

2008 年度 修士論文

足関節にメカニカルな不安定性を有する
大学女子スポーツ選手における運動学的分析

Kinetic Analysis of Female Collegiate Basketball Players
with Mechanical Ankle Instability

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 スポーツ科学研究領域

5 0 0 7 A 0 0 5 - 5

板 垣 香 里

Itagaki Kaori

研究指導教員：福林 徹 教授

足関節にメカニカルな不安定性を有する大学女子スポーツ選手における運動学的分析

Kinetic Analysis of Female Collegiate Basketball Players

with Mechanical Ankle Instability

スポーツ医科学研究領域

5007A005-5 板垣 香里

研究指導教員：福林 徹

【緒言】足関節内反捻挫はスポーツ活動中に頻発する急性外傷であり,受傷後 30~40%の人に足関節不安定症(以下:CAI)が残るとされている. CAI には, バランス能力の低下や主観的不安感を抱く機能的不安定性(以下:FAI)と, 異常な可動性を生じるメカニカルな不安定性(以下:MAI)の二つがあると考えられている. 近年 CAI の研究が進められ, CAI 群の足部の運動は健常群とは異なることが報告されており, これにより隣接する膝関節に影響を与えると考えられる. 先行研究で行われている動作解析の多くは FAI についての検討であり, MAI を示す選手の動作解析は限られている. そこで本研究では, 実験 1 で MAI が連続ジャンプ動作及びバランス能力, 下肢特性, FAI に与える影響の検討, 実験 2 で X 線を用いない MAI の定量的評価方法の検討, 実験 3 で MAI の程度が連続ジャンプ動作及びバランス能力, 下肢特性, FAI に与える影響について検討を行った.

《実験 1》【方法】大学女子バスケットボール選手 64 名 128 足を対象とした. 医師が徒手検査による前方引き出しテスト, 内反ストレステストを行い, 2 手技陽性群, 内反陽性群, 前方陽性群, 2 手技陰性群の 4 群にわけた. 実験試技は最大努力の 5 回連続ジャンプとし, 試技マット上での試技を家庭用デジタルビデオカメラにて前額面と矢状面から記録し, 二次元動作解析ソフト, ダートフィッシュソフトウェア(DARTFISH 社製)を用いて股関節屈曲変位量, 膝関節外反, 屈曲変位量, 足関節背屈変位量を算出した(Fig1). また MAI が動的バランス能力(Star Excursion Balance Test:SEBT), 下肢特性(Leg-heel 角, 舟状骨降

下率, 股関節内外旋可動域, 足関節背屈可動域), FAI(Foot and Ankle Disability Index Sport:FADIS)に与える影響についても一元配置分散分析を行い, 有意差の認められたものに対して Bonferroni の事後検定を行った. いずれも有意水準は 5%未満とした.



Fig.1 連続ジャンプテスト

例) 立位姿勢(173) - 最大外反角度(159)=外反変位量(14)

【結果】連続ジャンプにおいて, 足関節前方陽性群の膝関節外反変位量(11.4 ± 5.1)が足関節内反陽性群(6.2 ± 5.2)より有意に高値を示し, 内反陽性群の膝関節屈曲変位量(43.1 ± 9.2)が 2 手技陽性群(49.3 ± 6.7)よりも有意に低値を示した. 下肢機能において, 内反陽性群の足関節背屈可動域(29.2 ± 5.8)が 2 手技陽性群(36.5 ± 9.7)より有意に低値を示した.

【考察】前方陽性群の膝関節外反変位量が内反陽性群よりも高値を示した. 先行研究より, MAI を示す選手の着地動作は外側荷重で着地した後, 足部を外かえししていると推測される. 足部の外反は下腿を内旋させ, 膝関節の外反を促進すると考えられ, その為前方陽性群の膝関節外反変位量は増加したと推測される. 前方陽性群のみ他の群と異なった傾向を示した本結果により, 機能不全となっている足関節靱帯の種類の違いが, 膝関節の運動にも異なった影響を

与える可能性が示唆された。膝関節屈曲変位量において内反陽性群が 2 手技陽性群と比較し低値を示したが、内反陽性群は足関節背屈可動域においても同様に低値を示している。背屈制限により着地時に下腿前傾が制限され、膝関節の屈曲を制限したため、内反陽性群の屈曲変位量が低値を示したと推測される。

《実験 2》【方法】成人女性 10 名 20 足を対象とした。足関節は底屈 10° としストレス用関節固定器 TelosSE (Telos 社製: Telos) を用いて 10kp の荷重をかけ、内反ストレステスト、前方引き出しテストを行い、得られた X 線画像から測定した距骨傾斜角 (TTA), 前方引き出し率 (RAD) と、1kp から 10kp までの Telos 押し込み棒の移動距離について回帰分析を行った。有意確率は 5%未満とした。

【結果】距骨傾斜角と Telos 移動距離の決定係数は 0.60 であり、前方引き出し率と Telos 移動距離の決定係数は 0.28 であり、どちらにおいても有意な回帰式を得た (Fig. 2)。

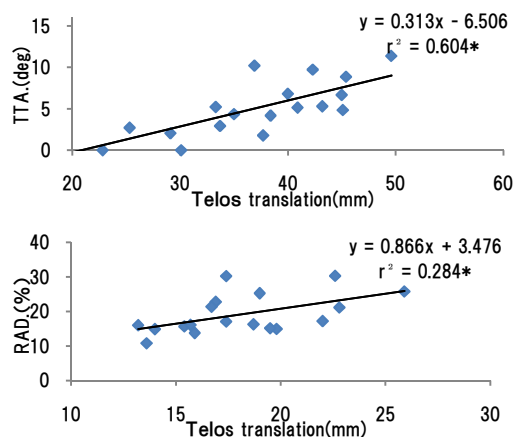


Fig. 2 Telos 押し込み棒移動距離と距骨傾斜角、及び前方引き出し率との相関関係

【考察】距骨傾斜角、前方引き出し率とも Telos 移動距離との間に有意な回帰式を得た。得られた値は先行研究と近似しており、本実験により Telos を用いることで X 線を使わずに MAI を定量的に評価できる可能性が示唆された。

《実験 3》【方法】実験 1 の対象者のうち 44 名 88 足を対象とした。実験 2 と同様の方法で MAI の定量的評価を行い、MAI の程度と実験 1 の下肢関節変位量、SEBT、下肢特性、また FAI は Karlsson らの scoring scale に変更し、それぞれの関係についてピアソンの相関係数を用い

て検討を行った。有意水準は 5%未満とした。

【結果】内反テスト及び前方引き出しテストの 2 手技とも、実験 1 で医師に陽性と判断された群の Telos 押し込み棒移の動距離は陰性群に比べ有意に高値を示した。内反動揺性の程度と膝関節外反変位量の間に負の相関傾向を示し、Anteroir, 股関節外旋可動域との間に有意な負の相関を示した。前方動揺性の程度と足関節背屈変位量の間に正の相関傾向を示し、FAI の不安定感の指標の間に有意な負の相関を示した。

【考察】医師の評価と Telos 押し込み棒の移動距離は比例していると考えられ、Telos を用いた MAI の定量的評価は妥当であると考えられた。内反動揺性が増すにつれ膝関節外反変位量は減少する傾向が、前方動揺性が増すにつれて足関節背屈変位量は増加する傾向がみられ、足関節の動揺性の方向、程度の違いにより他の関節運動に異なった影響を与える可能性が示唆された。SEBT に与える影響を検討したところ、内反動揺性の程度が増加するにつれ、Anterior, Posteromedial, Composite が減少し、バランス能力は前方の動揺性よりも内反動揺性の影響を受ける可能性が示唆された。

【総合考察】足関節の動揺性の方向、程度の違いは、足関節の運動だけでなく、他の関節運動や下肢特性に異なった影響を与える可能性が示唆された。一方 SEBT, FAI は必ずしも MAI を反映しておらず、FAI だけでは CAI の評価として不十分であると考えられた。MAI の定量的評価方法の検討を行った結果、Telos を用いることにより、X 線を使用せずに MAI を定量的に評価できる可能性が示唆された。

【結語】

- MAI における動揺性の方向、程度の違いは他関節の運動に異なった影響を与える可能性が示唆された。
- CAI の評価には FAI, MAI の 2 つの評価が必要である。
- Telos を用いることで X 線を使用せずに MAI を定量的に評価できる可能性が示唆された。

目次

第一章 緒言

疫学	1
捻挫のリスクファクター	1
MAI について	3
FAI について	4
CAI について	5
CAI が動作に与える影響	6
目的	7

第二章 足関節のメカニカルな不安定性が下肢の動的アライメントに及ぼす影響 ー二次元動作解析を用いてー

背景	8
方法	9
結果	17
考察	23
結語	26

第三章 足関節のメカニカルな不安定性の定量的評価方法の検討

背景	27
方法	28
結果	31
考察	33
結語	34

第四章 足関節のメカニカルな不安定性と下肢の動的アライメント、バランス能力、 機能的不安定性、及び下肢特性との関係

ーメカニカルな不安定性の定量的評価を用いてー

背景	35
方法	36
結果	38
考察	47
結語	49

第五章 総合考察	50
結語	52

参考文献	53
巻末資料	60
謝辞	61

第一章

—緒言—

足関節捻挫はスポーツ活動中に起こる最も代表的な急性外傷のひとつであるだけでなく、再受傷の多い外傷でもある。足関節捻挫を繰り返すことにより、バランス能力の低下といった機能低下や、異常な可動性を示すことが知られており、近年では足関節捻挫を繰り返す人の歩行や、ジャンプ着地における動作解析が行われ、足関節捻挫を繰り返す人が健常人とは異なった運動をしていることが報告されている。

1-1.疫学

スポーツ安全協会が行った調査によると(40)、全傷害発生例数 88,531 例のうち足関節部は 14,910 例と 16.8%を占め、うち捻挫は 67%であり、バスケットボール、バレーボール、テニス、バドミントン、サッカーでは最も多く、15%の発生率であった。また Ruth はおよそ 1 日 10,000 人に 1 人の割合で捻挫が起こっているとしており(41)、アメリカ合衆国では 1 日に約 23,000 人が受傷していることになる。最も損傷しやすいのは前距腓靭帯であり、ほとんどの場合最初に前距腓靭帯が損傷し、さらに外力が加わることでより踵腓靭帯が損傷されるが、陈旧性靭帯損傷の手術所見より、踵腓靭帯の単独損傷の報告もあり、踵腓靭帯の単独損傷も起こると考えられる。

1-2.捻挫のリスクファクター

膝関節前十字靭帯損傷は男子選手に比べ女子選手の発生率が有意に高いとの報告が数多くなされているが、Bruce ら(28)が 1999 年から 2003 年に高校および大学の男女サッカー部、男女バスケットボール部、男女ラクロス部、女子フィールドホッケー部を対象に行った傷害調査によると、女子バスケットボール選手の捻挫発生率が女子ラクロス選手に比べ有意に高いが、全ての競技において男女間で差はなかったと報告している。また同グルー

ブは大学男女サッカー部、男女ラクロス部、男女フィールドホッケー部を対象に傷害調査を行い、同様に男女間で発生率に差はなかったとしている(29)。一方、Hosea ら(30)は男女バスケットボール選手を対象に行った傷害調査において、損傷 grade I において女子選手の発生率は有意に高いが、grade II、III においては男女間で差はなかったと報告していることから、足関節内反捻挫においては男女間で発生率にほとんど差はないと考えられる。

関節弛緩性を有する場合においても一般的に傷害のリスクが高まることが知られている。特に女子は男子に比べ先天的に関節弛緩性が高い傾向にあるため、女子選手で関節弛緩性を有する場合は損傷リスクが高いと考えられている。足関節捻挫についても、前方引き出しテストにおいて動揺性を示す選手は捻挫発生率が高まり、女子大学生選手においては、男子選手と比較した場合、内反ストレステストにおいても動揺性を示す選手は捻挫発生率が高まるとの報告がある(50,51)。また Chomiak らも(52)サッカー選手において、内反ストレステスト、及び前方引き出しテストにおいて動揺性を示した選手に、非接触型の捻挫が多く発生したと報告していることから、足関節に動揺性を示す場合、捻挫発生リスクが高まると考えられる。

足部に扁平回内足の変形がある場合、膝関節は knee-in しやすいといったように、下肢のアライメントは下肢の動きに影響を与え、特定の部位にストレスがかかりやすくなる為傷害のリスクファクターと考えられている。足部の形態的特徴である回内足や回外足においては、捻挫の発生を増加させるとの報告は見られない。

足関節捻挫はスポーツ活動中に頻発する外傷であるが、受傷後の約 10%から 30%の者において足関節不安定性(Chronic ankle instability:CAI)を残すとの報告もある(1,2)。CAI には、痛みや腫れといった症状や、giving-way やふらつきといった不安感、異常な可動性がある特徴としてあげられるが、その原因として、靭帯や関節包の軟部組織の損傷により過度の関節可動性を生じるとされているメカニカルな不安定性(mechanical ankle instability:MAI) と、中枢神経系、末梢神経系、筋疾患からくる神経・筋因子が影響し、外反筋力の低下、バランス能力の低下、固有感覚の低下などが生じるとされている機能的

不安定性(functional ankle instability:FAI)のふたつが考えられている。

1-3.MAI について

MAI の評価は、主に前距腓靱帯の損傷の有無を評価する前方引き出しテストと、前距腓靱帯、踵腓靱帯の損傷の有無を評価する内反ストレステストの 2 手技で行われる。MAI の評価は(16)、外科医などが徒手抵抗により評価する方法と、ストレスマシンなどを用いてストレスをかけ、得られた画像より評価する方法がある。画像診断は定量的な評価が可能であるが、使用する器具やかけるストレスの大きさ、麻酔の有無などにより結果が異なる。また、距骨下傾斜角(Talar Tilt Angle:TTA)は角度で評価するため、相似形の原理から個体の大きさには影響されないが、前方引き出し距離(Anterior Talar Displacement:ATD)は個体の大きさに影響されるため、実測距離で表現するよりも体格差を考慮して脛骨下端関節面前後径に対する比をとった前方引き出し率で表現する方が精度がよいとする意見があるほか、画像解析方法も複数存在するため、定量的に評価が可能なレントゲン画像であっても正常範囲については諸家によって異なる。Table1-1 は Bruce らがまとめたものを一部改編したものである(44)。

Table1-1

Normal and abnormal values for talar tilt angle(TTA)and anterior talar displacement(ATD)

Author	Normal(TTA)	Abnormal(TTA)	Normal(ATD)	Abnormal(ATD)
Anderson et al.(1952) (54)	—	—	2mm	4-8mm
Rubin and Witten (1960) (55)	0-23°	—	—	—
Landeros et al.(1968) (61)	—	—	4mm	4-16mm
Laurin et al.(1968)	0-27°	—	—	—
Castaing and Delplace(1972)	—	—	5mm	8-15mm
Laurin et al.(1975) (56)	—	—	2-9mm	—
Lindstrand(1977)	—	—	—	18-21mm
Lindstrand and Mortensson(1977)	—	—	3mm	—
Noesberger et al.(1977)	—	—	6mm or 3mm	6mm
Johannsen(1978)	3° †	3° †	2mm†	2mm†
Cox and Hewes(1979) (57)	5°	5°	—	—
Termansen et al.(1979)	—	6° †	—	—
Seligson et al.(1980) (58)	18°	—	3mm†	—
Orava et al.(1983)	—	—	—	3mm †or 6mm
Sauser et al.(1983)	0-13°	0-27°	2-10mm	2-15mm
Cass and Morrey(1984)	—	5-10° †	—	2-3mm†
Rettig et al.(1987)	—	10°	—	—
Grace(1984)	4°	—	6mm	6-14mm
Blanshard et al.(1986)	11°	—	4mm	—
Ahovuo et al.(1988)	0-13°	1-24°	3-12mm	3-15mm
Karlsson(1989) (59)	2-8°	3-23°	4-11mm	7-20mm
Lassiter et al.(1989)	5°	2X †or 9°	6mm	8mm

† :Value represents difference when compared to uninjured ankle.

