

水泳の安全性に関するメディカルチェック — ダイビング反射試験を中心に —

A Study of Medical Check for Predicting Cardiopulmonary Risk in Swimming, focusing on Diving Reflex Test

- I. 氷冷水嚢を用いたダイビング反射試験
- II. ダイビング反射試験の有用性に関する基礎的研究
- III. ダイビング反射試験の再現性
- IV. 心拍数と血圧に及ぼす水圧の影響

住友病院 宇佐美 暢久
(共同研究者) 住友病院 栗原 正
順天堂浦安病院 坂本 静夫
北陸体力科学研究所 岡野 亮介
大阪市立大学 藤本 繁夫

ABSTRACT

1. The diving reflex test with ice bag on supine position is the effective manner as the face immersion method in provoking bradyarrhythmias.
2. Bradyarrhythmias were provoked in high risk cases, but were also observed in healthy persons having a swimming practice without any symptoms.
3. In diving reflex test, the decrease in left ventricular filling and left ventricular systolic function were observed by the echocardiography. These changes were decreased by adding grasping exercise during the test.

4. In healthy university students, AV-nodal rhythm was observed in 58.5%. Supraventricular premature beats and ventricular premature beats were observed too. The longest pause in normals is considered within two second.

5. The bradycardia was suppressed by atropine, suggestig a vagal reflex. But this effect showed an individual difference and circadian change.

6. A reproductibility of arrhythmias were good, but the same arrhythmias were not always provoked.

7. In the body immersion without face immersion, resting heart rate was significantly bradycardic but blood pressure was unchanged. The relationship between heart rate and exercise intensity was unchanged by a hydraulic pressure.

8. A diving reflex test is available in predicting arrhythmias and other cardio-pulmonary risk, but the final decision should be made by further examination such as a telemeter ECG or cardiac performance during actual swimming.

要 旨

1. 背臥位にて氷冷水嚢を用いるダイビング反射試験は、顔面浸水法と同様に不整脈誘発に有効であった。

2. 徐脈性不整脈は水泳中に事故を生じかけた症例で誘発されたが、危険の考えられない健常水泳愛好家にも見られた。

3. 心エコー図法による検討では、左心室充満の低下、左心室収縮機能の低下が観察され、これは必ずしも徐拍化とは一致しなかった。これらの反応は、試験中に上肢筋運動を加えることによって抑制される傾向を示した。

4. 体育大学生多数例の検査では房室結節性調律は58.5%にみられ、上室性期外収縮、心室性期外収縮もみられた。徐脈の正常範囲は2秒以内と考えられた。

5. 徐拍化はアトロピンによって減少し、これが迷走神経反射に由来することが確かめられたが、

その効果には個人差がみられた。また、ダイビング反射による徐拍化は日内変動を示し、これも迷走神経トーンスの変化によると考えられた。

6. ダイビング反射試験の再現性は良好であったが、誘発される不整脈の種類は必ずしも一定ではなかった。

7. 顔面浸水のない体の水浸によって、安静時心拍数は有意に減少したが血圧には変化がなかった。運動に伴う心拍数の増加のスロープは水圧による影響を示さなかった。

8. 以上によりダイビング反射試験は水泳中の不整脈の出現、危険性の有無を判断するのに有用であるが、真に危険が高いか否かは、筋運動が加わる水泳中のテレメータ心電図検査や心機能の変化をも考慮して決定さるべきであろう。

緒 言

水泳中には死亡などの事故の生じることが少なくない。泳ぐことのできる者の溺死原因の中では

不整脈が重視され、水泳中の止息と冷刺激がその誘因と考えられている。水泳中あるいは潜水中の不整脈については、水中テレメータ心電図による検討があり、多様な不整脈が生じることが報告されている。しかし、水泳中の事故防止のための検診として水中テレメータ心電図を多数例に行うことは不可能である。そのため、冷水に顔面を浸し止息させ、不整脈の発生を調べるダイビング反射試験が行われているが、感染防止のためには少量の冷水を繰り返し用いることは避けなければな

らず、多数例に施行することが困難である。

また、ダイビング反射試験時の循環系反応を異常と判定する基準も確定されていない。これらの諸点を考慮し、水泳中事故のニアミス例のダイビング反射試験の検討、危険度の低いと考えられる集団における不整脈の発生の検討、ダイビング反射試験の再現性、不整脈以外の心機能の変化について調査し、ダイビング反射試験施行上の基礎資料を提供する。

I. 氷冷水嚢を用いたダイビング反射試験

住友病院 宇佐美 暢 久
同 栗原 正
同 三浦 融

A Diving Reflex Test with Ice Water Bag on Supine Position

by

Masahisa Usami, Tadashi Kurihara

Dept. of Internal Medicine, Sumitomo Hospital

Tohru Miura

Dept. of Diagnostic Imaging, Sumitomo Hospital

ABSTRACT

The diving reflex test with ice water bag on supine position was performed. In 21 healthy normals, ice water bag method revealed same bradycardic response and provoked bradyarrhythmia in the same case. Bradyarrhythmias were provoked in cases with presyncopal episode on swimming, but were also observed in healthy persons having a swimming practice without any symptoms. In 10 sedentary normals, 10 athletes and 8 cardiac patients, cardiac performance was examined by echocardiography during diving reflex test. Left ventricular filling and left ventricular systolic function decreased on diving reflex test. But these changes were decreased by adding hand grip exercise during the test.

緒 言

氷冷水に顔面を浸し止息をさせるダイビング反

射試験では、衛生面から各人ごとに氷冷水を用意せねばならず、多数例を検査することは困難である。また座位前屈位の記録では心電図波形が不安

定となり、心電図以外の循環系の検査を同時に施行することは困難である。これらの欠点を補うため背臥位にて氷冷水を満した囊で顔面を被い止息させる方法がある。本修正法を用い、まず座位浸水と同様な効果が得られるかを検討し、ついで心エコー図法を用いて心機能の変化、さらに筋運動を加えた際の心機能の変化を調べた。

1. 実験および結果

1.1 両方による徐脈反応の比較

同一被験者に両法によるダイビング反射試験を行い、徐脈反応を比較した。

方法：本検討の対象は健常男性13名、健常女性8名、計21名、年齢60~20歳である。座位前屈位で4肢誘導心電図を記録しながら氷冷水に顔面を浸し、止息（A法）および背臥位にて4肢誘導心電図を記録しながら氷冷水約1,000 mlを満した囊を顔面に置き、止息（B法）の2法を任意に施行順位を交互として休息をはさんで施行した。止息時間は30秒間とし心拍数の変化を比較した。

結果：安静時心拍数は 72.3 ± 8.8 、座位前屈浸水時、心拍数は 61.7 ± 9.1 、背臥位氷冷水囊法では心拍数 59.7 ± 8.7 となった。すなわちA法による値もB法による値も安静時に比較して有意に($P < 0.01$)徐拍化した。しかし、A法とB法の間には有意な差がなかった。すなわちA法B法ともに有意な心拍数の減少を示した(図1)。図2、

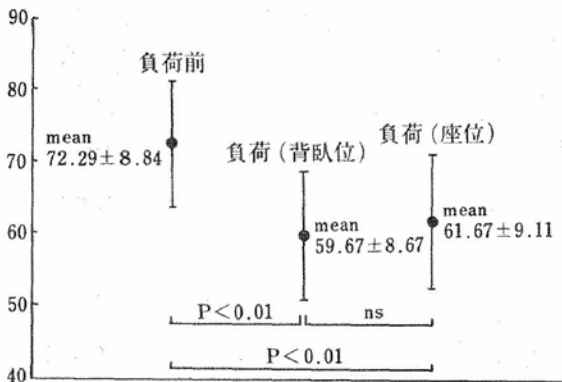


図1 ダイビング反射試験における心拍数の変化、背臥位氷冷水囊法と座位浸水法の比較

3, 4は、50歳男性例の心電図である。安静時には完全洞調律であった(図2)。座位における顔面浸水試験で洞徐脈に伴って結節性補充収縮を生じた(図3)。図4は背臥位における氷冷水囊法による試験の心電図で同様な徐拍化と結節性補充収縮の出現を認めた。

まとめ：背臥位における氷冷水囊によって顔面を覆うダイビング反射試験によっても、顔面浸水と同様な徐脈化、徐脈性不整脈の出現が認められた。

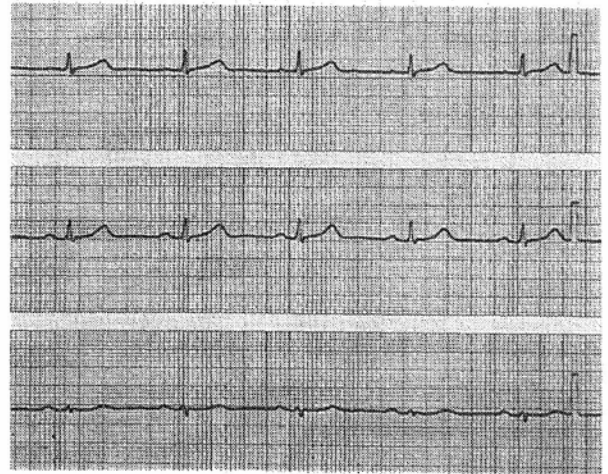


図2 K.Y. 50歳 男性、臥位安静心電図 (I・II・III誘導)

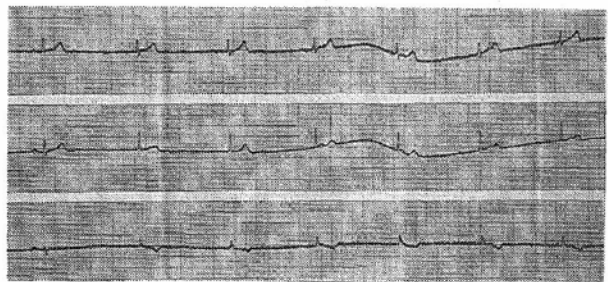


図3 K.Y. 50歳 男性 座位顔面浸水時の心電図

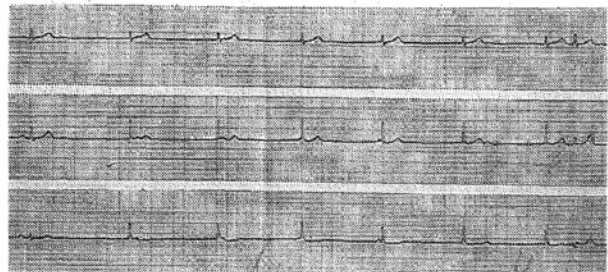


図4 K.Y. 50歳 男性 背臥位氷冷水法による心電図

1.2 氷冷水嚢法による徐脈発生例の検討

本法による徐脈性不整脈発生例は、果して水泳中の高リスク例であろうか。以下に5例の症例を呈示して考察を加える。

図5は50歳男性例のダイビング反射試験時の心電図である。本例は青少年期に障害競走の選手であり、発作性心房細動の既往を有していた。また職場における水泳大会の潜水競争中に意識を失ってプール底に沈み、隣のコースの人に助けられたことがある。本心電図に認められるように、著名な洞リズムの緩徐化と結節性補充収縮および心房性期外収縮の出現があった。これら不整脈の出現により試験は中断されたが、さらに持続したならば意識喪失に至った可能性はある。

図6は水泳トレーニング中に気分不快、めまいを生じ来院した48歳の女性例の心電図である。安静時心拍数56の完全洞調律であったが、氷冷水刺激止息20秒後 PP 間隔は著名に延長し、房室結節

性補充収縮が出現した。PP 間隔6.04秒、RR 間隔2.08秒となった35秒後に中止したが、自覚的にも水泳トレーニング時に感じたと同様な胸内苦悶、めまいを感じた。本例もダイビング反射試験が水泳中の循環反応を再現したものと見られる。

しかし以下の例では、ダイビング反射試験による徐脈性不整脈と水泳中の状態と一致すると考えられない。図7は27歳の男性でフィットネスクラブ指導員で、自らもスキューバダイビング愛好者で、北海道の冷水に潜っている者の心電図である。安静時には図の上段のように心拍数60；PQ 0.18秒の完全洞調律であるが、氷冷水刺激止息40秒で下段のように心拍数49の洞性徐脈とともに PQ 0.26秒に延長し、第一度房室ブロックとなった。

図8は19歳男性で水泳を愛好するフィットネスクラブ指導員の心電図である。安静時には軽度の呼吸性不整脈を示すが、心拍数68であった。氷冷

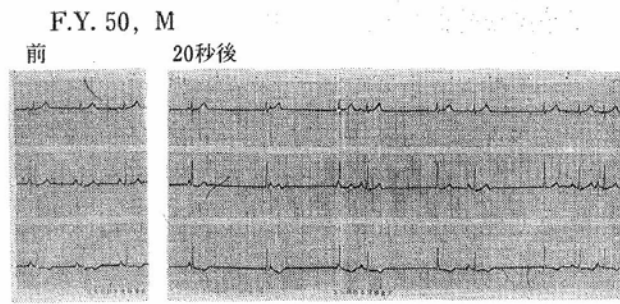
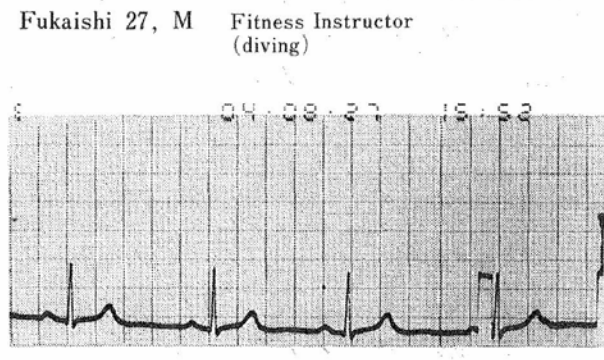


図5 50歳、男性、潜水泳中に失神を生じた例のダイビング反射試験時の心電図



RR1.00 HR60

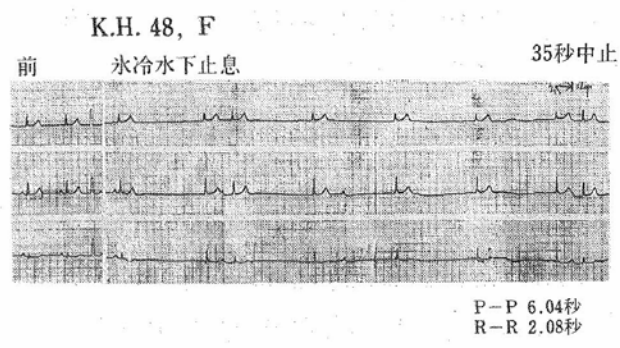
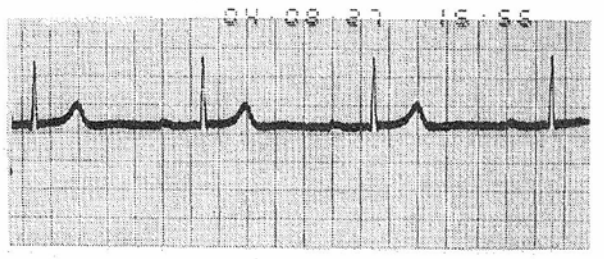


図6 48歳、女性、水泳トレーニング中に不快感を生じた例のダイビング反射時の心電図



RR1.22 HR49

図7 27歳のスポーツマンにおけるダイビング反射試験の心電図

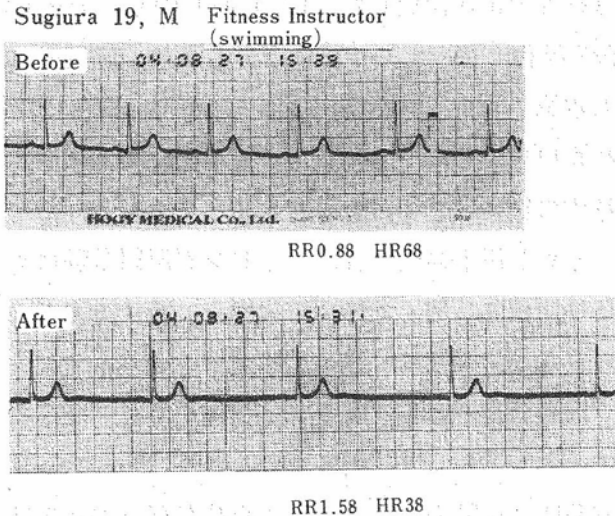


図8 19歳男性スポーツマンにおけるダイビング反射試験の心電図

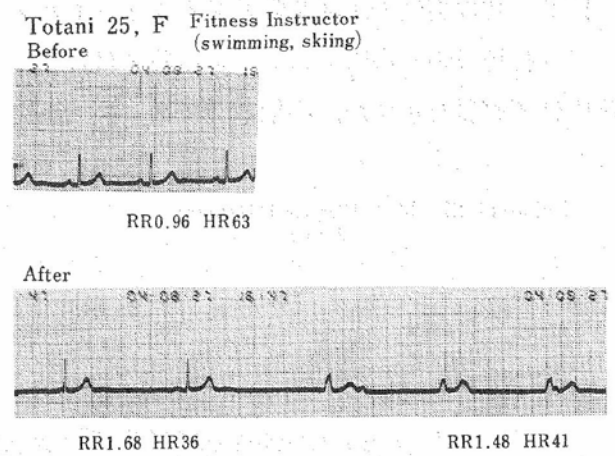


図9 25歳女性スポーツマンにおけるダイビング反射試験時の心電図

水刺激止息によって、30秒後下段に示すようにP波は消失し、結節性補充調律 RR 1.58秒、心拍数38となった。本例は平素の水泳中にはまったく無症状であるが、本試験時には胸苦しさがあった。図9は25歳女性例で、水泳、スキーを愛好するフィットネスクラブ指導員である。安静時には心拍数63、PQ 0.16秒の完全洞調律であったが、氷冷水刺激止息30秒で著大な洞徐脈と房室解離を生じ、さらに補充収縮は房室結節よりも下方に移動し、心室起原の収縮になった。この際、胸苦しさを伴ったが、平素の水泳中には無症状であった。

