

同一負荷運動に対する中高年者の10年後の呼吸循環応答

佐藤 佑, 鈴木 省三

I. はじめに

総務庁は1992年9月14日、敬老の日に当たる15日現在のわが国の高齢者人口推計値を発表した²⁷⁾。それによると、65歳以上の高齢者は総人口の13.0%を占め、いわゆる平均寿命も男子76.1歳、女子82.1歳と過去最高となり、わが国は人類の歴史上未曾有の超高齢化社会へと加速的に突入している。それに伴って寝たきり老人や痴呆性老人は言うに及ばず、ガン、心臓病、脳血管疾患、高血圧症、糖尿病を有する高齢者が増加している。

このような現状にある高齢者の願いは、病気にかからないことはもちろん、起居、食事の準備、買物などの日常生活を送るうえで十分な動作能力(ADL, activity of daily living)を有することであり、その上生活の質(QOL, quality of life)を高めて、健やかに美しく老いて人生を全うすることであろう。

健やかに老いるためには、骨、筋、神経、呼吸、循環などの加齢に伴う生理機能の低下を可能なかぎり遅延させることが必要であり^{13) 23)}、とりわけ生命維持に直接関与する呼吸循環系の機能維持が極めて重要である。

呼吸循環器系の機能的尺度として最も一般的に用いられているparameterは最大酸素摂取量($\dot{V}O_2 \text{ max}$)である。 $\dot{V}O_2 \text{ max}$ は個人に最大運動を実施させることにより求めることができるが、中高年者、とりわけ高齢者や女子に

最大ストレスを負荷すると、筋疲労が大きくなり、呼吸機能の低下に加えて、収縮期血圧の急激な上昇を来し、心拍動停止や心室細動などの危険を伴うこともある²²⁾。

そこで高齢者や女子の場合、自転車エルゴメータを使用した最大下の運動時心拍数から $\dot{V}O_2 \text{ max}$ を推定するÅstrand-Ryhming nomogram²⁾が作成されているが、精度が低く妥当性・再現性に乏しい³⁾。

したがって、中高年者の運動時呼吸循環機能をみる場合、最大運動を実施させるのではなく、最大下運動 submaximal exercise に対する呼吸循環応答を精査する方法が望ましく、AT(anaerobic threshold)やVT(ventilatory threshold)などの開発は、これらの観点の延長線上にあるといえよう¹⁶⁾。

さらに、加齢に伴う運動時の呼吸循環機能の変動に関して、横断的研究^{1) 3) 8) 14) 18)}や短期間のトレーニング実験^{6) 7) 15) 25)}の報告は多いが、同一集団を長期にわたって観察した縦断的研究は極めて少ない^{5) 21)}。

本研究の目的は、同一の中高年者を対象として極めて mild な負荷運動に対する10年前後の呼吸循環応答の動態を精査し、加齢に伴う生理的特徴を検討することによって、高齢者が健やかに老いるための適切な運動処方確立するための基礎的資料を得ることにある。

II. 方 法

被験者は年齢が48歳から77歳の男子7名(62.4±9.8歳), 女子6名(56.5±5.8歳), 合計13名(59.7±8.4歳)の活動的な中高年者であり, 1990年5月における年齢と職業を Table 1に示したが, Y. K. は糖尿病, T. D. は本態性高血圧の有病者である。

Table 1. Age and occupation of subjects in 1990.

	Subj.	Age	Occupation
male n= 7	T.N.	48.6	barber
	W.M.	57.7	merchant
	T.T.	58.3	teacher
	S.S.	58.3	merchant
	Y.K.	64.1	office worker (diabetes)
	M.M.	72.7	merchant
	T.D.	77.3	clergyman (hypertension)
	\bar{x}	62.4	
	S.D.	9.8	
female n= 6	T.S.	48.3	barber
	S.S.	50.4	office worker
	S.T.	55.8	dental technician
	M.M.	55.9	house wife
	T.N.	59.3	merchant
	A.R.	65.8	house wife
	\bar{x}	56.5	
	S.D.	5.8	
male & female n= 13	\bar{x}	59.7	
	S.D.	8.4	

彼等に1980年と1990年の5月に最大下の同一負荷運動を実施させた。運動様式は Monark 社製自転車エルゴメータ (回転数50 rpm) を使用したペダリング運動であり, 毎分150 kgm, 300 kgm, 450 kgm の順でこの3種の負荷を各々4分間連続12分間実施する漸増負荷法である。

