

原著

水中運動を用いた高齢者のトレーニング効果  
—主に活力年齢を指標として—EFFECTS OF WATER-BASED WELL-ROUNDED EXERCISE ON VITAL AGE  
AND PHYSICAL FITNESS IN OLDER ADULTS山田忠樹\*<sup>1</sup>, 渡辺英児\*<sup>2</sup>, 岡田暁宜\*<sup>3</sup>  
竹島伸生\*<sup>1</sup>Tadaki YAMADA \*<sup>1</sup>, Eiji WATANABE\*<sup>2</sup>, Akiyoshi OKADA \*<sup>3</sup>,  
Nobuo TAKESHIMA \*<sup>1</sup>

## Abstract

The purpose of this study was to determine the effects of water-based exercise training on vital age (VA) in older adults. Thirty-nine volunteers were randomly divided into an exercise group (WEX: 8 man and 13 women, age  $69 \pm 4$  yr), and control group (5 men and 11 women, age  $68 \pm 4$  yr). The WEX participated in a 12-week supervised exercise program, 70 min/d, and 3 d/wk. Significant lowering in VA was noted in WEX ( $68.7 \pm 8.5$ yr  $\rightarrow$   $61.2 \pm 8.3$ yr), and no significant change was observed in control group ( $69.2 \pm 5.9 \rightarrow$   $69.7 \pm 8.3$  yr). The results indicate that the WEX is an effective measure to lower the VA, thus improving the overall physical fitness in the elderly.

**Keywords:** *older adults, exercise prescription, water-based exercise, vital age*

高齢者, 運動処方, 水中運動, 活力年齢

## 1. はじめに

近年, 健康づくりのための運動は, 「有酸素的運動 を取り入れた総合的な運動様式 (well-rounded exercise (エアロビクス) + 筋力づくり (レジスタンス) + 柔軟性) program, 以下 WREP) が推

- 
- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| *1 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科<br>大学院生      | *1 Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City<br>University, Student      |
| *2 中京大学体育学部<br>助手, 体育学博士              | *2 School of Physical Education, Chukyo University,<br>Assistant researcher     |
| *3 愛知教育大学保健管理センター<br>講師, 医学博士         | *3 Healthcare Center, Aichi University of Education,<br>Assistant Professor, MD |
| *4 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科<br>助教授, 医学博士 | *4 Graduate School of Natural Sciences, Nagoya<br>Associate Professor, Ph.D.    |

が推奨されている<sup>1)</sup>。また、アメリカ国立加齢研究所 NIA (1999)によれば、高齢者に推奨する運動様式として上記の3様式にバランス運動を加えた4種類の運動を取り上げている<sup>2)</sup>。こうした見方は健康づくりと同時に転倒—骨折—寝たきりなどを予防する、すなわち自立機能の長期的な維持が重要であると捉えている。

本邦では、平成9年(1997)に「生涯を通じた健康づくりのための身体活動のあり方」(厚生省)が検討され、高齢期については健康の維持・増進と疾病の予防・改善(主に前期高齢者:65~74歳)、自立の維持向上(主に後期高齢者:75歳以上)、さらには生きがい、満足感、コミュニケーションの獲得などの重要性が提言されているが、従来の有酸素性運動の推奨に加えて高齢者におけるレジスタンス運動の重要性が初めて具体的に提示された。このように現在ではエアロビクスと筋力づくりの重要性が認識されている。

高齢者の中には、呼吸循環器系に支障はないが、整形外科的疾患、例えば膝や腰など障害を有している者もみられ自転車駆動やトレッドミル歩行などの全身運動が困難なことが少なくない。このような場合には浮力の作用によって腰や膝への負担が軽減する水中運動が推奨されている<sup>3)</sup>。

総務庁(1997)による余暇活動の参加希望調査では、上位20位までの種目で運動・スポーツと答えたものは2種類に留まっていたが、それは水中運動(全体としては17位)と海水浴(18位)であった。健康でアクティブな生活実践という観点からも水中運動に対する興味が高いものと思われる。

水中運動は、多種多様である。古くからリハビリテーションの一環として水治療が利用され、水泳に加えて様々なレクリエーションや水中スポーツ(ダイビング、水上スキー、サーフィンなど)が開発されている。一方、トレーニングの一様式として考えると、水深を変えることによって体重を軽減の度合いも異なることから多様なエアロビクスが実施できることや水圧、水流を抵抗とした場合に適度なレジスタンス運動や WREP としての一様式としても期待されている。

