

健常成人における温水プール入水時の血行動態に及ぼす影響：心エコー図法による検討

真崎, 玲子

First Department of Internal Medicine, School of Medicine, Kyushu University

金谷, 庄藏

Institute of Health Science, Kyushu University

守田, 俊一

Institute of Health Science, Kyushu University

右田, 孝志

Institute of Health and Physical Education, Kurume University

他

<https://doi.org/10.15017/635>

出版情報：健康科学. 17, pp.109-114, 1995-02-25. 九州大学健康科学センター
バージョン：
権利関係：



健常成人における温水プール入水時の血行動態 に及ぼす影響——心エコー図法による検討——

真崎 玲子* 金谷 庄藏 守田 俊一 右田 孝志**
堀田 昇 大柿 哲朗 藤島 和孝 丸山 徹*
加治 良一* 藤野 武彦

The Effect of Water Immersion on the Cardiovascular Responses in Healthy Adults
in a Warmed Pool.—An Echocardiographic Study Using the Pulsed Doppler Method—

Reiko MASAKI*, Shozo KANAYA, Shunichi MORITA, Takashi MIGITA,
Noboru HOTTA, Tetsuro OGAKI, Kazutaka FUJISHIMA, Toru MARUYAMA*,
Yoshikazu KAJI* and Takehiko FUJINO

Summary

Exercising in water has become widely accepted as a popular training program in many athletic gymnasiums. However, surprisingly little information regarding the effects of water immersion, in a heated pool, on cardiovascular responses has been reported to date.

Therefore, the cardiovascular responses during bathing in eight healthy men, aged 18-20 (mean 19ys), were studied using the M-mode and pulsed Doppler echocardiography. Bathing was conducted with subjects in the standing position (water depth : each subject's xiphoid level) in a heated pool at 30°C.

The heart rate, left atrial dimension (LAD), left ventricular end-diastolic dimension (LVDD) and left ventricular end-systolic dimension (LVDS) standing in air and during water immersion were compared.

Furthermore, to study the effect of water immersion on the left ventricular inflow, the subjects were evaluated with pulsed Doppler echocardiography, which was performed with the sample volume placed at the mitral leaflet tips in the apical 4-chamber projection. The LV inflow measurements comprised peak early filling (E) and peak atrial filling velocities (A). The measurements were recorded at the baseline (standing in air) and during water immersion in a standing position.

Water immersion produced a significant decrease in the heart rate (HR) from 71.4 ± 7.8 to 57.4 ± 4.3 beats/min (mean \pm standard deviation), $p = 0.0005$, but the blood pressure remained unchanged. Water immersion produced a significant increase in the LAD (2.3 ± 0.3 to 3.1 ± 0.3 cm, $p = 0.0001$), LVDD (4.3 ± 0.3 to 5.2 ± 0.2 cm, $p = 0.0001$) and LVDS (3.2 ± 0.3 to 3.7 ± 0.2 cm, $p = 0.0003$).

The peak early filling velocity (E) did not change significantly (0.64 ± 0.08 to 0.74 ± 0.15 m/sec). The peak atrial velocity (A) decreased from 0.34 ± 0.08 to 0.26 ± 0.06 m/sec ($p < 0.05$), while the A/E ratio decreased 0.

Institute of Health Science, Kyushu University 11, Kasuga 816, Japan.

* First Department of Internal Medicine, School of Medicine, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

** Institute of Health and Physical Education, Kurume University, Kurume 830, Japan.

54±0.10 to 0.37±0.12m/sec(P<0.005).

