

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

ボート選手の腰部障害発症要因の検討

Risk factors of low back disorders in rowers

2016年7月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

関根 千恵

SEKINE, Chie

研究指導教員： 金岡 恒治 教授

目次

第1章 緒言

1-1. 研究背景	1
1-2. ボート競技の競技内容	
1-2-1. ボート競技の歴史	3
1-2-2. ボート競技とは	3
1-3. 腰部障害	
1-3-1. 腰椎と体幹筋の機能解剖	4
1-3-2. 腰椎の変性と腰部障害	5
1-3-3. 椎間板変性と腰痛	6
1-4. ローイング動作と腰痛発症メカニズム	7
1-5. 椎間板変性と遺伝子多型	11
1-6. 研究の意義	12
1-7. 研究目的	13
1-8. 研究課題	14

第2章 大学ボート選手における腰椎椎間板変性所見と腰痛との関係

[課題 1-1] 大学ボート選手の腰椎椎間板変性率ならびに変性分布

2-1. 背景	16
2-2. 対象および方法	
2-2-1. 対象	17
2-2-2. 椎間板変性の評価	19
2-2-3. 統計解析	20
2-3. 結果	
2-3-1. 椎間板変性率と変性分布	21

2-4. 考察	22
2-5. まとめ	24

[課題 1-2] 大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係

2-1. 背景	25
2-2. 対象および方法	
2-2-1. 対象	25
2-2-2. 椎間板変性の評価	26
2-2-3. 傷害調査	26
2-2-4. 統計解析	27
2-3. 結果	
2-3-1. 椎間板変性進行と腰痛	27
2-3-2. 腰痛の病態と練習休止期間	29
2-4. 考察	30
2-5. まとめ	31

第3章 ローイング動作時の腰椎骨盤角度ならびに体幹・下肢筋活動解析

[課題 2-1] ローイング動作における腰椎骨盤角度と体幹・下肢筋活動様式

[課題 2-2] ローイング動作の継続が腰椎骨盤角度と体幹・下肢筋活動に与える影響

3-1. 背景	32
3-2. 対象および方法	
3-2-1. 対象	33
3-2-2. 課題試技	33
3-2-3. キネマティクスデータの収集	34
3-2-4. 筋電データの収集	35

3-2-5. 最大随意収縮時の筋電位導出	37
3-2-6. 期分け・解析区間	38
3-2-7. 筋電データの解析	39
3-2-8. 腰椎骨盤角度の解析	40
3-2-9. 角度算出の再現性検証	41
3-2-10. 統計解析	42
3-3. 結果	
3-3-1. 期ごとの比較	43
3-3-2. 経時変化による比較	47
3-4. 考察	52
3-5. まとめ	54

第 4 章 椎間板変性疾患感受性遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響の 検討

4-1. 背景	55
4-2. 対象および方法	
4-2-1. 対象	55
4-2-2. 椎間板変性の評価	55
4-2-3. 試料採取と DNA 抽出	56
4-2-4. 匿名化作業	56
4-2-5. DNA 塩基配列の解析と多型の同定	56
4-2-6. リスクアレルの保有の評価	58
4-2-7. 統計解析	58
4-3. 結果	
4-3-1. 椎間板変性疾患感受性遺伝子と椎間板変性との関係	58

4-3-2. 椎間板変性疾患感受性遺伝子と多椎間変性との関係	60
4-3-3. マイナーアレルの頻度	60
4-4. 考察	61
4-5. まとめ	61

第5章 総括

5-1. 本研究のまとめ	62
--------------	----

謝辞	64
----	----

文献	65
----	----

図表一覧

図一覧

図1 ローイング運動（文献26より引用）	10
図2 本論の構成	15
図3 横断研究の対象者	18
図4 正中矢状断画像	19
図5 Pfirrmann 分類	20
図6 縦断研究の対象者	26
図7 椎間板変性進行	28
図8 マーカー貼付位置	34
図9 無線筋電テレメーター	35
図10 被験筋	36
図11 期分け	38
図12 算出角度	40

図 13 各期における骨盤傾斜角度	43
図 14 各期における腰椎角度	44
図 15 各期における腹筋群の筋活動量	45
図 16 各期における背筋群の筋活動量	46
図 17 各期における下肢筋群の筋活動量	46
図 18 トライアル前半部-後半部の骨盤傾斜角度	48
図 19 トライアル前半部-後半部の腰椎角度	48
図 20 トライアル前半部-後半部の体幹・下肢筋活動量	50

表一覧

表 1 各 Grade の判定基準	20
表 2 対象者のプロフィール	21
表 3 椎間板変性率	21
表 4 椎間板変性分布	22
表 5 椎間板変性と腰痛	27
表 6 腰痛の病態と練習休止期間	29
表 7 角度算出の誤差	41
表 8 トライアル前半部-後半部の体幹・下肢筋活動量	51
表 9 遺伝子多型	57
表 10 CILP 遺伝子多型と椎間板変性	59
表 11 COL9A2 遺伝子多型と椎間板変性	59
表 12 THBS2 遺伝子多型と椎間板変性	59
表 13 SKT 遺伝子多型と椎間板変性	60

第1章 緒言

1-1. 研究背景

ボート競技選手の整形外科的傷害としては、腰部障害、肋骨疲労骨折、肩関節痛、膝蓋大腿関節痛、腸脛靭帯炎等が挙げられるが¹⁾、特に腰部障害の頻度が高いと報告されている²⁻⁶⁾。また、先行研究より、ボート競技選手の障害部位で最も多いのは腰椎であることが明らかとなっている⁷⁾。

ボート競技においては、これまでに、数多くの傷害調査が様々な年齢や競技レベルを対象に行われてきた。例えば、エリートジュニアボート選手を対象とした研究では、全外傷・障害部位の32.3%が腰部であると報告され、外傷・障害ともに腰部が顕著であった³⁾。競技レベルは異なるが、アマチュア・ボート選手を対象とした研究においても腰椎捻挫が多いと報告されている²⁾。さらに、大学ボート競技経験者を対象にした調査でも、回答者の約3分の1が大学時代に腰痛を経験していた⁴⁾。同様に、若年者においても、一般人の腰痛時点有病率が18.1%であったのに対し⁸⁾、思春期ボート選手では男子64.6%、女子52.8%⁶⁾と一般人に比べ有病率が高かった。これらの報告より、国際レベルのボート選手⁵⁾から思春期ボート選手⁶⁾まで、年齢や競技レベルに関わらず腰部障害の頻度が高いことがうかがえる。

他競技との比較研究も行われており、持久性アスリートにおける最近12ヶ月の腰痛罹患率を調査した研究では、ボート選手55.3%、クロスカンントリー選手63.0%、オリエンテーリング選手49.8%の罹患率であると報告されている⁹⁾。他競技と比べ、特別高い罹患率とは言えないが、約5割のボート選手が過去1年で腰痛に罹患している。さらに、腰痛のために練習を休む頻度はボート選手が最も高いと述べられており⁹⁾、他競技に比べ、腰痛の程度が重症であることが推察される。

以上より、腰痛はボート競技選手にとって大きな問題であり、腰痛予防は急務である。そのため、これまでに、腰痛予防のための研究が数多く行われ、腰痛発症の要因が検討されてきた。その結果、オールの形やデザインの変更⁴⁾、季節（冬）⁵⁾、早朝からの練習¹⁰⁾といった外的要因、ローイングテクニック⁷⁾、ハムストリングス短縮による骨盤可動域減少¹⁰⁾、腰

椎の過剰な静的可動域¹¹⁾といった内的要因が腰痛との関連を示唆する因子として挙げられている。このように数多くの因子が挙げられるが、そのなかでも、腰部障害既往¹²⁾ならびにエルゴメータートレーニング^{4,5)}が腰部障害発症の大きなリスクファクターであることが示唆されている⁷⁾。例えば、国際レベルのボート競技選手を対象に、エルゴメータートレーニングと腰痛との関係を調査した研究では、1ヶ月間のエルゴメータートレーニングの時間と腰部障害発症との間に有意な関係があることが示されている⁵⁾。同様に、大学ボート選手を対象に、腰痛既往と新たな腰痛発症との関係を調査した研究では、大学時代の腰痛発症率は、腰痛既往がある群では57.1%、既往がない群では36.6%であり、既往がある群で腰痛の頻度が高いことが述べられている¹²⁾。

このように、腰痛発症の要因を探るため数々の研究が行われているが、ボート競技における腰部障害発症のメカニズム解明には至っていない。そこで本研究では、ボート選手の腰部障害発症要因を検証し、障害予防の一助とすることとした。

1-2. ボート競技の競技内容

1-2-1. ボート競技の歴史¹³⁾

ボート競技は、1900年に開催された第2回パリオリンピック大会から継続してオリンピック種目となっており、本邦の選手は1928年のアムステルダムオリンピックより参加している。女子種目の採用はオリンピックでは1976年、世界選手権では1974年である。

1-2-2. ボート競技とは^{13,14)}

ボート競技は、ローイング動作の連続によって運動が行われる。競技は2000mの直線コース上でタイムを競うものであり、艇速の優劣が競技力を決定する。競技用ボートは漕手のシート（座席）が前後に動くスライディングシートであることが特徴である。シートがスライドすることにより、漕手は脚伸展（股関節伸展、膝関節伸展、足関節底屈）を行うことが可能となる。ボートの種類によって差はあるが、2000mレースではレース時間は6~9分前後である。

漕手1人が1本のオールを持って漕ぐスイープ種目と1人で左右2本のオールを使うスカル種目がある。スイープ種目には、2人、4人、8人漕ぎがあり、ペア、フォア、エイトと呼称されている。スイープ種目のうち2人または4人漕ぎの場合には、舵を引くコックス（舵手）が乗る場合と乗らない場合があるが、8人漕ぎでは必ずコックスが乗る。一方で、スカル種目には、1人、2人、4人漕ぎがあり、シングルスカル、ダブルスカル、クォドルプルと呼ばれる。一般的には、スカル種目にコックスは乗艇しないが、日本国内では中高校生の大会でコックスが乗艇する4人漕ぎ種目（4x+）が採用されている。加えて、女子種目では年代に限らず4x+が大会種目となることが多い。

1-3. 腰部障害

1-3-1. 腰椎と体幹筋の機能解剖

脊椎の代表的機能は、①支持性、②運動性、③神経組織の保護の3つである。腰椎は仙椎とともに脊椎の最も尾側にあり骨盤と結合し、脊椎の要として重要な部分である¹⁵⁾。腰椎は前方では椎間板、後方では左右1対の椎間関節を介して脊椎骨が連結しており、この椎間板と椎間関節で上体の重量のすべてを支えながら運動する役目を担っている¹⁶⁾。椎間板は中心の髄核、その周りを取り囲む線維輪、上下を覆う終板から形成される軟骨の一種であり、荷重のエネルギーを吸収するショックアブソーバーの役割を果たす^{16,17)}。髄核内には、ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸などのムコ多糖類が無数に連結して構成されたプロテオグリカンが含まれており、このプロテオグリカンの保水作用によってその特性が保たれている¹⁶⁾。椎間関節は椎骨の下関節突起と下位の上関節突起よりなる滑膜関節であり、椎骨の前方への転位や回転に対する制動を行う。椎間関節には荷重伝達の働きもあり、上関節突起の下端が下位椎弓に接触することにより荷重を伝達する¹⁷⁾。

腰椎を支持する筋としては体幹筋があげられ、脊椎に直接付着しているローカル筋と脊椎に付着していないグローバル筋に分類される¹⁸⁾。体幹の深層に位置する多裂筋、腹横筋、大腰筋はローカル筋であり、脊椎の分節間の細かな安定性をコントロールしている。一方で、体幹の表層にある脊柱起立筋、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋はグローバル筋であり、腰椎全体の剛性を調節するだけでなく、体幹の運動の主動筋として働く。

1-3-2. 腰椎の変性と腰部障害^{15,16)}

物理的な負荷が加わることや、加齢、遺伝的因子、環境因子等の様々な要因によって椎間板髄核内のプロテオグリカン産生量が減少し、髄核内の水分含有量が減少してくると椎間板の衝撃吸収能力が低下してくる。このような状態を椎間板変性と呼び、腰痛の原因となる。さらに変性が進んでいくと、荷重負荷が加わることによって線維輪に亀裂が生じる。その修復のために、本来椎間板内に存在しない血管や神経が周囲の組織から侵入し、急激な椎間板の内圧変化によって椎間板性腰痛を引き起こすこととなる。椎間板変性によって椎間板の高さが減少すると、椎間関節への荷重負荷が相対的に増加する。荷重負荷の増加により椎体周辺の骨は増殖性変化を起こし、長い年月を経て骨棘を形成したり、椎間関節の変形をきたしたりして、椎間関節性腰痛を生じるようになる。

1-3-3. 椎間板変性と腰痛

これまでに、椎間板変性の頻度に着目した研究が多く行われている。変形性変化の端緒である椎間板変性の世代別発生頻度調査によると、20歳代で約30%、30歳代で約50%に椎間板変性が生じていると報告されており¹⁹⁾、比較的若年期から椎間板変性を有する者は多い。また、椎間板変性の要因として、遺伝的要因、加齢、高BMI、高LDLコレステロール、重量物を運ぶ職業、過度のスポーツ活動等が報告されている^{20,21)}。過度のスポーツ活動が要因の1つであることから、ボート選手においては椎間板変性の頻度が高いことが疑われる。

これまでに、椎間板変性と腰痛との関係が検討されてきた。横断研究では、壮年期の男性において、最近12ヶ月の腰痛と椎間板変性に関係がみられたとの報告があり²²⁾、大学生アスリートを対象にした研究においても、重度の腰痛が椎間板変性の予測因子となる可能性が述べられている²³⁾。横断研究だけでなく縦断研究においても椎間板変性と腰痛との関係が調査されている。3年間の縦断調査を行い、腰痛と腰椎MRI (Magnetic Resonance Imaging) 所見との関係を検討した研究では、縦断調査期間中の慢性腰痛と線維輪損傷との間に関係がみられている²⁴⁾。このように、椎間板変性と腰痛との関係を示唆する報告がある一方、高校男子アメリカンフットボール選手を対象に行われた縦断調査では、椎間板変性と腰痛との間に有意な関係を認めなかったと報告されている²⁵⁾。これらの結果より、ボート選手においても椎間板変性が腰痛発症に関係する可能性があると考えられる。前述したように、ボート競技における腰痛発症の要因には様々あるが、椎間板変性もその一因となる可能性がある。しかしながら、ボート選手を対象に、椎間板変性と腰痛との関係を検討した研究はみられない。

1-4. ローイング動作と腰痛発症メカニズム

ローイング動作は、脚伸展による上体の後方移動とともにオールを水中で動かすドライブ相と次のドライブのために姿勢を戻すフォワード相から成る。ドライブ相とフォワード相から成る一連の運動をストロークと呼ぶ（図1，川上ら2001）²⁶⁾。ドライブを終えた漕手はオールを水から抜きあげ（フィニッシュ）、オールを空中に保った状態で次のストロークの準備を行う（フォワード）¹⁴⁾。フォワードではまず上肢を前方へ伸ばし（ハンズ）、軽く膝関節を屈曲しながら骨盤を前傾させ（セット）、その後、上体の姿勢を保ちながら股関節・膝関節を一定の速さで屈曲させていき、スライドトップにて水中にオールを入れる（キャッチ）。キャッチでは、オールのハンドル部に生じる力が急速に増加し、ドライブ中盤で力のピークを迎え、フィニッシュにむけ力は次第に小さくなる^{27,28)}。フォワードからキャッチにかけて身体はボートの進行方向と逆向きの動きをするため、ドライブ相で加速した艇速はフォワードで減速する¹⁴⁾。この減速のため、毎ストロークで加速動作を行い続けなければならない。爆発的なパワー発揮能力とそれを支える有酸素性能力の両者が必要となる¹⁴⁾。2000mレースではストロークが200~250回繰り返されるが、一流選手の場合、ピークパワーは人間が発揮できる動作パワーの中でも最大レベルである3000ワットに達する^{29,30)}。

