

浮心重心間距離に基づく水平姿勢の評価とその応用

渡 邊 泰 典

京都工芸繊維大学

目次

序章.....	1
第1節 本研究の背景.....	1
第2節 水泳の抵抗に関する研究小史.....	2
第3節 水泳の浮力に関する研究小史.....	3
第4節 本研究の目的と意義.....	4
第5節 研究の限界.....	5
用語説明と定義.....	6
第1章 呼吸に伴う浮心重心間距離の定量化とけのびパフォーマンスとの関係.....	7
第1節 緒言.....	7
第2節 方法.....	9
第3節 結果.....	13
第4節 考察.....	15
第5節 結論.....	17
第2章 肩甲骨挙上と下制における浮心重心間距離と換気量の変化.....	18
第1節 緒言.....	18
第2節 方法.....	19
第3節 結果.....	20
第4節 考察.....	26
第5節 結論.....	28

第3章 呼吸に伴う手部／足部荷重比による身体水平度評価	29
第1節 緒言	29
第2節 方法	30
第3節 結果	33
第4節 考察	38
第5節 結論	41
終章 総括	42
第1節 総合考察	42
第2節 今後の発展性	46
謝辞	47
参考文献	48

序章

第1節 本研究の背景

水圧、水温、抵抗、浮力といった水の特性は、水泳中のヒトの身体に生理的・物理的影響を及ぼす。水圧は、静脈還流を促進するだけでなく、胸郭周囲の呼吸筋に負荷をかけるため、心肺機能を向上させる。水温は、例えば公共プールの場合、28～30°Cに設定されており、およそ体温よりも5～10°C程度低いいため、寒冷刺激が皮膚血管収縮を強めて体温調整機能を促進する。水の粘性（密度）は空気と比べて800～880倍であり、陸上と比べると大きな抵抗がかかることになるが、運動速度を工夫することで、抵抗負荷を自由に設定することができる。浮力は、重力の影響を軽減するため、陸上と比べて腰背部や脚などの関節への負担が少ない。また、水泳の運動体位は水平姿勢を基本としているため、血流分布が良くなるという効果もある。これらの利点から、水泳は競技のみならず、健康増進や予防医学的な観点から運動療法の1つとして注目されており、多くの民間スポーツクラブやスイミングスクールでは多種多様な運動プログラムが実施されている。また、海や河川が多い日本においては、水難事故防止の観点から基礎泳力涵養のため、学校教育現場において泳法指導や水辺安全指導が実施されている。このように、水泳は、老若男女、障害の有無を問わず生涯にわたって親しむことのできる数少ない運動であり、社会的意義は大きいと言える。

一方で、水泳は、技能習得が難しい運動の1つでもある。水泳は、身体が地面と接地していないため、泳者は身体支持点がない状態で自らの姿勢を制御しなければならない。また、呼吸に目を向けると、泳者は顔を水に浸けている間、徐々に空気を吐き出し一定時間排気したのち、顔を水から出して空気を吸い込むというように呼吸方法は陸上のそれと違って制限がある。一定の距離を泳ぐには、この呼気と吸気のサイクルを安定的かつ持続的に回しながら姿勢制御することが必要となるが、呼吸に伴う浮力の増減は、身体の揺動をまねき、それが抵抗に影響を及ぼすことが考えられる。

したがって、本論文の序章の中で、水泳パフォーマンスに関わる抵抗と浮力の研究の歴史を振り返りながら、本研究の目的と意義について考究する。

第2節 水泳の抵抗に関する研究小史

Karpovich (1933) は、電動モーターと滑車とバネ秤を用いて泳者を前方牽引することで、身体にかかる抵抗の推定を試みた。Karpovich の手法は、泳者が実際に泳ぐのではなく、ストリームライン姿勢を保持した静止状態で水面を牽引された時の張力を、泳者の抵抗値とするものであった。これにより、泳者の身体にかかる抵抗は速度の2乗に比例することが明らかとなった。Clarys (1974) は、船舶実験用の海流水槽を用いて、一定流速中にヒトを静止させた際、水の流れと逆方向に働く力を測定して抵抗の推定を試みた。Clarys の手法は、泳者の腰部にガードルを巻いて水中に静止させることで、それまでストリームライン姿勢に限定されていた抵抗の測定を、実際の泳動作に近づけることを可能にした。これら2つの手法に代表されるように、泳者が自ら推進力を発揮することなく、ある相対流速の中に置かれて受動的に測定された抵抗は受動抵抗 (passive drag) と呼ばれる。

Hollander et al. (1986) は、水中に一定間隔に設置されたパッドを泳者が進行方向とは反対に押した時の力の時間平均値から、泳者が自らの力で推進する際の抵抗の推定を試みた。Kolmogorov and Duplishcheva (1992) は、抵抗値があらかじめ分かっている抵抗物を泳者の腰部にロープで取り付け、泳者が抵抗物を牽引して泳いだ時と抵抗物がない状態で泳いだ時の速度の低下率から、泳動作中の抵抗を推定する手法を開発した。このように、ヒトが自ら四肢を動かして推進力を発揮して進む場合の抵抗は自己推進時抵抗 (active drag) と呼ばれる。Nomura et al. (1994) や下永田ら (1998) は、漁労用電動リールに滑車を取り付け、それにロードセルと回転計を組み合わせたリールアップシステムを開発し、受動抵抗および自己推進時抵抗を検討した。

自己推進時抵抗は、泳者が移動する際に自ら作り出す波によって生じる抵抗 (造波抵抗)、移動する泳者とその場に止まろうとする水との間で生じる抵抗 (摩擦抵抗)、泳者の体型や姿勢によって生じる抵抗 (圧力抵抗) の3つに分類される。この3つの抵抗の中でも、特に圧力抵抗がパフォーマンスに大きく影響を及ぼす (高木, 2001)。圧力抵抗は、泳者の身体前面に水がぶつかることで圧力が上昇し、身体背面では水が剥離して渦を巻くことで圧力が低下することにより生じる。この圧力差によって、圧力の高い方から低い方へエネルギーが流れることから、泳者の身体を推進方向とは逆方向へ引き戻そうとする力が働くことになる (Maglischo, 2003)。水泳中の抵抗を低減させる方法の1つは、水面に対して可能な限り水平を保つことである。

第3節 水泳の浮力に関する研究小史

アルキメデスの原理で説明されるとおり、流体中にある物体は、その物体が排除した流体の重量に等しい浮力を受ける。水中におけるヒトの浮き沈みは体積の影響が大きい。ヒトの平均密度は 1.0 kg/m^3 よりわずかに大きい (Brožek et al., 1963) ため、何もしなければ身体は沈む。一方で、肺は浮袋の役割を果たすため、肺内を空気で満たすことで身体の体積が大きくなれば、通常、ヒトの密度は 1.0 kg/m^3 よりわずかに小さくなるため、身体にかかる重力より浮力が大きくなって余剰浮力が生まれるので浮くこともできる。Cureton (1933) は、呼吸が身体に作用する浮力やボディーバランスに影響を及ぼすことを指摘している。Carter (1955, 1956) は、最大吸気における浮き上がりテストと浮き身テストを用いて、男女の浮力の違いを検討した。Highmore (1957) は、Sheldon et al. (1940) のソマトタイプ (①脂肪質で丸みを帯びた内胚葉型 (endomorph), ②筋肉質で丈夫な中胚葉型 (mesomorph), ③細長で神経系、皮膚の発達した外胚葉型 (ectomorph)) による体型分類を参考に、さらに細分化した群分けによって男性が浮きにくい課題を検討した。この研究では、膝を胸の前で抱える浮き身 (いわゆる、だるま浮き) 「マッシュルームテスト」の調査で、非浮遊者の 52% が中肉中背群 (endomorph mesomorphs) であることを報告し、浮力と身体組成の関係を言及した。Chatard et al. (1990a) は、浮力が 400 m ヤード泳パフォーマンスに 10% 程度影響することを報告している。Chatard et al. (1990b) では、浮力がエネルギーコストに 6% 程度影響するとしている。この他、人為的な浮力の介入によって、泳タイムは短縮し、受動抵抗が減少し、酸素摂取量や血中乳酸値が減少することが報告されている (Cordain and Kopriva, 1991 ; Chatard et al., 1990c, 1995)。

水中でヒトが水平姿勢をとる時、浮力を受ける点 (浮心) と重力を受ける点 (重心) には、いわゆる“ずれ”があり、一般的には、浮心は泳者の頭側に、重心は足側に位置している (Hay, 1993)。浮心と重心のずれは、トルクを発生させ、下肢を沈ませる。下肢が沈めば、推進方向に対する前方投影面積が大きくなるため、圧力抵抗が大きくなり、エネルギー消費量の増加やパフォーマンス低下の大きな原因の 1 つとなる (Pendergast et al., 1977 ; Capelli, 1995 ; Zamparo et al., 1996)。つまり、浮力と重力の大小関係や浮心と重心の位置関係が、パフォーマンスの良し悪しに直結する重要な要素の 1 つと言える。

第4節 本研究の目的と意義

1. 目的

これまでの研究の積み重ねは水泳パフォーマンスの向上に大きく貢献した。しかしながら、ヒトの浮力と水平姿勢の関係を完全に解明するには至っていない。特に呼吸に伴う浮力の変化がヒトの水平姿勢に及ぼす影響を明らかにするには、未だ多くの課題があり、詳細なデータの収集と検証が必要に思われる。

本研究は、換気量と浮力の変化を観察し、浮力、浮心位置、重心位置を定量化し、呼吸の観点から水平姿勢を評価する新たな手法を提案することを目的とするものである。これまで水平姿勢の評価は、浮心と重心の位置関係（浮心重心間距離）によって議論され、パフォーマンスとの関係が検討されてきた。そこで、第1章では、換気量と浮力を同時計測する手法を構築し、浮心重心間距離の変化を定量的に分析するとともに、浮心重心間距離がけのびパフォーマンスに及ぼす影響を調査して「呼吸に伴う浮心重心間距離の定量化とけのびパフォーマンスとの関係」として検討する。第1章の研究結果から、姿勢や胸郭周囲の働きが水平姿勢に影響を及ぼす可能性が指摘されたため、第2章では、ストリームライン姿勢での肩甲骨挙上と下制の2つの条件を設定し、このわずかな姿勢の違いに伴う、浮心重心間距離と換気量の変化を調査して「肩甲骨挙上と下制における浮心重心間距離と換気量の変化」として検討する。第2章の研究結果から、換気量が同じでも水平姿勢の違いが生じる可能性が指摘されたため、第3章では、これまで浮心重心間距離として量で評価してきた水平姿勢を、手部と足部の荷重の比として無次元化して評価する新たな手法を開発して「呼吸に伴う手部／足部荷重比による身体水平度評価」としてまとめて提案する。

2. 意義

本研究は、すべて、泳ぎの基本姿勢として広く知られるストリームライン姿勢による静的条件で水平姿勢を検討するものである。よって、本研究における各種測定は、複雑な水泳動作を必要としないため、本研究で明らかとなる知見や姿勢制御のための方法は、泳タイム短縮を目指す競泳競技者、楽に泳ぐことを目指す水泳愛好者、水泳を苦手とする水泳不得意者など、広く一般に共有できることが予見される。さらには、指導法開発、トレーニング開発、水泳用具開発、種目適正の見極めやタレント発掘などで活用も期待できることから社会的意義は大きい。

第5節 研究の限界

本研究では、測定方法や標本等、種々の条件によって結果の一般化が制限される可能性がある。以下に、本研究を制限する条件について列挙する。

1. 分析対象による限界

水中では、運動様式によって基本となる姿勢が異なるが、本研究で検討するのは、水中で最も抵抗が少ない姿勢として、水泳現場で一般的に広く認知されているストリームライン姿勢に限定される。

2. 測定方法による限界

本研究では、ストリームラインでの静的姿勢を評価するため、重心位置は変化しないことを前提とする。浮力測定実験では、水中で身体に作用する浮力を完全に評価・定量化するため、全身水没状態で実施されるが、水圧の影響でわずかながら換気量が過小評価される可能性がある。

3. 標本による限界

本研究で用いた標本の水泳技能レベルにおいて得られる知見であって、広く一般化するにはさらなる検証が必要となる。

用語説明と定義

【中性浮力】

浮きも沈みもせずその場で止まることのできる浮力の閾値を指す。本研究では、換気量 x と浮力 y （手部と足部にそれぞれかかる鉛直方向荷重を加算したもの）の一次式 $y = ax + b$ を用いて、 $y = 0$ の時とした。

【中性浮力時換気量】

中性浮力における換気量を指す。本研究では、換気量 x と浮力 y （手部と足部にそれぞれかかる鉛直方向荷重を加算したもの）の一次式 $y = ax + b$ を用いて、 $y = 0$ を代入した時の x の値を推定値として求めた。

【浮心位置】

外果から浮心までの距離とした。

【重心位置】

外果から重心までの距離とした。

【浮心重心間距離】

浮心位置と重心位置の差によって求めた。中性浮力時浮心重心間距離は、換気量 x と浮心重心間距離 y の一次式 $y = ax + b$ を用いて、 x に中性浮力時換気量の推定値を代入することで求めた。最大吸気時浮心重心間距離は、 x に換気量の最大値を代入することで求めた。

【BB ratio (Breathing-Balance ratio)】

呼吸に伴う手部と足部の荷重比によって求めた。手部と足部における換気量 x と浮力 y の一次式 $y = ax + b$ の傾き a 値を用いて算出した。1 に近づくほど身体は水平となる。

第1章 呼吸に伴う浮心重心間距離の定量化とけのびパフォーマンスとの関係

第1節 緒言

Rork and Hellebrandt (1937) は、バネ秤を用いて女性の浮力を定量的に評価しようと考えた。この研究は、ストリームライン姿勢におけるヒトの浮心重心間距離を検討した最初の試みであり、貴重な示唆を得た。Rork and Hellebrandt の研究では、肺の空気量が増えると、身体の比重が低下し、浮力が向上することと、身体の回転は浮心重心間距離に依存し、浮心重心間距離が短縮すると身体の回転は減少する可能性を示した。一方で、対象者は女性に限定されていることや、浮力測定では対象者は水面に浮いている状態で実施されており身体の浮力を完全に評価できていないこと、また、呼吸は最大吸気で息を止めた状態のため、換気に伴う浮力変化を評価できていないことが課題となった。

