

ニューシートピア計画で用いた 心電図モニタリング装置

毛利 元彦^{*1} 榎木 暢雄^{*1} 設楽 文朗^{*1}
竹内 久美^{*1} 他谷 康^{*1}

昭和60年度からニューシートピア計画の基に、海中作業実験船“かいよう”を用いて水深300mまでの実海域での飽和潜水技術の開発に取り組み、平成2年7月まで完遂した。この間、ROV“ホーネツ”によるダイバー作業の確認とともに、心電図モニタリング装置によりダイバーの海中作業中、SDC内での心電図波形と心拍数を常時、船上でモニターし、潜水中のダイバーの安全を医学的に適確に把握した。ニューシートピア計画では、この2つの異なったモニタリングシステムによってダイバーの安全を確保した。このシステムを用いて、ダイバー、テンダーの作業上で、最大の負荷がかかるのは、SDC内の狭い通路を経由して、ダイバーが、ロックアウト、ロックインする時で、テンダーもまた、この時期にダイバー補助作業による時であることが明らかになった。

キーワード：ニューシートピア計画、心電図モニタリング装置

Electrocardiogram Monitoring System Using the Project Name “New Seatopia”

Motohiko MOHRI^{*2} Nobuo NARAKI^{*2}
Fumiro SHIDARA^{*2} Hisayoshi TAKEUCHI^{*2}
Yasushi TAYA^{*2}

New Seatopia, the deep offshore experimental diving project conducted by the Japan Marine Science and Technology center (JAMSTEC), was begun in 1985 and completed by July 1990 using the multi-purpose research vessel “Kaiyo”.

We have developed two monitoring systems for deep divers to enhance the safety of diving. One is an ROV (Hornet Launcher System) and another is an electrocardiogram monitoring system (ECG) for locked-out divers. ECG monitoring for locked-out divers is a new concept. A self-contained ECG recorder was developed and directly evaluated. It was

*1 潜水技術部

*2 Diving Science and Technology Department

apparent that when using the ECG monitoring system, that the work efficiency was increased when the diver and tender were locked-out and locked-in through the canal of the SDC (Submersible Decompression Chamber).

Key words : New Seatopia project, ECG monitoring system

1 はじめに

最大酸素摂取量 ($\text{VO}_2 \text{ max}$) と心拍数 (HR) との関係は、回帰直線を示すことは周知の事実である^{1) - 3)}。一般に $\text{VO}_2 \text{ max}$ の50%では、HRは約120 beats/minである。言い換えれば、作業時の心拍数を計測出来れば、その作業の強度を表すことができる。心拍数の計測は、心筋の興奮に伴う電位変化を体の表面から記録したもの、すなわち心電図を用いて連続して記録するのが通例である。しかし、この電位変化は1mV前後と微弱なもので、潜水、海中作業中のダイバーから直接海中作業実験船“かいよう”の船上に市販の機器類では測定することが出来なかったため、ダイバー作業中の心電図をモニターする機器類を市販のものを改良して製作し、ダイバー作業と心拍数の変化を検討した。

2 心電図モニタリング装置

心拍数は胸部誘導方式による心電図を連続記録し計測した。

胸部誘導方式による心電図の電極は、市販（ダイヤメディカル製）のものに、電極コードの振れによる基線のゆれなどのアーティファクトを極力除外するために、IC-circuitを付加した心電図電極（図1, 2）を開発して使用した。一方、心電図の信号、すなわち電位変化は1mVと微弱な信号のためダイバーから船上のモニター装置まで約650mあるので、この信号が船上に到達するまでに減衰してしまうために、水中エレベータ（SDC）内で増幅器を用いて1,000倍に増幅して、信号を1Vにして“かいよう”船上に送った。心電図の計測経路は、潜水作業時およびSDC内のダイバーから船上の“かいよう”までは、アンビリカルケーブル（ダイバーアンビリカル：30m + アンビリカル：600m）650mを介して有線で心電図信号