These results suggest that(1)the increase in the venous return when immersing a standing subject in water produced significant increases in the LAD, LVDd, LVDs, and stroke volume,(2)the increase in the chamber sizes may cause a decrease in the heart rate,(3)the increase in the diastolic interval might reduce the A and A/E ratio. It is concluded that water immersion at 30°C may thus result in a volume overload to the subjects, and not a pressure overload.

key words: echocardiography, Doppler, water exercise, hydrostatic pressure

(Journal of Health Science, Kyushu University, 17 : 109-114,1995)

はじめに

水中における運動は陸上に比し、浮力による重力の軽減効果や水抵抗が大きいという利点がある。以前から、その利点を生かして整形外科的疾患や脳神経障害者のリハビリとして温浴治療が行われていたが、最近では、一般人の肥満対策や腰痛予防のために、市民プールやフィットネスクラブなどで水中運動が奨励されている。しかし、従来の施設では、定位置での水中歩行が困難であったために、水中歩行中の循環動態を検討できなかった。我々は、最近開発されたフローミル(トレッドミルを底面設置した回流水槽: flow water training system)を用いると、水中歩行中の心エコー図が容易に、しかも良好に記録できることを報告した⁶⁾。今回は、従来の心エコー図のみならずドプラー心エコー図をも用い、心内径や収縮能の変化だけでなく、特に左室拡張能の重要なパラメーターの一つである左室流入血流の変化を記録し、温水プールに水浸した時の血行動態を検討した。

方 法

対象は、K大学準硬式野球部に所属する18-20歳(平均19.0歳)の健常男性8名であり、対象者の身長および体重の平均値±標準偏差は、それぞれ167.9±3.8cm, 61.6±5.2kgであった。

被検者の体位は、水温を30°Cとした恒温水槽(フローミル)内で立位とし、水深は各被検者に対する静水圧の影響が一定となるように、水面が各被検者の剣状突起の位置になるように調整した。記録中の室温は、23.5-25.0°Cであった。陸上安静および水中安静時において立位姿勢での心エコー図、ドプラー心エコー図、血圧、心拍数を記録した。心エコー図の記録装置は、東芝社製SSH-140Aで、2.5MHzの探触子を使用した。Mモード心エコー図記録には断層法をモニターしながら、また左室流入波形のパルスドプラー心エコー

図記録にはカラードプラー法でモニターしながら施行した。なお左室流入波形のサンプリングポイントは、文献的に最も推奨されている僧帽弁開閉部とした^{4,10)}。

まず、安静時大気中立位の心エコー図を大動脈、左房(Fig 1上段)、および左室方向のMモード心エコー図(Fig 1下段)を、つぎにパルスドプラー法で左室流入波形(Fig 2)を、strip-chart recorderとVTRに記録した。その後、上記水槽に入水後約5-10分間に、大気中立位時と同様の方法で心エコー図を記録し(Fig 1, 2)、大気中立位と水中立位のMモード心エコー図から心拍数(HR)、大動脈径、左房径(LAD)、左室拡張末期径(LVDd)、左室収縮末期径(LVDs)を、またドプラー心エコー図の左室流入波形から拡張早期流入波の最大速度(E)と心房収縮流入波の最大速度(A)、そしてその比A/Eを計測し比較検討した。計測

Table 1. Comparison of heart rate and echocardiographic parameters in basal conditions (in air) and after water immersion.

	Air	Water	P value
HR (bpm)	71.4±7.8	57.4±4.3	0.0005
AoD (cm)	3.0±0.2	3.0±0.2	NS
LAD (cm)	2.3±0.3	3.1±0.3	0.0001
LVDd (cm)	4.3±0.3	5.2±0.2	0.0001
LVDs (cm)	3.2±0.3	3.7±0.2	0.0003
E (m/s)	0.64±0.08	0.74±0.15	NS
A (m/s)	0.34±0.08	0.26±0.06	<0.05
A/E	0.54±0.10	0.37±0.12	<0.005

HR : heart rate, AoD : aortic root dimension, LAD : left atrial dimension, LVDd : left ventricular end-diastolic dimension, LVDs : left ventricular end-systolic dimension, E : peak early filling velocity, A : peak atrial velocity, A/E : ratio of peak atrial to peak early filling velocity, NS : not significant

