

□原著論文□

レクリエーショナル・スキンドайビングを模した断続的息こらえ潜水の
予備心拍数と血中乳酸濃度の推移永島昇太郎¹，藤本浩一²，千足耕一²。¹帝京大学；²東京海洋大学

海洋人間学雑誌, 14(2):21-28, 2026.

(受付: 2024年6月12日; 最終稿受理: 2025年10月14日)

【抄録】

本研究では30分程度のレクリエーショナル・スキンドайビングを模した断続的な息こらえ潜水の特性を、生理学的な指標である予備心拍数および血中乳酸濃度から探索的に明らかにすることを目的とした。水中活動経験(スノーケリングまたはスクーバダイビング、競泳の経験)が豊富な成人男性22名(平均年齢38.8±16.4歳)を対象とし、25m室内プールにて実際の海洋におけるレクリエーショナル・スキンドайビング時と同程度の努力度となる30秒程度の25m息こらえ潜水を、断続的に10セット反復するプロトコルにて約30分実施した。測定項目は心拍数と血中乳酸濃度であり、心拍数はプロトコル中に連続して測定を行い、血中乳酸濃度は各セットとすべてのセット終了2分後および5分後に測定した。さらに、セット毎の潜水泳に要した時間を計測して泳速度を算出した。本研究の潜水泳速度の平均値は、10セットを通して0.72~0.76m/sと安定した値を示し、フィンキックの際の努力度=運動負荷は、実際の海洋におけるレクリエーショナル・スキンドайビングと同程度と考えられた。予備心拍数の平均値は10セットを通じて27.6~31.2%HRR(Heart Rate Reserve)を示したことから、レクリエーショナル・スキンドайビングにおいては運動後の心拍数は増加が認められるものの、予備心拍数は30%程度であり運動強度は低強度であった。また、血中乳酸濃度は1セット目で2.2mmol/L、2セット目以降は2.6~3.1mmol/Lと微増が認められるものの、反復回数の増加に伴う変化はみられず、さらに同様な運動負荷の陸上運動時と比較すると、血中乳酸濃度は予備心拍数に比べて相対的に高いことが示された。このような傾向の要因として、潜水泳においては潜水徐脈が生じていた可能性が考えられること、さらに、ゆっくりとした速度(0.72~0.76m/s)でのフラッターキックが心拍数を増加させなかったことが推測され、血中乳酸濃度は乳酸閾値以上であるが、血中乳酸蓄積開始点には達しておらず、主要なエネルギーは乳酸系によるものよりも、主として有酸素系によって供給されていることが示唆された。

キーワード: レクリエーショナル・スキンドайビング、予備心拍数、血中乳酸濃度。

I. 緒言

スキンドайビングは、マスク、スノーケル、フィンなどの器材を使用するものの、水面下の活動においては呼吸に関しては特殊な装置を使わずに、自らの肺に蓄えられた空気のみを用いて息をこらえながら泳いだり、潜ったりする自由な水中活動である¹⁾。

岡本ら²⁾は安全性確立の見地から、日本で一般的に考えられている概念を確定するために、スキンドайビングは、「3点セットを装着し、息をこらえて水深10mぐらいまでの潜り」、「潜っている時間は1分前後を限界」、「高校生以上から高齢者まで楽しめるスポーツ」、「浅い海での調査、採集などに研究者が手軽にできるリサーチなどの息こらえ潜水」と言及している。

この身軽な装備で水の中に潜り、水中を泳ぎ回れるということから、スキンドайビングは、レクリエーショ

ナルに行えるマリンスポーツとして楽しまれている。また、スクーバダイビングでの基礎実技として行われており³⁾、多くのスクーバダイバーがスキンドайビングを経験している。

水中での活動は陸上とは異なる環境下で行われることから、特有の物理的・生理的・心理的作用⁴⁾がある。その特性から、息をこらえて潜水をすることについては、海女や海士などの職業的な活動に対する文化的な研究^{5,6)}や、水中活動での身体の影響に着眼した研究^{7,8)}がみられた。また、生理学的視点での研究⁹⁻¹¹⁾では、スキンドайビングよりも競技性の高いフリーダイビング競技を対象にしたものが行われている。

しかし、レクリエーションとして広く行われているスキンドайビングについては運動方法学的な内容について、教育機関での実践的な指導に関わる報告^{12,13)}はあるものの、その特性や身体に関わる生理学的な視点についての研究例は少ない。

スキンドайビングの更なる普及を考えるうえで、そのものの運動の特性を幅広く探求することが必要であ

責任著者: 永島昇太郎

〒192-0395 東京都八王子市大塚359

帝京大学

e-mail: shotaron7@gmail.com

り、特に安全性を検討する上では、身体に関わる生理学的な研究を進める必要があると考えられる。しかしながら、実際の海洋におけるスキンドайビング実施中に生理学的なデータを収集することは、ほとんどの計測機器が海洋環境での使用に適しておらず、本件がスキンドайビングに関する生理学的な視点の研究例が少ないことの要因のひとつとなっている。

