

高齢者における全身持久性評価法の検討

— 400m 歩行テストの有効性 —

芳賀脩光*・衣笠 隆**・仲真 迅***・十枝内厚次****・
宮崎裕美****・岩下太郎*****・伊藤 稔*****・
渡部和彦*****・佐藤祐造*****・大野秀樹*****

Study on Assessment of Physical Endurance in Older Persons — Availability of 400-m Walking Performance Test —

Shukoh HAGA*, Takashi KINUGASA**, Hayashi NAKAMA***, Koji TOSHINAI****,
Hiromi MIYAZAKI****, Taro IWASHITA*****, Minoru ITOH*****,
Kazuhiko WATANABE*****, Yuzo SATO***** and Hideki OHNO*****

Summary

Few studies have evaluated physical endurance as measured by a walking performance test. We investigated a 400-m walking test which indirectly assesses physical endurance in older people. In Study I, fifty-three healthy subjects aged 67.8 ± 0.7 years performed an incremental treadmill walking test, and a 400-m walking test. The RPE 11 (fairly light) level by the Borg scale was regarded as the exercise intensity during the 400-m walking test. Mean values of $\text{pred.}\dot{V}O_2\text{max}$ and $\dot{V}O_2\text{@VT}$ were 25.8ml/kg/min and 14.4ml/kg/min (56.5%pred. $\dot{V}O_2\text{max}$), respectively. There were

-
- * 筑波大学体育科学系
Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
 - ** 筑波大学医療技術短期大学部
College of Medical Technology and Nursing, University of Tsukuba
 - *** 沖縄健康増進センター
Okinawa Health Promotion Center
 - **** 筑波大学体育科学研究科
Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
 - ***** 熊本県立保育大学校
Prefectural Preschool Teacher College of Kumamoto
 - ***** 京都大学
Kyoto University
 - ***** 広島大学教育学部
Faculty Education, Hiroshima University
 - ***** 名古屋大学総合保健体育科学センター
Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, University of Nagoya
 - ***** 杏林大学医学部衛生学
Department of Hygiene, Kyorin University

significant correlations between the performance time in the 400-m walking test and pred. $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r = -0.654$; $p < 0.001$) and $\dot{V}O_2@VT$ ($r = -0.685$; $p < 0.001$). There was also a significant correlation between pred. $\dot{V}O_2\text{max}$ and $\dot{V}O_2@VT$ ($r = 0.732$; $p < 0.001$). The respiro-circulatory responses during the 400-m walking test were 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ and 55% HRreserve. These values were within the exercise tolerance capacity and safety range of the subjects. There was a significant correlation ($r = 0.784$, $p < 0.001$) in the reliability between the 1st and 2nd walking times in the 400-m walking test. In Study II, the 400-m walking time significantly increased with age. The walking times were grades are: I, Very good (under 250 sec); II, Good (250-270 sec); III, Fair (271-300 sec); IV, Poor (over 301 sec). The fast walking subjects (levels I, II and III) had a significantly high TMIG index. These results suggest that the 400-m walking test is useful for assessing physical endurance, and reflects the performance capacity of daily life in older persons.

Key words: the aged subjects, 400-m walking test, performance time, pred. $\dot{V}O_2\text{max}$, $\dot{V}O_2@VT$, TMIG index

I. 緒言

高齢者が自立した生活を長く送るためには、知的能力の維持と共に、介護なしで生活できる基礎的身体機能、すなわち、日常生活活動能力を有していることが条件である。高齢者の日常生活で多用される行動様式は歩行であり、歩行が困難になると著しく活動量が低下し、強いては寝たきりにつながることも生じてくる。このため歩行能力は日常の活動性に大きな役割を果たすと考えられる。また、健常な高齢者において、動脈硬化予防、疾病予防、健康増進等を目的として積極的に運動を実施する場合には、特に歩行能力の良否が影響する。

今日、高齢者の歩行能の評価としては、室内における行動能としてテストする場合、巧緻性をみる立場から、5 m 歩行⁸⁾、10m 歩行¹⁵⁾等のごく短い距離の歩行をもって評価することが考えられている。しかし、生活習慣病の予防・治療、健康づくり運動、あるいはスポーツ参加等の場合は、健康関連体力要因として、比較的長い距離を歩く全身持久性が要求される。一般に、全身持久性指標の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) は、高齢者の場合、過激な生理的ストレスを与えるために危険を伴い、安全性が懸念される。このため高齢者の全身持久性の評価法としては高齢者の歩行能力、すなわち、最大下運動時のテストから検討されている。これまでの報告では自由速度による12分間歩行テスト²¹⁾、1マイル歩行^{2, 16)}、ハーフマイル歩行⁶⁾、およびシャトルスタミナウォークテスト¹⁴⁾などが提案されている。また、文部省¹³⁾

は1998年、60分の1/10という時間設定で自由速度による6分間歩行を発表した。この6分間歩行は約1時間続けて歩ける速さで歩いた時の歩行距離(10倍すると時速が換算できる)を測定するものである。しかしながら、これらの諸法の中で最大酸素摂取量との検討や高齢者の心脈管系における運動耐容能から検討しているものはほとんどない²¹⁾。

筆者たち¹⁰⁾は、高齢者の全身持久性をみる場合、体力水準が低位にある者、高齢後期にある者、潜在性疾患を有している者を含むことが多く、全身持久性テストの実施が実際に可能なかどうか十分検討が必要であることから、健常高齢者の運動耐容能、および歩行の限界と安全範囲について検討してきた。その結果、高齢者で安静時の心電図や血圧に異常がなく、一見健常に見られる場合であっても、運動負荷試験をおこない70% HRreserve レベルに達すると血圧や心電図に何らかの潜在的所見が生じる可能性があることを指摘してきた¹⁰⁾。従って、高齢者の歩行の安全範囲は最大でも60~65% HRreserve であるを結論としている¹⁰⁾。高齢者の全身持久性を評価するテスト法の開発は加齢によって身体機能に個人差が大きく、運動負荷に対する心臓脈管系破綻の危険を生ずる可能性も大であることを考慮し、生理学的、医学的な根拠に基づいたうえで、より正確に、より安全に、より容易におこなわれるテスト法でなければならない。本研究は健常高齢者の全身持久性を評価するものとして、400m 歩行を試作し、その妥当性を高齢者の生活機能を含めて検討しよう

