

博士論文

超音波検査を用いた足関節不安定性の評価

平成 26 年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

中條 智志

目次

第1章 緒言.....	1
研究の背景.....	1
研究の意義.....	2
研究の目的.....	2
第2章 文献研究.....	3
足関節捻挫の疫学.....	3
足関節捻挫の危険因子.....	3
足関節捻挫の病態.....	4
足関節捻挫後遺症.....	6
機械的不安定性の評価.....	8
整形外科領域における超音波検査.....	8
第3章 本研究の課題.....	11
本研究の課題.....	11
第4章 ストレス X 線と超音波診断装置を用いた動態評価との 関連性.....	12
研究 1. 超音波診断装置を用いた前距腓靭帯の動態評価とストレス X 線検査との関連性.....	12
目的.....	12
方法及び対象.....	12
結果.....	18
考察.....	21
まとめ.....	22
研究 2. 超音波診断装置を用いた踵腓靭帯の動態評価とストレス X 線検査との関連性.....	23
目的.....	23
方法及び対象.....	23
結果.....	29
考察.....	30
まとめ.....	31

第5章 超音波検査による足関節不安定性検査の有用性.....	32
研究3. ストレス X線検査における前方引き出し動態に対する超音波診断装置を用いた ATFLの動態評価と徒手を用いた前方引き出しテストの比較検討.....	32
目的.....	32
方法及び対象.....	32
結果.....	34
考察.....	38
まとめ.....	41
研究4. ストレス X線検査における内反動態に対する超音波診断装置を用いた CFLの 動態評価と徒手を用いた内反ストレステストの比較検討.....	42
目的.....	42
方法及び対象.....	42
結果.....	43
考察.....	47
まとめ.....	49
研究5. ATFL, CFL 複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL 及び CFL の 動態評価の検討.....	50
目的.....	50
方法及び対象.....	50
結果.....	51
考察.....	55
まとめ.....	57
第6章 総合討論.....	58
第7章 結論.....	62
謝辞	63
参考文献	64

略語一覧

ATFL : : anterior talofibular ligament (前距腓靭帯)

CFL : calcaneofibular ligament (踵腓靭帯)

CAI : chronic ankle instability (慢性足関節不安定症)

CT : computed tomography(コンピュータ断層撮影法)

MRI : magnetic resonance imaging (磁気共鳴画像法)

TTA : talar tilt angle(距骨傾斜角)

AUC : area under the curve (曲線下面積)

表のタイトル一覧

第2章 文献研究

表 1. 超音波検査, 単純 X 線検査, MRI, CT におけるメリット及びデメリット

第4章 超音波検査と徒手検査との比較

表 2. ストレス X 線検査の結果及び外果距骨離開率

表 3. ROC 曲線の座標点

表 4. 超音波画像診断の結果及び TTA

表 5. 超音波検査を用いた ATFL の動態評価及びストレス X 線検査の結果

表 6. 徒手による前方引き出しテスト及びストレス X 線検査の結果

表 7. ATFL における超音波検査及び徒手検査の感度, 特異度, 陽性適中率, 陰性適中率, 正診率

表 8. ATFL における超音波検査及び徒手検査の AUC

表 9. 超音波検査を用いた CFL の動態評価及びストレス X 線検査の結果

表 10. 徒手を用いた内反ストレステスト及びストレス X 線検査の結果

表 11. CFL における超音波検査及び徒手検査の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率

表 12. CFL における超音波検査及び徒手検査の AUC

第 5 章 超音波検査による足関節不安定性検査の有用性

表 13. ATFL 単独損傷における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の結果

表 14. ATFL+CFL 複合損傷における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の結果

表 15. CFL 単独損傷における超音波診断装置を用いた CFL の動態評価の結果

表 16. ATFL+CFL 複合損傷における超音波診断装置を用いた CFL の動態評価の結果

表 17. 靭帯損傷種類別における超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率

表 18. 靭帯損傷種類別における超音波検査を用いた CFL の動態評価の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率

図のタイトル一覧

第2章 文献研究

図1. 足関節の靭帯(外側面)

図2. 損傷から治癒まで

第4章 超音波検査と徒手検査との比較

図3. テロス SE を用いたストレス X 線検査(前方引き出しストレス)

図4. 前方引き出し率の測定

図5. 外果及び距骨前外側突起の超音波画像

図6. ATFL 描出方法(走査図)

図7. ATFL の超音波画像(正常例)

図8. 超音波検査を用いた ATFL の動態評価のプロープ走査法

図9. 前方引き出しストレスをかけた時の超音波画像(ATFL 不全例)

図10. 正常群と機械的不安定性あり群の外果距骨間離開率

図11. 前方引き出し率と外果距骨間離開率

図 12. 外果距骨間離開率における ROC 曲線

図 13. テロス SE を用いたストレス X 線検査(内反ストレス)

図 14. 距骨傾斜角(talar tilt angle ; TTA)の測定

図 15. CFL 描出方法(走査図)

図 16. CFL の超音波画像

図 17. 超音波検査を用いた CFL の動態評価のプローブ走査法プローブの走査方法

図 18. 踵骨を回外させた時の超音波画像(正常例)

図 19. 踵骨を回外させた時の超音波画像(不全例)

図 20. 正常群と CFL 不全群の TTA

図 21. 徒手による前方引き出しテストにおける ROC 曲線

図 22. 超音波検査を用いた CFL の動態評価における ROC 曲線

図 23. 徒手による内反ストレステストにおける ROC 曲線

第1章 緒言

研究の背景

足関節捻挫は、スポーツ活動において高い頻度で生じる外傷で、他のスポーツ外傷・障害と比較して非常に高い発生率を示しており¹⁻⁷⁾、なかでも内返し捻挫が圧倒的に多い。そして、足関節内返し捻挫によって前距腓靭帯(anterior talofibular ligament : 以下 ATFL)や踵腓靭帯(calcaneofibular ligament : 以下 CFL)を損傷することが多い。足関節内返し捻挫は疼痛が存在していても早期から運動を行えることが多いため、現場では軽微な外傷と認識されている傾向がある。しかし、リハビリテーションが不十分なまま復帰してしまうと、軽微な外力で頻回の足関節捻挫を繰り返す慢性足関節不安定症(chronic ankle instability : 以下 CAI)などの後遺症を引き起こす可能性があり、スポーツを行う上では大きな支障となる。CAI は機械的不安定性と機能的不安定性が原因であると考えられており⁸⁾、この機械的不安定性は距腿関節の不安定性と認識されており、その評価には徒手検査やストレス X 線撮影が行われている。徒手検査は簡便に行え応用も利く。さらに、触診によって患者の状態や関節の状態も把握することができる。しかし、負荷量が一定にできない、検者の主観的な評価になってしまうなど正確性については近年の報告で否定的なものが多い⁹⁻¹²⁾。一方、ストレス X 線テストは2種類あり徒手で行うものと、機器を用いて行う方法がある。徒手による方法は、機器を用いないため簡便に行うことができるが、検者が被曝してしまうという欠点がある。一方、機器を用いる方法は負荷量を一定にでき、客観的な評価を行うことができる。さらに、被曝の問題もなくなる。欠点としては撮影に手間がかかること、急性例では患者が痛み抵抗力が加わり、正確な測定値が出にくいことがあげられる¹³⁾。

整形外科領域では一般的に普及している単純 X 線検査、コンピュータ断層撮影法(computed tomography : 以下 CT)、磁気共鳴画像法(magnetic resonance imaging : 以下 MRI)があり、単純 X 線検査は骨病変のスクリーニング検査、CTは骨病変の精査、

MRI は軟部組織病変の精査のイメージモダリティとして使用されてきた。近年では、画質、画像処理技術の著しい進歩によって超音波検査が急速に普及し始めている。超音波検査は非侵襲的で放射線被曝もなく、軟部組織における病変の把握に非常に有用であり、関節に対して徒手ストレスをかけながらリアルタイムで撮影できることから、テストで生じる身体組織の変化を可視化して捉えることが可能である。以上のことから、従来行われてきた足関節不安定性を超音波検査を用いて評価することが可能ではないかと考えた。しかし、超音波検査を用いた足関節不安定性の評価は散見される程度で、その評価方法は確立されていない。

研究の意義

足関節捻挫の発生率はその他のスポーツ外傷・障害と比較して非常に高い発生率を示しており、多くのスポーツ選手が足関節捻挫後、痛みや不安定感等の症状に悩まされている。そして、それらの症状はスポーツ復帰の可否を左右し、パフォーマンスの低下を招く。その足関節捻挫後遺症の主症状である不安定感を、超音波検査にて簡便に評価することが可能であれば、ストレス X 線検査の様に被曝の心配もなく、根拠に基づいた治療を行うための有用な情報を得ることができる。

研究の目的

本研究の目的は、超音波検査を用いた足関節不安定性評価の有用性を検討することとした。

第2章 文献研究

足関節捻挫の疫学

足関節捻挫はスポーツ外傷・障害全体の 12～20%を占めており¹⁻³⁾、その発生率は練習時 0.76～1.06 件/1000 player-hours, 試合時 1.89～3.19 件/1000 player-hours⁴⁻⁷⁾である。また、その他のスポーツ外傷・障害の発生率は膝内障：練習時 0.25～0.40 件/1000 player-hours, 試合時 0.66～2.61 件/1000 player-hours, 打撲：練習時 0.10～0.15 件/1000 player-hours, 試合時 0.34～1.42 件/1000 player-hours, 筋腱損傷：練習時 0.18～1.11 件/1000 player-hours, 試合時 0.10～1.54 件/1000 player-hours⁴⁻⁷⁾であり、足関節捻挫の発生率はその他のスポーツ外傷・障害と比較して非常に高い発生率を示している。そして、足関節捻挫は大きく内返し捻挫と外返し捻挫の 2 種類に分けられる。発生率は内返し捻挫 70～77%¹⁴⁾、外返し捻挫 5～14%¹⁴⁻¹⁵⁾と報告によればらつきがあるものの内返し捻挫が圧倒的に多い。また、女性よりも男性の方が発生率は高い¹⁶⁾。さらに、スポーツ別に足関節捻挫の発生率をみると、足関節外傷のうち足関節捻挫の発生率はサッカー：60～70%、バレーボールでは 40%、との報告¹⁷⁻¹⁸⁾がある。一方アイスホッケーにおいては足関節捻挫の発生率は他のスポーツと比較し低く、内返し捻挫と比較して外返し捻挫の発生率が高かったという報告がある¹⁹⁻²¹⁾。

足関節捻挫の危険因子

一般的にスポーツ外傷・障害の危険因子は個人に関連する内因性因子と環境などに関連する外因性因子に区別される。内因性の危険因子は、アライメント異常、筋力、筋持久力、筋柔軟性、全身関節弛緩性、機能的不安定性などが挙げられる。外因性の危険因子には、トレーニング負荷、出場試合数、天候因子、ピッチ面の状態、シューズやテーピング・装具といった用具、競技規則、ファウルプレーなどが挙げられる。そしてこれらが、単独あるいは複数絡まって外傷・障害にいたる²²⁾。先行研究におい

て既往^{19, 22-31)}、性別³²⁻³⁴⁾、身長と体重^{19, 27, 34-35)}、利き脚^{23, 28, 34)}、足部の形態^{27, 30, 34-35)}、関節弛緩性や関節可動域^{31, 33, 36-39)}、筋力^{30, 34)}、筋反応時間³⁴⁾、姿勢コントロール能力^{31, 34, 39-41)}などが足関節捻挫受傷の危険因子として報告されている。

足関節捻挫の病態

足関節は背屈位にて骨性に安定性が得られている。しかし、底屈位では骨性の安定性が低下し、靭帯が安定性に大きく関与する。

ATFL は外果前縁から起こり、前内方に向かって距骨頸に付着し(図 1)、足関節の内返し及び内転を制限する。CFL は外果頂点から踵骨外側へと後下方に走行し(図 1)、距腿関節と距骨下関節を横切り内返しを制限する。そして、これら 2 つの靭帯は底屈と背屈の可動範囲の大部分で内返しを制限する。

先行研究によると足関節内返し捻挫時においては、ATFL 損傷が 65～73%と最も頻度が高く、次いで ATFL 損傷と CFL 損傷が合併しているものが 20%と報告されている¹⁴⁾。その他にも距腿関節の関節包、距骨下関節の安定性に寄与している頸靭帯も損傷すると報告されている⁸⁾。後距腓靭帯損傷は、骨折や脱臼を伴う重傷の内反捻挫時に起こる。一方、外返し捻挫時は三角靭帯の損傷が起こり、さらに、外返し強制は腓骨を外方に押すため、遠位脛腓靭帯結合の損傷を伴うことが多い。

足関節捻挫の主な受傷機転はランニング⁴²⁾、カッティング⁴²⁾、ジャンプ⁴²⁻⁴⁷⁾、相手との接触などが挙げられる⁴⁸⁻⁴⁹⁾。

足関節内返し捻挫の重症度は、Kannus らは grade I を靭帯の損傷がなくストレッチされた状態でわずかな腫脹と圧痛があり、わずかな機能低下があるかないか、機械的な足関節の不安定性がない状態、grade II を中等度の疼痛と靭帯の部分損傷があり、損傷部位付近の疼痛と腫脹があり、可動域制限と軽度から中等度の足関節不安定性を有する状態、grade III を靭帯の完全断裂で、強い腫脹、出血、圧痛、機能低下、異常運

動と足関節不安定性がある状態と定義した⁵⁰⁾。さらに、FreyはATFLとCFLの損傷の有無によりgradeを決定し、その判断基準として徒手検査とストレスX線撮影を含めたものを提唱している⁵¹⁾など、重症度の判定基準はさまざまである。



図 1. 足関節の靭帯(外側面) 文献 52 より引用

足関節捻挫後遺症

靭帯損傷の治癒には最小限の肉芽組織の参加だけで治癒する第一次治癒と比較的多量の肉芽組織の形成によって治癒する第二次治癒があり、さらに、修復過程は炎症期・修復期・改変期の3期に分けられ損傷程度、治療法などさまざまな因子が関与する⁵³⁾(図2)。

2). 足関節捻挫による靭帯損傷後、多くの場合、保存療法が選択され第一次治癒を促すためパッド等で患部を圧迫する。しかし、損傷程度が大きい場合、壊死組織や炎症性滲出物があるためその除去を必要とする場合、あるいは組織の再生力が弱い場合などは第二次治癒となり、治癒巣に大きな癒痕組織を残す。これにより靭帯の緩みを引き起こすためだと考えられている⁵⁴⁾。さらに、早期から疼痛が存在していても運動を行えることが多いため、現場では軽微な損傷と認識されていることが多く、リハビリテーションが不十分なまま復帰してしまい、足関節捻挫受傷後6ヶ月でも40%もの選手が固有感覚受容器の低下などの機能低下が残存しているとの報告がある⁵⁵⁾。

足関節の不安定性は機械的不安定性と機能的不安定性の2つに分類される。機械的不安定性(mechanical instability)は「正常な生理的関節可動範囲を超えた可動域を有する関節」と定義され⁵⁶⁾、足関節捻挫により足関節の静的安定性に関与する因子である靭帯などの組織が破綻すると生じる。そして、機能的不安定性(functional instability)は「機械的不安定性がなく、足関節捻挫受傷後に不安定感 giving way が残存している状態」と定義され⁵⁷⁾、動的安定性の要素である固有感覚、筋の協調性、姿勢制御の損失により生じる。

