

高齢者の運動能力改善を目的とした 水中運動器具の開発

大阪市立大学大学院 小池 達也
(共同研究者) 大阪市立大学大学院 藤本 繁夫
大阪産業大学 大槻 伸吾

Development of Aqua Exercise Equipment for the Elderly

by

Tatsuya Koike

Rheumatology, Osaka City University Medical School

Shigeo Fujimoto

Department of Sports Medicine,

Osaka City University Medical School

Shingo Otsuki

Faculty of Human Environment, Osaka Sangyo University

ABSTRACT

Although exercise training is established as an integrated part of treatment regimes for the elderly, there is no consensus yet on the appropriateness of water exercises. Our final purpose is to develop the appropriate aqua exercise machine for the elderly. Twenty eight old people (over 50 years old) were assigned to aqua walking group and aqua exercise group randomly. Body height, body weight, % of fat, grip strength, knee extension strength, maximum walking speed, one-legged standing time, functional reach, tandem gait and speed of sound in calcaneal bone were measured by 10 weeks interval. Also blood pressure and pulse were measured before and after the exercises in both groups. In aqua exercise group, muscle strength significantly increased, especially in women. Although functional reach and speed of sound in calcaneal bone

were improved in both groups, there was no significant changes in maximum walking speed or one-legged standing time in both groups. Systolic blood pressure went down after exercises significantly in aqua walking group and not significantly in aqua exercise group. These results indicated that the existing aqua exercise machines are beneficial for the training of the elderly. However, the improvement of machines including down-sizing is required.

要 旨

高齢者に対する運動療法を安全に行うために、高齢者向け水中運動器具の開発を最終目標とする。既存の水中運動機器の効果を検討するために、28名の50歳以上の男女を対象に、水中歩行群を対照として無作為化臨床試験を実施した。身長・体重の他に、体脂肪率・握力・膝伸展力・歩行速度・片脚起立時間・ファンクショナルリーチ・タンDEMゲイト・踵骨骨量を10週間隔で測定し変動を比較した。また、両群ともに運動期間中の循環動態を計測した。水中運動機器使用群で、筋力の増強が認められ、その現象は女性でより顕著であった。ファンクショナルリーチや踵骨骨量は両群で改善が認められ、バランスや歩行速度は両群ともに変化を認めなかった。水中歩行により、収縮期血圧は有意に低下したが、運動機器群では減少を認めたものの有意な変動ではなかった。総合的に判断して、現存する水中運動機器は高齢者の運動に適していると判断できるが、ダウンサイジングなどの改良が必要である。

はじめに

いわゆる common disease と呼ばれる疾患群の予防あるいは進行防止に運動療法が重要であることはよく知られている¹⁾。一方、それらの疾患群は加齢とともに罹患率が上昇することも知られており、運動の実施が新たな疾患や既存疾患の悪化を招く可能性があげられる²⁾。そこで、運動療法

の効果を最大限に発揮し、同時に関節などに負担をかけない方法として水中運動療法が実施されてきた³⁻⁵⁾。

現在のところ、個人で行う水中歩行や施設が指導者を提供する水中アクアピクスなど様々な試みが行われている。しかし、その効果に関しては科学的検証が充分にはなされておらず、エビデンスをもって推奨することはできない。

ところで最近、パワーリハビリテーションなるものが一部で推奨されている。一般のトレーニングジムで使用されているトレーニングマシンを改良したもので、高齢者でも安心して使用できるというのが謳い文句であるが、これも効果が科学的に証明されているわけではなく、道具を使用しない運動よりもかえって傷害を引き起こす可能性もある。そこで、水中で器具を用いた運動を行うことで、傷害を引き起こすことなく効果を最大限に発揮することが可能ではないかと考え本研究を開始した。

1. 方法と対象

われわれの最終目標は、わが国独自で開発した日本人向けの水中運動器具の開発であるが、われわれには考察に耐えうるデータが全くない。そこで、既存の機器を用いて、基礎的データの収集を行うこととした。イギリスで開発された水中トレーニングマシン（ダイレオ・アクアジム：株式会社ダイレオ，大阪，ホームページ <http://www.daileo.co.jp/home/home.htm>）を利用者

