

|         |  |        |      |
|---------|--|--------|------|
| 氏名(本籍)  | とみ かわ まさ みつ 富川理充(東京都)  |        |      |
| 学位の種類   | 博 士(体育科学)  |        |      |
| 学位記番号   | 博 乙 第 2373 号   |        |      |
| 学位授与年月日 | 平成 20 年 3 月 25 日   |        |      |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当   |        |      |
| 審査研究科   | 人間総合科学研究科  |        |      |
| 学位論文題目  | <b>FACTORS OF IMPROVED SWIMMING PERFORMANCE BY WEARING A TRIATHLON WETSUIT</b><br>(トライアスロン用ウェットスーツ着用による水泳パフォーマンスの向上要因) |        |      |
| 主査      | 筑波大学教授   | 医学博士   | 野村武男 |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 医学博士   | 大森肇  |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 博士(工学) | 高木英樹 |
| 副査      | 筑波大学教授   | 医学博士   | 鯨坂隆一 |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 博士(医学) | 渡邊重行 |

## 論文の内容の要旨

### (目的)

トライアスロンレースのスイムでは、水温が低い場合に選手が低体温症に陥ることを防ぐ等、選手の安全確保を目的として、トライアスロン用ウェットスーツ(WS)の着用が許可される。しかし、WSには、スイムのパフォーマンスを向上させることが経験的、あるいは客観的にも知られている。

水泳のパフォーマンス決定要因は、最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )や最大パワー出力(POmax)等の体力に関わるものと、ストロークパラメータ(ストローク頻度:SR, ストローク長:SL)やエネルギーコスト等の技術(効率)に関わるものとに区別出来る。WSによってパフォーマンスが向上するということは、これらの要因のうちの幾つか、あるいは総ての向上が考えられる。しかし、WSが体力的要因に及ぼす影響や、最大努力泳時あるいは最大下水泳時のストロークパラメータやエネルギーコストに及ぼす影響について、客観的なデータに基づいて検討されている研究は少ない。特に、パフォーマンス(泳速)はSRとSLの積であるので、ストロークパラメータに及ぼす影響についての検討は重要である。また、トライアスロンのレース中は、競泳用水着(SS)であってもWSであっても、運動負荷は同等であることが予想される。よって、SSとの比較に同一絶対泳速を用いると、WSによりパフォーマンスが向上することは明らかであるので、その運動強度を低く見積もることとなる。トライアスロンレース中のWSの影響を検討するならば、同一相対強度相当の泳速で比較することも必要であるが、その点を考慮されている研究はない。

本研究では、WSがパフォーマンス決定要因に及ぼす影響を明らかにすると共に、SSとの同一相対泳速における比較から、WSのパフォーマンス向上要因を明らかし、更なるパフォーマンス向上のための示唆を得ることを目的とする。

### (対象と方法)

上記目的を達成するために以下の研究課題を設定した。総ての課題において、SSとの比較からWSの影

響を検討した。被検者には全てトライアスロン選手を用いた。

#### 【研究課題 1】

WS が、体力に関わるパフォーマンス決定要因へ及ぼす影響およびそれらとパフォーマンスとの関係に及ぼす影響の検討。

1 - 1. WS が 400m 泳およびスプリント泳中のパフォーマンスへ及ぼす影響

1 - 2. WS が  $\dot{V}O_{2max}$  および  $PO_{max}$  へ及ぼす影響

1 - 3. WS が 400m 泳およびスプリント泳中のパフォーマンスと  $\dot{V}O_{2max}$  および  $PO_{max}$  との関係の各々に及ぼす影響

#### 【研究課題 2】

WS がストロークパラメータ (SR および SL) へ及ぼす影響の検討。

2 - 1. 同一絶対泳速における SR および SL への影響を、抵抗と酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) への影響と関連づけて検討

2 - 2. 400m 泳中の 50m のラップ毎の泳速の推移を、SR および SL の推移から検討

#### 【研究課題 3】

WS が、レースペース相当における泳速中の  $\dot{V}O_2$ 、SR および SL へ及ぼす影響を SS との同一相対泳速を用いた比較、検討。

3 - 1. 比較的遅い速度 (V60%) と速い速度 (V80%) における WS の影響の違いの検討

3 - 2. WS と SS とのスーツ間における検討

(結果)