これまでに水中トレッドミル、流水プールなどの作製、実験的に水位や水温を自動的に調節することが可能な実験用プールなどの開発が進み、水浸暴露に対する生理的応答や加齢による影響などの実験研究は多くなされている<sup>4,5)</sup>。

安静状態<sup>6)</sup>、運動中<sup>7-9)</sup>に対する生理的変化などについての研究は進んでいる。しかし、人が一定期間に亘り水中運動を実施した場合の運動、トレーニングに対する効果の実証は比較的少ない。

本研究は、高齢者の健康づくりのための具体的な運動方法の開発を目指し、これまでに特別な運動習慣を有しない高齢者を対象に12週間の定期的な WREP の一様式として水中運動をおこなわせ、水中運動による高齢者の運動プログラムの有効性について調べた。尚、運動の効果は個々の体力要因やそれぞれのパラメーターを評価することが多いが、特に WREP の運動方法では多くの効果を得ることがねらいとするものであり、総合的に運動の効果を検討することが必要である。こうした点から本研究では、過去に特別な運動習慣のない高齢者を対象に生物学的年齢(Biological age)を用いて12週間に亘る水中運動の効果調べた。中でも、運動時の生理情報が含まれており、健康度、老化度の評価尺度としての有効性が認められている活力年齢<sup>10,11)</sup>をトレーニング効果の指標として利用した。

## 2. 方法

### 2.1 被検者

過去に特別な運動習慣はなく、器質的疾患を有しない60歳以上の高齢女37人(運動群(E)21人:69.3±4.4歳)、非運動群(C):16人、68.3±3.9歳)を対象として、12週間に亘る定期的な水中運動をおこなわせた。被験者の身体特性をTable. 1に示す。被験者の募集は地方新聞による広告にておこなった。研究を始めるにあたり、全ての被検者は、問診、安静時心電図、血圧、肺機能、運動負荷テスト、血液生化学などのメディカルチェックを受けた。これらの検査結果を基に医師により運動実施が可能と判断された者を対象とした。被検者に対しては事前に起こり得る危険性について十分な説明をおこない、研究協力への承諾を得た。

### 2.2 水中運動

運動プログラムは、週3日、12週間、70分/日とし、水深1.0(サイド)から1.1m(中央部)の室内温水プール(アクアスペース北、名古屋市)を利用した。水温は30℃、室温32℃であった。毎回の運動プログラムは、10分間の準

備運動（ストレッチ運動とエアロビクス），20分間の水中歩行，20分間のリズム運動，10分間の筋力強化運動，10分間のリラクゼーションを含む整理運動の内容とし，総運動時間は70分とした。運動中はリラクゼーションでの一部の動作を除き，すべての運動は立位姿勢をとらせた。顔つけや水泳などは一切おこなわせないようにした。

すべての被験者は，運動前に心拍数測定計（ポーラー社製、フィンランド）を装着し，運動中は運動実施者自身及び指導者（または測定員）により運動強度を随時チェックさせた。運動強度は自転車運動負荷試験によって評価した運動前（プレテスト）における個人毎の乳酸性閾値に相当する心拍数（HRLT）（平均120拍/分）を目標として調節させ，4週間毎に徐々に歩行速度や運動内容を変えることによって強度を高めた。

歩行運動では，始めの4週間（第1ステージ）は同じ進行方向でおこなわせ，以後は1分間毎に進行方向を反転させた。これは，水中歩行により生ずる水流を利用して歩く又は水の流れに逆らって歩行するという事などから運動強度に変化または高い強度での運動の導入をねらいとした。リズム運動では，第1ステージでは音楽のリズムを毎分110ビート程度として音楽を作成，第2ステージでは120から130ビート程度を用いた。第3ステージではジャンプ系の動きを運動プログラムに取り入れた。

筋力強化運動では，フィンベル（サンリツ、名古屋）などの水中抵抗用具を用いて，主に腕，肩，脚などの大筋群を使つてのレジスタンス運動をおこなわせた。運動の回数は10から15回程度とし，それぞれ最大速度での運動を繰り返させた。レジスタンス時は特に運動中に止息しないことを指導した。毎回運動では7~8種類を用意し，指導者に従って実施した。

