足関節機能的不安定性者における 足関節位置覚検査法の検討

—自動的検査法と他動的検査法の比較—

*Comparison of Active and Passive Reduction-test Methods on Discrimination of Ankle
Joint Angle of Patients with Functional Ankle Instability*

横山 茂樹¹⁾ 蒲田 和芳²⁾ 根地嶋 誠³⁾

SHIGEKI YOKOYAMA¹⁾, KAZUYOSHI GAMADA²⁾, MAKOTO NEJISHIMA³⁾

¹⁾ Kyoto Tachibana University: 34 Ohyakeyamada, Yamashina-ku, Kyoto-city, Kyoto 607-8175, Japan. TEL+81 75-574-4327
E-mail: yokoyama-s@tachibana-u.ac.jp

²⁾ Hiroshima International University

³⁾ Seirei Christopher University

Rigakuryoho Kagaku 26(5): 557-562, 2011. Submitted Feb. 8, 2011. Accepted Apr. 21, 2011.

ABSTRACT: [Purpose] To examine the differences in joint position sense (JPS) test methods in patients with functional ankle instability (FAI). [Subjects] The subjects were seventeen patients with FAI and 29 healthy men. [Methods] The subjects were examined using active and passive reduction methods. Targets were located at eight specified angles. Constant errors and absolute errors were used as measurement indicators. [Results] In the active motion test no trend was observed with a change in target angle between the FAI and healthy groups. On the other hand, in the passive motion test the FAI group showed a significant increase in overshoot toward dorsiflexion with higher plantar flexion angles than the healthy group. [Conclusion] In the active motion test, there was less error in the ankle joint position sense because of the effects of the muscle contraction, but in the passive motion test there was a greater tendency of error when the ankle was in plantar flexion.

Key words: functional ankle instability, joint position sense, reproduction test

要旨:〔目的〕足関節機能的不安定性（FAI）者の足関節位置覚検査法における自動的検査法と他動的検査法の相違を把握することである。〔対象〕FAIを有する男性17名および健常男性29名とした。〔方法〕評価は自動的および他動的再現検査法とし、測定肢位は足関節回外位2肢位の背底屈方向4肢位とした。測定指標は実測誤差および絶対誤差とした。〔結果〕自動的検査法ではFAI者と健常者の間で測定肢位の変化による相違は認めなかったが、他動的検査法ではFAI者が健常者より底屈するほど背屈方向へ誤認した。〔結語〕自動的検査法では誤認しにくく、筋収縮による影響と推察された。一方、他動的検査法では足関節底屈域にて誤認しやすく、損傷を受けた靱帯の関与する可能性を示唆した。

キーワード: 足関節機能的不安定性、関節位置覚、再現検査法

¹⁾ 京都橘大学 看護学科: 京都府京都市山科区大宅山田34 (〒607-8175) TEL 075-574-4327

²⁾ 広島国際大学

³⁾ 聖隷クリストファー大学

I. はじめに

足関節内反捻挫は、スポーツ外傷として頻発し^{1,3)}、再発を繰り返しやすい疾患である^{4,5)}。捻挫を繰り返す要因として、機能的不安定性 (Functional Ankle Instability; 以下, FAI) が挙げられる⁶⁾。FAIとは、一般的に解剖学的に問題のない足関節にも関わらず日常の活動において突然ガクッと崩れるような感覚 (giving way) が生じる状態である。この要因として、①靱帯損傷に伴う機械的不安定性、②腓骨筋群の筋力低下や筋反応時間の遅延といった腓骨筋群の筋機能不全、③足関節周囲の固有感覚低下がある⁷⁾。特に近年、足関節の固有感覚障害は、FAIが機械的不安定性や筋力等の筋機能のみでは関連性が認められなかったことから注目されており⁸⁾、多くの研究者によって報告されている⁸⁻²¹⁾。

