

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

サッカー選手における Jones 骨折の発生要因および
早期発見に向けた超音波検査の取り組み

The risk factor of Jones fracture in footballers and the efforts
of ultrasonography for early detection

2018 年 1 月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

松田 匠生

MATSUDA, Sho

研究指導教員： 広瀬 統一 教授

目次

第 1 章 緒言	1
1. スポーツと疲労骨折	1
2. Jones 骨折について	3
3. 研究の目的	9
第 2 章 研究 1	10
1. 背景	10
2. 方法	12
3. 結果	18
4. 考察	22
5. 限界	25
6. 結論	26
第 3 章 研究 2	27
1. 背景	27
2. 方法	27
3. 結果	30
4. 考察	33
5. 限界	35
6. 結論	35
第 4 章 研究 3	36
1. 背景	36
2. 方法	37
3. 結果	39
4. 考察	41
5. 限界	44
6. 結論	44

第 5 章 総合考察.....	45
第 6 章 結語.....	48
参考文献.....	49
謝辞.....	57

第 1 章 緒言

1. スポーツと疲労骨折

疲労骨折の定義は「繰り返し緊張を加える事によって生じる骨折で、筋肉疲労と骨の破断の相乗によって生じると考えられ、骨のリモデリングが修復を上回った状態」とされている[1]。スポーツの疲労骨折に関する報告では、杉浦らは、外来を受診した全スポーツ傷害の症例のうち4.4%が疲労骨折であったとし[2]、武藤らは同様に4.0%であったと報告している[2]。疲労骨折は外傷性の骨折とは違い、スポーツ活動に起因することがほとんどであるため、近年では代表的なスポーツ傷害のひとつとして注目されている。

スポーツに伴う疲労骨折の部位別発生頻度は、上肢0.0~8.6%、体幹部1.8~23.3%、下肢68.7~95.0%であり、下肢での発生頻度が顕著に高い事が報告されている[3]。また下肢に起こる疲労骨折の発生頻度は脛骨32.3~54.3%、中足骨8.8~28.7%、腓骨4.2~13%、足根骨0.0~25.3%、大腿骨0.9~7.2%、種子骨0.0~3.4%、膝蓋骨0.0~1.8%、基/中/末節骨0.0~1.1%である[3]。中足骨の疲労骨折は、第1中足骨が0.0~3.8%、第2中足骨が22.0~26.9%、第3中足骨が46.0~53.8%、第4中足骨が11.5~18.1%、第5中足骨が3.8~12%であり、第5中足骨疲労骨折は第1中足骨に次いで低い発生率であったと報告されている[4]。しかしながら、本邦における第5中足骨疲労骨折の報告はサッカー選手において多数見られ[5-7]、日本体育協会の研究報告においても、高校生レベルで毎年1000余件の報告がされている[8]。

疲労骨折は、骨への圧縮（compression）・曲げ（bending）・伸張（tension）・剪断（shearing）・捻り（torsion）等の応力が繰り返し加わることで発生するとされ[2]、各ストレスの中でも、骨は捻りストレスに最も弱く、次いで剪断、伸張、曲げ、圧縮ストレスに対して脆弱で

あることが報告されている。通常，局所的な力学的負荷により骨組織に微細損傷が生じても，骨の新陳代謝機構であるリモデリングによって修復される。しかしながら，負荷が頻回になるとリモデリングによる修復が間に合わず骨組織にヒビが生じ，疲労骨折に至ると考えられている[9]（図1）。

疲労骨折の発生要因は①個体要因，②方法要因，③環境要因の3つに分ける事ができる[2]。①個体要因は，骨の解剖学的特徴，年齢，スポーツレベル，体力（筋力，柔軟性，弛緩性，コンディション），下肢のマラライメント，荷重線，ステロイド剤の長期投与，ホルモン，栄養状態等が挙げられている。また，②方法要因は，誤ったトレーニング様式，過度なトレーニング量，急激なトレーニングの増大が挙げられ，③環境要因はスポーツサーフェイス，スポーツシューズ，スポーツ用具などが挙げられる。

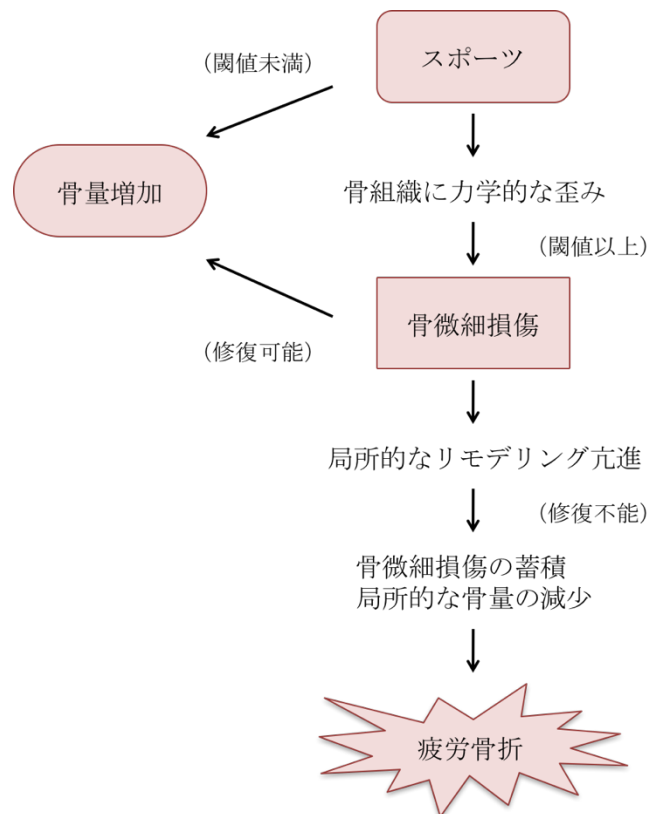


図1：疲労骨折のメカニズム（[9]より改変）

2. Jones 骨折について

第 5 中足骨基部の骨折は 1902 年 Robert Jones によって最初に報告されたため Jones 骨折と呼ばれている [10]. 最初の報告では, 踵部離地・前足部内転が組み合わさることによって起こる急性型骨折と分類されており, 直達外力による損傷ではなく, 介達外力によって発生すると報告されている [10].

それ以降, スポーツ選手に第 5 中足骨基部骨折が発生したという報告 [11-13] が散見されるようになり, 第 5 中足骨基部の骨折の中でも, 骨折線の部位や治癒過程が症例によって異なる事が明らかにされている.

1993 年に Lewrence らは上記の第 5 中足骨基部骨折のレビューを行い, 第 5 中足骨基部骨折を近位側から ① 結節部剥離骨折, ② Jones 骨折, ③ 近位骨幹部疲労骨折の 3 タイプに分類した [14]. ① 結節部剥離骨折は後足部の内反によって発生する結節部の急性型骨折であり, 予後は良好, ② Jones 骨折は前足部内転によって発生する基部と骨幹部間の急性型骨折であり, 予後は比較的良好, ③ 近位骨幹部疲労骨折は荷重負荷の反復によって発生する近位骨幹部の慢性型骨折であり, 予後は不良であることが知られている (表 1, 図 2) .

表 1: 第 5 中足骨基部骨折の骨折タイプとその特性 [14]

骨折タイプ	結節部剥離骨折	Jones 骨折	近位骨幹部疲労骨折
メカニズム	後足部内反	前足部内転	繰り返しのストレス
部位	結節部	基部～骨幹部移行部	近位骨幹部
受傷形態	急性型	急性型	慢性型
予後	非常に良好	比較的良好	不良

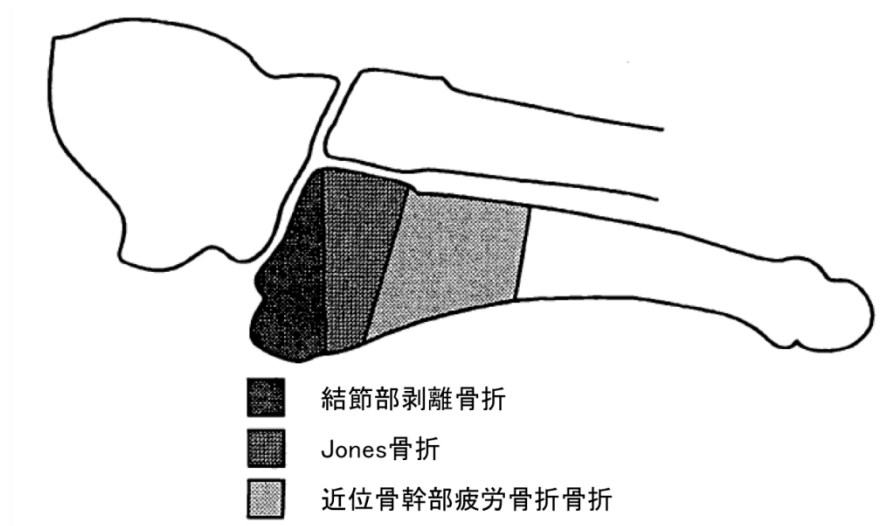


図 2：骨折部位と骨折タイプ [14]

近位骨幹部疲労骨折の予後が不良である原因を調査するために、Smithらは第5中足骨に血液供給をする血管の解剖学的な特徴について報告した[15]。その結果、①結節部剥離骨折や②Jones骨折では骨折が発生したとしても近位側、遠位側からの豊富な血流により治癒が期待できるが(図3a)、③近位骨幹部疲労骨折が発生すると、血液供給する血管が損傷し骨折の好発部位である足底外側部への血流が乏しくなる(図3b)ことを報告している。このような特徴から、③近位骨幹部疲労骨折は他の2タイプの骨折と比較して治癒が遅く、偽関節となるリスクが高くなると考えられている。

ここまで、第5中足骨基部骨折についての分類・特徴について述べた。本来は部位によって異なる傷害であるものの、本邦では一般的に第5中足骨近位骨幹部疲労骨折とJones骨折を合わせてJones骨折と定義することが多い。そのため、本論文では以降、「第5中足骨近位骨幹部疲労骨折」「Jones骨折」の両者を「Jones骨折」と記載することとした。

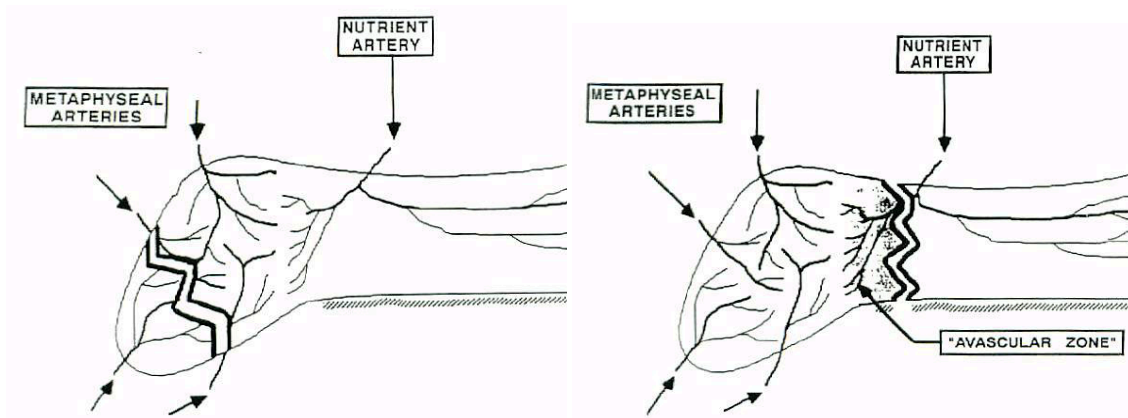


図 3 : a : 結節部剥離骨折 (左) : 骨折部へは, 近位・遠位から豊富な血液供給がある. b : 近位骨幹部疲労骨折 (右) : 骨折部への近位からの血液供給は無く, 遠位からの血液供給は内側のみとなる [15]

