

# 中高年者における長期間のトレーニングが 生理機能に及ぼす影響

——30年間の縦断的観察——

江 橋 博

東亜大学 総合人間・文化学部 健康科学研究室  
E-mail: eba@toua-u.ac.jp

芝 山 秀太郎

鹿屋体育大学  
E-mail: shiba@nifs-k.ac.jp

朽 木 勤

東亜大学大学院 総合学術研究科  
E-mail: tsutomu.kuchiki@nifty.ne.jp

## 要 旨

運動習慣の実践が $\dot{V}O_2 \max$ を中心とした生理機能にどのような影響を及ぼすかを明らかにするため、30年間にわたる縦断的観察を試みた。被験者は開始時の年齢が32歳と38歳の健康な男性2名である。運動処方原則として次のように設定した。すなわち1回20分以上、週5日、強度は $\dot{V}O_2 \max$ の60~70%のジョギングとした。30年間の運動回数は8722回と8805回であった。この間1年に1回、同時期に最大運動を負荷して生理機能の反応を測定した。

その結果、 $\dot{V}O_2 \max$ は両者ともトレーニング継続にもかかわらず漸減し、低下率は10年で11~13%、20年で16~19%、そして30年(1名28年)では26~27%であった。最大HRも30年経過時では約10%の低下を認めた。このように長期間にわたって運動を継続しても $\dot{V}O_2 \max$ の低下は避けられず、加齢による生理機能の老化現象がトレーニングの効果を上回っているものと考えられる。しかし、トレーニングによって生理機能の低下水準をある程度抑制することは可能であると推察した。

キーワード: トレーニング、 $\dot{V}O_2 \max$ 、加齢、縦断的観察

## 緒言

加齢にともなって身体の生理機能が低下することは多くの研究で明らかにされている。そのなかでも有酸素能力は低下が顕著に現われる代表的な体力要素であり、この有酸素能力の低下は加齢現象によって生じるのみならず、身体活動量の減少や病気の罹患とも関係することが指

摘されている(田中2003)。

すなわち、有酸素能力は健康問題と密接に関係していることを示しており、近年の疫学研究においても有酸素能力と高血圧や糖尿病などのいわゆる生活習慣病の罹患率、癌による死亡やあらゆる死亡原因の相対的な危険率とも密接な関係があり、また、有酸素能力の高い者ほど疾病に対する相対的危険度が低いことなどが報告されている(Blair et al 1989)。

有酸素能力の代表的な指標である最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ) は酸素運搬に関与する呼吸循環系機能と骨格筋における酸素利用能力に依存している。この  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の加齢による変化に関する報告は数多くみられ、ほとんどが低下するというものである (Jackson et al 1988, Quirion et al 1987)。加齢による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  低下に関する横断的研究の代表的なものとして、Koval らは (1992) カナダオンタリオ州ロンドン市民 28 万人を対象に 55~85 歳の健常男女に焦点をあてたランダム調査を行い、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の加齢による推移を報告している。それによると加齢による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の低下は直線的であり、年齢の寄与率は 36~37% にすぎないという。そして、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$  は加齢の影響をうけるものの、55 歳以降は加齢以外の要因が存在し、その影響を強くうけていることも示唆している。これに関連し、Hagberg は (1987) 加齢による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の低下は加齢そのものの他に、体脂肪や体重の増加、筋肉の減少、日常生活における身体活動量の減少、疾病罹患率の上昇などが考えられると述べている。また、縦断的観察でも加齢による低下は避けられず、特に非活動的な生活をしていると低下率は年間  $1.62 \pm 1.03 \text{ ml/kg/min}$  に達し、活動的な生活習慣を有していると低下率は低く  $0.56 \text{ ml/kg/min}$  であったという。そして活動的な生活でもその水準が高いほど低下率はさらに低くなる (Dehn and Bruce 1972)。また、23 年間の縦断的観察の結果、運動実施群では 23 年間で 13%、非運動群では 41% の低下を認め、運動習慣は  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の低下を抑制するとの報告もある (Kasch et al 1990)。このように  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  は加齢に伴い低下することは明らかであるが、しかし一方では中高年者でもトレーニングによって  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の

低下を抑制することが可能であることと反対に、増加するという報告も見受けられる (Nieman et al 1993, Steinhaus et al 1990)。

以上のように加齢による  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の変動に関してはいろいろな意見が存在しているのが現状で、この要因は被験者のトレーニング前の体力水準や身体の特性、トレーニング処方、観察の方法、などが影響しているものと考えられる。

このように加齢による生理的機能の変化とトレーニングに関する知見に一致をみない要因を明らかにすることは意義深いことと考える。そのためには中高年者が長期間にわたってトレーニングを実施し、生理的機能の変化を縦断的に観察することが必要であると思われる。

そこで本研究では健康維持を目的とした運動習慣を継続した場合、健康関連体力である  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  やそれに関連するその他の生理機能を表す指標の最大値にどのような影響を及ぼすかを明らかにするため、30 年にわたって縦断的に観察した。

## 研究方法

### 1) 被験者

被験者は実験開始時の年齢が 32 歳 (H.E) と 38 歳 (H.S) の健康な男性 2 名である。いずれもあらかじめ各種の内科的検査を実施し、呼吸循環系その他に疾病異常のないことを確認した。表 1 には両被験者のトレーニング開始前の体格と呼吸循環機能の最大値および 2003 年 5 月現在 (30 年経過) のトレーニング回数について示した。

30 年間のトレーニング回数は被験者 H.E では 8722 回、H.S は 8805 回であった。1 回のトレーニング距離を仮に 4 km とすると前者は

表 1 被験者のトレーニング開始時の体格、呼吸循環機能の最大値および 2003 年 5 月までのトレーニング回数

Sub.	Age	Body Height(cm)	BMI	Body Weight(kg)	Chest Girth(cm)	$\dot{V}O_2 \text{ max}$ (ml/kg/min)	$\dot{V}E \text{ max}$ (l/min)	HRmax(beats/min)	Times of Training
H.E	32	163.5	20.1	54.0	85.0	66.9	94.5	193.0	8722(2003.5)
H.S	38	165.8	21.1	59.1	86.8	59.1	102.5	187.0	8805(2003.5)

35088km、後者は 35220km 走行したことになる。

## 2) トレーニング処方

運動負荷は原則として傾斜角 3° の上り勾配によるトレッドミル走とした。負荷強度は予め予備実験を行い、被験者の最大酸素摂取量の約 60% を求め、この強度のトレッドミル速度とした。その結果、被験者 H.E の速度は 150m/min、H.S は 140m/min と決定した。運動時間は原則として 20 分間とし、頻度を 1 日 1 回、週 5 日とした。すなわち土日を除き毎日である。負荷強度として選んだ最大酸素摂取量の 60% は有酸素トレーニング効果の発現が十分に期待しうる負荷として「一緒に並んで走る人と話ができる」程度の強度に相当し、RPE や運動直後の HR を指標とすれば、ロードワークとして比較的再現性の容易なランニング法である。また、この程度の負荷である中等度負荷での 20 分という運動時間はエネルギー源としては脂質の動員量が最も高進した状態に当たると考えられている (Hassack and Buruce 1982)。

長期間にわたってトレッドミルによるトレーニングを連日実施することは不可能に近く、トレーニング開始 10 年間のトレッドミルによる走行運動は全体の 30% 程度で、それ以外は戸外でのジョギングとした。その場合の運動強度の設定には走行時の心拍数を指標にし、それをロード走にも応用してジョギングに対応させた。したがって、10 年経過以降のトレーニングはロードにおけるジョギングが主体であった。この際の負荷強度 (走行速度) の決定は運動途中 (停止などして) に触診法で HR を確認し、その HR を参考に自分で行なってコントロールした。

