

健常高齢者の運動耐容能および歩行の限界と安全範囲

芳賀脩光¹・中田雅朗²・岩下太郎³・佐々木道子⁴・中尾千登世⁵
小関 迪⁶・渡部和彦⁷・佐藤祐造⁸・大野秀樹⁹

The Healthy Older Subject's Exercise Tolerance, Limitation of Walking Capacity and its Safety Range

Shukoh HAGA¹, Masaaki NAKADA², Taro IWASHITA³, Michiko SASAKI⁴,
Chitose NAKAO⁵, Susumu KOSEKI⁶, Kazuhiko WATANABE⁷,
Yuzo SATO⁸ and Hideki OHNO⁹

Abstract

Few studies have examined walking ability in the healthy older people and their exercise tolerance as measured by an exercise test. The purpose of this study was to research healthy older subject's exercise tolerance, limitation of walking capacity and its safety range by comparing walking speed, oxygen intake and cardiac reserve.

Forty-three normal older subjects performed an incremental exercise test of walking on treadmill. These subjects were classified in three groups. The normal group (Normal-G) was those subjects who finished the test by achieving the target heart rate 85 % heart rate reserve. Blood pressure group (BP-G) was those subjects who discontinued the test at the endpoints where an excessive rise in blood pressure occurred systolic BP > 230mmHg and/or diastolic BP > 130mmHg, and the ECG group (ECG-G), whose endpoint of the test was determined by abnormal findings in electrocardiogram.

These results suggest that in the older people who have discontinued exercise because of rising blood pressure or abnormal electrocardiogram, exercise tolerance in healthy older peoples may already be limited to the level, that is, walking speed: 60m/min, $\dot{V}O_2$: 15 ~ 17ml/kg/min, 60%pre $\dot{V}O_{2max}$, HR : 70%HRreserve. Therefore, the safety range of walking in general older people will become intensities less than these levels.

In the BP-G resting SBP was significantly higher than that of the other two groups, and blood triglyceride and total cholesterol concentrations also tended to be higher in the BP-G. In the ECG-G blood sugar and %Fat were significantly higher than that of the

¹筑波大学

²筑波情報ビジネス専門学校

³熊本県立保育大学校

⁴山野美容芸術短期大学

⁵名古屋大学大学院医学研究科

⁶筑波記念病院

⁷広島大学教育学部

⁸名古屋大学総合保健体育科学センター

⁹防衛医科大学校

¹Institute of Health and Sports Science, University of Tsukuba

²Tsukuba Information Business School

³Prefectural Preschool Teacher College of Kumamoto

⁴Yamano College of Aesthetics

⁵Graduate School of Medicine, University of Nagoya

⁶Tsukuba Memorial Hospital

⁷Faculty Education, Hiroshima University

⁸Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, University of Nagoya

⁹Department of Hygiene, National Defence Medical College

other two groups. These results indicate that older subjects with abnormal blood pressure or electrocardiogram in an exercise test may have the risk factors of increased body fat, blood adipose tissue or blood sugar.

Key words: healthy older people, exercise tolerance, walking capacity, oxygen intake, cardiac reserve

I. 緒言

人間は加齢に伴い、高齢期にあつては身体的および生理的予備能力、体力水準、トレーニング能力、疾病からの回復力などの機能低下に加え、社会的活動の場も減少し、日常生活の質（Quality of Life: QOL）の低下が必然的に大きくなる。このような中で、「健常高齢者の健康」とは、年齢が進んでも人間としての英知を有していること、また日常生活が他人からの介助なしに独立して行動できることが基本的な条件である¹⁹⁾。高齢者は老化と共に動作が緩慢になるがこれは若年者と比較し、反応時間の遅延、神経の伝達速度の低下²⁷⁾、さらに除脂肪体重の減少、タイプII筋線維の萎縮、運動単位の減少、運動ニューロンの低下、小脳の機能低下、関節の柔軟性低下⁸⁾などがあげられている。しかし、高齢者の場合、特に高強度の持久性運動や筋力が必要なものではなく、むしろ高齢者の生理的機能や運動能力、または高齢者や各種の障害者の基礎的生活能力の程度をみる日常生活活動能力（Activity of Daily Living: ADL）が重要な指標である。この中で、歩行は最も基本的な動作で、日常生活で多用される運動様式である。しかも歩行が困難になると高齢者の活動は極端に阻害され、社会的能力の低下が生じる³¹⁾。このため高齢者の体力を高め、QOLを高めるためには歩行能力が強く影響する。しかしながら、高齢者の歩行はキック力¹⁴⁾やけり出し力が弱く、同時にけり出し時間が長いことが知られている³³⁾。加齢によって歩行速度が低下し始める年齢は男女共に62歳で、それ以後の平均速度の低下率は10年間に男性16.1%、女性で12.4%になることが知られている⁸⁾。我が国では若年者の平均歩行速度は78m/minであるのに対し、高齢者の歩行速度は60m/minで、この速度を維持できない高齢者は約50%認められることが指摘されている²⁷⁾。同様にスウェーデンでも青信号点灯時間の横断歩道速度は84m/minであるが、速歩で渡り得る高齢者は男性72%、女性32%

と少ないことが報告されている¹³⁾。日常の活動性と歩行との関係を検討した報告¹⁰⁾では、日常の活動内容から高齢者を3群に分け、健康度や日常活動習慣などについて検討した結果、自由歩行の多い高齢者ほど疾病に罹患しない、また階段の昇降が容易であることを示しており、歩行能力が日常の活動性を大きく左右することを指摘している。しかしながら、高齢者の健康状態は個人によって様々であり、日常生活において身体の生理的反応を観察したり、また、潜在的な症状を発見することは困難である。高齢者は一見健康そうにみえ、安静時に異常がなくても、日常の運動や労作時には潜在的な疾患の症状が現れてくることも少なくなく、安静時心電図に加え、負荷心電図検査が非常に重要であることが指摘されている²³⁾。また自由歩行下においては高齢者の心機能の低下は問題視されにくい³⁰⁾と述べているものもみられる。しかしながら、現在高齢者の歩行能力を運動負荷試験による運動耐容能から検討している報告はない。

