

総説

顔面浸水止息の心臓血管系へ及ぼす影響と水中浸漬 及び水中運動中の心電図

岡野 亮介

I. はじめに

レクリエーション活動、運動療法及び健康と体力の保持増進を目的として水中運動を行う人口は多いが、水難事故が毎年後を断たないでいる。溺死の原因は様々であるが、身体を水中に浸漬した時に反射的に生じる潜水性の徐脈や不整脈もその原因の一つであると考えられている¹⁾。この心機能上の変化は顔面を冷水に浸漬して止息する（顔面浸水止息, Apneic Facial Immersion: AFI）だけでも生じることから、顔面浸水試験を水中運動前のメディカルチェックとして利用することの必要性が叫ばれている^{2,3)}。しかし、メディカルチェックとして有効に活用するための方法や判定基準は未だ十分に確立されているわけではない。

本論文は以上のことを背景として、ショートレビューを交えながら、AFIの心臓血管系へ及ぼす影響を様々な要素に基づいて基礎的に追究し、また実際の水中浸漬及び水中運動中の心電図上の変化との対応関係を探り、水中運動前のメディカルチェックとしての顔面浸水試験の可能性を検討した。

II. AFIの心電図、血圧及び血液ガス分圧へ及ぼす影響

A. 心電図と血圧へ及ぼす影響

AFI時の心拍数(HR)の反応については数多く報告されてきている^{4~8)}。これらの報告では、安静時と比べてHRは低下し、その低下の程度は水温が低いほど大きいこと^{9~15)}及び大気中で止息した(Breath Holding in Air: BHA)時やシュノーケルで呼吸をしながら顔面浸水した(Facial Immersion Breathing through a Snorkel: FIBS)時よりも徐脈化の程度は大きいこと^{16~19)}でほぼ一致している。この徐脈を引き起こす要因である顔面の浸水と止息に関しては、

現在もその関わり合いの程度について論議が繰り返されている。また、止息時の呼吸位(吸息位と呼息位)によっても AFI 時の徐脈の大きさは異なる^{20,21)}が、どちらの呼吸位がより大きな徐脈を促進するかについてはまだ意見の一致はみられていない⁸⁾。

BHA 時、FIBS 時、全身浸水(Whole Body Water Immersion:WBWI)時及び AFI 時の血圧(BP)の変動についても数多く報告されている^{11,13,17,19,21~27)}。それらの報告では BHA 時、WBWI 時、シュノーケルで呼吸を行いながらの全身浸水時及び AFI 時において、共通して昇圧反応が観察されることが報告されている。また、水温の低い方がその昇圧反応も大きいことも報告されている^{13,25)}。さらに収縮期血圧(SBP)と比較して拡張期血圧(DBP)の方がより大きく上昇することを BHA の中で Nakahira ら²⁸⁾、長谷川ら²⁹⁾が観察しており、WBWI の中で Hong ら¹³⁾が観察している。また、Fagius ら¹⁹⁾は昇圧の原因を筋交感神経活動の増大から説明している。

図 1 と表 1 に筆者の実験データを示した。図 1 は深吸息位の呼吸位で 5℃の水へ AFI を行った時の心電図(ECG)と BP の変動の一例である。止息時間は 13 秒間であったが後半の過程で明らかに ECG の R-R 間隔は延長(HR は低下)し SBP、DBP とも上昇する様子が観察される。

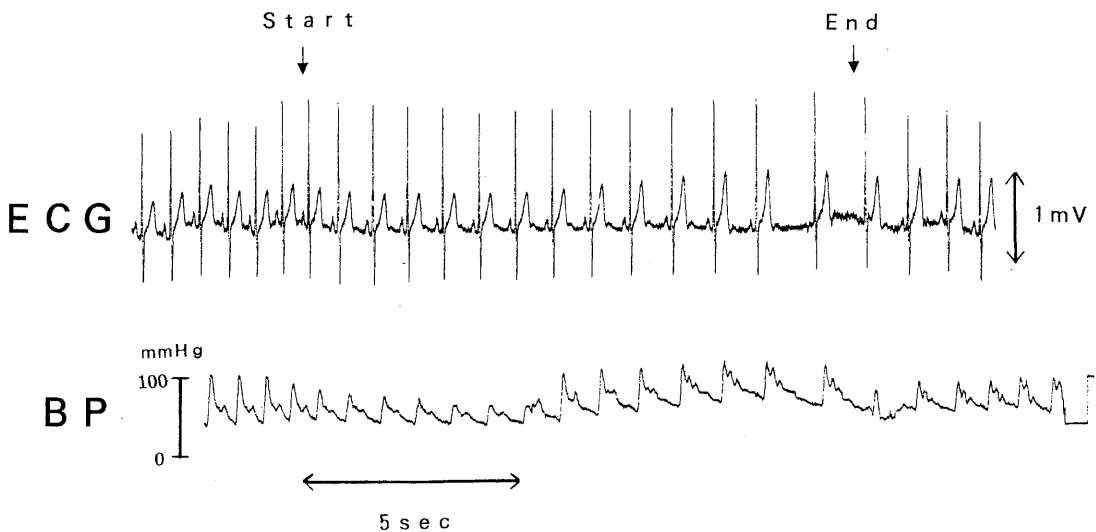


Fig.1. A sample of record showing the variations of ECG and BP during AFI under 5°C water and inhalatory stage.

表 1 には、成人男女 43 名 {29.0 ± 8.4 歳(平均値 ± 標準偏差)} を対象として、5℃、15℃、30℃の 3 つの水温で深吸息位と呼息位(機能的残気量の残る状態)でできるだけ長く AFI を行った時(対象は 43 名の成人男女)の心拍反応の相互比較を示した。HRmin は AFI 時で最も延長した 1 拍の R-R 間隔より求めた HR であり、%HRmin は安静時 HR に対する HRmin の相対値 {(HRmin/安静時 HR) × 100} である。HRmin は両呼吸位で、呼息位の 5℃と 15℃ の間の比較を除いて、水温の低い時の方が有意に低い値を示した。%HRmin は、両呼吸位で、すべて水温

の低い時の方が有意に低い値を示した。呼吸位に基づいた比較では、5°C、30°Cでは両呼吸位の HRmin 及び%HRmin に有意な差はなかったが、15°Cでは両者とも呼息位の方が有意に低い値であった。HRmin が水温が低いほど徐脈化が大きい結果については先行研究を追認したにすぎないが、15°Cの呼息位における徐脈化の大きさについては、呼吸位の違いによる Hering-Breuer 反射活動の差に加えて、この水温前後で徐脈化が急速に大きくなること^{15,30)}が関連していると思われる。

Table 1. HRmin and %HRmin during AFI under various water temperatures and respiratory stages.

HRmin				Exhalatory Stage	
Inhalatory Stage				Exhalatory Stage	
5°C-AFI (bpm)	42.2 ±12.1	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">**</div> <div style="margin-bottom: 5px;">***</div> </div> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> <div style="margin: 0 5px;">-----</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> </div> </div> </div>	40.9 ±12.1	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">*</div> <div style="margin-bottom: 5px;">***</div> </div> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> <div style="margin: 0 5px;">-----</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> </div> </div> </div>	
15°C-AFI (bpm)	45.7 ±10.4		43.5 ±11.9		
30°C-AFI (bpm)	52.6 ±11.0		52.8 ±10.9		

%HRmin				Exhalatory Stage	
Inhalatory Stage				Exhalatory Stage	
5°C-AFI (%)	58.5 ±17.0	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">**</div> <div style="margin-bottom: 5px;">***</div> </div> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> <div style="margin: 0 5px;">-----</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">**</div> </div> </div> </div>	56.9 ±16.2	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">*</div> <div style="margin-bottom: 5px;">***</div> </div> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> <div style="margin: 0 5px;">-----</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">***</div> </div> </div> </div>	
15°C-AFI (%)	64.6 ±16.0		61.6 ±17.4		
30°C-AFI (%)	75.0 ±15.8		75.1 ±14.9		

AFI: Apneic Facial Immersion
 N=43 Values are means ±SD.