Highmore (1957) は、Davey and Williams (1955-56) の未発表の卒業研究論文を引用する形で、男性が水中で浮きにくい課題を検討した。マッシュルームテストを用いて、体育教員養成コースに所属する20代前半の男子学生96名の浮き身能力を調査した。Davey and Williams の研究は、身体組成に関する要因は検討されていないが、96名中16名(16%以上)は水面に浮くことができない非浮遊者であることを明らかにした。さらに、この非浮遊者群と浮遊者群の重心位置%身長で比較したところ、両群には違いは認められないことを報告した。一方で、Davey and Williams の研究で求めた重心位置は解剖学的正位姿勢であり、マッシュルームテストの姿勢と異なるため、重心位置が浮き身能力に及ぼす影響を説明するには不十分と思われる。

McLean and Hinrichs (1998) は、性差と浮心重心間距離の関係、浮心重心間距離とキックスイミングパフォーマンスの関係を検討した。McLean and Hinrichs の研究では、女性は男性と比べて浮心重心間距離が短いことを報告した。さらに、そのことが推進方向に対する前方投影面積を小さくするため、キック動作による推進力を効率的に利用できる可能性について示唆した。つまり、水平姿勢がパフォーマンスに影響を及ぼす可能性を説明しようとしたが、浮心重心間距離とキックスイミングタイムには相関関係がみられなかった。McLean and Hinrichs は、この要因に、複数の女性選手のキックスイミングタイムが遅いことが浮心重心間距離の差を相殺した可能性をあげている。しかしながら、キックスイミングは、程度の差こそあれ、動作の巧拙や発揮パワーなど、姿勢以外の要因が影響すること

も考えられる。したがって、それらの要因をなるべく除外する方法で浮心重心間距離とパフォーマンスの関係を検討する必要があると考えた。

以上を踏まえ、本章の目的を以下の通りに設定した。

- 1) 全身水没条件下における肺換気量と、それに伴う浮力を同時計測する手法を構築して浮心重心間距離を定量化すること。
- 2) 浮心重心間距離とけのびパフォーマンスの関係を明らかにすること。

第2節 方法

1. 標本

日頃からトレーニングに励む国際大会出場レベルの競泳選手 36 名（男性 14 名，女性 22 名）を対象とした．それぞれの平均年齢は男子 16.9 ± 0.7 歳，女子 16.4 ± 1.1 歳であった．

2. 身体重心位置の算出

Hay (1993) のリアクションボード法を参考に，対象者の身体重心位置を算出した（図 1-1）．

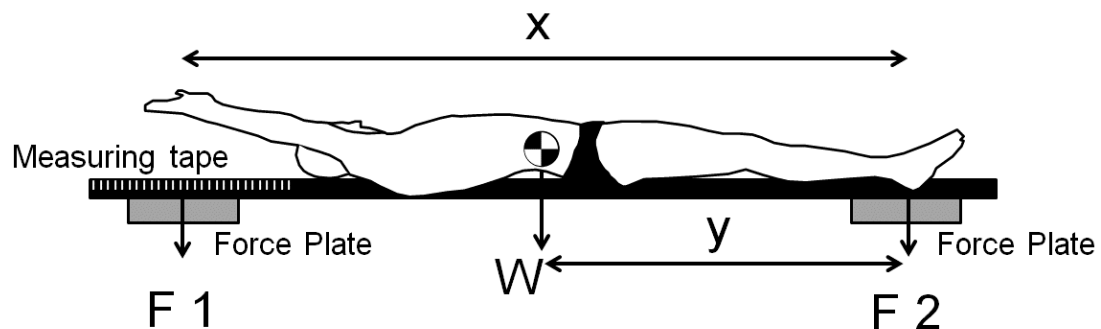


図 1-1 身体重心測定概要

対象者の頭部側と足部側に 1 軸フォースプレート（フォーアシスト社製）を設置し，それぞれを $F1_{CoM}$ と $F2_{CoM}$ とした．フォースプレート上には，板状のテーブルを設置した．テーブル側方には，対象者の全長を測定するためのメジャーを取り付けた．対象者にはテーブル上で仰臥位にてストリームライン姿勢を保持するよう指示した．測定時間は 3 秒間とした．測定中，対象者は最大吸気で息を止め，完全静止状態を維持した．ストリームライン姿勢において，対象者の外果から握りこぶしの中心を x ，対象者の外果から身体重心位置までの距離を y とした．対象者の体重 (W) は $F1_{CoM}$ と $F2_{CoM}$ の鉛直方向の荷重を加算したものとした．手部にかかる力 ($F1_{CoM}$) と体重を用いて下記の式にて重心位置を求めた．

$$y = F1_{CoM} \cdot x / (F1_{CoM} + F2_{CoM}) \quad (1)$$

3. 浮力測定と浮心位置の算出

McLean and Hinrichs (2000) の手法を参考に、対象者の浮力測定を実施した (図 1-2).

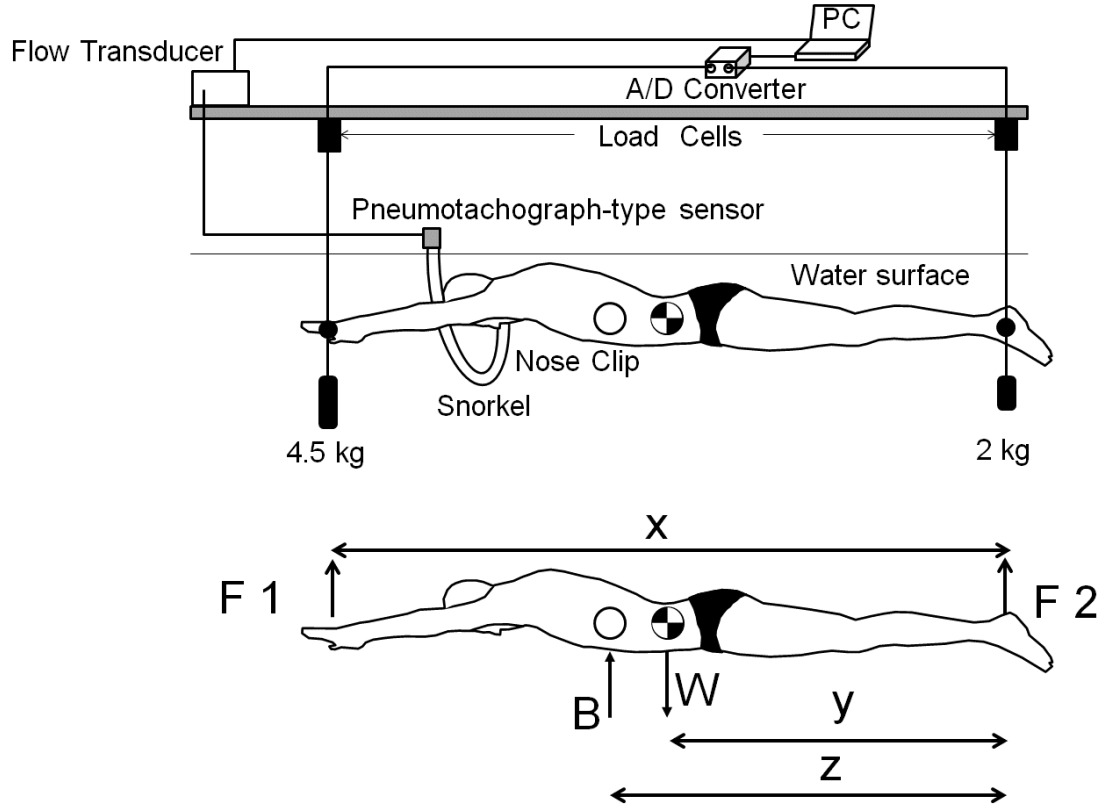


図 1-2 浮力測定概要とフリーボディーダイアグラム

プールサイドに対象者の身体を固定するための鉄製フレームを設置し、手部と足部の鉛直方向に、引張圧縮両用型小型ロードセル (LUR-A-200NSA1, 共和電業社製) を取り付け、それぞれ $F1_{CoB}$ と $F2_{CoB}$ とした。この2つのロードセルによってサンプリングされる荷重データから浮力を求めた。サンプリング周波数は 100 Hz とした。サンプリングされた信号はデジタルトランスデューサーインジケータ (TD-250T, ティアック社製) で増幅し、コンピュータで記録した。換気流量の測定は、フローメーターを用いた。対象者には、ノーズクリップを着用させ、スノーケルを通して呼吸をおこなうよう指示した。スノーケルの先にはニューモタグラフ方式センサ (アルコシステム社製) を取り付け、専用アンプ (FM-200XB, アルコシステム社製) に接続し圧力差を導出した。圧力差は専用アンプで速度データに変換、出力されるので、これらをデジタル変換し、コンピュータで記録した。換気流量は、その速度データを積分することによって求めた。手部 ($F1_{CoB}$) にはハンドグ

リップを、足部 ($F2_{CoB}$) には両足の外果を揃えて固定するためのフットレストを取り付け、それぞれの先には、4.5 kg と 2 kg の錘を設置した。対象者は両手を揃えてハンドグリップを握り、フットレストに両足を揃えて固定することによって、陸上での身体重心測定時と同様のストリームライン姿勢を保持して水中に留まった。対象者がストリームライン姿勢を保持した時、ハンドグリップの中心と外果の中心を結ぶ直線が水面と平行となるように、ハンドグリップとフットレストの高さを調整した。すべての実験機器をセットし、プール内が静水状態になったことを確認してキャリブレーションを行い、基準値 0 を規定するとともに、ロードセルとフローメーターによって測定されるデータをコンピュータで完全に同期した。

対象者が、水中で静止した状態で留まり、すべての力がつりあっていると仮定すると、下記の式により浮力 (B) を求めることができる。

$$B = - (F1_{CoM} + F2_{CoM}) - F1_{CoB} - F2_{CoB} \quad (2)$$

外果から浮心位置までの距離を z とし、(1) 及び (2) を用いて下記の式にて求めた。

$$z = (F1_{CoB} \cdot x + ((F1_{CoM} + F2_{CoM}) \cdot y)) / -(F1_{CoM} + F2_{CoM}) - F1_{CoB} - F2_{CoB} \quad (3)$$

通常、浮心位置は頭側に位置し、重心位置は足側に位置するため、浮心重心間距離 (d) は下記の式にて求めた。

$$d = z - y \quad (4)$$

肺換気量の増加に伴い浮力は増加するため、この両者は直線の関係となる。同様に、肺換気量の増加に伴い浮心は頭側へ移動し、浮心重心間距離は延長するので、この両者も直線の関係となる。したがって、 x 軸を肺換気量、 y 軸を全身にかかる荷重 ($F1_{CoB} + F2_{CoB}$) と定める一次式 $y = ax + b$ から中性浮力時の肺換気量を推定し、それによって求まる値を

用いて、中性浮力時の浮心重心間距離を算出した。同様の手法を用いて、最大吸気時の浮心重心間距離を求めた。

これにより、換気による浮力の増減と、それに伴う手部及び足部の鉛直方向の荷重の変化から浮心重心間距離の定量化を試みた。なお、浮力測定中に、対象者の身体の一部が水上に出た場合は失敗試技とし、再度測定を実施した。

4. パフォーマンス評価

けのびテストを用いて、対象者のパフォーマンス評価を実施した。壁を起点として、2.5 m 毎にマーカーを設置し、キャリブレーションを行った。対象者には、最も距離が延長するよう両足で壁を蹴ってスタートし、息が続くかぎりストリームライン姿勢を保持するよう指示した。水中に設置された2台のカメラによって、対象者を側方から撮影し、2次元DLT法を用いて頭頂点の実座標を算出して得られた実座標から移動距離を求めた。

5. 統計解析

全長、体重、重心位置、浮心重心間距離、肺換気量、けのび到達距離の男女間比較は、対応のない t 検定にて平均値の差の検定を実施した。浮心重心間距離とけのび到達距離の関係は、ピアソンの積率相関係数を用いて男女間で比較検討した。いずれの統計解析も統計解析ソフト SPSS ver.19 (IBM 社製) を用いて実施し、有意水準は5%とした。

第3節 結果

対象者のストリームライン姿勢における全長，体重，重心位置，浮心重心間距離，肺換気量及びけのび到達距離の結果を表 1-1 に示す．各対象者の中性浮力時と最大吸気時の浮心重心間距離の結果を図 1-3 に示す．

表 1-1 身体特徴，重心位置，浮心重心間距離，換気量及びけのび到達距離の結果

Variable	Males [N=14]	Females [N=22]	<i>p</i>
Body length [cm]	212.1 ± 5.9	200.1 ± 7.1	< 0.01
Body weight [kg]	61.9 ± 4.5	51.0 ± 4.0	< 0.01
CoM [cm]	102.0 ± 2.3	96.8 ± 2.3	< 0.01
d at neutral buoyancy [cm]	1.93 ± 0.21	1.36 ± 0.17	< 0.01
d at full inhalation [cm]	2.28 ± 0.44	2.01 ± 0.35	= 0.058
Lung volume at neutral buoyancy [ml]	2366.38 ± 831.67	1327.69 ± 483.71	< 0.01
Lung volume at full inhalation [ml]	3185.26 ± 906.55	2604.98 ± 570.01	= 0.052
Distance of glide-swimming [m]	13.3 ± 1.2	14.0 ± 1.6	n.s.

