

〈報告〉

マリン実習参加者における誘発潜水反射心電図と心拍変動記録

久保田洋一*・河合 祥雄**

Diving response and heart rate variability of the participants
in open water diving course 2004

Youichi KUBOTA* and Sachio KAWAI**

初めに

スクーバ潜水はレジャースポーツの中で、死亡率が高く³⁾、初心者のみならず中高年ベテランダイバーにも死亡事故が多いスポーツとして知られている¹³⁾。本学では、医学部1年生の希望者にマリン実習として、スクーバ潜水講習(いわゆるオープンウォーター・コース)を長年実地してきている。マリン実習参加者は殆どがスクーバ潜水の初心者であり、事故防止対策上からも、メディカルチェックはゆるがせにできない。

水中では水が全身・顔面に接することにより、迷走神経を介した徐脈(潜水反射)⁶⁾が生じる。潜水反射とは主に顔面を水に浸けることにより誘発される著しい徐脈で肺、脳、心臓の主要臓器への血流の再分配を引き起こす⁷⁾。徐脈は心室の受攻期(先行心拍のT波の頂点から下降脚にかけての時相)を延長させる。心室の受攻期に発生する期外収縮は容易に致死的不整脈¹⁾に移行する⁸⁾。また、スクーバ潜水に対する不安は交感神経を緊張させる¹²⁾。

従来、水中における不整脈の発生予知診断手法として、水を張った洗面器に顔を浸ける顔面浸水によ

る心電図検査が行われてきた。この場合、周囲が水浸しになること、座位前屈姿勢をとることにより、通常とは異なった位置の心電図記録となり、筋電図の混入が入ることが問題点とされる。そのため、薄いプラスチック性の小袋に氷水を入れる変法⁵⁾が考案され、日常診療に用いられている。しかし、診察室での簡易潜水反射心電図記録が、実際の水中または潜水中の心電図変化を正しく反映しているかを確認した研究は少ない²⁾⁵⁾。また、潜水・水泳時の心拍変動を、自律神経系との関連から検討した研究はわずかしかない⁴⁾⁹⁾¹²⁾。

目的

スクーバ潜水入門者における誘発潜水反射反応を検査し、2分間の心電図記録による心拍変動解析が可能であるかを検討する。

対象

18年度、本学マリン実習参加の医学部生のうち、本研究の目的、意義、方法については本人、未成年者においては保護者に対し、文書による説明を行い、簡易誘発潜水反射心電図ならびに水中ホルター心電図測定に関する同意書に署名した23名(男子大学生17名、女子学生6名)、平均20歳を対象とした。水泳歴は17名、素潜り潜水歴は5名のみであった。全ての測定には共同研究者の河合が立ち会い、自動体外式除細動器を含めた、救急蘇生装置を用意

* 順天堂大学スポーツ健康科学部(コーチング科学)
Seminar of Soccer, School of Health and Sports
Science, Juntendo University

** 順天堂大学スポーツ健康科学部(スポーツ医科学)
Research Laboratory of Sports Medicine, School of
Health and Sports Science, Juntendo University.

し、救急事態に備えた。

期間：マリン実習期間(2004年8月23日-26日)

1) 簡易誘発潜水反射では徐脈が生じるので、まず、最初に、徐脈の生じにくい最大吸気下での心電図撮影を行い、仰臥位安静時心電図を記録し、次に、深吸息期停止状態で、氷水を満たし、周囲を濡らしたポリエチレン袋で被験者の顔面を被い、心電図を記録し、心拍変化、不整脈の出現につき検討した。房室結節調律の出た時点で測定を終了した。また、心室性期外収縮などについても、その時点で心電図撮影を中止した。次いで、半呼気時での測定を行い、同様の注意を払い心電図記録を行った。

2) 独自に開発した防水ハウジング内にデジタルホルター心電計(フクダ電子社 FM100, FM120)を収納し、防水マグネリードを被験者に装着し、CM5 および NASA 誘導で記録、さくらキャンパス内プールで最大吸気後の「けのび」、半呼気後の「けのび」を行わせた。

3) スクーバ装着の状態で2分間の立位体部浸水(浸身)の後、ダイビング用プール(水深4m)のプール底で2分間水平位を取らせ、心拍変動をみた。実験時の水温は31度、気温も31度であった。