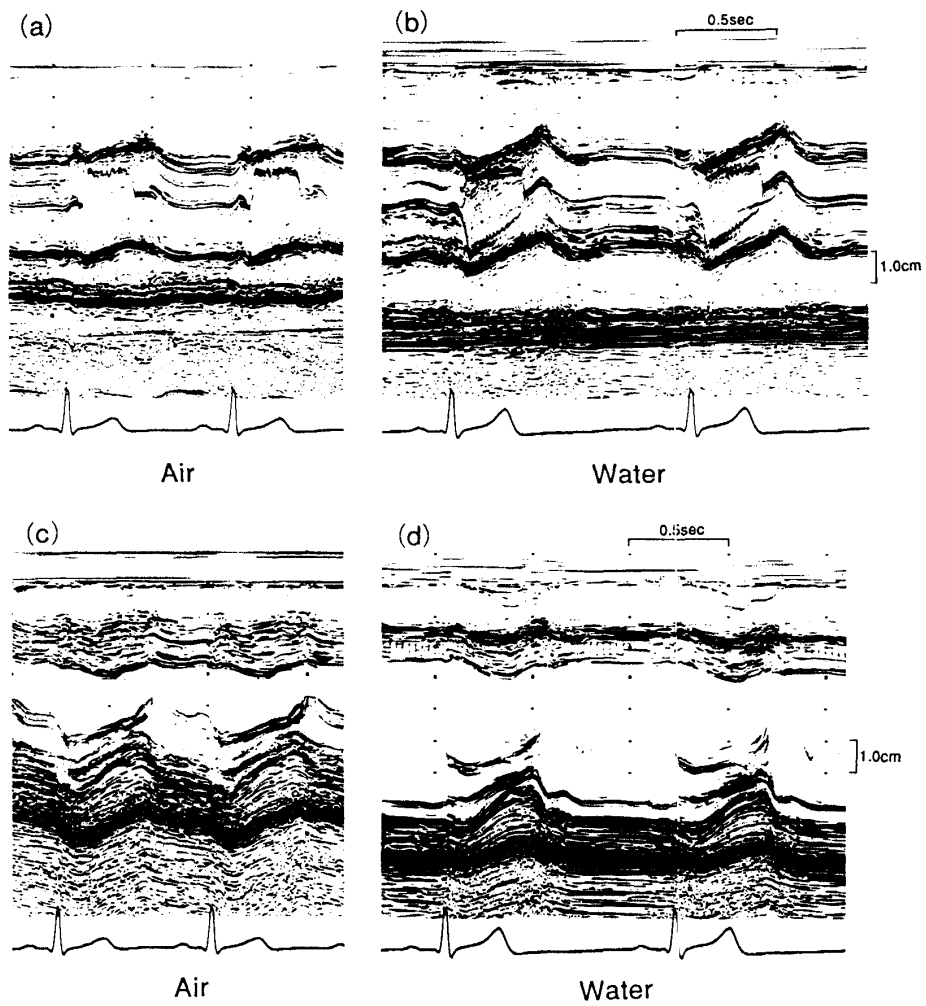


Fig 1. M mode echocardiogram. Upper row ; aortic root and left atrium (panel a ; in air, panel b ; in water). Lower row ; left ventricular echocardiogram (Panel c ; in air, Panel d ; in water).

