

水中での不整脈発現と安全基準に関する研究

—水位と呼吸制限の相互作用—

熊本大学 伊藤 雅 浩
(共同研究者) 熊本県立大学 福岡 義 之
あらき循環器内科 荒 木 春 夫
熊本大学 西 勝 英

A Comparison of the Occurrence of Arrhythmias and Varying Cardiovascular Responses Among Middle-Aged and Young Individuals During Head-Out Water Immersion

by

Masahiro Itoh

Kumamoto University College of Medical Science

Yoshiyuki Fukuoka

Prefectural University of Kumamoto

Haruo Araki

Araki Heart Clinic

Katsuhide Nishi

Kumamoto University School of Medicine

ABSTRACT

To investigate the changes in cardiovascular responses by different breathing frequencies between a group of seven middle-aged (68 ± 7 years) and five young (21 ± 2 years) healthy subjects during head-out water immersion. Electrocardiograms recorded continuously data at four different breath frequencies, 4, 6, 10 and 15 cycle per minute (4C, 6C, 10C and 15C), at three levels of immersion, head-out navel, breast and shoulder where a given value of end-tidal P_{CO_2} (P_{ETCO_2}) when the subjects spontaneously breathed was regulated in all conditions with

fixed tidal volume (V_T) of 1.5 L. Beat-by-beat heart rate (HR), stroke volume (SV), cardiac output (\dot{Q}), systolic and diastolic blood pressure (SBP and DBP), and breath-by-breath V_T and P_{ETCO_2} were simultaneously measured during the experiment. During water immersion, HR was decreased significantly in young group, whereas HR was not altered in middle-aged group. By contrast, SV was increased significantly in young group and while these changes did not reach the significant level in middle-aged group. Consequently, \dot{Q} showed a tendency to increase in middle-aged group during water immersion, not in young group. SBP and DBP were not markedly changed in middle-aged group. These findings suggested that cardiac parasympathetic nerve activity was enhanced and sympathetic nerve activity was suppressed at head-out water immersion in young group, otherwise, in middle-aged group, cardiac autonomic nerve activity would not markedly be changed by head-out water immersion. These responses were unaffected by the different breath frequencies. Four middle-aged subjects developed arrhythmias, e.g., premature ventricular (PVC), and premature atrial contraction (PAC) at higher head-out water immersion. We concluded that increased water pressure during immersion could induce a higher preload into the heart, i.e., increased \dot{Q} in middle-aged group, subsequently might provoke arrhythmias.

要 旨

水浸位の異なる環境（臍部，胸部，肩部）において，早い呼吸頻度から遅い呼吸頻度まで呼吸パターンの変化（呼吸頻度；4，6，10，15回/分の4種類，一回換気量；1.5 L固定）について中高齢者群と若年者群との比較検討から，中高齢者の水中環境での循環応答の特徴について明らかにした。水浸によって，若年者群の心拍数（HR）は，臍部ですでに有意な低下が観察され，そのレベルは胸部および肩部でもほぼ同程度であった。中高齢者群の水浸によるHRの低下と一回拍出量（SV）の増大は若年者群ほど顕著にみられず，胸部，肩部において心拍出量（ \dot{Q} ）の若干の増加傾向が観察されただけであった。異なる呼吸パターンの循環応答への影響はいずれの水浸条件でもほぼ同じ程度であり，水浸の影響が呼吸パターンのそれを凌駕していたようである。不整脈（PAC，PVC）の発現は中高齢者群のみに認められた。水圧の上

昇による静脈還流の増大が心臓の前負荷を亢進し，中高齢者の不整脈発現に影響した可能性が考えられる。

緒 言

近年，水中エアロビクスあるいは水泳等が全国的に普及し，中高齢者を対象にした運動が実践されている。これまで，運動中の不整脈出現のメカニズムとして，自律神経活動のバランスの関与が示唆されてきたが¹⁾，水泳時には特に不整脈が発現することがこれまで数多く報告されている^{2,3,4,5,6,7)}。しかしながら，水中運動でなぜこのように不整脈が多く出現するか，そのメカニズムについては不明な点が多い。

一般に，水中では潜水性除脈を誘発することが知られているが，そのメカニズムは冷水による迷走神経反射⁸⁾，止息によるバルサルバ圧の上昇による心肺圧反射⁹⁾に加え，高二酸化炭素，低酸素等の血液ガス変動¹⁰⁾を介した化学受容器から

の情報が関与している可能性がある。つまり、水浸の上昇によって交感神経活動は抑制され¹¹⁾、迷走神経活動の亢進が同時に作用し、徐脈を誘発していると考えられる。さらに、水圧によって静脈還流を増大させ左心室への還流量を増やすので、結果的に心筋作業量を高める。このような生理的な変化が水中での不整脈の出現に影響しているのかもしれない。

加齢に伴って迷走神経活動が減弱し¹²⁾、カテコラミンに対する心拍数 (HR) と血圧 (BP) 反応が高齢者では低いことが報告されている¹³⁾。したがって、中高齢者では加齢によってすでに迷走神経、交感神経とも減弱している可能性がある。水浸の影響は若年者ほど顕著でないことが予想される。

また、呼吸パターンによって BP あるいは HR が呼吸性に大きく変動する¹⁴⁾。一般に、水浸時には、陰圧呼吸となり一回換気量 (V_T) が減少し、それを代償するために呼吸数が増加する¹¹⁾。 V_T を固定することで、呼吸パターン自体の循環応答への影響を観察でき、水浸環境での不整脈発現の原因をより明確に追求できると考えた。