Hertel(42)によると MAI とは、足関節捻挫受傷後足関節に動揺性、運動障害、関節液の変化、変形性関節症の進行といった解剖学的変化が単独あるいは合併して起こることである。中でも足関節の動揺性は捻挫受傷後に最も発現する症状であり、ストレステストで評価することができる。そこで本研究では MAI の特徴のひとつである動揺性に着目し、足関節捻挫後に内反ストレステストあるいは前方引き出しテストにおいて動揺性ありと判断されたものを MAI と定義することとする。

1-4.FAI について

FAI の原因は、靱帯損傷などの静的安定機構の破綻ではなく、靱帯や関節包に分布する神経終末であるメカノレセプターが損傷されることにより固有感覚が障害を受け、神経—筋のコントロール不全が生じることが原因であると考えられており(3)、このため患者は自覚的な不安感を持つとともに、**giving-way** や捻挫を繰り返すことが少なくない(4,5)。FAI

の評価方法のひとつに突発的内反ストレス刺激に対する腓骨筋の反応時間の測定がある。腓骨筋反応時間は、被験者を突然床が内反する装置の上に立たせ、擬似的な内反捻挫を起こさせたときの腓骨筋の反応時間を見るもので、足関節に不安定性を有する人の方が有意に反応が遅いと言う報告がある(7,8,9,10)。また、下條は(10)、BIODEX 社製の STABILITY SYSTEM を用いて足関節内反捻挫後の腓骨筋反応時間と Stability Index の関係を検討したところ、両者には相関があったと報告している。同様に動的安定性を評価する方法としてバランステストによる評価もされており、Star Excursion Balance Test を用いた評価テストでは、不安定足と健常足とでは、不安定足の方が有意に低い値を示すと報告されている(11,12,13)。自覚的な不安感の評価も検討されている。多くの研究では、捻挫既往歴と重傷度、その後の giving-way の有無により不安定性を評価することが少なくないが、Sheri らは Foot and Ankle Disability Index の信頼性を検討し、その妥当性を報告している(14)。また Carrie らは、FAI の評価を目的とした、最初の捻挫の重傷度、不安感、日常生活での不安感の 3 要素からなる 12 項目のアンケートを作成している(15)。また痛みや競技復レベル、不安感や装具使用状況など項目ごとに点数化し、総合得点で機能的不安定性を評価するアンケートも作成されている(31,32)

1-5.CAI について

先に CAI には MAI と FAI の 2 つがあること、またその特徴や症状を述べてきた。しかし MAI と FAI が互いにどのように関係しているのか、MAI と FAI が別のものであるのか、同じものであるのかと言った点についての議論はあまりなされていない(17,18,42,)。しかし、捻挫を繰り返し受傷する原因として CAI があげられることから、近年 CAI の評価方法やリハビリテーションの有効性の検討だけでなく、三次動作解析などを用いて足部や足関節、下肢の動きを明らかにする研究が行われ始めている。足関節は地面に対して足がどのような位置を取ろうと全体重を支えなければならないため、内反捻挫の再受傷の原因となる点からだけでなく、下肢全体の動きを考えた場合、運動連鎖により他の関節に影響を

与えると考えられ(6)、下肢の傷害予防の観点からも、CAI が下肢の他の関節に与える影響を明らかにすることは重要であると考えられる。

1-6.CAI が動作に与える影響

CAI 群の歩行は健常群に比べて足関節が内返しの状態にあることが挙げられる。通常の歩行では接地直前に内反し、接地直後に外反方向へ変化するが、Kenneth ら(19)は CAI 群の歩行と健常群の歩行を比較し、CAI 群は接地直前から接地時にかけて健常群より内反し、踵接地直後は健常群より速い速度で外反方向へ変化すると報告している。また、Eamonn ら(20)は FAI に着目し、健常群との歩行を比較したところ、FAI 群は健常群よりも内反位であるが、膝関節や股関節には変化がなかったと Kenneth らと同様の結果を報告している。Braian ら(21)は FAI に着目し、FAI 群と健常群の片脚着地動作における床反力を比較したところ、FAI 群は健常群とではピーク値に至る時間が異なり、FAI 群の方が早くピーク値に至ったと報告している。同様に片脚動作で CAI 群と健常群の比較を行った宮川らの報告でも(22)、CAI 群では、着地後第 4 中足骨、第 5 中足骨、踵外側で有意に大きな圧力を示し、第 5 中足骨ではピーク値に達するのが健常群よりも早かったとしている。FAI 群については、腓骨筋の反応時間が遅いなどの機能低下が報告されており(7,8,9,10)、片脚着地においては腓骨筋の活動は着地前に比べて着地後で低下しており、健常群よりも姿勢の安定化に時間がかかることが報告されている(24)。足関節以外の関節に変化があったとする報告もある。Eamonn ら(23)は FAI に着目し、筋電図、床反力の測定とともに三次元動作解析を行い、FAI 群と健常群の片脚着地動作では接地前後で足関節と股関節の角変位量および角速度に違いが見られ、上述した先行研究同様、足関節において FAI 群の着地動作は接地前内返しの状態にあり、これまで報告がなかった股関節においても FAI 群の方が接地前の外旋が少なかったと報告している。下腿だけでなく、下肢から体幹も含めた筋の活動を検討した研究もみられる。Sara ら(25)によると、両脚立位から片脚立位への移行動作における下肢および体幹の 14 筋の筋電図を比較したところ、CAI 群と健常群とで

は足関節周囲筋だけでなく、股関節周囲筋、ハムストリングスの筋活動も異なり CAI 群の方が筋活動の始まりが遅かったと報告している。

上述したように MAI の評価基準や測定試技が検討される一方、FAI については腓骨筋の反応時間やバランステストといった方法を経て、アンケートをもとに FAI の有無や程度を評価する方法が検討されており、簡便に FAI の評価を行えるようになってきている。また近年では CAI を抱えるものの動作に注目が集まり、CAI を抱えるものは動作時の下腿の筋活動や足部、足関節の動きが健常群とは異なり、内反傾向での足部接地や外側荷重、足関節角速度が速いといった運動の変化が起こることが明らかになりつつある。一方、他の下肢関節に影響を及ぼすと報告する研究は限られている。しかし、CAI の評価に簡便に行える FAI が用いられていることが多く、MAI に注目して他の下肢関節の動きまで検討した研究は少ない。そのため MAI が下肢関節の動きに与える影響については検討の余地があると考えられる。また、FAI がバランス能力に与える影響については研究されているが、MAI がバランス能力にどのような影響を与えるかは明らかにされていない。

1-7.目的

そこで本研究ではメカニカルな不安定性を足関節の動揺性と捉え、内反ストレステストあるいは前方引き出しテストにおいて陽性と判断されたものを MAI とし、1) MAI を有する大学生女子スポーツ選手の下肢の動きについて明らかにし、MAI が下肢に与える影響及び下肢特性、バランス能力に与える影響を検討すること、2) 足関節の MAI の定量的な評価の検討すること、3) MAI の程度が連続ジャンプ動作における下肢関節の関節角度、下肢特性、バランス能力及び FAI に与える影響を明らかにすることを目的とした。

第二章

足関節のメカニカルな不安定性が下肢の動的アライメントに及ぼす影響

—二次元動作解析を用いて—

1.背景

足関節不安定性を示す人の足部の動きは健常者とは異なり、片脚着地における足底圧分布が外側及び踵外側で大きな値を示すことや、足関節の角度、角速度が異なることが報告されている。こうした変化は、例えば足部が回内することによる膝関節の外反といったように、運動連鎖により下腿や膝関節の動きに影響を与えられと考えられるが、足関節不安定性を示す人と健常人との膝関節及び下肢の動きが異なることを報告した先行研究は少ない。しかし、これまでの研究の多くは FAI について評価、検討したものが多く、MAI については言及されていないものが多いため、MAI が下肢関節の動きにどのような影響を与えているかは明らかではない。このため MAI が下肢関節の動きに与える影響についての検討は必要だと考えられる。また MAI とは捻挫により靱帯や関節胞が弛緩し、異常な可動性をもった状態のことであるが、可動性以外の下肢機能や下肢特性について検討は少なく、FAI との関係も未だ明らかではない。

動作解析には三次元動作解析と二次元動作解析がある。三次元解析は、下肢の正確な角度やモーメント変化を得ることができ、関節の詳細な動きを測定できるが、専用の設備を要するため、多くの被験者を対象とした研究には不向きである。一方、二次元動作解析は、前額面、矢状面からの解析のため、大腿骨と脛骨の回旋を測定することはできないが、家庭用のデジタルカメラを用いて解析を行うことができ、また場所も選ばないことから大規模な動作解析を行うことが可能である。また、本実験で用いる二次元動作解析の手法は、三次元動作解析との比較を行った実験から、二次元動作解析における膝関節外反角度と三

次元動作解析における膝関節外反角度の間に有意な相関関係を示す結果を得ており(27)、
二次元動作解析においても膝関節の外反は評価できると考えられる。

そこで本実験では、

1. 二次元動作解析を用いて足関節に MAI を有するスポーツ選手の連続ジャンプ着地時の下肢関節角度を明らかにすること
2. MAI が下肢特性、バランス能力及び FAI に与える影響を明らかにすること

を目的とする。

先行研究においては足関節以外の関節に CAI が影響を及ぼしているとの報告は少ないが、足部の回内方向への角速度が速まったとの報告から、MAI を示す人は、着地後の足関節外反により、膝関節も外反するのではないかと考えられる。本実験により、MAI が足関節だけでなく下肢に与える影響が明らかになれば、下肢の傷害予防の一助となるのではないかと考える。

《実験 1》

2.方法

2-1.対象

大学のバスケットボール部に所属する女子選手 64 名 128 足とした。対象者の身体的特徴は年齢 19.4 ± 1.2 歳、身長 168.6 ± 6.9 cm、体重 62.7 ± 6.7 kg であった。対象者には本実験の目的と方法を説明し、同意を得た。また本実験は早稲田大学スポーツ科学部研究倫理委員会の承認を得た。

2-2.アンケート

MAI の評価項目として捻挫経験があげられる。またバランストレーニング後に膝関節外反角度やバランス能力、機能的不安定性が向上したとの報告がある為、捻挫既往歴、リハビリテーションやバランストレーニングの有無などについてアンケートを行った(資料 1)。

2-3-1.足関節のメカニカルな不安定性

整形外科医が徒手により内反テストと前方引き出しテストを行った。

2-3-2.内反ストレステスト

術者は一方の手で対象者の脛骨を前方から押さえ、もう一方の手で踵骨を手のひらで掴み踵骨を内反させた。

2-3-3.前方引き出しテスト

術者は一方の手で対象者の脛骨を前方から押さえ、もう一方の手で踵骨を下から掴み、脛骨を後方に押しながら踵骨を前方に引き出した。

2-4. Foot and Ankle Disability Index Sport(FADI Sport)

機能的不安定性の評価として Sheri ら(14)が行った Foot and Ankle Disability Index Sport を用いて評価を行った(Table2-1)。合計点を 32 点で叙し、パーセンテージ化したものを評価値とした。

Table2-1 Foot and Ankle Disability Index Sport Items

Foot and Ankle Disability Index Sport	左右	出来ない	とても難しい	そこそこ難しい	少し難しい	まったく難しいくない
走ること	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
跳ぶこと	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
着地すること	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
素早くとまること	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
カッティングや左右に動くこと	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
軽運動を行うこと	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
レクリエーションレベルのスポーツに参加すること	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4
競技としてスポーツを行うこと	右	0	1	2	3	4
	左	0	1	2	3	4

2-5-1.実験試技

対象者は5回連続垂直飛び動作を行った(continuous jump test: 以下連続ジャンプテスト)。下肢を肩幅に開いた直立位をとった後(静止立位)、最大努力で5回連続の垂直飛び動作をその場で行うものである。対象者にはジャンプ間の接地時間をできる限り短く、かつ、最大努力で上方にジャンプするように指示をした。測定補助者が動作の試技見本を示したが、上記の指示以外、ジャンプや着地の方法の指示は行わなかった。試技中、対象者の両手は腰部を保持して測定を行った。着地位置を一定にし、かつ、体幹が前額面を向いた状態で、かつ、足部が矢状面に平行に着地した試行された試技を成功試技とした。成功試技1回の計測を行い、5回の着地のうち、2回目から4回目、計3回の着地を解析対象とした。対象者は前額面および右矢状面からの計測を行った後、体幹方向を90度回転させ前額面および左矢状面の計測を行った。

2-5-2.皮膚マーカー

測定に際し、対象者には12個のマーカーテープを貼付した。マーカーテープは1.8cm四方であり、貼付位置は両下肢の上前腸骨棘、膝蓋骨中央、足関節中央(両果を結ぶ線の中点)、肩峰、大転子、膝裂隙外側、外果、第五中足骨とした。

2-5-3.関節角度算出方法

動作計測はデジタルビデオカメラ(30 Hz; Panasonic Inc., Japan)を用いて行い、対象者の前額面および矢状面の撮影を行った、カメラ位置は動作地点より3.5m、膝関節の高さ(約55cm)に設定した(Fig.2-2)。計測された画像はパーソナルコンピュータ内にて、角度計測用ソフト(Dartfish software, Dartfish Japan Co., Ltd. Japan)上に取り込み、角度計測を行った。上前腸骨棘と膝蓋骨中心を結んだ線、および膝蓋骨中心と足関節中心を結んだ線からなる角度を膝外反角度とし、静止立位からの最大変位量を求めた。また、矢状面から撮影した画像から、肩峰－大転子－膝関節裂隙を結んだ角度を股関節屈曲角度、大転子－膝関節裂隙

一足関節外果を結んだ角度を膝関節屈曲角度、膝関節裂隙一足関節外果一第五中足骨を結んだ角度を足関節背屈角度とし、立位姿勢から引いたものをそれぞれ膝関節外反変位量、股関節屈曲変位量、膝関節屈曲変位量、足関節背屈変位量として算出した(Fig.2-1)。

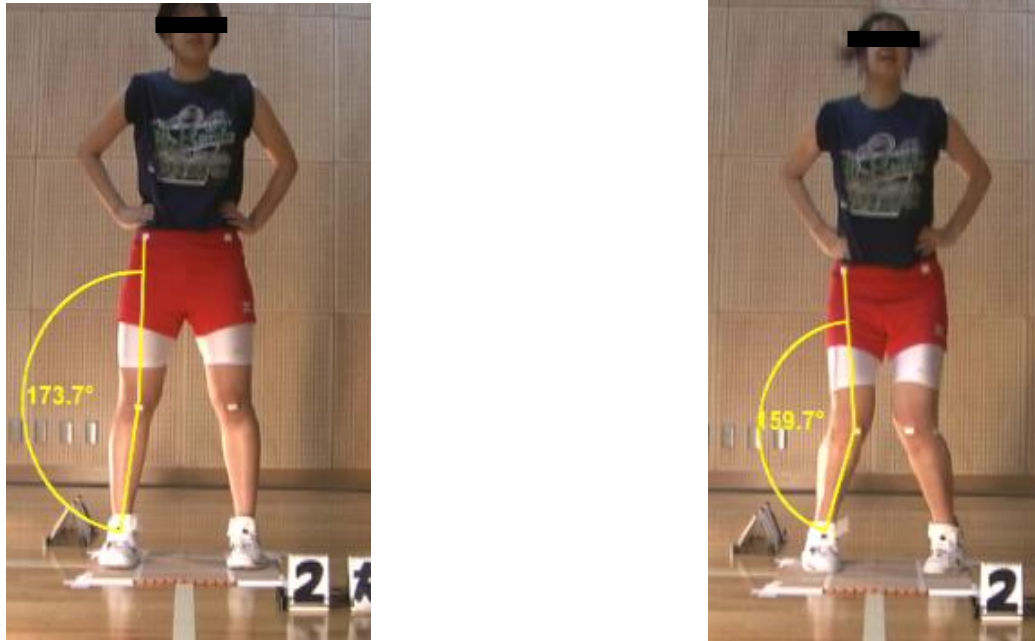


Fig.2-1 Continuous jump test
Standing position (173.7) - Landing position (59.7) = Measured values (114.0)

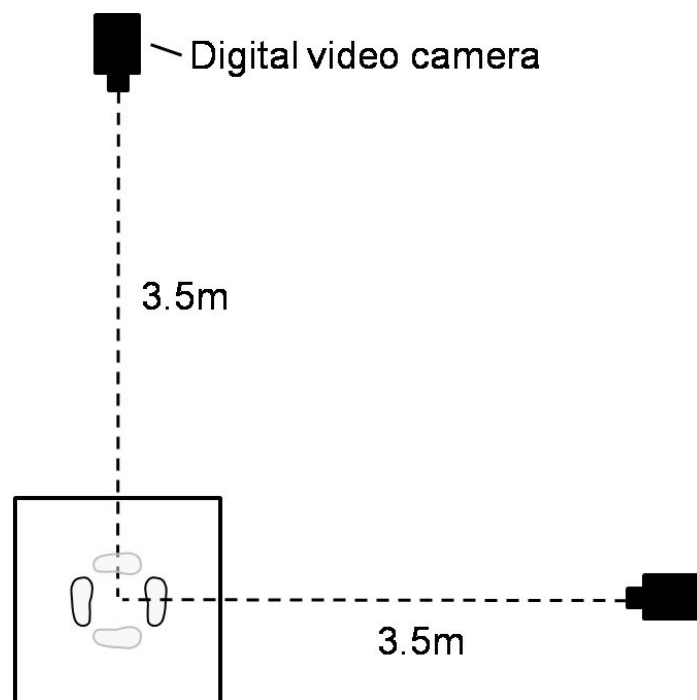


Fig.2-2 Setting for continuous jump test

2-6. バランステスト(Star Excursion Balance Test)

バランス能力の計測には、Plisky ら(11)が行った、Star Excursion Balance Test(以下 SEBT)を用いた。本研究では専用の計測器を自作し、それを用いて計測を行った。対象者は踏み台の上にて片脚立位をとり、母趾を踏み台上のスタート位置に合わせる。片脚立位を保ちつつ、遊脚側を前方、後内方、後外方に伸ばす。その際にメジャー上につけられたスライダーを足先にて押し出すように行い(Fig.2-3)、最も遠くスライダーを動かした際の距離を測定値とした。ただし、片脚立位を保持できなかった場合、立脚側の足部が動いた場合、遊脚側が床面についた場合、遊脚側を伸ばした後に開始肢位に戻れなかった場合は再計測とした。計測に際しては学習効果(33)を考慮し、各方向(前方、後内方、後外方)3回の練習試技を行った後に各3回計測を行い、その最大値を採用した。また、3方向(Fig.2-4)の最大値を平均し、総合値を得た。また、測定値は下肢長(棘下長)にて補正され、下肢長に対する割合で表わされた。



Fig.2-3 The posteromedial reach of the Star Excursion Balance Test performed while balancing on the left limb

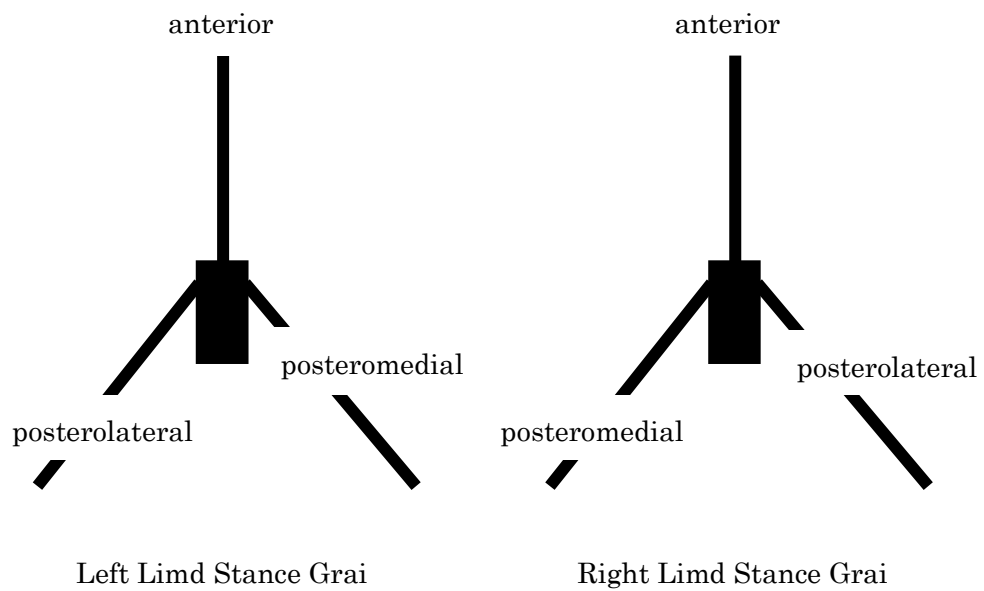


Fig.2-4.Top view of Star Excursion Balance Test grid.

