

競泳選手のクロール泳動作中の膝関節可動域および筋活動について

— 反張膝に着目して —

栗木 明裕¹⁾ 市川 浩¹⁾ 田場 昭一郎¹⁾ 田原 亮二²⁾ 田口 正公¹⁾

Range of motion of the knees and muscular activity during front crawl

— with a focus on genu recurvatum —

Akihiro KURIKI¹⁾ Hiroshi ICHIKAWA¹⁾ Shoichiro TABA¹⁾
Ryoji TAHARA²⁾ Masahiro TAGUCHI¹⁾

Abstract

BACKGROUND: Genu recurvatum (GR) is a common entity that may have negative consequences to knee structures. It is a common physical characteristic, especially in swimmers, who sometimes experience knee pain and muscle fatigue in the legs as a result of having GR. Some sources claim, however, that having GR is a key factor in becoming an elite swimmer. However, to the best of our knowledge, no articles have been published dealing with GR in swimmers. **PURPOSE:** To determine the difference range of motion of the knees and muscular activity during front crawl kicking between swimmers with and without GR. **METHOD:** Four well-trained collegiate swimmers (one male with GR and one male without GR, one female with GR and one female without GR) participated in this study. The trials consisted of a 25-meter front crawl swim. The range of motion of the knees and muscular activity were measured using underwater sensors and surface electromyograms (EMG), respectively. Surface EMG electrodes were placed on the following muscles: Gluteus Maximus, Rectus Femoris, Vastus Medialis, Semitendinosus, Biceps Femoris and Gastrocnemius. EMG data were analyzed using a root-mean-square algorithm. Maximal voluntary isometric contraction (MVC) was established for each muscle in order to express it as a percentage of MVC and allow standardized comparison across subjects. **RESULTS:** Swimmers with GR kicked down at the range of knee hyperextension. The muscular activity of the knee extensors and flexors were ascertained alternately in synchronization with kicking up and down. The duration time of co-contraction of the knee extensors and flexors at terminal knee extension was very short. The muscular activity pattern was not remarkably different between swimmers with and without GR. The %MVIC of the Semitendinosus and Gastrocnemius of both male and female swimmers with GR was found to be greater than that of swimmers without GR. **CONCLUSIONS:** Swimmers with GR are able to kick down at the range of knee hyperextension during front crawl kicking, and that enables them to kick more water. On the other hand, swimmers with GR suffer from muscle fatigue in the

1) 福岡大学スポーツ科学部

Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

2) 名城大学人間健康学部

Faculty of Human Health, Meio University

legs more than swimmers without GR. Joint stability during front crawl kicking for swimmers is poor as a result of not having adequate leg co-contraction—which is an important part of joint stability. The findings suggest that swimmers with GR face a greater risk of knee injury and muscle fatigue in the legs. The prevention of injuries without deteriorating performance in swimming for swimmers with GR should be discussed.

1. 背景および目的

競泳は水中でのトレーニング時間が長く、陸上の競技種目と比べて重力が軽減された特殊な環境で反復運動を繰り返す。このような競泳において肩関節をはじめ身体各部位の関節可動域の大きい選手が多く見受けられる。¹⁾²⁾ 関節可動域が広いことは競泳パフォーマンスにとって有利と言われているが、過度な可動域は関節の不安定性を惹起し障害の原因となる可能性がある³⁾。その一つが競泳選手の膝関節に多く観られる反張膝である。反張膝とは膝関節が正常の伸展角度 0° 以上に過伸展し、関節運動学的に逸脱した状態である（図1）。

著者らは小学期から大学期までの競泳選手と陸上種目の競技部に所属する大学期選手の膝関節伸展角度を調査し、競泳選手は陸上種目の競技選手に比べて反張膝（膝伸展角度 10° 以上と定義）の発生率が高く、学齢が上がるに伴い膝伸展角度は増加することを報告した⁸⁾。

