

2015 年度修士論文

足関節内反捻挫好発者の身体的特徴と
バランス能に関与する因子の検討

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5014A037-4

峯田晋史郎

研究指導教員： 広瀬 統一 教授

目次

1. 緒言	1
1.1. 足関節の傷害疫学	1
1.2. 足関節内反捻挫後の後遺症としての慢性足関節不安定症	4
1.3. 足関節内反捻挫リスクファクター	6
1.4. 健常者における姿勢制御メカニズム	7
1.5. 目的	8
1.6. 仮説	9
2. 方法	10
2.1. 被験者	10
2.2. 測定方法	11
2.2.1. 動作課題	12
2.2.2. 筋力測定	13
2.2.3. ステティックアライメント	13
2.2.4. 荷重圧分布	15
2.2.5. 筋電図解析	16
2.2.6. 統計解析	17
3. 結果	18
3.1. 閉眼バランス課題	19
3.2. サイドホップ課題	21
3.3. 身体因子	22
3.4. 荷重圧と筋活動間の相関関係	25
4. 考察	27
4.1. 閉眼バランス時の外側荷重増加	28
4.2. サイドホップの遅延に関して	31
4.3. サイドホップ時の前額面上の荷重特徴に関して	31
4.4. 臨床への応用	35
4.5. 本研究の限界と今後の課題	36
5. 結論	38
6. 参考文献	39
7. 謝辞	48

1.緒言

関節内反捻挫は多くのスポーツにおいて好発するスポーツ傷害であるだけでなく、再発率も高く、長期に渡る後遺症が残存しやすい傷害である。そのため再発防止のための方策が重要であり、再発防止のためには足関節内反捻挫再発のリスクファクターを明らかにすることが重要である。足関節内反捻挫再発のリスクファクターとして明らかになっているのが静的立位時や運動時の姿勢安定性の低下（足底圧中心点の動揺の増加）である。足関節内反捻挫は足部に内反トルクが作用し、足関節が内反・内旋することによって足圧中心が後外側に大きく偏位することによって生じる。

そのことから後方、外側荷重が足関節内反捻挫受傷リスクの高い肢位であり、内反捻挫発生には荷重分布の偏りが関与していることが推察される。だが、捻挫を多く繰り返すものを対象に足圧の分布の特徴を検討したものはない。加えて姿勢安定性には筋の振る舞いが強く関与することが明らかであるため、本研究では足圧の分布とそれに関与する足関節周囲筋の振る舞いに着目し、足関節内反捻挫再発が多いものと既往を有さないものの動的及び静的バランス課題時の足圧分布と下肢筋活動の差異を検討することを目的とした。

1.1.足関節の傷害疫学

足関節は他の部位に比べてスポーツでの傷害が発生しやすい部位である。Fong et al は全 70 種のスポーツ中 24 種目で足関節が最も傷害発生頻度の高い部位であることを示している⁽¹⁾。また、National Collegiate Athletic Association(NCAA)が Injury

Surveillance System (ISS) を用いて 15 種目のスポーツを 15 年間追跡調査した結果、全競技で足関節捻挫が最も発生頻度の高い傷害であり、15 年間に発生した全傷害の約 15%を占めていることが示されている⁽²⁾。他にもアメリカ軍士官学校に在学中の運動部活動に所属している全生徒を対象にした前向き調査では、全傷害の 23%を足関節捻挫が占めていること明らかになっている⁽³⁾。このように足関節捻挫は多くのスポーツ種目における好発傷害であるが、その中でもサッカーは特に足関節捻挫の発生頻度が高いスポーツであることが知られている。イギリスプレミアリーグのディビジョン 1 から 3 に所属する全 92 チーム中 91 チームを対象に 2 年間の追跡調査を行った所、足関節捻挫は全傷害の 11.2%、全足関節外傷の 67%を占めていた⁽⁴⁾。その他の種目間比較では全 70 スポーツ中、練習中の傷害発生率はラグビー (4.20 件/1000Person-hour) に次いで二番目の受傷率であった (2.52 件/1000Person-hour)。また、試合中に限定すると最も足関節捻挫の受傷率が高い競技であることが示されている⁽¹⁾。

足関節捻挫は主に内反捻挫と外反捻挫、脛腓靭帯損傷の 3 種類に大別できる。足関節捻挫におけるこれら 3 種類の発生頻度は足関節内反捻挫が 77-79%、外反捻挫が 4-14%、脛腓靭帯損傷が 3-15%⁽³⁾⁽⁴⁾と足関節捻挫の中で足関節内反捻挫の発生頻度は他 2 つの外傷に比べて高いことが分かる。これは解剖学的に外果が内果よりも遠位方向に長く、足関節外側の靭帯は内側の靭帯に比べ脆弱であること⁽⁵⁾、骨性、靭帯性の両制動因子が外反方向に比べ内反方向に対して脆弱な関節のためである。また、足関節内反捻挫は

足関節に急激に内反、内旋モーメントが作用し、足関節が内反、内旋することで生じるため⁽⁶⁾⁽⁷⁾、損傷靭帯は主に距腿関節外側部に存在する前距腓靭帯（ATFL：Anterior Tibiofibular ligament）と踵腓靭帯（CFL：Calcaneofibular Ligament）となる⁽⁵⁾。各靭帯の損傷頻度は ATFL が全足関節内反捻挫の約 90%の症例で損傷する一方、CFL の単独損傷は約 20%程度と稀である。これらのことから外反捻挫などの他の足関節捻挫に比べ足関節内反捻挫が好発傷害であり、特に ATFL が損傷しやすい靭帯であることが分かる。

また、足関節内反捻挫は発生頻度が多いだけでなく再発率も非常に高い傷害である。先行研究における後ろ向き調査では、足関節内反捻挫の再受傷を経験しているものは 73.5%であり、中でも 5 回以上再受傷しているものは 22%と約 1/4 の選手が 5 回以上足関節内反捻挫を再受傷していることが示されている⁽⁸⁾。また、Grade I の内反捻挫を受傷したうちの 13.9%の選手が 1 年の間に最低 1 度の再受傷をしており、グレード II になると 28.3%の選手が 1 回、8%の選手が 3 回内反捻挫を再受傷していることが示されている⁽⁹⁾。また、様々な後遺症も残存しやすい傷害で、最も残存しやすい後遺症は疼痛である⁽¹⁰⁾。足関節内反捻挫後に医療機関を受診した患者を追跡調査したところ、受傷後 4 年経過していても疼痛が 47%の症例で残存している⁽¹¹⁾。また、更に長期的にも疼痛が残存している例も報告されており、足関節内反捻挫後に再受傷なく 6.5 年経過しても、重症度に関わらず疼痛が 17-22%の症例で残存していることが示されている⁽¹²⁾。そ

の残存する疼痛の原因は関節鏡技術の発展に伴い、主に足関節の関節炎⁽¹³⁾や骨軟骨損傷、骨棘や Os fibulare などの過剰骨が原因であることが示されているが、原因不明なものも 3%ほど存在している⁽¹⁴⁾。また、内反捻挫をくり返し受傷するものは、外果骨折や脛骨の距腿関節面での骨折 (Pilon fracture) を受傷した群よりも有意に将来 (平均で 34.3 年後) の足関節変形性完成関節症の発生率が高いことが分かっている⁽¹⁵⁾。このように再発を繰り返すことでアスリートの継続的な練習参加を妨げるだけでなく、将来の足関節 OA の発症リスクを高め、ADL (activities of daily living) を低下させる傷害であることがわかる⁽¹⁶⁾。これらのことから再発防止が非常に重要であることは明らかである。

1.2. 足関節内反捻挫後の後遺症としての慢性足関節不安定症

足関節内反捻挫後に最も残存しやすい後遺症は疼痛であるが、次いで残存しやすい後遺症は足関節の不安定感である⁽¹⁰⁾。足関節に慢性的な不安定感が残存することは 1965 年に Freeman et al によって示された⁽¹⁷⁾。それをきっかけに多数の先行研究によってその不安定感の原因が検討されはじめ、主観的な足関節の不安定感を有しているものは足関節に機能的な変化と機械的な変化のどちらか、もしくは両者が生じていることが多数示されている。これらを元に Hetel は 2002 年に機能的な変化によって生じる足関節の主観的な不安定感のことを機能的足関節不安定症 (FI : Functional ankle instability) と、関節構造の機械的な変化によって生じる不安定感のことを機械的足関節不安定症

(MI : Mechanical ankle instability) と呼び、これら 2 つを有することを総称して慢性足関節不安定症 (CAI : Chronic ankle instability) とする概念を提唱した⁽¹⁸⁾。だが、研究間で FI 判定基準のコンセンサスが欠如し、研究者によって単に内反捻挫の既往があるものを FI と定義しているものから内反捻挫を受傷していない期間、再発回数、不安定感の有無の 3 条件を定めた上で FI と定義しているものまで多岐にわたっている。そのため、FI を有するものには筋力低下、神経筋コントロール異常、固有感覚受容器異常、バランス能力の低下などの所見が認められるとする研究は散見されるものの⁽¹⁹⁻²⁴⁾、一致した見解は未だ得られていない。そのような現状から 2014 年に International ankle consortium で FI の推奨評価基準がまとめられ、今後の研究では被験者間の条件を統一していく重要性が示されている⁽²⁵⁾。推奨判定基準は 1, 捻挫の既往が 1 年に最低 1 回はあること。 2, 実験を実施する三ヶ月以内に内反捻挫の既往を有さないこと 3, 足関節の主観的な不安定感があること 以上 3 条件を推奨評価基準として挙げている。足関節の主観的な不安定感の評価には CAIT (Cumberland ankle instability tool) か AII(Ankle Instability Instrument)、idFAI(Identification of functional Ankle instability)のいずれかの質問紙を用い⁽²⁶⁻²⁸⁾、CAIT スコア 24 点以下もしくは AII での yes が 5 個以上、idFAI スコア 11 点以上いずれかの条件を満たすことを足関節の主観的な不安定感ありと定義している⁽²⁵⁻²⁸⁾。