高齢者における全身持久性評価法の検討

とするものである。すなわち、本研究は「研究Ⅰ：高齢者の年齢別予測最大酸素摂取量 (pred. $\dot{V}O_2\text{max}$)、換気性閾値時酸素摂取量 (VT@ $\dot{V}O_2\text{max}$) と400m歩行時の生理的応答、およびパフォーマンスタイムとの検討」と「研究Ⅱ：高齢者の生活機能と400m歩行テストの有効性」から構成している。本研究Ⅰの目的は、高齢者の pred. $\dot{V}O_2\text{max}$ と VT@ $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定すると共に、健康高齢者の全身持久性評価のために400m歩行テストを試案し、Borg⁴⁾の指標から運動強度が平易で、“きついということや不快感を全く感じない、普通に実施できる (RPE11)” 範囲における歩行時の生理学的反応およびパフォーマンスタイムとの関係を検討し、全身持久性の評価法として400m歩行テストの有用性を検討するものである。

また、高齢者を対象とした体力テストの場合、日常生活を遂行する生活機能を含めて評価することが重要である。今日、高齢者の全身持久性と生活機能との関係を検討した報告は全くないことから、すなわち、本研究Ⅱでは高齢者の生活機能を評価する指標として、Lawton¹⁸⁾の能力に関するモデルに準拠して、手段的自立、知的能動性、社会的役割を評価できるように開発された老研式活動能力指標¹⁷⁾を用い、生理的、医学的根拠に基づいた400m歩行のパフォーマンスタイムと生活機能との関連をあきらかにすることにより、400m歩行テストの有効性を検証することを目的とした。

Ⅱ. 方法

研究Ⅰ：健康高齢者の年齢別予測最大酸素摂取量 (pred. $\dot{V}O_2\text{max}$)、換気性閾値時酸素摂取量 (VT@ $\dot{V}O_2$) と400m歩行時の生理的応答、およびパフォーマンスタイムとの検討

1. 被検者

はじめに、高齢者を対象として無作為に応募を募り、十分に本実験の主旨を説明し、承諾を得た103名について安静時医学検査を実施した。この中で特に重篤な疾患を示さず、正常と判定された者についてトレッドミル歩行による運動負荷試験を実施し、その結果、運動(歩行)が十分可能と判定された健康な男女53名(男性17名・女性36名)を対象とした。それ以外の心電図異常(22名)、高血圧(9名)、膝関節痛および腰痛(7名)、肥満(4名)、感冒(4名)負荷テスト当日の欠席(4名)の50名は除外した。被検者の身体特性をTable 1に示した。被検者の年齢は 67.8 ± 0.7 歳、身長は 154.9 ± 0.9 cm、体重は 55.8 ± 1.2 kgであった。BMIは 23.3 ± 0.5 、%Fatは $23.2 \pm 1.2\%$ であった。

2. 形態および安静時の循環器系の測定

形態は身長、体重を測定し、肥瘦度 (body mass index: BMI = 体重(kg) / 身長²(m)) を算出した。体脂肪率 (%Fat) は皮下脂肪厚計を用いて上腕三頭筋中央部 (T: mm) と肩甲骨下部 (S: mm) の皮下脂肪厚を測定し、Nagamine and Suzukiの式¹⁹⁾から体密度 (body density: D) を算出し、Brožekたち⁵⁾の式に代入して体脂肪量を求めて算出した。

Table 1. Physical characteristics and pred. $\dot{V}O_2\text{max}$ of subjects

	n=53
Age (years)	67.8 ± 0.7
Height (cm)	154.9 ± 0.9
Weight (kg)	55.8 ± 1.2
BMI (kg/m ²)	23.3 ± 0.5
% Fat (%)	23.2 ± 1.2
restHR (beats/min)	65.7 ± 1.6
restSBP (mmHg)	131.7 ± 2.4
restDBP (mmHg)	73.0 ± 1.5
pred. $\dot{V}O_2$ max (ml)	1437.9 ± 36.3
pred. $\dot{V}O_2$ max/weight (ml/kg/min)	25.8 ± 0.4

Values are means \pm S.E.

$D=1.0913-0.00116(T+S)$: 男性

$D=1.0897-0.00133(T+S)$: 女性

$\%Fat=(4.570/D-4.142)\times 100$

安静時の心電図は被検者を仰臥位にし、胸部12誘導により心電図を記録した。血圧は座位にて安静を十分とった後、水銀式血圧計を用い、聴診法により収縮期血圧 (SBP) と拡張期血圧 (DBP) を測定した。

3. 運動負荷試験

1) 負荷法

運動負荷試験としてトレッドミル歩行を実施した。斜度は0度に固定し、30m/min からスタートし、1分毎に10m/min ずつ増加させる速度負荷漸増法を用いて、先に筆者たちが報告した方法¹⁰⁾に従って運動中止条件に達するまで行った。

2) 測定方法

運動中のガス交換パラメーターの測定は breath-by-breath 法 (AE-280, ミナト医科学社) で行った。心拍数は記録した心電図からその値を求め、1分間値に換算した。血圧は自動血圧測定装置 (STBP-780, コーリン社) を用い、左上腕部より1分毎に測定した。RPE は Borg⁴⁾ の指標を用いて1分毎に問診した。

3) 年齢別予測最大酸素摂取量 (pred. $\dot{V}O_2max$) の測定

pred. $\dot{V}O_2max$ の測定は運動中における心拍数 (HR) と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の関係から、各被検者毎に最小2乗法により $HR-\dot{V}O_2$ の回帰式を求め、220-年齢から求めた心拍数を最高心拍数 (HRmax) と仮定し、回帰式に代入して求めた値を pred. $\dot{V}O_2max$ とした。