そこで本研究では、水中環境でのヒトの水浸位を変化させ、その際の不整脈出現および循環応答について中高齢者と若年者との比較検討から、中高齢者を対象にした水中環境での循環応答の特徴について明らかにし、水中での運動に対する安全性について考察を加えた。今回は呼吸周期と V_T の両方を正確に調節して、さらに呼気終末 CO_2 濃度 (P_{ETCO_2}) を一定にした実験条件で行った。

1. 実験方法

1. 1 被験者

対象は中高齢者群 7 名 (67.9 ± 7.3 歳 範囲 59-76 歳) および若年者群 5 名 (20.6 ± 1.7 歳, mean \pm SD) の健康成人男性 12 名であった (表 1)。実験をはじめる事前に研究の趣旨を説明し、

表 1 Physical characteristic of subjects

middle-aged	age (year)	height (cm)	weight (kg)	vatal capacity (ml)
A	72	154.1	44.8	2440
B	59	174.0	71.0	4430
C	67	161.2	59.8	2350
D	57	170.6	77.2	3680
E	70	164.4	68.3	3080
F	76	165.2	57.5	2430
G	74	160.0	67.6	2420
Mean	68	164.2	63.7	2976
SD	7	6.7	10.7	807

young	age (year)	height (cm)	weight (kg)	vatal capacity (ml)
H	19	170.5	57.2	4210
I	19	163.0	65.5	4260
J	21	164.5	80.0	4710
K	23	176.0	74.0	4600
L	21	165.0	54.0	4500
Mean	21	167.8	66.1	4456
SD	2	5.4	11.0	216

文章によるインフォームドコンセントを得た。

1. 2 実験手順

被験者は水槽にはいり、4 種類の規制呼吸 (呼吸数 4, 6, 10, 15 回/分; 4C, 6C, 10C, 15C) および自発呼吸 (SP) を実施した。この呼吸制限では一回換気量 (V_T) は 1.5 L に固定した。流量の変化をオシロスコープ (CS-4025, Kenwood 社製) 上で基線の上下動としてモニターさせた。呼吸周期のリズム調節は、あらかじめテープレコーダに録音した所定のリズムに被験者が合わせるようにした。事前にこの吸気と呼気の長さが等しく、および所定のリズムに一致できるように練習を行い、実験を開始した。

水浸立位の条件として、臍部 (Navel)、胸部 (Breast)、および肩部 (Shoulder) の 3 条件と水浸を伴わない陸上立位姿勢 (Dry) を対照試行とし、異なった呼吸頻度との組み合わせから計 16 条件をそれぞれ 3 分間観察した。実験条件はランダムに行い、実験手順による影響を考慮した。水温は、温度による生理的な影響をなくすために中性温 (熱くも冷たくも感じない温度) の 34℃に

なるように、サーモスタット (T2, トーマス科学器械社製) を用いて調節した。実験時の室温は、 $27.0 \pm 0.9^\circ\text{C}$ であった。また、規制呼吸時で呼吸数 (bf) が多くなると換気量 (\dot{V}_E) が増大し、終末呼気二酸化炭素濃度 (P_{ETCO_2}) の低下 (hypocapnia) が起こる。そこで、本研究では二酸化炭素分圧 (P_{CO_2}) と流量曲線を breath-by-breath に画面上にモニターし、各条件での P_{ETCO_2} 値が SP の P_{ETCO_2} 値 (基準値) と同値となるように、mass flow controller (3610, KofLoc 社製) をコンピュータ (PC-VX, NEC) で自動制御した。したがって、いずれの規制呼吸条件においても SP 時の P_{ETCO_2} 値と同レベルであり、isocapnia を保持できた。

1. 3 測定項目

測定期間、胸部双極誘導 (CM5) にて心電図を誘導し (AG901, 日本光電社製)、水浸時は電極を防水加工して記録した。さらに、血圧 (BP) の脈圧を beat-by-beat に瞬時血圧計 (Jentow CS, 日本コーリン社製) を用いて記録した。これら心電図と血圧変動のアナログ信号を Power Lab (16SP, AD Instrument) を介して、500Hz のサンプリング周波数でパソコン (NV, シャープ社製) に取り込んだ。同時に測定中にはレスピロモニター (AE-280, ミナト医科学社製) を用い、呼気ガスの換気パラメータ (換気量; \dot{V}_E , 1 回換気量; V_T , 呼吸数; bf, 終末呼気二酸化炭素濃度; P_{ETCO_2} , 終末呼気酸素濃度; P_{ETO_2}) を breath-by-breath にて測定した。呼気ガスは質量分析器 (WSMR-1400, ウェストロン社製) を用いて分析し、その信号はレスピロモニターと P_{ETCO_2} コントロールのためにパソコンにアナログ出力した。

1. 4 呼吸・循環パラメータの解析

パソコンに取り込まれた心電図および血圧波形から、自作の解析ソフトを用いて、後日、心電図

から RR 間隔を beat-by-beat で計測し、心拍数 (HR) に換算した。血圧変動から、収縮期血圧 (SBP) と拡張期血圧 (DBP) を beat-by-beat に計測した。さらに、パルスカウンタ法¹⁵⁾を用いて脈波を積分処理することで、一回拍出量 (SV) も同時に beat-by-beat 計測した。また、心拍出量 (\dot{Q}) は SV と HR の積で算出した。これらの得られた beat-by-beat のデータは、各条件の 2~3 分の平均値を算出し、これを代表値とした。まず、Dry において呼吸頻度の影響を観察するために SP 条件を基準にその変化量を算出した。さらに、Dry の各呼吸頻度の平均値を基準として、水浸位変化時におけるそれぞれの値を変化率として表した。

1. 5 不整脈発現

記録された心電図から不整脈の種類等について、循環器内科医によって診断された。

1. 6 統計解析

基準値と比較した HR, SV, \dot{Q} , SBP, および DBP の変化率が呼吸頻度および水浸位の差異に依存したか否かの検定には、対応のある一元配置分散分析を用いた。そこで有意な変化が認められた場合、Bonferroni 法にて多重比較検定を行った。それぞれの確定水準を 5% 未満で有意とした。