このローイング動作における動作解析および筋電図解析が、腰痛発症メカニズム解明のため、数多く行われてきた。その結果、「運動、筋活動、軸圧」の3項目が腰痛発症のメカニズムとしてあげられている³¹⁾。

1つめの「運動」に関しては、屈曲運動の反復および腰椎の過屈曲が腰痛と関係していると考えられている³¹⁾。まず、屈曲運動の反復についてであるが、Caldwell et al³²⁾やHolt et al³³⁾の研究で、ローイング動作の反復によりドライブにおける腰椎の屈曲が増大することが報告されており、経時的な腰椎屈曲運動の増大が腰痛発症に影響する可能性が述べられている。腰椎の屈曲は、腰椎後方要素の靭帯（後縦靭帯、黄色靭帯、棘間靭帯、棘上靭帯）などの軟部組織へ伸張ストレスを与える³⁴⁾ため、腰痛の一因となると考えられている。また、

前額面に着目した研究では、ローイングの継続により L3 レベルの前額面の動きが増大する³⁵⁾との報告がある。しかしながら、これらの研究では、いずれも腰椎のみの解析にとどまり、骨盤帯の動きを同時に解析していない。筆者は競技者やトレーナーとしてボート競技に関わってきたが、ローイング動作を継続すると、疲労の影響により早期フェイズより過度の腰椎屈曲と骨盤後傾を伴うことが多い印象をうける。これは特に腰痛者で多い印象があり、検討の余地があると考ええる。さらには、2014 年のレビュー論文においても、今後は体幹の動きを分析する際に腰椎骨盤の動きを考慮すべきである⁷⁾と述べられており、腰椎と骨盤の動きを同時に調査する必要性がうかがえる。脊椎と骨盤帯の動きを検討した研究としては、Pollock et al³⁶⁾の報告がある。それによれば、ローイング動作の継続に伴い、胸腰椎セグメントの最大伸展角速度を記録するタイミングが遅延すると報告され、キャッチに伴い生じる脊椎屈曲モーメントに抗せないのではないかと考察されている。

次に、腰椎の過屈曲についてであるが、女子ボート選手を対象に腰椎の静的可動域を調査した研究では、腰椎の過屈曲を生じる選手に腰痛既往者が多いことが報告され¹¹⁾、腰椎過屈曲と腰痛との関係を示唆した。この結果から、腰椎のハイパーモビリティを有する選手では腰痛発症のリスクが高いと考えられる。一方で、腰痛を有する選手と健常な選手のキャッチ姿勢を MR 画像により比較した研究では、腰痛を有する選手において腰椎の屈曲が減少しており、腰椎の過屈曲と腰痛との関係を認めなかった³⁷⁾。しかしながら、ローイング動作ではキャッチ姿勢を長時間保持することはないため、実際の競技動作では異なる結果となる可能性も高いと考える。

次に、「筋活動」については、継続的なストローク運動による筋活動の変化に関して一定の見解を得ていない。上述した Pollock et al³⁶⁾の研究では、2000m タイムトライアル後半においても、脊柱起立筋の筋活動量は変化せず、体幹屈曲筋群の活動のみが増加したと報告されている。それに反して、先に述べた Caldwell et al³²⁾の研究では、ローイング動作の継続により脊柱起立筋および多裂筋の活動量増加が生じることが報告されており、腰部伸筋群の疲労の結果、腰椎の屈曲が増大することが腰痛発症に影響する可能性が述べられている。な

お、この研究は脊柱起立筋と多裂筋のみの解析であり、腹筋群の筋活動は不明である。

Caldwell et al の研究、Pollock et al の研究のいずれにおいても、ドライブに着目した解析がなされており、フォワード期の検討はほとんど行われていない。フォワード期で適切なセットポジションがとれなければ、キャッチ時に体幹部を固定することは難しく、ドライブにおける腰部への負荷が大きくなり障害を招く可能性がある。適切なセットポジションをとるためには、体幹筋群の働きが重要である。それゆえ、フォワード期の筋活動を検討することは、腰部障害予防の観点からも重要であると考ええる。

最後に、「軸圧」に関しては、腰椎に加わる軸圧が腰痛と関係していると考えられている³¹⁾。女性ボート選手を対象にした研究³⁸⁾では、ドライブ時に L4-5 椎体へ体重の 4.6 倍の軸圧がかかるとされ、腰椎へ圧縮力と剪断力が多くかかると述べられている。繰り返し刺激が加わることによりボート選手の腰椎の骨密度は増加している³⁸⁾と報告されることから、ローイング動作では腰椎に大きな軸圧がかかることがうかがえる。

以上より、ローイング動作の継続により生じる動作不良と、そもそものフォーム不良が腰痛発症に関係する可能性があり、今後は腰椎骨盤の動きを考慮したローイング動作解析を行う必要があると考える。また、継続的なストローク運動による筋活動の変化をフォワード期を含め検討する必要があると考える。

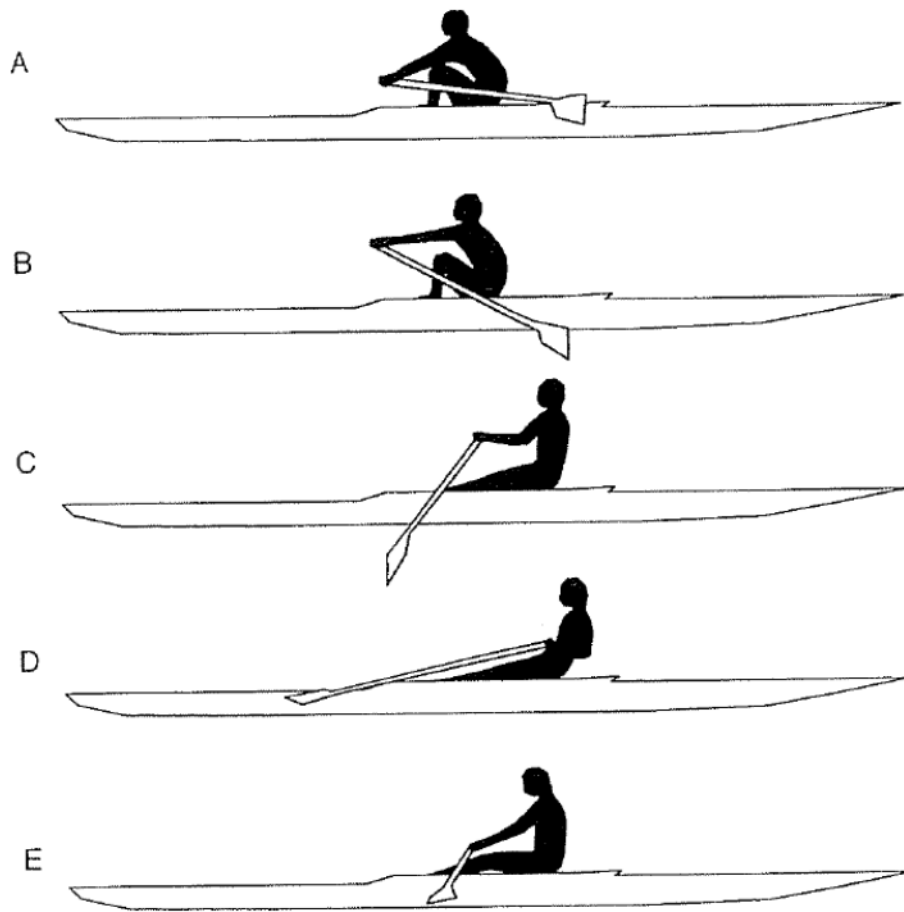


図 1. ローイング運動²⁶⁾

A:フォワード後半, B:キャッチ, C:ドライブ (中盤), D:フィニッシュ, E:フォワード前半

(川上泰雄, 下田学, 福永哲夫. ボート競技の競技力向上を目的とした艇の力学量測定システムの開発.

トレーニング科学. 2001, 13(1), 21-30)

1-5. 椎間板変性と遺伝子多型

腰部障害には様々あるが、腰椎椎間板疾患はその1つである。腰椎椎間板疾患には腰椎椎間板変性や椎間板ヘルニアが含まれ、遺伝的素因があると報告されている³⁹⁾。デオキシリボ核酸 (deoxyribonucleic acid; DNA) は、アデニン (Adenine; A) とチミン (Thymine; T), シトシン (Cytosine; C) とグアニン (Guanine; G) の塩基がそれぞれ水素結合することにより非常に安定した塩基対となり、二本鎖を形成している⁴⁰⁾。ゲノムは遺伝子領域と非遺伝子領域の2つに分類され、遺伝子領域には転写を調節する領域 (プロモーター), たんぱく質をコードする領域 (エクソン), 最終的な転写産物には含まれない DNA の非コード配列領域 (イントロン) などが含まれる^{40,41)}。たんぱく質のコード領域では、DNA のヌクレオチド (A, C, G, T) の3文字ずつの組み合わせ ($4^3=64$ 通り) が、1つ1つのアミノ酸を表す暗号 (コード) として用いられている⁴⁰⁾。DNA 塩基配列の違いがある集団において100人に1人以上の頻度で認められる場合、この塩基配列の違いを遺伝子多型と呼び、このうち1個の塩基が他の塩基に置き換わっているものを一塩基多型 (single nucleotide polymorphism; SNP) という⁴⁰⁾。SNPの中には疾患の感受性に役割を果たすものがあるが⁴¹⁾、腰椎椎間板疾患もいくつかの遺伝子多型と関連することがこれまでに報告されている³⁹⁾。例えば、Seki et al⁴²⁾は、関節軟骨の中間層に存在する蛋白である Cartilage Intermediate Layer Protein をコードする遺伝子 CILP が腰椎椎間板ヘルニアの原因遺伝子であることを報告している。これに加えて、遺伝要素は椎間板変性に与える影響の30~50%を占めるとされ、椎間板変性に関する研究を行う上で無視できないものと考えられている⁴³⁾。一方で、前述したように過度のスポーツ活動が椎間板変性に影響することが報告されているため、ボート競技選手では遺伝的要因よりも競技動作による過負荷が変性へ大きな影響を与える可能性もある。以上よりボート選手の椎間板変性発生にも遺伝的要因が関係している可能性があるが、その関係は明らかではない。

1-6. 研究の意義

このようにボート競技においては年齢や競技レベルに関わらず腰部障害の頻度が高く、本競技をより普及していくためにはその予防対策が求められ、同時に腰部障害発症メカニズムの解明が必要となる。そのため本論文では、まず、疫学的調査を行った。椎間板変性は腰痛と関係することが報告されるため、大学ボート選手を対象に腰痛と椎間板変性との関係を検討することとした。腰痛と椎間板変性との関係が明らかとなれば、競技現場でスクリーニングに用いたり、腰部障害予防に役立てることができる。と考える。

さらに、椎間板変性および腰部障害発生要因を明らかにするため、継続的なストローク運動を行い、ローイング動作の継続により生じる腰椎骨盤帯の動作変化、フォワード期を含めた筋活動の変化を検討することとした。ボート競技では1度の練習で何千回と同じ動作を繰り返すため、ストロークの反復により生じる腰部への負荷増大を招く動作や筋活動様式が明らかとなれば、腰部障害予防に役立てることができる。

加えて、椎間板変性発生要因を明らかにするため、椎間板変性関連遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響を検討することとした。遺伝的特性が変性所見に与える影響が明らかとなれば、椎間板性腰痛の予防に役立てることができる。と考える。

以上より、大学ボート選手における障害リスクファクターを明らかにし、予防法を提言することにより、ボート選手の腰部障害を減らすことが期待できる。また、腰部障害が原因の練習休止を減少させ、練習休止による競技力低下を防ぐことができる可能性がある。

1-7. 研究目的

本研究の目的は以下の2点である。

1. 大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係を明らかにすること。
2. ローイング動作および遺伝的特性が大学ボート選手の椎間板変性ならびに腰部障害発生に与える影響を検証すること。

1-8. 研究課題

本研究の目的を達成するため、以下の課題を設けた（図2）。

【課題1】 大学ボート選手における腰椎椎間板変性所見と腰痛との関係

〔課題1-1〕 大学ボート選手の腰椎椎間板変性率ならびに変性分布

大学ボート選手の腰椎椎間板変性率ならびに変性分布を明らかにすることを目的とした課題。MR装置を用いて、脊椎の矢状面画像を撮像し、腰椎椎間板変性率ならびに変性分布を横断的に調査する。

〔課題1-2〕 大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係

大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係を明らかにすることを目的とした課題。縦断調査期間中の変性進行所見と腰痛発症の有無をそれぞれ調査し、腰痛と椎間板変性との関係を検討する。

【課題2】 ローイング動作時の腰椎骨盤角度ならびに体幹・下肢筋活動解析

〔課題2-1〕 ローイング動作における腰椎骨盤角度と体幹・下肢筋活動様式

ローイング動作における腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動様式を明らかにすることを目的とした課題。ストロークを期分けし、腰椎骨盤角度および筋活動様式を検討する。

〔課題2-2〕 ローイング動作の継続が腰椎骨盤角度と体幹・下肢筋活動に与える影響

課題1で得られた結果を踏まえ、椎間板変性および腰部障害発生要因を検証するため、ローイング動作の継続が腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動に与える影響を明らかにすることを目的とした課題。2000m タイムトライアルを行い、タイムトライアル前半部と後半部におけるローイング動作時の腰椎骨盤角度および筋活動様式を検討する。

【課題3】椎間板変性疾患感受性遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響の検討

課題1で得られた結果を踏まえ、椎間板変性発生要因を検証するため、椎間板変性疾患感受性遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響を検討することを目的とした課題。椎間板変性所見の有無と椎間板変性疾患感受性遺伝子多型保有の有無をそれぞれ調査し、遺伝的特性が変性所見に与える影響を明らかにする。

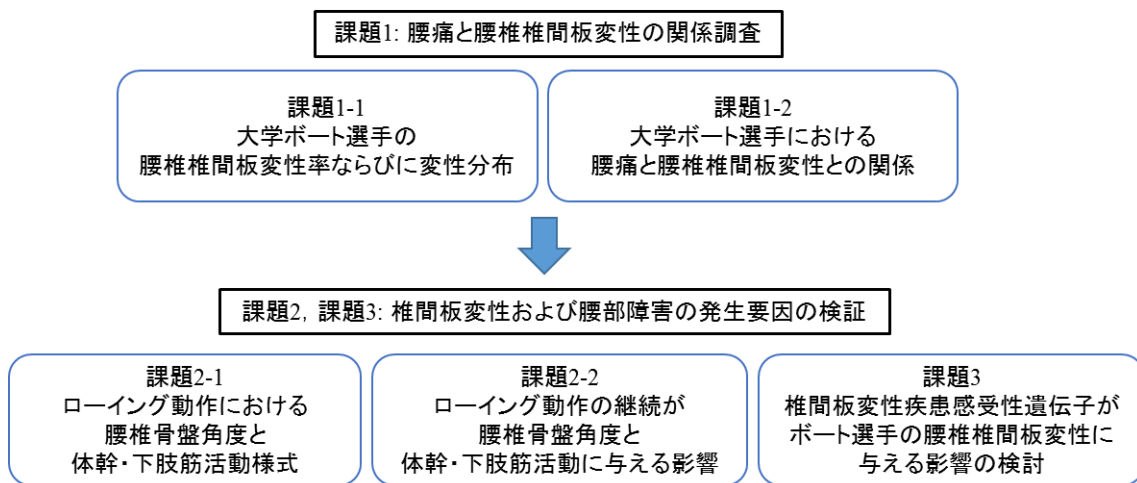


図2. 本論の構成

第2章 大学ボート選手における腰椎椎間板変性所見と腰痛との関係

掲載論文

Chie Sekine, Kuniaki Hirayama, Osamu Yanagisawa, Yu Okubo, Mika Hangai, Atsushi Imai, Koji Kaneoka. Lumbar intervertebral disc degeneration in collegiate rowers. J Phys Fitness Sports Med. 2014, 3(5), 525-530.