また、故障などによって走行が不可能な時は自転車エルゴメーター (モナーク社製自転車エルゴメーターおよびコンビ社製エアロバイク) による運動とした。なお、自転車エルゴメーターによる負荷強度の設定は運動中に触診法または自転車エルゴメーターに内蔵されている耳

朵センサーで表示される HR の変動を目安として被験者自身が行なった。

毎回のトレーニング実施に際しては運動直前と運動終了直後に、立位または座位姿勢による触診法によって HR を 1 分間測定し、記録した。

なお、故障などによって走れない時期の自転車運動は被験者 H.S では全過程のおよそ 5 ~ 6%、H.E はおよそ 3 ~ 4% であった。

## 3) $\dot{V}O_2$ max の測定

最大酸素摂取量は呼気ガス濃度の測定によって行った。測定は 30 年という長期間に及んでいるため分析装置を同一機種で実施することは不可能であった。したがって測定の初期 (0 ~ 5 年) はダグラスバッグ法により呼気を採取し、労研式呼気ガス分析装置で分析した。なお、換気量は乾式ガスメーターによって測定した。次いで (6 ~ 23 年) オランダ Mijnhardt 社製の自動呼気ガス分析装置 Oxycon を使用した。この測定時には市販の  $O_2$ 、 $CO_2$  の標準ガスを校正用として用い、その濃度はガスボンベに記載されているものを採用した。さらに、24 年経過以降はミナト医科学社製の自動呼気ガス分析装置 AE300S を用いて行った。この装置の使用に際しても市販の校正ガスを用いた。これらの  $\dot{V}O_2$  max 測定時には、同時に胸部誘導法による心電図を日本光電製ライフスコープによって記録し、測定初期は 1 分間隔で R スパイクを計測して HR とした。自動呼気ガス分析時にも胸部誘導法による心電図を導入し、ここでは HR が自動的に解析された。

運動はトレッドミル (西川鉄工製および日本光電製エアロミル) による負荷漸増法によって行なった。そのプロトコールは、トレッドミルの傾斜角を 3° と設定し、速度は 140m/分、以降 20m/分ずつ漸増し、トレッドミルの走行が不可能となった時点を Exhaustion とした。そしてこの間の最大値を  $\dot{V}O_2$  max とした。

なおこの測定は原則としてトレーニングを開始した 5 月に年 1 回実施した。その結果、被験者 H.E は 30 回、H.S は 27 回の測定を行なった。

## 研究結果

### 1) 身体組成の変化

表2にトレーニング経過にともなう体重、体脂肪率、除脂肪体重の変化を5年ごとに示した。トレーニング開始前の体重が54.0kgと低い水準にあった被験者 H.E はトレーニング5年経過時に56.5kgと4.6%の増加を示し、10～20年までは57kg台で安定していた。しかし、それ以降は増加傾向を示し、30年経過時には14.6%増の61.9kgにまで達した。一方、トレーニング開始前の体重が59.1kgと比較的重かった被験者 H.S は、H.E とは反対にトレーニング経過中の体重は開始前の水準以下を推移し、30年経過時でも59.4kgで1.2%減少水準であった。以上のごとく、トレーニングによる体重の変化は開始前の水準（初期値）によって変動経過は異なっていた。

体脂肪率を見ると、H.E はトレーニング経過15年までは初期値に比べ2.5%低下したが、それ以降20年目には9%、25年目は20%そして30年経過時には67%の増加であった。30年経過時の増加率は高いが、この時点における体脂肪率は16.7%と標準的レベルである。一方、H.S は15年目にもっとも低下し、その低下率は18.8%に達したが、25年目には反対に5.4%、30年経過時点では21.4%の増加が認められた。しかし、体脂肪率は13.6%と同年代の体脂肪率としては著しく低い。

除脂肪体重の変化は、H.E ではトレーニングによってわずかに増加し、経過中は顕著な変

化は認められなかった。しかし、H.S は H.E とは反対の傾向で、トレーニングによって2～3%の減少を示し、この水準を持続した。

### 2) トレーニングによる安静時および運動時 HR の推移

図1は安静時 HR とトレーニング運動終了直後に測定した HR の変化である。安静時 HR の推移をみると、H.E ではトレーニング開始後5年間は初期値である58拍/分を維持し、目立った変動を示さなかった。それ以降は初期値の HR より明らかに低い水準を維持したが、12年経過以降には再び初期値と同じかわずかに低い水準となり、30年経過時は57拍/分であった。一方、初期値が62拍/分であった H.S はトレーニング開始1年後には初期値より約10%の低下を認め、30年間のトレーニング継続中は約9～10%減の水準を維持し、30年経過時は H.E と同様57拍/分であった。

週5回と設定したトレーニング運動終了直後の HR 変化をみると、両被験者に違いが認められた。すなわち、H.E はトレーニング実施日によるバラツキが小さく推移したのに対し、H.S ではそのバラツキが著しい。この運動終了直後の HR は運動中の HR をある程度反映するものと考えられ、運動強度やその日の体調を推察する指標ともなると考え観察したが、30年間の推移は両者ともトレーニング前半、中盤、後半で傾向が異なっていた。すなわち、前半の12年経過時頃までは比較的 HR 水準は高く、中盤の22年頃までは前半の水準よりはやや低く、そして、終盤の8年間はさらに低いレ

表2 トレーニング経過にともなう身体組成の変化

トレーニング経過年数	体重 (kg)		体脂肪率 (%)		除脂肪体重 (Kg)		BMI	
	H.E	H.S	H.E	H.S	H.E	H.S	H.E	H.S
Before	54.0	59.1	10.0	11.2	48.6	52.5	20.1	21.1
5	56.5	57.3	9.7	10.9	51.0	51.1	21.0	20.8
10	57.3	58.2	9.8	10.7	51.7	52.0	21.3	21.1
15	57.5	58.8	9.5	9.1	52.0	53.4	21.3	21.3
20	57.4	56.4	10.9	9.3	51.1	51.2	21.3	20.4
25	58.8	57.7	12.0	11.8	51.7	50.9	21.9	20.9
30	61.9	58.4	16.7	13.6	51.6	50.5	23.3	21.2