従って、本研究では在宅にあり、日常生活において独立して行動ができ、特に問題を有していない高齢者で、安静時の心電図および血圧の検査において正常と判定された者を対象とし、歩行動作によるトレッドミル多段階運動負荷試験を実施し、心脈管系のエンドポイントによる症候性最大運動（symptom limited maximal exercise）からみた運動耐容能、および歩行能の限界と安全範囲について検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被検者

被検者は高齢者で在宅にあり、日常生活において自立して生活している者61名を無作為に選択し、安静時医学検査を受診し、運動（歩行）の実施が可能と判断された高齢者43名（男性8名：平均年齢74.3歳、女性：35名、平均年齢69.5歳、全体平均年齢

70.4歳)を対象とした。運動負荷試験に参加出来なかった者は心電図上有所見と判定された者7名、高血圧4名、変形性膝関節症(関節痛有り)3名、腰痛1名、肥満2名、当日感冒罹患1名の合計18名であった。実験に際しては主旨を説明し、全ての被検者から承諾を得た。

2. 形態および安静時医学検査項目

身長、体重から肥満度(BMI:Body Mass Index, 体重(kg)/身長²(m²))を算出した。身体組成は皮下脂肪厚法により、上腕三頭筋中央部(T(mm)), 肩甲骨下部(S(mm))を測定し、体密度(D:body density)はNagamine and Suzukiの式¹⁵⁾, 体脂肪量(%Fat)はBrožekたちの式²⁾より求めた。

$$\text{男性: } D = 1.0913 - 0.00116 (T + S)$$

$$\text{女性: } D = 1.0897 - 0.00133 (T + S)$$

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

安静時の心電図(ECG)および血圧(BP)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、水銀式血圧計を用い、聴診法により収縮期血圧と拡張期血圧を測定した。

3. 運動負荷試験

はじめに、運動負荷試験の数日前に実際にトレッドミル上での歩行に慣れ、また速度の漸増を体得するためにトレッドミル歩行の練習をおこなった。運動負荷試験はトレッドミルの斜度を0度とし、歩行時の負荷は2分ごとに10m/minずつ増加させる速度負荷漸増法を用いた。酸素摂取量($\dot{V}O_2$)の測定に際し、採気はダグラスバッグ法により、安静時は3分間、歩行時は毎分ごとに実施した。換気量は乾式ガスメーター、呼気の分析はベックマンガス分析器(CO₂:LB-2, O₂:OM-11)を用いた。運動中の心電図は胸部12誘導で各分の後半30秒に記録し、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(日本コーリン:STBP-780)を用い、安静時、運動中および運動後の血圧を毎分ごとに測定した。年齢別予測最高心拍数(HRmax)は「220-年齢」から算出した値とした。

エンドポイントはすでに筆者たちが報告した方法¹²⁾に従い、以下の6項目とした。

(a) 目標心拍数 $((HR_{\text{max}} - HR_{\text{rest}}) \times 85\% +$

$HR_{\text{rest}})$ に達した時

- (b) 血圧は収縮期血圧230mmHg, 拡張期血圧130mmHgを越えた時
- (c) 心電図において心筋虚血所見が有意に発現した時: 虚血性ST下降0.1mV, 上行傾斜型ST下降0.2mV, 陽性T波の陰性化の変動
- (d) 息切れ, 狭心症状, 疲労感などの自覚症状
- (e) 歩行失調, 顔面蒼白などの他覚症状
- (f) 被検者による運動中止の要請があった場合

また, %HRmax および %HRreserve は次式から求めた。

$$\%HR_{\text{max}} = (HR_{\text{EP}} / HR_{\text{max}}) \times 100$$

(HR_{EP}: エンドポイント時心拍数)

$$\%HR_{\text{reserve}} = (HR_{\text{EP}} - HR_{\text{rest}} / HR_{\text{max}} - HR_{\text{rest}}) \times 100$$

運動負荷試験の結果から、被検者43名のうち、エンドポイントの(a)を示したために運動を終了した18名をNormal群(Normal-G), (b)を示したために運動を中止した15名を血圧群(BP-G), (c)を示したために運動を中止した10名を心電図群(ECG-G)の3群に分類した。また, (d), (e)および(f)でエンドポイントとなったものは除外した。

また、本研究で用いたダブルプロダクト (PRP) は「 $HR \times SBP \times 10^{-2}$ 」で算出した。

4. 血液性状の測定項目および測定方法

赤血球(RBC), 白血球(WBC), ヘモグロビン(Hb), ヘマトクリット(Ht)を自動血球計算機法³⁾, 中性脂肪(TG)をGPO-DAOS消去法²⁴⁾, 総コレステロール(T-C)をDAOS法²¹⁾, HDLコレステロール(HDL-C)を直接・酵素法²⁵⁾, 血糖値(BC)をGOD(電極)法⁵⁾, 尿酸値(UA)をUricase-Toos法¹⁸⁾, 総蛋白(TP)をBiuret法⁶⁾, グルタミン酸オキサロ酢酸トランスアミナーゼ(GOT)およびグルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼ(GPT)をJSCC準拠法¹⁷⁾, γ -グルタミン酸トランスペプチターゼ(γ -GTP)をL- γ -グルタミル-P-ニトロアニリド法²⁶⁾により測定した。

5. 統計処理

統計の処理は、一元配置の分散分析(ANOVA)を行い、比較検定を実施した。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 被検者の身体特性