2. 結果

2. 1 陸上立位での循環応答

Dry における呼吸頻度の変化による循環応答を図 1 に示した。SP を基準値として、その変化量を絶対値で示した。呼吸頻度の増加に伴って、HR の有意な増加が両群で観察された。しかしながら、SV および \dot{Q} は中高齢者群で増加傾向、若年者群で低下傾向をそれぞれ示した。SBP では両群共に増加傾向を、DBP では若年者群のみ増加傾向を示した。

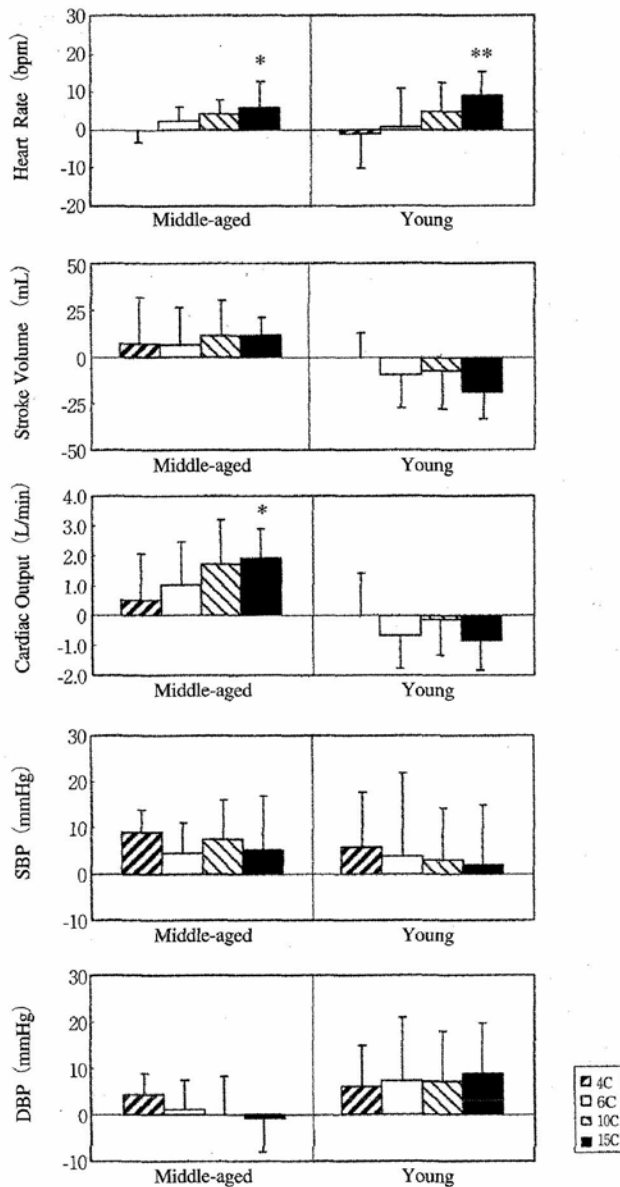


図1 Changes in heart rate (HR), stroke volume (SV), cardiac output (Q), systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) with difference of breathing frequencies, 4, 6, 10 and 15 cycle per minute (4C, 6C, 10C and 15C) at dry land condition. Data are expressed mean \pm SD. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs spontaneous breathing (SP).

2.2 心拍数 (HR) の変化

水浸位の変化に伴う HR の相対的な変化率を図 2 に示した。中高齢者群と若年者群では、HR の変化率に明らかな差異が見られた。若年者群は水浸によって顕著な徐脈が多く呼吸頻度で観察されたが、中高齢者群では水浸による HR が有意に低下しなかった。中高齢者群における Shoulder では、HR の減少傾向が認められたが、有意な差で

はなかった。

2.3 心拍出量 (SV) の変化

水浸によって SV の有意な増加が、若年者群に見られ、中高齢者群ではその傾向が観察された。特に、中高齢者群では Breast および Shoulder 条件で増加傾向にあったが、有意ではなかった。

2.4 心拍出量 (\dot{Q}) の変化

水浸によって、若年者群の \dot{Q} は顕著な変化が見られなかったが、中高齢者群では増加傾向があった。特に、Breast および Shoulder ではその傾向が強かった。

2.5 血圧 (SBP, DBP) の変化

水浸位の変化に伴う BP の相対的な変化率を図 3 に示した。水浸位の差異によって、中高齢者群の SBP には変化が見られなかった。若年者群の SBP は全水浸位で低下傾向が観察されたが、有意差はなかった。一方、DBP は水浸位の変化によって若年者群で減少傾向を示し、中高齢者群でその低下傾向が Shoulder にて観察された (図 3)。

2.6 不整脈 (Arrhythmias) の発現

中高齢者群では、測定中に不整脈が検出された。典型的な波形を図 4 に示した。その種類は、心室性 (PVC) および心房性 (PAC) の期外収縮であった。被験者 A および C においては、Dry の SP および 4C から PVC が散見され、各水浸時にも引き続いて PVC が観察された。被験者 B ならびに D では、水浸によって不整脈が出現し、被験者 B は Shoulder の 6C にて PAC の 2 連発が、また被験者 D は Breast の 15C にて PAC がそれぞれ観察された。一方、若年者群では、不整脈の発現が認められなかった。