に提供している灘浜ガーデンバーデン（神戸市灘区新在家南町2丁目25-6，ホームページ <http://www.nadahama.jp>）に協力を依頼し，受諾を得ることができた．週に二回以上のトレーニングを想定したため，近隣に在住する住民を対象に，以下に述べる条件を付けて一般募集を行った．条件は，「男女は問わず，50歳以上で，医師から運動を禁止されておらず，週に二回以上の施設でのトレーニングが可能で，10週ごとの計測に参加できる方」とし，施設利用費用は研究費で賄うことにした．

1ヶ月間の募集期間に28名の参加希望者を得ることができた．これを無作為に水中エクササイズ群（E群；n=14）とコントロール群（C群；n=14）の2群に分けた．身体計測を含めた体力測定は開始時と10週間後に実施した．検査項目は，身長・体重・体脂肪率（インピーダンス法，TANITA TBF-101，タニタ，東京）・アームスパン（肩外転90度の位置で指尖から指尖までの距離，過去の身長）・片脚起立時間（軸足で片脚起立可能時間，最大60秒）・握力（非利き手，TKK5401握力計，竹井機器工業，新潟）・膝伸展筋力（椅子に腰掛けた状態で下腿に押しつけた筋力計に逆らって伸展した際の等尺性最大筋力，マイクロFET2，日本メディックス，千葉県）・タンデムゲイト（2mの直線上をはずれずに歩けた歩数）・歩行速度（最速，5m）・ファンクショナルリーチ（起立位で自然に手を前方に伸ばし，その位置から足の位置を動かさずに最大前方へのばせた距離）・踵骨骨量（超音波法にてSOS: speed of soundのみを評価，右足，CM-100，エルクコーポレーション，東京）の11項目で，測定時間は毎回午前9-10時であった．

1. 1 運動方法

C群は，施設が提供している「やさしいアクア&ウォーク」あるいは「けんこうウォーク」のデサントスポーツ科学 Vol. 27

表1 参加者の開始時プロフィールと身体計測値
両群間にすべての項目で有意差を認めなかった

	コントロール群	水中エクササイズ群
人数 (n)	14	14
年齢 (y)	62.1 ± 7.4	63.9 ± 6.3
女性比率 (%)	50	57
身長 (cm)	163.9 ± 8.6	160.3 ± 61.9
体重 (kg)	65.4 ± 11.3	62.8 ± 8.3
体脂肪率 (%)	26.3 ± 7.4	26.7 ± 9.2
アームスパン (cm)	162.6 ± 9.6	159.4 ± 7.6
過去一年の転倒回数 (回)	0.21 ± 0.80	0.31 ± 0.86
継ぎ足歩行 (歩数)	7.9 ± 2.6	8.4 ± 1.6
歩行速度 (秒/5m)	2.6 ± 0.8	2.4 ± 0.5
片脚起立時間 (秒)	37.6 ± 22.5	36.3 ± 19.8
ファンクショナルリーチ (cm)	35.1 ± 7.6	31.6 ± 5.4
握力 (kg)	30.6 ± 7.8	28.9 ± 7.7
膝伸展力 (N)	285.1 ± 63.4	290.2 ± 51.3
踵骨SOS (m/s)	1494.9 ± 25.8	1483.8 ± 23.7

みに参加することとし，回数は週に2回を目標とした．いずれのプログラムもストレッチと水中歩行を組み合わせたもので，1回に45分間であるが強度は軽い．以下に述べる水中トレーニングマシンには一切触れないことを課した．

一方，E群は図1に示す6種類のトレーニングマシンをサーキット形式で使用し，全体として1回45分の練習時間となるように自己訓練を行った．各機種にかかる時間は各人の判断に任せ，週に2回のトレーニングを行った．また，毎週1日は専属のトレーナーを雇い，E群の指導を行わせた．