この反張膝自体は障害ではないが、関節弛緩性の一つの指標であり、特に陸上で行われる競技スポーツにおいて障害の原因となるケースが多い。日常生活レベルであれば大きな支障を伴わなくても、陸上のスポーツで、特に跳躍やストップとダッシュを繰り返す場面において靱帯損傷や捻挫を誘発する一つの要因として取り上げられている⁴⁾⁹⁾。しかし、反張膝は競泳界では一般的に良い印象をもたれている。この根拠として「優秀な選手には反張膝が多い」、「反張膝は膝伸展可動域が拡大するために正常膝よりも多くの水をとることができる」、「反張膝は膝関節がしなるように運動させることができるために、より速

いスピードで蹴り込むことができる」など諸説あるが、反張膝がパフォーマンスに良い影響を及ぼすことを明確に示す報告は皆無である。一方で、実際の水泳トレーナー現場では、選手が日々の練習中に膝蓋靱帯深部の膝蓋下脂肪体炎を発症したり、陸上で段差を踏み外すなどの転倒時に膝関節に強い伸展ストレスを伴うことで大腿骨や脛骨の骨挫傷を発症したりすることを経験した。

しかし、水泳の障害や予防についての報告⁵⁾⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾は認められるものの、反張膝についての報告はない。また、一般的な反張膝に関する先行研究によると、反張膝を伴う者は膝関節固有受容器機能が減弱しているという報告¹⁵⁾、膝関節運動において大腿骨の「転がり」運動が強調されるという報告¹²⁾、ジャンプ着地運動時に特有の筋活動を認めるという報告¹⁶⁾、反張膝は正常膝と比べ膝



図1 競泳選手の反張膝

二重線部分が膝伸展角度であり、 10° 以上を反張膝と定義した。

表 1 対象情報

性別	反張膝				非反張膝			
	膝伸展角度* (度)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	膝伸展角度* (度)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
男子	16.7／16.3	20	165.0	62.4	1.3／0	21	170.8	62.8
女子	19.7／20.3	20	167.2	56.4	3.0／3.0	20	162.8	54.8

*: 左膝角度／右膝角度

屈曲時に下腿の筋活動が大きいという報告¹¹⁾などがある。これらのことから、競泳においても反張膝選手は泳動作中に特有な動作を行っている可能性が推察される。また、水中という重力が軽減された特殊な環境の影響を受けている可能性も推察される。そこで、本研究は泳動作中の膝関節可動域と下肢の筋活動を測定することで、泳動作の特徴を分析し、反張膝選手をはじめとするコンディションづくりの一助とすることを目的とした。

2. 対象

定期的に競泳トレーニングを行っている大学体育会水泳部に所属する競泳選手4名（反張膝、非反張膝の男女競泳選手各1名）（表1）。

3. 方法

3.1 測定機器および測定方法

泳動作の動作解析において、筋電図、膝関節角度の測定を行った。被検筋は大殿筋、大腿直筋、内側広筋、半腱様筋、大腿二頭筋、腓腹筋内側頭の6筋とした（図2、3）。筋電図と膝関節可動域の測定には基礎医学解析システムBioLog（S&ME社製、DL-3100）を用い、水中筋電図センサ（S&ME社製、DL-141）、水中角度センサ（Biometrics社製）により筋活動電位および膝関節角度変化を導出した。サンプリング周波数は1000Hzとした。