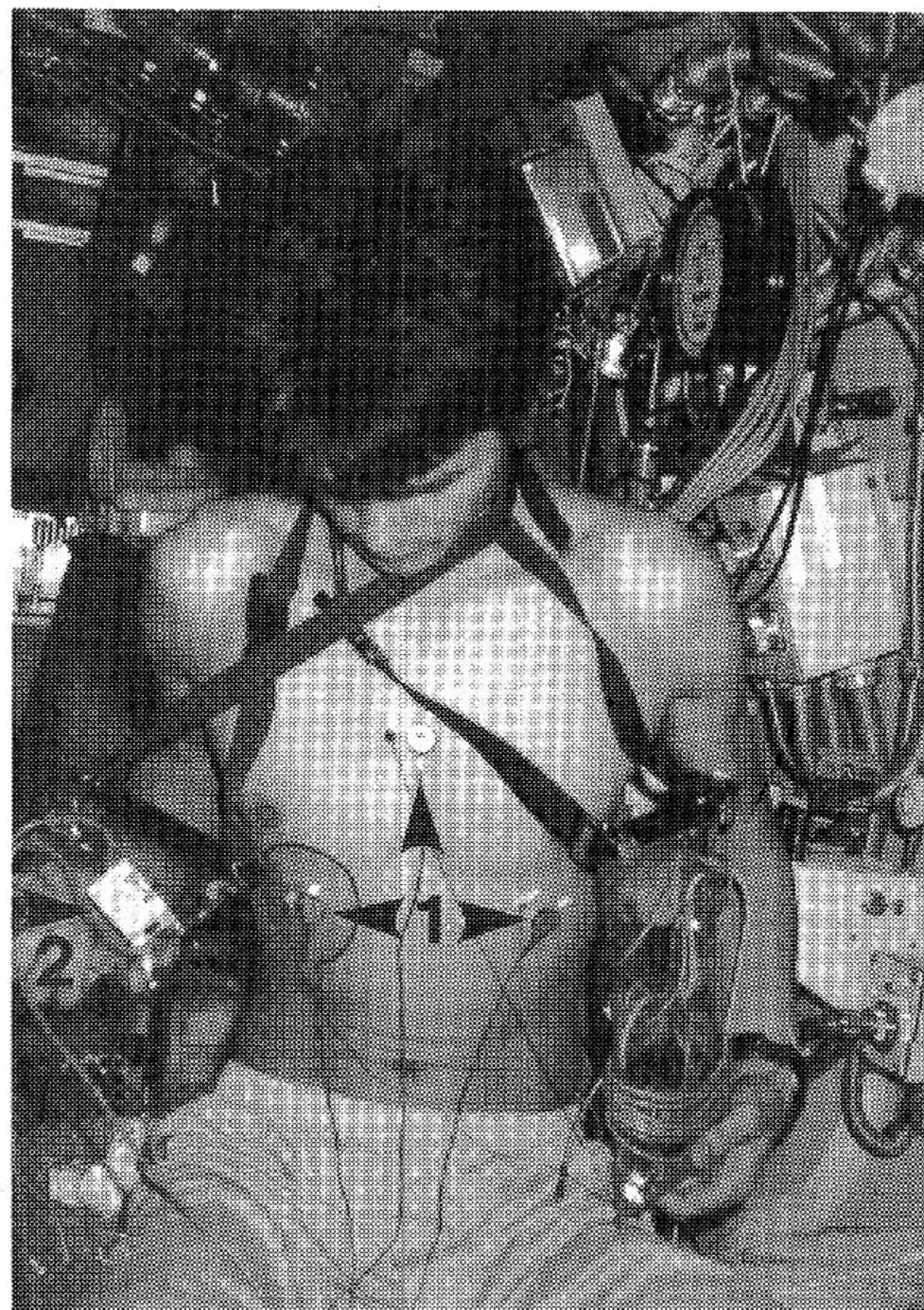


図1 ダイバーに心電図電極を装着したところを示す。

- 1 : IC-circuitと付加した心電図電極
- 2 : 電池ケース

Fig. 1 Equipped a diver with electrocardiogram electrodes

- 1 : ECG electrodes with IC-circuit
- 2 : Battery case

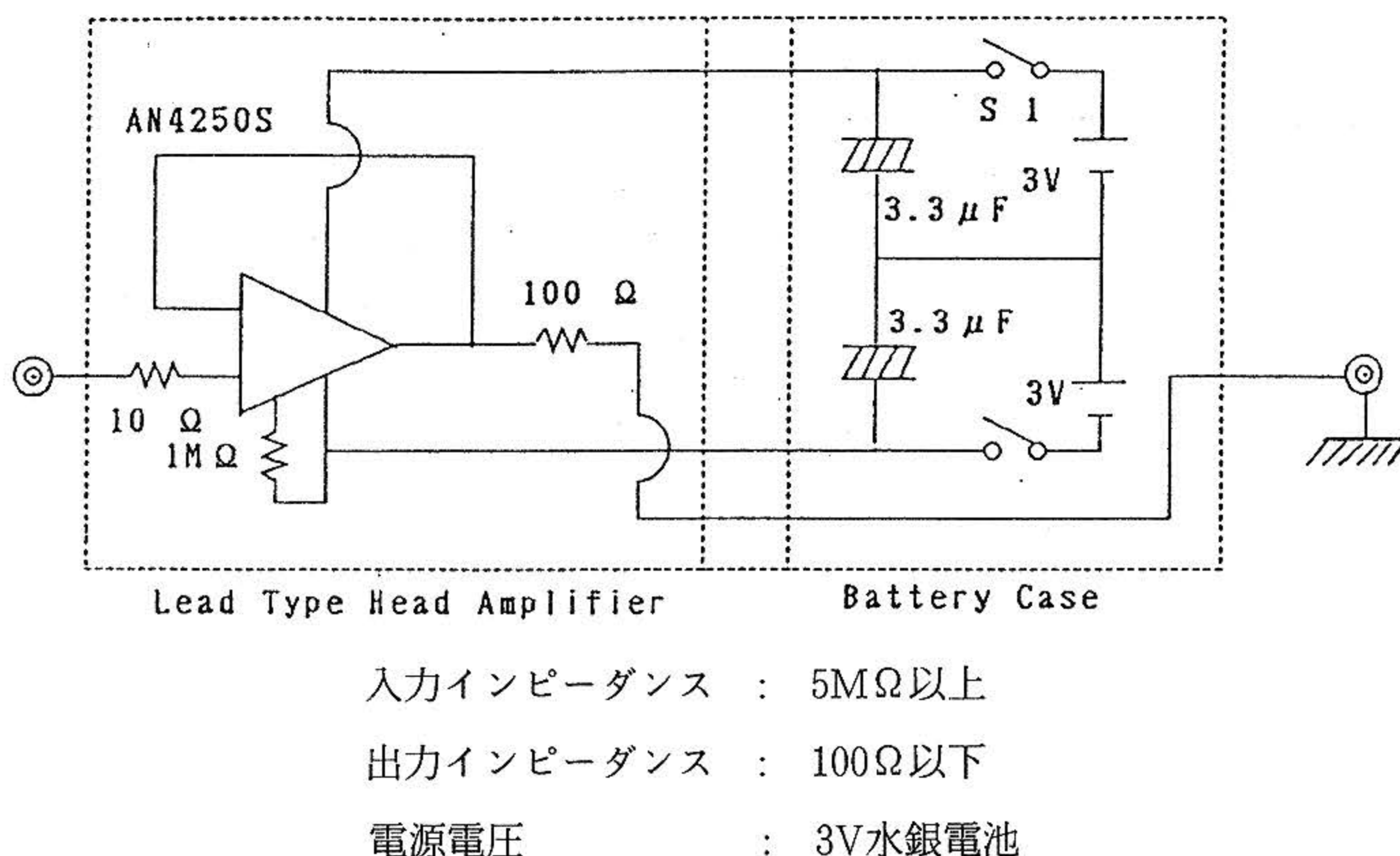


図 2 心電図測定用鉛式ヘッドアンプと電池ケース

Fig. 2 Diagram of lead type head amplifire and battery case

を送った。この心電図信号を“かいよう”船上で（図 3）不整脈検知機能を内蔵した心電図モニター装置（日本電気三栄製，Bioview G. ZG54V 改造型）でモニターし，ダイバー作業時およびSDC内でのダイバー，テンダーの心電図波形と心拍数を記録し監視した。

3 ダイバー作業と心拍数の変化

