

水泳の安全に対する基礎的研究

財団法人 北陸体力科学研究所	岡野亮介
(共同研究者) 同	碓井外幸
同	佐々木弘志
同	勝木建一
同	勝木道夫

A Study on Security for Swimming

by

Ryosuke Okano, Sotoyuki Usui, Hiroshi Sasaki,
Ken-ichi Katsuki, Michio Katsuki
*Hokuriku Institute of Wellness
and Sports Science*

ABSTRACT

The purpose of this study was to gather the fundamental information for prevention against drowning. Two hundred and nineteen subjects answered questionnaires. In addition, sixty four subjects ranging from junior high school students to those in their old age participated in the experimental parts of the study. In Part I, effects of apneic facial immersion on the cardiovascular system were measured by electrocardiogram (ECG) and sphygmomanometer under the conditions of 1) with the change of water temperature. 5°C, 15°C and 30°C 2) inspiratory and expiratory stages of respiration. In Part II, ECG and biochemical components of blood were monitored during 4 different swimming conditions. In Part III, effects of abrupt change of water temperature during body immersion on the cardiovascular system were measured by ECG and sphygmomanometer. Main results were as follows.

1. More than a few subjects were found to conduct themselves in the manner that could possibly lead to drowning.
2. There was a good correspondence between appearance of arrhythmia during apneic facial immersion and that during swimming. Heart rate decrease and incidence of arrhythmia during apneic facial immersion were also related to the change in water temperature and expiration. These results suggest that a medical check up for swimming should include apneic facial immersion at the expiratory stage of respiration in the water of 15°C.
3. RonT ventricular premature contraction appeared in two subjects during maximal anaerobic swimming and swimming after maximal anaerobic exercise on land. These exercise should therefore be regarded as riskful.
4. Abrupt change in water temperature during body immersion led to elevated blood pressure and appearance of arrhythmia. Therefore, one should be very cautious when swimming in the sea or river where there may be sudden change in the water temperature.

要 旨

水泳を安全に実施するための基礎的資料を得る目的で、質問紙による実態調査を行い、また、顔面浸水の心臓血管系へ及ぼす影響、さまざまな条件で泳いだ時の心電図と血中成分へ及ぼす影響、および急激な水温の変化の心電図と血圧へ及ぼす影響を中学生から高齢者までを対象に実験的に調べた。

その結果、質問紙からは、対象の15%は溺れた経験があり、溺水の危険をとまなう行動をとったことがある人がかなり存在することが明らかとなった。また、実験研究からは、顔面浸水時の心拍数の低下の程度と不整脈の発現者数の水温別の比較から、顔面浸水試験として15°Cの水温と呼吸位の呼吸位が妥当であると思われた。また、血

中成分の変動との因果関係は証明できなかったが、各種水中運動中に多くの不整脈の発現が観察され、それが顔面浸水時の不整脈の発現とよく対応していることが確認された。

また、無酸素的な全力の水中運動と陸上での無酸素的な全力運動後の水中運動の危険性が示唆された。さらに、浸水時の水温の急激な変化が、心臓血管系に大きな負担をもたらすことも認められた。

緒 言

健康・体力の維持増進、肥満の改善および運動療法的手段として、水中活動は極めて有効である。しかし、老若男女を問わず毎年多数の溺死事故が報道されている。

溺死は、泳げない人だけでなく泳げる人にも生じており、武藤ら¹⁶⁾はその誘因として、1. 冷水刺

激による迷走神経反射 2. 飲酒による銘酊
3. 胃の膨満 4. 突発事に対する驚愕感, 恐怖感
5. 力泳中の筋肉の痙攣 6. 平衡感覚の失調
(錐体内出血による) 7. 意識の消失(泳ぐ前の過呼吸によって誘発される呼吸促迫感のない酸素欠乏や水の気管内吸引で起こる心臓抑制反射による)などを指摘している。

1の迷走神経反射では, 顔面を冷水に浸水させただけで, 心拍数が低下し不整脈が発現するなど¹⁵⁾, その影響が顕著に心臓に現われる。このため, 顔面を冷水に浸水させる試験(顔面浸水試験)が, 水中運動前のメディカルチェックのひとつとして実施することが重視されている⁹⁾。しかし, 水温, 呼吸位および止息時間などの条件によりこの反射の大きさが違うため⁹⁾この反射を適切に観察するための方法の確立が必要である。また, 顔面浸水試験の結果と, 実際の水泳時の心臓に生じる変化との間の関係(特に不整脈の発現との関係)も調査する必要がある。

2~5の誘因は従来から多くの研究者達によって考えられてきた理論であるが, 6は上野¹⁴⁾が, 7は鈴木¹⁶⁾が指摘してきた新しい理論である。上野は錐体内出血の予防として, 風邪気味の時, 耳鼻咽喉疾患のある時および酒を飲んで銘酊した時に泳ぐことを禁ずることや, 鼻に水が入らないための呼吸法を習熟することを強調している¹⁴⁾。しかし, これらの誘因とその予防法が考えられながらも, なお溺死事故が後をたたないのは, 前述の事故防止のためのメディカルチェック法の不完全性, 水泳実施者の安全行動に対する意識の低さ, およびさまざまな条件で浸水した時の生体内変化の科学的な解明が必ずしも十分ではないことに起因していると思われる。

本研究は, 安全な水中運動を行うための基礎的資料を得るため, 下記の8項を目的とした。

1. 質問紙により, 溺れた経験およびその原因を調べ, 入水前および入水中の安全行動と水泳時

の身体の異常, 自覚症状の実態を明らかにする。

2. 呼吸位, 水温などを変えて顔面浸水を行った時の心臓血管系への影響を明らかにする。また, その年齢と運動種目(水中運動と陸上運動)の違いによる影響も調べる。

3. 顔面浸水時と全身浸水時の心拍数の変動の比較をする。

4. アルコールの摂取が顔面浸水中の心臓血管系へ及ぼす影響を調べる。

5. 1時間泳が心電図と血中成分に及ぼす影響を調べる。

6. 水中運動およびシンクロナイズドスイミングのシンクロナイズドスイマーの心電図に及ぼす影響を調べる。

7. さまざまな条件で泳いだ時の心電図と血中成分に及ぼす影響を調べ, かつそれらと顔面浸水試験における心電図の変化との関係を調べる。

8. 急激に水温を変動させた時の心電図と血圧に及ぼす影響を調べる。

研究方法

1) 調査 問診票による調査

調査対象者は, 中学生, 高校生および一般成人(実験の被検者を含む)の計219名であった。内容は, 泳ぐ前の準備体操の時間と食事からの経過時間, 溺れた経験, 場所およびその原因, 身体に異常のある時の入水の経験の有無, 飲酒時の入水の経験の有無, および水泳時の身体の異常および自覚症状などであった。また, 顔面浸水をした被検者には, 不整脈の発現の有無と, 水泳時の身体の異常および自覚症状の有無との関係についても調べた。

2) 実験

実験1 顔面浸水の心臓血管系に及ぼす影響

被検者は, 中学生から心疾患を有する成人男性まで計64名で, 彼らの性, 年齢, 運動歴および既応歴に関する特徴は表1に示した。

被検者は5分間の座位安静を保った後、次の一連の試行を行った。(1)座位安静測定、(2)大気中で止息〔深吸息位(できるだけ大きく吸いこむ)〕30秒間、(3)大気中で止息〔呼息位(機能的残気量の残る程度に吐く)〕30秒間、(4)顔面浸水止息(深吸息位)できるだけ長く、(5)顔面浸水止息(呼息位)できるだけ長く、浸水止息中被検者は開眼を保持した。また、各試行後1分間を回復過程とした。この実験では、心拍数(以下HR)、血圧(以下血圧はBP、収縮期血圧はSBP、および拡張期血圧はDBP)および心電図(以下ECG)を記録し、止息時間を計測した。水温は成人には5℃、15℃および30℃を順不同に用いて行った。その他には15℃のみで行った。

実験2 全身浸水のHRに及ぼす影響

被検者(成人男女16名)は、安静時のECG記録の後、準備運動をして、プール(水温30℃)に入った。まず足からゆっくり顎まで浸水し、その後深吸息位で約40秒間全身浸水し静止した。そ

の間ECGを記録した。

実験3 アルコール摂取が顔面浸水中の心臓血管系へ及ぼす影響

被検者(T・I 27歳、T・M 27歳およびS・K 25歳の男性3名)は、約40分間かけてビールを2~3本摂取し、約30分間の休憩の後採血をして、15℃の水温で顔面浸水試験を行った。実験手順は実験1と同じ方法を用いた。また、この時の採血により血中エタノール濃度を定量した。

実験4 1時間泳がECGと血中成分に及ぼす影響

被検者(成人男性1名と成人女性3名)は、標準12誘導ECG記録と採血の後、1時間の遊泳を行った。泳スピードは最大スピードの約40~60%〔(50mの最高タイム/遊泳中の50mの平均タイム)×100より算出〕で、泳法は各被検者の自由とした。この間ECGを監視し、異常ECG出現時と5分ごとに約10秒間記録した。遊泳直後に、再度標準に誘導ECG記録と採血を行った。

