

総説

高齢者の運動耐容能について

Cardiorespiratory fitness in older adults

竹島伸生

Nobuo TAKESHIMA

名古屋市立大学自然科学研究教育センター

大学院システム自然科学研究科

Institute of Natural Sciences, Nagoya City University

Graduate School of Natural Sciences

Abstract

Several previous reports were shown maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2\text{max}$) is a well accepted index of cardio-respiratory fitness, however, the validity of $\dot{V}O_2\text{max}$ as an index of this fitness in older adults is not well studied. The aim of this review study was to assess this validity based on the results of cross-sectional and longitudinal studies. Results of cross-sectional studies indicate that decline of $\dot{V}O_2\text{max}$ in trained athletes is significantly more than that of general people with aging /or at the time of detraining. On the other hand, $\dot{V}O_2\text{max}$ assessment test is not very feasible at community settings as results of previous studies show that not more than 10% to 15% of older adults respond to perform this test voluntarily. Estimation of the decline of $\dot{V}O_2\text{max}$ with aging can be performed more accurately by performing longitudinal studies than cross sectional studies. However, exercise intensity and volume may change in trained athletes due to factors other than aging. Naturally, it becomes difficult to conclude the rate of $\dot{V}O_2\text{max}$ decline in these people based on the results of longitudinal studies. Moreover, one or more chronic disease or disabilities that associate with aging interfere in performing longitudinal studies in older adults. It is difficult to determine the $\dot{V}O_2\text{max}$ to untrained older adults. Many of them just give up grading exercise test, or the attending doctor terminates the test before attainment of $\dot{V}O_2\text{max}$ level while performing exercise test. As a result, peak oxygen uptake (peak $\dot{V}O_2$), or lactate threshold (and/or anaerobic threshold) are used to evaluate the cardio-respiratory fitness in older adults instead of $\dot{V}O_2\text{max}$. These findings indicate that $\dot{V}O_2\text{max}$ has lot of limitations to be an effective index of cardio-respiratory fitness in older adults, suggesting that reconsideration is needed to accept the $\dot{V}O_2\text{max}$ or to find an alternative index that could be effectively and widely used to determine the cardio-respiratory fitness in older adults of different physical conditions.

Keywords: cardiorespiratory fitness, maximal oxygen uptake, aging

1 緒言

運動耐容能とは、その人がどれくらいまでの運動に耐えられるかの限界をさす。運動の量は、運動の強度×時間の積で表すことができる。運動の種類はいろいろあるが、運動耐容量という場合には全身を使う持久的な運動を示すと定義されている。全身持久運動を、例えば歩いたり走ったりして、そのスピードがだんだん早くなった場合に、身体がとりいれる酸素の量がだんだん多くなり、もう続けられない限界に達する。その時のスピードや酸素摂取量(最大酸素摂取量)が、その人の運動耐容量であるという(財団法人健康体力づくり事業団「健康小ネット辞典」)¹⁾。この運動耐容能の測定は一般には種々のエルゴメータ (ergometer)によって測定されるため、スピードや物理的強度よりは最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$)によって評価されることが多い。 $\dot{V}O_2\max$ は、心機能と末梢(筋)機能の積で表される。心機能は心臓が1回に拍出できる血液量と心拍数の積で心拍出量によって表される。年齢が高くなると運動により増加できる心拍数が減少し、 $\dot{V}O_2\max$ の低下の要因になる。男性より体格の小さい女性は心拍数には差がないが、心臓の容積が小さいので男性より $\dot{V}O_2\max$ がやや低くなる。心臓や肺に疾患がある場合には、運動中に心臓の機能が低下し、あるいは胸痛や息切れが生じて運動を継続できなくなる。長く臥床し下肢の筋の機能が落ちてくると、心臓が丈夫でも運動耐容量が低下する。こうした見方はこれまでに明らかであり、周知のものとなっている。