心電図モニタリング装置を用いて得られた代表的なダイバーの心電図記録および心拍数のトレンドグラフを図 4と5に示す。

He-O₂環境下のSDC内での坐位安静時の心拍数は，各ダイバーにより異なるが，延べ30名のダイバーの平均は 68 ± 9 beats/minであり，大気圧下の坐位安静時の心拍数³⁾は 74 ± 8 beats/minで有意差は認められなかった。一方，SDC内で坐位より立位，また潜水呼吸器の装着などの作業をすると心拍数は，10-20 beats増加した。ダイバーが潜水装備一式を装着してSDC内から海中作業，又は潜水作業のためにロックアウト，海中作業又は潜水作業を終了して再びSDC内へのロックインする時には，潜水呼吸装置装備の重量（空気中の重量は30-40kgであるが，水中における装備の重量は，その浮力のためほとんど0である。）に加え

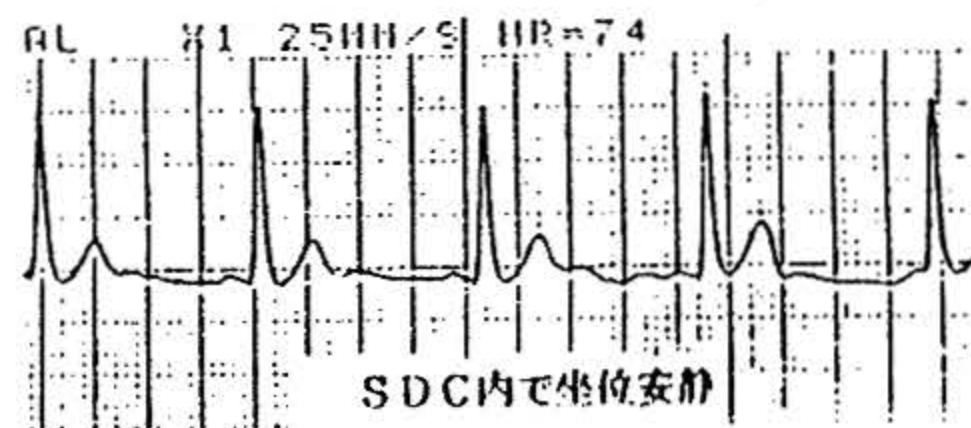


図 3 海中作業実験船“かいよう”船上に設置した心電図モニター装置

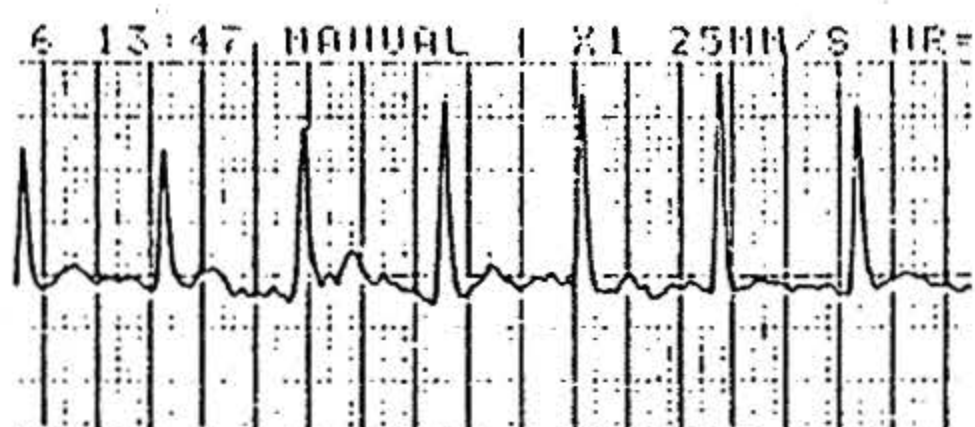
Fig. 3 ECG monitor on the multi-purpose vessel “Kaiyo”