〔課題 1-1〕 大学ボート選手の腰椎椎間板変性率ならびに変性分布

2-1. 背景

椎間板変性に関連する因子として、腰痛に加え、遺伝、加齢、高 BMI、高 LDL コレステロール、重量物を運ぶ職業、過度のスポーツ活動等が報告されている^{20,21)}。大学生を対象にした研究では、定期的な運動習慣のないコントロール群に比べて、大学野球選手と水泳選手で椎間板変性が有意に多くみられている²³⁾。Swärd et al⁴⁴⁾ もエリート体操選手の椎間板変性率はコントロールと比較して有意に高かったと報告している。このように、競技スポーツ活動と椎間板変性との関連が報告されており、過剰なローイング動作が椎間板変性を引き起こす要因の 1 つとなる可能性がある。これまでに無症候性の思春期ボート選手を対象とした MRI 調査が行われており、椎間板変性率は約 18%であった⁴⁵⁾。しかしながら、無症候性の選手のみを対象とした研究であったため、ボート選手の正確な変性率を決定するには議論の余地がある。そこで本研究では、大学ボート選手を対象に横断調査を行うこととし、大学ボート選手の腰椎椎間板変性率ならびに変性分布を明らかにすることとした。

2-2. 対象および方法

2-2-1. 対象

大学ボート選手 68 名（男子 43 名，女子 25 名）を横断研究の対象とした。横断研究の対象者について図 3 に示した。対象者の年齢は 18～22 歳であり，平均年齢は 19.5 歳であった。対象者の競技レベルは，国際大会出場レベルが 15 名，全国大会出場レベルが 49 名，地区大会出場レベルが 4 名であった。全対象者が同一チームに属しており，週に約 2 回のウェイトトレーニングを含む約 2 時間の練習を週に 11 回，季節や天候に関係なく継続的に行っていた。男子選手はスweep種目を専門とし，女子選手はスカル種目を専門としていた。初回の MRI 撮像時にボート競技歴が 3 年未満であった者は横断研究の被験者から除外した。加えて，2 回目以降の撮像も横断研究の解析対象から除外した。本課題は早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理審査委員会における審議・承認を得て行われた（承認番号：2010-078）。全ての被験者に研究の説明を行い，文書による同意を得た後，実験を行った。

MRI撮像

2008: 40 名
2010: 32 名
2011: 29 名
2012: 34 名

除外

2008: 8名が除外
ボート競技歴3年未満

2010: 11名が除外
2名 (ボート競技歴3年未満)
9名 (2回目以降の撮像)

2011: 17名が除外
7名 (ボート競技歴3年未満)
10名 (2回目以降の撮像)

2012: 31名が除外
3名 (ボート競技歴3年未満)
28名 (2回目以降の撮像)

最終的な対象者

2008: 32 名
2010: 21 名
2011: 12 名
2012: 3 名

68名が横断調査に参加した

図 3. 横断研究の対象者

2-2-2. 椎間板変性の評価

全対象者の腰椎 MR 矢状断 T2 強調画像を評価した。撮像は 2008 年から 2012 年（2009 年を除く）に行われた。1.5-TMR 装置（Signa HDxt XV, GE Healthcare, Tokyo, Japan）を用いて、腰椎 MR 矢状断 T2 強調画像を撮像した。2008 年は body coil を 2010 年，2011 年，2012 年は 4-channel の spine coil を使用した。撮像シーケンスは，TR（repetition time）2800 ms，TE（echo time）90 ms，スライス厚 4.0 mm，FOV（field of view）300×300 mm とした。撮像は仰臥位にて行った。正中矢状断画像（図 4）にて，第 1 腰椎/第 2 腰椎（L1/2）椎間板から第 5 腰椎/第 1 仙椎（L5/S1）椎間板の 5 椎間を Pfirrmann 分類⁴⁶⁾にて評価した。変性の程度を Grade 1 から Grade 5 の 5 段階に分類し，Grade 3 以上を「変性椎間板」と定義した（図 5）。各 Grade の判定基準は，表 1 に示した。変性椎間板を 1 椎間以上保有する者を「変性保有者」に分類した。臨床経験豊富な 2 名の整形外科医がそれぞれ画像を評価した。評価が一致しない場合は協議を行い，Grade の決定がなされた。全ての評価において，同一の 2 名が MR 画像を評価した。



図 4. 正中矢状断画像

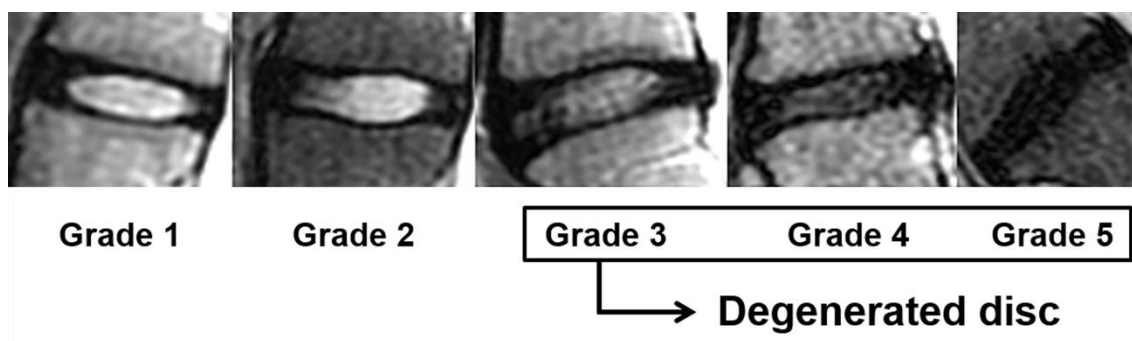


図 5. Pfirrmann 分類

表 1. 各 Grade の判定基準

判定基準	
Grade 1	髄核が輝度の高い白色，均質な明るい白色構造
Grade 2	髄核が不均質な白色，帯状の低輝度は存在してもよい
Grade 3	髄核が灰色で線維輪との境界が不明瞭，椎間高は正常かわずかに減少あり
Grade 4	髄核が灰色または黒色で線維輪との境界が消失 椎間高は正常から中等度減少
Grade 5	髄核が黒色で椎間高の著しい減少

2-2-3. 統計解析

年齢，身長，体重，BMI，競技歴の平均値を男子ボート選手（n=43）と女子ボート選手（n=25）の 2 群間で対応のない t 検定により比較した．横断調査における変性率を男子ボート選手（n=43）と女子ボート選手（n=25）の 2 群間で χ^2 検定により比較した．統計処理には SPSS Statistics 21.0 を用い，有意水準は全て 5%とした．

2-3. 結果

2-3-1. 椎間板変性率と変性分布

対象者のプロフィールを表 2 に示した。身長、体重、BMI は女子選手と比較して男子選手で有意に高値を示した（身長、体重： $p < 0.001$ ，BMI： $p = 0.002$ ）。年齢とボート競技歴は男女間で有意差を認めなかった。31 名の選手が変性椎間板を有しており、椎間板変性率は 45.6%であった（表 3）。男子選手の変性率は 48.8%，女子選手では 40.0%であったが、男女間で有意差を認めなかった（ $p = 0.48$ ，表 3）。変性は下位腰椎の L4/5 と L5/S1 で多くみられ、全変性椎間板の 32.7%が L4/5，42.3%が L5/S1 で生じていた（表 4）。

表 2. 対象者のプロフィール

	男子, mean (SD)	女子, mean (SD)	P 値
年齢 (歳)	19.4 (1.1)	19.7 (1.1)	0.267
身長 (cm)	176.4 (5.9)	164.2 (4.3)	<0.001
体重 (kg)	74.3 (8.1)	60.0 (5.4)	<0.001
Body mass index (kg/m ²)	23.9 (2.0)	22.2 (1.8)	0.002
ボート競技歴 (年)	4.8 (1.4)	5.1 (2.0)	0.473

表 3. 椎間板変性率

	椎間板変性	
	Yes	No
全対象者 (N=68)	31 (45.6%)	37 (54.4%)
男子 (N=43)	21 (48.8%)	22 (51.2%)
女子 (N=25)	10 (40.0%)	15 (60.0%)

表 4. 椎間板変性分布

	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	椎間板変性 ^a
L1/2	1 (1.5%)	63 (92.6%)	3 (4.4%)	1 (1.5%)	-	4 (7.7%)
L2/3	1 (1.5%)	63 (92.6%)	4 (5.9%)	-	-	4 (7.7%)
L3/4	1 (1.5%)	62 (91.2%)	3 (4.4%)	2 (2.9%)	-	5 (9.6%)
L4/5	4 (5.9%)	47 (69.1%)	9 (13.2%)	6 (8.8%)	2 (2.9%)	17 (32.7%)
L5/S1	4 (5.9%)	42 (61.8%)	8 (11.8%)	9 (13.2%)	5 (7.4%)	22 (42.3%)

^a31名の52椎間が変性していた

2-4. 考察

本課題の目的は大学ボート選手の腰椎椎間板変性率ならびに変性分布を明らかにすることであった。大学ボート選手の椎間板変性率は45.6%であり、思春期ボート選手を対象とした先行研究⁴⁵⁾に比べ高値を示した。先行研究と変性率が異なった理由としては、先行研究の対象者のトレーニング強度が低かったことが考えられる。先行研究の対象者は週に2回のウェイトトレーニングを含む約2時間の練習を週に5回のみ行っており、本研究の対象者の半分以下の練習頻度であった。加えて、対象者が無症候性であったことも変性率が異なった一因である可能性がある。

本研究の対象者の変性率は同年代の一般人の変性率^{19,23)}と比べても高値を示した。定期的な運動習慣のない一般大学生の31.4%が1椎間以上に変性椎間板を有しており²³⁾、20代の一般女性の椎間板変性率は約30%¹⁹⁾であることがそれぞれ報告されている。ボート選手で高値を示した理由として、ローイング動作による椎間板への負荷が影響した可能性が考えられる。まず、ドライブ相では腰椎椎体に体重の4.6倍の軸圧がかかる³⁸⁾ことが明らかになっており、これにより生じる腰椎への繰り返しの負荷がボート選手の椎間板変性に影響した可能性がある。また、スweep種目における体幹回旋運動の影響も示唆される。先行研究において、体幹回旋運動が椎間板変性に関係することが報告されている。例えば、クリケ

ット選手を対象にした調査では、クリケット選手の椎間板変性が競技動作である counter-rotation（体幹の回旋動作）と関係すると報告されている⁴⁷⁾。さらに、胸腰椎の非線形有限要素モデルを用いた実験では、最大努力下の体幹回旋により軸圧力と剪断力が椎間板へ加わるとの報告がある⁴⁸⁾。ボート競技においても、スweep種目ではオール側への体幹片側回旋がエントリーフェイズで生じるため、この体幹回旋運動により腰椎へ加わる軸圧力と剪断力がボート選手の椎間板変性の一因である可能性がある。加えて、ローイング動作における過度の腰椎屈曲運動の影響も示唆される。腰椎は屈曲位になると椎間板への荷重負荷を増す⁴⁹⁾ことが明らかとなっている。スカル種目、スweep種目の両種目ともに体幹屈曲運動を繰り返すが、この体幹屈曲運動に伴い腰椎も屈曲位となると考えられる。したがって、ローイング動作における体幹屈曲も椎間板変性の一因となる可能性が考えられる。以上より、ローイング動作における体幹回旋運動と屈曲運動の繰り返しが椎間板変性を引き起こすことが示唆される。

さらに、午後に比べて早朝は椎間板への曲げのストレスが3倍になる⁵⁰⁾ことが報告されている。本邦の大学ボート選手は早朝より1時間以上漕ぐことも多いため、朝早くからの高強度の練習も椎間板変性に影響した可能性がある。加えて、今回の対象者の所属チームでは腰痛予防のための体幹スタビライゼーションエクササイズ等が行われていた。それ故、腰痛予防対策をしていないチームにおける椎間板変性率は本課題の結果よりもさらに高値を示す可能性がある。

本課題の限界として、ボート競技開始以前の競技歴が考慮されていない点が挙げられる。本研究では、競技歴3年以上の選手のみを対象としたが、ボート競技開始前にボート以外のスポーツ歴がある場合、そのスポーツ歴が椎間板変性に影響した可能性が考えられる。今後は、過去のスポーツ歴も考慮した検討を行う必要があると考える。

2-5. まとめ

本課題では、MR装置を用いて、脊椎の矢状面画像を撮像し、腰椎椎間板変性率ならびに変性分布を横断的に調査した結果、以下の結論を得た。

- ・大学ボート選手の椎間板変性率は45.6%であり、下位腰椎で変性が多くみられた。

[課題 1-2] 大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係

2-1. 背景

先行研究により椎間板変性は腰痛と関係することが報告されている^{22,23)}。しかしながら、これらの研究は横断研究であり、椎間板変性と腰痛との因果関係を明らかにすることは困難であった。一方で、近年、椎間板変性と腰痛との関係を前向き調査により検討した研究も行われ始めているが、縦断的研究自体がまだ少なく、ボート選手を対象にした研究はみられない。ボート選手においても椎間板変性が腰痛発症に関係する可能性がある。そこで本課題では、大学ボート選手を対象に縦断調査を行うこととし、縦断調査期間中の椎間板変性進行と腰痛との関係を検討することとした。

2-2. 対象および方法

2-2-1. 対象

横断研究の対象者のうち2年間の追跡調査が可能であった大学ボート選手20名（男子14名，女子6名）を縦断研究の対象とした。縦断研究の対象者について図6に示した。初回撮像から2年後に2回目の撮像を行った。2008年から2010年に追跡調査が可能であった対象者は9名，2010年から2012年は11名であった。初回撮像時に競技歴が3年未満であったため横断調査の対象から除外した者のうち初回撮像，2回目の撮像ともに参加可能であった選手が1名いた。縦断調査の結果には競技歴の影響が小さいと考えられたため，この1名を縦断研究の被験者に加えた。なお，縦断調査期間中に腰痛を発症した選手のうち初回撮像時に腰痛を有した者はいなかった。

初回撮像

2008~2010: 33 名
2010~2012: 21 名

2年後の撮像に参加できなかった対象者

2008~2010: 33 名中24 名
21 名 (大学を卒業)
1 名 (マネージャーへ転向)
1 名 (チームを辞めた)
1 名 (都合がつかなかった)

2010~2012: 21 名中10 名
7 名 (大学を卒業)
3 名 (舵手, マネージャーへ転向)

2年後の撮像

2008~2010: 9 名
2010~2012: 11 名

20名が縦断調査に参加した

図 6. 縦断研究の対象者

2-2-2. 椎間板変性の評価

縦断調査では、2 回目の撮像で初めてみられた新たな椎間板変性所見を「変性進行」と定義した。

2-2-3. 傷害調査

縦断調査に参加が可能であった 20 名のボート選手に対して傷害調査を実施した。初回撮像から 2 回目の撮像の間の腰痛発症の有無を後ろ向き調査した。傷害の評価は経験豊富なアスレティックトレーナーが行った。問診、視診、触診、整形外科的テストが傷害評価のために行われた。傷害の実態が不明確である場合は整形外科医による診察を受けた。腰痛のため、通常練習を 1 日以上休止した場合を「傷害」と定義した。縦断調査期間中に 1

回以上、腰痛を発症した選手を「腰痛者」と定義した。

2-2-4. 統計解析

縦断調査における腰痛と椎間板変性進行所見との関係について Fisher's exact probability test により比較した。統計処理には SPSS Statistics 21.0 を用い、有意水準は全て 5%とした。

2-3. 結果

2-3-1. 椎間板変性進行と腰痛（表 5）（図 7）

2 年間の縦断調査期間中に 5 名（7 椎間）に新たな変性所見がみられ、6 名が腰痛を発症した。新たな変性所見は腰痛者 6 名のうちの 4 名（66.7%）、非腰痛者 14 名のうち 1 名（7.1%）にみられ、腰痛者で有意に多かった（ $p=0.014$ ）。