両群ともに，実施日時を記入する日記を渡して実施日数を記録した．また，全期間中のランダムな3日間でトレーニング開始前と後で血圧および脈拍の測定を行った．

1. 2 解析方法

両群の比較はt検定にて，経時的变化はpaired-t検定にて行った．解析ソフトは，StatView 5.0 (SAS Institute Inc., NC, USA) を用いた． $p < 0.05$ を有意と判定した．

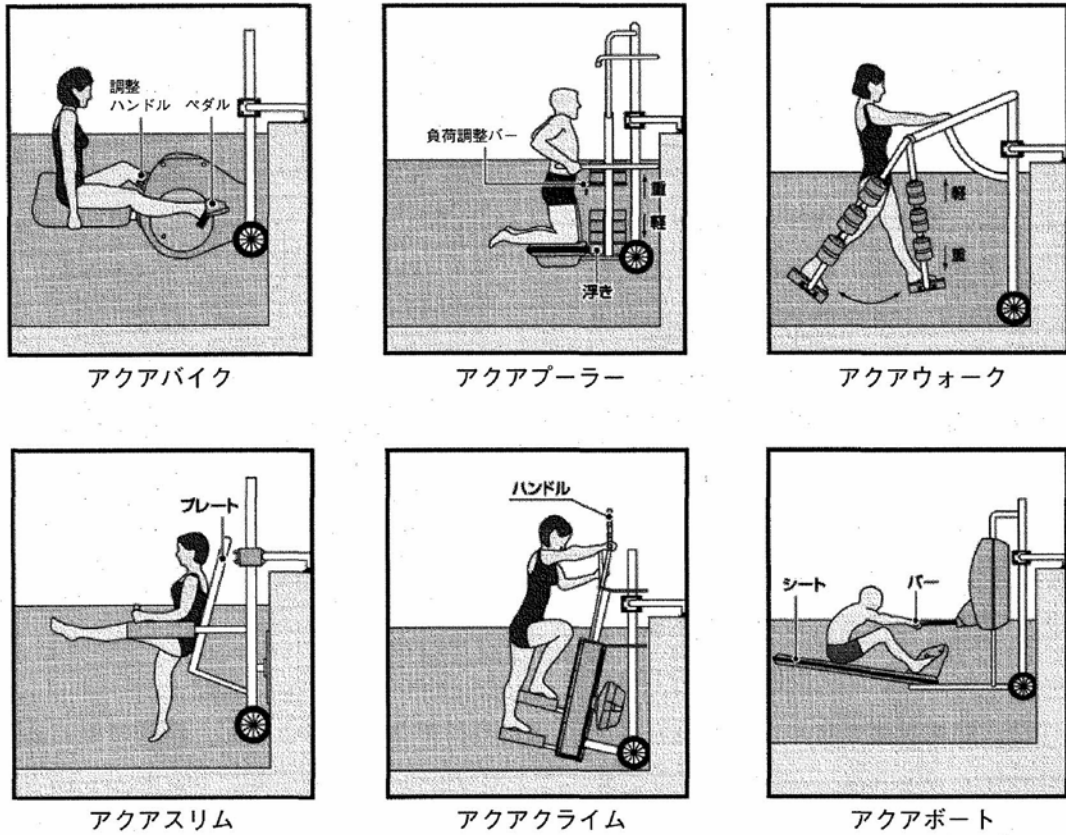


図1 使用水中トレーニングマシン
 ダイレオホームページ <http://www.daileo.co.jp/home/home.htm> より転載

2. 結果

全28名中、E群の1名のみが座骨神経痛の発症によって、6週時点でドロップアウトした。直接の原因は不明であるが、練習中ではなく出張中に生じており、われわれのトレーニングとは直接関係ないと判断した。最終的な測定時にも治療のため参加できなかったため、解析対象からは除外した。それ以外の27名には両群ともにトレーニングに起因すると考えられた有害事象は観察されなかった。両群の平均トレーニング回数（日数）は、C群：32.9 ± 16.3 (mean ± SD) とE群：30.7 ± 14.4回で、両群間に差を認めず、予想回数（2 × 10週 = 20回）を大幅に越えていた。

