乳幼児の潜水・水泳における心拍反応と不整脈

林 貢一郎¹⁾ 佐々木 純一²⁾ 目 崎 登³⁾

HEART RATE RESPONSES AND ELECTROCARDIOGRAPHIC CHANGES DURING DIVING AND SWIMMING IN INFANTS

KOICHIRO HAYASHI, JUN-ICHI SASAKI and NOBORU MESAKI

Abstract

The present study was performed to investigate heart rate responses and occurrence of arrhythmias caused by various diving maneuvers and swimming in infants. Forty four healthy infants (mean age 2.5 ± 1.1 , mean $\pm$ SD) served on this study. Condition of telemetry electrocardiograph recording was 1) rest on the land and in the water, 2) diving, 3) swimming and 4) "pass in water (PW)". Moreover, diving styles was classified for five patterns by presence of body movement or expiration (Apneic not move diving, Expiratory not move diving, Apneic kick diving, Expiratory kick diving and Underwater swimming). "Diving bradycardia" was observed during diving and PW, and the magnitude of heart rate reduction was greater in diving without body movement than diving combined with body movement. Presence of expiration did not influence on the level of bradycardia during diving. Any kinds of arrhythmias was observed 13 out of 44 subjects. In premature contractions, supraventricular premature contraction (SVPC, 7 subjects) was observed more often than ventricular premature contraction (PVC, 3 subjects). Another arrhythmias observed was atrioventricular junctional rhythm (AVJR, 1 subject), atrioventricular junctional escaped beat (AVJEB, 3 subjects) and wandering pacemaker (1 subject). The danger arrhythmias which is necessary to restrict on exercise or swimming was not observed in this study.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2001, 50 : 603~612)

key word : electrocardiogram, diving, swimming, infant

I. 緒 言

水泳などの水中運動では、水温、水圧、水の抵抗等の影響により陸上運動とは異なった生理学的反応がみられる。こと循環器系に関しては、潜水に伴う徐脈反応は潜水性徐脈の名で知られている^{1~3)}。潜水性徐脈のメカニズムについては古くから検討されており^{4~8)}、冷刺激による迷走神経反射⁵⁾、止息によるバルサルバ圧の上昇による心肺圧反射^{1,6)}に加えて、高二酸化炭素、低酸素等の血液ガス変動^{7,8)}等による影響が複雑に関与して徐脈を引き起こすと考えられている。

Ramey et al.⁹⁾は4~13歳の小児を対象として、潜水中の心拍数応答について検討している。それによると、25秒以上の潜水が可能であった小児では、徐脈の程度は成人とほぼ同等であり、潜水に伴う徐脈の程度は年齢に依存するものではなく、潜水時間に依存するとしている。しかしながら、さらに年齢の低い乳幼児を対象とした研究は皆無であり、その真相は明らかでない。

止息、顔面浸水、全身の潜水時に不整脈の発現もあることが多く報告されている^{10~13)}。水泳、特に潜水を伴うような泳法においては、先に示したような副交感神経系の緊張を誘発するような条

¹⁾ 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 養育会病院 産婦人科
〒130-0012 東京都墨田区太平3-20-2

³⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Doctoral program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba.

Department of Obstetrics and Gynecology, San-ikukai Hospital.

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba.

件と、運動といった交感神経系の緊張を誘発する条件の両者を同時に兼ね備えた特殊な環境であることがこれらの不整脈発現に関与している可能性がある。発現する不整脈の種類によっては、水中運動中における突然死の原因の1つになりうることも懸念されている。潜水に伴う不整脈発現に関して、これまでに成人¹²⁾、学童¹³⁾、ダイバー¹¹⁾などを対象に多くの研究がなされている。しかしながら、乳幼児を対象として、潜水や水泳に伴う不整脈発現について検討した報告はほとんどない。

本研究では、乳幼児水泳教室における安全性向上の一助として、乳幼児(0～4歳児)を対象に潜水を含む水泳中の心拍反応および不整脈発現について検討することを目的とした。

