

20cmの台高を用いたステップテストの運動負荷法としての妥当性

—中年男性を対象とした場合—

丹 信介、長谷宏明、恵美須勝美*、中尾建生**、高橋幸広***

Validity of stepping exercise on a bench 20cm high as an exercise testing for predicting cardiorespiratory fitness in middle-aged man.

Nobusuke Tan, Hiroaki Nagatani, Katsumi Ebisu, Tateo Nakao, and Yukihiro Takahashi

(Received September 26, 2003)

抄 録

本研究では、41歳から56歳の健常な中年男性12名（40代5名、50代7名）を対象に、20cmの台高のステップテストを15回/分、20回/分、25回/分の昇降速度で行わせ、各昇降速度でのステップテスト中の酸素摂取量の個人差について検討した。また、合わせて、ステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量との間の相関関係（直線関係）についても検討した。そして、これらの検討を通じて、中年男性を対象とした全身持久力推定のための運動負荷法としての20cmの台高のステップテストの妥当性について検討した。

得られた結果は次のとおりである。

1. ステップテスト中の酸素摂取量の変動係数は、6.2~7.3%の範囲内であり、先行研究や自転車エルゴメーターにおける変動係数と同等か、それよりやや低い値を示した。
2. ステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量の平均値との間には、極めて強い正の相関関係（ $r=0.9999$ 、 $p<0.001$ ）が認められ、両者の間には直線関係が成立した。

また、被検者各人のステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量との間の相関係数は、全例0.9848以上であり、被検者各人においても、両者の間には直線関係が成立した。

以上のことから、40、50代の中年男性を対象とした20cmの台高のステップテストにおける酸素摂取量の個人差は少ないことが明らかとなり、全身持久力推定法としての前提条件を満たすことが示唆された。また、ステップテスト中の昇降速度と各昇降速度における酸素摂取量との間には、直線関係があることが確認され、1次回帰を用いて、全身持久力の推定が可能であることが確認された。したがって、本研究で用いた20cmの台高のステップテストは、中年男性を対象とした全身持久力推定のための運動負荷法として妥当であることが示唆された。

キーワード：ステップテスト、中年男性、全身持久力、間接法、酸素摂取量

* 柳井健康福祉センター、** 周南健康福祉センター、

*** 山口県健康づくりセンター

緒 言

最近、全身持久力の指標である最大酸素摂取量が一定水準以上維持されている人では、生活習慣病の罹患率が低いことが明らかになってきている。例えば、曾根ら (1998) は、中高年女性を対象に、自転車エルゴメーターを用いて推定した最大酸素摂取量 (最高酸素摂取量) が、American Heart Association の年代別最大酸素摂取量標準値より高い者と低い者に分け、冠危険因子の保有数を比較したところ、推定最大 (最高) 酸素摂取量が標準値より低い者は、高い者に比べ冠危険因子の保有数が有意に多かったと報告している。

全身持久力の指標として広く使われている最大酸素摂取量は、直接測定することが望ましいが、その測定には装置の整った実験室が必要であること、多くの時間を要すること、被検者に苦痛や危険を伴うことなどの理由により、中高年者を対象とした場合や多くの集団をテストする場合には必ずしも望ましい方法であるとは言えないと思われる。そのため、最大下の運動強度における運動中やその後の生理的反応の測定から最大酸素摂取量を推定する間接法が、苦痛や危険を伴うことが比較的少ないなどの理由から、数多く提案されている。

提案されている間接法の中でも、ステップテストは、テストに用いる踏台が運搬に便利で場所を取らない、安価で手に入れやすい、キャリブレーションが不要である、特別な運動技術を必要とせず、どのような集団にも適用可能である、エネルギー消費量が体重の垂直移動量に比例するといった特徴を有している (Margaria et al, 1965) ため、集団テストに有利であると考えられる。