これまでに関節固有感覚障害の評価指標として、関節位置覚 (Joint Position Sense: 以下, JPS)⁹⁻¹⁵⁾、運動感覚^{16,17)}、片脚立位時の重心動揺^{18,19)}、腓骨筋群の反応時間^{20,21)}の計測が行われてきた。これらの中でも足関節JPS検査法は求心性情報の入力障害を把握できる関節固有感覚障害の指標としてこれまでに多くの報告がなされている。特にGlencrossらは、FAIを有する者と健常者を対象に足関節底屈方向へ検者が被検者の足関節を他動的に動かす他動的検査法により計測したところ、FAI群は健常群よりも誤認角度が有意に大きいことを報告している⁹⁾。Boyleらも、回外方向の他動的検査法により計測した結果、FAI群は健常群よりも誤認角度が有意に大きいと報告した¹⁰⁾。一方、Grossは、回外と回内方向に対して他動的検査法と自動的検査法 (被検者自身が足関節を自動的に動かす方法) を比較した結果、FAI群と健常群の間に相違がないと報告している¹¹⁾。HolmeらもFAI者を対象に、患側と健側の足関節について回外-回内方向の自動的検査法を行い、患側と健側に相違がないことを報告した¹²⁾。このように研究者によってFAIを有する者の足関節JPSについて一定の見解が得られていないが、この要因として測定条件や測定方法が異なっている点が挙げられる。

JPS検査法の測定方法として、自動的検査法もしくは他動的検査法がある。自動的検査法とは、被検者自らが筋収縮によって関節運動を行いながら実施する検査法である。一方、他動的検査法は、検者が被検者の関節を他動的に動かして実施する検査法である。Konradsenらは健常者を対象に足関節外側靱帯への麻酔の有無によって、自動的および他動的JPS検査法の違いを比較した。その結果、麻酔をかけた場合では他動的JPS検査の誤認角度は有意に増加したが、自動的JPS検査の誤認角度には相違が認められなかった。これらのことからKonradsenは、他動的JPS検査法では足関節外側の靱帯からの求心性入力低下による影響を受けて誤認角度が大きくなり、自動

的JPS検査法では足関節周囲筋からの求心性入力情報が増加して足関節外側靱帯からの情報量低下を補うことによって、誤認角度に違いが認められなかったと述べている¹³⁾。一方Fuerbachらは、Konradsenと同様の方法によって自動的および他動的JPS検査法を実施した結果、いずれの検査法でも麻酔の影響は認められず、他動的検査時でも誤認しないことを報告した¹⁴⁾。このように自動的検査法と他動的検査法の相違についても意見の一致はみられていないが、いずれの研究も健常者を対象として麻酔により足関節周囲の感覚を麻痺させた条件下で行われている。しかしながら麻酔による実験では足関節周囲の感覚のみでなく、筋収縮にも麻酔による影響が及ぶと考えられる。そこで足関節外側靱帯損傷の既往を有するFAI者を対象として、自動的および他動的JPS検査時に足関節周囲筋の筋収縮が誤認角度に及ぼす影響を検証する必要がある。

そこで本研究ではFAI者に対する足関節JPS検査法の特徴を把握することを目的に、自動的検査法と他動的検査法の相違が誤認角度に与える影響を検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、FAIを有する男性17名 (年齢 19.6 ± 1.5 歳、体重 66.4 ± 8.0 kg、身長 173.3 ± 8.3 cm)、健常男性29名 (年齢 20.3 ± 4.4 歳、体重 65.2 ± 9.2 kg、身長 172.5 ± 8.5 cm) の2群とした。

FAI群の取込基準として、①利き足が右足であること、なお利き足はボールを蹴る足と定義した。②過去に右足関節内反捻挫の既往があり、足に体重をかけることができなかった経験があること、③現在も捻挫を繰り返していること、④日常生活や運動時にgiving way (ガクッと抜ける感じ) があることを条件とした²²⁾。除外基準として、①検査開始3ヶ月前から検査時まで足関節に疼痛や筋のこわばりを経験していること、②徒手筋力検査法により腓骨筋群の筋力に左右差が認められる者、③全身性関節弛緩症の所見を有する者とした。全身性関節弛緩症の徴候は、①手指MP関節の過伸展 (伸展 90° 以上)、②肘過伸展、③膝過伸展および④手関節を屈曲しながら親指を前腕の方向に押し込むと、親指が前腕に触れる、⑤立位にて体幹前屈により手掌が床につく、の5徴候について検査を施行した。このうち3つ以上の徴候を有した場合、全身性関節弛緩症と判定した²³⁾。