そこで本研究では、プールにおいて実際の海洋におけるレクリエーションに実施されているスキンドайビング(以下「レクリエーション・スキンドайビング」とする)を模した断続的な潜水泳を実施し、Karvonen法による予備心拍数と血中乳酸濃度を指標として、レクリエーション・スキンドайビング中の運動強度について検討することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者、測定環境および倫理的配慮

安全面への配慮から、スノーケリングまたはスクーバダイビングの指導員として3年以上の経験を持ち、かつNAUI(National Association of Underwater Instructors)の示すアシスタントインストラクター条件となる、「環境、水深、活動内容などが多様な20回以上の潜水経験」がある者、またこの条件と同等の泳力を有し、日常的に水泳経験を有する成人男性計22名(平均年齢:38.8±16.4歳)を本研究の対象者とした(表1)。

表1. 測定対象者のプロフィールおよび測定環境

ID	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	安静時 心拍数 (HR)	測定日	水温 (°C)	室温 (°C)
1	53	179	80	76	2020/10/28	29.2	28.1
2	22	183	112	66	2020/10/28	29.2	28.1
3	29	172	78	66	2020/10/28	28.1	29.4
4	22	167	65	77	2020/10/28	28.1	29.4
5	50	168	69	65	2020/2/24	29.4	28.9
6	38	182	80	62	2020/3/4	28.2	29.4
7	61	184	80	66	2020/3/28	28.0	27.9
8	53	171	75	62	2020/3/4	28.3	29.6
9	51	172	70	88	2020/3/4	28.3	29.8
10	48	169	68	64	2020/3/5	28.1	27.8
11	21	178	73	61	2022/11/12	29.2	32.3
12	22	174	74	58	2022/11/12	29.5	29.2
13	20	173	70	54	2022/11/12	29.3	30.2
14	22	171	65	60	2022/11/12	29.3	30.2
15	20	178	68	60	2022/11/12	29.3	30.4
16	20	167	63	60	2022/11/12	29.2	30.7
17	53	168	70	66	2022/11/12	29.6	29.5
18	56	169	64	54	2022/10/30	29.6	30.0
19	63	183	80	66	2022/10/30	29.5	30.0
20	61	180	87	60	2022/12/4	30.1	29.9
21	44	171	77	67	2022/12/4	29.9	30.6
22	24	174	65	88	2022/12/4	29.9	30.6
Ave	38.8	174.2	74.2	65.7		29.1	29.6
SD	16.1	5.5	10.4	8.9		0.7	1.1

また、測定環境の統一および血中乳酸濃度測定の精度を担保するために、本研究の測定は帝京大学八王子キャンパス屋内25mプール(水深:1.2~1.4m 屋内気温:29.6±1.0°C 水温:29.1±0.7°C)にて実施した。

なお、本研究は、帝京大学医学系研究倫理委員会の倫理認定を受け(帝京倫19-113-3号)、対象者には倫理委員会で認定を受けた方法によって研究に関する説明を行い、参加同意書への署名を以て研究参加への同意を得た。

2. 実験プロトコル

実際に海洋などでレクリエーション・スキンドайビングを実施する際、「潜水地点までの水面移動→潜水前の息こらえ準備→息こらえ潜水」、という活動の流れが繰り返して行われることが多い。本研究は、測定環境の統一および血中乳酸濃度測定の精度を担保するために、25m室内プールにて測定を行うことから、上記に示した実際のレクリエーション・スキンドайビングにおける活動の流れを、「25mの水面泳→30秒の浮遊→25mの潜水泳」として模することとした。

さらに本研究においては、フィンキックの際の努力度についても実際のレクリエーション・スキンドайビングと同程度とする必要があるため、プールにおけるフィンキックの際の努力度の設定については、スキンドайビング熟練者6名の男性(年齢:50.6±7.4歳、スキンドайビング歴:27.2±11.3年)の協力を得て、普段行っている海洋におけるレクリエーション・スキンドайビングと同程度の努力度で、25mの潜水泳を断続的に10回行ってもらい予備実験を実施した。

その結果、25mの潜水泳の平均所要時間は30.9±3.5秒であり、この値が、椿本ら¹²⁾が行ったスキンドайビングにおける潜水技能の変化についての研究で報告されている、男子学生の25m平均潜水泳時間30.0±12.0秒と比較して同程度の値であった。このことから本研究における25mの潜水泳の努力度を、所要時間が30秒となる程度と設定した。また、25mの水面泳についても、潜水泳に倣って所用時間30秒となる程度と設定した。