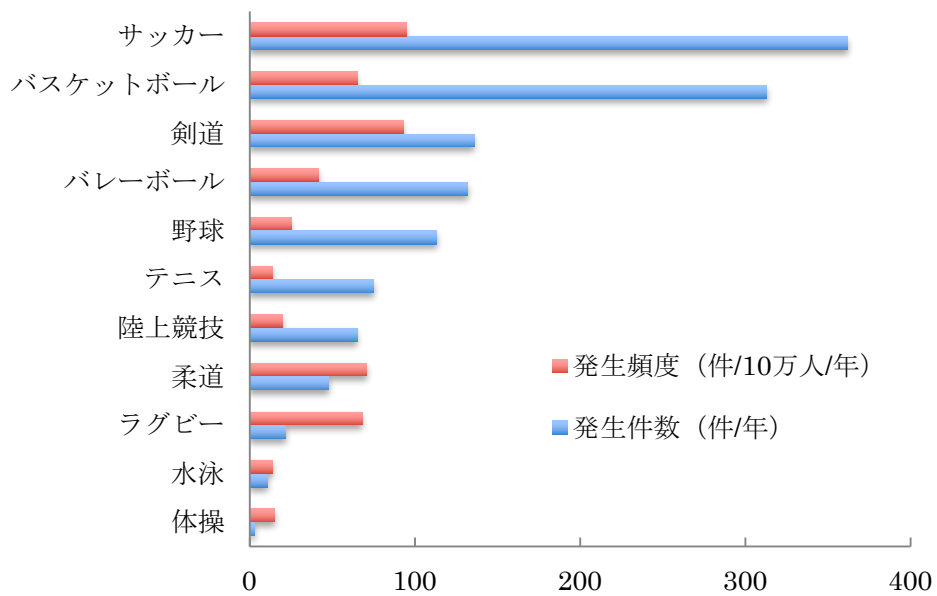


図 4 : Jones 骨折のスポーツ別発生件数・発生頻度 [8]

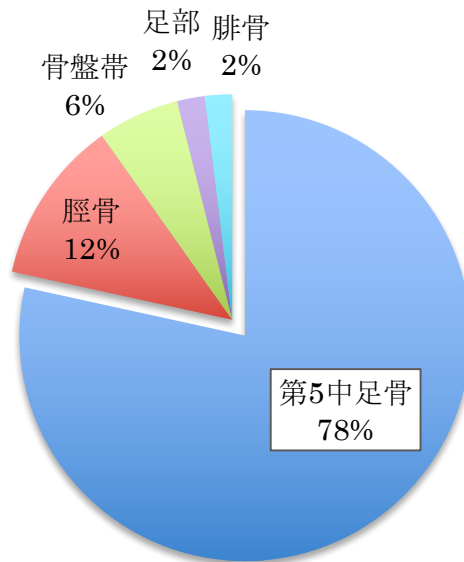


図 5 : サッカー欧州リーグでの下肢疲労骨折発生割合 ([16]より作図)

Jones 骨折の疫学調査はいくつか確認できる。日本体育協会はサッカー選手において Jones 骨折の発生件数・発生頻度が共に最多であると報告している [8] (図 4)。本邦の大学サッカー選手の第 5 中足骨疲労骨折発生率は 0.09-0.12/1000AEs (Athlete Exposures) と報告され [17, 18], 欧州サッカーリーグの調査ではプロサッカー選手に発生する疲労骨折の 78% が第 5 中足骨であると報告されている [16] (図 5)。

Jones 骨折の重症度を分類するために, Torg はレントゲン画像の評価から, Torg I 型~III 型まで分類した [13]。Torg I 型は急性骨折型であり, 骨折線が狭く骨膜反応・髄質内骨硬変が認められない状態である (図 6a)。Torg II 型は遷延治癒型とし, 骨折線が広がり骨膜反応・髄質内骨硬変が認められる状態とされた (図 6b)。Torg III 型は偽関節型であり, 骨折線が広がり, 骨硬変による骨髓腔の完全な閉塞が認められる状態とした (図 6c)。Torg は III 型に対して手術療法を推奨している。しかしながら, Lee らは Torg II 型の選手 43 名に対して tension-band-wiring

法という外科的治療を行ったものの 8 名の偽関節と 2 例の再骨折を報告した。そのため、レントゲン画像による Torg タイプの分類のみでは Jones 骨折の予後予測は不十分である可能性を報告している。

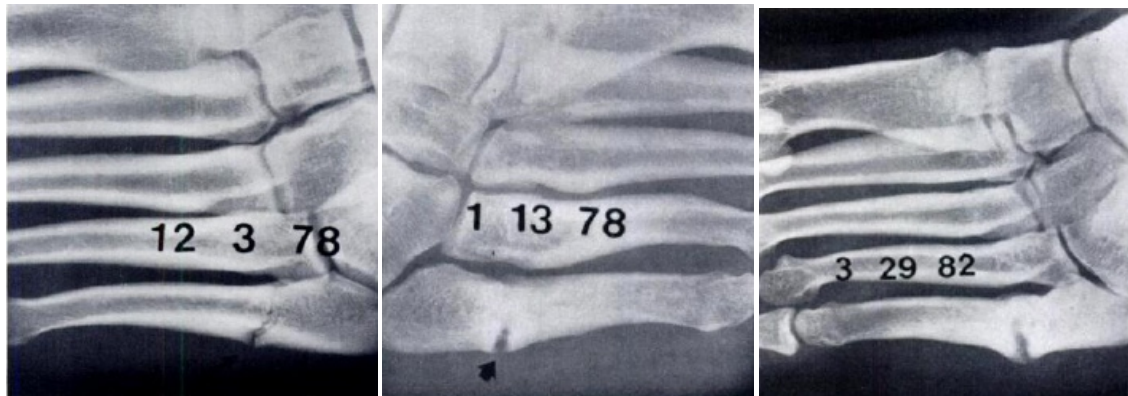


図 6 : a : Torg I 型 (左) b : Torg II 型 (中) c : Torg III 型 (右)
([13]より引用)

通常の疲労骨折の治療では初期の固定・免荷によって良好な骨癒合が得られるが、Jones 骨折の治療は予後の不良性から第 1 選択として手術療法が選択されることが多い[19, 20]。Jones 骨折の保存療法（ギプス固定）と手術療法（screw 内固定）をランダムで比較した研究では、治療成功者が保存療法では 18 名中 10 名、手術療法では 19 名中 18 名であったと報告している。骨癒合までの期間は保存療法が 14.5 ± 4.7 週間であったのに対して、手術療法では 6.9 ± 2.3 週間であり[21]、復帰を急ぐスポーツ選手においては手術療法が推奨される。しかしながら、手術療法を行ってもスポーツ復帰までは 3~8 ヶ月を要し[21]、再骨折や合併症などの報告があるため[5, 11, 22]、早期復帰を目指すスポーツ選手に大きな影響を与えている。

Jones 骨折の発生要因は、個体要因としてアライメント、骨形状、筋

力・筋持久力，関節可動域，身体機能が影響し，環境要因としてサーフェイス・シューズが，トレーニング要因として運動の種類，量，競技種目が[23]，栄養面での要因としてビタミン D の欠乏が影響すると報告されている[24]．特に第 5 中足骨への応力は動作時に足部外側荷重となる事で大きくなると考えられているため，足部外側荷重を引き起こす原因が Jones 骨折発生の個体要因として挙げられている．具体的にはアライメントとしての O 脚，回外足，関節構成体としての足関節外側靭帯等の破綻は足関節足部の内反傾向を助長し，外側荷重を招きやすい．また，筋機能として中殿筋や外旋筋の機能不全による下肢の支持機構の弱化は足部外側への負荷を増大させる事が推察されている[23]．環境要因としては土グラウンド，人工芝グラウンド，天然芝グラウンドなどプレーをするサーフェイスの問題，スパイクのポイントの形状，ポイントの数，ポイントの大きさやソール硬さなどシューズの問題が挙げられる[18, 23]．しかしながら，これらの研究結果は後ろ向き研究の結果であるため，実際の Jones 骨折発症要因を明らかにするためには，前向き研究が必要不可欠である．しかしながら，筆者の知る限り前向き研究は行われていないのが現状である．

3. 先行研究で明らかになっていることと現時点での課題

Jones 骨折は難治性の骨折とされ，治療に長期間を要するため，発症前に予防する事が重要であると考えられている．後ろ向き研究では，Jones 骨折の既往者の特徴として後足部内反が挙げられており，本障害の発症要因の一つであることを示唆しているが，Jones 骨折の発症要因に関する前向き研究は現在まで行われていないため確定的ではない．また，先行研究では Jones 骨折の早期発見のためのスクリーニングは完全

骨折のみが対象であり，亀裂骨折に関する報告はなされていない．そのため，現段階での Jones 骨折研究における課題は，①発生要因に関する前向き研究，②Jones 骨折の早期発見に関する報告，の 2 点の欠如であると考ええる．

4. 研究の目的

そこで，本研究の目的は①Jones 骨折の発生要因を前向きに検討すること，②Jones 骨折の早期発見のための超音波所見を調査することとする．以上のことが明らかになることで，Jones 骨折の予防や早期発見，早期治療に向けて提言することが可能となると考える．

第 2 章 研究 1

サッカー選手における Jones 骨折既往と足部アライメント・足底圧の関連 -ケースコントロール研究-

1. 背景

Jones 骨折はサッカー選手に多発し[5-7, 16-18], 保存療法後の再骨折や偽関節, 手術療法後の再骨折合併症についての報告も散見される[5, 11, 22]. Jones 骨折の再発率(25%)は, 足関節捻挫(10.3%)や, ハムストリングス肉離れ(13%)と比較して高く, Jones 骨折の発生の予防と再発の予防について議論が行われている.

Jones 骨折の内的要因について, 先行研究では, Jones 骨折既往者を対象とした後ろ向き研究が数件行われている. Raikin らは Jones 骨折を発症した 21 足を対象にレントゲン画像を用いて足部アライメントの評価を行い, 21 足中 18 足が後足部内反アライメントを呈していたと報告した[25]. Lee らも同様の測定方法を用いて, Jones 骨折と診断されたサッカー選手 50 名とサッカー選手のコントロール群 50 名の比較を行い, Raikin らと同様に Jones 骨折発症群で有意に後足部が内反していると報告した[26]. また, 臨床検査と Jones 骨折の既往者の関連を調査した研究では, アーチ高や Leg-Heel Alignment に群間差を認めなかったとの報告[17, 27]や, ハイアーチ群に Jones 骨折の既往が多かったとの報告[28], Jones 骨折群で足趾屈筋群の筋力が有意に低かったと報告[17]されている.

Jones 骨折に関する後ろ向き研究では, 評価にレントゲン画像を用いる事が多く, 機材や被曝の関係からスクリーニング検査として現場で応用することが難しい. 現場で簡便に計測できるアーチ高や Leg-Heel

Alignment の項目についてはコンセンサスが得られておらず [17, 27, 28], 実用的な測定項目に関するデータは不足している. また, 先行研究では [17, 25-28], アライメントや筋力などの測定項目に限られており, Jones 骨折のメカニズムに言及できる力学的なデータの取得や大規模な研究が不足している状況である.

そこで, コンセンサスが得られているレントゲン画像を用いた後足部内反アライメント [25, 26] の, 現場への応用が期待される. 現場で行える後足部アライメントの評価は, neutral calcaneal stance position (NSCP) や resting calcaneal stance position (RCSP) などが報告されている [29-31]. 一般的に Leg-Heel Alignment と言われている下腿の長軸と踵骨の長軸を結んだ角度が RCSP とされており [29, 31], 荷重位で距骨下関節中間位に保持した状態の角度が NSCP である [30]. しかしながら, NSCP の検者内信頼性は 0.14/0.18, 検者間信頼性は 0.15 であり, RCSP の検者内信頼性は 0.89/0.74, 検者間信頼性は 0.59 と報告されておりゴニオメーターで計測した後足部角度の信頼性は高いとは言えない [29-31]. 一方で, Gross らは, 後足部角度を写真データから評価し, 検者内信頼性が 0.87, 検者間信頼性が 0.85 と優良な信頼性であったと報告している [32]. このことから, 現場で使用する信頼性の高いデータを得るためには, ゴニオメーターを用いた計測よりも, 写真データによる計測が有用であると考えられる.

