

ダイバーの水中工事中の生理的影響について

設楽文朗* 水嶋康男*
 他谷 康* 中野正美*
 関 邦博* 山口仁士*
 田辺正人**

目 的

職業ダイバーの水中工事は、上半身が主体となる作業が主なものと考えられる。本研究は、「工具の水中重量」および「ダイバーの作業姿勢」の2つの要素について変化させ実際の水中工事に近い状態でのダイバーの水中工事中の呼吸生理的影響について検討を行い合わせて水中動力手工具の最適水中重量の検討も行った。

方 法

本研究の手順は、(図1)のように行った。作業

環境は、水深2.8m、直径3mの水槽中である。水温は、 $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ であった。水槽中の照度は、投光器を介して十分な明るさを示した。水中工事の内容は、海洋科学技術センターで開発した海水圧工具ワイヤーブラシを用いてのペイント剥離(40×40cm)作業を完了するまで行った。工具の水中重量は、工具本体に鉛の丸棒(直径約10mm)を巻き付けることにより、3, 5, 7, 9kgの4通りとした。作業面の角度は、水平面を 0° (下向き作業)として 45° , 90° , 135° , 180° (上向き作業)の5通りとした。ダイバーは、工具重量4通りと作業面の角度5通りの組合せで合計20通りの作業を行っ