被検者の身体特性を表1に示した。結果を平均値で述べると、年齢はNormal群 70.5 ± 5.4 歳、BP群 69.9 ± 4.4 歳、ECG群 70.9 ± 5.2 歳、身長 156.7 ± 7.5 cm, 149.8 ± 3.7 cm, 149.6 ± 5.8 cm、体重 54.8 ± 6.8 kg, 50.2 ± 4.7 kg, 54.7 ± 7.0 kgであった。BMIはNormal群 22.4 ± 2.6 kg/m², BP群 22.4 ± 2.5 kg/m², ECG群 24.5 ± 2.4 kg/m²を示し、ECG群はNormal群に比べ有意に高い値であった。体脂肪率は $19.5 \pm 6.8\%$, $20.9 \pm 5.5\%$, $26.6 \pm 7.0\%$ とECG群が他の2群に比べ有意に高い値を示した。安静時仰臥位心拍数は 67.3 ± 9.3 beats/min, 67.7 ± 14.6 beats/min, 66.6 ± 8.8 beats/minであり、安静時仰臥位血圧は収縮期 129.7 ± 17.2 mmHg, 143.1 ± 15.4 mmHg, 131.4 ± 17.1 mmHgとBP群がNormal群に比べ有意に高い値を示し、拡張期は 64.9 ± 8.6 mmHg, 68.9 ± 7.1 mmHg, 67.8 ± 9.8 mmHgであった。PRPは 87.3 ± 17.2 , 97.3 ± 24.8 , 88.1 ± 19.0 、安静時椅座位酸素摂取量はNormal群 227 ± 75 ml/min, BP群 201 ± 17 ml/min, ECG群 215 ± 12 ml/minであり、ほぼ同じ値であった。

2. 安静時血液生化学的性状

血液性状については表2に示した。結果を平均値でみると、赤血球数はNormal群 $436 \pm 37 \times 10^4/\mu\text{l}$ 、

BP群 $437 \pm 36 \times 10^4/\mu\text{l}$, ECG群 $434 \pm 38 \times 10^4/\mu\text{l}$, 白血球数は $4420 \pm 1260/\mu\text{l}$, $4590 \pm 1080/\mu\text{l}$, $4010 \pm 700/\mu\text{l}$, ヘモグロビン数は 13.5 ± 1.3 g/dl, 13.3 ± 1.0 g/dl, 13.4 ± 1.0 g/dl, ヘマトクリット値は $42.3 \pm 3.9\%$, $41.2 \pm 2.6\%$, $41.6 \pm 3.7\%$ であった。中性脂肪はNormal群 99 ± 30.3 mg/dl, BP群 129 ± 61.4 mg/dl, ECG群 105 ± 57.5 mg/dlであり、有意差はなかったものの、BP群が他の2群に比べ高い傾向にあった。総コレステロールはNormal群 193.3 ± 36.2 mg/dl, BP群 218.6 ± 23.4 mg/dl, ECG群 215.8 ± 27.6 mg/dlとBP群はNormal群に比べ有意に高い値を示したが、正常範囲内であった。HDLコレステロールは 58.1 ± 11.5 mg/dl, 58.2 ± 23.1 mg/dl, 56.5 ± 13.9 mg/dlであった。血糖値はNormal群 92.4 ± 10.4 mg/dl, BP群 93.4 ± 14.3 mg/dl, ECG群 116 ± 55 mg/dlを示し、ECG群はNormal群に比べ有意に高い値を示した。尿酸値はNormal群, BP群, ECG群の順に 4.7 ± 1.0 mg/dl, 4.4 ± 1.1 mg/dl, 4.5 ± 1.0 mg/dl, 総蛋白は同様に 7.5 ± 0.4 g/dl, 7.7 ± 0.5 g/dl, 7.9 ± 0.5 g/dlを示し、いずれも正常範囲内であった。GOTは 23.4 ± 5.4 IU/I, 30.3 ± 7.2 IU/I, 31.1 ± 17.2 IU/IとBP群とECG群がNormal群に比べ有意に高い値を示したが、正常範囲内であった。GPTは 16.8 ± 5.1 IU/I, 20.7 ± 10.0 IU/I, 20.9 ± 10.3 IU/I, γ -GTPは 13.7 ± 6.1 IU/I, 12.7 ± 8.3 IU/I, 10.6 ± 5.6 IU/Iであった。

Table 1. Characteristics of subjects

		Normal-G	BP-G	ECG-G
N		18	15	10
Age	(years)	70.5 ± 5.4	69.9 ± 4.4	70.9 ± 5.2
Height	(cm)	156.7 ± 7.5 ☆☆, **	149.8 ± 3.7	149.6 ± 5.8
Weight	(kg)	54.8 ± 6.8 ☆	50.2 ± 4.7	54.7 ± 7.0
BMI	(kg/sqm)	22.4 ± 2.6	22.4 ± 2.5	24.5 ± 2.4 *
%Fat	(%)	19.5 ± 6.8	20.9 ± 5.5	26.6 ± 7.0 **, **
HRrest	(beats/min)	67.3 ± 9.3	67.7 ± 14.6	66.6 ± 8.8
SBPrest	(mmHg)	129.7 ± 17.2	143.1 ± 15.4 ☆	131.4 ± 17.1
DBPrest	(mmHg)	64.9 ± 8.6	68.9 ± 7.1	67.8 ± 9.8
PRPrest	($\times 10^3$)	87.3 ± 17.2	97.3 ± 24.8	88.1 ± 19.0
VO ₂ rest	(ml/min)	227 ± 75	201 ± 17	215 ± 12
Normal VS BP		☆☆☆	☆, *, **, p<0.05	Values means±SD
Normal VS ECG		*, **	☆☆, **, **, p<0.01	
BP VS ECG		※, ※※		

3. 運動負荷試験のエンドポイント時における心脈管系反応

運動を中止したトレッドミルの速度はNormal群79m/min, BP群56m/min, ECG群61m/minでBP群, ECG群はNormal群に対し有意に低い速度であった(図1-1)。またBP群, ECG群の速度はNormal群のそれぞれ71%, 79%に相当した。

酸素消費量($\dot{V}O_2$)はNormal群で20.0ml/kg/minであった。またBP群, ECG群はそれぞれ14.7ml/kg/min, 16.6ml/kg/minで, Normal群から求めた予測の $\dot{V}O_{2max}$ (23.4ml/kg/min) の83%, 63%, 71%であった(図1-2)。心拍数は136beats/min,