4) 換気性作業閾値 (ventilatory threshold: VT) の決定

ガス交換パラメーターの変化から、VT を求めるための方法としては、1) $\dot{V}CO_2$ に対する換気当量 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) の増加を伴わずに $\dot{V}O_2$ に対する換気当量 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) の急激な増加がみられる時点⁷⁾、2) V-slope 法: $\dot{V}CO_2$ を y 軸、 $\dot{V}O_2$ を x 軸にとり、 $\dot{V}O_2$ に対して $\dot{V}CO_2$ が非直線的に上昇を開始する時点³⁾ の2つの指標を用いた。

4. 400m 歩行テスト

1) 400m 歩行テスト設定の仮説

400m という距離の設定は、運動生理学的に3分以上の時間は有酸素的作業時間であること、筆者たち⁹⁾は歩行テスト中の $\dot{V}O_2$ および HR は300m 付近 (2分30秒~3分) からおおよそ定常状態を示すこと、また、Himann たち¹¹⁾による歩行速度から、高齢者の400m 歩行の所要時間を求めるとおおよそ4分となることが推定される。すなわち、400m 歩行は高齢者を対象として最短時間にして呼吸循環機能の適応や代謝過程が十分な有酸素性機構の中で行なわれるという仮説を立て、本研究における試案として400m 歩行テストを設定した。運動強度については、被検者には競争ではなく自分のペースで歩くことを十分に告げ、主観的運動強度の目安として“きついということや不快感を全く感じない、普通に実施できる (RPE11)”と感じられる程度の速度で歩くように指示し、400m を歩行させた。

2) 測定項目

歩行中における呼気ガスの測定は各被検者に携帯用4ch記録装置 (mac QUARTO VM4-064, ヴァイン社) を用いた breath-by-breath 法で行なった。HR は胸部双極誘導 (V5) による心電図法により記録して求めた。BP は携帯型自動血圧計 (TM-2421, エー・アンド・デイ社) を用い、歩行前、歩行中2分毎および歩行終了後に測定した。血中乳酸値は、簡易乳酸測定器 (アクスポーツ, ベーリンガー・マンハイム社) を用いて、歩行前後に指尖より血液を採取し、自動分析を行なった。RPE は100m 毎の時点で問診した。400m 歩行時間はストップウォッチで計測した。

5. 統計処理

本研究では男女のデータを合わせて分析し、各変数の測定結果は平均値±標準誤差 (mean±S.E.) で表した。各変数間の関係はピアソンの単相関分析を用い、また平均値の差の検定はt検定を用いてそれぞれ統計処理を行なった。400m 歩行時間の分布の正規性をみるために χ^2 検定をおこなった。統計処理の有意水準はそれぞれ5%未満とした。

研究Ⅱ：高齢者の生活機能と400m歩行テストの有効性

1) 被検者、および400m歩行テストおよび老研式活動能力指標調査の実施

在宅に有り、自立した日常生活を送っている一般高齢者に募集を呼びかけ、112名が応募したが、このうち14名が高血圧を示したため除外した。従って参加者は60歳代から80歳代にわたって男性：39名、女性59名、合計98名が参加した。

2) 方法

被検者は研究Ⅰに示した同様の方法で400m歩行テストを実施した。また、研究Ⅱでは参加者全員に生活機能として老研式活動能力指標調査¹⁷⁾を実施した。老研式活動能力指標は地域に在住する高齢者の生活機能を評価するために考案された指標であり、手段的自立、知的能動性、社会的役割の3つの下位尺度からなる13項目で構成する尺度である。各項目に対し、「はい」を1点、「いいえ」を0点とし合計得点（満点13点）を算出した。老研式活動能力指標の満点の者とそれ以外の者を比較した。

研究Ⅰの結果

1. 運動負荷試験の結果

pred. $\dot{V}O_2$ max は1437.9±36.3ml/minであり、体重当りにすると25.8±0.4ml/kg/minであった（Table 1）。Table 2にVT時の各測定項目を示した。本研究のVT時の各測定項目（ $\dot{V}O_2$ @VT, HR@VT, SBP@VT, DBP@VT, RPE@VT）はVTポイントが明確に示された26名のデータを示した。 $\dot{V}O_2$ @VTは818.1±25.8ml/min、体重当りでみると14.4±0.2ml/kg/minであり、これはpred. $\dot{V}O_2$ maxの56.5±

1.2%に相当する。またHR@VTは110.5±1.7beats/minであり、これはHRmaxの71.6±1.1%および%HRreserveの50.6±1.9%に相当した。SBP@VTおよびDBP@VTはそれぞれ173.9±4.2mmHg, 96.2±1.8mmHgであった。RPE@VTは11.4±0.3であった。

2. 400m歩行テストの結果および変数間の関係

pred. $\dot{V}O_2$ maxと400m歩行時間、および $\dot{V}O_2$ @VTと400m歩行時間との相関関係はそれぞれ $r = -0.654$ （回帰式 $y = -0.066x + 44.894$, Fig. 1）, $r = -0.685$ （回帰式 $y = -0.026x + 22.046$, Fig. 2）であり、ともに0.1%水準の高い相関を示した。pred. $\dot{V}O_2$ maxと $\dot{V}O_2$ @VTの関係においても $r = 0.732$ （回帰式 $y = 0.301x + 6.716$ ）, 0.1%水準の高い相関があった。年齢はいずれの項目とも相関がなかった。