一方、若年者から100歳を超える高齢者に至るまで健康づくりが叫ばれる今日、高齢者の運動耐容能、 $\dot{V}O_2\max$ はどの程度有するものか、あるいは加齢によってどのように推移するのかなどについて論じられることが多い。しかし、 $\dot{V}O_2\max$ 測定には高価な機器や専門的技術を要することに加えて、被験者が自発的に最大運動まで実施できることによって得られるものであり、すべての人が実施可能なものでない。このために人の運動耐容能を評価する、又は加齢に伴う変化を論じることが本当に可能かという点について整理する必要がある。

本稿は、横断的研究と縦断的研究から $\dot{V}O_2\max$ の加齢による変化を捉え、高齢者における運動耐容能測定の妥当性や有効性について検討した。

2 横断的資料からみた高齢者の $\dot{V}O_2\max$ の加齢による変化

2.1 鍛練者、競技者の加齢による変化

$\dot{V}O_2\max$ は10年間あたりでおよそ10%の低下が示されることが知られている²⁾。先行研究によれば、競技者又は鍛練者の $\dot{V}O_2\max$ は同年代の一般人と比較して極めて高い水準を示すことが明らか

となっており、ほぼ 2 倍近くの能力を有している³⁾。図1は横断的資料と縦断的資料から加齢による $\dot{V}O_2\max$ の変化を示した⁴⁾。一流若年競技者の $\dot{V}O_2\max$ は体重当たりで見ると 70 ml/kg/min を超えており、その能力は遺伝的素因も加味されるもののトレーニングがもたらした人間の持つ極限の能力であると考えられる。しかし、こうしたトップレベルの選手達も加齢に伴う $\dot{V}O_2\max$ の低下は避けられない。運動、トレーニングによって加齢に伴う $\dot{V}O_2\max$ の低下を遅延することが一般的に考えられているが、トップレベルの持久性競技選手では加齢に伴う $\dot{V}O_2\max$ の低下率は健常な非鍛練者又は一般人よりと同じ又は大きいとする見方がある。FitzGerald et al. (1997)⁵⁾は、女性を対象に報告された 100 以上の論文をメタアナリシス (meta-analysis) によって検討し、持久性競技者では 1 年間で -0.62 ml/kg/min の低下量が認められたと報じている。著者ら⁶⁾は、中高年男性ランナーの横断的データから、1年あたりの低下量が約 -0.74 ml/kg/min と推計している。持久性競技者の $\dot{V}O_2\max$ が 70 ml/kg/min 前後であるとするとおよそ 1 年間で 1%又はそれ以上の低下率が推測される。この点からは、競技者、鍛練者の加齢に伴う変化量や率のみに注視すれば一般人より低下(後述)は大きいといえる。しかし、鍛練者の $\dot{V}O_2\max$ がどの年代においても一般人より高い水準にあることは明らかである。また、 $\dot{V}O_2\max$ の男女における加齢に伴う低下率についても論じられることが多いが、最近の研究ではほぼ同じ低下率であることが示されている^{5, 7)}。しかし、閉経後のエストロゲン分泌の影響や、トレーニング量などに大きく影響を受けるためにメカニズムについては単純でない。

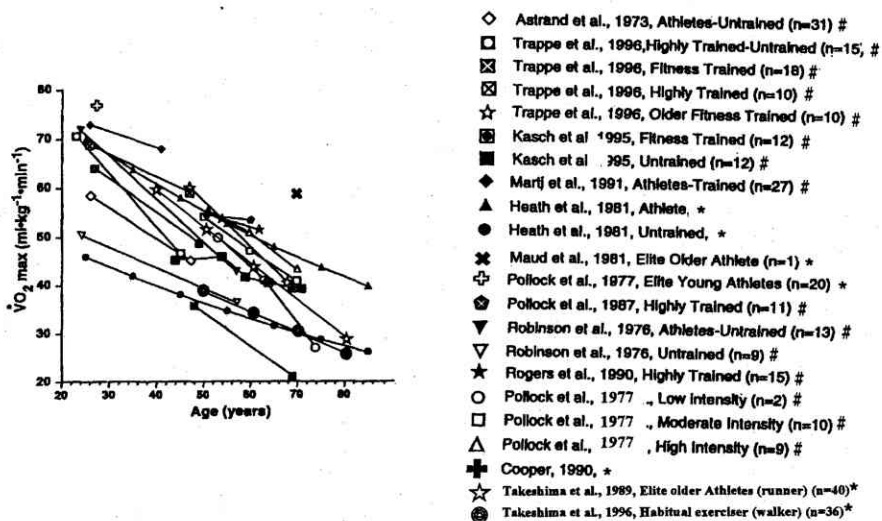


図1 加齢に伴う $\dot{V}O_2\max$ の変化 (横断的資料と縦断的資料から)