表 5. 椎間板変性と腰痛

	椎間板変性進行	
	Yes	No
腰痛あり	4 (66.7%)	2 (33.3%)
腰痛なし	1 (7.1%)	13 (92.9%)

* $p=0.014$ (Fisher's exact probability test)



図 7. 椎間板変性進行

左図 初回撮像時の T2 強調画像 (19 歳男子選手)

右図 2 年後の T2 強調画像 (L4-L5 椎間板で新たな変性所見)

2-3-2. 腰痛の病態と練習休止期間（表 6）

2年間の縦断調査期間中に腰痛を発症した6名のうち変性進行を生じた4名では、椎間板性腰痛を生じた者が多かった。一方で、腰痛者6名のうち変性進行を生じなかった2名は、筋・筋膜性腰痛のみを生じた。

表 6. 腰痛の病態と練習休止期間

被験者	変性進行の有無	発症回数(回)	病態	休止期間
A	進行	1	椎間板障害	約 3 週間
B	進行	1	椎間板ヘルニア, 椎弓疲労骨折	約 1 週間
		2	棘上靭帯・棘間靭帯損傷	約 1 週間
C	進行	1	筋・筋膜性腰痛	約 3 週間
		2	椎間板ヘルニア	約 1 週間
		3	筋・筋膜性腰痛, 椎間関節症	約 1 週間
D	進行	1	筋・筋膜性腰痛	約 2 週間
		2	筋・筋膜性腰痛	約 10 週間
		3	筋・筋膜性腰痛	約 2 週間
E	非進行	1	筋・筋膜性腰痛	約 1 週間
F	非進行	1	筋・筋膜性腰痛	約 8 週間
		2	筋・筋膜性腰痛	約 2 週間
		3	筋・筋膜性腰痛	約 1 週間
		4	筋・筋膜性腰痛	約 1 週間

2-4. 考察

本課題の目的は大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係を明らかにすることであった。腰痛と変性進行の関係を調査した結果、非腰痛者と比較して腰痛者で変性進行の割合が有意に高かった。いくつかの横断研究^{22,23)}において、腰痛と椎間板変性との関係する可能性が報告されているが、本課題においても縦断調査期間中の腰痛が椎間板変性との関係することが示唆された。本研究と同様に縦断的に腰痛と椎間板変性との関係を調査した研究²⁴⁾では、線維輪損傷と慢性腰痛に関係がみられている。その一方で、高校アメリカンフットボール選手を対象に2年間の縦断調査を行った Nagashima et al の研究²⁵⁾においては、縦断調査期間中の腰痛と椎間板の T2 値の変化には関係がないと報告されている。Nagashima et al の研究では T2 値を用いて、わずかな変性変化も変性進行として評価していたのに対し、本研究では正常から変性への変化のみを変性進行としたため、結果に差が生じたものと推察される。

縦断調査期間中に生じた腰痛の病態を検討した結果、変性進行者では、椎間板性腰痛を生じた者が多かったが、変性進行を生じなかった者は筋・筋膜性腰痛のみを生じた。この結果から、椎間板変性の進行や変性が新たに出現することが腰痛発症に関与することが疑われる。

本課題の限界として、縦断調査の対象者が少ない点や腰痛の程度が Visual Analog Scale などを用いて定量的に評価されていない点が挙げられる。縦断調査期間中に腰痛と変性進行の両者がみられた被験者が 4 名いたが、この 4 名は特に重度な痛みを感じていた可能性がある。今後は対象者を増やし、腰痛の程度をより細かに検討した更なる調査が望まれる。

2-5. まとめ

本課題では、縦断調査期間中の変性進行所見と腰痛発症をそれぞれ調査し、椎間板変性と腰痛との関係を検討した結果、以下の結論を得た。

- ・縦断調査における腰椎椎間板変性進行所見は腰痛者で有意に多くみられた。

第3章 ローイング動作時の腰椎骨盤角度ならびに体幹・下肢筋活動解析

[課題 2-1] ローイング動作における腰椎骨盤角度と体幹・下肢筋活動様式

[課題 2-2] ローイング動作の継続が腰椎骨盤角度と体幹・下肢筋活動に与える影響

3-1. 背景

課題 1 より、ボート選手の腰痛発症には椎間板変性が関係する可能性が示唆された。椎間板変性の要因としては過度のスポーツ活動が影響すると推察されており²⁰⁾、ボート選手においてもローイング動作が椎間板変性に影響する可能性がある。さらに、課題 1 において、ボート選手の椎間板変性は一般人よりも頻度が高く、競技との関連が示唆された。

そこで課題 2 では、椎間板変性および腰部障害発生要因を検証することを目的にボート競技の挙動解析・筋活動解析を行うこととした。ボート選手における腰痛発症の要因として、ローイング動作の継続により生じる動作不良が報告されている^{32,33,35,36)}。疲労などにより適切なフォームが崩れることで、腰部への負担が大きくなり腰部障害発症につながる可能性がある。

以上より、本課題においては、2000m タイムトライアルを行い、ローイング動作における腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動様式を明らかにすること、ならびにローイング動作の継続が腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動に与える影響を明らかにすることを目的とした。

3-2. 対象および方法

3-2-1. 対象

競技歴 3 年以上の大学ボート選手 8 名（男子 5 名，女子 3 名）（年齢 20.3 ± 1.0 歳，身長 174.5 ± 7.3 cm，体重 67.3 ± 6.5 kg，競技歴 5.6 ± 2.1 年）を対象とした。全対象者が同一チームに属していた。対象者 8 名のうち 4 名が変性椎間板を保有し，7 名が競技や日常生活に支障をきたすほどの腰痛の既往を有していた。本課題は早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理審査委員会における審議・承認を得て行われた（承認番号：2012-223）。全ての被験者に研究の説明を行い，文書による同意を得た後，実験を行った。

3-2-2. 課題試技

課題試技はローイングエルゴメーター（モデル D，CONCEPT2 社製）を用いた陸上での 2000m タイムトライアルとした。ローイングエルゴメーターはトレーニングやトライアルにも多く使用されており，水上に極めて近い動作が可能である。加えて，エルゴメータートレーニングと腰痛との間に関係があることが多くの研究で示唆されている⁷⁾ことからエルゴメーターでの測定が有用であると考えた。被験者は各自で十分にアップを行ったのち，まず最大随意収縮（Maximum Voluntary Contraction：以下 MVC）時の筋活動量を測定し，その後 2000m タイムトライアルを実施した。レート（1 分間のストローク数）は指定せず，普段のレースペースと同等に漕ぐよう各被験者に指示した。

3-2-3. キネマティクスデータの収集

計測には、デジタルビデオカメラ（EXILIM EX-FH25, CASIO 社製）を使用し、フレームレートは 29.97fps にて撮影した。カメラは被験者の左側面 3m の距離に三脚を用いて設置した。動画データおよび筋電図は同期スイッチ（原田電子工業社製）を用いて同期させた。直径 19mm の反射マーカを第 1 腰椎棘突起（以下 L1）、第 3 腰椎棘突起（以下 L3）、第 5 腰椎棘突起（以下 L5）、左の上後腸骨棘（以下 PSIS）、左の大腿骨外側上顆、ローイングエルゴメーターのハンドル左側面、シートの左側面に貼付した。L1, L3, L5 に貼付した反射マーカの正中には木製の棒（長さ 65mm, 直径 2.15mm, やなぎプロダクツ社製）を垂直に指し、フィニッシュの際にマーカが隠れないようにした。また、左の上前腸骨棘（以下 ASIS）のみ直径 30mm の反射マーカを貼付した（図 8）。なお、これ以外にもマーカを貼付したが本研究では解析に使用しなかった。

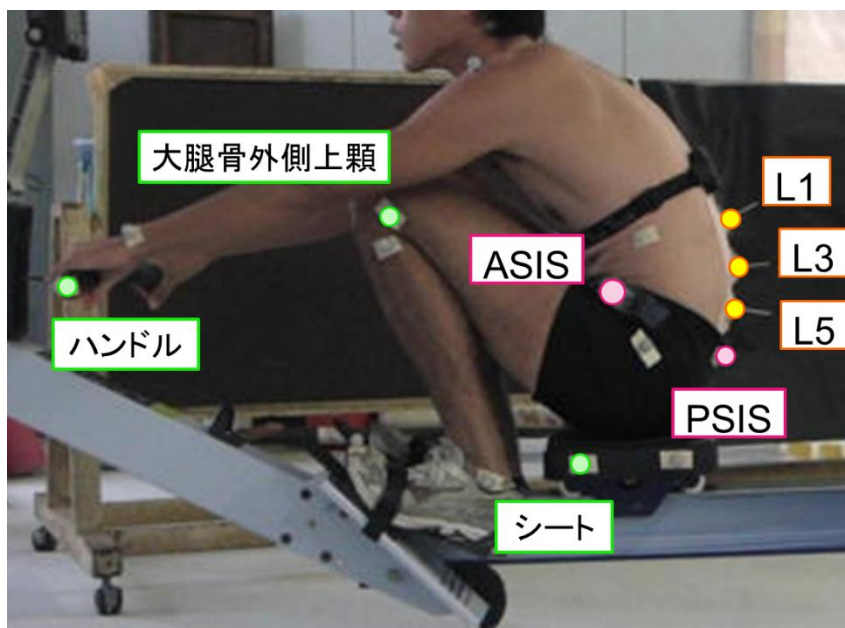


図 8. マーカ貼付位置

3-2-4. 筋電データの収集

筋活動は無線筋電テレメーター（原田電子工業社製）（図9）を用いて記録し，筋電図測定には表面電極 Blue Sensor N（N-00-S/25，Ambu 社製）を用いた．サンプリング周波数 983.217Hz にてデータ収集した．表面電極を貼付する前に，皮膚研磨剤（スキンプュア YZ-0019，日本光電工業社製）およびアルコールを用いて，皮膚抵抗が $2K\Omega$ 以下になるまで角質除去を行った．被験筋は全て右側の腹直筋，外腹斜筋，内腹斜筋，多裂筋，脊柱起立筋，広背筋，大腿直筋，大腿二頭筋とした（図10）．電極貼付位置は，腹直筋（臍から外側 3cm），外腹斜筋（臍から外側 15cm），内腹斜筋（上前腸骨棘から 2 横指内側），多裂筋（L5 棘突起から外側 2cm）⁵¹，脊柱起立筋（L3 棘突起から外側 3cm），広背筋（後腋窩壁に沿って 3 横指下方），大腿直筋（上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結んだ中点），大腿二頭筋（腓骨頭と坐骨結節を結んだ中点）とし，各筋の筋線維方向と平行に表面電極を貼付した．



図9. 無線筋電テレメーター

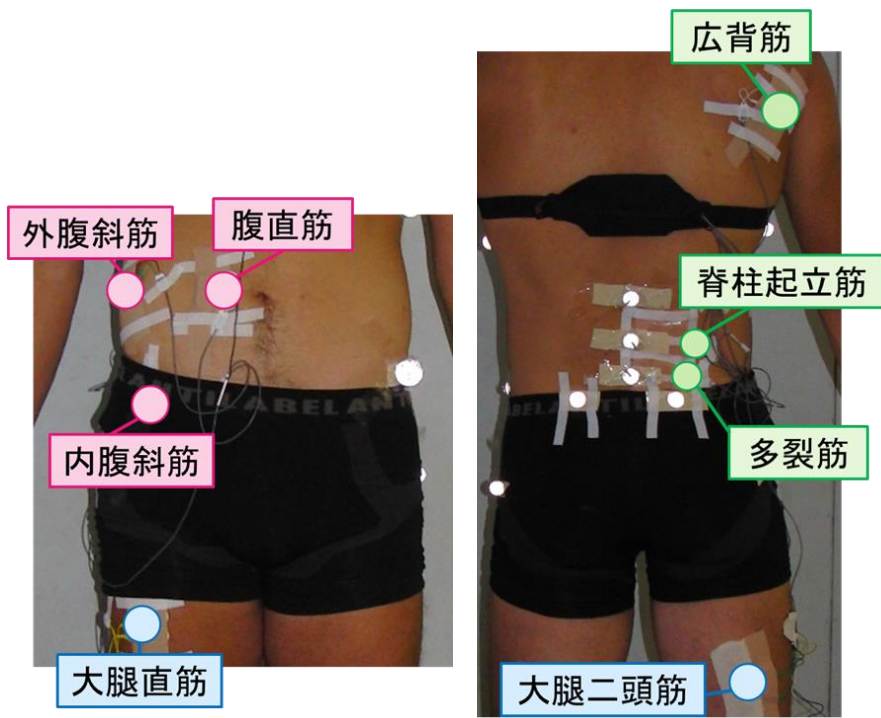


図 10. 被験筋

3-2-5. 最大随意収縮時の筋電位導出

MVC 時の筋活動量を測定し、各条件の筋活動量の正規化の指標とした。徒手による負荷をかけ、随意的な最大等尺性収縮での筋発揮を 5 秒間させ、その時の筋電位を記録した。なお、全ての筋の MVC 測定にあたり、被験者は練習を行い、肢位および収縮方法が十分に確認された状態で筋電位測定を行った。

腹直筋は仰臥位にて膝関節 90° 屈曲位、手を頭の後ろで組み、体幹屈曲 45° にて両肩に徒手抵抗を加えて測定した。外腹斜筋は腹直筋と同様の測定肢位から体幹を左回旋させ、右肩に徒手抵抗を加えて測定した。内腹斜筋は腹直筋と同様の測定肢位から体幹を右回旋させ、左肩に徒手抵抗を加えて測定した。多裂筋および脊柱起立筋は腹臥位にて大腿部を固定し、手を頭の後ろで組み体幹を伸展させ、両肩甲帯に徒手抵抗を加えて測定した。広背筋はベッド端から測定側の肩をたらしした状態で腹臥位となり、肩関節を伸展させ、上腕に徒手抵抗を加えて測定した。この時、体幹の回旋が生じないように注意した。大腿直筋は両手を身体の両脇に置いた端座位で膝関節最大伸展位にて膝関節伸展を保つように指示し、下腿前面に膝関節屈曲方向に徒手抵抗を加えて測定した。大腿二頭筋は腹臥位で膝関節 45° 屈曲位にて膝関節屈曲を保つように指示し、下腿後面に膝関節伸展方向に徒手抵抗を加えて測定した。この時、体幹の回旋が生じないように骨盤を抑えて固定した。

3-2-6. 期分け・解析区間

ハンドルの左側面につけたマーカーの値から、「キャッチ」、「ミドル」、「フィニッシュ」を定義した。座標の定義は左右を X 座標とした。ハンドルにつけたマーカーの X 座標が最小値を示す時点を「キャッチ」、ハンドルにつけたマーカーが大腿骨外側上顆上にあるか最も近い時点（両 X 座標が一致するか最も近い時点）を「ミドル」、ハンドルにつけたマーカーの X 座標が最大値を示した時点を「フィニッシュ」とした。キャッチ～ミドルを「ドライブ前期」、ミドル～フィニッシュを「ドライブ後期」、フィニッシュから次のキャッチを「フォワード期」と定義した（図 11）。なお、キャッチから次のキャッチまでを「ストローク」とした。シートの左側面につけたマーカーの X 座標値が増加した時点を「試技開始」とした。解析区間は 2000m タイムトライアル所要時間の 20, 80%経過直後の 3 ストロークとし、3 ストロークの平均値を代表値として採用した。