2-7. 下肢特性計測

下肢特性の計測として、股関節内旋・外旋可動域、足関節背屈可動域、Leg heel 角、舟状骨降下率の計測を行った。

2-7-1. 股関節内旋・外旋可動域計測

対象者はベッド上に腹臥位となり、膝屈曲 90 度とした。検者が対象者の足部を把持して他動的に股関節を回旋させ、骨盤による代償運動の起こらない範囲の角度を計測した。計測は傾斜角度計(Multi Level A-300; Shinwa Sokutei K.K., Japan)を下腿遠位 1/3 にストラップで固定して行った。また、内旋、外旋可動域を計測後、下式にて股関節回旋中心角度(mid-point of hip rotation: 以下 MPR)を求めた。

$$MPR = (IR - ER)/2 (\text{deg})$$

MPR は大腿骨前捻角の大きさを示す指標として用いた。

2-7-2. 足関節背屈可動域計測

足関節背屈可動域の計測は Denegar ら(35)の方法を準用して行った。対象者は下腿近位 1/3 にストラップにて傾斜計を固定した。静止立位時の値を 0 度とし、その後、計測肢の膝、股関節を屈曲していき、対象者の踵部が床面より離れない範囲の下腿傾斜角度を計測した。この際、足部は矢状面に平行に向け、膝関節屈曲方向も足部と同方向とした。また、非計測肢は空中に保持するか、計測肢位を保つため足尖のみ床面に接地した。

2-7-3. Leg heel 角

Leg heel 角の計測は Woodford-Rogers ら(38)の方法を準用して行った。下腿 1/3 と踵骨をそれぞれ縦二等分した線のなす角を Leg heel 角とし、立位、距骨下関節中間位にてその角度計測を行った。二等分線は、下腿は下腿三頭筋の筋腹、踵骨は踵骨自体を触診することにより定めた。

2-7-4.舟状骨降下率

本研究では Brody ら(37)の方法を準用して行った。距骨下関節中間位、座位にて舟状骨結節と床面との距離を計測した。距骨下関節中間位は距骨頭を触診し、その内外側が同程度触診できる位置とした。またこの時タビスケールを用いて足長の計測も行った。その後、静止立位をとり、同様に舟状骨結節と床面との距離を計測し、座位時と同様に足長の測定を行った。座位時、静止立位時ともに足長で標準化を行い、座位時と静止立位時の差を測定値とした。

3.統計処理

内反テスト、前方引き出しテスト 2 手技陽性群、内反ストレステストのみ陽性群、前方引き出しテストのみ陽性群、内反ストレステスト、前方引き出しテスト 2 手技陰性群の 4 群に分け、ジャンプテスト、静的因子及びバランステストの結果についてそれぞれの各項目において一元配置分散分析を行い、有意差の認められたものに対して Bonferroni の事後検定を行った。いずれも有意水準は 5%未満とした。

4.結果

アンケートの結果、捻挫受傷経験があったのは 61 人 110 足であり、治療による固定などの処置を受けたのは 35 人 32 足であった。またリハビリテーション、及びバランストレーニングの経験があるのは 51 人であった。捻挫受傷経験のある 110 足を解析対象とし、怪我で連続ジャンプテストに参加できなかった 4 人を除いた 102 足を連続ジャンプの解析対象とした。整形外科医による徒手検査の結果、2 手技陽性(Laxity group:L)は 56 足、内反陽性(Inversion laxity group:I.L)は 13 足、前方陽性(Anterior laxity group:A.L)は 26 足、2 手技陰性(Non-laxity group:N.L)は 15 足であった。各群の FADISport の評価値を比較したところ、各群間で有意な差は見られなかった(Table2-2.)。連続ジャンプテストを行った 102 足のうち、動作解析のために肩峰に貼付したマーカーが確認できず解析できなかったものが 8 足あったため、股関節屈曲変位量に関しては、2 手技陽性群が 46 足、内反陽性群は 13 足、前方陽性群は 22 足、2 手技陰性群は 13 足であった。膝関節外反変位量、股関節屈曲変位量、膝関節屈曲変位量、足関節背変位量を Table2-3 に示した。4 群間で変位量を比較したところ、膝関節外反変位量において、前方陽性群(11.4 ± 5.1)の外反変位量が内反陽性群(6.2 ± 5.2)の外反変位量よりも有意に高い値を示した($p < 0.05$)。また膝関節屈曲変位量において、内反陽性群(43.1 ± 9.2)の膝関節屈曲変位量が 2 手技陽性群(49.3 ± 6.7)の膝関節屈曲変位量よりも有意に小さな値を示した($p < 0.05$)。股関節屈曲変位量及び足関節背屈変位量に有意な差は認められなかった。

Table2-1.Number of subjects which each group

	L	I.L	A.L	N.L	Total
Total	56	13	26	15	110
jump test	51	13	25	13	102
hip flex.	46	13	22	13	94

L:Laxity group,I.L:Inversion laxity group,A.L: Anterior laxity group,N.LNon-laxity group

Table2-2.Mean $\pm$ SD values of FADI Sport Score

	L	I.L	A.L	N.L	Total
FADI Sport(%)	95.7 $\pm$ 14.8	100	91.1 $\pm$ 27.7	88.3 $\pm$ 23.8	94.1 $\pm$ 19.3

FADI Sport scores are recorded as a percentage of 32 points.

L:Laxity group,I.L:Inversion laxity group,A.L: Anterior laxity group,N.LNon-laxity group

Table2-3.Means $\pm$ SD values of 2D analysis

	L	I.L	A.L	N.L	Total
Knee valgus(deg)	8.5 $\pm$ 4.8	6.2 $\pm$ 5.2	11.4 $\pm$ 5.1	8.4 $\pm$ 4.4	8.7 $\pm$ 5.4
Hip flex.(deg)	25.5 $\pm$ 6.5	21.4 $\pm$ 6.1	24.2 $\pm$ 7.6	21.3 $\pm$ 7.2	24.3 $\pm$ 7.4
Knee flex.(deg)	49.3 $\pm$ 6.7	43.1 $\pm$ 9.2	46.5 $\pm$ 7.5	45.1 $\pm$ 5.2	47.4 $\pm$ 7.2
Ankle D.F.(deg)	19.6 $\pm$ 6.3	18.0 $\pm$ 7.0	20.3 $\pm$ 5.4	19.6 $\pm$ 4.5	19.6 $\pm$ 5.9

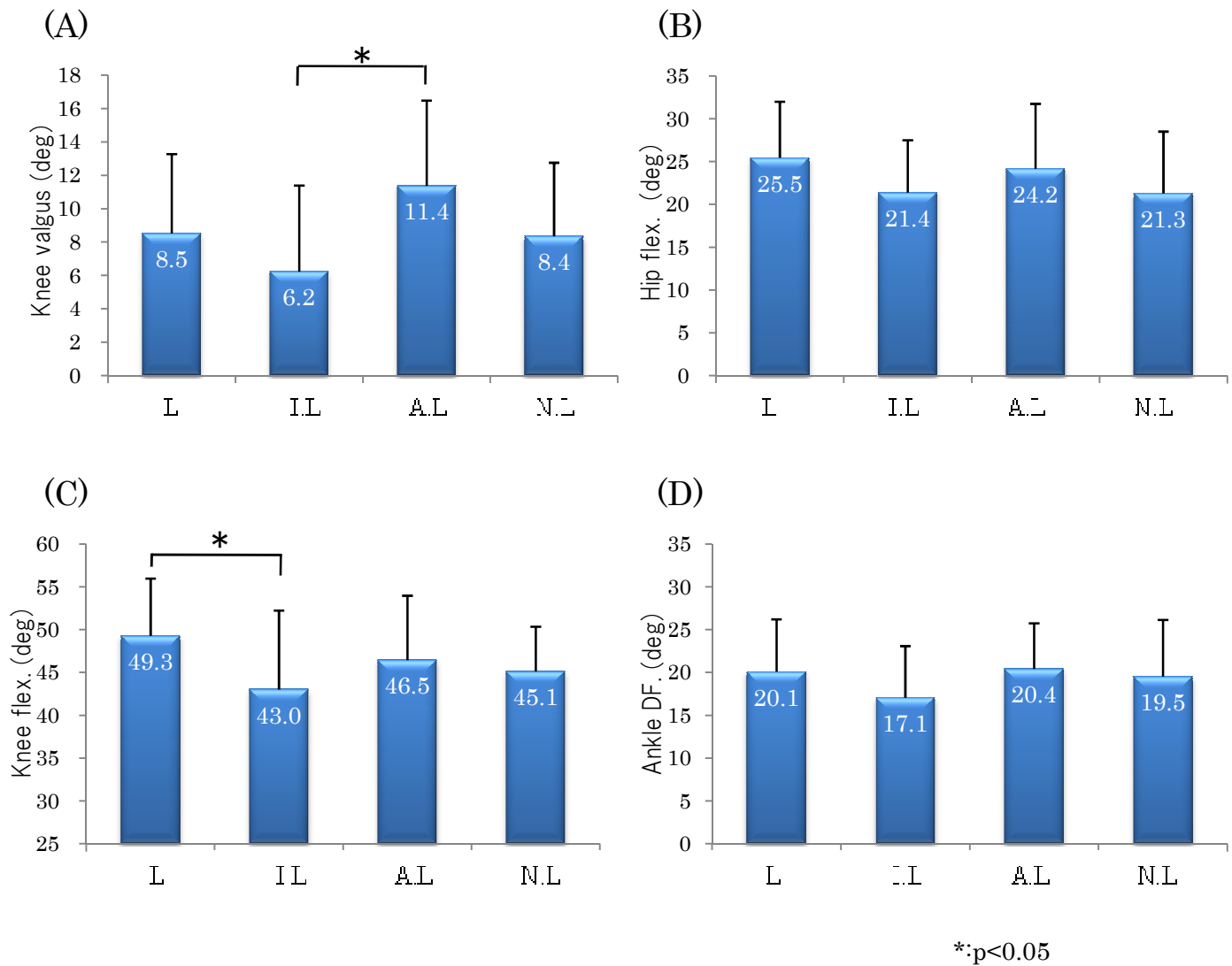


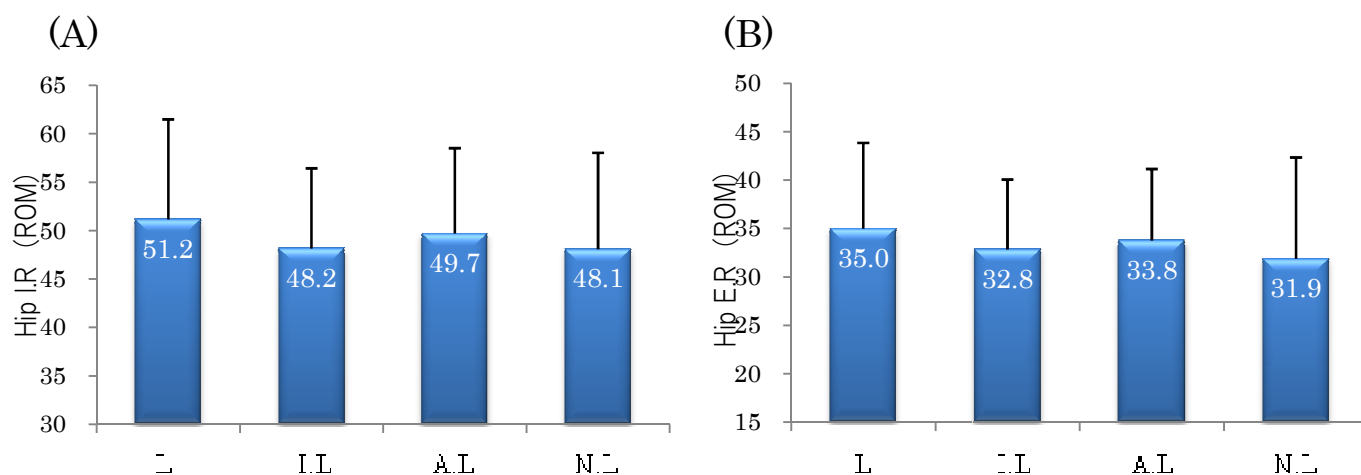
Fig.2-5. Mean values of each group (A) peak knee valgus angle, (B) peak hip flexion angle, (C) peak knee flexion angle, (D) peak ankle dorsal flexion
L:Laxity group, I.L:Inversion laxity group, A.L: Anterior laxity group, N.L Non-laxity group

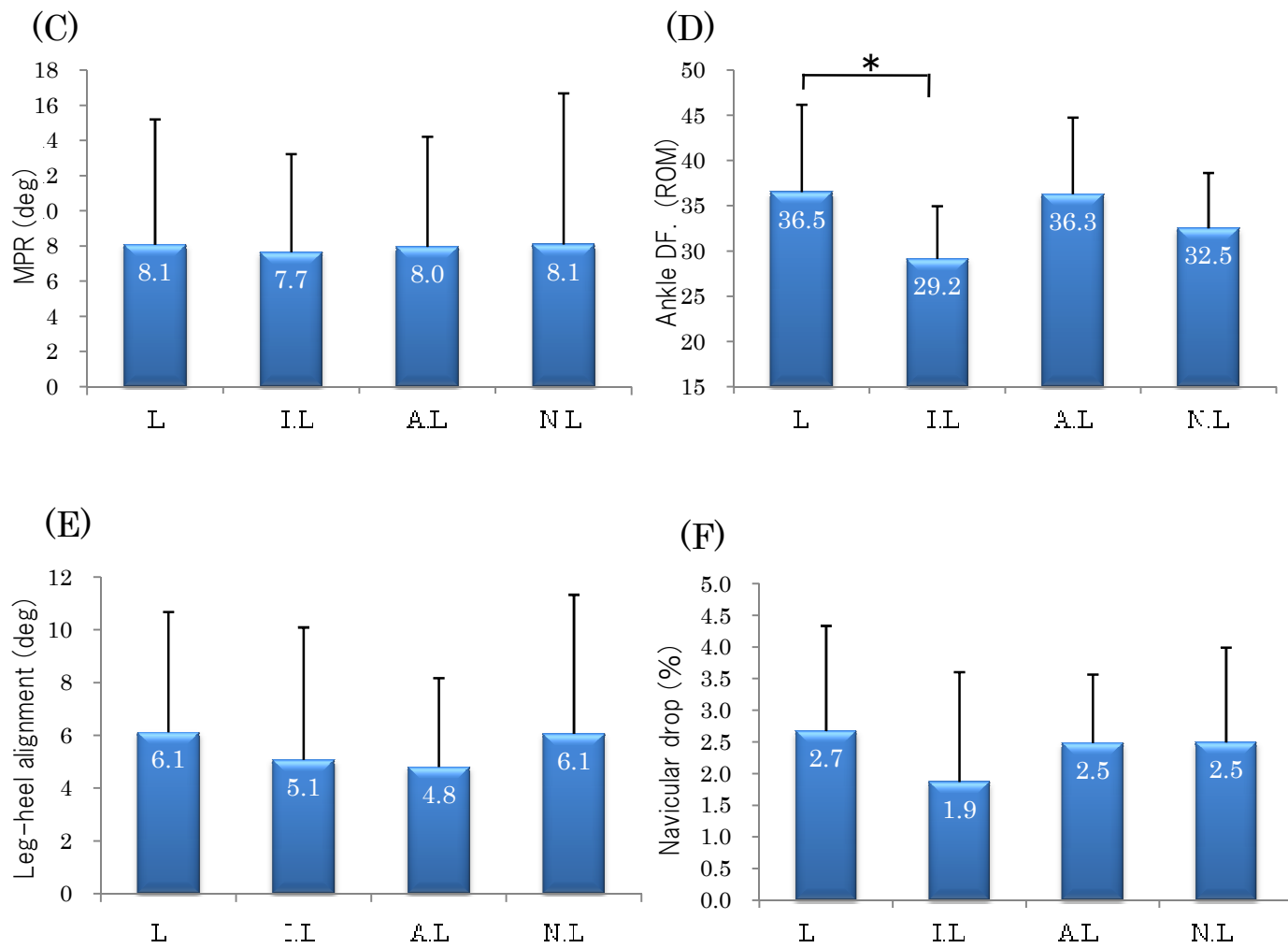
MAI の下肢アライメント、下肢特性の結果を Table2-4 に示した。内反陽性群の足関節背屈可動域(29.2 ± 5.8)が、2 手技陽性(36.5 ± 9.7)に比べ有意に低い値を示した($p < 0.05$)。それ以外の項目においては 4 群間で有意な差は見られなかった。