心拍数は胸部双極誘導の心電図 (CM₅) を

連続記録し, 血圧は Riva-Rocci 式血圧計を使用した聴診法 (1980), およびコーリン社製自動血圧計 (1990) を使用して1分毎に測定した。安静時5分間, 運動12分間, 回復5分間の酸素摂取量は1分毎にダグラスバッグ法 (1980) および Sensormedics 社製 MMC 4400 tc を使用して breath by breath 法 (1990) により求めた。呼吸数は呼気マスクに装着したサーミスタによる呼吸曲線 (1980) および breath by breath 法 (1990) から算出した。

あわせて, 身長, 体重, 胸囲, 栄研式ピンチキャリパーによる皮下脂肪厚 (腹部, 上腕背部, 肩甲骨下部), 握力, 反復横とび, 垂直とび, 肺活量を測定した。

測定時の室温および相対湿度はそれぞれ17.5±2.5℃, 71.3±9.5% (1980), 18.7±3.1℃, 80.2±5.3% (1990) であった。

1980年と1990年における各測定値の有意差の検定は Student の t test を用いた。

III. 結 果

1. 形態と体力

被験者の身長, 体重, 胸囲, 皮下脂肪厚, 除脂肪体重などの形態および握力, 反復横とび, 垂直とびなどの体力について, 性別, 男女あわせた平均値および標準偏差を1980年と1990年に分けて Table 2に示した。

身長, 体重, 胸囲については性別に, 10年前と今回とを比較しても変動は認められなかった。男女あわせた体重の平均値および標準偏差は58.7±8.4 kg (1980) から59.2±9.8 kg (1990) と変わらなかったが, 3部位の皮下脂肪厚は増加の傾向にあったので, 除脂肪体重 lean body mass は減少した。しかし, 10年前後のいずれの形態計測値においても統計的有意差は認められなかった。

体力についてみると, 右握力は35.6±11.5 kg (1980) から34.5±12.2 kg (1990) へと減

Table 2. Anthropometric and physical fitness data in 1980 and 1990.

		height cm	weight kg	chest girth cm	skinfold			body fat %	lean body mass kg	grip strength		side step point	V.J. cm
					abdo- minal mm	back mm	arm mm			right kg	left kg		
male n=7	1980	161.7 8.0	61.1 10.1	88.9 5.2	11.4 5.1	12.9 5.9	7.0 1.4	13.7 3.4	52.5 6.8	42.6 11.6	41.6 12.4	33.9 6.3	34.6 4.8
	1990	161.1 7.4	62.0 11.9	89.6 5.5	20.5 10.0	16.1 7.6	9.5 2.3	16.2 4.8	51.4 6.9	42.0 12.4	38.4 13.5	28.0 7.9	29.0 8.1
female n=6	1980	152.9 1.9	56.6 3.0	85.4 1.4	16.7 4.9	16.1 3.6	18.5 3.5	23.7 3.3	43.1 1.9	27.4 2.7	28.5 2.6	32.7 3.4	25.5 4.4
	1990	153.2 2.1	56.0 3.6	90.2 4.6	12.7 3.8	16.7 4.3	17.4 3.2	19.6 5.4	48.3 2.8	23.5 4.1	22.3 3.1	32.0 3.3	25.0 5.2
male & female n=13	1980	157.6 7.7	58.7 8.4	87.3 4.5	15.0 4.4	14.2 5.4	12.3 6.5	18.3 6.1	48.2 7.2	35.6 11.5	34.3 12.2	33.3 5.3	30.4 6.6
	1990	157.5 7.1	59.2 9.8	89.3 5.2	16.8 9.0	16.4 6.4	13.1 4.9	16.8 4.0	42.7 7.0	34.5 12.2	30.9 12.8	32.6 3.2	27.1 7.4

Values are means ± S.D. of subject studied in 1980 and 1990. V.J. : vertical jump

少したが有意差は認められなかった。一方、左握力は 34.3 ± 12.2 kg (1980) から 30.9 ± 12.8 kg (1990) と有意に減少した ($P < 0.01$)。さらに垂直とびも 30.4 ± 6.6 cm (1980) から 27.1 ± 7.4 cm (1990) へと有意に低下した ($P < 0.1$)。しかし反復横とびには有意差が認められなかった。

2. 呼吸循環機能

肺活量および安静時、3種類の運動時および回復時の呼吸循環機能の各 parameter について、1980年と1990年の平均値と標準差および10年前後の有意性を Table 3に示した。

1) 心拍数

安静時心拍数は 66.8 ± 9.9 拍/分 (1980) から 76.3 ± 8.4 拍/分 (1990) と約10拍/分増加し ($0.05 < P < 0.01$) 運動時心拍数は安静時の差をそのまま上乗せした心拍反応を呈した。しかし回復時心拍数についてみると、運動終了時の心拍数が10拍/分高かったために回復時心拍数は1980年に比べて15拍/分 (回復2分) から17拍/