1.3.足関節内反捻挫再発リスクファクター

足関節内反捻挫はその発生頻度と再発率、後遺症の残存率の高さから、再発予防の取り組みを行っていく必要がある。傷害発生予防のためには1, 傷害発生分布と重症度の検討 2, 傷害発生のリスクファクターの検討 3, 傷害発生予防トレーニングの考案 4, 予防トレーニングの効果検討が重要であることが示されている⁽²⁹⁾。足関節内反捻挫の発生分布と重症度はすでに共通の知見が得られている⁽¹⁻⁴⁾⁽⁹⁾。また、傷害発生リスクも明らかになっており、現在明らかになっている内反捻挫再発のリスクの一つは捻挫の既往を有していることであり、内反捻挫の既往歴を有するものは足関節内反捻挫再発リスクが 2.21-2.66 倍高いことが明らかになっている⁽³⁰⁻³²⁾。

また、もう一つの足関節内反捻挫再発のリスクはバランス、すなわち姿勢安定性の低下である⁽²²⁾⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾。Wang et al はバスケットボール選手を対象にしたコホート調査で閉眼片足立ちバランス時の前後方向と左右方向の COP 変位量が多いものは足関節内反捻挫受傷リスクが高いことを示した（前後方向：1.21 倍 左右方向：1.22 倍）⁽³³⁾。また、Trojian et al は高価な機材を使用せずに閉眼バランス時の姿勢の動揺を視覚的に評価する Single Leg balance test (SLL:Single leg balance test) を用い、SLL が陽性の選手は陰性の選手に比べ有意に受傷リスクが 2.43 倍高いことを示した⁽³¹⁾。他にも姿勢安定性を評価する指標は様々あるが、SEBT やフラミンゴバランス⁽³⁰⁾⁽³⁴⁾、Time to stability(TTS：着地直後の COP の動揺の多寡を評価するもの)を用いたテストでも姿勢安定性の低下が足関節内反捻挫受傷のリスクになることが示されている⁽²²⁾。近年行われたメタ分析でも、COP の動揺が多

いことが足関節内反捻挫の再受傷リスクであることが示されている⁽²²⁾。

1.4. 健常者における姿勢制御メカニズム

足関節内反捻挫のリスクファクターとしてバランス能力の低下が示されている。ここでいうバランス能力とは姿勢安定性のことを指し、姿勢安定性とは姿勢制御能力に含まれる要素である⁽³⁵⁾。また、姿勢制御とは姿勢定位と姿勢安定性（バランス）の2つの要素を含む広義の姿勢制御能力のことである⁽³⁵⁾。姿勢定位は運動課題に対して運動課題に関与する複数の体節間と環境間の関係を適切に維持する能力であると定義されており⁽³⁶⁾、体性感覚系、前庭系、視覚系からの求心性シグナルを統合し、体の各体節、環境間の相対的な位置関係を把握している⁽³⁷⁾。一方、姿勢安定性（バランス）とは質量中心（COM : Center of mass）を支持基底面内（BOS : base of support）に制御する能力であり、COMを制御するための運動器の活動により生じた足部の圧力分布の中心点がCOP（COP : Center of pressure）である⁽³⁵⁾。つまり、一般的な姿勢制御能力とはCOMをBOS内に留める動作戦略であり、そのプロセスは主に1、体性感覚系、前庭系、視覚系からの求心性シグナルが中枢へ送られ、BOSとCOMの相対的な位置関係を把握する段階 2、体性感覚系、視覚系、前庭系からの情報が統合、処理される段階 3、神経系を介して運動器に遠心性シグナルが送られ、実際に運動器が機能する段階 の3段階に分けられる⁽³⁷⁾。COPとはCOMをBOS内に留めるために働いた運動器の活動によって生じる足圧分布の中心点であるため、片足

立ちなどの静的な条件であれば COM の変位と COP の変位は強く相関する。そのため COP の動揺の多寡が姿勢安定性の評価指標として良く用いられ、COP の動揺の多寡は変位の総量（長さや COP 変位の描いた図形の面積）によって評価される。ここでいう運動器の活動は各筋の筋活動量によって評価される。

1.6.目的

以上より、COP の変位量が多いものは足関節内反捻挫再発リスクが高いことが明らかになっているが、変位量にのみ着目したもので足圧分布の偏りは反映されていない。足関節は距腿関節の構造上底屈位で不安定な状態となる⁽³⁸⁾。加えて、足関節内反捻挫は COP が支持基底面から後外側方向に逸脱し、後足部が回外する事によって生じることから^{(6) (7)}、内側、前方荷重に比べ外側、後方荷重がリスクの高い荷重形態であり、荷重位置が足関節内反捻挫発生と深く関わっていることが推察される。このことから足圧の分布を検討することは再発のリスクファクターの定義付けに重要な意義を持つが、足関節内反捻挫既往数の多いものを対象に荷重分布の差異を検討したものはない。加えて、姿勢安定性には筋の振る舞いが関与しており、特に後外側方向へ COP が変位するような外乱を加えた際には腓骨筋や腓腹筋、後方へ変位するような外乱を加えた際には前脛骨筋の作用が重要である可能性が示されている⁽³⁹⁾。また、足関節内反捻挫受傷時には足関節に急激な内反・内旋トルクが作用するため^{(6) (7)}、受傷時同様に足部に内反トルクが作用し、大きな動揺が加わる動的バランスステ

トも姿勢安定性評価に重要であると考えられている⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾。そのバランス課題実施時の足圧分布と筋の活動を測定することは、足関節内反捻挫再発数が多いものに特徴的な足圧分布と筋活動の振る舞いを明らかにすることに繋がり、再発防止トレーニング考案のための一助となる。一方、足部の圧力を直接計測する都合上、筋力や足部形態、可動域などの身体因子によっても足圧分布に差異が生じる可能性がある。そこで本研究は足関節内反捻挫再発の既往数多いものを対象に筋力、アライメントなどの身体因子を計測した上で静的・動的バランス時の足圧分布と筋活動を測定し、足関節内反捻挫再発の既往数が多いものに特徴的な足圧分布と筋活動の振る舞いの差異を明らかにすることを目的に行った。

1.6.仮説

研究に先立ち、足関節内反捻挫再受傷の多いものは静的・動的バランス両課題ともにコントロールに比して長腓骨筋の筋活動が低く、外側荷重圧が高いと仮説を立て実験を行った。

2.方法

2.1.被験者

被験者は大学男子サッカー部に所属する 68 名とした。実験に先立ち質問紙を用いて身長、体重、足関節内反捻挫の既往歴、受傷時の診察の有無、CAIT スコアを聴取した（表 1）。

なお、日本語への改変は研究代表者が行った。この調査票は足関節の主観的な機能評価に関する 9 つの質問から構成されており、値の低値は足関節の不安定感が強いことを示す。個々の質問紙の結果をもとに頻回群を抽出した。頻回群の選択基準は以下のとおりとした。

- 1、医師の診察を受けた内反捻挫の既往を 4 回以上持つもの
- 2、現在 Giving way もしくは捻挫しそうな恐怖感を有するもの
- 3、CAIT スコアが 24 点未満のもの
- 4、1 年以内に 1 回以上の捻挫の既往歴を持ち、かつ 3 か月以内に既往歴を持たないもの

また、コントロール群は診察の有無に関わらず両側ともに捻挫の既往を有さないものとし、対象脚はランダムに抽出し、両群ともに下肢の骨折歴、手術歴のあるものは除外した。

両群とも 11 名、11 脚（合計 22 名 22 脚）を対象とした。被験者には説明文書を用いて口頭で研究内容に関する説明を行い、同意を得た上で実験を行った。なお、本研究の被験者の中に日常的に装具を使用しているものはいなかった。また、本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。（承認番号：2015-172）

表1 結果

	頻回群 (n=11)	コントロール群 (n=11)
年齢	20.0 ± 1.1	20.36 ± 0.98
身長	175.9 ± 3.5	176.60 ± 5.15
体重	68.6 ± 5.3	72.19 ± 5.01
CAITスコア	21.9 ± 4.4	28.73 ± 1.66
捻挫の回数	5.1 ± 1.0	0.00 ± 0.00

2.2.測定方法

測定は2日に分けて実施した。1日目は身体因子の測定を行い、2日目はバランス測定を行った。身体因子として足関節の等速性底背屈・内外反筋力、荷重位 / 非荷重位での足関節背屈可動域、Navicular Drop (ND)、Leg heel angle (LHA) を測定した。バランス課題は静的バランス課題として閉眼バランステスト、動的バランス課題としてサイドホップテストを行い、両試技中の荷重圧分布、筋活動、足底圧中心の変位量 (COP : Center of pressure) を測定した。(図1)