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

表 2 には前述 43 名の対象者のうち、30 秒以上の止息ができた 31 名の成人男女(呼息位では 1 名の BP が聴取不能であったため 30 名)の AFI30 秒目の HR{3 拍の連続した R-R 間隔の平均値から求めた平均 HR, HR(30s)} とその時の BP 値及び 30 秒間の BHA を行った時の HR(30s) と BP 値を示した³¹⁾。HR(30s)については、深吸息位の BHA では、安静時と比較して、有意な低下がみられたが、呼息位ではやや低下はみられたものの有意な水準はなかった。これは Irving³²⁾や Openshaw ら²⁰⁾も同様の報告をしている。AFI 時では 30°C呼息位を除いたすべて

の条件で有意に低い値を示した。また両呼吸位において、BHA 時の HR(30s)と比べて、5℃と 15℃ の AFI 時の値は有意に低かった。しかし、30℃ の AFI 時の HR(30s)ではやや低い値を示したが、有意な水準はなかった。つまり、30℃という中性温(35℃)に近い AFI 時の HR 反応は BHA 時のそれと大差ないことを意味している。また、30 秒という指定した負荷時系列のためか、AFI 時では両呼吸位で水温が低いほど HR(30s)は有意に低い値であった。

Table 2. HR(30s) and BP during AFI under various water temperatures and respiratory stages.

	HR(30s)(bpm)		S B P(mmHg)		D B P(mmHg)	
	Rest	Inhalatory Stage(N=31) 30sec	Rest	Inhalatory Stage 30sec	Rest	Exhalatory Stage 30sec
BHA	71.7±14.5	67.0±14.1 *	117.8±14.8	122.4±17.1 *	73.2±11.7	83.2±12.4 ***
5℃-AFI	72.0±13.5	52.0±13.2 ***	117.8±15.4	132.7±25.9 ***	74.5±11.0	96.5±18.0 ***
15℃-AFI	72.2±12.0	57.9±11.7 ***	118.1±15.1	132.4±24.8 ***	73.5±13.3	91.2±15.4 ***
30℃-AFI	71.2±11.1	64.5±12.0 ***	117.0±17.4	125.1±21.1 **	73.1±10.3	85.9±13.1 ***

AFI:Apneic Facial Immersion, BHA:Breath Holding in Air
Values are means±SD.

*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001

BP については、両呼吸位の BHA 時及びすべての水温の AFI 時において SBP、DBP とも有意に上昇した。水温に基づいた比較では、SBP は両呼吸位で 5℃と 15℃の間には有意な差はなかったが、その他の比較では水温の低い時の方が高い時より有意に高い値であった。DBP は呼息位の 5℃と 15℃の間には有意な差はなかったが、深吸息を含めてその他の比較では、水温が低い時の方が高い時より有意に高い値であった。

また、負荷 30 秒目の値の差分量を対象として HR(30s)と SBP 及び DBP との間の相関性を表 3 に示した。差分量間の相関係数に有意な水準があったのは、深吸息位では 5℃と 30℃の HR(30s)と SBP 間、呼息位では 5℃と 30℃及び 15℃と 30℃の HR(30s)と SBP 間並びに 5℃と 15℃及び 5℃と 30℃の HR(30s)と DBP 間のみであり、それらの相関係数は必ずしも高い値で

はなかった。これらHR(30s)とBPの変動量間の相関性の低さ並びに前述した水温別でHR(30s)とBPの変動を比較した結果において、BPはHR(30s)ほど明瞭な統計的な差がなかったことを勘案すれば、Gooden²³⁾、Heistadら¹⁷⁾、Songら²¹⁾も指摘するように、AFI時の昇圧による圧受容器反射は徐脈の発生に主体的な役割りを果していないのかもしれない。これは呼息位でもっとも大きなR-R間隔の延長を示した被検者のBPが聴取不能であったことから推察できる。

Table 3. Correlationship between the variation of HR(30s)and BP.

HR(30s) vs SBP			Inhalatory Stage(N=31)	Exhalatory Stage(N=30)
BHA	vs	5°C-AFI	r=-0.054	r= 0.217
BHA	vs	15°C-AFI	r= 0.112	r= 0.201
BHA	vs	30°C-AFI	r= 0.122	r= 0.069
5°C-AFI	vs	15°C-AFI	r=-0.147	r=-0.100
5°C-AFI	vs	30°C-AFI	r=-0.433 *	r=-0.376 *
15°C-AFI	vs	30°C-AFI	r= 0.069	r=-0.380 *

HR(30s) vs DBP			Inhalatory Stage	Exhalatory Stage
BHA	vs	5°C-AFI	r= 0.112	r= 0.058
BHA	vs	15°C-AFI	r=-0.100	r= 0.101
BHA	vs	30°C-AFI	r= 0.092	r= 0.046
5°C-AFI	vs	15°C-AFI	r= 0.109	r=-0.406 *
5°C-AFI	vs	30°C-AFI	r= 0.001	r=-0.379 *
15°C-AFI	vs	30°C-AFI	r= 0.063	r=-0.211

AFI:Apneic Facial Immersion, BHA:Breath Holding in Air * :p<0.05

また、5°C深吸息位で60秒以上の止息ができた18名の30秒毎のHR(60秒目の値も3拍のR-R間隔の平均値より求めている)とBPの変動を表4に示した。30秒目の値と比較して、HRは60秒目にはほとんど変動しなかったが、SBPとDBPは有意な上昇を示した。BPの経時的上昇は止息に伴う胸腔内圧の上昇によるものと思われる。しかし、この時のHRは低下が維持されたままの状態、やはり圧受容器反射の作用は決して著明であるとは思われない。これら

のことも AFI 時の徐脈化の機序は顔面の寒冷受容器—三叉神経—心臓抑制中枢—遠心性の心臓迷走神経の反射回路³³⁾が主体であって、末梢血管の収縮に伴う圧受容器反射の役割には大きな個人差があり、全体としてさほど著明な影響をもっていないことを示唆しているであろう。

Table 4. Time-elapsd variations of HR and BP during 60sec AFI.

	HR (bpm)	S B P (mmHg)	D B P (mmHg)
Rest	70.8±15.3	120.0±14.4	73.9± 8.7
30 sec	50.1± 9.0	130.8±19.3	93.8±13.6
60 sec	51.5±10.2	141.6±17.2	99.3±15.1

N=18 Values are means±SD.

*:p<0.05, ***:p<0.01

AFI 時に不整脈の発現のあることも多くの研究者により報告されている^{7,10,16,24,34~37)}。表 5 には、前述した 43 名の各条件の負荷時と回復時における不整脈発現者数と発現率を示した。負荷中の不整脈発現率は、どの水温でも深吸息位の時より呼息位の時の方がやや高い傾向であったが有意な差はなかった。一方水温に基づいて比較すると、両呼吸位で水温が低いほど不整脈の発現率は有意に高かった。回復時の発現についてもほぼ同様のことが認められた。なお、発現した不整脈の種類は房室接合部性補充収縮 (AVJEB)、房室接合部性補充調律 (AVJR)、房室干渉解離 (AVD)、1 度房室ブロック (1° AVB)、2 度房室ブロック Wenckebach 型 {2° AVB (W)}、2 度房室ブロック Mobitz II 型 {2° AVB (M)}、2.0 秒以上の洞停止あるいは洞房ブロック (SAorSAB)、心室固有調律 (IVR)、心室性補充収縮 (VEB) 等の徐脈性不整脈及び上室性期外収縮 (SVPC)、心室性期外収縮 (VPC) 等の頻脈性不整脈であった (不整脈の一部は図 2 に示した)。これらのうち発現頻度が高かったのは、坂本ら³⁶⁾の報告と同様で、AVJEB と AVJR であった。また徐脈性と頻脈性の不整脈が混在する例も少なからず観察された。さらに、SAorSAB や 2° AVB (M) 等のスポーツ活動上有害な不整脈発現者数は深吸息位の 5°C で 6 名 (14.0%)、15°C で 3 名 (7.0%) であり、呼息位では同順で 8 名 (18.6%) と 6 名 (14.0%) であった。

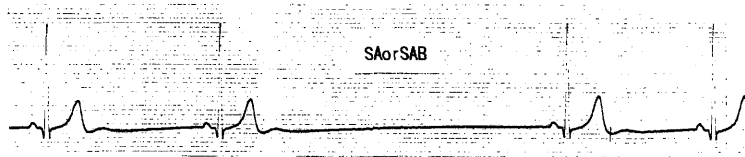
AFI 時あるいは WBWI 時に水温が低い方が不整脈は発現しやすいことは以前から報告されている^{16,38)}。おそらく R-R 間隔の延長の大きさ、すなわち迷走神経活動を主体とした作用が顕著に影響を与えていると思われる。しかし、本研究ではごく少数ではあるが低い水温では発現しなかったが、より高い水温では発現したという例も観察された。このことは、AFI 前の心理状態等の要因も不整脈発現に影響を与える可能性を示唆するものであろう。

Table 5. The numbers and incident rates of arrhythmias during and after AFI under various water temperatures and respiratory stages.