C群は，比較対象としてE群がトレーニング前後におこなう検査日程に合わせて測定を実施した。尚，生活習慣についてはそれ以前の生活を維持することを依頼し，特別な指示を与えなかった。

### 2.3 運動の効果測定

本研究では，運動の効果を総合的に評価する立場から，活力年齢<sup>4,5)</sup>を指標として運動の前後に測定した。

### 活力年齢

構成変数は女性で11変数<sup>4)</sup>，男性で9変数<sup>5)</sup>となっている。

#### 女性用活力年齢の構成変数と算出式

$$VA = 8.90VS + 0.33CA + 32.83$$

$$VS = 0.016X_1 + 0.011X_2 - 0.063X_3 - 0.012X_4 + 0.004X_5 + 0.004X_6 + 0.004X_7 + 0.034X_8 - 0.0037X_9 - 0.05X_{10} - 0.367X_{11} - 1.035$$

VA= 活力年齢，歳；CA= 暦年齢，歳；VS= 活力指数；X<sub>1</sub>= 腹囲（AG），cm；X<sub>2</sub>= 収縮期血圧（SBPrest），mmHg；X<sub>3</sub>= 乳酸性閾値に相当する酸素摂取量（VO<sub>2</sub>LT），ml/kg/min；X<sub>4</sub>= 乳酸性閾値に相当する心拍数（HRLT），bpm；X<sub>5</sub>= 総コレステロール（TC），mg/dl；X<sub>6</sub>= 低比重リポ蛋白コレステロール（LDLC），mg/dl；X<sub>7</sub>= トリグリセライド（TG），mg/dl；X<sub>8</sub>= ヘマトクリット（Hct），mg/dl；X<sub>9</sub>= サイドステップ（SS），回数/20秒；X<sub>10</sub>= 閉眼片足立ち（BL），秒；X<sub>11</sub>= 1秒量（FEV1），L

#### 男性用活力年齢の構成変数と算出式

$$VA = 15.16VS + 0.188CA + 39.7$$

$$VS = 0.025X_1 + 0.011X_2 + 0.002X_3 + 0.002X_4 - 0.046X_5 - 0.013X_6 - 0.025X_7 - 0.008X_8 - 0.241X_9 + 1.85$$

VA= 活力年齢，歳；CA= 暦年齢，歳；VS= 活力指数；X<sub>1</sub>= AG，cm；X<sub>2</sub>= SBPrest，mmHg；X<sub>3</sub>= TC，mg/dl；X<sub>4</sub>= TG；X<sub>5</sub>= VO<sub>2</sub>LT，ml/kg/min；X<sub>6</sub>= HRLT，bpm；X<sub>7</sub>= SS，回数；X<sub>8</sub>= BL，秒；X<sub>9</sub>= FEV1，L

### 2.4 運動負荷試験および血清脂質検査

自転車エルゴメーター（818-E, Monark, Sweden）を用い運動開始時の負荷強度は0ワット(W)とし，その後1分毎に12.5W づつ連続して増やす多段階漸増負荷法により最大運動まで実施した。ペダル回転数は50rpm一定とした。運動中は，血中乳酸性濃度（La），換気量（VE），VO<sub>2</sub>，心拍数（HR），収縮期血圧（SBP），拡張期血圧（DBP），主観的運動強度（RPE）を測定した。

LTは，Laが安静水準から急増し始める時点と定義した。LTの決定は，視覚的判定に加え，VO<sub>2</sub>とLaを対数変換するBeaverらの方法<sup>12)</sup>を利用した。La測定のための血液サンプルは，1分毎に右腕正中肘静脈より静注射（テルモ社製，21G）にて採取し，酵素電極法（ダイヤグルカ HEK-L，東洋紡）を用いて分析した。

呼気ガス分析はアニマ社製自動ガス分析器（AT-1000）を利用し，被験者毎に測定前後で標準ガスによる校正をおこなった。

HR は胸部双極誘導によるテレメータ法(Lifescope 8, 日本光電)により連続測定した。

血圧は、コーリン製自動血圧測定器(STBP 680)を用いて左上腕部より1分間に測定した。RPEはBorgの旧尺度を用いて、各負荷段階での1分間の自転車駆動終了直前に尺度表を被験者に提示し頷くという要領で測定した。