また, 前述した Jones 骨折のメカニズムを考察するための力学的データについては, 先行研究で有限要素解析やインソール型の足底圧計測を用いて行われている [33-36]. これらの方法も測定, 解析に労力が掛かりすぎてしまうため, スクリーニングとして行うには不向きである. しかしながら, 現在報告されている Jones 骨折の先行研究では荷重ストレス

に関するデータが不足しており，簡便な方法からデータを蓄積していくことが求められる．

信頼性の高い足部アライメントデータを大規模に収集することで，メディカルチェックなどでの高リスク選手の抽出が可能となる．また，荷重圧データを取得することで，先行研究で行われてきたアライメントと Jones 骨折の関連を説明するキネティクスへの言及が可能となると考える．

そこで，本研究の目的は，Jones 骨折既往者の足部アライメント，足底圧データの特徴を明らかにし，Jones 骨折の再発予防，前向き研究の一助にすることとした．Jones 骨折の既往をもつ選手は，後足部内反角度が大きく，立位で足底圧中心が外側へ位置しているとした．

2. 方法

対象は，関東大学サッカー連盟に加入するチームの大学生の男子サッカー選手 335 名とした．包含基準は現病歴が無く通常の競技活動が行えている者とし，除外基準は傷害や各種機能不全により全ての測定を遂行できない者とした．

対象者に対し，アンケート調査及び足部アライメント，足底圧の測定を行い，アンケート回答結果から Jones 骨折既往群 29 名とコントロール群（Jones 骨折非既往群）306 名の 2 群に群分けをした．Jones 骨折既往群 29 名は，更に Jones 骨折既往足（以下，FF：fracture foot，全例再骨折歴なし）30 足と非既往足（以下，NF：non-fracture foot）28 足に群分けし，コントロール群はコントロール足（以下，CF：control foot）として左右データの平均値を使用した．また，アンケート調査では，ポジション，対象者の利き足（蹴り足），足関節捻挫の既往の有無，足関

節捻挫既往の重症度などの項目を採用した。

表 2：対象者の基本データ

	N	年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)
コントロール群	306	20.1 ± 1.1	173.5 ± 9.9	67.9 ± 6.8
Jones 骨折群	29	20.0 ± 1.1	172.8 ± 5.8	67.5 ± 7.0

全対象者に対して，足長，アーチ高，荷重位 Leg-Heel Alignment，非荷重 Leg-Heel Alignment，後足部に対する前足部角度，空間に対する前足部角度，立位の足底圧中心，カーフレイズ位の足底圧中心を計測した。全ての測定は 2-3 月のプレシーズンに行った。

尚，本研究は早稲田大学，人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て行われた（2016-083）。各対象者には実験前に研究の目的と方法を十分に説明し，研究に対する同意を書面によって得た。

1) アーチ高率

足長（踵部最後面から足趾先端）と舟状骨高を，定規を用いて計測した。舟状骨高を足長で除した値をアーチ高率として算出した。検者内信頼性 ICC（1，1）は 0.94，検者間信頼性 ICC（2，1）は 0.89 であった。

2) 後足部角度 (図 7)

踵骨の長軸をとるために、対象者の踵骨後方の遠位部、近位部の中央にマーカ―を貼付した[37]。股関節、膝関節、足関節は中間位とし、立位・腹臥位の2肢位で足部の後方から写真撮影を行った。撮影した画像から、下腿後面中央とアキレス腱の中央を結んだ軸を下腿長軸と定義し、下腿長軸と踵骨長軸のなす角度を計測した。荷重位の Leg-Heel Alignment を W-LHA (Weight-bearing Leg-Heel Alignment)、非荷重位の Leg-Heel Alignment を N-LHA (Non-weight-bearing Leg-Heel Alignment) とした。計測には ImageJ (US National Institutes of Health, Bethesda, MD) を使用した。内反方向を+、外反方向を-と定義した。

検者内信頼性 ICC (1, 1) は W-LHA で 0.93, NLHA で 0.99, 検者間信頼性 ICC (2, 1) は W-LHA で 0.83, NLHA で 0.87 であった。

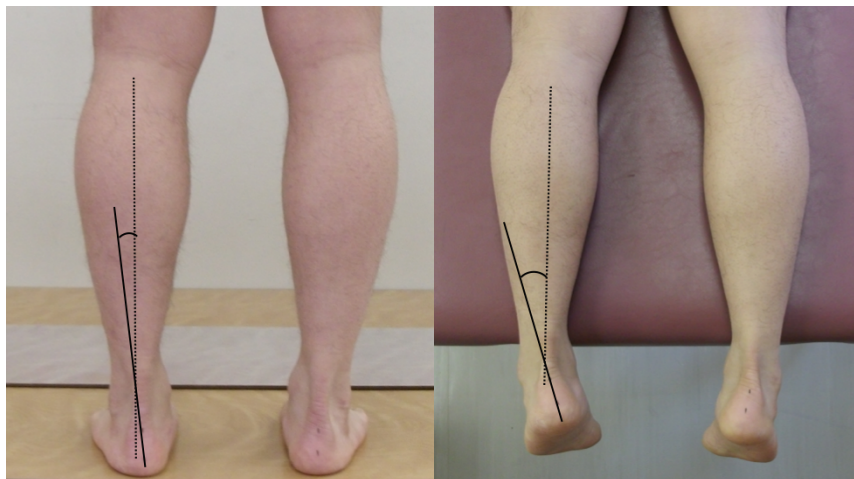


図 7 : 左 : WLHA : 立位での下腿の長軸と踵骨の長軸のなす角度

右 : NLHA : 腹臥位での下腿の長軸と踵骨の長軸のなす角度

3) 前足部角度 (図 8)

前足部角度はベッド上腹臥位で計測を行った。対象者の股関節，膝関節，足関節は中間位とし，足部後方から写真撮影を行った。撮影した画像から，後足部に対する前足部角度 (FA-R : Forefoot Angle relative to the Rearfoot) と，空間に対する前足部角度 (FA-H : Forefoot Angle relative to the Horizontal axis) を計測した。FA-R は，母趾球と小趾球を結んだ線と踵骨の長軸のなす角度，FA-H は母趾球と小趾球を結んだ線と対象者に対する水平前額軸とのなす角度と定義した。後足部角度同様，計測には ImageJ (US National Institutes of Health, Bethesda, MD) を使用し，内反方向を+，外反方向を-とした。

検者内信頼性 ICC (1, 1) は FA-R で 0.90，FA-H で 0.99，検者間信頼性 ICC (2, 1) は FA-R で 0.81，FA-H で 0.92 であった。

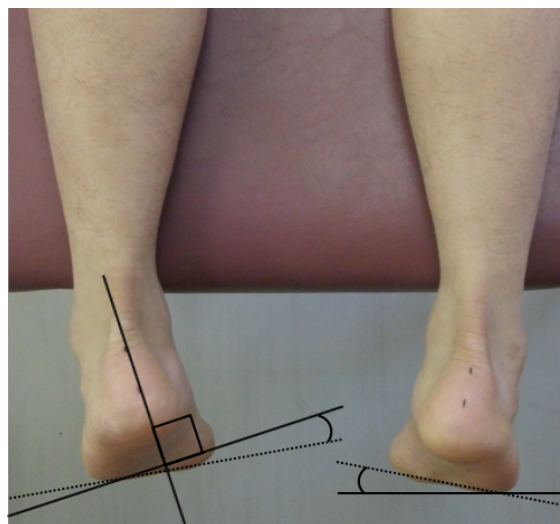


図 8 : 左 : FA-R : 踵骨長軸に対する前足部の角度

右 : FA-H : 水平前額軸に対する前足部の角度

4) 足底圧 (図 9, 10)

足底圧は，ツイングラビコーダー GP-6000 と MD-1000 を（アニマ社製，東京，日本）組み合わせて計測した（図 9）．測定は，10 秒の静止立位と 10 秒の最大ヒールレイズ位の 2 肢位で行い，それぞれ股関節内外転 0 度，第 2 趾が矢状軸に向く位置と設定した．10 秒間の間にバランスを崩した際は再度計測を行った．

得られたデータから，10 秒間の足底圧中心の平均値の座標を算出した．座標データは足部の後前（P-A），内外側（M-L）に軸を設定し，P-A 軸では最後部を 0%，最前部を 100%，M-L 軸では最内側を 0%，最外側を 100%と設定した（図 10）．

測定の信頼性 ICC(1, 1)は立位の P-A 方向で 0.73, M-L 方向で 0.84, カーフレイズ位の P-A 方向で 0.69, M-L 方向で 0.82 であった．



図 9：ツイングラビコーダー GP-6000，MD-1000 を用いた足底圧中心の計測．図はカーフレイズ位．

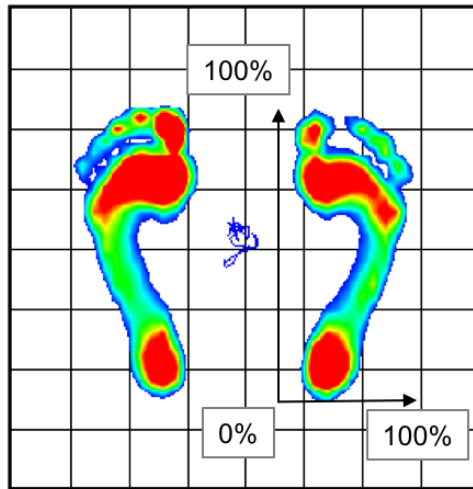


図 10：ツイングラビコーダー GP-6000，MD-1000 で計測された足底圧データ．座標は P-A 軸では最後部を 0%，最前部を 100%，M-L 軸では最内側を 0%，最外側を 100%と設定した

9) 統計分析

アンケート調査の統計分析には X^2 検定を使用し，Jones 骨折既往群とコントロール群間で，蹴り足と軸足，ポジションの違い，FF，NF，CF 群の足関節捻挫の既往の重症度の比較を行った．下位検定には残差分析を用いた．また，FF，NF，CF 群の足部アライメントデータ，足底圧データの比較は一元配置分散分析を使用し，事後検定には Tukey-Kramer 法を用いた．いずれも統計解析には SPSS Ver.22 (IBM 社製) を用いて行い，有意水準を 5%未満とした．本論文の中では結果の数値を平均値 ± 標準偏差として表記した．

3. 結果

1) アンケート調査

Jones 骨折既往群では MF の選手が 69%であり，DF の選手が 10%であった．一方で，コントロール群の選手は MF の選手が 37%であり，DF の選手が 37%であった．Jones 骨折既往群で有意に MF の選手の割合が高く，DF の選手の割合が低かった ($\chi^2 = 13.2$, $P < 0.05$, DF: 調整済み残差=-2.8, MF: 調整済み残差=3.4, 図 11) .

Jones 骨折と利き足，足関節捻挫の重症度には関連は認められなかった (利き足: $\chi^2 = 2.2$, $P = 0.13$, 捻挫: $\chi^2 = 2.8$, $P = 0.42$, 図 12, 13) .

