フリーダイバーにおける潜水反射の性差および二酸化炭素感受性とパフォーマンスとの関係

身体運動科学研究領域
５０１８Ａ０６３－２　ポン　ホン　　研究指導教員：村岡 功 教授

緒言

フリーダイビングの競技パフォーマンスを規定する因子としては、心理的な状態、泳スキルおよび生理的な適応が挙げられる。

しかし、フリーダイビングのパフォーマンスに影響を及ぼす生理学的な因子については、未だ十分には明らかにされていない。一般的に、酸素の貯蔵および節約能力、二酸化炭素の産生を抑制する能力および高二酸化炭素と低酸素への耐性は、フリーダイビングにおけるパフォーマンスの向上にとって重要であると考えられている。

フリーダイビングのパフォーマンス向上に直結する因子としては、潜水反射の一部である徐脈の程度、末梢血管収縮の程度および肺活量などが挙げられており（Schagatay E, 2009; Fernandez et al. 2017）、その他には、二酸化炭素感受性による影響も示唆されている（Masuda et al. 1982）。

潜水反射は、息こらえおよび顔面浸水を同時に行う際に生じる生理反応であり、酸素を節約する効果がある。先行研究では、非鍛錬者と比較して、フリーダイバーの潜水反射がより顕著であることが報告されている（Schagatay E, 1988）。しかし、潜水反射における性差の影響は明らかにされていない。非鍛錬者を対象とした先行研究では、心拍数の低下および末梢血管抵抗の増大は、女性と比較して男性でより顕著であることが示唆されている（Cherouveim et al. 2013）。したがって、フリーダイバーにおいても生理応答に性差が生じる可能性が考えられる。

一方、二酸化炭素感受性は、血中の二酸化炭素分圧を感知する能力であるが、先行研究では、非鍛錬者と比べて、鍛錬したダイバーでより低いことを示している（Davis et al. 1987; Delapille et al. 2001）。したがって、二酸化炭素感受性が低い者では、二酸化炭素の蓄積による息苦しさが軽減され、息こらえ時間を延ばすことでフリーダイビングのパフォーマンスが高まると考えられる。

そこで、本研究では、（1）潜水反射に及ぼす性差の影響を非鍛錬者とフリーダイバーを対象に比較検討すること、（2）二酸化炭素感受性とフリーダイビングのパフォーマンスとの関係性を明らかにすることの 2 点を目的とした。

方法

被験者

被験者は、運動習慣のない非鍛錬者 8 名（男性 4 名と女性 4 名）およびフリーダイバー15 名（男性 7 名と女性 8 名）であった。

実験の流れ

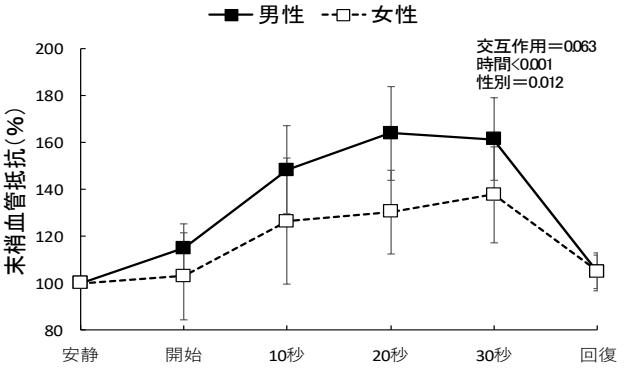
被験者は来室した後、実験の説明および事前測定を受けた。その後、非鍛錬者においては、潜水反射の測定のみをおこない、フリーダイバーにおいては加えて二酸化炭素感受性の測定を行った。環境温度は 23℃～24℃、水温は 14℃～15℃、湿度は 50%に設定した。

解析結果は全て平均値±標準偏差で示した。身体特徴の比較および安静時データの比較は t 検定を用いて行なった。群間における測定値の比較には、繰り返しのある二元配置分散分析を用いた。また、フリーダイビングのパフォーマンスと影響因子との相関関係については、Pearson の相関分析を用いた。統計処理は、SPSS（SPSS ver.20 for windows）を用いて行い、統計学的な有意水準は危険率 5%未満とした。