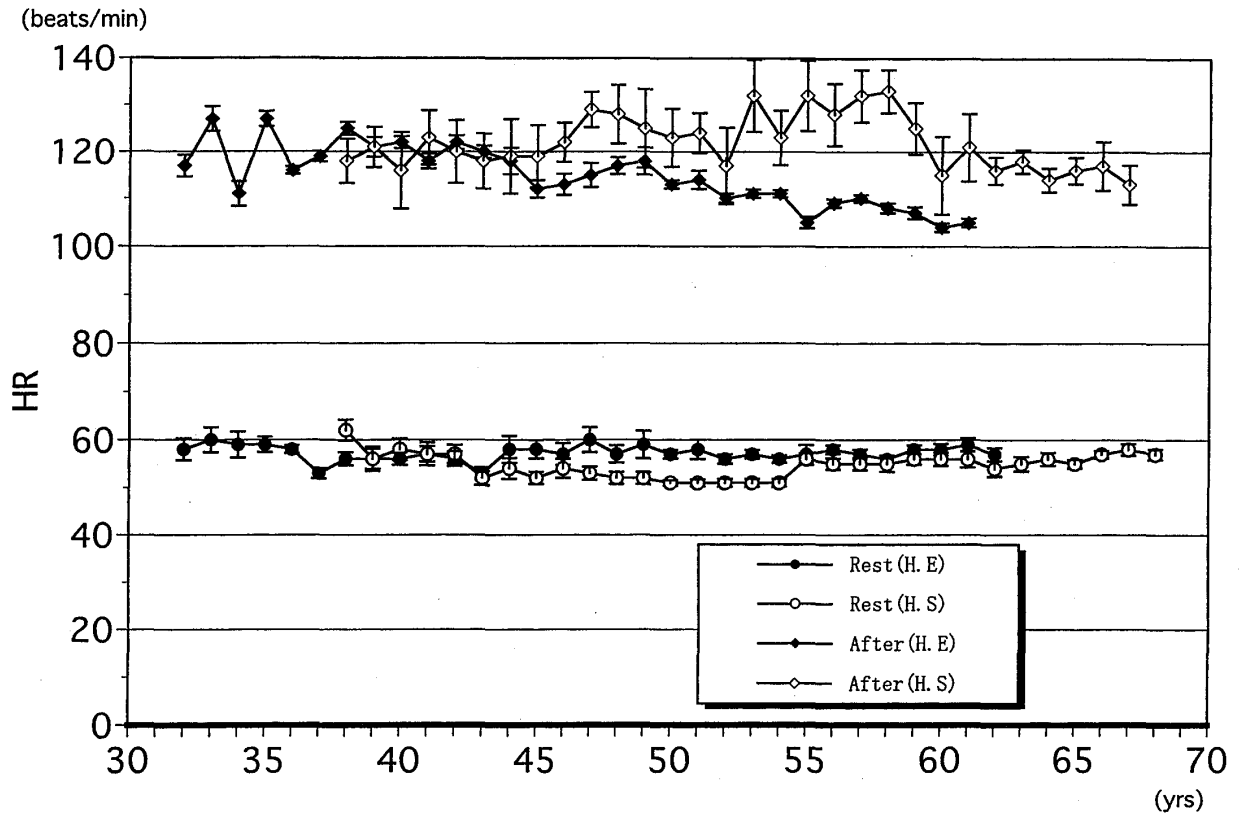


図1. 30年のトレーニング経過にともなう安静時と運動直後のHR変化

横軸は2名の被験者の年齢を表している。H.Eは32歳より、H.Sは38歳よりトレーニングを開始した。

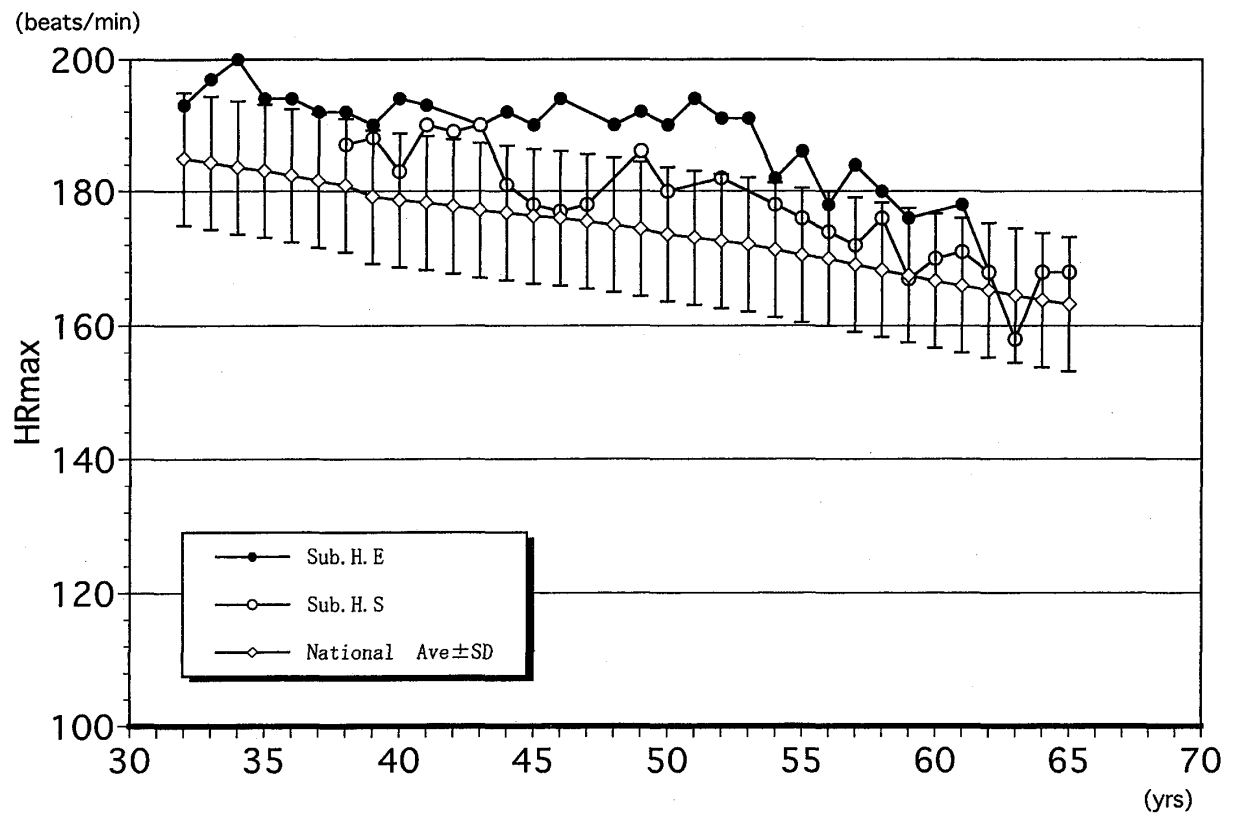


図2. 30年のトレーニング経過にともなう最大HRの変化

横軸は2名の被験者の年齢を表している。H.Eは32歳より、H.Sは38歳よりトレーニングを開始した。

ベルであった。30年経過時の運動終了直後のHRはH.Eが105拍/分、H.Sは113拍/分であった。

### 3) 最大HRと最大換気量の推移

図2、3にトレーニング経過中の最大HRと最大換気量の変化を示し、同時に図中には同年代の日本人の標準値（東京都立大学体力標準値研究会 2000）を表示した。

図2に示した最大HRの変化をみると、H.Eの初期値は193拍/分であったが、トレーニング20年経過中まではほとんどこの水準を維持していた。しかし、20年経過以降は漸減し、30年時には168拍/分と初期値より25拍/分低下した。（低下率13%）一方、H.Sは5年目までは初期値よりわずかに高い値を示し、それ以降は漸減する傾向で、28年経過時には168拍/分と初期値に対して10.2%の低下率であった。そして、一時は同年代の日本人標準値を下回る時期も認められたが、トレーニング経過中は全

般的に標準値より高いレベルにあった。以上のようにトレーニング継続にもかかわらず、最大HRは低下するが、その勾配は同年代の標準値と比較して小さい。

図3に示した最大換気量はトレーニング8年経過時ごろまでは両者とも同年代標準値および初期値を下回り、12年時頃までの4年間は漸増傾向を示したが、それ以降28~30年経過時までは反対に漸減した。このように最大換気量はトレーニング継続による明らかな特徴は認められなかった。

### 4) 最大酸素脈および最大酸素摂取率の変化

図4に最大酸素脈、図5に最大酸素摂取率の変化を示した。これらの指標は運動時の酸素運搬や酸素摂取の効率を示すもので、最大運動時に得られたものの経年変化である。酸素脈（酸素摂取量/HR）は1拍動に含まれる酸素量の指標と考えられ、多量に含まれれば酸素を末梢に運搬する効率が良いということになる。最大