対照群の取込基準は、①利き足が右足であること、②下肢に骨折や足関節捻挫等の整形外科的疾患や中枢神経系疾患の既往歴を有さない者、③同年代の者とし、除外基準はFAI群に準じた。

参加者に対して、実験開始前に十分な説明を行い、インフォームドコンセントを得た。尚、長崎大学医学部倫

理委員会の承認を得て実施した。

2. 方法

本研究は、足関節回外0°位および20°位における足関節底背屈時のJPSを自動的および他動的再現検査法によって計測した。検査側は利き足である右足関節とした。

足関節角度の計測には、独自に開発した3次元足関節肢位解析システムを使用した²⁴⁾。この解析システムは、足部を固定する足部保持装置と2台のデジタルカメラ(Canon, PowerShot G5)から構成されており、2台のカメラによって撮影された画像をパーソナルコンピュータに取り込み、3次的に足関節背底屈方向の角度を算出することができる。予備実験の結果から本解析システムの確度と精度はそれぞれ2°および3°以内であった。2台のデジタルカメラは、レンズの歪曲による影響を最小にするため、撮影される範囲の2/3以内の中央側に被検者の右下肢と足部保持装置が写るよう配置した。

足部保持装置は、上面に長方形の足底台が取り付けられており、回外方向および底背屈方向へ自由に可動することができる。また足関節底背屈の運動軸と足底台の底背屈回転軸を一致させるため、足部保持装置において足底台が回転する軸を足底台よりも5 cm高い位置になる構造とした。

計測条件として、被検者は被験台上で腰掛け座位とし、膝関節屈曲90°で下腿を垂直に垂らした。右足部は、距骨下関節の回内-回外の運動軸と足底台の長軸方向の回転軸が一致するように足部を外転15°位として、足底台上に置いた。実験中、視覚からの影響を取り除くために目隠しをした。両足は裸足とし、下腿部の固定は行わず下腿長軸が垂線と一致するように保持させた。

設定角度は、足関節回外角度を0°と20°の2条件とした。足関節背底屈角度は背屈15°から底屈30°までの間を15°毎(-15°, 0°, 15°, 30°)の4条件、計8肢位とした。また足関節底屈角度の設定順序は無作為とした。

計測手順は、最初に設定角度に15秒保持した。その後、設定角度が足関節背屈5°以上では底屈方向へ、底屈0°以上では背屈方向へ15°以上変化させた。続いて他動的検査法の場合、検者は、足底台を設定角度の方向へゆっくりと他動的に動かした。被検者には設定角度と一致した位置になった場合に「ストップ」と答えるように指示した。一方、自動的検査法の場合、被検者自身が足底台を設定角度の方向へゆっくりと自動的に動かし、設定角度と一致した位置で止めるように指示した。被検者が一致したと判断した肢位をデジタルカメラで撮影した。尚、自動的検査法と他動的検査法の順序も無作為として、測定は3日以上経過した別日に施行した。

測定回数は各肢位につき3回ずつ計測し、平均値を代表値とした。

解析方法として、角度の算出には、2台のデジタルカ

メラから得た画像を、コンピュータを用いて3次元解析を行い、足関節底背屈角度を算出した。具体的には、撮影時に対象者の下腿部に2点と足底台に3点のマーカーを取り付け、それから下腿長軸を示すマーカー(a)および(b)を結ぶ線が、足底台面であるマーカー(c), (d), (e)を結ぶ面に対して交わる矢状面上の角度を足関節底屈の推定角度と定義した。尚、分析者は盲目化しており、予備実験の結果から分析者の検者内信頼性は、級内相関係数ICC(1,3)が0.83、標準誤差は0.8°であった。