1日目：身体因子計

- ・筋力：30、120deg/secの足関節底背屈・内外反等速性筋力測定
- ・スタティックアライメント：Leg Heel Alignment、Navicular Drop、
- ・足関節背屈可動域（非荷重、荷重位）

2日目：バランス測定

- ・足底圧分布：静的、動的バランス時の荷重圧分布
- ・COP変位量：静的バランス時の総軌跡長、矩形面積、前後方向変位量、左右方向変位量
- ・筋活動：静的、動的バランス時のPL,TA,GASの筋活動

図1：測定プロトコル

2.2.1.動作課題

静的バランステストとして15秒間の閉眼片足立ちを実施した。被験者には遊脚側の股関節は90°屈曲位で手を腰に当て、開眼状態で片足立ちの姿勢を取るよう指示した。被験者の主観で姿勢が安定したのちに任意のタイミングで目を閉じるよう指示をし、閉眼した時点で測定を開始した。試技は2回実施し、2回の平均値を記録した。動的バランステストとしてサイドホップテストを実施した。サイドホップテストはLinens et alの方法に則り⁽⁴¹⁾、手は腰に当て、30cm間隔で引かれた二本の線を片足で10往復（計20歩）するまでのタイムを計測した。タイムは1歩目の離地から20歩目の接地までの区間と定義し、接地と離地

の瞬間はハイスピードカメラ (EXLIM-EX 1、CASIO 社) を用いて目視で算出した。なお、ラインを踏んだもの、遊脚側の足が接地したもの、大きく姿勢が崩れたものは失敗試技とし、十分な休息をとった後に再度測定を行った。試技は 1 回のみ実施し、外側方向に跳ぶ奇数歩 1、3、5 歩目の平均値を採用した。

2.2.2.筋力測定

足関節等速性底背屈、内外反筋力は Biodex system III (Biodex 社) を用いて測定した。角速度は 30deg/sec, 120deg/sec で実施し、可動範囲は底背屈、内外反の全可動域とした。底背屈筋力測定時は被験者の体幹部、上肢、大腿をベルトで固定し、膝関節完全伸展位で下腿が地面と平行になるよう座席位置を調整した。内外反測定時は体幹、下腿部をベルトで固定し膝関節 30°屈曲位で下腿が地面と平行になるように座席位置を調整した。各試技とも計 3 回実施し、得られた最大トルク (Nm) を被験者の体重で除した体重あたりの最大トルク (%) の平均値を採用した。なお、測定前にウォーミングアップと練習を兼ね、同様の試技を 1 セットずつ行った。

2.2.3.スタティックアライメント

スタティックアライメントは ND と LHA、自動及び他動での足関節背屈可動域を測定し

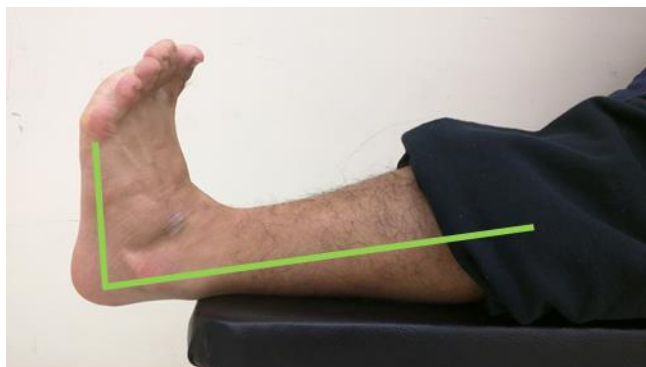
た。ND は座位で計測した。大腿が地面と平行になるように椅子に座り、足関節 90° (0°) の位置で脛骨が垂直になるように体重計 (BF-035、タニタ社) の上に足部を置いた。足部の荷重量は自重の 10%となるように椅子の高さを微調整し、自重の 10%荷重時の舟状骨高を定規で測定した。舟状骨高は地面から舟状骨結節までの高さとした。その後立位両足荷重時の舟状骨高を測定し、ND は立位両足荷重時の舟状骨高から荷重時の舟状骨高を引いた値と定義した。なお、10%荷重時の舟状骨高をベースラインとする ND 測定は他の荷重量に比べ最も再現性が高い方法であることが示されている⁽⁴²⁾。

LHA は 静的立位姿勢を後方より撮影し、二次元動作解析ソフト (Dirt Fish III、Dirt fish 社) を用いて二次元上の角度を算出した。角度定義は下腿後面下方 1/3 地点の midpoint とアキレス腱中央部の結線を基準軸、アキレス腱中央部から踵骨 midpoint 結線を移動軸として両者のなす角度とした。

背屈可動域は荷重位、非荷重位の 2 条件で測定を行った。足関節背屈角度は日本リハビリテーション医学会の関節角度測定ガイドライン⁽⁴³⁾に則り、基準軸を腓骨長軸、移動軸を第五中足骨の長軸とし、両者のなす角度と定義した。

荷重位の足関節背屈 ROM の測定肢位はかがみ込みの状態で踵が地面から離れない範囲で最大荷重し、足関節を背屈するよう指示をした。また、非荷重位での足関節背屈可動域の測定肢位はベッド上に端座位で座り、自動で足関節を最大背屈させるように指示をした (図 2)。両条件とも外方よりデジタルカメラ (EXLIM EX-1、Canon 社) を用いて撮影を行い、

得られた画像データを Dirt FishIII (Dirt fish 社) を用いて解析し、二次元上の足関節背屈角度を算出した。ND、LHA 共に測定は 1 回のみ実施した。



非荷重位背屈可動域測定



荷重位背屈可動域測定

図 2 : 背屈可動域測定

2.2.4.荷重圧分布

閉眼片足バランス、サイドホップ時の前方・後方・内側・外側荷重圧分布を F SCAN II (Nitta 社) を用い測定した。閉眼片足バランス時は前後 1 秒を除いた 13 秒間の平均値を

データとして採用し、サイドホップ課題時は足部外側方向に跳ぶ奇数歩 1、3、5 歩目の接地の瞬間とピーク荷重時の平均値を採用した。荷重圧は荷重面積あたりの荷重圧を測定し、被験者の体重で除し正規化を行った (g/kg/cm^2)。荷重領域定義は第二趾と踵骨末端部の結線 (線 A) を 3 等分する線 C、C' を引き、線 C の前方 1/3 を前方、線 C' 後方 1/3 を後方と定義した。また第二趾と踵骨末端部を結んだ線に直行するような線 (線 B) を三等分する線 D、D' を引き、線 D の 1/3 内側を内側、線 D' の 1/3 外側を外側と定義した (図 3)。なお、接地の定義は非荷重時の荷重圧の 2SD を超え、測定可能となった時点とした。

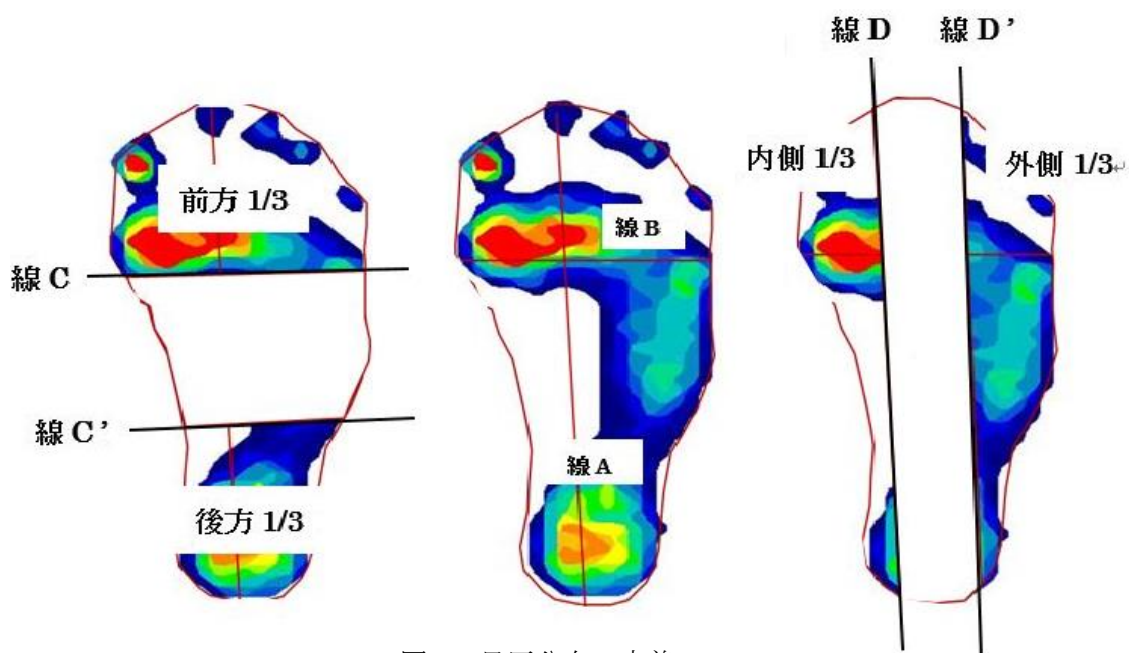


図 3 足圧分布の定義

2.2.5.筋電図解析

閉眼片足バランス、サイドホップ時の筋活動を Telemyo 2400T (Noraxon 社) を用いてサンプリング周波数 1500Hz で測定した。対象筋は長腓骨筋 (PL : Peroneal longnus)、前脛骨筋 (TA : Tibiaris Anterior)、腓腹筋外側頭 (GASL : Gastrous lateral) とした。電極貼り付け位置は先行研究⁽⁴⁴⁾を参考に皮膚処理後に貼り付けを行った。得られたデータは Trais System(DKH 社)に取り込み、10-500Hz のバンドパスフィルタを用いてノイズ除去後、3 秒間の MMT 実施中の筋活動積分値 (iEMG : Integral Electromyography) を 100% として正規化を行い、全波整流を行った。閉眼バランス時は前後 1 秒を除いた中間 13 秒間の %iEMG の平均値を算出した。また、接地前 50ms から接地までの区間と接地から接地後 100ms の区間の平均値を採用した (図 4)。