初期の計測値を表1に示す。全項目において、両群間に差を認めなかった。両群ともに、転倒回数はそれほど多くない集団であり、観察期間中にも両群ともに転倒は一例も観察されなかった。

両群ともに、体重は全く変化しなかったが、体脂肪率はE群で26.7 ± 6.7から29.2 ± 8.9%へと有意に増加した（図2）。この変化は、男女に分け

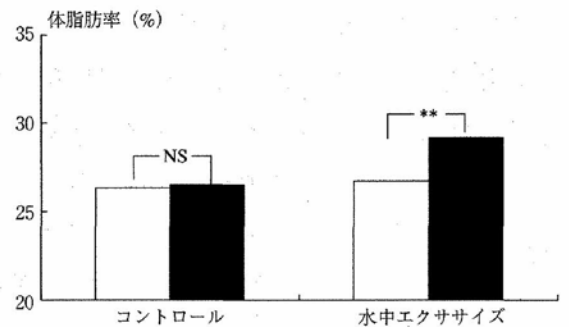


図2 体脂肪率の変化 (%)
 白抜きが開始時、黒カラムが10週後。
 NS: not significant, **: p<0.01

ても同様に有意 (p<0.05) な変化であった。次に、筋力の変化を見ると、握力がE群で増加（境界領域の有意差）したのに比して、C群では変動を認めなかった（図3）。これを男女別に見ると、C群では男女ともに変動を認めなかったが、E群では女性でのみ有意な変動（23.1 ± 3.5から24.6 ± 3.9

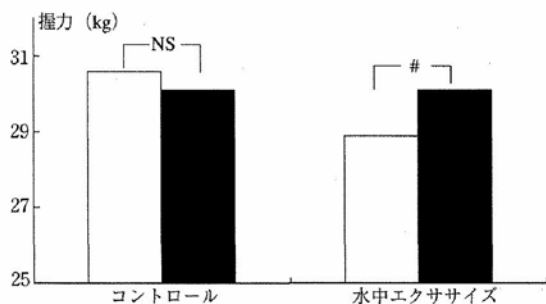


図3 非利き手握力の変化 (kg)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後.
NS: not significant, # p=0.06

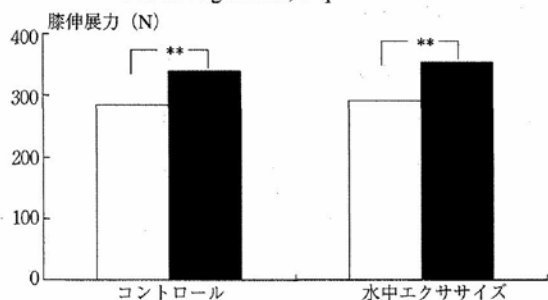


図4 膝伸展力の変化 (N)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後. ** : p<0.01

kg, p<0.05) を観察した. 一方, 下肢筋力としての膝伸展筋力は両群ともに有意な上昇を認めた (図4). 水中歩行群であるC群においては男女ともに有意 (p<0.05) な変動であったが, E群においては, 男性では有意な変動を認めず, 女性だけが有意 (p<0.01) な変動を示した.

パフォーマンスとしての身体能力の変化を見ると, 歩行速度 (図5) ・片脚起立時間 (図6) ともに有意な変動を認めず, 男女差も観察できなかった. 柔軟性およびバランスの指標として調査したファンクショナルリーチは両群ともに改善し (図7), 継ぎ足歩行は両群ともに変化を認めな

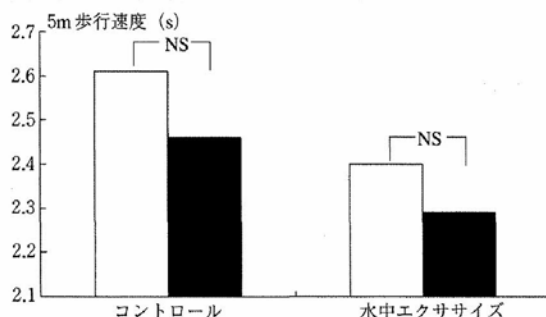


図5 5m 歩行速度 (s)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後.
NS: not significant