Ⅱ. 対象および方法

A. 被験者

被験者は乳幼児水泳教室に通う心疾患の既往のない乳幼児44名(男児19名, 女児25名)である。被験者の年齢は 2.5 ± 1.1 (mean $\pm$ SD, 0.5～4.3) 歳, 乳幼児水泳の経験年数は 1.5 ± 0.9 年であった。身長および体重はそれぞれ 90.5 ± 11.8 cm, 12.8 ± 3.2 kg であった (Table 1)。なお, 出生時に心房中隔欠損症と診断を受けた被験者が1名実験に参加したが, 1歳時検診時に心房中隔欠損症は

完治しており, 実験に参加する時には運動や水泳を行う許可を医師から得ていた。

実験に際し, 保護者に研究の意義や目的について詳細に説明し, 参加の同意を得た。

B. 研究方法

1. 研究環境

測定は全て室内温水プールで行った。プールの水温および室温(周囲温)は約30℃で, プールの水深は約1mであった。なお, このような測定環境は, 通常, 乳幼児水泳教室が行われている環境とほぼ同程度である。

2. 測定条件

本研究では, 現行の乳幼児水泳教室の状況にできるだけ合わせるように, 測定条件を陸上安静時(入水前), 水中安静時, 潜水, 遊泳, 水中パスとした。

1) 陸上安静時および水中安静時

陸上安静はプールサイドで, 水中安静はプールに入水して水位は肩のレベルとした。陸上安静および水中安静の心電図記録は, 基本的には立位としたが, まだ1人で立てないような低年齢の被験者は母親かインストラクターに抱かれている状態で記録した。記録時間は被験者が精神的に落ち着いてから3分間とした。

Table 1. Characteristics of subjects.

	n	age (yrs.)	experience years (yrs.)	height (cm)	weight (kg)
ANMD	21	3.0 ± 0.8	1.7 ± 0.9	99.6 ± 7.3	15.0 ± 2.7
ENMD	12	3.3 ± 0.8	1.7 ± 1.0	99.1 ± 6.7	15.7 ± 2.7
AKD	17	3.0 ± 1.0	1.7 ± 0.8	96.7 ± 9.1	15.0 ± 3.1
EKD	10	3.4 ± 0.8	2.1 ± 0.7	98.5 ± 7.5	14.9 ± 2.7
US	17	2.9 ± 0.8	1.6 ± 0.7	93.1 ± 6.9	13.3 ± 2.0
S	11	2.7 ± 0.8	1.6 ± 1.0	94.9 ± 8.7	15.0 ± 3.1
PW	13	1.3 ± 0.8 *	0.8 ± 0.5 *	75.1 ± 9.5 *	8.5 ± 2.0 *
All Subjects	44	2.5 ± 1.1	1.5 ± 0.9	90.5 ± 11.8	12.8 ± 3.2

Value are mean $\pm$ SD. ANMD, Apneic not move diving; ENMD, Expiratory not move diving; AKD, Apneic kick diving; EKD, Expiratory kick diving; US, Underwater swimming; S, Swimming; PW, Pass in water.

*; $P < 0.05$ vs all of another condions.

2) 潜水

潜水はその潜水様式や呼吸の有無により以下の5種類に分類した。

- ① Apneic not move diving (ANMD) : 体を動かさずに息を止めた状態で行う潜水
- ② Expiratory not move diving (ENMD) : 体を動かさずに息を吐きながら行う潜水
- ③ Apneic kick diving (AKD) : 息を止めた状態で脚はキックしながら行う潜水
- ④ Expiratory kick diving (EKD) : 息を吐きながら脚はキックするような潜水
- ⑤ Underwater swimming (US) : フリーの潜水泳

① ANMD～④ EKD では、はしご状のものをプールに縦に沈めて、可能なかぎりそのはしごの下の方を持たせた状態で潜水を行うように指示した。⑤ US ではプールの底に沈んでいる輪のようなものを取って浮上してくるような潜水や、通常の泳ぎを深いところで行うといったような全身的な動きのある潜水とした。なお、キックや呼吸の状態は、水中 VTR を撮影することにより確認した。

3) 遊泳 (Swimming ; S)

遊泳においては、基本的に被験者本人が可能な泳法で行うこととした。息継ぎによりデータに差がでること、また、息継ぎができる被験者とそうでない被験者の両者が実験に参加していることを考慮し、息継ぎをせずに行うことのできる最長の遊泳を記録として採用した。

