

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

宮川俊平・白木仁・向井直樹・
竹村雅裕・福田崇・山中邦夫・萩原武久

Plantar pressure distribution of landing movement in athletes with ankle instability

Miyakawa Shumpei, Mukai Naoki, Shiraki Hitoshi, Takemura Masahiro,
Fukuda Takashi, Yamanaka Kunio, Hagiwara Takehisa

Abstract

This study aimed to clarify the characteristics of foot position with ankle instability on landing movement as one traumatic mechanism for ankle sprain. Materials and Methods: Subjects were 6 soccer players with instability of the ankle joint on one side (instability side; IS) and a normal contralateral side (normal side; NS). Subjects performed a one-leg landing from a 30-cm high platform to the force plate[references are not included in abstracts], for a total of 5 times. Patterns of plantar pressure distribution, landing time, plantar pressure distribution and point of maximum pressure were measured. Results: The NS displayed a Toe/1st-4th metatarsal head pattern, while the IS displayed a Toe/2nd-5th metatarsal head pattern of plantar pressure on landing. No significant differences in landing time were noted. Plantar pressures at the 4th and 5th metatarsi and lateral heel were greater in the IS than in the NS early in landing. Conclusion: Ankle instability appears to be associated with inversion on landing movement. This may represent one cause of repeated ankle sprain.

Key words: ankle joint instability; landing movement; plantar pressure distribution

はじめに

足関節はスポーツ活動中における傷害の発生頻度が高い部位であり、その中でも足関節内反捻挫は最もよく起こる代表的な急性外傷である^{3,17)}。森石ら¹³⁾はバスケットボールにおける足関節内反捻挫の受傷機転を調査し、90%以上がジャンプ着地時に起こると述べている。また黒澤ら^{8,9,10)}は観血的・保存的治療の有無に関わらず、足関節捻挫受傷後の約10%の者において足関節に不安定性が残存すると報告している。不安定性が残ることにより、本来の競技能力を十分に発揮できなくなり、長期にわたって競技から離れることを余儀な

くされてしまうこともある¹⁷⁾。足関節不安定性は機能的不安定性と機械的不安定性の2つに分類される。機能的不安定性には中枢神経系、末梢神経系、筋疾患・障害からくる神経・筋因子が影響しており^{2,19)}、外反筋力の低下^{21) 22)}、バランス能の低下¹⁹⁾、固有感覚の低下などが生じると考えられている。機械的不安定性には靭帯や関節包の軟部組織の損傷やアライメント異常が影響しており、関節の異常可動性を生じるものである^{11,17)}。主な受傷機転であるジャンプ着地動作に着目した宮下¹²⁾の研究では、30cmの高さからの着地動作で足関節周囲筋の筋活動を測定し、足関節不安定性

を有する者の着地後の腓骨筋の筋活動が低下していると報告している¹⁶⁾。また、足関節不安定性を有する者の歩行動作における足底圧分布に着目した研究において、縄田ら¹⁴⁾は足関節不安定性を有する者は歩行中に足軸が内転し、足底圧力中心点(COP: Center Of Pressure)の軌跡が外側に偏位していると報告している。さらに、Beckerら¹⁾は不安定性を有する者はより外側に荷重をして歩行しているという報告もある。歩行時においても足関節不安定性を有する者は足部の外側接地傾向があると考えられる。従って、着地動作においても外側接地傾向があると予想される。そこで本研究では、足関節内反捻挫の受傷機転の1つである着地動作に着目し、足関節不安定性の有無が着地時の足底圧分布にどのような影響を及ぼすかを明らかにし、足関節不安定性を有する者の着地動作の特徴を把握し、着地時に足部の内反傾向が存在しているかどうかを明らかにすることである。