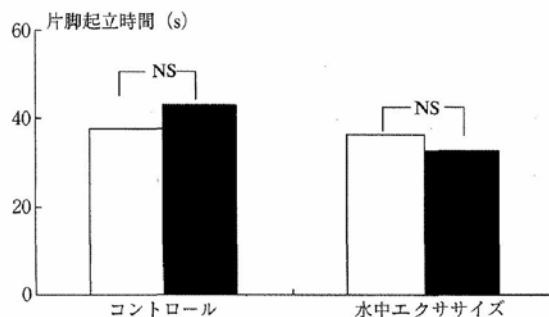


図6 片脚起立時間の変化 (s)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後. NS: not significant

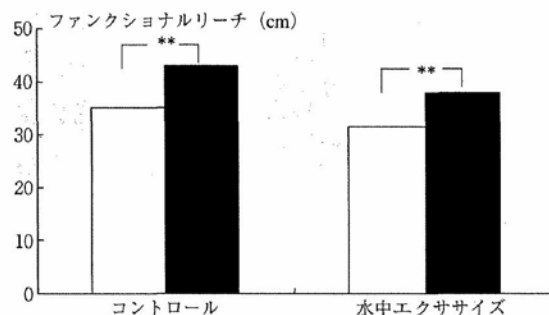


図7 ファンクショナルリーチの変化 (cm)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後. ** : p<0.01

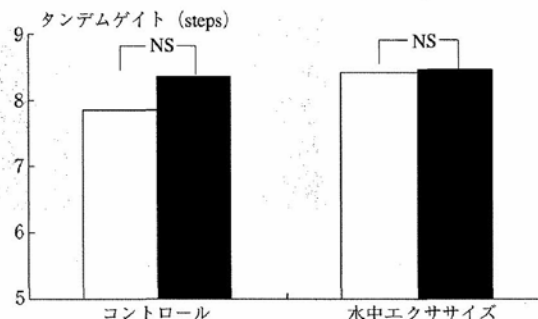


図8 タンデムゲイトの変化 (steps)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後. NS: not significant

った (図8). いずれの指標も性別による差異も認めなかった.

超音波法で評価した踵骨の骨量は, 両群ともに有意な増加を示し, 男女差は認めなかった (図9).

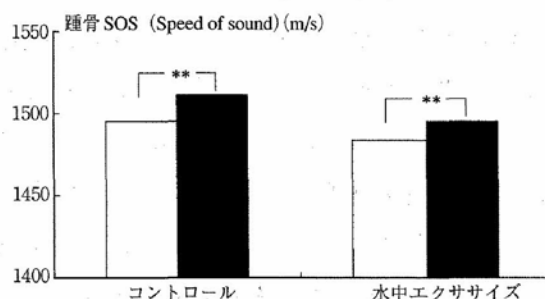


図9 踵骨骨量の変化 (m/s)
白抜きが開始時, 黒カラムが10週後. **p<0.01

トレーニング中の血圧の変動を調べたところ、両群ともに収縮期血圧は低下傾向を示したが、C群でのみ有意な低下であった(図10)。そして、心拍数はいずれの群においても有意な増加を示した(図11)。