4) 水中パス (Pass in water ; PW)

これはおおよそ1歳代までのまだ1人で潜水や遊泳ができない被験者において、2人の大人(インストラクターか、または母親)の間を水面上で子どもがパスされるといったようなもので、子どもは息をこらえて、うつ伏せの状態を受け渡しされることになる。本実験では、この水中パスを遊泳には含まず単独の実験条件とした。

陸上安静および水中安静以外の測定条件(水泳種目)においては、被験者の年齢や熟達度により可能な場合と不可能な場合があるため、可能な場合のみについて検討した。また、記録に際しては

同じ条件について数回記録し、各被験者において最も長時間行うことが可能であったものを記録として採用した。なお、各被験者において、これらの測定条件をランダムにおこなった。さらに、実験の一部始終を VTR に録画し、後述する心電図データと照らし合わせた。

3. 心電図記録方法

本研究では先行研究¹²⁾にならい、テレメトリー式心電計(Life Scope 8. BSM-7201 ; 日本光電)を用いて水中テレメトリー法にて心電図を記録した。送信機(ZB-811P ; 日本光電)は水中でも使用可能なように防水加工した。誘導法は胸部双極CM₅誘導法とし、装着された電極の上から粘着性フォームパッド(4cm×4cm)を貼付した。水中で送信機を補助者に保持してもらい、得られた信号を送信し、プールサイドにある心電計で受信した。なお、データは紙面に出力し、紙送り速度は2.5cm/sec. とした。

4. 測定項目

1) 潜水時間および泳時間

心電図と同時に記録した VTR と照合し、各種潜水、水中パス、遊泳を行った時間をストップウォッチにより計測した。各種泳法において、顔を水面に浸けた瞬間から顔をあげた瞬間までの時間を潜水時間および泳時間とし、0.1秒のオーダーで測定値とした。

2) 各種条件における心拍数変化

陸上安静時および水中安静時心拍数は、ともに被験者が精神的に安定している時の連続10拍の平均 RR 間隔から求めた。潜水・遊泳・水中パス時の心拍数の変化に関しては、得られた心電図から8 msec. のオーダーで1拍毎の RR 間隔を算出し、3つの連続した RR 間隔から心拍数を求め1拍毎に移動平均した。徐脈傾向にある条件(潜水および水中パス)においては最低心拍数を、頻脈化傾向にある条件(遊泳)においては最高心拍数を求めた。なお、最低および最高心拍数の決定は、各種泳法の開始から終了後5秒間の範囲内とした。さらに、各種泳法の開始直前10拍の平均 RR 間隔から直前の心拍数を求め、その値に対する最低および最高心拍数の相対的な変化率を心拍数変化率

(%HR)として算出した。

心拍数変化率(%HR) =

$$|(\text{最低および最高心拍数/直前の心拍数}) \times 100 - 100| \%$$

3) 不整脈発現

心電図より, 各種泳法時, 入水時, 退水後ごとに不整脈発現頻度や不整脈の種類等について検討した。なお, 各種泳法時の不整脈発現については, 施行中および終了後5秒間に観察されたものをそれぞれの状況下での発現と規定した。

5. 統計処理

データは全て平均値±標準偏差で示した。各条件群別での被験者の年齢, 乳幼児水泳の経験年数, 身長, 体重の比較および心拍数変化率の比較には一元配置分散分析を用いて, 有意な変化が認められた場合には, Fisher's PLSDにて事後検定を行った。危険率5%をもって統計的に有意とした。

Ⅲ. 結 果

A. 身体特性

各泳法群における被験者の年齢, 乳幼児水泳の

経験年数, 身長, 体重を比較すると, PW 群では他の群に比べて, 明らかに年齢・身長・体重が低かった(Table 1)。これは, PW がもともと乳幼児の中でも低年齢の子供を対象に行われるという特性を持つためである。

B. 潜水時間および泳時間

各種泳法における潜水時間および泳時間はそれぞれ, ANMD が 9.2 ± 5.1 sec., ENMD が 8.1 ± 2.9 sec., AKD が 8.0 ± 3.5 sec., EKD が 7.4 ± 2.9 sec., US が 6.9 ± 2.9 sec., S が 6.7 ± 2.1 sec., PW が 3.7 ± 1.4 sec. であり, PW では他の泳法と比較して明らかに施行時間が短かった ($p < 0.01$)。