まとめ：水泳中に失神前と思われる症状を有する例が、ダイビング反射試験に徐脈性不整脈を生じることが認められた。しかし、まったく無症状で水泳を行っているスポーツマンにも徐脈性不整脈を認めることもあり、危険度の高い者と低い者との鑑別は、必ずしも徐脈性不整脈の発生のみからは行われ得ない。

1.3 氷冷水嚢法による左室挙動の検討

顔面冷刺激と呼吸停止は必ずしも迷走神経を介する徐脈性不整脈などの変時性変化を生じるのみではなく、同時に交感神経および迷走神経を介する心挙動の変化、さらに冷刺激による冠動脈の攣縮による心機能の変化を生じうると考えられる。また、呼吸停止に伴う静脈還流の減りによる前負荷の減少も、心力学に影響を及ぼしうる。さらに呼吸停止に伴う静脈還流の減少は、筋運動が加わることによって弱められる可能性もある。これらの諸点を検討するため、本項ではダイビング反射試験時に上肢の筋運動を加え、心エコー図による左室挙動を分析した。

方法：背臥位にて氷冷水嚢法によるダイビング反射試験を行い、心電図および心エコー図を記録した後、左手の握力の30ないし50%の強度の把握運動を1秒ごとに反覆させつつ、氷冷水嚢法によるダイビング反射試験を行った。Mモード心エコー図より、左室拡張終期径 (LVDD) および左室収縮終期径 (LVDs) を求め、左室収縮機能の指標として左室径短縮率 (FS) を算出した。なお、一部の例では第1回の冷水刺激止息の後、5～10分の休息後、僧帽弁口部のパルスドプラー血流波形を記録しつつ冷水刺激止息を行い、拡張期左室流入血液波形より左室流入量の指標として図10に示すように、拡張期左室血液波形全体の面積 (VTI)、急速流入波形の面積 (VTIA) を計測した。対象はとくに運動習慣のない健常男性10例 (27±5歳, I群)、選手としての運動歴があり、現在も運動習慣のある男女10例 (23±2歳, II群)、

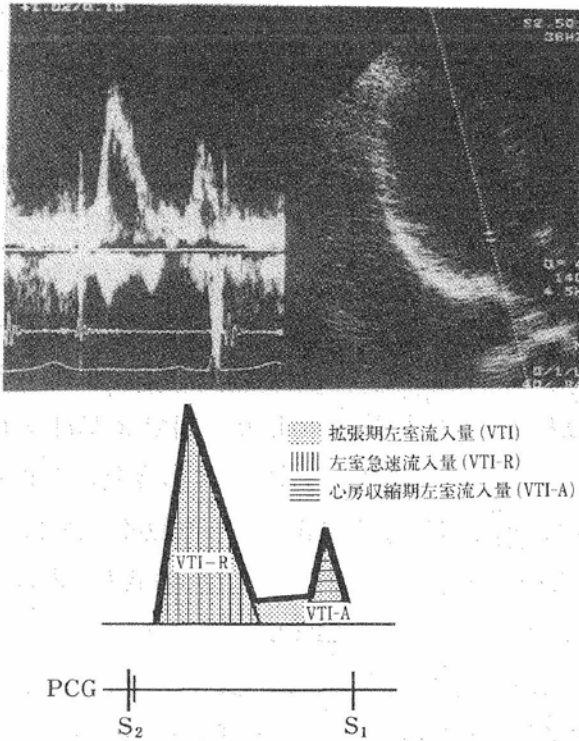


図10 拡張期左室血流指標の計測法

虚血性心疾患を主とする各種心疾患8例(53±10歳, III群)である. 統計学的には paired t-test を用い5%有意水準で判定した.

結果: I群およびII群における心拍数, LVDd, LVDs, FS の氷冷水刺激止息による変化を表1に示す. II群のLVDsを除いて心拍数は有意に減少, LVDdは有意に減少, LVDsは有意に増大, FSは有意に減少した. 把握運動を加えた際の成績は, 背臥位対照計測に対する変化率で示す.

表1 健常者における冷水刺激止息による心挙動の変化

I 群	対 照	冷止息	P
心拍数	70.8 ± 9.9	59.1 ± 7.9	0.01
LVDd	49.6 ± 4.1	48.4 ± 3.6	0.01
LVDs	30.1 ± 4.0	32.3 ± 4.2	0.01
FS	39.6 ± 3.6	33.6 ± 5.2	0.01
II 群	対 照	冷止息	P
心拍数	60.7 ± 8.9	50.9 ± 7.5	0.01
LVDd	47.1 ± 2.8	44.9 ± 4.1	0.05
LVDs	28.7 ± 2.5	29.4 ± 2.4	
FS	39.3 ± 2.6	34.4 ± 3.5	0.01

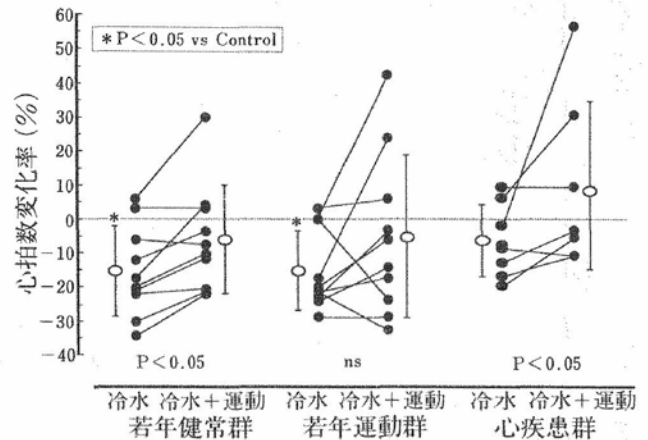


図11 ダイビング反射試験および把握運動追加時の心拍数変化率

図11は心拍数の変化率を示す. 前述のように, I群およびII群は冷刺激止息によって有意な徐脈を示したが, 心疾患群では徐脈傾向を示すが有意差ではなかった. 把握運動を加えることにより徐脈傾向が減弱し, 心疾患では平均値は増加方向に変化し, I群とIII群は冷水止息のみに比較して有意な差を示した. 図12は左心挙動の変化を示す. LVDdは, I群およびII群では冷刺激止息により安静対象記録より有意な減りを示すが, III群では有意差を示さなかった. 把握運動を加えることにより, LVDdの減少が軽減され, いずれの群も安静対照値と有意な差を示さなかった. 冷刺激止息のみと把握運動追加時を比較すると, II群およびIII群では有意な差で大となることが示された. LVDsは冷刺激止息によりI群とIII群では有意に増大したが, II群では有意差を示さなかった. 冷刺激止息と冷刺激把握運動追加時との間には有意な差を示さなかった. FSは冷刺激止息により安静対照よりも各群ともに有意な低下を示した. 把握運動が追加されるとI群およびII群でもその減少が軽減されるが有意差を示さなかったが, III群では冷刺激止息と把握運動追加を比較すると有意な差をもってその減少が軽減された. 図13は冷刺激止息(左)および把握運動追加時(右)の

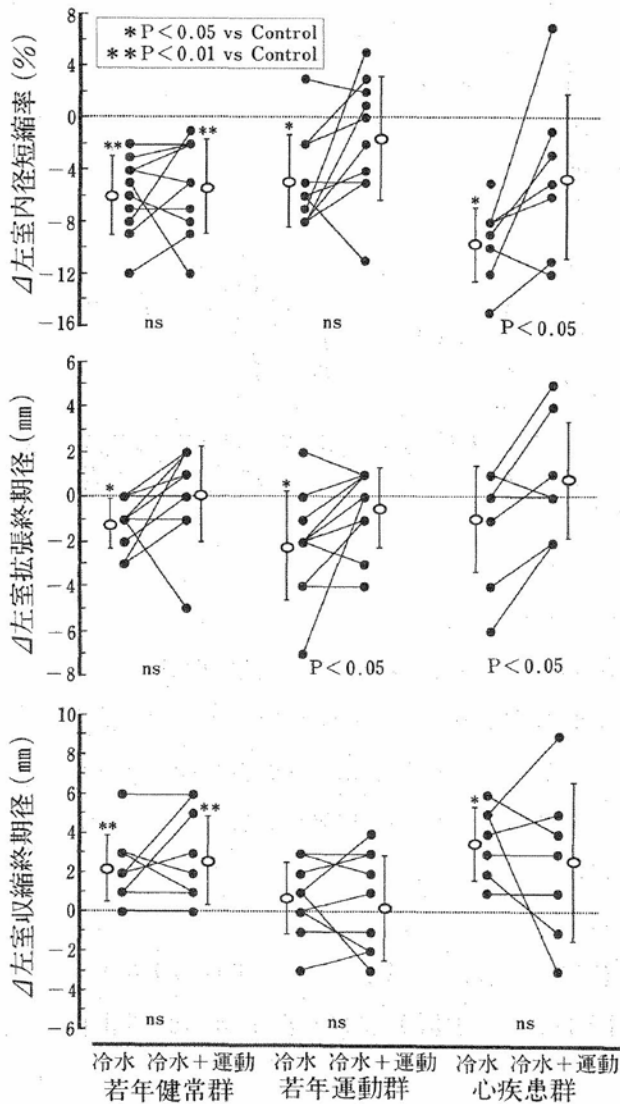


図12 ダイビング反射試験および把握試験追加時の左室挙動の変化

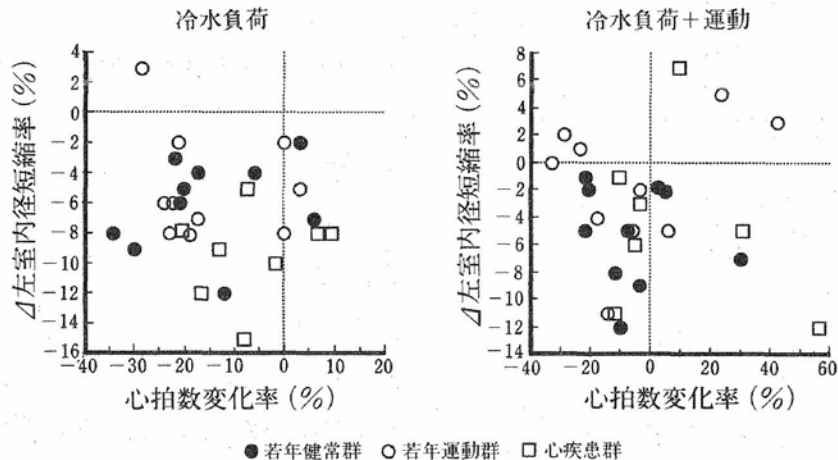


図13 ダイビング反射試験および把握運動追加時のFSと心拍数変化率の関係

FSの変化と心拍数の変化との関係を見たものであるが、いずれの場合でも有意な関係はなかった。

VTIとVTI-Aの冷刺激止息による変化は変化率で観察した。VTI変化率は健常群 $-20 \pm 12\%$ 、若年運動群 $-12 \pm 22\%$ 、心疾患群 $-12 \pm 20\%$ と健常群で有意の減少を示し、他の2群でも大多数で減少し、VTI-R、VTI-Aも減少傾向を示した(図14)。房室解離を生じた2例ではVTIの増加を認めた。各症例ごとにVTIの変化に占めるVTI-R、VTI-Aの変化の比率を見るとVTIの減少を生じた多くの例でVTI-Rの減少の占める割合が大であった(図15)。

%FSの変化とVTI-Rの変化、VTIの変化との間には有意の相関($r = 0.636$, $r = 0.556$, $P < 0.01$)が認められ(図16)、左室充えいの変化が左心機能の変化に関係すると考えられた。一方、心拍数変化はVTI-Rの変化との間には有意の関係を認めず、VTIとの間にのみ $r = -0.564$ の弱い負の相関が認められ(図17)、徐拍化に伴い緩徐流入量が増すことにより急速流入量の減少を代償していると考えられた。また、多くの例が心拍数減少、左室流入量減少を示し、心拍出量減少の象限に属していた。

まとめ：ダイビング反射試験中に、健常例では

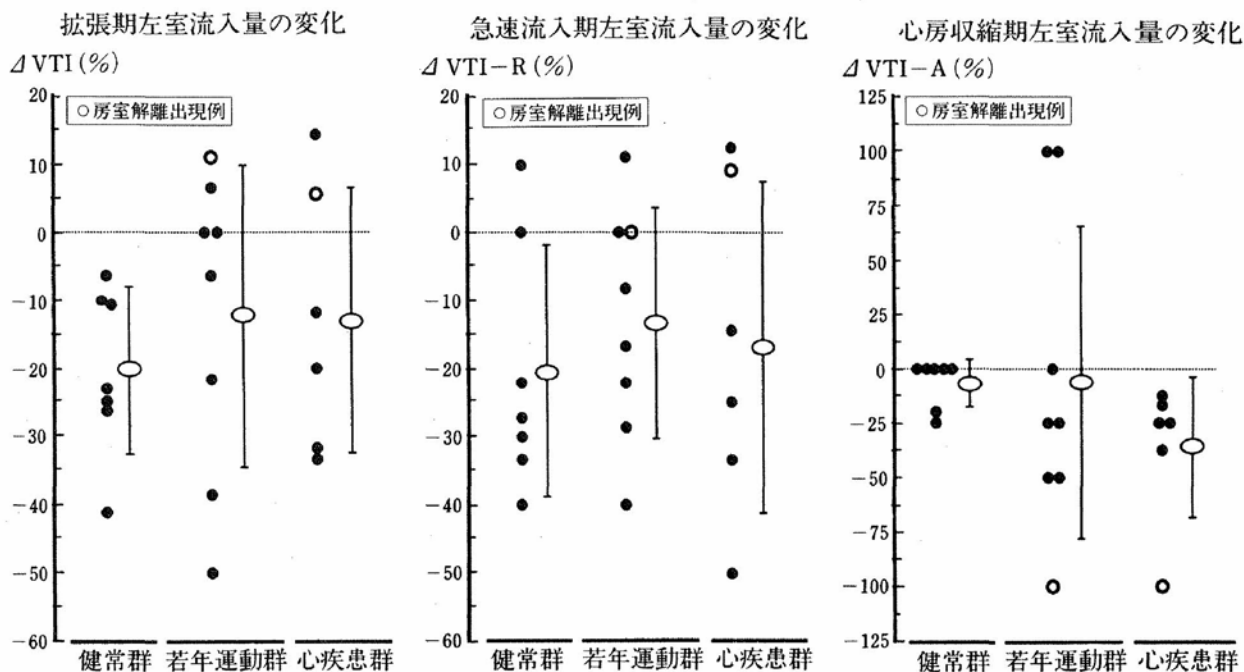


図14 ダイビング反射試験時の拡張期左室流入量の変化

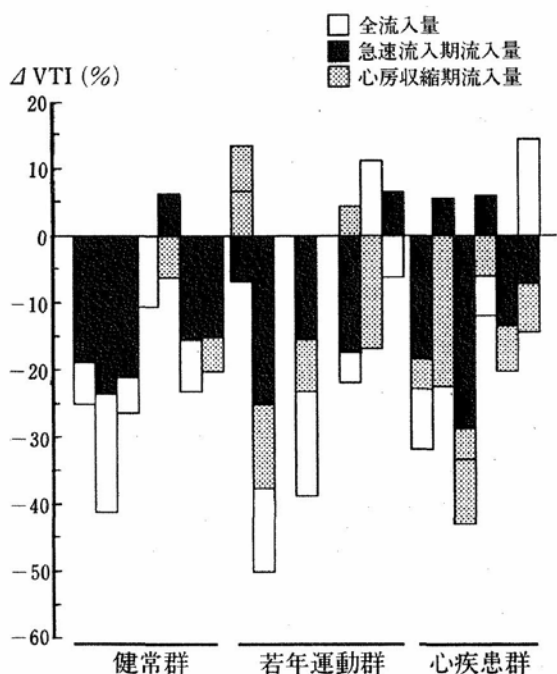


図15 拡張期左室流入量の変化 (ΔVTI) に対する急速流入量, 心房収縮期流入量の変化の比率

左室充えいの減少がみられ、これが左室収縮の低下に関係する。試験中に筋運動を加えると左室充えいの減少が軽減することが、拡張終期径の減少の軽減からうかがわれた。スポーツマンならば

に心疾患患者では、やや異なった変化態度が観察された。

考察：ダイビング反射試験時には全身の末梢血管収縮を生じ後負荷の増大を生じ、左心機能を抑制するとの報告もある^{1, 2)}。しかし本研究では、左室拡張終期径の減少、左室内径短縮率の低下が著明であり、左室流入量の検討で示されるように、左室前負荷の減少も大きい要因となることが推定される。把握運動を加えると、これらの変化が軽減されることも前負荷の影響が大きいことが推定される。心疾患群では拡張末期径の減少よりも、収縮終期径の増大が内径短縮率の減少に大きく関与しており、健常群とは異なった要因が関係していることが推論される。すなわち Saino らの³⁾業績で示されているように、冠攣縮-心筋虚血-心収縮機能の低下という連関も否定されない。