Table2-4.Means $\pm$ SD values of static alignment

	L	I.L	A.L	N.L	Total
I.R.(ROM)	51.2 ± 10.3	48.2 ± 8.3	49.7 ± 8.8	48.1 ± 10.0	50.0 ± 9.7
E.R.(ROM)	35.0 ± 8.9	32.9 ± 7.2	33.8 ± 7.4	31.9 ± 10.5	34.0 ± 8.6
MPR(deg)	8.1 ± 7.1	7.7 ± 5.6	8.0 ± 6.3	8.1 ± 8.6	8.0 ± 6.9
Ankle D.F.(ROM)	36.5 ± 9.7	29.2 ± 5.8	36.3 ± 8.5	32.5 ± 6.1	35.1 ± 8.9
Leg-heel alignment(deg)	6.1 ± 4.6	5.1 ± 5.0	4.8 ± 3.4	6.1 ± 5.3	5.7 ± 4.5
Navitcural drop(%)	2.7 ± 1.7	1.9 ± 1.7	2.5 ± 1.1	2.5 ± 1.5	2.5 ± 1.5

L:Laxity group,I.L:Inversion laxity group,A.L: Anterior laxity group,N.LNon-laxity group





*:p<0.05

Fig.2-6 Mean values of each group (A) hip internal rotation,(B) hip external rotation (C) mid-point of hip rotation,(D) ankle dorsal flexion (E) leg-heel alignment,(G) navicular drop

L:Laxity group,I.L:Inversion laxity group,A.L: Anterior laxity group,N.LNon-laxity group

MAI の SEBT の結果を Table2-5 に示した。各方向、Composite とも群間で有意な差は見られなかった。

Table2-5.Means $\pm$ SD values of SEBT

	L	I.L	A.L	N.L	Total
Anterior	74.3 $\pm$ 5.6	71.8 $\pm$ 6.5	73.4 $\pm$ 4.7	70.2 $\pm$ 6.3	73.2 $\pm$ 5.7
Posteromedial	111.1 $\pm$ 7.6	114.2 $\pm$ 7.3	110.2 $\pm$ 7.0	109.4 $\pm$ 6.1	111.0 $\pm$ 7.3
Posterolateral	111.5 $\pm$ 9.3	112.5 $\pm$ 7.0	109.1 $\pm$ 7.9	106.4 $\pm$ 6.2	110.4 $\pm$ 8.5
Composite	99.0 $\pm$ 6.3	99.5 $\pm$ 4.8	97.5 $\pm$ 5.4	95.3 $\pm$ 4.6	98.2 $\pm$ 5.8

L:Laxity group,I.L:Inversion laxity group,A.L: Anterior laxity group,N.LNon-laxity group

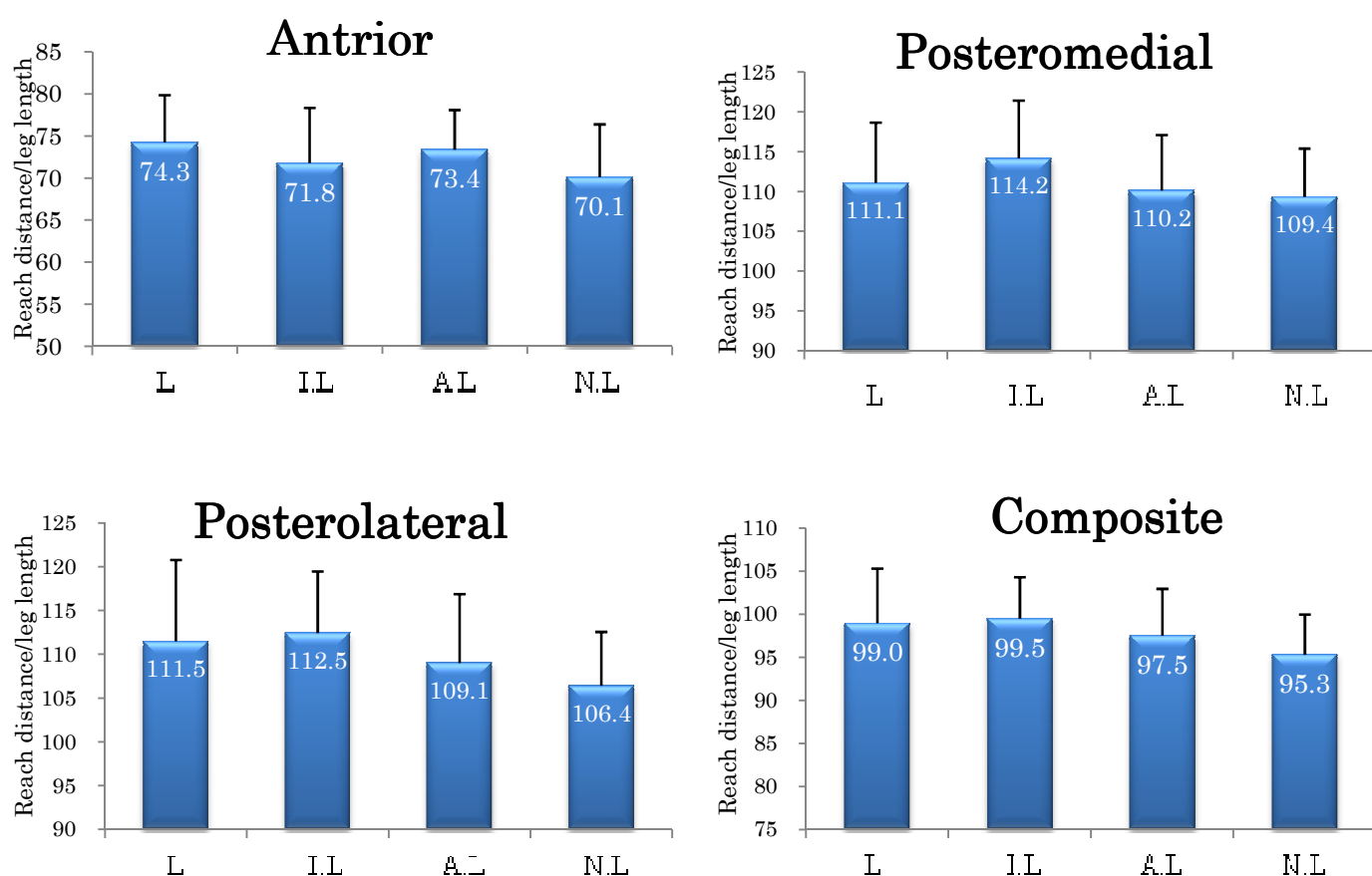


Fig.2-7.Mean values of each group(A)Anterior reaching distance/leg length (B)Posteromedial reaching distance/leg length,(C)Posterolateral reaching distance/leg length(D)Composite

L:Laxity group,I.L:Inversion laxity group,A.L: Anterior laxity group,N.LNon-laxity group

5. 考察

足関節捻挫は頻発する急性外傷であり、その後 CAI が残存することが少なくない。その為、近年 CAI を抱えるものの動きに関する研究が行われ、CAI 群は健常群に比べ足関節内反位で着地、歩行することが多いことや、筋活動も健常群と異なることが報告されている。しかしこれらの研究の多くは FAI に着目しており、MAI が足部の運動や動作にどのような影響を及ぼすかはあまり検討されていない。また MAI の特徴は異常な可動性を示すことだが、それによる下肢特性への影響や FAI との関係はあまり検討されていない。そこで本実験では MAI が両脚ジャンプテスト、下肢特性、動的バランス能力、及び FAI に与える影響について明らかにするため実験を行った。

これまで CAI における動作解析では、足関節以外の関節について健常群との間に差はなかったとする報告がみられたが(19,20)、いずれの場合も FAI に着目していたため、MAI が足関節及び膝関節など下肢の他の関節に与える影響についての見解は限られていた(6)。しかし、Cathleen ら(49)が MAI、FAI 及び捻挫後不安定性を残さなかった群の 3 群に分け、歩行など 5 つの動作について比較を行ったところ、足関節において MAI 群は FAI、不安定性を残さなかった群とは異なる動きを示したことを報告しており、FAI であるか MAI であるかにより足関節の運動が異なる可能性があることを示唆している。本実験では MAI を 2 手技陽性、内反陽性、前方陽性、2 手技陰性と細かく分類して検討を行った。その結果、前方陽性群の膝関節外反変位量が内反陽性群よりも有意に高い値を示し、内反陽性群の膝関節屈曲変位量が 2 手技陽性群に比べ小さな値を示した。Cathleen ら(49)は、Drop jump における MAI の足関節最大外反角度は、着地後に大きな値を示したと報告している。一方宮川ら(22)の研究では CAI 群は片脚着地の接地後早い時間に第 4 中足骨、第 5 中足骨及び踵外側において健常群よりも大きな圧力を示すことを報告しており、これらの先行研究から、MAI を抱えている人は、着地の際、外側荷重で着地するが、その後足部を外かえししていると推測される。足部の外反は、運動連鎖により下腿の内旋、及び膝関節の外反を引き起こすと考えられ、本実験で前方陽性群が内反陽性群よりも有意に大きい

膝関節外反変位量を示したのは、この運動連鎖によるものと考えられる。また前距腓靭帯と踵腓靭帯では機能や制御する足部の運動が異なることが推測されるが(39,64)、本実験において、前方陽性群の膝関節外反変位量が内反陽性群よりも大きな値を示したことにより、機能不全となっている足関節靭帯の違いが、膝関節の運動にも異なった影響を与える可能性が示唆された。一方膝関節屈曲変位量においては、内反陽性群が両方陽性群と比較し有意に低い値を示した。内反陽性群は足関節背屈可動域においても同様に低い値を示しており、このことから内反陽性群は、背屈制限による着地動作時の下腿前傾の制限が、膝関節の屈曲を抑制したため、屈曲変位量が小さくなったと考えられる。

MAI が下肢アライメント及び下肢特性に与える影響を検討した結果、足関節背屈可動域において内反陽性群が両方陽性より有意に低い値を示したが、他の項目については有意な差は見られなかった。佐藤ら(53)は捻挫受傷後に残存する背屈制限について検討を行い、損傷 **grade II** は **grade I** と比較して背屈可動域の制限がみられる傾向にあり、また同時に撮影した X 線画像から距腿関節裂隙の開大度を測定したところ、**grade II** では最大背屈時に前方の狭小と後方の開大がみられたと報告しており、損傷 **grade** が高い場合、背屈制限をきたしやすい可能性があることを報告している。損傷 **grade** が高い場合、治療のために固定を行うことがある。本実験においても対象者の多くが治療のために固定などを行ったことがあると回答しており、固定時の影響から背屈制限が生じた後、十分な機能回復がなされないまま本実験時まで残存したのではないかと考えられる。特に捻挫はスポーツ現場では頻発する外傷であり、選手から軽視されやすいため、損傷 **grade** が高い両方陽性群に比べ、内反陽性群では治癒後の機能回復が徹底されず、本実験において背屈可動域が他の群より低い値を示したと推測される。

SEBT を用いて MAI のバランス能力を検討した結果、各群に有意な差は見られなかった。先行研究において、FAI 群は健常群に比べ SEBT の値が低いことが報告されている(11,12,13)。バランス能力が低下する理由として、メカノレセプターの損傷による関節固有感覚低下、神経-筋機能などの機能低下が考えられる。しかしバランス能力は足関節の機

能だけではなく、中枢・末梢神経機能、半規管、固有感覚、視覚など異なった情報源からの情報を統合したものであるため、足関節の機能が低下したとしても、リハビリテーションやバランストレーニング、日頃の練習などで補えると考えられる。先行研究においてもリハビリテーションにより SEBT の結果が向上することが報告されている(60)。先行研究では、リハビリテーションやバランストレーニング経験のある者を除いて実験を行っていたが、本実験ではリハビリテーション・バランストレーニング経験者が多数いたため、除外することが出来なかった。また本実験で対象となった大学の選手は、医学的にもサポート体制の整った環境で練習を行っており、靱帯の損傷が比較的激しいと考えられる両方陽性群は、特に受傷後のリハビリテーションを受けていたのではないかと考えられ、そのため全体的に両方陽性群の値が高くなったのではないかと考えられる。同様に FADI Sport に関してもリハビリテーションにより点数が高くなることが報告されており(14)、このため群間で差が出なかったものと考えられる。

靱帯や関節包が損傷を受けたことにより、そこに存在していると考えられるメカノレセプターも損傷されるため(3)、動揺性を生じた MAI 群のバランス能力は、FAI 同様低下するのではないかと考えられたが、本実験からはそのような結果は得られなかった。しかし本実験では従来の研究では除外していたリハビリテーションあるいはバランストレーニング経験者を除外していないため、MAI がバランス能力にどのような影響を及ぼすかは明らかではなく、MAI がバランス能力に与える影響については今後も検討していく必要があると考えられる。

また本実験は整形外科医の徒手による評価であり、主観により評価に差が生じていると考えられるため、MAI の定量的な評価による検討が必要であると考えられる。

結語

二次元動作解析を用いて MAI が連続両脚ジャンプに与える影響を検討したところ

- ・ 膝関節外反変位量において前方陽性群が内反陽性群より有意に高い値を示した。
- ・ 膝関節屈曲変位量において内反陽性群が 2 手技とも陽性群よりも有意に低い値を示した。

MAI が下肢機能に及ぼす影響を検討したところ

- ・ 足関節背屈可動域において内反陽性群が 2 手技とも陽性群より有意に低い値を示した。

MAI がバランス能力に与える影響を SEBT を用いて検討したところ

- ・ 群間で有意な差は見られなかった。

第三章

足関節のメカニカルな不安定性の定量的評価方法の検討

1.背景

実験1の結果から MAI が連続ジャンプテストにおける膝関節変位量に影響を与えると考えられた。FAI については主観的な不安定性を訴えることからアンケートによる評価が可能であり、また、項目ごとに点数化されたアンケートを用いることで定量的に評価することも可能であるのに対し、整形外科医の徒手により行う MAI の評価は、患側と健側の比較による相対的な評価であり、医師間で差が生じる。医師の徒手テストの他に MAI を評価する方法としてX線を用いた方法がある。これは徒手にて最大限に内反、もしくは前方に引き出す方法や、ストレスマシンを用いて一定の荷重をかけ X 線撮影を行い不安定性を評価する方法であり、撮影された画像から距骨傾斜角度、前方引き出し距離または前方引き出し率を求めることで MAI を定量的に評価することが可能になる。しかし、病院など設備が整った場所でしか行えないうえ、パーソナルコンピュータ上での評価になり時間もかかる。また被験者を被爆させてしまう。

そこで本実験では、ストレス X 線撮影で広く用いられているストレス用関節固定器である TelosSE を用いてストレス X 線撮影を行い、得られた画像から距骨傾斜角、及び前方引き出し率と Telos 荷重部の移動距離との関係を明らかにし、X 線を使わずに MAI を定量的に評価する方法を検討することを目的とした。Telos は圧センサーにより荷重を検知していると考えられる。その為、動揺性の少ない対象者の場合は、荷重後早い段階で強い圧を検知し、Telos 移動距離は短くなるのではないかと予想される。

本研究により、対象者を被爆させずに MAI の評価が行えるようになるだけでなく、特別な設備のないスポーツ現場などでも評価できるようになるため、研究の幅が広がり、CAI の問題点がより明らかになっていくのではないかと考えられる。

《実験 2》

2.方法

2-1 対象

女子大学生 10 名 20 足を対象とした。対象者の身体的特性は年齢 23.1 ± 1.9 歳、身長 162.7 ± 7.6 cm、体重 55.7 ± 6.5 kg であった。対象者には本実験の目的、方法を説明し、同意を得た。また本実験は早稲田大学スポーツ科学部の研究倫理委員会の承認を得た。