足関節捻挫後遺症には、足関節捻挫後何らかの原因によって不安定性が慢性的に残存し、軽微な外力により複数回の捻挫を繰り返すCAIがある。機械的不安定性と機能的不安定性がこの慢性足関節不安定症の原因であると考えられている⁸⁾。そして、足関節捻挫を長期間繰り返すことで足関節周囲の組織が変性変化を起こし、インピンジメント症候群や変形性足関節症などを引き起こす。これらの二次的障害は、長期間の

疼痛や機能障害をまねき、重篤な場合は外科的治療にいたることもあるため、スポーツを行う上では大きな支障となる。

変形性足関節症発生に関与する要因として、残存した慢性足関節不安定症による繰り返しの受傷、足関節でのアライメント変化、機械的不安定性の存在、受傷時の骨軟骨損傷などがあげられ、機械的不安定性と変形性足関節症の関係については、足関節捻挫による変形性足関節症患者の52%に不安定性が認められたとの報告⁵⁸⁾や、慢性足関節不安定症を有する外側靭帯損傷患者の66%に軟骨損傷が認められたとの報告⁵⁹⁾があり、機械的不安定性と変形性足関節症発生との関係が示唆されている。

したがって、足関節捻挫後遺症を考える際にはこの機械的不安定性を無視できない。特に、内返し捻挫後は前距腓靭帯と踵腓靭帯を損傷することが多いため、距腿関節及び距骨下関節の機械的不安定性を評価することが適切な治療方法を考える際の基礎情報となると考える。

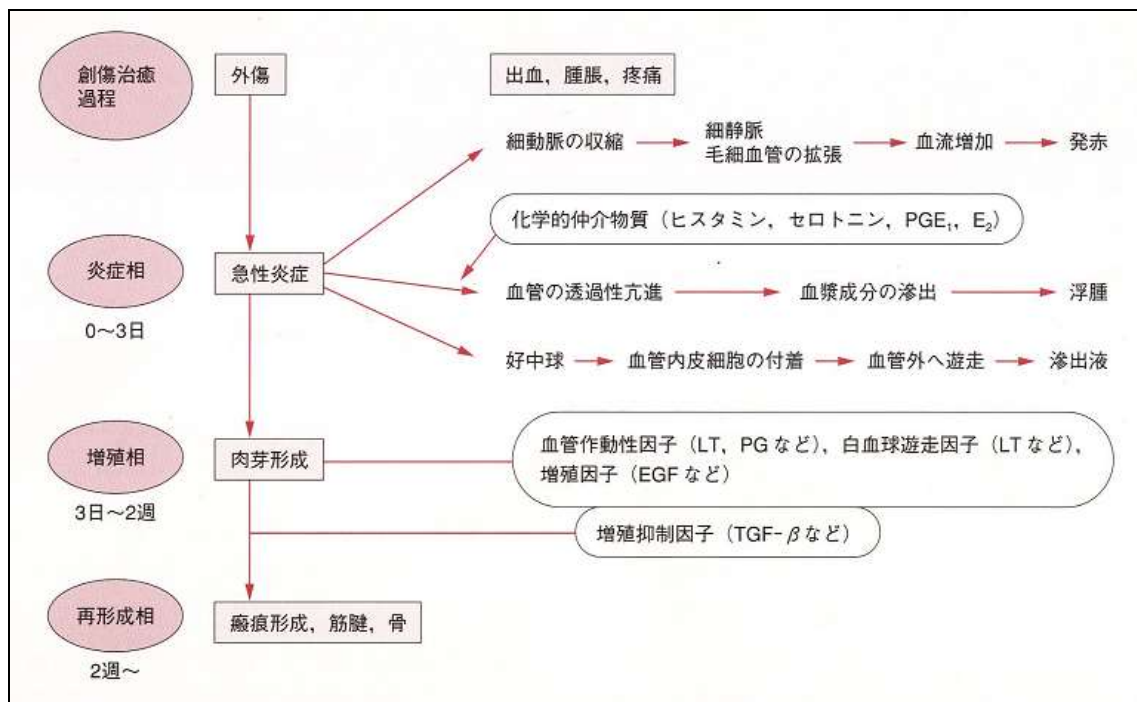


図 2. 損傷から治癒まで 文献 53 より引用

機械的不安定性の評価

足関節の機械的不安定性の評価法としてよく用いられる検査は、徒手検査と X 線検査である。徒手検査の代表的な手技として、距腿関節の機械的不安定性を評価する前方引き出しテスト(**anterior drawer test**)と距骨傾斜テスト(**talar tilt test**)があり、距骨下関節の構造的不安定性に対する手技として、距骨下関節不安定テスト(**medial subtalar glide test**)がある⁸⁾。

藤田らは前方引き出しテストの靭帯の関与は、**ATFL** の切離により転位は大きくなるものの、**CFL** の影響は見られなかったことより、前方引き出しテストは主に **ATFL** の状態を反映していると報告している⁶⁰⁾。また、内反ストレステストについては **CFL** の切離によって最も変位が大きくなるため、内反ストレステストは主に **CFL** の状態を反映しているとも報告している⁶⁰⁾。そして、X 線検査を用いれば、これらの徒手検査の結果を距離や角度を用いて定量的に評価することが可能である。

整形外科領域における超音波検査

整形外科領域では一般的に普及している単純 X 線検査、**CT**、**MRI** にはそれぞれ異なったメリット、デメリットがある⁶¹⁻⁶²⁾ (表 1)。単純 X 線検査は簡便で低コスト、検査時間が短いというメリットがあり骨病変のスクリーニング検査として使用されているが、放射線被曝をしてしまうというデメリットもある。**CT** は微細な骨病変の描出に優れており、磁気を使用しないため心臓ペースメーカーなどの金属使用者に施行可能である。さらにはアーティファクトが少なく広範囲の撮影が可能であり、骨病変の精査として使用されている。しかし、放射線被曝が X 線検査の数倍～数十倍であり、軟部組織の組織学的変化があまり反映されない。**MRI** は放射線被曝がなく、関節内部の病変をとらえることができ、軟部組織病変の精査のイメージモダリティとして使用されてきた。しかし、コストが高い、検査時間が長い、心臓ペースメーカーなどの磁気に反応する金属が体内にあると検査が受けられない場合があるなどのデメリットが

ある。そして、臨床ではそれぞれの特徴を考慮し使い分けられ、整形外科領域で扱う骨、軟部組織病変のほとんどが単純 X 線検査，CT，MRI によって観察できてしまうことから、これまで整形外科領域において超音波検査は普及していなかった。しかし、近年の工学技術の進歩に伴う著しい画質向上を背景に、超音波画像診断装置が整形外科領域でも急速に普及し始めている。超音波検査は運動器を構成する骨、さらには軟骨、筋、腱、靭帯、末梢神経といった軟部組織における病変の把握に非常に有用であり、関節に対して徒手ストレスをかけながらリアルタイムで撮影できることから、テストで生じる身体組織の変化を可視化して捉えることが可能である。そのため、精度の高い治療方針の決定を迅速に行うことができ、整形外科領域において注目されてきている。そして、最近では検診で超音波検査が用いられている。西川ら⁶³⁾はオスグッド病の検診を、渡辺ら⁶⁴⁾は野球肘検診を超音波検査を用いて行っており、X 線検査が行えないスポーツの現場における有用性を述べている。しかし、超音波検査を用いた足関節不安定性の評価は散見される程度で、その評価方法は確立されていない。

表 1. 超音波検査, 単純 X 線検査, CT, MRI のメリット及びデメリット

	メリット	デメリット
超音波検査	<ul style="list-style-type: none"> ● 非侵襲性 ● 移動・持ち運び可能 ● リアルタイム性 ● 低コスト ● 検査時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ● 全体像の把握に不向き ● 患者の状態で画像が変化する ● 技術と慣れが必要 ● 同じ画面の再現が困難
単純 X 線検査	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡便で低コスト ● 検査時間が短い 	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射線被曝がある
CT	<ul style="list-style-type: none"> ● 重なり像のない横断画像が得られる ● 微細な骨病変の描出に優れている ● 検査が短時間 ● 磁気を使用しないので金属（心臓ペースメーカー等）使用者にも施行可能 ● アーティファクト（画像の乱れ）が少なく、広範囲の撮影が可能 ● 騒音や閉塞感が少ない ● 普及率が高く、相対的に安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射線被曝が X 線検査の数倍～数十倍 ● 軟部組織の組織学的変化があまり反映されない ● 動いている臓器を撮影するのが難しい
MRI	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射線被曝がない ● 関節内部の病変をとらえることができる ● 疲労骨折の早期発見に有効 	<ul style="list-style-type: none"> ● 検査時間が長い ● 検査時の音が大きい ● 装置が狭いので閉所恐怖症の人には適さない ● 心臓ペースメーカーやその他磁気に反応する金属が体内にあると検査を受けられない場合がある ● コストが高い

第3章 本研究の課題

本研究の課題

本博士論文では、超音波検査を用いた足関節不安定性検査の有用性を検討することを目的とし、本研究の目的を達成するために、以下の検討課題を設定した。

研究 1

超音波診断装置を用いた前距腓靭帯の動態評価とストレス X 線検査との関連性

研究 2

超音波診断装置を用いた踵腓靭帯の動態評価とストレス X 線検査との関連性

研究 3

ストレス X 線検査における前方引き出し動態に対する超音波診断装置を用いた ATFL 動態評価と徒手を用いた前方引き出しテストの比較検討

研究 4

ストレス X 線検査における内反動態に対する超音波診断装置を用いた CFL の動態評価と徒手を用いた内反ストレステストの比較検討

研究 5

ATFL, CFL 複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL 及び CFL の動態評価の検討

第4章 ストレス X 線と超音波診断装置を用いた動態評価との 関連性

研究 1. 超音波診断装置を用いた前距腓靭帯の動態評価とストレス X 線検査との関連性

目的

超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価とストレス X 線撮影による前方引き出し率との関連性を明らかにすることとした。

方法及び対象

【対 象】

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足，合計 71 足を対象とした。

【方 法】

ストレス X 線検査はテロス SE(Telos 社製)を用いて行った。前方引き出しテストは被験者が検査台に側臥位になり，足関節中間位にて 150N の前方引き出しストレスをかけた状態で X 線撮影を行った(図 3)。そして，画像解析ソフトウェアイメージ J を使用し，X 線側面像より脛骨遠位関節面後縁 (B) から距骨滑車関節面後部 (C) との最短距離を計測し，距骨前方引き出し距離 (cm) の計測を行った。さらに，体格による差を考慮するため，距骨前方引き出し距離を脛骨遠位関節面前縁 (A) と後縁 (B) を結んだ距離で除した値を距骨前方引き出し率 $((BC/AB) \times 100 (\%))$ として算出した 12) (図 4)。計測は 3 回行い平均値を分析対象とし，前方引き出し率 23%以上を機械的不安定性ありとした⁶⁵⁾。



図 3. テロス SE を用いたストレス X 線検査(前方引き出し)



図 4. 前方引き出し率の測定

距骨前方引き出し率: $((BC/AB) \times 100 (\%))$

超音波による ATFL の観察には超音波診断装置(HI VISION Preirus, 日立メディコ社製)を使用し, プローブは高周波リニア型プローブ(10MHz)を使用した. ATFL の動態評価は, 被験者の足部を検査者の膝の上に置き, 外果と距骨の前外側突起を目印にプローブを長軸に当てる. 画像上で鋭角に描出されている距骨前外側突起, 丸みを帯びている外果を確認し(図 5), 外果を支点にプローブの遠位を下方にピボットシフトさせ(図 6), 外果から距骨頸部へ直線的に走行する帯状高エコー像に映る ATFL を確認する(図 7). そして, その位置よりプローブを持った手とは反対の手で踵骨を後方から前方に引き出すようにストレスをかける(図 8). ATFL が消失している場合は解剖学上, ATFL が付着している外果及び距骨頸部を描出し, 前方引き出しストレスをかける. 下腿三頭筋が収縮しアキレス腱が緊張している場合, ストレスがかかりにくいいため, 踵に回した指でアキレス腱の緊張度合いを確認し, 被験者の下腿の力を抜かせリラックスするように指示する. さらに, ストレスをかけた際に前距腓靭帯に当たったプローブがズレないように注意する. そして, 距骨前方引き出し率同様体格による差を考慮し, 前方引き出しストレスをかける前の外果頂点(D)と距骨頂点(E)との距離及び, 前方引き出しストレスをかけた時の外果頂点(D')と距骨頂点(E')との距離を計測し, $(D'E'/DE \times 100 - 100(\%))$ を外果距骨間離開率として算出した(図 9). 計測は 3 回行い, 平均値を分析対象とした.