このような特徴を持つステップテストを、全身持久力推定のための間接法の運動様式として用いる試みがなされており (古名ら, 1993, 松坂ら, 1997, 綾部ら, 1999a, 綾部ら, 2000, 栗山ら, 2002)、20cm の台高を用いると高齢者にも適用可能であるとされている (古名ら, 1993, 綾部ら, 1999a, 綾部ら, 2000, 栗山ら, 2002)。

一方、間接法により全身持久力 (最大酸素摂取量) を推定するためには、同じ負荷をかけた時の酸素摂取量に個人差が少ないことが前提となる (竹島ら, 1992)。この点について、綾部ら (1999a) は、20~42歳の男女を対象とした20cm の台高のステップテスト中の各作業強度における酸素摂取量の変動係数、標準誤差は、間接法の運動様式によく用いられる自転車エルゴメーターと同等な値を示したと報告している。また、栗山ら (2002) は、48~70歳の中高年女性について、20cm の台高のステップテスト中の酸素摂取量の個人差は少なく、最大酸素摂取量推定のための前提を満たすことを報告している。さらに、古名ら (1993) は、60歳以上の男性高齢者を対象に、20cm の台高のステップテスト中の酸素摂取量の値について検討している。しかし、40、50代の男性を対象に、20cm の台高のステップテスト中の酸素摂取量の個人差を検討した報告は見当たらない。加えて、古名ら (1993) の報告では、ステップテスト中の酸素摂取量の測定は、昇降速度が毎分10回、15回及び20回で行われている。古名ら (1993) の報告によれば、毎分20回の昇降時の酸素摂取量は16.8ml/kg/分であり、40、50代男性の平均的な最大酸素摂取量を36.3、34.0ml/kg/分 (小林ら, 1980) とすると、それぞれその46、49%に相当する。一般に、より高い心拍数が得られるように運動を負荷した方が、最大酸素摂取量の推定には好ましいとされている (Pollock et al, 1990) ので、昇降速度が20回/分では、40、50代男性の負荷量としてはやや少ないように思われる。事実、古名ら (1993) の報告でも、30~59歳の中年群の全身持久力推定のためのステップテストの負荷法として、15、20、25回/分の3段階の昇降速度で行う方法が用いられている。

そこで、本研究では、40、50代の男性を対象とし、15、20、25回／分の昇降速度での20cmの台高を用いたステップテスト中の酸素摂取量の個人差について検討した。

また、間接法の運動様式として自転車エルゴメーターを用いる場合、作業強度（物理的作業強度）とその時の酸素摂取量（あるいは心拍数）との間には強い正の相関関係があり、両者の間には直線関係（1次回帰）が成立するので、この関係を用いて全身持久力（最大酸素摂取量）を推定している。20cmの台高を用いたステップテストにおいても、作業強度（物理的作業強度、ステップテストの台高が一定の時は、昇降速度）とその時の酸素摂取量の間には強い正の相関関係があり、両者の間には直線関係（1次回帰）が成立することが、20～42歳の男女（綾部ら、1999a）、18～28歳の男女（松坂ら、1997）、60歳以上の男性高齢者（古名ら、1993）、48～70歳の中老年女性（栗山ら、2002）について確認されている。しかし、中年男性に関しては、この点についても確認されていない。

そこで、本研究では、40、50代の男性を対象とし、20cmの台高を用いたステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量との間に直線（比例）関係が成立するか否かについても検討した。

そして、これらの検討を通じて、中年男性を対象とした全身持久力推定のための運動負荷法としての20cmの台高を用いたステップテストの妥当性について検討した。

方 法

1. 対象者

被検者は、41歳から56歳の健常な男性12名（ 50.2 ± 12.0 歳（平均値 \pm 標準偏差））で、年齢構成は40代5名、50代7名であった。また、実験の前に、被検者に研究の主旨と内容を説明し、理解と承諾を得たうえで、実験に参加してもらった。