分 (回復1分) 高くなり、心拍数の回復は加齢とともに遅延した (Fig.1)。

2) 血圧

安静時収縮期血圧は 130.6 ± 17.5 mmHg (1980) から 140.2 ± 17.6 mmHg (1990) となり、10年後には約10 mmHg 上昇したが、運動時の反応をみると運動開始1分後には138 mmHg (1980) から156 mmHg (1990) と、18 mmHg

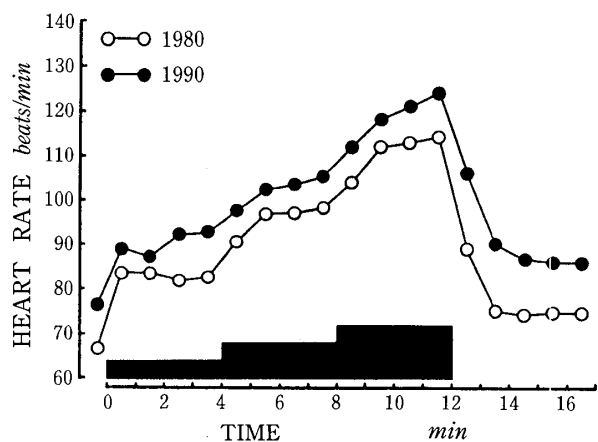


Fig.1. Mean values of heart rate response to given work load in 1980 and 1990.

Table 3. Cardiorespiratory data at resting status, 3 kinds of work load and recovery condition in 1980 and 1990.

		rest	work load kgm/min			recovery		
			150	300	450	0~1	~2	~5
heart rate beats/min	1980	66.8±9.9	82.7±9.9	98.5±2.8	114.4±15.9	89.1±12.9	75.2±8.1	74.9±8.9
	1990	76.3±8.4××	92.5±11.0××	105.6±4.2×	124.1±19.9××	106.3±5.9××	90.3±11.9××	84.2±8.3××
S.B.P. mmHg	1980	130.6±7.5	142.5±16.3	152.7±78.0	164.3±18.9	154.2±23.4	140.9±25.0	130.9±22.4
	1990	140.2±7.6	165.1±23.1××	174.8±23.2	197.8±30.1××	177.3±26.5××	155.7±24.9	138.3±20.3
D.B.P. mmHg	1980	73.8±9.1	80.8±9.9	86.0±9.7	86.1±11.4	63.0±14.6	68.3±12.9	77.8±9.7
	1990	86.8±4.4	91.1±20.1	94.4±12.9××	100.6±15.0××	92.8±12.2××	86.1±10.4××	87.8±10.8××
tidal volume ml	1980	396±107	515±166	896±189	1128±220	903±196	690±105	669±352
	1990	609±202××	820±230××	1198±277××	1286±349	1368±328××	1110±347××	778±265
f breaths/min	1980	17.0±3.9	20.5±3.9	22.1±4.5	23.8±3.8××	19.5±3.1	18.0±3.0	17.4±3.0
	1990	15.4±2.4	20.3±2.9	22.0±2.9	29.1±6.9	19.1±3.3	16.9±3.1	16.1±3.4
VE (STPD) l/min	1980	6.54±1.6	12.78±2.81	19.17±2.32	26.5±3.57	17.24±2.47	12.23±1.71	10.63±4.06
	1990	9.43±2.4××	18.38±3.66××	25.23±4.67××	35.08±6.32××	25.50±5.52××	16.60±3.89××	12.02±2.89
VO ₂ ml/min	1980	205±44	524±185	778±182	1106±303	679±144	332±66	247±64
	1990	214±84	572±115	815±133	1084±136	787±134	331±65	230±70
O ₂ removal ml/l	1980	32.1±5.6	39.1±7.9	41.4±8.2	41.4±7.1	39.6±4.1	27.2±4.9	26.4±9.8
	1990	22.9±3.1××	31.9±4.4××	34.3±6.5××	32.9±5.8××	29.9±5.7××	21.0±3.4××	19.6±3.0××
O ₂ pulse ml/beat	1980	3.1±0.7	6.4±2.1	8.0±2.2	9.8±3.1	7.6±1.9	4.5±1.1	3.4±1.1
	1990	2.8±1.0	6.3±1.5	8.0±2.0	9.0±2.0	6.9±1.6	3.8±0.7	2.8±0.9
vital capacity ml	1980	3476±596						
	1990	3009±447××						

Values are means ±S. D. of 13 subjects studied in 1980 and 1990.
 × 0.1>P>0.05, ×× 0.05>P>0.01, ××× 0.01>P