3.2 試技

クロール泳はスタート時には壁キックを行わず

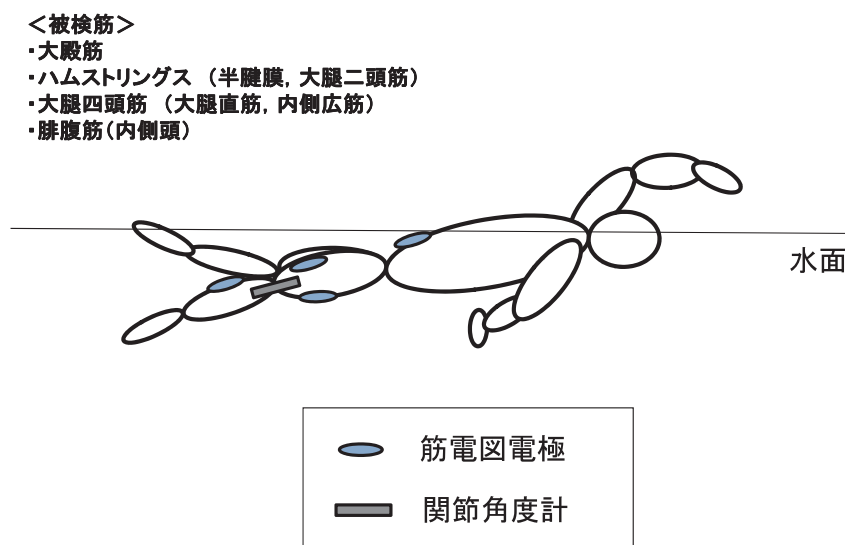


図2 筋電図電極，関節角度計設置位置

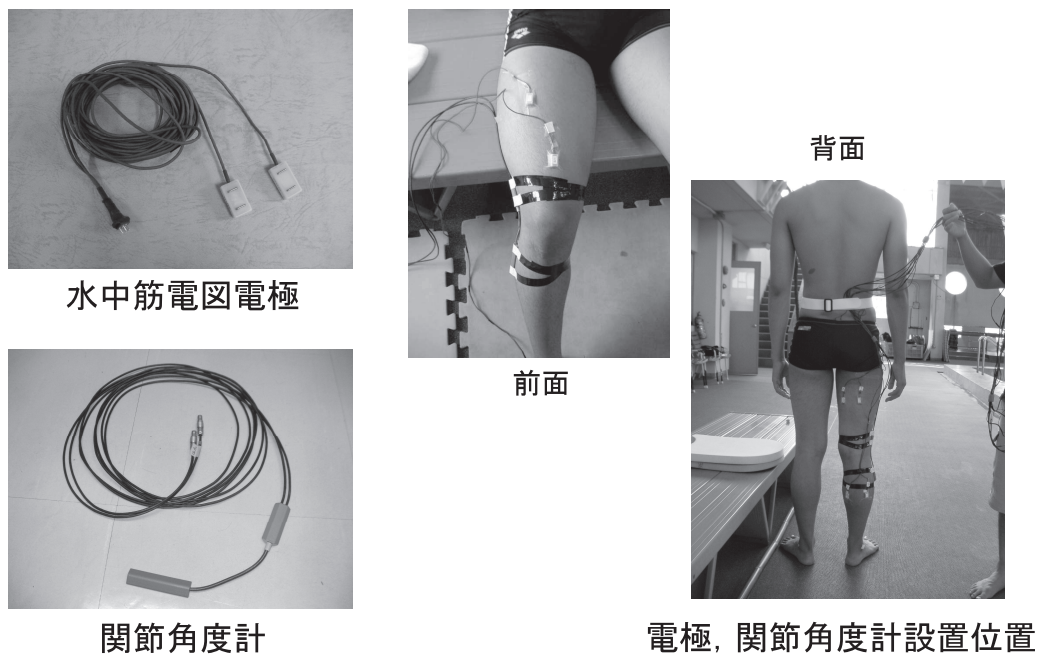


図3 筋電図電極, 関節角度計設置の様子

倒れ込むようにスタートさせ、25m最大努力で泳がせた。

3.3 標準化

筋電図における最大等尺性収縮（MVC; Maximal Voluntary Contraction）の測定は、腓腹筋以外はDanielsら¹⁴⁾が提唱する徒手筋力検査法（Manual Muscle Testing）の肢位に則って、徒手抵抗に抗した最大努力を行わせた。また、腓腹筋のMVCは徒手筋力検査法に準じた方法では最大収縮が得られないため、片脚つま先立ちで負荷をかけることにより最大等尺性収縮を測定した。

3.4 分析方法

筋電計、関節各時計から得られたデータはBioLog（S&ME社製、DL-3100）に保存し、その後パーソナルコンピュータに取り込みm-scope II（S&ME社製）にて処理・分析した。筋電図データは10HzのHigh Passフィルタにて低域周波数を遮断し、RMS（Root Mean Square; 二乗平均平方根）にて筋電図波形を定量化し積分値を求めた。MVCの測定は約3秒間の最大収縮を行わせ、波形