表1 被検者の特徴

被 検 者	人 数		年齢(歳)	そ の 他
	男子	女子		
中 学 生	10	0	13~14	野球部に所属
陸 上 選 手	5	0	15~16	T・O 5000 m 17分32秒 M・M 5000 m 16分48秒 H・U 5000 m 17分24秒 N・Y 3000 m 9分24秒 E・H 3000 m 10分37秒 K・K 200 m背2分19秒 H・O 1500 m自17分15秒 T・S 200 m自2分08秒 S・I 1500 m自18分00秒 T・I 1500 m自17分47秒 H・I 400 m個人メドレー5分02秒
水 泳 選 手	6	0	13~16	2名は境界域高血圧
成 人	16	14	23~58	
高 齢 者	5	3	60~67	
シンクロナイズドスイマー	0	2	21~24	国体出場
心 疾 患 者	3	0	40~43	T・O 心室性期外収縮頻発 6年前より抗不整脈剤服用 T・M 高血圧 4年前より降圧剤服用 K・H 肥大型心筋症 薬の服用はない

定量した血液成分の項目は、不整脈の発現と関与すると考えられる^{4,10,12)}Na, Cl, K, Mg, Ca および遊離脂肪酸 (FFA) ならびに腎機能の指標である尿素窒素 (BUN), クレアチニン (Cr) および尿酸 (UA) であった。

実験5 スカーリング, 50 m 遊泳, 50 m 全力泳, およびシンクロナイズドスイミングのシンクロナイズドスイマーの ECG に及ぼす影響

被検者 (シンクロナイズドスイマー 1 名, 21 歳, 自転車エルゴメータによる多段階運動負荷テストにて HR 163 拍/分の時 (exhaustion 直前), 心室性期外収縮 1 個を記録) は, スカーリング, 50 m 遊泳, 50 m 全力泳の後シンクロナイズドスイミングを行った。スカーリングは約 40 秒間, 50 m 遊泳のタイムは 86 秒, 50 m 全力泳のタイムは 35 秒であり, シンクロナイズドスイミング (曲は「シャラトストラかく語りき」と「天国と地獄」) の演技時間は 4 分 18 秒であった。

実験6-1 種々の水中運動 (水泳) が ECG に及ぼす影響と顔面浸水試験との関係

被検者 (陸上運動時に不整脈の発現のない成人男性 9 名と成人女性 4 名, 25 ~ 40 歳) は, 有酸素的な運動としての 5 分間泳, 無酸素的な運動としての 50 m 全力泳, および 25 m の潜水泳を行った。有酸素的運動で, 被検者は自己の最大スピードの約 50 ~ 70% (算出法は前記) のスピードで泳いだ。無酸素的運動では 10 分間の完全休息の間にはさんで 2 回行った。また, 25 m の潜水泳も, 無酸素的運動と同様, 10 分間の完全休息をとり 2 回実施した。この時 1 回目は通常の呼吸後に行い, 2 回目は深呼吸を 10 回実施した後に行った。泳法は 50 m 全力泳はクロールで, 他の 2 つは各人の自由とした。また, 運動の試行順による影響を避けるため 6 通りの試行順が作成され, 被検者はそれぞれの順で行った。

実験6-2 無酸素的陸上運動が, 有酸素

的空中運動時の ECG に及ぼす影響

被検者 (成人男性 7 名, 25 ~ 40 歳) は, 60 秒間 (39 歳以下) または 30 秒間 (40 歳以上) の自転車エルゴメータによる全力駆動⁹⁾終了 5 分後に 3 分間の有酸素泳を実施した。泳スピードは最大スピードの約 40 ~ 60% であった。

実験6-1, 2 では, 連続的に ECG 監視を行い, 異常 ECG 発現時および 50 m 全力泳と 25 m 潜水泳では全時間, 5 分間泳では 30 秒ごとに約 10 秒間記録した。また, 静脈血を肘正中皮静脈から運動の前後に採集し, Na, Cl, K, Ca, Mg, FFA および乳酸 (LA) を定量した。

実験7 水温の急激な変化が ECG と BP に及ぼす影響

被検者 (運動負荷試験および顔面浸水試験においても異常 ECG の発現のない 40 歳の男性 1 名) は, 約 30°C の室温下で 5 分間の座位安静後, 約 35°C の温水シャワーを浴びて, 30°C のプールに浸水する実験と, 30°C (プール) と 15 ~ 20°C (冷水を入れた大型ポリタンク使用) の浸水を交互にくり返す実験を行った。浸水条件は首まで (頭部を除くほぼ全身) を浸漬する方法 (2 分間) と, 全身を浸漬する方法 (30 ~ 60 秒) の 2 つであり, 全身浸水終了後 1 分間は回復過程として首までの浸水を行った。水温の変換順は 30°C → 20°C → 30°C, 19°C → 30°C → 19°C および 15°C → 30°C → 15°C の 3 種類で (具体的なタイムスケジュールは図 15 参照), それぞれ日を変えて行った。

実験中 HR と ECG は, 連続的に監視し, 異常 ECG 発現時, 浸水中の全時間および回復時の 10 秒ごとに記録した。BP は, 全身浸水を除く条件下で, それぞれ 1 ~ 2 回測定した。

分 析

顔面浸水実験 (実験 1) では, ECG (胸部双極誘導 CM₅) は Life-Scope 11 / Four (日本光電社製) で, 血圧は STBP-780 (コーリン社製) を用

いて記録および測定した。この実験のHR, BPは止息負荷開始30秒後の値を採用し、安静時の値を100とした相対値(以下%HR, %SBPおよび%DBP)として比較した。実験2, 3についても同様である。

水中浸漬時および水中運動時では、ECG(胸部双極NA SA誘導)はダイナスコープDS-502(FUKUDA社製、送信機は同社のST19)で、血圧はリバロッチ型血圧計を用いて記録および測定した。

血液成分の定量では、LAは市販のキット(デタミナーLA)を用い、BUN, Cr, UA, Na, Cl, K, Ca, MgおよびFFAは生化学自動分析器(日立736-60オートマチックアナライザー)を用いた。また、血中エタノール濃度は、ガスクロマトグラフィー(島津4CM)にて定量した。

統計処理

平均値の比較については、studentのtテストを用いて対応のある場合と対応のない場合を検定した。後者の場合は特に、等分散性が保証されない時はCochran-Coxの検定を利用した。

質問紙による調査結果、不整脈の発現者数および発現率については X^2 検定を用い、サンプル数が5以下の場合にはYatesの修正を用いた。有意水準に関しては、いずれの場合も危険率5%以下をもって有意とした。

研究結果

調 査

質問紙による調査結果を図1に示した。対象者の約30%は1時間以上連続して入水していた。数%は、食後休憩をとらずに入水したり、準備運動をしないで入水していた。また、対象者の約50%近くは、力泳中に足に痙攣を起こした経験があり、それが原因で溺れた者も数名いた。飲酒で泳いだ経験(男性63.9%, 女性6.4%)や風邪に罹

患している時に泳いだことのある経験(男性56.4%, 女性33.0%)では男性のほうが女性より有意に多かった。しかし、他の項目では男女間で差はなかった。水温の変化によって悪心を感じた経験や洗顔によって動悸を感じた経験(迷走神経反射によって生じるとされる自覚症状の訴え)は10%以下であった。

対象者の15%は過去に溺れた経験があった。その原因は、足が底につかなかったことなどにより驚愕感を感じたことが最も多かったが、その他の中には「波にまきこまれた」「浮輪がはずれた」「ひっくりかえったボートの下敷きになった」などの不可抗力に近い理由も含まれていた。

また、水泳中の自覚症状と顔面浸水時の不整脈の発現(水温15°C)との関係(対象者は顔面浸水をして調査のとれた57名)では、不整脈の発現する人の方が、しない人よりも長く潜水して悪心を感じた経験や冷水での洗顔時に動悸を感じた経験が多い傾向にあった。しかし、有意な差はなかった。その他の調査項目に関しては、不整脈の発現のあった人となかった人との間にほとんど差はなかった。

実験1 顔面浸水の心臓血管系に及ぼす影響

(1) 成人群における水温・呼吸位からの比較
止息時間は、深吸息・呼息の両呼吸位とも水温が低いほど短い傾向であり、呼息位では、5°Cの時に、15°C・30°Cの時より有意に短縮していた。

%HRは、両呼吸位とも大気中よりは浸水中の方が有意に大きく減少していた。また水温別の比較でも、水温が低いほど減少の大きい傾向があったが、呼息位の5°Cと15°Cの間には有意な差はみられなかった(図2)。%SBPは、両呼吸位とも30°Cを除いては大気中よりも有意に大きい値であり、水温別では呼息位の5°Cと30°C、15°Cと30°Cの間に有意な差はみられなかった(図3)。

%DBPは、両呼吸位とも、5°Cは大気中よりも有意に高い値であったが、15°Cと30°Cでは有意

な差はみられなかった。水温別では呼吸位の 5℃ と 15℃, 5℃ と 30℃ の間に有意な差がみられた (図 4)。

境界域高血圧の 2 名に関しては, 大気中, 浸水中にかかわらず, 止息負荷中に 200 / 100 (SBP / DBP) mmHg 以上の昇圧を示した。

不整脈の発現者数は, 両呼吸位とも水温が低くなるほど多くなる傾向であった (深吸息位では

5℃ で 16 人, 15℃ で 13 人, 30℃ で 4 人, 呼吸位では 5℃ で 18 人, 15℃ で 15 人, 30℃ で 7 人)。また, 両呼吸位の 5℃ と 30℃ および呼吸位の 15℃ と 30℃ との間には有意な差がみられた。また, 水温に関係なく深吸息位より呼吸位でやや多くなる傾向にあった (図 5)。