なお、本研究においては、使用する器材の差異(フィンの硬度など)や泳法が、血中乳酸濃度や心拍数に影響する可能性が考えられたため、使用器材については、マスク・スノーケル(AQA「スノーケリングセットKZ-9004」)、マリンプーツ(シーサー海人商店「スノーケリングシューズ」)、およびフィン(GULL「スーパーミュラーフラッターXX」)で統一し、泳法については、水面泳、潜水泳ともにフラッターキックに限定することとした。

また本研究では、プールでの活動中に血中乳酸濃度測定をすることから、採血部位となる指先に付着する水分と血液を混合させないために、採血の際に毎回完全に水分を拭き取り、水分が残っていないかについて確認を行う必要があるため、「25mの水面泳(所要時間30秒)→30秒の浮遊→25mの潜水泳(所要時間30秒)」につづいて、対象者には90秒間の立位姿勢を取らせ、この間に血中乳酸濃度測定を実施した。

以上のことから、本研究においては「25mの水面泳(所要時間30秒)→30秒の浮遊→25mの潜水泳(所要時間30秒)→90秒間の立位姿勢(血中乳酸濃度測定)」を1セットとし、このセットを10回反復することによって、実際に海洋などで実施するレクリエーション・スキンドайビングを、25m室内プールにおいて模するプロトコルとした(図1)。

3. 測定項目及び測定方法

以下、①~③について測定を行った。

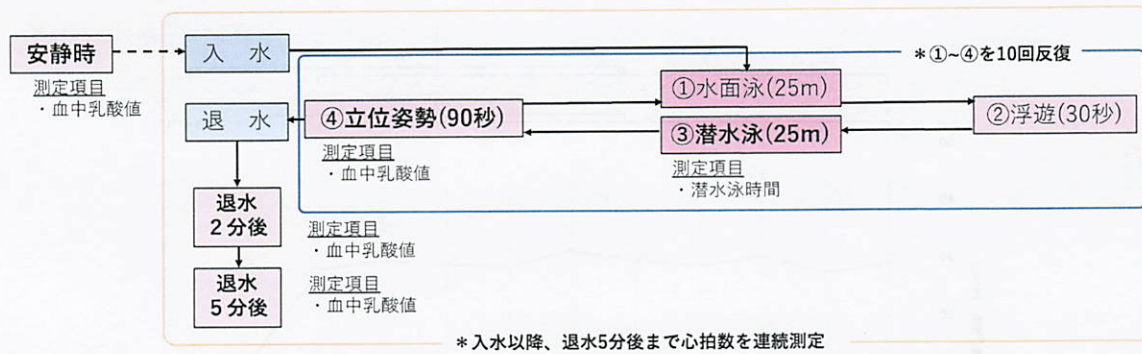


図1. 本研究の測定プロトコル

①潜水泳速度

所用時間30秒と設定した25mの潜水泳について、各対象者の主観的な感覚により泳いでもらい、実際に要した時間をセット毎に計測し、潜水泳速度を算出した。

②予備心拍数

無線スポーツ心拍計(POLAR社「Vantage series」)を対象者に装着し、入水前の安静時から、「25mの水面泳(所要時間30秒)→30秒の浮遊→25mの潜水泳(所要時間30秒)→90秒間の立位姿勢(血中乳酸濃度測定)」×10セット、退水後の5分間の安静までの間で継続的に心拍数の測定を行った。

得られた心拍数は、測定対象者の年齢に差異があることから、入水前の安静時の心拍数を用いて、各セットの潜水泳終了後と、退水2分後と退水5分後のそれぞれ10秒後の平均心拍数を用いて、以下のKarvonen法の逆算式にて予備心拍数を算出した¹⁴⁾。

$$\text{予備心拍数} = \frac{([\text{心拍数}] - [\text{安静時心拍数}])}{(220 - [\text{年齢}] - [\text{安静時心拍数}])}$$

③血中乳酸濃度

血中乳酸濃度測定は、血中乳酸濃度測定器(アークレイ社「ラクテート・プロ2 LT-1730」)を用いて、入水前の安静時と、入水後の各セットでの潜水泳終了後の

立位姿勢時に10回、退水2分後と退水5分後に計13回の測定を行なった。

なお、採血は採血針を用いた対象者による自己採血とし、採血部位は非利き手第2~4指の尖部とした。採血の際には毎回、タオルおよび不織紙を用いて採血部に付着する水分を完全に拭き取り、水分が付着していない事を確認した。

4. 統計処理

得られた測定項目の局面毎における対象者の平均値を用いて、潜水泳速度は各セット、予備心拍数と血中乳酸濃度は各セットと退水2分後と退水5分後について一元配置分散分析を行ない、主効果が有意であった予備心拍数と血中乳酸濃度については、Tukeyの多重比較を用いてセット進行の検討を行った。統計処理にあたっては、IBM社SPSS Statistics Ver.29を用い、有意水準を5%とした。