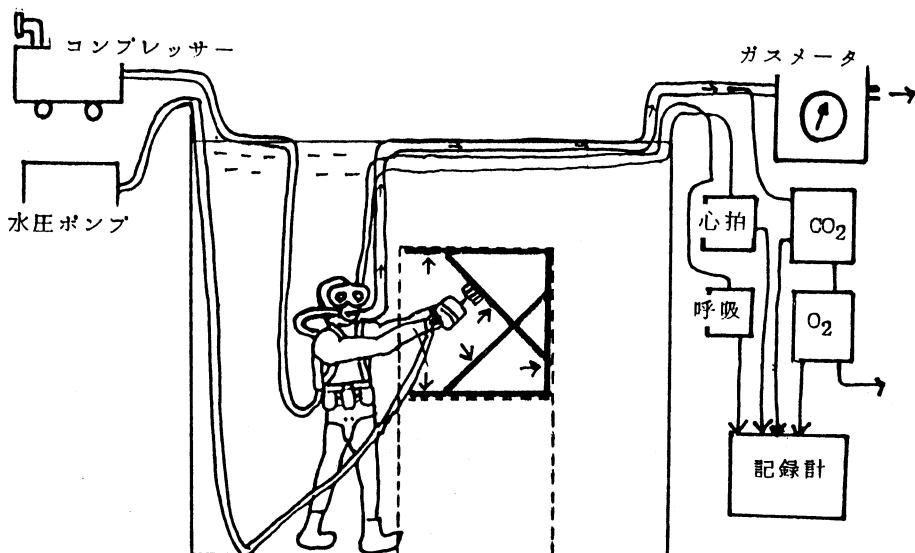


図1

*海洋科学技術センター潜水技術部

**東海大学海洋研究所

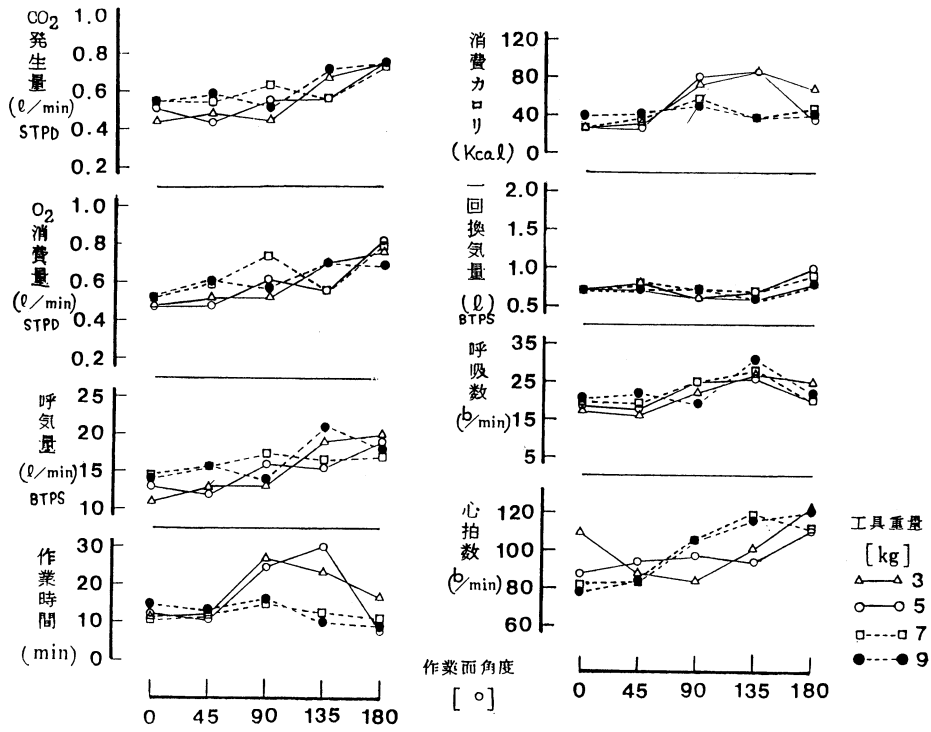


図2 ダイバーA

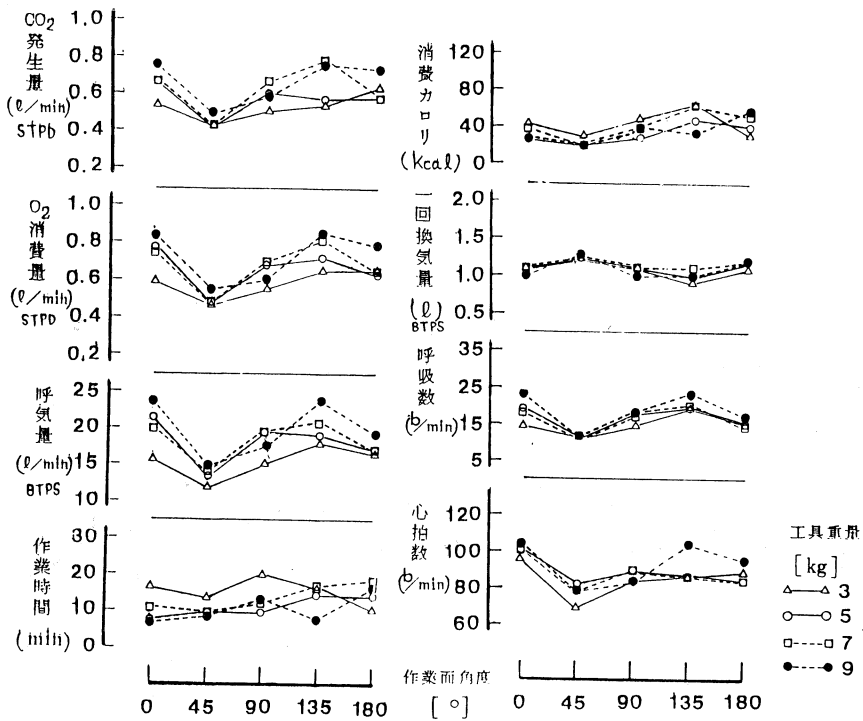


図3 ダイバーB

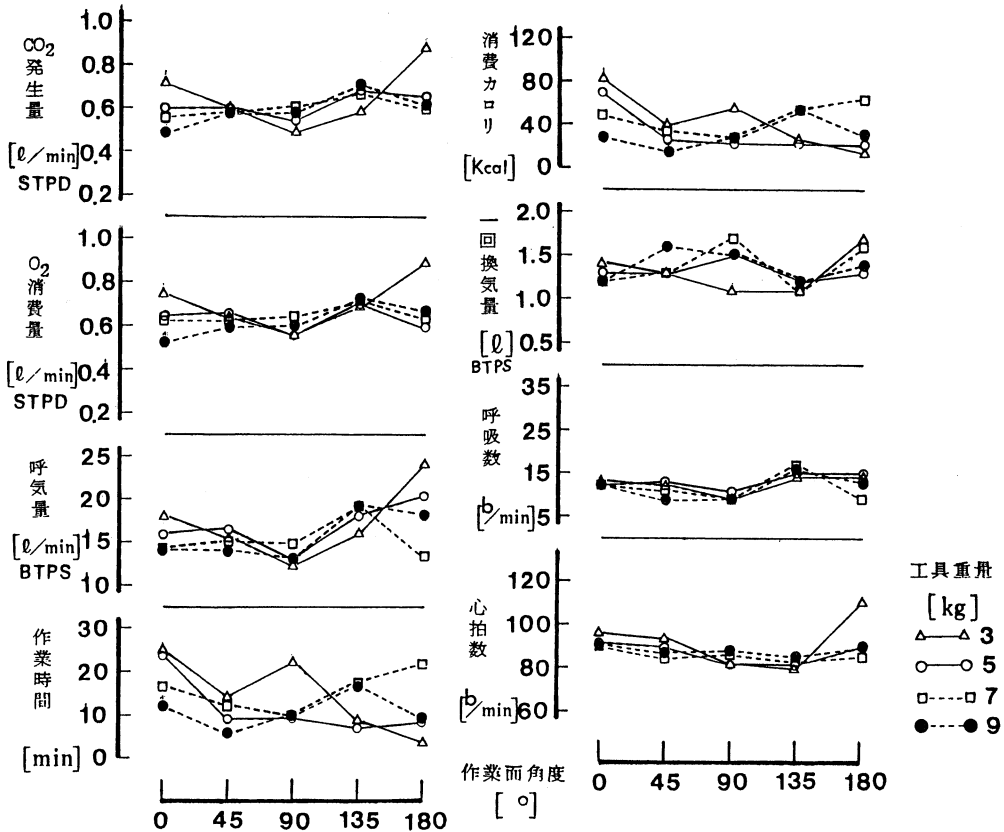


図4 ダイバーC

た。ダイバーは、27歳から30歳までの健康な男子3名であり、いずれも潜水の訓練をつんだ者である。

計測方法は、電動式エアーコンプレッサーからフーカー潜水方式により吸気ガスの供給を行った。呼気量 ($\dot{V}E$) の計測は、排気レギュレータ(コメックス社製)により水面上の湿式ガスメータ(品川製作所製 WK-DR-10C)で毎分の値を直読した。酸素消費量 ($\dot{V}O_2$)、炭酸ガス発生量 ($\dot{V}CO_2$) は、湿式ガスメータ入口から1 ℓ/minで導出し、酸素分析計 (APPLIED ELECTROCHEMISTRY INC, OXYGEN ANALYZER S-3A)、炭酸ガス分析計 (島津製作所製、赤外式 CO₂ 分析計 WRA-106) を介して連続的に分析を行った。