被験者には13-15時間以上絶食させ、早朝空腹時で採血を実施した。血清脂質分析は愛知健康づくり事業団に委託した。

## 2.5 データ処理

運動の効果は、繰り返しによる分散分析(2 way repeated measure ANOVA)により検討した。各パラメーター間の関連は、個人及び集団でPearson積率相関係数及び回帰式を用いて検討した。なお、膝が痛い又は不安であるという理由で測定をおこなわなかった場合には、トレーニング前後の値を欠損値として処理した。男女で活力年齢の構成変数に違いがあるために厳密には区別する必要がある。本研究ではサンプル数が小さかったことと、両群における男女の比率がほぼ同じ(男3:女7)であったこと、および運動による効果を検討することが目的であることから男女合わせてトレーニング効果を検討するという限界がある。尚、統計的水準は5%以下を有意とした。

## 3. 結果

### 3.1 活力年齢:

運動前の暦年齢は、E群が69.3±4.4歳、C群が68.3±3.9歳であり、活力年齢は各々68.7±8.5歳、69.2±5.9歳であった(Table 2)。12週間の水中運動により両群間における活力年齢には有意な交互作用が認められた。E群の活力年齢は7.5歳(61.2±8.3歳)と有意に若返った。一方、C群では有意な変化を認めなかった(69.2±5.9歳→69.7±5.3歳)。

### 3.2 活力年齢の構成変数:

運動前後における構成変数の平均値、標準偏差を表に示した(Table 2)。活力年齢算出式を構成する変数で活力年齢を低くする、すなわち暦年齢が高くなるにつれ低下すると考えられるものをマイナス係数(スコア, VAm)として

いるが、VAm及び構成変数である $\dot{V}O_2LT$ , HRLT, 閉眼片足立ちにおいて交互作用(時間×群間)が認められた。一方、活力年齢を高くするプラス係数(スコア)では両群間で交互作用(時間×群間)に有意な改善が認められなかった。

Table 1. Characteristics of the subjects.  
(n=43)

Variable	Exercise (n=21)	Control (n=16)
Age (years)	69.3 ± 4.4	68.3 ± 3.9
Height (cm)	156.1 ± 7.9	154.8 ± 8.8
Weight (kg)	55.3 ± 9.1	57.9 ± 10.2
%fat (%)	21.8 ± 7.9	24.4 ± 8.9
SBPrest	140 ± 11	134 ± 16
DBPrest	83 ± 9	76 ± 13*

*mean ± SD, \*P<0.05*

## 4. 考察

高齢者の体力評価には、1)加齢による体力の評価、つまり老化の進行度をチェックすること、2)自立能力の水準を把握すること、3)運動処方を作成する上で必要となる情報の収集、などがあげられる<sup>13)</sup>。これまでに老化度、健康度の尺度としては生物学的年齢(Biological age)が種々検討され、最近では生理学的年齢、機能的年齢、体力年齢、活力年齢などから評価されてきた。なかでも、活力年齢は、血圧、血清脂質、体脂肪に加えて運動時の生理的応答などの情報を加えてヒトの老化度を現す尺度として有効性が示されている<sup>10)</sup>。さらに、この活力年齢は、一般人の場合において暦年齢とほぼ同じになるように作成されているが、定期的に運動をおこなった場合に有意に低下(若返り)することや有疾患群(高血圧、肥満、糖尿病)の場合には増加(老いる)することが認められており<sup>11)</sup>、運動の習慣化に鋭敏に反応するとみられ、運動の効果の指標としても有効という。

竹島ら(1995)<sup>14)</sup>は、日頃から運動をおこなっている平均暦年齢が69.5(±4.0)歳の高齢者を対象に活力年齢を調べたところ、65.9(±9.5)歳とやや若い結果を示したが、さらに自転車運動を中心とした12週間に亘る全身持久性トレーニングにより60.9(±8.4)歳にまで改善したことを報告している。先行研究によれば、活力年齢は定期的な運動の実施により5~6歳程度<sup>15-17)</sup>の低下が報告されている。本研究ではこれらをやや上回る若齢化が示され、WREPによ

る運動の効果は全身持久性、呼吸機能、敏捷性、血圧、血清脂質、肥瘦度に対して大きな効果が示されたものといえる。これは従来のエアロビクスに加えて筋力づくりを加えた WREP としての運動様式がもたらした総合的效果と推察される。