125beats/min, 124beats/min (図2-1)を示し, いずれもBP群とECG群はNormal群に比べ有意に低い値を示した。本研究の被検者の平均年齢を70歳として年齢別予測最高心拍数を150beats/minとすると, エンドポイント時の%HRmaxは, Normal群91%, BP群83%, ECG群83% (図2-2)であった。さらに, エンドポイント時の%HRreserveはNormal群84%, BP群71%, ECG群71% (図3)であり, BP群はNormal群に比べ有意に低い値を示し, ECG群もBP群とほぼ同じ傾向を示した。従って, エンドポイント時の%HRreserveはNormal群がほぼ85%の値であったのに対し, BP群, ECG群はおよそ70%であ

Table 2. Biochemical properties in blood

	Normal-G	BP-G	ECG-G
RBC ($10^4/\mu l$)	436 $\pm$ 37	437 $\pm$ 36	434 $\pm$ 38
WBC ($/\mu l$)	4420 $\pm$ 1260	4590 $\pm$ 1080	4010 $\pm$ 700
Hb (g/dl)	13.5 $\pm$ 1.3	13.3 $\pm$ 1.0	13.4 $\pm$ 1.0
Ht (%)	42.3 $\pm$ 3.9	41.2 $\pm$ 2.6	41.6 $\pm$ 3.7
TG (mg/dl)	99 $\pm$ 30.3	129 $\pm$ 61.4	105 $\pm$ 57.5
T-C (mg/dl)	193.3 $\pm$ 36.2	218.6 $\pm$ 23.4 ☆	215.8 $\pm$ 27.6
HDL-C (mg/dl)	58.1 $\pm$ 11.5	58.2 $\pm$ 23.1	56.5 $\pm$ 13.9
BS (mg/dl)	92.4 $\pm$ 10.4	93.4 $\pm$ 14.3	116.2 $\pm$ 55.3 *
UA (mg/dl)	4.7 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 1.1	4.5 $\pm$ 1.0
TP (g/dl)	7.5 $\pm$ 0.4	7.7 $\pm$ 0.5	7.9 $\pm$ 0.5
GOT (IU/l)	23.4 $\pm$ 5.4	30.3 $\pm$ 7.2 ☆	31.1 $\pm$ 17.2 *
GPT (IU/l)	16.8 $\pm$ 5.1	20.7 $\pm$ 10.0	20.9 $\pm$ 10.3
γ -GPT (IU/l)	13.7 $\pm$ 6.1	12.7 $\pm$ 8.3	10.6 $\pm$ 5.6

Normal VS BP ☆ p<0.05
Normal VS ECG * p<0.05

Values means $\pm$ SD

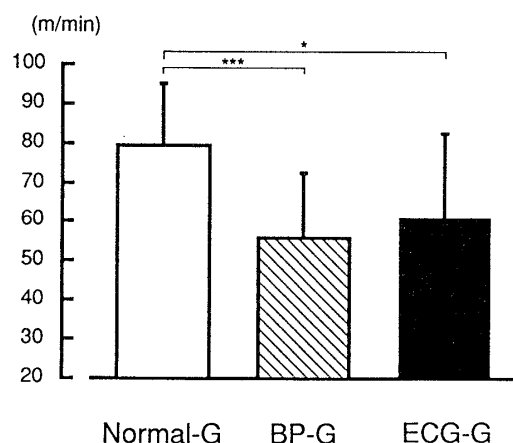


Fig.1-1 Treadmill speed at exercise test endpoints

Significance ★: p<0.05, ★★★: p<0.001

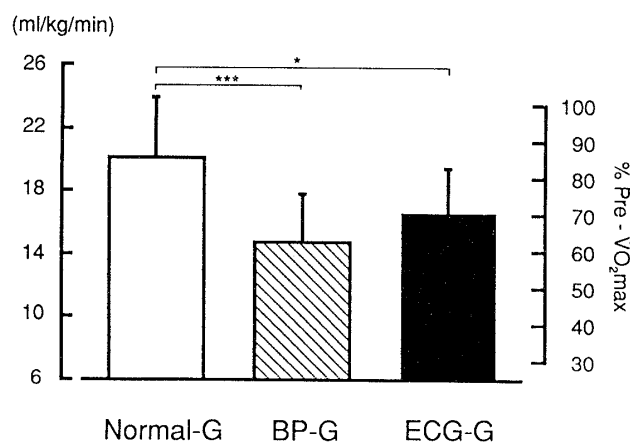


Fig.1-2 $\dot{V}O_2$ at treadmill exercise test endpoints

Significance ★: p<0.05, ★★★: p<0.001

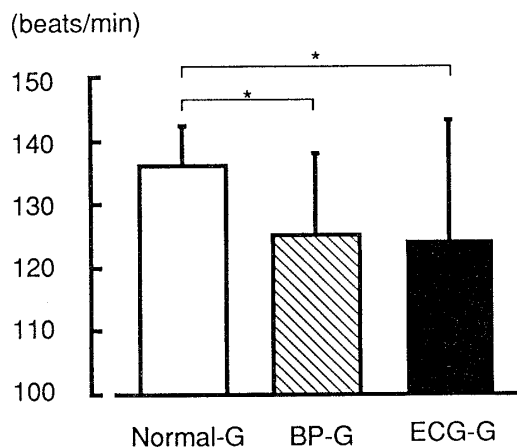


Fig.2-1 HR at treadmill exercise test endpoints
Significance ★: $p < 0.05$

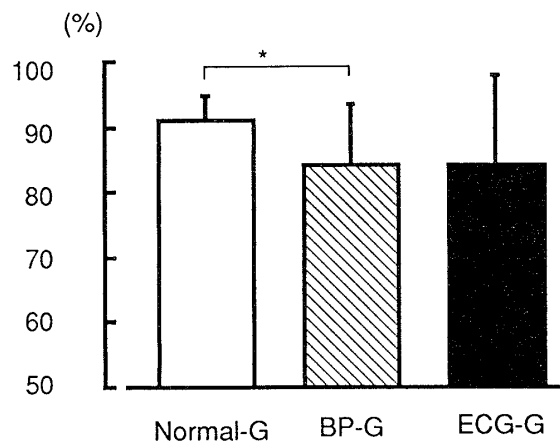


Fig.2-2 %HRmax at treadmill exercise test endpoints
($HR_{max} = 220 - \text{Age}$)
Significance ★: $p < 0.05$