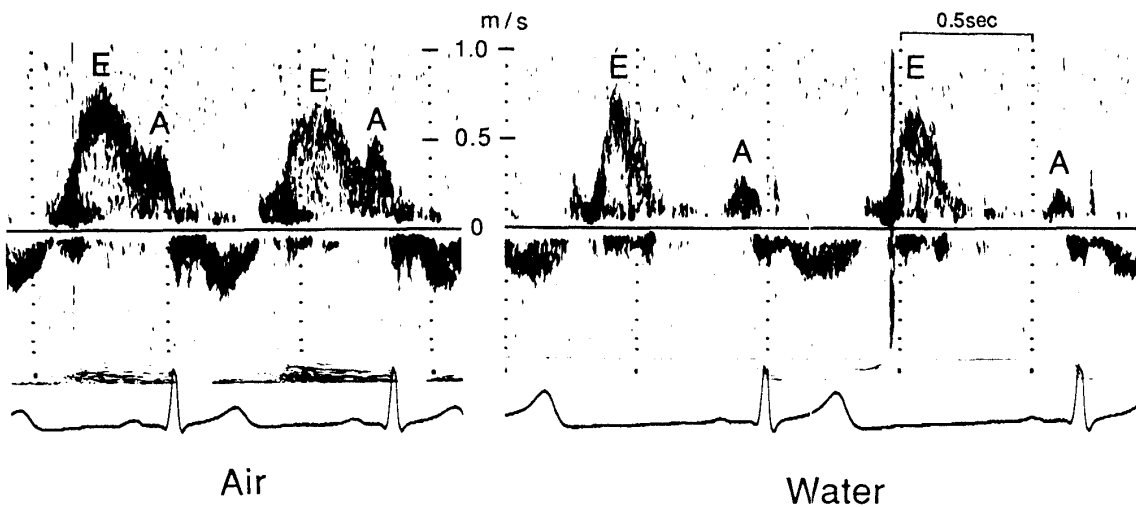


Fig 2. Pulsed Doppler echocardiogram of left ventricular fillig flow. Left panel : in air, Right panel : in water.

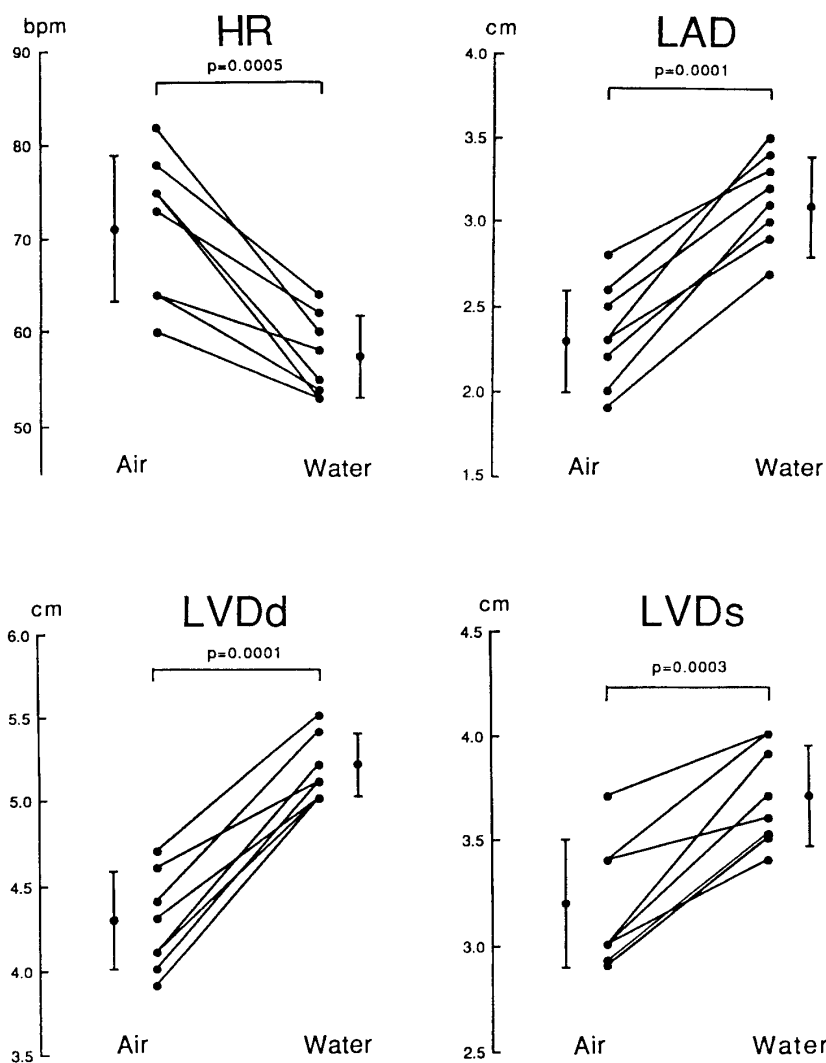


Fig 3. Changes in heart rate and M mode echocardiographic parameters. HR : Heart rate, LAD : left atrial dimension, LVDd : left ventricular end diastolic dimension, LVDs : left ventricular end systolic dimension,