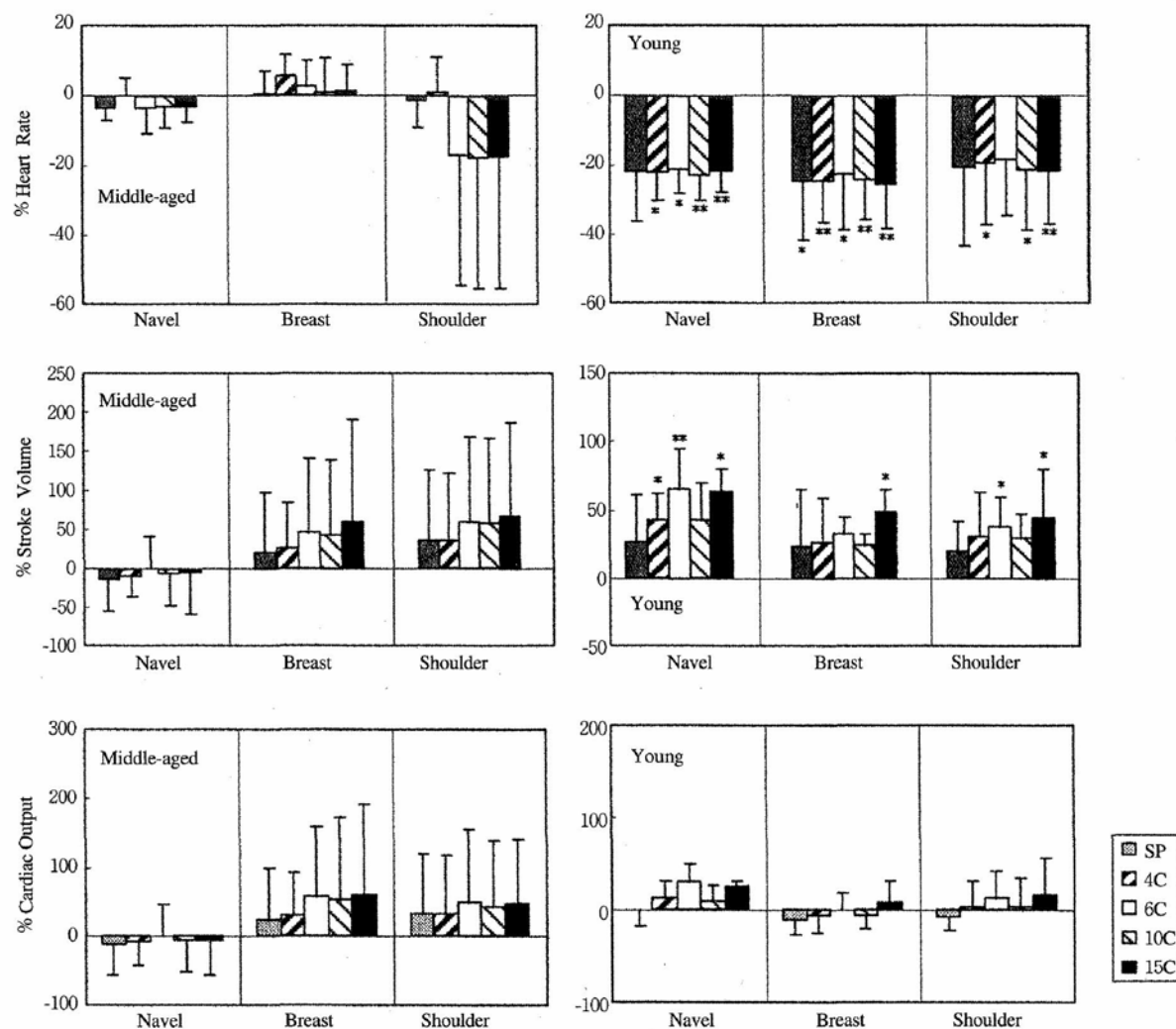


図2 Changes in heart rate (HR), stroke volume (SV) and cardiac output (Q) with difference of head-out water immersion levels, navel, breast and shoulder. Data are expressed mean \pm SD. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs each breathing frequency at dry land.