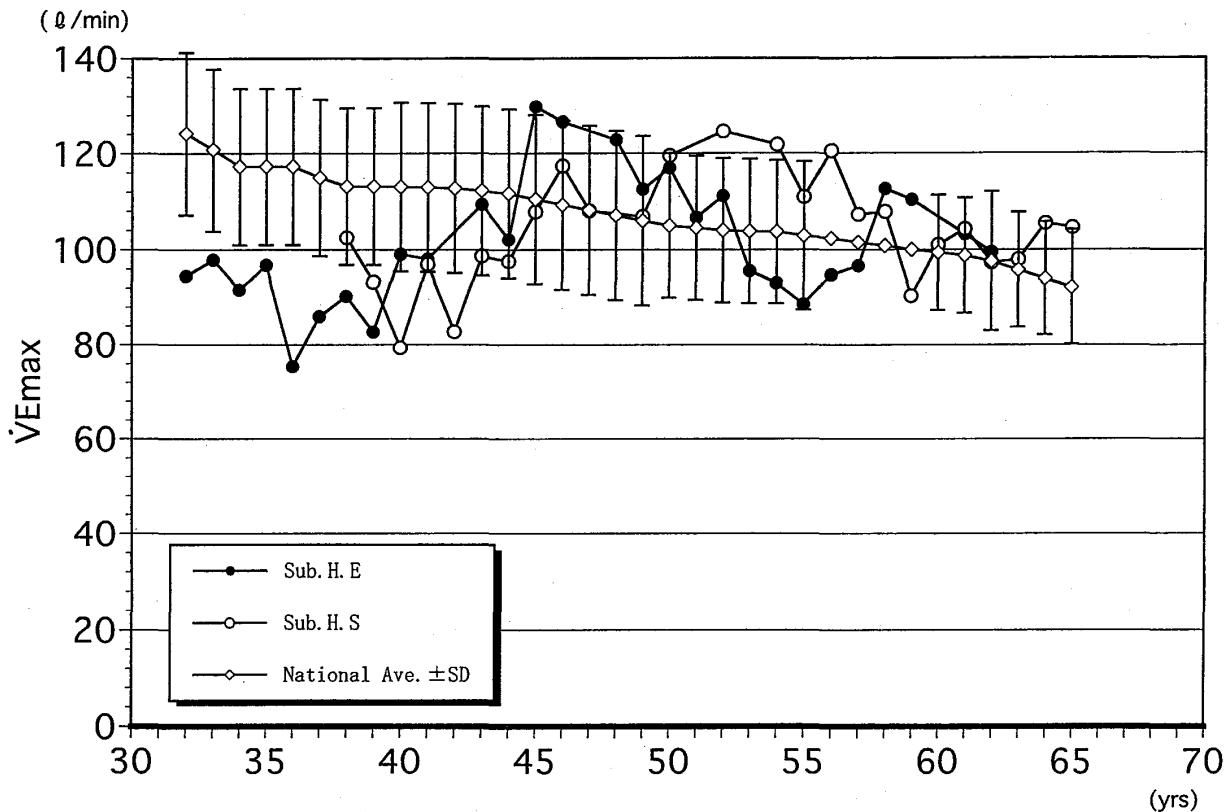


図3. 30年のトレーニング経過にともなう最大換気量の変化

横軸は2名の被験者の年齢を表している。H.Eは32歳より、H.Sは38歳よりトレーニングを開始した。

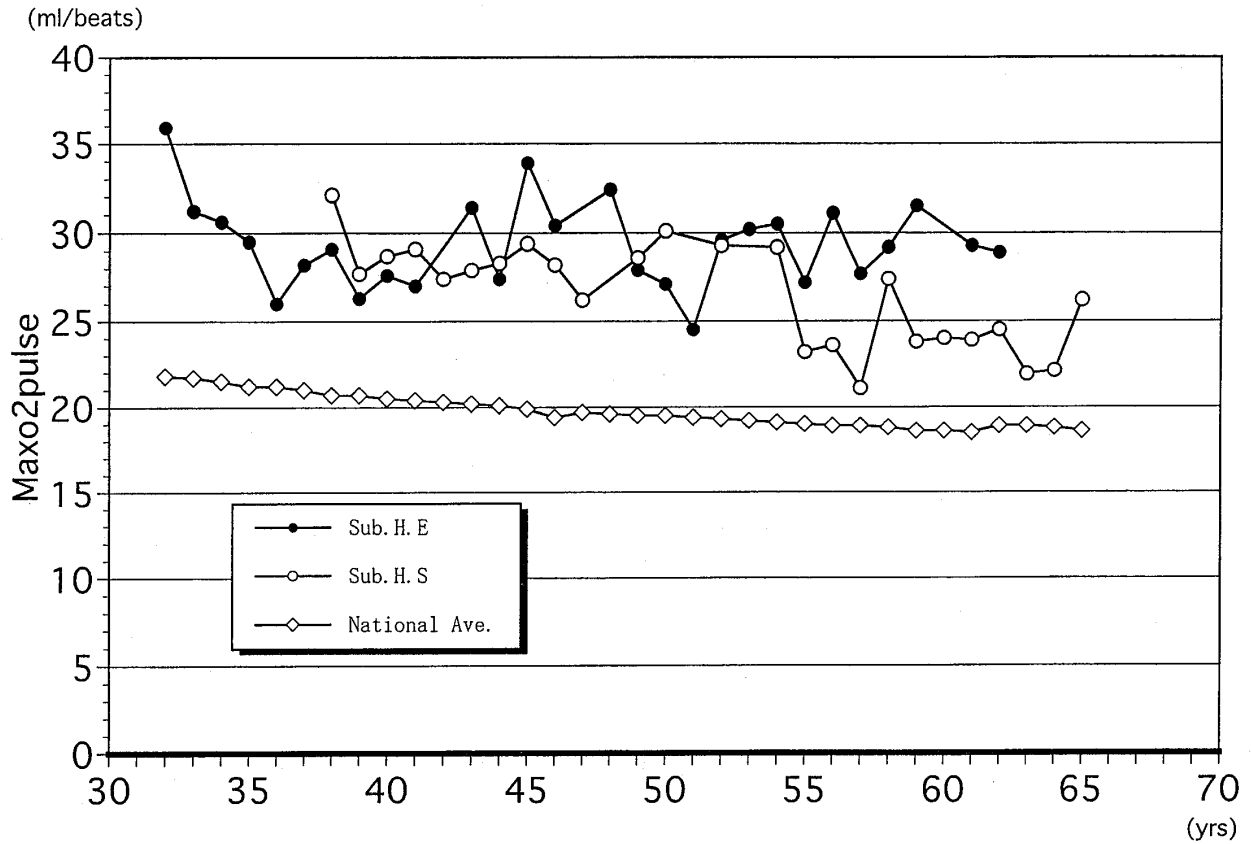


図4. 30年のトレーニング経過にともなう最大酸素脈の変化  
 横軸は2名の被験者の年齢を表している。H.Eは32歳より、H.Sは38歳よりトレーニングを開始した。