C. 各種条件における心拍数変化

陸上安静および水中安静時の心拍数は 122.5 ± 15.0 および 116.7 ± 15.5 bpm (bpm; beats per minute)であった。ANMD, ENMD, AKD, EKD, US, PW においては, 心拍数は開始直後から低

Fig. 1. Changes in %heart rate with each conditions. The minimum %heart rate during diving (ANMD, ENMD, AKD, EKD and US) and PW, and the maximum %heart rate during S. Data are expressed mean ± SD. * ; $P < 0.05$. † ; $P < 0.05$ vs all of another conditions.

下する傾向にあった。Sでは、心拍数は増加する傾向にあった。それぞれの泳法における直前の心拍数に対する心拍数変化率(遊泳を除く泳法に関しては低下率、遊泳に関しては増加率)を Fig. 1 に示した。ANMD, ENMD, AKD, EKD, US, PW における心拍数変化率は、それぞれ、 $-25.0 \pm 13.2\%$, $-18.5 \pm 13.4\%$, $-15.2 \pm 14.3\%$, $-12.8 \pm 16.2\%$, $-7.8 \pm 13.9\%$, $-25.8 \pm 5.4\%$ であった。ANMD, ENMD, AKD, EKD, US の心拍数変化率の比較では、ANMD は AKD, EKD, US に比べて明らかに大きな低下を示し($p < 0.05$)、全体としては、体の動きが少ない泳法(ANMD・ENMD)よりも体の動きのある泳法(AKD・EKD・US)の方が心拍数の低下が少ない傾向がみられた。また、潜水中の呼吸の有無は心拍数の反応に影響を及ぼさなかった。遊泳における心拍数変化

率は $12.6\% \pm 10.6\%$ であった。

D. 不整脈発現

Table 2 に不整脈のみられた被験者の性別、不整脈の種類、不整脈の観察された状況、不整脈前後における心拍数の状況を示した。被験者44名中、何らかの心電図異常が見られたものは13名(29.5%)で、性別は男児 19名 中 5名(26.3%)、女児25名中 8名(32.0%)であった。不整脈の種類としては、心室性期外収縮(VPC)、上室性期外収縮(SVPC)、房室接合部補充調律(AVJR)、房室接合部補充収縮(AVJEB)、移動性ペースメーカー(wandering pacemaker)が観察された。

AVJEB は 3 名(No. 10・No. 11・No. 25)に観察され、そのうち 1 名には AVJR も認められた(Fig. 2-A)。No. 10 は、水中バス中(開始後 1.7

Table 2. Cardiac arrhythmias induced each conditions.

No.	Sex	Arrhythmias	Conditions	Heart rate status
4	female	SVPC	diving	no paticular status
10	female	AVJR	PW	bradycardia
		AVJEB	after PW (1.4 sec.)	bradycardia
11	male	AVJEB	after PW (0.2 sec.)	bradycardia
		VPC	after PW (0.6 sec.)	bradycardia
15	female	SVPC	after diving (2.1 sec)	bradycardia
18	male	SVPC	after diving (4.0 sec)	tachycardia
21	female	VPC	S	no paticular status
25	female	AVJEB	interval of traials	no paticular status
26	male	VPC	interval of traials	no paticular status
		VPC	interval of traials	no paticular status
		VPC	S	no paticular status
		VPC	recovery at pool side (1.0 sec.)	no paticular status
		VPC	recovery at pool side (4.2 sec.)	no paticular status
28	male	SVPC	interval of traials	no paticular status
29	female	SVPC	diving	no paticular status
		SVPC	S	no paticular status
30	female	SVPC	interval of traials	no paticular status
33	female	SVPC	S	tachycardia
34	male	wandering pacemaker	interval of traials	no paticular status

VPC ; Ventricular premature contraction

SVPC ; Supraventricular premature contraction

AVJR ; Atrioventricular junctional rhythm

AVJEB ; Atrioventricular junctional escaped beat

PW ; Pass in water

S ; Swimming

Fig. 2. Examples of three types of arrhythmias that developed during (or after) PW (A), ANMD (B), and S (C). Vertical arrows indicate each arrhythmias. A, AVJR during PW and AVJEB immediately after PW; B, SVPC during ANMD with diving bradycardia; C, VPC during and after S.