III. 結果

潜水泳速度の平均値の推移は図2で示した。1セット目の泳速度は0.72±0.16m/sであり、2~9セット目では0.75~0.76m/sの安定した泳速度が認められた。10セット目の泳速度では0.74±0.15m/sと緩やかな減速が認められたものの、泳速度は1~10セットにおいて安定した値を示した。また本研究において、フィンキックの際の努力度として設定した25mを30秒で泳ぐ速度は0.83

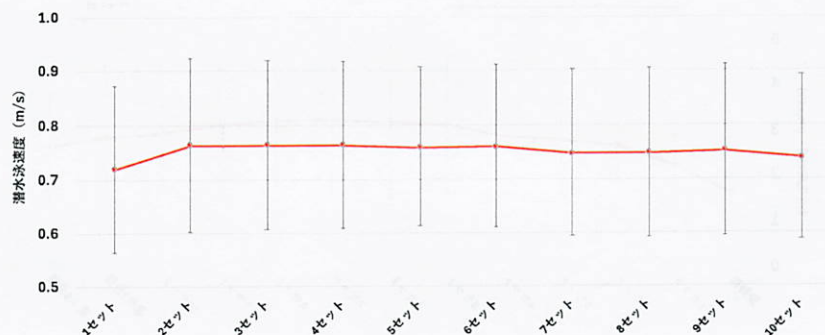


図2. 潜水泳速度の平均値の推移

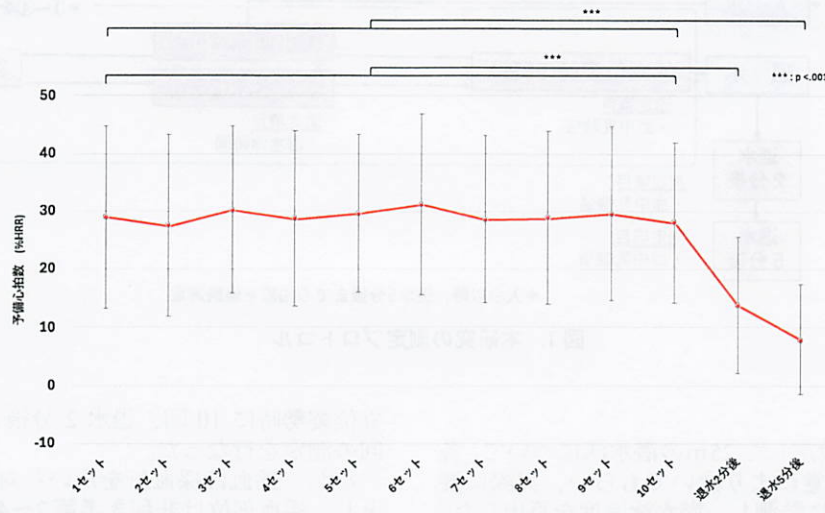


図3. 予備心拍数の平均値の推移

m/sであり、この値と比較して本研究で実際に行われた潜水泳における10セットの平均速度が0.75m/sと低値を示したものの、その差は0.08m/sであった。

予備心拍数(%HRR)の平均値の推移は図3に示した。1セット目に29.0±15.8%HRRであったものが直後の2セット目で27.6±15.8%HRRと最も低い値を示した。その後、3セット目で30.3±14.5%HRRを示し、6セット目では最高値となる31.2±15.6%HRRを示すが、10回の測定値は多少の増減をしながらも大きな変化はみられなかった。なお、退水2分後には13.9±11.8%HRR、5分後には8.0±9.5%HRRと退水時間の経過とともに、

顕著な減少がみられた。一元配置分散分析では有意な変化が認められ(F(32,1)=28.162,p<.001)、多重比較を行ったところ、潜水泳1～10セットと退水2分後とのすべての間と、潜水泳1～10セットと退水5分後とのすべての間に有意差(p<.01)が認められた。

血中乳酸濃度の平均値の推移を図4に示した。血中乳酸濃度は、入水前の安静時において1.6±0.2mmol/L示し、5セット目の3.0±1.5mmol/Lに至るまで緩やかな上昇が認められた。6～9セット目においては3.0～3.1mmol/Lの定常状態を示し、10セット目においては2.8±1.3mmol/Lの値を示した。また、退水2分後に2.7±