心拍数 (fH) は、胸部誘導により心電計 (日本光電製、ハートモニタライフスコープ 80EC-3200 と、Cardiofax ECG-6201) で連続測定を行った。呼吸数 (fR) は、ダイバーのマウスピース内の温度センサ(日本光電製、呼吸計測用サーミスタ SR-115S)

で連続測定を行った。呼無量を除いて記録計 (渡辺測器製リニアコーダマーク VWR-3001) に連続記録し分析した。

結果および考察

図2, 3, 4がダイバーAからCの測定結果である。作業時間は、4~30分で最も速く作業完了した3kg, 180°(上向き作業)から、最も時間を費した5kg, 135°は、30分でも作業は完了しなかった。陸上で本実験のような作業は、工具重量3kgから9kgの増加で、また作業面の角度0°から180°で作業時間は、増加すると考えられたが、水中ではバラツキがみられた。特にダイバーCは、0°(下向き作業)で作業効率の悪さがみられた。 $\dot{V}E$ は、10~25 ℓ/min(BTPS)、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ は0.4~0.9 ℓ/min(STPD)で作業強度としては、軽度であると考えられた。またfHは、70~120b/min、fRは、5~30b/min、一回換気量(VT)は、0.5~1.5l (BTPS)であった。消費カロリーは、エネルギー