ダイビング反射試験時の心拍数の減少反応は把握運動を加えることにより軽減したが、心疾患群では健常2群、殊に運動群に比し、ダイビング反射試験時の徐脈化反応が軽度であったこと、また把握運動の追加により心拍数の減少反応が有意に

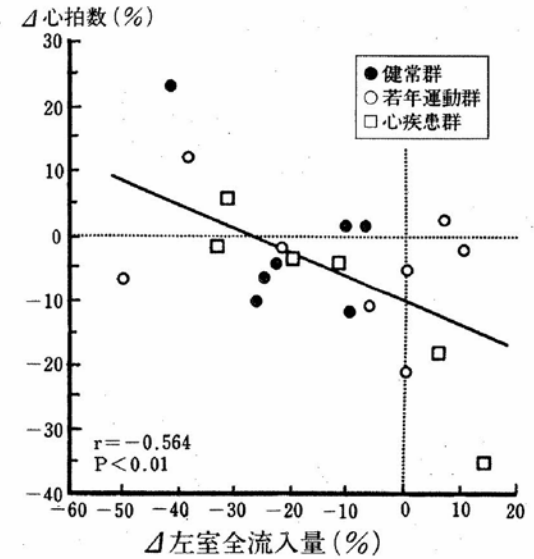
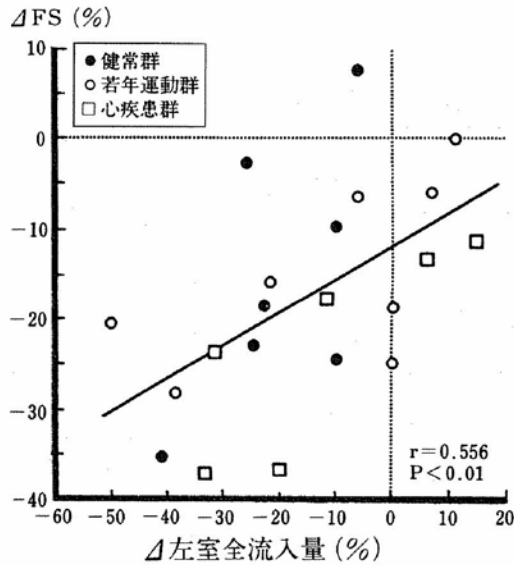
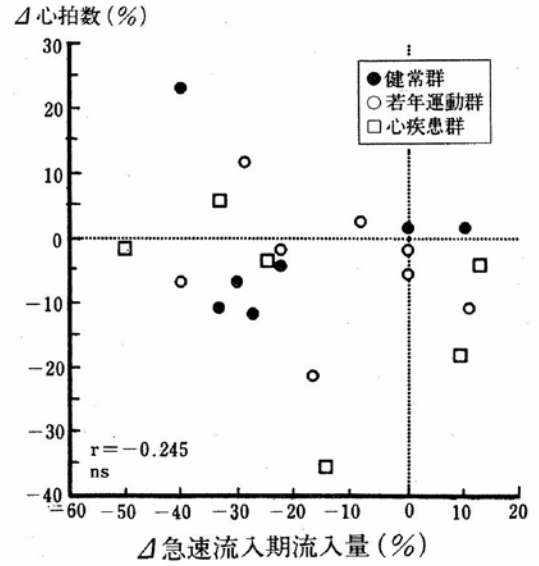
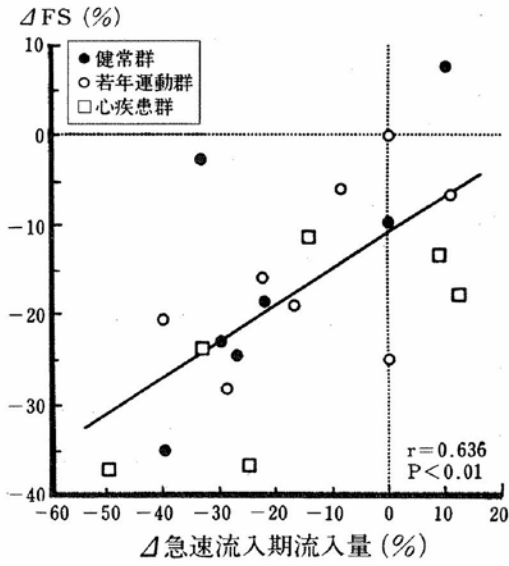


図16 左室内経短縮率の変化(ΔFS)と急速流入量、左室全流入量の変化の関係

図17 心拍数変化と急速流入量、左室全流入量の変化の関係

抑制され、コントロール時に比し、むしろ増加したことは心疾患における迷走神経反射の障害、あるいは交感神経の反応性亢進を示唆する。ダイビング反射時に房室解離を生じた2例では、拡張期左室流入量が増加していることは不整脈の出現と心力学の変化の出現が一致せず、異なるメカニズムが存在することが推定される。

文 献

- 1) Heistad, D. D., et al. ; Vasoconstrictor response to simulated diving in man, *J. Appl. Physiol.*, **25**, 542-549 (1968)
- 2) Gross, P. M., et al. ; Left-ventricular performance in man during breath-holding and simulated diving, *Undersea Biomedical Research*, **3**, 351-360 (1976)
- 3) Saino, A., et al. ; Coronary response to diving in subjects with mild and severe left coronary artery disease, *Eur. Heart. J.*, **13**, 299-303 (1992)

II. ダイビング反射試験の有用性に関する 多数例での基礎的検討

順天堂大学 坂本 静 男

A Basic Study on Diving Reflex Test

by

Shizuo Sakamoto

*Dept. of Health Sports Med., Urayasu
Hospital, Juntendo University*

ABSTRACT

In 442 healthy university students, the basic study on diving reflex test was examined. AV-nodal rhythm was observed in 58.5%, supraventricular premature beats was 13.7%, ventricular premature beats was 6.4%. The upper limit of normal prolongation in RR was considered within two seconds. The bradycardia was suppressed by atropine suggesting a vagal reflex. But this effect showed an individual difference and circadian change.

緒 言

本項ではダイビングリフレックス試験（潜水反射試験）の基礎的検討に関して述べることにする。これまで、われわれが研究してきたダイビングリフレックス試験のいくつかを示し再検討する。

1. 体育大学生でのダイビングリフレックス試験における徐脈化の程度および誘発される不整脈

に関して

2. この徐脈化の原因としての寒冷刺激および息こらえの影響
3. 各年代における徐脈化の相違
4. この徐脈化に対する迷走神経遮断剤の影響と迷走神経トーマス
5. この徐脈化の日内変動

1. 各基礎的検討項目に関して

1.1 体育大学生でのダイビングリフレックス試験における徐脈化の程度および誘発される不整脈に関して

方法：対象は、水泳実習前のメディカルチェックとしてダイビングリフレックス試験を受けた、体育大学生442名であった。ダイビングリフレックス試験は、図1のように5～6℃の冷水に息こらえをして30秒間顔面を浸水し、浸水前30秒間・浸水中30秒間・浸水後30秒間にわたり、連続1分30秒間心電図記録（Ⅱ誘導）を行った。途中に十分に休息をいれ2回実施した。これらの心電図記録より、浸水前 R-R 間隔と浸水中あるいは浸水直後の最長 R-R 間隔とを測定し、また誘発された不整脈に関しても検討した。

さらに一部の学生に対しては、ホルター心電図記録、トレッドミル運動負荷試験および心エコー

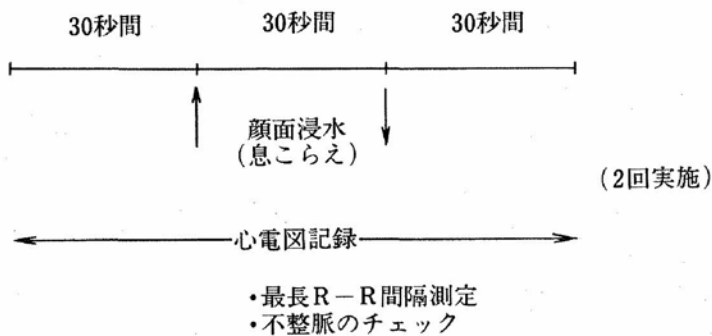


図1 ダイビングリフレックス試験の方法

図記録を実施した。夜間のホルター心電図より R-R 間隔変動係数 (CV_{R-R})、トレッドミル運動負荷試験より負荷中止後の心拍数回復パターンを求め、ダイビングリフレックス試験での最長 R-R 間隔との関連を検討した。心エコー図にて、器質的心疾患の有無を検討した。

結果：体育大学生442名にダイビングリフレックス試験を実施したが、2回ともに30秒間顔面浸水ができた者は357名(80.8%)であった。以後の検討は、これらの学生について行った。浸水前 R-R 間隔、最長 R-R 間隔および R-R 間隔伸び率は、おのおの以下のごとくであった。1回目 0.75 ± 0.16 秒、 1.37 ± 0.45 秒、 $187.1 \pm 59.4\%$ ；2回目 0.78 ± 0.16 秒、 1.39 ± 0.42 秒、 $181.1 \pm 55.7\%$ 。1回目と2回目の最長 R-R 間隔に有意差は認められなかった(表1)。最長 R-R 間隔2秒以上を示した学生は35名(9.8%)で、その最長は4.20秒であった。最長 R-R 間隔2秒以上を示したのが1回目だけの者は8名、2回目だけの者12名、1、2回目ともにの者15名であった(表2)。最長 R-R 間隔の伸び率の2回の比較では、1回目の方が大の者170名

表2 最長 R-R 間隔 ≥ 2 秒の学生

	人数(名)	頻度(%)
1回目のみ	8	(2.2)
1・2回目ともに	15	(4.2)
2回目のみ	12	(3.4)
計	35	(9.8)

表1 2回ともに30秒浸水可能であった体育大学生(357名)でのダイビングリフレックス試験での R-R 間隔

	B	L	$L/B \times 100$ (%)
	浸水前 R-R 間隔(秒)	顔面浸水中あるいは直後の最長 R-R 間隔(秒)	伸び率
1回目	0.75 ± 0.16	1.37 ± 0.45 (0.60 ~ 4.02)	187.1 ± 59.4
2回目	0.78 ± 0.16	1.39 ± 0.42 (0.64 ~ 4.20)	181.1 ± 55.7

表3 最長 R-R 間隔の伸び率
(1回目と2回目の比較)

	人数 (名)	頻度 (%)
1回目>2回目	170	(47.6)
1回目<2回目	185	(51.8)
1回目=2回目	2	(0.6)

(47.6%), 2回目の方が大185名 (51.8%) であった (表3)。最長 R-R 間隔の種目別の比較では、長距離走選手群1.51±0.67秒, 競泳選手群1.50±0.57秒, ウェイトリフティングあるいは投擲選手群

1.40±0.42秒, 弓道選手群1.43±0.57秒と, 持久性種目の選手群でやや長い傾向を認めたが, 各群間で有意差は認められなかった (表4)。

最長 R-R 間隔が著名に延長した 8 名 (2.5秒以上) と延長が極端に少ない 8 名 (1 秒未満) に対して, ホルター心電図記録およびトレッドミル運動負荷心電図を実施した。ホルター心電図での夜間 CV_{R-R} (表5), トレッドミル運動負荷心電図での負荷中止後の心拍数回復パターン (表6) は, 両群間で有意差は認められなかった。ダイビ

表4 最長 R-R 間隔: 種目別

B	L	L/B×100 (%)
浸水前 R-R 間隔 (秒)	顔面浸水中あるいは直後の最長 R-R 間隔 (秒)	伸び率
[長距離走選手 N=10]		
0.93 ± 0.19	1.51 ± 0.67	168.0 ± 88.3
[競泳選手 N=18]		
0.68 ± 0.12	1.50 ± 0.57	226.1 ± 81.6
[ウェイトリフティングあるいは投てき選手 N=12]		
0.74 ± 0.16	1.40 ± 0.42	192.1 ± 53.1
[弓道 N=6]		
0.63 ± 0.14	1.43 ± 0.57	220.3 ± 47.5

表5 ホルター心電図での CV_{R-R} (%)

	1時台	2時台	3時台	4時台	5時台
最長 R-R 間隔	6.22	5.02	5.28	5.22	5.30
著明延長群	±	±	±	±	±
N=8	1.84	1.89	1.77	1.33	0.53
最長 R-R 間隔	6.51	6.74	6.03	5.02	6.62
延長少ない群	±	±	±	±	±
N=8	3.23	3.57	2.20	1.51	3.82

表6 トレッドミル運動負荷試験における負荷中止後の心拍数回復パターン (ピーク時心拍数に対する割合: %)

	1分後	2分後	3分後	4分後	5分後	ピーク時心拍数
最長 R-R 間隔	83.6	69.9	63.0	60.7	59.3	188.5
著明延長群	±	±	±	±	±	±
N=8	6.2	7.7	6.6	7.2	7.8	7.0
最長 R-R 間隔	84.3	72.2	66.9	64.1	63.2	184.0
延長少ない群	±	±	±	±	±	±
N=8	4.3	4.2	3.6	2.9	2.8	5.8

表7 diving reflex 試験時に出現した不整脈

	人数(名)	頻度(%)
房室結節調律	209	(58.5)
房室結節補充収縮	10	(2.8)
心室調律	2	(0.6)
心室補充収縮	4	(1.1)
上室期外収縮	49	(13.7)
心室期外収縮	23	(6.4)
(2連発・多源性・頻発:各2名)		
I度房室ブロック	3	(0.8)
II度→I度房室ブロック	1	(0.3)

ングリフレックス試験にて誘発された不整脈の種類および頻度を、表7に示してある。最も多く認められた不整脈は房室結節調律で、その頻度は209名(58.5%)であった。上室期外収縮は49名(13.7%)、心室期外収縮は23名(6.4%)におのおの認められた。心室期外収縮のうち、各2名ずつ2連発、多源性、頻発を呈していた。第1度房室ブロックが3名(0.8%)に認められ、第2度房室ブロックから第1度房室ブロックに変化したものが1名(0.3%)認められた。心室調律も2名(0.6%)に認められたが、心エコー図記録およびトレッドミル運動負荷心電図記録より器質的心疾患を疑わせる所見は両名ともに発見されなかった。

まとめ:ダイビングリフレックス試験による徐脈化の正常範囲は、今回の結果から最長R-R間隔として2秒以内と思われる。しかしながら最長R-R間隔として何秒以上を異常と考え、潜水などを禁止すべきかという確定的なデータは、今回の結果からは得られていない。現時点では、最長R-R間隔が数秒以上といった著明な延長を呈する者に対しては、潜水は禁止すべきとしかいえないであろう。

CV_{R-R}や運動負荷中止後心拍数回復パターンとの解離より、ダイビングリフレックス試験での徐脈化を検討することは、水泳あるいは潜水時に特有な迷走神経緊張度を推測することに有意義と

思われる。水泳あるいは潜水時の突然死の原因として心停止や不整脈死が推測されていることを考えると、ダイビングリフレックス試験により多くの徐脈性不整脈が誘発されていることは、水泳あるいは潜水のためのメディカルチェックとしてダイビングリフレックス試験を実施することは重要と思われる。

1.2 ダイビングリフレックス試験における徐脈化の原因としての寒冷刺激および息こらえの影響

方法:体育大学生12名を対象にして水温を5℃、15℃、20℃、25℃、35℃にてダイビングリフレックス試験を行った。これらの対象のうち7名に対してはシュノーケルを使用し、空気入口部を開放した状態(息こらえなし)と、閉鎖した状態(息こらえあり)とでダイビングリフレックス試験を行った(水温5℃)。

さらにこれらの対象のうち3名に対しては、シュノーケルを開放にした状態(息こらえなし)で、潜水マスクで口と鼻を覆った状態(顔面が冷水に触れない)と、潜水マスクをつけない状態(顔面が冷水に触れる)とでダイビングリフレックス試験を行った(水温5℃)。

結果:各水温におけるダイビングリフレックス試験での浸水前R-R間隔および最長R-R間隔は、以下のごとくであった。5℃ 0.92±0.21秒→1.52±0.33秒;15℃ 0.90±0.18秒→1.33±0.21秒;20℃ 0.90±0.17秒→1.27±0.22秒;25℃ 0.88±0.16秒→1.03±0.36秒;35℃ 0.85±0.15秒→1.08±0.20秒であった。水温5℃における最長R-R間隔は、20℃、25℃、35℃におけるものに比較して有意に延長していた。水温15℃における最長R-R間隔は、25℃、35℃におけるものに比較して有意に延長していた。20℃における最長R-R間隔は、35℃のものに比較して有意に延長していた(図2)。