心拍変動は長時間心電図解析機 SCM-6600(フクダ電子)にて行った。同器に内蔵されている RR Spectrum Measurement Algorithm を用い、Frequency domain 解析をノンパラメトリック Fast Fourier transform 法により行った。計測サンプル数128、ノイズ除去; 3秒以上削除、不整脈除去法 ハミング

窓などとした。計測項目は Mean R-R interval (msec), power spectrum の成分は以下の3つを採用した。low-frequency range (0.039-0.148 Hz), 心臓迷走神経の指標として high-frequency range (0.148-0.398 Hz); および交感神経指標としての LF/HF 比である¹⁴⁾。

結 果

安静時 RR 間隔は600 msecから1240 msec (876 ± 173 msec) と正拍で、深吸気後誘発試験後、有意に (P < 0.001, paired t-test) 徐拍化し (1306 ± 345 msec), 最大2320 msec に達した。深吸気後の誘発潜水反射後心電図では房室調律, 1度房室ブロック, 洞停止・結節補充調律, 上室性期外収縮多発を各1名に認めた。半呼気止めでも、有意に (P < 0.001, paired t-test) 徐拍化したが (927 + / - 179 msec から13223 + / - 398 msec), 徐拍化率は深吸気時1.52に対し1.43と低かった。結節補充収縮(2名), 右脚ブロック, 房室ブロック, 逆行性P波・T波異常を各1名に認めた。

深呼吸時「けのび」、半呼気「けのび」時心拍は何れも有意に徐拍化したが、前者に(平均588 msec から平均892 msec に延長)に比較して後者(632 msec から1042 msec)では更なる徐拍化が認められた。

潜水ホルター心電図は23名中14名で各手技中の心電図記録が得られたが周波数領域パラメーター・トレンド上、短時間の心臓迷走神経機能指標とされる

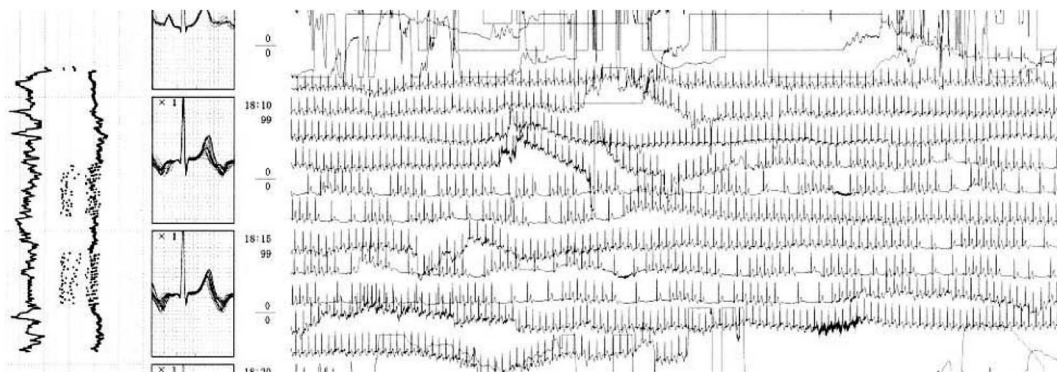


図1 スクーバ潜水中の不整脈(水中ホルター心電図)



図2 スクーバ潜水中的上室性頻拍とその後の徐脈

HF（高周波領域パワー）成分増加は浸身4名、潜水8名で異常高値を示し、その多くは期外収縮、頻拍、頻拍後徐脈が見られた（図1）。

考 察

マリン実習受講者全員に潜水反射所見をみた。しかし、医学部水泳部健常者を対象とした簡易潜水反射心電図検査の報告⁹⁾に比して、呼気時に強い徐脈を見ない例が存在し、従来の報告に一致しない。これらの実験は水泳部員を対象としたものであり、息止め、潜水になれていることがより強い潜水反射を起こした原因と考えられた。潜水非熟練者である本学医学部1年生では深吸息に比して、半呼息の息止めは、よりストレスが高く、緊張したことが迷走神経反射である潜水反射を抑制した可能性が高い。