SDC内で安静坐位



SDC内で坐位安静



ロックアウト準備中 立位



ロックイン中



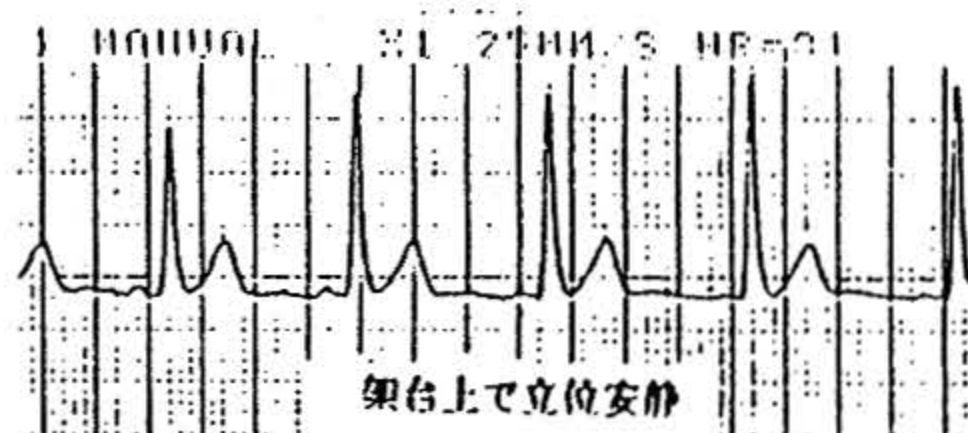
ロックアウトし海底へ降下中



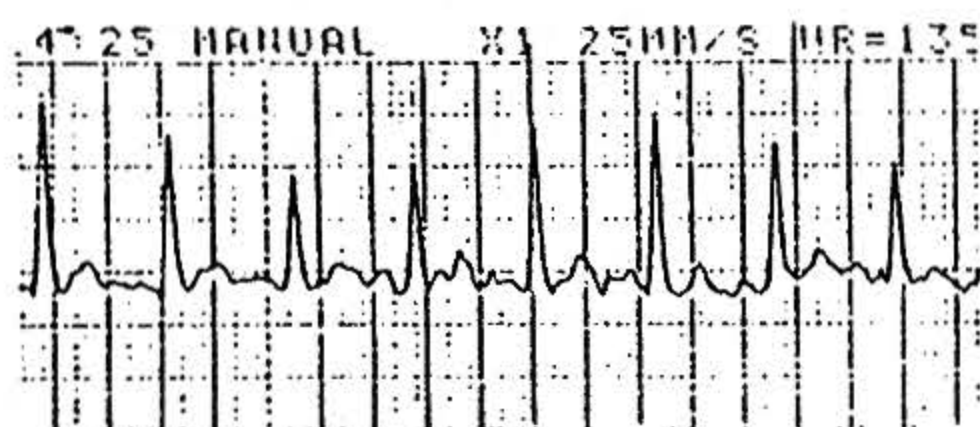
ロックイン中



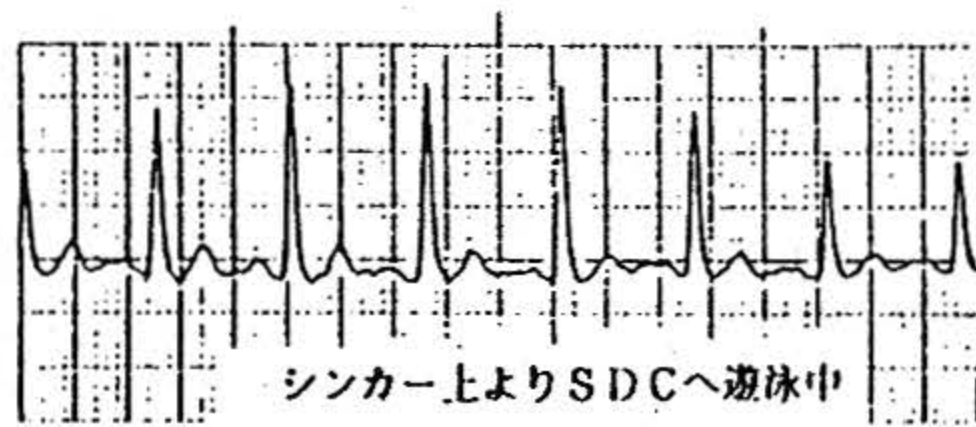
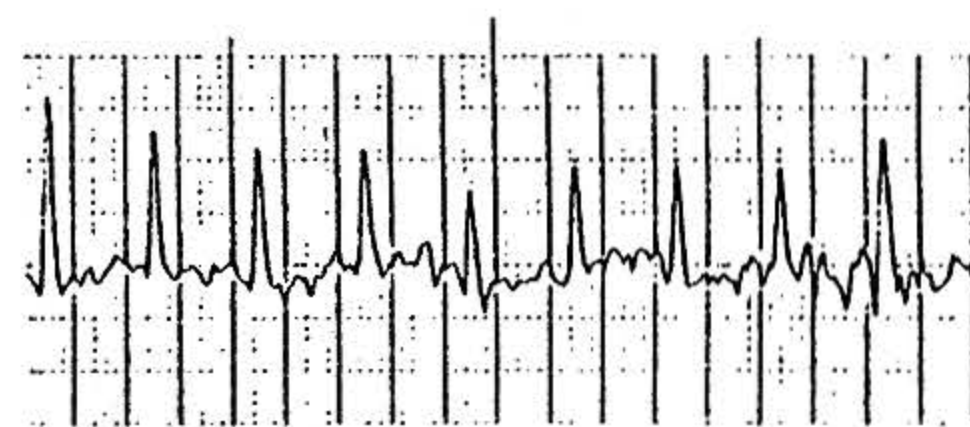
シンカー側で立位安静