*:横断的研究 #縦断的研究 (Pollock et al., 1997に竹島が追加改変)

2.2 地域住民対象の VO₂max 測定

加齢(老化)と体力に関する最初の報告は、1938年のRobinson⁸⁾によるものであろう。彼は、健康な一般成人男性(25~75歳)のVO₂maxを10年刻みでみると、4~5 ml/kg/minずつ減少することを報告した。この値は横断的データから導き出されたものであるが、それによると1年ごとに約1%(10年で10%)の減少となっている。Inbar⁹⁾は成人男性1,424人(20~70歳)のVO₂maxを横断的に検討し、1年の低下量が0.33 ml/kg/minであることを報告している。FitzGerald et al. (1997)⁵⁾が一般人で-0.35 ml/kg/min(女性)、Tanaka et al. (1997)⁷⁾が-0.33 ml/kg/min(女性)とする報告がある。VO₂maxの加齢に伴う変化には性差があるとする報告があるが、これらの低下量は近似しており、20歳代一般男女のVO₂maxはおよそ40~45 ml/kg/min³⁾とすると、ともに1年間で1%を下回る低下率が示されるものと推計できる。しかし、社会的背景やサンプルの片寄りなどによって影響を受ける横断的データからの推論がどれほど妥当かについては明らかでなく、後述する縦断的データとの両者から検討される必要がある。さらに、こうした運動負荷テストによって得られるVO₂maxはすべての人に測定可能なものでなく、いわば比較的元気な人、特に高齢者の場合に選択されている可能性が高い。そこで同じ地域に居住する人を対象にして測定された結果から加齢に伴う変化について検討する。

著者らは、岐阜県農山村一地区(S町K地区)在住の高齢男女(68歳以上)を対象に住民検診を実施した。全住民607人に対し、参加者が348人(57%)、運動負荷試験(自転車エルゴメータテスト)を受けることが可能であった者が278人(46%)となり、運動負荷が完全に実施できた者が134人(22%)であった¹⁰⁾。このうち、呼気ガス交換比(\dot{V}_E/\dot{V}_O_2) 1.1以上が48人(17%、総人口の8%)となった(図2)。全住民に対して、極少数のみ高強度での運動ができ、VO₂maxを測定できたことになる。これは、Hollenberg et al. (1998)¹¹⁾がカリフォルニアで実施した同一地域在住の高齢者を対象とした研究よりも低い実施率であった。彼らは、総人口3057人中、2092人が研究への協力を得て、このうち1101人(55~94歳)に運動負荷試験を実施している。1101人中、呼気ガス交換比1.1以上の運動が実施できた人は女218人(33%)、男231人(53%)で総人口の15%にしか満たなかったという。これら2つの研究は自転車エルゴメータとトレッドミルと様式が異なるものの、総人口の僅か10%の中老年者のみ測定ができない可能性が示唆される。このように極めて一部の人しか測定できない方法、換言すれば一部の元気な中老年者における運動耐容能の加齢変化をみているという限界がある。従来から推奨され、利用されてきた高齢者のVO₂maxによる評価は特に限界が大きいためこれに代わる他の指標が必要とみられる。

近年、Anaerobic threshold (AT)あるいはlactate threshold (LT)がVO₂maxと同様に全身持久性指標として利用されている。ATやLTは、血中乳酸濃度(La)又はLa/ピルビン酸比が明らかな増加を示さない間に達しうるVO₂の最大値と定義されているが¹²⁾、LTやATは高齢者における全身持久性の評価指標として、またトレーニングの至適負荷強度の1つとしてもその有用性が確認されている¹³⁾。先にS町にて実施した我々の調査では、Anaerobic threshold (AT)は運動負荷試験が可能であった134人の被験者中120人(90%)の測定が可能であった。測定が可能であった実施率からみれば最大運動負荷をおこなう評価よりも高齢者の体力を評価する有用な指標といえる。また、一般高齢者のVO₂LTは4