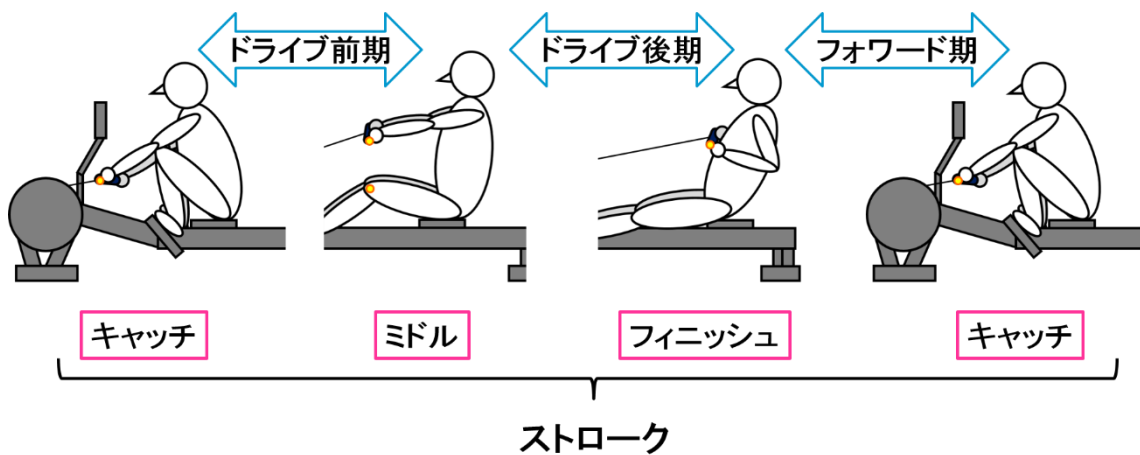


図 11. 期分け

3-2-7. 筋電データの解析

筋電図解析には BIMTUS-Video (KISSEI COMTEC 社製) を使用した。測定した筋電位を 20-500Hz のバンドパスフィルターにてフィルター処理を行うことでモーションアーチファクトを除去し、全波整流した。MVC 時の筋電位は、MVC 試技の中で 1 秒間の振幅の合計が最大となる区間における、1 秒間の Root Mean Square (以下 RMS) を算出した。ドライブ前期、ドライブ後期、フォワード期の RMS を算出し、MVC 時の RMS で除すことにより各筋の%MVC を算出した。

3-2-8. 腰椎骨盤角度の解析

角度算出には、画像分析ソフト DIPP-MOTION PRO (DITECT 社製) を使用した。キャッチ、ミドル、フィニッシュにおける①骨盤傾斜角度 (ASIS-PSIS を結ぶ直線と PSIS を通る水平線とが成す角度)、②腰椎角度 (L1-L3 を結ぶ直線と L3-L5 を結ぶ直線とが成す角度) をそれぞれ算出した (図 12)。骨盤傾斜角度は基本軸を PSIS を通る水平線、移動軸を ASIS-PSIS とし、後傾方向に回転した場合を正とした。腰椎角度は基本軸を L3-L5 を結ぶ直線、移動軸を L1-L3 を結ぶ直線とし、伸展方向に回転した場合を正とした。DIPP-MOTION PRO において手動デジタイズによって得られた画像上の座標値から二次元 DLT 法 (Direct Linear Transformation method) を用いて、被験者のマーキングポイントの実座標を算出した。その後 DIPP-MOTION PRO の解析項目である「2 直線角度」を用いて、腰椎角度を算出した。骨盤傾斜角度はマーキングポイントの実座標より計算にて算出した。PSIS を座標の原点とし、Microsoft Excel の ATAN2 関数を用いて算出した。

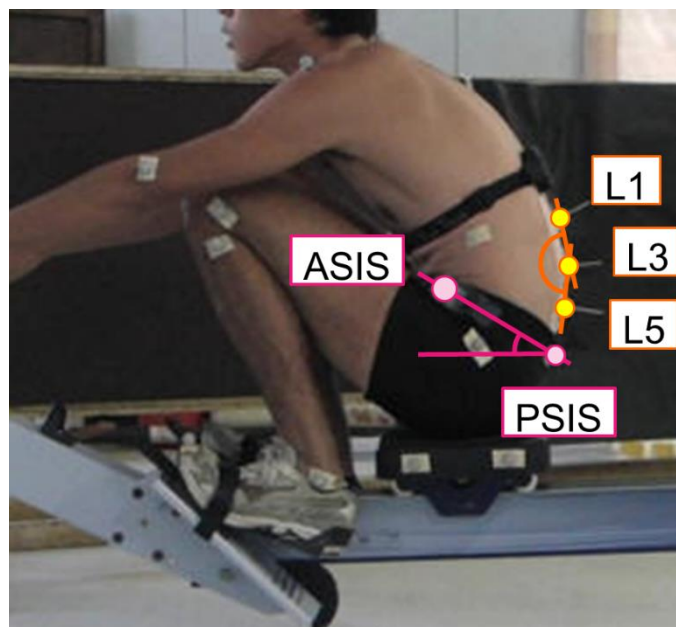


図 12. 算出角度

3-2-9. 角度算出の再現性検証

本課題においては、手動デジタイズによって得られた座標値から実座標を算出したため、角度算出の再現性検証を行った。同一被験者1名を対象とし、タイムトライアル所要時間の20%経過直後の1ストロークのキャッチにおける各角度を同一検者によって1日に1回ずつ10日間算出した。10回の算出角度の変動係数（ $CV = (SD/Mean) * 100$ ）を算出した。その結果、変動係数は骨盤傾斜角度 1.3%、腰椎角度 0.3%であり、良好な再現性が示された（表7）。

表7. 角度算出の誤差

回数	骨盤傾斜角度 (°)	腰椎角度 (°)
1	33.0	166.0
2	33.4	166.0
3	33.4	166.8
4	32.0	165.3
5	32.7	166.0
6	33.0	165.3
7	32.7	165.3
8	32.7	166.0
9	32.5	165.3
10	32.4	166.0
Mean	32.8	165.8
CV(%)	1.3	0.3

3-2-10. 統計解析

全ての測定項目は平均値±標準偏差で表記した。データの正規性を確認するため、kolmogorov-smirnov 検定を行った。正規性の検定の結果、筋活動量についてはノンパラメトリック検定を選択した。

まず、期ごとの比較では、タイムトライアル所要時間の 20%経過直後の骨盤傾斜角度、腰椎角度について、期（キャッチ・ミドル・フィニッシュ）を要因とした繰り返しのある一元配置分散分析を行い、有意差を認めた場合は Bonferroni 法により事後検定を実施した。20%経過直後の腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、多裂筋、脊柱起立筋、広背筋、大腿直筋、大腿二頭筋の筋活動量について、フリードマン検定を行い、有意差を認めた場合はウィルコクソンの符号付順位検定で対比較を実施した。統計処理には SPSS Statistics 22.0 を用い、有意水準は 5%とした。なお、ウィルコクソンの符号付順位検定による各対比較の名義水準は、有意水準 0.05 を対比較の総数 3 で除した 0.01667 とした⁵²⁾。

次に、経時変化による比較では、骨盤傾斜角度、腰椎角度について、対応のある t 検定（20%経過時 vs. 80%経過時）を実施した。また、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、多裂筋、脊柱起立筋、広背筋、大腿直筋、大腿二頭筋の筋活動量について、ウィルコクソンの符号付順位検定（20%経過時 vs. 80%経過時）を行った。統計処理には SPSS Statistics 22.0 を用い、有意水準は全て 5%とした。

3-3. 結果

3-3-1. 期ごとの比較

① 各期における骨盤傾斜角度 (図 13)

タイムトライアル所要時間の 20%経過直後の骨盤傾斜角度は、キャッチ $29.5 \pm 11.5^\circ$, ミドル $58.0 \pm 8.0^\circ$, フィニッシュ $64.7 \pm 7.6^\circ$ であり、各期に有意な主効果を認めた ($p < 0.01$). キャッチ, ミドル, フィニッシュの順に骨盤後傾角度が有意に増加した ($p < 0.01$).

② 各期における腰椎角度 (図 14)

タイムトライアル所要時間の 20%経過直後の腰椎角度は、キャッチ $169.5 \pm 2.6^\circ$, ミドル $172.4 \pm 5.2^\circ$, フィニッシュ $172.5 \pm 3.4^\circ$ であった。各期の腰椎角度に有意差を認めなかった ($p = 0.195$).

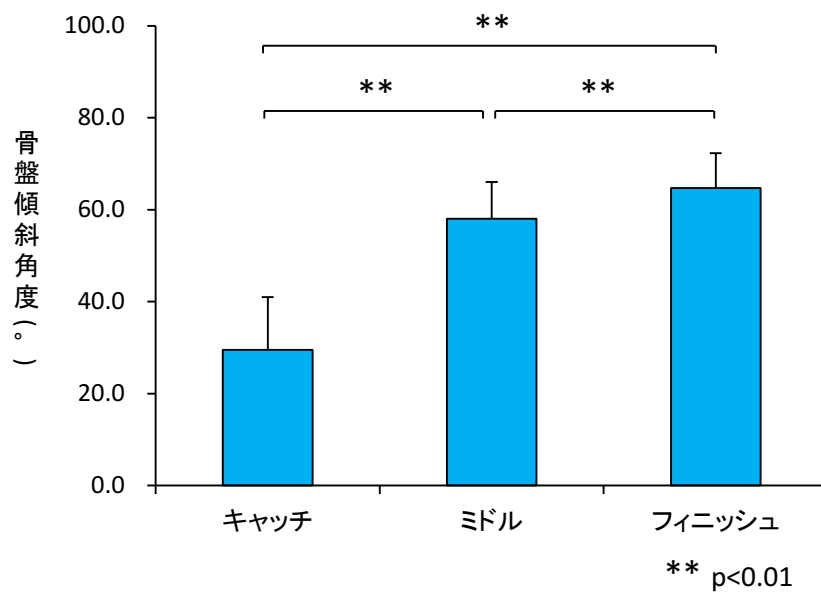


図 13. 各期における骨盤傾斜角度

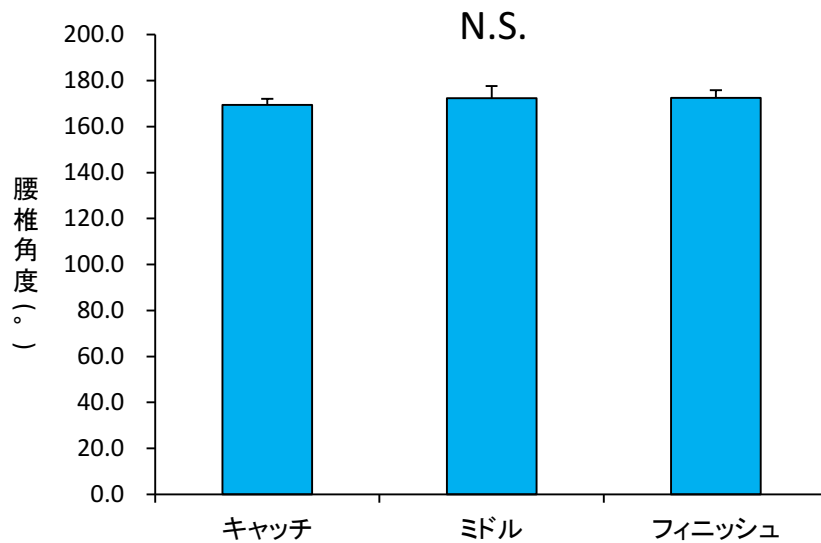


図 14. 各期における腰椎角度

③ 各期における体幹・下肢筋活動量 (図 15, 16, 17)

タイムトライアル所要時間の 20%経過直後における各被験筋の筋活動量を図 15, 16, 17 に示す。腹直筋の筋活動量は、ドライブ前期 $5.4 \pm 5.0\%MVC$ 、ドライブ後期 $45.1 \pm 21.4\%MVC$ 、フォワード期 $27.9 \pm 15.3\%MVC$ 、外腹斜筋の筋活動量は、ドライブ前期 $14.7 \pm 14.5\%MVC$ 、ドライブ後期 $50.1 \pm 36.2\%MVC$ 、フォワード期 $30.7 \pm 24.3\%MVC$ であった。いずれも期により筋活動量は異なり ($p < 0.01$)、ドライブ後期、フォワード期の筋活動量はドライブ前期と比較して有意に大きかった ($p < 0.01667$)。内腹斜筋の筋活動量は、ドライブ前期 $10.4 \pm 5.3\%MVC$ 、ドライブ後期 $39.3 \pm 28.4\%MVC$ 、フォワード期 $35.5 \pm 21.9\%MVC$ であり、期により筋活動量は異なったが ($p < 0.05$)、事後検定では有意差を認めなかった。多裂筋の筋活動量は、ドライブ前期 $28.1 \pm 7.5\%MVC$ 、ドライブ後期 $8.5 \pm 6.4\%MVC$ 、フォワード期 $6.7 \pm 6.9\%MVC$ 、脊柱起立筋の筋活動量は、ドライブ前期 $39.3 \pm 12.0\%MVC$ 、ドライブ後期 $11.9 \pm 13.3\%MVC$ 、フォワード期 $6.4 \pm 5.8\%MVC$ であった。いずれも期により筋活動量は異なり ($p < 0.01$)、ドライブ前期の筋活動量はドライブ後期、フォワード期と比較して有意に大きかった ($p < 0.01667$)。広背筋の筋活動量は、ドライブ前

期 $34.4 \pm 34.4\%MVC$ ，ドライブ後期 $43.2 \pm 43.7\%MVC$ ，フォワード期 $11.9 \pm 8.0\%MVC$ であり，期による有意差を認めなかった ($p=0.093$)。大腿直筋の筋活動量は，ドライブ前期 $25.9 \pm 16.7\%MVC$ ，ドライブ後期 $57.6 \pm 21.2\%MVC$ ，フォワード期 $31.0 \pm 9.1\%MVC$ であり，期により筋活動量は異なった ($p<0.01$)。ドライブ後期の筋活動量はドライブ前期，フォワード期と比較して有意に大きかった ($p<0.01667$)。大腿二頭筋の筋活動量は，ドライブ前期 $58.2 \pm 28.8\%MVC$ ，ドライブ後期 $20.6 \pm 23.1\%MVC$ ，フォワード期 $12.1 \pm 8.9\%MVC$ であり，期により筋活動量は異なった ($p<0.01$)。ドライブ前期の筋活動量はドライブ後期，フォワード期と比較して有意に大きかった ($p<0.01667$)。