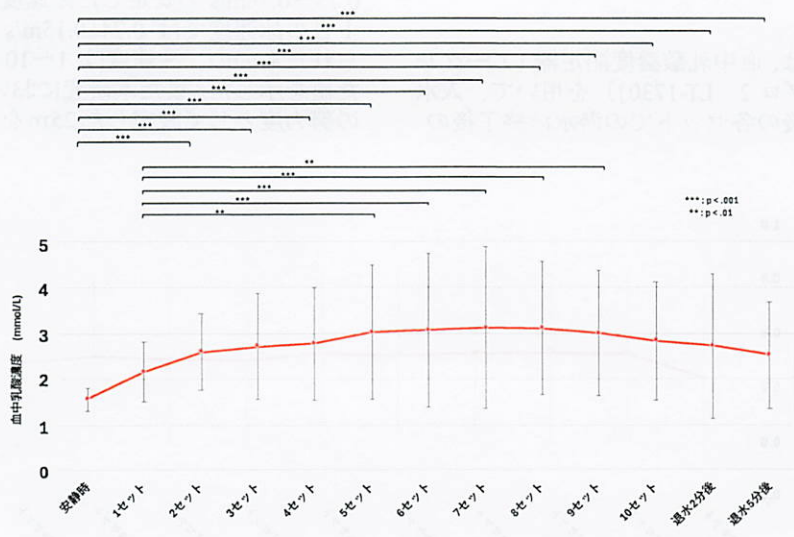


図4. 血中乳酸濃度の平均値の推移

1.6mmol/L、退水5分後に 2.5 ± 1.2 mmol/Lを示した。

一元配置分散分析の結果、有意な変化が認められ ($F(33,1)=25.991, p<.001$)、多重比較を行ったところ、入水前の安静時と潜水泳2セット～退水2分後及び退水5分後の全ての間に有意差 ($p<.001$) が認められた。さらに、1セット目と5セット目および9セット目 ($p<.01$)、1セット目と6～8セット ($p<.001$) の間にも有意差が認められた。

IV. 考察

1. 本研究で設定したフィンキックの際の努力度=運動負荷について

これまで、実際の海洋において実施されるレクリエーション・スキンドайビングは、どの程度の運動強度であるのかについては、海洋環境における生理学的データの取得が方法的に困難であることも影響して、我々の知る限り報告例が無い。

そこで本研究では、室内プールを利用して、実際の海洋におけるレクリエーション・スキンドайビングを模した活動を実施し、予備心拍数と血中乳酸濃度を指標とした運動強度の検討を試みた。しかし、この検討の前提条件として本研究で設定したプロトコルが、実際の海洋における活動と同程度の運動負荷であるという担保がなければ、この運動負荷が反映される予備心拍数と血中乳酸濃度を、実際の海洋における活動で得られる値と同等なものを見なし、海洋における活動の安全性を向上させるための参考とすることは難しい。本件について、本研究では方法にて詳細を示したように6名の熟練スキンドайバーを対象として、普段行っている海洋でのレクリエーション・スキンドайビングと同程度の努力度で、プールにおいて25mの潜水泳を断続的に10回行ってもらう予備実験を実施した結果と、先行研究の傾向から、25mを30秒で泳ぐ速度(0.83m/sec)として、対象者のフィンキックの際の努力度=運動負荷を設定した。

図2に示した潜水泳速度の平均値の推移を見ると0.72～0.76m/sを示し、10セットの平均速度である0.75m/sは25mを30秒で泳ぐ速度である0.83m/sと比較すると、その差は0.08m/sであった。この差は実際の海洋で実施するレクリエーション・スキンドайビングに対して、測定を水中環境が安定したプールで行ったことにより、対象者の負荷が軽減されたことが要因として考えられるが、全セットを通して安定した潜水泳速度であった。また、本研究のすべての対象者は、海洋においてレクリエーション・スキンドайビングに関する豊富な経験を有していることから、海洋でのレクリエーション・スキンドайビングのフィンキックの際の努力度に関しても、豊富かつ一定の身体感覚を持っているものと考えられる。本研究で得られた潜水泳速度の平均値が10セットを通して0.72～0.76m/sと安定的な値を示した事は、各対象者において、長年に渡って海洋において培われた豊富かつ一定のフィンキックに関する努力度と、本研究で設定したフラッターキックの際の努力度が同程度であったため、10セットを通じて安定的な泳速度を維持できたことが推察される。

以上のことから、本研究の対象者における試技中のフィンキックの際の努力度=運動負荷は、実際の海洋における活動時と同程度であったと見なし問題ない

ものと考えられる。しかし、実際の海洋でのレクリエーション・スキンドайビングはプールとは異なり、海流や風等の自然環境下特有の影響を受け、フィンキックの際の努力度を上昇させなければならない状況も生じる可能性があることから、本研究において得られた予備心拍数と血中乳酸濃度は、海流や風等の影響を受けていない基礎的な値として理解する必要がある。