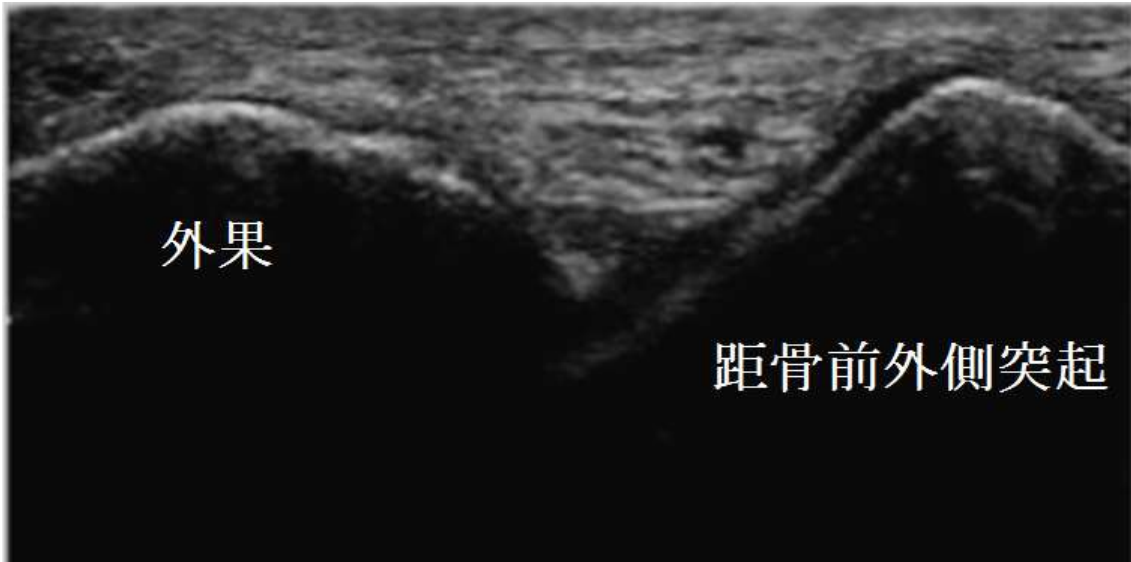


図 5. 外果及び距骨前外側突起の超音波画像

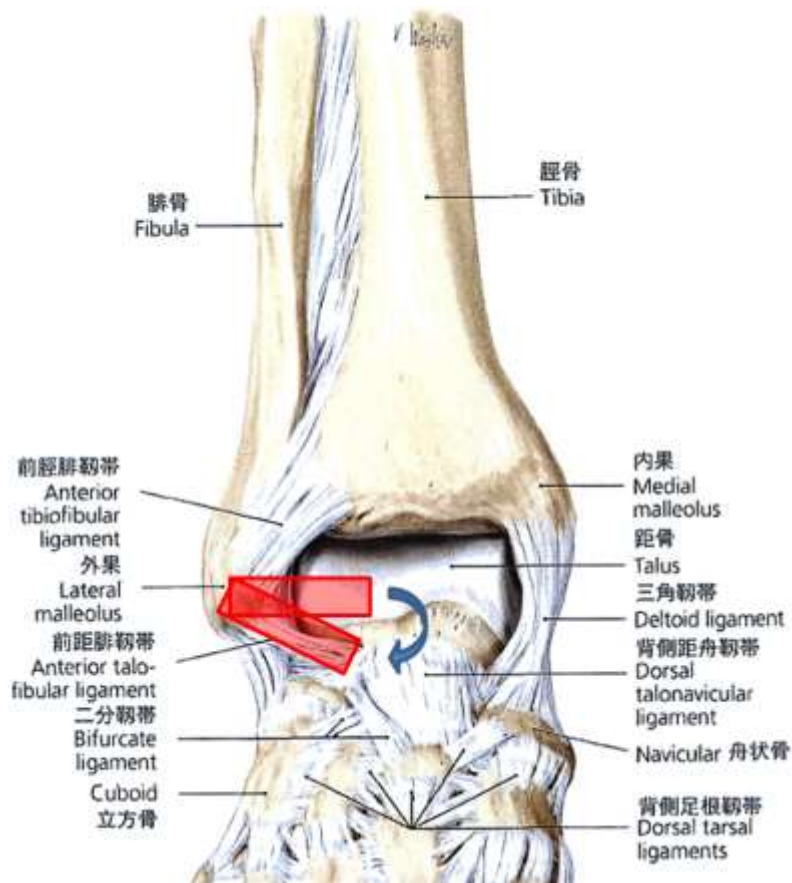


図 6. ATFL 描出方法(走査図) 文献 52 より作図

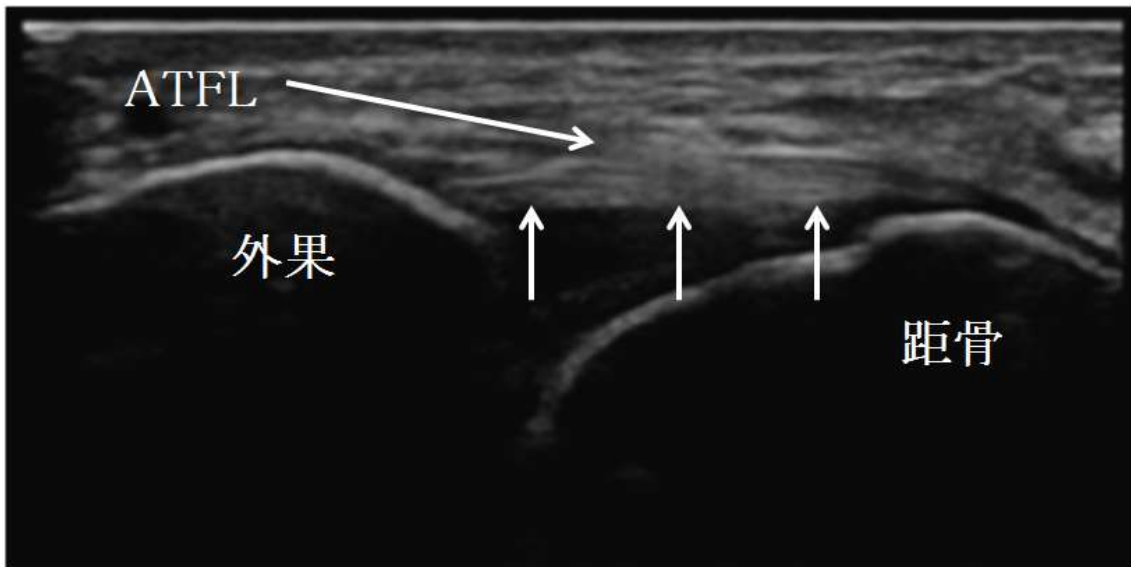


図 7. ATFL の超音波画像(正常例)



図 8. 超音波検査を用いた ATFL の動態評価のプローブ走査法

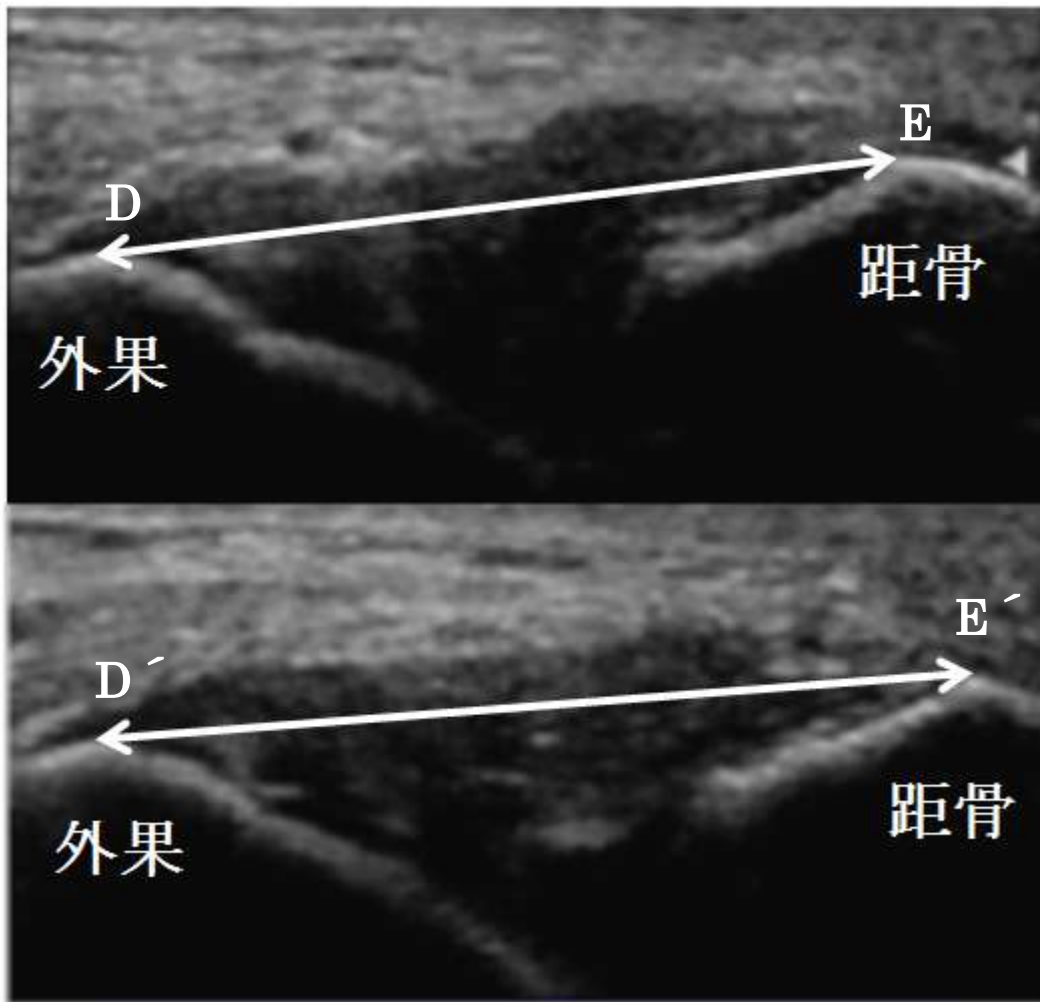


図 9. 前方引き出しストレスをかけた時の超音波画像(ATFL 不全例)

$$\text{外果距骨間離開率} : (D'E' / DE \times 100 - 100(\%))$$

統計学的解析

統計学的解析にはDr.SPSS II for Windowsを用いて unpaired T test, 相関分析及び, ROC 解析を行い, 5%を有意水準とした.

結果

ストレス X 線で機械的不安定群は 21 足，正常群は 50 足であった。さらに，機械的不安定群の外果距骨離開率は $14.7 \pm 9.1^\circ$ と正常群の $4.4 \pm 4.6^\circ$ と比較して有意に大きかった ($P < 0.001$) (表 2, 図 10)。また，相関係数は $0.597 (P < 0.001)$ (図 11)，ROC 解析の結果カットオフ値は 6.6% であった (図 12, 表 3)。

表 2. ストレス X 線検査の結果及び外果距骨離開率

	正常群	機械的不安定群	
ストレス X 線検査	65 足	6 足	
果距骨離開率 (%)	6.4 ± 3.9	13.3 ± 4.9	$P < 0.001$

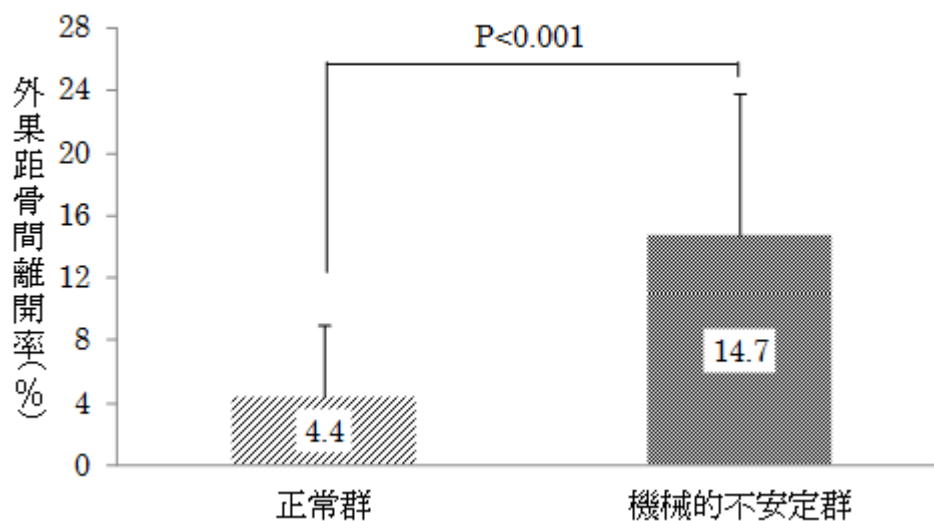


図 10. 正常群と機械的不安定性あり群の外果距骨間離開率

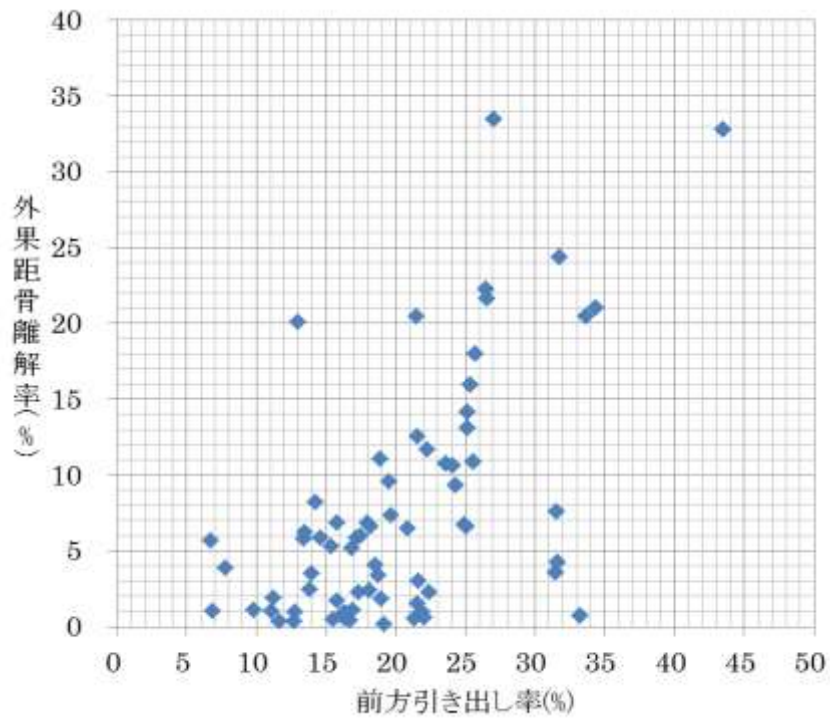


図 11. 前方引き出し率と外果距骨間離開率

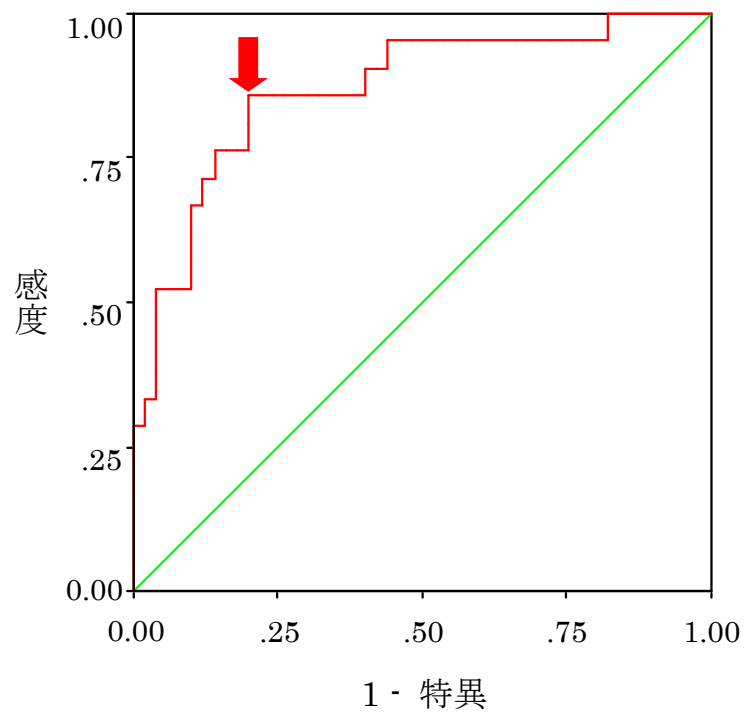


図 12. 外果距骨間離開率における ROC 曲線

表 3. ROC 曲線の座標点

	感度	1 - 特異		感度	1 - 特異		感度	1 - 特異
0.245	1	0.98	2.43	0.952	0.52	7.89	0.714	0.14
0.35	1	0.96	2.745	0.952	0.5	8.755	0.714	0.12
0.365	1	0.94	3.2	0.952	0.48	9.455	0.667	0.12
0.42	1	0.92	3.44	0.952	0.46	10.1	0.667	0.1
0.495	1	0.9	3.545	0.952	0.44	10.69	0.619	0.1
0.54	1	0.88	3.725	0.905	0.44	10.82	0.571	0.1
0.575	1	0.86	3.955	0.905	0.42	10.97	0.524	0.1
0.595	1	0.84	4.14	0.905	0.4	11.355	0.524	0.08
0.64	1	0.82	4.705	0.857	0.4	12.085	0.524	0.06
0.78	0.952	0.82	5.225	0.857	0.38	12.8	0.524	0.04
0.89	0.952	0.8	5.465	0.857	0.36	13.61	0.476	0.04
0.915	0.952	0.78	5.74	0.857	0.34	15.045	0.429	0.04
0.955	0.952	0.76	5.845	0.857	0.32	16.98	0.381	0.04
0.995	0.952	0.74	5.875	0.857	0.3	19.06	0.333	0.04
1.015	0.952	0.72	5.93	0.857	0.28	20.275	0.333	0.02
1.045	0.952	0.7	6.11	0.857	0.26	20.435	0.286	0.02
1.085	0.952	0.68	6.35	0.857	0.24	20.72	0.286	0
1.305	0.952	0.66	6.525	0.857	0.22	21.335	0.238	0
1.62	0.952	0.64	6.6	0.857	0.2	21.975	0.190	0
1.785	0.952	0.62	6.655	0.810	0.2	23.335	0.143	0
1.86	0.952	0.6	6.76	0.762	0.2	28.585	0.095	0
2.065	0.952	0.58	6.825	0.762	0.18	33.13	0.048	0
2.265	0.952	0.56	7.085	0.762	0.16	34.48	0.000	0
2.335	0.952	0.54	7.475	0.762	0.14			