(2) 成人群, 中学生群, 陸上長距離選手群 (高校生), 水泳選手群 (中・高校生) および高齢者群

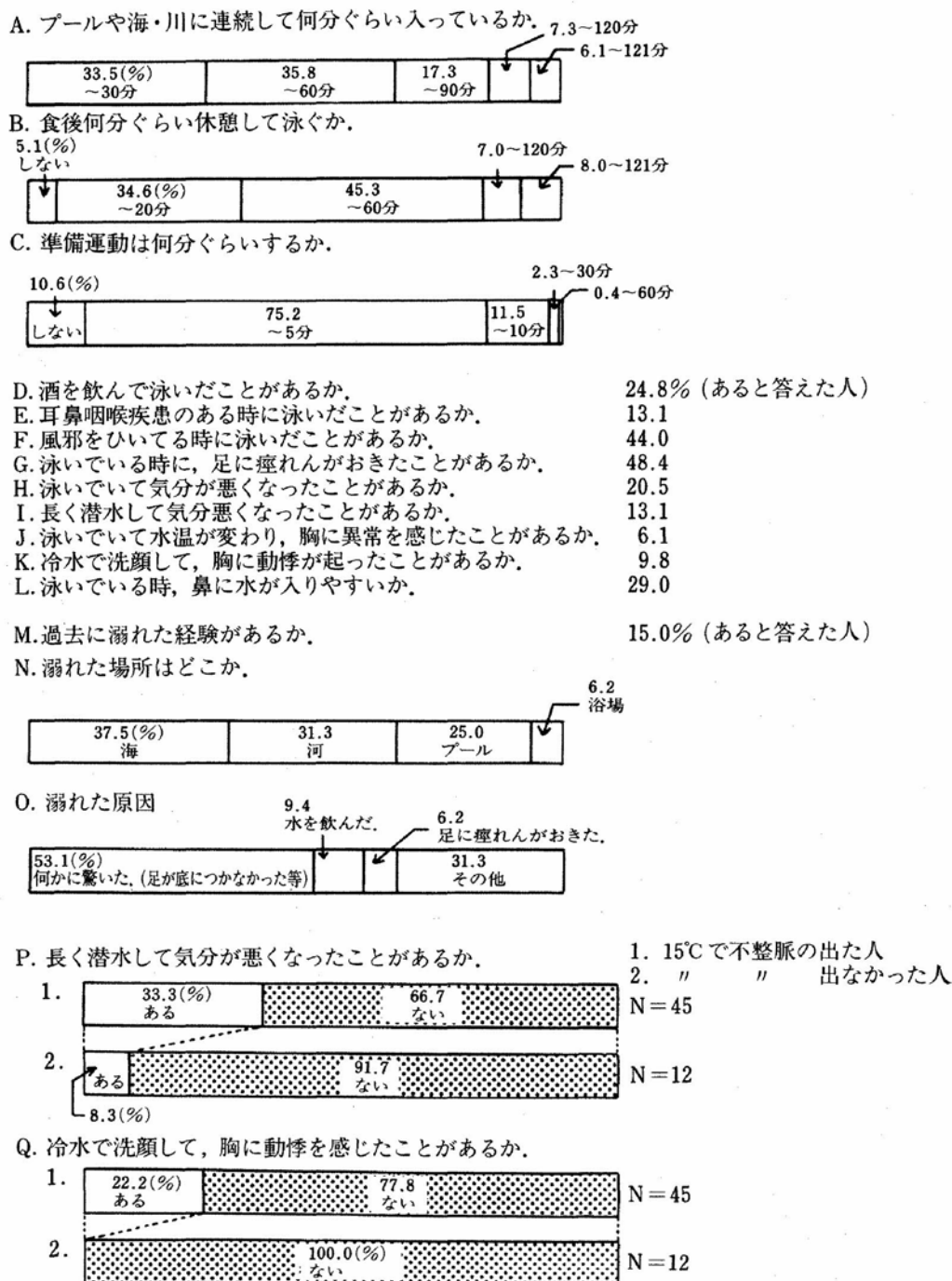


図 1 質問紙による調査結果

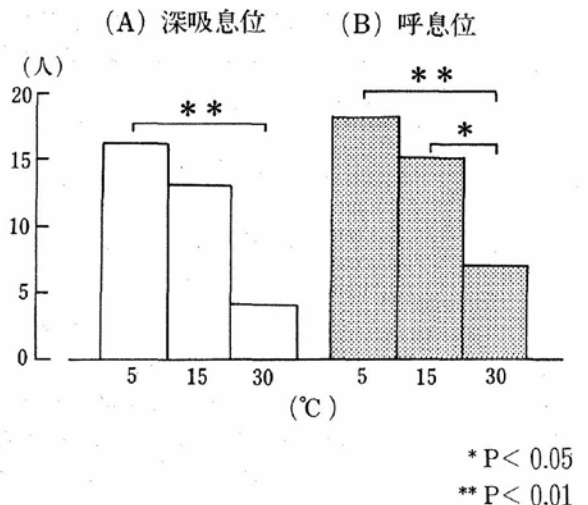
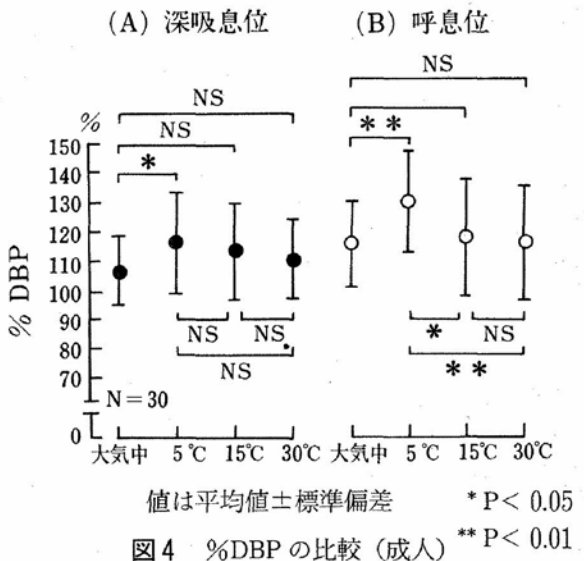
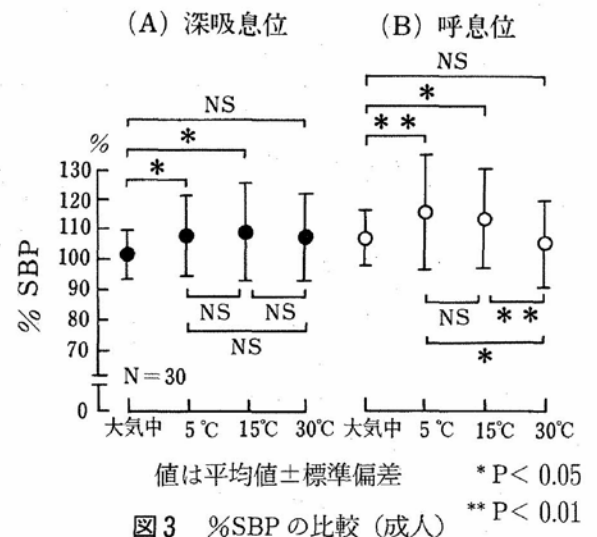
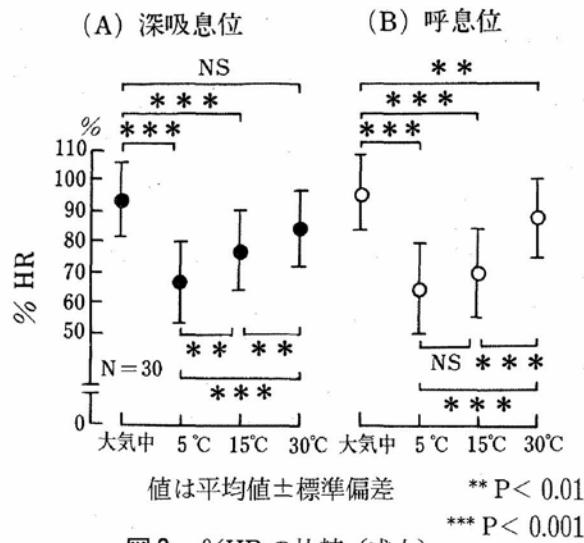
の間の比較

止息時間は、年齢による差が大きく関係し、両呼吸位とも成人群と有意な差がみられなかったのは水泳選手群のみで、他はすべて成人群の方が有意に長かった(表2)。浸水中の%HRは、成人群と比較して高齢者群のみが有意に高い値で、他の3群との間には有意な差はみられなかった(図6)。また、中学生群、陸上選手群および水泳選手群の間には、両呼吸位とも有意な差はみられなかった。%SBPと%DBPの比較では、陸上選手群のみが、浸水深吸息位の%SBPで成人群より有意に高い値を示した。

不整脈の発現数は、成人群と同じように他の4

群も深吸息位よりも呼息位の方が多いう傾向にあった。また、共通して発現が多かったのは、房室接合部性調律であった(表3, 図7)。さらにまた、中学生群、陸上選手群および水泳選手群といった13~16歳の少年の方が、成人群よりも発現率が高くなる傾向にあった。しかし、彼らには2.0秒以上のR-R間隔の延長はなく、房室干渉解離、心室固有調律の発現が多かった(表3, 図7)。高齢者群では、浸水中の不整脈の発現数は多くなかったが、回復直後に多発する一例が認められた。

(3) シンクロナイズドスイマー群と成人群との比較



シンクロナイズドスイマーは2名とも止息時間、浸水中の%HR, %SBP および%DBP は成人群と同程度であり、発現した不整脈の数と種類も成人群と比べてほとんど差がなかった。しかし、被検者の1名は、大気中の呼息位止息で2.0秒以上のR-R 間隔延長が出現した。