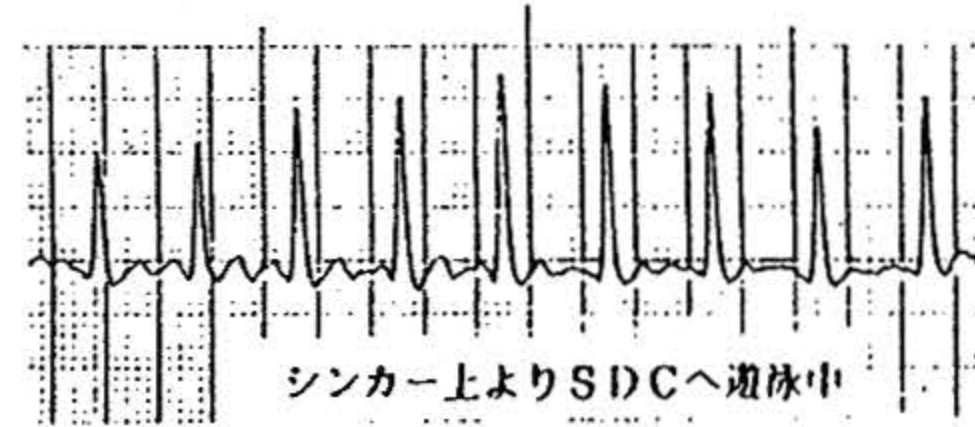
架台上で立位安静



フィンをつけて遊泳中



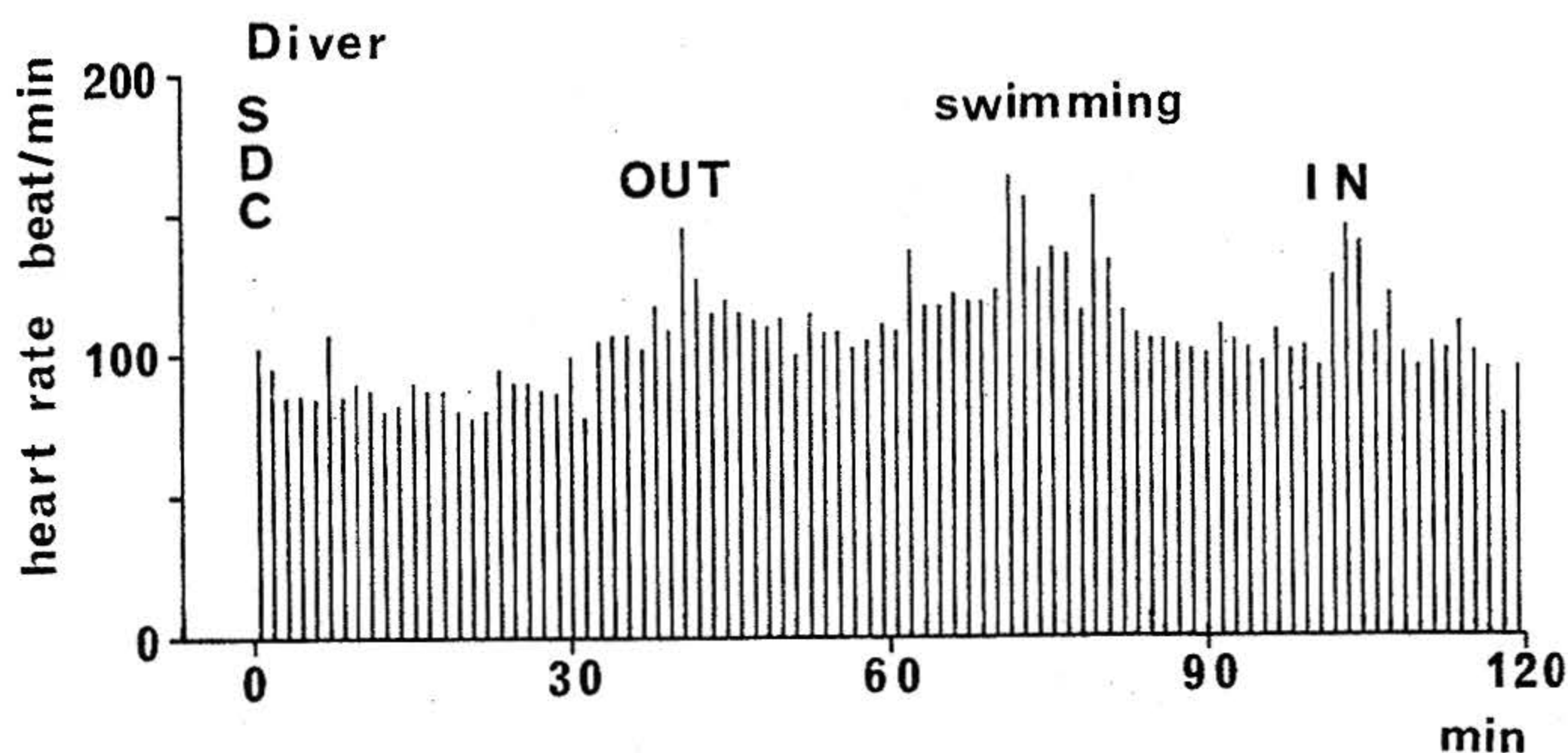
シンカー上よりSDCへ遊泳中



シンカー上よりSDCへ遊泳中

図 4 海中作業実験船“かいよう”船上で記録した心電図

Fig. 4 Diver's ECG records of resting in the SDC and during undersea exercise in deep sea diver