測定指標は、推定角度から設定角度を引いた値を足関節底屈・背屈の実測誤差(constant error, 以下CE)とした。設定角度よりも底屈位にある場合を正の値とした。また実測値の絶対値を算出して絶対誤差(Absolute Error, 以下AE)とした。

統計学的処理は、統計ソフトSPSS(version12.0J)を用いた。解析は、各検査条件および指標(自動的検査法と他動的検査におけるCEおよびAE)の回外位別(0°, 20°位)について、疾患(FAI群, 健常群)と足関節底屈角度(-15°, 0°, 15°, 30°時)を2要因とした分割プロットデザインによる2元配置分散分析を行った。さらに下位検定として、交互作用が認められた場合、各要因について一元配置分散分析およびTukey's HSDによる多重比較を行った。また交互作用が認められず要因が有意であった場合、要因に関してTukey's HSDによる多重比較を行った。すべての有意水準は5%未満とした。

III. 結果

CEにおけるFAI群と健常群の比較について、自動的検査法における足関節回外0°位では15°時にFAI群が健常群より有意に低値を示した($p=0.01$)が、回外20°位ではいずれの底屈角度でもFAI群と健常群に有意差は認められなかった。一方、他動的検査法では、回外0°位における30°と回外20°位における15°および30°時にFAI群が健常群より有意に低値を示した(それぞれ $p=0.03$, $p=0.01$, $p=0.001$)。このように自動的検査法では、回外0°位の15°時の群間に相違を認めたものの一定の傾向はみられなかった。一方、他動的検査法では回外0°および20°位のいずれにも有意差が認められた(表1)。

FAI群における底屈角度間の比較について、自動的検査法では、足関節回外0°位にて15°時が0°時より底屈方向へ大きく誤認した($p=0.03$)。回外20°位でも15°時が0°および30°時より底屈方向へ大きく誤認した($p=0.04$, $p=0.01$)。また健常群においても同様の傾向が認められたが、いずれにおいてもCEは増減を繰り返しており、底屈角度の変化による一定の傾向は認められなかった。一方、他動的検査法では、FAI群の回外0°位および20°位において、30°時が-15°, 0°, 15°のいずれよりも有意に低値を示した(いずれも $p=0.001$)。さらに回外20°

表1 自動的および他動的検査法における誤認角度

底屈角度			-15°	0°	15°	30°
CE	回外0°	自動的 検査法	FAI群 -1.2 (3.7)	-3.7 (4.5)	-0.8 (4.1) [‡]	-2.0 (3.0)
		対照群	-1.8 (3.3)	-1.7 (4.2)	2.0 (3.8) ^{†,‡}	0.2 (3.3) [†]
		他動的 検査法	FAI群 1.0 (3.4)	-1.1 (3.1)	-0.9 (4.6)	-5.6 (3.8) ^{†,‡,§}
		対照群	-0.5 (2.5)	-0.1 (3.2)	-0.4 (3.2)	-3.3 (3.5) ^{†,‡,§}
	回外20°	自動的 検査法	FAI群 -1.5 (4.0)	-3.3 (3.1)	-0.2 (6.3) [‡]	-4.3 (4.8)
		対照群	-0.9 (2.8)	-0.7 (4.8)	2.3 (5.1) ^{†,‡}	-2.7 (4.2)
		他動的 検査法	FAI群 1.6 (3.0)	0.4 (4.6)	-1.9 (3.6) [†]	-9.2 (3.7) ^{†,‡,§}
		対照群	0.3 (3.2)	1.4 (3.3)	0.8 (3.3)	-5.1 (3.1) ^{†,‡,§}
AE	回外0°	自動的 検査法	FAI群 3.3 (2.0)	4.9 (3.1)	3.1 (2.7)	2.9 (2.1)
		対照群	3.0 (2.2)	3.9 (2.2)	3.7 (2.2)	2.5 (2.1)
		他動的 検査法	FAI群 2.8 (2.1)	2.5 (2.0)	3.3 (3.2)	5.8 (3.4) ^{†,‡,§}
		対照群	1.9 (1.6)	2.7 (1.7)	2.5 (2.0)	3.8 (3.0) ^{†,‡,§}
	回外20°	自動的 検査法	FAI群 3.5 (2.2)	3.8 (2.5)	5.3 (3.3)	5.1 (3.8)
		対照群	2.3 (1.8)	3.9 (2.9) [†]	4.4 (3.3) [†]	4.0 (2.9) [†]
		他動的 検査法	FAI群 2.9 (1.8)	3.5 (2.9)	3.2 (2.5)	9.2 (3.7) ^{†,‡,§}
		対照群	2.4 (2.2)	3.0 (1.9)	2.5 (2.1)	5.2 (2.8) ^{†,§}