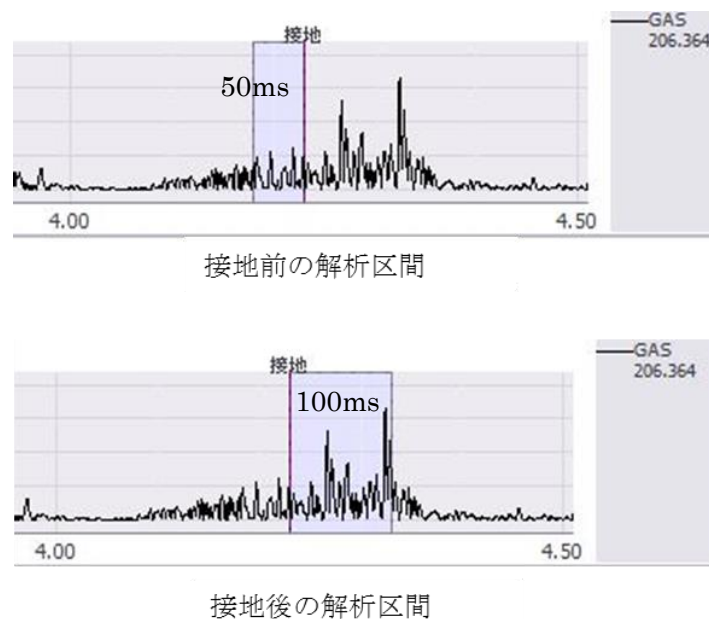


図 4 筋電図波形の解析区間

2.2.6.統計学的解析

エクセル統計 (SSI 社) を用いてすべての項目に関して対応のない t 検定を用いて群間差を比較した。測定値は平均±標準偏差で示した。また、閉眼バランス、サイドホップ動作時の外側/内側荷重圧と各測定項目との相関関係を Pearson の積率相関係数を用いて算出した。有意水準は危険率 5%未満とした。

3.結果

3.1.閉眼バランス課題時

3.1.1.閉眼バランス時の COP 変位量

閉眼バランス時の COP 変位量はすべての項目に関して群間に有意な差は見られなかった

(表 2)。

表 2 閉眼バランス COP 変位

	頻回群	コントロール
前後変位量 (cm)	355.4 ± 159.7	397.7 ± 219.6
内外側変位量 (cm)	154.4 ± 45.8	139.8 ± 50.4
総軌跡長 (cm)	581.5 ± 224.3	576.1 ± 374.4
矩形面積 (cm ²)	129.2 ± 59.8	134.2 ± 110.5

3.1.2.閉眼バランス時の足底圧

閉眼バランス時の内側足底圧は頻回群がコントロール群に比して有意に低値を示し

($p < 0.05$)、外側/内側荷重圧比が頻回群で有意に高値であった ($p < 0.05$)。前方荷重圧、後

方荷重圧、外側荷重圧、後/外側荷重圧比は群間に有意な差は見られなかった。(表 3)

表 3 閉眼バランス 足底圧分布

	頻回群	コントロール
前方荷重圧 (g/Kg/cm ²)	28.4 ± 15.0	62.6 ± 40.6
後方荷重圧 (g/Kg/cm ²)	50.6 ± 24.4	53.2 ± 30.5
内側荷重圧 (g/Kg/cm ²)	*28.4 ± 15.0	62.6 ± 40.6
外側荷重圧 (g/Kg/cm ²)	50.6 ± 24.4	53.2 ± 30.5
後/前荷重圧比 (%)	93.5 ± 45.0	79.8 ± 40.9
外/内側荷重圧比 (%)	*203.1 ± 91.7	121.6 ± 69.4

*p<0.05

3.1.3.閉眼バランス時の筋活動

閉眼バランス時の%iEMG は頻回群で PL の値がコントロール群に比して有意に低く (p<0.05)、TA/PL 比が有意に高かった (p<0.05)。TA,GAS の%iEMG、TA/GAS 比は群間に有意な差は見られなかった。(表 4)

表 4 閉眼バランス時の筋活動

	頻回群	コントロール
PL (%iEMG)	* 21.5 ± 9.3	30.9 ± 10.1
TA (%iEMG)	16.1 ± 6.1	13.0 ± 4.9
GAS (%iEMG)	45.7 ± 24.6	52.3 ± 20.4
TA/PL (%)	*83.8 ± 36.9	44.7 ± 17.2
TA/GAS (%)	38.3 ± 13.9	28.3 ± 14.6

*p<0.05

3.2. サイドホップ動作時

3.2.1. サイドホップ完了までのタイム

サイドホップ時のタイムは頻回群がコントロール群に比して有意に遅かった ($p < 0.05$)。

(表 5) また、離地時間は頻回群がコントロール群に比して有意に長かった ($p < 0.05$)。接

地時間は群間に有意な差は認められなかった。

図 8 閉眼小ジャンプの筋活動
表 5 サイドホップ完了までのタイム $* = p < 0.05$

	頻回群	コントロール
トータルタイム (秒)	* 8.4 ± 1.2	7.2 ± 0.8
接地時間 (秒)	3.4 ± 0.4	3.3 ± 0.5
離地時間 (秒)	* 5.0 ± 1.0	3.8 ± 0.7

$* p < 0.05$

3.2.2. サイドホップ接地時の荷重圧分布

サイドホップ時の接地時荷重圧はすべての項目に関して群間に有意な差は見られなかった。(表 6)

表 6 接地時足底圧分布

	頻回群	コントロール群
内側荷重圧 (g/Kg/cm ²)	65.7 ± 25.0	87.6 ± 31.0
外側荷重圧 (g/Kg/cm ²)	79.5 ± 33.2	63.2 ± 23.3
外/内側荷重圧比 (%)	124.7 ± 38.6	77.8 ± 28.9

3.2.3. サイドホップピーク時荷重圧分布

サイドホップ時のピーク荷重圧分布は頻回群がコントロール群に比して有意に前方荷重圧が低かった ($p<0.05$)。また、頻回群がコントロール群に比して有意に後/前荷重圧比、外/内側荷重圧比が高かった ($p<0.05$)。後方荷重圧、内側荷重圧、外側荷重圧は群間に有意な差は見られなかった (表 7)。

表 7 サイドホップピーク時荷重圧

	頻回群	コントロール群
前方下重圧 (g/Kg/cm ²)	* 21.2 ± 12.3	34.3 ± 20.5
後方荷重圧 (g/Kg/cm ²)	25.3 ± 33.4	20.5 ± 12.8
内側荷重圧 (g/Kg/cm ²)	22.1 ± 12.6	31.9 ± 18.2
外側荷重圧 (g/Kg/cm ²)	37.1 ± 23.8	26.5 ± 17.7
後/前荷重圧比 (%)	* 130.5 ± 72.1	66.3 ± 40.1
外/内側荷重圧比 (%)	* 246.8 ± 231.9	119.2 ± 104.9

* $p<0.05$

3.2.4. サイドホップ時接地前 50ms～接地までの筋活動

サイドホップ時の接地前 50ms～接地の瞬間までの%iEMG は頻回群でコントロール群に比して有意に PL と GAS の値が低く ($p<0.05$)、TA/PL 筋活動比が有意に高かった ($p<0.05$)。また、TA/GAS 筋活動比は頻回群がコントロール群に比して高い傾向が見られた ($p<0.1$)。

TA の%iEMG は群間に有意な差は見られなかった (表 8)

表 8 サイドホップ時接地前筋活動

	頻回群	コントロール
PL (%iEMG)	* 1.5 ± 0.6	2.6 ± 1.8
TA (%iEMG)	1.1 ± 0.8	1.0 ± 1.3
GAS (%iEMG)	* 4.3 ± 2.5	10.4 ± 7.4
TA/PL (%)	*95.2 ± 100.8	43.9 ± 42.4
TA/GAS (%)	†30.6 ± 16.2	16.8 ± 23.6

*p<0.05 †p<0.1

3.2.5. サイドホップ時接地～接地後 100ms 筋活動

サイドホップ時の接地から接地後 100ms 後の%iEMG は頻回群で TA/GAS 筋活動比、TA/PL 筋活動比が高い傾向が見られた (p<0.1)。PL、TA の値は群間に有意な差は見られなかった (表 9)。