も高くなり、運動終了前には164 mmHg(1980)から198 mmHg(1990)と34 mmHgも高くなり、1%水準で有意に増加した(Fig.2)。

拡張期血圧は安静時について73.8±9.1 mmHg(1980), 86.8±14.4 mmHg(1990)となり、10年後には13 mmHg上昇したが、運動開始とともにその差は減少する傾向にあった。Fig.2からも明らかのように1980年の拡張期血圧の反応の特徴は回復時にみられた。すなわち、回復1分時には63mmHgと安静時の74mmHgよりも減少する陰性相を示し、その後徐々に安静値に戻った。一方1990年の反応は、10年前にみられた急峻な陰性相を示さず、回復3分後に安静時を下まわるゆるやかな陰性相を呈した。

3) Rate-pressure product

この10年間に心拍数および収縮期血圧は増加したので、その積である rate-pressure product(double product)も増加する。Fig.3は450 kgm/分時における10年後の rate-pressure productを個々に比較したものであるが、図に示す如く個人差が大きかった。

4) 呼吸機能

肺活量は3476±596 ml(1980)から3009±447 ml(1990)へと5%水準で有意に減少した(Table 3)。安静時の呼吸数は17.0±3.9回/分(1980)から15.4±2.4(1990)へと減少したが有意性は認められず、Fig.4からも明らかのように、運動終了直前の値において23.8±3.8回/分(1980)から29.1回/分(1990)と5

%水準で有意に増加した。

安静時、運動中および回復時の分時換気量 (\dot{V}_E) は10年後に有意に増加した。特に運動強度が増すにつれてその差が大となり (Fig.5),

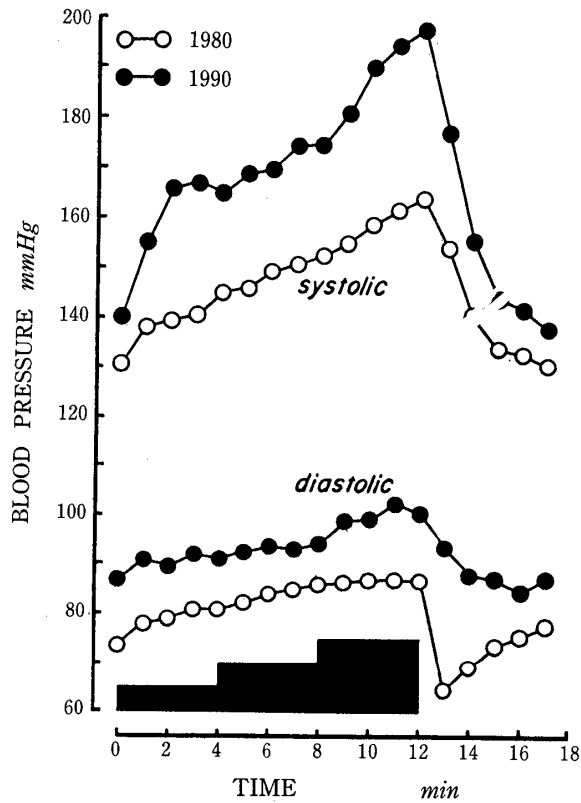


Fig.2. Mean values of blood pressure in 1980 and 1990.

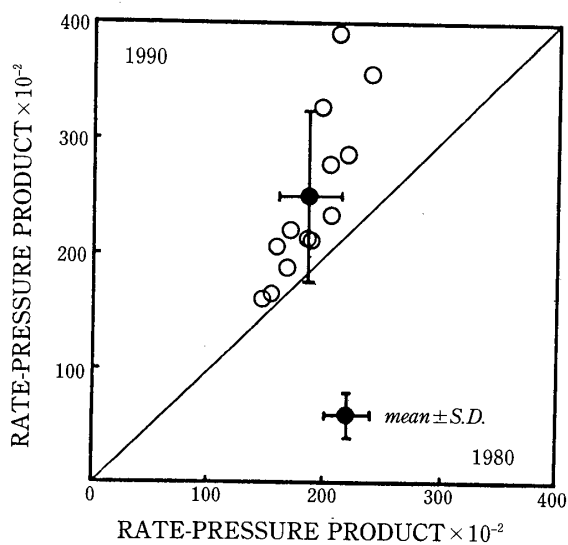


Fig.3. Rate-pressure product at 450kgm/min in 1980 and 1990.