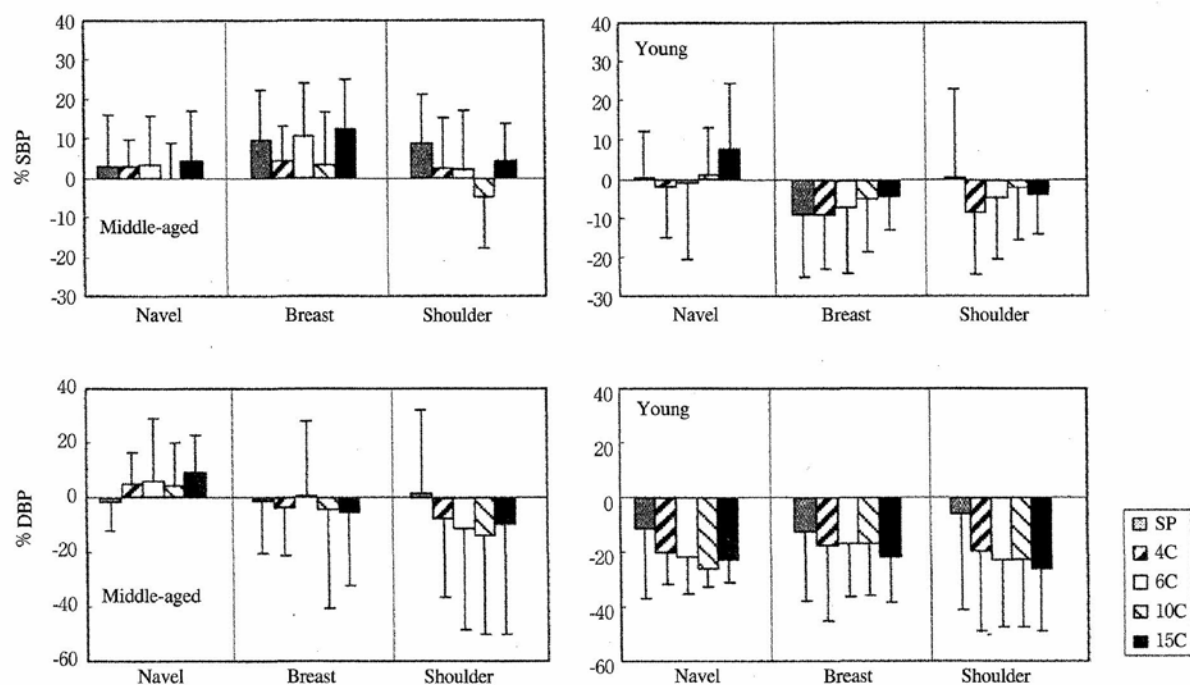


図3 Changes in systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) with difference of head-out water immersion levels, navel, breast and shoulder. Data are expressed mean \pm SD. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs each breathing frequency at dry land.

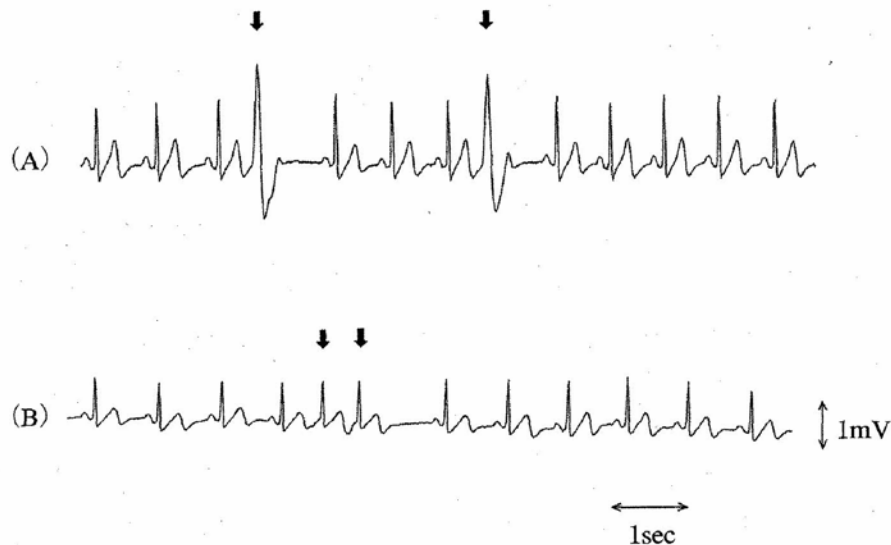


図4 Example of two types of arrhythmias during head-out water immersion.
(A) PVC; premature of ventricular contraction, (B) PAC; premature of atrial contraction

3. 考 察

3. 1 陸上での呼吸頻度と循環応答

本研究において陸上の15CにてHRの顕著な増加が中高齢者群および若年者群にて認められた。短周期の呼吸は、 \dot{V}_E を増大させ呼吸性アルカローシスに傾き、HRを増大させる^{15,16)}。しかしながら、本研究ではこの影響を取り除くために吸気中に CO_2 を添加して肺胞 CO_2 レベルをSP時と同じレベルになるように調整した。したがって、このHR増加は過剰 CO_2 排出の影響ではなく、呼吸変動そのものの影響と考えられる。

呼吸に伴う血行力学的変化について考えると、吸気時には胸腔内圧の低下によって胸腔への静脈還流量が増加するが、同時に肺血管容積が増加するため左室への還流量はかえって低下するので、呼吸頻度が多い15Cでは、若年者のSV、 \dot{Q} は低下傾向にあった。しかしながら、両者とも有意な低下でなかったことは、高い呼吸頻度でHRの増加がみられ、その結果、 \dot{Q} はいずれの呼吸頻度においてもほぼ一定を保持することが出来たと考えられる。

一方、中高齢者群では、15CにおいてSPよりも \dot{Q} の有意な増加がみられた。中高齢者群におけ

る V_T の1.5Lは肺活量の約50%であり、若年者群のそれ(34%)よりも相対的に大きかった。 V_T を1.5Lに維持するためには呼吸筋の活動を促進し、副交感神経活動の抑制および交感神経活動の亢進をもたらしたことが、一因と推察される。中高齢者群の若干の血圧上昇も \dot{Q} の増大を反映していると考えられる。

3. 2 水浸位の変化に対する中心循環応答

HRの応答では、若年者群ではNavelですでに有意なHR低下が観察され、そのレベルはBreast、Shoulderでもほぼ同じであった。一般にHRは水浸によって有意に低下することが報告されている^{17,18,19,20,21)}。木住野ら¹⁸⁾は水浸によるHRの低下には、心臓副交感神経活動の賦活化および心臓交感神経の抑制が共に関与することを示唆している。本研究でも若年者群では水浸によるHRの有意な徐脈を示し($p<0.01$)、Dryとの絶対値の比較では $-10.4 \pm 1.9\text{bpm}$ であった。このHR低下量は先行研究とほぼ一致する²²⁾。水浸時にHRが減少する機序として、水圧によって中心静脈圧の増加に伴う心房伸展受容器反射やSVの増加に伴う動脈圧受容器反射を介した潜水性徐脈反射²³⁾と考えられる。HR低下率は下肢の水浸(Navelレ

ベル) で十分徐脈が観察され、下肢容量血管からの静脈還流の促進が大きく、BreastおよびShoulderといった胸部での水圧の違いは、肋骨によって肺が保護されているためか、その影響はHRの徐脈からは十分観察されなかった。SVの上昇についても同様で、Navel, BreastおよびShoulderで一律約30~40%の増大がみられた。このように若年者群では、水浸による静脈還流の変化はNavelですでに顕著となり、BreastならびにShoulderでもその増加率は一律であったことから、下肢の容量血管への圧負荷(水浸)によって十分な静脈還流の促進がみられたと考えられた。さらに、HRとSVの積である \dot{Q} は、水浸の条件を変えても陸上と同じ循環血液量を確保するように調節されていたと考えられる。