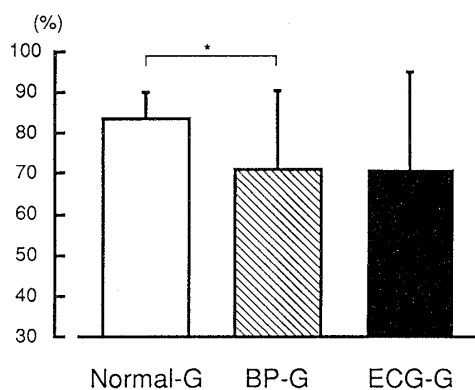


Fig. 3 %HRreserve at treadmill exercise test endpoints
Significance ★: $p < 0.05$

り、心予備力からみる運動耐容能は15%低い値であった。

収縮期血圧 (SBP) はエンドポイント時において Normal 群 206.2mmHg, BP 群 232.5mmHg, ECG 群 201.2mmHg (図4-1) であった。また、拡張期血圧 (DBP) は 92.3mmHg, 115.1mmHg, 97.4mmHg を示し (図4-2), 収縮期および拡張期血圧とも BP 群は他の 2 群に比べ有意に高い値を示した。なお, Normal 群と ECG 群はほぼ同じ値であった。また, PRP は Normal 群 280.3, BP 群 291.6, ECG 群 247.8 であり, BP 群は Normal 群とほぼ同じ値であったが, ECG 群は Normal 群, BP 群に比べ有意に低い値を

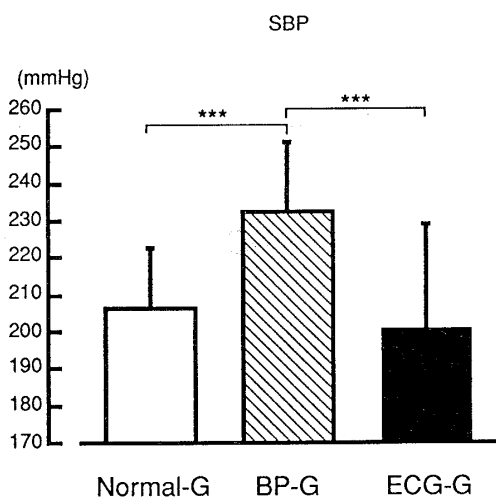


Fig.4-1 SBP at treadmill exercise test endpoints
Significance ★★★: $p < 0.001$

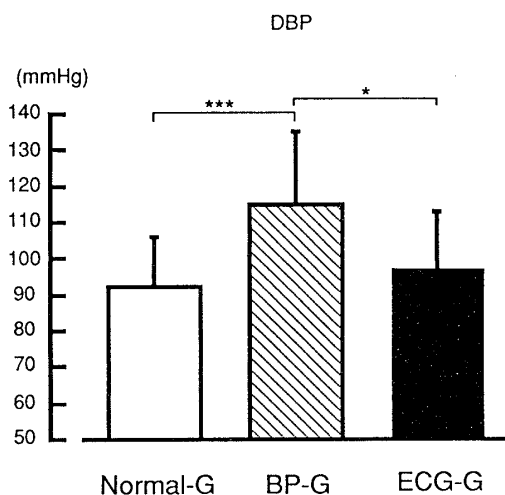


Fig.4-2 DBP at treadmill exercise test endpoints
Significance ★: $p < 0.05$, ★★★: $p < 0.001$

示した (図5-1)。酸素脈 (O₂Pulse) はNormal群 8.0ml/beat/min, BP群 6.0ml/beat/min, ECG群 7.3ml/beat/minとBP群はNormal群に比べ有意に低い値を示し, ECG群とNormal群に差はなかった (図5-2)。

IV. 考察

従来, 運動負荷試験は潜在性虚血反応や狭心症等の診断, 心機能の評価, 治療効果の判定, 身体適性の評価, そして予後の判定など多くの目的で行われ, それらは運動負荷時の心電図, 血圧, 運動能力, 自覚症状などの観察所見で評価される。本研究では男性, 女性を特に区分せず, 被検者は平均年齢70歳前後で, 在宅で自活している健常高齢者を対象とした。しかし, 本研究でみられるECG群は, 運動負荷試験の結果からみれば臨床医学上, 原則として虚血性心疾患群として区別されるものではあるが, 安静時心電図において異常所見を示すことなく, また日常, 自立した在宅生活にあることから, 研究の主旨を考慮し, 本研究では健常高齢者として扱い, 高齢者の歩行能や運動処方上から特に憂慮すべきことを示唆するものである。

はじめにトレッドミル歩行による多段階運動負荷試験のエンドポイントの相違によって3群の心臓脈管系の心予備力について検討していきたい。本研究の結果において, 運動を終了したときのトレッドミル速度はNormal群が79m/minであったのに対しBP群, ECG群は56m/min, 61m/minを示し, 有意に低い値であった。横断歩道を渡る若年群の平均歩行速

度は1.3m/sec, 78m/minであるのに対して, 高齢群の平均歩行速度は1.0m/sec, 60m/minを上限として一般にはそれ以下と報告されているが²⁷⁾, 本研究のBP群, ECG群におけるエンドポイントとなった時点の速度はその60m/minとほぼ同じ値か, またはそれよりわずかに低い値であった。従って, 一般高齢者は, 歩行中, ECGやBPに何らかの有所見を示す可能性があり, そのような場合の速度は60m/minの近位にあると考えられる。また, 歩道上で若年者, 高齢者の速歩-自由歩行の速度差をみた場合, 高齢者においてはその差は非常に少ない²⁹⁾。従って, 本研究の結果から結論の一つを示すと, 安静時の医学検査に異常がなく健常な在宅高齢者であっても安全な歩行速度の限界は60m/minと考えられる。すなわち, 最大でも50~60m/minの速度までが一般高齢者の歩行の安全範囲と考えられよう。

