

氏名	鷺野 壮平
学位の種類	博士（体育学）
学位記番号	第53号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成31年3月25日
学位論文題目	競技特性を念頭に置いた呼吸と競泳パフォーマンスの 関連性
論文審査委員	主査 金久 博昭 副査 荻田 太 副査 高井 洋平 副査 吉武 康栄

論 文 概 要

【緒論】競泳競技は、密度の高い水中を移動することから、泳者にかかる抵抗が大きい。また、水中環境下で行われるが故に、浮力に關与し肺気量の源である呼吸動作のタイミングと時間には制限がある。さらに、全力 200m 泳後には、吸気筋に筋疲労が発現する。以上により、「吸気筋疲労→肺気量減少→ボディポジション低下→前方投影面積増大→抵抗増大」と、競泳競技特異的な各因子の連続した関連性が存在すると仮説立てられる。そこで本論文では、この仮説を検証することを最終目的とし、7つの研究を実施した。研究1・2では吸気筋の筋疲労に關連する筋活動特性を検証し、その上で研究3から研究7では、呼吸と競泳パフォーマンスに關する仮説を検証した。

【研究1】吸氣に關わる因子の Flow rate, 肺気量を厳密にコントロールした条件下にて、非侵襲的に定量化可能な吸氣補助筋の筋活動特性を検討した。健康な男性を対象に、息を吐き切った状態から Flow rate が目標値(20-100%最高 Flow rate)に合うよう随意的吸氣を行わせた。その際、表面筋電図(EMG)を胸鎖乳突筋、斜角筋より取得した。異なる肺気量区間において Flow rate と EMG の関係および異なる Flow rate において肺気量と EMG の関係をそれぞれ算出した。その結果、Flow rate の増加に伴い、吸氣補助筋の筋活動量は指数関数的に増加し、さらに、同一 Flow rate 時の筋活動量は、肺気量の増加に伴い増加することが明らかとなった。また、高い Flow rate 時には、吸氣開始時から吸氣補助筋は筋活動を開始することが明らかとなった。

【研究2】研究1で検討した Flow rate と肺気量の因子をコントロールした上で、外因的な吸氣抵抗の追加が吸氣補助筋の筋活動特性に与える影響を検証した。健康な男性を対象に、研究1と同様の試技および解析を、吸氣抵抗を追加した条件と追加しない条件にてそれぞれ実施した。その結果、吸氣抵抗の有無に依らず、Flow rate の増加に伴い吸氣補助筋の筋活動量は指数関数的に増加し、さらに、同一 Flow rate および肺気量時の筋活動量は、

吸気抵抗の追加によって増加することが明らかとなった。

以上、研究 1・2 より、競泳中の呼吸条件時(素早い吸気、大きな肺気量、外因的な吸気抵抗)には、吸気筋の筋活動レベルが高いことが明らかとなった。

【研究 3】研究 4 以降で使用する水中モーションキャプチャシステムの測定時に貼付するマーカーの抵抗が、競泳パフォーマンスに及ぼす影響を検証した。男子競泳選手を対象に、身体重心高の算出に必要な個数である 25 点のマーカーを貼付した条件(W)と貼付しない条件(WO)にて 50m クロール泳を全力努力で行わせた。また、WO 条件を基に、マーカー 25 点による抵抗力から推定される W 条件の泳速度(推定泳速度)を算出した。W 条件において、50m 泳タイムは高値を、泳速度、ストローク頻度、ストローク長はそれぞれ有意に低値を示した。また、級内相関分析の結果、マーカーを貼付した W 条件の実測泳速度と推定泳速度との間には非常に高い一致性が認められた。以上の結果より、25 点のマーカー貼付によって競泳パフォーマンスは低下するが、それはマーカーの抵抗力によるものであることが明らかとなった。

【研究 4】肺気量の違いが水泳中のボディポジションに及ぼす影響を検証した。さらに、研究 3 の結果を念頭に、算出時に多くのマーカーを必要とする身体重心高に代わり、体幹部に貼付した少ないマーカーからボディポジションを評価できるか検証した。男性競泳選手を対象に、息の吸い切り、吐き切り、およびそれらの中間の肺気量を保持した状態にて、15m クロール泳を実施した。水中モーションキャプチャシステムより、身体各部に貼付した 25 点のマーカーの位置座標データを取得し、身体重心位置に加えて、剣状突起、左右大転子中点、およびそれらの中点の鉛直軸成分について、1 ストロークサイクル分の平均値を算出した。その結果、身体重心高および体幹部のマーカーの鉛直軸成分は、肺気量が小さくなるにつれて低下することが明らかとなった。また、級内相関および Bland-Altman 分析の結果、剣状突起と左右大転子に貼付した 3 点のマーカーより、身体重心高の変化を簡便にかつ精度高く評価できることが明らかとなった。また、研究 3 の結果を踏まえると、マーカーの抵抗力を抑えた条件にて、水泳中のボディポジションを評価できることが示唆された。