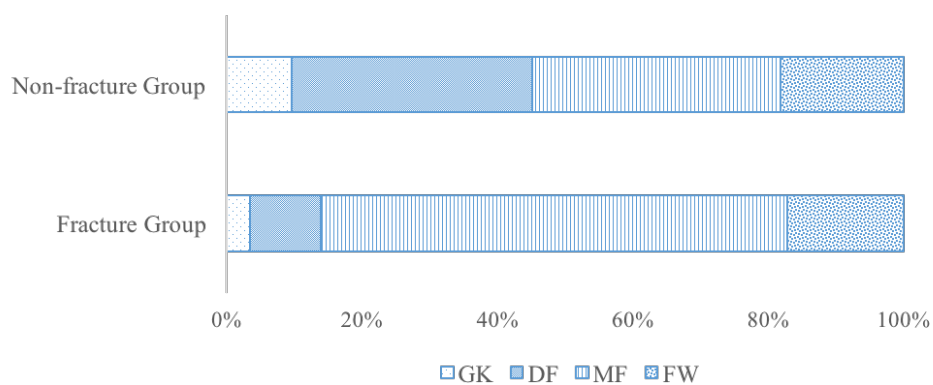


図 11 : Jones 骨折既往群と非既往群の各選手のポジション

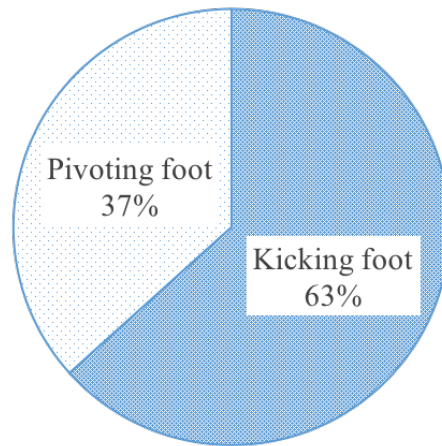


図 12 : Jones 骨折既往群の蹴り足，軸脚の割合

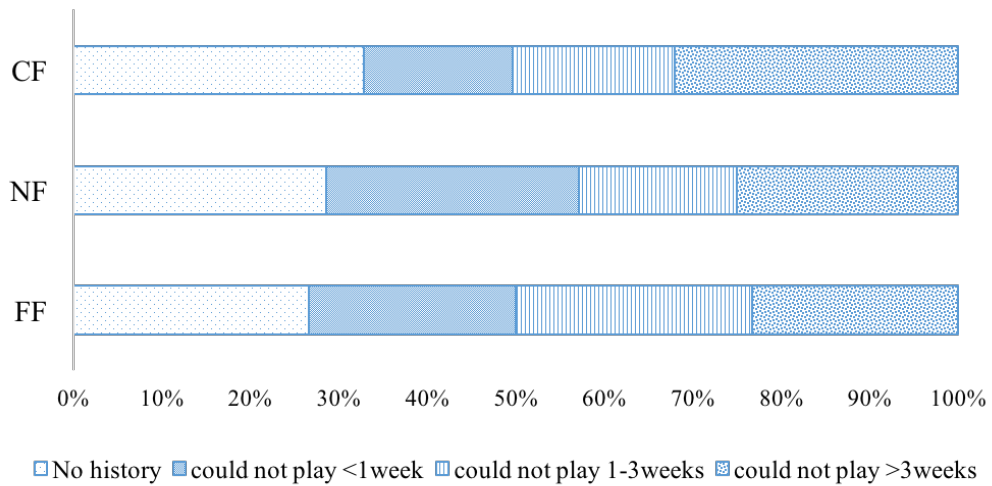


図 13 : 各群の足関節捻挫既往の有無．練習休止期間によって，既往無し，軽度（1週間以内），中等度（1-3週間），重度（3週間以上）と分類した．

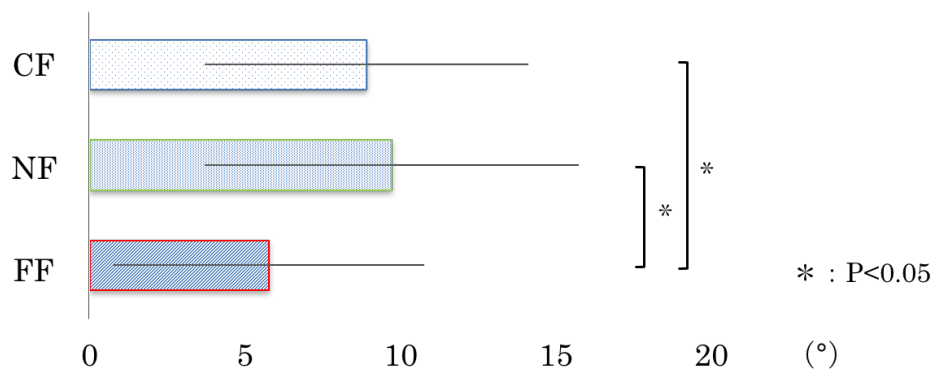
2) 足部アライメント (表 3)

FF 群は, CF 群と比較して N-LHA が有意に小さく ($P=0.049$, 図 14), FA-R が有意に大きかった ($P=0.038$, 図 15). FF 群の N-LHA は NF 群と比較しても有意に小さかった ($P=0.042$, 図 14). その他のアライメントデータにおいて有意な差は得られなかった.

表 3: 各群の足部アライメント

	CF	NF	FF	P (CF-FF)	P (NF-FF)	F
アーチ高率 (%)	17.0 ± 2.3	16.6 ± 2.1	17.3 ± 2.2	0.84	0.53	0.6
WLHA (°)	-4.2 ± 3.1	-2.0 ± 3.5	-3.8 ± 2.2	0.82	0.11	5.5
NLHA (°)	8.5 ± 5.4	9.7 ± 6.0	5.8 ± 5.0	0.049*	0.042*	3.3
FA-R (°)	4.4 ± 6.5	4.5 ± 5.3	7.1 ± 5.8	0.038*	0.35	2.0
FA-H (°)	15.1 ± 6.6	16.4 ± 8.7	14.1 ± 6.6	0.76	0.43	0.7

* : $P < 0.05$



* : $P < 0.05$

図 14: 各群の NLHA データ

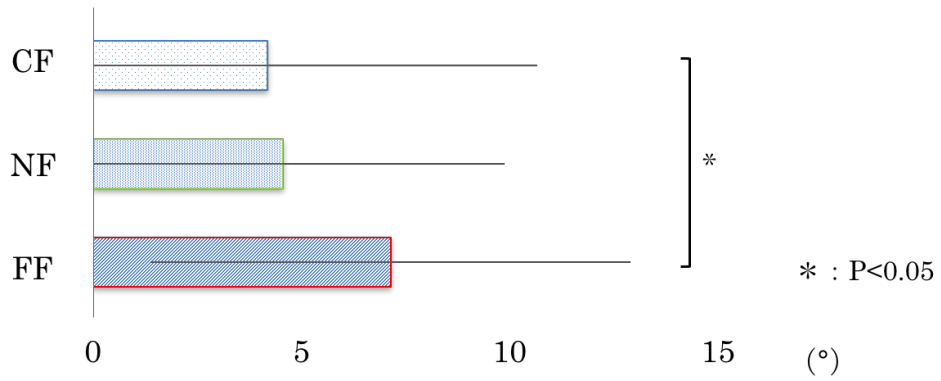


図 15 : 各群の FA-R データ

3) 足底圧 (表 4)

足底圧データにおいて群間差で有意差は認められなかった。

表 4 : 各群の足底圧中心の座標位置

	CF	NF	FF	P (CF-FF)	P (NF-FF)	F
立位 M-L (%)	48.3 ± 3.5	47.6 ± 3.1	47.9 ± 4.7	0.397	0.253	2.0
立位 P-A (%)	44.4 ± 5.8	41.3 ± 8.8	41.0 ± 7.9	0.10	0.98	3.5
カーフレイズ位 M-L (%)	46.8 ± 4.8	46.9 ± 7.3	45.3 ± 6.4	0.59	0.09	2.4
カーフレイズ位 P-A (%)	75.2 ± 3.1	75.5 ± 3.2	74.8 ± 2.4	0.15	0.39	1.7

4. 考察

本研究は、Jones 骨折の既往のある選手の足部アライメント、足底圧データの特徴を明らかにすることを目的とした。主要な結果として、Jones 骨折を発症した足 (FF) は健側 (NF) やコントロール足 (CF) と比較して非荷重位の Leg-Heel Alignment が有意に小さく、一方で荷重位の Leg-Heel Alignment に有意差はなかった。また、FF 群の後足部に対する前足部角度が CF に対して有意に大きく、足底圧データに有意差は認められなかった。

アライメントデータについては、Jones 骨折既往足は非荷重位アライメントにおいて後足部の外反傾向と前足部の内反傾向を示していた。Monaghan らは非荷重位のアライメントが歩行、ランニング時の足部キネマティクスを予測すると報告している [38, 39]。サッカーで多く用いられるカッティング動作やターン動作時には前足部での足底接触圧が高く [40]、非荷重位での前足部が内反していることは、これらの動作の接地時に前足部外側部の負荷を増大させる可能性が考えられる。一方で、非荷重位後足部アライメントはコントロールと比較して外反位であった。本研究の Jones 骨折既往群は全例が手術による治療を行っていたため、術後の疼痛や恐怖感を避けるために足部内側部に荷重を行っていたことが推察される。また、術後のリハビリテーション時に、足部外側に荷重しないよう、内側荷重の訓練を行った可能性もある。本研究の測定期間中に Jones 骨折を発症した 1 症例からの検討となるが、Jones 骨折受傷後 2 日目の選手の NLHA と術後 5 日目の NLHA (図 16) を比較したところ、受傷後 2 日目が 15° 内反であったのに対して、術後 5 日目が 7° 内反であり術前より外反位であった。このように、術後の疼痛や恐怖、リハビリテーションの影響によって Jones 骨折既往群の後足部がより外

反していたと考えられる。



図 16：左：受傷後 2 日目の後足部角度，右：術後 5 日目の後足部角度
黄線が 2 日目，赤線が 5 日目の後足部の傾斜を示している。

荷重位のアライメントについて，先行研究では Jones 骨折の既往のある選手は後足部が内反していることが報告されている [25, 26]．これらの先行研究では，立位のレントゲン画像（側面像）から，踵骨－床面角度（*calcaneal pitch angle*）を算出し，後足部のアライメントを評価している．一方で，本研究では，足部後方から写真を撮影し，下腿と後足部の角度を評価したため，この評価方法の違いによって先行研究との違いが生じたと考えられる．

また，足部外側荷重であるという仮説に反して，Jones 骨折既往群とコントロール群で足底圧に有意な差は認められなかった．Hetsroni らは Jones 骨折既往選手を対象に歩行時の足底圧を計測し，前足部外側の接触圧が低いことを報告している [27]．その考察では，受傷後の疼痛による足部外側荷重の逃避や，内側荷重を意識付けさせるリハビリテーションの影響を言及しており，本研究も同様の影響が考えられる．また，本研究では立位とカーフレイズ位の両肢位共に静止状態での足底圧計測で

あった。Jones 骨折は方向転換動作などの踏み込み時に発生する[23, 41]と考えられているため、静的な足底圧の評価では足部の動作時の足部ストレスを反映できなかつた可能性がある。今後は、動作中の足底圧の評価や、片脚動作の評価が必要であると考ええる。

アーチ高率については FF 群, CF 群, NF 群間で有意差は認められなかった。アーチ高と Jones 骨折との関係を調査した研究で, Hetsroni らは Jones 骨折既往選手とコントロール選手のアーチ高に群間差は認められなかったことを報告しており[27], 本研究と同様の結果であった。一方で Williams らはランナーを対象にし, 高アーチ群 20 名中で 3 例が第 5 中足骨疲労骨折を発症したことを報告している[28]。本研究と Hetsroni らの研究は共に後ろ向き研究であり, Williams の研究は対象数が少なく有意差は得られていないため, 現状ではアーチ高と Jones 骨折との関連は不明であると言える。一方で, アーチ高と足底圧の関係を調査した先行研究では, アーチ高が低いほど歩行中の足底圧中心が内側に偏位し, アーチ高が高いほど足底圧中心が外側に偏位したと報告している[42, 43]。そのため, 今後はアーチ高と足部のストレスの関係や, ランニング, 方向転換動作時などの動的なアーチの評価も含めて調査する必要があると考ええる。

アンケート調査の結果, Jones 骨折既往群は MF の割合が高く, DF の割合が低かった。Jones 骨折とサッカーのポジションの関係に言及した先行研究は少ない。Dellal らはフランスリーグのサッカー選手を対象に, 試合中のランニング距離をポジション別に報告しており, 試合中の走行距離は MF で有意に多く, DF で有意に少ないことを明らかにしている[44]。また, 第 5 中足骨の曲げ応力を動作時の足底圧から算出した先行研究では, ランニングの加速時に第 5 中足骨に大きな曲げ応力が加

わることが報告されている[34]。これらの先行研究結果は、MFの走行距離が多いこととランニング時にも第5中足骨へストレスがかかることが、Jones骨折既往群にMFの選手が多かったという結果に影響した可能性を示唆する。また、サッカー競技は長距離のランニングやスプリント、方向転換動作、ジャンプ、キック動作などの組み合わせで行われるため、今後は走行距離だけでなく、上記の項目も検討が必要である。

本研究において、Jones骨折既往足とキックの蹴り足・軸足に関連は認められなかった。先行研究では、軸足にJones骨折の発症が多いとの報告[18]と、本研究同様に蹴り足・軸足とJones骨折は関連が無い[5]との報告があり、見解が一致していない。その原因として、本研究の対象者は国内でもトップレベルの選手を含んでいるため、左右差なくキックを行う技術を有していた可能性が挙げられる。また、キック時の軸足は垂直方向に体重の約2.5倍、外側方向に約1.5倍の床反力がかかると報告されている[45]。そのため、キックの軸足への負荷がJones骨折を引き起こすレベルの強度なのか、およびキックの左右の頻度とJones骨折の関連を含めた調査を今後行っていく必要がある。

足関節捻挫の重症度とJones骨折は関連が認められなかった。先行研究では、足関節捻挫の既往群で有意に後足部内反アライメントであった[46]との報告や、ランニング時に足底圧中心が外側へ偏位した[47]との報告もされている。本研究では、足関節捻挫によるプレーの休止期間のみしか調査できていないため、今後は足関節捻挫の損傷部位や弛緩性も含めて調査することが求められる。

5. 本研究の限界

本研究は後ろ向き研究であったため、結果として得られた Jones 骨折既往群の特徴が Jones 骨折受傷後の適応であるのか、Jones 骨折の発生に関わる要因であるのかは不明である。今後は、Jones 骨折の発生要因を調査するために前向き研究を行う必要がある。また、本研究の足底圧は静止位での測定のみであった。Jones 骨折は動作中に発生するため、今後は動的な項目を含めてさらなる検討が必要であると考えられる。

6. 結論

サッカー選手における Jones 骨折既往者は、ポジションが MF であることが多く、また後足部の外反、前足部の内反という形態的特徴を有していた。

第 3 章 研究 2

サッカー選手における Jones 骨折の発生因子に関する前向き研究

1. 背景

Jones 骨折はサッカー選手に多く発生し[5-7, 16-18], 難治性の骨折と分類されている[14]. そのため, 近年は Jones 骨折の早期発見や予防が注目されているが, 現状では予防介入はポスターなどによる啓発活動に留まっている[48].