2. ステップテスト負荷方法

踏み台（ステップ）は、台高20cmのものを用いた。昇降速度を15回／分（単位時間あたりの垂直移動量に基づく物理的作業強度：3 kgm/kg/分）、20回／分（単位時間あたりの垂直移動量に基づく物理的作業強度：4 kgm/kg/分）、25回／分（単位時間あたりの垂直移動量に基づく物理的作業強度：5 kgm/kg/分）の3段階設定し、それぞれの負荷で4分間踏み台昇降運動を行わせた。昇降速度は、電子メトロノームを使って規定した。また、運動中は心電図モニター（NEC製PB1412）により心電図と心拍数をモニターした。

3. 酸素摂取量の測定

酸素摂取量を測定するために、5分間の椅座位安静時の呼気と各昇降速度における踏み台昇降運動の3～4分目の1分間の呼気を、ダグラスバッグ法により採取した。採取した呼気の酸素濃度及び二酸化炭素濃度は、ガス分析装置（NEC製1 H26）を用いて、換気量は乾式ガスメーター（竹井機器製T306B）を用いてそれぞれ測定し、体重1kg当たりの分時酸素摂取量を算出した。

4. 結果の処理

各昇降速度におけるステップテスト中の酸素摂取量の個人差を検討するために、各昇降速度におけるステップテスト中の酸素摂取量の変動係数及び標準誤差を求めた。また、ステップテ

スト中の作業強度（物理的作業強度、ステップテストの台高が一定の時は、昇降速度）とそれに対応する酸素摂取量との間の直線（比例）関係を確認するために、各昇降速度と、それに対応する酸素摂取量の平均値との間の相関係数をピアソンの積率相関分析を用いて算出した。同様に、被検者各人のステップテスト中の各昇降速度とそれに対応する酸素摂取量との間の相関係数についても算出した。また、ステップテスト中の各昇降速度あるいは物理的作業強度（単位時間あたりの垂直移動量）と、それに対応する酸素摂取量の平均値との関係を最小2乗法を用いて1次回帰した。

結 果

ステップテスト中の各昇降速度における各人の酸素摂取量の値及びその平均値±標準偏差を図1に、ステップテスト中の各昇降速度における酸素摂取量の平均値±標準偏差、変動係数、標準誤差を表1に示した。ステップテスト中の各昇降速度における酸素摂取量（平均値±標準偏差）は、それぞれ 12.5 ± 0.8 、 16.5 ± 1.0 、 20.2 ± 1.5 ml/kg/分であり、変動係数は6.2～7.3%の範囲内にあった。

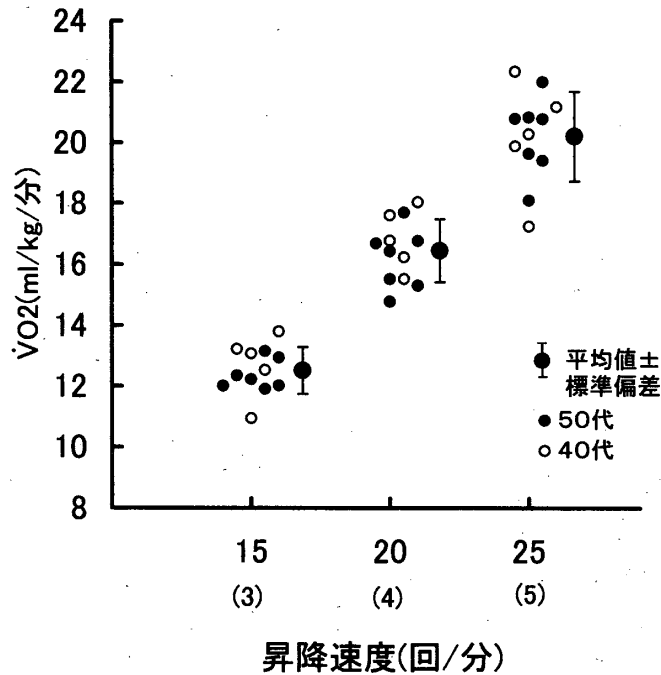


図1 ステップテスト中の各昇降速度における各人の酸素摂取量 (VO₂) の値及びその平均値±標準偏差 X軸の () 内は物理的作業強度 (kgm/kg/分) を示す。