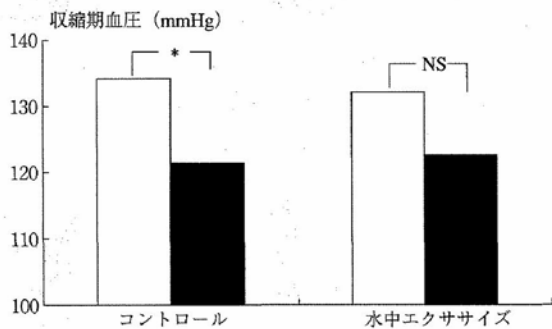


図10 トレーニング前後の収縮期血圧の変化 (mmHg)
白抜きが開始時、黒カラムが10週後。
NS: not significant, * : p<0.05

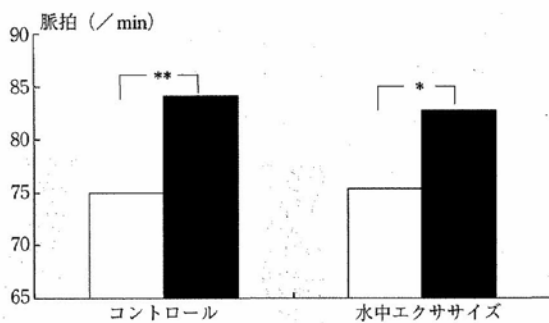


図11 トレーニング前後の脈拍の変化 (/min)
白抜きが開始時、黒カラムが10週後。* : p<0.05, ** : p<0.01

3. 考 察

高齢者に対する運動療法の一形式として水中トレーニングがある。高齢者が水中でトレーニングマシンを使用することの利点と欠点を明らかにしたいが、大前提としてどのような集団を対象とするかが重要である。水中トレーニングは、後述するように体力が弱い人でも可能な運動方法であると思われる。しかし、たとえば施設に入所しているような介護度の高い人は、対象になるであろうか？おそらくはならない。なぜならば、サポートが必要以上に要求され、費用対効果が少ないと考えられるからである。したがって、自立した生活を送る高齢者、つまり、元気な高齢者を対象とし

て、元気でいられる時間をできるだけ長くすることを目標として行うべきであると考え、そこで、考え得る水中運動の利点と欠点をあげると以下のようになる。

①水中運動の利点

- 地上ではできない動きができる (両足とも底から浮かすことができる、可動域を最大限まで広げることができる)
- 浮力を利用することができる (誰でもわずか数キログラムの体重、地上では持ち上がらない下肢を水面近くまで上げることができる)
- 水には抵抗もある (動かす速度を調整するだけで負荷を変更することができる、体の向きを変えるだけでも抵抗は変わる)
- 水には圧力もある (水圧によって水中にいてだけで胸部に圧がかかっており、それだけで呼吸筋のトレーニングになる、下肢の方が圧は高いので心臓への循環は容易である)
- 水は冷たい (体温調節機構のトレーニングにもなる、ただし繰り返した場合)
- 転倒しても怪我をしにくい

②水中運動の欠点

- 着替えなどが面倒
- 循環器系に異常があると負担がかかりすぎる可能性がある
- もともと水中運動に慣れ親しんでない人に対してアピール度が少ない
- 本当に運動能力が向上するかどうかのエビデンスがない

運動を行うことで、減量や体脂肪減少が期待されるが、今回の研究ではどちらも達成されなかった。特にE群では逆に体脂肪率の上昇を認め、しかも男女とも同様の变化であったことから、トレーニングマシンを用いた場合の普遍的な変化である可能性が高い。水中では寒冷刺激のため脂肪は減少しにくい、歩行に比べて機器トレーニングの方がより寒冷の影響を受けやすい可能性が考え

られた。

筋力は、E群においては下肢・上肢ともに筋力が上昇し、その効果は筋力の弱い女性においてより顕著に認められた。C群においても水中歩行を繰り返した効果で、膝伸展筋力が向上したものと思われるが、水中歩行では上肢筋力を高めるような動作がほとんどないため、握力は増大しなかったものと推察する。

歩行速度は両群とも速くなっていたが、有意ではなく、片脚起立時間は両群とも変動を認めなかった。歩行速度測定は、最大速度で5mという設定のみで行っており、測定方法に問題があった可能性もある。片脚起立時間は60秒を限度として測定したため、60秒という記録を示した被験者が、両群合わせて10名もいたことから、効果検出力が弱かった可能性がある。