考察

今回、超音波検査を用いた ATFL の動態評価とストレス X 線撮影による距骨前方引き出し率との関連性を検討した。

正常群と比較して機械的不安定群の外果距骨間離開率の方が有意に大きかった。したがって、正常群よりも機械的不安定群の方が外果距骨間離開率は大きくなることが示唆された。さらに相関関係も有意であり、ストレス X 線での前方引き出し率が大きければ大きいほど超音波検査での外果距骨間離開率は大きくなることが示唆された。また、そのカットオフ値の決定方法については、感度と特異度の優れた独立変数の ROC 曲線は左上隅に近づいていくという事実から、この左上隅との距離が最小になる点をカットオフ値にするという方法が用いられる。我々の結果からそのカットオフ値は外果距骨間離開率 6.6%(感度：85.7%，特異度：80.0%)であった。この値は、正常群における外果距骨間離開率の平均値が 4.4%というところからも妥当な値であると考えられる。

超音波検査は距離測定の精度が低い、さらに検者の技量が大きく影響してしまうという問題点があるが、吉田らは ATFL に対する距骨前方引き出しテストに超音波画像を併用する定量評価の有用性を報告している⁶⁶⁾。また、近年では超音波検査においては肯定的な論文が多い^{63-64, 67)}。したがって、超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は、足関節不安定症を評価するのに有用な方法である可能性が示唆された。

今後は被験者数を増やし再検討すること。さらに、信頼性、妥当性の検討が必要であると考える。

まとめ

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足の合計 71 足を対象に，超音波検査を用いた ATFL の動態評価とストレス X 線撮影による距骨前方引き出し率との関連性を検討した。

ストレス X 線で機械的不安定群は 21 足，正常群は 50 足であった。さらに，機械的不安定群の外果距骨離開率は $14.7 \pm 9.1^\circ$ と正常群の $4.4 \pm 4.6^\circ$ と比較して有意に大きかった。また，相関係数は $0.597 (P < 0.001)$ ，ROC 解析の結果カットオフ値は 6.6%であった。

今回の結果より，正常群と機械的不安定群の外果距骨間離開率は有意に大きく，ストレス X 線での前方引き出し率が大きければ大きいほど超音波検査での外果距骨間離開率は大きくなることが示唆され，超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は，足関節不安定症を評価するのに有用な方法である可能性が示唆された。

今後は被験者数を増やし再検討すること。さらに，信頼性，妥当性の検討が必要であると考える。

研究 2. 超音波診断装置を用いた踵腓靭帯の動態評価とストレス X 線検査との関連性

目的

超音波診断装置を用いた CFL の動態評価とストレス X 線撮影による TTA との関連性を明らかにすることとした。

方法及び対象

【対 象】

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足，合計 71 足を対象とした。

【方 法】

ストレス X 線検査はテロス SE(Telos 社製)を用いて行った。内反ストレステストは被験者が検査台に背臥位になり，足関節中間位から 150N の内反ストレスをかけた状態で X 線撮影を行った(図 13)。そして，画像解析ソフトウェアイメージ J を使用し，脛骨下端関節面と距骨滑車関節面のなす角度を計測した(図 14)。計測は 3 回行い平均値を分析対象とし，距骨傾斜角(talar tilt angle : TTA)が 9° 以上を機械的不安定性ありとした^{65, 67-68)}。



図 13. テロス SE を用いたストレス X 線検査(内反ストレス)

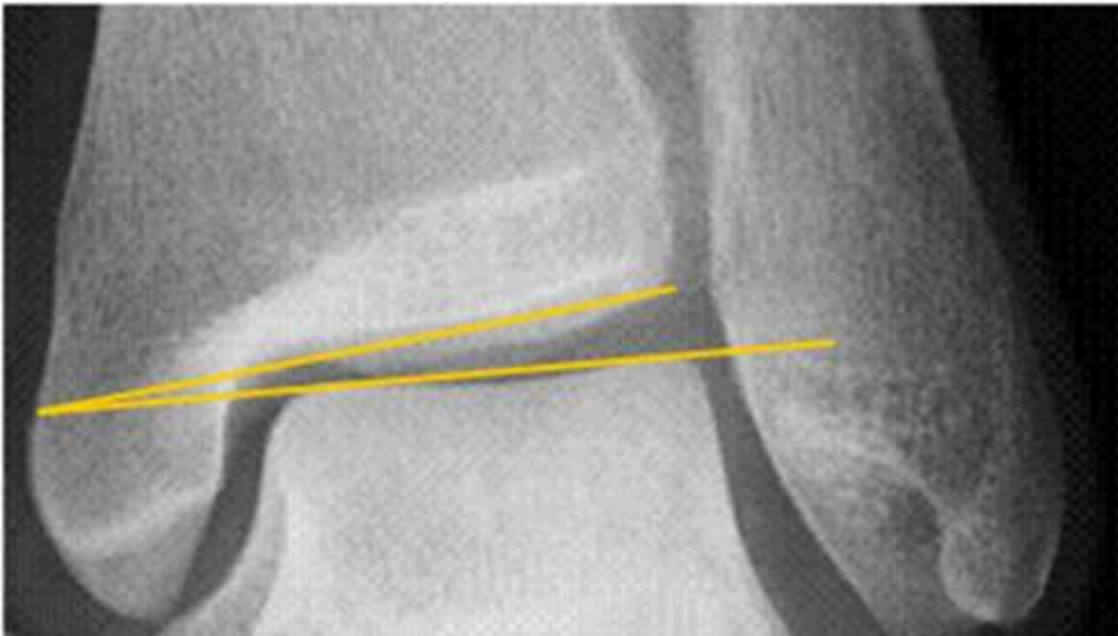


図 14. 距骨傾斜角(talar tilt angle : TTA)の測定

超音波による CFL の観察には超音波診断装置(HI VISION Preirus, 日立メディコ社製)を使用し,プローブは高周波リニア型プローブ(10MHz)を使用した. CFL の動態評価は,外果と踵骨を目印に長軸にプローブを当てる.そして,画像上で外果及び踵骨を確認し,外果を支点にプローブの遠位を後下方にピボットシフトさせる(図 15). CFL は外果から踵骨へ高エコーの帯状に描出され, CFL の表層に長短腓骨筋腱の短軸像が描出される(図 16).そして,踵骨を回外させ CFL にストレスを加える(図 17).正常においては, CFL の緊張による腓骨筋腱の挙動が確認できる(図 18).不全例では腓骨筋腱の挙動は観察されない(図 19).今回,我々は超音波検査にて,外果と踵骨の頂点を結んだラインよりも腓骨筋腱の midpoint が越えたものを正常群,越えなかったものを CFL 不全とした.

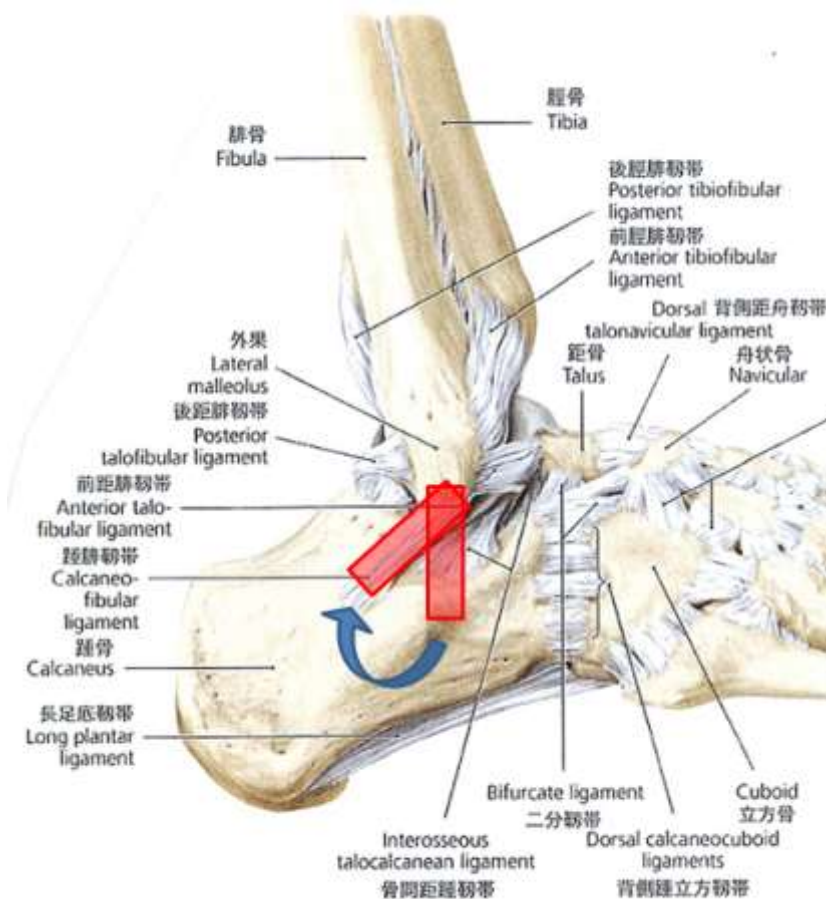


図 15. CFL 描出方法(走査図) 文献 52 より作図

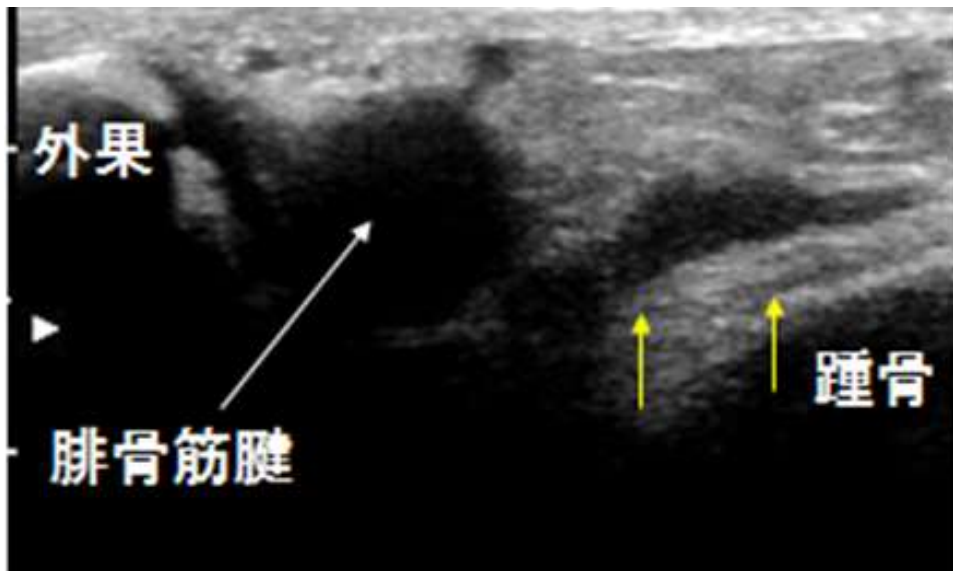


図 16. CFL の超音波画像



図 17. 超音波検査を用いた CFL の動態評価のプローブ走査法プローブの走査方法

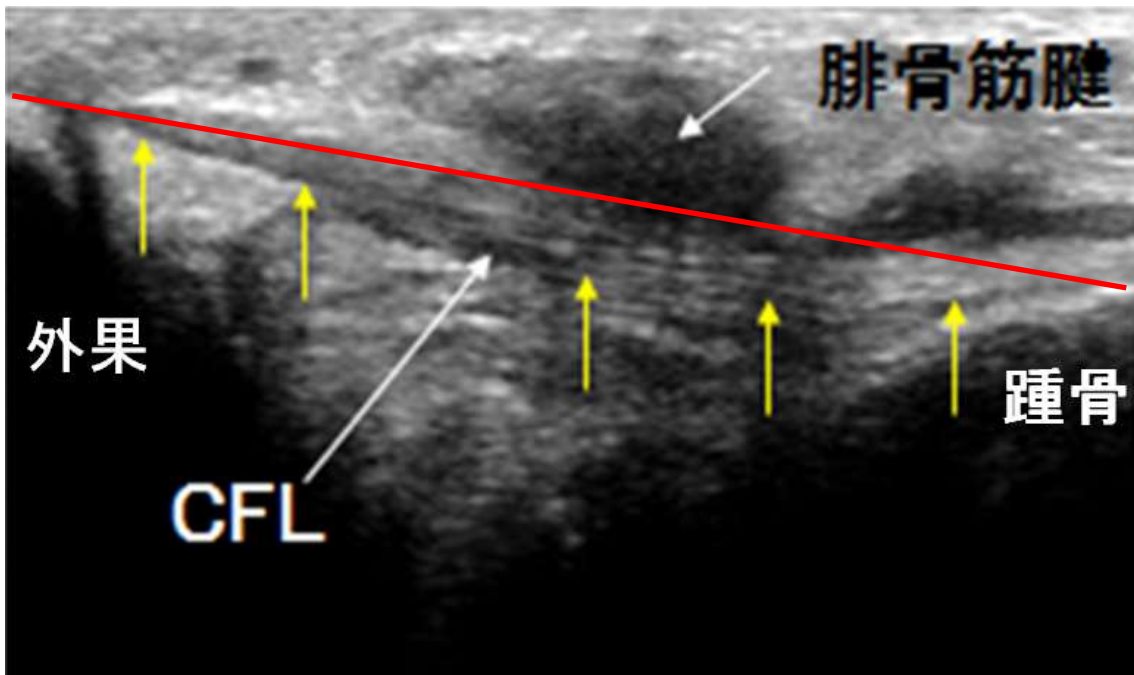


図 18. 踵骨を回外させた時の超音波画像(正常例)

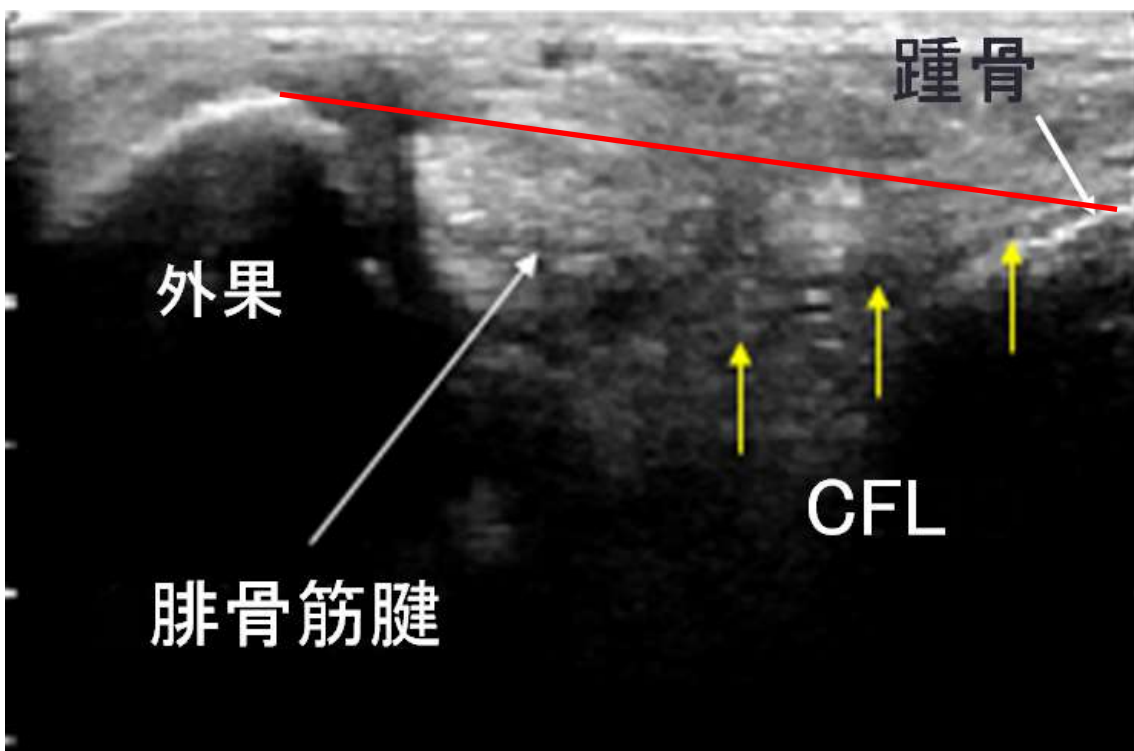


図 19. 踵骨を回外させた時の超音波画像(不全例)

統計学的解析

統計学的解析には Dr. SPSS II for Windows を用いて unpaired T test を行い, 5% を有意水準とした.