2-2 実験試技

撮影試技は内反ストレステスト及び前方引き出しテストとした。対象者を撮影台の上に横にさせ、下腿長の遠位 15% の位置にストレス用関節固定器 TelosSE(Telos 社製 : Telos) の荷重パットが、近位 75% の位置に膝クッションが当たるように Telos をセットし、1kp から 10kp までゆっくりと荷重をかけていった。10kp の荷重をかけたところで X 線撮影を行った。1kp を 0 とし、10kp までの加重パット移動距離をデジタルノギスにて測定した。この際、距骨下関節が動かないようにギブスでヒールパットを作成し、対象者の踵に装着した。また両試技ともに足関節 10° 底屈位を保てるように作成した傾斜板を Telos に設置し、バンドを用いて対象者の前足部を固定した。なお本実験で採用した 10kp は Telos を用いたストレス X 線撮影では一般的な荷重である。

- 補足 -

本実験で行ったストレステストにおける Telos 移動距離の測定誤差は、同一験者間は 1mm 以内であり、験者間においても 1mm 以内であった。

2-2-1 内反ストレステスト

対象者は撮影台に背臥位になり Telos に対して下腿が 105 度になるように Telos に足を置き、下腿に対し内側から外側へ 10kp の荷重をかけられた。この時下腿が内旋・外旋しないように注意し、対象者に力を抜くよう指示をした(Fig.3-1)。

2-2-2 前方引き出しテスト

対象者は撮影台に横臥位で膝関節 30 度屈曲位で Telos に足を置き、下腿の前面から 10kp の荷重をかけられた。この時対象者には力を抜くように指示をした(Fig.3-1)。

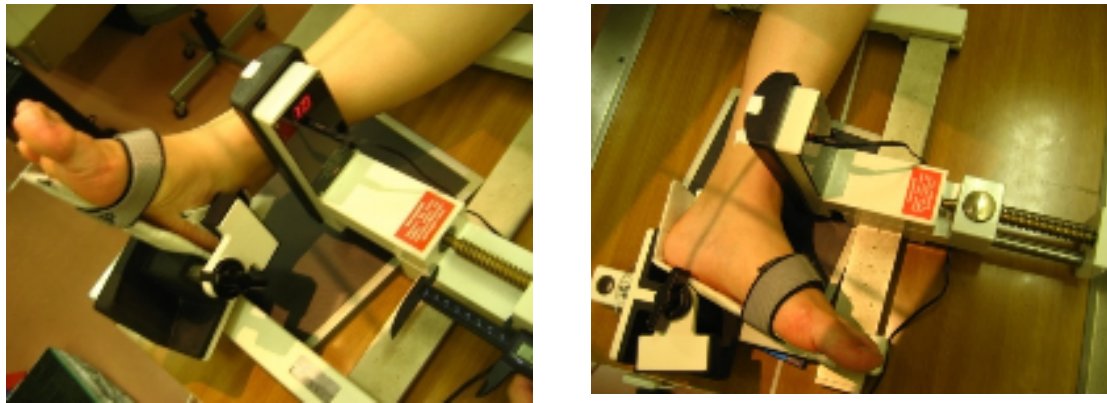


Fig.3-1.Left photographs illustrating the method for inversion stress test and Right photographs illustrating the method for anterior drawer test using Telos

2-3 解析方法

得られた X 線画像をスキャナにてパーソナルコンピュータ内に取り込み、画像解析ソフト CanvasX(ACD Systems of America 社製)にて同一験者が距骨傾斜角、前方引き出し率をそれぞれ 10 回計測し、得られた 10 個の値の平均値を距骨傾斜角、前方引き出し率として算出した。距骨傾斜角は前額面から撮影された X 線画像の脛骨下端関節面と距骨関節面との傾きとした。前方引き出し率は杉本らの方法を採用し(65)、矢状面から撮影された X 線画像の脛骨遠位関節面の後縁を A 点、前縁を B 点、距骨関節面の後縁を C 点として以下の式で求めた。

$$\text{前方引き出し率} = (AC/AB) \times 100 (\%)$$

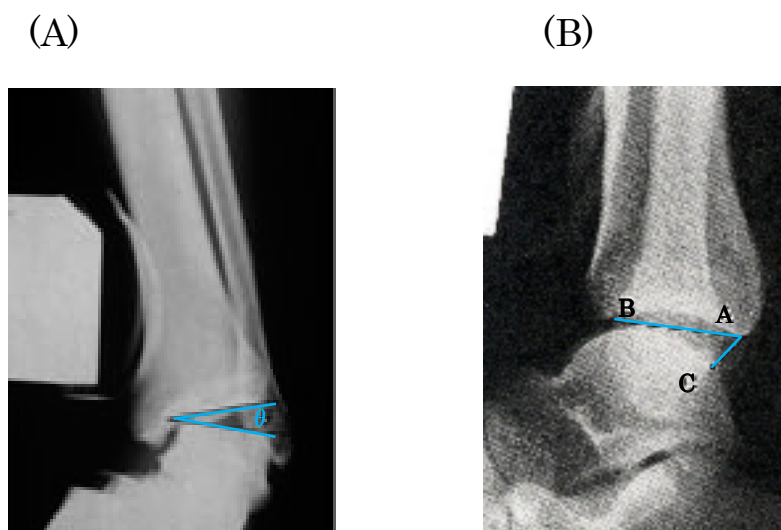


Fig.2-2.The stress roentgenography of the ankle joint.
Methods evaluating mechanical instabilities of the ankle joint with plain stress
roentgenographies.(A),shows the talar tilting angle θ (degree).
(B)shows the rate of anterior displacement; $(AC/AB) \times 100(\%)$

3.統計処理

距骨傾斜角及び前方引き出し率と Telos 荷重部移動距離の関係について単回帰分析を行った。有意水準は 5%未満とした。

4.結果

痛みを訴え 10kp まで荷重できなかった 1 足を除き、10 人 19 足を解析対象とした。Telos 移動距離から距骨傾斜角度、及び前方引き出し率を推定する回帰式を算出した結果、距骨下傾斜角と Telos 移動距離との相関係数は 0.77 と有意な正の相関関係を示し、有意な回帰式： $y=0.313x-6.506$ (y :距骨傾斜角度、 x :Telos 移動距離)が得られた。この回帰式による推定値の標準誤差(SEE)は 2.24deg であった。この式の決定係数は 0.604 であった。また前方引き出しテストにおいても、前方引き出し率と Telos 移動距離との相関係数は 0.533 と有意な正の相関関係を示し、有意な回帰式： $y=0.866x+3.476$ (y :前方引き出し率、 x :Telos 移動量) が得られた。この回帰式による推定標準誤差は 4.95%であり、この式における決定係数は 0.284 であった。

Table3-1. Correlation between Telos translation and Talar tilt angle and Rate of anterior displacement

	r	r ²	Adj.r ²	SEE
talar tilt angle	0.77	0.604*	0.581	2.24
rate of anterior displacement	0.533	0.284*	0.239	4.95

*:p<0.05

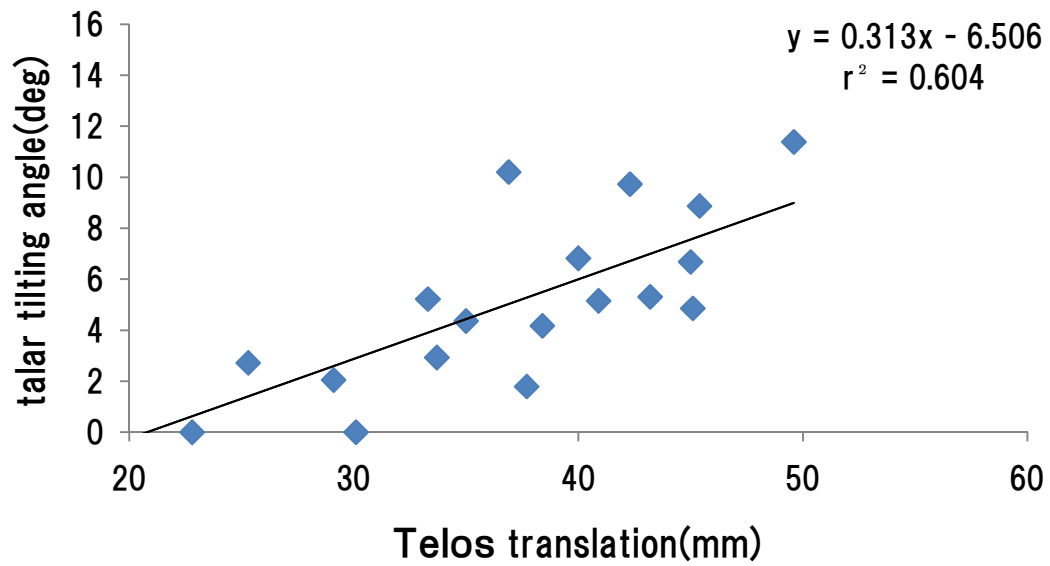


Fig.3-3. Correlation between talar tilting angle and the Telos translation of the inversion stress test

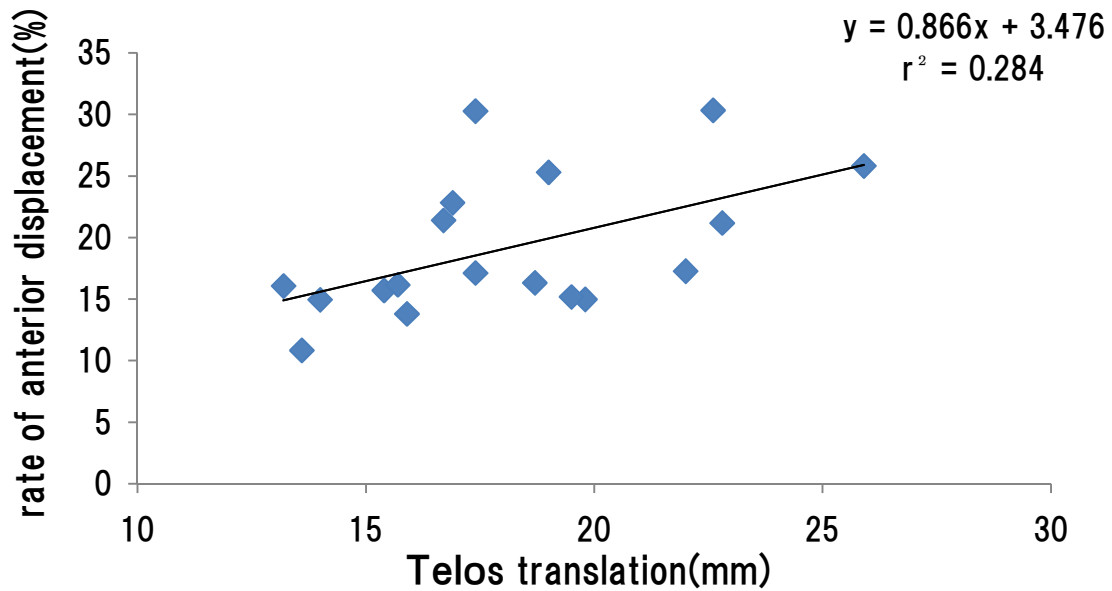


Fig.3-4. Correlation between the rate of anterior displacement and the Telos translation of the anterior drawer test

5. 考察

本実験ではストレス用関節固定器 Telos を用いた内反ストレステスト及び前方引き出しテストを行い、Telos 移動距離から距骨傾斜角、前方引き出し率を求める回帰分析を行った。

Seligson ら(58)は距骨傾斜角 18° までを正常範囲としているが、多くの先行研究において正常範囲はおよそ 10° 未満である。また異常範囲については、Retting らは 10° 以上を不安定性ありとしているが、健足との差で示しているものが多く、その差はおよそ 3° から 10° 以上である(44)。また屍足を用いた実験(43)では、 15N のストレスを掛けた場合、靱帯切断前が 3.7° で ATF のみ切断後が 13.7° 、ATF、CF の両靱帯切断後は 14.4° あった。しかし、同じく屍足を用いて neutral position と 20° 底屈位で験者が end point までストレスをかけ、磁気位置測定装置による測定を行った実験では(46)、靱帯切断前は neutral position の平均値が 13.1° 、 20° 底屈位の平均値 17.4° であり、ATF のみ切断した場合、neutral position の平均値が 14.9° 、 20° 底屈位の平均値 18.6° 、ATF、CF とともに切断した場合は neutral position の平均値が 20.6° 、 20° 底屈位の平均値 24.7° といずれも約 4° の差が生じていることから、底屈角度の違いにより測定範囲による差は生じると考えられる。本実験の測定値は 0° から 11.4° であり、先行研究が示す範囲内の値であることから妥当であると考えられる。

内反ストレステストの評価方法が脛骨下端関節面と距骨関節面との傾き、すなわち距骨傾斜角を測定する方法に限定されているのに対し、前方引き出しテストの評価方法は限定されておらず、脛骨下端関節面後縁からストレス下距骨滑車関節面後端までの最短距離を測定する評価方法、荷重前後で距骨の距離を算出する評価方法、外果後縁と距骨滑車関節面後端までの距離を算出する評価方法など、いくつかの評価方法がある(44)。本実験で採用した杉本の解析方法では、23%から 26%以上を不安定性ありとしている。また杉本が日本人女性の健常足関節に対して行った結果は $16.5 \pm 3.9\%$ であった(45)。本実験では捻挫既往あり群、なし群の区別を行っていないので $19.2 \pm 5.7\%$ という値は妥当ではないかと考

えられる。John ら(47)は膝関節 0° 、 90° 屈曲位、足関節 0° 、 10° 底屈位をそれぞれ組み合わせ、4 パターンの下肢関節角度が前方引き出しテストの結果に与える影響を検討し、足関節が 0° において、膝関節 0° は 90° 屈曲位に比べ有意に大きな値を示し、膝関節 0° において、足関節 10° 底屈位は 0° に比べ有意に大きな値を示したことを報告している。また Becker ら(48)は麻酔の有無による前方引き出しテストの正確性を検討し、麻酔下の方が正確性が増すことを示唆している。これは膝関節を屈曲あるいは足関節を底屈させることにより、膝関節及び足関節をまたぐ腓腹筋が弛緩するためだと考えられ、これらの結果は前方引き出しテストが下肢関節角度の影響を強く受けることだけでなく腓腹筋の弛緩の程度が結果に反映されていることを示唆していると考えられる。本実験では膝関節 30° 屈曲位で、足関節は 10° 底屈位になるように固定を行ったため、関節角度による測定誤差は低いと考えられるが、麻酔を使用せず対象者に対して力を抜く指示のみで測定を行ったことが、内反ストレステストから得た回帰式の決定係数 0.60 に比べ、前方引き出しテストから得た回帰式の決定係数は 0.28 と低い値を示した要因としてあるのではないかと考えられる。

先述したように、膝関節屈曲角度及び足関節底屈角度や麻酔の有無、かけるストレスの強さ、解析方法などにより得られる値は異なるため、今後測定誤差の少ない測定方法や解析方法を検討していく必要があるが、本実験により X 線を使わずに MAI を定量的に評価できる可能性が示唆されたことで、現場での簡易的な評価方法の検討や今後の CAI、MAI の評価や研究の一助となることを期待したい。

結語

ストレスマシン Telos を用いて内反ストレステスト及び前方引き出しテストを行い、Telos 移動距離から距骨傾斜角、前方引き出し率を求める回帰分析を行った。

- ・ Telos 移動距離から距骨傾斜角を求める有意な回帰式を得た。
- ・ Telos 移動距離から前方引き出し率を求める有意な回帰式を得た。
- ・ Telos を用いることで X 線を使わずに MAI を定量的に評価できる可能性が示唆された。

第四章

足関節のメカニカルな不安定性と下肢の動的アライメント、 バランス能力、機能的不安定性、及び下肢特性との関係 ーメカニカルな不安定性の定量的評価を用いてー

1.背景

これまでの先行研究では MAI の評価を内反ストレステスト、前方引き出しテストを行い、不安定性の有無によってのみ群分けを行っているが、徒手で行う場合は験者による差が生じる。ストレス X 線を用いて定量的に MAI を評価することも可能であるが、研究によりかけるストレスの大きさや足関節底屈の程度、解析方法が異なるため不安定群と健常群の境界は諸家により様々である。また、対象者を被爆させてしまううえ、病院など設備が整った施設が必要となるため、多数の対象者の測定には不向きである。このような背景から、MAI の程度が動作や足関節機能に与える影響について検討した研究は限られている。本研究の実験 1 においても、連続ジャンプテストの膝関節外反変位量において、前方陽性群が内反陽性群に比べ有意に大きな値を示し、膝関節屈曲変位量において、内反陽性群が 2 手技陽性群に比べ有意に小さな値を示したが、MAI の程度が関節変位量にどのような影響を与えるかは明らかになっていない。

本研究では、実験 2 において Telos 移動距離とストレス X 線画像から有意な回帰式を得ており、このことから Telos を用いた MAI の定量的な評価はある程度可能であると考えられた。実験 1 では前方引き出しテストのみ陽性群の膝関節外反変位量が高い値を示しており、この値は MAI の程度と相関関係にあるのではないかと推測される。そこで実験 3 では、MAI の程度と実験 1 の連続ジャンプテスト、バランス能力、及び静的因子とがどのような関係にあるかを明らかにし、FAI との関係を再度検討することを目的とする。