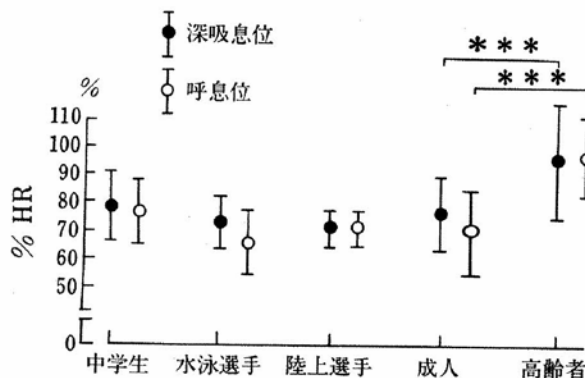
(4) 心疾患患者群と成人群との比較

表2 浸水止息時間の比較

	深 吸 息 位	呼 息 位
成 人	89.0±36.7	59.3±27.8
中 学 生	53.5±12.8**	34.2±10.0**
水泳選手	73.3±12.6	47.0±14.2
陸上選手	38.6±15.4**	24.4±5.8*
高 齢 者	66.3±6.2*	42.0±16.9**

単位：秒 平均値±標準偏差 * P < 0.05
** P < 0.01

心疾患患者3名の止息時間、浸水中の%HR, %SBP および%DBP は成人群と同程度であった。しかし、被検者 T・M は、大気中および浸水中においても高い SBP と DBP (200 / 100 mmHg 以上) を示した。また、被検者 T・M は成人群には



値は平均値±標準偏差 *** P < 0.001

図6 中学生、水泳選手、陸上選手、成人および高齢者の顔面浸水中の%HR (15°C) の比較

表3 顔面浸水中に発現した不整脈の種類とその発現者数

(A) 深 吸 息 位	成 人			中学生	水泳選手	陸上選手	高齢者
	5°C	15°C	30°C	15°C	15°C	15°C	15°C
房室接合部性調律	9	4	2	5	4	4	1
心房性期外収縮	5	3	0	0	0	0	0
R-R 間隔延長 (2.0秒以上)	4	2	0	0	0	0	0
心室性期外収縮	3	1	0	0	0	0	0
房室接合部性補充収縮	3	0	3	2	2	3	0
房室干渉解離	3	2	1	4	2	3	0
心房性期外収縮2段脈	1	0	0	0	0	0	0
2度房室ブロック							
Wenckebach型	1	2	1	2	0	0	0
Mobitz II型	1	0	0	0	0	0	0
2:1の房室ブロック	1	0	0	0	0	0	0
心室固有調律	0	0	0	2	0	0	0
(B) 呼 息 位	5°C	15°C	30°C	15°C	15°C	15°C	15°C
房室接合部性調律	9	10	3	6	3	6	1
心房性期外収縮	6	1	3	0	0	0	1
R-R 間隔延長 (2.0秒以上)	4	5	0	0	0	0	0
心室性期外収縮	2	1	0	1	0	1	1
房室接合部性補充収縮	0	1	2	1	1	3	0
房室干渉解離	4	2	1	5	3	5	0
2度房室ブロック							
Wenckebach型	2	2	1	1	0	1	0
Mobitz II型	0	0	0	1	0	0	0
PQ間隔延長	3	1	1	0	0	0	0
3度房室ブロック	1	0	0	0	0	0	0
心室固有調律	1	0	0	3	0	0	0
心室性期外収縮2連発	0	0	1	0	0	0	0
心室性補充収縮	2	1	0	0	0	0	0
心房性期外収縮2連発	0	1	0	0	0	0	0

(一部重複有り)

みられなかった心筋虚血時にみられやすい⁸⁾巨大陰性U波が出現した。被検者T・Oには2度房室ブロック Wenckebach型をはじめとする多種類の不整脈が発現したが、被検者K・Hには不整脈の発現はみられなかった。

実験2 全身浸水時と顔面浸水時の%HRの比較

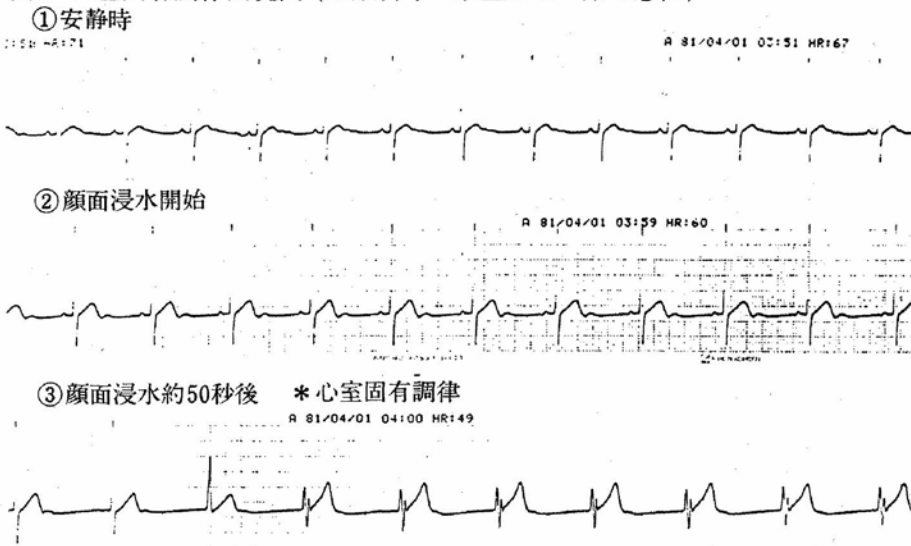
%HRは、全身浸水した時の方が、顔面浸水時よりもやや減少が大きい傾向であったが、両者間に有意な差はみられなかった(図8)。

実験3 アルコール摂取が顔面浸水中の心臓血

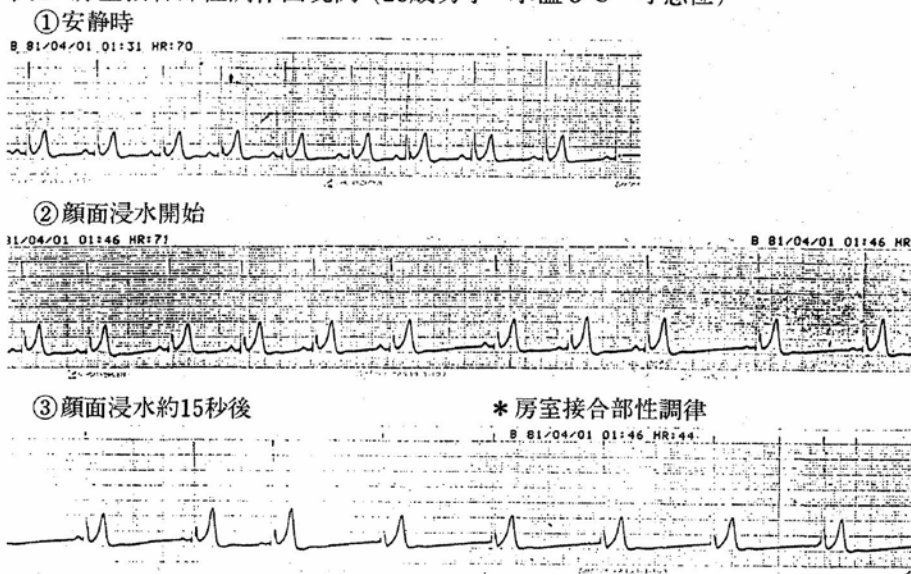
管系へ及ぼす影響

被検者3名の血中エタノール濃度は0.6~1.2 mg/dlであった(表4)。アルコールを飲んだ時の方が、飲まない時よりも、安静時のHRはやや増加し、SBPはやや低下し、DBPは有意に低下していた。また、止息負荷中の%HR、%SBPおよび%DBPは大気中も浸水中も、非飲酒時の間で有意差はみられなかった。個人別にみると、被検者S・Kは、非飲酒時・飲酒時の両条件下で同じ不整脈(房室接合部性調律)の発現を示したが、飲酒時ではその発現開始時間が、非飲酒時よりも

例1 心室固有調律出現例(13歳男子 水温15°C 深吸息位)



例2 房室接合部性調律出現例(25歳男子 水温5°C 呼息位)



値は平均値±標準偏差

↑ 1mV
← 1SEC

図7 顔面浸水時における不整脈の出現記録例

早かった。被検者 T・I は、非飲酒時ではみられなかった不整脈（房室干涉解離）を飲酒時で示した。被検者 T・M には、両条件とも不整脈の発現はみられなかった。また、被検者は 3 名とも、非飲酒時と比べて飲酒時では「浸水した直後は楽で気持ち良く、もっと止息できるように思えたが、突如として苦しさが増した」という訴えを報告した。

実験 4 1 時間泳が ECG と血中成分に及ぼす影響

被検者 4 名の 1 時間の遊泳中の HR の経時的変動は図 9 に示した。3 名は、遊泳開始後 20 分目から完泳時まで安定したが、1 名は 40 分目まで徐々に増加した。1 時間泳前後の血中成分の変動は、終了後に FFA が有意に増加したのみで他の成分には差がなかった（表 5）。標準 12 誘導 ECG（4 名とも安静時には異常なし）の変化では、1 名に終了後不完全右脚ブロックがみられたのみであった。遊泳中の ECG に関しては、入水直後に 1 名と遊泳中に 1 名の計 2 名に心房性期外収縮の散発がみられた。