2. 予備心拍数と血中乳酸濃度

図3に示した予備心拍数の平均値の推移については、比較対象となる安静時の値を算出することが不可能であるため、各セットの値と退水2分後および退水5分後の値との比較を行ったところ、各セットの値はすべて有意に高値を示した。さらに、予備心拍数の平均値は10セットを通じて27～30%HRRを示した。したがって、レクリエーション・スキンドайビングにおいては運動後の心拍数と比較して有意な心拍数の増加が生じているものの、予備心拍数が30%程度の運動強度であることが示された。日本循環器学会のガイドライン¹⁵⁾にある、予備心拍数からみた運動強度の区分においては、30%HRR以下を超低強度、30～39%HRRを低強度として分類していることから、予備心拍数から見たレクリエーション・スキンドайビングの運動強度は、超低強度～低強度であると解釈される。しかしながら、上記の運動強度の区分は陸上において実施された運動に基づいており、水中においては潜水徐脈が生じることから、この影響を考慮しなければならない。Gooden¹⁶⁾の報告によれば、本研究で試技を実施したプールの水温である29℃の条件において、顔面浸漬と息こらえを行うと、安静時の心拍数は約15%減少することが示されており、本研究で示した30%HRRも、このような徐脈の影響を受けているものと考えられる。本研究の対象者の平均年齢である38.8歳、安静時心拍数を70bpmと仮定し、30%HRRに相当する心拍数をkarvonen法の逆算式から求めると103bpmとなり、この心拍数に約15%の徐脈が生じているとした場合、本研究で実施した運動負荷を陸上で行った場合で得られる心拍数は115bpmと推測される。さらに、心拍数が115bpmの場合の予備心拍数は、40%HRRとなる。この40%HRRは、前述のガイドラインにある予備心拍数からみた運動強度の区分では、低強度と中強度の境界に相当するものであるが、本研究では、各セットにおける心拍数を潜水泳直後に計測した値を用いて予備心拍数を算出したことから、徐脈の影響が残存し、心拍数に影響が及んだ可能性も考えられる。また、水中では活動する筋量が少ない¹⁷⁾ことも関与することから、予備心拍数から見たレクリエーション・スキンドайビングの運動強度は低強度と解釈して差し支えないものと考えられる。

図4に示した血中乳酸濃度の平均値の推移については、安静時の血中乳酸濃度である 1.6 ± 0.2 mmol/Lと比較して、1～10セット ($2.2 \sim 3.1$ mmol/L) および退水2分後 (2.7 ± 1.6 mmol/L) および退水5分後 (2.5 ± 1.2 mmol/L) の値は有意に高値を示し、さらに、1セット (2.2 ± 0.7 mmol/L) の値と比較して、5～9セット ($2.6 \sim 3.1$ mmol/L) の値は有意に高値を示した。

このことから、レクリエーション・スキンドайビングは安静時と比較して有意な血中乳酸濃度の上昇が生じるものの、各セットの平均値における最大値は3.1mmol/Lを示したことから、運動継続のために必要と

なる主たるエネルギー供給系が有酸素系から乳酸系へ移行すると考えられている 4mmol (Onset of Blood Lactate Accumulation: OBLA) を超えるものではないことが明らかとなった。したがって、血中乳酸濃度からみたレクリエーション・スキンドайビングの運動強度は、主たるエネルギー供給系が有酸素系である中強度を超えないものと考えられる。Jamnick ら¹⁸⁾は、有酸素系の運動における血中乳酸濃度のレベルを 5 段階に分類しており、本研究で得られた血中乳酸濃度の最大値である 3.1mmol/L は、レベル 3 の 2.5~3.5mmol/L に該当し、さらに、レベル 3 の有酸素運動は、最大心拍数に対する運動時心拍数が 80~85%HRmax に相当することを示している。

この Jamnick ら¹⁸⁾が示した血中乳酸濃度と最大心拍数に対する運動時心拍数との対応関係は、陸上での運動に基づいていることから、前述した予備心拍数に関する徐脈の影響と同じく、本研究で実施した運動負荷を陸上で行った場合に得られると推測される心拍数が 115bpm であれば、最大心拍数に対する運動時心拍数は約 60%HRmax 程度となり、80~85%HRmax と比較すると、約 20~25%HRmax ほど低い値が示されている。

約 60%HRmax 時の血中乳酸濃度を上記の 5 段階の血中乳酸濃度レベルで見るとレベル 1 以下となり、血中乳酸濃度は 2.0mmol/L 以下を示すことになるが、本研究において得られた血中乳酸濃度の最大値は 3.1mmol/L であった。

本研究結果においては血中乳酸濃度が、同程度の運動強度の運動を陸上で行った際に得られる血中乳酸濃度よりも高い値が認められた。その要因のひとつとしては、スキンドайビングの特性である息こらえが影響したものと考えられる。水中での息こらえ潜水について、Breskovic ら¹⁹⁾が、16名のフリーダイバー(男性14名、女性2名:年齢27±4歳)を対象にして、スタティック・アプネア(うつ伏せで浮かんだ状態となり水面で静止し、息を止める競技)の安静時と競技後の血中乳酸濃度を比較したところ、安静時の 1.7±0.5mmol/L から 2.7±0.8mmol/L へと上昇したことが報告され、この 1mmol/L 以上の上昇は、陸上での中強度運動と同様の傾向¹⁹⁾を示すものであった。