#### 【研究課題 1】

1 - 1. パフォーマンスに及ぼす影響

400m 泳においてもスプリント泳においても、WS によって有意に泳速が向上した。

1 - 2. 体力的要因へ及ぼす影響

WS は  $\dot{V}O_{2max}$  および  $PO_{max}$  には影響を及ぼさないことが明らかになった。よってパフォーマンスの向上は、限られた体力的要因の capacity をより効率的に利用することによるものと示唆された。

スプリント泳においては、同時に測定された水泳中の抵抗であるアクティブドラッグ (AD) およびその抵抗係数 ( $C_x$ ) に差は観られなかった。AD はほぼ泳速の 2 乗に比例して増加するので、同一泳速であれば WS による低下の可能性があった。よって、WS によるスプリント泳中のパフォーマンスの向上も水泳中の抵抗を軽減することによって達成された技術的要因 (効率) の向上によるものと考えられた。

1 - 3. パフォーマンスと体力的要因との関係

SS と比較し、WS によってそれらの正の相関関係がより強くなる傾向が観られた。これは、WS 着用時には、選手間の泳技術差がある程度相殺され、パフォーマンスに体力的要因の大きさがより反映されることを示唆している。よって、パフォーマンスをより向上させるためには、体力的要因の capacity を大きくしておくことが重要であると考えられた。

#### 【研究課題 2】

2 - 1. 同一絶対泳速における影響

SS で測定された  $\dot{V}O_{2max}$  の 60% ~ 80% 相当泳速において比較したところ、泳速の増加に伴い  $\dot{V}O_2$  も増加したが、常に WS の値は小さかった。SR においても同様の結果を示し、これらと同等の泳速域で測定された、一定姿勢を維持した時の抵抗を表すパッシブドラッグ (PD) にも同様の結果が観られた。SL では両スーツ共に増加から減少へと移行する変換点が観られたが、その変換点後の SL の減少は WS で穏やかな傾向であった。

これらの結果から、WSの着用により、浮くため、および姿勢維持のために費やすエネルギーが軽減されると共に、抵抗の減少により、同一絶対泳速を維持するために発揮しなければならない推進エネルギーを節約できることが示唆された。

## 2-2. 400m 泳中のラップタイムの推移に及ぼすSRおよびSLの影響

400m 泳中のラップタイムは、常にWSで短縮され、後半の方がその差が大きくなり、SRの推移が同様の傾向を示していた。SR、SL共にWSで常にSSよりも高値を示し、パフォーマンスの向上は、両者の相乗効果の結果であることが明らかになった。

200m 泳以上の競泳種目の終盤では、疲労によりSLが小さくなり泳速が低下するのを補う為にSRを増加させて泳速を維持させる傾向が観られるが、WSにおいても同様の傾向が示された。ただ、後半にかけてSSと比較しWSでSLの低下を抑えられた傾向が観られ、WSでは、400m 泳の中間泳における上肢の局所疲労が軽減され、最後まで大きなストロークを維持しやすくなる可能性が示された。そのために、後半にかけてSRをより増加させ、泳速の維持あるいは向上できたと考えられる。SRは、血中乳酸濃度(LA)と同様に最大努力発揮能力の一指標となる。LAがWSにおいて増加していたことは、主に推進力を生み出す上肢の仕事(SR×SL)の増加による、局所疲労のためと推測された。

### 【研究課題3】

#### 3-1. 泳速の差によるWSの影響

$\dot{V}O_2$ において、WSの軽減効果はV60%のみ観られ、V80%には観られなかった。また、単位距離当り進むのに必要な酸素摂取量を表すスイミングエコノミー(Cs)を算出したところ、どちらの泳速でもWSで有意に減少していたが、その差がV60%では14%、V80%では8%と泳速の増加に伴い小さくなっていた。これらの結果より、比較的速い泳速では、流水からの揚力によりある程度泳者の身体が水面近くにまで持ち上げられており、WSの浮力の恩恵が小さくなる可能性が示された。