結果

超音波画像診断の結果は CFL 不全 6 足, 正常 65 足であった. さらに, CFL 不全群の TTA は $13.3 \pm 4.9^\circ$ と正常群の TTA は $6.4 \pm 3.9^\circ$ と比較して有意に大きかった ($P < 0.001$)(表 4, 図 20).

表 4. 超音波画像診断の結果及び TTA

	正常群	CFL 不全群	
超音波画像診断	65 足	6 足	
TTA($^\circ$)	6.4 ± 3.9	13.3 ± 4.9	$P < 0.001$

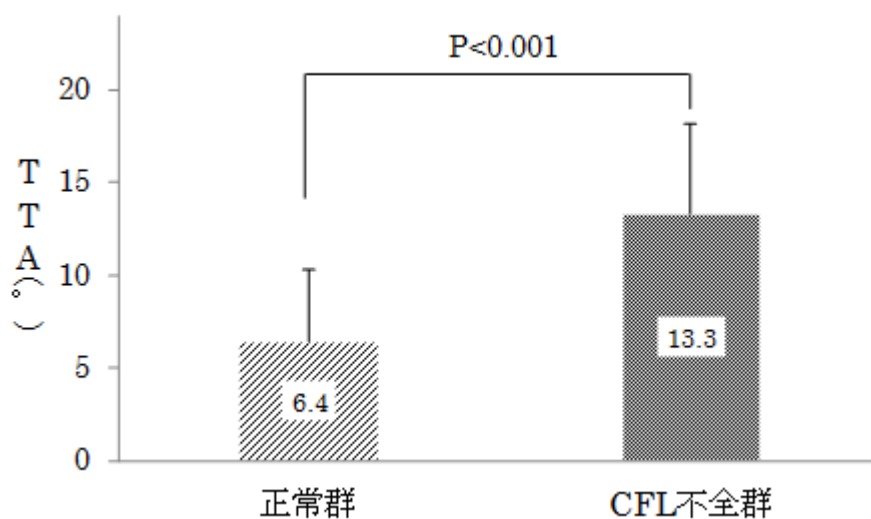


図 20. 正常群と CFL 不全群の TTA

考察

ストレス X 線テストは 2 種類あり徒手で行うものと、今回の我々の方法の様に機器を用いて行う方法がある。徒手による方法は、機器を用いないため簡便に行え応用も利く。さらに、触診によって患者の状態や関節の状態も把握することができる。しかし、負荷量が一定にできない、検者が被曝してしまうという欠点がある。一方、機器を用いる方法は負荷量を一定にでき、客観的な評価を行うことができる。さらに、被曝の問題もなくなる。欠点としては撮影に手間がかかること、急性例では患者が痛み抵抗力が加わり、正確な測定値が出にくいことがあげられる¹³⁾。

一方、超音波検査においては、吉田らは ATFL に対する前方引き出しテストに超音波画像を併用する定量評価の有用性を報告している⁶⁶⁾。しかし、CFL においては定量的評価することは難しいと判断し、解剖学的な位置変化を考え、踵骨を外反させ CFL を緊張させたときに腓骨筋腱が浮き上がるものを正常、浮き上がらないものを CFL 不全とした。さらに、我々が考案した超音波による手技は徒手で行うため、簡便に患者の状態を把握しながら評価でき、被曝の心配もない。

今回、超音波検査を用い CFL の動態評価とストレス X 線撮影による TTA との関連性を検討した。CFL 不全群の TTA は正常群と比較して有意に大きかった。TTA に関して、その異常値の基準は報告者により様々で 5-9° を異常値としている^{65, 68-69)}。今回、超音波検査において CFL に機能不全があると判断した群の TTA は平均 13.3° であり、これは諸家らの報告からみて、異常値と判断しうる値である。したがって、超音波検査を用いた我々の CFL の動態評価は、足関節不安定症を評価するのに有用な方法である可能性が示唆された。

今後は被験者数を増やし再検討すること。さらに、信頼性、妥当性の検討が必要であると考えられる。

まとめ

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足の合計 71 足を対象に，超音波診断装置を用いた CFL の動態評価とストレス X 線撮影による TTA との関連性を検討した．

超音波画像診断の結果は CFL 不全 6 足，正常 65 足であった．さらに，CFL 不全群の TTA は $13.3 \pm 4.9^\circ$ と正常群の TTA は $6.4 \pm 3.9^\circ$ と比較して有意に大きかった ($P < 0.001$)．

CFL 不全群の TTA は $13.3 \pm 4.9^\circ$ と正常群と比較して有意に大きく，これは諸家らの報告からみて異常値と判断しうる値であり，超音波検査を用いた我々の CFL の動態評価は，足関節不安定症を評価するのに有用な方法である可能性が示唆された．

今後は被験者数を増やし再検討すること．さらに，信頼性，妥当性の検討が必要であると考えられる．

第5章 超音波検査による足関節不安定性検査の有用性

研究 3. ストレス X 線検査における前方引き出し動態に対する超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価と徒手を用いた前方引き出しテストの比較検討

目的

超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価と徒手検査による前方引き出しテストを比較し有用性を検討することとした。

方法及び対象

【対 象】

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足，合計 71 足を対象とした。

【方 法】

研究 1 と同様の方法を用いて，ストレス X 線撮影及び，超音波検査を行った。そして，徒手による前方引き出しテストは，被験者を診察台の端に座らせて足をたらし，一方の手で脛骨と腓骨を固定するように把持し，他方の手で踵を包むようにして持ち，前方へ引き出すようにストレスをかける。関節を他動的に動かした時に最終域で感じられる抵抗感である End Feel が消失しているもの，もしくは疼痛の発生したものを ATFL 不全とし，靭帯性の End Feel が感じられ，かつ疼痛のないものを正常とした。

ストレス X 線検査にて前方引き出し率 23%以上を機械的不安定性ありと定義した時の超音波検査及び徒手検査及の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率を算出した。

統計学的解析

統計学的解析には Dr. SPSS II for Windows を用いて ROC 解析を行い，曲線下面積(area under the curve : AUC)を求め，5%を有意水準とした．

結果

ストレス X 線撮影の結果は機械的不安定性あり 21 足，機械的不安定性なし 50 足であった。超音波検査の結果は ATFL 不全 27 足，正常 44 足であり(表 5)，徒手検査の結果は ATFL 不全 25 足，正常 46 足であった(表 6)。

超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度 81.0%，特異度 80.0%，陽性適中率 63.0%，陰性適中率 90.9%，正診率は 80.3%，徒手による前方引き出しテストの感度 33.3%，特異度 64.0%，陽性適中率 28.0%，陰性適中率 69.0%，正診率は 54.9%とほぼすべての項目において超音波検査の方が高い値を示した(表 7)。

また，ROC 解析を行った結果超音波検査の AUC は 0.867，徒手検査の AUC は 0.451 と超音波検査の方が大きな値を示した(表 8)(図 12， 22)。

表 5. 超音波検査を用いた ATFL の動態評価及びストレス X 線検査の結果

		超音波検査		合計
		ATFL 不全群	正常	
機械的 不安定性	あり	17 足(10 足)	4 足(0 足)	21 足(10 足)
	なし	10 足(5 足)	40 足(16 足)	50 足(21 足)
合計		27 足(15 足)	44 足(16 足)	71 足(31 足)

ストレス X 線検査にて前方引き出し率 23%以上を機械的不安定性ありとし、超音波検査は、外果と距骨が離解したものを ATFL 不全と定義した。

表 6. 徒手による前方引き出しテスト及びストレス X 線検査の結果

		徒手検査		合計
		ATFL 不全群	正常	
機械的 不安定性	あり	7 足(5 足)	14 足(5 足)	21 足(10 足)
	なし	18 足(8 足)	32 足(13 足)	50 足(21 足)
合計		25 足(13 足)	46 足(18 足)	71 足(31 足)

ストレス X 線検査にて前方引き出し率 23%以上を機械的不安定性ありとした。

表 7. ATFL における超音波検査及び徒手検査の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率

	感度	特異度	陽性適中率	陰性適中率	正診率
超音波検査	71.4%	80.0%	60.0%	87.0%	77.5%
徒手検査	33.3%	64.0%	28.0%	69.0%	54.9%

ATFL：ストレス X 線検査にて前方引き出し率 23%以上としたときの感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率を表す。

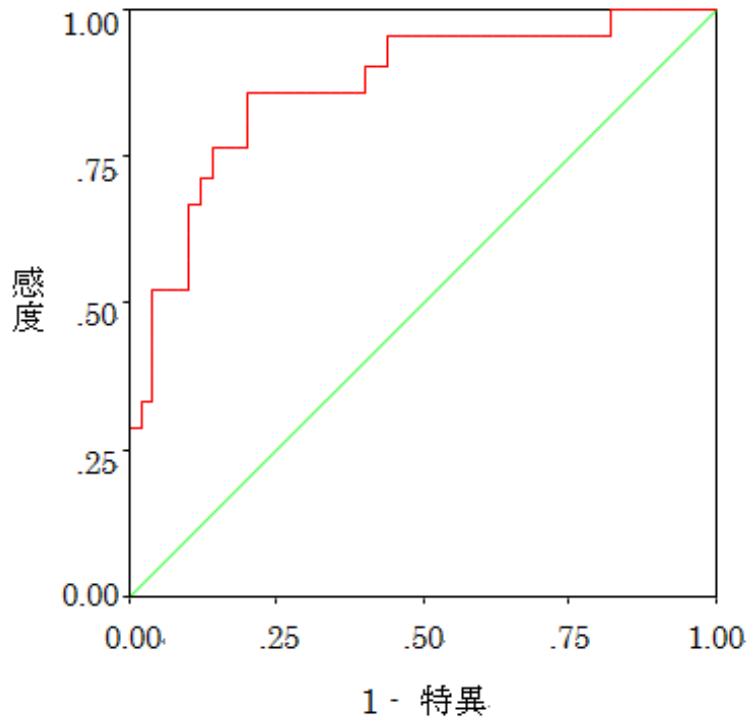


図 12. 外果距骨間離開率における ROC 曲線

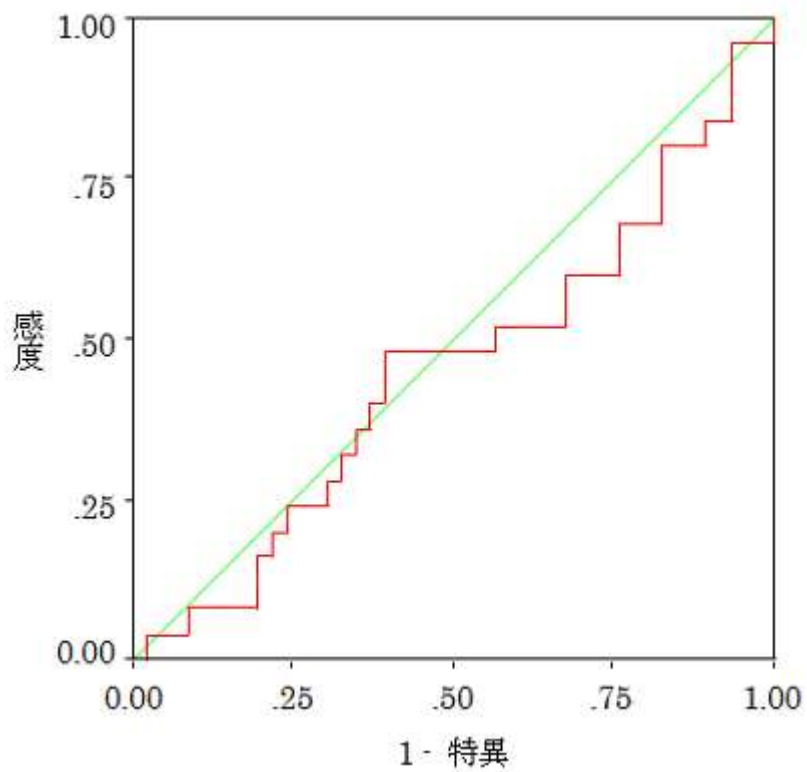


図 21. 徒手による前方引き出しテストにおける ROC 曲線

表 8. ATFL における超音波検査及び徒手検査の AUC

	AUC	有意確率
超音波検査	0.867	<0.001
徒手検査	0.451	0.476

考察

超音波検査に関しては, Hua ら⁶⁷⁾は慢性的な ATFL 損傷を評価するのに超音波は有用な方法であると報告しており, その中で超音波検査の感度は 97.7%, 特異度 92.3%, 陽性適中率 93.5%, 陰性適中率 97.3%, 正診率 95.2%と非常に高い値であったと報告している. 超音波検査はあまり有用な方法ではなかったという報告があるものの, 近年の報告では肯定的な論文が多い^{63-64, 67)}. 一方, 徒手検査の正確性については近年の報告で否定的な論文が多い⁹⁻¹²⁾. Raatikainen ら¹²⁾は, 術中所見及び関節鏡と徒手検査を比較したところ, 約半分は異常を正常ととらえたと報告した. さらに, 理学検査の正確性について MRI 所見をもとに検討した報告によると, MRI 所見と理学所見でグレードⅢのものは 100%一致したのに対し, MRI とグレードⅡであったものは MRI でグレードⅡであったもののうち 25%と低い値となった¹⁰⁾. 今回の我々の結果, 超音波検査の感度, 特異度, 陽性適中率, 陰性適中率, 正診率は徒手検査と比較して, すべての項目で高い値を示し先行研究を支持するものとなった. さらに, AUC も徒手検査と比較して超音波検査の方が大きな値を示し, 徒手検査よりも超音波検査の方が優れた評価法であることが示唆された.