歩行時の $\dot{V}O_2$ の変化をのべると、歩行開始から150m付近まで急速に上昇し、その後の250mまではごくわずかに漸増し、それ以後は約15ml/kg/minの値を一定に推移した。また% $\dot{V}O_2$ maxでみると250m地点の60% $\dot{V}O_2$ maxからほぼ一定の値を示した。HRの変化も $\dot{V}O_2$ と同様に歩行開始から150m付近までは急激に上昇し、その後は150~250mまでは約110beats/minを推移し、それ以後は113beats/min（75%HRmax, 55%HRreserve）で一定を示した。SBPの変動は平均値で示すと安静時131mmHgを示したが、運動開始から2分後には174mmHgと有意な上昇を示し、4分後では177mmHgとほぼ同じ値を示した。運動直後は157mmHgに低下した。DBPは安静時72mmHgから2分後77mmHgに増大したが、4分後は76mmHgとほとんど同一の値を示し

Table 2. Cardiorespiratory parameters and RPE at ventilatory threshold

	n=26
$\dot{V}O_2$ (ml/min)	818.1±25.8
$\dot{V}O_2$ /weight (ml/kg/min)	14.4±0.2
% $\dot{V}O_2$ max (%)	56.5±1.2
HR (beats/min)	110.5±1.7
%HRmax (%)	71.6±1.1
%HRreserve (%)	50.6±1.9
SBP (mmHg)	173.9±4.2
DBP (mmHg)	96.2±1.8
RPE	11.4±0.3

Values are means±S.E.

た。運動後には速やかに安静時値に復した。運動後の血中乳酸値は安静時1.45mmol/lから2.34mmol/lと有意な上昇を示したが、その値は4.0mmol/lの59%に相当する値でしかなかった。RPEは歩行中10~11の間を推移した。

3. 400m 歩行時間の分布

400m 歩行時間分布は、 χ^2 検定を行なったところ、5%水準で有意な差がみられなかった ($\chi^2=0.88$, $df=3$) ので、分布の正規性が認められた。

4. 400m 歩行テストの再現性

被検者56名のうち38名を対象として400m 歩行テストの再現性を検討した。その結果、1回目と2回目の間に $r=0.784$ の有意な相関がみられた。

研究Ⅱの結果

400m 歩行時間の年齢に対するピアソンの相関係数は $r=0.298$ で有意であった ($P<0.01$)。400m 歩行時間の年齢に対する回帰式は $Y=173.623+1.365x$ であった。

400m 歩行時間の年齢、性、活動能力による相違

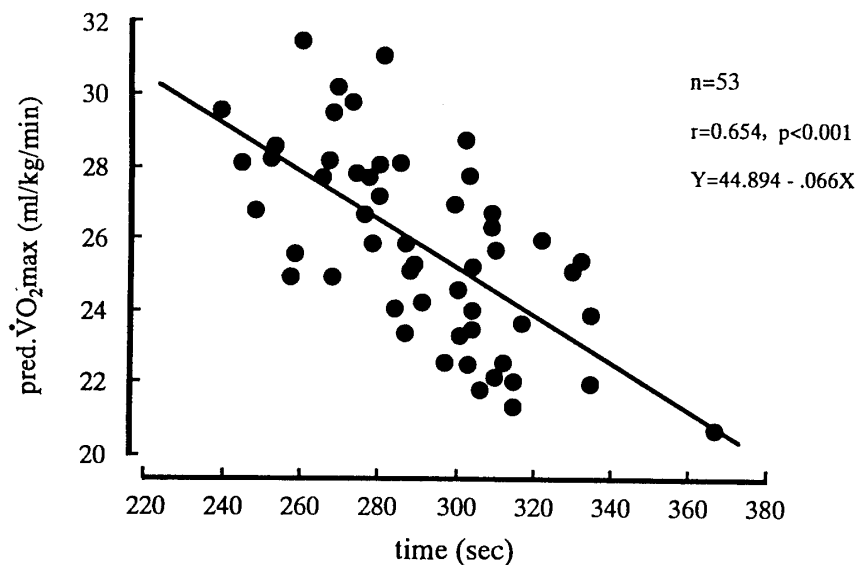


Fig. 1. Relationship between predicted maximal oxygen intake and performance time of 400-m walking test in older subjects.

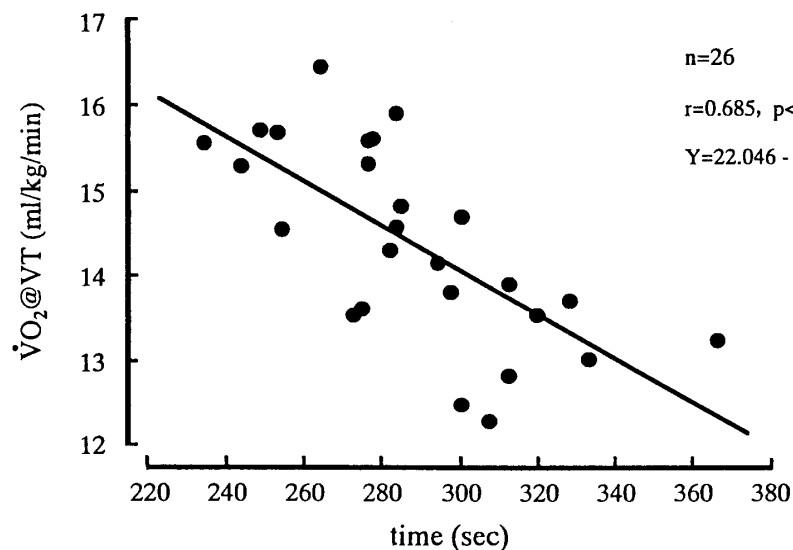


Fig. 2. Relationship between oxygen intake at ventilatory threshold and performance time of 400-m walking test in older subjects.

