

博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学
研究科名 スポーツ科学研究科
申請者氏名 杜 唐慧子 (Du, Tanghuizi)
学位の種類 博士 (スポーツ科学)
論文題目 クロール泳における肩複合体と腰部の3次元運動：慢性障害との関連
A kinematic analysis of shoulder and torso during front crawl swimming
and its implications to overuse injuries
論文審査員 主査 早稲田大学教授 矢内 利政 Ph.D. (University of Iowa)
副査 早稲田大学教授 彼末 一之 工学博士・医学博士 (大阪大学)
副査 早稲田大学教授 金岡 恒治 博士 (医学) (筑波大学)

本論文は第1章から第4章までの本論と結論および文献から構成されている。

第一章 緒言

競泳選手の過半数がスポーツ障害を有した経験を持ち、その障害は主に慢性障害であることが報告されている。競泳選手に起こる慢性障害は肩と腰に頻発し、その原因のひとつは、泳動作中に生理的な可動域の限界を超えるような関節運動が繰り返されることによって関節内の軟組織にストレスが加わることと考えられている。具体的には、遊泳中に体幹が伸展可動域を超える動作を繰り返すことが腰痛の原因となり、肩甲上腕関節が挙上可動域や内旋可動域を超える動作を繰り返すことが肩痛の原因となる可能性が挙げられている。しかしながら、これまでに遊泳中に体幹と肩甲上腕関節の運動を分析した研究が行われていないため、実際に競泳選手の遊泳中に可動域を超えるような過大な関節運動を伴う動作を行っているかどうかは明らかになっていない。これを明らかにすることにより競泳選手に頻発する慢性障害の運動学的原因を解明することができ、過大な関節運動がストロークのどの局面に発生するかを特定することにより、障害予防のために方策を作成し得ると期待できる。そこで、本論文はクロール泳中における体幹と肩複合体の運動を三次元計測することによって、遊泳中に過大な関節運動が腰部と肩甲上腕関節と発生するという仮説を検証することとした。

第二章 クロール泳における体幹の運動と慢性腰痛

この章では、クロール泳中に観察される三次元的な体幹の動作を計測し、体幹が捻転・側屈位で過伸展を繰り返すという仮説を検証した。被験者は大学水泳部に所属する健常な男子選手19名であった。体幹の可動域とクロール遊泳中の体幹運動の計測を、電磁ゴニオメータを用いて実施した。設定された捻転角と側屈角を維持した際に到達できる最大伸展角度を、その捻転角と側屈角における伸展可動域として定量化した。この伸展可動域を10°毎に設定された捻転角と側屈角について系統的に計測することにより、各被験者の体幹可動域の全容を定量化した。この可動域を基準にして、クロール泳中に体幹が過伸展するか否かを判定

した。クロール泳の測定は、電磁ゴニオメータを用いた測定範囲内に被験者を位置させるため、遊泳による前方移動をゴムロープによる抵抗で妨げる *resisted-swimming* を採用して行った。全被験者のデータを集計した結果、クロール泳中に観察された体幹の最大伸展角の平均値は $9 \pm 11^\circ$ であり、これが記録された時刻は最大捻転角 $29 \pm 8^\circ$ が記録された時刻とほぼ一致していた ($\Delta t = 0.02 \pm 0.08s$)。しかしながら、捻転角度の影響を考慮しても、遊泳中の体幹伸展角は可動域を大きく下回っており、その差の平均値は $22 \pm 11^\circ$ であった。この結果は、クロール泳中に体幹が過伸展を繰り返すという仮説を棄却するものであった。遊泳中に体幹の繰り返す過伸展が水泳選手における腰痛の主な原因だと仮定すると、遊泳中に体幹が過伸展を観察された水泳選手の比率が腰痛歴を持つ選手の比率と同じ程高いものと予想される。先行研究が 40 から 60% 水泳選手が腰痛歴を持つことを報告し、また本研究に参加した水泳選手の 47% が腰痛歴を有していた。しかしながら、本研究の観察結果から体幹が過伸展を繰り返した選手一人もいなかった。また、水泳選手が現行の泳法における伸展角度を 20 度以上上回って泳ぐ様子は通常のコロール泳動作をもとに考えると想像し難いことから、健康な脊椎の伸展可動域を超えるような体幹運動がクロール泳中に起こる可能性は低いものと考えられる。したがって、外傷・障害を含む何らかの理由で脊椎の可動性が大きく制限された場合を除いては、クロール泳中に体幹の過伸展が繰り返されることが腰痛の原因ではないと結論付けられた。なお、第 2 章の結果は、Journal of Applied Biomechanics (PMID:26398960) に掲載されることが確定している。