柔軟性の指標としてファンクショナルリーチの測定を行ったが、両群とも有意な改善を示し、特にどちらの訓練方法がよいという指標にはならなかった。タンデムゲイトも同様に身体動揺性の指標として採用したが、ほとんど全員が2mの直線を揺れることなく歩ききっており、健康な高齢者を対象とした場合には重要な意味を持たない項目ではないかと考えられた。

踵骨の骨量は、両群とも明らかに増加しており、いずれの方法でも骨代謝に刺激を与えた可能性が考えられる。しかし、これまでの研究では、踵に衝撃が加わるような運動の場合にのみ骨量が増加したと報告されている⁶⁾。水中の運動では、器具を用いても用いなくても、踵への衝撃力は強くないと考えられ、今回の骨量改善効果の機序に関してはさらなる研究が必要である。

水中運動により血圧が低下することは、水圧により下肢の循環血液が心臓に戻りやすいことから説明できる。これまでも水中運動により血圧が低下することは報告されている⁷⁾が、今回の研究でも実証された。しかし、E群においては血圧

の低下は有意ではなく、その理由として、マシンを使用している運動では無酸素運動状態になっている時間が多いためではないかと推測された。両群とも心拍数は有意に上昇しており、運動負荷としては十分と考えられた。

今回の結果から、水中トレーニングマシンは下肢だけではなく、上肢の筋力も向上させることが可能で、循環系に過度の負荷をかけずに訓練を行うことが可能であることが判明した。現状の形態であっても高齢者の運動プログラムに充分利用可能であると思われる。2005年11月時点で、わが国で本システムが導入されているのは、灘浜ガーデンバーデンを含めて6カ所しかない。普及率が悪いのは、価格とともにサイズが大きいことが挙げられる。今回の研究により、その効果は十分に証明されたので、今後はダウンサイジングを含めた改良を行いたいと考えている。

なお、本研究はクロスオーバー法にて実施しており、現在は両群の実施項目を入れ替えて同様の研究を行っている。

謝 辞

本研究に施設を提供するとともに、多大なご協力をいただいた灘浜ガーデンバーデンに深謝します。また、長期間にわたり、われわれの研究に参加していただいた被験者の皆さんにお礼申し上げます。測定に御協力いただいた中土保・折戸芳紀・赤松波子・加藤良一（以上大阪市立大学大学院医学研究科リハビリテーション部）・遠藤芳恵（大阪市立弘済院付属病院）の諸氏とトレーナーとして参加した山本聖人（大阪産業大学）に感謝します。

なお、本研究は平成17年度石本記念デサントスポーツ科学振興財団の研究助成を受けて行われた。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) Pritchett A.M., Foreyt J.P., Mann D.L., Treatment of the metabolic syndrome: the impact of lifestyle modification. *Curr. Atheroscler Rep.*;7 (2), 95-102 (2005)
- 2) de Jong Z., Vlieland T.P., Safety of exercise in patients with rheumatoid arthritis. *Curr. Opin. Rheumatol.*,17 (2), 177-182 (2005)
- 3) Eckerson J., Anderson T., Physiological response to water aerobics. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 32 (3), 255-261 (1992)
- 4) Eyestone E.D., Fellingham G., George J., Fisher A.G., Effect of water running and cycling on maximum oxygen consumption and 2-mile run performance. *Am. J. Sports Med.*, 21 (1), 41-44 (1993)
- 5) Frangolias D.D., Rhodes E.C., Metabolic responses and mechanisms during water immersion running and exercise. *Sports Med.*, 22 (1), 38-53 (1996)
- 6) Lehtonen-Veromaa M., Mottonen T., Kautiainen H., Heinonen O.J., Viikari J., Influence of physical activity and cessation of training on calcaneal quantitative ultrasound measurements in peripubertal girls: a 1-year prospective study. *Calcif Tissue Int.*, 68 (3), 146-150 (2001)
- 7) Pump B., Shiraiishi M., Gabrielsen A., Bie P., Christensen N.J., Norsk P., Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water immersion in humans. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 280 (6), H2607-2615 (2001)