表 9 サイドホップ 接地後筋活動

	頻回群	コントロール
PL (%iEMG)	4.2 ± 1.3	7.5 ± 5.8
TA (%iEMG)	1.6 ± 0.3	1.5 ± 0.7
GAS (%iEMG)	16.6 ± 6.7	22.8 ± 102.0
TA/PL (%)	†42.5 ± 20.1	27.3 ± 15.7
TA/GAS (%)	†11.0 ± 4.1	7.7 ± 3.9

†p<0.1

3.3.身体因子

3.3.1.足関節等速性筋力

30deg/sec、120deg/secの角速度での足関節等速性内外反、底背屈筋力はすべての項目において群間に有意な差は見られなかった。また、底背屈筋力比、内外反筋力比共に群間に有意な差は見られなかった（表 10, 11）。

表 10 30deg/sec 足関節等速性筋力

	頻回群	コントロール群
30deg/sec底屈筋力 (deg/sec)	114.6±25.5	125.9±41.9
30deg/sec背屈筋力 (deg/sec)	64.1±7.5	70.7±7.0
30deg/sec底背屈筋力比 (%)	182.0±54.3	174.6±45.4
30deg/sec内反筋力 (deg/sec)	26.1±6.1	30.4±11.8
30deg/sec外反筋力 (deg/sec)	32.4±4.9	30.3±8.7
30deg/sec内外反筋力比 (%)	130.2±33.0	107.3±28.5

表 11 120deg/sec 足関節等速性筋力

	頻回群	コントロール群
120deg/sec底屈筋力 (deg/sec)	44.4±22.9	49.3±28.8
120deg/sec背屈筋力 (deg/sec)	32.6±7.5	36.1±7.6
120deg/sec底背屈筋力比 (%)	131.7±54.2	128.5±57.2
120deg/sec内反筋力 (deg/sec)	14.6±5.6	15.2±5.9
120deg/sec外反筋力 (deg/sec)	17.6±2.9	17.2±5.4
120deg/sec内外反筋力比 (%)	130.8±44.6	119.1±30.9

3.3.2.スタティックアライメント

LHA、ND、非荷重、荷重位背屈可動域のすべての項目で群間に有意な差は見られなかった（表 12）。

表 12 スタティックアライメント

	頻回群	コントロール
非荷重位背屈ROM	10.8±4.9	10.4±5.9
荷重位背屈ROM	32.4±5.4	27.4±7.1
LHA	4.0±2.5	4.1±2.6
ND	1.0±0.2	0.8±0.3

3.4. 荷重圧と筋活動間の相関関係

閉眼バランス時の外側/内側荷重圧比と TA/PL 筋活動比との間に有意な正の相関関係が見られた。 $(r=0.58, p<0.05)$ 。また、サイドホップ時でもピーク時外側/内側荷重圧比と接地後 100ms までの TA/PL 筋活動比との間に有意な正の相関関係が見られた。

$(r = 0.51, p < 0.05)$ (図 26、27)

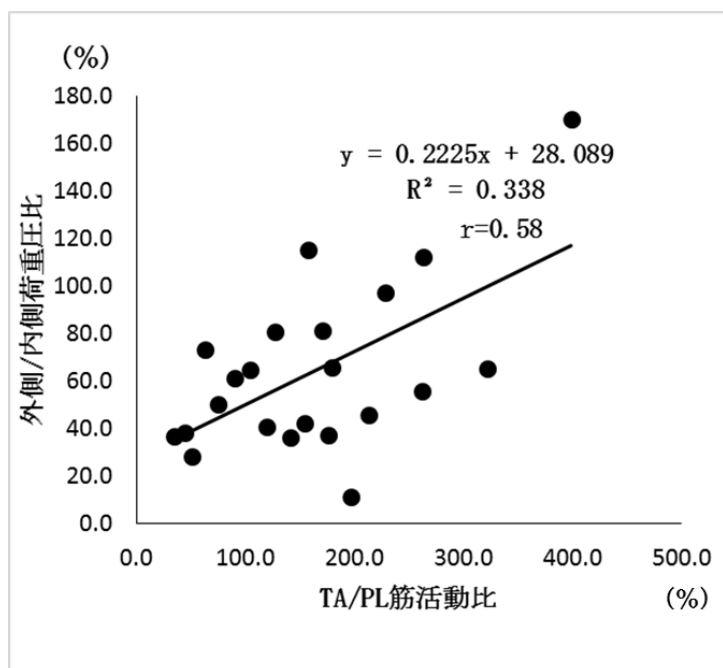


図 26 閉眼バランス時の相関関係

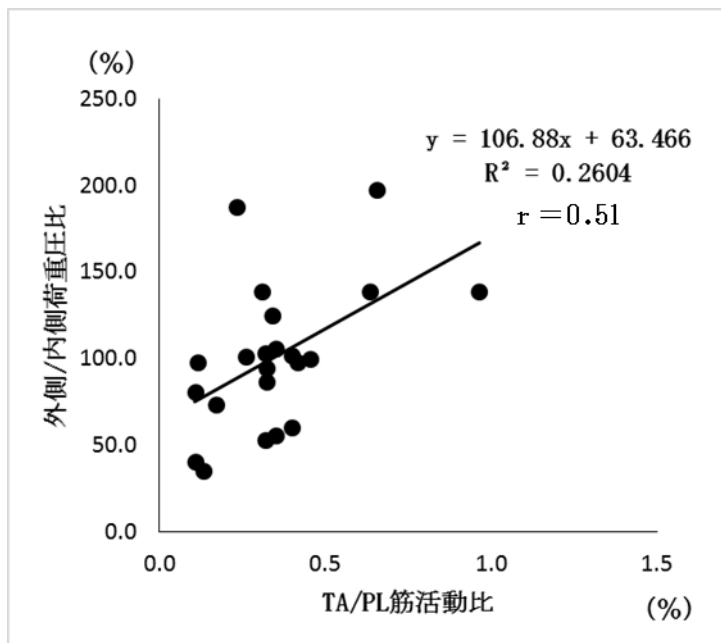


図 27 サイドホップ時の相関関係

4.考察

足関節内反捻挫は荷重圧が外側に偏位して受傷し、姿勢安定性低下、いわゆるバランス能力の低下が再受傷のリスクである。そのため、バランス課題時には外側荷重圧が高くなっている可能性が示唆されるが、従来は足圧中心の変位量の多寡のみでバランス能力が評価されており、捻挫を多く繰り返すものを対象に足圧の分布の特徴を検討したものはない。バランス課題時の荷重形態を明らかにすることは、リハビリテーションプログラム構築のための一助となる。そこで本研究は足関節内反捻挫再発が多いものが腓骨筋の筋活動が低下し、外側荷重になっているという仮説に基づき、足関節内反捻挫再発が多いものと既往を有さないものの動的及び静的バランス課題時の足圧分布と下肢筋活動の差異を検討することを目的に行った。

その結果、閉眼バランス時に頻回群がコントロール群に比して有意に内側荷重圧が低く、外側/内側荷重圧比が大きい、すなわち相対的に外側荷重になっていた。またその時の筋放電量をみると、頻回群の PL の %iEMG が低値で、TA/PL 比が有意に高値であること、外側/内側荷重圧比と TA/PL 比との間に有意な正の相関関係 ($r=0.58$) が見られることから、頻回群の腓骨筋の筋活動低下が閉眼バランス時の外側荷重に影響している可能性が示唆された。さらに、サイドホップ時にも閉眼バランスと同様の傾向が示され、接地後 Peak 荷重圧は頻回群がコントロールに比して外側/内側荷重圧比が有意に高いことに加え、前方荷重圧が低く、後方/前方荷重圧比が高い、すなわち頻回群は相対的に外側荷重でかつ後方にも荷

重する特徴が見られた。その際の筋放電量をみると、接地前は頻回群がコントロール群に比して PL、GAS の%iEMG が有意に低値であることから TA/PL 比が有意に高く、接地後にも TA/PL 比が高い傾向が示された。さらに、サイドホップ課題の遂行時間も頻回群がコントロール群よりも有意に遅かった。一方で、閉眼バランス時の COP の変位量、総軌跡長、矩形面積、および筋力、スタティックアライメント、背屈可動域にはすべての項目で両群間に有意差は見られなかった。このような主結果をもとに、以下に考察を進める。

4.1. 閉眼バランス時の外側荷重増加

頻回群がコントロール群に比して相対的に外側荷重（外側/内側荷重圧比が高値）の状態
で閉眼バランス課題を実施していた。さらに課題実施時の筋活動は、頻回群の腓骨筋の活動
がコントロール群よりも低値を示していた。本研究の頻回群で腓骨筋の筋活動がコント
ロールよりも低値を示したのは、主に CAIT スコアの低値（<24 点）、すなわち足関節の主観
的不安定感が残存していることが要因と考えられる。

これまで各種バランステストを用いて足関節捻挫既往者のバランス能力および腓骨筋活
動の特徴が検討されている。その中でも Feger et al は本研究と同様の動作課題である閉眼
バランスとサイドホップ動作での筋活動を検討しているが、本研究の結果とは異なり腓骨
筋、前脛骨筋、腓腹筋すべての筋活動でコントロールとの間に有意な差は認められないこと
を示している⁽⁴⁵⁾。この異なる結果は Feger et al は足関節捻挫既往の被験者選択基準を一定