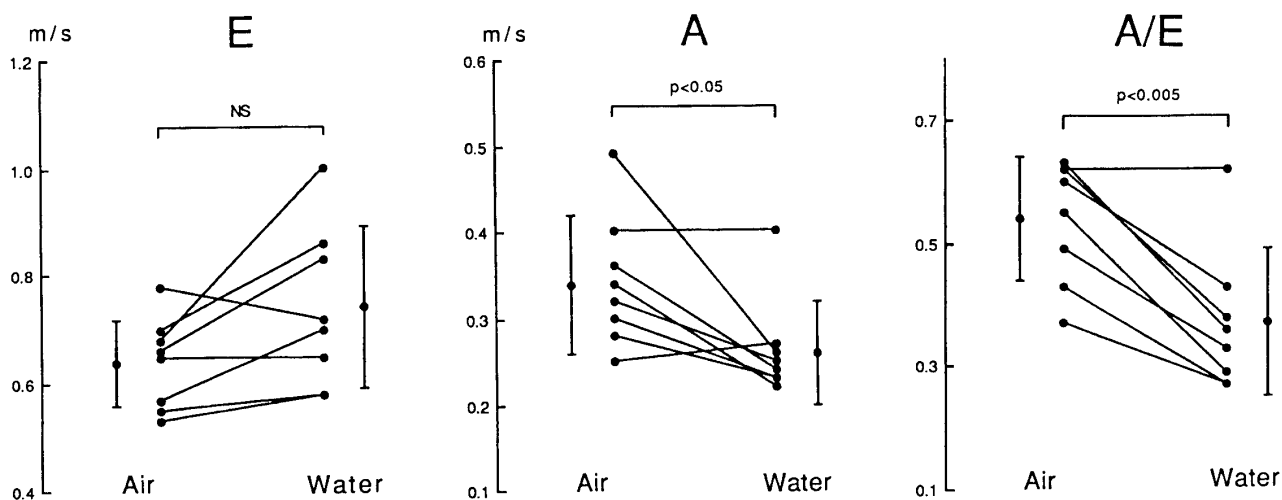


Fig 4. Changes in pulsed Doppler echocardiographic measurements. E : peak early filling velocity, A : peak atrial velocity, A/E : ratio of peak atrial to peak early filling velocity, NS : not significant

時には VTR も用い、大気中と水中の測定位置や方向がほぼ同じである事を確認した。またドプラー法においては測定の方向がカラードプラーが示す流れに平行になるような心尖部からの断層画面を出すように努め、角度補正は行わなかった。血圧は、水銀血圧計を用いマンシェット法により、また心電図はテレメーター法にて CM-5 誘導心電図を記録した。

結 果

1. 被験者全員において、大気中での立位より水中での立位の方が、断層心エコー図の各断面を容易に描写できた。また、M モード心エコー図とドプラー心エコー図の記録も水中立位の方が明瞭であった。Fig 1, 2, にその代表例を示す。

2. 心内径および心拍・血圧の変化

Fig 1. 上段(a, b)は、右室流出路—大動脈—左房方向として下段(c, d)は左室方向の M モード心エコー図である。共に立位での記録で左図(a, c)は大気中、右図(b, d)は水中での記録である。右室流出路径や大動脈径は有意の変化はないが、左房径は1.9cm より2.7cm と著明に拡大した。また下段のように左室収縮末期径は3.0cm から3.9cm、左室拡張末期径は、4.1cm から5.2cm と左室径も有意に拡大した。

Fig 3 に各被検者の心拍数、LDA、LVDd、LVDs の入水前後の変化およびその平均値±標準偏差を図示したが、全例 Fig 1 の代表例と同じ傾向であった。

8 名の入水前後の各パラメーターの平均値と標準偏差を Table 1. に示す。大気中立位に比べ、水中立位では、心拍数は 71.4 ± 7.8 bpm から 57.4 ± 4.3 bpm と有意に低下($p=0.0005$)したが、収縮期血圧は有意な変化がなかった。