シュノーケル空気入口部を開放した状態(息こ

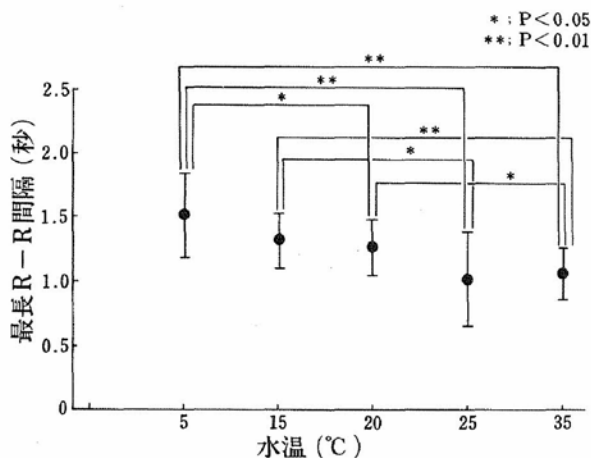


図2 ダイビングリフレックス試験における徐脈化に対する水温の影響 (N=12)

らえなし) および閉鎖した状態(息こらえあり)における浸水前 R-R 間隔, 最長 R-R 間隔は以下のごとくであった。息こらえなし 0.91 ± 0.17 秒 \rightarrow 1.18 ± 0.27 秒; 息こらえあり 0.90 ± 0.16 秒 \rightarrow 1.23 ± 0.22 秒。両群間で有意差は認められなかった。潜水マスクを使用した状態(顔面冷水刺激なし) および潜水マスクを使用しない状態(顔面冷水刺激あり)における, 浸水前 R-R 間隔, 最長 R-R 間隔は以下のごとくであった。顔面冷水刺激なし 0.87 ± 0.10 秒 \rightarrow 1.07 ± 0.14 秒; 顔面冷水刺激あり 0.91 ± 0.20 秒 \rightarrow 1.38 ± 0.22 秒。顔面冷水刺激ありの方が, 最長 R-R 間隔は有意に延長していた。

まとめ: ダイビングリフレックス試験で認められる徐脈化の原因として, 息こらえと顔面冷水刺激とが以前より考えられている。今回の結果からは, その原因として冷水刺激の方がより大きく関係しているように推測される。

また, 5°C~15°Cにおいて, 徐脈化は顕著に起こってくるように思われる。

1.3 各年代における徐脈化の相違

方法: 対象は健常人114名(男性81名, 女性33名)で, 平均年齢は 34.5 ± 17.3 歳であった。年代別人数は, 10代 37名, 20代 22名, 30代 10名,

40代 16名, 50代 17名および60代以上12名であった。これらの対象に, 前述の方法でダイビングリフレックス試験を実施した。この心電図記録より浸水前 R-R 間隔と最長 R-R 間隔を求め, これらの値を各年代間で比較検討した。

結果: 年代別の浸水前 R-R 間隔と最長 R-R 間隔とを図3に示してある。各年代の浸水前 R-R 間隔と最長 R-R 間隔とは以下のごとくであった。10代 0.79 ± 0.15 秒 \rightarrow 1.40 ± 0.31 秒; 20代 0.79 ± 0.10 秒 \rightarrow 1.73 ± 0.76 秒; 30代 0.80 ± 0.19 秒 \rightarrow 1.30 ± 0.40 秒; 40代 0.75 ± 0.18 秒 \rightarrow 1.29 ± 0.44 秒; 50代 0.82 ± 0.16 秒 \rightarrow 1.57 ± 0.18 秒; 60代以上 0.78 ± 0.19 秒 \rightarrow 1.23 ± 0.44 秒。20代の最長 R-R 間隔は, 10代, 40代および60代以上のものに比較して有意に延長していた。

年代別の最長 R-R 間隔/浸水前 R-R 間隔比

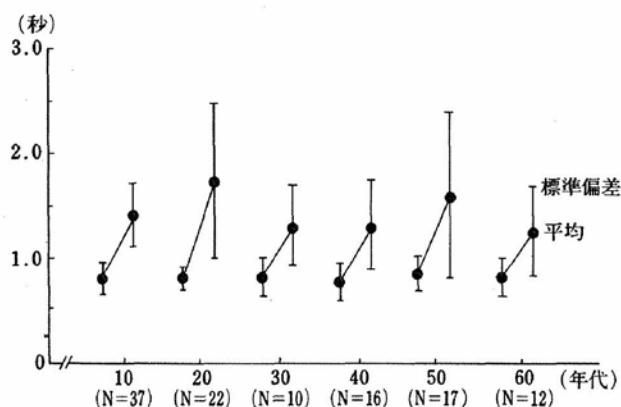


図3 年代別浸水前 R-R 間隔および浸水中最長 R-R 間隔

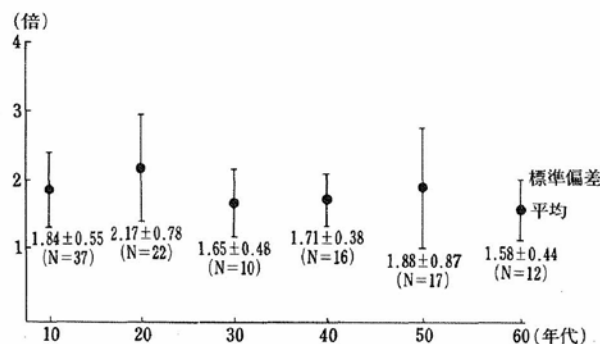


図4 年代別浸水中最長 R-R 間隔/浸水前 R-R 間隔比

表8 浸水中最長 R-R 間隔 2 秒以上の者と 2 秒未満の者との比較

	2 秒以上の者 (13名)	2 秒未満の者 (101名)
年 齢	37.4 ± 16.1歳 (15 ~60)	34.2 ± 17.5歳 (15 ~ 75)
浸水前平均 R-R 間隔	0.96 ± 0.21秒 (0.66 ~ 1.28)	0.77 ± 0.13秒 (0.46 ~ 1.21)
運動歴 あり	6 / 13 (46.2 %)	38 / 101 (37.6 %)
服 薬 なし	13 / 13	99 / 101

を、図4に示してある。各年代のこの比は以下のごとくであった。10代 1.84±0.55；20代 2.17±0.78；30代 1.65±0.48；40代 1.71±0.38；50代 1.88±0.87；60代以上 1.58±0.44。20代のこの比は、40代および60代以上のものに比較して有意に大であった。最長 R-R 間隔 2 秒以上の者13名と 2 秒未満の者101名の比較が表8に示してある。両群間で、年齢、運動歴あり、および服薬なしに関して有意差は認められなかった。浸水前 R-R 間隔に関しては、最長 R-R 間隔 2 秒以上の群の方が 2 秒未満の群よりも有意に延長していた。しかしながら最長 R-R 間隔 2 秒以上の群においても、浸水前 R-R 間隔が0.80秒未満の者が5名もおり、浸水前 R-R 間隔より浸水中の最長 R-R 間隔を推測することは難しいように思われた。

まとめ：最長 R-R 間隔は、他の年代に比較して20代で延長していたが、年齢とともに最長 R-R 間隔が有意に変化することは認められなかった。浸水中の最長 R-R 間隔が 2 秒以上の群では、2 秒未満の群に比較して浸水前最長 R-R 間隔が延長傾向を示していたが、その他の R-R 間隔に影響を与えらるものと思われるものに相違を認めなかった。各年代での最長 R-R 間隔の標準偏差は大きく、最長 R-R 間隔は個人差の大きいことが推測された。

浸水中最長 R-R 間隔は、年代による大きな差はなく個人差の大きいことが判明し、浸水前 R-R 間隔より予測できないことなどより、ダイビングリフレックス試験は個人の迷走神経トーンスを判定するうえで有用な検査法と考えられた。

1.4 ダイビングリフレックス試験における徐脈化に対する迷走試験遮断剤の影響と迷走神経トーンス

方法：対象は、水泳のためのメディカルチェックとして前述のようなダイビングリフレックス試験を受け、さらにロートエキス服用前後でダイビングリフレックス試験を受けた体育大学生15名である。ロートエキス（硫酸アトロピン）の服用量は0.2gであった。迷走神経遮断症状の出現を確認した後に、ロートエキス服用後のダイビングリフレックス試験は行った。ロートエキス服用前後でのダイビングリフレックス試験による徐脈化の程度を比較検討した。

結果：ロートエキス服用前後でのダイビングリフレックス試験における、浸水前 R-R 間隔および最長 R-R 間隔を図5に示してある。浸水前 R-R 間隔は、ロートエキス服用前0.86秒が服用後0.68秒と有意に短縮していた。最長 R-R 間隔も、ロートエキス服用前2.22秒が服用後1.17秒と有意に短縮していた。これらの変化は、ロートエキス服用前に最長 R-R 間隔が 2 秒以上の 9 名でも認められた。また、ロートエキス服用後の最長 R-R 間隔は、15名すべてで 2 秒以内になっていた。

ロートエキス服用前後でのダイビングリフレックス試験による R-R 間隔の変化を、図6に示してある。図の左側はロートエキス服用前の最長 R-R 間隔が 2 秒未満の 6 名について、図の右側は 2 秒以上の 9 名について示してある。両者ともにロートエキス服用後に最長 R-R 間隔は短縮し、個人差が少なくなっていた。しかしながら、ロートエキス服用前の R-R 間隔延長率と服用後の

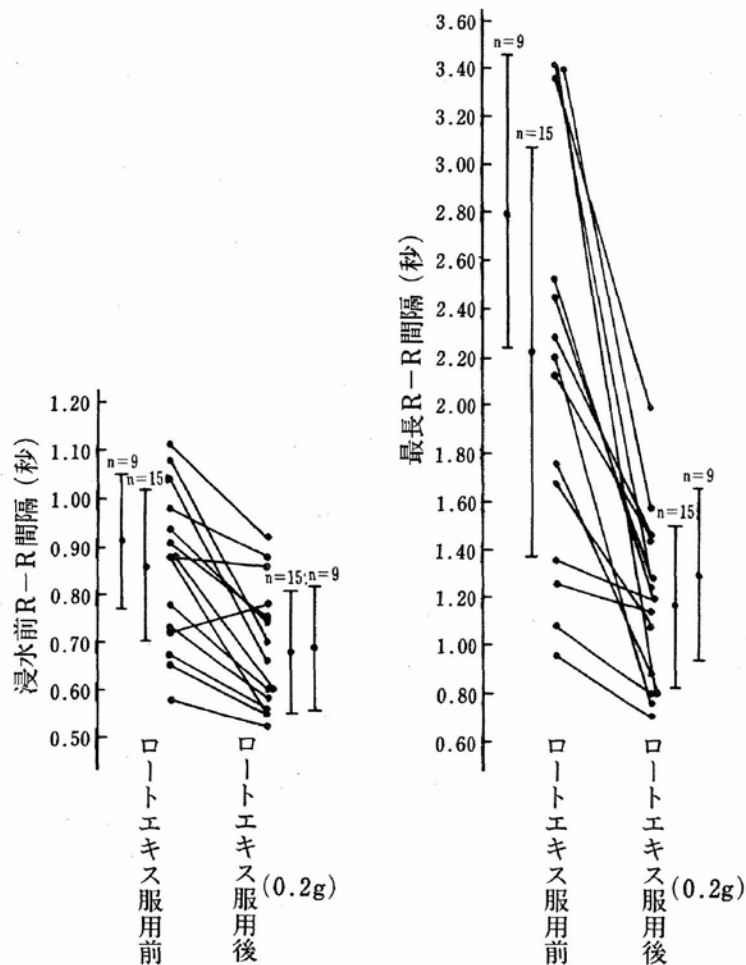


図5 ロートエキス (0.2g) 服用前後での diving reflex 試験における R-R 間隔

R-R 間隔の延長率との間に相関は認められず、アトロピンによる迷走神経遮断作用は一定ではなかった。これらの原因としては、ロートエキス経口吸収量の差やアトロピンに対する反応の個人差などの要因も関与していると推測された。

まとめ：ダイビングリフレックス試験による R-R 間隔は、ロートエキス (アトロピン) によって減少することより、この試験は各人固有の迷走神経トーンスを定量的に評価する方法として有用であろうと考えられた。

1.5 ダイビングリフレックス試験における徐脈化の日内変動

方法：対象は、健常体育大学生男子6名であった。対象全員に対して15時より翌日11時までの間、4時間ごとにダイビングリフレックス試験を実施

した (睡眠は午前2時頃～10時頃)。これらのダイビングリフレックス試験における浸水前 R-R 間隔と最長 R-R 間隔とを測定した。そしてダイビングリフレックスによる徐脈化から、迷走神経トーンスの日内変動を検討した。

結果：各時間帯でのダイビングリフレックス試験における浸水前 R-R 間隔と最長 R-R 間隔とを、図7に示してある。最長 R-R 間隔は15時に比較して19時、午前7時、午前11時の方が有意に延長していた ($P < 0.05$)。各時間帯での最長 R-R 間隔/浸水前 R-R 間隔比を、図8に示してある。この比は15時に比較して午前7時、午前11時の方が大きい傾向を示していた。

まとめ：このダイビングリフレックス試験の日内変動の結果は、従来からいわれているように夜

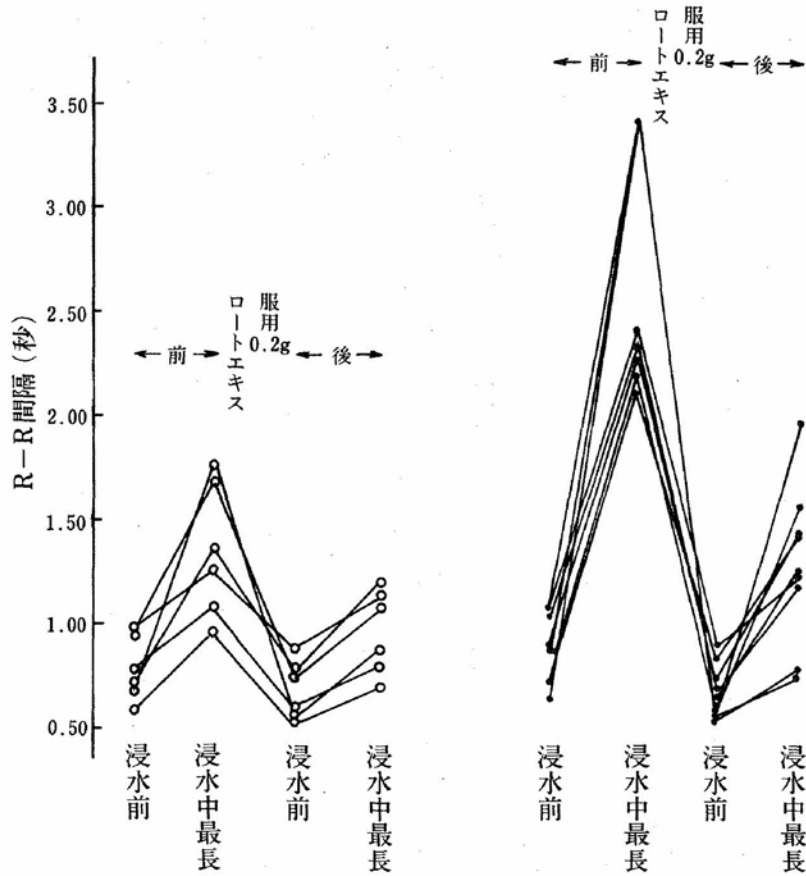


図6 diving reflex 試験による R-R 間隔延長に対するロートエキス (0.2g) 服用の影響

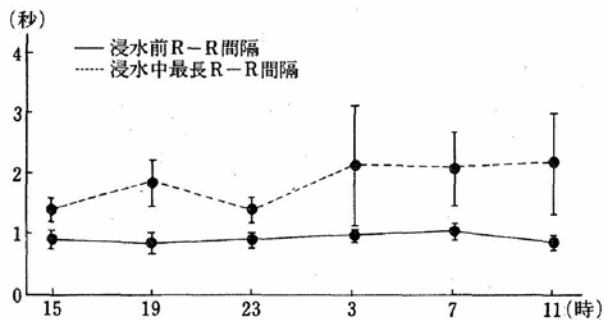


図7 diving reflex : 日内変動

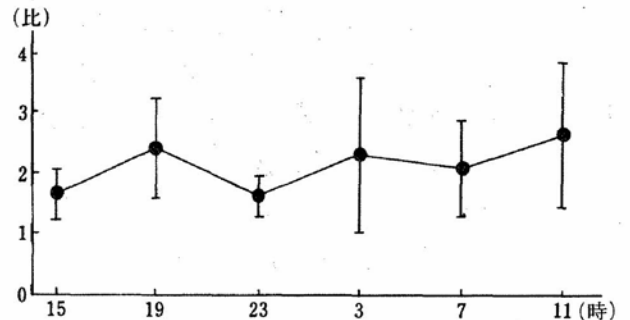


図8 diving reflex の日内変動 : 浸水前後比

間睡眠中の方が迷走神経トーンは昼間に比較して高いことを指示しているように思われた。

2. 考察および結論

ダイビングリフレックス試験での徐脈性不整脈の誘発は、1.1の検討で分かるようにならかなり高頻度である。ほとんどすべての者で洞徐脈が誘発され、約10%の者では R-R 間隔が 2 秒以上に延

長し、著明な徐脈を呈していた。房室結節調律は過半数に認められ、少数に房室ブロックも認められた。さらに、健常人ではまれと考えられている心室調律も、少数にだか認められた。

これらの徐脈化の原因としては、Jakopin and Racoveg¹⁾の報告のように、迷走神経トーンの亢進が推測されている。冷水の顔面(とくに鼻粘膜)に存在する三叉神経への刺激が、中枢神経を