回数以上捻挫の既往を有することのみとしており、足関節の不安定感の残存の有無を考慮していないことが影響しているため生じたと考えられる。一方、閉眼バランス課題ではないが、片足着地動作のように側方への慣性が働かない条件でのバランス課題を用いた先行研究では、足関節捻挫頻回群の選定基準として Giving way を有することを挙げており、このように足関節の不安定性を有する被験者では、接地前の腓骨筋の筋活動が低下していることが示されている⁽⁴⁶⁾。同様に動作課題は異なるものの、本研究と同様に CAIT スコアが 24 点以下を選定基準として被験者選定を行い、側方片脚着地課題を実施した Suda et al の研究でも、主観的不安定感が残存している場合には腓骨筋の筋活動低下が認められることを報告している⁽⁴⁷⁾。本研究も CAIT スコアを用いて足関節の主観的不安定感が残存していることを担保していることから、単に捻挫の既往を複数回有するだけでなく、足関節の主観的不安定感が残存しているものは腓骨筋の筋活動の低下が生じている可能性が示唆される。

また、本研究では頻回群の閉眼バランス課題における外側/内側荷重圧比と TA/PL 比との間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.58$)。機能解剖学的に見ると前脛骨筋は足関節背屈のみならず内反にも作用するのに対し、腓骨筋(長・短)は足関節の外反と底屈をもたらす、前脛骨筋の作用に拮抗する筋である。そのことから、腓骨筋の筋活動低下により TA/PL 比が増大すると、足関節は背屈優位になると同時に内反優位になることが推察され、このような特徴が外側荷重をもたらす可能性が示唆された。先行研究において、1 症例の観察研究ではあるが、キネマティクス、キネティクスデータ測定中に足関節内反捻挫を受傷し

た症例では、受傷時に足部の荷重中心が 3cm 以上急激に外方変位し、外側荷重が高まり受傷しており、外側荷重が足関節内反捻挫受傷のリスクであることが示されている⁽⁷⁾。本研究で見られた頻回群の特徴である相対的な外側荷重は、先行研究結果から考えても再発のリスクとなり、この荷重特徴に腓骨筋の筋活動低下による TA/PL 比の増大が影響していることは、足関節捻挫再発予防のためのリハビリテーションプログラム立案にとって有用な知見である。

加えて、本研究では足関節等速性筋力やスタティックアライメント、可動域などの静的因子に有意な群間差が認められなかった。一般的な足関節捻挫から競技復帰するためのリハビリテーションプログラムでは、足関節可動域や足関節周囲の筋力、そしてバランス能力向上が重要であると述べられている⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾。しかしながら本研究結果を鑑みると、可動域や筋力が改善していても、バランス課題時に腓骨筋がコントロール群と同様に活動していなければ、外側荷重が優位となり再発につながる可能性が推察される。さらに本研究では COP の変位量、COP 総軌跡長、矩形面積はすべての項目で有意な差が認められなかった。姿勢安定性の低下（COP 変位量の増大）が足関節内反捻挫再発のリスクであることはすでに明らかになっているが⁽²²⁾⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾、本研究の結果から COP の動揺に有意な差が認められないものにも足関節内反捻挫再発のリスクが存在している可能性が示された。このことから競技復帰のための姿勢安定性の評価の際には動揺の多寡だけではなく荷重位置に着目した質的評価の重要性が示されたものと考えられる。

4.2 サイドホップのタイムの遅延に関して

本研究では頻回群のサイドホップのトータルタイムがコントロール群よりも有意に遅かった。先行研究において内反捻挫の既往歴を有するものがコントロールよりも遅延することは報告されており⁽⁴¹⁾、その差は約1秒ほどであり⁽⁴⁰⁾、本研究結果と同程度(1.2秒)であることから、足関節内反捻挫の既往を持つものは、サイドホップのスピードが何らかの要因で遅延するものと考えられる。一方で本研究においてサイドホップ時の接地時間の総合計時間には有意な群間差は見られなかったことから、頻回群のサイドホップのタイムの遅延は接地期以外の局面である遊脚期が長いために生じている可能性がある。遊脚期を短縮するためには足部を地面に対し鋭角に離地、接地を行い、最短距離で跳躍動作を繰り返す必要があるが、鋭角に接地を行うほど足部に作用する回外トルクが大きくなる。足関節内反捻挫は足部に回外トルクが作用して生じる⁽⁷⁾ため、足関節に不安定感を有する捻挫既往群では接地時に足部に作用する回外トルクを減少させるために山なりに跳躍し、接地角度を大きくする動作特徴を有する可能性が推察され、そのためサイドホップのタイムが遅延している可能性がある。このことから、サイドホップのタイムが遅延している要因は不明であるが、足関節に強い回外トルクが作用する片足での急激な減速が必要とされる動作パフォーマンスが低下する可能性が示唆される。

4.3. サイドホップ時の前額面上の荷重特徴に関して

本研究ではサイドホップ動作時に、頻回群はコントロール群よりも接地後のピーク荷重が前方および内側荷重圧低値で、相対的に外側および後方荷重になっていることが明らかになった。その時の筋活動をみると、接地前には腓骨筋および腓腹筋が低値を示すことから TA/PL 比、TA/GAS 比が有意に高値となり、また接地後には引き続き TA/PL および TA/GAS 比が高値を示す傾向が見られた。

接地前の筋活動は接地時に生じる床反力を緩衝し、接地後の質量中心（荷重中心）を基底面に収めるために生じる予備的活動であり、動的バランスを維持するための動作戦略として重要である⁽⁵⁰⁾。内反捻挫予防においても接地後の筋活動よりも接地前の筋活動が重要視されており、TrapDoor を用いて足関節を急激に足関節内反を強制させる課題で、腓骨筋の筋活動は足関節内反強制後 50-80ms 後に見られるが⁽⁵¹⁻⁵³⁾、実際には足関節内反捻挫は急激な足関節内反が生じてから 50ms 以内に発生するため⁽⁷⁾、接地前の予備筋活動によって着地衝撃を緩衝して荷重中心を基底面内に収めておくことが必須なのである。

以上の先行研究結果を踏まえると、本研究の頻回群で接地前に腓骨筋の筋活動がコントロールよりも低値を示し、TA/PL 比が増大したことは、着地後のバランス維持を適切に行えないことを推察させる。先行研究において足関節内反捻挫受傷時には足関節に回外トルクが作用していることが示されており⁽⁷⁾、足関節内反位での接地は足関節の回外方向へ作用する床反力のモーメントアームを増大させるため足関節が過度に内反しやすいと考えられる（図 5）。また、足関節底屈位は足関節の構造的な不安定性が低下する⁽⁵⁴⁾ことから、健常

者は着地動作前に前脛骨筋が活動し背屈位を保った上で接地することが示されている⁽⁵⁵⁾。

だが前脛骨筋は足関節背屈作用だけではなく、足関節内反作用も有する。そのため、接地前の腓骨筋の筋活動の低下は相対的に前脛骨筋の活動を優位にさせ、結果として足関節内反位傾向での接地を招き、着地時に足関節に作用する回外トルクを高める可能性が考えられる。

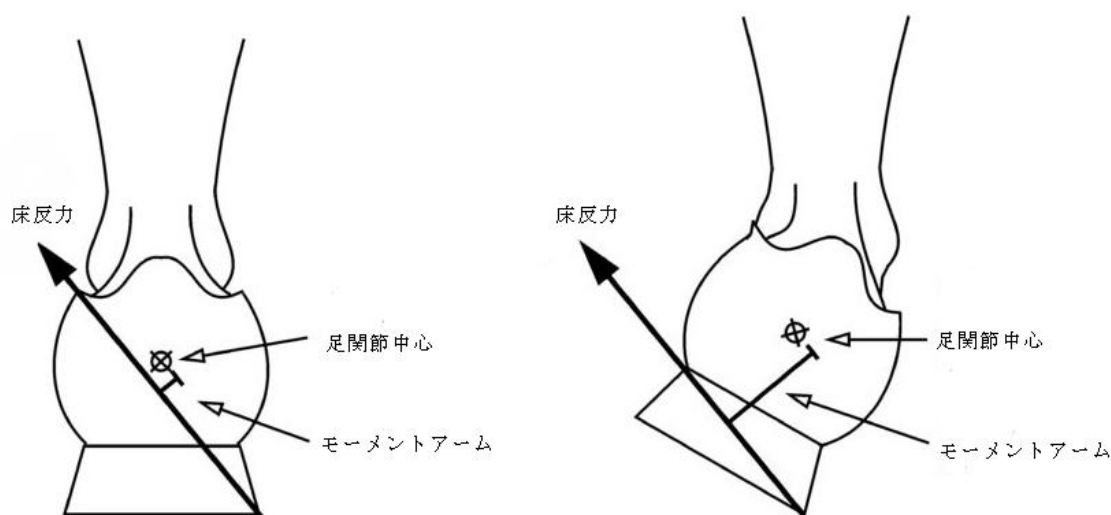


図 5 : Wright et al 2000 より改変

また、接地前および接地後の頻回群の腓腹筋筋活動がコントロール群よりも低値を示したことは、接地時の安定性や衝撃緩衝能が低下していることを推察させる。先行研究において、接地時の姿勢安定性を高めるには、着地の瞬間に鉛直方向へ変位する質量中心（荷重中心）を制動しつつ基底面内に収める必要があり、鉛直方向への質量中心の制動には股関節、膝関節、足関節の伸展方向の筋力発揮が重要であることが示されている⁽⁵⁶⁾。また、Devita et al は接地時に発揮された関節トルクを計測した結果、股関節伸展トルクが 22%、膝関節