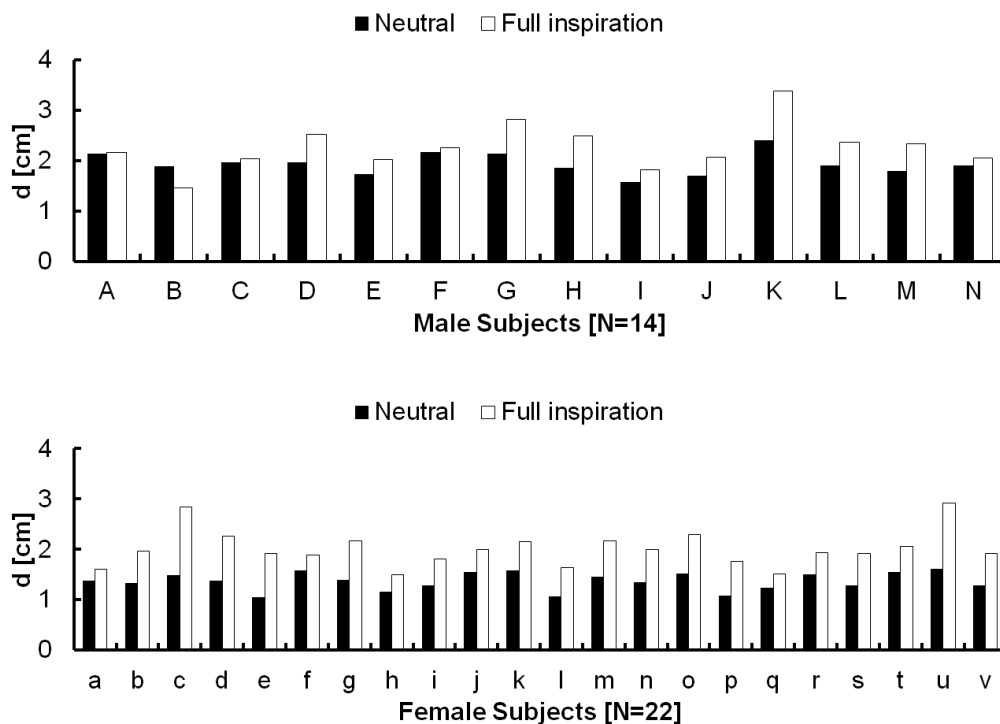


図 1-3 中性浮力時及び最大吸気時の浮心重心間距離の変化（上：男性，下：女性）

中性浮力における浮心重心間距離は、男性選手 (1.93 ± 0.21 cm) に比べて女性選手 (1.36 ± 0.17 cm) の方が統計学的に有意に短かった ($p < .01$)。最大吸気時の浮心重心間距離は、男性 (2.28 ± 0.44 cm) に比べて、女性 (2.01 ± 0.35 cm) の方が短い傾向にあった ($p = .058$)。

中性浮力における肺換気量は、男性 (2366.38 ± 831.67 mL) が女性 (1327.69 ± 483.71 mL) より統計学的に有意に多かった。また、最大吸気時の肺換気量でも、男性 (3185.26 ± 906.55 mL) が女性 (2604.98 ± 570.01 mL) より多い傾向にあった ($p = .052$)。けのび到達距離の結果に男女差は認められなかった。

最大吸気時の浮心重心間距離とけのび到達距離の関係を図 1-4 に示す。最大吸気時の浮心重心間距離とけのび到達距離の間に、相関関係は認められなかった。

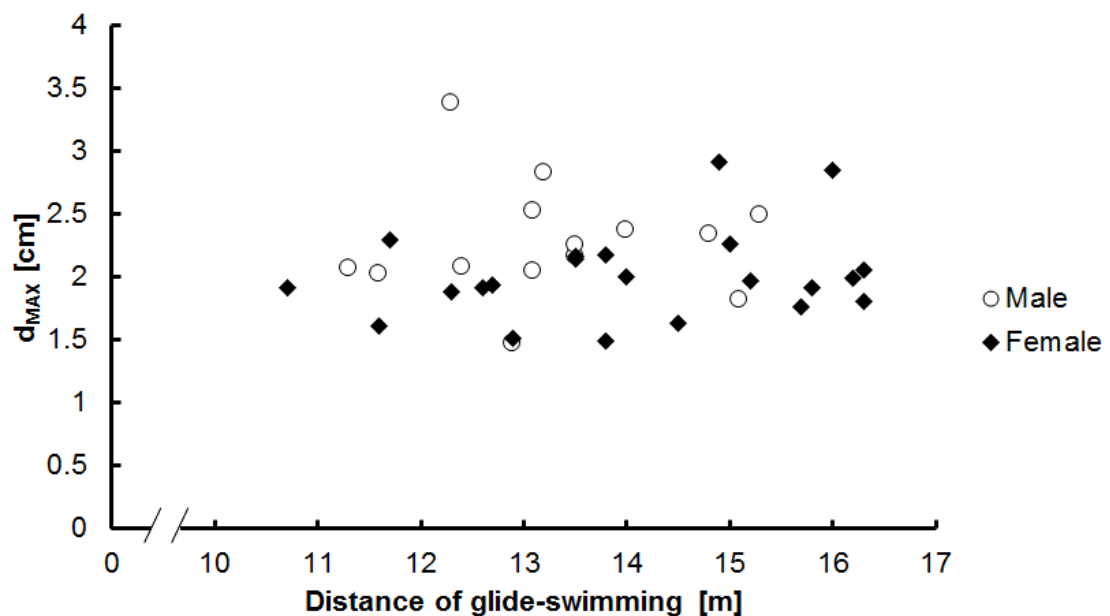


図 1-4 最大吸気時浮心重心間距離とけのび到達距離の関係

第4節 考察

1. 浮心重心間距離と肺換気量

本研究の結果においても、女性は男性と比べて浮心重心間距離が有意に短く、より水平に近い姿勢であることが明らかとなり、McLean and Hinrichs の結果と一致した。

肺換気量を比較すると、男性が女性よりも大きくなったが、これは、男女間の体格差によるものである。一方で、中性浮力時の肺換気量に対する最大吸気時の肺換気量の増加率で比較すると、男性で34.6%、女性で96.2%となる。つまり、女性が、男性と比べて、相対的に中性浮力時の肺換気量が左にシフトしていると言える。このことは、女性が水泳中の水平姿勢において、浮くために必要な空気量をより多く換気できることを示している。

McLean and Hinrichs (1998) は、男女の水平姿勢の違いに影響を及ぼす要因の一つに、身体の脂肪組織の分布の違いを挙げている。つまり、女性は男性と比べて下肢に多くの脂肪組織が分布しているため、浸水状態では、上肢と下肢の体積比に違いが生じて水平姿勢に影響する可能性があるとして指摘した。一方で、Delavier (2003) は、女性の腰部カーブは男性よりも大きく骨盤が前傾していること、女性の胸郭は男性よりも丸みをおびていて、より滑らか且つ繊細に動くこと、肩周囲の骨格幅は男女に差はなくても男性は筋発達が著しいことを挙げている。これらを考慮すると、脂肪の分布以外にも、女性特有の腰部カーブや骨盤の前傾が下肢の持ち上げに貢献した可能性が考えられる。あるいは、女性は男性と比べると胸郭周囲筋の発達の度合いが低いことから、胸郭に余分な圧迫が加わらず可動性が高いためにより多く換気できる可能性が推察されるが、本研究では、これらを測定していないため、あくまで推測の域を出ない。

2. 浮心重心間距離とけのびパフォーマンスとの関係

浮心重心間距離とパフォーマンスの関係を検討するにあたり、McLean and Hinrichs (1998) が用いたキックスイミングは、キック動作の巧拙が影響すると考え、本研究では、より静的な状態での評価を試みたが、浮心重心間距離とけのび到達距離の間に相関関係は認められなかった。これは、けのびテストにおいて、進行方向に対する壁の蹴り出し角度や、蹴り出す力の個人間差が大きいことなどが影響した可能性が推察される。合屋 (2013) は、水泳初心者ではけのび到達距離と壁を蹴った時の力積に有意な相関関係が認められるが、エリート競泳選手では相関関係がみられないことを報告している。このことは、けのびパ

パフォーマンスが単に壁を蹴る力で決定されるわけではないことを示している。また、合屋は、けのび到達距離は、泳者の足と壁の接地位置と壁を蹴る時の投射角度に有意な相関関係が認められることを指摘している。本研究では、壁を蹴る力を測定していないため、対象者が発揮した力がどれほど影響したかは不明である。一方で、壁を蹴る時の投射角度や、泳者の足と壁の接地位置は、対象者で大きくばらつくことが観察されたため、これらが、けのびパフォーマンスに影響したと考えられる。つまり、けのびは、程度の差こそあれ、技術的要因や体力的要因が大きく、それらの差が浮心重心間距離の差を相殺したことが考えられる。

第5節 結論

本研究は、肺換気量の増減とそれに伴う浮力の変化を同時測定することで、浮心重心間距離を定量化すると共に、浮心重心間距離とけのびパフォーマンスの関係を調査した。本研究の結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 呼吸に伴う浮力変化から浮心重心間距離を定量化することができた。
- 2) 姿勢や胸郭周囲の可動域の違いが、水中における泳者の浮心重心間距離に影響を及ぼす可能性がある。
- 3) 呼吸が、水中における泳者の姿勢保持に影響を及ぼす可能性がある。
- 4) けのびテストは、程度の差こそあれ、技術的要因や体力的要因が大きく、浮心重心間距離とけのびパフォーマンスの間に相関関係は認められなかった。

したがって、本節の結果から、姿勢要因と呼吸要因を新たな2つの課題として抽出し、それらが浮心重心間距離や水平姿勢に及ぼす影響について、より具体的かつ詳細に検討する必要性が明らかとなった。

第2章 肩甲骨挙上と下制における浮心重心間距離と換気量の変化

第1節 緒言

一般的に、身体重心位置は、姿勢によって大きく変化することが知られている。阿江・藤井（2003）によれば、その変化の度合いは、動きが大きいほど、また動かす身体部分の質量が大きいほど、影響が大きくなり、例えば、両腕を体側に沿わせた（いわゆる、気をつけた姿勢）状態に対して、両腕を上を挙げた（いわゆる、万歳の姿勢）状態では、約8 cm（身長4～5%）重心が頭側へ移動することを著書に記している。

Gagnon and Montpetit (1981) は、ひずみゲージを用いてより詳細なデータ収集を試みて、気をつけた姿勢と万歳の姿勢で浮心重心間距離の変化を検討した。Gagnon and Montpetit の研究では、上肢挙上によって浮心と重心は共に頭方向へ移動するが、重心位置の変化がより大きいことを示した。また、呼気と吸気で比較すると、いずれの姿勢でも重心位置はほとんど変化を示さないが、浮心位置は呼気時に足方向へ移動することを報告した。一方で、Gagnon and Montpetit の浮力測定では、被験者はアルミテーブルの上に仰臥位で固定されているため、被験者は姿勢保持に努力を要しない。つまり、この手法では、水中で支持点がない泳者の姿勢制御の仕方を評価することができない。

McLean and Hinrichs (2000) は、より実際の水泳の状況を想定し、被験者の身体固定用テーブルを用いない方法で浮力測定を実施して姿勢の違いと浮心重心間距離の関係を検討した。McLean and Hinrichs の研究では、両腕を挙上させた姿勢は、気をつけた姿勢と比べて浮心重心間距離が0.8 cm ($p < .05$) 短縮することを報告し、この要因に重心位置の変化が大きく関係していることを指摘した。また、5段階（0, 25, 50, 75, 100%）の%肺活量を用いて肺内の気量と浮心重心間距離の関係を検討し、気量の割合が増加するほど浮心重心間距離は延長することを示した。しかしながら、この研究では、換気量が具体的に示されておらず、加えて、姿勢の違いが換気量に及ぼす影響は検討されていない。

以上を踏まえ、本章の目的を以下の通りに設定した。

- 1) 肩甲骨挙上と下制の2つの異なる姿勢条件における浮心位置と重心位置の変化を明らかにすること。
- 2) 姿勢条件の違いに伴う浮力や肺換気量の変化を明らかにすること。

第2節 方法

1. 標本

日頃からトレーニングに励む大学男子競泳選手9名（年齢： 19.7 ± 0.83 歳，身長： 170.8 ± 5.0 cm，体重： 66.4 ± 4.9 kg）を対象とした。競技レベルは日本学生選手権地区予選出場レベルであった。

2. 肩甲骨の挙上条件と下制条件の身体重心位置の算出

対象者には，主観的最大努力にて肩甲骨挙上/下制させてストリームライン姿勢を保持するよう指示した（図 2-1）。各条件での対象者の全長はテーブル側方のメジャーにて測定した。その他の測定方法や重心位置算出式については，第1章第2節第2項と同様とした。

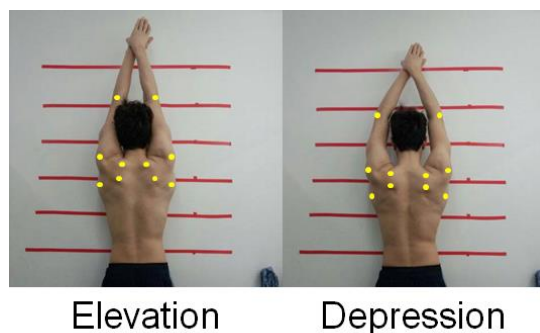


図 2-1 肩甲骨挙上及び下制の概要

3. 肩甲骨の挙上条件と下制条件の浮力測定と浮心重心位置の算出

対象者には，陸上での身体重心測定時と同様に，最大努力にて肩甲骨挙上/下制させたストリームライン姿勢で水中に留まるよう指示した。肩甲骨挙上条件/下制条件で身体重心測定した際の全長にあわせて $F1_{CoB}$ と $F2_{CoB}$ 間の距離を調整した。その他の測定方法や浮心位置算出式については，第1章第2節第3項と同様とした。

4. 統計解析

全長，浮心位置，重心位置，浮心重心間距離の姿勢条件間比較は，対応のある t 検定にて平均値の差の検定を実施した。いずれの統計解析も統計解析ソフト SPSS ver.19（IBM 社製）を用いて実施し，有意水準は5%とした。

第3節 結果

各対象者の肩甲骨挙上時と下制時の全長，浮心位置，重心位置，浮心重心間距離の変化を表 2-1 に示す。

表 2-1 肩甲骨挙上と下制における全長，浮心位置，重心位置及び浮心重心間距離の結果

Subject	Elevation				Depression			
	BL [cm]	CoB [cm]	CoM [cm]	d _N [cm]	BL [cm]	CoB [cm]	CoM [cm]	d _N [cm]
A	216.00	107.88	106.45	1.43	212.50	107.33	105.86	1.47
B	204.50	103.26	101.41	1.85	199.50	102.47	100.57	1.91
C	218.00	111.20	109.64	1.56	212.00	109.47	107.92	1.55
D	209.50	104.45	102.84	1.61	206.00	104.05	102.29	1.76
E	214.50	109.01	107.23	1.78	211.50	108.86	107.07	1.79
F	213.00	108.25	106.61	1.64	203.50	106.69	104.97	1.72
G	196.00	97.82	96.67	1.15	190.00	97.04	95.86	1.18
H	206.50	101.28	99.69	1.59	196.00	100.38	98.71	1.66
I	216.00	109.51	107.70	1.82	212.00	109.21	107.33	1.88
Mean	210.44	105.85	104.25	1.60	204.78	105.05	103.40	1.66
SD	6.69	4.16	4.06	0.20	7.71	4.12	4.03	0.21