活力年齢の算出の過程で算出する活カスコアは、暦年齢の高くなるとともに増加するもの（血圧や血清脂質などの医学的関連項目、VSP）と減少するもの（体力関連項目、VSM）という分類が可能となっている。今回のトレーニングでは、VSP は有意な改善が示されなかったものの、VSM は有意な改善が認められた。すなわち、血圧や血清脂質の変化より、全身持久性（ $\dot{V}O_{2LT}$  が 27% の増加）、バランスなど体力関連項目における変化が大きく、継続的な運動の実施によりこれらの体力水準の向上によって活力年齢が若くなった。血清脂質などの健康関連指標は運動の効果も大きい、日常でのライフスタイル、特に食習慣によっても大きく影響を受ける<sup>18)</sup>。本トレーニング中は、運動に関わる指導を除き、生活内容に対しては特別な指示を与えていないが、被験者の内観によると水中運動後には空腹感があり、食べ過ぎてしまうと話す高齢者もみられたために食生活が変化した可能性や食量も変化したことも考えられる。しかし、体重、体脂肪への変化が観察されなかった。食事や運動以外の要素による影響も考えられるが、こうした点については今後の課題としたい。また、本研究では男女を合わせて処理したが、本来活力年齢は男女で構成変数が異なるためにそれぞれで検討する必要がある。この点は同様に今後の課題とする。

安静における水浸暴露や水中運動では陸上のそれらに比べて、浮力による体重の軽減と同時に水圧により一回拍出量、呼吸数や心拍出量が増加することが認められている<sup>19-21)</sup>。さらに、高強度下での運動をおこなうと陸上に比し、心拍数が低下することなどが報告されている<sup>6)</sup>。これらには主に交感神経の抑制などが考えられている<sup>22,23)</sup>。一方、こうした水浸暴露による生理的变化は若年者に比し、高齢者で小さいという見方がある。これは、加齢に伴う自律神経機能や血管弾性の硬化などによって水圧によって受ける影響が小さいことなどが推測されている。我々は先に高齢者を対象に剣状突起水準での水中歩行をおこなった際には酸素摂取量-心拍数関係が陸上とほぼ同じという結果<sup>9)</sup>を得たことなどから本研究では高齢者においては顔をつな

いことや比較的浅い（水深 1 m）水深での運動では陸上で得られた運動負荷試験の成績（乳酸性閾値水準相当）をもとに運動強度設定が可能と考え、運動プログラムを設定した。直接酸素摂取量を測定することはできなかったものの心拍数水準からみておよそ軽から中等度程度の運動が実施できたものとみられる。レジスタンスにおいても最大努力での反復回数（10 から 15 回）からみても同様に軽から中等度の負荷での運動が実施できたものと推測される。

運動プログラムでは、エアロビクスとして歩行やダンスを取り入れたが、高齢者においても水中であればジャンプや方向転換など陸上運動では得られない複雑な動きが可能となり、多くの人から楽しいという感想が得られた。一方、水の抵抗を使った場合に有効なレジスタンストレーニングになるものとみられたが、陸上での油圧マシンと同様に個人の能力に応じて多様な負荷水準が設定でき、運動期間中に筋痛や怪我を生じることもなかった。こうした点は水中運動の長所とみられた。Quality of life (QOL) を高めること、積極的な健康づくりが叫ばれ、運動、スポーツは有用な手段とみられているが、個人差が大きい高齢期ではそれぞれの健康度、身体的コンディション、体力に応じて様々な運動プログラムが用意されることが重要であり、この意味でも水中運動の効果が認められたことは大きな意義をもつものと思われた。

最後に本研究では活力年齢を用いて WREP の一様式として水中運動の有効性を検討したが、活力年齢以外の指標による検討が必要とみられる。活力年齢は安静に加えて運動中の情報を変数に取り入れて、人の活動能力や体力、健康度を評価しており、従来の安静による評価に比べて優れた点をもつ。しかし、構成変数はエアロビクスによって改善が期待されるものが多く、レジスタンスや柔軟性を評価する、すなわち、筋や骨などの情報が含まれていないという課題も残る。WREP による運動の効果を総合的に評価する方法論上の課題は残されており、今後の検討課題としたい。

## 5. まとめ

これまでに特別な運動習慣を有しない高齢者に対して 12 週間の水中運動を指導した。活力年齢は、運動群が有意に改善し、平均で 7 歳程度若返った結果となった。一方、対照群のそれらに 3 ヶ月間の変化が認められなかった。こ