1. 対象

対象は筑波大学蹴球部に所属し、片足に繰り返しの足関節内反捻挫の既往歴があり、日常生活や運動時に疼痛や不安感を有する者とした。同一の整形外科医が、足関節に対して内反ストレス、前方ストレステストの整形外科テストを行い、足関節不安定性を有するとみなされた者を研究の対象とした。また、整形外科テストは両足において行われ、もう一方の足関節には不安定性がないことが確認された6名を実験の対象とした。なお不安定性を有する足関節を不安定足(Instability Side: IS、6足)、不安定性を有さない足関節を健常足(Normal Side: NS、6足)とした。被験者の身体的特性は年齢 22.7 ± 0.8 歳、身長 172.5 ± 6.0 cm、体

重 65.3 ± 4.5 kg、不安定足は右足4足、左足2足であった(table 1)。

この研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を受け、対象者に対しては研究の趣旨を十分に説明し文書または口頭で同意を得て行った。

2. 方法

(1) 足関節不安定性の定量的評価

A. 機能的不安定性(table 2)

機能的不安定性の評価には、Karlsson and Peterson⁶⁾によってつくられた評価法を用いた。この評価法は「痛み」、「腫脹」、「主観的不安定感」、「硬さ」、「階段昇降」、「ランニング」、「日常生活」、「装具の使用」の8項目で構成される。さらに各項目によりポイントが決められて配分されており、被験者の主観によって項目ごとに該当する状態を選ぶものである。合計点数は最大で100ポイントとなり左右別々に評価する。この評価値は、91 - 100ポイントが「Excellent」、81 - 90ポイントが「Good」、61 - 80ポイントが「Fair」、60ポイント以下が「Poor」と規定されている。なお、合計点が81ポイント以上であれば、足関節機能的不安定性は「なし」とされている。

B. 機械的不安定性

整形外科医による足関節不安定性テストにより、足関節に不安定性を有すると診断された者については、筑波大学保健管理センターにおいて、ストレステスト用足関節固定器Telos SE (Telos社製)を用いて、足関節底背屈中間位(0度)で、ストレスX線撮影を以下の2項目について行った。

A-1. 内反ストレステスト (figure 1 (a))

Table1 the physical characteristics of subjects

Subjects No.	Hight (cm)	Weight (kg)	age (yrs)	Player's Career (yrs)	Instability Side	Position
1	176	70	22	15	Right	FW
2	166	58	24	16	Right	MF
3	164	64	23	16	Left	MF
4	179	65	22	14	Right	GK
5	175	70	22	15	Left	DF
6	175	65	23	14	Right	DF
Average	172.5	65.3	22.7	15		
S.D.	6.02	4.46	0.82	0.89		

Table2 The list of evaluating for ankle functional instability

	Scoring Scale	rt.	lt.
pain	none	20	20
	in exercise	15	15
	walking on rough road	10	10
	walking 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
	1-2times on exercise in a year	20	20
	1-2times on exercise in a 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 stairs	no problem	10	10
	axiety cause of instability	5	5
	impossible	0	0
runing	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 sorts activities	2	2
	need for ADL	0	0

足関節中間位で下腿に対し内側から外側へ15kgw荷重をかけ足を内反させ、前額面でのX線撮影を行い、脛骨下端関節面と距骨関節面との傾きを、距骨傾斜角 θ (度)として測定した^{10,17,18,20}。

A-2. 前方引き出しストレステスト (figure 1 (b))

足関節中間位で後ろから前方へ15kgwの荷重を踵骨にかけ、矢状面でのX線撮影を行った。計測は、脛骨遠位関節面の後縁をA点、前縁をB点とし、距骨関節面の後縁をC点として前方引き出し率^{10,20} = $(AC / AB) \times 100$ (%)を計算した。

本研究では、杉本²⁰の研究から、距骨傾斜角は

5度以上、前方引き出し率は23～26%以上が足関節機械的不安定性「有り」とし、どちらか一方を満たした足を不安定足とした。

(2) ジャンプ着地動作の測定

動作課題 (figure 2)