METs, 鍛練者では6 METsに相当するものとみられている¹⁴⁾。独立して社会生活を営む上で必要な最高酸素摂取量は、小林¹⁵⁾が12 ml/kg/min, 武者ら¹⁶⁾が10 ml/kg/minあたりとみているが、LTレベルはおよそ一致するとみられる。最低レベルよりどの程度の予備力を有しているかという視点からの耐容能評価は最大能力評価より実用的にみて妥当とみられる。しかし、これにも測定条件があり、エルゴメータによる運動が可能な人というリミテーションは避けられないことから活動能力水準別などの評価方法の確立が求められる。

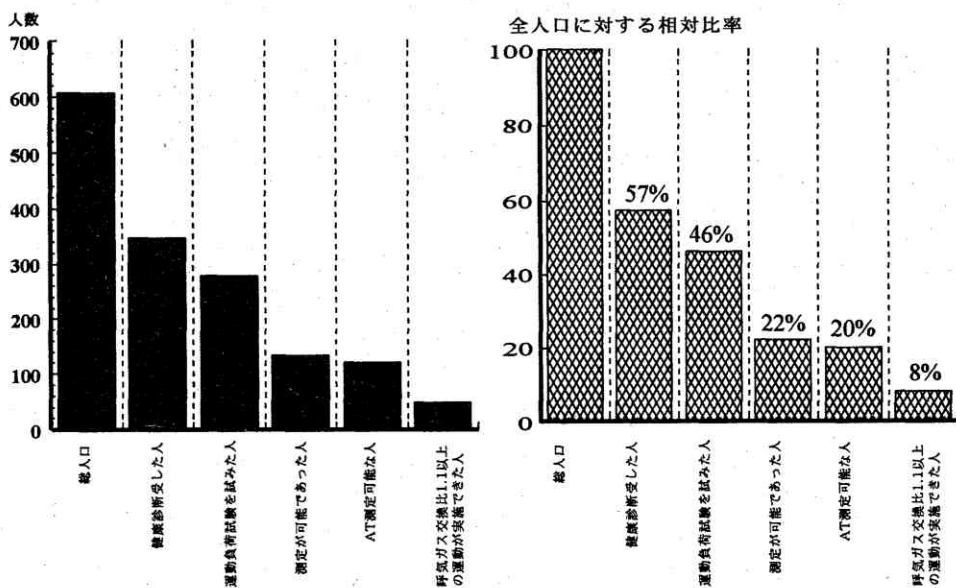


図2 地域在住高齢者を対象とした運動負荷試験実施人数および全人口に対する相対比率

3. 縦断的資料からみた VO₂max の加齢による変化

3.1 鍛練者、競技者の加齢による変化

縦断的研究は同一個人を数年に亘って追跡し、加齢変化を調べる方法であるが、時間を有するために横断的手法に比べてVO₂maxの加齢に伴う変化は、横断的資料による場合よりも縦断的資料による方が大きいとみられている。10年間以上に亘って比較的高強度(VO₂maxの60%以上)の持久性運動を継続している競技者を対象としたKash et al.¹⁷⁾の研究では、10年あたりでVO₂maxは9~15%の低下が示されている。Trappe et al.¹⁸⁾によれば、高強度のトレーニングをおこなっているランナーは非鍛練者よりも加齢に伴う低下が小さいという見方をしており、1年間あたりで5~7%であったと報じている。しかし、Hawkins et al.¹⁹⁾によれば、約8年間に亘って男女のマスター競技者を追跡調査し、運動によりVO₂maxの低下率が小さいという点は期待するほど高いものでなかったという。Pollock et al.³⁾は平均年