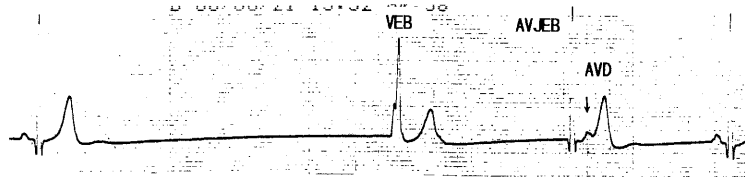
	Inhalatory Stage		Exhalatory Stage	
	During Load	Recovery	During Load	Recovery
5°C	29(67.4%)	12(27.9%)	32(74.4%)	15(34.9%)
15°C	25(58.1%)	13(30.2%)	27(62.8%)	5(11.6%)
30°C	9(20.9%)	4 (9.3%)	13(30.2%)	5(11.6%)
	$\chi^2=20.80$ **	$\chi^2=6.49$ *	$\chi^2=18.30$ **	$\chi^2=9.92$ *

N=43 Incidence rate of arrhythmias in parenthesis. *:p<0.05, **:p<0.01

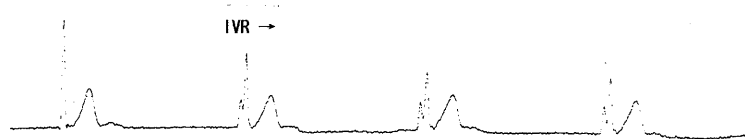
A. 5°C Inhalatory Stage SAorSAB



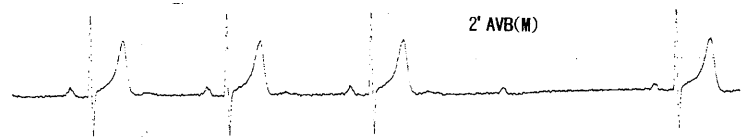
B. 5°C Exhalatory Stage VEB, AVJEB, AVD



C. 5°C Inhalatory Stage IVR



D. 5°C Inhalatory Stage 2' AVB(M)



E. 5°C Inhalatory Stage VPC

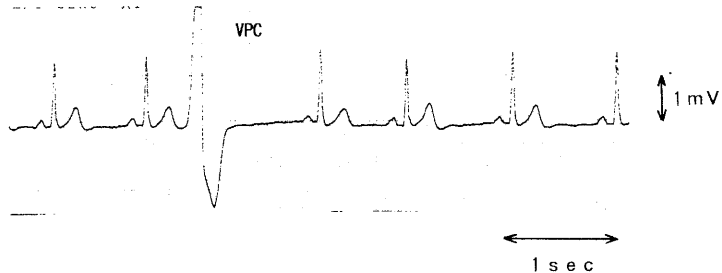


Fig.2. ECG samples showing various sorts of arrhythmias during AFI.

B. 血液ガスへ分圧及ぼす影響

大気中で安静を保って 60 秒間の止息をした場合、酸素分圧は一定の割合で低下して 76.0 TORR となり、炭酸ガス分圧は 45.5 TORR まで増加すると言われる³⁹⁾。この研究ではガス分圧は肺胞気の値であったが、著者ら⁴⁰⁾は動脈血を直接採血することより、約 50~60 秒間の AFI がガス分圧へ及ぼす影響を追究し(成人男女 7 名(31.9±4.7 歳)、表 6 にその結果を示した。自明かもしれないが、安静時と比較して酸素分圧(Pao₂)は有意に低下、炭酸ガス分圧(Paco₂)は有意に増加、従って pH は有意に低下した。これより約 50~60 秒間の AFI 時に軽度の低酸素血症と高炭酸ガス血症が生じることが理解された。また 50~60 秒目における HR も 0.1% 水準で有意に安静時より低下していた。しかし、後日対象者の 1 名に数回の深呼吸後に AFI を行かせたところ、HR は大きく低下するにもかかわらず酸素分圧、炭酸ガス分圧及び pH にはあまり変化がなかった。Lin ら⁴¹⁾は 90 秒間の AFI 時における徐脈の維持に低酸素が関与することを述べた。しかし本データからは、一例という非常に限定された結果ではあるが、50~60 秒間の AFI 時における徐脈の発達に血液ガスの変動はあまり影響を及ぼしていないことが推察された。

Table 6. Variations of arterial blood gas and pH during AFI.

	Rest	AFI
Pao ₂ (TORR)	87.9 ± 7.3	68.9 ± 4.7 **
Paco ₂ (TORR)	40.5 ± 3.4	46.2 ± 4.4 ***
pH	7.40 ± 0.02	7.36 ± 0.09 **

N=7 Values are means±SD. ** : p<0.01, *** : p<0.001

AFI: Apneic Facial Immersion

III. AFI の心電図へ及ぼす影響の再現性

AFI の心電図へ及ぼす影響について、その再現性を観察した報告は非常に少ないが、石川ら⁴²⁾は不整脈の発現の有無に関して 75.5%の再現性があるとしている。坂本ら³⁶⁾は逆に R-R 間隔の延長に再現性が乏しく、AFI を試験として行う時 2 度行うべきことを示唆している。しかし、当研究では止息時の呼吸位は規定されていなかった。著者らの行った研究⁴³⁾では、連続 10 度の AFI (5℃、深吸息位)を行った場合の不整脈の再現性は極めて良好であった。この時不整脈発現者の HRmin 及び%HRmin の変動係数は、不整脈非発現者のそれらよりも

大きいことが特徴としてが観察された。

2つの呼吸位(深吸息位と呼息位)と3つの水温(5℃、15℃、30℃)を組み合わせた6つの条件で同一日に2度のAFIを行った時⁴³⁾、30秒間における5秒毎の%HR(安静時HRに対する相対値)の相関性は5℃呼息位の5秒目と30℃呼息位の30秒目を除いては、すべて有意な水準を示した。

また前述の6つの条件で日を変えて2度のAFIを行った時⁴⁴⁾、AFI開始後30秒以降に%HRは有意な相関を示す傾向がみられた。不整脈の発現の有無の再現性に関しては、同一日及び日を変えた場合とも、15℃で深吸息位のAFI時を除いては比較的良好と思われた^{43,44)}。これらの結果はAFIを試験として用いる場合常に止息時の呼吸位を規定し一定時間以上(30秒間以上)の止息時間の必要なことを示唆するものであろう。

また、時刻による変動については5℃深吸息位で45秒間のAFI(成人男女12名(29.1±5.3歳))を、9:30(朝食2時間後)、12:00(昼食前)、17:30(夕食前)に実施させることより追究した⁴⁵⁾。3つの時刻におけるHRmin及び%HRminの平均値の間には有意な差はなく、かつ3時刻間におけるHRmin及び%HRminの間には高くても有意な相関性が存在した。すなわち、少なくとも9:30~17:30の間ではAFI時のHRminと%HRminは明瞭な差は存在せず、再現性に優れることを意味している。また、発現した不整脈は、負荷時では11名、回復時では10名が発現の有無に一致性が認められ、この時刻の間の不整脈の再現性も比較的良好と思われた。

次に5℃深吸息位で45秒間のAFI(成人男女4名(29.8±5.0歳))を1カ月毎に13カ月間に亘って行った結果を表7と表8に示した(実施時室温は23~27℃)。HRmin及び%HRminの年間の変動に季節の変動に基づく規則性が認められることはなかった。しかし、AFI時の不整脈の発現に関しては2名は13カ月間を通じて発現し2名は発現しないという対応の良さが観察された。しかも前述の同時再現性の結果と同様、不整脈発現のあった2名(被検者ARIとMOR)のHRminの変動係数は、非発現者の2名(被検者MITとNAK)のそれより非常に大きい値であった。なお以上の研究においてはいずれも発現した不整脈の種類に関してまでの良好な一致性は認められなかった。

これらの結果から、呼吸位の限定を行えば同一日のほぼ同時刻、同一日の食事直後を除いた9:30~17:30、日を変えた場合のAFI時のHR反応と不整脈の発現の有無及び1年間における不整脈の発現の有無にはかなり高い等結果性が期待されることが示唆された。

Table 7. Month-to-month variations of HRmin and %HRmin during AFI under 5°Cwater and inhalatory stage.