本研究の断続的な潜水泳における測定結果でも、入水前の安静時に 1.6±0.2mmol/L であったものが、潜水泳の 1 セットで 2.2±0.7mmol/L と上昇がみられ、息こらえによって体内の酸素が不足し、乳酸系の動員が高まったためであると考えられる。そのため陸上における同程度の運動強度の運動よりも、高い値の血中乳酸濃度が示されたことが考えられる。

この値は、低い運動強度までは血液中の血中乳酸濃度の変化がわずかで、一定の強度を超えると血中乳酸濃度が急激に高まっていく乳酸性作業閾値 (Lactate Threshold: LT) とされる約 2~4mmol/L の範囲ではあったが、血中乳酸濃度が急増を開始する 4mmol/L となる OBLA¹⁸⁾を超えるものではなかった。

本研究では、入水前の安静時から入水後すぐに血中乳酸濃度に微量な変動はあるものの、反復回数増加に伴う変化がみられず、血中乳酸濃度は OBLA を越えることがなかった。このことから、本研究のプロトコルにおいて対象者は、LT~OBLA で再生成される ATP を主として消費して試技を継続したと考えられた。

ただし、これはスノーケリングまたはスクーバダイビングの指導員として 3 年以上の経験を持ち、かつ NAUI の示すアシスタントインストラクター条件、またこの条件と同等の泳力を有し、日常的に水泳経験を有する成人男性による結果であり、レクリエーション・スキンドайビング中の運動強度の把握には、対象を変えることや、プロフィールの統一をすることの他、生理的な指標となる測定項目を増やすなど、今後更なる研究が必要である。

V. 結論

本研究では 30 分程度のレクリエーション・スキンドайビングを模した断続的息こらえ潜水の特徴を、生理学的な指標である予備心拍数および血中乳酸濃度から探索的に明らかにすることを目的とした。

水中活動経験が豊富な成人男性 22 名を対象として、自己感覚で 30 秒程度の 25m 息こらえ潜水を断続的に 10 セット反復する、約 30 分程度の実験プロトコルを作成し、連続的に心拍数を測定するとともに、各セットとセット終了後の退水 2 分後と退水 5 分後の血中乳酸濃度、息こらえ潜水泳時の潜泳速度を測定した。

その結果は以下のようにまとめることができる。

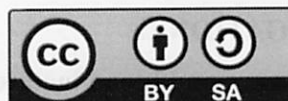
- 1) 潜水泳速度の平均値は、10 セットを通して 0.72~0.76m/s と安定的な値を示し、対象者における試技中のフィンキックの際の努力度=運動負荷は、実際の海洋における活動時と同程度と考えられた。
- 2) 予備心拍数の平均値は 10 セットを通じて 27~30%HRR を示した。レクリエーション・スキンドайビングにおいては運動後の予備心拍数と比較して有意な予備心拍数の増加が生じているものの、予備心拍数は 30%程度の運動強度であった。予備心拍数から見たレクリエーション・スキンドайビングの運動強度は低強度と解釈して差し支えないものと考えられる。
- 3) レクリエーション・スキンドайビングにおいては、入水前の安静時から入水後すぐに血中乳酸濃度に微量な変動はあるものの、反復回数増加に伴う変化がみられず、血中乳酸濃度は OBLA を越えることがなかった。各セットの平均値における血中乳酸濃度の最大値は 3.1mmol/L を示し、陸上で行う同様の予備心拍数で実施する運動で得られる血中乳酸濃度よりも高い値を示した。その要因のひとつとして、レクリエーション・スキンドайビングの特性である息こらえが影響したものと考えられた。

このようなレクリエーションとして手軽に取り組める息こらえ潜水を含んだスキンドайビングについての研究は世界的に見て少ないが、レクリエーション・スキンドайビングの特性や身体に関わる生理学的な視点から探索的に研究を進めることは意義深く、得られた知見はレクリエーションとして行われるスキンドайビングの安全性に寄与できると考えられる。

引用文献

- 1) 一般社団法人全日本潜水連盟: JUDF スクーバダイビングテキストブック. 一般社団法人全日本潜水連盟, 東京, pp61-64, 2018.
- 2) 岡本美鈴, 千足耕一, 藤本浩一, 須賀次郎: スキンドайビング・セーフティ(改訂版). 成山堂書店, 東京, pp12-