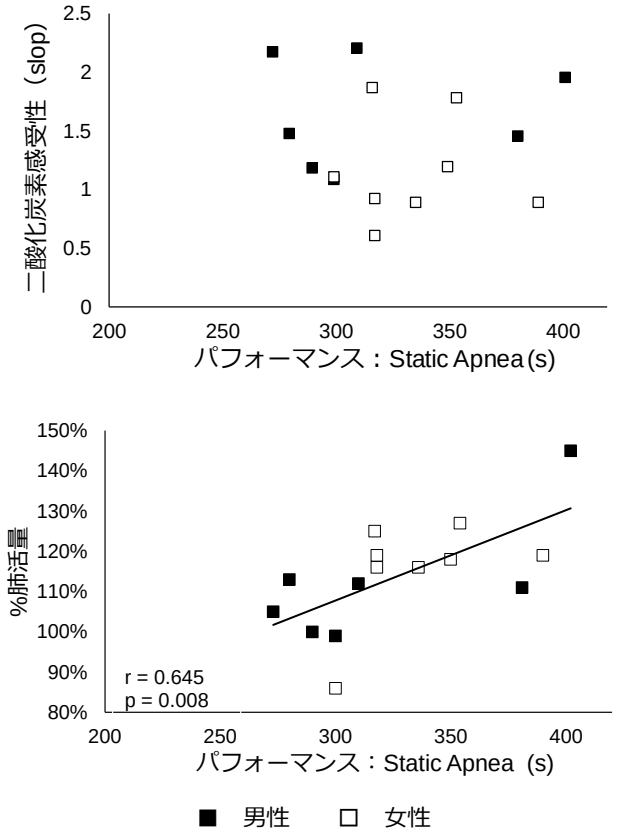
結果

潜水反射時における血流動態パラメーターの変化率については、非鍛錬者と比べて、フリーダイバーの心拍出量の低下および総末梢血管抵抗の増加がより顕著であった（$P < 0.05$）。

男性と女性のフリーダイバーの潜水反射については、全てのパラメーターにおいて、両群ともに同じような変化を示しており、有意差は認められなかったが、総末梢血管抵抗においては、有意傾向が観察され（$P = 0.063$）、男性ダイバーでの増加がより顕著である可能性が考えられた。



フリーダイバーにおけるパフォーマンスと二酸化炭素感受性（slop）の間に、有意な相関関係は認められなかった。しかし、%肺活量（%VC）とパフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められた。



考察

本研究では、非鍛錬者と比べて、フリーダイバーでより強い潜水反射を示したが、フリーダイバーにおける潜水反射に性差は認められなかった。一方、フリーダイバーにおいて、二酸化炭素感受性とパフォーマンスとの関係を検討したが、両者の間に有意な相関関係は認められなかった。

先行研究では、男性と比較して、女性の血管収縮能力はより低い可能性があることを示唆している（Evans et al. 2001）。したがって、女性では、息こらえ顔面浸水によって生じる末梢血管抵抗の増加も、男性と比較してより小さくなる可能性が考えられる。非鍛錬者を対象とした先行研究（Cherouveim et al. 2013）の結果もこのことを示している。しかし、本研究において、男性フリーダイバーと女性フリーダイバーの潜水反射には有意差は認められなかった。この結果は、非鍛錬者を対象とした先行研究とは異なっており、潜水反射における性差が長期的なトレーニングによって減弱した可能性も考えられる。

しかし、本研究では男性と女性フリーダイバーの間で、総末梢血管抵抗に有意傾向が観察された。このことについては、2 つの可能性が考えられる。1 つは、潜水反射における性差が長期的なトレーニングによって減弱したが、消失していないことである。したがって、トレーニングによって潜水反射が強くなっても、性差の影響はまだ幾分残っている可能性が考えられる。2 つめは、本研究では、女性フリーダイバーにおいて同じ月経周期の段階で実験に参加させることができなかったことである。先行研究では、女性における末梢血管抵抗の程度は、エストロゲンのレベルによって影響される可能性があることを報告している（Adkisson et al. 2010）。今後、潜水反射の性差を検討する際には、女性ホルモンの観点から月経周期を同一にする必要があるものと思われる。

本研究において、二酸化炭素感受性とフリーダイビングのパフォーマンスとの間には有意な相関関係は認められなかった。鍛錬したダイバーと非鍛錬者を対象に、二酸化炭素感受性を検討した多くの研究では、ダイバーの二酸化炭素感受性が非鍛錬者よりも低いことを報告している。しかし、高炭酸暴露が二酸化炭素感受性を低くさせるものの、低くなった二酸化炭素感受性は、フリーダイビングのパフォーマンスには必ずしも影響しないと推測される。その原因としては、フリーダイビングの際には、体内の二酸化炭素の蓄積が、肺活量に影響されており、肺活量の高い者ほど、息こらえを行なう際には、二酸化炭素分圧の上昇する速度が遅いためと考えられる。したがって、二酸化炭素感受性の低い者でも二酸化炭素分圧の上昇が速ければ（肺活量が低い）、パフォーマンスとは必ずしも関係しないと言える。今後、二酸化炭素感受性とパフォーマンスとの関係を検討する際には、肺活量を同一にする必要があると考えられる。

また、肺活量とフリーダイビングのパフォーマンスとの関係を検討した先行研究では、肺活量が高い者ほどパフォーマンスが高いことを報告している（Schagatay et al. 2012; Fernandez et al. 2017）。しかし、本研究では、同様の知見は得られなかったが、肺活量を体格および年齢で補正して得られた%肺活量とパフォーマンスとの間には、正の相関関係が認められた。その原因としては、先行研究で用いた被験者の年齢および身長は比較的均一であったのに対して（Schagatay et al. 2012）、本研究では被験者の年齢および身長のばらつきが大きかったことが影響している可能性が考えられる。本研究のように、身長および年齢のばらつきが大きいフリーダイバーを対象にパフォーマンスを検討する際には、肺活量よりも%肺活量を用いる方がより適切であると考えられた。