	HRmin (bpm)				%HRmin (%)			
	SYO	TOK	HIY	NOR	SYO	TOK	HIY	NOR
Apr	61.3	62.5 ⊙	41.2	22.5 ○	78.7	65.0	54.6	31.7 ○
May	66.8	53.0	45.4	32.3	77.6	61.5 ○	55.0	44.0
Jun	56.0	53.4	46.1	33.3	74.3	62.5	53.2	44.5
Jul	62.1	47.1 ○	45.6	34.4	77.3	65.1	52.3	55.4 ⊙
Aug	58.0	50.6	47.3 ⊙	31.9	80.9	68.9	51.1	42.7
Sept	59.2	48.5	31.1	27.9	79.9	64.1	46.6	35.1
Oct	59.5	54.0	29.4 ○	36.3 ⊙	77.4	70.3	45.2	41.9
Nov	52.3 ○	56.9	41.8	36.0	63.5 ○	64.4	56.4 ⊙	49.0
Dec	64.1	56.1	42.2	35.4	77.0	73.1	55.1	47.3
Jan	61.3	60.4	35.5	36.3 ⊙	76.1	74.7	51.5	52.9
Feb	60.4	58.8	30.7	31.1	76.3	73.1	44.4 ○	43.6
Mar	64.8	57.9	40.5	29.2	85.0 ⊙	66.3	48.6	40.7
Apr	67.3 ⊙	56.2	39.2	34.6	72.8	76.6 ⊙	53.2	48.3
Mean	61.0	55.0	39.7	32.4	76.7	68.1	51.3	44.4
SD	4.2	4.5	6.2	4.0	5.0	5.0	4.0	6.5
CV (%)	6.9	8.2	15.6	12.4	6.5	7.3	7.7	14.7

⊙:Maximal Value, ○:Minimal Value, CV:Coefficient of Variation

Table 8. Month-to-month variations of incidence of arrhythmias during AFI under 5°Cwater and inhalatory stage.

	SYO		TOK		HIY		NOR	
	DL	Rec	DL	Rec	DL	Rec	DL	Rec
Apr	-	-	-	-	AVJEB, AVJR	AVJR	2° AVB(W), 2° AVB(W) 1° AVB, AVD, AVJR	-
May	-	-	-	-	AVJR	AVD, AVJEB, AVJR	2° AVB(W), 2° AVB(W) AVJR, AVD	AVJR, AVD
Jun	-	-	-	-	AVD, AVJR	AVJR	2° AVB(W), AVJR	AVJR
Jul	-	-	-	-	AVD, AVJR	AVJEB, AVJR	2° AVB(W), 1AVB AVD, AVJEB, AVJR	-
Aug	-	-	-	-	AVD, AVJEB, AVJR	AVJEB, AVJR	2° AVB(W), 2° AVB(W) AVD, AVJEB, AVJR	-
Sept	-	-	-	-	AVJR	AVJR	2° AVB(W), 1° AVB AVD, AVJEB	-
Oct	-	-	-	-	SAorSAB, AVJEB, AVJR	-	2° AVB(W)	-
Nov	-	-	-	-	AVD, AVJR	AVJEB, AVJR	2° AVB(W), AVD AVJEB, AVJR	-
Dec	-	-	-	-	AVJEB	AVD	2° AVB(W), AVJEB AVD	-
Jan	-	-	-	-	AVD, AVJEB, AVJR	AVJR	2° AVB(W), 2° AVB(W) AVD, AVJEB	-
Feb	-	-	-	-	AVD, AVJEB, AVJR	AVD, AVJR	2° AVB(W), AVD	-
Mar	-	-	-	-	AVD, AVJEB, AVJR	AVD	2° AVB(W), 2° AVB(W) AVD, AVJEB	-
Apr	-	-	-	-	AVJR	AVJR	2° AVB(W), 2° AVB(W) 1° AVB, AVD, AVJEB	-

DL:During Load, Rec:Recovery

IV. AFI 時の心電図応答に対する性と加齢の影響

前述した水温と呼吸位を組み合わせた 6 条件の AFI の心電図へ及ぼす影響の性差に関する筆者の研究(20~39 歳の成人男女 36 名)⁴⁶⁾では、負荷中の HRmin 及び%HRmin とも男女間に明瞭な差はなかった。Hayward ら⁹⁾、Ramey ら⁴⁷⁾も AFI と類似した負荷様式となる WBWI 時の HR 反応に男女差はないとしている。筆者は別に 15°C に限定されるが、40~67 歳の成人男女(男子 17 名、女子 9 名)を対象として比較した。その結果、両呼吸位で男女間に HRmin 及び%HRmin とも有意な差はなかった(表 9)。これらは AFI を試験として利用する時、性別はあまり考慮しなくてもよいことを示唆するものであるが、19 歳以下の男女についても今後の追究が必要であろう。

Table 9. HRmin and %HRmin of males and females(40-67yrs) during AFI.

	Male(N=17)	Female(N=9)
Age(y. o.)	51.5± 9.8	53.2±10.0
<Inhalatory Stage>		
HRmin(bpm)	59.5± 8.9	59.2±10.9
%HRmin (%)	83.4±15.6	74.9±13.2
<Exhalatory Stage>		
HRmin(bpm)	56.7±10.7	57.9±11.2
%HRmin (%)	79.2±16.0	73.1±11.9

Values are means±SD.

加齢による変化については、相反した報告^{48,49)}もあるが、AFI による徐脈反応の大きさは加齢とともに低下することを報告した方が多い^{8,24,34,49)}。しかし筆者らの研究(13~67 歳の男女 95 名、水温は 15°C)⁴⁶⁾では、HRmin 及び%HRmin とも加齢とともに直線的に徐脈反応が減弱するというのではなくて、20~39 歳で一旦より大きな徐脈反応を示し、その後減弱するという二次回帰的な加齢変動を示す結果を得た(図 3 に深吸息位での HRmin の加齢変動を示した)。また、不整脈の発現率についても両呼吸位で 19 歳以下の若年群と 20~39 歳の青年群の方が 40~67 歳の中老年群より多かった。しかし、青年群では SAorSAB が特異的に多く、若年群では安全弁としての下位自動能がより容易に作用するためか IVR を含めた補充調律等の不整脈が多く観察されるという特徴が観察された。若年群の結果には自律神経活動影響下の心機能の発育発達の特性が著明に反映していると思われた⁴⁶⁾。中老年群の徐脈反応の減弱や不整脈発現率の低さは、刺激に対する自律神経系の応答性は加齢と共に低下するため^{50~54)}、