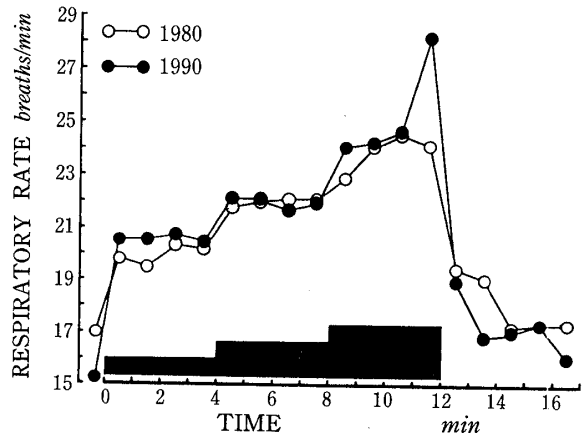


Fig.4. Mean values of respiratory rate to given work load in 1980 and 1990.

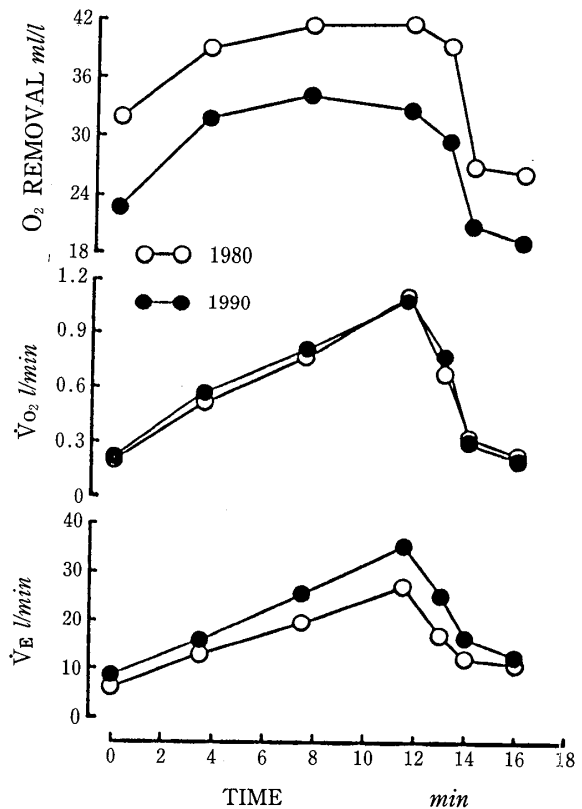


Fig.5. Ventilation, oxygen intake and rate of oxygen removal in 1980 and 1990.

450 kgm/分時では10年前の26.61/分から32%増の35.11/分と著しく増大した。

10年前の運動時呼吸数の変化については運動終了直前の値を除けば差が認められない一方、換気量は Fig.5に示す如く著明に増加した。分時換気量を呼吸数で除した1回換気量

(tidal volume, 一回の呼吸による換気量)は12分値を除けばいずれも10年後の値が有意に高かった ($P < 0.01$)。

5) 酸素摂取量, 酸素摂取率および酸素脈

Fig. 5および Table3 に示すように安静時, 運動時および回復時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)は10年前後を比較してもほぼ同様な値を示した。

前述の如く換気量は10年後に著しく増加したので, 酸素摂取量を換気量で除した酸素摂取率 rate of O_2 removalは有意に増加した ($P < 0.01$)。

また一拍動あたりの酸素摂取量 (O_2 pulse)についてみると, 心拍数は10年後に増加しているのに, O_2 pulseは低下したが, 統計的には有意差は認められなかった。

IV. 考 察

本研究の被験者は本態性高血圧1名, 軽度の糖尿病(インスリン非依存型, タイプII)1名を含んでいるが, 他の11名の健康状態は極めて良好であり, 一輪車乗り, ジョギング, ダンス, バレーボールなどを規則的に実施している比較的活動的な中高年者群である。

負荷テストの実施にあたり, 被験者全員が医師からの許可を得ており, また自転車エルゴメータには十分馴れていた。

本研究の男子被験者は同年齢の日本人と比較してやや小柄であったが, 女子は平均的な体格であった²⁴⁾。

高齢者は加齢とともに骨の萎縮が起こり, 身長がやや減少する傾向にあるが, 今回の被験者の10年間ではそのような推移はみられなかった。

体力の変動について特徴的なことは, 左右の握力の低下であった。すなわち左握力は10年後に89%に減少したが, 右握力は35.6 kg から34.5 kg と低下率は3%と少なかった。

これは全ての被験者が右ききであり, 手の使用頻度の差が, 左右の握力の低下の差異となっ

てあらわれたものと推察される。左握力の減少率が垂直とびの30.4 cm(1980)から27.1 cm(1990)の減少率11%と一致したことも興味ある結果であった。