BL : 全長, CoB : 浮心位置, CoM : 重心位置, d_N : 中性浮力時浮心重心間距離

1. 全長変化と重心位置

対象者の全長変化と重心位置の平均値の比較を図 2-2 に示す。対象者の全長は、肩甲骨下制時 (204.78 ± 7.71 cm) よりも、肩甲骨挙上時 (210.44 ± 6.69 cm) で、統計学的有意に長さが延長した ($p < .001$)。また、重心位置は、下制時 (103.40 ± 4.03 cm) よりも、挙上時 (104.25 ± 4.06 cm) で、統計学的有意に頭方向へ移動した ($p < .01$)。

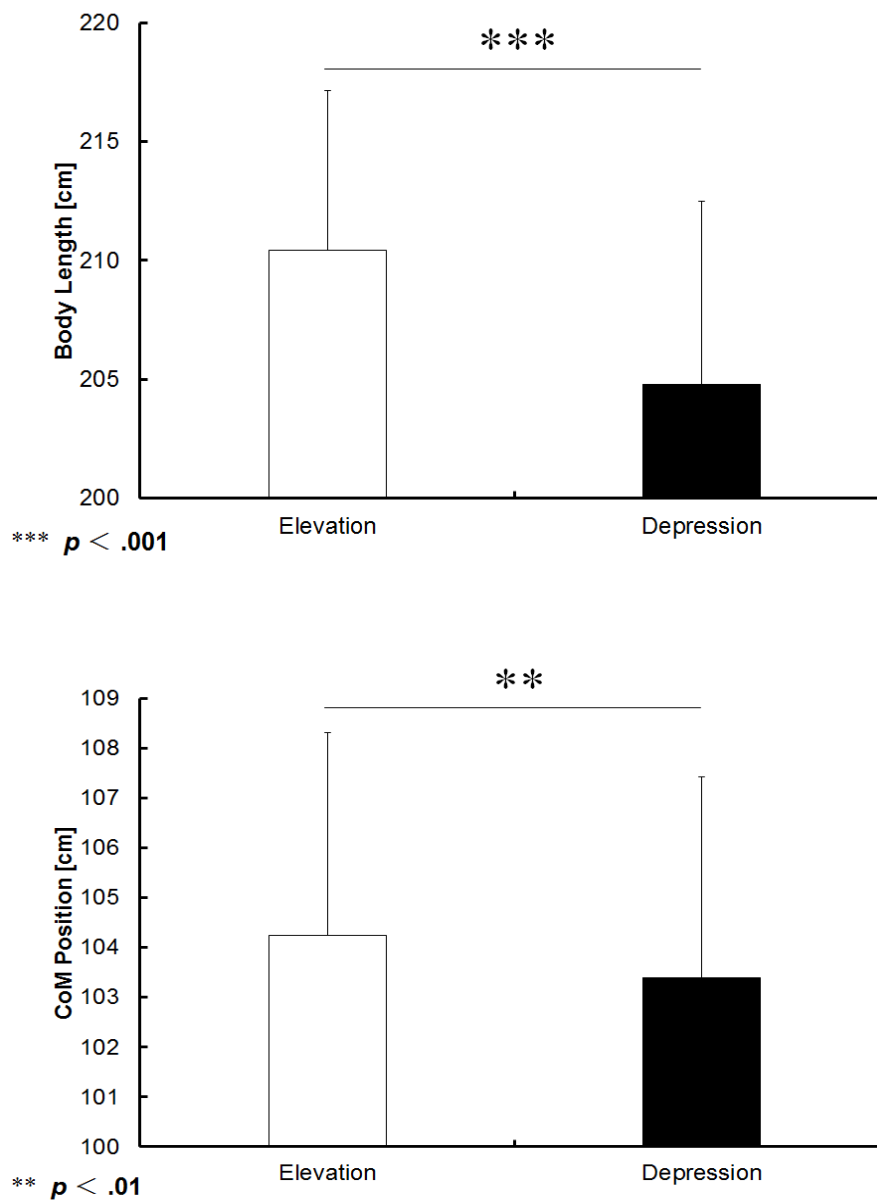


図 2-2 ストリームライン姿勢における全長（上）と重心位置（下）の変化

2. 換気量変化に伴う浮力変動

換気量変化に伴う浮力変動の様子を図 2-3 に示す。肩甲骨挙上によってグラフは上にシフトし、換気量は増加した。

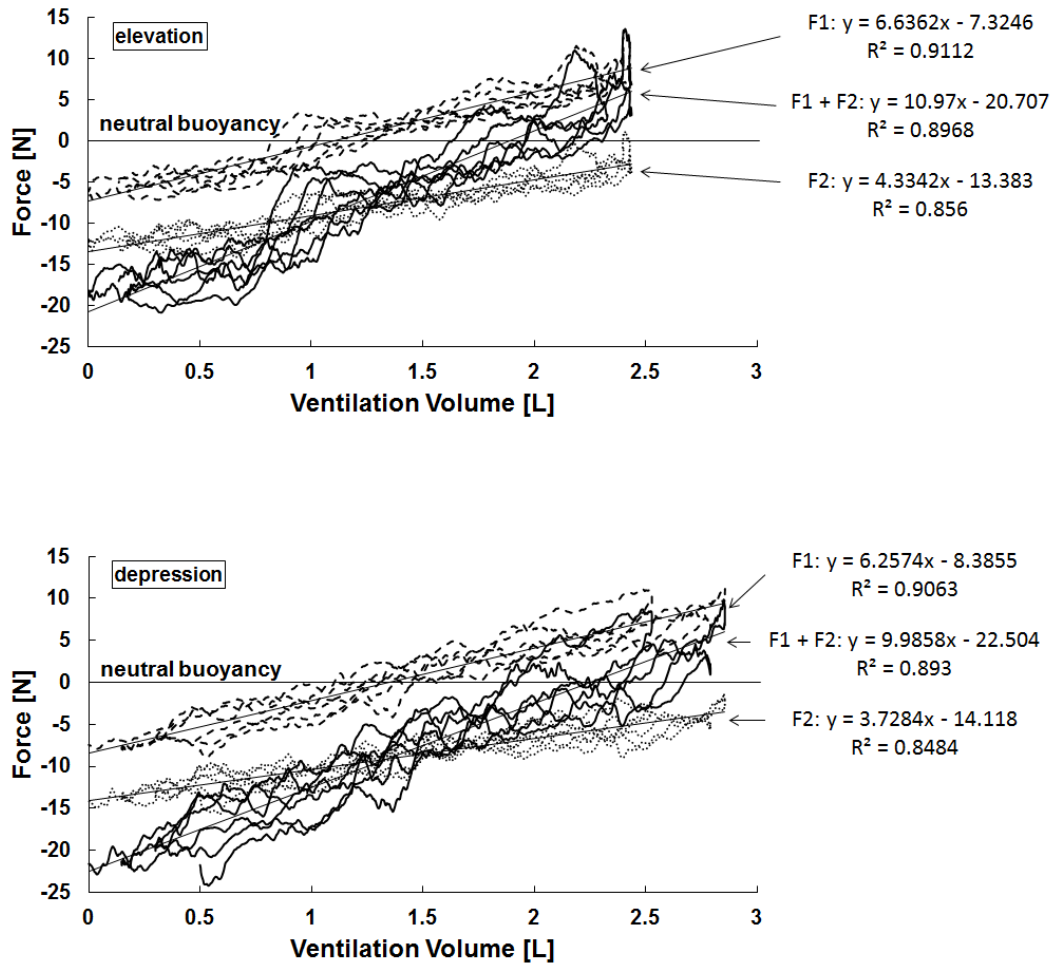


図 2-3 肩甲骨挙上（上）と下制（下）の換気量変化に伴う浮力変動

3. 浮心位置と浮心重心間距離

各対象者の換気量に伴う浮心重心間距離変動を図 2-4 に示す。

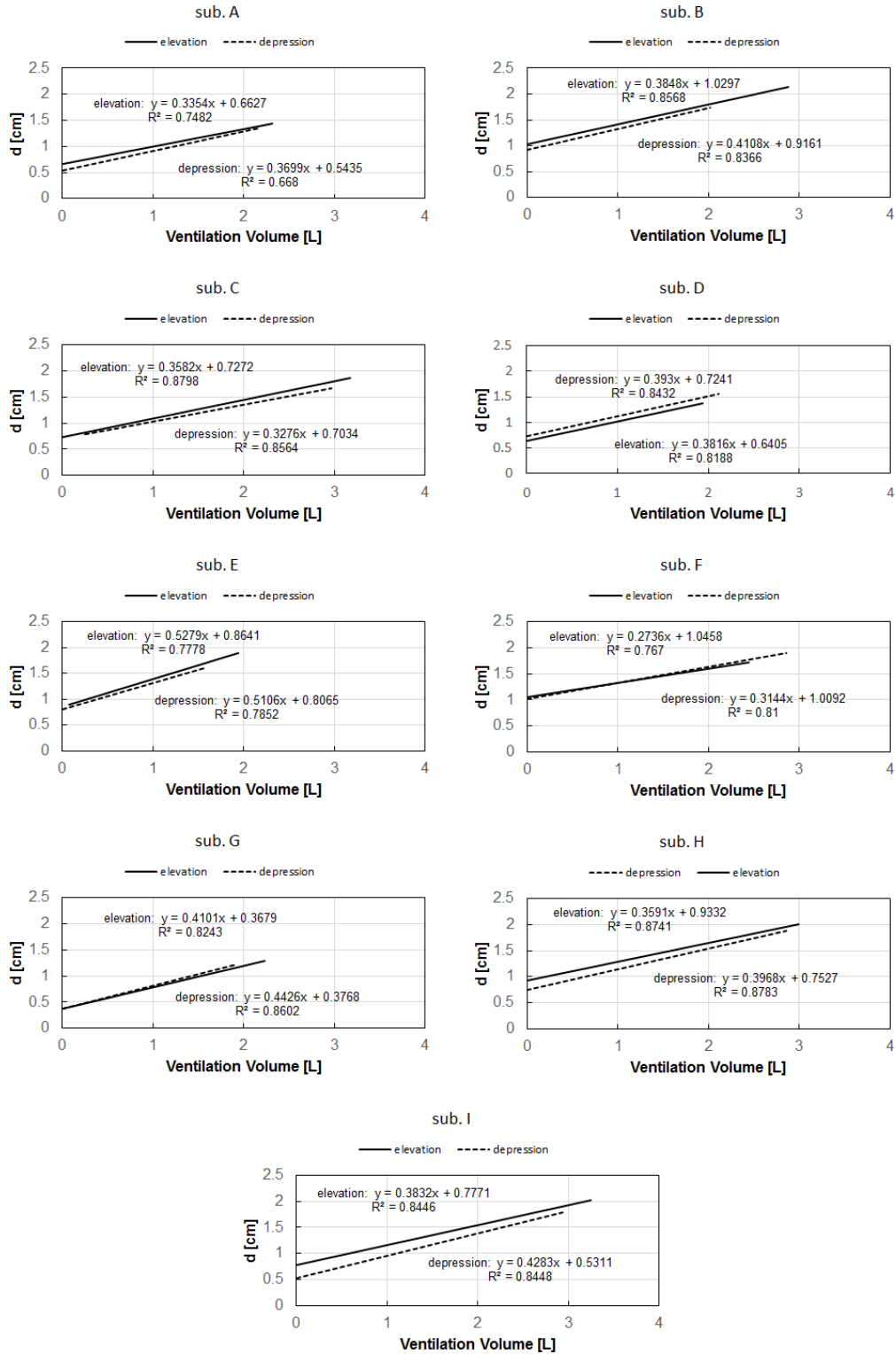


図 2-4 姿勢の違いと換気量, 浮心重心間距離の関係

中性浮力時の浮心位置と浮心重心間距離の平均値の比較を図 2-5 に示す。中性浮力時の浮心位置は、下制時 (105.05 ± 4.12 cm) よりも挙上時 (105.85 ± 4.16 cm) で、統計学的有意に頭方向へ移動した ($p < .01$)。中性浮力時の浮心重心間距離では、下制時 (1.66 ± 0.21 cm) よりも、挙上時 (1.60 ± 0.20 cm) で、統計学的有意に距離が短縮した ($p < .01$)。