これに対して、中高齢者群のHR低下は顕著ではなく、Shoulderで若干みられた。SVも同様に、有意な増大はみられなかった。同じ水浸条件にも関わらず中高齢者群では潜水性徐脈がみられなかったのは上記の水圧によって中心静脈圧の増加に伴う心房伸展受容器反射やSVの増加に伴う動脈圧受容器反射が十分機能していなかったと考えられよう。本研究の結果からも、SVの上昇が有意でなかったことから、水圧が下肢に加わっても十分な静脈還流の亢進はなかったことになる。つまり、動脈圧反射が作用していなかった可能性が考えられる。しかしながら、若干ではあるがSVの増大がShoulderで観察され、これは体液の頭部方向への移動に伴う静脈還流の増大を反映し²⁴⁾、水浸位の上昇に伴い、交感神経の活動は若干抑制されたと考えられる¹¹⁾。水浸時の交感神経の抑制は、Gauer-Henry反射などの体液性機序と共同して体液シフトを代償し、安静時に必要な循環血液を保持する役割を果たしていると考えられる¹¹⁾。同時に水浸による迷走神経の亢進も考えられるが、加齢に伴って迷走神経活動は減弱している¹²⁾ので、中高齢者では若年者ほど水浸による迷

走神経亢進は顕著でないと思われる。このように、水浸による循環応答(HRの低下とSVの増大)は若年者群ほど中高齢者群では顕著にみられず、BreastとShoulderにおいて \dot{Q} の増加傾向が観察されただけである。本来、水浸によって迷走神経の亢進と交感神経の減弱が考えられるが、中高齢者群のHRや \dot{Q} の応答から判断すると、加齢によって交感神経活動抑制と迷走神経亢進の両方が減弱していたと推察され、若年者群に比べて水浸の影響は顕著でなかったと推察される。

一般に水浸時には、陰圧呼吸となり V_T が減少し、それを代償するためにbfが増加する¹¹⁾。従って、本研究において V_T を1.5Lに固定した実験を行ったので、この V_T を維持するために呼吸筋の活動を促進し、副交感神経活動の抑制および交感神経活動の亢進をもたらしたとも考えられる。しかしながら、今回の V_T を固定して呼吸頻度を変化させた条件で、各水浸条件では呼吸頻度間の差が顕著にみられなかった。この原因として、水浸時の呼吸頻度の変化はすべて陸上での同呼吸頻度を基準にしているので差が観察されにくかったことが挙げられる。あるいは、循環応答に対する水浸の影響が呼吸制限(頻度、 V_T の固定)よりも循環応答に対する影響が大きかったとも推察される。

3. 3 水浸位の変化に対する血圧応答

水浸時でのBPに関するこれまでの報告では、一致した見解がみられない。Arborelius et al.²⁴⁾はSBPおよびDBP共に上昇、Gabrielsen et al.²⁶⁾は平均血圧の不変および脈圧上昇、Craig¹⁸⁾はSBPおよびDBP共に低下するとしている。本研究結果では、中高齢者群ではSBPおよびDBP共ほとんど不変であり、一方、若年者群ではSBPおよびDBPの低下傾向が観察され、美和ら²⁷⁾の報告と一致する結果であった。先行研究²⁷⁾では水温が中性温よりも高めになることで、HR、 \dot{Q}

およびSBPが増大すると報告している。さらに、水温の影響も考えられる。永浜ら²⁸⁾は、水浸による左心容積およびSVの増大は中性温よりも水温25℃および30℃で大きいとし、水中環境では水温の僅かな差異がSBPの上昇にも関与するものと推察された。加えて、水中環境はBP上昇を抑制する傾向にあると示唆されたが¹⁸⁾、ヒトにはこのBainbridge 反射が存在しないとの研究結果²⁹⁾、あるいは中性温における水浸が頸動脈圧受容体に及ぼす影響は不明との報告から¹⁹⁾、BP応答についてはさらに検討の余地がある。BPも呼吸パターンの影響を受けて変動することが報告され³⁰⁾、本研究ではDryではいずれの呼吸頻度でもDBPの上昇傾向が見られたが、水中環境では呼吸頻度の影響が顕著でなかった。これも水圧の影響で本来呼吸性に変動する影響が消失してしまったのかもしれない。

3. 3 水環境下での不整脈発現と安全性

われわれの研究室では、これまで運動中および水泳中における不整脈の出現率²⁾、その関連因子³¹⁾および経過観察³⁾を報告している。また、Scholander et al.³²⁾やJakopoin et al.³³⁾はダイバーの潜水中の不整脈出現について論じ、石川ら³⁴⁾は水中では呼吸の制限や姿勢の差異、水圧の影響などの特殊な環境下が陸上の運動時などに見られない種々の心電図異常を出現させると報告している。しかしながら、安静時での呼吸制限や水圧が不整脈出現に影響するかについてはこれまで明らかにされていない。

本研究では、ShoulderおよびBreastにて不整脈が出現し、水圧が不整脈発現に関与すると考えられた。Hong et al.³⁵⁾は水中では下肢などに貯留していた血液が水圧によって胸腔内に押し上げられ、心臓への静脈還流量が増し、中心血液量が増加するとしている。本研究では中高齢者群のQが増加する傾向を示し、これが結果的に心筋作業量を高