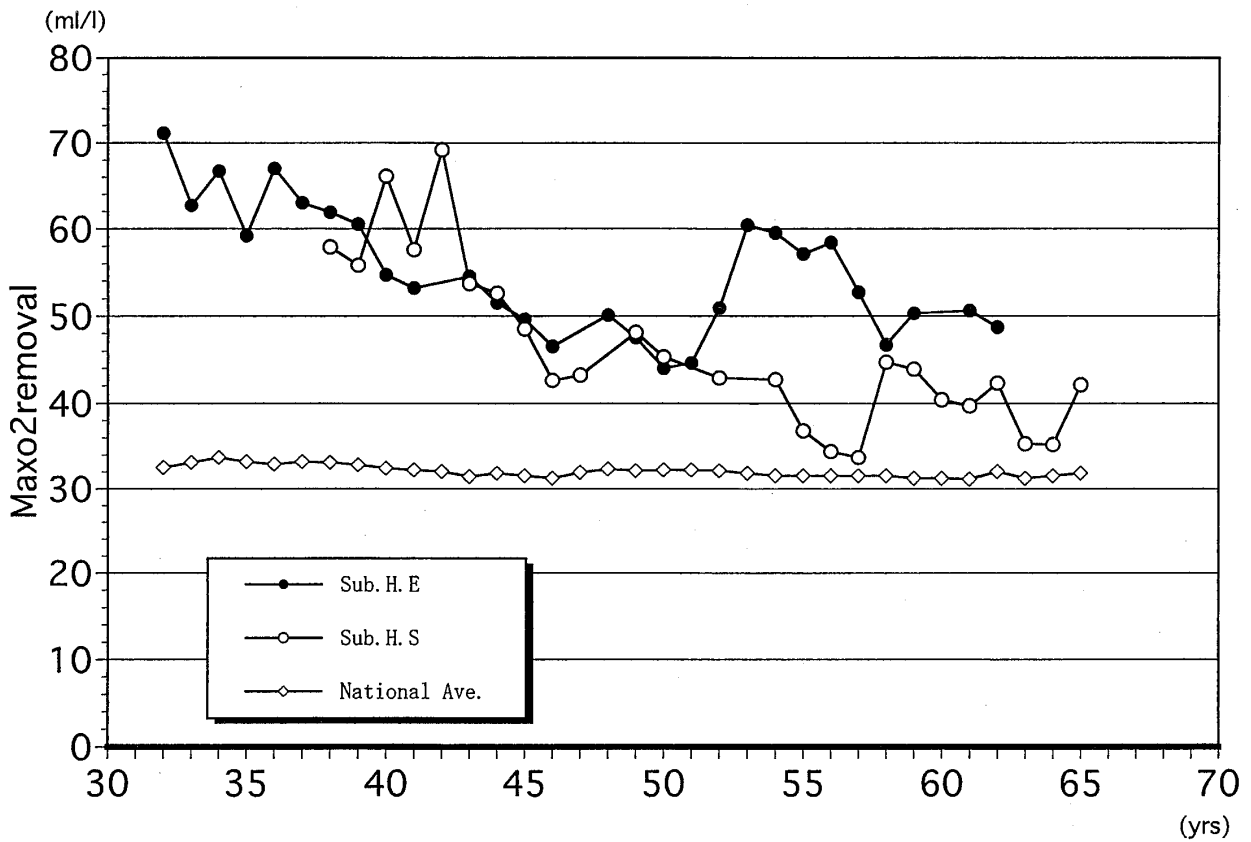


図5. 30年のトレーニング経過にともなう最大酸素摂取率の変化  
 横軸は2名の被験者の年齢を表している。H.Eは32歳より、H.Sは38歳よりトレーニングを開始した。

酸素脈の推移は図4のごとく、両者ともトレーニング実施にもかかわらず初期値を下回って推移していた。すなわち、初期値は30~40ml/拍の水準であったものが、15年経過時までは両者とも25~30ml/拍の値であり、それ以降H.Eは約30ml/拍、H.Sは約23ml/拍の水準を持続した。トレーニング期間中、これらの値は両者とも同年代の日本人標準値よりは高いレベルで推移した。図5に示した酸素摂取率（酸素摂取量/換気量）は換気量1ℓに対する推定酸素量ということになり、酸素摂取の効率を示す指標と考えることができる。この値は初期値に対してトレーニング継続中に漸減する傾向を示し、両者とも20年経過時まで持続した。その後一旦増加した後、再び減少し、H.Eでは30年経過時は初期値に対して31.5%、H.Sは28年経過時には27.7%の減少であった。

#### 5) $\dot{V}O_2 \max$ の変化

トレーニング継続にともなう $\dot{V}O_2 \max$ の推

移を図6に示した。図で明らかなように両者ともトレーニング実施にもかかわらず初期値の水準以下を推移した。すなわち、H.Eの初期値は66.9ml/kg/分と非常に高い値を示し、5年経過時には54.2ml/kg/分まで漸減した。それ以降は多少の増減を示すもののほぼこの水準域である50~60ml/kg/分の範囲内を持続し、加齢による顕著な低下はみられなかった。しかし、27年経過時より再び低下傾向を示し、30年経過時点では48.5ml/kg/minまで低下したが、しかし、この値は同年代の日本人標準レベルよりは著しく高値であった。

一方、H.Sの初期値は59.1ml/kg/minと同年代の全国標準値である37.8ml/kg/minよりかなり高い水準であった。トレーニング経過中をみると、初期（1~2年）にはすでに約12%の低下を示し、その後わずかな増減を認めるがほぼこの水準を17年経過時まで持続した。そして、17年以降再び40ml/kg/minまで低下し、28年経過時の値は44ml/kg/minであった。