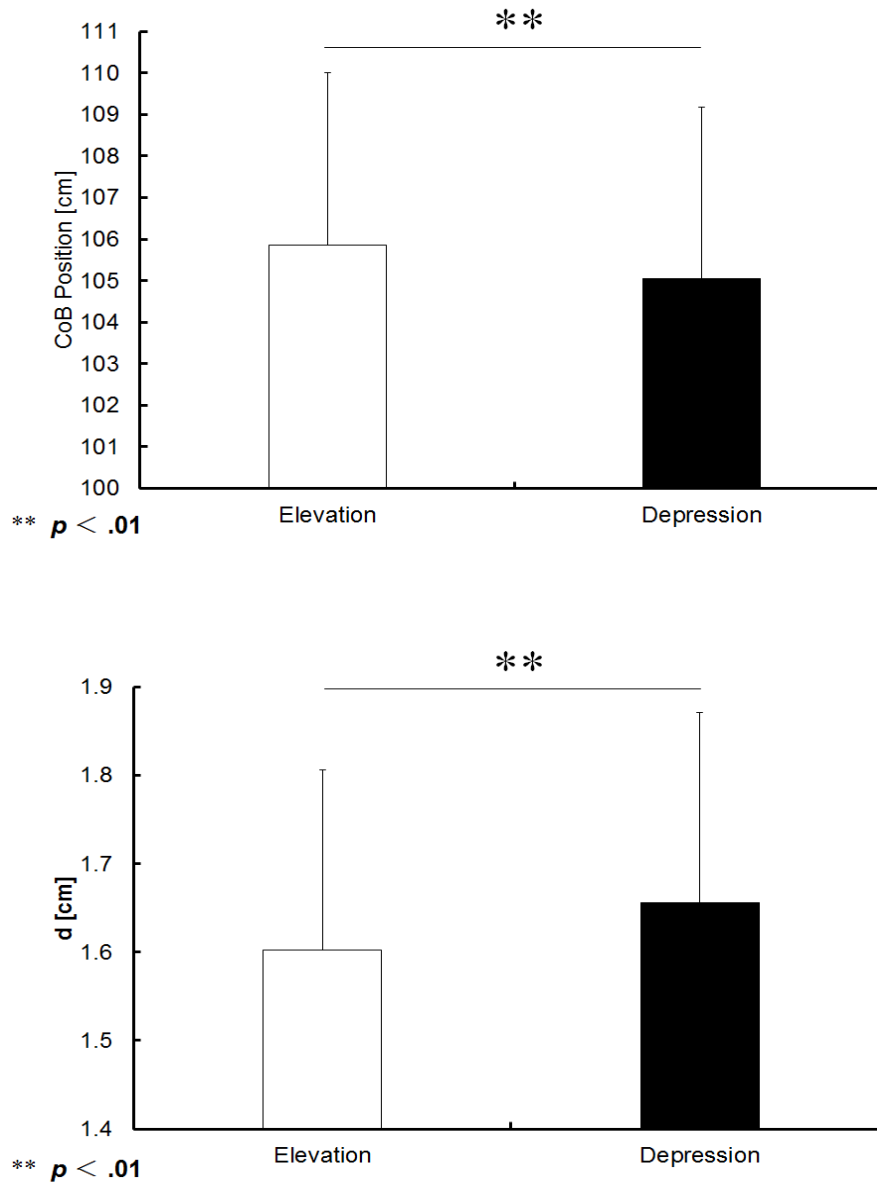


図 2-5 中性浮力時の浮心位置 (上) と浮心重心間距離 (下) の変化

4. 中性浮力時換気量と最大換気量

中性浮力時換気量の平均値の比較を図 2-6 に示す。中性浮力時における換気量は、下制時 (2.41 ± 0.38 L) よりも挙上時 (2.16 ± 0.32 L) で、統計学的有意差が認められた ($p < .01$)。また、対象者 9 名中 7 名は、挙上時に最大換気量が多かった。

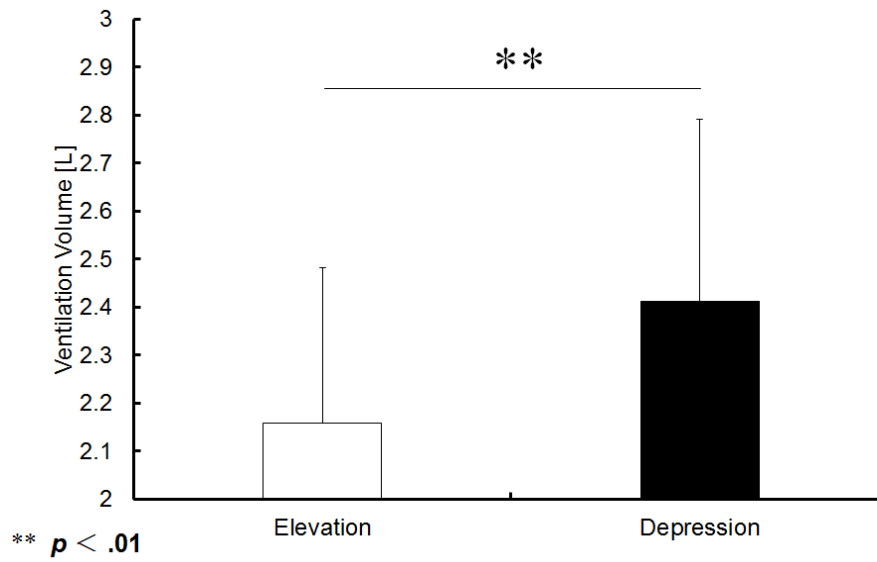


図 2-6 中性浮力時換気量の比較

第4節 考察

1. 全長変化と重心位置

本研究で検討した肩甲骨挙上と下制の姿勢の違いは、重心位置を約 1 cm（下制時全長に対して約 0.4%）頭方向へ移動させた。Gagnon and Montpetit (1981) や, McLean and Hinrichs (2000) では、両腕挙上によって、重心位置はいずれも約 3% の違いがあることを報告しているが、本研究の結果は、肩甲骨の挙上と下制のわずかな姿勢の違いでも、重心位置の変化の度合いは大きいことから、ストリームライン姿勢に及ぼす影響は大きいと考えられる。

2. 換気量変化に伴う浮力変動

$F1_{CoB}$ と $F2_{CoB}$ の浮力データから、挙上と下制で力のかかり方が違うことが観察された。各対象者のそれぞれの直線回帰式の切片 b の値は、1 名を除いて挙上時で大きくなっており、グラフは上にシフトしている。つまり、浮力が増加している。このことから、姿勢の違いが浮力の働き方に影響を及ぼすと考えられる。

3. 浮心位置と浮心重心間距離

換気量と浮心重心間距離の一次式の傾き a 値は、対象者 9 名中 7 名が挙上時で低い値を示すことから、肩甲骨挙上条件では、浮心と重心の位置が離れにくいと言える。このことは、換気量が同じでも水平姿勢に違いがある可能性を示している。また、肩甲骨挙上と下制の姿勢の違いは、重心位置と浮心位置の両方を頭側へ移動させたが、とりわけ、浮心位置の変化は重心位置のそれと比べて小さかったため、中性浮力時の浮心重心間距離が短縮した。

身体を一つの剛体と仮定し、重心を回転中心と考えた時、身体にかかる物理的な力とトルクは図 2-7 のように表される。トルクは身体各部にかかる力と、その力が働く点と重心との距離の積にて決定されることから、浮心重心間距離の短縮は、重心を回転中心とする浮力トルクの減少をもたらすと考えられる。浮力トルクは、下肢を沈ませる方向に働く。したがって、浮力トルクの減少は、水平姿勢を向上させる可能性が推察されるが、本研究では、身体各部のトルクを算出していないため、あくまで推測の域を出ない。

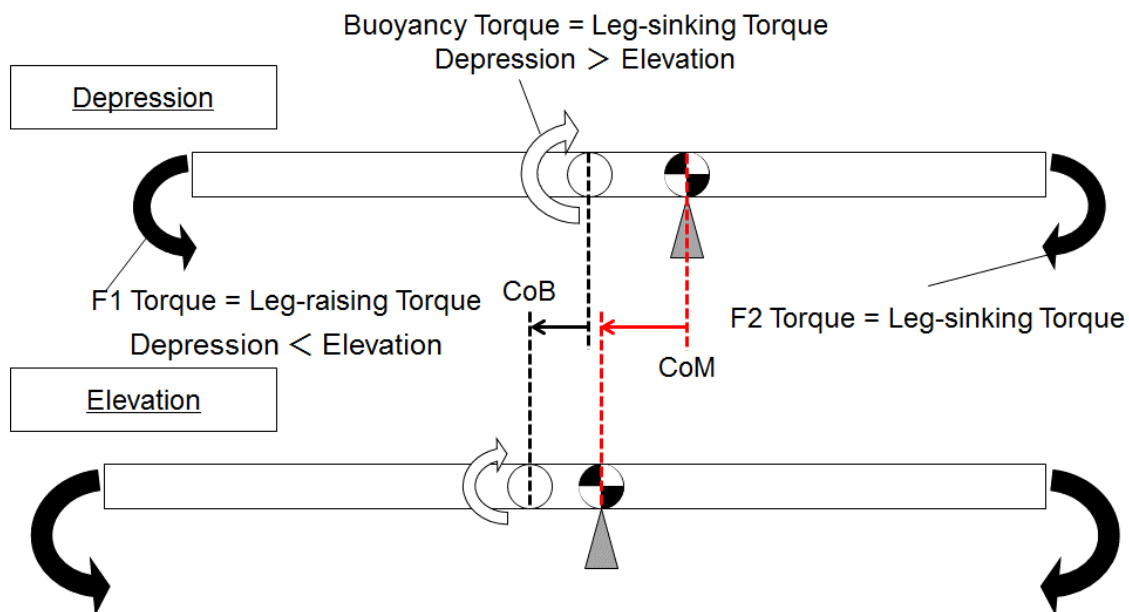


図 2-7 浮心重心間距離の変化と身体各部のトルクの変化の概要

4. 中性浮力時換気量と最大換気量

肩甲骨挙上と下制では中性浮力時換気量に違いが見られた。同一対象者であれば、姿勢の違いがあったとしても、基本的に肺内の気量は同じであると考えられるため、換気量の違いは残気量の違いによるものと考えられる。呼吸は横隔膜と胸郭の動きによってなされるが、肩甲骨の挙上や下制といった肩関節の動きは、特に胸郭の可動性に影響を及ぼすことが考えられる(図2-8)。Sarro et al. (2006)によれば、泳者の呼吸に伴う体幹部分の体積と胸郭の動きは正の相関関係にある。体積の変化は、肺内の気量の変化によって起こるため、胸郭の開きが大きい肩甲骨挙上条件では、下制条件よりも残気量が多くなることが推察される。

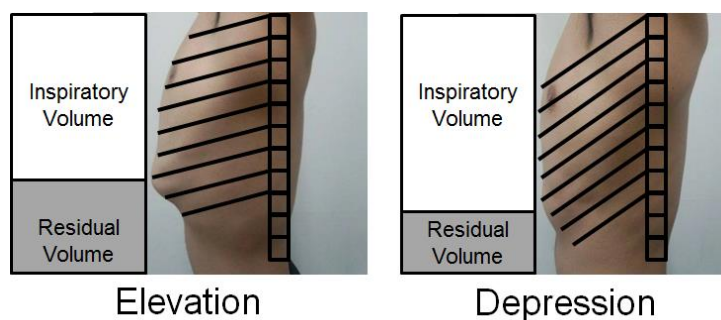


図 2-8 肩甲骨挙上(左)と下制(右)の胸郭の違いと肺気量の概要

第5節 結論

本研究は、肩甲骨挙上条件と下制条件の2つの異なる姿勢における浮心位置、重心位置の変化を調査するとともに、姿勢条件の違いが浮力や肺換気量に及ぼす影響を検討した。本研究の結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 肩甲骨挙上では、浮心位置、重心位置ともに頭方向へ移動するが、特に重心位置が大きく移動するため、中性浮力時の浮心重心間距離は下制時に比べて有意に短縮する。
- 2) 肩甲骨挙上では、下制時よりも浮力が大きいことが観察されたが、これは肺内の残気量の増加が関与していると考えられるため、姿勢の違いは、浮力の働き方に影響を及ぼすことが示唆された。
- 3) 肩甲骨挙上によって換気量は増加し、浮力の増加が認められ、呼吸の仕方の違いが水平姿勢に関与する可能性が示唆された。

第3章 呼吸に伴う手部／足部荷重比による身体水平度評価

第1節 緒言

これまでの先行研究において、泳者の姿勢の評価は中性浮力時、最大吸気時、%肺活量時といった、ある特定の状況における浮心と重心の位置関係で議論されてきた (Gagnon and Montpetit, 1981 ; McLean and Hinrichs, 1998, 2000). また, Carmody (1965) は, ヒトの水平姿勢は浮心を回転中心とする第1 のてこの関係であり, 浮心と重心が鉛直線上で一致するまで足は水底へ沈み続けること記述している. 一方で, 元来, 人体は, その構造から, 浮心と重心は一致しない (Hay, 1993) にもかかわらず, ヒトは水面で水平姿勢を維持できる場合があるため, Carmody の説明では, 理論と現象の間に整合性が取れない. つまり, 水平姿勢を維持するには, その他の要因が存在することが考えられる.

呼吸は吸気と呼気の周期的活動であり, それに伴って浮力も絶えず変化するため, 特に, 流体中における浮力の変化は, 姿勢の揺動を引き起こすと考えられる. これを考慮すれば, 呼吸に伴う周期的な浮力の変化が, 泳者の身体各部に作用する力の変化の割合を評価するほうが, より実際の状況に近いと考える. したがって, 換気量の変化に伴う浮力の変化と, それに伴う水平姿勢の変化の関係を検討する必要性があるが, そのような研究報告は見当たらない.

以上を踏まえ, 本章の目的を以下の通りに設定した.

- 1) これまで浮心重心間距離として量で評価してきた水平姿勢を, 換気量変化に伴う手部と足部の荷重の比として無次元化して評価する新たな手法を開発すること.
- 2) 水平姿勢を換気量, 浮心重心間距離, トルクの観点から検証し, 技能習熟度における差異を明らかにすること.

第2節 方法

1. 標本

日頃からトレーニングに励む国際大会出場レベルの男子競泳選手 10 名 (17.0 ± 0.8 歳), 日本学生選手権地区予選出場レベルの大学男子競泳選手 8 名 (19.0 ± 0.7 歳) と, 大学運動部に所属し, 且つこれまでに水泳の専門的指導を受けたことがない学生アスリート 8 名 (18.8 ± 0.4 歳) を対象とした. 学生アスリートの専門競技の内訳は, ラグビーフットボール 1 名, サッカー 5 名, バスケットボール 1 名, バドミントン 1 名であった.

2. 身体重心位置の算出

測定方法や重心位置算出式については, 第 1 章第 2 節第 2 項と同様とした.

3. 浮力測定と浮心位置の算出

浮力測定時間は Capelli et al. (1995) を参考に, 60 秒とした. 肺気量を十分に評価するため, 呼吸は深呼吸とし, Pitzalis et al. (1998) を参考に, 1 分間で 6 呼吸とした. 呼吸を正確にコントロールするため, 5 秒かけて主観的 maximum 努力で吸気した後, 5 秒かけて最大呼気となるよう対象者に指示した. 5 秒のカウントはメトロノームを用いた. なお, 浮心位置算出のための浮力データは, Kjendlie and Stallman (2004) を参考に, 姿勢が安定する 3 周期目から 5 周期目を用いた. その他の測定方法や浮心位置算出式については, 第 1 章第 2 節第 3 項と同様とした.