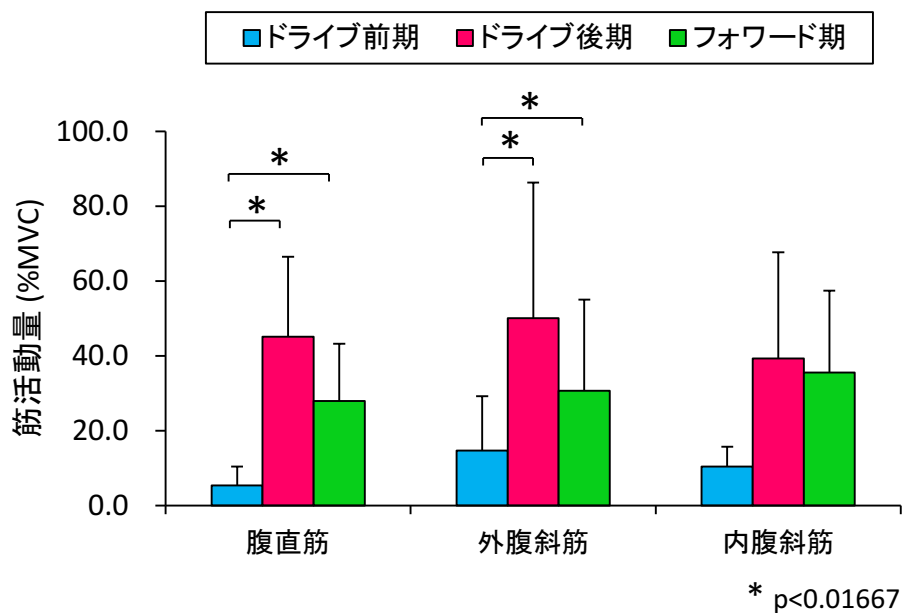


図 15. 各期における腹筋群の筋活動量

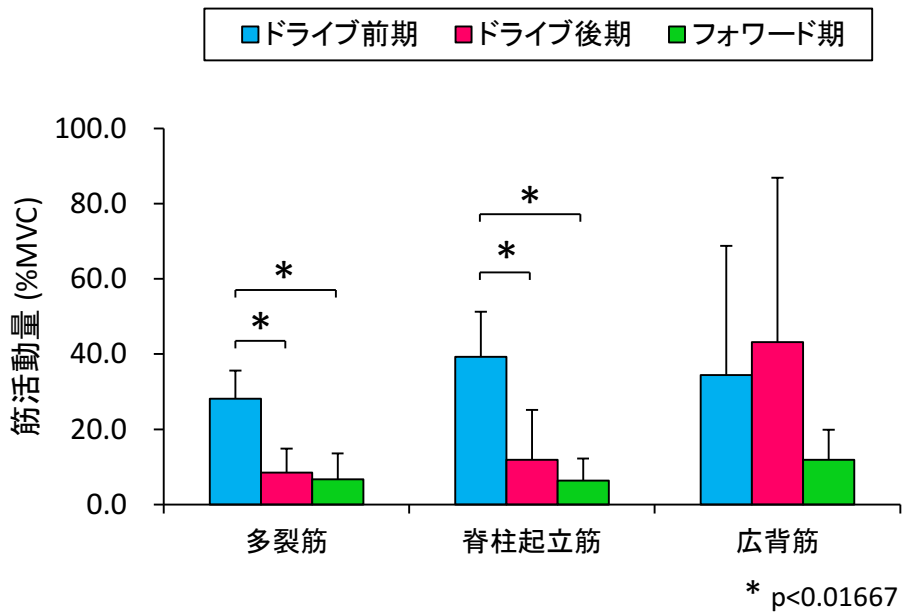


図 16. 各期における背筋群の筋活動量

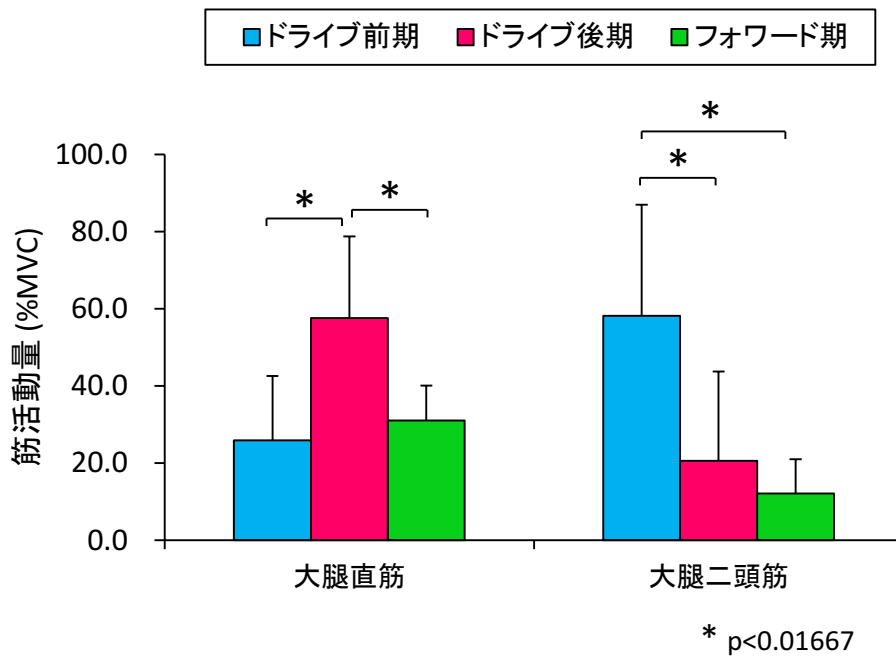


図 17. 各期における下肢筋群の筋活動量

3-3-2. 経時変化による比較

① トライアル前半部-後半部の骨盤傾斜角度 (図 18)

キャッチにおける骨盤傾斜角度は、20%経過時 $29.5 \pm 11.5^\circ$ 、80%経過時 $33.5 \pm 9.7^\circ$ 、ミドルでは20%経過時 $58.0 \pm 8.0^\circ$ 、80%経過時 $60.6 \pm 7.2^\circ$ であり、いずれも20%経過時に比べ、80%経過時において骨盤後傾角度が増加した ($p < 0.05$)。一方、フィニッシュにおける骨盤傾斜角度は、20%経過時 $64.7 \pm 7.6^\circ$ 、80%経過時 $66.2 \pm 6.9^\circ$ であり有意差を認めなかった ($p = 0.12$)。

② トライアル前半部-後半部の腰椎角度 (図 19)

キャッチにおける腰椎角度は、20%経過時 $169.5 \pm 2.6^\circ$ 、80%経過時 $165.2 \pm 2.6^\circ$ であり、20%経過時に比べ、80%経過時において腰椎屈曲角度が増加した ($p < 0.05$)。一方、ミドルにおける腰椎角度は、20%経過時 $172.4 \pm 5.2^\circ$ 、80%経過時 $172.9 \pm 5.5^\circ$ 、フィニッシュにおける腰椎角度は、20%経過時 $172.5 \pm 3.4^\circ$ 、80%経過時 $171.4 \pm 3.7^\circ$ であり、いずれも有意差を認めなかった (ミドル $p = 0.813$ 、フィニッシュ $p = 0.336$)。

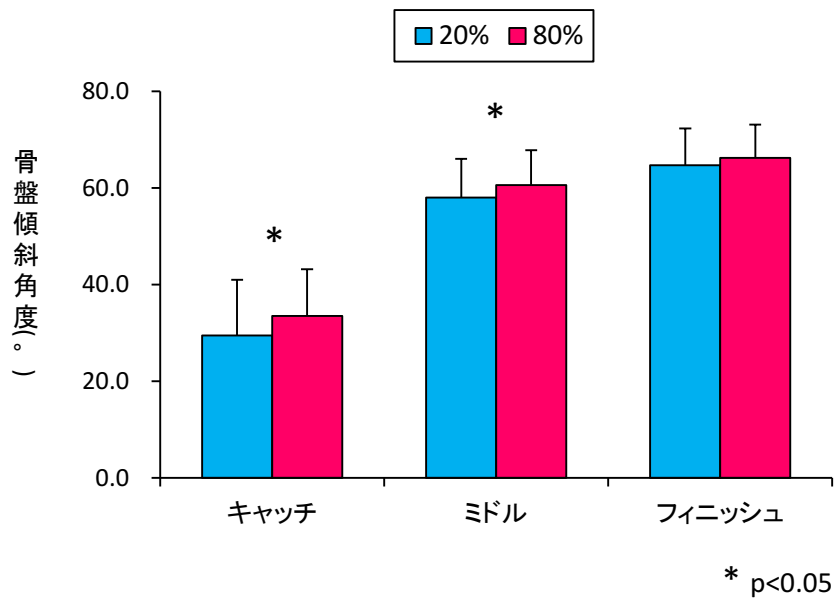


図 18. トライアル前半部-後半部の骨盤傾斜角度

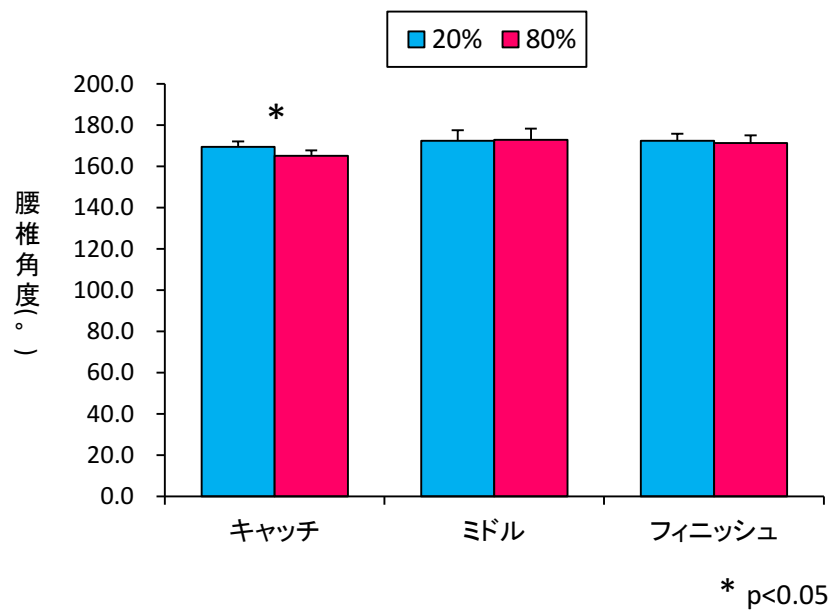


図 19. トライアル前半部-後半部の腰椎角度

③ トライアル前半部-後半部の体幹・下肢筋活動量 (図 20, 表 8)

各被験筋のトライアル前半部と後半部における筋活動量を図 20 に示す。ドライブ前期における多裂筋の筋活動量は 20%経過時 $28.1 \pm 7.5\%MVC$, 80%経過時 $31.0 \pm 8.3\%MVC$, 脊柱起立筋の筋活動量は 20%経過時 $39.3 \pm 12.0\%MVC$, 80%経過時 $43.9 \pm 14.4\%MVC$ であり, いずれも 20%経過時に比べ, 80%経過時において筋活動量が増加した ($p < 0.05$)。

一方, フォワード期における腹直筋の筋活動量は 20%経過時 $27.9 \pm 15.3\%MVC$, 80%経過時 $19.9 \pm 15.1\%MVC$ であり, 20%経過時に比べ, 80%経過時において筋活動量が減少した ($p < 0.05$)。また, ドライブ後期における大腿二頭筋の筋活動量は 20%経過時 $20.6 \pm 23.1\%MVC$, 80%経過時 $13.9 \pm 18.1\%MVC$ であり, 20%経過時に比べ, 80%経過時において筋活動量が減少した ($p < 0.05$)。その他の被験筋の筋活動量はいずれも時間による有意な変化を認めなかった (表 8)。

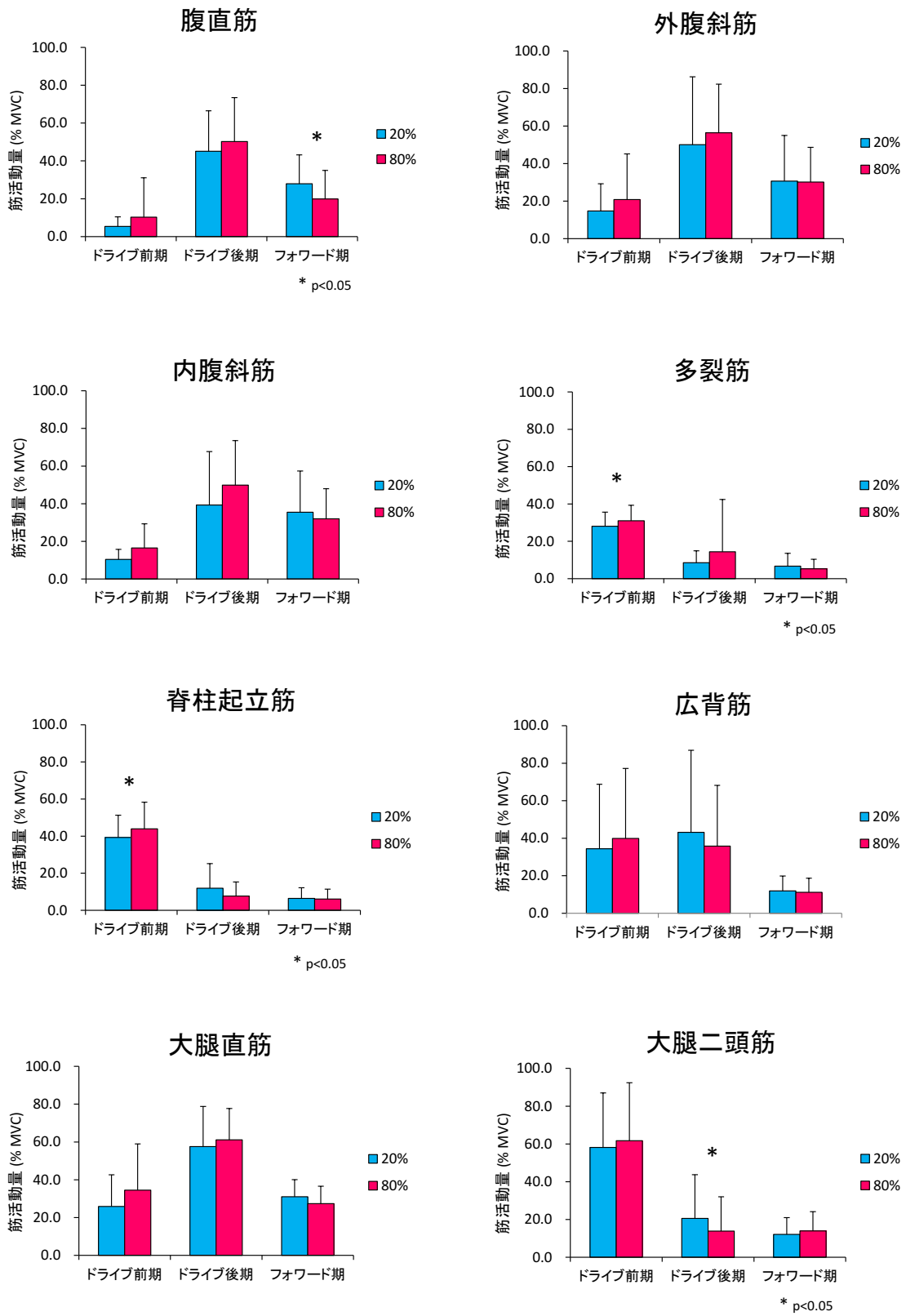


図 20. トライアル前半部-後半部の体幹・下肢筋活動量

表 8. トライアル前半部-後半部の体幹・下肢筋活動量

	ドライブ前期		ドライブ後期		フォローード期		p 値		
	20%経過時	80%経過時	20%経過時	80%経過時	20%経過時	80%経過時			
腹直筋	5.4±5.0	10.3±20.8	0.596	45.1±21.4	50.2±23.3	0.401	27.9±15.3	19.9±15.1	0.017*
外腹斜筋	14.7±14.5	20.8±24.4	0.362	50.1±36.2	56.4±26.0	0.161	30.7±24.3	30.2±18.5	1.0
内腹斜筋	10.4±5.3	16.5±12.8	0.161	39.3±28.4	49.9±23.6	0.183	35.5±21.9	32.0±16.0	0.889
多裂筋	28.1±7.5	31.0±8.3	0.036*	8.5±6.4	14.4±28.0	0.31	6.7±6.9	5.3±5.1	0.686
脊柱起立筋	39.3±12.0	43.9±14.4	0.025*	11.9±13.3	7.7±7.6	0.069	6.4±5.8	6.1±5.3	0.888
広背筋	34.4±34.4	39.9±37.3	0.263	43.2±43.7	35.8±32.4	0.208	11.9±8.0	11.2±7.5	0.205
大腿直筋	25.9±16.7	34.5±24.5	0.093	57.6±21.2	61.1±16.6	0.575	31.0±9.1	27.4±9.2	0.484
大腿二頭筋	58.2±28.8	61.7±30.7	0.123	20.6±23.1	13.9±18.1	0.018*	12.1±8.9	14.0±10.2	0.208

単位：%MVC

3-4. 考察

本課題の目的は 2000m タイムトライアルを行い、ローイング動作における腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動様式を明らかにすること、ならびにローイング動作の継続が腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動に与える影響を明らかにすることであった。

まず、期ごとの腰椎骨盤角度の比較では、キャッチ、ミドル、フィニッシュの順に骨盤後傾角度が有意に増加したが、腰椎角度は有意差を認めなかった。この結果から、腰椎はドライブ相で大きな屈曲伸展挙動を伴わないことが推察される。また、骨盤傾斜角度の変化には骨盤だけでなく、上体の動きも影響すると考えられるため、その点を考慮する必要があると考える。