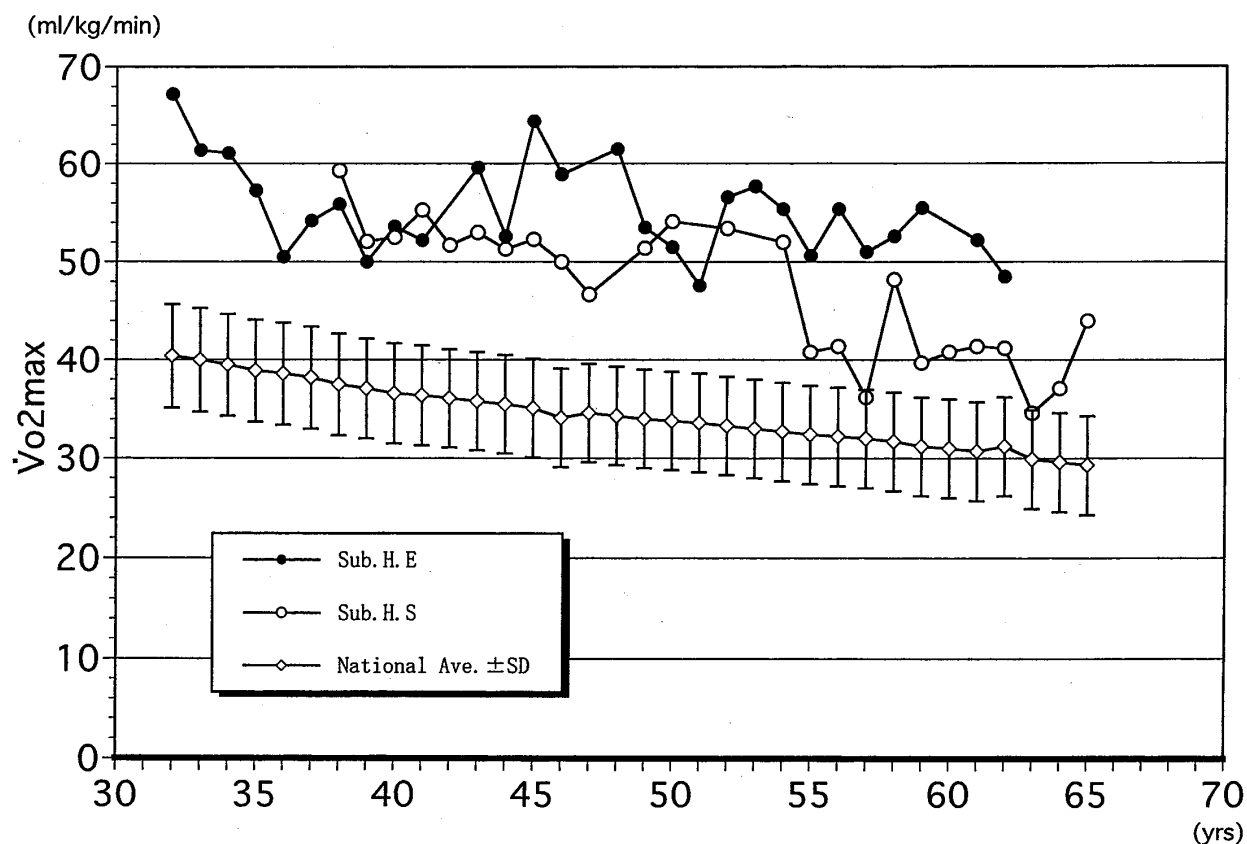


図6. 30年のトレーニング経過にともなう最大酸素摂取量の変化

横軸は2名の被験者の年齢を表している。H.Eは32歳より、H.Sは38歳よりトレーニングを開始した。



6) トレーニングによる生理的指標の最大値の変化率

トレーニング10年ごとの $\dot{V}O_2 \max$ 、最大HR、最大酸素脈の変化率を図7に示した。この値は初期値を0として10年目、20年目の値を変化率で表したものであり、30年目の変化率の場合、H.Sは28年時の値で表示してある。10年単位で比較すると、 $\dot{V}O_2 \max$ は両者ともトレーニング経過にともなって漸次低下した。その低下率はH.Eの場合、10年経過時は13%、20年時は19%、そして30年経過時（H.Sは28年）では26%であった。一方、H.Sはそれぞれ11%、16%、27%で、両者ともほぼ同水準の低下率を示した。このようにトレーニング継続にもかかわらず、トレーニング経過年数の増加とともに $\dot{V}O_2 \max$ の低下率も増大する傾向が認められた。

図の中段に示した最大HRは10年経過した

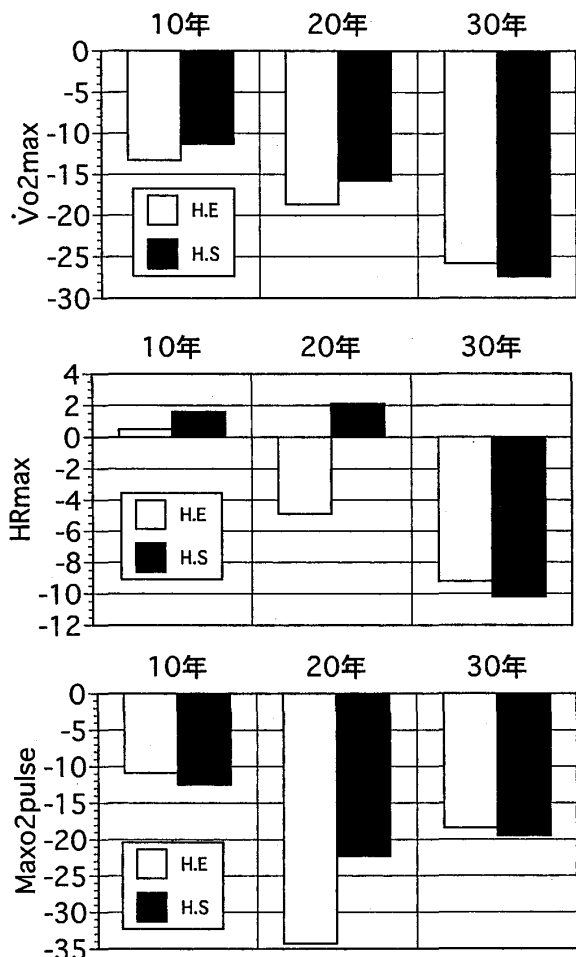


図7. トレーニング経過による変化率

時点では両者ともわずかに低下したが、20年時ではH.Eが5%低下したのに対し、H.Sは反対に2%上昇の結果であった。しかし、30年経過時は両者とも明らかに低下し、その低下率はおおよそ10%であった。

また、図の下段に示した最大酸素脈も各経過年次とも明らかに低下が認められ、両者ともトレーニング20年経過時の低下率が最も大きかった。

考察

30年間のトレーニングによる身体組成に関する指標の変化は初期値の値によってトレーニング経過中の変化に差がみられた。すなわち、体重ではH.Eは増加傾向を示し、H.Sは減少傾向を示した。そして15年経過以降は両被験者とも増加傾向を示し、体脂肪率は顕著に増加、除脂肪体重は変化しないか減少する傾向であった。したがって、トレーニング継続による体重の増加は、主として体脂肪量の増加であることが推察される。そして、トレーニング前半期、すなわち15年経過時（年齢は48歳と53歳）までの変化と15年以降では異なった反応が認められ、身体組成はトレーニングを継続しても加齢による影響は避けられないものと考えられる。

トレーニングが身体組成に及ぼす影響に関して、古くはWilmoreのレビューがあり、北川はこのデータに資料を追加してまとめている。その報告によると、一般人の青年から中高年に至る肥満者を含む幅広い年齢層を対象とした被験者について、持久性トレーニングによる影響を調べた。その結果、男女とも体重は減少し、LBMはわずかに増加、体脂肪率は減少していることから、体重の減少は体脂肪量の減少によるものと述べている（北川1985）。中高年者を対象とした研究では、速歩又はジョギング運動を運動強度が140拍/分程度、1回1時間、週4日の処方で行ったところ、男女差は認めず、皮下脂肪厚が平均17%減少し、除脂肪体重は平均10%増加した。そして、高齢者

でも持久的トレーニングを行なうと呼吸循環系のみならず身体組成にも望ましい効果を示すと結論づけている (Sidney et al 1977)。しかし、一方では中高年ジョガー 11 名を対象に 5 年毎に 3 回縦断的に観察した結果、15 年後には皮下脂肪厚は 30%、体脂肪率は 16.5% の増加が認められたという報告もあり (小林 1990)、必ずしも一致した知見が得られているわけでもない。しかし、Astrand ら (1973) の 21 年間の縦断的観察による報告にもあるように日常生活の中で積極的に身体活動を実践している中高年者は体重の増加が著しく少ない。

これらのことから、運動を習慣化している人も含め、身体活動の活発な人は一般人でも体脂肪の沈着が抑制される機構が作用するのではないかと推察される。そして、BMI を指標とした健康度を考えると、本研究ではトレーニング前より BMI の理想値である 22 に近似した水準に達していたことから推察すると、健康維持のためには運動習慣の継続が有効であると確認できた。

本研究における安静時 HR を 1 年毎のデータで観察すると図 1 のごとくであるが、すでにわれわれが報告しているように、月単位で詳細にみるとトレーニング開始 12 週で両者とも 5 ~ 6 拍/分 (約 10%) の低下を示し、しばらくこの水準を持続していた (江橋ら 1986)。これは Gettman らの報告 (Gettmann et al 1976) と一致した傾向であった。

安静時 HR は加齢とともに若干の変動はみられるものの、成人 (20~60 歳) ではほとんど一定であると考えられている (山地 1994)。しかし、持久的なトレーニングを実践する人は心臓を中心とした循環機能に余力がついているため、安静時 HR は一般人に比べて低いことが古くから知られている (Gettmann et al 1976、Pollock et al 1974)。持久的トレーニングの実践による安静時 HR 低下のメカニズムについては明確にされているわけではないが、トレーニングによる心臓容積の増大、いわゆるスポーツ心臓の形成や心筋の発達、さらに心臓を支配する副交感神経系の促進などによるので

はないかと考えられる。先のわれわれの研究でも明らかなように X 線による心陰影の計測結果、心臓容積の増大が推察され (芝山と江橋 1982)、また、心陰影面積から推定した心容積と安静時 HR は男女とも負の相関が認められたとの報告などから考えると (江橋と芝山 1974)、トレーニングによる安静時 HR は心容積の増加による影響が大きいと推察される。