4. 水平姿勢の評価

手部にかかる鉛直方向の力 (浮力) と換気量の関係を求めた一次式を $y = a_1x + b_1$ とし, 足部のそれを $y = a_2x + b_2$ と定義したとき, この 2 つの式の傾き a 値を用いて, 呼吸に伴う身体水平バランス比 (Breathing-Balance ratio, 以後, BB ratio と記す) を算出することで泳者の水平姿勢を評価した. BB ratio は, 下記の式により求めた.

$$\text{BB Ratio} = \frac{a_2}{a_1}$$

5. トルクの算出

水平姿勢の構造を検討するため、最大呼気および最大吸気時の身体各部のトルクを検証した。身体各部に働く力とトルクの概要を図 3-1 に示す。

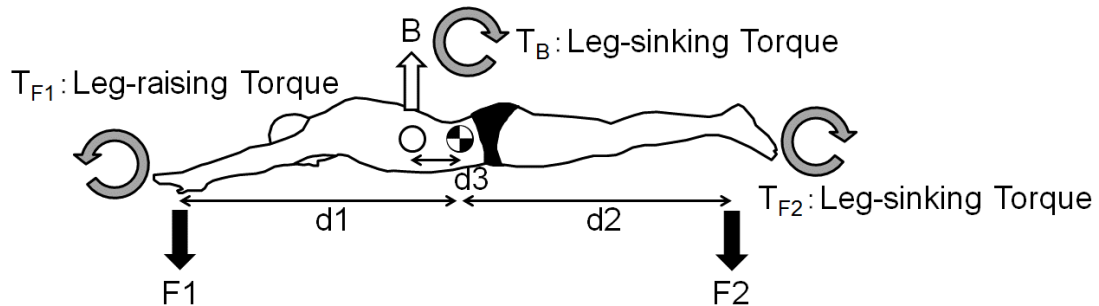


図 3-1 トルク算出の概要

トルク (T) は、身体各部にかかる力と、その力が働く点と重心との距離の積にて決定される。したがって、重心を回転中心とすると、下肢浮上に関する手部トルク (T_{F1}) は、下記の式にて求めることができる。

$$T_{F1} = F1 \cdot d1$$

同様に、重心を回転中心とすると、下肢沈下に関する足部トルク (T_{F2}) は、下記の式にて求めることができる。

$$T_{F2} = F2 \cdot d2$$

同様に、下肢沈下に関する浮力トルク (T_B) は、下記の式にて求めることができる。

$$T_B = B \cdot d3$$

6. 統計解析

本研究では、国際大会出場レベル男子競泳選手を Junior Top Swimmer 群（以後、JTS 群と記す）、日本学生選手権地区予選出場レベル男子競泳選手を Collegiate Swimmer 群（以後、CS 群と記す）、水泳を専門としない男子学生アスリートを Non swimmer 群（以後、NS 群と記す）とし、技能習熟度別の 3 群間を比較した。BB ratio, 換気量, 浮心重心間距離, トルクの比較は、一元配置分散分析（対応なし）を用いて平均値の差の検定を実施した。いずれの統計解析も統計解析ソフト SPSS ver.19 (IBM 社製) を用いて実施し、有意水準は 5% とした。

第3節 結果

各対象者の BB ratio, 中性浮力時換気量, 最大換気量, 浮心重心間距離の結果を, 表 3-1 に示す.

表 3-1 BB ratio, 中性浮力時換気量, 最大換気量及び浮心重心間距離の結果

Subject	Group* ¹	Event	BB Ratio	LV _N * ² [L]	LV _{Max} * ³ [L]	d _N * ⁴ [cm]	d _{Max} * ⁵ [cm]
1	NS	Rugby Football	0.63	2.16	3.37	1.10	1.50
2	NS	Football	0.65	3.35	3.03	2.13	2.01
3	NS	Football	0.59	2.30	2.20	2.09	2.03
4	NS	Football	0.64	1.99	1.41	2.29	2.03
5	NS	Football	0.63	2.79	2.63	2.34	2.27
6	NS	Basketball	0.59	2.51	2.81	2.02	2.15
7	NS	Football	0.63	2.49	2.50	2.14	2.14
8	NS	Badminton	0.62	2.51	2.43	2.55	2.52
9	CS	Butterfly	0.72	1.77	2.91	1.54	1.92
10	CS	Butterfly	0.62	1.72	2.25	1.16	1.37
11	CS	Freestyle	0.65	2.07	2.59	1.64	1.82
12	CS	Freestyle / IM	0.67	2.51	3.20	1.47	1.71
13	CS	Backstroke	0.60	1.81	2.07	1.85	1.99
14	CS	Freestyle	0.63	2.80	2.80	1.96	1.95
15	CS	Butterfly	0.64	2.75	2.48	1.73	1.58
16	CS	Breaststroke / IM	0.64	2.18	2.26	1.89	1.91
17	JTS	Freestyle	0.67	2.77	3.73	1.94	2.38
18	JTS	Freestyle / IM	0.70	2.80	2.77	1.92	1.90
19	JTS	Backstroke / IM	0.74	2.03	3.38	2.21	2.80
20	JTS	Butterfly	0.69	1.61	2.43	2.35	2.80
21	JTS	Breaststroke	0.71	1.94	3.36	1.88	2.51
22	JTS	Butterfly / IM	0.71	1.32	1.84	1.90	2.18
23	JTS	Breaststroke	0.71	2.20	2.80	1.59	1.84
24	JTS	Breaststroke	0.70	1.43	2.26	1.70	2.08
25	JTS	Butterfly	0.68	2.51	3.90	1.76	2.29
26	JTS	IM	0.73	2.09	2.42	1.87	2.02
Mean	NS		0.62	2.51	2.55	2.08	2.08
SD	NS		0.02	0.39	0.55	0.40	0.27
Mean	CS		0.65	2.20	2.57	1.66	1.78
SD	CS		0.04	0.41	0.36	0.25	0.20
Mean	JTS		0.70	2.07	2.89	1.91	2.28
SD	JTS		0.02	0.49	0.64	0.21	0.33

*1 NS : 学生アスリート, CS : 日本学生選手権地区大会出場競泳選手, JTS : 国際大会出場競泳選手

*2 LV_N : 中性浮力時換気量

*3 LV_{MAX} : 最大換気量

*4 d_N : 中性浮力時浮心重心間距離

*5 d_{MAX} : 最大換気時浮心重心間距離

1. 身体水平バランス比 (BB ratio) と換気量

BB ratio 及び換気量の平均値の比較を図 3-2 に示す。姿勢の水平度を示す BB ratio (グラフ上) は, JTS 群がその他の群と比べて高い値 (JTS 群 : 0.70 ± 0.02 , CS 群 : 0.65 ± 0.04 , NS 群 : 0.62 ± 0.02) を示し, 統計学的有意差が認められた ($F(2, 23) = 22.708, p < .001$)。中性浮力時換気量 (LV_N) と最大換気量 (LV_{MAX}) の結果 (グラフ下) に統計学的有意差は認められなかった。

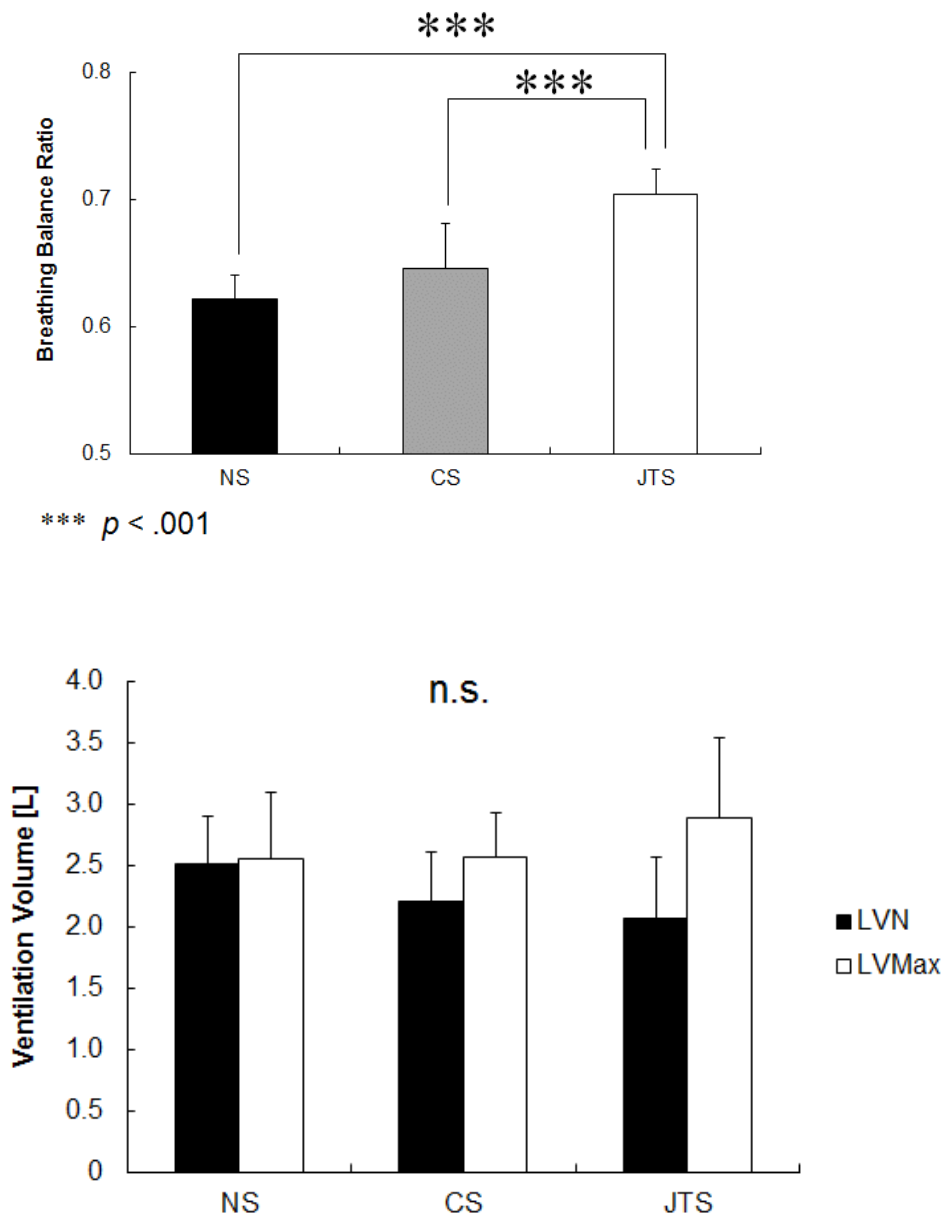


図 3-2 BB ratio (上) と換気量 (下) の技能習熟度別比較

2. 中性浮力時換気量と最大換気量の変化

中性浮力時と最大換気時の換気変化量の平均値の比較を図 3-3 に示す。最大換気量と中性浮力時換気量の変化量は、JTS 群 (0.82 ± 0.46 L) が NS 群 (0.04 ± 0.51 L) よりも、統計学的有意に大きかった ($p < .01$)。

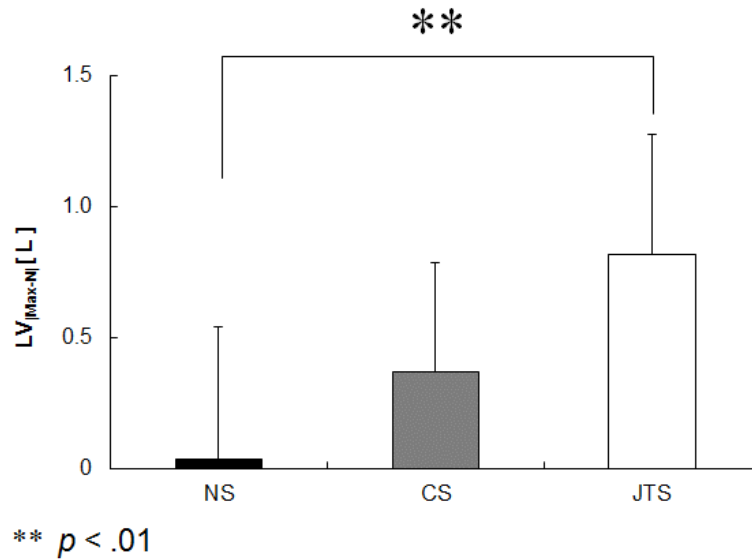


図 3-3 中性浮力時と最大換気時の換気変化量の比較

3. 浮心重心間距離

中性浮力時 (d_N) と最大換気時 (d_{MAX}) の浮心重心間距離の平均値の比較を図 3-4 に示す。中性浮力時の浮心重心間距離は、NS 群 (2.08 ± 0.40 cm) が CS 群 (1.66 ± 0.25 cm) より有意に延長 ($p < .05$) したが、CS 群と JTS 群では統計学的有意差は認められなかった。最大換気時の浮心重心間距離は、JTS 群 (2.28 ± 0.33 cm) が CS 群 (1.78 ± 0.20 cm) より有意に延長 ($p < .01$) したが、CS 群と NS 群では統計学的有意差は認められなかった。

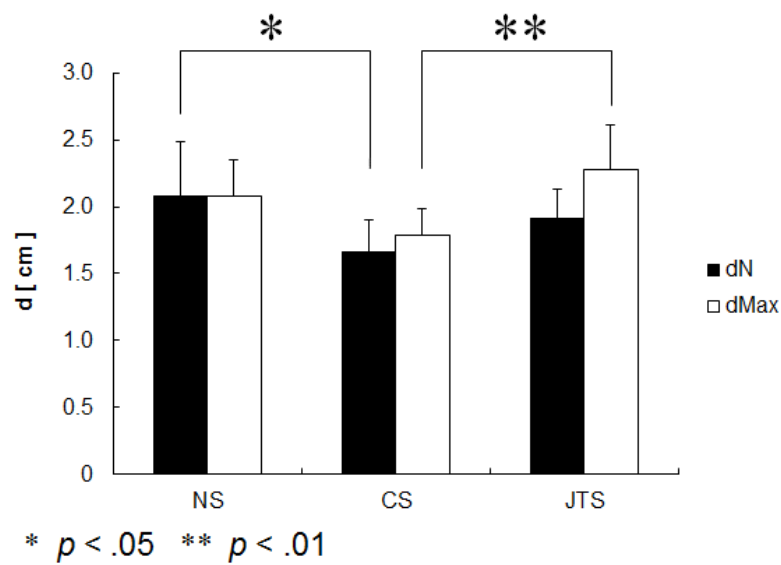


図 3-4 中性浮力時及び最大換気時の浮心重心間距離比較

4. 身体各部のトルク

手部トルク (T_{F1}), 足部トルク (T_{F2}), 浮力トルク (T_B) の平均値の比較を図 3-5 に示す。最大呼気時 (グラフ左) の T_{F1} は, 3 群間で統計学的有意差は認められなかった (JTS 群: 11.4 ± 3.2 Nm, CS 群: 10.4 ± 2.8 Nm, NS 群: 11.8 ± 2.8 Nm)。 T_{F2} も, 3 群間で統計学的有意差は認められなかった (JTS 群: -16.8 ± 2.3 Nm, CS 群: -15.2 ± 2.8 Nm, NS 群: -17.6 ± 2.9 Nm)。 T_B においても, 3 群間で統計学的有意差は認められなかった (JTS 群: -5.5 ± 1.6 Nm, CS 群: -4.8 ± 1.0 Nm, NS 群: -5.9 ± 1.4 Nm)。