動作課題には、ジャンプ着地を想定した試技を行った。試技は、高さ30cmの台の上に、非測定足で立位姿勢をとり、測定足を可能な限り脱力させ、台下のフォースプレートに着地するように指示をした。そして、足が接地してから着地動作が完了するまでの経時的な足底圧分布を記録した。動作

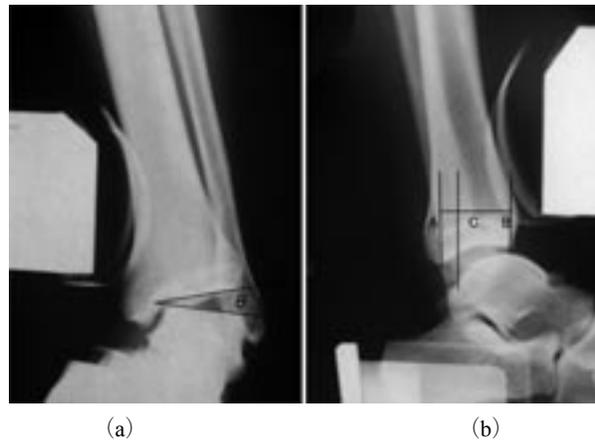


Figure1 The stress roentgenography of the ankle joint
Methods evaluating mechanical instabilities of the ankle joints with plain stress roentgenographies. Left figure (a) shows the talar tilting angle θ (degree). Right figure (b) shows the rate of anterior displacement; $(AC/AB) \times 100(\%)$.



Figure2 Landing movement from the 30cm high box to "Foot Scan".

試技は被験者が十分に練習した上で不安定足から5回ずつ測定した(不安定足5回行った後、安定足5回測定した)。

(2) Footscan 解析 (figure 3)

本研究ではFootscan7 (足底圧計測システム: RSscan INTERNATIONAL) を使用し、ジャンプ着地によりフォースプレート上に接地した瞬間を0msecとして、着地が完了するまでを3msecごとに足底圧分布を記録した。そして、得られたデータから以下の4つの項目についてそれぞれ評価した。

(3) - 1 足底圧分布

足底を踵-外側、踵-内側、中足部、第1中足骨、第2中足骨、第3中足骨、第4中足骨、第5中足骨の8つに分割し、そのポイントの圧力(N/cm²)を3msecごと経時的に計測した。分割はFootscan7によって機械的に行われた。また本研究では、足底圧を被験者間で比較するために、各試技ごとに各ポイントの圧力をそのポイントの最大圧力で除し、圧力を相対値化し、5回の平均値を算出し、経時的に追った。

(3) - 2 着地時間

接地してから着地動作が完了するまでにかかった時間を着地時間として計測した。なお、着地の

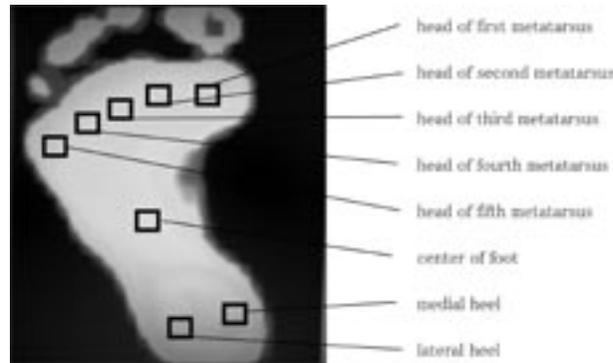


Figure3 □ shows the points at which pressures were measured.