次に, 体重当たりの酸素消費量からみるとBP群, ECG群が14.7ml/kg/min, 16.6ml/kg/minとNormal群の20ml/kg/minに比べ有意に低い値を示した。85%HRreserveに達して運動を中止したNormal群の酸素摂取量は予測の最大酸素摂取量 (23.4ml/kg/min) の83%であったが, BP群, ECG群では各々63%, 71%であった。これまで人間が他人の手助けを受けることなく, ごく通常の方法による独立歩行の場合, 酸素消費量は12~13ml/kg/min程度であり¹¹⁾, また老年者の歩行は男性の場合50m/minが限界で, 14ml/kg/minを示し, その時のHRは90~100beats/minで, RPE (自覚的運動強度)

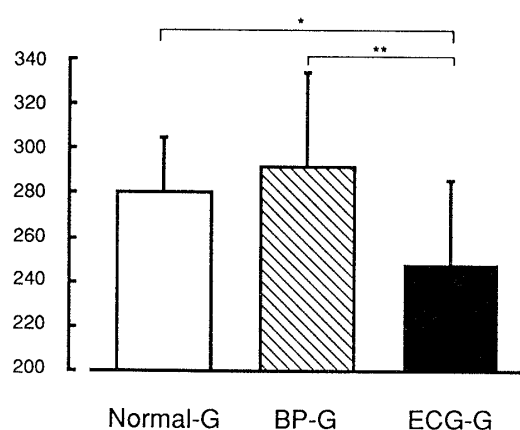


Fig.5-1 PRP at treadmill exercise test endpoints
(PRP=HR×SBP×10⁻²)
Significance ★: p<0.05, ★★: p<0.01

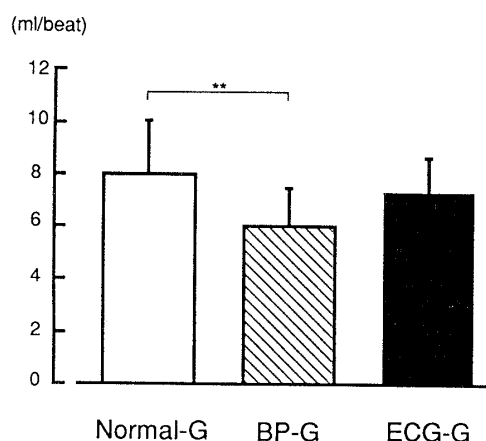


Fig.5-2 O₂ Pulse at treadmill exercise test endpoints
(O₂ Pulse= $\dot{V}O_2$ /HR)
Significance ★★: p<0.01

は13の「ややきつい」を示すことも知られている²⁹⁾。最近のAAHPERD (American Alliance of Health, Physical Education, Recreation and Dance) に組み入れられているハーフマイル歩行テストの結果では、高齢者の自己選択速度での歩行は13.2～15.7ml/kg/min, 124～135beats/minで、70%HRreserveでの歩行は15.7～16.4ml/kg/min, 135～140beats/minであることをみている。本研究におけるBP群、ECG群のエンドポイントとなった時の酸素摂取量はおよそ15～17ml/kg/minであったが、AAHPERDの報告の70%HRreserveにおける酸素摂取量とほとんど一致した値であった。従って、これらの報告^{11,29)}や本研究の結果から通常歩行時の酸素摂取量と症候性最大運動でエンドポイントになった時の酸素摂取量との差は小さく、むしろ運動耐容能からみて限界に近いことが推察される。従って、結論の一つを追加すれば、高齢者の歩行は60% $\dot{V}O_2$ max強度がその限界強度と考えられる。すなわち60% $\dot{V}O_2$ max以下の強度による歩行が安全範囲である。

次にHRはエンドポイント時ではBP群、ECG群は125beats/min, 124beats/minとほぼ同じ値でNormal群の136beats/minと比較して著明に低い値を示した。これまでの報告²⁸⁾の中で高齢者の運動中の生理的反応特性をみる心拍数は100～110拍/分を上限として設定されているが、本研究の結果、BP群、ECG群におけるエンドポイント時の心拍数はこれより高い値を示している。すなわち、高齢者において心拍数が120拍/分以上を示す速度は歩行の限界に達していると考えられる。一回拍出量を反映するといわれる酸素脈はBP群、ECG群がNormal群に比べ同様に低い値であった。運動負荷時の左室駆出率は加齢と共に低下するが²⁰⁾、これは冠血管の加齢による血液供給の低下、心拍数および心筋収縮力の低下が関与する。また最大酸素脈も老化に伴い減少の傾向を示すことも知られている²²⁾。本研究の結果からみるBP群、ECG群はNormal群に比べ一回拍出量が小さいことを示唆するものであろう。

また、BP群はPRPが有意に高かったが、心筋酸素消費量の面からみて、心臓への負担が大きいことが推察される。歩行のような自然な運動動作であっても、高齢群の最高血圧は増高を示すという報告があり^{1,28,31)}、血圧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あらわれ

やすいと考えられる^{29,30)}。

こうした1回拍出量、血圧変動を考慮し、心予備力を検討すると、エンドポイント時の%HRmaxはNormal群が91.0%であったのに対し、BP群、ECG群はそれぞれ84.2%, 84.1%を示した。さらに、%HRreserveはNormal群が84%を示したのに対し、BP群、ECG群はそれぞれ71%, 71%であった。Normal群は負荷試験の条件として85%HRreserveで運動を中止させたものであるが、BP群、ECG群と比較すると、高齢者といえども心機能の水準は高いことを示している。しかしながら、同じように日常生活が自立しており、独立歩行が可能であり、外見上からも健常であり、同時に安静時医学検査において健常と診断された場合であっても、運動耐容能としての心予備力が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観察され、あるいは心機能に多大な過負荷を生じせしめる可能性が示唆されることを結論として示すことができる。従って、高齢者の歩行の安全範囲は最大でも60～65%HRreserveと考えることができる。