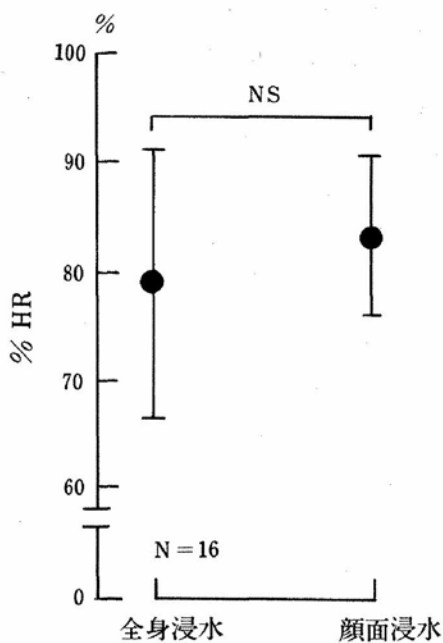


図 8 全身浸水時と顔面浸水等の %HR の比較 (30°C 深吸息位)

表 4 各被検者の血中エタノール濃度

被検者	血中エタノール濃度 (mg/dl)
T・M	0.8
T・I	0.6
S・K	1.2

実験 5 スカーリング、50 m 遊泳、50 m 全力泳、およびシンクロナイズドスイミングがシンクロナイズドスイマーの ECG に及ぼす影響

シンクロナイズドスイマーでは、スカーリング中（最高 HR 72 拍/分）に 4 個（図 10）、50 m 遊泳中（最高 HR 96 拍/分）に 3 個、シンクロナイズドスイミング中（最高 HR 158 拍/分）に 3 個の心室性期外収縮が発現したが、50 m の全力泳中には不整脈が発現しなかった。また、50 m 遊泳の最初のけのびの時には房室干涉解離および房室接合部性補充収縮が、そしてシンクロナイズドスイミング中には多数の洞性不整脈が発現したが、いずれの不整脈の発現も HR 163 拍/分以下のかなり低い HR の時であった。

実験 6-1・2 種々の水中運動が ECG に及ぼす影響と顔面浸水試験との関係ならびに無酸素的・最大陸上運動が、有酸素

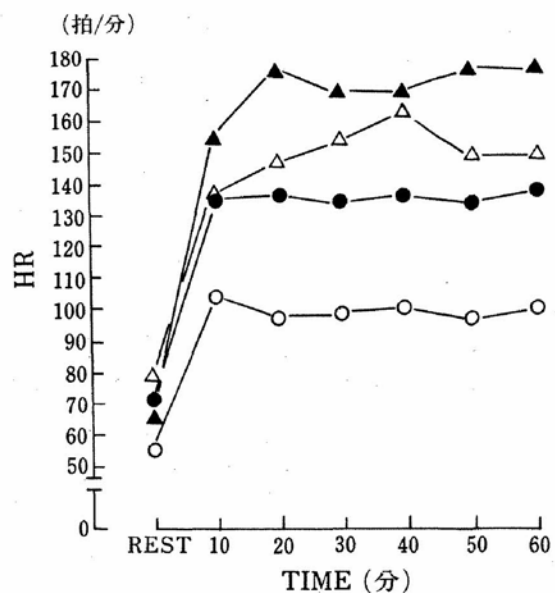


図 9 1 時間泳における HR の変動

表5 1時間泳前後の血中成分の変動

血中成分	運動前	運動後
BUN (mg/dl)	13.0 ± 4.2	13.0 ± 3.7
Cr (mg/dl)	0.9 ± 0.2	1.0 ± 0.3
UA (mg/dl)	4.4 ± 0.6	4.5 ± 0.9
Na (mEq/l)	142.3 ± 1.7	144.3 ± 1.7
K (mEq/l)	3.9 ± 0.1	4.2 ± 0.2
Cl (mEq/l)	102.7 ± 1.2	104.0 ± 1.4
Ca (mg/dl)	9.5 ± 0.1	9.6 ± 0.2
Mg (mg/dl)	2.0 ± 0.2	1.9 ± 0.2
FFA (mEq/l)	0.15 ± 0.09	0.71 ± 0.18*

平均値±標準偏差

*P<0.05

的水中運動時の ECG に及ぼす影響

各運動中のピークの HR と運動後のピークの血中 LA 濃度は、それぞれ 5 分間泳で 148 ± 13 拍/分、8.2 ± 4.1 mmol/l、50 m の全力泳で 162 ± 8 拍/分、10.7 ± 5.2 mmol/l、潜水泳で 130 ± 18 拍/分、7.7 ± 4.7 mmol/l であった。なお自転車全力駆動（ピーク HR、LA は 173 ± 9 拍/分、ピーク LA、13.5 ± 3.4 mmol/l）後の 3 分間泳での HR は 140 ± 8 拍/分であった（数値は平均値±標準偏差）。したがって、HR は 50 m 全力泳でのみ他より有意に高かったが、その他では有意な差はみられなかった（図 11）。

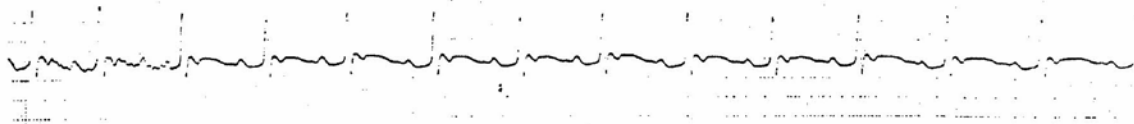
各運動中およびその回復期の ECG に異常（主として心房性期外収縮、心室性期外収縮および心室内変行伝導など）が発現した被検者は、5 分間泳では 9 名、50 m の全力泳では 6 名、25 m の潜水

泳では 7 名および自転車の全力駆動後の 3 分間泳では 3 名であり、それぞれの発現率は約 69, 46, 53 および 43% であった（図 12）。このように ECG の異常発現率では有酸素的および無酸素的水中運動の間に有意な差が認められなかった。しかし、無酸素的運動後の回復期に、心室細動に移行する可能性の強い¹³⁾危険な不整脈のひとつである RonT 心室性期外収縮が発現した者が 1 名いた（図 13）。また、5 分間泳で不整脈が発現しなかった 40 歳の男性 1 名は、無酸素的全力自転車駆動後の遊泳中に心房性期外収縮の多発を示し、またその運動の回復期に、25 歳の男性 1 名は前記の RonT 心室性期外収縮を発現した。

その他、50 m の全力泳で飛びこんだ直後（10 秒以内）に異常 ECG（心室内変行伝導）を記録した者が 1 名と、潜水泳前の深呼吸中に心室性期外収縮が発現した者が 2 名いた。

次に、顔面浸水試験で全く ECG に不整脈の発現のなかった 4 名のうち 3 名まで、これら一連の水中運動中に不整脈が発現しなかったが、一方顔面浸水試験で不整脈が発現した 9 名のうち 8 名までに水中運動中に不整脈が発現した（表 6）。また、30°C の顔面浸水試験で不整脈の発現した者（表 6 の下の 6 名）は、発現しなかった者（表 6 の上の 7 名）より、各運動中不整脈の発現は多い傾向にあった。

① 安静時



② スカーリング中

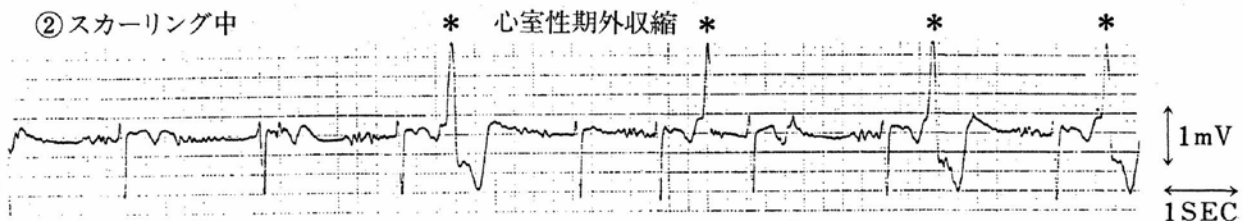
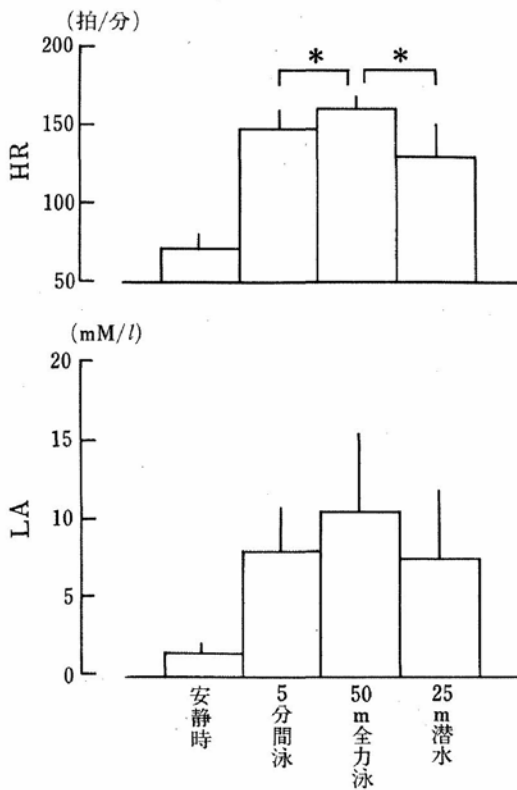