大動脈径は不変、左房径は 2.3 ± 0.3 cm から 3.1 ± 0.3 cm($p=0.0001$)、左室拡張末期径は、 4.3 ± 0.3 cm から 5.2 ± 0.2 cm($p=0.0001$)、左室収縮末期径 3.2 ± 0.3 cm から 3.7 ± 0.2 cm ($p=0.0003$)へ有意に増加した。

3. 左室流入血流の変化

Fig 2. にパルスドプラーにて記録した左室流入波形の実例を示す。また、Table 1. に 8 例の各パラメーターの平均値±標準偏差を記し、また Fig 4. に 8 例のそれぞれの変化と平均値±標準偏差を図示している。代表例(Fig 2.)に示すように、8 例平均においても左室流入波形の急速流入波の最大速度(E)に有意差は認められなかったが、心房収縮波の最大速度(A)は、 0.34 ± 0.08 m/sec から 0.26 ± 0.06 m/sec($p<0.05$)、また A/E 比は 0.54 ± 0.10 m/sec から 0.37 ± 0.12 m/sec

($p<0.005$)と水中での立位の方が有意に低下した。

考 察

1. 大気中での立位では動脈、静脈とも心臓からの高さに相当する血液静水圧のため心臓以下の血管は拡張する。その結果、静脈還流量減少により左房径や左室径も減少し駆出量が減少する。その結果血圧低下を起し、上下大静脈、右心房壁の低圧系 baroreceptor および頸動脈、大動脈等の高圧系 baroreceptor を刺激する。これは交感神経を刺激し、迷走神経を抑制して、脈拍の増加、末梢血管収縮を起し、血圧を維持しようと働く。一方、水中での立位では、水中静水圧のため静脈還流量は増加し、大気中での立位と逆の反応が起こり、心内径の拡大、心拍数の低下(徐脈)が起こる³⁾。今回の我々の観察もそれを支持するものであった。ところが、従来の報告では、温泉浴を対象としているためか、水温が高く(37-43°C)また姿勢も半座位をとっている。そのため、入水によって心拍数が増加したり、左室径の増加も本研究ほど増加は認められていない。また左心房径の変化も検討されていなかった^{2,3,9,11)}。一方、通常のスポーツクラブの温水プールの水温は30-31°C位であり、水深も成人の剣状突起よりは深く、温水プール水浸中の血行動態は、今回我々が観察したそれに近いと思われる。

2. 左室流入血流は、前負荷や後負荷、交感神経や副交感神経、また心拍数などの影響を受ける^{1,5,7,8,9,11,12)}。今回我々が観察した、比較的低い温水浸水の流入血流に及ぼす影響は、心拍数の低下により拡張期が有意に延長し、その結果心房の補助ポンプとしての役割が減り、心房収縮による最大速度(A)が低下したものと考えられる。その結果、E の有意な増加はなかったが、A/E 比は低下した。しかし、各被検者毎に検討してみると、1 例は入水により心拍数が78/分から64/分と低下したにもかかわらず、E、A、A/E 比がまったく変化しなかった。また、A/E 比の低下を示した 7 例中 1 例は、E が増加し A の変化は少なく、3 例では E の変化は少なく A が低下し、残りの 3 例では、E は増加し A は低下と、それぞれ A と E の変化が異なった。

以上の事実は、入水により心尖部からの断層画面の描出が容易になり、カラードプラー法が示す左室流入の方向と、ドプラーのパルスドプラー法の測定の方向がほぼ平行になったため絶対値が増加したことを考慮しても、左室流入血流に及ぼす入水(水圧)の効果が単に心拍数の低下によるだけではなく、自律神経反射など他の因子の関与も示唆している。