表1 ステップテスト中の各昇降速度における酸素摂取量 (VO₂) の平均値±標準偏差、変動係数、標準誤差

昇降速度 (回 / 分)	15	20	25
VO ₂ (ml/kg/分)	12.5 ± 0.8	16.5 ± 1.0	20.2 ± 1.5
変動係数 (%)	6.2	6.2	7.3
標準誤差	0.22	0.30	0.43

ステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量の平均値との関係及び両者の間の相関係数を図2に、被検者各人のステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量との間の相関係数を表2に示した。ステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量の平均値との間には、極めて強い正の相関関係 ($r=0.9999$, $p<0.001$) が認められ、両者の間には直線関係が成立した。また、被検者各人のステップテスト中の各昇降速度とその時の酸素摂取量との間の相関係数は、全例0.9848以上であった。

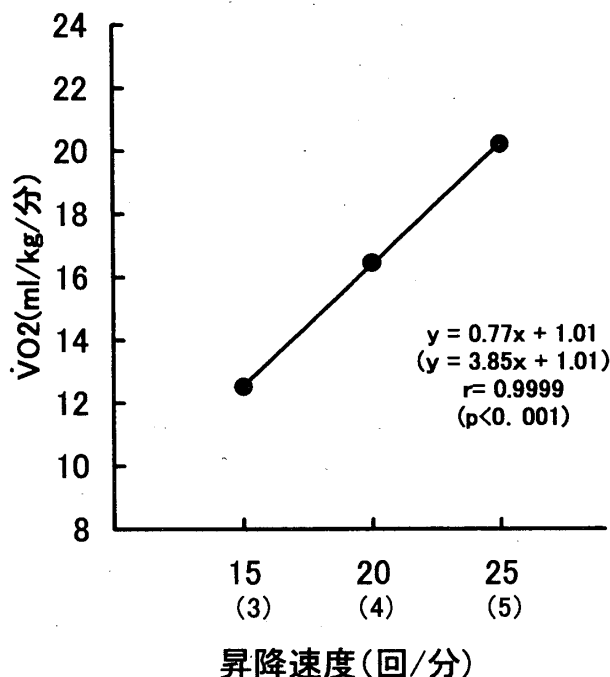


図2 ステップテスト中の各昇降速度と各昇降速度における酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の平均値との関係
X軸の () 内は物理的作業強度 (kgm/kg/分) を表し、
図中の () 内の式はX軸に物理的作業強度を用いた場合
の1次回帰式を示す。

表2 被検者A～Lのステップテスト中の各昇降速度と各昇降速度における酸素摂取量との間の相関係数 (A～E: 40代、F～L: 50代)

被検者	相関係数	被検者	相関係数	被検者	相関係数
A	0.9877	E	0.9978	I	0.9994
B	0.9997	F	0.9965	J	0.9986
C	0.9848	G	0.9914	K	0.9999
D	0.9974	H	0.9998	L	0.9984

考 察

1. ステップテスト中の酸素摂取量の平均値について

本研究における台高20cm、昇降速度15回/分、20回/分、25回/分のステップテスト中の酸素摂取量 (平均値±標準偏差) は、それぞれ 12.5 ± 0.8 、 16.5 ± 1.0 、 20.2 ± 1.5 ml/kg/分であつ