が定常状態となったデータを採用した。さらに泳動作中のデータは泳速度が定常状態となったデータの中から3ストローク（9キック）分のデータの平均値を採用した。

%MVCの算出は、泳動作中の筋電図積分値を筋活動時間で除し、単位時間当りの平均積分値を算出した。次いで、MVC時の筋電図積分値を筋活動時間で除し、同様に単位時間当りの平均積分値を算出した。この泳動作中の平均積分値をMVC時の平均積分値で除して求めた。

4. インフォームドコンセント

全ての被験者には本研究の主旨を説明し、本人に同意を得て実施した。また、本実験は福岡大学研究倫理審査委員の承認を得て実施した（平成23年5月9日承認）。

5. 結果

クロール泳動作中の平均膝伸展角度は反張膝男子が $-18.6^{\circ} \pm 1.3^{\circ}$ 、反張膝女子が $-22.2^{\circ} \pm 1.2^{\circ}$ 、非

表2 クロール泳動作中の膝関節可動域

		単位:度 (Mean±SD)		
		平均伸展角度	平均屈曲角度	平均可動域
反張膝	男子	-18.6±1.3	31.9±4.7	50.6±5.4
	女子	-22.2±1.2	28.1±4.4	50.2±4.2
非反張膝	男子	-3.7±0.9	54.1±2.2	57.9±2.3
	女子	-4.7±0.7	31.9±1.9	36.5±1.8