介して迷走神経を刺激し、迷走刺激トーンスを亢進させ、このことが徐脈をもたらすと考えられている。また Whayne and Killip²⁾ の報告では、顔面への冷水刺激が、この徐脈化に対する重要な要因と推測していた。Asmussen and Kristiansson³⁾ は、この徐脈化の要因として息こらえの方を重要視していた。今回の1. 2の検討では、息こらえの影響はわずかで顔面への冷水刺激が主たる要因と考えさせる結果を示していた。また、ダイビンググリフレックス試験における徐脈化の原因は、迷走神経トーンス亢進によるといわれている従来の考えを、今回の1. 4のロートエキス（アトロピン）の服用前後の結果は指示しているように思われる。

これまでに報告されている CV_{R-R} （R-R 間隔変動係数）などを用いて迷走神経トーンスを検討した研究⁴⁾ では、加齢に伴って迷走神経トーンスは低下すると報告されている。今回の1. 3の検討結果では、加齢による変化はほとんど認められず、加齢の影響はほとんど考えられなかった。

今回の1. 4の検討結果や1. 3の検討結果から判断して、ダイビンググリフレックス試験における徐脈化の程度は、他の迷走神経トーンスを推定する方法（ CV_{R-R} など）による結果と解離していた。また、この徐脈化の程度は個人差が非常に大きかった。これらのことは、水泳や潜水のためのメディカルチェックとしてダイビンググリフレックス試験が有用であり、通常の安静時心電図のみでは水泳や潜水中の徐脈化の程度を推測できないことを示唆しているように思われる。迷走神経トーンスは日内変動があることがいわれてきているが、今回の1. 5の検討でも夜間睡眠時の方が昼間時

に比較して迷走神経トーンス亢進を示唆する結果であった。

以上、水泳や潜水のためのメディカルチェックとしてダイビンググリフレックス試験を実施していくことは、各個人の迷走神経トーンスを推定することを可能にするばかりでなく、水泳や潜水中の突然死の予防にも役立つように思われる。ダイビンググリフレックス試験における徐脈化の程度がどのくらいであれば、実際上危険であるかについてはいまだ確定的なことはいえない。最長R-R間隔が2秒以下であれば正常範囲と考えられ、水泳や潜水を行っても危険性はないであろう。しかしながら、2秒を超えた者がすべて水泳や潜水を行うことが危険であるとは必ずしもいえない。ただし最長R-R間隔が5秒や6秒を超える者では、とくに潜水を行うことは危険であろう。

今後もダイビンググリフレックス試験を水泳や潜水のためのメディカルチェックとして実施し、少しでも水泳や潜水中の事故を予防していくために役立てることが重要であろう。

文 献

- 1) Jakopin, J., Rakoveg, P. ; Heart rate and rhythm during underwater swimming, *Cardiologia*, 27, 205-210 (1982)
- 2) Whayne, T. F. Killip, T. ; Simulated diving in man : comparison of facial stimuli and response in arrhythmia, *J. Appl. Physiol.*, 22, 800-807 (1967)
- 3) Asmussen, E., Kristiansson, N. G. ; The "Diving Bradycardia" in exercise man, *Acta. Physiol. Scand.*, 73, 527-535 (1968)
- 4) 藤本順子ほか ; 心電図R-R間隔の変動を用いた自律神経機能検査の正常参考値および標準予測式, *糖尿病*, 30 (2), 167-172 (1987)

Ⅲ. ダイビング反射試験の再現性

財 団 法 人 岡 野 亮 介
北陸体力科学研究所
同 中 正二郎
同 勝 木 建 一

The Reproducibility of Diving Test

by

Ryosuke Okano, Syojiro Naka, Ken-ichi Katsuki
Hokuriku Institute of Wellness and Sports Science

ABSTRACT

A reproducibility of diving reflex was examined 34 normals, a reproducibility of arrhythmias were good, but the same arrhythmia was not always provoked.

緒 言

本項においてはダイビング反射試験の再現性について報告する。

1. 実験方法

1.1 実験 1 (個人内変動)

健康成人男女 3 名 (23~30 歳) を対象とした。被験者は 10 回の顔面浸水を実施した。水温は 5℃ であり浸水時の呼吸位は深吸息位であった。止息時間は各被験者の最近の最大浸水止息時間の約 60% に相当する時間で、被験者 NAK, ARI および MOR の順でそれぞれ 60 秒, 45 秒および 45 秒であっ

た。5 分間の座位安静の後、試行間の休息时间 6 分間をもって連続して実施した。

1.2 実験 2 (同一日再現性)

健康成人男女 19 名を対象とした。年齢は 31.5 ± 9.1 歳 (平均値 ± 標準偏差, 以下同じ) であった。被験者は 5 分間の座位安静の後、深吸息位で 30 秒間、呼息位 (機能的残気量の残る状態) で 30 秒間の顔面浸水を行った後、それぞれの呼吸位でできるだけ長い時間の顔面浸水を実施した。各試行間の休息時間は 3 分間であった。また、水温は 5℃, 15℃ および 30℃ の 3 種類であり各水温ごとに日を変えて行った。

1.3 実験 3 (日差再現性)

健康成人男女12名（実験2の被験者4名を含む）を対象とした。年齢は27.5±3.2歳であった。被験者は4週間以内に2度、ほぼ同時刻に顔面浸水を行った。前記3種の水温と2種類の呼吸位を組み合わせた6種類の顔面浸水を、5分間の座位安静後、試行間の休息时间3分間をもって連続して行った。止息時間は深吸息位で60秒間、呼息位で45秒間であった。なお、心理的影響を排除するため、同一被験者における2度にわたる試行の順序は不同とした。

実験1～3とも安静時、負荷時および回復時（負荷終了後の60秒間）の姿勢は座位であった。安静時の60秒間、負荷時の全過程および回復時の定時および不整脈発現時に心電図（ECG、胸部双極誘導CM₅、日本光電社製のLife Scopell/Fourもしくは同社製の瞬時心拍ユニットAC-611Gと監視計使用）を記録した。実験1においては、

各試行ごとに安静 ECG を記録した。各実験とも実施時刻は午後1時30分～4時の間であった。

心拍数（HR）は、安静時は連続10個のR-R間隔の平均値、顔面浸水時は原則として期外収縮を除いた5秒ごとの連続3個のR-R間隔の平均値と最延長R-R間隔を求めて算出した。顔面浸水時のHRは、値自体と安静時HRに対する相対値{(顔面浸水時HR/安静時HR)×100}より評価した。便宜上、5秒ごとの時系列のHRの相対値は%HR、最延長R-R間隔より求められた最低下HR(HRmin)の相対値は%HRminと表記した。

2. 実験結果

2.1 実験1

被験者の2名（ARIとMOR）にはすべての試行において不整脈の発現が認められ、1名

表1 各被験者の各発現不整脈と不整脈の発現開始時間

被験者	NAK		ARI			MOR		
	負荷時	回復時	負荷時	回復時	不整脈発現開始時間(秒)	負荷時	回復時	不整脈発現開始時間(秒)
1	—	—	AVJR	AVD	11	AVD, AVJR, AVJEB VPC (2段脈)	VPC, AVD	15
2	—	—	AVJR	AVJR	14	AVD, 1° AVB, AVJR	—	21
3	—	—	AVJEB, AVJR AVD	AVJR	20	AVD, 1° AVB AVJR, AVJEB	—	25
4	—	—	AVJR, SVPC	SVPC (2段脈) AVJR	20	AVD, 1° AVB	VPC	26
5	—	—	AVJEB, SVPC	—	23	AVD, 1° AVB AVJEB, SAr	—	40
6	—	—	AVJR, SVPC	—	22	AVD, 2° AVB (W) AVJEB	VPC	23
7	—	—	AVJEB, SVPC	AVD	43	AVD, 2° AVB (M) AVJEB	—	25
8	—	—	AVJEB, AVD	AVD	24	AVD, 2° AVB(M), SAr, AVJEB, AVJR	1° AVB	17
9	—	—	AVD, AVJEB	—	25	2° AVB(M), 1° AVB AVD, AVJEB, AVJR	1° AVB	31
10	—	—	AVJEB, AVD	AVJR	31	AVD, 2° AVB (M) 2° AVB (W)	—	25

AVJEB : 房室接合部性補充収縮

AVJR : 房室接合部2補充調律

AVD : 房室干渉解離

1° AVB : 1度房室ブロック

2° AVB : 2度房室ブロック

SVPC : 上室性期外収縮

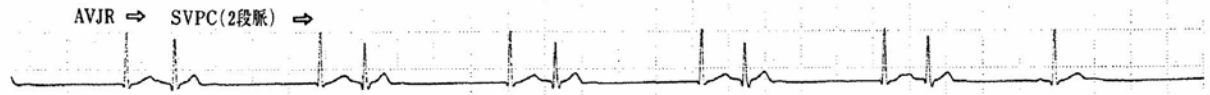
VPC : 心室性期外収縮

SAr : 2.0秒以上の洞停止

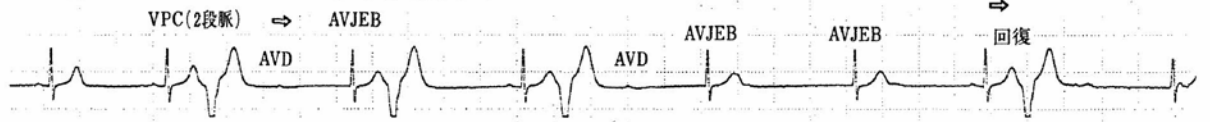
2° AVBの()内のWは Wenckebach型

Mは Mobitz型を示す

1. 被験者ARI 6回目 負荷時



2. 被験者MOR 1回目 負荷時・回復直後



3. 被験者MOR 8回目 負荷時

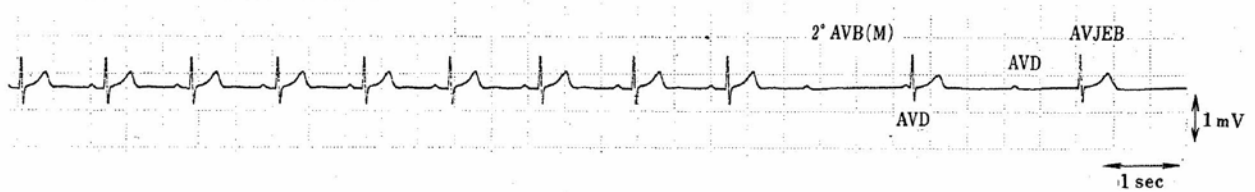


図1 ECG の記録例 (実験1)

表2 各被験者の HRrest, HRmin および % Rmin

被験者	項目	平均値	標準偏差	変動係数 (%)
NAK	HRrest (b/min)	66.6	2.6	
	HRmin (b/min)	56.2	2.1	3.73
	% HRmin (%)	84.5	4.8	5.73
ARI	HRrest (b/min)	80.2	4.0	
	HRmin (b/min)	42.4	3.6	8.36
	% HRmin (%)	53.2	6.1	11.40
MOR	HRrest (b/min)	76.2	3.0	
	HRmin (b/min)	31.6	2.7	8.59
	% HRmin (%)	41.4	3.4	8.16

(NAK) にはすべての試行において認められなかった(表1, 図1にはその発現記録例). ただし, 前2者の発現内容はすべての試行において一致しているわけではなかった. すなわち, 負荷中において被験者ARIでは房室接合部性補充収縮(AVJEB)と補充調律(AVJR)という徐脈性不整脈が主体となりながらも, 4~7回目には上室性期外収縮(SVPC)という頻脈性不整脈が発現した. 同様に被験者MORではAVJEBと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(2°AVB)という徐脈性不整脈が主体ながら, 最初の試行では心室性

期外収縮(VPC)という頻脈性不整脈の発現が見られた. また, 2°AVBにしてもWenckebach型とMobitz II型が認められるときがあった. さらに不整脈の発現開始時間も両者とも概ね20~30秒の間であったが, 10~15秒および40秒以上のときもあって, ばらつきが大きさが認められた.

HRminは不整脈発現者の方が非発現者よりも低い傾向であり, %HRminも同様であった. またHRminと%HRminの変動係数は, 不整脈非発現者でそれぞれ3.73%と5.73%に対し, 発現者はより大きい傾向であった(表2).

2.2 実験2

できるだけ長く顔面浸水したときの止息時間は、深吸息位の5~30℃および呼息位の5~30℃の順で78.8±41.2, 88.7±39.5, 98.3±38.9秒および50.8±17.1, 62.1±28.2, 69.3±28.1秒であった。

顔面浸水前の安静時HR (HRrest) は、5~30℃の順でそれぞれ75.3±15.8, 75.6±12.3および73.7±12.0拍/分であったが2度の顔面浸水時の各HRmin (2回目は30秒以内の値) はいずれも0.1%水準で有意に低い値であった (1回目は深吸息位5~30℃および呼息位5~30℃の順で45.0±11.2, 51.9±9.2, 59.9±10.9拍/分および40.8±10.8, 43.8±13.5, 58.3±12.0拍/分であった。2回目は前記同順で48.2±11.2, 54.8±10.4, 61.9±9.7拍/分および42.1±12.5, 49.4±11.7,

62.6±10.5拍/分であった)。HRmin の水温を基準とした比較では、1回目の呼息位の5℃と15℃のときを除いて、2度の試行の両呼吸位において、温度の低いときの方が有意な水準をもって低い値であった。呼吸位を基準にした比較では、2度の試行に共通して15℃では呼息位のときの方が深吸息位のときより有意に低い値であった。

% HR の相関係数の時系列変動を、各条件ごとに図2に示した。各条件とも止息時間の経過に伴う特別な傾向は認められなかったが、5℃呼息位の5秒目と30℃呼息位の30秒目を除いては、すべて有意な相関係数を有した。2度の試行における不整脈の発現状態の対応関係を、2度目は30秒以内と30秒以降に細分化して表3に示した。また、その発現記録例は図3に示した。本実験で発現し

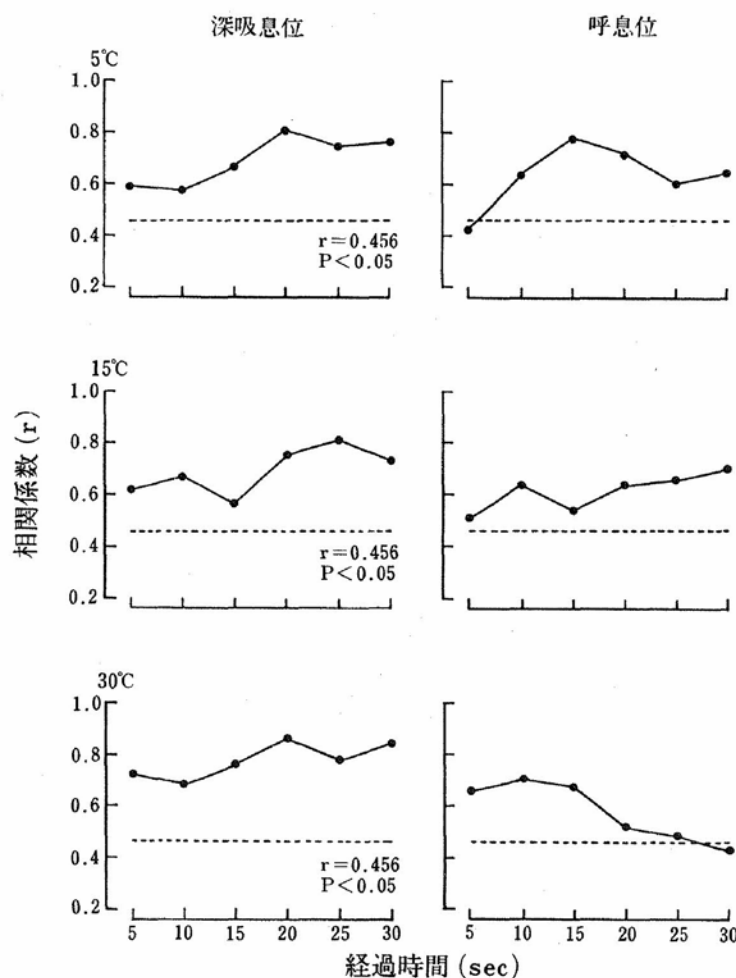


図2 各条件における顔面浸水中の % HR の相関係数の時系列変動 (実験2)

表3 各条件における発現不整脈の対応関係 (実験2)

(A) 深吸息位

被験者	5 °C		
	1 回目	2回目 (30秒以内)	2回目 (30秒以降)
OKR	—	—	—
ITH	AVJEB	AVJR	AVJR, AVJEB
MIT	—	—	AVD *
ETI	—	—	SAr *
NIS	AVJR	—	SVPC, VPC, AVJEB
MAM	2° AVB(W), AVJR	2° AVB(W), AVJR	2° AVB(W), AVJR
TAN	SVPC, AVJR	—	SVPC, AVJR
YAM	SVPC, AVD, AVJEB	AVJR	SVPC, AVJR
NAG	—	—	VPC *
MIY	—	—	— △
KAN	—	—	—
DOM	—	—	—
HAY	SAr, AVJEB	AVJEB	AVJR
MAK	SAr, AVJR	SAr, AVJR	AVJR, AVD
TAN	—	—	—
ENO	AVJR	AVJR	AVJR, SVPC △
NAK	—	—	—
MOR	ADD, AVJR	AVD, AVJR	—
ARI	AVJR	AVJR	AVJR △