年齢50.5歳のランナー20名を対象に20年間に及び追跡調査し、トレーニングの運動強度別に高強度群、中強度群、低強度群の3群に分類して VO_2max の変化を検討している(図3)。その結果、高強度群は10年後に8%低下し、さらにその10年後には15%の低下を認めている。中強度群はそれぞれ13%、14%の低下、低強度群は18%、34%の低下を認め、トレーニング強度が低くなるとその低下率は大きくなっている。平均的な変化量は1年間で -0.69 ml/kg/min ($-0.42 \sim -0.96 \text{ ml/kg/min}$) の低下を認めている。これらからみると従来から指摘されているように横断的資料から求めた VO_2max の低下率より縦断的による方が大きな低下が認められる。しかし、鍛練者の加齢による低下率は、一般人と比較して小さいと言い切れるかについては Pollock et al.³⁾が示したように若年期と同じトレーニング水準を維持することが困難な場合も多く、運動量に変化する可能性があるために一概に結論づけにくい。また、高強度トレーニングを継続した高齢競技者においても10年間当たりでみると VO_2max が8%の低下となっているが、その後10年間では低下率が大きくなっている。Pollock et al.³⁾は持久性競技者が筋力トレーニングをおこなわないために加齢に伴う筋量の低下などが影響する、すなわちトレーニングの内容が影響していることも指摘している。同種の研究が十分になされていないためにその原因は明らかでないが、年齢が高くなるにつれて加齢による影響が大きくなるという見方が適用されるほど単純でない。

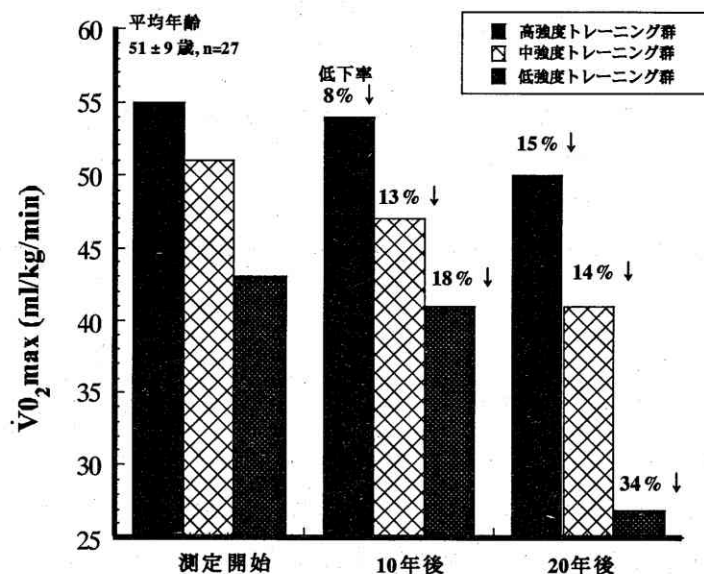


図3 中高年ランナーの加齢に伴う変化—縦断的資料から—

(Pollock et al., 1997)

3.2 過去に特別な運動歴はないが週1日運動教室に参加し、以後日常軽運動、レクリエーション程度の活動を続けている高齢者の加齢による変化

著者らは過去に特別な運動習慣のなかったが、大学施設を利用しておこなった運動教室に参加し、定期的に運動負荷試験を10年間に亘り実施した¹⁰⁾。当初は15人の被験者(平均年齢70歳)に測定を試みた(図4)。 VO_2max のcriteriaに達しない人もいたためにデータとしてはpeak VO_2 として表示した。

参加当初3年間はほぼ同じ, 5年間で 13% (n=11), 7年間で22% (n=8)の低下率を示した。10年間フォローアップできたのは4人のみとなった。この4人の10年後のpeakVO₂低下率は12%となり, 全被験者の5年目の変化率より小さかったが, 有意に減退していた。運動を定期的におこなっている高齢者は低下率が小さいとみられたが, 中には被験者が85歳を越えており, 再測定には困難性が増した。体調によっては測定を当日中止し, 延期するなどの工夫も必要であった。過去に特別な運動習慣を有しないが比較的健常とみられる高齢者を10年間に亘って縦断的に観察したが, 途中病気と死亡により再測定できず, 結果としては15人中で4人(27%)のフォローアップに留まった。