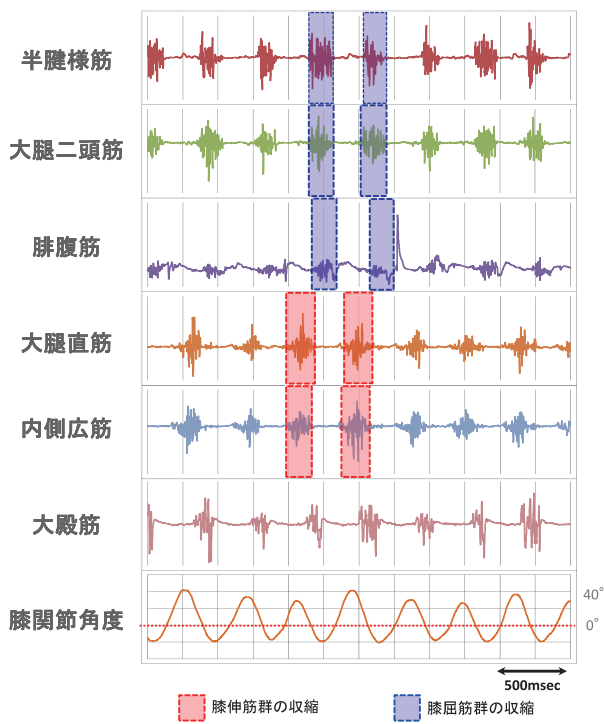


図4-a クロール泳筋電図原波形（反張膝選手男子）

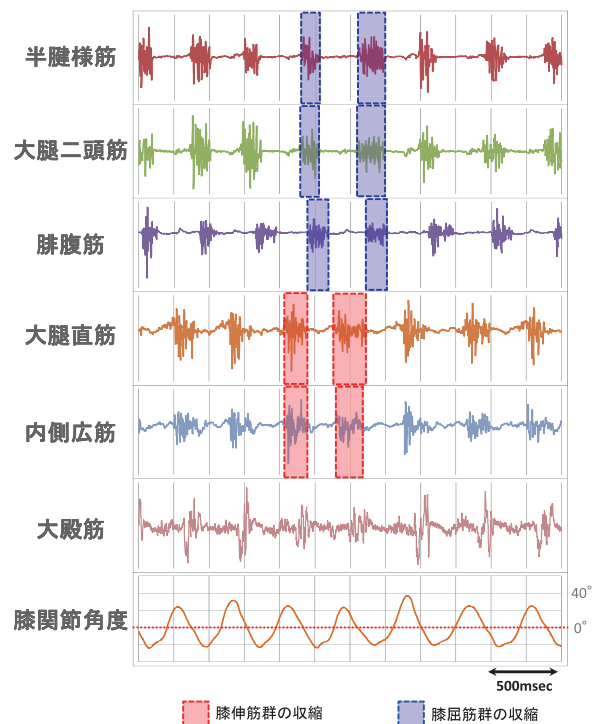


図4-b クロール泳筋電図原波形（反張膝選手女子）

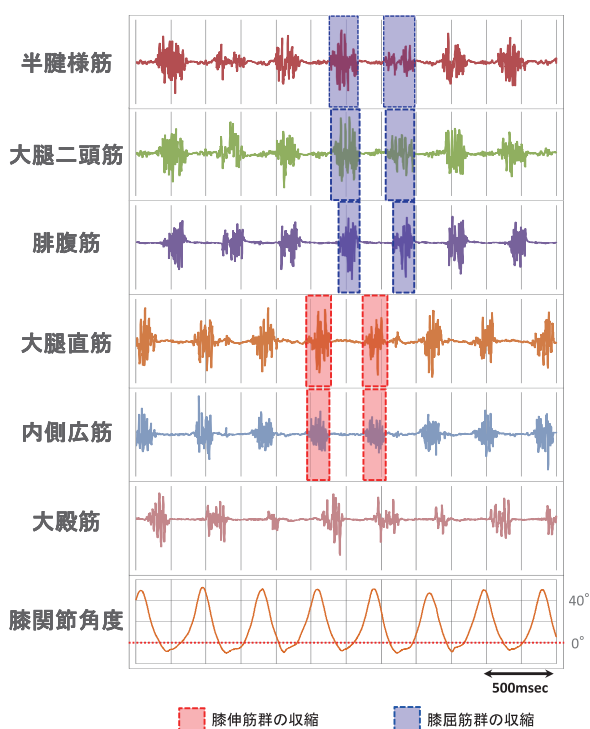


図4-c クロール泳筋電図原波形（非反張膝選手男子）

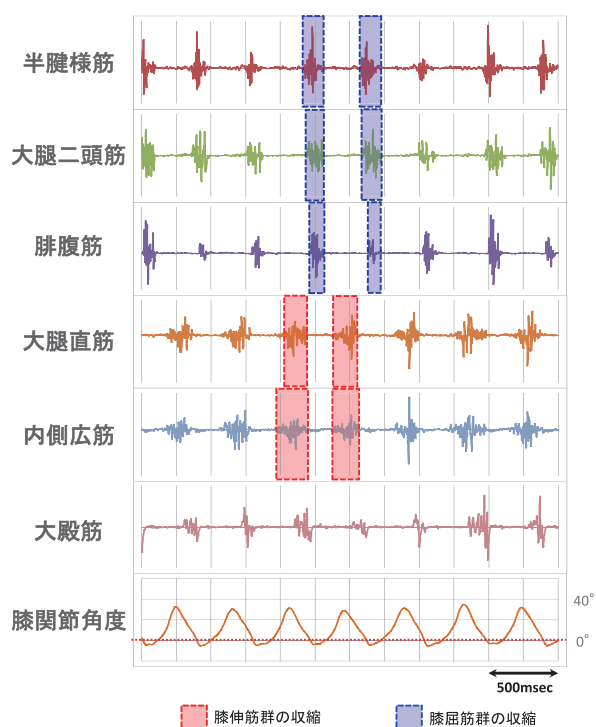


図4-d クロール泳筋電図原波形（非反張膝選手女子）

反張膝男子が $-3.7^{\circ} \pm 0.9^{\circ}$ ，非反張膝女子が $-4.7^{\circ} \pm 0.7^{\circ}$ であり，反張膝選手が非反張膝選手と比べて大きい傾向にあることが確認された（表2，図4a-d）．平均膝関節可動域は反張膝男子が $50.6^{\circ} \pm 5.4^{\circ}$ ，反張膝女子が $50.2^{\circ} \pm 4.2^{\circ}$ ，非反張膝男子が $57.9^{\circ} \pm 2.3^{\circ}$ ，非反張膝女子 $36.5^{\circ} \pm 1.8^{\circ}$ であり，顕著な傾向は確認されなかった（表2，図4a-d）．