伸展トルクが 34%、足関節底屈トルクが 54%を占めることを示した。このことから着地動作時の質量中心の緩衝には特に足関節底屈トルクが重要である可能性が示唆されている⁽⁵⁷⁾。

加えて、接地時に大きな足関節伸展（底屈）トルクを発揮するには接地前の腓腹筋の筋活動が高値であることが重要であることが示されている⁽⁵⁸⁾。これらのことから、接地の際の質量中心の鉛直方向の変位を制動するには接地前から腓腹筋の筋活動を高く保ち、接地後に特に足関節で大きな伸展トルクを発揮することが重要であることが分かる。本研究では足関節底背屈筋力に両群間で有意な差が見られなかったものの、接地前の頻回群の腓腹筋筋活動が低値であった。そのため、着地時の衝撃緩衝が不十分であった可能性が示唆される。

これらのことから、足関節内反捻挫の再発を繰り返す、足関節の不安定感が残存しているものは接地時の矢状面上、前額面上の姿勢安定性が低下しており、相対的に外側、後方荷重となっている可能性が示唆される。また、着地動作は Closed kinetic chain 運動であることから、着地時の後方荷重は足関節が底屈位を取りやすい肢位であることが分かる。足関節底屈位は構造的に不安定な状態だけではなく、最も破断強度の低く最も損傷しやすい足関節の外側の靭帯である ATFL が最も緊張する肢位であり⁽⁵⁴⁾、足関節内反捻挫受傷のリスクの高い肢位である。加えて、外側荷重は足関節内反捻挫受傷時の荷重特徴である⁽⁵⁹⁾。このことから足関節内反捻挫再発を繰り返す不安定感が残存しているものは、サイドホップ動作時にも腓骨筋および腓腹筋の筋活動が低下し、足関節内反捻挫受傷リスクの高い着地動作特徴をもつことが示された。従来サイドホップテストはタイムのみがアウトカムとして評価さ

れてきたが、本研究の結果から荷重状態や動作時の筋活動も同時に評価することが足関節捻挫再発予防のためのリハビリテーションプログラム立案のための知見を得るために重要である。

4.4 臨床への応用

本研究の結果から、筋力値に有意な差が見られなくとも頻回群は閉眼バランス時の腓骨筋の活動が低値で、相対的に外側荷重になっていることが示された。また、サイドホップの接地時にも接地前の腓骨筋の筋活動が低く、接地後は相対的に外側荷重となっていた。外側荷重は足関節内反捻挫受傷時の荷重特徴であるため⁽⁷⁾、内側荷重圧を高める必要性が示めされている。また、足関節内外反筋力は群間に有意な差が見られなかった。この事から足関節内反捻挫受傷後のリハビリテーションには従来足関節内反捻挫後のリハビリテーションで広く用いられているチューブや徒手抵抗の筋力トレーニングだけでなく、動作時に腓骨筋を働かせ、内側荷重圧を高めることの出来るトレーニングを導入する必要性が示唆された。腓骨筋は第一中足骨底、内側楔状骨底に付着しているため⁽⁶⁰⁾、腓骨筋を活動させるには前足部・後足部の回内が含まれる底屈動作が適していることが示されている⁽⁶¹⁾。そのため段差などを利用し、足部外側部を段差の外に出し、足部内足部だけで支持するカーフレイズなどの足部回内を意識させた荷重位での底屈トレーニングが内側荷重圧を高めるのに有効であると考えられる。

また、サイドホップの接地時には接地前の腓腹筋の筋活動が低く、接地後は相対的に後方荷重となっていた。接地前に腓腹筋の筋活動量が低値であったことから接地後の TA/GAS 比が高値であった。この結果から頻回群は接地時の安定性や衝撃緩衝能が低下していることが推察される。また、後方荷重は足関節底屈位の肢位である可能性を示し、足関節底屈位は構造的に不安定だけでなく ATFL にかかる張力を高めるため足関節内反捻挫受傷のリスクの高い肢位である。そのため、接地時の安定性や衝撃緩衝能を高めるためのリハビリテーションプログラムの実施が重要である。接地時の姿勢安定性を高めるには、着地の瞬間に鉛直方向へ変位する質量中心（荷重中心）を制動しつつ支持基底面内に収める必要があり、鉛直方向への質量中心の制動には特に足関節の接地時の伸展方向の筋力発揮が重要であることが示されている⁵⁶⁾。このことから接地時の姿勢安定性を高めるには、縄跳びのようなジャンプトレーニングなどの接地時に強い足関節底屈トルクを発揮することを目的としたが有効であると考えられる。また、接地前の腓骨筋の筋活動が低く、接地後は相対的に外側荷重となっていることから、上述した腓骨筋トレーニングを平行して進め、徐々にサイドホップのような前額面上の動作に移行していく必要があると考えられる。

4.5.本研究の限界と今後の課題

本研究の限界として 3 つ挙げられる。一点は動作課題時の床反力や関節角度などのキネティクス、キネマティクスデータを測定していないことである。そのため、静的アライメン

トや足関節可動域に群間差が見られなかったものの、実際の動作中にも差が見られないか否かを明らかにすることができていない。さらに本研究で得られた頻回群の外側荷重という特徴が上位関節の代償動作によって生じている可能性も考えられる。今後は全身的に分析を行い、足関節捻挫の再発予防法を検討する必要がある。2点目は本研究結果が足関節捻挫を頻回することによって生じた特徴であるか、外側荷重によって足関節内反捻挫を繰り返したかを明らかにできていないことである。この課題を検討するためにも、前向きな検討や、片脚のみ頻回する選手の健患比較を行っていく必要がある。3つ目は体幹や大腿部の筋活動を測定していないために姿勢安定性と筋活動の関連を詳細に検討できていないことである。今後は姿勢安定性に関与する体幹や大腿部の筋群の活動も測定する必要がある。

5. 結論

・足関節内反捻挫再発を繰り返し、主観的不安定感が残存しているものは閉眼バランス時に腓骨筋の筋活動がコントロールよりも低値を示し、TA/PL 比高値が示すように相対的に外側荷重になっていることが明らかとなった。

・サイドホップ動作時には足関節捻挫頻回群の接地前の腓骨筋、腓腹筋の筋活動が低値を示し、接地時に足部後方および外側に荷重するという、足関節内反捻挫受傷リスクの高い荷重特徴を持つことが示された。

・足関節捻挫を頻回し、かつ主観的不安定性を有するものの筋力、可動域、スタティックアライメントにはコントロール群との有意な差が認められなかった。

6.参考文献

1 Fong DTP, Hong YL, Chan LK, Yung PSH, Chan KM. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Medicine*. 2007;**37**(1):73-94.

2 Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*. 2007 Apr-Jun;**42**(2):311-9.

3 Gerber JP, Williams GN, Scoville CR, Arciero RA, Taylor DC. Persistent disability associated with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population. *Foot Ankle Int*. 1998 Oct;**19**(10):653-60.

4 Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football: an analysis of ankle sprains. *Br J Sports Med*. 2003 Jun;**37**(3):233-8.

5 Golano P, Vega J, de Leeuw PA, et al. Anatomy of the ankle ligaments: a pictorial essay. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010 May;**18**(5):557-69.

6 Fong DT, Ha SC, Mok KM, Chan CW, Chan KM. Kinematics analysis of ankle inversion ligamentous sprain injuries in sports: five cases from televised tennis competitions. *Am J Sports Med*. 2012 Nov;**40**(11):2627-32.

7 Kristianslund E, Bahr R, Krosshaug T. Kinematics and kinetics of an accidental

lateral ankle sprain. *J Biomech.* 2011 Sep 23;**44**(14):2576-8.

8 Yeung MS, Chan KM, So CH, Yuan WY. An epidemiological survey on ankle sprain.

Br J Sports Med. 1994 Jun;**28**(2):112-6.

9 Malliaropoulos N, Ntessalen M, Papacostas E, Longo UG, Maffulli N. Reinjury after

acute lateral ankle sprains in elite track and field athletes. *Am J Sports Med.* 2009

Sep;**37**(9):1755-61.

10 Krips R, de Vries J, van Dijk CN. Ankle instability. *Foot Ankle Clin.* 2006

Jun;**11**(2):311-29, vi.

11 Anandacoomarasamy A, Barnsley L. Long term outcomes of inversion ankle injuries.

Br J Sports Med. 2005 Mar;**39**(3):e14; discussion e.

12 Verhagen RA, de Keizer G, van Dijk CN. Long-term follow-up of inversion trauma of

the ankle. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1995;**114**(2):92-6.

13 Lynch SA, Renstrom PA. Treatment of acute lateral ankle ligament rupture in the

athlete. Conservative versus surgical treatment. *Sports Med.* 1999 Jan;**27**(1):61-71.

14 Takao M, Uchio Y, Naito K, Fukazawa I, Ochi M. Arthroscopic assessment for intra-

articular disorders in residual ankle disability after sprain. *Am J Sports Med.* 2005

May;**33**(5):686-92.

15 Valderrabano V, Hintermann B, Horisberger M, Fung TS. Ligamentous

posttraumatic ankle osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2006 Apr;**34**(4):612-20.