SDC : 水中エレベータ、OUT : ロックアウト、IN : ロックイン

SDC : Submercible decompression chamber, OUT : Locked-out, IN : Locked-in

図 5 ダイバーの心拍数のトレンドグラフ

Fig. 5 Trendgram of heart rate in deep sea diver

て、SDC内の狭い通路(800φ)(図6)を通過することにより心拍数は 147 ± 12 beats/minと VO_2 maxの70%と作業負荷量が増大した。ロックアウト、ロックインの作業は、測量、歩行などの動的作業と異なり、姿勢を一定に保持しながらの作業である静的作業で、その姿勢も最も負担の大きい中腰であり、かつ非常に緊張を要するためと推測された。一方、海底での作業をみると、立位安静時の心拍数は 84 ± 8 beats/min、海底測量、歩行時などの軽作業では、心拍数は 123 ± 14 beats/minと VO_2 maxの50%の作業負荷量であった。さらに海底を急いで歩行するとか、遊泳するとか、SDC外壁へのTVカメラの収納のような体重を利用できない作業では、心拍数は150 beats/minを越え、 173 ± 18 beats/minとsub VO_2 maxに達していた。当センターで実施した実海域飽和潜水では、ROVを用いたホーネットランチャーシステムによりダイバーの作業内容、海底状況を把握し、心電図モニタリングシステムによって、ダイバーの作業負荷量を把握し、異なった二つのシステムを用いて、海中作業、潜水作業時のダイバー作業の安全性をより一層向上させている。⁴⁾

4 テンダー作業と心拍数の変化

心電図モニタリング装置を用いて得られた代表的なテンダー心電図記録を図7に示す。

テンダーの心拍数の計測は、SDC内へダイバー移乗後、内部ハッチの閉鎖終了後より、心電図の記録を開始した。SDCとDDCを切離し、SDCの外部ハッチ閉鎖、SDC海底に向け降下中、水面チェックなど坐位安静中のテンダーの心拍数は、 68 ± 8 beats/minであった。SDC海底に到着後、SDC内の内部、外部ハッチ開放のための操作中、テンダーの心拍数は 118 ± 14 beats/minと上昇した。ダイバーのロックアウト準備、ダイバーロックアウトの際、テンダーの心拍数は、ダイバーと同様に著しく増加し、 148 ± 13 beats/minであった。その後、ダイバー用アンビリカルケーブルを送出し、収納、SDC内部チェックなどの軽作業では、心拍数は100 beats/min前後であった。再び、ダイバーがSDC内にロックインする際に、ダイバーと同様にテンダーの心拍数も著しく増加し、 145 ± 16 beats/minになった。その後、SDC内部、外部ハッチ閉鎖などの作業時、テンダーの心拍数は再び増加し、 142 ± 10 beats/minであった。SDCを海底から甲板への揚収、SDC外部ハッチ開放など一連の外部作業中、テンダーは坐位安静を