傷害予防への 4 ステップとして, Van Mechelen は, ①傷害発生頻度・重症度の調査, ②傷害のメカニズム・発生要因の調査, ③予防プログラムの考案, ④予防プログラムの実施・効果検証が必要であると報告している[49]. この 4 ステップを Jones 骨折に当てはめると, ①の発生頻度のみ調査に留まっており[16-18], ②のメカニズムは有限要素法を用いた研究段階[50], 発生要因は後ろ向きの研究のみであり[17, 25, 26], 前向き研究は行われていない. Jones 骨折の予防を行うためには, Jones 骨折の発生要因を前向きに検討する必要がある. そこで, 本研究の目的は, Jones 骨折の発生要因を前向きに調査することとした. 仮説は, 前足部・後足部の内反アライメントを有する選手, 外側荷重の選手に Jones 骨折が発生しやすいとした.

2. 方法

対象は, 関東大学サッカー連盟に加入するチームの大学生男子サッカー選手 310 名とした. 包含基準は現病歴が無く通常の競技活動が行えている者とし, 除外基準は傷害や各種機能不全により全ての測定を遂行できない者とした.

実験のフローチャートを図 17 に示す。対象者に対しベースライン測定として足部アライメント、足底圧の測定を行い、1 年間対象者を追跡した。1 年間の追跡期間中に Jones 骨折を発症した選手を Jones 骨折発症者、発症しなかった選手を非発症者とした。Jones 骨折発生の定義は、医師により Jones 骨折もしくは Jones 不全骨折と診断された場合とした。また、Jones 骨折発症者はさらに Jones 骨折発症足（以下、FF：fracture foot）と非発症足（以下、NF：non-fracture foot）に群分けし、コントロール群はコントロール足（以下、CF：control foot）として左右データの平均値を使用した。

ベースライン測定では研究 1 に準じて足長、アーチ高、WLHA、NLHA、後足部に対する前足部角度、空間に対する前足部角度、立位の足底圧中心、カーブレイズ位の足底圧中心を計測した。全ての測定は 2-3 月のプレシーズンに行った。

各種アライメントデータ、足底圧データの計測手順は研究 1 に準じた。尚、本研究は早稲田大学、人を対象とする研究に関する倫理審査委員会において承認されている（2016-083）。各対象者には実験前に研究の目的と方法を十分に説明し、研究に対する同意を書面によって得た。

統計分析には一元配置分散分析を使用し、FF、NF、CF 群の足部アライメントデータ、足底圧データの比較を行った。事後検定には Tukey-Kramer 法を用いた。いずれも統計解析には SPSS Ver.22（IBM 社製）を用いて行い、有意水準を 5%未満とした。本論文では結果の数値を平均値±標準偏差として表記した。



図 17：研究 2 のフローチャート。Jones 骨折発症者を FF 群（骨折足）と NF 群（非骨折足），Jones 骨折非発症者を CF 群（コントロール足）とした。

3. 結果

1年間追跡終了した310名中，4名がJones骨折を，4名がJones不全骨折を発症した（表5）．発生割合は0.026%であった．上記の8名をJones骨折発症群とし，発症しなかったコントロール群302名との比較を行った．

表5：対象者の基本データ

	N	年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)
コントロール群	302	20.1±1.0	173.3±10.0	67.8±6.7
Jones骨折発症群	8	20.0±0.0	178.1±7.1	70.3±6.3

1). 足部アライメント（表6）

FF群は，CF群と比較して有意にWLHAが大きく，NF群もCF群と比較してWLHAが有意に大きい値を示した（図18）．その他のアーチ高率，NLHA，FA-R，FA-Hに有意差は認められなかった．

表 6 : 各群の足部アライメント

	CF	NF	FF	P (CF-FF)	P (NF-FF)	F
アーチ高率 (%)	17.1 ± 2.4	16.4 ± 1.1	16.9 ± 1.9	0.96	0.91	0.4
WLHA (°)	-4.6 ± 3.0	1.6 ± 4.9	3.5 ± 2.2	<0.001*	0.50	31.9
NLHA (°)	8.1 ± 5.5	6.0 ± 5.3	5.2 ± 5.5	0.42	0.97	1.2
FA-R (°)	4.2 ± 6.5	3.8 ± 7.6	2.8 ± 4.0	0.87	0.96	0.1
FA-H (°)	14.0 ± 6.5	13.3 ± 5.6	10.9 ± 5.3	0.50	0.80	0.6

* : P<0.05

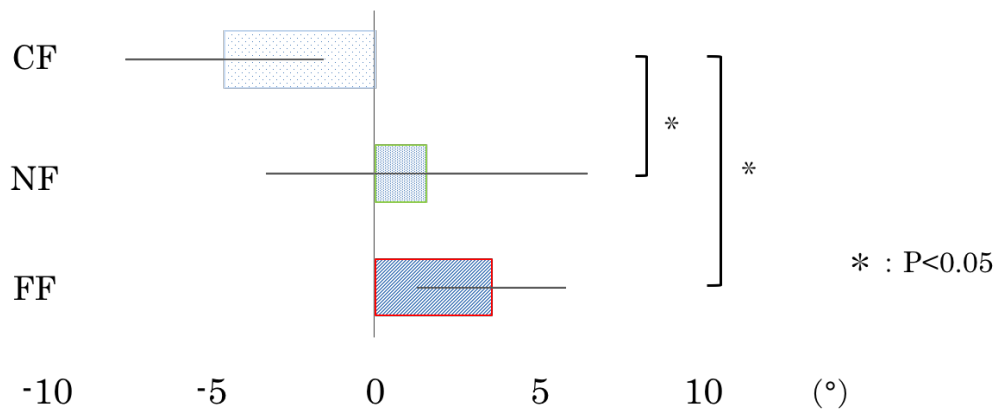


図 18 : 各群の WLHA データ . FF 群が有意に高値を示した .

2). 足底圧 (表 7)

FF 群は CF 群と比較して, カーフレイズ位で足底圧中心が有意に外側に位置していた (図 19). 立位時の足底圧中心に群間差は認められなかった.

表 7 : 各群の足底圧中心の座標位置

	CF	NF	FF	P (CF-FF)	P (NF-FF)	F
立位 M-L (%)	48.1 ± 3.5	48.2 ± 3.1	49.5 ± 4.5	0.49	0.74	0.7
立位 P-A (%)	43.6 ± 5.9	46.2 ± 5.8	45.5 ± 6.4	0.69	0.97	1.0
カーフレイズ位 M-L (%)	46.4 ± 5.1	51.1 ± 5.2	52.2 ± 5.5	0.005*	0.90	8.0
カーフレイズ位 P-A (%)	75.2 ± 3.4	75.5 ± 2.9	74.2 ± 3.5	0.75	0.73	0.4

* : P<0.05

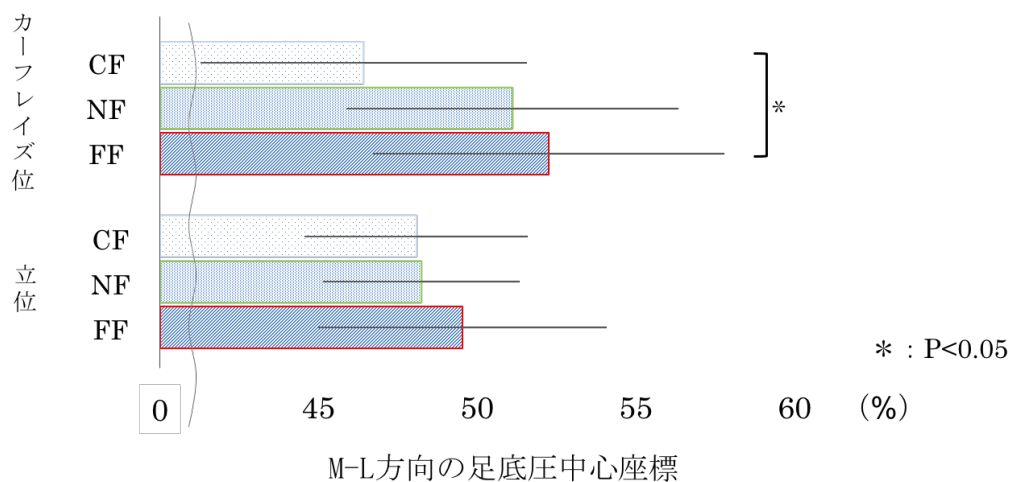


図 19 : カーフレイズ位, 立位時の足底圧中心の内外側方向の座標

4. 考察

本研究は、Jones 骨折の発生要因を調査することを目的に前向き研究を行った。現在まで、Jones 骨折に関する前向き研究の報告は無く、Jones 骨折の発生要因を調査する上で非常に有用なデータである。主要な結果として、立位時の後足部内反アライメント、カーフレイズ時の足底圧中心外側偏位が Jones 骨折の発症に関連していたことが分かった。

本研究で後足部内反アライメントが Jones 骨折を発症させる一要因である可能性が示された。先行研究において異なる内反角度で足部の着地動作をシミュレーションした結果では、内反 0° 、内反 10° と比較して、内反 20° でのシミュレーションで有意に第 5 中足骨基部への応力が大きかったことが報告されており [51]、荷重位で後足部が内反することで中足部～前足部も内反方向へ誘導され、足部外側への荷重ストレスが増大し、Jones 骨折の発症に影響することが推察される。一方、測定方法に関して、先行研究では Jones 骨折の既往のある選手に対してレントゲンによるアライメント評価を行い、後足部内反と Jones 骨折が関連していることが報告されている [25, 26]。一方で、本研究のように後足部アライメントを WHLA のように臨床で簡便に用いられる検査で評価した報告は無く、本研究の WLHA データは臨床、現場で簡便に実施できる点、前向き研究のデータである点で Jones 骨折リスクスクリーニング指標として有用であると言える。

また、本研究の荷重位と非荷重位の後足部アライメントデータである WLHA と NLHA の差を算出すると、CF 群が $12.6 \pm 5.2^{\circ}$ であったのに対し、FF 群が $1.7 \pm 5.6^{\circ}$ 、NF 群が $4.4 \pm 8.2^{\circ}$ であり、FF 群、NF 群共に CF 群より有意に低値であった ($P < 0.001$, $P = 0.001$, $F = 18.5$, 図 20)。このことから、Jones 骨折発症群は非荷重位と荷重位での後足部の角度

変化が小さいことが分かる。

歩行動作では、踵接地で後足部のやや外側から内反位で接地し、足底接地で後足部が外反方向へ移動する事によって衝撃吸収する役割を担っている[37]。しかしながら、Jones 骨折発症群はこの後足部による衝撃吸収能が低く、中～前足部へのストレスが増大していた可能性が考えられる。また、通常歩行では、足底圧中心は後足部やや外側から母趾球方向へ移動すると報告されている[43]。足底接地期に後足部の外反運動が抑制されることで、中足部～前足部の内側方向への荷重伝達が行われず、足底圧中心が後足部やや外側からそのまま外側の中足部～前足部へ移動する可能性も推察されるため、直線方向の動きにおいても前足部外側のストレスが増大し、Jones 骨折発症に関連した可能性がある。

サイド方向への動きに関する先行研究では、90° 方向へのサイドカッティングの際に後足部は接地初期から外反方向に運動し、立脚期約 25% で外反がピークとなると報告した。一方で、距骨下関節には立脚期を通して運動方向とは反対の内反モーメントが加わっていると報告している[52]。関節運動とモーメントの関係を見ると、立脚期 50%以降で後足部は内反運動に転じ、内反モーメントも増大しているため、接地後の後足部外反運動は距骨下関節内反モーメントを相殺する衝撃吸収の役割を果たしている可能性が考えられる[52]。そのため、後足部の外反方向への角度変化が少ない選手はサイド方向への動きに関しても衝撃吸収能が低く、距骨下関節の内反モーメント、足部外側部へのストレスが増大し、Jones 骨折を発症した可能性がある。

しかしながら、上記した考察は推測の域を脱していないため、今後は静止位の後足部アライメントだけでなく、実際の動作に類似した動的なアライメントの調査していく必要があると考える。