#### 3-2. 同一相対泳速におけるWSの影響

泳速はWSで5%程度増加していたが、WSにおける $\dot{V}O_2$ はSSと変わらないか低値であった。主観的運動強度(RPE)、LAに差は観られなかった。また、SLに差は観られなかったが、SRではWSで増加傾向を示した。これにより、WSでは、生理学的エネルギーの利用を増加させずに上肢の仕事量を増加させられることが明らかになった。さらに、相対速度が同一でも泳速が異なるので、Cs共に、ストロークの効率を標準化し比較しやすいように、ストロークインデックス(SI、泳速×SL；これが大きい程効率の良い泳ぎであることを示す)を算出した。その結果、WSにおいてCsでは減少、SIでは増加を示し、同一相対速度であっても、エネルギーコストの向上およびストロークの効率化が示された。

#### (考察)

本研究では、WSがパフォーマンス決定要因へ及ぼす影響を明らかにし、更にパフォーマンスを向上させるための示唆を得ることを目的とした。体力に関わるあるいは技術に関わるパフォーマンス決定要因への影響を検討した結果、以下のような知見が得られた。

- (1) WS着用時のパフォーマンスの向上は、SRの増加とSLの増加の相乗効果の結果である。
- (2) WSは、体力的要因に影響を及ぼさない。
- (3) WS着用時のパフォーマンスは、体力的要因とより強い相関関係を示す。
- (4) 同一絶対速度では、WSの浮力によりストロークが効率され、エネルギーコストを減少させることが出来る。
- (5) 400m 泳では、WSであっても、後半SLが小さくなり泳速が低下するところを、SRを増加させることにより補っている。
- (6) WSでは、最大下の泳速あるいは中間泳における上肢の局所疲労を軽減し、疲労困憊に至るまで、より

大きなストロークを維持させることができる。

(7) 比較的速い泳速では、WSの恩恵が小さくなる。

(8) WSでは、全身的な運動強度を増加させることなく、主に推進力を生み出す上肢の仕事量を増加させることができる。

(9) 同一相対強度であっても、WSによってストロークの効率を向上させ、エネルギーコストを削減することができる。

これらの結果から、WS着用時に更なるパフォーマンスを向上させるためには、SS着用時以上にそれと関係の強い体力的要因の capacity を大きくしておくことが必要であり、また、SS着用時と比較し、よりSRを増加させて泳ぐことが重要となることが示唆された。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、トライアスロン用ウェットスーツ (WS) の着用が、水泳のパフォーマンス決定要因へ及ぼす影響を競泳水着 (SS) との比較から検討することにより、WS着用時のパフォーマンスの向上要因を明らかにしようとした。さらに、そこで得られた知見から、更なるパフォーマンスの向上へつなげる示唆を得ようと試みた。

そのために、研究課題1では、体力に関わるパフォーマンス決定要因についての影響を検討し、研究課題2では、同一絶対泳速および最大努力泳における比較から、技術 (ストロークや効率) に関わるパフォーマンス決定要因について検討した。さらに、実際のトライアスロンレース中のスイムのペースはSSよりもWSで速くなることが明らかになったため、研究課題3においては、各々のスーツにおけるトライアスロンスイムのペース相当の泳速を再現できるように同一相対泳速を設定し、WSが生理的応答ストロークパラメータに及ぼす影響の検討を行った。

上記の研究課題の結果、WSは体力的要因には影響を及ぼさず、WS着用時のパフォーマンスの向上は、限られた体力的な capacity をより効率的に推進力へと動員できるためであることが明らかにされた。また、SSと比較すると、WS着用時には体力的な capacity がよりパフォーマンスへ反映されやすい傾向があることが示唆された。さらに、WSの着用によって効率が向上した結果、SSと比較すると、泳速が高くなっても疲労の蓄積を軽減あるいは遅延することが可能となり、最大努力泳の後半にかけての最大努力の発揮が助長され、終盤に泳速を維持あるいは向上できることが示唆された。トライアスロンのレースペースにおいては、WSの着用により、全身的な運動負荷を増加させず、主に推進力を生み出す上肢により多くのエネルギーを動員することが可能となり、特に、SS着用時と比較し、よりストローク頻度 (SR) を増加させて泳ぐことにより、よりパフォーマンスの向上が期待できることが示唆された。

本研究から、WS着用時のトライアスロンレースにおけるスイムでは、SS着用時以上に体力的要因がパフォーマンスにおいては重要となり、また主に推進力を生じさせる上肢の推進運動 (ストローク) の頻度がより高くなることが更なるパフォーマンスの向上へつなげるという示唆を得られた。

よって、著者は博士 (体育科学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。