完了は圧力中心点(COP)の動きが安定した時、すなわち各ポイントの圧変化がなくなった時点とした。

(3) - 3 最大圧力到達時間

踵 - 外側、踵 - 内側、中足部、第1中足骨、第2中足骨、第3中足骨、第4中足骨、第5中足骨の8つのポイントにおいてそれぞれ足底圧が最大になった時間を最大圧力到達時間として計測した。

3. 統計処理

統計処理は機能的不安定性評価、着地時間、最大圧力到達時間については、不安定足と健常足の各測定値を対応のあるt検定、足底圧分布は不安定足と健常足の各測定値で二元配置分散分析を行った。なお、統計処理の有意水準は5%未満とした。

結果

1. 足関節不安定性の定量的評価

(1) 機能的不安定性 (figure 4)

機能的不安定性は、不安定足で 79.5 ± 9.4 ポイント、健常足で 93.7 ± 6.2 ポイントであり、両足間で有意差がみられた。(p<0.05)

(2) 機械的不安定性 (table 3)

不安定足における機械的不安定性は、距骨傾斜角が 9.50 ± 4.04 度、前方引き出し率が $28.8 \pm 5.3\%$ であり、すべての足関節において両方またはどちらか一方において機械的不安定性を有していた。

健常足における機械的不安定性は、距骨傾斜角

が 3.83 ± 0.75 度、前方引き出し率が $18.4 \pm 2.1\%$ であり、機械的不安定性は有していなかった。また、不安定足と健常足の距骨傾斜角と前方引き出し率において、両足間で有意差が認められた(p<0.05)。

2. Footscan解析

(1) 着地の種類 (圧分布による: table 4)

不安定足 (IS)、健常足 (NS) における着地の種類とそれらの割合は table 3 に示すようになった。両足間を比較すると、足趾・第1 - 4中足骨骨頭型と足趾・第2 - 5中足骨骨頭の割合に異なる傾向がみられたが対象数が少ないため有意な差は認められなかった。

(2) 足底圧分布

・第4中足骨 (figure 5)

第4中足骨において、不安定足と健常足において同一時刻における圧力差を比較したところ 12msec から 33msec で有意差が認められた (p<0.05)。

・第5中足骨 (figure 6)

第5中足骨において、不安定足と健常足において同一時刻における圧力差を比較したところ 18msec から 45msec で有意差が認められた (p<0.05)。

・踵 - 外側 (figure 7)

踵 - 外側において、不安定足と健常足において同一時刻における圧力差を比較したところ、24msec から 48msec で有意差が認められた (p<0.05)。

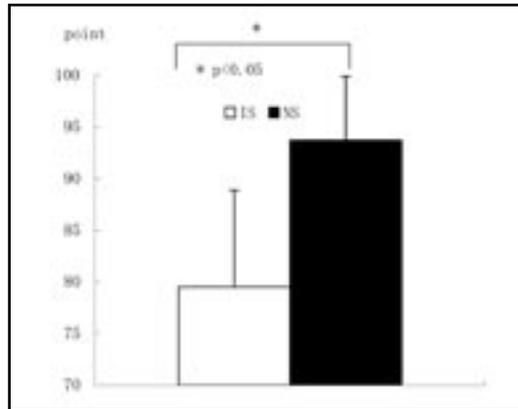


Figure4 The evaluation for functional instability. There is statistically significance between IS and NS.

Table3 Talar tilting angle and rate of anterior displace of talus in IS and NS.

subjects	Instability side (IS)		Normal side (NS)	
	Talar tilting angle	Rate of anterior displacement (%)	Talar tilting angle	Rate of anterior displacement (%)
1	7	30.0	4	16.7
2	5	23.3	3	20.0
3	16	24.1	4	16.7
4	10	26.7	3	16.7
5	7	31.3	4	21.9
6	12	37.5	5	18.8
Average	* 9.50	** 28.8	* 3.83	** 18.4
SD	4.04	5.3	0.75	2.2

* statistically significance between IS and NS in talar tilting angles.