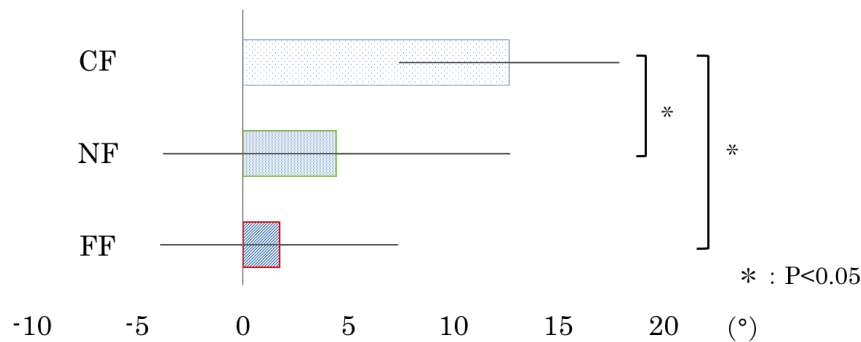


図 20：群間の WLHA-NLHA データ．FF 群で有意に角度変化が少ない．

足底圧中心については，立位肢位では群間差は無く，カーフレイズ時に FF 群が CF 群と比較して有意に外側偏位していた．Donahu らは，第 5 中足骨にストレインゲージを埋め込み第 5 中足骨の歪みを計測し，踵部が離地した状態で第 5 中足骨の歪みが最大になると報告した [53]．また，Orendurff らは第 5 中足骨の曲げ応力を，第 5 中足骨骨頭部の足底圧から第 5 中足骨基部の足底圧を差引くことで算出した [34]．この計算は，第 5 中足骨骨頭部への圧が高く，基部への圧が低いと第 5 中足骨自体への曲げ応力が高くなることを意味している．そのため，本研究のカーフレイズ時に足底圧が外側へ偏位することは第 5 中足骨への曲げ応力を増大させ，Jones 骨折を引き起こす原因となる可能性が考えられる．

カーフレイズ時に足底圧が外側へ偏位する原因としては，足部のアライメントや腓骨筋などの足関節外反筋の機能不全などが挙げられる．本研究では，足部アライメントに関して荷重位の後足部が内反しているという結果が得られたため，後足部の内反アライメントがそのまま足底圧外側偏位に影響したことが考えられる．今後は，筋機能も含めて足底圧との関連を調査すると共に，動的な足底圧の評価も必要となると考える．

5. 本研究の限界

本研究では，検者人数の関係でベースライン測定的项目を最小限に設定したため，足部のアライメント評価，足底圧についてのみしか計測する事が出来なかった．Jones 骨折は複合的な原因で発生することが考えられるため，今後は足部以外のアライメントや筋機能，動的な指標の評価も必要であると考えられる．

6. 結論

荷重位の後足部内反，カーフレイズ位の足底圧中心外側偏位が Jones 骨折の発生要因の一つである可能性が示唆された．

第 4 章 研究 3

大学サッカー選手における Jones 骨折発生を予測する超音波画像の特徴
-132 名の 1 年間追跡調査-

1. 背景

Jones 骨折はその解剖学的要因から [15], 予後は不良であるとされている。Jones 骨折の治療は, 一般的に手術療法が選択され [11, 19, 21, 54-57] 復帰までに約 3 ヶ月を要する [6, 21]。手術療法を行っても, 再骨折や合併症などのリスクが報告されている [5, 11, 22]。また, Jones 骨折はサッカー選手に頻発するため [5-7, 16-18], サッカー競技に与える影響は大きい。

戸祭らは, 第 5 中足骨の不全骨折と臨床症状を呈したプロサッカー選手 6 足の経過を報告した。保存療法のみでプレーを続行した 4 足で治癒が確認され, 残り 2 足は経過観察中に完全骨折を発生したと報告している [5]。このことから, 不全骨折を早期に発見, 治療することで完全骨折を予防出来る可能性が示唆された。

Jones 骨折の診断は, 一般的に X 線検査が用いられているが, 被曝の問題などからスクリーニングとして多数の選手に X 線検査を行う事は困難である。また, Jones 骨折の早期診断には MRI が有効とされているが, 高コストであり, 撮影に長時間を要するためスクリーニングには不向きである。一方で, 超音波検査は, 非侵襲性で簡便である事に加えて, リアルタイムで様々な角度から病態を把握できる点, 現場で使用出来る点でスクリーニングに優れている [58]。

Jones 骨折の完全骨折を発生した患者の超音波診断の信頼性を検討した研究では, 感度 97.1%, 特異度 100%と報告されており, 超音波検査

が有用であることを示している[59]. しかしながら, 現在までに Jones 不全骨折に対する超音波検査の有用性について報告した研究はない.

以上のことから, 超音波検査で Jones 不全骨折を早期に発見することができれば, 完全骨折の予防の一助となることが考えられる. そこで, 研究 3 の目的は, ① Jones 骨折を発生する前段階の超音波画像所見の検討と, ② 第 5 中足骨超音波画像の 1 年後の経時的変化を調査することとする.

2. 方法

1). 対象

関東大学サッカー連盟に加盟するチームの男子選手 146 名を対象とした. 包含基準は, 傷害が無く通常の競技活動が行える選手, 1 年後の超音波検査も可能であった選手とした. 対象者にはアンケート調査を行い, 一般的情報と Jones 骨折の既往の有無の情報を取得した.

本研究は, 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 (2016-083) を得て実施し, 対象者には研究の目的・意義の説明を十分に行い, 同意を得てから測定を行った.

2). 超音波検査

ベースラインで第 5 中足骨の超音波検査を行い, 1 年間のフォローアップ期間後に再度超音波検査を行った. 全ての超音波検査は同一の検者で行った. アウトカムは, ① フォローアップ期間中に Jones 骨折を発生した選手のベースライン画像の検討, ② 第 5 中足骨の不正像と思われる所見の 1 年後の変化とした. また, 本研究では Jones 骨折 (完全骨折) の診断は医師が行った.

超音波診断装置は LOGIC e (GE ヘルスケア・ジャパン) を使用した。超音波検査では，第 5 中足骨の長軸に沿ってプローブを当て，足底面から外側面にかけて第 5 中足骨皮質骨の不整像の有無を調査した。超音波所見の不整像は途絶像 (図 21) と膨隆像 (図 22) に分類した。第 5 中足骨外側皮質骨の不整が疑われる選手がいた場合は，選手・監督・トレーナーに状況を伝え，要望に応じて治療やリハビリ介入も可能であることを伝えた。結果的に，膨隆所見陽性の選手は全例プレーを継続し，介入を行った選手はいなかった。

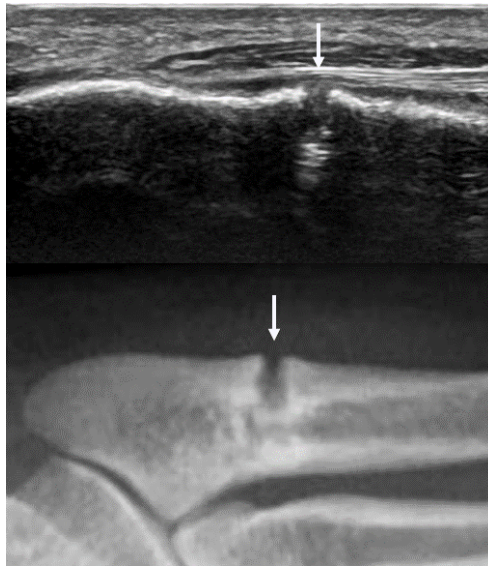


図 21 : 上 : 超音波所見による第 5 中足骨の途絶像
下 : 同選手のレントゲン画像

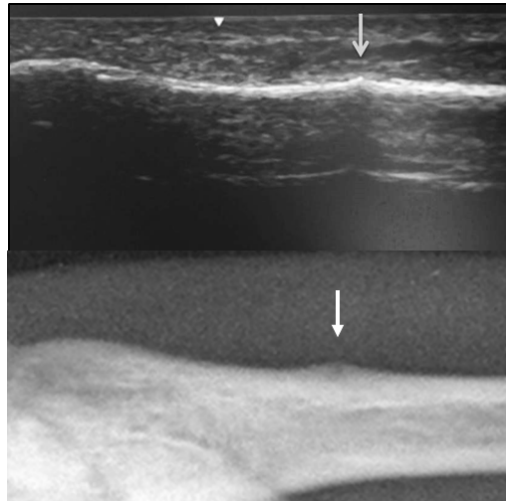


図 22：上：超音波所見による第 5 中足骨の膨隆像

下：同選手のレントゲン画像

3. 結果

1 年間追跡可能だった選手は 132 名（264 足）であり，年齢 19.8 ± 0.9 才，身長 167.7 ± 13.3 cm，体重 67.9 ± 7.9 kg であった．追跡期間中に新規の Jones 骨折（完全骨折）を発生した選手は 4 名（表 8）であった．

超音波検査の結果，第 5 中足骨外側皮質の途絶像が認められる選手はいなかった．一方で，10 名の選手に第 5 中足骨外側皮質骨の膨隆が認められ（図 23），その 10 名のうち 3 名が新規に Jones 骨折を発生，3 名は 1 年後も膨隆所見が陽性であり，その他の 4 名は過去に Jones 骨折を発生し手術の既往のある選手であった．また，超音波所見が陰性の選手 1 名が約 10 ヶ月後に Jones 骨折を発生した（表 9）．

表 8 : Jones 骨折発生選手の詳細

症例	年齢	ポジション	蹴り足	発生足	超音波検査から受傷までの期間
1	19	MF	右	左	5 週間
2	20	FW	右	左	6 週間
3	20	DF	右	左	4 週間
4	20	DF	右	右	41 週間

表 9 : 超音波所見の有無と経過

所見の有無	足数	経過
皮質骨の途絶	0 足	-
		3 足 : Jones 骨折発生
皮質骨の膨隆	10 足	3 足 : 骨折無し, 1 年後も所見あり
		4 足 : Jones 骨折手術既往選手
所見 (-)	254 足	1 足 : Jones 骨折発生

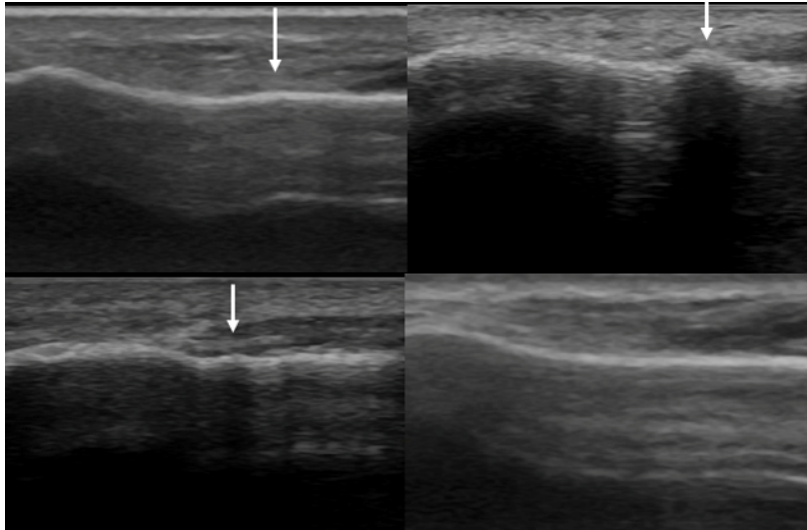


図 23：左上：症例 1 骨折 5 週前の超音波画像

右上：症例 2 骨折 6 週前の超音波画像

左下：症例 3 骨折 6 週前の超音波画像

右下：症例 4 骨折 41 週前の超音波画像

4. 考察

本研究は、Jones 骨折を発生する前段階の超音波画像所見の検討と、第 5 中足骨超音波画像の 1 年後の変化を調査することを目的に前向き調査を行った。現在まで、Jones 骨折の超音波スクリーニング検査に関する報告はなされていないため、本研究結果は Jones 骨折の早期発見に向けて有益な情報となり得る。

本研究で新規に Jones 骨折を受傷した症例 1-3 の画像では、第 5 中足骨外側皮質の近位骨幹部に膨隆像が確認された。酒井らは、疲労骨折には骨微細損傷の蓄積と局所的なリモデリングの亢進が関与していると報告している [9, 60]。そのため、本研究で確認された膨隆像は、第 5 中足骨近位骨幹部外側足底面に局所的な力学的負荷が加わった事による結果、リモデリングによって修復された仮骨 [2] が映し出されたものであると

考えられる。骨へ力学的付加が加わっていることを確認するために、骨微細損傷やリモデリングの検査を実際に行う事は困難であるため、生体へのスクリーニング検査としては超音波検査が有効であることが示唆された。また、超音波検査で得られた第5中足骨近位骨幹部皮質骨の膨隆像から Jones 骨折の発生を予測できる可能性が示された。