一般に呼吸循環機能は, 成年期以降加齢とともに低下し, その機能的尺度である最大酸素摂取量も漸減する。Heath et al.⁸⁾によれば, 米国の座業に従事する健康な男子の最大酸素摂取量の減少率は, 25歳以降10年間で平均10%であると報告しており加齢に伴う最大運動中の生理的応答, とりわけ最大酸素摂取量についての報告は数多くあるが^{1) 8) 15) 19) 25)}, 70歳以上を対象とした報告は極めて少ない^{4) 6) 11)}。また, 高齢者の最大負荷テストは危険を伴うので, 実験中に医師の監視を必要とする。

そこで本研究は, 医師の監督を必要としない極めて mild な, すなわち150 kgm/分(約25 watt), 300 kgm/分(約50 watt), 450 kgm/分(約75 watt)の自転車運動を各4分間, 連続12分間実施させ, その時の呼吸循環応答を精査した。その結果, 被験者全員が事故もなく無理なく楽に負荷テストを完遂することができた。

このような mild な, かつ物理的に同一運動を1980年と10年後の1990年に実施した結果, 運動時心拍数は約10拍/分上昇していた。これは安静時の差が運動中にも引きつづいた結果であった。山地²⁶⁾によれば20歳から60歳までの安静時心拍数は, 男子が72~73拍/分であり, 女子は男子より4~5拍/分高いが, 男女とも60歳以後着実に減少すると述べている。しかし, 本研究の被験者の安静時心拍数は加齢とともに増加しており, 運動時心拍数はこの増加分だけ高い反応を示した。

一方, 酸素摂取量は安静時, 運動中および回復いずれの場合においても10年前後で同じ値であった。すなわち同一の物理的仕事を遂行するための酸素需要量は加齢によって変動せず, したがって12分間の自転車運動の機械的効率 mechanical efficiencyは加齢の影響を受けない

と考えられる。

ところで、安静時及び運動時心拍数が約10拍／分増加したので酸素脈 (O_2 pulse: $\dot{V}O_2/H.R.$) は減少の傾向にあった。 O_2 pulse は一回拍出量 (stroke volume) の指標として良く用いられているが、本研究の被験者の加齢に伴う O_2 pulse の低下傾向は、運動時の一回出量の減少を示すものであろう。また、心拍数の上昇以上に収縮期血圧の増加が顕著であった。運動時循環動態の特徴として、若年者は収縮期血圧よりも心拍数を増加させることにより運動に適應するが、中高年者になると心拍数の増加より、収縮期血圧を増加させることによって調節されており、本実験においても先行研究^{9) 20)} と同様な結果が得られた。

心拍数と収縮期血圧の積、すなわち rate-pressure product は心筋の酸素消費量をよく反映している¹⁷⁾ が、本研究においても加齢に伴い rate-pressure product は有意に増加した (Fig. 3)。個々にみると40歳台の被験者の変動は小さいが、50歳台、60歳台、70歳台と加齢とともに rate-pressure product は増加する傾向にあり、同一運動に対する心筋への負担度は加齢とともに大きくなることが明らかとなった。

現在、運動強度の指標として Karvonen 法¹⁰⁾ による目標心拍数 target heart rate が広く用いられているが、本研究の結果から特に高齢者の運動実施にあたって、血圧監視の必要性が示唆され、さらに強度の指標として rate-pressure product の有効性を指摘することができた。

次に呼吸機能についてみると、10年後に肺活量は14%減少したが、同年齢の日本人と比較しても平均して約0.5 l も高い値を示した²⁴⁾。これらの被験者の10年後の運動時換気量は10%から30%も増加した。しかし酸素摂取量はこの10年間不変であった。このことは呼吸の効率が著しく減少したことを示している (Fig. 5)。これは加齢に伴う呼吸効率の低下を呼吸の深さ、すなわち1回換気量を増大させ、有効肺胞換気

量を増すことにより補い、酸素需要量を充していると推察される。

Niinimaa と Shepherd¹²⁾ は、60~70歳の男子19人に心拍数が120~150拍／分になるような運動を週4回、1日30分、11週実施した結果、予備呼気量、残気量、肺活量、機能的残気量、全肺容量などの肺気量や肺容量および closing volume に有意な変化は認められなかったと報告している。筆者²¹⁾ も2年間にわたる中高年者のジョギングトレーニング実験において、トレーニング実施前後の安静時呼吸数、分時換気量、一回換気量、肺活量および時間肺活量には全く変化が認められなかったことを報告している。これらの報告から、中高年者の肺組織の器質的な改善や静的な肺機能の向上はトレーニングによって期待され得ないと考えられる。