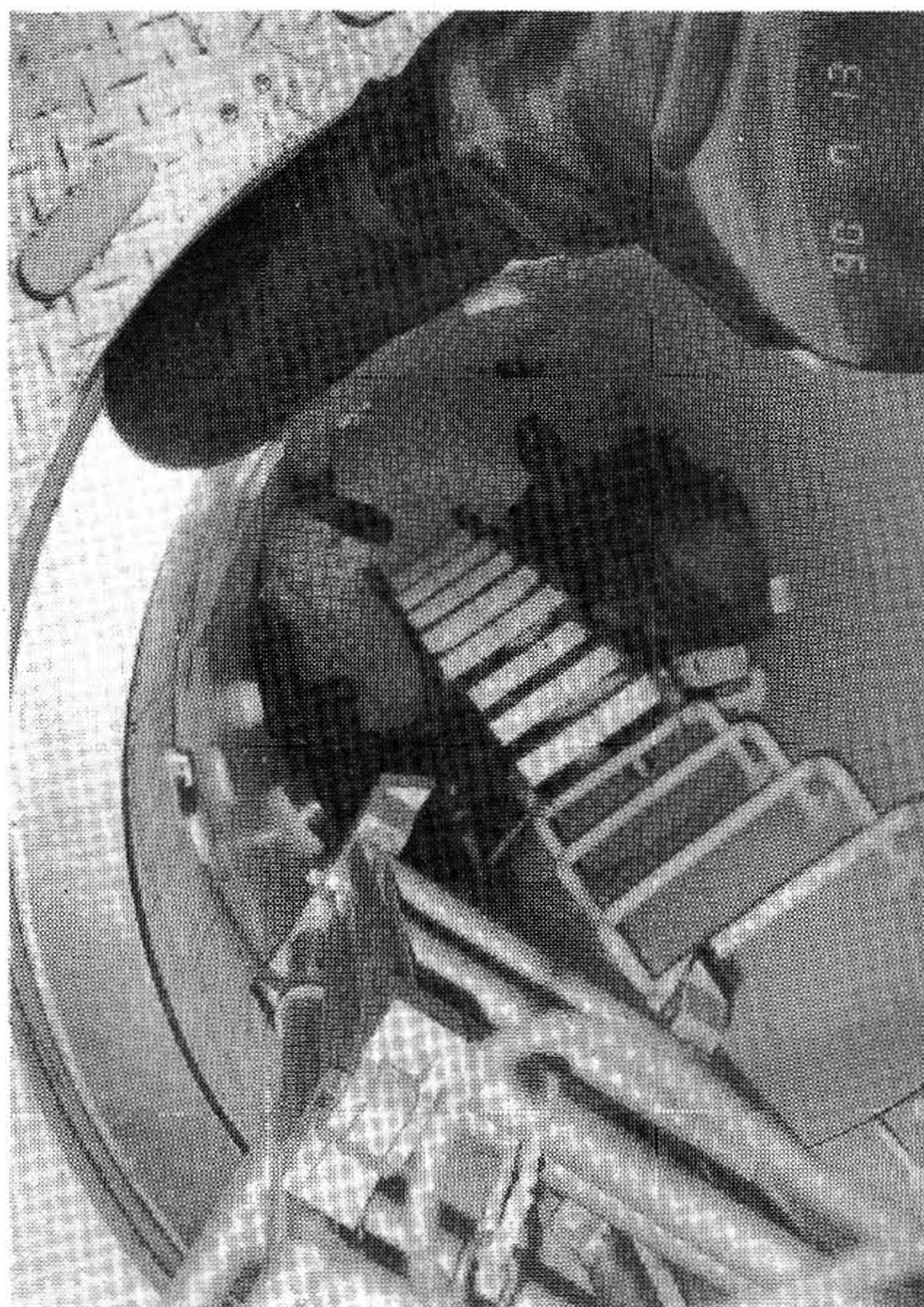


図 6 水中エレベータ (SDC) 内の狭い通路を示す。上部がSDC側、下部が居住室 (DDC) 内の潜水準備室側

Fig. 6 The Canal of the SDC

Upper : The side of the SDC

Lower : The side of the DDC

保っており、その時の心拍数は 70 ± 4 beats/minであった。テンダーの心拍数の計測より、テンダー作業で最も作業負荷が大きいのは、ダイバーと同様にロックアウト、ロックインの時であることが示唆された。

結 語

心電図モニタリング装置は、ダイバーの潜水作業中およびSDC (水中エレベータ) 内での心電図波形と心拍数を常時海中作業実験船“かいよう”船上でモニターすることが出来、潜水中のダイバーの安全を医学的に適確に確認する上で必要不可欠な装置である。一方、ダイバー、テンダーが作業