高齢者における全身持久性評価法の検討

を明らかにするためには、3要因（年齢群*性*活動能力）の分散分析を行った。年齢群は前期高齢者（60-74歳）と後期高齢者（75歳以上）の2群に分類（Table 3）し、各々男性と女性別に示した。400m歩行時間は前期高齢者が後期高齢者に対し男女共に所要時間が少なく、平均値では269.3秒および279.5秒を示し、有意な差を示した（ $F(1,90)=4.22$, $p<0.05$ ）。老研式活動能力指標で満点者（Full mark）と非満点者（Not full mark）の2群に分類した（Table 4）。その結果、前期高齢者、後期高齢者共に満点者の400m歩行時間は非満点者に比較し、短い時間であり、全体の平均時間では270.3秒を示し有意な差であった（ $F(1,90)=6.99$ $p<0.05$ ）。以上をまとめると、加齢とともに400m歩行時間は有意に増加した。しかし、400m歩行時間は性別によって差はなかった。また、活動能力指標の満点者は400m歩行時間が短い。一方、400m歩行時間に対する年齢群、性、活動能力間のいかなる交互作用も有意ではなかった。従って、400m歩行時間は加齢変化と生活水準を反映する指標であることが示唆された。

400m歩行時間を実用に供するために、評価基準

を作成した。評価基準は被検者の400m歩行時間の平均値を中心にプラス、マイナスの1標準偏差で区切り、4段階（Ⅰ～Ⅳ）に分類した。すなわち、「Ⅰ」非常に良い：250sec以下、「Ⅱ」良い：251～270sec、「Ⅲ」平均的：271～300sec、「Ⅳ」悪い：301sec以上であった。Table 5は400m歩行時間の基準値と活動能力指標の満点者の割合を示した。評価基準「Ⅰ」から「Ⅳ」になるに従い、活動能力指標の満点者の割合が低下することが示された。特に、高齢者後期「Ⅳ」では400m歩行時間が長く、活動能力指標の満点者は44%となり、自立した生活が困難な状態であることが示唆される。

Ⅳ. 論議

高齢者が自立した日常生活を営むために不可欠な行動様式は、身体の移動ということから歩行があげられるが、積極的に社会生活を送り、かつ、生活習慣病予防、健康増進をはかる場合などは特に、歩行能力は全身持久性運動であることから健康関連体力の要素として最も重要である。しかし、全身持久性を歩行能でみるパフォーマンステストとして検討するにあたっては、生理的機能、体力、老化度の個人

Table 3. Means and standard deviations (SD) of 400-m walking test according to gender and age group

Years of Age	Age Group					
	young-old 60-74			old-old 75over		
	n	mean	SD	n	mean	SD
men	21	267.8	29.8	18	280.6	25.6
women	32	270.3	23.1	27	278.8	24.8
Total	53	269.3	25.7	45	279.5	24.9

Table 4. Means and standard deviations (SD) of 400-m walking test for those who have full mark in the TMIG Index of Competence, and those who do not have, according to age group

Years of Age	Age Group						Total		
	young-old 60-74			old-old 75over					
The TMIG Index of Competence	n	mean	SD	n	mean	SD	n	mean	SD
Full mark	43	267.5	25.2	33	273.8	22.6	76	270.3	24.2
Not full mark	10	277.1	27.6	12	295.2	24.8	22	287.0	27.1

TMIG index: Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology Index

Table 5. Assessment classification on 400-m walking test

400m walking test time (sec)	Total			Age Group					
				young-old 60-74			old-old 75over		
	n	n	%	n	n	%	n	n	%
I (≤ 250)	18	16	89	13	11	85	5	5	100
II (251-270)	27	23	86	14	12	86	13	11	85
III (271-300)	39	30	77	21	17	81	18	13	72
IV (≥ 301)	14	7	50	5	3	60	9	4	44
Total	98	76	78	53	43	81	45	33	73

差が極めて大きい高齢者が参加するものであり、距離が長すぎても、また強度が高すぎてもリスクは大きくなる。このため、最大下レベルの安全範囲にある強度でテストに参加できるようにすることが要点である。本研究では在宅にあり、日常生活において自立した行動が可能であり、介護、看護の範囲にない、いわゆる、健全な高齢者の全身持久性をより至適で、より安全に、簡便かつ短時間で測定する方法として、400m 歩行テストを試案し、安全性およびその妥当性について、また、400m 歩行テストと生活機能についてを検討するものである。

高齢者体力テストとして、わが国ではシャトルスタミナウォークテスト¹⁴⁾や6分間¹³⁾や12分間²¹⁾の歩行から全身持久性を評価する試み等が報告されている。しかし、距離や時間の設定についての生理学的、医学的根拠はなく、12分間歩行の場合でも、 $\dot{V}O_2\max$ との相関関係はなく、かつHRは男性高齢者で77%HRmax、女性高齢者で83%HRmaxと特に高くなることが指摘されている²⁰⁾。通常テストを行なう場合、一般高齢者が必ずしも全て健全高齢者とは限らず、心機能への負担が大きくなる可能性もある、また時間的に長すぎれば歩行が完遂できない、といった問題点が生じる。

本研究において、初めに400m 歩行テストにおける距離の設定理由についてはすでに方法の項で示したが、3分以上の作業時間は有酸素的作業時間であることと、これまでの筆者たち⁹⁾、Himann たち¹¹⁾の結果から、歩行テスト時の $\dot{V}O_2$ はおおよそ300m (2分30秒~3分) のところから定常状態に達するので、高齢者に換算した場合、歩行時間はおよそ4分程度になることを推定し、400m 歩行のテストが最も短時間で全身持久性を評価できる距離と仮定し