た。

古名ら (1993) は、60歳以上の男性を対象とした台高 20cm、昇降速度15回/分、20回/分のステップテスト中の酸素摂取量は、それぞれ 13.6 ± 1.3 、 16.8 ± 1.1 ml/kg/分であったと報告している。また、アメリカスポーツ医学会が報告しているステップテスト中の酸素摂取量を求めるための計算式 (後述の式 1, Swain, 2000) を用いて、本研究で用いたステップテストの台高 (20cm) と昇降速度 (15回/分、20回/分、25回/分) から各昇降速度におけるステップテスト中の酸素摂取量を求めた結果、それぞれ13.68、17.08、20.47 ml/kg/分となった。これらの値を今回の結果と比較すると、15回/分の昇降速度の時の酸素摂取量がやや低い傾向にはあるが、ほぼ同じ値となった。また、栗山ら (2002) は、中高年女性を対象とした台高20cm、昇降速度15回/分、20回/分、25回/分のステップテスト中の酸素摂取量は、それぞれ 14.3 ± 1.9 、 16.8 ± 1.5 、 20.8 ± 2.1 ml/kg/分であったと報告している。中高年女性のこの値と今回の結果を比較すると、今回の結果は、15回/分の昇降速度の時にやや低い値であったが、それ以外の速度ではほぼ同じ値を示した。

これらのことから、40、50代男性を対象とした本研究のステップテスト中の酸素摂取量の平均値は、中高年者を対象とした先行研究と比較して大差はなく、妥当な値ではないかと考えられた。しかし、綾部ら (1999a) の報告によると、20~42歳の男女を対象に、台高20cm の踏み台を用い、15回/分、20回/分、25回/分の昇降速度のステップテストを行った時のメッツの値は、それぞれ3、4、5メッツであり、これを酸素摂取量に換算すると、10.5、14.0、17.5 ml/kg/分となる (注1)。この値と今回の値を比較すると、本研究の値はかなり高い値であった。このような差が生じた理由は明らかではないが、理由の1つとして、対象年齢の違いが考えられる。すなわち、若年者と比べて中高年者では脚筋力が低下しており (久野ら, 2003)、同じ台高の踏み台昇降運動を行った場合でも運動の機械的効率に差が生じたために、酸素摂取量に差がでた可能性があるかもしれない。また、踏み台昇降運動の物理的仕事量には水平の移動距離も関係するので、その水平移動距離にも差があったために、酸素摂取量に差が生じた可能性もあるかもしれない。

2. ステップテスト中の酸素摂取量の個人差について

間接法により最大酸素摂取量を推定するための前提条件の1つに、作業強度と酸素摂取量の変化の個人差が小さいこと (竹島ら, 1992) が挙げられる。

本研究におけるステップテスト中の各人の酸素摂取量を見ると、同じ昇降速度で運動をした場合でもその値には差があり、その変動係数は、昇降速度が15回/分、20回/分、25回/分の時、それぞれ6.2%、6.2%、7.3%であった。綾部ら (1999a) は、20~42歳の男女を対象とした場合、20cm の台高のステップテスト中の酸素摂取量の変動係数は、5.43~9.27%と報告している。また、古名ら (1993) の報告によると、60歳以上の男性を対象とした場合、20cm の台高を用いて昇降速度15回/分、20回/分で行ったステップテスト中の酸素摂取量の変動係数は、それぞれ8.9%、6.5%であると考えられる (注2)。さらに、松坂ら (1997) は、18~28歳の男女を対象に、昇降速度30回/分とし、台高を4分毎に3段階漸増した後、2分毎に台高または昇降速度を疲労困憊までさらに漸増した踏み台昇降運動中の酸素摂取量の変動係数は、5.2~8.2%であると報告している。したがって、本研究におけるステップテスト中の酸素摂取量の変動係数は、先行研究の値に比べて同等かやや低い値であった。また、自転車エルゴメーターを用いた同一仕事量での運動時の酸素摂取量の変動係数は、6.74~7.97%であると報告されてお