《実験 3》

2.方法

2-1.対象

実験 1 の対象者のうち、44 名 88 足とした。身体的特徴は、年齢 19.9 ± 1.3 歳、身長 168.3 ± 7.0 cm、体重 60.8 ± 6.3 kg であった。対象者には本実験の目的、方法を説明し、同意を得た。また本実験は早稲田大学スポーツ科学部の研究倫理委員会の承認を得た。

2-2.足関節のメカニカルな不安定性

Telos を用いて内反ストレステスト、前方引き出しテストを行った。対象者は実験 2 で用いたギプス製のヒールパットを踵に装着し、足関節 10° 底屈位となるように傾斜板に足を置いた。内果上 5 cm の部分を荷重されるように調節し、下肢の内側から荷重をかける内反ストレステストと、下腿前方から荷重される前方引き出しテストを行い、その時の Telos 荷重部移動距離を不安定値として記録した。

2-2.実験試技

実験 1 で記録された連続ジャンプテストの結果を用いた。

2-3.バランステスト

実験 1 で記録された SEBT の結果を用いた。

2-4.足関節の機能的不安定性

足関節の機能的不安定性の評価には Karlsson ら(31)が作成したアンケートを用いた。(Table4-1)。総合ポイント 91 - 100、81 - 90、61 - 80、60 以下の 4 段階で評価される。

2-5.下肢特性

実験 1 で測定した股関節内・外旋可動域、Q-angle、leg-heel alignment、舟状骨降下率、背屈可動域の測定値を用いた。

Table4-1 The list of evaluating for ankle functional instability

	Scoring Scal	rt.	lt.
pain	none	20	20
	in exercise	15	15
	walking on rough road	10	10
	waking on flat road	5	5
	always severe pain	0	0
swelling	none	10	10
	after exercise	5	5
	always	0	0
sensation for instability	none	25	25
	1-2time on exercise in a year	20	20
	1-2time on exercise in month	15	15
	walking on rough road	10	10
	walking on flat road	5	5
	always	0	0
difficulty of motion	none	5	5
	moderate in the morning or exercise	2	2
	always severe	0	0
up and down staire	no problem	10	10
	axiety cause of instability	5	5
	impossible	0	0
running	no problem	10	10
	feel anxiety because of instability	5	5
	impossible	0	0
ADL	no problem	15	15
	no problem except in sports activities	10	10
	difficulty in playing some sports activities	5	5
	difficulty in ADL	0	0
need of some suport	no need	5	5
	need for sports activities	2	2
	need for ADL	0	0

Total point 91-100:Excellent,81-90:Good,61-80:Fair,60 and under:Poor

3.統計処理

実験 1 で整形外科医による徒手テストにより評価された陽性群と陰性群の Telos 移動距離について、対応のない t 検定を行った。MAI の程度と連続ジャンプテスト時下肢関節変位量、SEBT、FAI、下肢特性との関係については、内反スレステストの Telos 移動距離、前方引き出しテストの Telos 移動距離のそれぞれについてピアソンの相関係数を用いて検定を行った。

4.結果

Telos による MAI の評価を行った選手のうち、捻挫受傷経験のあった 70 足を解析対象とした。内反ストレステストの Telos 移動距離の平均は $30.4(\pm 5.8)\text{mm}$ であった。前方引き出しテストの Telos 移動距離の平均は $13.3(\pm 3.1)\text{mm}$ であった。実験 1 で整形外科医の徒手テストにより分けられた陽性群の Telos 移動距離平均値と、陰性群の Telos 移動距離平均値を比較したところ、内反陽性群(31.3 ± 5.6)が内反陰性群(28.4 ± 5.7)に比べ有意に高い値を示し($p < 0.05$)、前方引き出しテスト陽性群(13.7 ± 3.3)においても陰性群(12.0 ± 2.3)と比べ有意に高い値を示した($p < 0.05$)。

Table4-1. Measurements of Telos translation of Inversion stress test and Anterior drawer test

	max	min	Total (n=70)	jump test (n=65)
Inversion stress test (mm)	43.1	22.2	30.4 ± 5.8	30.9 ± 5.5
Anterior drawer test (mm)	20.3	8	13.2 ± 3.1	13.2 ± 3.0

Values are mean $\pm$ SD.

Table4-2. Comparisons of mean values of Telos translation of Inversion stress test and Anterior drawer test and laxity group and non-laxity group about Manual stress test

	Manual stress test		p-Value
	Laxity	Non-laxity	
Inversion stress test (mm)	31.3 ± 5.6	28.4 ± 5.7	0.048*
Anterior drawer test (mm)	13.7 ± 3.3	12.0 ± 2.3	0.041*

Values are mean $\pm$ SD.

*: $p < 0.05$

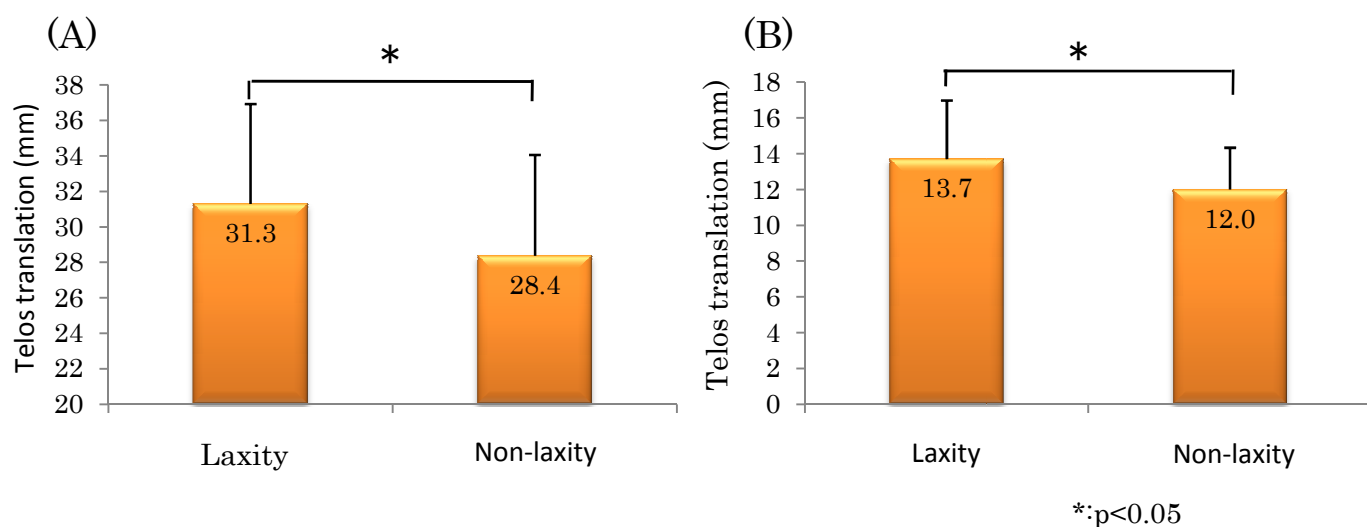


Fig.4-1.Comparisons between Laxity and Non-laxity, (A) Inversion stress test, (B) Anterior drawer test

88 足のうち、捻挫受傷経験があり、連続ジャンプテストに参加した 65 足を解析対象とした。Table4-3 に Telos 移動距離と連続ジャンプテストの結果を示した。すべての関節変位量において有意な相関関係は見られなかったが、膝関節外反変位量において、内反ストレステストとの間に負の相関傾向が見られた($p=0.055$)。また足関節背屈変位量において、前方引き出しテストとの間に正の相関傾向がみられた($p=0.063$)。

Table4-3.Correlation between Telos translation of Inversion stress test and Anterior drawer test and 2D analysis

	Telos translation (mm)			
	Inversion stress test		Anterior drawer test	
	r - values	p - values	r - values	p - values
Knee valgus(deg)	-0.243	0.055	-0.053	0.677
Hip flex.(deg)	0.115	0.38	0.065	0.613
Knee flex.(deg)	0.037	0.772	0.172	0.171
Ankle D.F.(deg)	-0.099	0.44	0.232	0.063

内反不安定性

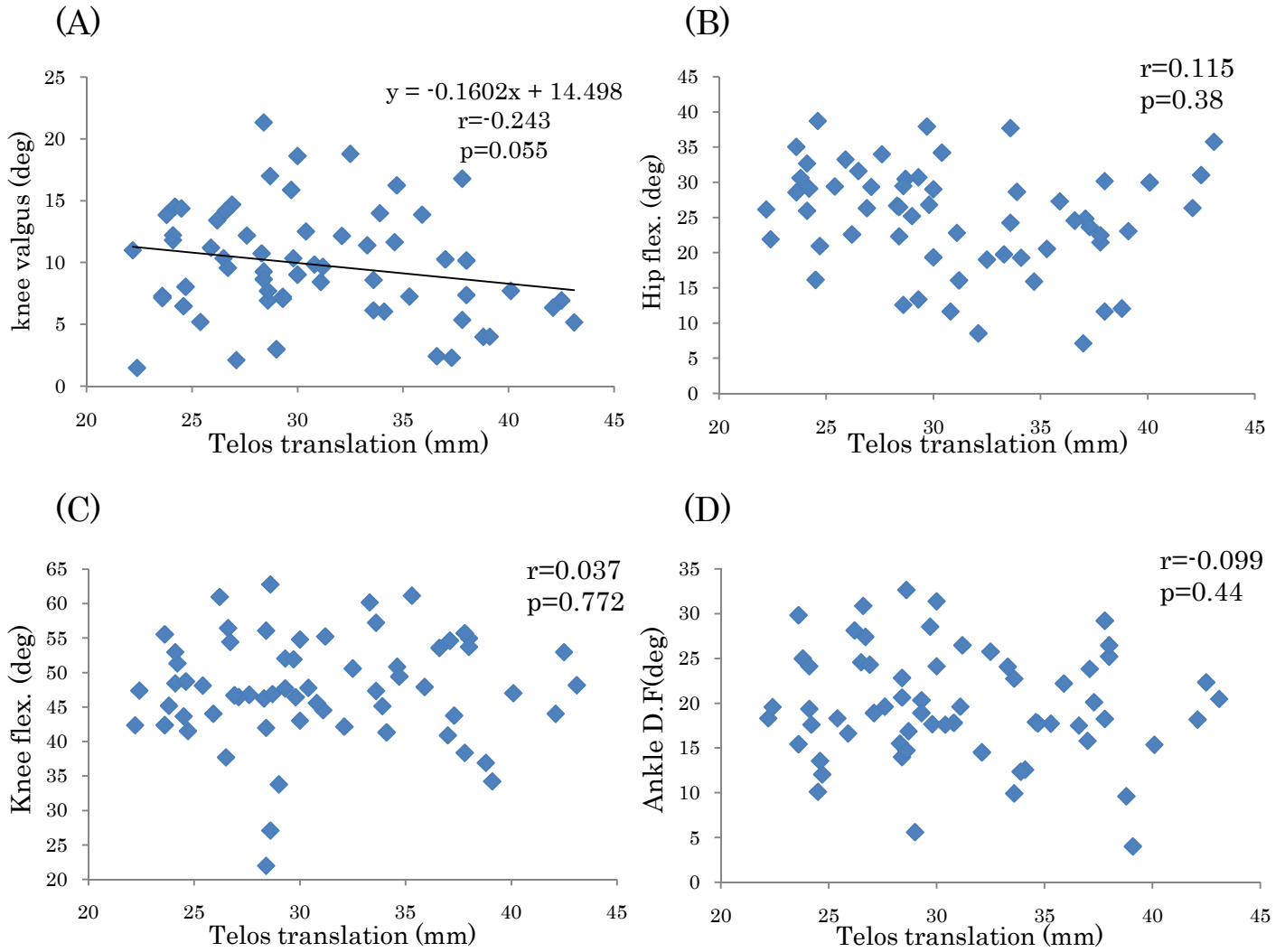


Fig.4-2 Correlation Telos translation of Inversion stress between 2D analysis, (A) knee valgus angle, (B) hip flexion angle, (C) knee flexion angle, (D) ankle dorsal flexion angle

前方不安定性

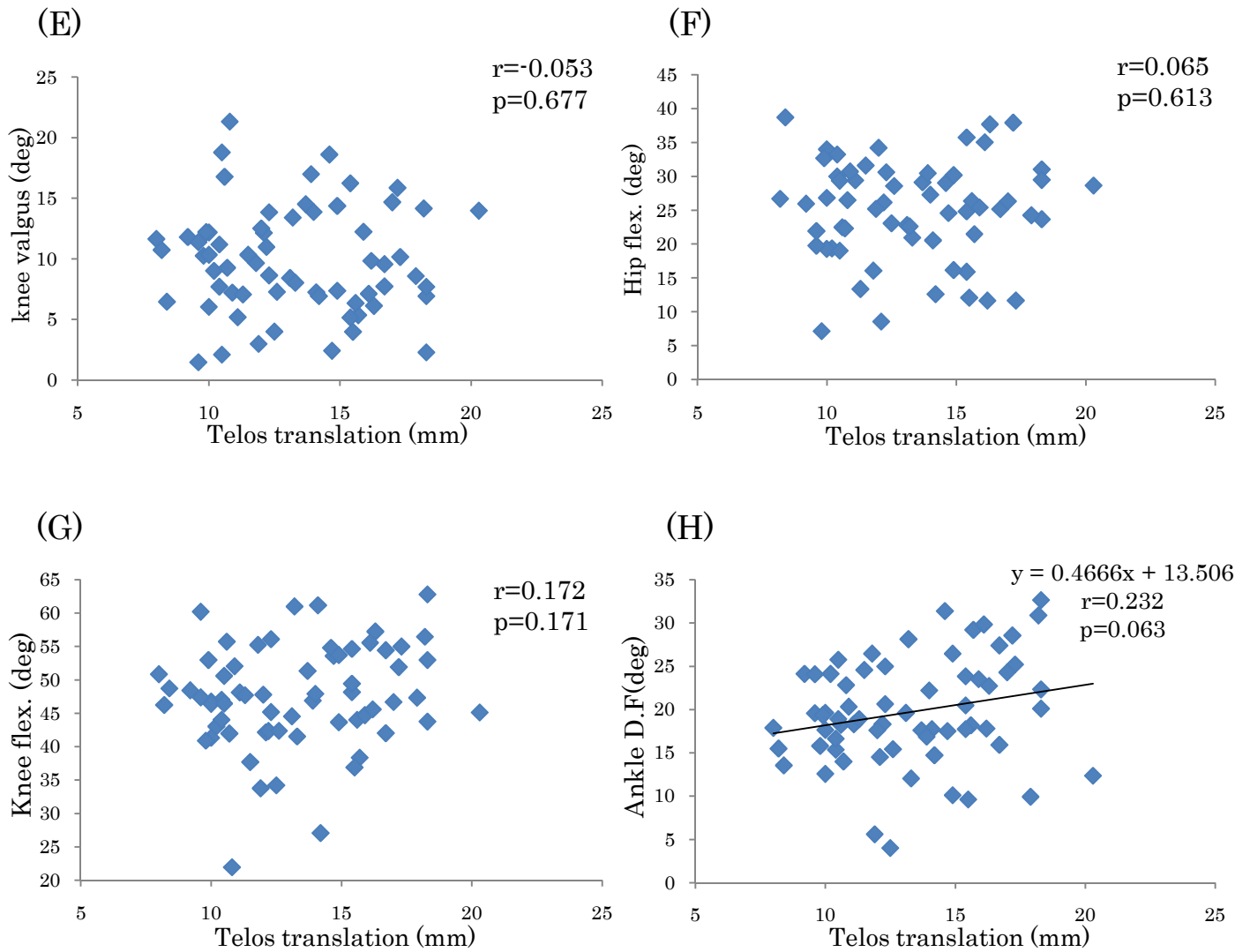


Fig.4-3. Correlation Telos translation of Anterior drawer test between 2D analysis, (E) knee valgus angle, (F) hip flexion angle, (G) knee flexion angle, (H) ankle dorsal flexion angle

Table4-4 に Telos 移動距離と SEBT の結果を示した。Anterior において、内反ストレステストとの間に有意な負の相関関係を示し($p<0.05$)、Posteromedial($p=0.08$)と Compsite($p=0.05$)の間に負の相関傾向を示した。

Table4-4 Correlation between Telos translation of Inversion stress test and Anterior drawer test and SEBT

	Telos translation (mm)			
	Inversion stress test		Anterior drawer test	
	r - values	p - values	r - values	p - values
Anterior	-0.276	0.022*	0.079	0.511
Posteromedial	-0.212	0.08	-0.07	0.564
Poterolateral	-0.118	0.313	-0.211	0.078
Composite	-0.237	0.05	-0.104	0.389