泳動作中の筋電図波形は膝伸展時に膝伸筋群（大腿直筋，内側広筋）の収縮がみられ，膝屈曲時に膝屈筋群（大腿二頭筋，半腱様筋，腓腹筋）の収縮がキック動作に合わせて交互に認められた．反張膝選手と非反張膝選手の泳動作の筋活動様式を比較すると明確な相違は確認されなかった（図4a-d）．

クロール泳動作中の%MVC値は，半腱様筋は反張膝男子が66%，反張膝女子が65%，非反張膝男子が47%，非反張膝女子が42%であり，腓腹筋は反張膝男子が70%，反張膝女子が62%，非反張膝男子が41%，非反張膝女子が27%であった（図5）．この2筋において反張膝選手が非反張膝選手

と比べて高値を示した．

6. 考察

クロール泳動作中の膝関節可動域の変化において，反張膝選手は非反張膝選手と比べて過伸展可動域でキック動作を行っていることが確認されたが，平均膝関節可動域には顕著な傾向は確認されなかった．キック動作時の膝伸展角度は反張膝のように関節の構造的な影響を受けるが，膝屈曲角度は選手個人の泳動作の特徴が反映し技術的な影響が強いと考えられる．そのため，屈曲角度と伸展角度の総和である膝関節可動域に顕著な傾向が観察されなかった可能性がある．本研究は技術的要素の分析は行っておらず，反張膝の器質的な影響のみを対象としている．そのため，本研究の結果より膝過伸展可動域でキック動作が可能であるということは，競泳界で広く言われている「反張膝は膝伸展可動域が拡大するために正常膝よりも多くの水をとらえることができる」という意見を

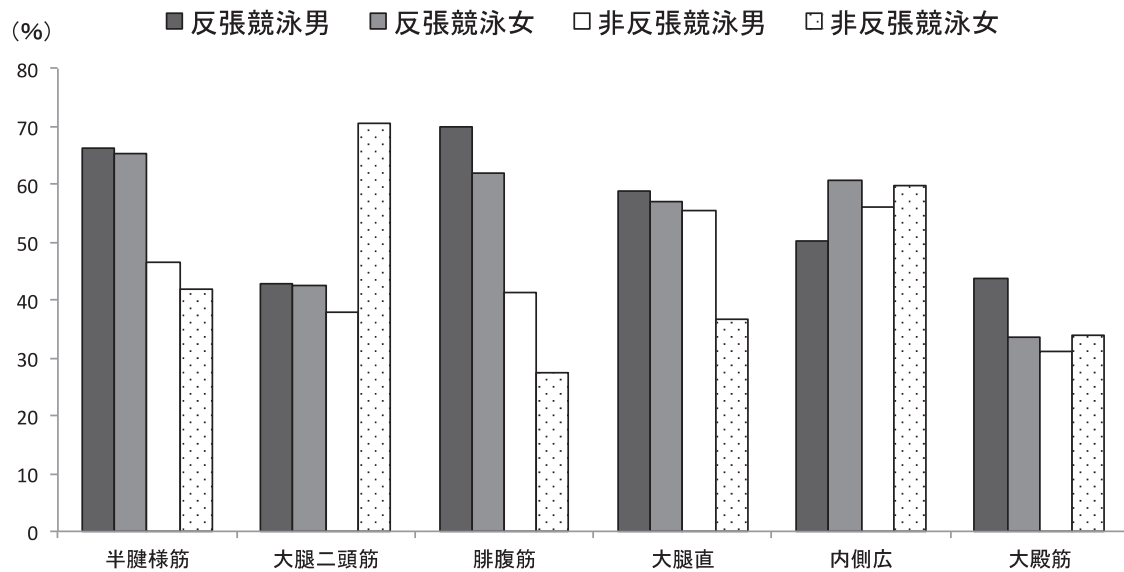


図5 クロール泳動作中の%MVC

支持している可能性がある。しかし、関節可動域が大きいことは前投影面積が大きくなり、形状抵抗への負の影響を考慮しなければならない。また、キック動作は体幹や股関節等の多くの関節に連鎖する動作であり、膝関節の可動域のみがパフォーマンスに影響するものではないため、このキック動作における膝関節可動域の有効性を明らかにするためには、推進効率や抵抗に関するバイオメカニクス的な検討が必要である。