* : FAI群と対照群の比較 ( ) 内 : 標準偏差

† : 底屈角度別における-15°との比較

‡ : 底屈角度別における0°との比較

§ : 底屈角度別における15°との比較

位でも15°時が-15°時よりも有意に低値を示した($p=0.003$)。つまり回外0°位および20°位のいずれにおいても底屈位では背屈方向へ小さく見積もっていた。一方、健常群でも回外0°位および20°位において、30°時が-15°、0°、15°のいずれよりも有意に低値を示しており(いずれも $p=0.001$)、FAI群と同様の傾向が認められた(表1)。

AEにおけるFAI群と健常群を比較した結果、自動的検査法における足関節回外0°および20°位では相違が認められなかったが、他動的検査法では回外0°および20°位のいずれにも30°時にFAI群が健常群より有意に低値を示した($p=0.01$, $p=0.001$) (表1)。

FAI群における底屈角度間の比較では自動的検査法では回外0°位において、-15°時、15°、30°時よりも0°時が大きく誤認していた(いずれも $p<0.05$)。一方、回外20°位では有意な相違は認められなかった。健常群では、回外0°位では30°時が0°時より有意に低値を示していたが($p=0.03$)、回外20°位では-15°時が、0°、15°、30°時よりも有意に低値を示した(いずれも $p<0.05$)。しかし他動的検査法では、回外0°位において30°時が0°時および15°時よりも有意に増大していた(いずれも $p=0.001$)。回外20°位でも、30°時が-15°時、0°、15°時よりも有意に増大していた($p=0.001$)。これらのことから底屈位にて誤認角度が大きくなる傾向を認めた。健

常群では回外0°位では、30°が-15°、15°時よりも有意に大きくなっており(いずれも $p<0.05$)、回外20°位においても同様に、30°時が-15°、0°、15°時よりも有意に増大していた($p=0.001$)。つまり、健常群においてもFAI群と同様の傾向が認められた(表1)。

IV. 考 察

自動的検査法におけるCEおよびAEを指標としてFAI群と健常群を比較した結果、回外0°位の15°時にCEにおいて相違を認めたものの、その他の条件下では有意差はなく、一定の傾向は認められなかった。一方、他動的検査法ではCEおよびAEを指標としてFAI群は健常群よりも底屈するほど背屈方向へ小さく誤認し、誤認角度も増大する傾向を示した。一般的に筋収縮を伴う自動運動では、 $\alpha-\gamma$ 連関(alpha-gamma linkage)によって錘内筋も同時収縮し、筋紡錘の興奮性が高まるが²⁵⁾、筋収縮を伴わない他動運動では、靱帯・関節包の固有感覚受容器が他動的に伸張されることから求心性神経の発火頻度は増加し、弛緩すると減少するといわれている²⁶⁾。これらのことから、自動的検査時における足関節底屈位では、腓骨筋群等の筋収縮により筋に存在する固有感覚受容器からの求心性情報が増加することによって、靱帯からの情報が減少していると考えられるFAI群でも誤認