また、潜水時のホルター心電図記録の条件下では十分な心拍変動解析を得られなかった。この原因は心拍変動解析には不整脈の生じない洞調律心電図記録が必要なので、不整脈が多く、記録時間が短い（2分間）⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ため、解析に必要な心電図記録を得ることができなかったためと考えられた。不整脈は期外収縮、頻拍、頻拍後徐脈（図2）の発生の多さによると考えられた。

半呼息期呼吸停止時の潜水反射出現率の低さは非鍛錬者である本学医学部1年生における易緊張性を

示唆し、また、潜水時の不整脈の多発は心拍変動解析のためにはより長期の潜水時心電図記録の必要性を示すと考えられる。簡易潜水反射誘発とプールでの心電図記録により、潜水時不整脈の発生を予知することが可能になり、個々人の身体特性に即したダイビング指導、もしくはダイビングの禁止勧告を可能にしよう。

簡易誘発潜水反射中に見られた不整脈と2分間の潜水ホルター心電図記録がスクーバ中の死亡と関連しうる不整脈発生の予知指標となるかは不明である。今後は、誘発潜水反射徐拍化率と心拍変動解析結果との関連を確認する必要がある。

結 論

2分間の心電図記録では不十分で過半数で解析可能な記録を得ることができず、誘発潜水反射反応と心拍変動との関連を明らかにできなかった。

文 献

- 1) Condry, P. and Jain, A., Marshallm R., Bowyer, A. (1975) Ventricular tachycardia caused by the diving reflex. *Lancet* 2: 1263 (Letter).
- 2) Heath, M. E. and Downey, J. A. (1990) The cold face test (diving reflex) in clinical autonomic assessment: methodological considerations and repeatability of

- responses. *Clin Sci (Lond)* 78: 139-147.
- 3) Ihama, Y., Miyazaki, T., Fuke C., Mukai T., Ohno Y. and Sato, Y. (2008) Scuba-diving related deaths in Okinawa, Japan, from 1982 to 2007. *Leg Med (Tokyo)* 10: 119-24.
 - 4) Istepanian, R. S. H. and Woodward, B. (1996) Spectral analysis of heart rate variability during scuba diving. *Proceedings of the 18th Annual International Conference of the IEEE* 4: 1664-1665.
 - 5) 河合祥雄, 久岡英彦 (2001) 水泳・潜水に対するメディカルチェックー防水型ホルター心電計と簡易潜水反射ー. *水と健康医学研究会誌* 4: 29-34.
 - 6) Kinoshita, T., Nagata, S., Baba, R. Kohmoto T. and Iwagaki, S. (2006) Cold-Water Face Immersion Per Se Elicits Cardiac Parasympathetic Activity (Clinical Investigation). *Circ J* 70: 773-776.
 - 7) Lobbo, C. D. (1991) The human dive reflex as a primary cause of SIDS. *Med J Austral* 155: 561-563.
 - 8) 岡野亮介 (1996) 不整脈の発現に及ぼす止息負荷, 水中浸漬及び潜水泳の影響. *体力科学* 45: 159-170.
 - 9) Pelzer, M., Hafner, D, Arnold, G. and Schipke, J. D. (1995) [Minimal interval length for safe determination of brief heart rate variability] [Article in German] *Z Kardiol.* 84: 986-994.
 - 10) Sandercock, G. R., Bromley, P. D. and Brodie, D. A. (2005) The reliability of short-term measurements of heart rate variability. *Int J Cardiol* 103: 238-247.
 - 11) Sandercock, G. R., Shelton, C., Bromley, P. and Brodie, D. A. (2004) Agreement between three commercially available instruments for measuring short-term heart rate variability. *Physiol Meas*, 25: 1115-1134.
 - 12) Schipke, J. D. and Pelzerm M. (2001) Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability. *J Sports Med* 35: 174-80.
 - 13) Taylor, D. M., O'Toole, K. S. and Ryan, C. M. (2003) Experienced scuba divers in Australia and the United States suffer considerable injury and morbidity. *Wilderness Environ Med* 14: 83-88.
 - 14) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93: 1043-1065.

(平成21年2月6日 受付)
(平成21年2月10日 受理)