次に運動耐容能が低下を示したBP群およびECG群について体組成および安静時医学検査の結果から検討すると、ECG群はBMIが24.5、体脂肪率が26.6%を示し、日本肥満学会の分類からみれば肥満化傾向と判定される¹⁶⁾。これまでは加齢によって耐糖能は低下し、その理由として、栄養不足、運動不足、インスリン分泌の低下、代謝に関する組織量の低下、インスリン拮抗物質の増加、末梢組織におけるインスリン受容体の減少、グルコース輸送体を含むインスリン受容体以後の細胞内情報伝達系、細胞内グルコース代謝系の変化などが知られている⁹⁾。しかし、加齢による糖処理能力の低下は高齢者のほぼすべてに認められるものか、または高齢者の一部にのみ認められるものか、必ずしも十分な報告を有していないが、本研究ではECG群に高血糖をみたことは興味を有する。すなわち、ECG群に高血糖による冠動脈への影響が生じているかもしれない。BP群は安静時の収縮期血圧が143.1mmHgと最も高い値を示した。しかし、高齢者は日内変動や体質等により個人差が大きいいため、収縮期血圧159mmHg、拡張期血圧89mmHgまでの境界域高血圧を含めて、健常老年者の正常範囲の上限とする報告⁷⁾もある。また、BP群は総コレステロールが218.6mg/dlとNormal群の193.3mg/dlに比べ有意

に高かった。こうしたことは、BP群は動脈硬化に影響を与えやすいことを反映しているものであろう。血清コレステロールの正常範囲である220mg/dlを越えてはいないが、個々人でみると平均値を大きく逸脱しているものも多いことがみられた。冠動脈造影によって、狭窄の進展、非進展の立場で総コレステロール値をみると220mg/dl以上で進展例が多く、しかも、最近、予後とも密接に関連していることが示され、治療の立場からは220mg/dl未満にすることが望ましいとされている¹⁶⁾。本研究のBP群やECG群の平均値が220mg/dlを下回っていることは正常範囲であると考えられるが、これまでに報告された70歳代男女の平均値204.9mg/dlよりは高く¹⁶⁾、正常範囲の上限にある。BP群、ECG群は各々収縮期血圧が高い値を示していたこと、また心電図に何らかの変化をみたことは動脈あるいは冠血管の硬化や狭窄などに何らかの影響を与えている可能性も大きい。これまで、トレーニングされたラットの後肢の血流は副側血行路が改善し、対照群よりも43%も血流が増加することが知られており、ヒトにおける歩行の重要性を示唆する報告³⁴⁾もあるが、今後は無酸素性作業閾値(AT)などの指標も考慮しながら、高齢者の運動耐容能からみる体力の評価、さらには運動処方や臨床的な立場からも検討していきたい。また、本研究では、性差を検討するまでには至らなかったが、この点についても今後の検討課題である。

V. 要約

本研究は、高齢者が在宅にあり、日常生活において特に介助を必要とせず、自立して生活している者61名を無作為に抽出し、安静時医学検査により運動の実施が可能と判断された高齢者43名を対象として、歩行動作によるトレッドミル多段階運動負荷試験を実施した。運動を中止するエンドポイントの中で、目標心拍数85%HRreserveに達したために運動を終了したものをNormal群、収縮期血圧230mmHg、拡張期血圧130mmHgに達したために運動を中止したものをBP群、心電図において何らかの異常所見がみられたために運動を中止したものをECG群として、高齢者の歩行時における心脈管系の予備力からみた運動耐容能、およびその限界と安全範囲について検討することを目的とした。結果についてまとめると以下の通りである。

運動負荷試験においてNormal群が目標心拍数の85%HRreserveに達して歩行を中止したときのトレッドミル速度は79m/min、BP群56m/min、ECG群61m/minであり、Normal群の71%、79%に相当していた。またそのときの酸素摂取量はNormal群が20.0ml/kg/min、BP群、ECG群は14.7ml/kg/min、16.6ml/kg/minで、それぞれ予測の $\dot{V}O_{2max}$ (23.4ml/kg/min)の83%、63%、71%に相当した。

エンドポイント時の心拍数はNormal群136beats/min、BP群125beats/min、ECG群124beats/minで、これらは年齢別予測最高心拍数(HRmax:150beats/min)の91%、83%、83%であった。またさらに%HRreserveでみるとおよそ3群はそれぞれ85%、70%、70%に相当した。

以上のことから在宅にあり、安静時の血圧や心電図に異常を示すことがなく、一見健常と思われる高齢者であっても運動負荷試験を行ってみると、血圧増高および心電図の異常所見によるエンドポイントから運動を中止するケースが多く、こうした症状を示す者も含めた一般高齢者の運動耐容能は、歩行速度:60m/min、 $\dot{V}O_2$:15~17ml/min、60%pre $\dot{V}O_{2max}$ 、HR:120beats/min、70%HRreserveで限界に達することが考えられる。すなわち、高齢者は外見上健康であり、また独立歩行が可能である場合であっても、心予備力が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が示唆された。従って、一般健常高齢者の歩行能およびその安全範囲は上記に示した限界値以下の強度と考えられよう。

BP群は安静時収縮期血圧が他の2群に比べ有意に高く(143.1mmHg)、中性脂肪(129mg/dl)および総コレステロール値(218.6mg/dl)も高い傾向にあり、またECG群は血糖値(115.6mg/dl)および体脂肪率(26.6%)が他の2群に比べ有意に高かった。これらのことから高齢者の運動負荷試験においてはBPおよびECGに異常所見をみる被検者においては体脂肪量の増加や血液性状に何らかの危険因子を有していると思われる。

本研究では、高齢者の歩行時における心脈管系からみた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たが、今後は有酸素性の体力評価基準の作成、および運動処方の安全性という立場からさらに検討していく必要がある。