しにくくなったと考えられた。一方、他動的検査では足関節外側に存在する損傷を受けた靱帯や関節包からの求心性情報が減少することによって、底屈30°時にFAI群では健常群よりも誤認していたと推察される。Konradsenら¹³⁾は、健常者の足関節外側にある靱帯や関節包に麻酔をかけた状態で、固有感覚受容器を麻痺させたにもかかわらず、自動的検査法では関節位置覚が他動的検査法よりも誤認しにくかったことから、自動的検査法では筋・腱に存在する固有感覚に、他動的検査法では足関節周囲の軟部組織に存在する固有感覚に依存すると推察している。今回の結果からも同様の傾向であり、自動的検査法では筋収縮により筋・腱の固有感覚受容器からの影響を受けると推察された。一方、他動的検査法では損傷を受けた靱帯に存在する固有感覚受容器の影響が大きいと推察されたことからFAI者に対するJPS検査法として靱帯損傷の影響を把握する上では他動的検査法が有効である可能性が示唆された。

測定条件別における足関節底屈位の影響として、自動的検査法では一定の傾向は認められなかったが、他動的検査法では健常群よりもFAI群において底屈位となるほど、背屈方向へ小さく見積もり、誤認角度は大きくなった。一般的に足関節底屈位では外側靱帯である前距腓靱帯(ATFL)が伸張される^{27,28)}。Freemanによると、足関節捻挫によって足関節周囲の靱帯や関節包などに存在する固有感覚受容器やその伝導路である求心性神経が損傷を受けることがFAIの原因になっているのではないかと推察している⁷⁾。このようなことからFAI群において足関節周囲の靱帯に存在する固有感覚受容器障害を評価するにあたって、自動的検査法よりも他動的検査法を行った方が妥当であると考えられる。

今回の研究では、足部に荷重をかけない椅坐位で行った。Boyleらは、立位姿勢による測定では抗重力筋等が神経-筋制御系の影響を受けるため、JPSに関与する足関節周辺の固有感覚受容器のみを分離できないと述べており¹⁰⁾、足関節以外の影響を取り除くためには椅坐位を推奨している。この点から本研究では足関節周囲の筋・腱、靱帯、関節包の固有感覚受容器の関与について検討することを目的としたことから、測定肢位を椅坐位したことは適当であると考えられた。さらに測定方法について、本研究では独自に開発した3次元足関節肢位解析システムによって計測し、予備的実験においても信頼性について確度と精度はそれぞれ2°および3°以内であった。しかしながら、底屈角度-15°時から15°時の測定肢位において誤認角度が3°未満であったことや各測定肢位の標準偏差が大きかった点から、これらの肢位においては適切な測定方法(指標)であるか検討する余地があると考えられる。

本研究の限界として、若年の男性を対象としていることから、中高齢者および女性では加齢や性別の特性によ

る影響を受けるために誤認角度が更に増加する可能性がある。また機械的不安定性を有さない者を取込基準としたが、足関節捻挫既往者の多くは機械的不安定性も有していることから靱帯損傷による弛緩性そのものの影響は明らかでない。

今回の研究結果から、CEでは他動的検査において回外20°位の15°および30°時に、FAI群は健常群よりも小さく見積もり、30°時に誤認角度の増大した。つまり足関節内反捻挫の発生機序となる肢位において最も固有感覚障害が認められた。この肢位は足関節内反捻挫を受傷する肢位でもあることから、今後はこの肢位における足関節JPS障害と足関節内反捻挫の発生機序との関連性を検証していくことが課題である。