*: $p<0.05$

内反不安定性

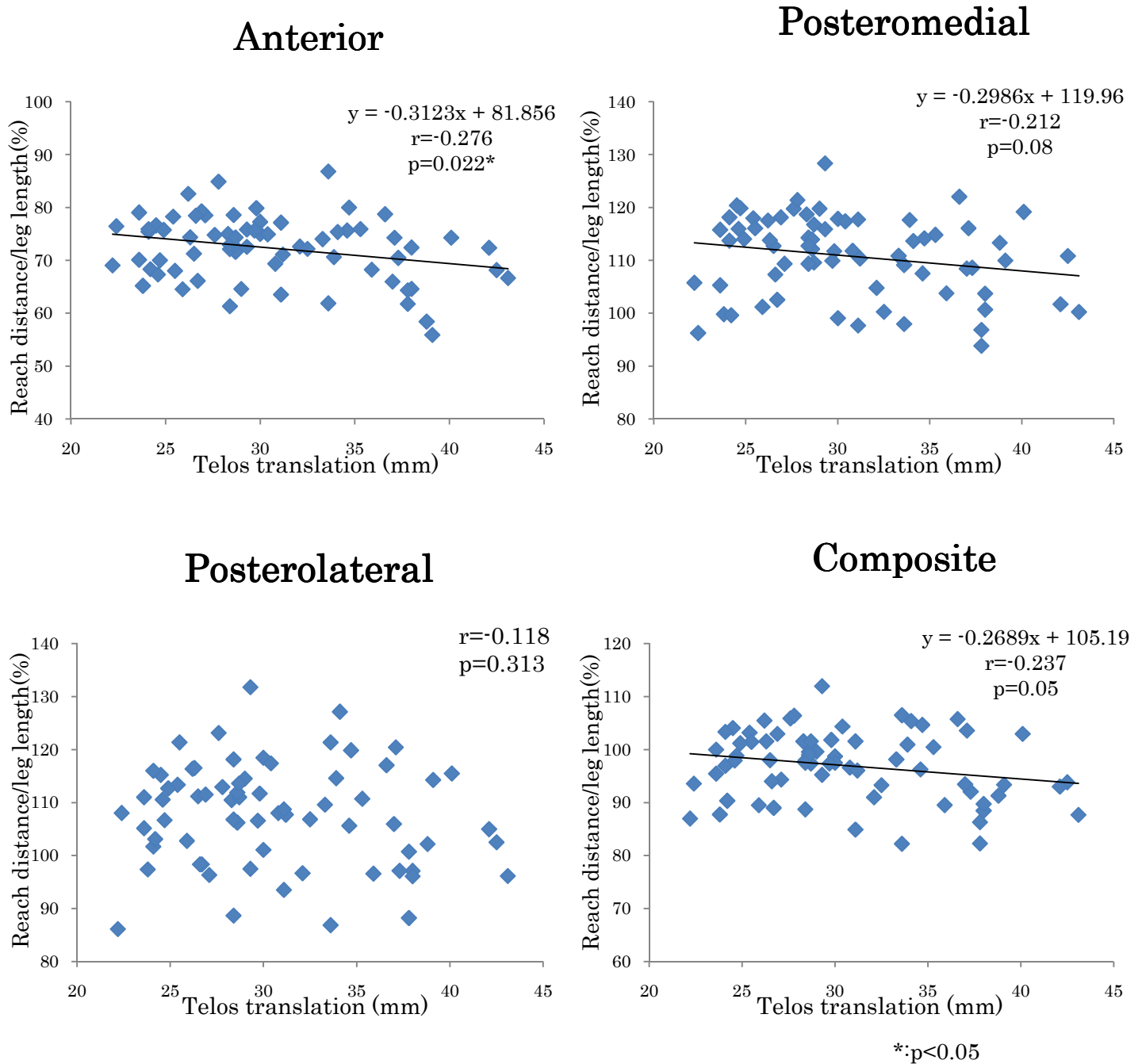


Fig.4-3. Correlation between Telos translation of Inversion stress test and SEBT,
 (A) Anterior reaching distance /leg length (B) Posteromedial reaching distance/leg
 length, (C) Posterolateral reaching distance/leg length (D) Composite

前方不安定性

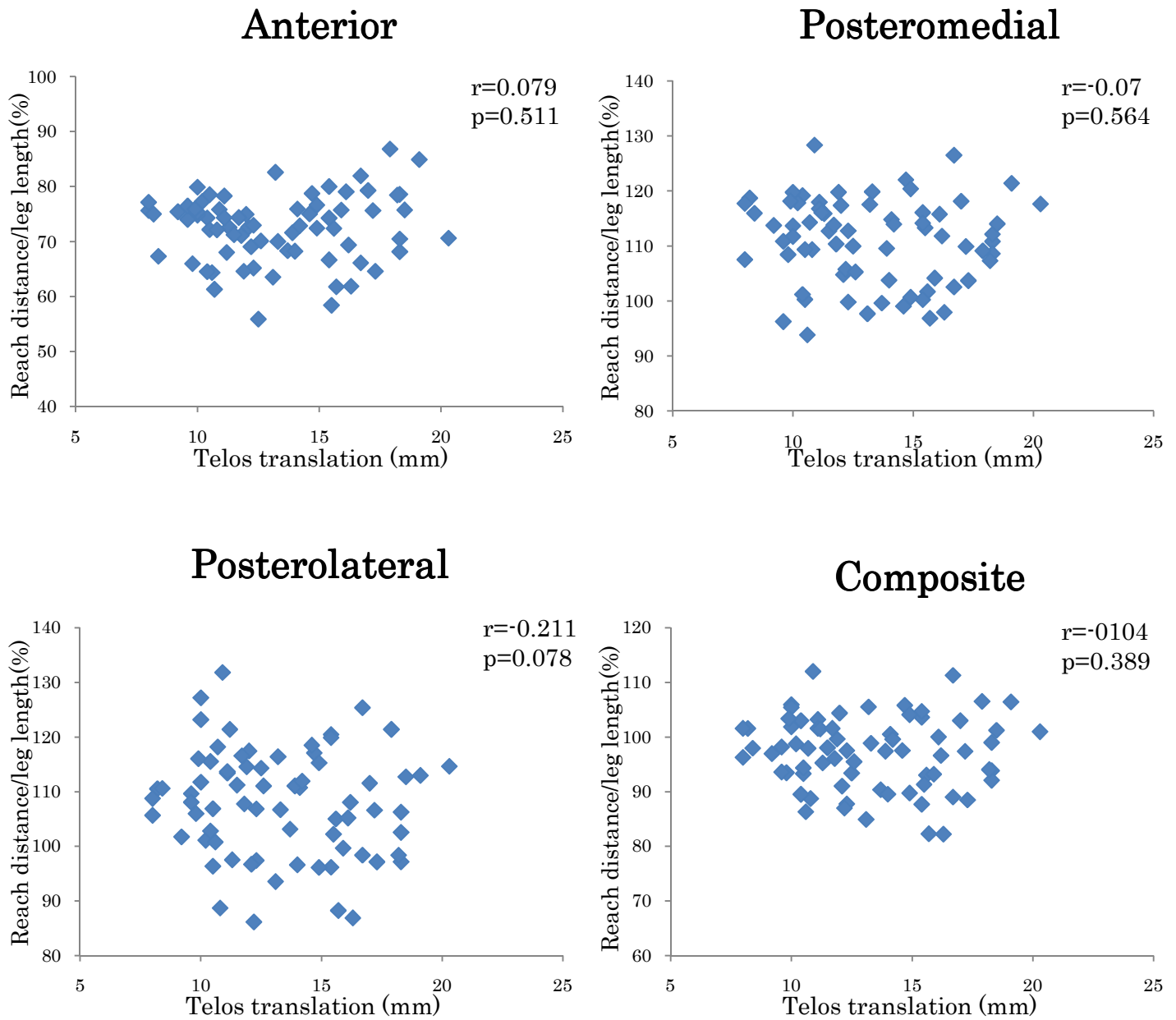


Fig.4-3. Correlation between Telos translation of Anterior drawer test and SEBT,
 (A) Anterior reaching distance /leg length (B) Posteromedial reaching distance/leg
 length, (C) Posterolateral reaching distance/leg length (D) Composite

アンケートの結果、Excellent は 51 足、Good は 16 足、Fair は 16 足、Poor は 3 足であった。Table4-5 に Telos 移動距離とアンケートの結果を示した。不安定感において、前方引き出しテストとの間に有意な負の相関関係を示した($p<0.05$)。それ以外の項目においては有意な相関関係はみられなかった。

Table4-5. Correlation between Telos translation of Inversion stress test and Anterior drawer test and scoring scale

	Telos translation (mm)			
	Inversion stress test		Anterior drawer test	
	r - values	p - values	r - values	p - values
pain	-0.113	0.367	-0.162	0.191
swelling	-0.011	0.933	0.105	0.4
sensation of instability	-0.18	0.154	-0.255	0.042*
difficulty of motion	-0.022	0.862	-0.189	0.126
up and down stairs	-0.154	0.223	-0.129	0.305
running	-0.105	0.402	0.079	0.525
ADL	-0.001	0.995	0.018	0.884
need of some suport	-0.064	0.625	-0.066	0.614
Total	-0.081	0.52	-0.139	0.261

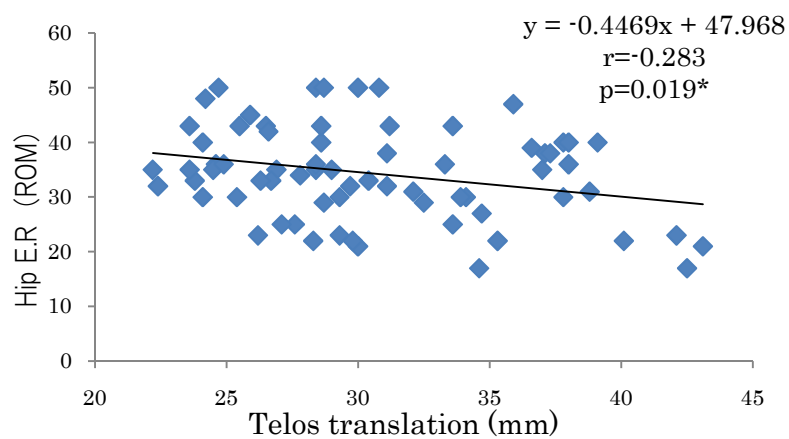
*: $p<0.05$

Table4-6 に Telos 移動距離と下肢特性の結果を示した。股関節外旋可動域において、内反ストレステストとの間に有意な負の相関関係を示した($p<0.05$)。それ以外の項目においては有意な相関関係はみられなかった。

Table4-6. Correlation between Telos translation of Inversion stress test and Anterior drawer test and static alignment.

	Telos translation (mm)			
	Inversion stress test		Anterior drawer test	
	r - values	p - values	r - values	p - values
I.R. (ROM)	0.044	0.719	-0.066	0.586
E.R.(ROM)	-0.283	0.019*	0.153	0.201
MPR(deg)	0.183	0.133	-0.129	0.282
Ankle D.F.(ROM)	0.151	0.216	0.087	0.47
Leg-heel alignemnt(deg)	0.131	0.283	0.151	0.208
Navitcural drop (%)	0.208	0.091	0.006	0.964

*: $p<0.05$



*: $p<0.05$

Fig.4-4. Correlation between Telos translation of Inversion stress test and hip external rotation

5.考察

Telos を用いて MAI の定量的評価を行い、MAI の程度と連続ジャンプテストの下肢関節変位量、バランス能力、下肢特性、及び FAI との関係を検討した。

実験 1 で行った徒手による MAI の評価と本実験の Telos 移動距離の関係を検討したところ、内反ストレステスト、及び前方引き出しテストのいずれにおいても、陽性群の Telos 移動距離が陰性群よりも有意に大きな値を示したことから、Telos 移動距離は対象足の動揺性を徒手検査と同程度反映していると考えられ、MAI の評価方法として妥当であると考えられる。

実験 1 では、前方陽性群の膝関節外反変位量が内反陽性群よりも有意に高い値を示したが、本実験では、内反ストレステストの Telos 移動距離が増加するにつれ、膝外反変位量が減少する傾向がみられたものの、前方引き出しテストにおいては、Telos 移動距離の増加に伴う膝関節外反変位量の増加はみられなかった。同様に、膝関節屈曲変位量、足関節背屈可動域についても実験 1 を反映した結果にはならなかった。これは実験 1 では、2 手技陽性、内反陽性、前方陽性、2 手技陰性の比較であったの対し、本実験では内反動揺性の程度、前方動揺性の程度との関係を検討したためと考えられる。しかし、本実験では内反動揺性が大きいほど関節外反変位量が小さくなる傾向や、前方動揺性が大きいほど足関節背屈変位量が大きくなる傾向がみられ、足関節動揺性の方向だけでなく、動揺性の程度により、他関節の運動に異なった影響を与える可能性が示唆された。

MAI の程度とバランス能力との関係について検討を行ったところ、Anterior において内反ストレステストの Telos 移動距離との間に軽度の負の相関関係を示し、また Posteromedial と Composite においても負の相関傾向がみられ、バランス能力においては、前方動揺性より、内反動揺性の影響を受ける可能が示唆された。しかし、Tricia ら(17)は MAI と SEBT の関係について検討を行い、SEBT と距骨傾斜角、前方引き出し距離の間に有意な相関関係はみられなかったとしており、本実験とは異なった結果を得ている。SEBT はリハビリテーションにより向上することや(60)、疲労などの影響により膝関節角度や股関節角度が

減少し、測定値が減少することが報告されており(13)、足関節以外の因子に影響をうけると考えられるため、今後さらに検討していく必要がある。

MAI の程度と FAI との関係について、実験 1 で用いた FADI Sport よりも項目、配点ともさらに細かく分けて作成されている Karlsson らのアンケートを用いて再度検討を行ったところ、不安感の項目において、前方引き出しテストの Telos 移動距離との間に軽度の負の相関関係を示し、前方動揺性が大きいほど不安感を抱くことが示唆された。しかしその他の項目、及び総合得点との間に有意な相関関係はみられなかった。Karlsson らの研究では距骨傾斜角、前方引き出し距離のどちらにおいてもアンケートの総合得点との間に負の相関があり、機能的な不安定性が強いほどメカニカルな不安定性も大きいという結果を得ていた(31)。しかし、リハビリテーションを行うことで FAI の評価値が向上することが報告されている(14)。このためリハビリテーション、またはバランストレーニング後には MAI と FAI の間に相関関係は成立しないことが推測され、本実験で MAI と FAI の評価として採用した Karlsson らのアンケートとの間に、先行研究と同様の相関関係が見られなかったのもそのためだと考えられる。本結果は、CAI の動作解析を行う際は、FAI だけでなく MAI の評価についても明確に行う必要があることを示していると考えられる。

MAI の程度が静的因子に与える影響を検討したところ、股関節外旋可動域において、内反ストレステストとの間に軽度の相関関係を示した。大城らは全身弛緩性と MAI の関係を検討し、MAI は全身弛緩性によるものではなく、捻挫の既往が MAI の重要な因子であることを報告している(63)。本実験では関節弛緩性テストは行っていないため断定はできないが、内反ストレステストの Telos 移動距離が大きいほど股関節外旋可動域が狭くなるという結果は、大城らの報告同様、本実験の対象足の MAI が全身弛緩性によるものではないことを示唆していると考えられる。

しかし本結果はいずれの相関係数も低く、明らかな傾向が示されたとは言い難い。また前方引き出しテストについては実験 2 で得られた決定係数も低いため、今後は個別の評価を行うことが重要であると考えられる。

結語

Telos を用いて MAI の定量的評価を行い、徒手検査の結果と Telos 移動距離の検討、及び、MAI の程度と連続ジャンプテスト、バランス能力、下肢特性、FAI との関係について検討をおこなった。

- ・内反ストレステスト、前方引き出しテストともに、徒手検査により陽性と評価された群の Telos 移動距離は陰性群より有意に高い値を示した。
- ・連続ジャンプテストの膝関節外反変位量において、内反ストレステストの Telos 移動距離との間に負の相関傾向を示した。
- ・連続ジャンプテストの足関節背屈変位量において、前方引き出しテストの Telos 移動距離との間に正の相関傾向を示した。
- ・SEBT の Anterior において、内反ストレステストの Telos 移動距離との間に軽度の負の相関関係を示し、Posteromedial と Composite の間に負の相関傾向を示した。
- ・FAI アンケートの不安感において、前方引き出しテストの Telos 移動距離との間に軽度の負の相関関係を示した。
- ・股関節外旋可動域において、内反ストレステストの Telos 移動距離との間に軽度の負の相関関係を示した。

第 5 章

総合考察

本研究では MAI が他の下肢関節の動的アライメントに与える影響を検討するために、二次元動作解析を用いて両脚連続ジャンプにおける下肢関節変位量の算出行い、また MAI が下肢特性、バランス能力(SEBT)、FAI に及ぼす影響について検討を行った。