り（綾部ら，1999b）、本研究における変動係数は、自転車エルゴメーターの値とほぼ同程度の値であった。

これらのことから、本研究における40、50代男性を対象としたステップテスト中の酸素摂取量の変動係数は、先行研究と比較して大差はないと考えられる。また、中年男性を対象とした20cmの台高のステップテスト中の酸素摂取量の個人差は少ないことが明らかとなり、全身持久力推定法的前提条件を満たすことが示唆された。さらに、運動の指導現場で運動負荷テストによく用いられる自転車エルゴメーターの変動係数とほぼ同程度の値を示したことから、中年男性を対象とした場合、20cmの台高のステップテストは、自転車エルゴメーターの代用として運動負荷テストに用いても遜色はないことが示唆された。

3. ステップテスト中の昇降速度とそれに対応する酸素摂取量との間の直線関係について

アメリカスポーツ医学会によるステップテスト中の酸素摂取量を推定する計算式（式1, Swain, 2000）は、以下に示すとおりである。

$$\text{酸素摂取量} = 3.5 + 0.2 \times (\text{昇降速度}) + 1.33 \times 1.8 \times (\text{台高}) \times (\text{昇降速度}) \dots \text{式1}$$

（酸素摂取量：ml/kg/分、昇降速度：回/分、台高：m）

この式1によると、台高を固定し、昇降速度を変化させると、酸素摂取量は昇降速度に比例する。また、ステップテストにおける物理的仕事率（物理的作業強度）は、台高×昇降速度×体重で表される（平川，1983）ため、台高を固定して昇降速度を変化させた場合、物理的仕事率は昇降速度に比例する。本研究では、台高を20cmとし、昇降速度を変化させているため、酸素摂取量は昇降速度に比例し、昇降速度の増加は物理的仕事率の増加を表していると考えられる。

本研究のステップテストにおける各昇降速度とその時の酸素摂取量の平均値との間には、極めて強い正の相関関係が認められた。また、被検者12名全員におけるステップテスト中の3段階の各昇降速度と酸素摂取量との間にも極めて強い正の相関関係（相関係数は全例0.9848以上）が認められた。したがって、式1でも示されているように、台高を固定した本研究のステップテストにおける各昇降速度と酸素摂取量の間には直線（比例）関係があることが確認された。

20～42歳の男女を対象とした綾部ら（1999a）の報告によると、台高を20cmに固定し、昇降速度を変化させた時のステップテスト中の運動強度（物理的作業強度）と酸素摂取量との間には高い相関関係がある、つまり、昇降速度と酸素摂取量の間には高い相関関係があるとしている。また、栗山ら（2002）は、中高年女性を対象とした台高20cm、昇降速度15回/分、20回/分、25回/分のステップテストにおいて、昇降回数と酸素摂取量の間には強い正の相関関係があったと報告している。さらに、古名ら（1993）も、60歳以上の男性を対象に、20cmの台高のステップテストを10回/分、15回/分、20回/分の3段階の昇降速度で行わせた結果、物理的負荷量（昇降速度）と酸素摂取量の間には、1次回帰が成立し、被検者各人の相関係数は0.93以上であったと報告している。したがって、本研究の結果も、先行研究と同様の結果を示したと考えられる。

これらのことから、40、50代の中年男性を対象とした20cmの台高のステップテストにおける昇降速度と各昇降速度における酸素摂取量との間には直線（比例）関係があることが確認された。

古名ら（1993）は、18～83歳の男性を対象に、20cmの台高のステップテストを、60歳未満の者は本研究と同じ15回/分、20回/分、25回/分の昇降速度で、60歳以上の者は10回/分、15

回/分、20回/分の昇降速度でそれぞれ行わせ、3段階の物理的負荷強度とその負荷段階に対応する心拍数との関係を1次回帰し、年齢予測最大心拍数における物理的負荷強度を求め、その値を各人の体重で除し、全身持久力の指標としている。また、この指標は、最大下の酸素摂取量と心拍数との関係を用いて推定した最大酸素摂取量の値をよく反映したと報告している。本研究の結果は、40、50代の男性を対象として、古名ら(1993)が用いた方法で全身持久力の推定が可能であることを支持するものとする。