クロール泳動作中の筋電図変化は、膝伸展を伴うダウンキックでは主働筋の膝伸筋群が収縮し、膝屈曲を伴うアップキックでは主働筋の膝屈筋群が収縮していることが確認された。そして、それぞれの局面において主働筋と拮抗筋の同時収縮時間はわずかであった。この筋活動様式は反張膝選手と非反張膝選手間で顕著な相違は認められなかった。関節運動には関節を運動方向へ導くための主働筋の働きに加え拮抗筋の活動（同時収縮）が関節の安定性を高めるために働いている。Wojtysらは大腿四頭筋とハムストリングスの同時収縮が膝関節における脛骨の前後¹⁷⁾および回旋¹⁸⁾に対する不安定性を減少させたと報告している。このことから、クロール泳動作中の膝関節運動時の最大伸展角度付近において同時収縮局面が

少ないため、筋が発揮する安定性は低いことが推察される。さらに、膝関節は人体最大の関節であるにもかかわらず、大腿骨と脛骨が軟部組織によって連結されただけの骨性の支持が乏しい関節であり、肘関節のように過伸展を抑制する骨性の支持機構が備わっていない。そのため、クロール泳動作中の膝関節はダウンキック終盤の最大伸展角度付近において筋が発揮する膝関節の安定性は低く、骨性の支持が乏しいために関節を支持している関節構成体にストレスがかかっている可能性がある。また、膝関節は大腿骨と脛骨の関節面の構造的特徴により、屈曲・伸展の関節運動の際には矢状面の回転軸が移動しながら行われており、転がり運動 (rolling) とすべり運動 (sliding) が存在する¹³⁾。そして、これらの複合運動により屈曲・伸展運動を行っている。平川ら¹²⁾は、重度過伸展膝被験者は非過伸展膝被験者と比べて「滑り」に差はなく、「転がり」が強いことを報告している。そして、反張膝の過伸展肢位は膝の後方構成体に緊張をもたらし、さらに転がり運動が強いことにより大腿骨と脛骨の関節前面が衝突するようなストレスが生じていることを示唆している。このことから、反張膝競泳選手はキック動作の膝過伸展域では膝関節前方の関節面が衝突する

ようなストレスのある状態で運動を繰り返している可能性がある。これは水泳トレーナー活動中に膝蓋下脂肪体炎等による膝関節前面の疼痛を訴える選手に遭遇するが、前述のような過伸展によるストレスが要因である可能性がある。今後、泳動作中の膝関節運動の特徴を水中環境と対照的な抗重力位運動の筋電図データと比較検討していくことで詳細な検討が可能であると考ええる。

クロール泳動作中の%MVC値は反張膝選手が非反張膝選手に比べて半腱様筋と腓腹筋が大きい傾向にあった。膝関節の伸展運動は膝蓋骨を介した大腿四頭筋の作用によって生じ、屈曲運動はハムストリングスと腓腹筋が作用している。野原ら¹¹⁾は反張膝群と非反張膝群の各被験者に等尺性膝屈曲運動を行わせ、反張膝群の腓腹筋筋活動が非反張膝群と比べて大きい傾向にあったことを報告している。さらに反張膝の力学的な問題として、膝関節過伸展域からの屈曲トルクを補償するために膝関節屈筋である腓腹筋のより強い収縮が必要であることを示唆している。クロール泳キック動作においてはこの膝関節の運動に加えて骨盤帯の固定と股関節運動が必要であることから、二関節筋であるハムストリングスにも腓腹筋と同様に強い収縮が必要であった可能性が示唆される。これらの結果から、反張膝選手は非反張膝選手と比べてキック動作の際により大きな筋活動が必要である可能性がある。今回は被験者数が少ないため、今後は被験者数の増員によりデータの精度を上げ、詳細な傾向を究明していく必要がある。

