定常状態の値を評価指標として用いる場合、少なくとも5分間の足踏みを行う必要があることが明らかとなった。但し、本研究の被験者よりも幅広い体力レベルを有すると思われる地域に居住する高齢者の中には、さらに全身持久力の低い者がいるであろう。よって、地域に居住する高齢者を対象とする場合は、HRやSBPの定常状態の出現にさらに時間を要することが予測される。また、男

性は同一運動に対するHRと血圧の反応様式が女性と異なるという報告（佐藤 他 1977）もあるため、必要な運動負荷時間について、より多くの高齢者を対象にした検討が必要である。

しかし、高齢者の循環器反応の遅延のために運動負荷時間を長くすれば、住民の測定に対する動機を低下させ、参加率が低下する可能性がある。また、短時間で多人数を測定する健診会場での実施が困難になる。よって、単に足踏みの時間を長くするだけでなく、足踏みによる運動負荷量をさらに増すことで、個人の全身持久力の差がHRやSBPに反映されるようにすべきである。その対策として、動作を大きくすることやピッチをさらに速くすることが考えられるが、ピッチが速くなるほどそのリズムに合わせられない者が増える（高波 他 2004）。また、足踏みは歩行と異なり、一部の筋にかかる負担が大きいと思われるため、ピッチが速いと一部の筋に疲労を生じ、5分間程度の足踏みを継続できない可能性もある。足踏み時の $\dot{V}O_2$ は、4～6 km/h程度の歩行に相当する（松本・石河 1997）。それに対して、高齢者の平均歩行速度は3.6 km/hで、この速度を維持できない者が約半数以上認められ、歩行により血圧や心電図に異常を示す者も含めた高齢者の運動耐容能が歩

行速度3.6 km/h、 $\dot{V}O_2$ が15～17 ml/kg/min、HRが120 beats/minである(徳田 1981, 芳賀 他 1997)ことを考慮すると、地域に居住する高齢者を対象に急激に強い運動負荷を行うことは適切でない。そこで、安全性とリズムのあわせやすさ、さらに、必要十分な運動負荷量を得るための運動負荷方法の一つとして、足踏み開始時のピッチを120とし、1～2分ごとに速めていく多段階負荷方式の足踏みも検討すべきであろう。

ATから求めた全身持久力とHR、SBPの間に負の相関関係が示されたが、被験者の中で著しく全身持久力の高かったDを除外した場合、個人間の全身持久力の差がHRやSBPに現れているとはいえない。よって、120ピッチの足踏みは対象者A、B、C、Eのように全身持久力が標準レベルの者の能力の違いを正確に反映することはできないが、全身持久力が標準範囲よりも低い者または高い者を判別できるかもしれない。今後は、地域に居住する高齢者を対象に足踏みを行い、その分布とATを用いた全身持久力との関係から、足踏みによる運動負荷方法の妥当性について検討する必要がある。また、用いるHRとSBPは足踏み前の値を考慮すべきかについても検討が必要である。

引用文献

Andersen P, Adams RP, Sjogaard G et al (1985). Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. *J Appl Physiol* 59(5), 1647-1653.

Davis JA, Vodak P, Wilmore JH G et al (1976). Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol* 41(4), 544-550.

池上晴夫(1990). 運動処方の実際, pp100-102. 大修館書店, 東京.

稲垣敦, 桜井礼子, 八代利香 他(2005). 老人保健法の基本健診を利用した高齢者の体力テストの必要性とテスト項目の提案. *看護科学研究* 6(1), 2-15.

石河利寛(1988). ステップテスト. *保健の科学* 30(6), 354-359.

木村みさか, 岡山寧子, 田中靖人 他(1998). 高齢

者のための簡便な持久性評価法の提案 シヤトル・スタミナ・ウオークテストの有用性について. *体力科学* 47, 401-410.

松本清一, 石河利寛(1997). 中高年の運動テクニック, p6. 文光堂, 東京.

三浦孝仁(1996). 日本人の換気性閾値-健康づくりの運動処方指針として-. *日本公衆衛生雑誌* 3, 220-230.

文部科学省(2004). 新体力テスト-有意義な活用のために-, pp127-128. ぎょうせい, 東京.

小野寺孝一, 宮下充正(1976). 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性-Rating of perceived exertionの観点から-. *体育学研究* 21(4), 191-203.

桜井礼子, 八代利香, 平井仁 他(2001). 高齢者の生活活動度を評価するための体力測定あり方およびやり方. *厚生指針* 48(4), 20-26.

佐竹将宏, 塩谷隆信, 高橋仁美 他(2004). 健常高齢者における6分間歩行試験とシヤトル歩行試験の呼気ガス反応の検討. *日本呼吸器管理学会誌* 14(2), 256-262.

佐藤佑, 石河利寛, 青木純一郎 他(1977). 運動に対する心拍数、血圧、呼吸数の反応の年齢別、性別特性に関する研究. *体力科学* 26, 165-176.

高波利恵, 緒環祥子, 木村厚子 他(2004). 基本健診で実施可能な全身持久力測定方法の検討-足踏みの際の心拍数・収縮期血圧を利用して-. *保健師ジャーナル*, 投稿中.

高波利恵, 品川佳満, 桜井礼子 他(2005). 基本健康診査受診者を対象にした高齢者の体力の実態とそれに基づく評価基準の提案. *公衆衛生* 69(1), 81-86.

徳田哲男(1981). 老年者の身体機能について-自動車運転への影響-. *自動車研究* 4, 351-356.

徳田哲男, 丸山仁司, 秋山純和 他(1982). 性別、年代差からみた作業負荷量に対する循環機能の特徴. *人間工学* 19(1), 51-59.

東郷史治, 宮下充正(1997). 全身持久力の測定

評価のためのステップテストの開発. 宮下充正 (編), 体力を考える—その定義・測定と応用—, pp104-109. 杏林書院, 東京.

芳賀脩光, 中田雅朗, 岩下太郎 他(1997). 健常高齢者の運動耐用能および歩行の限界と安全範囲. 日本運動生理学雑誌4(2), 105-115.



著者連絡先

〒870-1201
大分市大字廻栖野2944-9
大分県立看護科学大学 保健管理学研究室
高波 利恵
takanami@oita-nhs.ac.jp