実験 1 では内反ストレステスト、前方引き出しテストの 2 手技を行い、2 手技陽性、内反陽性、前方陽性、2 手技陰性の 4 つに群分けし、比較を行ったところ、前方陽性群の膝関節外反変位量が内反陽性群より大きくなり、内反陽性群の膝関節屈曲変位量は両方陽性群より小さくなるという結果を得た。MAI を示す人の片脚着地は、接地後外側に荷重しており(22)、また、接地後の足部外反が健常群よりも大きいことが報告されている(49)。MAI を示す人は外側荷重で設置したのち、足部を外かえししているのではないかと推測され、足部外反により下腿が内旋し、膝関節の外反モーメントが増したと考えられる。その為、前方陽性群の膝関節外反変位量が高値を示したと考えられる。また、前距腓靭帯と踵腓靭帯はその機能、制御する足部の運動が異なると考えられ(39,64)、機能不全を生じている足関節靭帯の種類の違いが、動揺性の方向だけでなく、膝関節の運動にも異なった影響を与える可能性が示唆された。一方、膝関節屈曲変位量において内反陽性群が 2 手技陽性群より有意に小さな値を示したのは背屈可動域の減少によるものと考えられる。内反陽性群の背屈可動域は低値を示しており、これにより下腿前傾が制限され、膝関節屈曲変位量が減少したと考えられた。実験 2 では Telos を用いて MAI を定量的に評価する方法の検討を行った。その結果、得られたストレス X 線画像から算出した距骨傾斜角、及び前方引き出し率と、Telos 移動距離は正の相関関係にあり、また Telos 移動距離から距骨傾斜角、前方引き出し率を推定する有意な回帰式を得た。これにより、Telos を用いることで X 線を使用せずに MAI の定量的な評価が行える可能性が示唆された。そこで実験 3 では Telos を用い

て MAI の定量的な評価を行い、MAI の程度が下肢関節変位量、バランス能力、FAI、及び下肢特性とどのような関係にあるか検討を行った。その結果、内反ストレステストの Telos 移動距離が増すほど膝関節外反変位量が小さくなり、前方引き出しテストの Telos 移動距離が増すほど足関節背屈変位量が大きくなる傾向がみられ、足関節の動揺性の方向や程度の違いが、他の関節運動に異なった影響を与えることが示唆された。しかしながら、いずれも相関係数は低く、明らかな傾向が示されたとは言い難い。本研究は二次元動作解析を用いた研究であるため、下肢の回旋による見かけ上の膝関節外反変位量の増加も結果に含まれており、また足部の運動も明らかではない。そのため、今後は個別の評価や三次元動作解析、足部の運動など、さらなる検討を行っていく必要があると考えられる。

実験 1、3 とともに MAI とバランス能力、及び FAI との関係についても検討を行ったところ、内反ストレステストの Telos 移動距離が増すほど Anterior の値が小さくなり、Posteromedial と Composite も小さな値を示す傾向がみられたが、前方引き出しテストの Telos 移動距離との相関関係は見られなかった。また前方引き出しテストの Telos 移動距離が増すほど不安感を抱く傾向にあったが、先行研究で報告されている結果と同様な傾向はみられず(31)、バランス能力や FAI は必ずしも MAI を反映しなかった。これは、足関節に主観的な不安感を抱いていない選手やバランス能力に問題のない選手であっても、MAI を抱えている可能性があることを示唆しており、FAI の評価だけでは CAI の評価としては不十分であると考えられた。

近年 CAI を抱える人の動作解析が行われているが、多くは FAI の評価にとどまっている。本研究で MAI が膝関節の運動に与える影響について示したことが、CAI の研究に貢献できるものであり、今後スポーツ傷害の予防などに役立つことができれば幸いである。

結語

- ・ 足関節のメカニカルな不安定性は、動揺性の方向や程度の違いにより、膝関節や足関節の運動に異なった影響を与える可能性が示唆された。
- ・ CAI の評価には FAI、MAI の評価が必要であると考えられた。
- ・ 今後は MAI が下肢関節に与える影響を多角的に検討していく必要性が示唆された。
- ・ Telos を用いることで X 線を使用せずに MAI の定量的評価の可能性が示唆された。

参考文献

- (1)城所靖郎. 急性足関節靱帯損傷の保存的療法. 臨床スポーツ医学 19(2)129-134 2002.
- (2)Peters JW,Trevino SG,Renstrom PA,chronic ankle instabilities. *Foot Ankle*(12) : 182-191 1991.
- (3)Freeman,M.A.R. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J. Bone Joint Surg. 47-B* 669-677 1965.
- (4)Bruce D. Beynnon, Darlene F. Murphy, Denise M. Alosas. Predictive factors for lateral ankle sprains:a literature review.*Journal of Athletic Training*.37(4):376-380 2002.
- (5)Barbara L. Braun. Effects of ankle sprain in a general clinic population 6 to 18 months after medical evaluation. *Arch Fam Med* 8:143-148 1999.
- (6)鳥居俊、垣花渉、内藤健二、深野真子.スポーツ選手における足関節外側靱帯機能不全が膝関節内反モーメントに及ぼす影響.日本臨床スポーツ医学会誌 13(3)439-442 2005.
- (7)Christophe Eechaute, Peter Vaes, William Duquet, Bart Van Gheluwe. Test-retest reliability of sudden ankle inversion measurements in subjects with healthy ankle joints. *Journal of Athletic Training*. 42(1) 60-65 2007.
- (8)西野章江、福林徹、石井朝夫、三浦隆、早田剛 足関節捻挫の動的解析-Giving-way 台を用いて-日本臨床バイオメカニクス学会誌 25:321-326 2004.
- (9)Vaes P, Van Gheluwe B, Duquet W Peroneal Conccleration during sudden ankle supination in people with unstable ankles.*J Orthop Sports Phys Ther* 31:741-752 2001.
- (10)下條仁士 足関節機能的不安定症とその対処法.臨床スポーツ医学 19(2):149-153 2002.
- (11)Phillip J.Plisky, Mitchell J.Rauh, Thomas W.Kaminski, Frank B.Underwood Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school

- basketball players. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 36(12):911-919 2006.
- (12) Lauren C. Olmsted, Christopher R. Carciat, Jay Hertel, Sandra J. Shultz Efficacy of the star excursion balance tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training* 37(4):501-506 2002.
- (13) Phillip A. Gribble, Jay Hertel, Craig R. Denegar, William E. Buckley The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *Journal of Athletic Training* 39(4):321-329 2004.
- (14) Sheri A. Hale, Jay Hertel Reliability and sensitivity of the foot and ankle disability index in subjects with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training* 40(1):35-40 2005.
- (15) Carrie L. Docherty, Bruce M. Ganseder, Brent L. Arnold, Shepard R. Hurwiz Development and reliability of the ankle instability instrument. *Journal of Athletic Training* 41(2):154-158 2006.
- (16) 桜庭景植 足関節靱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* 19(2) 113-121 2002.
- (17) Tricia J. Hubbard, Lauren C. Kramer, Craig R. Denegar Correlations among multiple measures of functional and mechanical instability in subjects with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training* 42(3):361-366 2007.
- (18) Tricia J. Hubbard, Thomas W. Kaminski, Robert A. Vander Griend, John E. Kovalski Quantitative assessment of mechanical laxity in the functional unstable ankle. *Medicine and science in Sports and Exercise*. 760-766 2004.
- (19) Kenneth Monaghan, Eamonn Delahunt, Brian Caulfield. Ankle functional during gait in patients with chronic ankle instability compared to control. *Clinical Biomechanics* 21: 168-174 2006.

- (20)Eamonn Delahunt,Kenneth Monaghan and Brian Caulfield.Altered neuromuscular control ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint.*The American Journal of Sports Medicine*.34(12):1970-1976 2006.
- (21)Brian Caulfield,Mary Garrett.Changes in ground reaction force during jump landing in subjects with functional instability of the ankle joint. *Clinical Biomechanics*.19 617-621 2004.
- (22)宮川俊平、白木仁、向井直樹、竹村雅裕、福田崇、山中洋邦夫、荻原武久 足関節不安定性をもつスポーツ選手における着地動作の足底圧分布 筑波大学体育科学系紀要.29:77-86 2006.
- (23)Eamonn Delahunt,Kenneth Monaghan,Brian Caulfield. Changes in lower limb kinematics,kinetics,and muscle activity in subjects with functional instability of the ankle joint during a single leg drop jump. *J Orthopaedic Research* Oct:1991-2000 2006.
- (24)Scott E.Ross,Kevin M.Guskiewicz,Bing Yu Single-leg jump-landing stabilization time in subjects with functionally unstable ankle. *Journal of Athletic Training*40(4):298-304 2005.
- (25)Sara Van Deun, Filip F.Staes, Karel H.Stappaerts,Luc Janssens,Oron Levin,Koen K.H.Peers Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance.*The American Journal of Sports Medicine*.35(2):274-281 2007.
- (26)Hewett T.E.,G.D.Myer,K.R.Ford,R.S.Heidt Jr,A.J.Colosimo S.G.Mclean A.J.van de Bogert M.V.Paterno,P.Succop Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk female athletes:apropective study. *Am J Sports Med*33:492-501 2005.

- (27)Ngano Y,Sakagami M,Ida H,Akai M,Fukubayashi T.Statistical modeling of knee valgus during a continuous jump test.Sports Biomechanics.2007
- (28)Bruce D.Bennynnon,Pamela M.Vacek,Darlene Murphy,Denise Alosa,and David Paller First-time inversion ankle ligament trauma the effects of sex,level of competition,and sport on the incidence of injury. *The American Journal of Sports Medicine*.33(10) :1485-1491 2005
- (29)Benynnon BD, Renstrom PA, Alosa DM,Baumhauer JF, Vacek PM. Ankle ligament injury risk factors:a prospective study of college athletes. *J Orthop Res*.19:213-220 2001.
- (30)Hosea TM,Carey CC,Harrer MF, The gender issue :epidemiology of ankle injuries in athletes who participate in basketball.*Clin Orthop*.(372):45-49 2000.
- (31)J.Karlsson,L.Peterson Evaluation of ankle joint function:the use of scoring scale.*The Foot* 1:15-19 1991.
- (32)St.Pierre R,Allman F, Bassett F H III,Goldner J L, Fleming L L. A review of lateral ankle ligamentous reconstructions.*Foot and Ankle*3:114-123 1982.
- (33)Robinson RH, Gribble PA: Support for a reduction in the number of trials needed for the star excursion balance test.*Archives of physical medicine and rehabilitation* 89:364-370 2008.
- (34)Livingston LA: The quadriceps angle: a review of the literature. *J Orthop Sports Phys Ther* 28:105-109 1998.
- (35)Denegar CR, Hertel J, Fonseca J: The effect of lateral ankle sprain on dorsiflexion range of motion, posterior talar glide, and joint laxity.*J Orthop Sports Phys Ther* 32:166-173 2002.
- (36)Mueller MJ, Host JV, Norton BJ: Navicular drop as a composite measure of excessive pronation. *J Am Podiatr Med Assoc*.83:198-202 1993.

- (37)Brody DM: Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner.*The Orthopedic clinics of North America*.13:541-58 1982.
- (38)Woodford-Rogers B, Cyphert L, Denegar CR: Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury in High School and College Athletes. *J Athl Train* 29:343-346 1994.
- (40)スポーツ安全協会 スポーツ等活動中の障害調査 17:東京 1999
- (39)Saoru Ozeki,Harold Kitaoka,Eiichi Uchiyama,Zong-Ping Luo,Kenton Kaufman,Kai-Nan An:Ankle ligament tensile forces at the end point of passive circumferential rotating motion of the ankle and subtalar joint complex.*Foot & Ankle International*.27(11): 965-969 2006.
- (41)Ruth CJ:The surgical of injuries of the fibular collateral ligaments of the ankle.*J.Bone Joint Surg*43-A:229-239 1961.
- (42)Jay Hertel : Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of Athletic Trainig*.37(4):364-375 2002
- (43)Tai Lee,Jung Il Lee,Ki Sun Sung,J-Young Kim,Eung Soo Kim,Sang-Heon Lee,Joo Ho Wang : Biomechanical evaluation against calcaneofibular ligament repair in the brostrom procedure:a cadaveric study.*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*.16:781-786 2008
- (44)Bruce D.Beynnon,Gavin Webb,Bryan M.Huber,Charles N.Pappas,Per Renstrom,L.D.Haugh. Radiographic measurement of anterior talar translation in the ankle;determination of the most reliable method. *Clinical Biomechanics*.20:301-306 2005.
- (45)杉本和也 足関節外側靱帯損傷とその合併症の診断 *MB Orthop*13(10):9-15 2000.
- (46)Tadashi Fujii, Zong-Ping Luo , Harold B. Kitaoka, Kai-Nan An. The manual stress test may not be sufficient to differentiate ankle. *Clinical Biomechanics*.15 :619-623

2000

- (47) John E. Kovalski, Phillip M. Norrell, Robert J. Heitman, J. Marcus Hollis, Albert W. Pearsall :Knee and ankle position, anterior drawer laxity, and stiffness of the ankle complex.*Journal of Athletic Training*.43(3):242-248 2008.
- (48)Becker HP, Komischke A, Danz B, Bense R, Claes L. Stress diagnostics of the sprained ankle: evaluation of the anterior drawer test with and without anesthesia.*Foot & ankle*.14(8):459-64 1993.
- (49)Cathleen Brown,Darin Padua,Stephen W. Marshall,Kevin Guskiewicz.Individual with mechanical ankle instability exhibit different motion patterns than those with ankle instability and ankle sprain copers.*Clinical Biomechanics*.23:822-831 2008.
- (50)Baumhauer JF, Alosa DM, Renstrom PA, Trevino S, Beynnon B. A prospective study of ankle injury risk factors. *Am J Sports Med*.23:564-570 1995.
- (51)Beynnon BD, Renstrom PA, Alosa DM, Baumhauer JF, Vacek PM. Ankle ligament injury risk factor :a prospective study of college athletes.*J Othop Res*.19:213-220 2001.
- (52)Chomiak J., Junge A., Peterson L., Dvorak J. Severe injuries in football player: influencing factors.*Am J Sport Med*.28(5):58-68 2000.
- (53)佐藤啓壮, 伊良部知子,小林寛和,井戸田仁, 横江清司 スポーツ選手における足関節捻挫後の背屈制限に関する一考察. *Japanese Physicaol Therapy Association*.21:435 1994
- (54)Anderson K.L.,Lecocq E.A. Recurreunt anterior subluxation of ankle jpint-A report of two cases and an experimental studuy.*J Bone Joint Surg*.34-A:853-860 1952.
- (55)Rubin G,Witten M, The talar-tilt angle ane the fibular collateral ligament-A method for the determination of talar tilt.*J Bone Joint Surg*.42-A:311-326 1960
- (56)Laurin C,Mathieu J. Saggital mobility of the normal ankle.*Clin Orthop*.108:99-104

1975

- (57)Cox J.S.,Hewes T.F. “Nomal” talar tilt angle.*Clin Orthop.*140:37-41 1979
- (58)Seligson D,Gassman J,Pope M, Ankle instability:evaluation of the lateral ligaments.*Am J Sports Med.*8:39-42 1980.
- (59)Karlsson J, Bergsten T,Lansinger O. Ankle for chonic lateral instability.*J Bone Joint Surg.*70-A:581-588 1989.
- (60)Hale SA, Hertel J, Olmsted-Kramer LC. The effect of a 4-week comprehensive rehabilitation program on postural control and lower extremity function in individuals with chronic ankle instability.*The Journal of orthopaedic and sports physical therapy.*37(6):303-311 2007
- (61)Landeros O, Frost HM, Higgins CC. Post-traumatic anterior ankle instability.
*Clinical orthopaedics and related research.*56:169-78 1968.
- (62)Lindstrand A, Mortensson W. Anterior instability in the ankle joint following acute lateral sprain. *Acta radiologica: diagnosis.*18(5):529-539 1977
- (63)大城昌平,松本司,横山茂樹,藤田雅章 全身弛緩性症と足関節不安定性 - 足関節の捻挫既往,及びスポーツ歴との関連について - *Japanese Physical Therapy Association.*17(5):463-468 1990
- (64)Roald Bahr,Frenando Pena,Joe Shine,William D.Lew,Lare Engebretsen.Ligament force and joint motion in the intact ankle:a cadaveric study.*Knee Surg,Sports Traumatol,Arthrosc.*6:115-121 1998
- (65)杉本和也.距骨前方引き出しストレス X 線像の評価方法の検討.日整会誌.72:464 1998

アンケート

	名前			
① 今までに捻挫を経験したことがありますか。それはどちらの足ですか。	はい	・	いいえ	右 ・ 左
② 最近捻挫を起こしましたか。それはどちらの足で、いつですか	はい	・	いいえ	右 ・ 左 前
③ 今までに固定、もしくは松葉杖が必要なほどの内反捻挫を経験したことがありますか。	はい	・	いいえ	右 ・ 左
④ この1年間の間に何度か「くじき」を起こしましたか。それはどちらの足ですか。	はい	・	いいえ	右 ・ 左
⑤ 過去にバランストレーニング(リハビリテーションを含む)を行ったことがありますか。	はい	・	いいえ	

謝辞

本論文を作成するにあたり、終始懇切丁寧にご指導、ご鞭撻を賜りました福林徹教授に厚く御礼申し上げます。また、本論文の審査をして下さった鳥居俊准教授、金岡恒治准教授に深謝致します。

お忙しい中実験にご協力頂いた被験者、チーム関係者の皆様、実験の補助など、多岐にわたりご協力頂いた研究室の皆様、実験の遂行に多大なご協力頂いた東洋医学研究所クリニックの皆様、筑波メディカルセンター病院整形外科の李小由先生、そしてお忙しい中多大なご助言、ご指導頂いた永野康治氏にこの場をかりて心より感謝の意を表します。

最後に、2年間ともに学び、支えてくれた仲間と、進学を理解してくれた両親に、感謝の言葉を贈ります。ありがとうございました。

板垣 香里