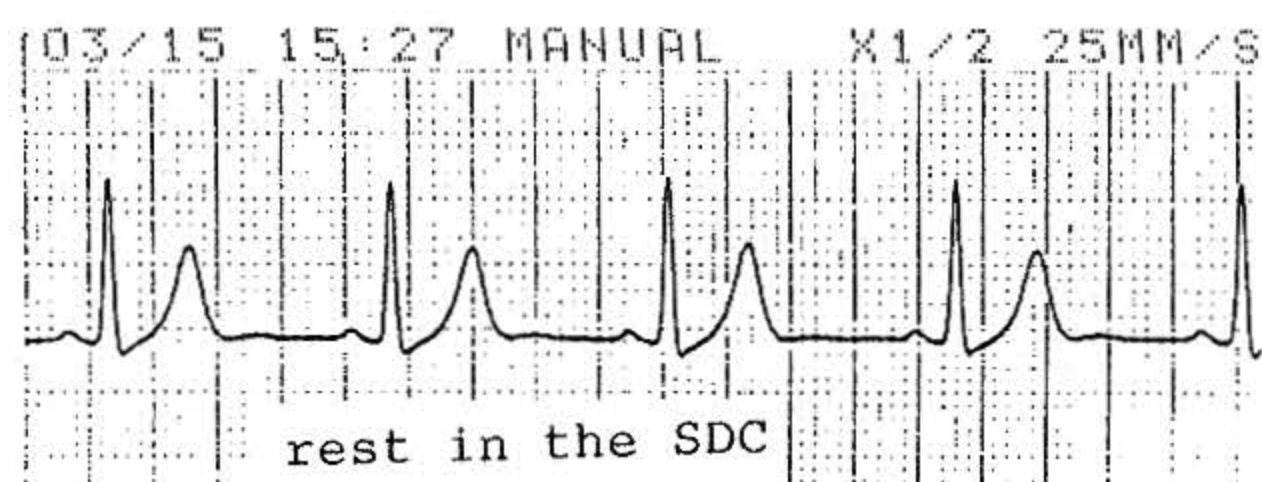
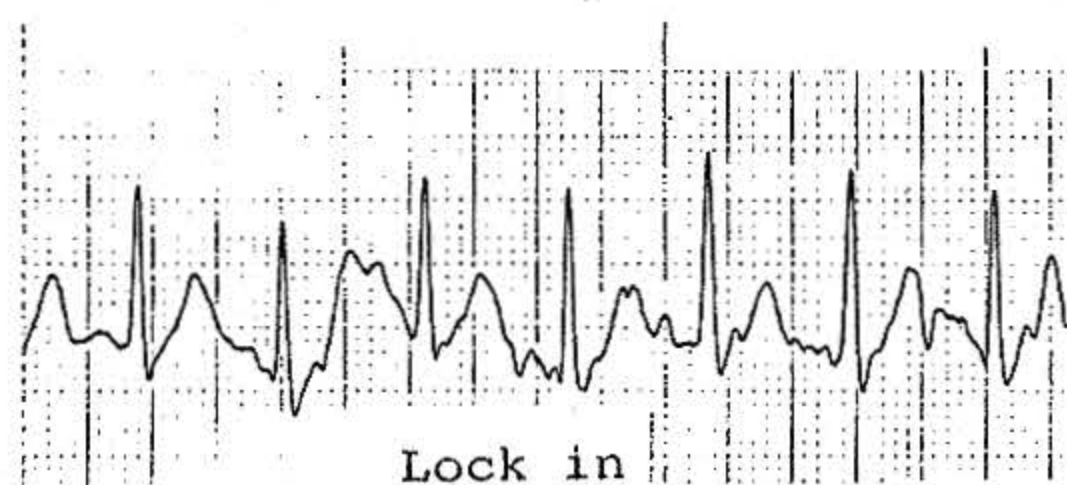
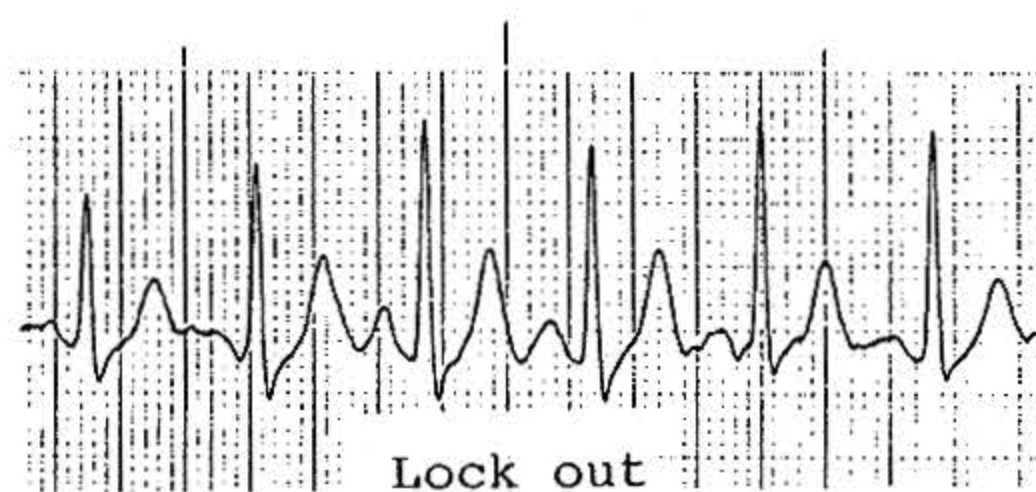
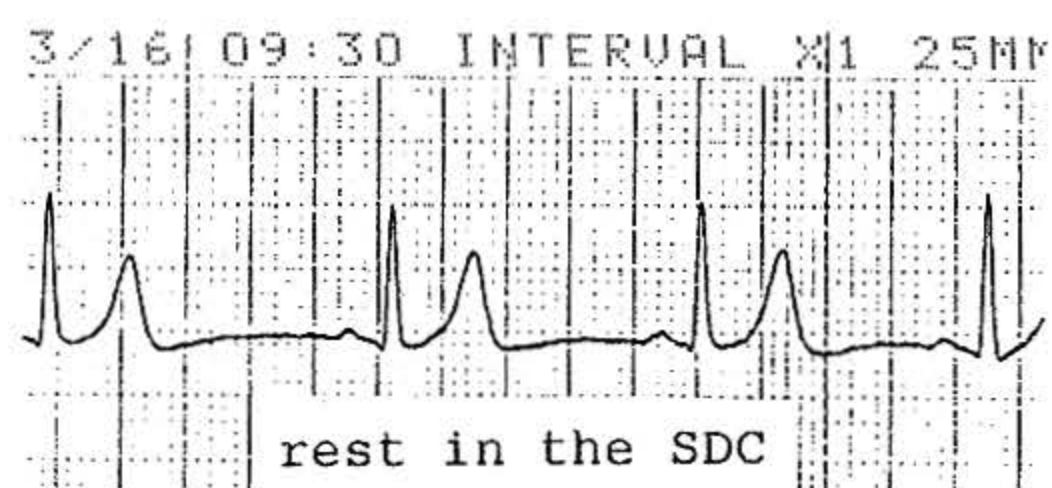


図 7 海中作業実験船“かいよう”船上で記録したテンダーの心電図

Fig. 7 Tender's ECG records of resting and working in the SDC.

する時に一番大きな負荷がかかるのは、遊泳など特殊な事例を除いては、SDC内の狭い通路をダイバーが経由してロックアウト、ロックインする時であり、テンダーもこの時期にダイバー補助作業により多大の負荷がかかることが明らかになった。

文 献

- 1) Åstrand, I. : Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta Physiol., Scand.*, Vol. 49, Suppl. 169, pp. 1-92 (1960)
- 2) 猪飼道夫, 山地啓司 : 心拍数からみた運動強度, *体育の科学*, Vol. 21, No. 9, pp. 589-593 (1971)
- 3) 設楽文朗, 山口仁士, 榎木暢雄, 毛利元彦 : 水中自転車エルゴメータによる最大下作業について, *JAMSTECTR*, Vol. 20, pp. 73-78 (1988)
- 4) Mohri, M. and Okamoto, M. : Visual and EKG monitoring for safe deep saturation diving at JAMSTEC, *MTS Journal*, Vol. 23, No. 4, pp. 47-49 (1989)

(原稿受理 : 1990年11月21日)