安静時 HR に対して、最大 HR の加齢変化はこれまで多くの研究報告によって明らかにされており、加齢とともに低下する (Barnard et al 1979、Drinkwater and Horvath 1979)。その低下率についてはいろいろな知見があり一定していないが、多くは年間で 0.7~6.0 拍/分の範囲の低下である (山地 1994)。近年、鈴木らは日本人を対象に一般健康人の年齢別最大酸素摂取量の基準値作成と同時に最大 HR についても報告している (鈴木ら 2003)。それによると 30 歳から 65 歳までの 5 歳間隔でみた最大 HR は、男性の場合、加齢によって年間およそ 4 拍/分~5 拍/分低下すると報告している。このように加齢による最大 HR の低下率に差が生じる要因は、対象者の身体活動条件、すなわち運動トレーニングを行なっているか否かによるが、一般に非鍛練中高年者では鍛練中高年者より最大 HR は低いことが明らかにされている (Costill and Winrow 1970)。本研究においても、最大 HR がトレーニング実践によって明らかに増加し、被験者 H.E の場合、20 年経過時までは初期値に対しておよそ 5~6 拍/分、約 2.7% の増加率で推移し、明らかにトレーニングの影響であると思われた。しかし、20 年経過以降になると反対に初期値に対して漸減傾向を示し、30 年経過時は 10.2% 減の 168 拍/分まで低下し、この水準は同年代の日本人平均値に等しい。この現象は長期間運動を継続していてもある年齢に達するとトレーニング効果の持続というより、加齢による生理機能の低下が大きく関与するためではないかと考えられる。

一方、H.S はトレーニング 5 年経過時までは明らかに最大 HR は増加するが、それ以降は

わずかな増減のくり返しであった。この H.S の場合、トレーニング5年経過ごろから貧血症状が現れ(江橋ら 1986)、最大運動時の生理機能は著しく低下したためにこのような結果になったものと考えられる。また、それ以降も整形外科的な故障が生じ、これらが影響して最大 HR は初期値以下に達したものと思われる。最大 HR は先行研究のごとく確かに一般人のトレーニングにおいても増加するが、30年という長期にわたる縦断的観察においては加齢による機能低下による影響も避けられないことが明らかとなった。

$\dot{V}O_2 \max$  は健康に関連する体力要素の一つであると重視されており、生活習慣病である高血圧症、糖尿病、肥満症などは  $\dot{V}O_2 \max$  を指標とする全身持久力が低いと罹患率が高いことも明らかにされている(青木 1993、進藤ら 1989、田中 2000)。そして厚生労働省においても健康づくりのための運動所要量として健康のために維持すべき  $\dot{V}O_2 \max$  の目標値を提示し、ある水準以上を維持することを推奨している。この  $\dot{V}O_2 \max$  も加齢にともなって低下する。その大部分は 20 歳前後で最大に達し、それ以降は低下するというものである (Babcock et al 1994、Hassack and Bruce 1982)。加齢による  $\dot{V}O_2 \max$  の低下は年齢と直線関係が成り立ち、男性では年間およそ 0.5ml/kg/分の低下がみられる (Dehn and Bruce 1972)。同様な値を Jackson ら (1995) も報告している。また、山地も (1994) 多くの先行研究をまとめ、男女とも年間 0.3ml/kg/分減少すると述べている。中高年代に限っての低下率は、55 歳~86 歳の男性 152 名、女性 146 名について調べた結果では、男性は年間 0.3ml/kg/分、女性は 0.25ml/kg/分であったという (Paterson et al 1999)。このような加齢による  $\dot{V}O_2 \max$  の低下要因として、加齢にともなう生理機能低下の影響は避けられないと考えられる。そして、中高年期以降の高齢期においては、加齢自体より何か軽度の疾患とか、不適当な生活習慣が影響し、長期間の身体不活動が生理機能を著しく低下させることが誘因であるとの指摘がある (Lemura et

al 2000)。

実際、中高年齢に達すると  $\dot{V}O_2 \max$  はどのくらいのレベルまで低下するののかという問題がある。この研究には横断的観察と縦断的観察があり、前者は先にも述べたように  $\dot{V}O_2 \max$  と年齢との相関を求めて算出することができる。それによると、一般人の例では 60 歳に達すると 20 歳の水準より約 20% は低下する (Manard and Stanish 1989)。また、20 歳代に比べて 50 歳代では 35% も低いという報告もある (Quirion et al 1987)。このような、加齢との関係は主に横断的観察による報告が多く、本研究のように縦断的に、しかも長期にわたる観察はあまり多くはない。そのなかで、Robinson ら (1975) は、37 名を対象に 31 年間の加齢による生理機能の変化を 20 歳時、40 歳時、50 歳時について観察した。それによると、 $\dot{V}O_2 \max$  は若年時 (18~22 歳) から 20 年を経過すると 12%、30 年では 25% の低下が認められたが、その一方で、8 名は 20 年後反対に 11% 増加している。この 8 名はテニス、スカッシュ、ジョギングなど有酸素運動を行った (Lemura et al 2000)。また、Kasch らは (1990)、中高年齢者を運動群と非運動群に分けて  $\dot{V}O_2 \max$  の変化を観察したところ、20 年後、運動群では 13%、非運動群では 41% 減少し、減少率は非運動群が大きいことを明らかにしている。

このように、運動習慣の実践は加齢による  $\dot{V}O_2 \max$  の低下を抑制することが示唆されている。本研究では、図 7 に示したように、 $\dot{V}O_2 \max$  の 10 年毎の変化をみると、運動実践を継続しているにもかかわらず  $\dot{V}O_2 \max$  は低下し、その傾向は期間が延長するにしたがって低下率は増大した。この結果は Kasch ら (1990) の報告にもあるように、運動実施群でも 20 年で 13% 低下したという報告、および、別の研究で週平均 3.6 回、1 回 60 分、80%HRmax の有酸素運動を 20 年間継続したが、 $\dot{V}O_2 \max$  は 12% 減少したという報告 (Kasch et al 1988) とほぼ同じ傾向であった。すなわち、このことは長期間にわたって運動習慣を継続しても

$\dot{V}O_2$  max の低下は避けられないと考えられる。しかし、トレーニングによって  $\dot{V}O_2$  max の減少レベルをある程度抑制することは可能であると推察される。

## 要約

運動習慣の実践が  $\dot{V}O_2$  max を中心とした生理機能にどのような影響を及ぼすかを明らかにするため、30年間にわたる縦断的観察を試みた。被験者は開始時の年齢が32歳と38歳の健康な男性2名である。運動処方は原則として次のように設定した。すなわち1回20分以上、週5日、強度は  $\dot{V}O_2$  max の60~70%のジョギングとした。30年間の運動回数は8722回と8805回であった。この間1年に1回、同時期に最大運動を負荷して生理機能の反応を測定した。

その結果、 $\dot{V}O_2$  max は両者ともトレーニング継続にもかかわらず漸減し、低下率は10年で11~13%、20年で16~19%、そして30年(1名28年)では26~27%であった。最大HRも30年経過時では約10%の低下を認めた。このように長期間にわたって運動を継続しても  $\dot{V}O_2$  max の低下は避けられず、加齢による生理機能の老化現象がトレーニングの効果を上回っているものと考えられる。しかし、トレーニングによって生理機能の低下水準をある程度抑制することは可能であると推察した。