(B) 呼息位

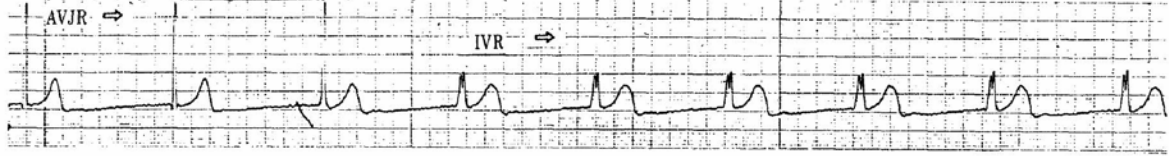
被験者	5 °C		
	1 回目	2回目 (30秒以内)	2回目 (30秒以降)
OKR	—	—	1° AVB *
ITH	AVJR	AVJEB	AVJEB
MIT	—	—	—
ETI	2° AVB(M)	SAr	—
NIS	AVJR, IVR	AVJR	AVJR, SVPC, IVR
MAM	2° AVB(W), AVJR	2° AVB(W), AVJR	2° AVB, AVJR
TAN	AVD	—	SVPC, AVJR
YAM	SVPC2連発, VPC2連発, AVJR	SVPC, AVJEB, AVJR	SVPC, AVJR
NAG	VPC, SVPC	VPC	VPC
MIY	—	—	—
KAN	SVPC	—	SAr ◎
DOM	AVJEB	AVJR	—
HAY	AVJEB	AVJEB, AVJR	AVJR
MAK	SAr, AVJR	SAr, VEB, AVJR, SVPC	AVD, AVJR, AVD
TAN	AVJEB	—	— *
ENO	AVJR	AVJR	AVJR △
NAK	AVJR	AVJR	AVJR, SAr,
MOR	AVJEB, AVD, 1° AVB	AVD, 2° AVB(W),	2° AVB(M), VEB
	2° AVB(M), AVJR	AVJEB, 1° AVB	2° AVB(W), AVJEB,
ARI	AVD, AVJR	AVD, AVJR	AVD, AVJR, 1° AVB
			AVJR △

AVJEB : 房室接合部性補充収縮 SAr : 2.0秒以上の洞停止 IVR : 心室固有調律 1° AVB : 1度房室ブロック
 AVJR : 房室接合部性補充調律 SVPC : 上室性期外収縮 2° AVB : 2度房室ブロック VEB : 心室性補充収縮
 AVD : 房室干渉解離 VPC : 心室性期外収縮 2° AVBの()内のWは Wenckebach型, Mは Mobitz型を示す

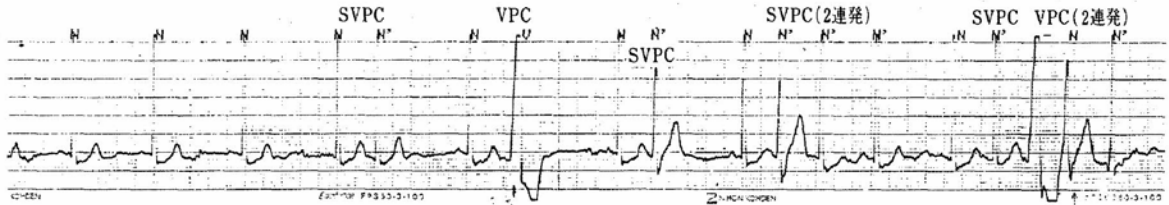
15℃			30℃		
1 回 目	2 回 目 (30 秒以内)	2 回 目 (30 秒以降)	1 回 目	2 回 目(30 秒以内)	2 回 目(30 秒以降)
—	—	SVPC *	—	—	—
—	—	AVJEB, AVJR *	—	—	AVJR *
—	—	—	—	—	— △
—	—	SAr *△	—	—	—
AVJR	AVJR	AVJR △	—	—	AVJR *
—	—	1° AVB, AVD, AVJR *△	—	—	AVJEB *
—	—	—	—	—	—
—	—	AVJEB *	—	—	—
VPC	SVPC, VPC	— △	—	—	—
—	—	AVJEB, AVJR *	—	—	—
—	—	— △	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	AVJEB *	—	—	—
—	—	— △	—	—	—
—	—	—	—	—	AVJR *
—	—	—	—	—	—
2° AVB(M), AVD, AVJEB, AVJR AVD, AVJR	2° AVB(M), AVJR, AVJEB —	AVD, AVJR, 1° AVB AVJEB, AVD AVJR	—	—	—

15℃			30℃		
1 回 目	2 回 目 (30 秒以内)	2 回 目 (30 秒以降)	1 回 目	2 回 目(30 秒以内)	2 回 目(30 秒以降)
—	—	—	—	—	—
AVJR	—	AVJR	—	—	SVPC *
SVPC	—	SVPC	—	—	—
2° AVB (M)	SAr	SAr	SAr	—	— *
AVJR	AVJR	AVJR △	—	—	AVJR *△
1° AVB, AVJR, AVJEB	1° AVB, AVD	1° AVB, AVD, AVJEB, AVJR	—	—	AVJEB, AVD, 1° AVB *
—	—	—	—	—	—
VPC 2 段脈	—	— *	—	—	—
SVPC, VPC 2 連発	VPC	— △	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	— △
—	—	—	—	—	—
AVJEB	AVJR	AVJR	—	—	—
SAr	—	SAr, AVJEB	—	—	—
—	—	—	—	—	—
AVJR	—	AVJR	—	—	— △
—	—	—	—	—	—
2° AVB(W), AVD, AVJR, AVJEB, SAr AVJR	2° AVB(M), AVD, AVJEB AVJR	2° AVB(M), AVD, AVJEB AVJR △	—	—	—

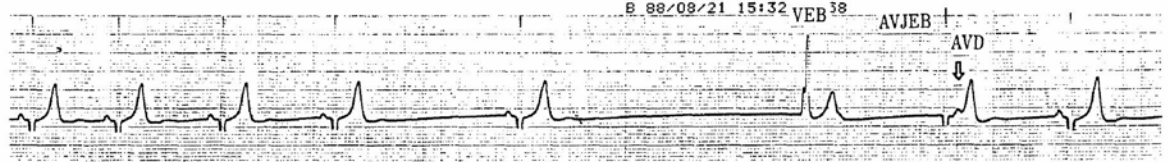
1. 5°C 呼息位 負荷時



2. 15°C 呼息位 負荷時



3. 5°C 呼息位 負荷時



4. 5°C 深吸息位 負荷時



5. 15°C 呼息位 負荷時

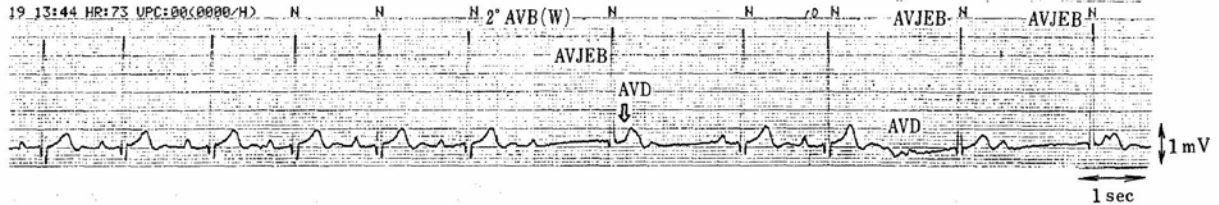


図3 ECGの記録例(実験2)

た不整脈の中で実験1の中で観察されたもの以外としては、心室固有調律(IVR)と心室性補充収縮(VEB)があった(両者とも徐脈性不整脈である)。2度の試行の両呼吸位において、ともに水温が低いほど不整脈発現者は多く、また15°C以下では呼息位の方が発現する確率はやや高い傾向にあった。

表中の*印は1回目に発現はあるが2回目にはない場合、あるいは1回目には発現はないが2回目のどちらかにある場合を示している。15°Cの深吸息位を除いた条件では不一致者数(*印の数)

は4名以下であった。また、発現者数を基準にすれば5°Cと15°Cの条件では深吸息位より呼息位の方がより不一致者は少なかった。また、1回目と2回目の発現した不整脈で徐脈性と頻脈性の種類が異なったのは5°C呼息位の被験者KAN一例のみであった(SArは2.0秒以上の洞停止の意で徐脈性である)。

表中△印は、2回目の回復時において不整脈の発現のあったことを示している。これより顔面浸水中には不整脈の発現はないが、回復時にのみ観察される例のあることも認められた。

2.3 実験3

顔面浸水前の HRrest は1回目は71.9±9.9拍/分、2回目は72.8±11.2拍/分でほぼ同値であった。2度の顔面浸水時の HRmin はいずれも0.1%水準で有意に HRrest より低い値であった。(1回目は深吸息位 5~30℃および呼息位 5~30℃の順で47.6±6.4, 49.7±8.4, 53.7±6.8拍/分および44.6±7.5, 47.9±10.2, 53.6±8.5拍/分であった。2回目は前記同順で46.5±6.4, 49.9±6.6, 53.2±6.5拍/分および45.5±6.9, 49.8±9.7, 53.8±11.3拍/分であった)。HRrest の水温を基準とした比較では、1回目の深吸息位の 5℃と15℃の間を除いて、2度の試行の両呼吸位において、温度の低いときの方が有意な水準をもって低い値であった。

2度の顔面浸水中における% HR の相関係数の時系列変動を各条件ごとに図4に示した。相関係数が有意な水準を持つのは、深吸息位の5℃で

は浸水後40秒以降、15℃では35秒以降、30℃では45秒以降であった。呼息位の5℃では15秒以前と30秒以降、15℃では10秒以前と30秒以降、30℃では40秒以降であった。

2度の顔面浸水における不整脈の発現状態の対応関係を表4に、その発現記録例を図5に示した。表4の不整脈は回復過程での発現も含めている。表中の*印は不整脈発現の対応の不一致を示している。深吸息位の15℃を除いた条件では不一致者数は2名以下であった。また、2度の試行で発現不整脈の種類(徐脈性・頻脈性)が完全に不一致になる例はなかった。また発現者数を基準に対応させると、5℃と15℃では深吸息位より呼息位の方が良い対応関係を示した。

3. 考察

潜水反射試験は水中運動前のメディカルチェックの1つとして推奨されており、このときのHR

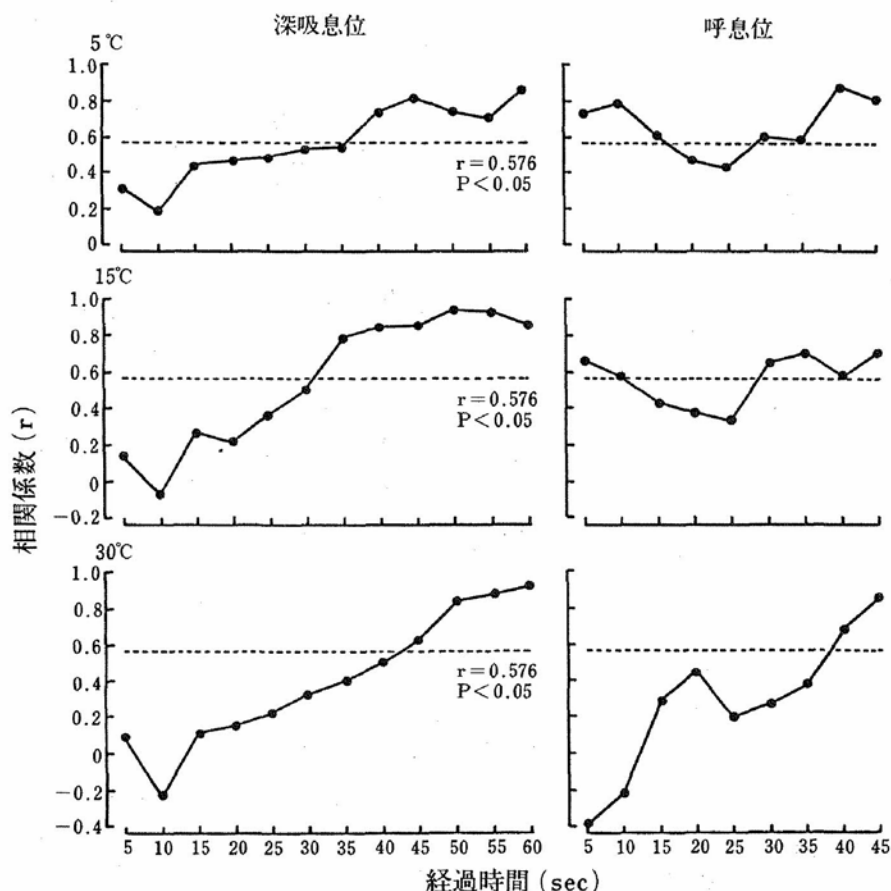
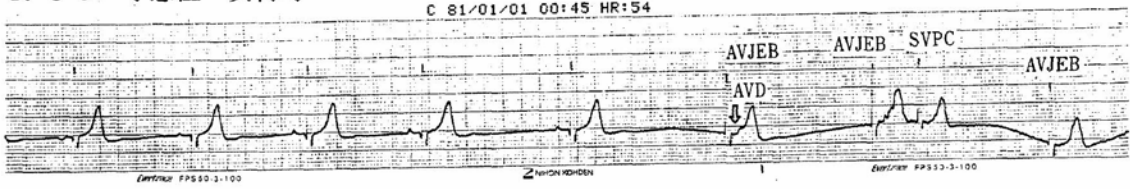
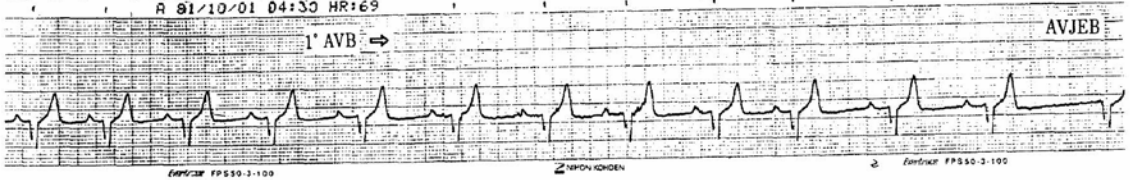


図4 各条件における顔面浸水中の% HR の相関係数の時系列変動(実験3)

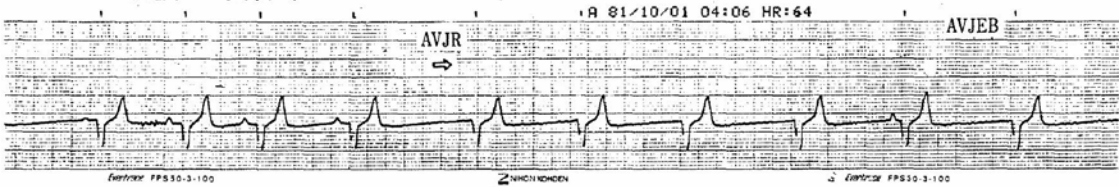
1. 5℃ 呼息位 負荷時



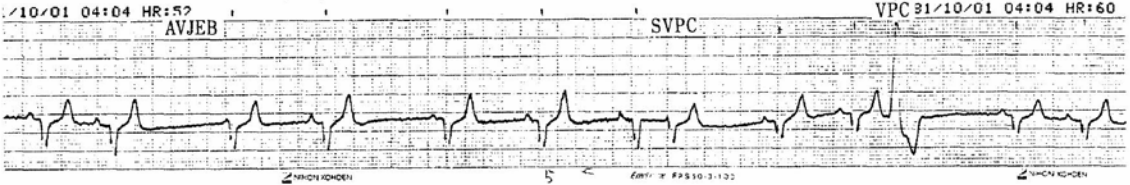
2. 5℃ 呼息位 負荷時



3. 15℃ 呼息位 負荷時



4. 15℃ 深吸息位 回復時



5. 30℃ 呼息位 負荷時

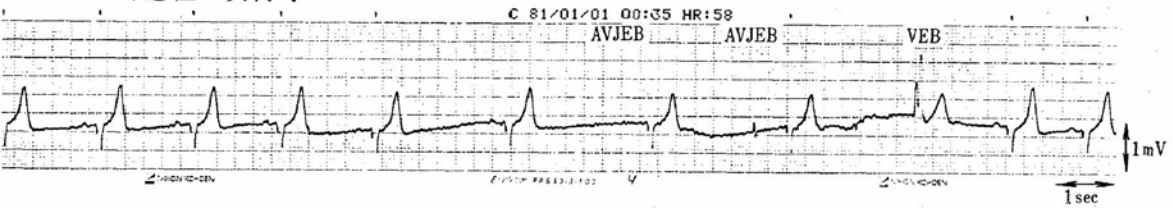


図5 ECG の記録例 (実験3)

の低下状態や不整脈の発現状態から水中運動の適否の判断情報が得られる⁶⁾。しかし当試験における前述の ECG 上の変化の再現性についてはあまり深く追究されてこなかった。

実験1の結果では、不整脈発現の有無に関する同時再現性は極めて高いが、不整脈が発現するまでの潜時は個人内変動が大きいことが理解された。

この変動性は、負荷前および負荷中の精神状態の差等に依存するものと推察される。また不整脈発現者の方が、非発現者よりも HRmin と % HRmin の変動係数が大きい傾向にあることも観察された。この変動の大きさの差は、不整脈発現者と非発現者の間の顔面冷却刺激と止息に対する自律神経系の応答様式の差に基づくものと推察さ

表4 各条件における発現不整脈の対応関係 (実験3)