め、不整脈の出現に影響した可能性が推察された。

また、体温よりも低い水温への水浸は末梢血管収縮や水圧などの影響により血液の胸郭部へのシフトが起こり、それに伴って急激な心房拡張がPAC出現のトリガーになると報告されている⁵⁾。本研究では、体温に近い中性温であったことから、中性温が不整脈の発現を抑制した可能性も考えられた。さらに心臓交感神経系活動の抑制と副交感神経系活動の亢進は、心臓の被刺激性を低下させ、不整脈発現等の危険性を減少させる¹⁹⁾。また、カテコールアミンによる β 受容体刺激は冠動脈の攣縮による異型狭心症発作を誘発しないが、 α 受容体刺激が発作を誘発することを示している³⁶⁾。本研究において、中高齢者群では水浸ならびに低呼吸頻度時にHRの有意な低下が観察されなかったことから、今回観察された不整脈は迷走神経の関与は低いと示唆された。しかしながら、不整脈出現の呼吸頻度が6Cあるいは15Cであり、自律神経関与に対しては症例数を増やし、今後の検討が一層求められよう。

現場における安全基準という側面から考えると、本実験では、水泳を制限する必要性のある房室ブロックや心室性頻拍などが観察されなかったが、中高年者群のみに不整脈が発現した。中高齢者の水中での運動を考えた場合、水浸による副交感神経活動の減弱と同時に、交感神経活動の亢進が引き起こされると推察された。この影響が中高年者における不整脈の高出現率²⁾と深く関わっているのかも知れない。

4. 結 論

本研究では、中高齢者群と若年者群を対象に水浸位を臍、胸および肩部の3種類、並びに呼吸頻度を4, 6, 10, 15回/分の4種類にし、水中環境下での心循環応答および不整脈出現について観察した。所見を以下に述べる。

①陸上での呼吸頻度15Cでは、若年者群のSV、

\dot{Q} は低下傾向にあった。しかしながら、両者とも有意な低下でなかったことは、高い呼吸頻度でHRの増加がみられ、その結果、 \dot{Q} はいずれの呼吸頻度においてもほぼ一定を保持することが出来たと考えられる。一方、中高齢者群では、15Cにおいて自発呼吸よりも \dot{Q} の有意な増加がみられ、若年者群と異なる循環応答であった。

②水浸によって若年者群のHRは、Navelですでに有意な低下が観察され、そのレベルはBreast, Shoulderでもほぼ同じであった。

③中高齢者群の水浸による循環応答（HRの低下とSVの増大）は若年者群ほど顕著にみられず、BreastとShoulderにおいて \dot{Q} の増加傾向が観察されただけである。この差異は、加齢によって交感神経活動抑制が減弱していたと同時に迷走神経亢進も減弱していたことが考えられ、水浸の影響を顕著に反映させなかったものと推察される。

④今回の V_T を固定して呼吸頻度を変化させた条件で、各水浸条件では呼吸頻度間の差が顕著にみられなかった。この原因として水浸の影響が、呼吸制限（頻度、 V_T の固定）よりも循環応答に対して大きく影響することを推察させた。

⑤被験者BはShoulderの6CにてPACの2連発が、また被験者DはBreastの15CにてPACがそれぞれ観察された。中高齢者群では水浸ならびに低呼吸頻度時にHRの有意な低下が観察されなかったことから、今回観察された不整脈は迷走神経の関与は低いと推察された。

⑥ShoulderおよびBreastにて不整脈が出現し、水圧が不整脈発現に関与すると考えられる。つまり、水圧によって \dot{Q} の上昇傾向が認められたように、静脈還流が増し、前負荷の亢進が結果的に心筋作業量を高め、不整脈の出現に影響した可能性が推察された。

以上のことから、中高齢者の水中環境は安静時であっても不整脈の出現は否定できず、交感神経・迷走神経の両方が加齢によって減弱されてい

ると示唆された。延いては左心室への還流量が増大して水中での不整脈出現の一因であったと推察される。中高齢者においては、異なる呼吸頻度による自律神経機能検査が水浸（中性温）による影響よりも重視されるべきであろう。

謝 辞

本研究に対して研究助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。また、データの収集並びに解析に協力頂いた熊本県立大学の中村由紀さん、森雅子さん、熊本大学の石崎美奈子さん、信國ひとみさん、並びに被験者の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Bonneau A., Friemel F. and Lapierre D.; Electrocardiographic aspects of skin diving. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58, 487-493 (1989)
- 2) Itoh M., Araki H., Hotokebuchi N., Takeshita T., Gotoh K. & Nishi K.; Increased heart rate and blood pressure response, and occurrence of arrhythmias in elderly swimmers. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 34, 169-178 (1994)
- 3) 伊藤雅浩, 荒木春夫, 徳富芳子, 西勝英; 中高年者における水泳中の不整脈出現について - 1年間のトレーニングの影響 -. *J. J. Sports Sci.*, 13, 697-702 (1994)
- 4) 伊藤雅浩, 荒木春夫, 竹下哲二, 佛淵信夫, 西勝英; 中高年者における水泳競技が血圧, 心拍数, および不整脈の発現に及ぼす影響. *J. J. Sports Sci.*, 11, 803-808 (1993)
- 5) 岡野亮介, 碓井外幸, 佐々木弘志, 勝木建一, 勝木道夫; 水泳の安全に対する基礎的研究. *デサントスポーツ科学*, 11, 13-31 (1990)
- 6) Lin Y.C.; Applied physiology of diving. *Sports Med.*, 5, 41-56 (1988)
- 7) Manley L.; Apnoeic heart rate responses in humans. A review. *Sports Med.*, 9, 286-310 (1990)
- 8) Hayashi N., Ishihara M., Tanaka A., Osumi T. and Yoshida T.; Face immersion increases vagal activity as assessed by heart rate variability. *Eur. J. Appl.*