sec.)に潜水性徐脈に伴い AVJR が、終了後(1.4 sec.)に AVJEB が観察された。また、No. 11 においては、水中パス終了直後(0.2 sec.)に潜水性徐脈を伴い、VPC との混合型としての発現が認められた。No. 25 においては、入水中に AVJEB の発現を認めたが、明らかな心拍数の変動を伴って

いなかった。

SVPC は 7 名 (No. 4・15・18・28・29・30・33) に観察されたが、すべて散発性であった。No. 4 は潜水中(開始直後 0.9 sec.)に、No. 15・18 では潜水後(それぞれ終了後 2.1 sec., 4.0 sec.)に、No. 28・30 では入水中に、No. 29 では潜水中(終

了直前：開始後 5.0 sec., Fig. 2-B)と遊泳中(終了直前：開始後 5.3 sec.)に, No. 33 では遊泳中(開始直後 0.8 sec.)に SVPC の発現が観察された。このうち, No. 15 では潜水性徐脈と, No. 18 では一過性の頻脈と, また No. 33 ではわずかな頻脈傾向と共に SVPC が認められた。なお, その他の SVPC については, SVPC 前後の心拍数の変化と関連性は認められなかった。

VPC が 3 名 (No. 11・21・26) に認められ, すべて散発性であった。これらの VPC を発現状況別に調べてみると, No. 11 は水中パス終了後 (0.6 sec.) に潜水性徐脈に伴う AVJEB に引き続き発現していた。No. 21 では遊泳中 (開始後 3.7 sec.) に発現した。No. 26 では入水中に 2 回, 遊泳中 (開始後 3.7 sec.) に 1 回, さらに退水後に 2 回 (それぞれ退水後 1.0 sec.・4.2 sec.) の発現が認められた (Fig. 2-C)。

また, 1 名の被験者 (No. 34) において, 入水中に心拍数の変化を伴わずに wandering pacemaker が観察された。

なお, 本研究中に運動や水泳の制限が必要とされるような重篤な不整脈は認められなかった。

Ⅳ. 考 察

A. 心拍数

ヒトは潜水時に心拍数の低下 (diving bradycardia) および末梢血管の収縮といった生理学的な反応を示す¹⁻³⁾。その心拍反応には, 顔面の冷感受容器の受ける刺激^{4,5)}, 止息 (息こらえ) による胸腔内圧の上昇⁶⁾, 止息に伴う酸素の減少および二酸化炭素の増加^{7,8)} など, 多くの要因が複合的に関与していると考えられている。

今回, 健康な乳幼児を対象として検討を行ったが, 乳幼児でも成人と同様な潜水性徐脈が確認された。成人における体動のない止息潜水時の潜水性徐脈に関する報告では, 一般成人を対象としたもので, Butler & Woakes¹⁴⁾ は陸上での安静時の値に対して約 40% の低下を示したとし, 浅井たち¹⁵⁾ は潜水前の 49.0% の低下をみている。一方, 小児を対象とした Ishikawa et al.¹³⁾ の報告では, 健康な中学生で約 50% の低下がみられている。

本研究における心拍数低下率は, 潜水条件では ANMD で 25.0%, ENMD で 18.5%, AKD で 15.0%, EKD で 12.8%, US で 7.8%, 潜水条件ではないが PW で 25.8% の低下を示していた。

Ramey et al.⁹⁾ の 4~13 歳の小児を対象とした報告では, 小児の止息時間は年齢と非常に高い正の相関を示し, 最大の心拍数低下率を示すまで, 少なくとも 25 秒は必要であるとしている。彼らの成績では, 25 秒以上潜水できた小児の平均低下率は 36.1% で成人 (36.1%) と差がないことから, ヒトにおける潜水時の徐脈化をコントロールする生理学的な能力は年齢に依存せず, 生まれながらにしてほぼ決定されたものであろうと結論づけている。本実験での潜水時間は ANMD で 9.5 ± 5.1 , ENMD で 8.1 ± 2.9 , AKD で 8.0 ± 3.5 , EKD で 7.4 ± 2.8 , US で 6.9 ± 2.9 秒と非常に短く, Ramey et al.⁹⁾ の結果と照らし合わせると, 今回の結果が乳幼児の潜水に対する最大の徐脈化能力を示していると言い難い。つまり, 徐脈化の反応のすべてが現れるほどの潜水は今回の被験者には不可能であったということは十分に考えられる。