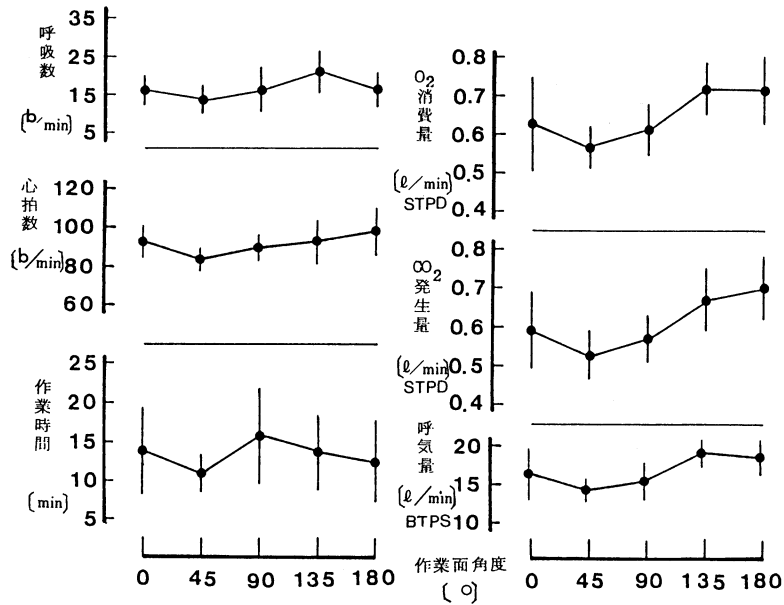


図5

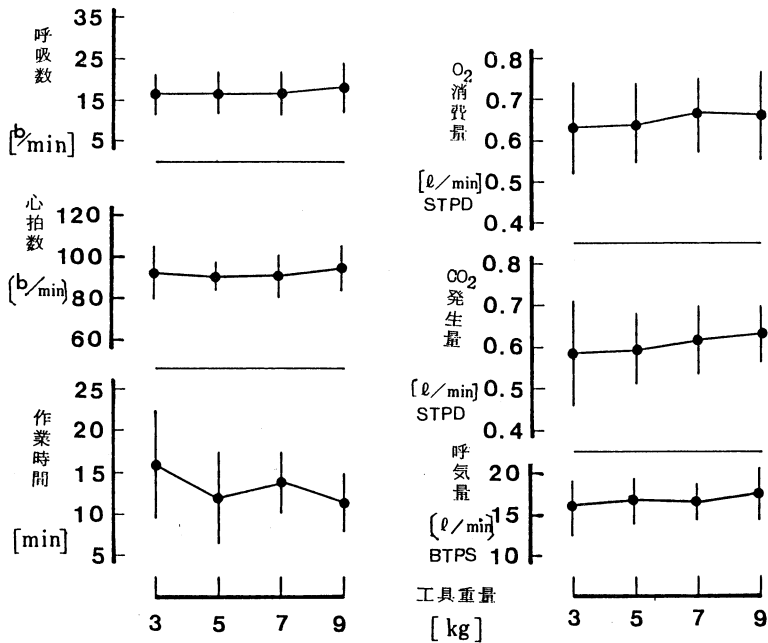


図6

代謝率 (RMR) が1.3~3.2と計算され、作業として定常状態が成立することから計算して、作業の完了まで15~90kcalであった。ダイバーBとCは、0°で、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、fH、fRの増加がみられた。特にダイバーBにおいて顕著であっ

た。これは、ダイバーAが、ウェイトを9kg、ダイバーBとCが、4kgであったために工具を下向きに力を加えると、その反力により身体に浮力が生じ作業のしにくさから、水中工事による負荷以上の負荷がかかったと推察された。また、ダイバー

Cは、3kg、180°で作業時間4分、 $\dot{V}E$ 25 l/min (BTPS)、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 0.8~0.85 l/min (STPD)、fH110b/minで、本実験中では、作業強度は重いものであった。そして、ダイバーAの3kg、90°は、作業時間28分、 $\dot{V}E$ 12 l/min (BTPS)、 $\dot{V}CO_2$ 0.5 l/min (STPD)、fH 82b/minで軽い作業であった。この2例に代表されるように作業強度と作業時間は、反比例の傾向を示した。これは、本実験が、運動負荷測定のように一定負荷による作業ではなく、ダイバーの自由な作業であったため、作業のしやすさが作業時間に関係し、作業がしやすいから作業時間が短縮され、その結果が、作業強度を増加させる傾向がみられた。実際のダイバーの水中工事を考えた場合、特に作業深度が増大するにしたがって減圧は、長時間になる。そのために、短時間に効率よく作業を完了することが重要となる。本実験で測定された作業強度においては、エネルギー代謝を減少させることより、短時間で効率よく作業を完了させることのできる作業面の角度と工具の水中重量の調整が重要な因子であることが判明した。

図5と図6は、作業面の角度と工具重量の各々から、ダイバー3名の作業時間、fH、fR、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}O_2$ の平均値と標準偏差値を示した。作業面角度45°が、作業時間等全ての測定値からも平均値、標準偏差値とも最少を示したことから、作業強度が軽く作業がしやすかったと推察された。工具重量からは、3~9kgと重くなる程作業時間の標準偏差値は少なくなり9kgが平均値で最少を示したことから水中では、陸上と比較しある程度の重量が必要であることが示唆された。しかし、 $\dot{V}E$ 等その他の測定値からは、工具の水中重量は何kgが最適であるかの傾向はみられなかった。

ま と め

工具重量を3~9kgの4通り、作業面の角度0°(下向き作業)から180°(上向き作業)の組合せで20通りの測定を行ったことから、呼吸生理的に陸上で考えられるエネルギー代謝の傾向はみられずバラツキがみられた。作業面の角度40°が本実験において最もエネルギー代謝が最少であった。また作業時間から最も作業しやすかった作業面の角度であったと推察された。しかし、工具重量については、何kgが最適重量かは、判明し難い。しかし、ダイバーへかかる浮力の問題から0°(下向き作業)では、作業時間の増大や、3kg180°(上向き作業)で最少の作業時間から推察すると、ダイバーと工具を含めた水中重量からダイバーが姿勢を制御し固定できることが作業効率を上げるうえで重要であるといえる。このことは、作業面が下向きか上向きかで工具の水中重量を調整する必要があると考えられる。今後、種々の水中工事の呼吸生理的測定をすることは、ダイバーの水中工事の安全性、または水中工具の開発に役立つものと考えられる。

【参 考 文 献】

- 1) 沼尻幸吉：労働の強さと適性作業量，労働科学研究所
- 2) Effects of immersion and static lung loading on submerged exercise at depth ED THALMANN DK etc. Undersea Biomedical Research, 6(3):259-289, 1979
- 3) Yamaguchi H: Development of seawater hydraulic tool for diver use. '83 Diving Symposium p.33-43