て設定した。

はじめに、高齢者を対象とした400m 歩行中の心脈管系応答による生体負担への程度と運動強度の至適性およびテストの安全性について検討する。筆者たち¹⁰⁾はトレッドミル運動負荷試験のエンドポイントから日常生活において自立している高齢者の歩行の安全範囲を60%pred. $\dot{V}O_2\max$ 以下、60%HRreserveレベルとしており、70%HRreserveに達すると血圧や心電図に何らかの潜在的所見が観察され、あるいは心機能に多大な負荷が生じる可能性があることを指摘してきた。本研究における歩行テストの速度の指示については、安全面を考慮し、心理的に安心感の高い至適な速度で行なえるように、感覚的に“きついということとは全く感じない、普通に実施できる(RPE11)”と感じられる程度の速度で歩行するように指示した。400m 歩行中のRPEは10~11で推移した。これはほぼ意図した通りの結果であり、被検者は精神的にも身体的にも大きな負担にならなかったことを示すものである。筆者たちの研究⁹⁾において、文部省壮年体力テストにおいて中年を対象として用いられている1500m 急歩の安全性を心臓脈管系の反応から検討すると、このテストは後半の心拍数が160~180beats/minを示し、最大運動レベルに近い。またST降下を発現することも観察した。高齢者においては自由歩行による12分間の歩行テスト²¹⁾を実施した直後のRPEは12~18の広い範囲に分散しており、被検者によっては高齢者の安全範囲を越えた過度の運動強度でテストが実施されることが考えられる。筆者たち¹⁰⁾は一見健全にみえる高齢者でもHR125~135beats/minレベルに達すると心電図異常や血圧の急激な上昇をみたことからみれば、RPE13以上の運動は自由歩行といえども極めてリス

高齢者における全身持久性評価法の検討

クが高いと考えている。また「できるだけ速く」歩くように指示した1マイル歩行テスト²⁾ではRPEは平均14.5を示し、74% $\dot{V}O_2\max$, 91% HRmax, 81% $\dot{V}E\max$ の高強度になることが報告されており、体力レベルが低い高齢者にとっては、このような指示でおこなわれた場合、呼吸系や心脈管系、また精神的にも負担が大きく、かつ危険性が非常に高い。本研究の400m歩行中の $\dot{V}O_2$, HRは運動開始と同時に上昇するが、300m地点からそれぞれおよそ15ml/kg/min, 113beats/minで定常状態を示した。これらの値は60%pred. $\dot{V}O_2\max$, 55~60%HRreserveに相当するものであった。本研究における歩行テストの結果は、先に示した高齢者の運動耐容能の安全範囲内¹⁰⁾にあった。高齢者のSBPは運動中青年や中年者よりも一段と増高しやすく²²⁾, HRよりもBP値の変動をもって酸素補給の要求に応えようとする生理的反応機序が顕著に現れやすい²³⁾ということから、BPにも十分な検討が必要である。本研究におけるBPの応答については、SBPは安静時131mmHg (Table 1)であったが、歩行開始2分後174mmHg, 4分後には177mmHgと定常状態を示し、その値は180 mmHg以下のレベルであった。DBPは安静時の73mmHg (Table 1)と比較しても著明な変化はなく、歩行終了後も大きな変化はなかった。すなわち、SBPの反応は運動によって生ずる循環血液量の増大によるものであるが、臨床上からも生理的なBP増大であり、かつ正常範囲内にある。本研究においては、アメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine: ACSM)¹⁾で推奨されている運動中止ポイント (250/120mmHg以上)に達する者は1名もみられなかった。また、血中乳酸値の変動をみると、運動後2.34mmol/lと有意な上昇を示したが、乳酸性作業閾値としての限界点であるOBLAの4.00mmol/lと比較するとその59%にしか相当しない、十分に有酸素運動の範囲内であったと考えられる。このことは歩行テスト中のpred. $\dot{V}O_2\max$ やHR, およびBPが運動負荷試験においてみられた換気性作業閾値 (VT) 時の値 (Table 2) とほぼ同レベルであったことを示している。VT以下の運動ではカテコラミンの有意な増加はないが、VT以上の強度では無酸素性運動となり、血圧応答が指数的に増加する可能性が指摘されている²⁴⁾。従って、高齢者においては例え健常者であっても、VTを越える運動を行なわせることは運動の危険性から適切

でない。この点からも本研究の400m歩行テストにおいて指示した歩行運動の強度は主観的に適切で、VT付近の強度で定常状態を示し、%pred. $\dot{V}O_2\max$, %HRreserve, SBP, DBP, 乳酸値からみても、高齢者の持久性をみるのに最適なものであり、同時に、安全性が非常に高いと判断される。

また、本研究の結果から、400m歩行テストの全身持久性評価法としての妥当性を検討すると、有酸素的作業能としてのpred. $\dot{V}O_2\max$, および有酸素的最大の運動指標としての $\dot{V}O_2@VT$ と歩行時間との関係は、それぞれ $r = -0.654$ ($p < 0.001$), $r = -0.685$ ($p < 0.001$)と高い水準で有意な相関を示し、その妥当性が示された (Fig. 1, Fig. 2)。すなわち、400m歩行テストは最大下の運動強度からみても有酸素的作業能として $\dot{V}O_2\max$ と同様に全身持久性を示す最適な評価法であると考えられる。 $\dot{V}O_2@LT$ は絶対値でも、相対値でも骨格筋の遅筋線維の占める割合と有意に相関し、おそらくミトコンドリアの量 (content) や酵素活性の影響から、骨格筋の酸化能力を反映し、同時に実測の $\dot{V}O_2\max$ と高い相関が報告¹²⁾されている。本研究においてもpred. $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2@VT$ は $r = 0.732$ ($p < 0.001$)の強い相関を示した。従って、本研究の400m歩行テストはこの点でも高い妥当性を有するものである。

高齢者の全身持久性評価基準の作成について検討すると、400m歩行時間の度数分布について正規性の検定を行なったところ、5%水準の有意差がみられなかったので正規分布を示した。このことは本テストの評価基準作成に関しても統計上の妥当性を証明するものである。また、400m歩行テストの再現性は良好 ($r = 0.784$)であったことにより400m歩行テストは信頼性が高いと言える。したがって、これらを用いて全身持久性の評価や運動トレーニングの効果、運動処方プログラムの作成などが可能である。

研究IIでは、これまで全く報告がみられていない点について、すなわち、地域社会で自立した生活を送る一般の高齢者の全身持久性をみる評価法と高齢者の生活機能、いわゆる、老研式活動能力指標とどのような関係を有するか、また400m歩行が実用に供するかについて検討したが、RPE11レベルの強度において98名全員が完歩し、かつ、歩行後、気分の悪化や応急処置を受けたものは全くみられず、自覚的にも、他覚的にも安全な状態の中で帰途すること