また、途絶像・膨隆像共に陰性の選手が約10ヶ月後に Jones 骨折を受傷した。このことから、超音波検査の期間については再考する必要があると考える。本研究結果から、少なくとも10ヶ月以内の期間で超音波検査を行い、リスクを持つ選手の抽出をすることが必要であると示唆された。また、超音波所見が陰性であっても急性的に Jones 骨折が発生する可能性も考えられるため、疲労骨折なのか、急性骨折なのかを注意深く調査する事も重要である。今後は、Jones 骨折の完全骨折が発生する前の自覚症状・理学所見の有無、各種画像所見の精査まで検証していく必要があると考える。

一方で、皮質骨の膨隆所見が陽性で、Jones 骨折の既往がなかった6名中3名には Jones 骨折は発生せず、1年後も膨隆所見が陽性のままであった(図24)。これらの選手は、今後も Jones 骨折が発生しないかどうか継続して追跡する必要がある。加えて、Jones 骨折発生に関与する危険性の高い超音波所見と、完全骨折まで至らない超音波所見の鑑別を行う事が出来れば、より精度の高い超音波検査でのスクリーニングが可能となる。そのためには、膨隆部に対してプローブの角度を微調整し途絶像の有無を詳細に確認することや、単軸での操作、ドップラー効果による異常血流の検査も必要となる可能性がある。また、今後は、超音波検査のみではなく、X線撮影[61]や、MRI、骨シンチグラム[62, 63]の併用を行い、超音波の第5中足骨外側皮質骨膨隆所見の持つ意味を様々な

角度から検証することが望まれる。

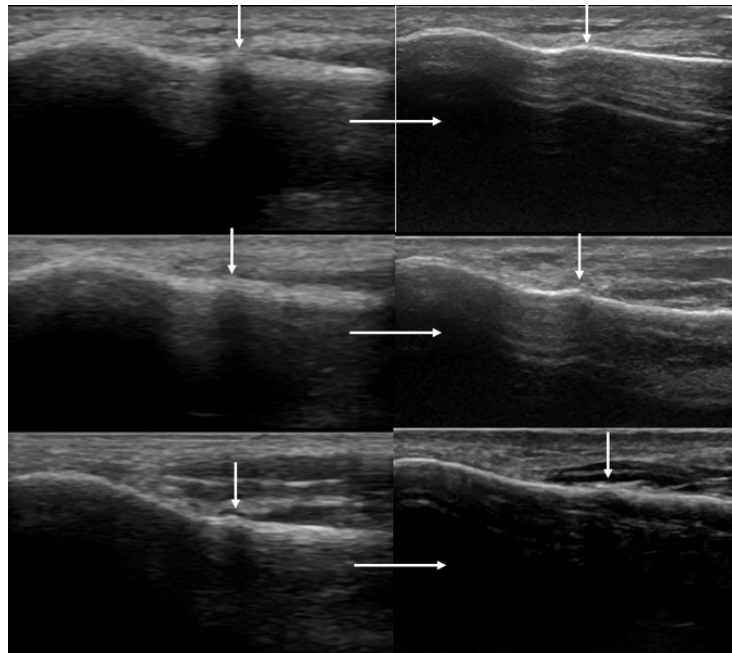


図 24：ベースライン超音波で皮質骨膨隆所見が陽性であったが，1年後までに完全骨折を発生しなかった選手の超音波画像．左がベースライン画像，右が1年後の画像．

Jones 骨折の既往のある選手 4 名には，全例皮質骨の膨隆像が認められた（図 25）．既往の無い選手の膨隆像と比較すると，膨隆自体がなだらかである可能性が示された．また，この 4 選手が疼痛・違和感なく 1 シーズンプレー可能であったことから，Jones 骨折の手術の既往があり，なだらかな膨隆像であれば Jones 骨折再発リスクが少ない可能性が示唆された．

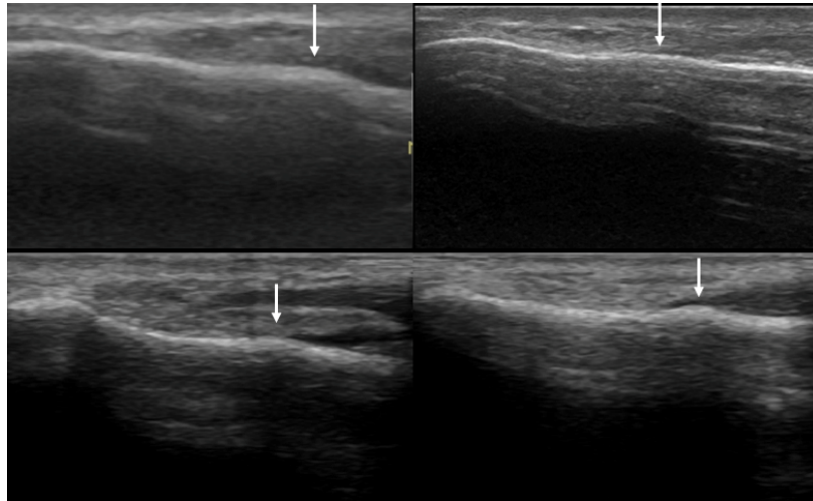


図 25 : Jones 骨折手術の既往のある選手の超音波画像

また，本研究では治療介入を行わなかったため，第 5 中足骨の皮質骨膨隆像が認められた選手への治療介入の効果は不明である．今後は，超音波検査で不整像が確認された選手に対して，Jones 骨折のリスクファクターと考えられているビタミン D の欠乏[24]や股関節内旋制限[64]，足趾屈曲筋力の低下[17]，足部外側荷重パターンへの介入，LIPUS による骨へのアプローチ[23]を行う事の効果検証が必要である．

5. 本研究の限界

本研究の限界は，超音波のドップラー効果，X 線，MRI，骨シンチグラムを併用しなかったこと，骨折者のサンプルサイズが少なかったことが挙げられる．

6. 結論

第 5 中足骨外側足底面の皮質骨膨隆像が Jones 骨折を予測できる可能性が示唆された．

第 5 章 総合考察

本研究は Jones 骨折の発生要因を前向きに検討すること，Jones 骨折の早期発見のための超音波所見を調査することを目的に行った。

1. Jones 骨折の発生要因について

研究 2 の前向き研究の結果から，荷重位の後足部内反，非荷重位と荷重位の後足部角度変化が少ないこと，カーフレイズ位の足底圧中心外側偏位が Jones 骨折の発生要因の一つである可能性が示唆された。後ろ向きの研究 1 と前向きの研究 2 のアライメントデータを比較すると，後ろ向き研究の FF 群の WLHA は $-3.8 \pm 2.2^\circ$ であり，前向き研究の FF 群の WLHA は $3.5 \pm 2.2^\circ$ と，有意に前向き研究の WLHA が高値であることが示された ($P < 0.01$)。このことから，Jones 骨折の発症と関連しているのは後足部の内反角度であることが示唆される。研究 2 でも述べたように，荷重位で後足部が内反すると中足部～前足部も内反方向へ誘導され，足部外側への荷重ストレス，つまり第 5 中足骨へのストレスが増大することが推察される。また，カーフレイズ時の足底圧については，後ろ向き研究の FF 群のカーフレイズ位 M-L は $45.3 \pm 6.4\%$ であり，前向き研究の FF 群は $52.2 \pm 5.5\%$ と，前向き研究のカーフレイズ時の足底圧が有意に外側に位置していることが示された ($P < 0.01$)。カーフレイズのように，中足骨頭部への荷重負荷がかかる際に足底圧中心が外側へ偏位することで，第 5 中足骨への bending moment も増加する事が推察される。

2. Jones 骨折の発生要因の改善可能性

研究 2 の結果から得られた後足部の内反とカーフレイズ時の外側荷重は、Jones 骨折既往者である研究 1 の FF 群と比較しても顕著に大きかった。つまり、これは Jones 骨折の発症前後でアライメントや荷重位置が変化する可能性を示唆し、既往を有する選手であっても、後足部内反アライメントやカーフレイズ時の外側荷重が改善可能である可能性が考えられる。しかしながら、本研究では、Jones 骨折受傷前後での縦断調査は行っていないため、今後は Jones 骨折を発症した選手が復帰する際のアライメントや足底圧データを経時的に調査することで発生要因が可変的なものなのかどうか詳細に調査する事が可能となると考える。

3. Jones 骨折の発生要因に対する介入研究について

本研究結果によって、Jones 骨折を予防するためには、後足部内反とカーフレイズ時の外側荷重の 2 点を改善させることが必要であることが示された。後足部内反が可変的であるとすると、後足部内反は内果後方を走行する屈筋群のタイトネスや屈筋支帯、アキレス腱内側周囲の軟部組織のスティッフネスが増大する事で生じている可能性が考えられる。つまり、上記の軟部組織の柔軟性獲得プログラムや、距骨下関節のモビライゼーションなどにより、後足部内反アライメントが改善する可能性がある。同様に、カーフレイズ時の外側荷重についても、足部アライメントや脛骨筋、腓骨筋の筋機能との関連を調査し、介入研究へ移行することが必要である。

また、第 5 中足骨へ加わるストレスを考えると、後足部のアライメントだけではなく、実際に足部の外側アーチを構成している第 5 中足骨、立方骨、踵骨や外側足底筋膜それぞれの組織に着目する必要がある。第

5 中足骨骨頭部への荷重ストレスがかかった場合，第 5 中足骨と第 4 中足骨や立方骨間のモビリティ低下や外側足底腱膜のスティッフネス増大，さらには踵-立方関節のモビリティ低下によって第 5 中足骨の動きが抑制され，第 5 中足骨自体へのストレスは増大する可能性が推察できる．そのため，介入研究を行う際は，後足部のみならず外側アーチ複合体へのアプローチも考慮すべきであると考える．

4. Jones 骨折を予防するために

現段階では，本研究で得られたデータを用いて予防プログラムの考案，実施するのみでは，全ての Jones 骨折を予防することが可能かどうか不明である．そのため，Jones 骨折を予防するためには，介入研究と平行して超音波検査によって Jones 骨折リスクを有する選手を抽出し，LIPUS などの骨に対する治療を平行して行うことも重要である．また，今後介入研究を行い，そのデータを一般のサッカー選手やスポーツ活動を行う方へ周知させることで，本当の予防へつながると考える．

第 6 章 結語

本研究から，後足部の内反，カーフレイズ時の外側荷重が Jones 骨折の発生要因の 1 つであることが示唆された．また，超音波検査による第 5 中足骨外側足底面の皮質骨の膨隆像が Jones 骨折を予測できる可能性が示された．今後は発生因子の改善プログラムと Jones 骨折の早期発見，早期治療を行う事で Jones 骨折の予防に貢献できると考える．

参考文献

1. 岩曾弘志. 特集アスリートの疲労骨折—なぜ発症するのか— 総説. 臨床スポーツ医学. 2010; 27(4): 351-5.
2. 武藤芳照, 伊藤晴夫, 片山直樹, スポーツと疲労骨折 1990: 南江堂. p.1-13,73-83.
3. 岩本潤, 竹田毅, 松本秀男. 特集アスリートの疲労骨折—なぜ発症するのか— 疲労骨折研究の現状と進歩. 臨床スポーツ医学. 2010; 27(4): 357-65.
4. 阿部均. 特集アスリートの疲労骨折—なぜ発症するのか— 下肢の疲労骨折. 臨床スポーツ医学. 2010; 27(4): 423-7.
5. 戸祭正喜, 田中寿一. 第 5 中足骨疲労骨折. 臨床スポーツ医学. 2003; 20: 178-183.
6. 田中寿一. サッカー: 第 5 中足骨疲労骨折. 臨床スポーツ医学. 2014; 31(5): 444-449.
7. 高澤晴夫, 中村光孝, 深. 茂, 森井一弘. Jones 骨折. 臨床スポーツ医学. 1993; 10(8): 911-916.
8. 奥脇透. 平成 23 年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告Ⅱ. 日本におけるスポーツ外傷サーベイランスシステムの構築-第 2 報-. 2012; 2: 9.
9. 酒井昭典. 特集アスリートの疲労骨折—なぜ発症するのか— 疲労骨折発生のメカニズム. 臨床スポーツ医学. 2010; 27(4): 367-73.
10. Jones, R. Fracture of the base of the fifth metatarsal bone by indirect violence. Ann Surg. 1902; 35: 697-700.
11. DeLee, J.C., J.P. Evans, J. Julian. Stress fracture of the fifth metatarsal. Am J Sports Med. 1983; 11(5): 349-53.