次に、期ごとの筋活動量の比較では、背筋群である脊柱起立筋、多裂筋の筋活動量はいずれもドライブ前期で有意に大きかった。骨盤はフィニッシュに向け後傾したが、腰椎は1ストロークにおいて有意な角度変化を示さなかったことから、ドライブ前半では骨盤後傾に伴い腰椎が屈曲しないように多裂筋が遠心性収縮し、姿勢保持の働きをしたと考える。また、大腿二頭筋は Pollock et al³⁶⁾の研究においても、ストロークの 18%経過時に **peak amplitude** を記録しており、先行研究同様の結果であった。ドライブ後期ではフィニッシュ局面で膝関節を最大まで伸展しオールを押し切るため、強力な膝関節伸展筋である大腿直筋の活動量が大きくなったと考える。また、ドライブ後期では上体を後ろに向かって強く振り、フィニッシュで停止する動きを生じることから、上体が後ろに行き過ぎるのを止めるため、体幹屈曲筋である腹筋群は体幹屈曲位の保持として働いたと考えられる。それゆえ、腹直筋、外腹斜筋の活動量がドライブ後期で大きくなったと考えられる。フォワード期では体幹屈曲運動を伴うセットが生じるため、この期で腹筋群は主動筋として働き、活動量が大きくなったと考える。

経時変化による比較では、キャッチとミドルにおける骨盤後傾角度、キャッチにおける腰椎屈曲角度がトライアル後半部で増加した。腰椎屈曲運動時、髄核は後方へ押し出され、その圧が線維輪の後方組織を緊張させる³⁴⁾と報告されている。つまり、腰椎は屈曲位

になると椎間板への荷重負荷が増す⁴⁹⁾ことや、腰椎後方要素の靭帯などの軟部組織へ伸張ストレスを与える³⁴⁾ことから、トライアル後半部において椎間板や腰椎後方の軟部組織への負荷増大が生じる可能性がある。

本研究の筋活動量の結果では、トライアル後半部においてドライブ前期の脊柱起立筋・多裂筋の活動量が増加したが、これは前述した Caldwell et al³²⁾の研究と同様の結果であった。ドライブ前期で背筋群の筋活動量が高まったことから、背筋群はこの期で腰椎の屈曲動作を制御するために活動したと考える。脊柱起立筋・多裂筋は腰椎の分節間運動を制御し、とりわけ多裂筋は腰椎の分節的安定性コントロールに大きく影響すると報告される⁵³⁾。脊柱起立筋と多裂筋は骨盤前傾、脊椎伸展の作用を持つが、トライアル後半部において、その作用に反する骨盤後傾や腰椎屈曲が生じたことから、ローイング動作の反復により筋疲労が生じ、体幹固定機能が低下した可能性がある。また、一般の腰痛者では多裂筋、脊柱起立筋の筋断面積が減少する⁵⁴⁾が、腰痛を有するボート選手では健常な選手と比べ筋断面積が大きい⁵⁵⁾との報告がある。したがって、腰痛を有するボート選手はローイング動作時に脊柱起立筋の過活動を生じている可能性がある。以上から、後半部での過剰な脊柱起立筋の収縮が筋・筋膜性腰痛の一因となると考えられ、脊柱起立筋の腰痛への関与が示唆された。また、フォワード期においては、腹直筋の活動量がトライアル後半部で低下した。体幹屈曲筋でありセットの主動作筋の1つでもある腹直筋の活動量低下により、トライアル後半部では適切なセットポジションをとることが難しい可能性が考えられる。しかしながら、本課題においては、セットポジションにおける動作解析を行っていないため、動作との関連は不明である。

本課題の限界として、マーカーを皮膚やスパッツ上に貼付したため、動作により骨指標から僅かにずれていた可能性がある。また、本課題は二次元計測法を採用しており、矢状面のみの解析となった。そのため、体幹の側屈や回旋等を考慮していない。より詳細な解析を行うために、今後三次元計測法を行うことも検討する必要がある。さらに、本課題においては、被験者が男女混合であり、男女別の検討を行っていない。先行研究において

も、Caldwell et al の研究等、男女合わせた解析が行われているが、今後は性差の影響を考慮し、男女別に検討を行う必要があると考える。加えて、本課題では対象者の腰痛の有無や椎間板変性の有無を考慮していないため、動作継続時の変化が腰痛者や変性者に特異的なものであるかは明らかでない。今後は、対象者を詳細に分類し検討を行うことで、腰部障害発症者に特異的な動作や筋活動様式が明らかになることが期待される。また、本課題ではローイングエルゴメーターを用いての測定であったが、ボートレースは水上で行われるため、今後は水上でローイング動作を継続した際の変化も検討する必要がある。

3-5. まとめ

本課題では、ローイング動作における腰椎骨盤角度および体幹・下肢筋活動を解析し、期ごとの比較、経時変化による比較をした結果、以下の結論を得た。

期ごとの比較

キャッチ、ミドル、フィニッシュの順に骨盤後傾角度が増加する。背筋群（多裂筋、脊柱起立筋）の筋活動量はドライブ前期で大きく、腹筋群（腹直筋、外腹斜筋）の筋活動量はドライブ後期とフォワード期で大きい。

経時変化による比較

ローイング動作の継続により、トライアル後半部で、キャッチとミドルの骨盤後傾角度、キャッチの腰椎屈曲角度が増加する。筋活動量の結果では、ドライブ前期の脊柱起立筋・多裂筋の活動量がトライアル後半部で増加する。腰椎屈曲挙動の増加による椎間板への荷重増大が椎間板変性に、過剰な脊柱起立筋の収縮が筋・筋膜性腰痛の発生に関与する可能性がある。

第4章 椎間板変性疾患感受性遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響の検討

4-1. 背景

課題 1 の結果より、椎間板変性とローイング動作との関連を疑い、課題 2 で検討した結果、ローイング動作の継続により椎間板への負荷が増大する可能性が考えられた。椎間板変性とローイング動作との関連が示唆されるが、椎間板変性には遺伝要因の影響が大きいことが報告されている⁴³⁾。そこで、本課題では、椎間板変性疾患感受性遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響を検討することを目的とした。

4-2. 対象および方法

4-2-1. 対象

競技歴 2 年以上の大学ボート選手 23 名（男子 16 名，女子 7 名）（年齢 19.7 ± 1.0 歳，身長 173.1 ± 8.2 cm，体重 70.3 ± 9.8 kg，競技歴 5.5 ± 2.0 年）を対象とした。全対象者が同一チームに属していた。本課題は早稲田大学のヒトゲノム・遺伝子解析研究倫理委員会における審議・承認を得て行われた（承認番号：2010-G001）。全ての被験者に研究の説明を行い、文書による同意を得た後、実験を行った。

4-2-2. 椎間板変性の評価

全対象者の腰椎 MR 矢状断 T2 強調画像を評価した。1.5-T MR 装置（Signa HDxt XV, GE Healthcare, Tokyo, Japan）を用いて、腰椎 MR 矢状断 T2 強調画像を撮像した。撮像シーケンスは、全て課題 1 と同じであった。撮像は仰臥位にて行い、4-channel の spine coil を使用した。評価方法も全て課題 1 と同一とし、変性椎間板を 1 椎間以上保有する者を「変性保有者」に分類した。

4-2-3. 試料採取と DNA 抽出

DNA 抽出キット ORAgene・DNA (DNA genotek 社製, Ontario, Canada) を用いて, 唾液より DNA を抽出した. 被験者に採取方法を説明したのち, キットを渡し, 唾液 2ml を採取した. 規定量以上の唾液が採取できていることを確認し, 検者がその場で回収した.

4-2-4. 匿名化作業

ヒトゲノム・遺伝子解析研究倫理委員会の立会いのもと, 連結可能匿名化にて, 匿名化作業を行った. 分析に必要と考えられたデータ (性別, 身長, 体重, 競技歴, 椎間板変性の有無等) を Microsoft Excel にまとめた. その Excel データと唾液検体に ID 番号を付け, 匿名化作業を行った.

4-2-5. DNA 塩基配列の解析と多型の同定

椎間板変性や椎間板ヘルニアとの関連が報告される Cartilage Intermediate Layer Protein (CILP) 遺伝子多型⁴²⁾, Collagen, type IX, alpha 2 (COL9A2) 遺伝子多型⁵⁶⁾, Thrombospondins 2 (THBS2) 遺伝子多型⁵⁷⁾, SKT (KIAA1217) 遺伝子多型⁵⁸⁾の4種の多型について解析を行った. それぞれの多型の情報について表9にまとめた^{42,56-58)}. 多型の同定には直接塩基配列決定法を用いた. 解析は共同研究者に依頼し, 東京都健康長寿医療センター研究所で行った.

表 9. 遺伝子多型

	CILP	COL9A2	THBS2	SKT
Chr position (遺伝子の存在する染色体番号)	15	1	6	10
Coding strand (遺伝子がコードされている鎖)	minus	minus	minus	plus
rs number (多型の番号)	rs2073711	rs137853213	rs9406328	rs16924573
Risk allele (coding) (雑間板変性と関連するアレル)	C	TG (Trp carrier)	T	G
Phenotype (多型と関連することが報告されている表現型)	Lumber disc disease	Intervertebral Disc Disease	Lumber disc herniation	Lumber disc herniation
Reference (参考にした文献)	Seki S (2005)	Annunen S (1999)	Hirose Y (2008)	Karasugi T (2009)
MAF in Japanese (日本人におけるマイナーアレルの頻度)	C (0.211)	-	T (0.492)	A (0.280)
Source of MAF (マイナーアレルの情報源)	HapMap-JPT (90)	-	pilot 1 CHB+JPT low coverage panel	HapMap-JPT (168)

MAF は NCBI データベース (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/projects/SNP/>) を参照

4-2-6. リスクアレル保有の評価

多型の評価法については遺伝型スコアの算出法など様々報告されているが、本研究においては、リスクアレル保有の有無で評価を行った。リスクアレルを1つ以上保有するものを「リスクアレル保有者」に分類した。例えば、COL9A2 遺伝子ではリスクアレル TG を1つ以上持つ者を「リスクアレル保有者」とした。

4-2-7. 統計解析

リスクアレルの保有と椎間板変性との関係について Fisher's exact probability test により比較した。統計処理には SPSS Statistics 22.0 を用い、有意水準は全て 5%とした。

4-3. 結果

4-3-1. 椎間板変性疾患感受性遺伝子と椎間板変性との関係

23 名中 10 名の選手が変性椎間板を有していた。CILP 遺伝子のリスクアレル C は変性保有者 10 名のうち 5 名 (50.0%)、非変性保有者 13 名のうち 5 名 (38.5%) にみられたが、2 群間で有意差を認めなかった ($p=0.448$) (表 10)。COL9A2 遺伝子のリスクアレル TG は変性保有者 10 名のうち 7 名 (70.0%)、非変性保有者 11 名のうち 4 名 (36.4%) にみられたが、2 群間で有意差を認めなかった ($p=0.135$) (表 11)。なお、今回の解析手法では判断不能であった被験者が 2 名いたため、本遺伝子の解析対象から除外した。THBS2 遺伝子のリスクアレル T は変性保有者 10 名のうち 7 名 (70.0%)、非変性保有者 13 名のうち 11 名 (84.6%) にみられたが、2 群間で有意差を認めなかった ($p=0.367$) (表 12)。SKT 遺伝子のリスクアレル G は変性保有者 10 名のうち 9 名 (90.0%)、非変性保有者 13 名のうち 12 名 (92.3%) にみられたが、2 群間で有意差を認めなかった ($p=0.692$) (表 13)。

表 10. CILP 遺伝子多型と椎間板変性

	リスクアレル保有	
	Yes	No
変性あり	5 (50.0%)	5 (50.0%)
変性なし	5 (38.5%)	8 (61.5%)

表 11. COL9A2 遺伝子多型と椎間板変性

	リスクアレル保有	
	Yes	No
変性あり	7 (70.0%)	3 (30.0%)
変性なし	4 (36.4%)	7 (63.6%)

表 12. THBS2 遺伝子多型と椎間板変性

	リスクアレル保有	
	Yes	No
変性あり	7 (70.0%)	3 (30.0%)
変性なし	11 (84.6%)	2 (15.4%)

表 13. SKT 遺伝子多型と椎間板変性

	リスクアレル保有	
	Yes	No
変性あり	9 (90.0%)	1 (10.0%)
変性なし	12 (92.3%)	1 (7.7%)

4-3-2. 椎間板変性疾患感受性遺伝子と多椎間変性との関係

変性保有者 10 名のうち 7 名は 1 椎間のみに変性を認めたが、3 名の選手は多椎間に変性を有していた。多椎間変性者 3 名のうち 2 名は 4 多型すべてにおいてリスクアレルを有し、残りの 1 名は CILP 遺伝子多型以外の 3 多型でリスクアレルを有していた。

4-3-3. マイナーアレルの頻度

先行研究より報告される日本人のマイナーアレル頻度は CILP 遺伝子で 0.211, THBS2 遺伝子で 0.492, SKT 遺伝子で 0.280 である (表 9)。本研究の被験者におけるマイナーアレル頻度を検討した結果、CILP 遺伝子で 0.261, THBS2 遺伝子で 0.565, SKT 遺伝子で 0.239 であった。

4-4. 考察

本課題の目的は椎間板変性疾患感受性遺伝子がボート選手の腰椎椎間板変性に与える影響を検討することであった。本課題では、いずれの遺伝子においても、変性保有者と非変性保有者のリスクアレル保有率に有意差を認めなかった。有意差はなかったが、COL9A2 遺伝子では、椎間板変性保有者の約7割がリスクアレルを保有していたのに対し、非変性保有者では約4割の保有であった。COL9A2 遺伝子多型が椎間板疾患に関係する⁵⁶⁾との報告もあるため、本課題の被験者を増やすことによって有意差が出る可能性はある。また、本調査の被験者において、多椎間に変性を有する3名にはリスクアレルを有する割合が高かったことから、遺伝的要因が多椎間の椎間板変性に影響する可能性が考えられる。しかし、本調査対象のボート選手にいずれの遺伝子多型も有意な差を認めなかったことから、遺伝的要因の影響は少ないと考えられ、その椎間板変性にはボート活動の影響が大きいことが示唆された。

4-5. まとめ

本課題では、椎間板変性所見の有無と椎間板変性疾患感受性遺伝子多型保有の有無をそれぞれ調査し、遺伝的特性が変性所見に与える影響を検討した結果、以下の結論を得た。

- ・大学ボート選手では、変性保有者と非変性保有者のリスクアレル保有率に有意差を認めない。

第5章 総括

5-1. 本研究のまとめ

本研究の目的は、①大学ボート選手における腰痛と腰椎椎間板変性との関係を明らかにすること、②ローイング動作および遺伝的特性が大学ボート選手の椎間板変性ならびに腰部障害発生に与える影響を検証することであった。

課題1では、腰痛と腰椎椎間板変性との関係を明らかにするため、2年間の縦断調査を行い、変性進行所見と腰痛発症の有無をそれぞれ調査した。その結果、椎間板変性進行所見は腰痛者で有意に多くみられ、大学ボート選手においては縦断調査期間中の腰痛が椎間板変性に関係することが示唆された。この結果から、定期的なMR検査によるスクリーニングが腰部障害予防につながる可能性が示唆される。

課題2では、ローイング動作が椎間板変性ならびに腰部障害発生に与える影響を検証するため、ボート競技の挙動・筋活動解析を行った。1ストロークにおける挙動と筋活動を検討した結果、ドライブ前半では骨盤後傾に伴い腰椎が屈曲しないように多裂筋が遠心性収縮し、姿勢保持の働きをしていた。また、経時変化の検討から、トライアル後半部では、キャッチとミドルの骨盤後傾角度、キャッチの腰椎屈曲角度が増加した。筋活動量解析の結果ではドライブ前期の脊柱起立筋・多裂筋の筋活動量がトライアル後半部で増加した。これらの結果より、ローイング動作の継続で生じる腰椎屈曲挙動の増加による椎間板への荷重負荷増大が椎間板変性に、過剰な脊柱起立筋の収縮が筋・筋膜性腰痛の発生に関与する可能性が示唆された。以上より、ボート選手の腰部障害を予防するためには背筋群の遠心性筋力強化と筋持久力向上が求められると考える。これらの機能を向上させることにより、ローイング動作で生じる脊椎の分節的不安定性や背筋群の過負荷を減少させ、腰部障害予防対策に活かすことができると考える。