しかし, 超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の結果, 偽陽性 17 足, 偽陰性 4 足であり, 今後超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の精度を向上させるためには, これらの原因を改善させる必要がある.

関節は関節周囲を覆っている結合組織性の関節包に包まれており, 前距腓靭帯はこの関節包内に存在する. 繰り返しの損傷もしくは不十分なリハビリテーション等何らかの原因により前距腓靭帯が機能していなくても, 関節包の拘縮が存在した場合は, ストレス X 線における足関節の前方引き出しが制限されることが考えられる. そして, 本研究の超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価法は関節包内での外果と距骨頸部の動態をとらえたため, 偽陽性となったことが考えられる.

さらに、今回の我々の方法は踵骨を後方から前方に引き出すようにストレスをかけながらプローブを当てているため、前方引き出しストレスをかける際に、プローブが動いてしまうという技術的な問題も考えられる。

一方、偽陰性の原因としては、前方引き出しストレスの負荷量が小さいことが考えられる。遠山らは新鮮前距腓靭帯損傷症例による *in vivo* 計測では 60N での前方引き出し試験では麻酔の影響を前方引き出し量は著しく受けたのに対し、30N での前方引き出し試験ではその影響は比較的小さかったとしており、新鮮前距腓靭帯損傷症例において比較的大きな前方引き出し荷重は、疼痛由来の筋収縮によりその前方移動量を減少させることが考えられ、新鮮前距腓靭帯損傷症例における前方引き出し試験の荷重量は 30N 程度の低荷重で十分であると報告している⁷⁰⁾。今回の我々の方法はプローブを持った手とは反対の手で踵骨を後方から前方に引き出すようにストレスをかけているため、その負荷量が 30N に満たなかったことが考えられる。さらに、片手でストレスをかけているため、そのストレスをかけている方向が正しい方向となっておらず、斜めにストレスをかけてしまっていると十分な前方引き出しストレスとならない。このことも偽陰性となった原因の一つと考えられる。

今後は、前方引き出しストレスの負荷量が少ないという問題点や、前方引き出しストレスをかけた際にプローブが動いてしまうという問題点においては、皆川らの方法の踵を台の上に置き下腿を押し込むようにして前方引き出しストレスをかけるなど別の方法の検討が必要である。さらに、正常足における外果と距骨頸部との距離を調査し、その結果より不安定性の判定方法を検討する必要があると考える。

また、足関節捻挫を発生した際に損傷する靭帯は ATFL 損傷が 65～73%と最も頻度が高く、次いで ATFL 損傷と CFL 損傷が合併しているものが 20%と報告されている¹⁴⁾。本研究は ATFL 損傷のみと ATFL 損傷と CFL 損傷を合併しているものが混在していたため、今後は ATFL、CFL の複合損傷時の検討も必要であると考える。

したがって、超音波検査を用いた ATFL の動態評価は現時点では足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分ではあるが、それぞれの課題が解決されれば徒手検査よりも有用な評価法になる可能性があると考えられる。

まとめ

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足の合計 71 足を対象に，超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価と徒手検査による前方引き出しテストを比較し有用性を検討した。

ストレス X 線撮影の結果は機械的不安定性あり 21 足，機械的不安定性なし 50 足であった。超音波検査の結果は ATFL 不全 27 足，正常 44 足であり，徒手検査の結果は ATFL 不全 25 足，正常 46 足であった。また，超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度 81.0%，特異度 80.0%，陽性適中率 63.0%，陰性適中率 90.9%，正診率は 80.3%，徒手による前方引き出しテストの感度 33.3%，特異度 64.0%，陽性適中率 28.0%，陰性適中率 69.0%，正診率は 54.9%とほぼすべての項目において超音波検査の方が高い値を示した。そして，ROC 解析を行った結果超音波検査の AUC は 0.867，徒手検査の AUC は 0.451 と超音波検査の方が大きな値を示した。

今回の結果，関節の遊びを考慮した判定方法になっていないという点，前方引き出しストレスをかけた際にプローブが動いてしまうという点があげられ，さらに，今後は ATFL，CFL の複合損傷時の検討も必要であると考えられた。したがって，超音波検査を用いた ATFL の動態評価は現時点では足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分ではあるが，それぞれの課題が解決されれば徒手検査よりも有用な評価法になる可能性があると考えられる。

研究 4. ストレス X 線検査における内反動態に対する超音波診断装置を用いた CFL の動態評価と徒手を用いた内反ストレステストの比較検討

目的

超音波診断装置を用いた CFL の動態評価と徒手検査による内反ストレステストを比較し有用性を検討することとした。

方法及び対象

【対 象】

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足，合計 71 足を対象とした。

【方 法】

研究 2 と同様の方法を用いて，ストレス X 線撮影及び，超音波検査を行った。そして，徒手による内反ストレステストは，被験者を診察台の端に座らせて足をたらし，一方の手で脛骨と腓骨を固定し，他方の手で踵骨を回外させる。関節を他動的に動かした時に最終域で感じられる抵抗感である End Feel が消失しているもの，もしくは疼痛の発生したものを CFL 不全とし，靭帯性の End Feel が感じられ，かつ疼痛のないものを正常とした。ストレス X 線検査にて距骨傾斜角 9° 以上を機械的不安定性ありと定義した時の超音波検査及び徒手検査及の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率を算出した。

統計学的解析

統計学的解析には Dr. SPSS II for Windows を用いて ROC 解析を行い，AUC を求め，5%を有意水準とした。

結果

ストレス X 線撮影の結果は内反ストレステストでは機械的不安定性あり 19 足, 機械的不安定性なし 52 足であった. 超音波検査の結果は CFL 不全 6 足, 正常 65 足であり(表 9), 徒手検査の結果は CFL 不全 5 足, 正常 66 足であった(表 10). 超音波を用いた CFL の動態評価の感度 21.1%, 特異度 96.2%, 陽性適中率 66.7%, 陰性適中率 76.9%正診率は 76.1%, 徒手による内反ストレステストの感度 15.8%, 特異度 96.2%, 陽性適中率 60.0%, 陰性適中率 75.8%正診率は 74.6%とほぼすべての項目において超音波検査の方が高い値を示した(表 11).

また, ROC 解析を行った結果超音波検査の AUC は 0.860, 徒手検査の AUC は 0.830 と超音波検査の方が大きな値を示した(表 12)(図 22, 23).

表 9. 超音波検査を用いた CFL の動態評価及びストレス X 線検査の結果

		超音波検査		合計
		CFL 不全群	正常	
機械的 不安定性	あり	4 足(2 足)	15 足(9 足)	19 足(11 足)
	なし	2 足(0 足)	50 足(20 足)	52 足(20 足)
合計		6 足(2 足)	65 足(29 足)	71 足(31 足)

ストレス X 線検査にて TTA が 9° 以上を機械的不安定性ありとし、超音波検査は腓骨筋腱の挙動が観察できなかったものを CFL 不全と定義した。

表 10. 徒手を用いた内反ストレステスト及びストレス X 線検査の結果

		徒手検査		合計
		CFL 不全群	正常	
機械的 不安定性	あり	3 足(2 足)	16 足(9 足)	19 足(11 足)
	なし	2 足(1 足)	50 足(19 足)	52 足(20 足)
合計		5 足(3 足)	66 足(28 足)	71 足(31 足)

ストレス X 線検査にて TTA が 9° 以上を機械的不安定性ありとした。

表 11. CFL における超音波検査及び徒手検査の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率

	感度	特異度	陽性適中率	陰性適中率	正診率
超音波検査	21.1%	96.2%	66.7%	76.9%	76.1%
徒手検査	15.8%	96.2%	60.0%	75.8%	74.6%

ストレス X 線検査にて距骨傾斜角が 9° 以上としたときの感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率を表す。

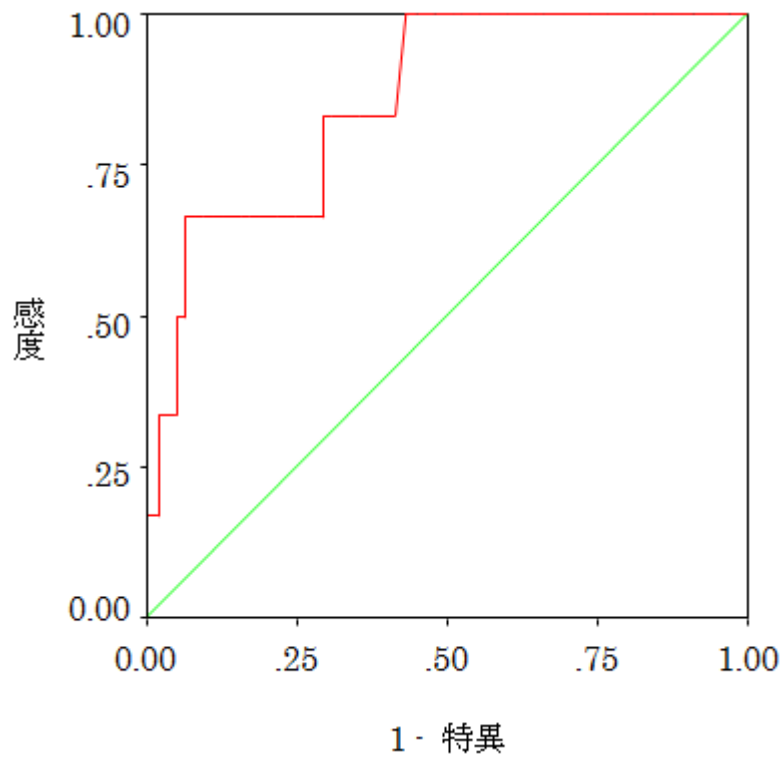


図 22. 超音波検査を用いた CFL の動態評価における ROC 曲線

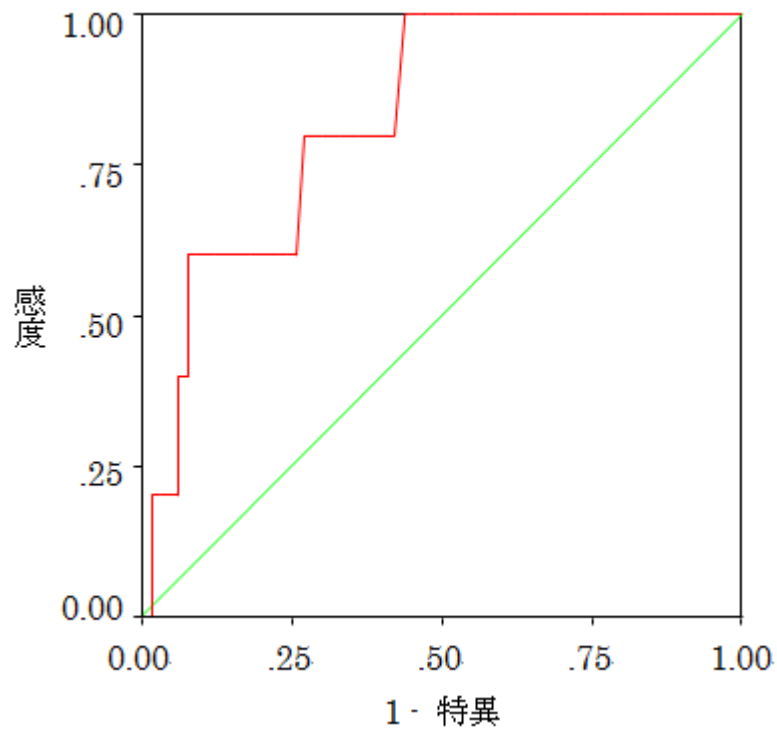


図 23. 徒手による内反ストレステストにおける ROC 曲線

表 12. CFL における超音波検査及び徒手検査の AUC

	AUC	有意確率
超音波検査	0.860	0.004
徒手検査	0.830	0.014

考察

我々は CFL においても同様に定量的評価することは難しいと判断し、踵骨を回外させ CFL を緊張させたときに腓骨筋腱が浮き上がるかどうかを評価した。そして、外果と踵骨の頂点を結んだラインよりも腓骨筋腱の midpoint が越えたものを正常群、越えなかったものを CFL 不全と定義した。我々の方法は徒手で行うため、簡便に患者の状態を把握しながら評価でき、被曝の心配もない。さらに、超音波画像上での測定がないため、コンピュータ上でランドマークを規定する際のポイントのずれを生じることはない。そのため、測定の再現性の低下を防ぐことができると考えていたが、偽陰性が 16 足と非常に多く、いくつか問題点が残ってしまった。今回我々が用いた方法は徒手で内反ストレスをかけている。そのため、踵骨を回外させる時の負荷量が一定ではなく、TTA が 9° 以上でも腓骨筋腱の挙動が確認できた場合は正常と判断してしまうことが大きな要因と考えられる。また、プローブを被験者の足関節に当てながら内反ストレスをかけるので、その際に当てているプローブが動いてしまうと、腓骨筋腱が挙上したように見える場合が考えられ、このことも要因の 1 つであると考えられる。

ROC 解析の結果、AUC は徒手検査と比較して超音波検査の方が大きな値を示し、徒手検査よりも超音波検査の方が有用な評価法であることが示唆された。そして、研究 1 の考察で述べたように、近年の報告では超音波検査に関しては肯定的な論文が多く、徒手検査においては否定的な論文が多いという先行研究を支持するものとなった。しかし、超音波検査の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は徒手検査と比較しすべての項目で高い値を示したもののほぼ同等の値となった。そして、超音波検査法の感度が 21.1% と非常に低い値を示した。この原因としては上述したように、今回の測定法では TTA が 9° 以上であっても CFL によって腓骨筋腱の挙動が確認できると陰性になってしまうため、偽陰性数が多くなったことが大きな要因として考えられる。

CFLの動態評価方法は、踵骨を回外させる時の負荷量が一定ではないため、TTAが9°以上でも腓骨筋腱の挙動が確認できた場合は正常と判断してしまうことが考えられるという部分に関して、ストレス X 線撮影の方法の様にテロス SE 等の機器を用いて負荷量を一定にした状態でプローブを当て評価するなど、測定方法の工夫が必要である。さらに、腓骨筋腱の挙動の有無で陽性か陰性を判断するという評価方法の再検討も必要であると考えられる。そして、今回の方法はプローブを被験者の足関節に当てながら内反ストレスをかけるので、その際に当てているプローブが動いてしまうと腓骨筋腱が挙上したように見えたりする場合があります、検者の技量が影響してしまう。

また、足関節内返し捻挫の受傷時、様々な部位に損傷が及ぶが最初に損傷する部位は ATFL で次いで CFL が損傷する。そして CFL 単独損傷の発生は非常に稀であり、その発生率は 2%程度との報告がある¹⁴⁾。このことも、今回の結果に影響を与えた要因の一つであると考えられる。

以上より、超音波診断装置を用いた CFL の動態評価は足関節の不安定性の評価法としては徒手検査と同等であり、さらに測定方法に課題が多い。したがって、超音波診断装置を用いた CFL の動態評価は、現時点では足関節不安定性を評価するのに有用な評価法であると判断するには不十分ではある。