図 10 シンクロナイズドスイマーのスカーリング中における心室性期外収縮の出現記録例

血中成分に関しては、Caのみが運動によって増加した。その増加は50 mの全力泳で高い傾向を示したが、他の運動との間に有意な差はみられなかった。その他の血中成分については、ほとんど変化および差が認められなかった(図14)。

実験7 水温の急激な変化がECGとBPに及ぼす影響



値は平均値±標準偏差 *P<0.05

図11 各種運動中のピークHRと運動後の血中LAの比較

HR, SBPおよびDBPはともに、首まで浸水している時の水温を、30℃から19℃へ急激に低下させたりあるいはその逆を行うことによって、一過性に上昇した後低下し、あるいは一過性に低下した後上昇した(図15)。

浸水を首までから全身へ移行することによって、HRは急激に低下した。この低下は、19℃の低温下の方が、30℃の常温下よりも大きかった(図15)。この全身浸水の後首までの浸水に戻した時、心室性期外収縮と心房性期外収縮が発現した。

3回の実験におけるこれらの不整脈の発現は、水温を急激に低下させて首まで浸水した時の1~

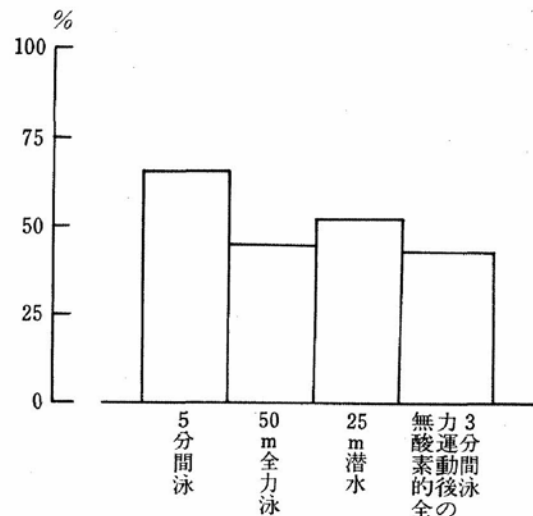
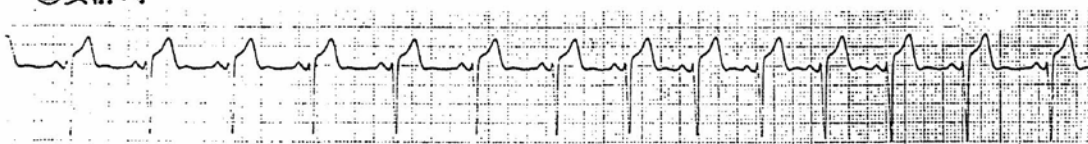


図12 各種運動中およびその回復期の異常ECG発現率

②安静時



②回復時(2分目)

* RonT 心室性期外収縮

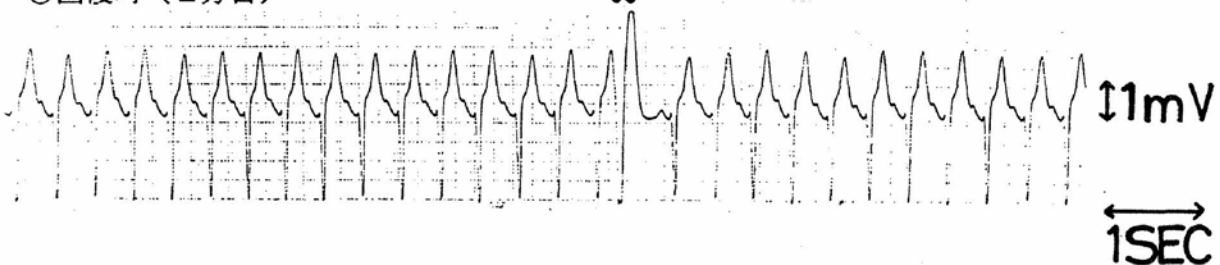


図13 50 m全力泳後におけるRonT 心室性期外収縮出現記録例(被検者T・I)

表6 顔面浸水時に発現した不整脈と各種水中運動中に発現した不整脈の対応関係

	性別	年齢	大気中 深吸息	大気中 呼息	5℃ 深吸息	5℃ 呼息	15℃ 深吸息	15℃ 呼息	30℃ 深吸息	30℃ 呼息	全身 浸水	5分間 泳	回復	50m ダッシュ	回復	25m 潜水	回復	無酸素的 運動後3分 間泳	回復	
N. K	m	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VPC2	—	—	—	—	—	—	—	ab 2
T. M	m	28	—	—	—	—	—	—	—	—	ab 3	—	—	—	VPC1	—	—	—	—	—
Y. M	m	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S. K	m	25	—	—	—	AVJR	PAC1	AVJR	—	—	—	ab 1	—	ab 1	ab 1	—	—	—	—	RonT 2
K. H	m	40	—	—	R-R 延長 2	—	AVJEB1	AVJR	—	—	—	—	—	—	—	VPC1	—	ab 1 PAC10	—	—
Y. O	m	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
R. O	m	32	—	—	—	PAC1	PAC1	—	—	—	—	PAC1	—	—	—	—	VPC1	—	—	—
Y. N	f	29	—	—	PAC1 VPC1 AVJEB2	AVJR PAC1 IVR	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	VPC1	PAC1 VPC2	—	ab 1	—	—	—	—	—	—
E. S	f	23	—	—	AVD AVJR	AVD AVJR	AVD AVJR	AVD AVJR	—	AVJR AVD	VPC1 ab 4 AVJEB 心室 内変行伝導 を伴うVPC1	VPC1	—	—	—	ab 1	AVJR	—	—	—
K. M	m	23	—	AVJEB2	AVD AVJEB2 AVJR	AVJR	AVD	—	AVD AVJR AVJEB	—	AVJR	—	ab 2	—	—	—	—	PAC2	—	—
K. E	f	24	—	—	AVJR PAC1	AVJR	—	AVJR	AVJR	—	—	—	ab 1	—	ab 1	PAC1 VPC1 AVJEB2	AVJEB2 AVJR VPC1 ab 2	—	—	—
T. I	m	28	—	—	PAC1	R-R 延長 1	AVJR	R-R 延長 1 AVJR	—	AVJEB	—	—	VPC2	—	RonT 2	VPC2 PAC1	VPC1	—	—	—
Y. E	f	35	—	—	R-R 延長 8	R-R 延長 2 2°CAV block MobitzII	R-R 延長 1	R-R 延長 3 2°CAV block MobitzII	—	R-R 延長 1	R-R 延長 2	—	PAC1	ab 4	ab 2 PAC3	PAC1	—	—	—	—

* AVJEB ; AV Junctional Escaped Beat AVJR ; AV Junctional Rhythm ab ; Intraventricular abberancy AVD ; AV Dissociation IVR ; Idio-Ventricular Rhythm
PAC ; Premature Atrial Contraction VPC ; Ventricular Premature Contraction 数字は異常発生の数を示す。—は異常のないことを示す。

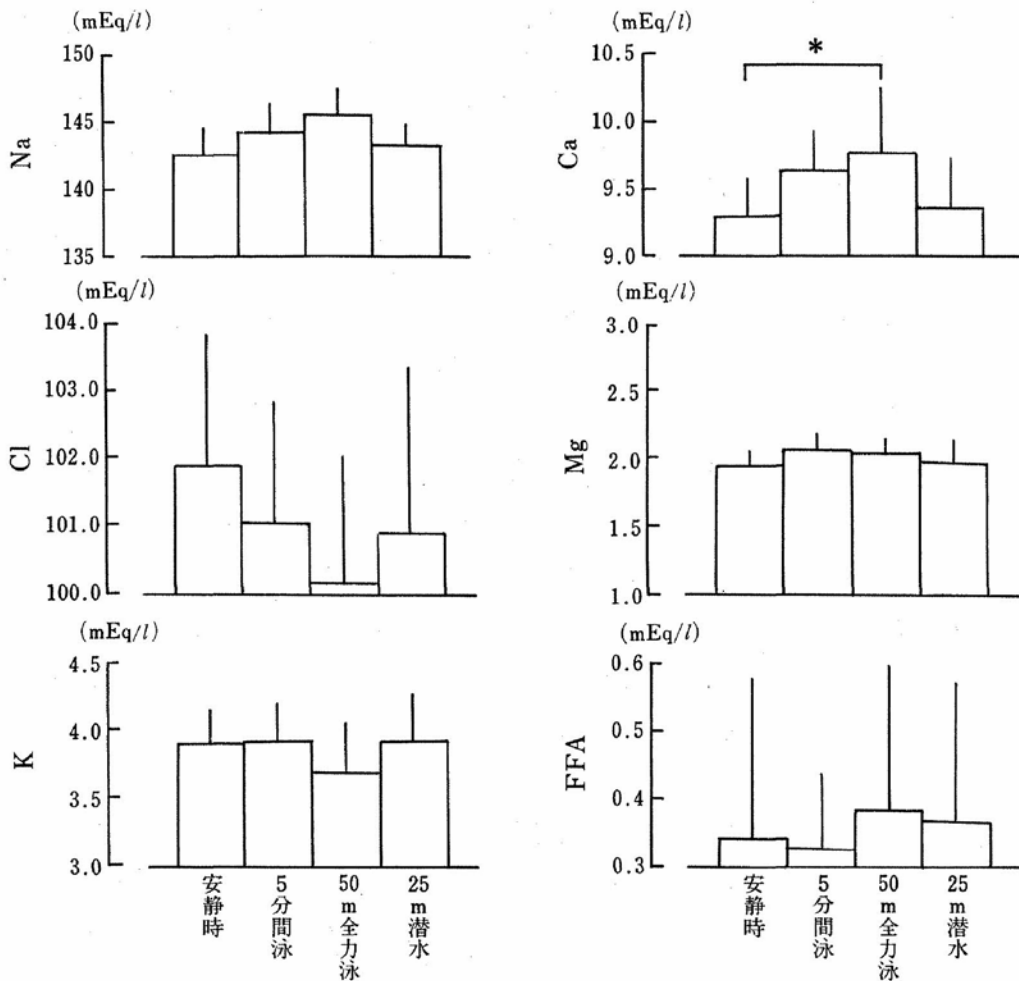
2分以内、冷水に首まで浸水している時、および冷水下での全身浸水終了後1分以内に起こり、30℃の常温下での浸水1分以降では発現はなかった。また、35℃の温水シャワー後、急激に30℃の常温下で首まで浸水することによって多くの心房性期外収縮が発現した(5個)。