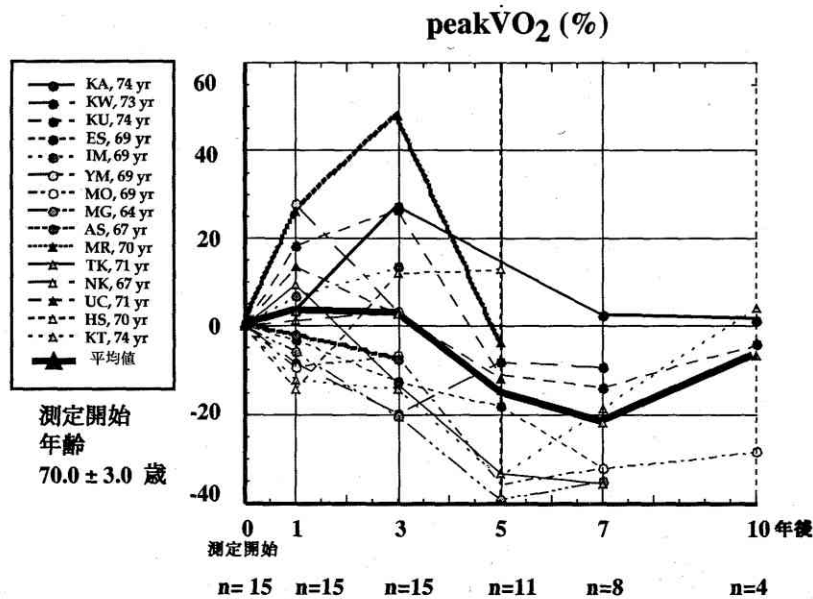


図4 健常高齢者を対象とした最高酸素摂取量(peakVO₂)の加齢に伴う変化—縦断的資料から—

VO₂maxは, 加齢とともに漸減することが明らかであり, 縦断的資料と横断的資料により低下率が異なるものの10年間で10%前後の低下が認められている。しかし, 上述のごとく高齢者のVO₂maxを正確に測定することは困難であり, 幅広い年齢層を対象としてこの低下率を調べることは難しい。横断的研究では, 体力テストでは元気な者のみが参加するなどの集団の性格が大きな影響を及ぼすために得られた結果から加齢の影響を論ずることに限界が指摘される。VO₂max, 換言すれば運動耐容能の加齢による変化は対象者によって異なるために低下率を一般化することは改めて難しいことが示された。鍛練者であってもトレーニング量や内容が年々変化する場合が多く, 低下率も一様でない。一般又は非鍛練者にあつては運動負荷で最大運動に至るまでのテストが受けられないものが多い。こうしたことからみれば, 運動耐容能の指標について論じることの困難性とVO₂maxによる評価の再検討が必要と言わざるをえない。幅広い年齢層や体力の相違を考慮した運動耐容能の評価は不可能といえるのかもれない。近年, 高齢者の機能的自立度を計るという目的で任意の距離を設定し, 時間を測定するパフォーマンステスト(6分間歩行, 12分間歩行など)が採用されている。こうしたテストも妥当性や信頼性に

については限界があり、十分な評価がなされないことも考えられるが、実用性は高い。テストには目的があり、それに応じた項目の選択と的確な評価が重要といえるが、高齢者の最大能力を評価する方法は再考を要するのかもしれない。

4. まとめ

本稿では、横断的研究と縦断的研究から VO_2max の加齢による変化を捉え、高齢者における運動耐容能測定の妥当性や有効性について検討した。

- 1) 横断的資料からみると、競技者、鍛練者の VO_2max はいずれの年代でも一般人より顕著に高いが、一般人よりこの低下率(1年間当たり)が大きいとみられた。また、地域を対象とした VO_2max 測定では、全人口の10%程度しか測定が実施できず、 VO_2max の水準や加齢による変化を普遍化することが難しい。
- 2) 加齢に伴う VO_2max の低下率は従来から指摘されているように横断的資料よりも縦断的資料からの分析の方が大きい。しかし、競技者、鍛練者ではトレーニング、運動量が変化する可能性があり、低下率を結論づけにくい。さらに、一般人では疾病や健康度の変化から長期にフォローアップできないことが多く、長期間の縦断的資料から加齢変化を論ずることが困難である。