当然の結果でもあろう。以上から、AFI の結果を観察する時対象者の年齢は大きく考慮しなければならないことが示唆された。

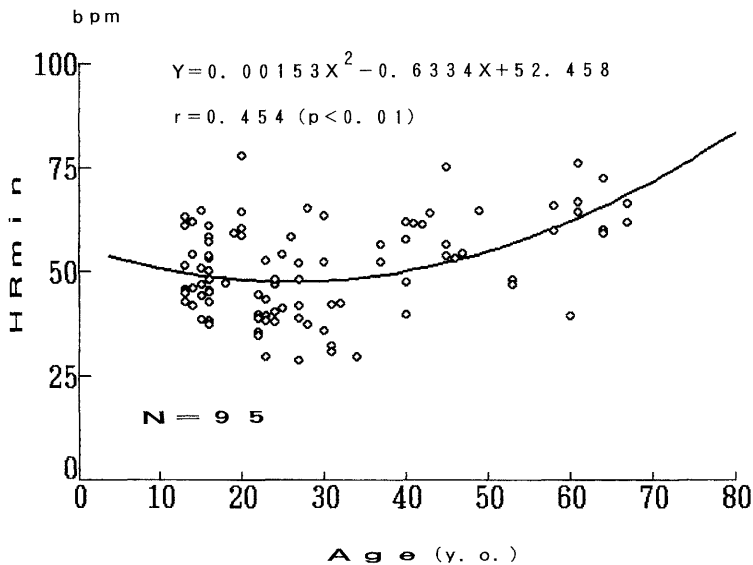


Fig.3. Age-related variation of HRmin during AFI under 15°Cwater and inhalatory stage.

V. AFI の交感神経活動へ及ぼす影響

AFI の心臓血管系へ及ぼす影響を観察した時、大きな徐脈が生じることから、心臓の迷走神経が反射回路(前述)を通じて活動を増していることは容易に想像できる。しかし、同時に昇圧反応があること、止息中に動脈血の酸素分圧が低下しこのことが副腎髄質からアドレナリン(A)の分泌を促すこと、顔面を冷水へ漬けることが1つのストレス刺激でありまた顔面浸水が全身の交感神経を一様に亢進させる痛感覚⁵⁵⁾を顔面や胸部へもたらすこと、発現する不整脈には心臓の交感神経活動の関与する頻脈性不整脈も観察されること及び両自律神経を同時に刺激した時に不整脈が発現しやすいという特性がある⁵⁶⁾こと等から、AFI時に心臓の交感神経の活動もほぼ同時に増大していることが推測される。

筆者ら⁴⁰⁾は、5°C深吸息位のAFI中のカテコラミンを計測(成人男女17名(27.1±4.8歳))し、両呼吸位においてHRが低下を開始した時にほぼ同期してAとノルアドレナリン(NA)は増加することを観察した。また、5°C深吸息位で60秒間のAFIを行った時(成人男女11名(30.0±5.2歳))⁴⁵⁾、HRは低下が維持され、SBP、DBP、A及びNAは有意に増加し、しかもNAとSBPは浸水止息時間の経過とともに漸増することを観察した。これらは、AFI時には心臓の交感神経と迷走神経はほぼ同時に活動を増加することを支持する実証結果である。

また、心臓の自律神経活動を評価する上で高く評価されている心拍変動のスペクトル解析を適用する目的で、FIBS 時(水温 5°Cで 5.5 分間)の心拍変動(256 心拍)を高速フーリエ変換した結果⁴⁰⁾、迷走神経活動の指標は有意な増加を示した。一方心拍変動の交感神経活動の指標には有意な変動はなかったが、同時に測定した SBP、DBP 及び NA は有意に増加し、今後の検討の必要はあるが、心臓の交感神経活動も増大していることが予測された。

従来心臓の迷走神経の活動と交感神経の活動は相反的であるとされてきたが、近年両者が非相反的に作用する場合もあることが報告されている^{57,58)}。AFI 時には脳と心臓以外の末梢血管に対する交感神経を刺激するという報告³⁴⁾もあるが、もし、AFI 時に心臓に対し迷走神経が緊張し交感神経が抑制されているのであれば、血圧は低下し、一回拍出量は激減しているはずである。しかし、Lin⁶⁰⁾は AFI 時に一回拍出量は維持されていることを報告しており、これにはカテコラミンの分泌による昇圧や心筋収縮力の増大が関与していると思われる。また、Pao₂ と pH の低下という代謝上の変化とこれに基づいて分泌されるカテコラミンの心筋及び冠血管に存在する α 交感神経受容体と β 交感神経受容体に対する刺激は、結果として冠血流量の増加をもたらすと考えられる⁶¹⁾。従って、AFI 時の心臓交感神経の活動亢進は当負荷時における生体システム維持のための目的的応答としての意義をもつようにも思われる。

以上は 5°C という非常に低い水温に基づいての推論である。もっと高い水温での AFI における交感神経活動についても今後追究していく必要があるだろう。なお、4°C の AFI では交感神経活動との関連が高い致命的な不整脈である心室性頻拍が発現した例(50 歳の女性)も報告されており³⁵⁾、5°C 前後の水温での顔面浸水試験は健康な青年で寒中水泳を希望する者のみに適用すべきと思われる。

VI. 水中浸漬及び水中運動中の ECG 上の変化と AFI 時の ECG 上の変化との関係

水中に身体を浸漬した時あるいは水中運動中の ECG の変化は、Scholander ら⁶²⁾、Olsen ら⁶³⁾ が 1962 年に報告して以来数多く報告されている^{6~8,64~66)}。対象も一般健康人をはじめ心疾患児^{67~69)} にまで及んでいる。しかし、AFI 時の ECG 上の変化と水中浸漬及び水中運動中のそれらとの対応関係を追究した研究は比較的少ない。特に、多種類の水温と呼吸位による AFI 時の ECG 上の変化に基づいて追究した報告は見あたらない。

表 10 に BHA 時及び前述来の 2 つの呼吸位と 3 つの水温を組み合わせた 6 条件の AFI 時の不整脈の発現状態と頸部位まで浸水して(Head Out Water Immersion:HOWI)30 秒間静止した時、深吸息位で 30 秒間の WBWI を行った時、5 分間の遊泳(5min Swimming)を行った時、50m の全力泳(50m Maximal Swimming:50m MS)を 2 度行った時及び潜水泳(Underwater Swimming:US)

を2度行った時並びにそれぞれの条件の回復時における不整脈の発現状態を示した^{31,70)}。BHAでは30秒間の止息時間であり、AFI時ではできる限り長い止息時間であった。また、水中浸漬時と水中運動時は30℃の水温のプールを利用した。また5分間の遊泳時の泳速度は自己の最高速度の約50~70%の速度であり、潜水泳の泳時間は、1回目は23.7±7.4秒で2回目は27.7±7.5秒であった。対象者(成人男女14名(31.4±9.4歳))はいずれも陸上での運動負荷試験では不整脈の発現のなかった者である。

表の上位8名は30℃のAFI時には不整脈の発現のなかった者であり、下位の6名は30℃のどちらかのAFI時に不整脈が発現した者である。水中浸漬時、水中運動時及びそれぞれの回復時に発現した不整脈はAVD、2° AVB(W)、AVJR、AVJEB、SAorSABといった徐脈性不整脈、SVPC、VPCといった頻脈性不整脈及び心室内変行伝導(IAC)と徐脈頻脈型(B-T-TYPE)であった。その他洞性不整脈も多数見られたが本表からは割愛した。上位群と比べて下位群では水中での各負荷時及び回復時に発現する不整脈は多い傾向であった。特にWBWI時とUS時では完全に止息を行うという条件を反映してか、WBWI時では負荷時と回復時を含めて計4例、US時では計5例に不整脈の発現が認められた。一方上位群の負荷時においては、WBWI時及びUS時とも1例に発現が認められたにすぎなかった。また、全体的に30℃の水温でのAFI時とUS負荷時の不整脈の発現及び15℃の水温でのAFI時とすべての水中浸漬・水中運動時の負荷中の不整脈発現の一致性が高い傾向が認められた。但し被検者KOMのようにAFI時にはまったく発現はなかったが、水中運動中(5分間遊泳)には発現したという例もみられた。