第三章 クロール泳における肩甲上腕関節の運動と慢性肩障害

この章では、クロール泳中に観察される三次元的な肩複合体の動作を計測し、肩甲上腕関節が挙上可動域または内旋可動域を超える過大な関節運動を行うという仮説を検証することであった。被験者は 17 名大学水泳部に所属する健全な男子選手であった。肩甲上腕関節の可動域とクロール遊泳中の肩甲上腕関節運動の計測を、電磁ゴニオメータを用いて実施した。設定された水平内転角での最大内旋角を維持した際に到達できる最大挙上角度を、その水平内転角と内旋角における挙上可動域として表した。この挙上可動域を 10° 毎に設定された水平内転角で系統的に計測することにより、各被験者の肩甲上腕関節の可動域の全容を定量化した。この可動域を基準にして、クロール泳中に肩甲上腕関節運動が過大となるか否かを判定した。クロール泳の測定は、前章と同様に *resisted-swimming* を採用して行った。全被験者のデータを集計した結果、1 ストロークの所要時間の $8 \pm 7\%$ に、肩甲上腕関節が可動域を超える動作が観察された。その内、遊泳中に肩甲上腕関節が挙上可動域を超える動作は、2 名の被験者においてストレッチ局面に観察された。また、肩甲上腕関節が内旋可動域を超える動作は、15 名の被験者において *outsweep* 局面、*insweep* 局面の前半とリカバリ局面の後半を観察された。これらの結果は仮説を支持するものであった。肩甲上腕関節内でストレスの生じる組織について様々な肢位において分析した先行研究に基づいて、クロール泳動作中にストレスが生じるリスクを有する肩甲上腕関節の組織について考察した。エントリー局面に腕が最も大きく挙上していたため、肩峰と上腕骨の間または腱板と関節唇に圧迫ストレスが生じられる可能性が考えられることや、ストレッチ局面と *outsweep* 局面では腕が高く挙上し、且つ大きく内旋していたため、肩峰烏口アーチが棘上筋腱を圧迫する可能性があることに加え、*Outsweep* 局面 と *insweep* 局面では棘上筋腱の肩峰下での圧迫や腱板と関節

唇の間に圧迫ストレスが生じる可能性があることを示唆した。

第4章 総括論議

本章では、まずリミテーションの検証を行った。本研究における主なりミテーションは、水泳選手がゴムロープを用いて身体の移動を妨げる **resisted-swimming** で遊泳実験を行ったことである。**Resisted-swimming** において観察された本研究結果が通常状態下での遊泳時の特徴を反映するものかを検証するための実験を、新しく開発した方法論を用いて実施した。その方法は、計測装置である電磁ゴニオメータを載せたカートをプールサイドに沿って敷かれたレール上を被験者の遊泳速度に合わせて移動させることで、通常状態化で遊泳している選手の傍から計測を行うものである。その結果、**resisted-swimming** と同様に、通常状態下で遊泳する場合においても過大な肩甲上腕関節の動作が観察された一方で、体幹の過伸展は観察されなかった。この結果により、**resisted-swimming** により得られた本研究結果が通常状態下におけるクロール泳動作の特徴を反映することが確認された。

本学位論文は、クロール泳では過大な肩甲上腕関節運動が起こる可能性が高いことを示した一方で、過大な体幹運動が起こる可能性が極めて低いことを示した。これまでの通説では遊泳中に体幹が伸展可動域を超える動作を繰り返すことが腰痛の原因として挙げられていたが、その説を棄却する結果であった。このような通説が生まれた原因の一つは、クロール中の体幹運動が複雑な三次元運動であるために、プールサイドから観察する者が体幹運動を誤って解釈してしまったことにあると推察される。例えば、体幹の伸展角は小さくとも、大きく捻転している場合、プールサイドにいる観測者には体幹が過度的に伸展した印象を与える。これは、そのような姿勢の泳者の体幹の輪郭を側方から観察すると、輪郭の背面が大きくカーブしているため、実際の伸展角が可動域より十分に小さいことにもかかわらず、体幹が過大的に伸展しているように見えるためと考えられる。一方、過大な肩甲上腕関節運動がクロール泳において観察されたが、視覚的に観察し難い過大な関節動作（**sweep** やリカバリ局面における肩の過大な内旋運動）の方が観察し易い過大的な肩甲上腕関節運動の動作（ストレッチ局面における肩の過大な挙上運動）よりも高い頻度で観察された。この結果は、水泳中の身体運動が三次元的で複雑な関節運動で構成されているため、視覚的に観察し得る過大な関節運動と“本当の”過大な関節運動とが一致せず、慢性障害を生じるリスクがある関節動作をコーチやトレーナーが見過ごす可能性や、反対に可動域内の生理的な運動をコーチやトレーナーが“過大的な”と誤解する可能性があることを示唆するものである。したがって、水泳、または他の複雑の三次元的な関節動作があるスポーツにおいて障害リスクを正しく評価するには、視覚情報に依存することなく、三次元的に詳しく動作を分析する必要があると考えられる。

本論文の評価

本研究は、競泳選手に頻発する肩と腰の慢性障害の主要な要因としてあげられている『泳動作中に生理的な可動域の限界を超えるような関節運動が繰り返されること』という通説を検証し、客観的なデータにもとづく一つの答えを導き出した世界初の研究である。遊泳中の

泳者からの肩甲骨上腕関節の運動や体幹運動を実測する方法論を確立したことに加え、この方法論を活用してクロール泳中の泳者の関節運動を分析した本研究は、長く信じられてきた通説を実測データに基づいて検証した点において極めて価値の高い研究である。また、複雑な三次元的な関節運動が起こる肩複合体や体幹部の運動を視覚的に観察する際に生じ得る誤った解釈について警鐘を鳴らす考察は、今後のスポーツ医科学において障害メカニズムやその予防法を発展させるうえで重要な示唆を与えるものである。研究成果は当該分野において高く評価されている学術誌に掲載されるなど、申請者の今後の研究上の活躍が大いに期待できる。

上記のような評価を得て、本審査委員会は杜唐慧子氏の学位申請論文が博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以 上