(A) 深吸息位

被験者	5 °C		15 °C		30 °C	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
MIT	—	SVPC *	—	—	—	—
MIY	—	—	—	—	—	—
KON	—	—	—	—	—	—
KAM	—	—	AVJEB VPC	— *	—	—
NAK	—	AVJR *	—	—	—	—
TAN	AVJR	AVJR	AVJR	— *	—	—
OKR	—	—	—	—	—	—
KOK	—	—	AVJR	— *	—	—
KOS	AVJR	AVJR	—	—	—	—
MAT	—	—	AVJEB AVD	— *	AVJEB AVD	— *
DOM	—	—	—	—	—	—
KOY	1° AVB AVJR AVD	1° AVB AVJR AVD AVJEB	AVJR VPC SVPC	AVJR AVD 1° AVB	1° AVB AVJR	1° AVB AVJR

(B) 呼息位

被験者	5 °C		15 °C		30 °C	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
MIT	SVPC	— *	—	—	—	—
MIY	—	AVD *	—	—	—	—
KON	—	—	—	—	—	—
KAM	AVJEB AVD	AVJEB AVD	AVD	— *	—	—
NAK	1° AVB AVJR	1° AVB AVJR	1° AVB AVJR	1° AVB AVJR	—	—
TAN	AVJR	AVJR	AVJR	AVJR	—	—
OKR	—	—	AVD	— *	—	—
KOK	SVPC AVJEB	AVJEB	—	—	—	—
KOS	SVPC AVD AVJR	SVPC AVD AVJR	AVJEB AVD	AVJEB	—	—
MAT	1° AVB	1° AVB AVJEB	1° AVB	1° AVB AVJR	1° AVB AVD	1° AVB
DOM	—	—	—	—	—	—
KOY	1° AVB AVJR	AVD AVJR AVJEB	AVJR	AVJR AVD	1° AVB AVJEB	AVJR VEB

SVPC : 上室性期外収縮 AVJEB : 房室接合部性補充収縮 AVD : 房室干渉解離
 VPC : 心室性期外収縮 AVJR : 房室接合部性補充調律
 VEB : 心室性補充収縮 1° AVB : 1度房室ブロック

れる。また、発現不整脈の内容も一様ではなく、徐脈性と頻脈性の混合する場合の少なくないことも観察された。VPCは迷走神経刺激によっても誘発されることが報告されている⁷⁾が、不整脈発現と自律神経の緊張との関係は、通常頻脈性不整脈に対しては交感神経が、徐脈性不整脈に対しては、迷走神経が主体として作用すると考えられている^{4, 8)}。潜水反射は主として迷走神経の関与が強い反射であり²⁾、本実験でも不整脈発現のあった2人の非発現者よりHRminと%HRminは低かった。しかし、Manningら³⁾は交感神経と迷走神経を同時に刺激したときにこそ頻脈性と徐脈性の不整脈が多発しやすいことを指摘しており、本実験の2名の被験者のように、混合型の不整脈の発現のあった場合、交感神経の関与も否定できないことを示唆するものであろう。これは顔面浸水中に昇圧反応があること¹⁾や、カテコラミンの分泌増加もみられる⁵⁾こと等からも推察される。

実験2では、実験1で得られた不整脈発現の潜時のばらつきを考慮して、30秒以降の不整脈も対応関係を追究する対象とした。また実験3では、前記実験1の結果と実験1, 2で回復時にも不整脈が少なからず観察されたことから、止息時間を延長し、回復過程での発現も対応関係を追究する対象とした。

同一および日を変えた場合とも温度が低いほど顔面浸水中のHRminは、差の有意水準は異なるが低値を示し、また不整脈発現者は多い傾向にある特性は繰り返し示された。これは温度に依存した顔面浸水中のHR反応や不整脈の発現状態に再現性があることを示唆するものである。

HRの低下率と同義である%HRの顔面浸水中の時系列変動は、同一日に関しては一部の時間を除いてはどの条件においても相関性は良好な傾向であり、日を変えた場合は浸水後30秒以降に共通して再現性を持つことが示された。潜水反射試

験の重要性を日差再現性から求め不整脈の発現潜時の変動性の大きさを考慮するならば、当試験を行う場合、30秒以上の時間が必要とされることを示唆するものであろう。

不整脈発現の対応関係は、同一日および日を変えた場合とも深吸息位の15℃を除いては比較的良好と考えられた。また発現者数を基準とした場合、5℃と15℃では呼息位の方が深吸息位より良好と考えられた。同一日の場合、15℃の深吸息位より呼息位の方が2度ともHRminは有意に低く、迷走神経の緊張度の違いが不整脈の発現状態の違いに影響していることが示唆された。不整脈の種類(頻脈性・徐脈性)の対応に関しては、同一日の一例に完全な不一致が観察されたのみで、これはむしろ特例として捉えるべきであろう。

4. まとめ

1) 連続10度の顔面浸水時では、不整脈発現の有無に関して完全な同時再現性が観察された。ただし、不整脈発現開始時間は変動が大きく、発現不整脈の内容は完全に一致するわけではなかった。

2) 2度の顔面浸水時における%HRの相関係数は、同一日の実験では、5℃、呼息位の5秒目と30℃呼息位の30秒目を除いてすべて有意な水準を有した。また日を変えた場合は、顔面浸水後30秒以降に共通して有意な水準を有する傾向が認められた。

3) 不整脈発現の対応関係は、同一日および日を変えた場合とも、深吸息位の15℃を除いては比較的良好と考えられた。また発現者数を基準とすれば、5℃と15℃では呼息位の方が深吸息位より良好と考えられた。

文 献

- 1) Heistad, D. D., Francis, M. A., Eckstein, J. M.; Vasoconstrictor response to simulated diving in man, *J. Appl. Physiol.*, 25, 542-549 (1968)

- 2) Lin, Y. C. ; *Applied physiology of diving, Sports Med.*, **5**, 41-56 (1988)
- 3) Manning, J. W., Cotten, M. DE V.; Mechanism of cardiac arrhythmias induced by diencephalic stimulation, *Am. J. Physiol.*, **203**, 1120-1124 (1962)
- 4) 松村 準, 角張 雄二 ; 初心者のための心電図の読み方, 新興医学出版, 東京, 31-42 (1988)
- 5) 岡野亮介, 中 正二郎, 漆原 慎, 碓井外幸, 勝木健一, 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, **3**, 35-53 (1995)
- 6) 岡野亮介, 碓井外幸, 佐々木弘志, 勝木健一, 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)
- 7) Scherf, D., Blumenfeld, S., Muhtar, Y- ; Experimental study on ventricular extrasystoles provoked by vagal stimulation, *Am. Heart, J.*, **62**, 670-675 (1961)
- 8) 下村克朗, 松久茂久雄 ; 不整脈と自律神経, 自律神経, **20**, 283-289 (1983)

IV. 心拍数と血圧に及ぼす水圧の影響

大阪市立大学	藤本繁夫
同	田中繁宏
同	宮本忠吉
同	大島秀武
同	栗原直嗣

The Effect of Hydraulc Pressure on Heart Rate and Blood Pressure

by

Shigeo Fujimoto, Shigehiro Tanaka,
Chukichi Miyamoto, Hidetada Ohshima
*Institute of Health Science and Physical
Education, Osaka City University*

Naotsugu Kurihara
The 1st Dept. of Int. Med., Osaka City University

ABSTRACT

In 16 normal males and in 8 patients with COPD, heart rate, blood pressure, arterial oxygen saturation and analysis of expired gas were measured on the ground and in water of diaphragm level at rest and watermill exercise. In body immersion at diaphragm level, resting heart rate was significantly bradycardic but blood pressure was unchanged. The relationship between heart rate and exercise intensity was unchanged by a hydraulic pressure.

緒 言

水中の条件下では安静時でも水温、水深、水圧、浮力などにより呼吸・循環系の生理機能は影響をうける^{1, 5)}。さらに水中運動時では、水抵抗の要因が加わるため運動時の生理諸量は陸上時とは異なった反応を呈する^{6~8)}。とくに水浸により下肢に陽圧がかかると末梢循環に変化が生じ、胸腔内への静脈灌流量が増加するため^{1, 2, 4, 9, 10)}、心拍出量が増すことが報告されている。一方、運動処方を行ううえで、心拍数はしばしば運動強度の指標として実際のトレーニングの現場で利用されている。水中時での心拍数および血圧や、運動に伴う心拍増加の反応に及ぼす影響をみることは、水中での運動を指導するうえで重要なことと考えられる。

今回、われわれは健常人および高齢者で慢性の気道障害を呈する患者を対象に、水中時での心拍、血圧に対する影響を検討した。さらに水中運動に伴う心拍数の増加反応について検討を加えて報告する。

1. 対象および方法

対象は健常男性16例で、平均年齢19.9±2.1歳、体重68.9±13.6 kg。高齢の疾患群では、症状の安定期にある慢性閉塞性肺疾患（以下 COPD）患者8例の男性を選んだ。平均年齢70.3±3.2歳、体重55.2±8.2 kg、安静時の動脈血酸素飽和度

(SpO₂)は94.2±1.5%と正常であった(表1)。

心拍数の測定は、テレ心電計により行った。血圧は左上腕部からマンシュート法により測定した。なお、換気量の測定はフェースマスクを装着し、熱線流量計で換気量を測定し、酸素摂取量はミナト社製レスピロモニター RM-280により breath-by-breath で呼気ガス分析を行い、心拍数とともに連続記録した。動脈血酸素飽和度 (SpO₂) は Kontron Instruments 社製イヤーオキシメータにより測定した。安静時の測定は心電図、呼気ガスおよび SpO₂ を装着した状態で、立位安静の約10分後に呼吸・心拍がほぼ一定に達したことを確認して行った。水中時では水温34℃の水中に横隔膜水位のレベルで約10分の立位安静後に、同様の測定を行った。

陸上運動のプロトコールは、健常人はトレッドミルのスピードが 50 m/min から3分ごとに20 m/min ずつスピードのみを増してゆく漸増法¹¹⁾で歩行のできる限界まで行った。COPD 患者では、トレッドミルのスピードが30 m/min, 40 m/min および 50 m/min のスピードの漸増負荷を行った。水中時の運動負荷は、水中トレッドミルにより陸上時と同様のプロトコールで歩行運動を行った。運動時の測定は心電図、呼気ガス分析を行った。なお、COPD 患者では運動に伴う低酸素血症が生じるため、SpO₂ をモニターしながら運動負荷を行った。統計処理は群内比較に paired t-test を用い、危険率5%以下を有意とした。

2. 結果

安静時の心拍に及ぼす水圧の影響について検討した。

健常人では安静時の酸素消費量は陸上時0.21±0.04 l/min から、水中時では0.20±0.06 l/min と変わらなかったが、心拍数は陸上時74.8±13.7 拍/min から水中時63.8±14.6拍/min に有意 (P<0.0001) に低下した。したがって、酸素脈は陸

表1 Summary of subjects

	Normal	COPD
Case No.	16 (male)	8 (male)
Age (year)	19.9±2.1	70.3±3.2
Body Weight (kg)	68.9±13.6	55.2±8.2
Body Length (cm)	169.0±5.5	160.9±6.8
% Fat (%)	23.9±14.6	12.6±2.7
LBM (kg)	50.8±5.2	48.1±2.7
SpO ₂ (%)	—	94.2±1.5

LBM ; lean body mass SpO₂ ; arterial oxygen saturation

上時 2.78 ± 0.56 ml/拍から水中時 3.28 ± 0.86 ml/拍に有意 ($P < 0.02$) に増加した (図1)。COPD患者では、安静時の酸素消費量は陸上時で 0.26 ± 0.06 l/min から水中時 0.27 ± 0.05 l/min と変わらなかったが、心拍数は 96.3 ± 13.8 拍/min から水中時 86.4 ± 9.6 拍/min に有意 ($P < 0.02$) な

減少を示した。なお酸素脈は陸上時 2.72 ± 0.70 ml/拍、水中時 3.13 ± 0.62 ml/拍と増加傾向にとどまった (図2)。

安静時の血圧に及ぼす水圧の影響についてCOPD患者を対象にして検討した。COPD患者の陸上時の収縮期血圧は陸上時平均 125.3 ± 14.4

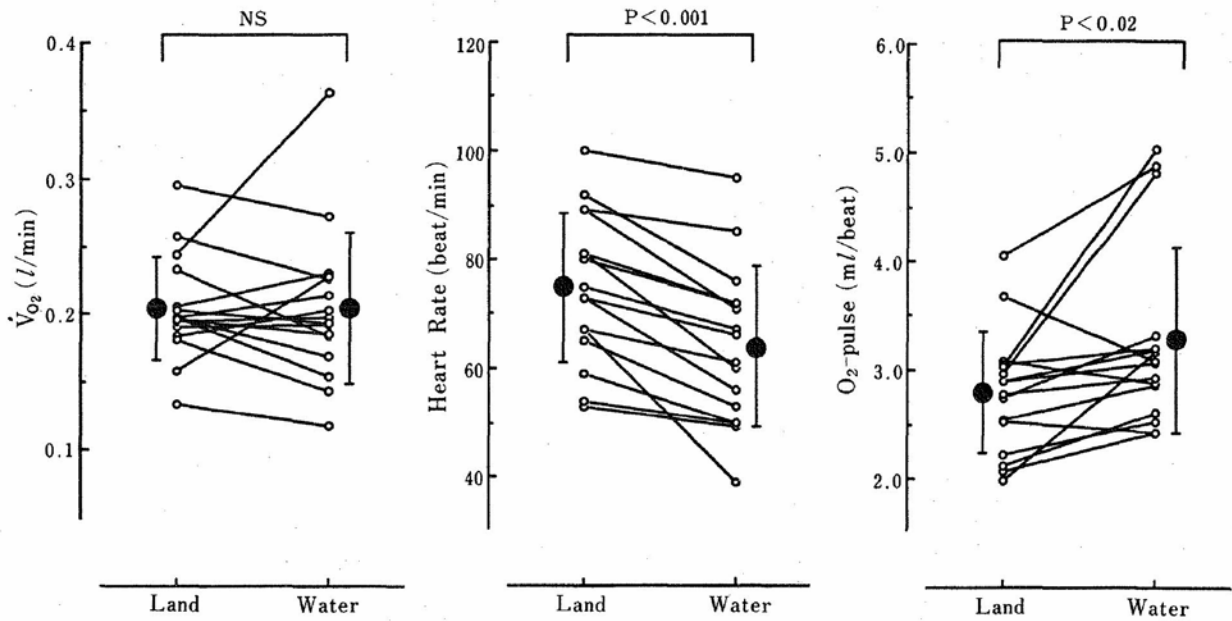


図1 Comparison of oxygen consumption, heart rate and oxygen pulse at rest between on land and in water in 16 normal subjects

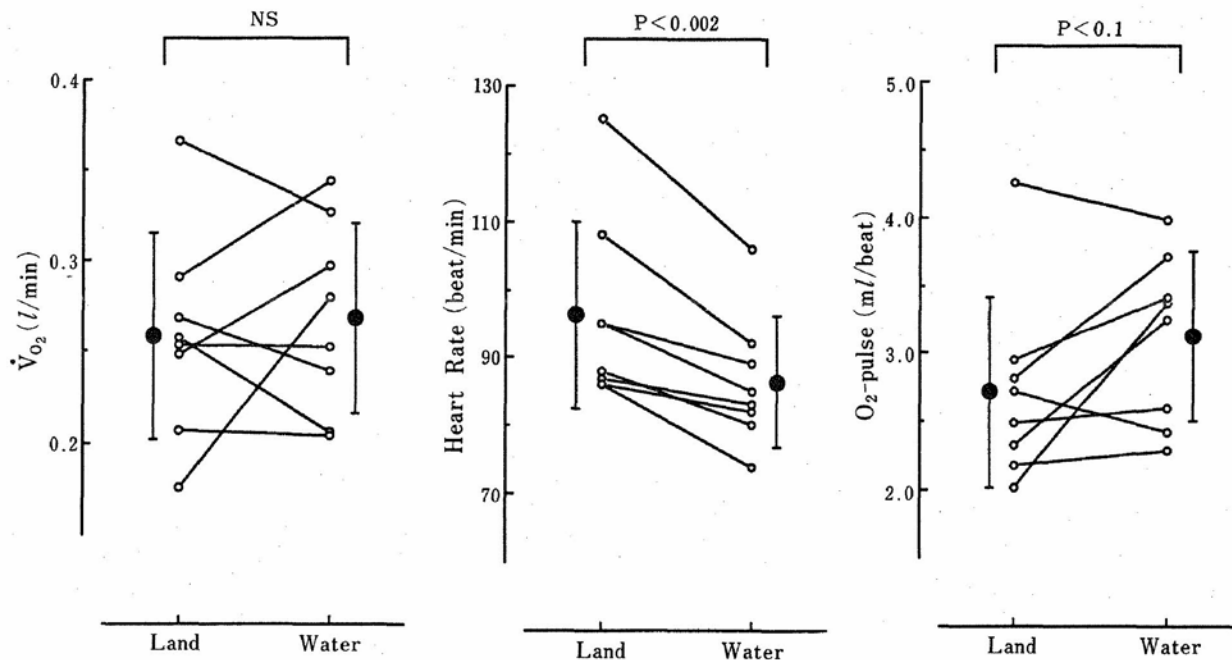


図2 Comparison of oxygen consumption, heart rate and oxygen pulse at rest between on land and in water in 8 patients with COPD