本研究の結果から、反張膝競泳選手のコンディショニングを考える際、クロール泳動作中の筋活動様式から、キック動作は力学的に膝の関節構成体を損傷しやすい状態にあるため、トレーニングの負荷量とトレーニング後のアイシング等による障害予防に配慮する必要がある。また、ハムストリングスと腓腹筋などの膝関節屈筋群の筋疲労のリスクが高いため、十分なストレッチやマッサージによる疲労回復につとめる必要があると考える。

7. まとめ

- (1) 反張膝選手はクロール泳動作中も膝過伸展可動域でキック動作を行っていることが確認された。
- (2) 反張膝選手と非反張膝選手の筋電図波形変化に顕著な相違は認められなかった。
- (3) 反張膝競泳選手はクロール泳動作中にハムストリングスと腓腹筋の%MVC値が大きな値を示した。

以上より、クロール泳動作において反張膝競泳選手は非反張膝競泳選手と比較して筋活動様式に顕著な相違はないが、膝関節障害のリスクと筋疲労を配慮してコンディショニングやトレーニングを行う必要がある。

8. 引用・参考文献

- 1) 出村慎一他：中学・高校競泳選手の身体特性。体力科学，40，278-287，1991。
- 2) 出村慎一他：大学男子選手のための柔軟性組テスト。体力科学，31，94-102，1982。
- 3) 片山直樹他：一流水泳選手の水泳に伴う外傷・障害。日本整形外科スポーツスポーツ医学会雑誌20(1)，34-41，2000。
- 4) 加藤茂幸他：下肢マルアライメントとスポーツ外傷発生の関係について。理学療法学，27，143，2000。
- 5) 金岡恒治他：一流水泳選手の水泳に伴う外傷・障害。日本整形外科スポーツスポーツ医学会雑誌20(1)，34-41，2000。
- 6) 金岡恒治他：水泳障害。整形外科，58(8)，1140-1146，2007。
- 7) 金岡恒治他：競技特性とスポーツ障害の予防－競泳選手の腰部障害。臨床スポーツ医学，24(12)，1279-1284，2007。
- 8) 栗木明裕，田原亮二，市川浩，田口正公，田場正一郎：競泳競技における反張膝の発生要因の解明と泳動作中の特徴。第15回日本水泳・水中運動学会年次大会抄録論文集，148-

- 149,2010.
- 9) 佐久間克彦他：全日本女子ハンドボール選手における足関節捻挫について．リハビリテーション医学，35(12)，1016，1998.
- 10) 長谷川伸他：水泳のスポーツ障害と予防のためのバイオメカニクス．臨床スポーツ医学 18(1)，33-42，2001.
- 11) 野原英樹他：膝屈曲運動時における反張膝の影響について 腓腹筋の働きに着目して．九州・山口スポーツ医・科研究会誌，17：19-22，2005.
- 12) 平川善之他：反張膝の膝過伸展域での運動学的特性．理学療法学，32 Suppli.2：166，2005.
- 13) Bousquet G, et al（弓削大四郎 他訳）：図解膝の機能解剖と靱帯損傷．協同医書出版社，1995.
- 14) Helen J. Hislop, Jacqueline Montgomery(津山直一, 中村耕三訳)：新・徒手筋力検査法原著第8版．協同医書出版社，2008.
- 15) J K Loudon, et al: Measurement of Knee-Joint- Position Sense in Women With Genu Recurvatum. J Sport Rehabil. 9,15-25,2000.
- 16) Sandra J, et al: Joint Laxity Is Related to Lower Extremity Energetics during a Drop Jump Landing. Medicine & Science in Sports & Exercise 42(4),771-780,2010.
- 17) Wojtys EM, et al: A gender-related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity. J Bone Joint Surg Am 84-A:10-6, 2002.・86
- 18) Wojtys EM, et al: Gender differences in muscular protection of the knee in torsion in size-matched athletes. J Bone Joint Surg Am 85-A:782-9, 2003.