まとめ

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足の合計 71 足を対象に，超音波診断装置を用いた CFL の動態評価と徒手検査による内反ストレステストを比較し有用性を検討した．

ストレス X 線撮影の結果は内反ストレステストでは機械的不安定性あり 19 足，機械的不安定性なし 52 足であった．超音波検査の結果は CFL 不全 6 足，正常 65 足であり，徒手検査の結果は CFL 不全 5 足，正常 66 足であった．超音波を用いた CFL の動態評価の感度 21.1%，特異度 96.2%，陽性適中率 66.7%，陰性適中率 76.9% 正診率は 76.1%，徒手による内反ストレステストの感度 15.8%，特異度 96.2%，陽性適中率 60.0%，陰性適中率 75.8% 正診率は 74.6% とほぼすべての項目において超音波検査の方が高い値を示した．また，ROC 解析を行った結果超音波検査の AUC は 0.860，徒手検査の AUC は 0.830 と超音波検査の方が大きな値を示した．

今回の結果より，測定方法の工夫や評価方法の再検討が必要である．したがって，超音波検査を用いた CFL の動態評価は感度，特異度，正診率等は徒手検査と同等であり，現時点では課題が多く足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分ではある．

研究 5. ATFL, CFL 複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL 及び CFL の動態評価の検討

目的

ATFL, CFL 複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL 及び CFL の動態評価を比較検討することとした。

方法及び対象

【対 象】

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20 名 40 足及び女子サッカー選手 16 名 31 足，合計 71 足を対象とした。

【方 法】

研究 1 及び研究 2 と同様にストレス X 線検査はテロス SE(Telos 社製)を用いて行い，超音波検査は超音波診断装置(HI VISION Preirus, 日立メディコ社製)を使用し，プローブは高周波リニア型プローブ(10MHz)を用いて行った。そして，ストレス X 線検査にて前方引き出し率 23%以上かつ距骨傾斜角 9° 以上を複合損傷あり，前方引き出し率 23%以上かつ距骨傾斜角 9° 未満を ATFL 単独損傷，前方引き出し率 23%未満かつ距骨傾斜角 9° 以上を CFL 単独損傷，前方引き出し率 23%未満かつ距骨傾斜角 9° 未満を正常と定義し，そして，ATFL 及び CFL 単独損傷，複合損傷時の超音波検査の感度，特異度，陽性適中率，陰性適中率，正診率を算出し比較検討した。

結果

ストレス X 線撮影の結果は ATFL 単独損傷 9 足, CFL 単独損傷 7 足, 複合損傷群 12 足, 正常群 43 足であった。また, 超音波検査の結果 ATFL 単独損傷時は ATFL 不全 14 足, 正常 38 足(表 13), 複合損傷時は ATFL 不全 18 足, 正常 37 足(表 14)であった。一方 CFL 単独損傷時は CFL 不全 3 足, 正常 47 足(表 15), 複合損傷時は CFL 不全 24 足, 正常 31 足(表 16)であった。

ATFL 単独損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は感度 77.8%, 特異度 83.7%, 陽性適中率 50.0%, 陰性適中率 94.7%, 正診率は 82.7%であり, 複合損傷時は感度 91.7%, 特異度 83.7%, 陽性適中率 61.1%, 陰性適中率 97.3%, 正診率は 85.5%であった(表 17)。

一方, CFL 単独損傷時における超音波検査を用いた CFL の動態評価は感度 28.6%, 特異度 97.7%, 陽性適中率 66.7%, 陰性適中率 89.4%, 正診率は 88.0%であり, 複合損傷時は感度 16.7%, 特異度 97.7%, 陽性適中率 66.7%, 陰性適中率 80.8%, 正診率は 80.0%であった(表 18)。

表 13. ATFL 単独損傷における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の結果

		超音波検査		合計
		ATFL 不全群	正常	
機械的	ATFL のみ	7 足(3 足)	2 足(0 足)	9 足(3 足)
不安定性	なし	7 足(3 足)	36 足(14 足)	43 足(17 足)
合計		14 足(6 足)	38 足(14 足)	52 足(20 足)

表 14. ATFL+CFL 複合損傷における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の結果

		超音波検査		合計
		ATFL 不全群	正常	
機械的	ATFL+CFL	11 足(7 足)	1 足(0 足)	12 足(7 足)
不安定性	なし	7 足(3 足)	36 足(14 足)	43 足(17 足)
合計		18 足(10 足)	37 足(14 足)	55 足(24 足)

表 15. CFL 単独損傷における超音波診断装置を用いた CFL の動態評価の結果

		超音波検査		合計
		CFL 不全群	正常	
機械的 不安定性	CFL のみ	2 足(1 足)	5 足(3 足)	7 足(4 足)
	なし	1 足(0 足)	42 足(17 足)	43 足(17 足)
合計		3 足(1 足)	47 足(20 足)	50 足(21 足)

表 16. ATFL+CFL 複合損傷における超音波診断装置を用いた CFL の動態評価の結果

		徒手検査		合計
		CFL 不全群	正常	
機械的 不安定性	ATFL+CFL	2 足(1 足)	10 足(6 足)	12 足(7 足)
	なし	1 足(0 足)	42 足(17 足)	43 足(17 足)
合計		3 足(1 足)	52 足(23 足)	55 足(24 足)

表 17. 靭帯損傷種類別における超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度, 特異度, 陽性適中率, 陰性適中率, 正診率

	感度	特異度	陽性適中率	陰性適中率	正診率
ATFL 単独損傷	77.8%	83.7%	50.0%	94.7%	82.7%
ATFL+CFL	91.7%	83.7%	61.1%	97.3%	85.5%

表 18. 靭帯損傷種類別における超音波検査を用いた CFL の動態評価の感度, 特異度, 陽性適中率, 陰性適中率, 正診率

	感度	特異度	陽性適中率	陰性適中率	正診率
CFL 単独損傷	28.6%	97.7%	66.7%	89.4%	88.0%
ATFL+CFL	16.7%	97.7%	66.7%	80.8%	80.0%

考察

複合損傷時における超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は ATFL 単独損傷の場合と比較し、ほぼすべての項目で大きな値を示した。したがって、本研究の方法で陽性であった場合は複合損傷していることが高い可能性が示唆された。先行研究において正常靭帯に比較して、ATFL の切断、ATFL と CFL の切断の方が前方への移動量が大きくなる傾向があると報告⁷¹⁻⁷⁵⁾していることから、本研究の外果距骨離開率の拡大は、複合損傷を示している可能性が高いと考えられる。

一方、複合損傷時における超音波検査を用いた CFL の動態評価の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は CFL 単独損傷の場合と比較し、ほぼすべての項目で低い値を示した。Lapointe⁷⁶⁾らは屍体足を用いて、靭帯が無傷の状態と ATFL を切除した場合、ATFL と CFL を切除した場合の 3 条件で足関節内反可動性を比較した結果、ATFL のみ切除した時の内反可動性は切除前の 7% しか増大しなかったが、踵腓靭帯も切除した場合には 57% 増大したと報告している。したがって、CFL 単独損傷の結果よりも複合損傷の方が感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は高くなることが考えられる。しかし、本研究の結果は複合損傷の方が感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率のすべての項目において低い値となった。この原因としては研究 2 と同様、踵骨を回外させる時の負荷量が一定ではなく、TTA が 9° 以上でも腓骨筋腱の挙動が確認できた場合は正常と判断してしまうことが大きな要因と考えられる。また、プローブを被験者の足関節に当てながら内反ストレスをかけるので、その際に当てているプローブが動いてしまうと、腓骨筋腱が挙上したように見える場合が考えられ、このことも要因の 1 つであると考えられる。したがって、CFL の動態評価方法は、ストレス X 線撮影の方法の様にテロス SE 等の機器を用いて負荷量を一定にした状態でプローブを当て評価するなど、測定方法の工夫が必要である。

超音波診断装置を用いた ATFL, CFL の動態評価の両者の課題として、プローブを被験者の足関節に当てながら前方引き出しストレス、内反ストレスをかけるので、その際に当てているプローブが動いてしまうと外果と距骨頸部の距離が拡大したり、腓骨筋腱が挙上したように見えたりする場合があります、検者の技量が影響してしまう。そのため今後は検者の技術が影響しないような測定方法の検討が必要である。

以上より、課題はあるものの複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は足関節不安定性を評価するのに有用である可能性が示唆されたが、CFL の動態評価は課題が多く、足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分である。

まとめ

足関節に手術の既往がなく，過去半年間に足関節内返し捻挫の既往のない大学男子サッカー選手 20名 40足及び女子サッカー選手 16名 31足，合計 71足を対象に，ATFL，CFL 単独損傷時及び ATFL，CFL 複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL 及び CFL の動態評価を比較検討した。

ストレス X 線撮影の結果は ATFL 単独損傷 9 足，CFL 単独損傷 7 足，複合損傷群 12 足，正常群 43 足であった。また，超音波検査の結果 ATFL 単独損傷時は ATFL 不全 14 足，正常 38 足，複合損傷時は ATFL 不全 24 足，正常 31 足であった。一方 CFL 単独損傷時は CFL 不全 3 足，正常 47 足，複合損傷時は CFL 不全 24 足，正常 31 足であった。ATFL 単独損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は感度 33.3%，特異度 74.4%，陽性適中率 21.4%，陰性適中率 84.2%，正診率は 67.3% であり，複合損傷時は感度 100%，特異度 74.4%，陽性適中率 52.2%，陰性適中率 100%，正診率は 80.0% であり，複合損傷時の方がほぼすべての項目で高い値を示した。一方，CFL 単独損傷時における超音波検査を用いた CFL の動態評価は感度 28.6%，特異度 97.7%，陽性適中率 66.7%，陰性適中率 89.4%，正診率は 88.0% であり，複合損傷時は感度 16.7%，特異度 97.7%，陽性適中率 66.7%，陰性適中率 80.8%，正診率は 80.0% であり，CFL 単独損傷時の方がほぼすべての項目で高い値を示した。

超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価で陽性であった場合は複合損傷していることが高い可能性が示唆され，その精度も向上した。一方，超音波診断装置を用いた CFL の動態評価は現時点では課題が多く足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分である。

第6章 総合討論

本研究で得られた成果の意義および今後の課題

本博士論文では、超音波検査を用いた足関節不安定性検査の有用性を検討することを目的とし、本研究の目的を達成するために、5つの研究課題を設定し検討した。

【研究 1】

今回、超音波検査を用いた ATFL の動態評価とストレス X 線撮影による距骨前方引き出し率との関連性を検討した。

今回の結果より、正常群と機械的不安定群の外果距骨間離開率は有意に大きく、ストレス X 線での前方引き出し率が大きければ大きいほど超音波検査での外果距骨間離開率は大きくなることが示唆され、また、そのカットオフ値は外果距骨間離開率 6.6% が妥当な値であると考えられた。したがって、超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は、足関節不安定性を評価するのに有用な方法である可能性が示唆された。

【研究 2】

超音波診断装置を用いた CFL の動態評価とストレス X 線撮影による TTA との関連性を検討した。

CFL 不全群の TTA は正常群と比較して有意に大きかった。TTA に関して、その異常値の基準は報告者により様々で 5-9° を異常値としている。今回の超音波検査における CFL 不全群の TTA は諸家らの報告からみて、異常値と判断しうる値であった。したがって、超音波検査を用いた我々の CFL の動態評価は、足関節不安定性を評価するのに有用な方法である可能性が示唆された。

【研究 3】

超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価と徒手検査による前方引き出しテストを比較し有用性を検討した。

その結果、超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は徒手による前方引き出しテストと比較しすべての項目において超音波検査の方が高い値を示し、ROC 解析を行った結果、徒手検査よりも超音波検査の方が優れた評価法であることが示唆された。しかし、今回我々の用いた超音波検査においては、プローブを持った手とは反対の手で踵骨を後方から前方に引き出すようにストレスをかけているため、その負荷量が十分でなかったことなどいくつか問題点が挙げられた。また、本研究は ATFL 損傷のみと ATFL 損傷と CFL 損傷を合併しているものが混在しているため、ATFL、CFL の複合損傷時の検討も必要であると考えられた。

したがって、超音波検査を用いた ATFL の動態評価は現時点では負荷のかけ方の再検討など課題はあるが、それぞれの課題が解決されれば徒手検査よりも有用な評価法になる可能性があると考えられる。

【研究 4】

超音波診断装置を用いた CFL の動態評価と徒手検査による内反ストレステストを比較し有用性を検討した。

我々は CFL においても同様に定量的評価することは難しいと判断し、踵骨を回外させ CFL を緊張させたときに外果と踵骨の頂点を結んだラインよりも腓骨筋腱の midpoint が越えたものを正常群、越えなかったものを CFL 不全とする方法を考案した。ROC 解析の結果、曲線下面積(AUC)は徒手検査と比較して超音波検査の方が大きな値を示し、徒手検査よりも超音波検査の方が有用な評価法であることが示唆された。そして、

研究 1 の考察で述べたように、近年の報告では超音波検査に関しては肯定的な論文が多く、徒手検査においては否定的な論文が多いという先行研究を支持するものとなった。しかし、超音波検査の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は徒手検査と比較しすべての項目で高い値を示したもののほぼ同等の値となった。

今回我々が用いた方法は踵骨を回外させる時の負荷量が一定ではないため、TTA が 9° 以上でも腓骨筋腱の挙動が確認できた場合は正常と判断してしまうこと、プローブを被験者の足関節に当てながら内反ストレスをかけるので、その際に当てているプローブが動いてしまうと、腓骨筋腱が挙上したように見える場合があり、検者の技量が大きく影響してしまうことが問題点として考えられた。また、CFL 単独損傷の発生は非常に稀であり、その発生率は 2%程度との報告がある。このことも、今回の結果に影響を与えた要因の一つであると考えられる。

したがって、超音波検査を用いた CFL の動態評価は現時点では負荷のかけ方の再検討、陽性の判定方法など課題があり、足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分ではある。

【研究 5】

ATFL、CFL 単独損傷時及び ATFL、CFL 複合損傷時における超音波診断装置を用いた ATFL 及び CFL の動態評価を比較検討した。

複合損傷時における超音波検査を用いた ATFL の動態評価の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は ATFL 単独損傷の場合と比較し、ほぼすべての項目で大きな値を示した。一方、複合損傷時における超音波検査を用いた CFL の動態評価の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は CFL 単独損傷の場合と比較し、ほぼすべての項目で低い値を示した。

超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価で陽性であった場合は複合損傷している

ことが高い可能性が示唆され、その精度も向上した。一方、超音波診断装置を用いた CFL の動態評価は現時点では課題が多く足関節不安定性を評価するのに有効な評価法であると判断するには不十分であった。

以上より、正常群と機械的不安定群の外果距骨間離開率は有意に大きく、ストレス X 線での前方引き出し率が大きければ大きいほど超音波検査での外果距骨間離開率は大きくなることが示唆され、超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率はすべての項目で徒手検査よりも良い値を示し、ROC 解析の結果、超音波検査法は徒手検査よりも優れた評価法であることが示唆された。そして、感度が高いことから足関節不安定性のスクリーニング検査として本研究の方法を用いることは有用である可能性が示唆された。また、超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価で陽性であった場合は複合損傷していることが高い可能性が示唆されその精度も向上した。したがって、超音波診断装置を用いた ATFL の動態評価は、いくつかある課題をクリアすることができればさらに測定法としての精度があがり、足関節不安定性の評価法として有用な方法となる可能性があると考えられた。