12. Hulkko, A., S. Orava, P. Nikula. Stress fracture of the fifth metatarsal in athletes. *Ann Chir Gynaecol.* 1985; 74(5): 233-8.
13. Torg, J.S., F.C. Balduini, R.R. Zelko, H. Pavlov, T.C. Peff, M. Das. Fractures of the base of the fifth metatarsal distal to the tuberosity. Classification and guidelines for non-surgical and surgical management. *J Bone Joint Surg Am.* 1984; 66(2): 209-14.
14. Lawrence, S.J., M.J. Botte. Jones' fractures and related fractures of the proximal fifth metatarsal. *Foot Ankle.* 1993; 14(6): 358-65.
15. Smith, J.W., S.P. Arnoczky, A. Hersh. The intraosseous blood supply of the fifth metatarsal: implications for proximal fracture healing. *Foot Ankle.* 1992; 13(3): 143-52.
16. Ekstrand, J., M.K. Torstveit. Stress fractures in elite male football players. *Scand J Med Sci Sports.* 2012; 22(3): 341-6.
17. Fujitaka, K., A. Taniguchi, S. Isomoto, T. Kumai, S. Otuki, M. Okubo, Y. Tanaka. Pathogenesis of Fifth Metatarsal Fractures in College Soccer Players. *Orthop J Sports Med.* 2015; 3(9): 2325967115603654.
18. 藤高紘平, 仲田秀臣, 大槻伸吾, 藤竹俊輔, 来田晃幸, 岸本恵一, 橋本雅至, 大久保衛. 大学サッカー選手の第5中距骨疲労骨折における発生因子の検討. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2012; 20(3).
19. Josefsson, P.O., M. Karlsson, I. Redlund-Johnell, B. Wendeberg. Jones fracture. Surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1994(299): 252-5.
20. Lee, K.T., Y.U. Park, K.W. Young, J.S. Kim, J.B. Kim. The plantar gap: another prognostic factor for fifth metatarsal stress fracture. *Am J Sports Med.* 2011; 39(10): 2206-11.

21. Chuckpaiwong, B., R.M. Queen, M.E. Easley, J.A. Nunley. Distinguishing Jones and proximal diaphyseal fractures of the fifth metatarsal. Clin Orthop Relat Res. 2008; 466(8): 1966-70.
22. Glasgow, M.T., R.J. Naranja, Jr., S.G. Glasgow, J.S. Torg. Analysis of failed surgical management of fractures of the base of the fifth metatarsal distal to the tuberosity: the Jones fracture. Foot Ankle Int. 1996; 17(8): 449-57.
23. 鈴川仁人. 第5中足骨疲労骨折予防のためのトレーニング法. 臨床スポーツ医学. 2008; 25: 303-10.
24. Shimasaki, Y., M. Nagao, T. Miyamori, Y. Aoba, N. Fukushi, Y. Saita, H. Ikeda, S.G. Kim, M. Nozawa, K. Kaneko, M. Yoshimura. Evaluating the Risk of a Fifth Metatarsal Stress Fracture by Measuring the Serum 25-Hydroxyvitamin D Levels. Foot Ankle Int. 2016; 37(3): 307-11.
25. Raikin, S.M., N. Slenker, B. Ratigan. The association of a varus hindfoot and fracture of the fifth metatarsal metaphyseal-diaphyseal junction: the Jones fracture. Am J Sports Med. 2008; 36(7): 1367-72.
26. Lee, K.T., K.C. Kim, Y.U. Park, T.W. Kim, Y.K. Lee. Radiographic evaluation of foot structure following fifth metatarsal stress fracture. Foot Ankle Int. 2011; 32(8): 796-801.
27. Hetsroni, I., M. Nyska, D. Ben-Sira, G. Mann, O. Segal, G. Maoz, M. Ayalon. Analysis of foot structure in athletes sustaining proximal fifth metatarsal stress fracture. Foot Ankle Int. 2010; 31(3): 203-11.
28. Williams, D.S., 3rd, I.S. McClay, J. Hamill. Arch structure and

- injury patterns in runners. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2001; 16(4): 341-7.
29. Astrom, M., T. Arvidson. Alignment and joint motion in the normal foot. J Orthop Sports Phys Ther. 1995; 22(5): 216-22.
30. Picciano, A.M., M.S. Rowlands, T. Worrell. Reliability of open and closed kinetic chain subtalar joint neutral positions and navicular drop test. J Orthop Sports Phys Ther. 1993; 18(4): 553-8.
31. Smith-Oricchio, K., B.A. Harris. Interrater reliability of subtalar neutral, calcaneal inversion and eversion. J Orthop Sports Phys Ther. 1990; 12(1): 10-5.
32. Gross, K.D., J. Niu, Y.Q. Zhang, D.T. Felson, C. McLennan, M.T. Hannan, K.G. Holt, D.J. Hunter. Varus foot alignment and hip conditions in older adults. Arthritis Rheum. 2007; 56(9): 2993-8.
33. Brilakis, E., E. Kaselouris, F. Xypnitos, C.G. Provatidis, N. Efstathopoulos. Effects of foot posture on fifth metatarsal fracture healing: a finite element study. J Foot Ankle Surg. 2012; 51(6): 720-8.
34. Orendurff, M.S., E.S. Rohr, A.D. Segal, J.W. Medley, J.R. Green, 3rd, N.J. Kadel. Biomechanical analysis of stresses to the fifth metatarsal bone during sports maneuvers: implications for fifth metatarsal fractures. Phys Sportsmed. 2009; 37(2): 87-92.
35. Sun, P.C., S.L. Shih, Y.L. Chen, Y.C. Hsu, R.C. Yang, C.S. Chen. Biomechanical analysis of foot with different foot arch heights: a finite element analysis. Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2012; 15(6): 563-9.

36. Weist, R., E. Eils, D. Rosenbaum. The influence of muscle fatigue on electromyogram and plantar pressure patterns as an explanation for the incidence of metatarsal stress fractures. *Am J Sports Med.* 2004; 32(8): 1893-8.
37. Thomas C. Michaud 著, 加倉井周一訳, 臨床足装具学-生体工学的アプローチ-2005, 東京: 医歯薬出版.
38. Monaghan, G.M., W.H. Hsu, C.L. Lewis, E. Saltzman, J. Hamill, K.G. Holt. Forefoot angle at initial contact determines the amplitude of forefoot and rearfoot eversion during running. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2014; 29(8): 936-42.
39. Monaghan, G.M., C.L. Lewis, W.H. Hsu, E. Saltzman, J. Hamill, K.G. Holt. Forefoot angle determines duration and amplitude of pronation during walking. *Gait Posture.* 2013; 38(1): 8-13.
40. 松田匠生. サッカー選手における Jones 骨折既往者の足部構造の特徴及び足部構造が方向転換動作時の足底圧に与える影響. 早稲田大学スポーツ科学研究科修士論文 (未公刊) . 2013.
41. Kavanaugh, J.H., T.D. Brower, R.V. Mann. The Jones fracture revisited. *J Bone Joint Surg Am.* 1978; 60(6): 776-82.
42. Teyhen, D.S., B.E. Stoltenberg, T.G. Eckard, P.M. Doyle, D.M. Boland, J.J. Feldtmann, T.G. McPoil, D.S. Christie, J.M. Molloy, S.L. Goffar. Static foot posture associated with dynamic plantar pressure parameters. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011; 41(2): 100-7.
43. Wong, L., A. Hunt, J. Burns, J. Crosbie. Effect of foot morphology on center-of-pressure excursion during barefoot walking. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2008; 98(2): 112-7.

44. Dellal, A., D. Wong, W. Moalla, K. Chamari. Physical and technical activity of soccer players in the French First League - with special reference to their playing position. *International Sportmed Journal*. 2010; 11(2): 278-290.
45. Katis, A., E. Kellis. Three-dimensional kinematics and ground reaction forces during the instep and outstep soccer kicks in pubertal players. *J Sports Sci*. 2010; 28(11): 1233-41.
46. 小林匠, 吉田昌弘, 蒲田和芳. 足関節捻挫の既往歴, 足関節機能, スポーツパフォーマンスの関連性. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2013; 21(1): 112-8.
47. Morrison, K.E., D.J. Hudson, I.S. Davis, J.G. Richards, T.D. Royer, T.A. Dierks, T.W. Kaminski. Plantar pressure during running in subjects with chronic ankle instability. *Foot Ankle Int*. 2010; 31(11): 994-1000.
48. 齋田良知. 第5中足骨疲労骨折. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2016; 24(4): S111.
49. van Mechelen, W., H. Hlobil, H.C. Kemper. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*. 1992; 14(2): 82-99.
50. 村上憲治, 西尾啓史, 小林洋平, 齋田良知, 宮川俊平. Jones骨折の発症を足部接地時の力学要因から検証. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2015; 23(4): S197.
51. Gu, Y.D., X.J. Ren, J.S. Li, M.J. Lake, Q.Y. Zhang, Y.J. Zeng. Computer simulation of stress distribution in the metatarsals at different inversion landing angles using the finite element method.

- Int Orthop. 2010; 34(5): 669-76.
52. Jenkyn, T.R., R. Shultz, J.R. Giffin, T.B. Birmingham. A comparison of subtalar joint motion during anticipated medial cutting turns and level walking using a multi-segment foot model. *Gait Posture*. 2010; 31(2): 153-8.
53. Donahue, S.W., N.A. Sharkey, K.A. Modanlou, L.N. Sequeira, R.B. Martin. Bone strain and microcracks at stress fracture sites in human metatarsals. *Bone*. 2000; 27(6): 827-33.
54. Kerkhoffs, G.M., V.E. Versteegh, I.N. Sierevelt, P. Kloen, C.N. van Dijk. Treatment of proximal metatarsal V fractures in athletes and non-athletes. *Br J Sports Med*. 2012; 46(9): 644-8.
55. Porter, D.A., M. Duncan, S.J. Meyer. Fifth metatarsal Jones fracture fixation with a 4.5-mm cannulated stainless steel screw in the competitive and recreational athlete: a clinical and radiographic evaluation. *Am J Sports Med*. 2005; 33(5): 726-33.
56. Quill, G.E., Jr. Fractures of the proximal fifth metatarsal. *Orthop Clin North Am*. 1995; 26(2): 353-61.
57. Strayer, S.M., S.G. Reece, M.J. Petrizzi. Fractures of the proximal fifth metatarsal. *Am Fam Physician*. 1999; 59(9): 2516-22.
58. 皆川洋至. 運動器（整形外科）超音波：現状とこれからの展望. *超音波医学*. 2008; 35(6): 631-640.
59. Yesilaras, M., E. Aksay, O.D. Atilla, M. Sever, O. Kalenderer. The accuracy of bedside ultrasonography as a diagnostic tool for the fifth metatarsal fractures. *Am J Emerg Med*. 2014; 32(2): 171-4.
60. Burr. Bone Microdamage and Skeletal Fragility in Osteoporotiku

- and Stress Fracture. *Journal of bone and Mineral Research*. 1998; 12(1): 6-15.
61. Wilson, E.S., Jr., F.N. Katz. Stress fractures. An analysis of 250 consecutive cases. *Radiology*. 1969; 92(3): 481-6 passim.
62. Hodler, J., H. Steinert, M. Zanetti, U. Frolicher, J. Rogala, K. Stumpe, G.K. von Schulthess. Radiographically negative stress related bone injury. MR imaging versus two-phase bone scintigraphy. *Acta Radiol*. 1998; 39(4): 416-20.
63. Ishibashi, Y., Y. Okamura, H. Otsuka, K. Nishizawa, T. Sasaki, S. Toh. Comparison of scintigraphy and magnetic resonance imaging for stress injuries of bone. *Clin J Sport Med*. 2002; 12(2): 79-84.
64. Saita, Y., M. Nagao, T. Kawasaki, Y. Kobayashi, K. Kobayashi, H. Nakajima, Y. Takazawa, K. Kaneko, H. Ikeda. Range limitation in hip internal rotation and fifth metatarsal stress fractures (Jones fracture) in professional football players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017.

謝辞

本論文を作成するにあたり，多忙な中，熱心なご指導，ご鞭撻を賜りました，広瀬統一教授に厚く御礼を申し上げます．また，快く副査を引き受けて下さりご指導を賜りました福林徹教授，熊井司教授に心より感謝申し上げます．

本研究を行うにあたり，研究への助言や，測定の検者を快く引き受けて下さったアスレティックトレーニング研究室の皆様，Jones 骨折研究会の皆様，また，被験者を引き受けてくださった関東大学サッカー連盟加入選手の皆様，職場で支えてくださった横浜市スポーツ医科学センターの皆様，すべてにおいて協力してくださった家族に感謝の意を述べさせて頂き，本論文の謝辞とさせていただきます．

本論文の作製にあたり，支えて下さったすべての皆様に心より御礼申し上げます．誠にありがとうございました．