本研究は第51回日本体力医学会シンポジウム1

「高齢者の体力と健康法」(1995): 高齢者の持久性能力と安全管理において発表した。

引用文献

- 1) Blessey R L, Hislop H J, Waters R L, Antonelli D (1976) Metabolic energy cost of untrained walking. *Physical Therapy* 56: 1019-1024.
- 2) Brožek J, Grande F, Anderson J T and Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition review of some quantitative assumption. *Ann N.Y. Accand Sci* 100: 113-140.
- 3) Bull B S, Elashoff R M, Heilbron D C and Couperus J (1974) A study of various estimators for the derivation of quality control procedures from patient erythrocyte indices. *Am J Clin Path* 61: 473-481.
- 4) Evans B, Hopkins D, and Toney T (1996) Metabolic response to the half mile AAHPERD functional fitness walk test in older adults. *J Aging and physical activity* 4: 80-89.
- 5) Fischl J, Federman D and Talmon N (1975) Preparation of a modified glucose oxidase reagent for the polarographic determination of glucose with the Beckman glucose analyzer. *Clin Chem* 21: 760-761.
- 6) Flack C P and Woollen J W (1984) Prevention of interference by dextran with biuret-type assay of serum proteins. *Clin Chem* 30: 559-561.
- 7) 藤井 潤 (1994) 血圧—老年臨床検査の基準値—。 *Geriatric Medicine* 32(1): 21-26.
- 8) 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* 20L: 161-166.
- 9) 井藤英喜 (1983) 糖尿病. 編集代表 折茂 肇, 編集顧問 吉川政巳, 今堀和友, 原澤道美, 前田大作. 新老年学 初版 p666 東京大学出版会.
- 10) Imms F J, Stern G M, Franklyn S E, Prestidge S P (1983) Studies of gait and mobility in the elderly. *Age and Aging* 10: 147-156.
- 11) 小林寛道 (1987) 運動生理学からみる高齢者と運動. *臨床スポーツ医学* 4: 1361-1366.
- 12) 紅露恒男, 芳賀脩光, 小川新吉, 田崎洋佑, 土屋滋, 福屋靖子, 大貫 稔 (1980) 高齢者に対する身体トレーニング効果—循環系部門. 国民体力研究 (筑波大学国民体力特別研究プロジェクト) 第6報 99-107.
- 13) Lundaren, Lindquist B, Aniansson A, Rundgren A (1983) Functional studies in 79-years-old III. Walking performance and climbing capacity. *Scand J Rehab Med* 15: 125-131.
- 14) 増田 充, 江橋 博 (1971) 中高年齢者歩行姿勢について. *体力研究* 21: 28-36.
- 15) Nagamine S and Suzuki S (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol* 36: 8-15.
- 16) 中村治雄 (1994) 脂質—老年者臨床検査の基準値—. *Geriatric Medicine* 32: 29-34.
- 17) 日本臨床化学会 (1989) ヒト血清酵素活性測定 of 勧告法—アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ—. *臨床化学* 18: 226-262.
- 18) 西岡久寿樹 (1985) 血清尿酸. *日本臨床* 43: 247-250.
- 19) 岡田 博 (1982) 高齢者の健康—その考え方と方策. *日本公衛誌* 29: 193-200.
- 20) Port S, Cobb F R, Coleman R E and Jones R H (1980) Effect of age on the response of the left ventricular ejection fraction to exercise. *New Engl J Med* 303: 1133-1137.
- 21) Richmond W (1973) Preparation and properties of a cholesterol oxidase from *Nocardia* sp. and its application to the enzymatic assay of total cholesterol in serum. *Clin Chem* 19: 1350-1356.
- 22) Robinson S, Dill D B, Tzankoff S P, Wagner J A and Robinson R D (1975) Longitudinal studies of aging in 37 men. *J Appl Physiol* 38: 263-267.
- 23) 関口令安 (1992) 中高年のスポーツ医学—中高年登山者の諸問題—. *臨床スポーツ医学* 9: 1164-1167.
- 24) Spayd, R W, Bruschi B, Burdick B A, Dappen G M, Eikenberry J N, Esders T W, Figueras J, Goadhue C T, LaRossa D D, Nelson R W, Rand R N, Wu T W (1978) Multilayer film elements for clinical analysis: applications to representative chemical determinations. *Clin Chem* 24: 1343-1350.
- 25) Sugiuti H, Uji Y, Okabe H, Irie T, Uekama K (1994) Differential effects of modified cyclodextrins on serum lipoprotein: Applications to direct measurement of high-density lipoprotein in serum. *Proceedings of the 7th International Symposium on Cyclodextrins*. Tokyo: 532-535.
- 26) The committee on Enzymes of the Scandinavian Society for Clinical Chemistry and Clinical Physiology (1976) Recommended method for determination of γ -Glutamyltransferase in blood. *Scand J Clin Invest* 36: 119-125.
- 27) 徳田哲男 (1982): 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.
- 28) 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 : 51-60.
- 29) 徳田哲男, 丸山仁司, 中山彰博, 梶村由美子 (1984) トレッドミル歩行と屋外歩行における老年者の歩行特性. 人間工学 20 : 161-169.
- 30) 徳田哲男 (1986) 歩行 (基礎から臨床まで). 3. 高年齢者の歩行. 理・作療法 20 : 347-352.
- 31) 辻 博明 (1987) : 高齢者の体力レベル, 一般高齢者と施設入所者. 体育の科学 37 : 662-666.
- 32) Wieland H and Seidel D (1983) A simple specific method for precipitation of low density lipoproteins. J. Lipid. Res., 24 : 904-909.
- 33) 山岸 豪, 徳田哲男 (1975) 老人歩行 — 光学的分析による — リハビリテーション医学. 12 : 97-104.
- 34) Yang H T, Ogilvie R W, Terjung R L (1995) Training increase collateral-dependent muscle blood flow in aged rats. Am J Physiol 268 (Heart Circ Physiol 37) : H1174-1180.
- (平成9年4月10日受付)
(平成9年7月1日受理)