また、50m全力泳の回復時に致死的不整脈の1つであるVPCのRonT型が下位群の一例に認められた(図4)。この被検者はBHA(呼吸位)時にも不整脈(SVPC)が認められるように、止息や無酸素運動後の乳酸の蓄積、カテコラミンの分泌及び電解質の変動に対して比較的感受性の高い心機能を有しているのかもしれない。いずれにしても本例は、健康人でも全力泳の後に危険性が存在する可能性があることを示唆する例であろう。

次に前記14名に2名を加えた16名で各条件間のHRminと%HRminを比較した³¹⁾ところ、30℃深吸息位のAFI時のHRminと%HRmin(浸水止息してから30秒目までの値)はHOWI時及びWBWI時のそれらと有意な差はなかった。これらはMooreら¹⁸⁾、Hongら³⁸⁾の報告とほぼ同等の結果であった。またそれぞれのパラメーター間の相関性は、30℃深吸息位のAFI時とWBWI時のHRmin及び%HRminの間にはそれぞれ有意な相関係数(HRmin:r=0.545 p<0.05, %HRmin:r=0.508 p<0.05)が認められ、AFIがWBWIの代用となり得ることが示唆された。一方、HOWI時のそれらは止息と顔面浸水を伴わないという負荷様式の違いもあってか有意な相関係数は認められなかった。

Table 10. Electrocardiographic variations during and after each BHA, AF1, body water immersion, and water exercise.

<D>	BHA-IN	BHA-EX	5°C-IN	5°C-EX	15°C-IN	15°C-EX	30°C-IN	30°C-EX	HDWI	WHWI	5min Swimming	50m MS	US
KOM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VPC	-	-
MIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	IAC	-	-	-
M1N	-	-	-	-	AVJEB, AVJR	-	-	-	-	-	-	-	-
K1M	-	-	-	AVJR, 1 st AVB	SVPC	1 st AVB, AVJR	-	-	-	-	IAC	IAC	-
HAY	-	-	-	AVJEB, AVJR	AVJEB	AVJR	-	-	-	-	-	-	VPC, SVPC
OM1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OKA	-	-	-	SVPC	SVPC	AVD	-	-	2 nd AVB(W), SVPC	-	SVPC	-	-
OHT	-	-	-	-	-	-	-	-	IAC	-	-	-	-

N1S	-	-	SVPC, VPC	AVJR, SVPC	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	VPC	SVPC, VPC	IAC	-
S1I	-	-	AVJEB	AVJR, SVPC	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	VPC	-	AVJEB, IAC
MAT	-	AVJEB	AVD, AVJEB	AVD, AVJEB	AVD	-	AVJR, AVD	AVD, AVJEB	1 st AVB	AVJR	VPC	-	-
ENO	-	-	AVJR, SVPC	AVJR	-	AVJR	AVJR	AVJR	AVJEB	-	-	-	SVPC, AVJEB
I1Z	-	-	SVPC	AVJEB	AVJEB	AVJR	AVJR	AVJEB	-	ShorSAB	-	-	VPC, SVPC
ECH	-	-	ShorSAB	ShorSAB	ShorSAB	ShorSAB	ShorSAB	ShorSAB	-	-	-	IAC	SVPC, SVPC

<Rec>	BHA-IN	BHA-EX	5°C-IN	5°C-EX	15°C-IN	15°C-EX	30°C-IN	30°C-EX	HDWI	WHWI	5min Swimming	50m MS	US
KOM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SVPC	-	-
MIT	-	-	-	-	-	-	SVPC, VPC	-	-	-	-	VPC	-
M1N	-	-	SVPC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K1M	-	-	-	-	AVJEB	-	-	-	-	SVPC	-	IAC	-
HAY	-	-	-	-	-	-	-	-	SVPC	-	-	-	-
OM1	-	-	-	-	-	-	-	-	SVPC	-	-	-	-
OKA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VPC
OHT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

N1S	-	-	VPC	-	AVJR, VPC	AVJR	AVJR	AVJR	-	-	-	-	-
S1I	-	-	-	-	AVJEB	AVJEB	AVJR	AVJR	-	-	-	-	AVJEB, AVJR
MAT	-	-	-	-	VPC	-	-	-	AVJR	-	-	-	SVPC
ENO	-	-	-	-	SVPC	-	-	-	-	-	IAC	IAC	AVJR, AVJEB
I1Z	-	SVPC	-	-	-	-	-	-	-	-	VPC	VPC (Rent)	SVPC, IAC
ECH	-	-	-	-	SVPC	-	-	-	-	B-T-Type	SVPC	IAC, SVPC	VPC

D: During Load Rec: Recovery, BHA: Breath Holding in Air, IS: Inhalatory Stage, ES: Exhalatory Stage, HDWI: Head Out Water Immersion, WHWI: Whole Body Water Immersion, 50m MS: 50m Maximal Swimming, US: Underwater Swimming, IAC: Intraventricular aberrant conduction, B-T-Type: Brady-Tachy-Type

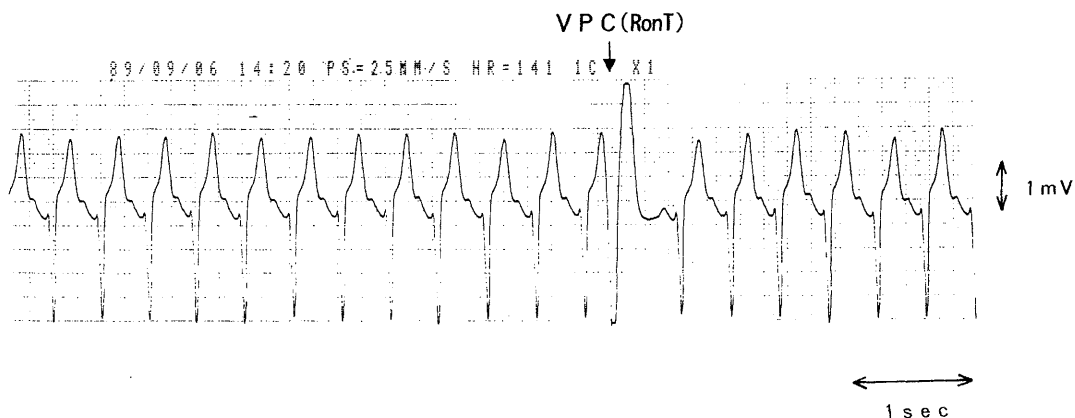


Fig.4. A sample of electrocardiographic record of VPC RonT type after 50m maximal swimming.

以上より、顔面浸水試験が水中浸漬時及び水中運動時(特に WBWI 時と US 時)の不整脈発現の予測にある程度有用性を持ち、15℃の水温が試験として使用上合理的であることが示唆された。

VII. まとめ

本研究は、AFI が心臓血管系へ及ぼす影響とその機序を基礎的に追究し、かつ AFI 時の心電図上の変化と水中浸漬時及び水中運動時のそれらとの対応関係を求めようとしたものである。これより水中運動前のメディカルチェックとして AFI の可能性を検討した。

AFI 時には、低酸素血症と高炭酸ガス血症が生じ HR の低下と BP の上昇が現象として生じる。HR の低下は顔面の寒冷受容器からの刺激を受けた迷走神経の活動が直接的な要因で、昇圧による圧受容器反射の作用の貢献度はあまり高くないと思われた。HR と BP の変化及び不整脈の発現率は、従来の報告と同様、温度依存性であった。

呼吸位に基づく比較では、15℃の水温に限定されたが、最大の徐脈反応は呼息位の方が深吸息位より大きかった。この 15℃呼息位というのは特別な条件であるように思われ、今後さらに追究することも必要であろう。また、HR の減少率及び不整脈の発現の有無についてはある程度再現性があると思われた。

AFI の ECG へ及ぼす影響の性差は、20 歳以上であれば著明ではなかったが、加齢による差は自律神経機能の発達を反映して大きかった。すなわち AFI の結果を判定する時、性はあまり考慮する必要はないが、年齢は慎重に考慮しなければならないと考えられる。

AFI 時の心機能に迷走神経の活動が深く関与しているが、5℃という寒冷温では心臓の交感神経の活動も同時に増大していることが示唆された。この水温では、不整脈の発現も多くま