- Physiol.*, 76, 394-399 (1997)
- 9) Hong S.K., Moore T.O., Seto G., Park H.K., Hiatt W.R. and Bernauer E.M.; Lung volumes and apneic bradycardia in divers. *J. Appl. Physiol.*, 29, 172-176 (1970)
- 10) Moore T.O., Elsner R., Lin Y.C., Lally D.A. and Hong S.K.; Effects of alveolar P_{O_2} and P_{CO_2} on apneic bradycardia in man. *J. Appl. Physiol.*, 34, 795-798 (1973)
- 11) 須藤正道; Head-out Water Immersion. 呼吸と循環, 48, 447-451 (2000)
- 12) 平田幸一, 片山宗一; 心電図 R-R 間隔検査. 自律神経学会編, 自律神経機能検査 第2版, 日本文光堂, 48-56 (1995)
- 13) Sachs C., Hamberger B. and Kaijser L.; Cardiovascular responses and plasma catecholamines in old age. *Clin. Physiol.*, 5, 553-565 (1985)
- 14) 曾根涼子, 福岡義之, 山崎文夫, 本間幸子, 池上晴夫; 呼吸周期と心周期の呼吸性変動との関係— 血圧の呼吸性変動の影響—. 体力科学, 41, 330-338 (1992)
- 15) Wessling K. H., Jansen J. R. C., Settles J. J. and Schreuder J. J.; Computation of aortic flow from pressure in humans using a nonlinear, three-element model. *J. Appl. Physiol.*, 74, 2566-2573 (1993)
- 16) Bing O.H.L., Keefe J.F., Wolk M.J., Lipana J.G., McIntyre K.M. and Levine H.J.; Cardiovascular responses to hypoxia and varying P_{CO_2} in the awake dog. *J. Appl. Physiol.*, 27, 204-208 (1969)
- 17) Daly M.DeB. and Hazzledine J.L.; The effects of artificially induced hyperventilation on the primary cardiac reflex response to stimulation of the carotid bodies in the dog. *J. Physiol.*, 168, 872-889 (1963)
- 18) Craig A.B. Jr. and Dvorak M.; Thermal regulation during water immersion. *J. Appl. Physiol.*, 21, 1577-1585 (1966)
- 19) 木住野孝子, 松田光生; 短時間の腋下水準における水浸が心臓自律神経系活動に及ぼす影響—水温 25℃, 30℃, 34℃での検討—. 体力科学, 46, 101-112 (1997)
- 20) Choukroun M.L. and Varene P.; Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *J. Appl. Physiol.*, 68, 1475-1480 (1990)
- 21) Farhi L.E. and Linnarsson D.; Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35℃. *Respir. Physiol.*, 30, 35-50 (1977)
- 22) Perini R., Milesi S., Biancardi L., Pendergast D.R. and Veicsteinas A.; Heart rate variability in exercising humans: effect of water immersion. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 77, 326-332 (1998)
- 23) 木村真規, 鈴木政登, 矢澤誠, 村岡功; 腕クランキング運動時の心拍応答に及ぼす浸水の影響. 日本運動生理学会雑誌, 8, 41-48 (2001)
- 24) Arborelius M., Ballidin U.I., Lilja B. and Lundgren C.E.; Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerospace Med.*, 43, 592-598 (1972)
- 25) 間野忠明, 岩瀬敏, 斉藤満, 古賀一男, 安倍博, 稲村欣作, 松川俊義, 羽柴基之; 水浸時による実験的低重量下におけるヒトの前庭・交感神経反射. 名古屋大学環境医学研究所年報 XL, 49-54 (1989)
- 26) Gabrielsen A., Johansen L.B. and Norsk P.; Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. *J. Appl. Physiol.*, 75, 581-585 (1993)
- 27) 美和千尋, 岩瀬敏, 小出陽子, 杉山由樹, 松川俊義, 間野忠明; 入浴時の湯温が循環動態と体温調節に及ぼす影響. 総合リハビリテーション, 26, 355-361 (1998)
- 28) 永浜明子, 王文耀, 松田光生; 25度・30度水中浸漬が左心機能・左心容積および自律神経系に及ぼす影響. いばらき健康・スポーツ科学, 11, 11-17 (1994)
- 29) Rowell L.B.; Human cardiovascular control. New York; Oxford Univ. Press (1993)
- 30) Dornhorst A.C., Howard P. and Leathart G.L.; Respiratory variations in blood pressure. *Circulation*, 6, 553-558 (1952)
- 31) 伊藤雅浩, 荒木春夫, 西勝英; 自己慣習的な運動強度での心血管系の応答. 日本運動生理学会雑誌, 3, 127-135 (1996)
- 32) Scholander P.F., Hammel H.T., LeMessurier H., Hemmingsen E. and Garey W.; Circulatory adjustment in pearl divers. *J. Appl. Physiol.*, 17, 184-190 (1962)
- 33) Jakopin J. and Rakovec P.; Heart rate and rhythm during underwater swimming. *Boll. Soc. Itatl. Cardiol. Cardiologia*, 27, 205-210 (1982)
- 34) 石川秀樹, 長嶋正實, 大岩寿子, 長谷川誠一, 菊池哲; 健康中学生における水泳中の不整脈について. 日本小児科学会雑誌, 91, 3498-3504 (1987)
- 35) Hong S.K., Cerretelli P., Cruz J.C. and Rahn H.;

- Mechanics of respiration during submersion in water. *J. Appl. Physiol.*, 27, 535-538 (1969)
- 36) Yasue H., Touyama M., Shimamoto M., Kato H., Tanaka S. and Akiyama F.; Role of autonomic nervous system in the pathogenesis of Prinzmetal's variant form of angina. *Circulation*, 50, 534-539 (1974)