最大吸気時 (グラフ右) の T_{F1} は, JTS 群 (12.8 ± 4.3 Nm) が, CS 群 (7.9 ± 2.7 Nm) や NS 群 (7.0 ± 3.2 Nm) より, 有意に大きかった ($F(2, 23) = 6.013, p < .01$)。 T_{F2} は, NS 群 (-6.5 ± 2.4 Nm) が, CS 群 (-3.7 ± 2.1 Nm) や JTS 群 (-2.1 ± 1.5 Nm) より, 有意に大きかった ($F(2, 23) = 9.463, p < .001$)。 T_B では, JTS 群 (-13.8 ± 2.3 Nm) が, CS 群 (-11.5 ± 1.3 Nm) より大きい傾向 ($F(2, 23) = 3.312, p = .054$) にあったが, NS 群 (-13.4 ± 1.8 Nm) との違いは無かった。

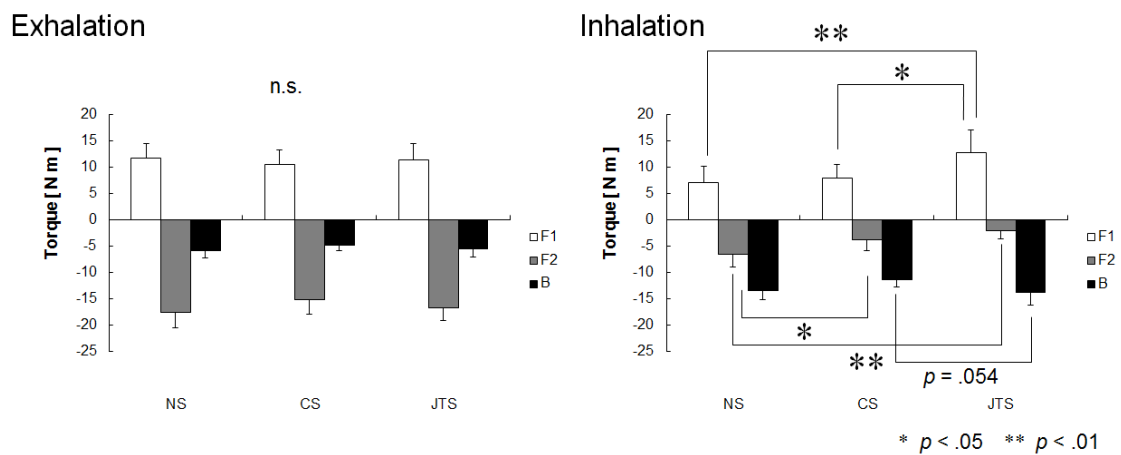


図 3-5 最大呼気及び最大吸気時の身体各部のトルクの変化

第4節 考察

1. 身体水平バランス比 (BB ratio) と換気量

BB ratio の値は、技能習熟度が上がるほど高かった。つまり、速く泳ぐことのできる泳者ほど、呼吸に伴う浮力の変動によらず、姿勢を水平に近づけることができると言える。このことから、技能習熟度が高いほど、進行方向に対する前方投影面積を小さくして、抵抗軽減できると考えられる。

また、中性浮力時換気量及び最大換気量に3群間で違いは認められないため、浸水状態におけるヒトの換気量は、技能習熟度による差がないと考えることができる。一方で、肺内に溜まる空気の量に違いがなくても、BB ratio に違いがみられたことで、空気の吸い方や吐き方、あるいは、肺内での溜まり方など、呼吸の仕方が泳者の水平姿勢に影響を及ぼすと考えられる。

2. 中性浮力時換気量と最大換気量の変化

各群の代表的な1名 (NS群：対象者3, CS群：対象者11, JTS群：対象者20) の換気量と浮力・浮心重心間距離の結果を図3-6に示す。

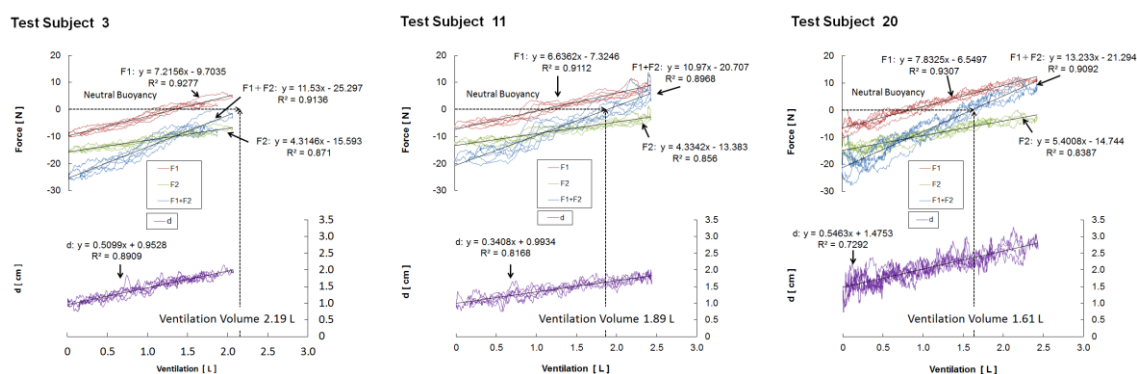


図 3-6 中性浮力時換気量と浮力・浮心重心間距離の技能習熟度別比較

浮力データの切片 b 値は、息を吐き切った状態 (つまり、最大呼気の状態) の荷重を意味するため、ほぼ水中体重と同義として扱うことができる。この切片 b 値の各群の平均値を検証すると、NS群 (F1 : 11.17 ± 2.46 N, F2 : 17.36 ± 2.80 N), CS群 (F1 : 9.83 ± 2.49 N, F2 : 14.61 ± 2.44 N), JTS群 (F1 : 10.41 ± 2.98 N, F2 : 16.49 ± 2.27 N) で、統計学的有意差

は見られない。つまり、身体組成では差がないと考えられるが、中性浮力時換気量と浮力の関係は異なる。中性浮力時換気量は技能習熟度が上がるに伴って左へシフトした。対象者 3 では、最大吸気状態でも中性浮力に至らず、浮いていないことが確認できる。NS 群で半数以上が、同様の結果を示した。一方で、対象者 20 では、中性浮力時換気量は 1.61 L であり、最大換気量は 2.43 L となる。JTS 群の中性浮力時換気量の平均は 2.07 ± 0.49 L で、最大換気量の平均は 2.89 ± 0.64 L となり、その変化量は約 0.8 L なので JTS 群は有効に浮力を活用できる可能性が推察された。

3. 浮心重心間距離

一般的には、浮心重心間距離の短縮が理想的な水平姿勢をもたらすと考えられているため、これまでの先行研究 (McLean and Hinrichs, 1998, 2000) でも、浮心と重心の位置関係で水平姿勢が検討されてきた。しかしながら、本研究における浮心重心間距離の結果は、各群間の差は確認されたものの、技能習熟度に沿った結果とはならなかった。また、本研究での BB ratio の結果と浮心重心間距離の結果には相違があった。このことから、呼吸による浮力の増減に伴って水平姿勢を維持できるかどうかは、浮心重心間距離の短縮以外の要素が介在することが考えられる。よって、浮心重心間距離のみでは、ヒトの水平姿勢を完全に評価することができないと考えられる。

4. 身体各部のトルク

最大呼気時の身体各部のトルクは、3 群間で違いはみられなかったため、息を吐き切った状態では、水平姿勢に差はないと言える。一方で、最大吸気時では、技能習熟度が上がるにつれて下肢浮上に関与する T_{F1} が増加し、下肢沈下に関与する T_{F2} が減少した。とりわけ、JTS 群は、最大呼気時に比べて最大吸気時で T_{F1} が増加し、 T_{F2} の減少が顕著となった。CS 群と NS 群では最大呼気時に比べて最大吸気時で T_{F1} が減少した。また、最大吸気時の T_B は、JTS 群が CS 群と比べて大きい傾向 ($p = .054$) を示した。JTS 群が CS 群と比べて最大吸気時の T_B が大きい傾向となったのは、浮心重心間距離の延長によるものと考えられる。JTS 群が、その他と比べて最も水平に近づいたのは、手の甲で水を水面方向へ押し上げることで、反作用の力を得て手部トルクが増加し、吸気に伴う身体の回転が抑制されたことで、下肢が浮き上がったためと考えられる。手部トルクの増加に、人体のどの部位が貢献したのかは言及できないが、例えば、肩関節周囲筋や体幹周囲筋の筋力や安定性が関与し

た可能性が考えられる。Konin and Barany (2005) は、水泳は体幹周囲筋の筋力及び肩関節の可動域制御によって、他の競技と比べても高いレベルの機能的安定性が必要になることを報告している。また、水泳中の推進力の大部分は手部が発揮する流体力である (Yanai, 2001) ため、繰り返されるストローク動作に最も関連していると思われる肩関節周囲筋の筋力や安定性は、競技力に優れる泳者ほど高い可能性があるが、本研究ではそれらを評価していないため推測の域を出ない。

第5節 結論

本研究は、換気量変化に伴う手部と足部の鉛直方向の荷重の比を用いて、泳者の水平姿勢を評価する新たな手法を開発するとともに、水平姿勢を換気量、浮心重心間距離、トルクの観点から検証し、技能習熟度における差異を明らかにすることを目的とした。本研究の結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 手部と足部の荷重の比で表す **BB ratio** は、身体的特徴の影響を除外して、泳者の浮心と重心の位置のずれにより生じる身体の回転の度合いを評価することができる手法である。
- 2) 呼吸に伴う浮力の変化から、身体的特徴や換気量に差がなくても、呼吸の仕方が泳者の身体水平度に影響を及ぼすことが明らかとなった。
- 3) 技能習熟度が高いほど、吸気に伴って下肢浮上に関与する手部トルクは増加し、下肢沈下に関与する足部トルクは減少して、水面に対して水平に近づいた。
- 4) 浮心重心間距離の短縮が、すなわち水平姿勢を実現するのではなく、作用反作用の原理に基づいた姿勢保持の要領が存在する可能性が示唆された。

終章 総括

本研究の目的は、浮心重心間距離に基づき泳者の水平姿勢を多角的に検討すると共に、その応用として、呼吸に伴う浮力変化と浮心重心間距離により生じる身体の回転を考慮した新たな姿勢評価方法を提案することとした。第1章では呼吸に伴う浮力と浮心位置の変化を定量化した。第2章では、ストリームライン姿勢での肩甲骨挙上と下制の違いによる浮心重心間距離の変化を検討した。第3章では、呼吸に伴う手部と足部の荷重変化の比(BB ratio)を求めることで、浮心重心間距離により生じる身体の回転の度合いを評価するための新たな手法を検討した。そこで、本章では、各章で得られた知見を総合的に考察し、本研究における今後の課題と展望を述べる。

第1節 総合考察

これまで水平姿勢の評価は、浮心と重心の位置関係(浮心重心間距離)によって議論され、パフォーマンスとの関係が検討されてきた。そこで、第1章では、呼吸に伴う換気量と浮力の変化を同時計測する手法を構築し、浮力と浮心重心間距離の定量化を試みるとともに、男女間で比較検討した。本研究で構築した手法は、浮心重心間距離を定量化することができた。男女の比較で、女性は男性と比べて浮心重心間距離が短かった。また、女性は男性より浮くために必要な空気を相対的に多く換気できることが明らかとなった。女性は、その骨格構造から肩甲・胸郭周囲の可動が男性よりも優位とされており、これらの働きが換気に影響を及ぼす可能性が示唆された。浮心重心間距離が短いほど、姿勢は水平に近づくと考えられたため、仮説として、浮心重心間距離とけのび到達距離は負の相関関係になると設定したが、けのびテストは、程度の差こそあれ、技術的要因や体力的要因が大きく、浮心重心間距離とけのびパフォーマンスの間に相関関係は認められなかった。

第1章の研究結果から、姿勢や胸郭周囲の働きが水平姿勢に影響を及ぼす可能性が指摘された。そこで、肩甲・胸郭周囲の可動の違いが換気量、浮力、浮心重心間距離に及ぼす影響を明らかにするため、第2章では、ストリームライン姿勢での肩甲骨挙上と下制の違いによる浮心重心間距離の変化を検討した。肩甲骨挙上によって浮心、重心共に頭方向へ移動するが、特に、重心の移動が浮心のそれよりも大きく、浮心重心間距離は短縮した。肩甲骨挙上は下制よりも、中性浮力時の換気量が減少し、最大換気量は増加した。中性浮

力時の換気量が、肩甲骨挙上時に減少したのは、残気量の違いによるものと考えられる。基本的に、同一対象者であれば、肺内の気量は同じと考えられるため、肩甲骨挙上では、より多くの空気が肺内に留まったことを示唆した。浮力は挙上時で増加した。肩甲骨を挙上させる肩関節の動きと連動して、胸郭が大きく開くことが観察された。また、肩甲骨挙上では、浮心と重心の位置関係が離れにくいことが明らかとなった。肩甲骨挙上によって換気量は増加し、浮力の増加が認められ、呼吸の仕方の違いが水平姿勢に關与する可能性が示唆された。