た重篤な不整脈発現の報告もあり、試験としての適用は寒中水泳を希望する健康な青年に限定すべきであろう。

AFI 時に不整脈の発現する者の方が、非発現者と比べて、水中浸漬時・水中運動時及びそれぞれの回復時に不整脈が発現しやすい傾向が認められた。また、15℃の水温の AFI 時の不整脈の発現の有無と水中浸漬時及び水中運動時の不整脈の発現の有無との対応が比較的良好であり、AFI 試験の使用温としては 15℃が適していると思われた。このことは 15℃の水温での AFI 時の不整脈発現率が 5℃の水温の AFI 時のそれと大差はなかったことから支持されよう。

参 考 文 献

- 1)財団法人日本水泳連盟科学技術委員会. 水泳医学百科, 初版, 南江堂, 東京, (1987), 98-152.
- 2)坂本 静夫, 山本 利春, 黄川 昭雄, 杉浦 正輝, 村山 正博. diving reflex 試験における R-R 間隔と不整脈について, 体力科学, (1987), 36, 662.
- 3)長谷川 誠一, 西端 健司, 長井 典子, 辻 明人, 長嶋 正實. 小児のスポーツ中の不整脈の特徴, 臨床スポーツ医学, (1991), 8, 1403-1409.
- 4)黒川 隆志. 水中運動の循環反応, 体育の科学, (1984), 34, 510-517.
- 5)山地 啓司. 水中運動中の心拍数, J. J. Sports Sci., (1988), 7, 484-490.
- 6)Doubt, T. J. Physiology of exercise in the cold. Sports Med., (1991), 11, 367-381.
- 7)Lin, Y. C. Applied physiology of diving. Sports Med., (1988), 5, 41-56.
- 8)Manley, L. Apnoeic heart rate responses in humans: a review. Sports Med., (1990), 9, 286-310.
- 9)Hayward, J. S., Hay, C., Matthews, B. R., Overweel, C. H., & Radford, D. D. Temperature effect on the human dive response in relation to cold water near-rowing. J. Appl. Physiol., (1984), 56, 202-206.
- 10)Natelson, B. H., Nary II, C. A., Curtis, G. A., & Creighton, D. Roles of stress and adaptation in the elicitation of faceimmersion bradycardia. J. Appl. Physiol., (1983), 54, 661-665.
- 11)Folinsbee, L. Cardiovascular response to apneic immersion in cool and warm water. J. Appl. Physiol., (1974), 36, 226-232.
- 12)Kawakami, Y., Hatelson, B. H., & Dubois, A. B. Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. J. Appl. Physiol., (1967), 23, 964-970.
- 13)Hong, S. K., Moore, T. O., Seto, G., Park, H. K., Hiatt, W. R., & Bernauer, E. M. Lung volume and

- apneic bradycardia in divers. *J. Appl. Physiol.*, (1970), 29, 172-176.
- 14) 小林 庄一, 小川 徳雄. 顔面浸水による徐脈における温度要因, *日本生理学雑誌*, (1972), 34, 482-483.
- 15) 坂本 静夫, 山本 利春, 黄川 昭雄, 杉浦 正輝, 武者 春樹, 朝日 洋一, 村山 正博, 須階 二郎. 体育大学生の diving reflex 試験による R-R 間隔延長について, *臨床スポーツ医学別冊*, (1988), 5, 166-169.
- 16) Whayne, T. F. Jr., & Killip III, T. Simulated diving in man: comparison of facial stimuli and response in arrhythmia. *J. Appl. Physiol.*, (1967), 22, 800-807
- 17) Heistad, D. D., Abboud, F. M., & Eckstein, J. W. Vasoconstrictor response to simulated diving in man. *J. Appl. Physiol.*, (1968), 25, 542-549.
- 18) Moore, T. O., Lin, Y. C., Lally, D. A., & Hong, S. K. Effects of temperature, immersion, and ambient pressure on human apneic bradycardia. *J. Appl. Physiol.*, (1972), 33, 36-41.
- 19) Fagius, J., & Sundlöf, G. The diving response in man: effects on sympathetic activity in muscle and skin nerve fascicles. *J. Physiol.*, (1986), 377, 429-443.
- 20) Openshaw, P. J. M., & Woodroof, G. M. F. Effects of lung volume on the diving response in man. *J. Appl. Physiol.*, (1978), 45, 783-785.
- 21) Song, S. H., Lee, W. K., Chung, Y. A., & Hong, S. K. Mechanism of apneic bradycardia in man. *J. Appl. Physiol.*, (1969), 27, 323-327.
- 22) Eckberg, D. L., Mohanty, S. K., & Raczkowska, M. Trigeminal-baroreceptor reflex interaction modulate human cardiac vagal efferent activity. *J. Physiol.*, (1984), 347, 75-83.
- 23) Gooden, B. A. Drowning and the diving reflex in man. *Med. J. Aust.*, (1972), 2, 583-587.
- 24) Gooden, B. A., Holdstock, G., & Hampton, J. R. The magnitude of the bradycardia induced by face immersion in patients convalescing from myocardial infarction. *Cardiovas. Res.*, (1978), 12, 239-242.
- 25) 宇津 陽子, 渡辺 直子, 牧野 律子, 川久 保清, 郡司 篤晃, 柳堀 朗子. 顔面浸水試験時における血圧の変動, *体力科学*, (1996), 45, 886.
- 26) 浅井 利夫. 水中スポーツにおける体の変化, *小児 MOOK*, (1989), 57, 55-66.
- 27) Harding, P. E., Roman, D., & Whelan, R. F. Diving bradycardia in man. *J. Physiol.*, (1965), 181, 401-409
- 28) Nakahira, J., Obara, S., Jiang, Z-L., & Yamaguchi, H. Effects of breath holding in air on cardiac response in man. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, (1993), 42, 475-484
- 29) 長谷川 友也. いきこらえの研究(5), *新潟医学雑誌*, (1949), 63, 77-87.
- 30) 野村 武男. 潜水と徐脈, *体育の科学*, (1980), 30, 812-815.

- 31)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, (1990), 11, 13-31.
- 32)Irving, L. Bradycardia in human divers. *J. Appl. Physiol.*, (1963), 18, 489-491.
- 33)Andersen, H. T. The reflex nature of the physiological adjustments to diving and their afferent pathway. *Acta physiol. scand.*, (1963), 58, 263-273.
- 34)Widenthal, K., & Atkins, J. M. Use of the "diving reflex" for the treatment of paroxysmal supraventricular tachycardia. *Am. Heart J.*, (1979), 98, 536-537.
- 35)Condry, P., Jain, A., Marshall, R., & Bowyer, A. Ventricular tachycardia caused by the diving reflex. *Lancet*, (1975), 2, 1263.
- 36)坂本 静夫, 武藤 正博, 山本利春, 黄川 昭雄, 杉浦 正輝, 朝日 洋一, 村山 正博, 須階 二郎, 新井 重信. メディカルチェックとしての diving reflex 試験の意義, 臨床スポーツ医学別冊, (1989), 6, 167-169.
- 37)坂本 静夫, 武藤 正博, 山本利春, 黄川 昭雄, 杉浦 正輝. Diving reflex 試験における息こらえ時間と浸水中最長 R-R 間隔, 体力科学, (1989), 38, 670.
- 38)Hong, S. K., Song, S. H., Kim, P. K., & Suh, C. S. Seasonal observation on the cardiac rhythm during diving in the Korean ama. *J. Appl. Physiol.*, (1967), 23, 18-22.
- 39)Lanphier, E. H., & Rahn, H. Alveolar gas exchange during breath holding with air. *J. Appl. Physiol.*, (1963), 18, 478-482.
- 40)岡野 亮介, 中 正二郎, 漆原 慎, 碓井 外幸, 勝木 建一, 勝木 道夫. 顔面浸水止息に対する自律神経活動の個人差と異常心電図の発現の関係について, 小野スポーツ科学, (1995), 3, 35-53.
- 41)Lin, Y. C., Shida, K. K., & Hong, S. K. Effects of hypercapnia, hypoxia, and rebreathing on circulatory response to apnea. *J. Appl. Physiol.*, (1983), 54, 172-177.
- 42)石川 秀樹, 近藤 龍二, 小野 佐代子, 奥村 直哉, 松島 正気, 長嶋 正實. 先天性心疾患術後患者における顔面浸水法に対するトレッドミル運動負荷試験の影響について, 臨床スポーツ医学, (1991), 8, 143-144.
- 43)岡野 亮介, 中 正二郎, 勝木 建一. 水泳の安全に関するメディカルチェックがダイビング反射試験を中心に, IIIダイビング反射試験の再現性, デサントスポーツ科学, (1996), 17, 22-33.
- 44)岡野 亮介, 碓井 外幸, 勝木 建築一, 勝木 道夫. 顔面浸水試験における心拍数の減少と不整脈発現の再現性について, 体力科学, (1995), 44, 313-316.
- 45)岡野 亮介, 中 正二郎, 吉田 麻紀, 山口 宏美, 葛巻 美紀, 勝木 建一. 顔面浸水試験時の循環器応答へ及ぼす性、加齢、時刻、身体トレーニングの影響及び交感神経系の関与一試験の判定の基準づくりを目指して一, (財)明治生命厚生事業団第 13 回健康医科学研究助