一般に、加齢とともに肺の機能低下は免れ得ないが、しかしトレーニングによって機能維持の可能性は期待できる^{12) 21)}。本研究の被験者も、一回換気量すなわち呼吸の深さを増すことにより分時換気量を増大させて、運動時の酸素需要量を維持していることが明らかとなった。

これらの結果をふまえた中高年者の運動処方上の留意点は呼吸機能の低下を極力おさえることであり、そのためには肺換気に関与する横隔膜筋や肋間筋などの呼吸筋を強化する運動内容を盛り込むことなどが重要となるであろう。

本研究は48歳から77歳の比較的活動的な中高年者を対象にして、加齢に伴う運動時呼吸循環応答の特徴について検討したが、酸素運搬系の肺拡散能力、全ヘモグロビン量や酸素飽和度などの血液因子、組織における酸素の取り込みなどについては論議することができなかった。今後これらの因子についても追究するとともに本被験者を追跡研究することが残された課題であろう。

V. 要約および結論

48歳から77歳の男女13名 (平均年齢59.7歳)

を対象として、1980年と1990年に最大下の同一運動を実施させ、心拍数、血圧、呼吸数、換気量、酸素摂取量などの反応から、中高年者の運動に対する呼吸循環応答の加齢に伴う特徴を検討した。

最大下運動については、Monark社製自転車エルゴメータ(50 rpm)を使用し、150 kgm/分、300 kgm/分、450 kgm/分の順に3種類の運動を各4分、連続12分間行う漸増負荷法を用いた。運動時の心拍数は胸部双極誘導の心電図から、血圧はRiva-Rocci式水銀血圧計(1990)、およびコーリン社製自動血圧計(1990)を使用して1分間毎に測定した。呼吸数はサーミスタ法(1980)、breath by breath法(1990)から求めた。安静5分間、運動12分間、回復5分間の酸素摂取量は、ダグラスバッグ法(1980)およびSensormedics社製MMC 4400 tc(1990)を使用しbreath by breath法により求めた。

あわせて体重、皮下脂肪厚などの形態や握力、反復横とび、垂直とびなどの能力を測定した結果、以下の結論を得た。

- 1) 加齢に伴う握力の変動は、右よりも左の低下率(11%)が大きく、垂直とびの低下率と同様であった。
- 2) 同一運動に対する循環系機能の加齢に伴う変化は、心拍数よりも収縮期血圧の上昇に顕著に出現した。
- 3) 心拍数と収縮期血圧の積であるrate-pressure productは加齢に伴い増大するが、高齢になるほど上昇度が大きかった。
- 4) 同一運動時の酸素需要量は加齢の影響を受けなかった。しかし、加齢に伴い換気量が著しく増加する一方、運動時呼吸数は不変であったので、呼吸の深さを増して一定量の換気量を確保していると推察された。
- 5) 酸素摂取率の減少により、加齢に伴い呼吸の効率が著しく低下していることが明らかとなった。

本実験に快く参加して下さいました村上光正

氏をはじめ被験者の皆様に深く感謝します。また、資料整理にあたって有益な示唆に関し本学コンピュータ室内野秀哲氏に深謝します。

引用文献

- 1) Aoyagi, Y. and S. Katsuta : Relationship between the starting age of training and physical fitness in old age. *Can. J. Spt. Sci.*, **15**, 65-71, 1990.
- 2) Åstrand, P.-O. and I. Ryhming: A nomogram for the calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, **7**, 218-222, 1954.
- 3) Badenhop, D. T., P. A. Cleary, S. F. Schaal, E. L. Fox and R. L. Barrels : Physiological adjustments to higher-or lower-intensity exercise in elders. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **15**, 496-502, 1983.
- 4) Benestad, A. M. : Trainability of old men. *Acta Med. Scand.*, **178**, 321-327, 1965.
- 5) Dehn, M. M. and R. A. Bruce : Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity. *J. Appl. Physiol.*, **33**, 805-807, 1972.
- 6) de Vries, H. A. : Physiological effects of an exercise training regimen upon men aged 52, to 88. *J. Geront.*, **25**, 325-336, 1970.
- 7) Hartley, L. H., G. Grimby, A. Kilbom, N. J. Nilsson, I. Åstrand, J. Bjure, B. Ekblom and B. Saltin. : Physiological training in sedentary middle-aged and older men. III. Cardiac output and gas exchange at submaximal and maximal exercise. *Scand. J. clin. Lab. Invest.*, **24**, 335-344, 1969.
- 8) Heath, G.W., J.M. Hagberg, A.A. Ehsani and J.O. Holloszy : A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* **51**, 634-640, 1981.
- 9) Ishiko, T., T. Shimizu and T. Sato : Circulato-