【研究 5】全力 200m 泳中のボディポジションの低下に対して、吸気筋の筋疲労が関連するか検証した。男性競泳選手を対象に、25m プールにて 200m クロール泳を全力努力で泳がせ、その際、水中モーションキャプチャシステムより体幹部に貼付したマーカーの位置座標データを取得した。また、運動前後に最大吸気圧を測定した。ボディポジションは、剣状突起と左右大転子の中点の鉛直軸成分より評価し、1 ストロークサイクル分の平均値を 25m 区間ごとに算出した。その結果、ボディポジションは泳距離に伴い低下し、また、最大吸気圧は全力 200m 泳後に低下した。さらに、最大吸気圧の運動前後の変化率と 0-25m 区間から 150-175m 区間におけるボディポジションの変化量との間には有意な正の相関関係が認められた。これらのことより、全力 200m 泳後半のボディポジションの低下には、吸気筋の筋疲労度が関連することが明らかとなった。

【研究 6】体型の個人差および肺気量に伴う胸郭付近の変形を考慮した水泳中の前方投影面積の算出法を確立することを目的とした。男子競泳選手の息を吸い切った状態でのクロール泳 1 試技を解析対象とした。水中モーションキャプチャシステムより、身体各部に貼付した 36 点のマーカークの位置座標データを、また、息の吸い切り、吐き切り、およびそれらの中間の肺気量を保持した状態の身体形状データをボディラインスキャナにて取得した。身体形状データより各肺気量モデルを作成した後、モーションキャプチャデータを用いて、逆運動学計算より、水泳中の姿勢を復元した。その後、泳者の進行方向からみた画像のしきい値処理より、1 ストロークサイクル分の前方投影面積を算出した。その結果、前方投影面積の平均値は、水泳試技と同じ肺気量条件の吸い切りモデルにて算出した値が最も大きく、次いで中間モデル、吐き切りモデルの順であった。このことは、身体形状データ計測時の肺気量に伴う形状変形が前方投影面積に反映されることを示している。本手法により、水泳中の前方投影面積のより精確な算出には、従来法で無視されている体型の個人差および肺気量の違いを考慮する必要があることが示唆された。

【研究 7】研究 6 で確立した手法を用い、競泳競技の後半場面を想定し、肺気量の減少が前方投影面積に及ぼす影響を検証した。男性競泳選手を対象に、息の吸い切り、吐き切り、およびそれらの中間の肺気量を保持した状態にて、15m クロール泳を実施した。その際、水中モーションキャプチャシステムより身体各部に貼付した 36 点のマーカークの位置座標データを取得した。水泳中と同様の肺気量条件にて、ボディラインスキャナより身体形状データを取得した。研究 6 で確立した手法を用いて各肺気量条件時のモデル作成し、対応する水泳中のモーションキャプチャデータを用いて、1 ストロークサイクル分の身体重心高および前方投影面積を算出した。また、算出された前方投影面積および泳速度を基に抵抗力を算出した。その結果、肺気量が小さくなるにつれて、身体重心高は低下し、また前方投影面積および抵抗力は増大することが明らかとなった。また、研究 5 の結果と合わせると、吸気筋の筋疲労に伴うボディポジションの低下によって、前方投影面積は増大し、さらに同一泳速時の抵抗力は増大することが示唆された。

【結論】以上の 7 つの研究結果より、本論文の仮説「吸気筋疲労→肺気量減少→ボディポジション低下→前方投影面積増大→抵抗増大」の関連性が証明され、吸気筋の筋疲労が競泳パフォーマンスの新たな制限因子となる可能性が示唆された。

論文審査の要旨

本論文は、競泳競技の特性を考慮に入れ、呼吸と競泳パフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的に、「吸気筋疲労→肺気量減少→ボディポジション低下→前方投影面積増大→抵抗増大」という仮説を検証すべく実施した、7つの研究の成果をまとめたものである。まず、研究1および2では、吸気状態と呼吸筋の活動状態に関する基礎的研究として、競泳中の呼吸条件を想定した実験により、吸気に関わる因子(flow rate および肺気量)および外因的な吸気抵抗と吸気補助筋の活動特性との関連性を明らかにした。研究3では仮説検証のためのデータ取得時に使用する水中モーションキャプチャシステムの貼付マーカの抵抗が競泳パフォーマンスに及ぼす影響を確認し、研究4~7において、肺気量の違いが水泳中のボディポジションに及ぼす影響(研究4)、ならびに全力200m泳中のボディポジションの低下と呼吸筋の疲労との関連性(研究5)を明らかにするとともに、体型の個人差および肺気量による胸郭の変形を考慮した水泳中の前方投影面積の算出法を確立し(研究6)、肺気量の減少は、同一泳速時の抵抗力の増大につながる、身体重心高の低下および前方投影面積の増大を生むことを示す結果が得られた(研究7)。それら一連の研究成果は仮説を立証するものであり、採用された研究アプローチならびに得られた知見は新規性が高く、本論文の内容は、博士(体育学)の学位論文としてふさわしいものであると判断する。