以上から一般にしばしば利用されている運動耐容能測定としての VO_2max 評価は個人差の大きい高齢者に至るまでの変化を捉えることに限界が多く、再考を要するとみられる。

本内容の骨子は、第25回日本医学会総会記念日本体力医学会シンポジウム(加齢と運動耐容能, 東京, 1999年3月)において発表した。

引用文献

- 1) 財団法人健康体力づくり事業団「健康小ネット辞典」
<http://www.health-net.or.jp/kenkonet/shoziten/shoziten.html>
- 2) Joyner, M. Physiological limiting factors and distance running: influence of gender and age on record performances. In: Exercise and Sport Sciences Reviews, J. O. Holloszy (Ed.) Baltimore: Williams & Wilkins, 1993. pp 120-127.
- 3) Pollock, M.L., Mengelkoch, L. J., Graves, J. E. et al.: Twenty-year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. J. Appl. Physiol. 82: 1508-1516, 1997
- 4) 本山貢, 加齢による身体的変化, 竹島伸生編, 高齢者のヘルスプロモーション, メディカルレビュー社, 東京, pp15-24, 2002
- 5) FitzGerald, M. D., Tanaka, H., Tran, Z. V., et al.: Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary females: a meta-analysis. J. Appl. Physiol., 83:160-165, 1997
- 6) 竹島伸生, 小林章雄, 田中喜代次ほか: 中高年ランナーの最大酸素摂取量と乳酸性閾値—加齢

- に伴う変化—, 体力科学, 38: 197-207, 1989
- 7) Tanaka, H., Desouza, C. A., and Jones, P. P.: Greater rate of decline in maximal aerobic capacity with age in physically active vs. sedentary healthy women. *J. Appl. Physiol.*, 83:1947-1953, 1977
 - 8) Robinson, S.: Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeits Physiologie* 10: 251-323, 1938
 - 9) Inbar, O., Oren, A., Scheinowitz, M., et al.: Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20- to 70-yr-old men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 538-546, 1994
 - 10) 竹島伸生: 加齢と運動耐容能, 第 25 回日本医学会総会記念日本体力医学会シンポジウム, 東京, 1999 年 3 月
 - 11) Hollenberg, M., Ngo, L. H., Turner, D., et al.: Treadmill exercise testing in an epidemiology study of elderly subjects. *J. Gerontol: Biol. Sci.* 53 A(4): B259-267, 1998
 - 12) 竹島伸生: 高齢者の体力評価. 竹島伸生, 田中喜代次, 小林章雄(編) 高齢者の健康づくり—運動処方の実際と課題—, メディカルレビュー社, 東京, pp89-112, 1997
 - 13) 竹島伸生: 高齢者の乳酸性閾値ならびに最大酸素摂取量による有酸素性作業能の評価に関する研究. 愛知医科大学医学会誌. 18: 403-416, 1990
 - 14) Takeshima, N., Kobayashi, F., Watanabe, T., et al.: Cardiorespiratory response cycling exercise in trained and untrained healthy elderly: With special reference to the lactate threshold. *Appl. Human Sci.* 15: 267-273, 1996
 - 15) 小林寛道: 呼吸循環機能の年齢的推移. 小林寛道, 近藤孝晴著, 日本人のエアロビック・パワー. 杏林書院, 東京, pp80, 1982
 - 16) 武者春樹, 土屋勝彦, 田中裕之, ほか. 内科系—社会生活を送るための AT, peakVO₂ の必要最小値の提案—. *臨床スポーツ医学* 15(8):825-829, 1998
 - 17) Kash, F. W. and Wallace, J. P.: Physiological variables during 10 years of endurance exercise. *Med. Sci. Sport*, 8(1): 5-8, 1976
 - 18) Trappe, S. W., Costill, D L., Vukovich, M. D., et al.: Aging among elite distance runners: a 22-yr longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* 80(1): 285-290, 1996
 - 19) Hawkins, S. A., Marcell, T. J., Jaque, S. V., et al.: A longitudinal assessment of change in VO₂max and maximal heart rate in master athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(10): 1744-1750, 2001