** statistically significance between IS and NS in rates of anterior displacement.

第1から3中足骨の圧分布および踵-内側の圧変化においては有意な差は認められなかった。

(4) 最大圧力到達時間

・第1中足骨 (figure 8)

第1中足骨において、不安定足では 136 ± 35 msecで、健常足では 101 ± 36 msecであった。両足間の最大圧力到達時間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。

・第5中足骨 (figure 9)

第5中足骨において、不安定足では 65 ± 26 msecで、健常足では 104 ± 25 msecであった。両足間の最大圧力到達時間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。

第2から4中足骨及び踵部においては、最大圧力到達時間に有意な差は認められなかった。

考察

1. 足関節不安定性の定量的評価

機能的不安定性と機械的不安定性について

本研究では機能的不安定性はKarlsson and Petersonの評価法より、81ポイント未満であった場合に機能的不安定性ありとした。不安定足の機能的不安定性は健常足に比べて有意に低い値を示し、1足を除くすべての不安定足81ポイント未満であり、機能的不安定性を有していた。一方、距骨傾斜角、前方引き出し率ともに不安定足が健常足に比して有意に高い値を示した。不安定足はすべて距骨傾斜角と前方引き出し率どちらか一方で機械的不安定性が認められ、不安定足は繰り返す内反捻挫のため、踵腓靭帯あるいは前距腓靭帯(または両方とも)を損傷と修復を繰り返したために機械的不安定性を示したと考えられた。

Table4 Classification of patterns in landing

Patterns in landing	IS	NS
Toe · 1 st -4 th metatarsal head	1 (40%)	2 (20%)
Toe · 1 st -5 th metatarsal head	2 (40%)	2 (40%)
Toe · 2 nd -5 th metatarsal head	2 (20%)	1 (40%)

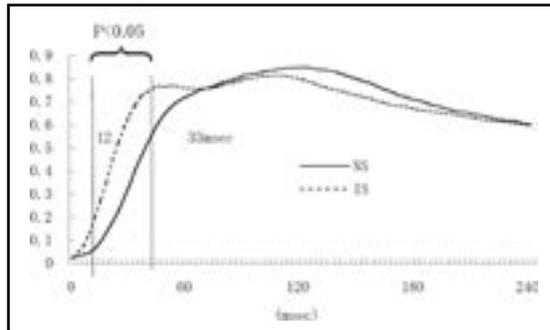


Figure5 The change of pressure at 4th metatarsal head. The pressure difference was statistically significant between IS and NS from 12msec to 33msec.

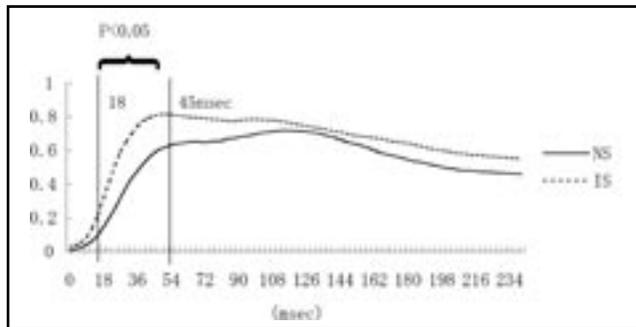


Figure6 The change of pressure at 5th metatarsal head. The pressure difference was statistically significant between IS and NS from 18msec to 45msec.

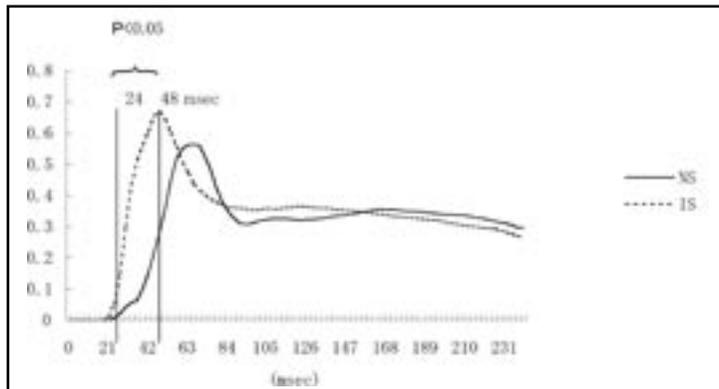


Figure7 The change of pressure at lateral heel. There was statistical significance between IS and NS from 24msec to 48msec.