潜水性徐脈と身体活動の関係に関する報告は多い^{2,16-19)}。Smeland et al.¹⁷⁾ や Stromme et al.¹⁸⁾ は, 運動中に顔面浸水を行い, その心拍反応は非運動時に顔面浸水した時と比較して差はなかったと報告している。その一方で, Bergman et al.¹⁶⁾ は, 安静時および運動時 (dynamic exercise と isometric exercise) に顔面浸水を行い, その徐脈の程度を比較検討している。それによると, 運動中の顔面浸水による徐脈化の程度は dynamic exercise を行った時に最大を示し, 中等度の dynamic exercise は顔面浸水に対する徐脈化を促進することを報告している。この現象について, 彼らははっきりとした理由を述べていないが, 心拍数を増加させるような条件 (運動) と低下させるような条件 (潜水や顔面浸水) が同時に起こると, 徐脈化を促す条件のみの場合よりもさらに強い徐脈反射を引き起こし, 止息および潜水時における生体内貯蔵酸素の有効利用といった潜水性徐脈に合目的に適応しているのではないかと結論づけている。

る。今回の測定結果では、運動を伴わない潜水と比較して、運動を加えた方が心拍数は低下しにくかった。Asmussen et al.²⁾は、中等度および高強度運動中での顔面浸水により引き起こされる徐脈の最低レベルは、止息時間により限界が決定されるようだとし、また止息時間を長くすることができれば、運動により潜水性徐脈は助長される可能性もあると考察している。今回の実験では潜水時間が非常に短いことから、運動を伴った潜水の心拍数減少率は運動の影響より潜水時間の影響を強く受けたのではないかと考えられる。さらに、乳幼児が対象であり、運動のスキルが未熟であるため運動負荷レベルが十分でなく、その結果、運動の影響よりも潜水の影響を強く受け、運動を伴った潜水時における心拍数低下度が抑えられたのではないかと考えられる。

B. 不整脈発現

潜水・水泳中および顔面浸水時の不整脈出現に関する報告は数多い^{10,12,20,21)}。不整脈発現率は測定環境や集団の年齢や身体的特徴によりかなりの差がある。小児を対象とした報告では、全身潜水時に、浅井たち¹⁵⁾は40名中4名(10.0%)、Ishikawa et al.¹³⁾は健康な中学生で40名中21名(52.5%)に何らかの心電図異常を認めている。本研究では、被験者44名中、何らかの心電図異常が認められた者は13名(29.5%)であった。このように、小児を対象とした不整脈発現率に関する報告結果にはかなりの差がある。この差が生ずる原因として、対象および方法の違いだけでなく、不整脈の誘因に対する感受性が同一個体において常に一定ではないことも関与していると考えられる。

本研究の結果を、現場における安全性向上の一助とするという目的からは、不整脈発現率よりもむしろ不整脈の種類や発現様式のほうが重要である。本実験では、VPCを4例に、SVPCを7例に認め、AVJRを1例に、AVJEBを3例に、および wandering pacemaker の発現が1例に認められた。しかし、房室ブロックや心室性頻拍、2秒以上の洞停止など運動や水泳を制限する必要が

あるような重篤な不整脈は認められなかった。期外収縮はいずれも単発で、他の不整脈においても臨床的に重要性を持つものはなかったことから、一応の安全性は確認できたのではないかと考えられる。

本研究でみられた不整脈の種類の特徴として、期外収縮ではVPCよりもSVPCが優位であった。これがすべての乳幼児の特徴であるかどうか定かではないが、1つの要因として乳幼児の身体的な特徴が関与している可能性がある。体温よりも低い温度の水に入った時には末梢血管収縮や水圧などの影響を受け、血液の胸部部へのシフトが起り、それに伴い急激な心房拡張(心房負荷の急激な増加)が引き起こされ、それがトリガーとなってSVPCの発現がみられるという報告がある²²⁾。水中という環境下において、乳幼児は成人に比して水圧の影響を受けやすいとすれば、それに伴う心房拡張も著しく、そのことがSVPCの発現が多いという結果に反映されたのではないかと考えられる。