引用文献

- 1) Jackson DW, Ashley RL, Powell JW: Ankle sprains in young athletes. Relation of severity and disability. Clin Orthop Relat Res, 1974, 101: 201-215.
- 2) Han KH, Muwanga CL: The incidence of recurrent soft tissue ankle injuries. Br J Clin Pract, 1990, 44: 609-611.
- 3) Wilkerson LA: Ankle injuries in athletes. Primary Care, 1992, 19: 377-392.
- 4) Smith RW, Reischl SF: Treatment of ankle sprains in young athletes. Am J Sports Med, 1986, 14: 465-471.
- 5) Yeung MS, Chan KM, So CH, et al.: An epidemiological survey on ankle sprain. Br J Sports Med, 1994, 28: 112-116.
- 6) Freeman MA: Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. J Bone Joint Surg Br, 1965, 47: 669-677.
- 7) Hertel J: Functional instability following lateral ankle sprain. Sports Med, 2000, 29: 361-371.
- 8) Lentell GL, Katzman LL, Walters MR: The relationship between muscle function and ankle stability. J Orthop Sports Phys Ther, 1990, 11: 605-611.
- 9) Glencross D: Position sense following joint injury. J Sports Med Phys Fitness. 1981, 21: 23-27.
- 10) Boyle J, Negus V: Joint position sense in the recurrently sprained ankle. Aust J Physiother, 1998, 44: 159-163.
- 11) Gross MT: Effect of recurrent lateral ankle sprain on active and passive judgments of joint position. Phys Ther, 1987, 67: 1505-1509.
- 12) Holme E, Magnusson SP, Becher K, et al.: The effect of supervised rehabilitation on strength, postural sway, position sense and re-injury risk after acute ankle ligament sprain. Scand J Med Sci Sports, 1999, 9: 104-109.
- 13) Konradsen L, Ravn JB, Sorensen AI: Proprioception at the ankle. The effect of anesthetic blockade of ligament reports. J Bone Joint Surg Br, 1993, 75: 433-436.
- 14) Feurchach JW, Grabiner MD, Koh TJ, et al.: Effect of an ankle orthosis and ankle ligament anesthesia on ankle joint proprioception. Am J Sports Med, 1994, 22: 223-229.
- 15) Robbins S: Proprioception and stability; Foot position awareness as a function of age and footwear. Age and Ageing, 1995, 24: 67-72.

- 16) Garn SN, Newton RA: Kinesthetic awareness in subjects with multiple ankle sprains. *Phys Ther*, 1998, 68: 1667-1671.
- 17) Jerosch J, Bischof M: Proprioceptive capabilities of the ankle in stable and unstable joints. *Sports Exercise and Injury*, 1996, 2: 167-171.
- 18) Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J: Factors affecting stabilometry recordings of single limb stance. *Am J Sport Med*, 1984, 12: 52-59.
- 19) Guskiewicz KM, Perrin DH: Effect of Orthotics on postural sway following inversion ankle sprain. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1996, 23: 326-331.
- 20) Konradsen L, Ravn JB: Ankle instability caused by prolonged peroneal reaction time. *Acta Orthop Scand*. 1990, 61: 388-390.
- 21) Sheth P, Yu B, Laskowski ER, et al.: Ankle disk training influences reaction times of selected muscles in a simulated ankle sprain. *Am J Sports Med*, 1997, 25: 538-543.
- 22) Matsusaka N, Yokoyama S, Tsurusaki T, et al.: Effect of ankle disk training combined with tactile stimulation to the leg and foot on function instability of the ankle. *Am J Sports Med*, 2001, 29: 25-30.
- 23) Beighton EP, Solomon L, Soskolne CL: Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis*, 1973, 32: 413-418.
- 24) Kang SJ, Yokoyama S, Matsusaka N, et al.: 3-D Analysis of Functional Instabilities of the Ankle using Digital Still Cameras. *Proc. of The Eighth Int. Symp. on Artificial Life and Robotics*, 2003: 463-466.
- 25) Vallbo AB: Slowly adapting muscle receptors in man. *Acta Physiol Scand*, 1970, 78: 325-333.
- 26) Al-Falaha NA: Response profiles of human muscle afferents during active finger movement. *Brain*, 1990, 113: 325-346.
- 27) Nigg BM, Karvan G, Frank CB, et al.: Elongation and forces of ankle ligaments in physiological range of motion. *Foot Ankle*. 1990, 11: 30-40.
- 28) Renstrom P, Wertz M, Incavo S, et al.: Strain in the lateral ligaments of the ankle. *Foot Ankle*, 1988, 9: 59-63.