- 成論文集, (1998), 34-46.
- 46) 岡野 亮介. 顔面浸水止息時の心電図応答へ及ぼす性と加齢の影響, 体力科学, (1997), 46, 461-470.
- 47) Ramey, C. A., Ramey, D. N., & Hayward, J. S. Dive response of children in relation to cold-water near-drowning. *J. Appl. Physiol.*, (1987), 63, 665-668.
- 48) 坂本 静夫, 村山 正博. スポーツと不整脈, *J. J. Sports Sci.*, (1984), 3, 25-36.
- 49) Mathew, P. K. Treatment of paroxysmal atrial tachycardia by diving reflex. *Lancet*, (1978), 1, 510-511.
- 50) Gelhorn, E. The significance of the state of the central autonomic nervous system for quantitative and qualitative aspects of some cardiovascular reactions. *Am. Heart J.*, (1964), 67, 106-120.
- 51) Lipsitz, L. A., Mietus, J., Moody, G. B., & Goldberger, A. L. Spectral characteristics of heart rate variability before and during postural tilt: relation to aging and risk of syncope. *Circulation*, (1990), 81, 1801-1810.
- 52) 田村 直俊, 島津 邦男, 稗貫 誠, 大岩 海陽, 金 浩澤, 濱口 勝彦. 自律神経反射に及ぼす生理的加齢の影響, 日本老年医学会雑誌, (1982), 19, 563-570.
- 53) 美和 千尋, 岩瀬 敏, 間野 忠明, 斎藤 満, 杉山 由樹, 鈴木 初恵. 水浸時におけるヒトの筋交感神経活動の抑制反応に対する加齢の影響, 自律神経, (1993), 30, 16-23.
- 54) 岡田 暁宜, 早野 順一郎, 向井 誠時, 秋田 祐枝, 坂田 成一郎, 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, (1996), 33, 371-376.
- 55) 入来 正躬. 交感神経系地域性反応-温度刺激と低酸素刺激に対する反応を中心として-, 日本生理学雑誌, (1983), 45, 181-199.
- 56) Manning, J. W., & Cotten, M. DE V. Mechanism of cardiac arrhythmias induced by diaphragmatic stimulation. *Am. J. Physiol.*, (1962), 203, 1120-1124.
- 57) Kollai, M., & Koizumi, K. Reciprocal and non-reciprocal action of the vagal and sympathetic nerves innervating the heart. *J. Auton. Nerv. Syst.*, (1979), 1, 33-52.
- 58) Koizumi, K., & Kollai, M. Multiple models of operation on cardiac autonomic control: development of the ideas from Cannon and Brooks to the present. *J. Auton. Nerv. Syst.*, (1992), 41, 19-30.
- 59) Andersen, H. T. Physiological adaptation in diving vertebrates. *Physiol. Rev.*, (1966), 46, 212-243.
- 60) Lin, Y. C. Autonomic nervous control of cardiovascular response during diving in the

- rat. Am. J. Physiol., (1974), 227, 601-605.
- 61) 井上 通敏, 多田 道彦. 心臓と末梢血管の神経性調節, 第 1 版, 8. 冠循環の神経性および体液性調節, 日本アケルシュプ リンカ ー, 東京, (1991), 111-127.
- 62) Scholander, P. F., Hammel, H. T., Lemessurier, H., Hemmingsen, E., & Garey, W. Circulatory adjustment in pearl divers. J. Appl. Physiol., (1962), 17, 184-190.
- 63) Olsen, C. R., Fanestil, D. D., & Scholander, P. F. Some effects of breath holding and apneic underwater diving on cardiac rhythm in man. J. Appl. Physiol., (1962), 17, 461-466.
- 64) Bonneau, A., Friemel, F., & Lapierre, D. Electrocardiographic aspects of skin diving. Eur. J. Appl. Physiol., (1989), 58, 487-493.
- 65) Jung, K., & Stolle, W. Behavior of heart rate and incidence of arrhythmia in swimming and diving. Biotelemetry Patient Monitg, (1981), 8, 228-239.
- 66) Yamaguchi, H., Tanaka, H., Obara, S., Tanabe, S., Utsuyama, N., Takahashi, A., Nakahira, J., Yamamoto, Y., Jiang, Z-L., Jufang, H., Bando, E., & Miyamoto, H. Changes in cardiac rhythm in man during under water submersion and swimming studied by ECG telemetry. Eur. J. Appl. Physiol., (1993), 66, 43-48.
- 67) 石川 秀樹, 長井 典子, 奥村直哉, 長嶋 正實, 松島 正気, 大須賀 明子, 西端 健治. 不整脈児における水泳および潜水中の不整脈のスクリーニング法, 臨床スポーツ医学別冊, (1991), 8, 127-129.
- 68) 山川 勝, 深谷 隆, 富田 安彦, 馬場 国 蔵. 心疾患児の水泳負荷心電図, 日本小児科学会雑誌, (1987), 91, 486.
- 69) 石川 秀樹, 浅井 俊行, 中島崇博, 長嶋 正実, 田中 明彦, 大須賀 明子. 基礎心疾患をもつ小児の水泳中の心電図変化について, 日本小児科学会雑誌, (1987), 91, 487.
- 70) 岡野 亮介. 不整脈の発現に及ぼす止息負荷, 水中浸漬及び潜水泳の影響, 体力科学, (1996), 45, 159-170.

Abstract

Effects of apneic facial immersion on cardiovascular system and electrocardiographic change during body water immersion and water exercise.

This study investigated the effects of apneic facial immersion (AFI) on cardiovascular system as well as correspondence between electrocardiographic changes induced by AFI, body water immersion and water exercise.

Mild hypoxemia and hypercapnemia were produced in addition to the progressive bradycardia and hypertension during AFI. Baroreceptor reflex evoked by hypertension did not seem to contribute significantly to development of the bradycardia. Variations of heart rate and blood pressure and incident rates of arrhythmias were temperature dependent as described before. AFI under 15°C water and exhalatory stage seemed to be a special condition for the production of prominent bradycardia; therefore, further study was indicated.

Heart rate decrease and incidence of arrhythmias during AFI were fairly reproducible. There was no obvious gender difference in bradycardial responses during AFI, but age-related differences of bradycardial responses during AFI was prominent. Therefore, age should be considered when judging the AFI test results.

Cardiac sympathetic and vagus nerve activities seemed to accelerate simultaneously during 5°C water AFI, therefore, the AFI test at 5°C should be applied only to the healthy young men who wish to participate in a midwinter swim.

The subjects who revealed arrhythmias during AFI tended to reveal them more frequently during and after the body water immersion and water exercise than those who did not reveal arrhythmias during AFI. The water temperature of 15°C was recommended for the AFI test because close correspondence of arrhythmias among AFI, body water immersion and water exercise was found.

Key words: Apneic facial immersion, arrhythmia, body water immersion, water exercise