止息を伴う潜水および潜水泳による不整脈発現の時期に関して、成人を対象とした先行研究では主に潜水後半から終了直後に多くみられるとされている^{12,20)}。本研究においては、潜水・水中パス・遊泳中に不整脈発現が認められたもの9例のうち、施行後半もしくは終了後に不整脈発現が認められたものは5例であった。不整脈の発現が認められた例数が少ないので、この結果から乳幼児水泳中における不整脈発現時期について、不整脈発現は施行後半から直後に起こることが多いかどうか断言することはできない。

Yamaguchi et al.¹²⁾は、健康な成人を対象として、身体活動のない全身浸水時および潜水泳時の2条件で心電図を記録し、SVPCは潜水性徐脈の程度が著しいほどその発現率は高かったと報告している。本実験で確認されたSVPC発現前後の心拍数の状態は、頻脈に伴うものが2例、徐脈に伴うものが1例、心拍数の変化なしに発現が認められたものが4例であり、SVPC発現に関して特徴的な心拍数の状況を示さなかった。VPCにおいては、徐脈に伴うものが1例、心拍数の変化な

しに発現が認められたものが2例であり、頻脈に伴う発現は認められなかった。従って、乳幼児では期外収縮発現と心拍数の変化は関係がうすいと考えられる。徐脈性不整脈として、AVJR(1例)とAVJEB(3例)が認められた。AVJRは水中パス中、AVJEBを認めた被験者のうち2例は水中パス終了直後、1例は入水中に認められた。これらの徐脈性不整脈の発現は、入水中のAVJEB発現を除いて、徐脈に伴っていた。この結果は成人を対象とした先行研究と一致する²²⁾。

C. 本研究の限界

心拍数の反応は精神的な影響も受けることは当然のこととして考えられる。潜水や顔面浸水によりおこる心拍反応に影響を及ぼす精神的要因に関する報告も散見される^{23,24)}。Ross et al.²³⁾は潜水性の徐脈反応に対して、精神的なストレスは抗徐脈的に働くと報告している。乳幼児を対象とした本実験では、精神的にリラックスするよう指示し、安静にさせることは困難であった。当然、かなりの精神的な興奮状態を示した被験者のデータは除外するか、興奮がおさまるまで待ってから測定を開始した。しかし、心電図電極の装着やビデオ撮影などの影響で、被験者の精神面への影響は無視できない点もあったかもしれない。

本研究では、不整脈発現の再現性を検証するためにプロトコールを作成したわけではないので、同じ条件の施行回数が被験者により異なることもあり、小児の水泳および潜水中にみられる不整脈の再現性に関して明らかな結論を示すことはできなかった。

V. 要 約

本研究では、健康な乳幼児を対象として、各種条件下での水中心電図を記録し、心拍反応および不整脈発現について検討した。その結果、乳幼児でも各種潜水により潜水性徐脈が観察された。不整脈に関しては、全体の29.5%に何らかの不整脈が認められ、期外収縮は心室性期外収縮よりも上室性期外収縮が優位な傾向がみられた。また、運動や水泳を中止する必要がある危険な不整脈の

発現は認められなかった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、ベブースイミング協議会の湯本秀子氏には多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝したい。

(受理日 平成13年8月10日)