のことから、高齢者の定期的な水中運動の継続により陸上歩行運動と同様にトレーニング効果が観察された。また、筋力づくりを加味した WREP は従来のエアロビクス主体の運動よりも活力年齢からみた改善率が高い傾向が観察され、より大きな運動の効果が期待できうるものと思われた。

(謝辞)

本研究に際して多大なご協力をいただいた被検者の方々に対して謝意を表します。なお、本研究は、平成9年度から11年度に亘る文部省科学研究費補助金(代表:竹島伸生)及び厚生省科学研究費(代表:荒尾孝)による助成によっておこなわれた研究の一部である。

Table 2. Effects of water-based exercise on vital age and component variables in older adults.

Variable		Exercise (n= 21)	Control (n= 16)	Interaction	
VA (yrs)	pre	68.7 ± 8.5	69.2 ± 5.9	F= 20.1, *P<0.05	
	post	61.2 ± 8.3	69.7 ± 8.3		
Vital score	pre	1.3 ± 0.7	1.4 ± 0.6	F= 14.4, *P<0.05	
	post	0.5 ± 0.7	1.4 ± 0.4		
Vap	pre	4.9 ± 1.6	5.1 ± 1.8	F= 3.2, P<0.10	
	post	4.6 ± 1.5	5.0 ± 1.6		
Vam	pre	3.0 ± 0.4	2.9 ± 0.4	F= 19.4, *P<0.05	
	post	3.3 ± 0.4	2.9 ± 0.3		
SBPrest (mmHg)	pre	140.1 ± 10.8	134.0 ± 15.7	F= 1.1, P>0.10	
	post	137.7 ± 13.1	135.4 ± 12.9		
AG (mm)	pre	84.9 ± 6.3	88.2 ± 8.5	F= 0.4, P>0.10	
	post	86.3 ± 7.7	91.2 ± 7.4		
VO <sub>2</sub> LT (ml/kg/min)	pre	14.3 ± 2.8	14.2 ± 1.8	F= 26.0, *P<0.05	
	post	18.3 ± 3.3	14.5 ± 2.8		
HRLT (bpm)	pre	105 ± 10	103 ± 8.4	F= 7.1, *P<0.05	
	post	108 ± 13	94 ± 8		
TC (mg/dL)	pre	210 ± 35	222 ± 28	F= 1.3, P>0.10	
	post	189 ± 26	207 ± 26		
LDLC (mg/dL)	pre	126 ± 32	135 ± 31	F= 12.7, P<0.10	
	post	112 ± 26	124 ± 26		
TG (mg/dL)	pre	110 ± 48	124 ± 64	F= 0.4, P<0.10	
	post	86 ± 31	107 ± 51		
Hct (%)	pre	40 ± 5	43 ± 10	F= 0.2, P<0.10	
	post	37 ± 4	39 ± 4		
SS (times/20sec)	pre	24.5 ± 6.6	22.4 ± 5.5	F= 1.6, P>0.10	
	post	29.0 ± 5.6	25.2 ± 5.0		
BL (sec)	pre	11 ± 12	17 ± 18	F= 4.5, *P<0.10	
	post	12 ± 16	10 ± 7		
mean FEV1 (L)	pre	1.8 ± 0.6	1.9 ± 0.6	F= 1.3, P>0.10	± SD,
	post	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.6		

\*P<0.05, VA, vital age; AG, abdominal girth; TC, total cholesterol; LDLC, Low density lipoprotein cholesterol; TG, triglycerides, Hct, hematocrit; SS, side stepping agility; BL, single leg balance with closed eyes; FEV1, forced vital capacity at one second

## 引用文献

- American College of Sports Medicine: ACSM position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 975-991, 1998
- National Institute on Aging (NIA): Exercise guide from the National Institute on Aging and the National Aeronautics and Space Administration, <http://weboflife.arc.nasa.gov/exerciseandaging>, 1999
- Pollock ML, Graves JE, Swart DL, and Lowenthal DT.: Exercise training and prescription for the elderly. *South Med J*, 87: 88-95, 1994
- Arborelius MJr, Ballidin UI, Lilia B, and Lundgren CE.: Hemo-dynamic changes in man during immersion with head above water. *Aerospace Med*. 43: 592-598, 1972
- 岡田暁宣,早野順一郎,向井誠時,秋田祐枝,坂田誠一郎,松原充隆,竹島伸生,高田和之,藤浪隆夫.: Water immersion に対する循環調節系の反応の加齢による変化. *自律神経* 33 (4): 371-376, 1996
- Sheldahl LM, Tristani FE, Clifford PS, Hughes CV, Sobochinski