考察1 質問紙による調査、顔面浸水実験、全身浸水実験、アルコール実験、1時間泳実験およびシンクロナイズドスイミングの実験の結果について

質問紙による調査結果からは、飲酒をしての入水、風邪に罹患している時の入水など溺水あるいは椎体内出血をおこす可能性のある行動を少なからずの人々がとっていることが明らかとなり、何らかの形で警告を発する必要があると思われた。

溺れた原因に関しては、足に生じた痙攣も含めて不可抗力に近いものも含まれていたが、足が底につくかどうかの確認を怠っていたり、泳げないことがわかっていながらプールに入った結果などから、恐怖感や驚愕感を感じたり水を飲んで溺れるケースが多い事も理解された。これらのことから、自己の注意の喚起と周囲の教育がさらに必要といえることができる。この中で迷走神経反射に原因のあると思われる溺水の回答は一例もなかったが、水泳中にこのような反射が起きた時には、溺死に至っていると考えられるため調査結果では明確にならなかったものと考えられる。

水泳中の胸部に関する異常および自覚症状の経験と顔面浸水時の不整脈の発現の有無との間の対応関係から、顔面浸水試験で不整脈の発現する人



値は平均値±標準偏差* P < 0.05

図14 各種運動後の血中電解質およびFFAの比較

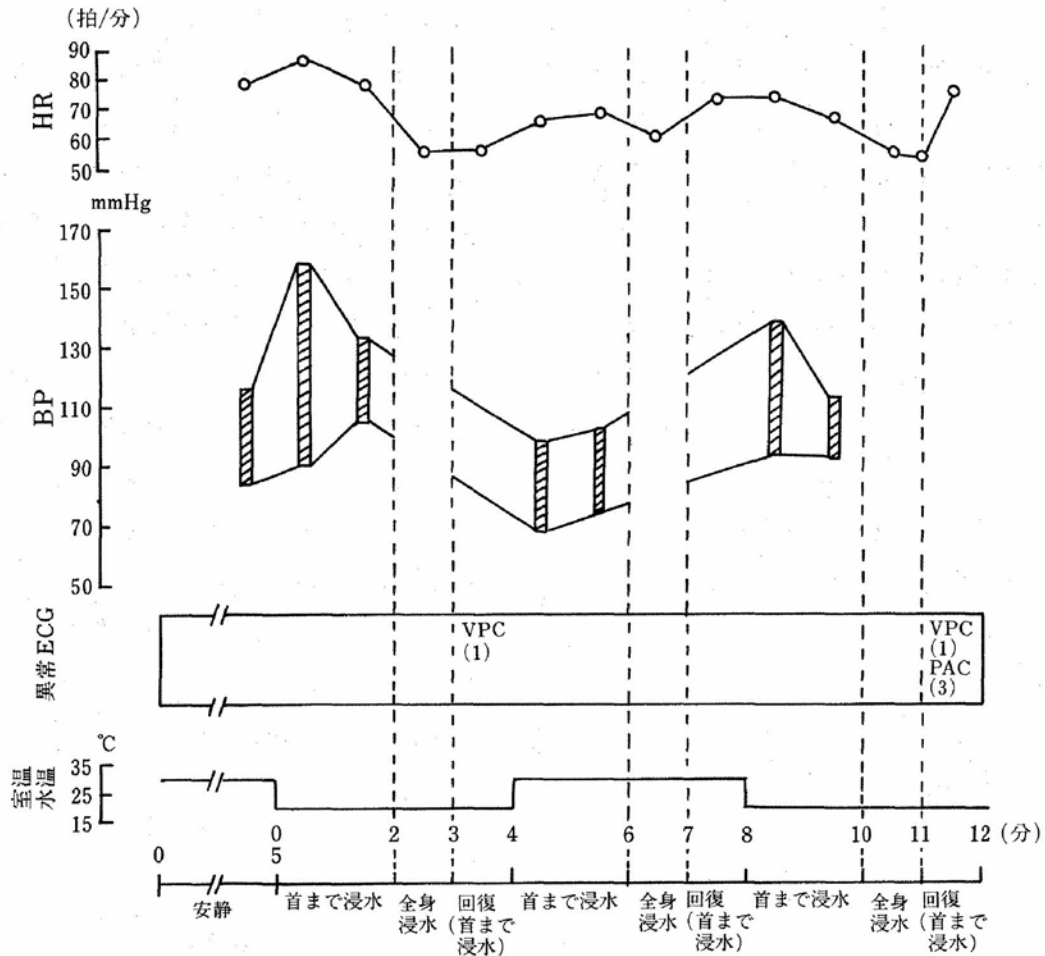


図 15 実験のタイムスケジュールと HR, BP の経時的変動および異常 ECG
 (水温を 30 → 19 → 30℃ と変化させた場合. VPC : 心室性期外収縮 PAC : 心房性期外収縮)

は、息の続くかぎり長く潜水すべきでないことが示唆された。

顔面浸水実験では、水温に関係なく、また高齢者群を除いたとの対象においても、HR が低下する傾向にあり、その減少率は従来からの報告²⁻³⁾通り、水温が低いほど大きくなる傾向があった。高齢者群では、成人群や中学生群ほどの低下がみられなく、加齢によって交感神経系が優位に傾いた結果¹⁾と思われた。また、ほぼ同年齢の水泳選手、陸上選手および中学生(野球部)の HR 減少率には差はなく、迷走神経に反映した変化が陸上による鍛練によろうと、水泳による鍛練によろうと、顔面浸水の及ぼす影響はほぼ同じであるといえる。

全身浸水時と顔面浸水時の HR 減少率には、Moore らの報告⁶⁾と同様に、著明な差はみられな

かった。このことから、顔面浸水により全身浸水をした時と同程度の迷走神経反射が観察できる可能性が示唆された。

呼吸位に関しては、呼息位の方が、深吸息位より多くの不整脈が観察され、また HR の減少率と不整脈の発現者数に呼息位の 5℃ と 15℃ で差がなかった。これらのことと 5℃ の水温では被検者に与える苦痛が大きいことを考慮すれば、顔面浸水試験には、15℃ の水温で呼息位の呼吸位を用いるべきと考えられた。

しかし、止息時間は年齢により差があるため、顔面浸水試験に必要な止息時間は、今後検討する必要があると思われた。

顔面浸水時に発現した不整脈の中には、2度房室ブロック Mobitz II 型、3度房室ブロックおよび心室固有調律などの臨床的に重篤⁷⁻⁸⁾なものも

含まれていた。特に中学生では、心室固有調律の発現（10人中3例）が目立った。これが中学生の発育段階における特性なのか、あるいは水中事故に結びつく可能性のあることなのか、さらに例数を増やしてさぐる必要がある。また、高齢者では、回復過程で心室性期外収縮などが多発した者がいたことから、この段階において留意して観察する必要のあることが示唆された。

シンクロナイズドスイマーでは、他の被検者と異なり、大気中の止息においても2.0秒以上のR—R間隔を示した。これは止息をしながら運動を続ける競技特性による適応の結果と考えられる。しかし、水中活動中には、陸上運動時以上に多数でしかもかなり低いHRで、心室性期外収縮が認められた。しかも後述する一般成人達の水の中運動中の不整脈の発現数よりもかなり多かった。このことから、単に競技特性として考えることはできない。よって前述の中学生と同様さらに例数を増やして、心室性期外収縮の発現が適応の結果か、危険性をともなうものなのかについて調査する必要があると考えられた。

アルコールを飲んだ時の顔面浸水実験からは、飲まない時とほぼ同程度の心臓血管系の変化と推察された。アルコール飲量を増量させるかアルコールに対する被刺激性の異なる被検者を対象にすれば、結果は異ったかもしれないが、この時の被検者の「突如として苦しさを感じた」という申告から類推して、溺水するまでの事故が発生する時は、むしろアルコールによる知覚の鈍麻や平衡感覚の失調がその原因としてより強く関与していると考えられた。

境界域高血圧者と降圧剤の服用のある高血圧者では、顔面浸水中に高い昇圧反応を示した。また、後者では強い虚血反応も観察された。これらより、高血圧者に対しては、顔面浸水試験に血圧の測定を加えること、および高血圧者が水中活動をする時には、長く潜水することを控え、呼吸法を