ま と め

温水プール入水時の心内径や左室流入血流に及ぼす影響をパルスドプラー法も含めた心エコー図法を用いて検討し、下記のような結果を得た。

1. 水中での立位では大気中での立位に比し、静脈還流量が増加し、心内径の拡大、すなわち echo window の拡大により良好な心エコー図記録ができた。
2. 入水による静水圧的作用により静脈還流量が増加し、左房径および左室径も拡大し、一回駆出量が増加する。その結果、交感神経刺激の解除、副交感神経の刺激が起こり、心拍数が低下したと考えられる。
3. 左室流入血流に及ぼす入水の影響は、心房収縮血流の低下が最も著明であった。この機序としては、上記の入水による心拍数の低下（すなわち拡張期の延長）が最も考えられるが、その他の影響も検討しなければならない。
4. 温水（30°C）プール入水は、被検者にとって圧負荷でなく、容量負荷となることを示唆する。

文 献

- 1) Harrison, M. R., Clifton, G. D., Pennell, A. T., DeMaria, A. N.: Effect of Heart Rate on Left Ventricular Diastolic Transmitral Flow Velocity Patterns Assessed by Doppler Echocardiography in Normal Subjects. *Am. J. Cardiol.*, 67: 622-627, 1991.
- 2) 畑 洋一, 市丸雄平, 仲西廣展, 岡本健次, 大塚邦明, 上野照紀, 矢永尚士: 心エコー図よりみた入浴の左心機能におよぼす影響. *超音波医学*, 7: 307-312, 1980.
- 3) 堀切 豊, 鄭 忠和, 田中信行: 心疾患リハビリテーションの新しい考え方—温浴と循環動態—. *総合リハビリテーション*, 19: 1057-1061, 1991.
- 4) Jaffe, W. M., Dewhurst T. A., Otto, C. M., Pearlman, A. S.: Influence of Doppler Sample Volume Location on Ventricular Filling Velocities. *Am. J. Cardiol.*, 68: 550-552, 1991.
- 5) Johannessen, K. A., Cerqueira, M., Veith, R. C., Stratton, J. R.: Influence of Sympathetic Stimulation and Parasympathetic Withdrawal on Doppler Echocardiographic Left Ventricular Diastolic Filling Velocities in Young Normal Subjects. *Am. J. Cardiol.*, 67: 520-526, 1991.
- 6) 金谷庄藏, 堀田 昇, 大柿哲朗, 藤島和孝, 藤野武彦, 清水富弘, 庄野知基, 加治良一: 新しい水中心臓リハビリテーションにおける“フローミル”負荷心エコー図の有用性. *Jap. Circ. J.*, 57: Suppl 1, 1993 (Abstracts).
- 7) Kitzman, D. W., Sheikh, K. H., Beere, P. A., Philips, J. L., Hiogginbotham, M. B.: Age-Related Alterations of Doppler Left Ventricular Filling Indexes in Normal Subjects Are Independent of Left Ventricular Mass, Heart Rate, Contractility and Loading Conditions. *JACC*, 18: 1243-1250, 1991.
- 8) Lange, L., Lange, S., Echt, M., Gauer, O. H.: Heart Volume in Relation to Body Posture and Immersion in a Thermo-Neutral Bath. A Roentgenometric Study. *Pflugers Arch.*, 352: 219-226, 1974.
- 9) 松崎明廣, 小澤優樹, 安藤浩巳, 長谷川雅一, 長山雅俊, 鈴木幹二郎, 藤田良範, 片桐 敬: 心筋梗塞患者の温浴時の血行動態の変化: ドップラー心エコー図法による検討. *J. Cardiol.*, 21: 527-537, 1991.
- 10) Miyaguchi, K., Iwase, M., Yokota, M., Hayashi, H.: Dependency of the Pulsed Doppler-Derived Transmitral Filling Profile on the Sampling Site. *Am. Heart J.*, 122: 142-148, 1991.
- 11) 小澤優樹, 長谷川雅一, 松崎明廣, 鈴木幹二郎, 嶽山陽一, 藤田良範, 新谷博一: 心筋梗塞患者における温浴の血行動態に及ぼす影響: 観血的血行動態と超音波ドップラー法による検討. *J. Cardiol.*, 18: 979-987, 1988.
- 12) Triulzi, M. O., Castini, D., Ornaghi, M., Vitolo, E.: Effects of Preload Reduction on Mitral Flow Velocity Pattern in Normal Subjects. *Am. J. Cardiol.*, 66: 995-1001, 1990.