ができた。すなわち、研究Ⅰにおける400m歩行時の生理的応答や研究Ⅱにおける実用に供する体力テストとしても、RPE11のレベルの自由歩行は高齢者の全身性を評価する強度として最も至適なものと考えられる。

試作した400m歩行テストは所要時間が性別に関係なく、年齢と有意な正の相関関係を示し、同時に、前期高齢者、後期高齢者別に検討しても、その相違は有意差を示した。従って、本法は老化度（加齢変化）のおおよその判定も可能であると考えられる。

また、研究Ⅱの結果から作成した評価基準（Table 5）と生活機能を評価する老研式活動能力指標との関係を検討すると、Ⅰ. 非常に良い、Ⅱ. 良い、Ⅲ. 平均的、Ⅳ. 悪いの4段階評価からみても400m歩行の所要時間が短いものほど、活動能力指標に満点者が多いことが示された。すなわち、高齢者向けに開発した本400m歩行テストは年齢、生活機能を反映し、高齢者の全身持久性を評価する尺度として有効である。

歩行テストの測定方法上の利便性について検討すると、今回の研究ではスタート地点から50m離れた場所に目印を置き、400mを歩行させたが、実際のフィールドテストの際には400mトラックを1周、または200mトラックを2周する方法、あるいは50mを4回往復する方法も考えられる。この方法は、高価な機器（例えばトレッドミル）を用いることもなく、歩行可能な高齢者であれば、個人の最大努力を引き出さず、適当な測定場所とストップウォッチさえあれば多人数を同時に測定できる。加えて、400m歩行テストは距離を一定にして時間を測定するということから、ゴール時点では測定者は一人でも対応が可能である。これに対し、6分間、12分間という時間を一定にした場合、被測定者の位置は各人によってすべて異なり、その距離の計測に時間を必要とすると共に、誤差が生じやすい。また、体育館や長い廊下を利用しての測定は雨天でも測定可能であるという簡便性が非常に大きいことも特徴である。今後、さらに高齢者の年齢層別に多人数を対象とし、より詳細な検討を進めたいと考えている。

V. 要約

高齢者が日常、自立した生活を送り、積極的に疾

病予防、健康増進をはかるための不可欠の行動様式は歩行であることから、高齢者の歩行能力、すなわち、高齢者の全身持久性を評価することは大きな意義を有する。しかしながら、高齢者の全身持久性を評価するテスト法においては、生理学的、医学的根拠に基づいた評価法が今日いまだ確立されていない。

そこで本研究では、在宅健常高齢者を対象として、研究Ⅰでは、運動負荷試験を実施し、それによる年齢別予測最大酸素摂取量（pred. $\dot{V}O_2\max$ ）、換気性閾値時酸素摂取量（ $\dot{V}O_2@VT$ ）、心拍数（HR@VT）等の諸標と400m歩行テスト時の呼吸循環機能の生理的応答から、テストの至適性、信頼性の検討、また、研究Ⅱでは高齢者の全身持久性（歩行能力）と生活機能を検討した報告は全くみられないことから、老研式活動能力指標と400m歩行テストとの関連を明らかにし、400m歩行テストの有効性を検証することを目的とした。

結果を要約すると以下の通りである。

研究Ⅰにおいて、

- 1) 高齢者を対象として、歩行強度がきついと感じられることがない通常の歩行、またはそれよりごくわずかに速い（RPE11）、最短時間にして呼吸循環機能の適応や代謝過程が十分な酸素機構の中でおこなわれるという仮説をたて試案とした。
- 2) 健常な高齢者53名（平均年齢67.8歳）を対象とした運動負荷試験の結果、pred. $\dot{V}O_2\max$ は25.8 ml/kg/min、 $\dot{V}O_2@VT$ は14.4ml/kg/minでこの値はpred. $\dot{V}O_2\max$ の56.5%に相当した。またHR@VTは110.5beats/minで71.6%HRmax、50.6%HRreserveに相当した。
- 3) pred. $\dot{V}O_2\max$ および $\dot{V}O_2@VT$ と400m歩行時間との関係は $r = -0.654$ 、 $r = -0.685$ で共に0.1%水準で高い相関を示し、その妥当性が示された。また、pred. $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2@VT$ の関係においても $r = 0.732$ 、0.1%水準で高い相関があった。すなわち、400m歩行テストは有酸素的作業能、最大下の作業能からみても全身持久性の最適な評価法である。
- 4) 400m歩行テスト時の $\dot{V}O_2$ は250m以降、15 ml/kg/minの値を維持し、一定に推移した。これはおよそ60% $\dot{V}O_2\max$ に相当した。この時のHRは113beats/minで75%HRmax、55%

高齢者における全身持久性評価法の検討

HRreserveであった。この値は運動負荷試験による $\dot{V}O_2@VT$, HR@VTの値とほぼ一致した。また、400m歩行時のSBPは180mmHg以下であり、テスト終了後の乳酸値も2.34mmol/lであり、過激な負荷ではなかった。すなわち、主観的運動強度(RPE)11レベルの400m歩行はこの点でも高齢者の運動耐容能の安全な範囲にあった。

- 5) 400m歩行テスト時間の度数分布に対し、 χ^2 検定をおこなったところ、5%水準でも差がなく($\chi^2=0.88$, $df=3$)、従って、分布の正規性が認められた。また、被検者53名のうち38名を対象として400m歩行テストの再現性を検討したところ、1回目と2回目では $r=0.784$ の有意な相関を示し、信頼性が高いことが認められた。

研究IIにおいて、

- 6) 研究Iの被検者とは別に一般在宅高齢者98名を対象とし、400m歩行テストを実施した結果、400m歩行時間は性別間において差はなかったが、年齢と共に増大し、有意な相関を示した。すなわち、老化度のおおよその判定も可能である。
- 7) 400m歩行テストを実用に供するために評価基準を4段階に作成すると、以下のように分類された。