必ず習得する必要があることが示唆された。

1時間泳の結果では、血中成分の変動からみた腎機能および電解質には大きな変化が認められなかった。また、遊泳中および遊泳前後のECG上の変化もそれほど顕著ではなく、心臓にも大きな影響はなかった。これは、被検者がともに水泳を習熟していた成人であった事その原因のひとつと考えられた。すなわちかなり鍛練さえ積めば、1時間の遊泳もそれほど大きなストレス刺激ではないのかもしれない。しかし、年齢や泳スピードおよび泳時間を変えてさらにデータを採集する必要があると思われた。

考察2 種々の条件で水中運動を行った実験の結果および顔面浸水試験の成績との関係について

種々の水中運動のECGに及ぼす影響をみた実験の第1の知見は、ECGの異常発現率が、有酸素的あるいは無酸素的水中運動の影響を受けなかったことである。しかし、50mの全力泳においてのみHRが他種目よりも高かったにすぎず、さらに無酸素的なエネルギー発生を反映する血中LAに種目間で有意な差がみられなかったことは、前記の知見の原因になり得るであろう。したがって、有酸素的運動としての水泳を考える時、より長時間にわたって泳ぐ方法を考えるべきであろう。

また、被検者T・Iに水中の無酸素的全力運動後にRonT心室性期外収縮が発現したこと、5分間泳では不整脈が発現しない被検者K・Hに、陸上での無酸素的全力運動後の遊泳中に、心房性期外収縮が多発したこと、および被検者S・Kに前述の無酸素的全力運動後の遊泳の後にRonT心室性期外収縮が発現したことは、無酸素的全力水中運動と無酸素的全力陸上運動後の水中運動の危険性を示唆するものであろう。血中LAの増加はカテコラミン(CA)の増加と平行して生じることが報告されている⁹⁾ため、今回の危険なECGの発現にこれらの物質が関与している可能性がある。

第2の知見は、顔面浸水実験の成績が水中運動時の異常をかなり良く反映したことである。特に、15°Cで顔面浸水した時に不整脈の発現のみられた9名中8名までに、水中運動中にも不整脈の発現がみられた。また、30°Cの顔面浸水時で不整脈の発現した者は、発現しなかった者より、明らかに各水中運動中不整脈が発現しやすい傾向にあった。これらは、この試験が信頼性および再現性に優れることを示すものであり、水泳実施前の試験として極めて重要なことを示唆するものであろう。また、それとともに、顔面浸水時に不整脈の発現しない被検者にも、水中運動中不整脈の発現する例が認められ、水中運動のECGに及ぼす影響をさらに基礎から調べていく必要のあることも示唆された。

考察3 水温の急激変化が心臓血管系へ及ぼす影響を観察した実験結果について

水温の急激な変化がECGとBPに及ぼす影響をみた実験からは、異常ECGは、単に浸水という条件のみでは発現しなかったが、水温を急激に低下させて首まで浸水した時、冷水に全身浸水した時およびその後の回復期、ならびに35°Cの温水シャワーを浴びた後に30°Cの水に浸漬した時に発現した。この被検者は、迷走神経反射のそれほど強くない男性であるが、全身浸水時の急激な水温の低下および15~20°Cの冷水に全身を浸水させたことは、かなり強い自律神経反射を心臓に与えたことが推察された。このことは、水温の変化の大きい海や川で泳ぐ時、あるいは全身浸水をとまなう寒中水泳を行う時に十分な注意を払うことの警告を示唆しているものと思われた。

ま と め

安全に水泳を実施するための基礎的な資料を得る目的で、調査および実験を行った結果、次のようにまとめられた。

1. 調査対象の15%は過去に溺れた経験があ

り、その原因として、足がつかなかったなどの理由により驚愕感を感じたためと答えた者が最も多かった。

2. 溺水あるいは錐体内出血を起こす可能性のある行動をとっている人が少なくないため、警告を発しなければならない。

3. 顔面浸水の心臓血管系へ及ぼす影響は、HRを低下させ、SBPとDBPを上昇させ、不整脈を発現させる傾向にある。特に、HRの低下と不整脈の発現数は、水温が低いほど大きくなる傾向がある。この時のHRの低下の程度を年齢別に比較すると、高齢者(60歳以上)では他の年代の者(60歳未満の成人、中学生、および高校生)ほど低下しなかった。また、運動の種目別の比較では、種目間(陸上の運動と水泳)に差はみられなかった。

4. 顔面浸水時に発現した不整脈の中には、臨床的に重篤なものまで含まれていた。特に中学生には、3例に心室固有調律の発現がみられた。これらのことから、例数をさらに増やして危険性の検証を行う必要がある。また、高齢者では、浸水中に発現する者は多くなかったが、回復過程で多発する一例が観察されたことから、高齢者に対して顔面浸水試験を実施する時には、回復過程に留意して観察する必要があることが示唆される。

5. 顔面浸水時のHRの低下の程度は、全身浸水時の低下の程度とほぼ同じであった。(水温30°C 深吸息位)

6. ビール2~3本のアルコール摂取は、本実験の被検者には、顔面浸水中の心臓血管系へさほど顕著な影響を及ぼさなかった。

7. 1時間の遊泳は、本実験の被検者の血中成分にもECGにもさほど顕著な影響は及ぼさなかった。

8. シンクロナイズドスイマーの水中運動中には、多数の不整脈が発現した。これに関しては、例数を増やしてさらに検討する必要がある。

9. 水中運動中に不整脈の発現がかなり観察された。しかし、それらは有酸素的か無酸素的かという運動形態と関係はなかった。また、不整脈の発現に血中電解質の変動は関与していなかった。

10. 2名の被検者に無酸素的全力水中運動の後、および事前に陸上で無酸素的な全力運動をした後の遊泳後に、危険な心室性期外収縮のひとつであるRonT心室性期外収縮が発現した。また、1名の被検者に、後者の運動後の遊泳中に、普段の遊泳中に発現しない不整脈が多発した。これらは、無酸素的な全力水中運動および泳ぐ前の無酸素的全力運動の危険性を示唆している。

11. 顔面浸水試験は、全身浸水時の迷走神経緊張を反映するとともに、水中運動時の不整脈の発現ともかなり良く対応し、事故防止のためのメディカルチェックとして十分活用でき得るものである。この試験に用いる水温は15°C、呼吸位は呼息位が効果的であることが示唆された。しかし、止息時間については、今後検討する必要がある。高血圧者に対しては血圧の同時測定も必要である。

12. 水温の急激な変化は、生体に血圧の動揺や不整脈の発現をもたらす。水温の変動の激しい海や川で泳ぐ時の十分なる注意を示唆している。

おわりに、本研究のために特別のご援助をいただきました石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深甚なる謝意を表するとともに、本研究に特にご助力を賜った東京慈恵会医科大学 栗原 敏教授、小野三嗣教授をはじめ学術委員の諸先生に心より感謝申し上げます。

文 献

1) Bar-Or, O., Dotan, R., Inbar, O., Rohstein, A., Karlsson, J. and Tesch, P.; Anaerobic capacity and muscle fiber type distribution. *Int. J. Sports Med.*, 1, 82—85 (1980)

2) Craig, A. B. Jr.; Heart rate responses to apneic underwater diving and breath holding in man. *J. Appl. Physiol.*, 18 (5), 854—862 (1963)

3) Hong, S. K., Song, S. H., Kim, P. K. and Suh, C. S.; Seasonal observation on the cardiac rhythm during diving in the Korean ama. *J. Appl. Physiol.*, 23 (1), 18—22 (1967)

4) 河合 忠, 玄番昭夫, 尾形 稔; 異常値の出るメカニズム, 医学書院, 東京, 67—111 (1985)

5) Lehmann, M., Keul, J., Huber, G. and Da Prada, M.; Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graded exercise. *Int. J. Sports. Med.*, 2, 143—147 (1981)

6) Moore, T. O., Lin, Y. C., Lally, D. A. and Hong, S. K.; Effects of temperature, immersion, and ambient pressure on human apneic bradycardia. *J. Appl. Physiol.*, 33 (1), 36—41 (1972)

7) 村田和彦, 細田瑛一; 循環器病学, 医学書院, 東京, 41—122 (1987)

8) 村山正博, 小堀悦孝, 坂本静男, 川原 貴; スポーツのための心電図メディカルチェック, 文光堂, 東京, 7—45 (1987)

9) 岡野亮介, 碓井外幸, 佐々木弘志, 山口宏美, 勝木建一, 勝木道夫; 顔面浸水の心臓血管系へ及ぼす影響—第2報 各水温別の比較—, 第40回日本体育学会大会号, 334 (1989)

10) 岡崎 修, 橋本 通, 春日建一, 小西真人, 栗原敏; スポーツ心にみられる運動誘発性不整脈の発生要因の解析, デサントスポーツ科学, Vol. 9, 86—93 (1988)

11) 大友英一; 老化と自律神経機能, からだの科学, 132, 82—85 (1987)

12) 酒井敏夫, 栗原 敏, 小林啓三, 渡辺雅之; 不整脈発生誘因としての血中遊離脂肪酸の作用機構に関する研究, デサントスポーツ科学, Vol. 4, 20—34 (1983)

13) 高木 誠; 不整脈を理解するために, 医学書院, 東京, 48—61 (1986)

14) 上野正彦; 溺死—その新しい理論, からだの科学, 34, 31—35 (1970)

15) Whayne, T. F. Jr. and Killip, T. III.; Simulated diving in man: comparison of facial stimuli and response in arrhythmia. *J. Appl. Physiol.*, 28 (5), 614—621 (1967)

16) 財団法人日本水泳連盟科学技術委員会; 水泳医学百科, 南江堂, 東京, 110—123 (1987)