## 参考文献

- 1) 青木純一郎 (1993) Health-Related Physical Fitness Test としての体力測定項目. *J. J. Sports Sci.* 12, 605-608
- 2) Astrand, I., P.-O. Astrand, I. Hallback and A. Kilbom (1973) Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J. Appl. Physiol.* 35, 649-654
- 3) Babcock, M.A., D.H. Paterson and D.A. Cunningham (1994) Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, 447-452
- 4) Barnard, R. J., G. K. Grimditch and J.H. Wilmore (1979) Physiological characteristics of sprint and endurance Masters runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 11, 167-171
- 5) Blair, S.N., HW3rd. Kohl, R. SJr. Paffenbarger, D. J. Klark, K. H. Cooper L.W. Gibbons (1989) Physical fitness and all-cause mortality, A prospective study of healthy men and women. *JAMA.* 262, 395-2401
- 6) Costill, D.L. and E. Winrow (1970) A comparison of two middle-aged ultramarathon runners, *Res. Quart.* 41, 135-139
- 7) Dehn, M.M. and R. A. Bruce (1972) longitudinal variations maximal oxygen intake with age and activity. *J. Appl. Physiol.* 33, 805-807
- 8) Drinkwater, B.L. and S.M. Horvath (1979) Heart tolerance and aging. *Med. Sci. Sports Exerc.* 11, 49-55
- 9) 江橋 博・芝山秀太郎 (1974) 運動選手における心陰影と体力の相関について. *体力研究.* NO.30, 38-54
- 10) 江橋 博・芝山秀太郎・大森浩明 (1986) 成人の体力に及ぼす長期間の運動習慣形成の影響. *Annals Physiol. Anthropol.* 5(2), 75-88
- 11) Forbes, G.B. (1976) The adult decline in lean body mass. *Human Biol.* 48, 161-173
- 12) Gettman, L.R., M.L. Pollock, J.L. Oustin, A. Ward, J. Ayresaand and A.C. Linnerud (1976) Physiological responses of men 1,3, and 5 day per week training programs. *Res. Quart.* 47, 638-646
- 13) Hagberg, J.M. (1987) Effect of training on the decline of  $\dot{V}O_2$  max with aging. *Fed. Pro.* 46, 1830-1833
- 14) Hassack, K.F. and R.A. Bruce (1982) Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: Comparison of age-related changes. *J. Appl. Physiol.* 53, 799-802
- 15) Jackson, A.S., E.F. Beard, L.T. Wier, R.M. Ross, J.E. Stuteville and S.N. Blair (1995) Changes in aerobic power of men, age 25-70yr. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 113-120
- 16) Kasch, F.W., J.P. Wallace, S.P. Van Camp and L. Verity (1988) A longitudinal study of cardiovascular stability in active men aged 45 to 65 years. *Physic. Sportsmed.* 16, 117-126

- 17) Kasch, F.W., J.L.Boyer, S.P.Van Camp L. S. Verity and J. P.Wallace (1990) The effect of physical activity and inactivity on aerobic power in older men, (A longitudinal study). *Physic. Sportsmed.* 18, 73-83
- 18) 北川 薫 (1985) 運動が身体組成にあたる効果. *体育の科学.* 35, 772-775
- 19) Koval, J.J., N.A. Ecclestone, D.H. Paterson, B.Brown, D. A. Cunningham and P.A. Rechnitzer (1992) Response rates in a survey of physical capacity among older persons. *J. Gerontol.* 47, 140-147
- 20) 小林 堯 (1990) 鍛練中高年者の有酸素的能力などに関する15年後の状況. *広島体育学研究.* 16, 33-39
- 21) Lemura, L. M., S. P.Von Duvillard and S.Mookerjee (2000) The effect of physical training of functional capacity in adults. Ages 46 to 90: a meta-analysis. *J.Sports Med. Phys. Fitness.* 40, 1-10
- 22) Menard, D. and W. D. Stanish (1989) The aging athlete. *Am. J. Sports Med.* 17, 187-196
- 23) Pollock, M.L., H.S.Miller and J.Wilmore (1974) Aprofile of a champion distance runner: age 60. *Med. Sci. Sports Exerc.* 6, 118-121.
- 24) Quirion, A., D.De Careful, L.Laurencelle, D. Method, P. Vogelaere and S. Dulac (1987) The physiological response to exercise with special reference to age. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 27, 143-150
- 25) Robinson, S., D. B. Dill, S. P. Tzankoff, J. A. Wanger and R. D. Robinson (1975) Longitudinal studys of aging in 37 men. *J. Appl. Physiol.* 38, 263-267.
- 26) 芝山秀太郎・江橋 博 (1982) 中高年者の体力特性. 一条書店. 東京. pp.315-325
- 27) 進藤宗洋・田中宏暁・田中 守・山内美代子・中西安弘・皆吉正博・本田加代子・鈴木美栄子・小貫秀和・湊 義勝・南 和代 (1989) 高血圧症の罹患率に対する最大酸素摂取水準値と加齢の相互関係について. *循環器情報処理研究会誌.* 8, 72-76
- 28) Sidney, H. R., R. J. Shephard and E. Harrison (1977) Endurance training and body composition of the elderl. *Ame. J. Clin. Nutr.* 30, 326-333
- 29) Steinhaus, L. A., R. E. Dustman, R. O. Ruhling, R.Y. Emmerson, S.C. Johnson, D. E. Shearer, R.W. Latin, J.W.Shigeoka and W. H. Bonekat (1990) Aerobic capacity of older adult:a training study. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 30, 163-172.
- 30) 鈴木政登・町田勝彦・石山育朗・塩田正俊 (2003) 健康人の性・年齢別最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2 \max$ ) 基準域および  $\dot{V}O_2 \max$  判定指標——反復切断法による  $\dot{V}O_2 \max$  基準域の設定——. *体力科学.* 52, 585-598. 2003
- 31) 田中宏暁 (2003) 高齢者の有酸素能力とその測定法. *体力科学.* 52, 39-46
- 32) 田中喜代次 (2000) 全身持久性体力の測定. *体育学研究.* 45, 679-694
- 33) 東京都立大学体力標準値研究会編 (2000) 新・日本人の体力標準値 2000 版. 不昧堂出版. 東京
- 34) 山地啓司 (1994) 運動処方のための心拍数の科学. 7 版. 大修館書店. 東京.
- 35) 山地啓司 (1994) 最大酸素摂取量の科学. 初版. 杏林書院. 東京. pp.126-139

## Abstract

Effects of aerobic training on the physiological properties  
in two middle-aged men: Longitudinal study for 30 years

Hiroshi Ebashi

Division of Health Science, Faculty of Integrated  
Cultures and Humanities, The University of East Asia  
E-mail: eba@toua-u.ac.jp

Hidetarou Shibayama

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya  
E-mail: shiba@nifs-k.ac.jp

Tutomu Kuchiki

Division of Integrated Humanistic and Cultural Studies,  
Graduate School of Integrated Science and Art,  
University of East Asia  
E-mail: tsutomu.kuchiki@nifty.ne.jp

Longitudinal investigation for 30 years was performed to study the effects of aerobic training on the physiological properties, such as the level of maximum oxygen consumption ( $\dot{V}O_2$  max). Two healthy men with the age of 32 and 38 years old, when the study was initiated, participated as the subjects. Jogging exercise at the intensity of 60-70% of  $\dot{V}O_2$  max was generally performed for more than 20 min/day, 5 days a week. The numbers of exercise performed during 30 years were 8722 and 8805, respectively. Physiological responses to exhaustive exercise were investigated every year. Even though the daily training was maintained, the levels of  $\dot{V}O_2$  max in both subjects gradually decreased; 11-13%, 16-19%, and 26-27% after 10, 20, and 30 (28 in one subject) years, respectively. The maximum heart rate also tended to decrease by ~10% after 30 years. It is suggested that the aging-related decreases of  $\dot{V}O_2$  max and maximum heart rate can not be prevented by the daily exercise training at a mild intensity. However, it was speculated that the rate of aging-related decline of physiological properties could be inhibited by daily exercise training.