## 山田 忠樹 他：水中運動を用いた高齢者のトレーニング効果 —主に活力年齢を指標として—

- KA, and Morris RD.: Effects of head-out immersion on cardiorespiratory response to dynamic exercise. *J. Am. Coll. Cardiol.* 10(6): 1257-1258, 1987
7. Christie JL, Sheldahl LM, Tristani FE, Wann LS, Sagar KB, Levandoski SG, Ptacin MJ, Sobochinski KA, Morris RD.: Cardiovascular regulation during Head-out water immersion exercise. *J. Appl. Physiol.* 69(2): 657-664, 1990
8. Frangolias DD, Rhodes EC.: Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: 1007-1013, 1995
9. Takeshima N, Nakata M, Kobayashi F, Tanaka K, Pollock ML.: Oxygen uptake and heart rate differences between walking on land and in water in the elderly. *JAPA*, 5:126-134, 1997
10. 田中喜代次, 松浦義行, 中塘二三生, 中村栄太郎.: 主成分分析による成人女性の活力年齢の推定. *体育学研究* 35:121-131, 1990
11. 田中喜代次: 壮年者の老化度診断のための指数の作成. *数理解体力科学*, 松浦善行 (編), 朝倉書店, pp76-83, 1993
12. Beaver WL, Wasserman K, and Whipp BT.: Improved detection of lactate threshold during exercise using log-log transformation. *J. Appl. Physiol.*, 59, 1936-1940, 1985
13. 竹島伸生, 田中喜代次, 小林章雄.: 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, 1997
14. 竹島伸生, 田中喜代次, 小林章雄, 渡辺丈真.: 運動習慣を有する高齢者の活力年齢. *体育の科学* 45:733-735, 1995
15. 重松良祐, 廬昊成, 田中喜代次, 竹田正樹, 中西とも子, 今井多賀子, 富田次男, 海野英哉, 渡辺寛, 檜山輝男.: 活力年齢からみた本態性高血圧者に対する運動療法の有用性—降圧がないと仮定した場合—. *生理人類誌* 1:9-14, 1996
16. 田中喜代次, 渡辺寛, 檜山輝男, 竹田正樹, 吉村高喜.: 冠動脈性心疾患患者の活力年齢および院内個別監視型運動療法の効果. *動脈硬化* 20:597-603, 1992
17. 廬昊成, 田中喜代次, 竹田正樹, 海野英哉, 檜山輝男.: 本態性高血圧症女性に対する運動療法の血圧および活力年齢への効果. *体力科学* 45:81-100, 1996
18. Loy S, Tanada M, Tanaka K, Okura T, Nho H, Nagatomi M, Shigematsu R, and Yaspelkis, B.: Health and fitness: A question of lifestyle? Japanese living in Japan living in the USA. *ACSM's Health and Fitness Journal* 10:1254-1258, 1987
19. Farhi LE, Henry D.: Cardiopulmonary re-adjustments during graded immersion in water at 35°C. *Resp. Physiol.*, 30:35-50, 1977
20. EctM Lange, L Gauer.: Changes of peripheral venous tone and central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. *J Appl Physion*, 69: 651-656
21. MacArdle WD, Magel JR, Lesmes GR, Pechar GS.: Metabolic and cardiovascular adjustments to work in air and water at 18, 25 and 33°C. *J Appl Physiol*, 40: 85-90, 1976
22. Kitazumi T, Sadakane N, Shimada, Ozawa T. Effects of age and hypertension on autonomic nervous regulation of circulatory system. *Jpn J Geriatrics*, 22: 1-12, 1985
23. Pfeifer MA, Weinberg CR, Cook D, Best JD, Reenan A, Halter JB.: Differential changes of autonomic nervous function with age in man. *Am J Med*, 75: 249-257, 1983

## (連絡先)

山田忠樹

郵便 467-5802 名古屋市瑞穂区瑞穂町1-1

名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科

竹島研究室 電話 052-872-5838 fax 052-872-5838

e-mail address: t.yamada@gs.nsc.nagoya-cu.ac.jp

(2001年11月7日受付, 2002年3月18日採用決定, 討論受付期限2003年5月末日)