- 16,2018.
- 3)一般社団法人全日本潜水連盟:JUDF ダイビング・マニュアル.一般社団法人全日本潜水連盟,東京,pp107-109,2018.
- 4)文部科学省:学校体育実技指導資料 第4集 水泳指導の手引(三訂版),文部科学省,東京,pp7-10,2014.
- 5)谷川健一:日本民族文化資料集成 海女と海士.三一書房,東京,pp13-44,1990.
- 6)上杉富之:グローバル化としての「海女文化」の創造-韓国と日本におけるユネスコ無形文化遺産登録運動-成城大学リポジトリ:85-113,2018.
- 7)合志清隆, Wong RM, 奥寺利男:職業性素潜りダイバー(あま)の中樞神経障害.日本職業・災害医学会会誌,49(6):543-553,2011.
- 8)岡芳包,橘茂雄,野田理人,坂東栄三,中山壽孝,宮本博司,牛窪滋樹,笹田徳三郎:「あま」作業の疲労について(第1報).体力科学,6(5):199-202,1957.
- 9)藤本浩一,佐野裕司:特集 特殊環境とスポーツ活動「高圧環境-潜水-アプネア(息こらえ潜水)競技者の生理学的特性」.臨床スポーツ医学,28(7):753-762,2011.
- 10) Breskovic T, Uglesic L, Zubin P, Kuch B, Kraljevic J, Zanchi J, Ljubkovic M, Sieber A, Dujic Z. : Cardiovascular changes during underwater static and dynamic breath-hold dives in trained divers, J Appl Physiol,111:673-678,2011.
- 11) Chmura J, Kawczyński A, Medraś M, Józków P, Morawiec B. : The impact of freediving on psychomotor performance and blood catecholamine concentration. Undersea Hyperb Med, 41(2):111-117, 2014.
- 12)椿本昇三,坂田勇夫,高橋伍朗,木原資裕:スキンドайビング集中授業における学生の潜水の技能の変化について.大学体育研究,7:11-21,1985.
- 13)井手岡達朗:初心者スキンドайビングにおける潜水能力-ハイパーベンチレーションの有用性について-.小松短期大学論集,5:31-36,1993.
- 14)正保哲,洲崎俊男,出口清喜,廣瀬昇,奥壽郎,立野勝彦:Karvonen 法による運動負荷強度における生体反応.理学療法科学,26 (1) :33-39,2011.
- 15)日本循環器学会/日本心臓リハビリテーション学会:2021年改訂版心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン.(最終閲覧日:2024年6月4日)
https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Makita.pdf
- 16)Gooden BA.: Mechanism of Human Diving Response. Integr Physiol Behav Sci, 29(1):6-16,1994.
- 17)清水富弘,上田毅:水中運動時の生理応答.上越教育大学研究紀要,18(1):397-413,1998.
- 18)Jamnick NA, Pettitt RW, Granata C, Pyne DB, Bishop DJ.: An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. Sports Med, 50:1729-1756, 2020.
- 19)吉田敬義 : 運動の指標としての AT,LT,OBLA の持つ意味. 体力科学, 42:406-414, 1993.



本稿は、Creative Commons ライセンス BY/Attribution (表示) -SA/Share-alike (継承) 4.0 国際 (CC BY-SA 4.0) の下に公開されています。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

□ORIGINAL INVESTIGATION□

Changes in heart rate reserve and blood lactate concentration during intermittent breath-hold diving that simulated recreational skin-divingNAGASHIMA Shotaro¹, FUJIMOTO Koichi², CHIASHI Koichi².¹Teikyo University; ²Tokyo University of Marine Science and Technology.*Jpn. J. Marit. Activity*, 14(2):21-28, 2026.

(Submitted : 12 June 2024; accepted in final form: 14 October, 2025)

【Abstract】

The purpose of this study was an exploratory attempt to elucidate the characteristics of intermittent breath-hold diving, using physiological markers such as heart rate reserve (HRR) and blood lactate concentration. Twenty-two adult male participants with extensive experience in underwater activities took part in this study. They performed approximately 30 minutes of simulated ocean skin-diving, consisting of 10 intermittent sets of 25-m breath-hold underwater swimming lasting about 30 seconds each, with an effort level comparable to that of actual ocean skin-diving. During the simulated skin-diving, heart rate was monitored continuously, blood lactate concentration was assessed at 2 and 5 minutes after the completion of each set, and underwater breath-hold swimming speed was measured. The %HRR had a slightly increase or decrease in the number of sets from 1 to 10 sets, which was 27.6-31.2%HRR. In addition, the blood lactate concentration was about 2.2mmol/L for first set, and about 2.6-3.1mmol/L for the second and subsequent sets. These results indicated that the blood lactate concentration was relatively high in proportion to the %HRR compared with that observed during exercise on dry land. The factors contributing to this tendency are thought to be diving bradycardia that may have occurred during underwater swimming, as well as the fact that flutter kicking at a slow speed (0.72–0.76 m/s) did not markedly increase heart rate, so the blood lactate concentration indicates the lactate threshold but does not reach the onset of blood lactate accumulation, suggested that the main energy is supplied mainly by the aerobic system rather than by the lactate system.

Key Words: Recreational skin diving, Heart rate reserve, Blood lactate.

Corresponding Author : NAGASHIMA Shotaro, e-mail : shotaron7@gmail.com