- ry adjustments to given loads. In Seliger V. ed., Physical fitness, 205-208, Praha, 1973.
- 10) Karvonen, M. J., E. Kentala and O. Muntala : The effects of training on heart rate. A longitudinal study. *Ann. Med. Exper. Biol. Fenn.* **35**, 307-315, 1957.
 - 11) 小林寛道 : 高齢者の総合体力, 西村健編著, 老人の健康とスポーツ・世界保健通信社, 大阪, 1990.
 - 12) Niinimaa, V. and R. J. Shephard : Training and oxygen conductance in the elderly. *J. Geront.*, **33**, 354-367, 1978.
 - 13) 太田邦夫監修 : 老化指標データブック, 朝倉書店, 東京, 1990.
 - 14) Paterson, D. H. : Effects of aging on the cardiorespiratory system. *Can. J. Spt. Sci.*, **17**, 171-177, 1992.
 - 15) Pollock, M. L., G. A. Dawson, H. S. Miller, A. Ward, D. Cooper, W. Headley, A. C. Linnerud and M. -M. Nomeir. : Physiologic responses of men 49 to 65 years of age to endurance training. *J. Am. Geriat.*, **24**, 97-104, 1976.
 - 16) Posner, J.D., K.M.Gorman, H.S.Klein and C.J.Cline. : Ventilatory threshold. Measurement and variation with age. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* **63**, 1519-1525, 1987.
 - 17) Robinson, B, F. : Relation of heart rate and systolic blood pressure to the onset of pain in angina pectoris. *Circulation.* **35**, 1073-1083, 1967.
 - 18) Rogers, M. A., J. M. Hagberg, W. H. Martin III, A. A. Ehsani and J. O. Holloszy. : Decline in $\dot{V}O_2$ max with aging in master athletes and sedentary men. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* **68**, 2195-2199, 1990.
 - 19) Saltin, B., L. H. Hartley, Å. Kilbom and I. Åstrand : Physical training in sedentary middle-aged and older men. II. Oxygen uptake, heart rate and blood lactate concentration at submaximal and maximal exercise. *Scand. J. clin. Lab. Invest.*, **24**, 323-334, 1969.
 - 20) 佐藤佑, 石河利寛, 青木純一郎, 清水達雄, 前嶋孝 : 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, 1977.
 - 21) Sato, T. : Effect of jogging training for two years on cardiorespiratory functions in middle-aged and older individuals. *東北体育学研究*, **9**, 1-10, 1988.
 - 22) Shephard, R. J. : Do risks of exercise justify costly caution? *Physician & Sportsmed.*, **5**, 58-65, 1977.
 - 23) Shephard, R. J. : Physical activity and aging. 原田政美, 山地啓司訳, シェファード老年学・身体活動と加齢. 医学書院, 東京, 1979.
 - 24) 東京都立大学体育学研究室編 : 日本人の体力標準値. 不味堂出版, 東京, 1988.
 - 25) Wilmore, J. H., J. Royce, R, N. Grandola, F. I. Katch and V. L. Katch : Physiological alteration resultig from a 10-week program of jogging. *Med. Sci. Sport Exerc.* **2**, 7-14, 1970.
 - 26) 山地啓司 : 運動処方のための心拍数の科学, 大修館書店, 東京, 1983.
 - 27) 読売新聞, 第41782号, 1992.

Cardiorespiratory Response to Given Work Load after 10 Years in Middle-aged and Older Individuals.

Tasuku SATO and Shozo SUZUKI

Effect of aging on circulatory responses to given work load were investigated in middle-aged and older individuals. Seven males and six females ranging in age from 48 to 77 years old (mean : 59.7) were studied.

Measurements for heart rate, blood pressure, respiratory rate, ventilatory volume and oxygen intake were performed during 12 min. exercise on a bicycle ergometer consisting of 4 min. exercise at 150, 300 and 450 kgm/min in 1980 and 1990.

The major results were as follows.

- 1) Left grip strength were found decreased more than right one after 10 years of aging.
- 2) As for the effects of aging on circulatory function during exercise, the increase of systolic blood pressure were greater than heart rate.
- 3) Rate-pressure product (systolic blood pressure \times heart rate) were found increased in older individuals.
- 4) Oxygen requirement of the same work load was not affected by aging. Their ventilatory volume were increased with aging, but respiratory rate during the exercise did not change which resulted in increase of tidal volume (tidal volume : ventilatory volume/respiratory rate).
- 5) These results suggest that respiratory efficiency of older individuals remarkably decrease because of lesser oxygen removal.