第2章の研究結果から、換気量が同じでも水平姿勢に違いが生じる可能性が指摘されたため、第3章では、これまで浮心重心間距離として量で評価してきた水平姿勢を、手部和足部の荷重変化の比 (BB ratio) を求めることで、浮心重心間距離により生じる身体の回転の度合いを評価するための新たな手法を検討した。BB ratio の評価では、技能習熟度が高いほど水平姿勢に近づくことが明らかとなった。したがって、技能習熟度が高いほど、進行方向に対する前方投影面積を小さくして、抵抗軽減できると考えられる。水中での換気量は技能習熟度に違いはなかった。つまり、国際大会出場レベルの競泳選手も水泳を専門としない学生アスリートも、水中で同じだけ空気が吸えると考えられる。最も水平姿勢に近づいた国際大会出場レベルの競泳選手は、浮心重心間距離が延長した。つまり、水平姿勢の実現は、浮心重心間距離の短縮以外の要因が存在することが示唆された。トルクの観点からみると、最大呼気では違いはないが、最大吸気では、技能習熟度が上がるほど手部トルクは増加し、足部トルクは減少して BB ratio の結果と合致した。BB ratio により無次元化した水平姿勢の評価は、身体的特徴の影響を除外して、ヒトの水平姿勢に呼吸の仕方が影響することを明らかにした。

各章の結果をふまえ、泳者の水平姿勢の評価について総合的に検討する。一般的には、吸気に伴い浮心は頭方向へ移動して浮心重心間距離は延長する。吸気により浮力が増加すれば、その分だけ身体は重心を中心に回転して下肢が沈むことが知られている。本研究における1章と2章の結果は、わずかな姿勢の違いでも換気量と浮心重心間距離に影響を及ぼすことを明らかにした。具体的には、ストリームライン姿勢での肩甲骨挙上は下制よりも換気量が増加し、浮力が増加し、浮心重心間距離は短縮した。つまり、ヒトが工夫することで能動的に低抵抗姿勢を獲得できる可能性を示唆した。これらの知見は、泳記録の短縮を目指す競技者にとっては、スタート直後やターン直後のグライド局面での抵抗軽減に貢献できる可能性がある。指導者にとっては、水泳の基本姿勢である浮き身を、系統的に

指導するための資料として活用される可能性があり、このことは、水泳不得意者の技能習得や初心者指導法の考案など、水泳の普及に貢献できると考えられる。

第2章と第3章の結果は、浮力の働きかたの違いが水平姿勢に影響を及ぼすことを明らかにした。まず、浮心重心間距離に目を向けると、第2章では、肩甲骨挙上により中性浮力時の浮心重心間距離は短縮することが明らかとなった。先行研究にならえば、水泳の低抵抗姿勢を実現するには、浮心と重心は近い方が良いとされているため、この結果は、肩甲骨挙上が、浮心重心間距離により生じる身体の回転を軽減できる可能性を示すことになる。しかし、一方で、第3章では、姿勢が最も水平に近い国際大会出場レベルの競泳選手では、浮心重心間距離が延長した。つまり、第3章の結果は、浮心重心間距離の短縮が、すなわち低抵抗姿勢の実現とはならないことを示しており、これまでの定説と一致しない。

次に、換気量に目を向けると、第2章では、図2-4に示されるように、対象者9名中7名で、換気量と浮心重心間距離の一次式の傾き a 値が低値を示したため、換気量が同じ場合でも、肩甲骨挙上は下制よりも浮心と重心が離れにくいことが明らかになった。第3章では、技能習熟度で換気量には違いはないが、水平姿勢に違いが認められた。つまり、物理的に吸い込むことができる空気の量が同等でも、呼吸の仕方が水平姿勢に影響することが考えられる。

最後に、第3章で検証したトルクに目を向けると、技能習熟度が高いほど、吸気に伴い下肢浮上に関与する手部トルクは大きくなり、下肢沈下に関与する足部トルクは小さくなって水平姿勢に近づいた。つまり、技能習熟度に伴って水面に対して水平に姿勢を保持できることを示した。日本学生選手権地区予選出場レベルの競泳選手は、浮心重心間距離が最も短縮したため、下肢沈下に関与する浮力トルクが小さくなり、水泳を専門としない一般学生アスリートと比べて水平姿勢に近づいたと考える。それに対して、国際大会出場レベルの競泳選手は、手の甲で水を水面方向へ押し上げることで、反作用の力を得て手部トルクが増加し、吸気に伴う身体の回転が抑制されたため、下肢が浮き上がり、その他と比べて最も水平に近づいたと考えられる。手部トルクの増加が、手部、前腕、上腕、あるいは肩甲骨周囲筋や体幹周囲筋など、具体的にどの部分の関与かは言及できないが、いずれにしても、水平姿勢の保持には作用反作用の原理に基づく要領があり、それが浮心重心間距離のずれを埋める可能性があることが示唆された。また、作用反作用の力を得るには、体幹筋群を中心とした固定的安定性が必要となる。まとめると、浮心重心間距離が短縮すれば、下肢沈下に関与する浮力トルクは減少するため、ある程度までは水平姿勢に近づく

が、人体の構造上、浮心と重心が水平姿勢で完全に一致するのは極めて困難なため、それには限界がある。より水平に近づくには、手部トルクを増加させて下肢を浮上させられるかが鍵となる。これらの知見は、安定性向上を目的としたスタビライズドトレーニングの有効性を示す資料となるほか、水平姿勢保持を目的にした手部トルク増加のための新たなトレーニングの開発に活用できる可能性がある。

結びに、水平姿勢の評価方法について考察する。第1章と第2章では、主に浮心重心間距離に基づいて泳者の水平姿勢を評価した。浮心重心間距離は、水平姿勢を評価するのに重要な指標であることに間違いはない。しかしながら、浮心重心間距離はミリ（mm）で検出される微小な違いになるため、この量の違いがヒトの水平姿勢にどれほどの影響を及ぼすのか、泳者や指導者に理解してもらうには課題があるように思う。それに対して第3章で提案したBB ratioによる水平姿勢評価は、呼吸に伴う手部と足部の荷重変化を比に表すことで、浮心重心間距離により生じる身体の回転の度合いを、より簡潔に提示できると考える。つまり、比による水平姿勢の評価は、身体的特徴など身体組成の影響を除外して、無次元化することができるため、泳者や指導者にとっては、呼吸に伴う姿勢の揺動の具合をイメージしやすいと考える。これらの知見は、浮心重心間距離による評価では提示不可能なフィードバック情報のため、水泳指導現場へ新たな提言をできる可能性がある。

第2節 今後の発展性

本研究は、ヒトの水中水平姿勢が、能動的に変化させられることを明らかにした。また、BB ratio による水平姿勢の評価は、呼吸に伴う姿勢の揺動を簡潔に提示できることを示した。

上述の通り、本研究では、水中水平姿勢について、いくつかの発見と示唆を得るに至ったが、未だ課題はある。例えば、本研究ではすべてストリームライン姿勢における静的条件での調査としたため、重心位置は変化しないことを前提条件に設定した。しかしながら、呼吸によって身体内部の臓器の位置が変化すれば、それに伴い重心位置が変化する可能性がある。第2章と第3章の調査対象はすべて男性であり、女性については検証されていない。また、各競泳選手の種目の別は考慮されていない。BB ratio は技能習熟度で違いは認められたが、パフォーマンスとの関係は検証されていない。

これら諸課題の究明は、水中水平姿勢の理解を深化させ、水泳科学の発展に貢献するに違いない。本研究が、その資料のひとつになることを期待したい。

謝辞

本研究にあたり，京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科教授の野村照夫先生，准教授の来田宣幸先生，教授の芳田哲也先生，大阪経済大学人間科学部教授の若吉浩二先生，筑波大学大学院人間総合科学研究科教授の高木英樹先生から，ご指導・ご助言いただき，本研究論文を作成することができました．ここに記して深く感謝の意を表します．

京都工芸繊維大学生体行動科学研究室の皆様には，日常の議論を通じて様々な角度からご助言いただきました．ここに感謝申し上げます．

また，本研究に際し，実験にご協力いただきました皆様に心から御礼申し上げます．

最後に，陰ながらサポートしてくれた父の渡邊久恭，母の怜子，どんな時も明るく温かく傍に寄り添って支えてくれた妻の晶子，そして応援してくれた息子の朝陽と蒼生に感謝します．

参考文献

- Brožek, J., Grande, F., Anderson, J.T., and Keys, A. (1963). Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Annals of the new york academy of sciences*, 110, 113-140.
- Capelli, C., Zamparo, P., Cigalotto, A., Francescato, M.P., Soule, R.G., Termin, B., Pendergast, D., and di Prampero, P.E. (1995). Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *Journal of Applied Physiology*, 78, 674-679.
- Carmody, J.F. (1965). Factors influencing the horizontal motionless floating position of the human body. *New Zealand Journal of Physical Education*, 37, 15-18.
- Carter, J.E.L. (1955). Buoyancy and flotation. *New Zealand Journal of Physical Education*, 1 (6), 14-23.
- Carter, J.E.L. (1956). Buoyancy and flotation: Their relation to swimming ability and its teaching. *New Zealand Journal of Physical Education*, 1 (8), 9-19.
- Chatard, J.C., Bourgoin, B. and Lacour, J.R. (1990c). Passive drag is still a good evaluator of swimming aptitude. *European Journal of Applied Physiology*, 59, 399-404.
- Chatard, J.C., Collomp, C., Maglischo, E. and Maglischo, C. (1990a). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 156-161.
- Chatard, J.C., Lavoie, J.M. and Lacour, J.R. (1990b). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 61, 88-92.
- Chatard, J.C., Senegas, X., Selles, M., Dreanot, P., and Geysant, A. (1995). Wet suit effect: A comparison between competitive swimmers and triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 580-586.
- Chatard, J.C., Senegas, X., Selles, M., Dreanot, P., and Geysant, A. (1995). Wet suit effect: A comparison between competitive swimmers and triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 580-586.
- Clarys, J.P., Jiskoot, J., Rijken, H. and Brouwer, P.J. (1974). Total resistance in water and its relation to body form. *Biomechanics IV*, pp. 187-196. University Park Press.

- Cordain, L., and Kopriva, R. (1991). Wetsuits, body density and swimming performance. *British Journal of Sports Medicine*, 25, 31-33.
- Cureton, T.K. (1933). Natural and artificial buoyancy, flotation and body balance in water. *Beach and pool*, 7, 272, 282-287.
- Davey, W. and Williams, B. (1955-56). The center of gravity in the human body in relation to flotation. Unpublished study undertaken as part of the Supplementary Teacher's Certificate and Diploma Course, Loughborough Training College.
- Delavier, F. (2003). *Women's Strength Training Anatomy*. Champaign: IL: Human Kinetics.
- Gagnon, M., and Montpetit, R. (1981). Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. *Journal of Biomechanics*, 14, 4, 235-241.
- Hay, J.G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Englewood Cliffs: NJ: Prentice-Hall.
- Highmore, G. (1957). The problem of the male non-floater. *Physical Education, Physical Education Association of Great Britain and Northern Ireland*, 49, 92-97.
- Hollander, A.P., de Groot, G., van Ingen Schenau, G.J. Toussaint, H.M., de Best, H., Peeters, W., Meulemans, A. and Schreurs, A.W. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of Sports Science*, 4, 21-30.
- Karpovich, P.V. (1933). Water resistance in swimming. *Research Quarterly. American Physical Education Association*, 4, 3, 21-28.
- Kjendlie, P.L., Stallman, R.K. and Stray-Gundersen, J. (2004). Passive and active floating torque during swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 75-81.
- Kolmogorov, S.V. and Duplishcheva, O.A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*, 25 (3), 311-318.
- Konin, J.G. and Barany, M. (2005). Upper extremity and trunk stabilization exercise for swimmers. *Functional Rehabilitation*, 10, 30-31.
- Maglischo, E.W. (2003). *Swimming Fastest*. Human Kinetics.
- McLean, S.P. and Hinrichs, R.N. (2000). Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71 (2), 182-189.

- McLean, S.P., and Hinrichs, R.N. (1998). Sex differences in the center of buoyancy location of competitive swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 16, 373-383.
- Nomura, T., Goya, T., Matsui, A., Takagi, H. (1994). Determination of active drag during swimming. In: Miyashita, M., Mutoh, Y., Richardson, A.B. (eds). *Medicine and Science in Aquatic Sports*, Basel, Karger, 39, 131-136.
- Pendergast, D.R., di Prampero, P.E., Craig, A.B., Wilson, D.R. and Rennie, D.W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 43 (3), 475-479.
- Pitzalis, M.V., Mastropasqua, F., Massari, F., Passantino, A., Colombo, R., Mannarini, A., Forleo, C., and Rizzon, P. (1998). Effect of respiratory rate on the relationships between RR interval and systolic blood pressure fluctuations: a frequency-dependent phenomenon. *Cardiovascular Research*, 38, 332-339.
- Rork, R. and Hellebrandt, F. (1937). The floating ability of women. *Research Quarterly*, 8, 19-27.
- Sackville, M. and Shaffery, M. (1955-56). An investigation into the physique of the non-floater, using Sheldon's system of somatotyping. Unpublished study undertaken as part of the Supplementary Teacher's Certificate and Diploma Course, Loughborough Training College.
- Sarro, K.J., Silvatti, A.P. and de Barros, R.M.L. (2006). Separate trunk volumes and ribs motion correlations in swimmers. 24th International Symposium on Biomechanics in Sports, 1-4.
- Sheldon, W.H., Stevens, S.S. and Tucker, W.B. (1940). *The Varieties of Human Physique*. New York: Harper Bros.
- Yanai, T. (2001). Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink? *Journal of Biomechanics*, 34, 235-243.
- Zamparo, P., Capelli, C., Termin, B., Pendergast, D.R., and di Prampero, P.E. (1996). Effect of the underwater torque on the energy cost, drag and efficiency of front crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 195-201.
- 阿江通良・藤井範久. (2002). *スポーツバイオメカニクス 20 講*. 朝倉書店.
- 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 青柳美由季. (1998). クロール泳における Active Drag の定量化の試み. *福岡大学体育研究*, 28, 2, 65-79.
- 高木英樹. (2001). 泳者手部の表面圧力分布計測による推進力の定量. *体育の科学*, 51, 8, 603-608.

合屋十四秋. (2013). 水泳の基本動作「けのび」の巧拙と習熟過程のバイオメカニクス. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 38, 55-60.