- [I] 非常に良い: 250sec 以下
 [II] 良 い: 250-270sec
 [III] 平均 値: 271-300sec
 [IV] 悪 い: 301sec 以上

- 8) 400m歩行テストと生活機能との関連について、上記の評価基準に合わせると、400m歩行時間が速い評価I, II, IIIのレベルの者は活動能力指標に満点者が多く、歩行時間がおそいIVのレベルの者は満点者が少ない。すなわち、400m歩行テストは高齢者の生活機能を反映する持久性評価尺度として有効である。
- 9) 400m歩行テストは適当な場所とストップウォッチさえあれば多人数を同時に測定が可能であり、雨天時には体育館、廊下等でも実施することができる。また、検者においては最小限の1名でも対応できることが特徴である。

引用文献

- 1) American College of Sports Medicine (1993) Guidelines for Exercise Testing and Prescription. In American College of Sports Medicine 4th Ed., 71-77, Lea & Febiger, Philadelphia
- 2) Bazzano C, Cunningham L N, Camna G and Falconio T (1995) Physiology of 1-mile walking test in order adults. *J Aging Phys Activity* 3: 373-382
- 3) Beaver W L, Wasserman K and Whipp B J (1985) Improved detection of lactate threshold during exercise a log-log transformation. *J Appl Physiol* 59: 1936-1940
- 4) Borg G A (1973) Perceived exertion: a note on history and method. *Med Sci Sports* 5: 90-93
- 5) Brožek J P, Grande F, Anderson J T and Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition review of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci* 110: 113-140
- 6) Clark B A (1989) Tests for fitness in older adults: AAHPERD fitness task force. *JOPERD* 60: 66-71
- 7) Davis J A, Frank M H, Whipp B J and Wasserman K (1979) Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol* 46: 1039-1046
- 8) 古名丈人, 長崎 浩, 伊東 元, 橋詰 謙, 衣笠隆, 丸山仁司 (1995) 都市および農村地域における高齢者の運動能力. *体力科学* 44: 347-356
- 9) 芳賀脩光, 松浦義行, 小関 迪, 松田光生, 佐々木道子, 植屋悦男, 十枝内厚次, 岩下太郎, 稲垣敦 (1995) 中年者を対象とした全身持久性評価の方法に関する研究—全身持久性のテスト法としておこなわれている1500m急歩の妥当性と一試案とする800m急歩の検討—. *筑波大学体育科学系紀要* 18: 127-134
- 10) 芳賀脩光, 中田雅明, 岩下太郎, 佐々木道子, 中尾千登世, 小関 迪, 渡部和彦, 佐藤祐造, 大野秀樹 (1997) 健常高齢者の運動耐容能および歩行の限界と安全範囲. *日本運動生理学雑誌* 4: 105-115
- 11) Himann J E, Cunningham D A, Rechnitzer P A and Paterson D H (1988) Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc* 20: 161-166
- 12) Ivy J L, Withers R T, Van Handel P J, Elger D H and Costill D L (1980) Muscle respiratory capacity and fiber type as determinations of the lactate threshold. *J Appl Physiol* 48: 523-527
- 13) 小林寛道 (1998) 文部省新体力テスト (仮称) の選定に当たって. *日本体育学会第49回大会号測定*

- 選定に当たって. 日本体育学会第49回大会号測定評価分科会シンポジウム. 108
- 14) 木村みさか, 田中靖人, 岡山寧子 (1995) 歩行テストからみた高齢者の体力—簡易持久性評価方法シャトル・スタミナ・ウオークテストの試み—Jpn J Sports Sci 14: 435-444
 - 15) 衣笠 隆, 長崎 浩, 伊東 元, 橋詰 謙, 古名丈人, 丸山仁司 (1994) 男性 (18-83歳) を対象にした運動能力の加齢変化の研究. 体力科学 43: 343-351
 - 16) Kline G M, Porcari J P, Hintermeister R, Freedson P S, Ward A, McCarron R F, Ross J and Rippe J M (1987) Estimation of $\dot{V}O_2$ max from a one-mile track walk, gender, age and body weight. Med Sci Sports Exerc 19: 253-259
 - 17) Koyano W, Shibata H, Nakazato K, Haga H and Suyama Y (1991) Measurement of competence: Reliability and validity of the TMIG Index of Competence. Arch Gerontol Geriatr 13: 103-116
 - 18) Lawton M P (1972) Assessing the competence of older people. In: Kent D P, Kastenbaum R and Sherrod S (Eds) Research, Planning, and Action for the elderly: Power and Potential of Social Science. 122-143, Human Sciences Press, New York
 - 19) Nagamine S and Suzuki S (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. Human Biol 36: 8-15
 - 20) 太田壽城, 小林 規, 深代千代, 若山章信, 柳等, 福光隆幸, 東 卓夫, 杉浦 勉, 安野尚史, 神谷香一郎, 川村 孝, 岩塚 徹, 山根真紀 (1991) 高齢者の補講に関する研究—第1報 動的筋力および全身持久力からみた高齢者の歩行運動—スポーツ医・科学 5: 31-36
 - 21) 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) 高齢者の全身持久性評価における種々の間接法の妥当性. 体力科学 41: 295-303
 - 22) 徳田哲男, 丸山仁司, 秋山純和, 中山彰博, 池谷義道, 高島 耕 (1983) 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: 51-59
 - 23) 徳田哲男 (1986) 歩行 (基礎から臨床まで) — 3. 高齢者の歩行—理・作療法 20: 347-352
 - 24) 吉田敬義, 有働正夫, 玉木伸和, 千田 守, 市岡正彦, 江口淳一 (1989) 中高年者の適正な体力評価ならびに運動処方としての Gas Exchange Threshold. 体力研究 72: 169-179
(平成11年4月25日受付, 平成11年8月5日訂正,
平成11年9月6日受理)