課題3では、遺伝的特性が椎間板変性に与える影響を検証するため、遺伝子多型解析を行った。その結果、椎間板変性に関与すると考えられているCILP遺伝子、COL9A2遺伝子、THBS2遺伝子、SKT遺伝子のいずれの遺伝子多型においても、変性保有者と非変性保

有者のリスクアレル保有率に有意差を認めなかった。このことからボート選手の椎間板変性は遺伝的要因よりも競技動作の関与が大きいことが示唆された。

以上より、大学ボート選手では腰痛発症と腰椎椎間板変性とが関係することが明らかとなった。また、ローイング動作負荷によって生じた腰椎椎間板への荷重負荷の増加、脊柱起立筋と多裂筋への負荷の増加が腰部障害発症に影響する可能性が示唆された。今後はこれらの障害発症メカニズムを踏まえた予防法を検討していく必要がある。

謝辞

博士論文の執筆を終えるにあたり、多くの方々にご指導およびご協力をいただいたことに深謝いたします。

早稲田大学スポーツ科学学術院，金岡恒治教授には本学スポーツ科学部生の頃から 9 年間にわたり指導教員として多くのことを教えていただきました。研究のことを何も知らなかった私に一からご指導いただき，ここまで育てていただきましたことに心より感謝しております。論文作成にあたりまして，多大なるご指導とご助言をいただきましたことに深謝いたします。

早稲田大学スポーツ科学学術院，福林徹教授，早稲田大学スポーツ科学学術院，土屋純教授には快く副査を引き受けていただき，ご指導いただきましたことに感謝いたします。早稲田大学スポーツ科学学術院，平山邦明准教授には傷害調査を行うにあたり，惜しみないご協力をいただきましたことに感謝いたします。上武大学ビジネス情報学部，柳澤修准教授，埼玉医科大学保健医療学部理学療法学科，大久保雄助教には MR 撮像を引き受けていただき，お忙しいところ複数年にわたりご協力をいただきましたことに感謝いたします。国立スポーツ科学センター，半谷美夏先生には MR 画像の評価をしていただきましたことに感謝いたします。鹿屋体育大学スポーツ生命科学系，日本学術振興会特別研究員 PD，宮本（三上）恵里博士には DNA 解析にあたり多大なるご協力をいただき，また論文作成にあたりご指導をいただきましたことに感謝いたします。早稲田大学スポーツ科学学術院，今井厚先生には論文作成にあたり，惜しみないご協力とご校閲をいただきましたことに感謝いたします。

そして，本研究にご協力いただいた被験者の方々，在籍した 9 年間で出会った金岡研究室の全ての皆様，論文執筆にあたり理解を示し応援して下さった川口工業総合病院リハビリテーション科の皆様に感謝いたします。最後になりましたが，長年に渡り私を応援してくれた両親，家族に感謝いたします。今後は皆様への感謝の気持ちを忘れず，社会へ還元できるよう精進して参りたいと思います。

文献

- 1) Rumball JS, Lebrun CM, Di Ciacca SR, Orlando K. Rowing injuries. *Sports Med.* 2005, 35(6), 537-555.
- 2) Devereaux MD, Lachmann SM. Athletes attending a sports injury clinic, a review. *Br J Sports Med.* 1983, 17(4), 137-142.
- 3) Smoljanovic T, Bojanic I, Hannafin JA, Hren D, Delimar D, Pecina M. Traumatic and overuse injuries among international elite junior rowers. *Am J Sports Med.* 2009, 37(6), 1193-1199.
- 4) Teitz CC, O’Kane J, Lind BK, Hannafin JA. Back pain in intercollegiate rowers. *Am J Sports Med.* 2002, 30(5), 674-679.
- 5) Wilson F, Gissane C, Gormley J, Simms C. A 12-month prospective cohort study of injury in international rowers. *Br J Sports Med.* 2010, 44(3), 207-214.
- 6) Ng L, Perich D, Burnett A, Campbell A, O’Sullivan P. Self-reported prevalence, pain intensity and risk factors of low back pain in adolescent rowers. *J Sci Med Sport.* 2014, 17(3), 266-270.
- 7) Wilson F, Gissane C, McGregor A. Ergometer training volume and previous injury predict back pain in rowing; strategies for injury prevention and rehabilitation. *Br J Sports Med.* 2014, 48(21), 1534-1537.
- 8) Hoy D, Brooks P, Blyth F, Buchbinder R. The Epidemiology of low back pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2010, 24(6), 769-781.
- 9) Bahr R, Andersen SO, Løken S, Fossan B, Hansen T, Holme I. Low back pain among endurance athletes with and without specific back loading –a cross-sectional survey of cross-country skiers, rowers, orienteers, and nonathletic controls. *Spine.* 2004, 29(4), 449-454.
- 10) Reid DA, McNair PJ. Factors contributing to low back pain in rowers. *Br J Sports Med.* 2000, 34(5), 321-322.
- 11) Howell DW. Musculoskeletal profile and incidence of musculoskeletal injuries in lightweight women rowers. *Am J Sports Med.* 1984, 12(4), 278-282.

- 12) O’Kane JW, Teitz CC, Lind BK. Effect of preexisting back pain on the incidence and severity of back pain in intercollegiate rowers. *Am J Sports Med.* 2003, 31(1), 80-82.
- 13) 樋口満, 曹振波. “中高年の健康増進とマスターズ・スポーツ”. ローイングの健康スポーツ科学. 樋口満編. 市村出版, 2011, 1-9.
- 14) 川上泰雄. “ローイングのバイオメカニクス”. ローイングの健康スポーツ科学. 樋口満編. 市村出版, 2011, 31-39.
- 15) 遠藤健司, 金岡恒治. 最新 腰痛症ハンドブック 腰椎椎間板ヘルニアからスポーツ,事故の治療まで. シュプリンガー・ジャパン株式会社, 2008, 172p.
- 16) 金岡恒治, 関根千恵. “中高年ローイング愛好者の健康管理 2.障害予防”. ローイングの健康スポーツ科学. 樋口満編. 市村出版, 2011, 116-123.
- 17) 瀬井章. “スポーツによる腰痛の発症メカニズム 2-1 腰部スポーツ障害のバイオメカニクス”. スポーツと腰痛 メカニズム&マネジメント. 山下敏彦編. 金原出版, 2011, 17-24.
- 18) Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1989, 230, 1-54.
- 19) Powell MC, Wilson M, Szypryt P, Symonds EM, Worthington BS. Prevalence of lumbar disc degeneration observed by magnetic resonance in symptomless women. *Lancet.* 1986, 2(8520), 1366-1367.
- 20) Hangai M, Kaneoka K, Kuno S, Hinotsu S, Sakane M, Mamizuka N, Sakai S, Ochiai N. Factors associated with lumbar intervertebral disc degeneration in the elderly. *Spine J.* 2008, 8(5), 732-740.
- 21) Battié MC, Videman T, Parent E. Lumbar disc degeneration: epidemiology and genetic influences. *Spine.* 2004, 29(23), 2679-2690.
- 22) Luoma K, Riihimäki H, Luukkonen R, Raininko R, Viikari-Juntura E, Lamminen A. Low back pain in relation to lumbar disc degeneration. *Spine.* 2000, 25(4), 487-492.
- 23) Hangai M, Kaneoka K, Hinotsu S, Shimizu K, Okubo Y, Miyakawa S, Mukai N, Sakane M,

- Ochiai N. Lumbar intervertebral disc degeneration in athletes. *Am J Sports Med.* 2009, 37(1), 149-155.
- 24) Suri P, Boyko EJ, Goldberg J, Forsberg CW, Jarvik JG. Longitudinal associations between incident lumbar spine MRI findings and chronic low back pain or radicular symptoms: retrospective analysis of data from the longitudinal assessment of imaging and disability of the back (LAIDBACK). *BMC Musculoskelet Disord.* 2014, 15, 152-161.
- 25) Nagashima M, Abe H, Amaya K, Matsumoto H, Yanaihara H, Nishiwaki Y, Toyama Y, Matsumoto M. Risk factors for lumbar disc degeneration in high school American football players: a prospective 2-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 2013, 41(9), 2059-2064.
- 26) 川上泰雄, 下田学, 福永哲夫. ボート競技の競技力向上を目的とした艇の力学量測定システムの開発. *トレーニング科学.* 2001, 13(1), 21-30.
- 27) Hosea TM, Hannafin JA. Rowing injuries. *Sports Health.* 2012, 4(3), 236-245.
- 28) 川上泰雄. “漕動作 (ボート)”. *バイオメカニクス—身体運動の科学的基礎—*. 金子公宥, 福永哲夫編. 杏林書院, 2004, 373-389.
- 29) Steinacker JM. Physiological aspects of training in rowing. *Int J Sports Med.* 1993, 14, S3-S10.
- 30) Hartmann U, Mader A, Wasser K, Klauer I. Peak force, velocity, and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. *Int J Sports Med.* 1993, 14, S42-S45.
- 31) 木村佑, 永野康治, 小笠原雅子. “スポーツ動作と腰痛の機能的機序 10. 屈曲パターン”. *筋・筋膜性腰痛のメカニズムとリハビリテーション*. 福林徹, 蒲田和芳監修. 有限会社ナップ, 2010, 87-94.
- 32) Caldwell JS, McNair PJ, Williams M. The effects of repetitive motion on lumbar flexion and erector spinae muscle activity in rowers. *Clin Biomech.* 2003, 18(8), 704-711.
- 33) Holt PJ, Bull AM, Cashman PM, McGregor AH. Kinematics of spinal motion during prolonged rowing. *Int J Sports Med.* 2003, 24(8), 597-602.

- ³⁴⁾ Kapandji AI. カラー版 カパンディ 関節の生理学Ⅲ. 脊椎・体幹・頭部 原著第6版. 塩田悦仁訳. 医歯薬出版, 2008, 328p.
- ³⁵⁾ Wilson F, Gormley J, Gissane C, Simms C. The effect of rowing to exhaustion on frontal plane angular changes in the lumbar spine of elite rowers. *J Sports Sci.* 2012, 30(14), 1481-1489.
- ³⁶⁾ Pollock CL, Jones IC, Jenkyn TR, Ivanova TD, Garland SJ. Changes in kinematics and trunk electromyography during a 2000m race simulation in elite female rowers. *Scand J Med Sci Sports.* 2012, 22(4), 478-487.
- ³⁷⁾ McGregor A, Anderton L, Gedroyc W. The assessment of intersegmental motion and pelvic tilt in elite oarsmen. *Med Sci Sports Exerc.* 2002, 34(7), 1143-1149.
- ³⁸⁾ Morris FL, Smith RM, Payne WR, Galloway MA, Wark JD. Compressive and shear force generated in the lumbar spine of female rowers. *Int J Sports Med.* 2000, 21(7), 518-523.
- ³⁹⁾ 川口善治, 関庄二, 阿部由美子, 木村友厚. 遺伝子的手法を用いた腰痛へのアプローチ. *日本腰痛学会雑誌.* 2008, 14(1), 70-75.
- ⁴⁰⁾ 三上恵里, 福典之. “ボート選手の遺伝的特性と寿命”. *ローイングの健康スポーツ科学.* 樋口満編. 市村出版, 2011, 40-56.
- ⁴¹⁾ Jeffre LW, Galen PP, Darryl LL. DNA キーワード小事典 *An A to Z of DNA Science.* 村松正實監訳, 藤川良子訳. *メディカル・サイエンス・インターナショナル,* 2004, 126p.
- ⁴²⁾ Seki S, Kawaguchi Y, Chiba K, Mikami Y, Kizawa H, Oya T, Mio F, Mori M, Miyamoto Y, Masuda I, Tsunoda T, Kamata M, Kubo T, Toyama Y, Kimura T, Nakamura Y, Ikegawa S. A functional SNP in CILP, encoding cartilage intermediate layer protein, is associated with susceptibility to lumbar disc disease. *Nat Genet.* 2005, 37(6), 607-612.
- ⁴³⁾ Adams MA, Stefanakis M, Dolan P. Healing of a painful intervertebral disc should not be confused with reversing disc degeneration: implications for physical therapies for discogenic back pain. *Clin Biomech.* 2010, 25(10), 961-971.
- ⁴⁴⁾ Swärd L, Hellström M, Jacobsson B, Nyman R, Peterson L. Disc degeneration and associated

- abnormalities of the spine in elite gymnasts. A magnetic resonance imaging study. *Spine*. 1991, 16(4), 437-443.
- 45) Maurer M, Soder RB, Baldisserotto M. Spine abnormalities depicted by magnetic resonance imaging in adolescent rowers. *Am J Sports Med*. 2011, 39(2), 392-397.
- 46) Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine*. 2001, 26(17), 1873-1878.
- 47) Hardcastle P, Annear P, Foster DH, Chakera TM, McCormick C, Khangure M, Burnett A. Spinal abnormalities in young fast bowlers. *J Bone Joint Surg Br*. 1992, 74(3), 421-425.
- 48) Arjmand N, Shirazi-Adl A, Parnianpour M. Trunk biomechanics during maximum isometric axial torque exertions in upright standing. *Clin Biomech*. 2008, 23(8), 969-978.
- 49) 金岡恒治. “スポーツによる腰痛の発症メカニズム 2-3 腰痛をきたしやすいスポーツ動作”. *スポーツと腰痛 メカニズム&マネジメント*. 山下敏彦編. 金原出版, 2011, 32-37.
- 50) Adams MA, Dolan P, Hutton WC. Diurnal variations in the stresses on the lumbar spine. *Spine*. 1987, 12(2), 130-137.
- 51) Arokoski JP, Valta T, Airaksinen O, Kankaanpää M. Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001, 82(8), 1089-1098.
- 52) 山田孝禎. “差の分析 (2) ～順序・名義尺度の差～”. *健康・スポーツ科学のためのSPSS による統計解析入門*. 佐藤進, 山次俊介, 長澤吉則編. 出村慎一監修. 杏林書院, 2007, 200-216.
- 53) Wilke HJ, Wolf S, Claes LE, Arand M, Wiesend A. Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups. A biomechanical in vitro study. *Spine*. 1995, 20(2), 192-198.
- 54) Parkkola R, Rytökoski U, Kormanen M. Magnetic resonance imaging of the discs and trunk muscles in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. *Spine*. 1993, 18(7), 830-836.
- 55) McGregor AH, Anderton L, Gedroyc WM. The trunk muscles of elite oarsmen. *Br J Sports Med*. 2002, 36(3), 214-217.

- ⁵⁶⁾ Annunen S, Paasilta P, Lohiniva J, Perälä M, Pihlajamaa T, Karppinen J, Tervonen O, Kröger H, Lähde S, Vanharanta H, Ryhänen L, Göring HH, Ott J, Prockop DJ, Ala-kokko L. An allele of COL9A2 associated with intervertebral disc disease. *Science*. 1999, 285(5426), 409-412.
- ⁵⁷⁾ Hirose Y, Chiba K, Karasugi T, Nakajima M, Kawaguchi Y, Mikami Y, Furuichi T, Mio F, Miyake A, Miyamoto T, Ozaki K, Takahashi A, Mizuta H, Kubo T, Kimura T, Tanaka T, Toyama Y, Ikegawa S. A functional polymorphism in THBS2 that affects alternative splicing and MMP binding is associated with lumbar-disc herniation. *Am J Hum Genet*. 2008, 82(5), 1122-1129.
- ⁵⁸⁾ Karasugi T, Semba K, Hirose Y, Kelempisioti A, Nakajima M, Miyake A, Furuichi T, Kawaguchi Y, Mikami Y, Chiba K, Kamata M, Ozaki K, Takahashi A, Mäkelä P, Karppinen J, Kimura T, Kubo T, Toyama Y, Yamamura K, Männikkö M, Mizuta H, Ikegawa S. Association of the tag SNPs in the human SKT gene (KIAA1217) with lumbar disc herniation. *J Bone Miner Res*. 2009, 24(9), 1537-1543.