16 McGowan RW, Pierce EF, Williams M, Eastman NW. Athletic injury and self diminution. *J Sports Med Phys Fitness.* 1994 Sep;**34**(3):299-304.

17 Freeman MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* 1965 Nov;**47**(4):669-77.

18 Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train.* 2002 Dec;**37**(4):364-75.

19 Hoch MC, McKeon PO. Peroneal reaction time after ankle sprain: a systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2014 Mar;**46**(3):546-56.

20 McKeon JM, McKeon PO. Evaluation of joint position recognition measurement variables associated with chronic ankle instability: a meta-analysis. *J Athl Train.* 2012 Jul-Aug;**47**(4):444-56.

21 Menacho Mde O, Pereira HM, Oliveira BI, Chagas LM, Toyohara MT, Cardoso JR. The peroneus reaction time during sudden inversion test: systematic review. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010 Aug;**20**(4):559-65.

22 Arnold BL, De La Motte S, Linens S, Ross SE. Ankle instability is associated with balance impairments: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2009 May;**41**(5):1048-62.

23 Santos MJ, Liu W. Possible factors related to functional ankle instability. *J Orthop*

Sports Phys Ther. 2008 Mar;**38**(3):150-7.

24 Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, Vaes P, De Clercq D. Proprioception and Muscle Strength in Subjects With a History of Ankle Sprains and Chronic Instability. *J Athl Train*. 2002 Dec;**37**(4):487-93.

25 Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *Br J Sports Med*. 2014 Jul;**48**(13):1014-8.

26 Docherty CL, Gansneder BM, Arnold BL, Hurwitz SR. Development and reliability of the ankle instability instrument. *J Athl Train*. 2006 Apr-Jun;**41**(2):154-8.

27 Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, Herbert RD, Kilbreath SL. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006 Sep;**87**(9):1235-41.

28 Ross SE, Guskiewicz KM, Gross MT, Yu B. Assessment tools for identifying functional limitations associated with functional ankle instability. *J Athl Train*. 2008 Jan-Mar;**43**(1):44-50.

29 van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*. 1992 Aug;**14**(2):82-99.

30 de Noronha M, Franca LC, Haupenthal A, Nunes GS. Intrinsic predictive factors for

ankle sprain in active university students: a prospective study. *Scand J Med Sci Sports*.

2013 Oct;**23**(5):541-7.

31 Trojian TH, McKeag DB. Single leg balance test to identify risk of ankle sprains. *Br*

J Sports Med. 2006 Jul;**40**(7):610-3; discussion 3.

32 Tyler TF, McHugh MP, Mirabella MR, Mullaney MJ, Nicholas SJ. Risk factors for

noncontact ankle sprains in high school football players: the role of previous ankle

sprains and body mass index. *Am J Sports Med*. 2006 Mar;**34**(3):471-5.

33 Wang HK, Chen CH, Shiang TY, Jan MH, Lin KH. Risk-factor analysis of high

school basketball-player ankle injuries: a prospective controlled cohort study

evaluating postural sway, ankle strength, and flexibility. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006

Jun;**87**(6):821-5.

34 Willems TM, Witvrouw E, Delbaere K, Philippaerts R, De Bourdeaudhuij I, De

Clercq D. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in females--a prospective

study. *Scand J Med Sci Sports*. 2005 Oct;**15**(5):336-45.

35 Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical

practice. Lippincott Williams & Wilkins. 2011.

36 Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about

neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006 Sep;**35** Suppl 2:ii7-ii11.

- 37 Riemann BL. Is there a link between chronic ankle instability and postural instability. *Journal of Athletic Training*. 2002;**37**(4):386-93.
- 38 Close JR. Some applications of the functional anatomy of the ankle joint. *J Bone Joint Surg Am*. 1956;**38**(4):761-81.
- 39 Henry SM, Fung J, Horak FB. EMG responses to maintain stance during multidirectional surface translations. *J Neurophysiol*. 1998 Oct;**80**(4):1939-50.
- 40 Docherty CL, Arnold BL, Gansneder BM, Hurwitz S, Gieck J. Functional-Performance Deficits in Volunteers With Functional Ankle Instability. *J Athl Train*. 2005 Mar;**40**(1):30-4.
- 41 Linens SW, Ross SE, Arnold BL, Gayle R, Pidcoe P. Postural-stability tests that identify individuals with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2014 Jan-Feb;**49**(1):15-23.
- 42 城下 貴, 福林 徹. 足趾エクササイズが足内側縦アーチに及ぼす影響について. *理学療法科学*. 2012 08;**27**(4):397-400.
- 43 日本リハビリテーション医学会. 関節可動域表示ならびに測定法. *リハビリテーション医学*. 1995;**32**(4):207-17.
- 44 O.Perotto A, (訳) 楠森良二. *筋電図のための解剖ガイド*. 西村書店. 1997.
- 45 Feger MA, Donovan L, Hart JM, Hertel J. Lower extremity muscle activation during

functional exercises in patients with and without chronic ankle instability. *PM R.* 2014

Jul;**6**(7):602-11; quiz 11.

46 Rosen A, Swanik C, Thomas S, Glutting J, Knight C, Kaminski TW. Differences in lateral drop jumps from an unknown height among individuals with functional ankle instability. *J Athl Train.* 2013 Nov-Dec;**48**(6):773-81.

47 Suda EY, Sacco IC. Altered leg muscle activity in volleyball players with functional ankle instability during a sideward lateral cutting movement. *Phys Ther Sport.* 2011 Nov;**12**(4):164-70.

48 Holme E, Magnusson SP, Becher K, Bieler T, Aagaard P, Kjaer M. The effect of supervised rehabilitation on strength, postural sway, position sense and re-injury risk after acute ankle ligament sprain. *Scand J Med Sci Sports.* 1999 Apr;**9**(2):104-9.

49 Eiff MP, Smith AT, Smith GE. Early mobilization versus immobilization in the treatment of lateral ankle sprains. *Am J Sports Med.* 1994 Jan-Feb;**22**(1):83-8.

50 Santello M. Review of motor control mechanisms underlying impact absorption from falls. *Gait Posture.* 2005 Jan;**21**(1):85-94.

51 Hopkins JT, Brown TN, Christensen L, Palmieri-Smith RM. Deficits in peroneal latency and electromechanical delay in patients with functional ankle instability. *J Orthop Res.* 2009 Dec;**27**(12):1541-6.

- 52 Gruneberg C, Nieuwenhuijzen PH, Duysens J. Reflex responses in the lower leg following landing impact on an inverting and non-inverting platform. *J Physiol.* 2003 Aug 1;**550**(Pt 3):985-93.
- 53 Konradsen L, Voigt M, Hojsgaard C. Ankle inversion injuries. The role of the dynamic defense mechanism. *Am J Sports Med.* 1997 Jan-Feb;**25**(1):54-8.
- 54 Turco VJ. Injuries to the ankle and foot in athletics. *Orthop Clin North Am.* 1977 Jul;**8**(3):669-82.
- 55 Gutierrez GM, Knight CA, Swanik CB, et al. Examining neuromuscular control during landings on a supinating platform in persons with and without ankle instability. *Am J Sports Med.* 2012 Jan;**40**(1):193-201.
- 56 Zhang SN, Bates BT, Dufek JS. Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Apr;**32**(4):812-9.
- 57 Devita P, Skelly WA. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc.* 1992 Jan;**24**(1):108-15.
- 58 Spagele T, Kistner A, Gollhofer A. Modelling, simulation and optimisation of a human vertical jump. *J Biomech.* 1999 May;**32**(5):521-30.
- 59 Wright IC, Neptune RR, van den Bogert AJ, Nigg BM. The influence of foot positioning on ankle sprains. *J Biomech.* 2000 May;**33**(5):513-9.

60 Schunke M, Schulte E, Schumacher U, 建雄 訳坂. プロメテウス解剖学アトラス解剖

学総論/運動器系 第2版. 2011.

61 A. Neumann. D, 他 訳嶋智. 筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版. 2005.

謝辞

本論文作成にあたって、早稲田大学スポーツ科学学術院広瀬統一教授、福林徹教授、鳥居俊准教授には多大なるご指導、ご鞭撻を賜りました。深く感謝の意を申し上げます。特に広瀬統一教授には大変ご多忙の中懇切丁寧にご指導頂きました。先生のご助言があったからこそ本研究を完成させることが出来ました。先生に頂いたご助言をすべて今後の研究の際に活かして行く所存です。深く御礼申し上げます。

広瀬研究室の皆様、福林研究室の皆様には研究全般に渡りご指導、ご協力頂きました。特に広瀬研究室同期の佐々部孝紀さん、坂井禎良さんには機材運搬から研究実施の際の手伝い、アドバイスなど多岐に渡って協力して頂きました。お二人なしにはこの研究は完成に至りませんでした。深く御礼申し上げます。また、広瀬研博士課程、熊崎昌さんには研究実施にあたって、厳しくも温かいご助言を頂きました。深く御礼申し上げます。

快く実験に参加して頂いたア式蹴球部、女子ハンドボール部、男子ラクロス部、女子ラクロス部の皆様に御礼申し上げます。ご協力、ありがとうございました。

本研究は多くの方々のご協力を頂き、完成に至りました。すべての皆様に深く御礼申し上げます。

最後に、常に体調を気に留めつつ温かく見守ってくださった家族に感謝致します。