参 考 文 献

- 1) Manley, L. Apnoeic heart rate responses in humans. A review. *Sports Med.*, (1990), **9**, 286-310.
- 2) Asmussen, E., Kristiansson, N. G. The "diving bradycardia" in exercising man. *Acta. Physiol. Scand.*, (1968), **73**, 527-535.
- 3) Harding, P. E., Roman, D. and Whelan, R. F. Diving bradycardia in man. *J. physiol. (Lond.)*, (1965), **181**, 401-409.
- 4) Anderson, H. T. Factors determining the circulatory adjustment to diving. *Acta. Physiol. Scand.*, (1963), **58**, 173-185.
- 5) Hayashi, N., Ishihara, M., Tanaka, A., Osumi, T., Yoshida, T. Face immersion increases vagal activity as assessed by heart rate variability. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1997), **76**, 394-399.
- 6) Hong, S. K., Moore, T. O., Seto, G., Park, H. K., Hiatt, W. R., Bernauer, E. M. Lung volumes and apneic bradycardia in divers. *J. Appl. Physiol.*, (1970), **29**, 172-176.
- 7) Kawakami, Y., Natelson, B. H., DuBois, A. R. Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. *J. Appl. Physiol.*, (1967), **23**, 964-970.
- 8) Moore, T. O., Elsner, R., Lin, Y. C., Lally, D. A., Hong, S. K. Effects of alveolar PO₂ and PCO₂ on apneic bradycardia in man. *J. Appl. Physiol.*, (1973), **34**, 795-798.
- 9) Ramay, C. A., Ramey, D. N., Harward, J. S. Dive response of children in relation to cold water near-drowning. *J. Appl. Physiol.*, (1987), **63**, 665-668.
- 10) Scholander, P. F., Hammel, H. T., Lemessurier, H., Hemmingsen, E., Garey, W. Circulatory adjustment in peal divers. *J. Appl. Physiol.*, (1962), **17**, 184-190.
- 11) Bonneau, A., Friemel, F., Lapierre, D. Electrocardiographic aspects of skin diving. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1989), **58**, 487-493.
- 12) 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 underwater submersion and swimming studied by ECG telemetry. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), **66**, 43-48.
- 13) Ishikawa, H., Matsushima, M., Nagashima, M., Otaga, A. Screening of children with arrhythmias for

- arrhythmia development during diving and swimming-face immersion as a substitute for diving and exercise stress testing as a substitute for swimming-. *Jpn. Circ. J.*, (1992), **56**, 881-890.
- 14) Bulter, P. J., & Woakes, A. J. Heart rate in humans during underwater swimming with and without breath-hold. *Respir. Physiol.* (1987), **69**, 387-399.
 - 15) 浅井利夫, 森田正人, 栗倉 真, 健康小児・成人における水泳中の心電図変化, デサントスポーツ科学, (1986), **7**, 126-137.
Asai, T., Morita, M., Awakura, M. ECG changes during swimming exercise in healthy children and adults. *DESCENTE SPORTS SCIENCE* (1986), **7**, 126-137 (in Japanese).
 - 16) Bergman, S. A. Jr., Campbell, J. K., Wildenthal, K. "Diving reflex" in man : its relation to isometric and dynamic exercise. *J. Appl. Physiol.*, (1972), **33**, 27-31.
 - 17) Smeland, E. B., Owe, J. O., Andersen, H. T. Modification of the 'diving bradycardia' by hypoxia or exercise. *Respir. Physiol.* (1984), **56**, 245-251.
 - 18) Strome, S. B., Kerem, D., Elsner, R. Diving bradycardia during rest and exercise and its relation to physical fitness. *J. Appl. Physiol.* (1970), **28**, 614-621.
 - 19) Al, A. M., Powell, L., West, J., Townend, J., Coote, J. H. Exercise and diving, two conflicting stimuli influencing cardiac vagal tone in man. *J. physiol. (Lond.)* (1995), **489**, 603-612.
 - 20) Hong, S. K., Song, S. H., Kim, P. K., Suh, C. S. Seasonal observations on cardiac rhythm during diving Korean ama. *J. Appl. Physiol.* (1967), **23**, 18-22.
 - 21) Whayne, T. F. Jr., & Killip, T. D. Stimulated diving in man : comparison of facial stimuli and response in arrhythmia. *J. Appl. Physiol.* (1967), **22**, 800-807.
 - 22) 岡野亮介, 不整脈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.
Okano, Y. The influence of breath holding maneuvers, body water immersion and underwater swimming on the incidence of cardiac arrhythmias. *Jpn. J. Fitness Sports Med.* (1996), **45**, 159-170 (in Japanese)
 - 23) Ross, A., & Steptoe, A. Attenuation of diving reflex in man by mental stimulation. *J. Physiol. (Lond.)* (1980), **302**, 387-393.
 - 24) Paulev, P. E. Cardiac rhythm during breath-holding and water immersion in man. *Acta. Physiol. Scand.* (1968), **73**, 139-150.