以上のことから、40、50代の中年男性を対象とした20cmの台高のステップテストにおける酸素摂取量の個人差は少ないことが明らかとなり、全身持久力推定法としての前提条件を満たすことが示唆された。また、ステップテスト中の昇降速度と各昇降速度における酸素摂取量との間には、直線関係があることが確認され、1次回帰を用いて、全身持久力の推定が可能であることが確認された。したがって、本研究で用いた20cmの台高のステップテストは、中年男性を対象とした全身持久力推定のための運動負荷法として妥当であることが示唆された。

注1：1メッツは、酸素摂取量3.5ml/kg/分であることから求めた。

注2：報告されている酸素摂取量(平均値±標準偏差) 13.6 ± 1.3 、 16.8 ± 1.1 ml/kg/分を用いて、変動係数(標準偏差/平均値×100)を計算により求めた。

謝辞

本稿を終えるにあたり、測定に際してご協力賜った山口県健康づくりセンター並びに山口県健康福祉センターの職員の皆様に厚く感謝いたします。

引用文献

- 綾部誠也、原田妙子、樋口博之、宮崎秀夫、清水 明、進藤宗洋、田中宏暁(1999a)：ステップテストの運動負荷テストとしての妥当性、*体力科学*、48：937
- 綾部誠也、原田妙子、樋口博之、進藤宗洋、宮崎秀夫、田中宏暁(1999b)：高齢者にも適用できる踏み台昇降テストの開発、第54回日本体力医学会大会予稿集：278
- 綾部誠也、八尋拓也、樋口博之、宮崎秀夫、進藤宗洋、田中宏暁(2000)：中高年齢者向けのステップテストを用いた簡易な運動負荷テスト法の提案、岡田、松田、久野編；*高齢者の生活機能増進法*、NAP、pp.325-327
- 久野譜也、村上晴香、馬場紫乃、金 俊東、上岡方士(2003)：高齢者の筋特性と筋力トレーニング、*体力科学*、52 Suppl：17-30
- 栗山俊彦、丹 信介、恵美須勝美、砂川博史(2002)：中高年女性を対象とした全身持久力推定法としてのステップテストの妥当性に関する検討、*山口県体育学研究*、(45)：19-29
- 小林寛道、北村潔和、松井秀治(1980)：一般健康成人男子および中高年スポーツ愛好者の Aerobic power、*体育学研究*、24：313-323
- Swain, D. P. (2000)：Energy cost calculations for exercise prescription: an update, *Sports Med.*, 30：17-22
- 曾根裕二、藤枝賢晴、城寺賢二(1998)：中高年女性の心肺持久力と冠危険因子、ライフスタイルの関係について、*東京学芸大学紀要第5部門*、50：163-169
- 竹島伸生、田中喜代次、小林章雄、渡辺丈真、鷲見勝博、加藤孝之(1992)：高齢者の全身持久

力評価における種々の間接法の妥当性、体力科学、41：295-303

平川和文 (1983) : 踏み台昇降運動時エネルギー代謝量の推定 - 身体特性と機械的効率からの検討 -、体力科学、32：285-292

古名丈人、伊東 元、長崎 浩、藤沢明子、新見まや、丸山仁司、衣笠 隆 (1993) : ステップテストを用いた持久性能の加齢変化の研究、日本老年医学会雑誌、31：45-51

Pollock, M. L., Wilmore, J. H. (1990) : Exercise in health and disease (2 nd ed.), W. B. Saunders Company, pp.268

松坂 晃、田中茂穂、巽 申直、服部恒明 (1997) : 最大下の踏台昇降運動による最大酸素摂取量の推定、茨城大学教育学部紀要 (教育科学)、(46)：105-115

Margaria, R., Aghemo, P., Rovelli, E. (1965) : Indirect determination of maximal O₂ consumption in man, J. Appl. Physiol., 20：1070-1073