一方、超音波検査を用いた CFL の動態評価の結果、CFL 不全群の TTA は正常群と比較して有意に大きく、ROC 解析の結果、曲線下面積(AUC)は徒手検査と比較して超音波検査の方が大きな値を示し、徒手検査よりも超音波検査の方が有用な評価法であることが示唆された。しかし、超音波検査の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率、正診率は徒手検査と比較しすべての項目で高い値を示したもののほぼ同等の値となった。また、感度も低く判定方法や測定方法に課題が多いため、現時点ではスクリーニングとしてこの方法を用いることは非常に難しいと考えられた。

第7章 結論

本研究では超音波検査を用いた足関節不安定性検査の有用性を検討した。課題はいくつかあるが超音波検査を用いた ATFL の動態評価は感度も高くスクリーニングとしてこの方法を用いることは有用である可能性が示唆された。一方、超音波検査を用いた CFL の動態評価は現時点では課題が多く感度も低いためスクリーニングとしてこの方法を用いることは非常に難しく、判定方法や測定方法を改善する必要がある。

謝辞

本研究にご協力頂いた女子サッカー部の選手の皆様，岡野整形外科内科クリニック院長岡野克紀氏，測定にご協力いただいた，長野整形外科クリニック小林久文氏，藤森哲也氏に心より厚く御礼申し上げます．筑波大学スポーツ医学専攻の増成暁彦氏，高柳尚司氏をはじめ同研究室のご協力頂いた皆様にも心より厚く御礼申し上げます．さらに研究活動に従事するために私生活で絶えず温かく支えて下さった母親と姉に感謝の意を表します．

参考文献

1. Price RJ, Hawkins RD, Hulse MA, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme : an audit of injuries in academy youth football. *Br J Sports Med.* 2004 ; 38 : 466-471.
2. Orchard JW, Powall JW. Risk of knee and ankle sprains under various weather conditions in American football. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 ; 35(11) : 1118-1123.
3. National Collegiate Athletic Association. Participation statistics report, 2002-2003. Overland Park, KS: National Collegiate Athletic Association, 2003.
4. Dick R, Putukian M, Agel J, Evans TA, Marshall SW. Descriptive Epidemiology of Collegiate Women's Soccer Injuries : National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System , 1988-1989 Through 2002-2003. *J Athl Train.* 2007 ; 42(2) : 278-285.
5. Agel J, Evans TA, Dick R, Putukian M, Marshall SW. Descriptive Epidemiology of Collegiate Men's Soccer Injuries : National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 Through 2002-2003. *J Athl Train.* 2007 ; 42(2) : 270-277.

6. Dick R, Hertel J, Agel J, Grossman J, Marshall SW. Descriptive Epidemiology of Collegiate Men's Basketball Injuries : National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System , 1988-1989 Through 2003-2004. *J Athl Train.* 2007 ; 42(2) : 194-201.
7. Agel J, Olson DE, Dick R, Arendt EA, Marshall SW. Descriptive Epidemiology of Collegiate Women's Basketball Injuries : National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 Through 2003-2004. *J Athl Train.* 2007 ; 42(2) : 202-210.
8. Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train.* 2002 ; 37 : 364-375.
9. Funder V, Jorgensen JP, Andersen A, et al : Ruptures of the lateral ligaments of the ankle. Clinical diagnosis. *Acta Orthop Scand.* 1982 ; 53 : 997-1000.
10. Frey C, Bell J, Teresi L, et al : A comparison of MRI and clinical examination of acute lateral ankle sprain. *Foot Ankle Int.* 1996 ; 17 : 533-537
11. Lahde S, Putkonen M, Puranen J, et al : Examination of the sprained ankle : anterior drawer test or arthrography?. *Eur J Radiol.* 1988 ; 8 : 255-257.

12. Raatikainen T, Putkonen M, Puranen J. Arthrography, clinical examination, and stress radiograph in the diagnosis of acute injury to the lateral ligaments of the ankle. *Am J Sports Med.* 1992 ; 20 : 2-6.
13. 桜庭景植 : 足関節靭帯損傷の受傷機転と診断(定量的評価, 画像診断を含む). *臨床スポーツ医学.* 2002 ; 19(2) : 113-122.
14. 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 ; 37 : 233-238.
15. Cheung Y, Rosenberg S. MR imaging of ligamentous abnormalities of the ankle and foot. *MRI Clin North Am.* 2001 ; 9 : 507-531.
16. Beynon BD, Murphy DF, Alosa DM. Predictive factors for lateral ankle sprains : literature review. *J Athl Train.* 2002 ; 37 : 376-380.
17. Wong P, Hong Y. Soccer injury in the lower extremities. *Br J Sports Med.* 2005 ; 39 : 473-482.
18. Verhagen EA, Van der Beek AJ, Bouter LM, Bahr RM, Van Mechelen W. A one season prospective cohort study of volleyball injuries. *Br J Sports Med.* 2004 ; 38 : 477-481.

19. Sitler M, Ryan J, Wheeler B, McBride J, Arciero R, Anderson J, Horodyski M. The efficacy of a semirigid ankle stabilizer to reduce acute ankle injuries in basketball. A randomized clinical study at West Point. *Am J Sports Med.* 1994 ; 22 : 454-461.
20. Norkus SA, Floyd RT. The anatomy and mechanisms of syndesmotic ankle sprains. *J Athl Train.* 2001 ; 36 : 68-73.
21. Perlman M, Leveille D, DeLeonibus J, Hartman R, Klein J, Handelman R, Schulz E, Wertheimer S. Inversion lateral ankle trauma : differential diagnosis, review of the literature, and prospective study. *J Foot Surg.* 1987 ; 26 : 95-135.
22. 川野哲英, 野村亜樹, 蒲田和芳, 黒澤 尚. スポーツ動作からみた保存療法の考え方 - トレーニング, 機能的補助装具療法を中心に -. *整形・災害外科.* 1988 ; 41 : 1195-1204.
23. Ekstrand J, Tropp H. The incidence of ankle sprain in soccer. *Foot Ankle Int.* 1990 ; 11 : 41-44.
24. Tropp H, Askling C, Gillquist J. Prevention of ankle sprains. *Am J Sports Med.* 1985 ; 12 : 259-262.

25. Putukian M, Knowles WK, Swere S, Castle NG. injuries in indoor soccer :
The Lake Placid Dawn to Dark Soccer Tournament. *Am J Sports Med.* 1996 ;
24 : 317-322.
26. Mckay GD, Goldie PA, Payne WR, Oakes BW. Ankle injuries in basketball :
injury rate and risk factors. *Br J Sports Med.* 2001 ; 35 : 103-108.
27. Milgrom C, Shlamkovich N, Finestone A, Eldad A, Laor A, Danon YL, Lavie
O, Wosk J, Simkin A. Risk factors for lateral ankle sprain : a prospective study
among military recruits. *Foot Ankle.* 1991 ; 12 : 26-30.
28. Surve I, Schwellnus MP, Noakes T, Lombard C. A fivefold reduction in the
incidence of recurrent ankle sprains in soccer players using the Sport-Stirrup
orthosis. *Am J Sports Med.* 1994 ; 22 : 601-606.
29. Barrett JR, Tanji JL, Drake C, Fuller D, Kawasaki RI, Fenton RM.
High-versus low-top shoes for the prevention of ankle sprains in basketball
players: a prospective randomized study. *Am J Sports Med.* 1993; 21 : 582-585.
30. Baumhauer JF, Alosa DM, Renström PA, Trevino S, Beynnon B. A prospective
study of ankle injury risk factors. *Am J Sports Med.* 1995 ; 23 : 564-570.
31. Tropp H, Ekstrand J Gillquist J. Stabilometry in functional instability of the
ankle and its value predicting injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1984 ; 16 : 64-66.

32. Beynnon BD, Vacek PM, Murphy D, Alosa D, Paller D. First-time inversion ankle ligament trauma : the effects of sex, level of competition, and sport on the incidence of injury. *Am J Sports Med.* 2005 ; 33(10) : 1485-1491.
33. Harrer MF, Hosea TM, Berson L, Leddy TP. The gender issue : epidemiology of knee and ankle injuries in high and college players. Presented at : American Academy of Orthopaedic Surgeons 65th Annual Meeting Proceedings ; March 19-23, 1998 ; New Orleans, LA.
34. Beynnon BD, Renström PA, Alsoa DM, Baumhauer JF, Vacek PM. Ankle ligament injury risk factors : a prospective study of college athlete. *J Orthop Res.* 2001 ; 19 : 213-220.
35. Dahle LK, Mueller MJ, Delitto A, Diamond JE. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991 ; 14 : 70-74.
36. Jackson DW, Jarrett H, Bailey D, Kausek J, Swanson J Powell JW. Injury prediction in the young athlete : a preliminary report. *Am J Sports Med.* 1978 ; 6 : 6-14.
37. Chomiak J, Junge A, Peterson L, Dvorak J. Severe injuries in football players : influencing factors. *Am J Sports Med.* 2000 ; 28(5 suppl) : 58-68.

38. Wiesler ER, Hunter MD, Martin DF, Curl WW, Hoen H. Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *Am J Sports Med.* 1996 ; 24 : 754-757.
39. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Levenson G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clin J Sports Med.* 2000;10:239-244.
40. Watson AW. Ankle sprains in players of the field-games Gaelic football and hurling. *J Sports Med Phys Fitness.* 1999 ; 39 : 66-70.
41. Glick JM, Gordon RB, Nishimoto D. The prevention and treatment of ankle injuries. *Am J Sports Med.* 1976 ; 4 : 136-141.
42. Barrett J, Bilisko T. The role of shoes in the prevention of ankle sprains. *Sports Med.* 1995 ; 20 : 277-280.
43. Ogilvia-Harris DJ, Gilbert M. Treatment modalities for soft tissue injuries of the ankle : a critical review. *Clin J Sport Med.* 1995 ; 5 : 175-186.
44. Karlsson J, Swärd L, Andréasson GO. The effect of taping on ankle stability. *Sports Med.* 1993 ; 16 : 210-215.
45. Garrick JG. The frequency of injury, mechanism of injury, and epidemiology of ankle sprains. *Am J Sports Med.* 1977 ; 5 : 241-242.

46. Orteza LC, Vogelbach WD, Denegar CR. The effect of molded and unmolded orthotics on balance and pain while jogging following inversion ankle sprain. *J Athl Train.* 1992 ; 27 : 80-84.
47. Callaghan MJ. Role of ankle taping and bracing in the athlete. *Br J Sports Med.* 1997 ; 31 : 102-108.
48. Garrick JG, Requa RK. The epidemiology of foot and ankle injuries in sports. *Clinics in Podiatric and Medical Surgery.* 1989 ; 6 : 629-637.
49. Kuwada GT. Current concepts in the diagnosis and treatment of ankle sprains. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery.* 1995 ; 12 : 653-665.
50. Kannus P, Renstrom P. Treatment for acute tears of the lateral ligaments of the ankle. Operation, Cast, or early controlled mobilization. *J Bone Joint Surg Am.* 1991 ; 73 : 305-312.
51. Frey C. Ankle sprains. *Inter Course Lect.* 2001 ; 50 : 515-520.
52. 坂井建雄, 松村讓兒 監訳. プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論／運動器系. 医学書院. 2007
53. 福林 徹ほか編 : スポーツ指導者のためのスポーツ医学. 南江堂. 2009.

54. Hubbard TJ, Hertel J. Mechanical contributions to chronic lateral ankle instability. *Sports Med.* 2006 ; 36 : 263-277.
55. 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 ; 19 : 653-660.
56. Tropp H, Odenrick P, Gillquist J. Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint. *Int J Sports Med.* 1985 ; 6 : 180-182.
57. Freeman MA, Dean MR, Hanham IW. The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br.* 1965 ; 47 : 678-685.
58. Valderrabano V, Hintermann B, Horisberger M, Fung TS. Ligamentous posttraumatic ankle osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2006 ; 34 : 612-620.
59. Hintermann B, Boss A, Schafer D. Arthroscopic findings in patients with chronic ankle instability. *Am J Sports Med.* 2002 ; 30 : 402-409.
60. 藤田雅章, 松坂誠應, 宮原健次, 弦本敏行 他. 足関節外側靭帯損傷のストレス X線評価について. *整形外科と災害外科.* 1986 ; 34(3) : 179-183.
61. 日本超音波骨軟組織学会 編 : 入門運動器の超音波観察法. 医歯薬出版, 2008.

62. 福田国彦 編：骨軟部画像診断のここが鑑別ポイント. 羊土社, 2007.
63. 西川志津, 山口睦弘, 皆川洋至. オスグッド病の超音波診断. 超音波検査技術. 2010 ; 35(3) : 285-289.
64. 渡辺千聡, 三幡輝久, 藤澤幸隆, 木下光雄 他：超音波断層法を用いた野球肘検査の有用性. 日本整形外科スポーツ医学学会誌. 2012 ; 32(1) : 2-6.
65. 杉本和也：足関節外側靭帯損傷とその合併症の診断. MB Orthop. 2000 ; 13(10) : 9-15.
66. 吉田 昌弘ほか：超音波画像による足関節前方引き出しテストの定量評価の再現性. 理学療法科学, 25(4) : 499-503, 2010.
67. Yinghui Hua, Yougming Yang, Shiyi Chen, et al : Ultrasound examination for the diagnosis of chronic anterior talofibular ligament injury. Acta Radiologica, 2012 ; 53 : 1142-1145.
68. Cox JS et al : "Normal" talar tilt angle. Clin Orthop Relat Res, 140 : 37-41, 1979 .
69. J Karsson et al : Lateral Instability of the Ankle Joint Lateral instability of the ankle joint. Clin Orthop Relat Res, 276 : 253-61, 1992.
70. 遠山晴一, 安田和則, 大関 覚 他：足関節外側靭帯損傷とバイオメカニクス : MB Orthop. 2000 ; 13(10) : 1-8.

71. Bahr R, Pena F, Shine J, et al : Mechanics of the anterior drawer and talar tilt tests. *Act Orthop Scand.* 1997 ; 68 : 435-441.
72. Bulucu C, Thomas KA, Halvorson TL, Cook SD : Biomechanical evaluation of the lateral ankle ligaments. *Foot Ankle.* 1991 ; 11 : 389-393.
73. Grace DL. Lateral ankle ligament injuries : inversion and anterior stress radiography. *Clin Orthop Relat Res.* 1984 ; 183 : 153-159.
74. Kjaersgaard-Andersen P, Frich LH, Madsen F, et al : Instability of the hindfoot after lesion of the anterior drawer and adduction manewvers in autopsy specimen. *Clin Orthop Relat Res.* 1991 ; 266 : 170-179.
75. Rasmussen O : Stability of the ankle joint. Analysis of the function and traumatology of the ankle ligaments. *Act Orthop Scand.* 1985 ; 56 : 1-75.
76. Lapointe SJ, Siegler S, Hillstrom H, et al : Changes in the Flexibility characterristics of the lateral collateral ligaments : an in vitro and in vivo study. *J Ortop Res.* 1997 ; 15 : 331-341.