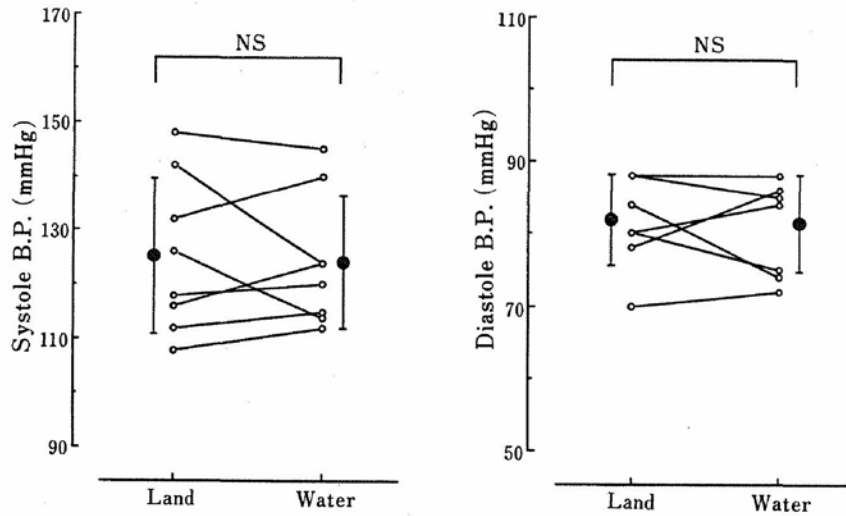


図3 Comparison of blood pressure at rest between on land and in water in 8 patients with COPD

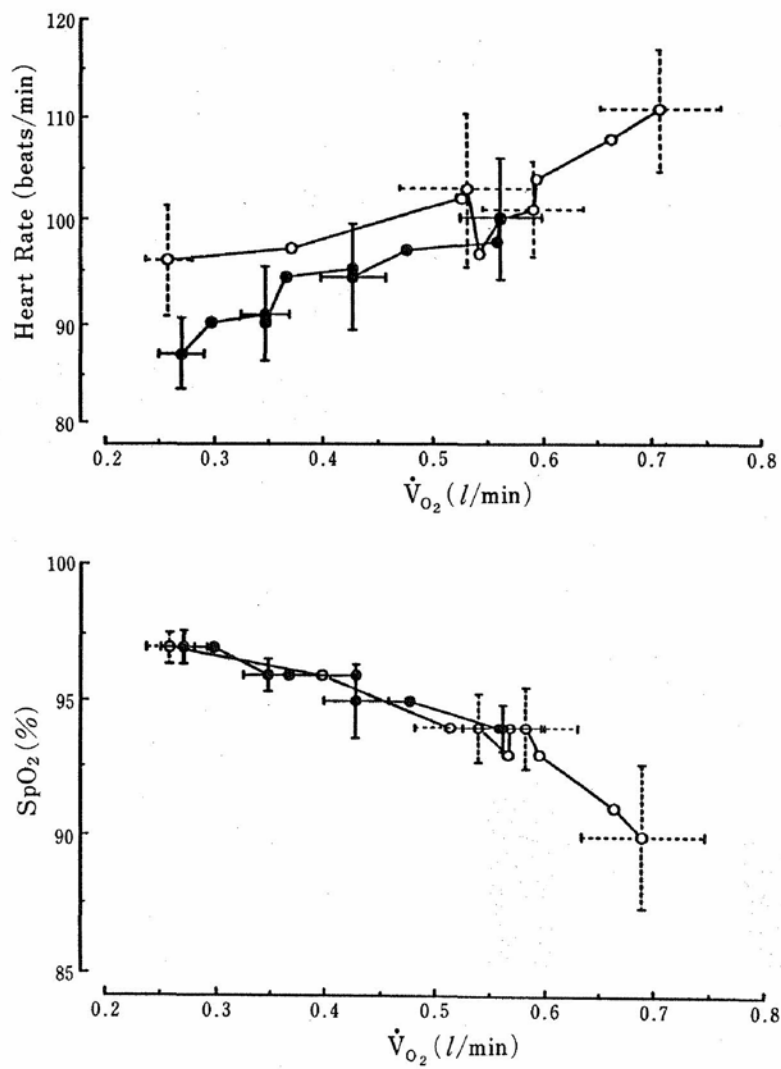


図4 Changes in heart rate during graded exercise both on land in water in one case

mmHg, 水中時では 124.3 ± 12.2 mmHg, 拡張期血圧は陸上時 82.0 ± 6.3 mmHg, 水中時 81.5 ± 6.7 mmHg と水浸による有意な変化はなかった (図3).

運動に伴う心拍の反応について検討した. 図4に19歳の健常男性の負荷量の増加に伴う心拍の反応を示した. 心拍数と \dot{V}_{O_2} の関係は, いずれも $r = 0.99$ と高い正相関が認められたため, 陸上歩行時では $y = 49.2x + 71.1$ の一次回帰式で, 水中歩行時では $y = 46.7x + 64.9$ の式で示すことができる. この回帰式の傾き (以下 HR-スロープ) は, 陸上歩行時では49.2拍/l で, \dot{V}_{O_2} が安静時より1 l/min 増加する負荷時では, 心拍数は安静時より49.2拍増加することを示す. 一方, 回帰式の切片は陸上時では71.1拍から, 水中時では64.9拍と約6拍/min 減少した. しかし水中運動時の HR-スロープは46.7拍/l と, 陸上時とは変わらなかったことより水中のいずれの負荷量の運動時でも, 陸上時に比べ少ない心拍数で運動維持でき得たことを示す.

健常者16例の HR-スロープの平均は, 陸上時では 42.6 ± 5.7 拍/l (\dot{V}_{O_2}), 水中時 41.5 ± 5.6 拍/l (\dot{V}_{O_2}) と有意な差は認められなかった (図5). 一方, COPD 患者の陸上運動時の HR-スロープ

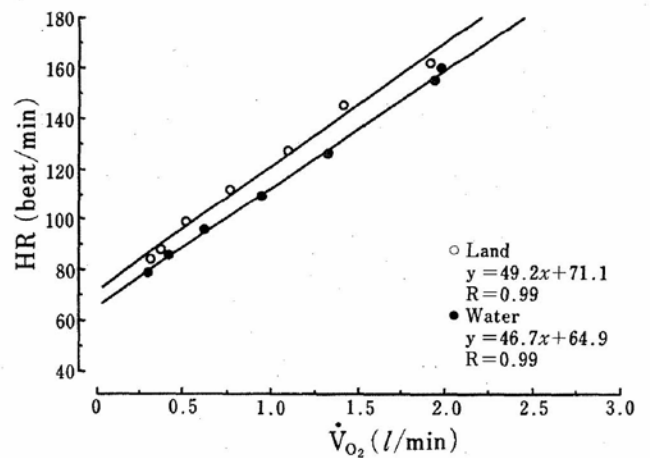


図6 Changes in heart rate and arterial oxygen saturation (SpO_2) during graded exercise both on land and in water in 8 patients with COPD

は 51.0 ± 19.6 拍/l (\dot{V}_{O_2}), 水中運動時では 58.7 ± 17.3 拍/l (\dot{V}_{O_2}) と健康人よりも急峻であったが, COPD 患者での陸上歩行時と水中運動時では有意差には至らなかった.

COPD 症例の運動に伴う心拍数と SpO_2 の変化を陸上時と水中時で比較した. 水中運動時の心拍数は, 同一負荷時で比較すると陸上時より少なかったが SpO_2 は運動に伴い低下するが, その低下の程度は差がなかった (図6).

3. 考 察

水浸による循環に対する影響として, 安静時の心拍数は健康人, COPD 患者ともに酸素脈の増加を伴って有意に減少したが, 血圧は収縮期, 拡張期ともに変わらなかった.

人は水浸により, 水圧, 水温などの影響を受け, 陸上とは異なった循環反応を示すことが知られている. 今回の検査条件として, 水温に関して体温の調節¹²⁾ や代謝^{2, 17)} に影響の少ない $34^\circ C$ の一定の条件で検査を行った. また, 水深は肺・胸郭系に影響の少ない横隔膜のレベル¹⁴⁾ に決めて測定した.

水浸により心拍数が減少するメカニズムとして,

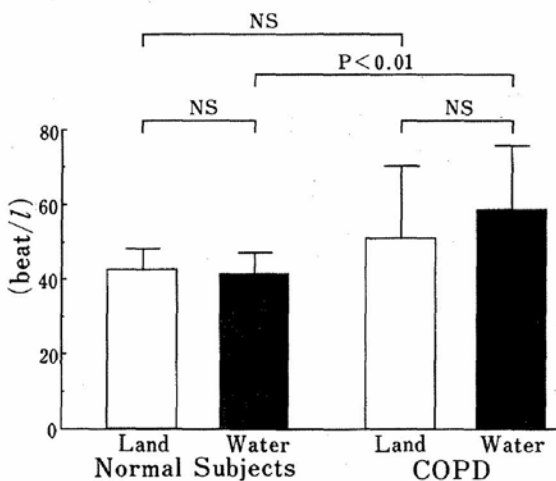


図5 Comparison of heart rate slope between on land and in water in both normal subjects and COPD patients

まず神経活動の影響が考えられる。一般に安静時の心拍は副交感神経の緊張の程度によって決まる。水浸により神経系に及ぼす影響として、副交感神経活動の亢進と交換神経活動の抑制が報告されており¹⁵⁻¹⁷⁾、この神経に及ぼす作用により徐脈が現れる。トレーニングにより安静時に徐脈になるメカニズムも副交感神経の緊張が関与する同じ効果と考えられる。

第2のメカニズムとして、右心房や肺血管に存在する心肺圧受容体の関与が考えられる。つまり水浸により下肢に水圧がかかるため、右心への静脈灌流量が増加する^{1, 2, 4, 9, 10)}。この右心への血液量の増加は、圧レセプターを介して血管拡張や徐脈を引き起こす、いわゆる Bainbridge 効果の関与が考えられる。さらに右心への灌流血量の増加は、starling の法則により、心拍出量の増加を引き起こす。今回の成績では、安静時の酸素脈は健常人では有意に増加し、COPD 患者でも増加傾向が認められた。この酸素脈の増加は一回心拍出量の増加を示唆している。われわれは、水浸時の心拍出量を実測し、徐脈が生じるが一回心拍出量の増加する影響が大きいため心拍出量が増加したことを報告した。この心臓に備わった特性により、水浸による一回心拍出量の増加を伴った徐脈が生じた可能性が考えられる。

つぎに水浸による血圧への影響について考察する。血圧を規定する因子として、心筋の収縮力、末梢血管抵抗と循環血液量の関与が知られている。水浸により心拍出量は増加し、心筋の収縮力が増して収縮期血圧は上昇するように働く。しかし一方では水圧による内分泌系の影響として、右心房圧の亢進によりカテコラミン濃度の低下、抗利尿ホルモン (ADH) の分泌の抑制、心房性利尿ホルモン (ANP) の分泌の促進^{18, 19, 20, 21)}などが生じる。これらは血圧を低下させるように作用する。今回の成績では、水浸により収縮期および拡張期血圧ともに影響しなかったのはこれらの緒因子が

相互に働いた結果と考えられる。

運動に伴う心拍の増加反応として、負荷量に比例して直線的に増加することが知られている。図4に示したように、陸上時だけでなく水中運動時でも \dot{V}_{O_2} に対して $r=0.99$ と高い相関を示した。したがって、運動時の心拍数は安静時の心拍数と回帰式の傾きであるスロープによって決まってくる。今回の成績では、健常人では陸上時の HR-スロープと水中運動時の HR-スロープは有意な差が認められなかった。安静時では、前述したように水圧により自律神経系に差が認められたが、運動時では負荷量の増加にともない副交感神経緊張の解除のされ方、交感神経系の刺激のされ方に差がなかったことが推測される。

COPD 患者の HR-スロープは、陸上歩行時では 51.0 ± 19.6 拍/l、水中時では 58.7 ± 17.3 拍/l と健常人より高かった。COPD 患者群の HR-スロープを規定する因子として、体重、 SpO_2 、ヘモグロビン量などが関与していることを報告した。今回の健常人との比較でも COPD 患者では体重が軽かったこと、運動に伴う SpO_2 の低下が COPD 患者群で認められたことが運動時の心拍数の増加に関与していたと考えられる。

しかし、COPD 患者の水中運動時の HR-スロープは、陸上時と比べ有意差がなかった。これは負荷量の増加に伴い SpO_2 は低下するが、低下の程度は陸上時と変わらなかったことが影響していたと考えられる。すなわち、運動時の心拍数は健常人でも COPD 患者でも、個々の症例の安静時の心拍と HR-スロープによって決まってくる。この反応は水中時でも同様であることが認められた。

4. 結論

水浸による循環に対する影響として、安静時の心拍数は健康人、COPD 患者ともに酸素脈の増加を伴って有意に減少したが、血圧は収縮期、拡

張期とも変わらなかった。また運動に伴う心拍数の増加のスロープは、両群とも水圧による影響は認められなかった。

文 献

- 1) Weston, C. F., OHara, J. P., Evans, J. M., Corral, R. J. M.; Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures, *Clin. Sci.*, **73**, 613-616 (1987)
- 2) Choukroun, M. L., Varene, P.; Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **68**, 1475-1480 (1980)
- 3) Derion, T., Guy, H. J. B., Tsukimoto, K., Schaffartzik, W., Prediletto, R., Poole, D. C., Knight, D. R., Wagner, P. D.; Ventilation-Perfusion relationships in the lung during head-out water immersion, *J. Appl. Physiol.*, **72**, 64-72 (1992)
- 4) Farhi, L. E., Linnarsson, D.; Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35°C, *Respir. Physiol.*, **30**, 35-50 (1977)
- 5) 藤本繁夫, 前田如矢, 栗原直嗣, 金尾顕郎, 辻英次, 宮本忠吉; 健常者における水圧の肺機能に及ぼす影響, 関西臨床スポーツ医科学研究会誌, **10**, 768-775 (1993)
- 6) Christie, J. L., Sheldahl, L. M., Tristani, F. E., Wann, L. S., Sagar, K. B., Levandoski, S. G., Ptacin, M. J., Sobocinski, K. A., Morris, R. D.; Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise, *J. Appl. Physiol.*, **69**, 657-664 (1990)
- 7) Green, J. H., Cable, N. T., Elms, N.; Heart rate and oxygen consumption during walking on land and in water, *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **30**, 49-52 (1990)
- 8) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 榑淵由香里, 渡辺一志, 宮側敏明, 栗原直嗣, 前田如矢; 健常人における水中歩行時の Ventilatory Threshold の検討, 日本臨床生理学会雑誌, **24**, 221-227 (1994)
- 9) Arborelius, M., Balldin, U. I., Lilja, B., Lundgren, C. E. G.; Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerospace Med*, **43**, 592-598 (1972)
- 10) Begin, R., Epstein, M., Sackner, M. A., Levinson, R., Dougherty, R., Duncan, D.; Effects of water immersion to the neck on pulmonary circulation and tissue volume in man, *J. Appl. Physiol.*, **40**, 293-299 (1976)
- 11) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 栗原直嗣, 渡辺一志, 宮側敏明, 前田如矢; 水中トレッドミルによる歩行運動時の換気反応の検討, 関西臨床スポーツ医科学研究会誌, **3**, 113-116 (1993)
- 12) Holmer, I., Bergh, U.; Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures, *J. Appl. Physiol.*, **37**, 702-705 (1974)
- 13) Choukroun, M. L., Kays, C., Varene P.; Effects of water temperature on pulmonary volumes in immersed human subjects, *Respir. Physiol.*, **75**, 255-266 (1989)
- 14) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 栗原直嗣, 金尾顕郎, 辻英次, 前田如矢; 健常者における頸椎水位と横隔膜水位の動のおよび静的肺機能に及ぼす影響, 体力科学, **43**, 155-161 (1994)
- 15) Andersen, H. T.; Physiological adaptation in diving vertebrates, *Physiol. Rev.*, **46**, 212-243 (1966)
- 16) 野間忠明, 岩瀬敏, 山崎良比古, 河野通之, 古賀一男, 福田博史, 鈴木初恵, 谷口正子; 水浸時の実験的低重量環境下におけるヒトの交感神経活動の変化, 名古屋大学環境医学研究所年報, **36**, 26-29 (1985)
- 17) Song, S. H., Lee, W. K., Chung, Y. A., Hong, S. K.; Mechanism of apneic bradycardia in man, *J. Appl. Physiol.*, **27**, 323-327 (1969)
- 18) Greenleaf, J. E.; Physiological response to prolonged bed rest and fluid immersion in humans, *J. Appl. Physiol.*, **57**, 619-633 (1984)
- 19) Guezennec, C. Y., Defer, G., Cazorla, G., Sabathier, C., Lhoste, F.; Plasma renin activity, aldosterone and catecholamine levels when swimming and running, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**, 632-637 (1986)
- 20) 林 石松, 織笠 敏, 伊藤 朗; 水中ランニング運動が腎機能に及ぼす影響, 体力科学, **40**, 48-59 (1991)
- 21) Weis, M., Hack, F., Stehle, R., Pollert, R., Weicker, H.; Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamine and circulation, *Int. J. Sports Med.*, **9**, s 113-117 (1988)