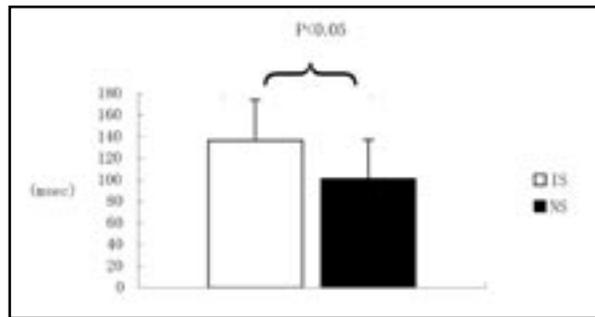


Figure8 The time to peak pressure at 1st metatarsal head in landing movement, There was statistically significance between IS and NS.

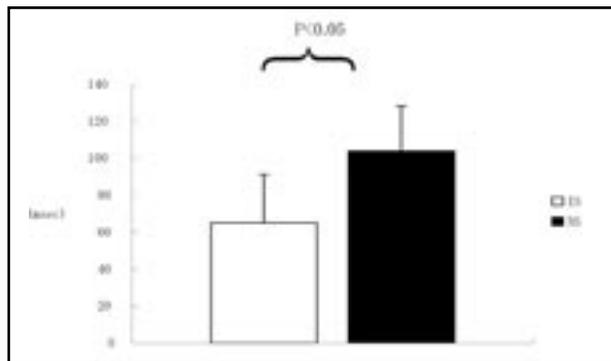


Figure9 The time to peak pressure at 5th metatarsal head in landing movement, There was statistically significance between IS and NS.

石井らは、機械的不安定性は機能的不安定性の原因ではなく、機能的不安定性を有するものは足関節捻挫起こすことで機械的不安定性が発症しやすいとしている^{5,7)}が本研究では対象者に機能的あるいは機械的不安定性を有していたため、不安定性を有する足関節としての対象として条件を満たしていると考えられた。

2. Foot scanにおける不安定足に見られる特徴

各ポイントにおける足底圧分布を不安定足と健常足で比較すると、不安定足では着地後早い時間において、第4中足骨、第5中足骨、踵-外側で健常群よりも有意に大きな圧力を示した。また、着地後に最大圧力に達するまでにかかる時間においては、不安定足では第5中足骨で健常足に対して有意に早く最大圧力に達した。第4・5中足骨および踵-外側は足底の外側に位置しているが、本研究から不安定足は健常足よりも着地動作にお

いて外側に大きな圧力がかかっていることが考えられた。着地の種類では対象数が少ないため有意な傾向は認められなかったが、不安定足の方が外側接地の傾向が認められた。以上から着地時に足部が内反傾向にあったと考えられた。

着地動作における足関節周囲筋の筋活動を研究した宮下¹²⁾は、足関節不安定性を有さない者は着地後に腓骨筋の有意な活動が認められたが、足関節不安定性を有する者では腓骨筋の有意な活動は認められず、着地後に選択的に腓骨筋群の活動を高め、足関節の内反を制御しようとする現象が欠如しているとしていると報告している。足関節の安定性に関与する腓骨筋の役割としては、腓骨筋の収縮により足部を外反させ、内反接地を防ぐことにある^{4,10,15)}。従って、足関節不安定性を有する時、着地動作時に不安定足に内反傾向が生じていることが今回の研究から判ったがそれは腓骨筋群の活動が遅れるためと考えられた。

結語

足関節不安定足は着地動作時に足部が内反傾向にあり、その原因として先行研究から腓骨筋の活動の低下考えられたが、今後の課題として不安定足に対してゴムチューブ等による腓骨筋の筋力トレーニングを行うことで、着地動作において、内反傾向が解消されることを証明することである。

謝辞

この調査は平成16年度の卒業論文のテーマの一つであり、当時4年生の千葉崇博氏の多大な努力によって行われたものでした。ご協力頂いた筑波大学蹴球部部員の皆様に深く御礼を申し上げます。そして保健管理センターの忙しい業務の中時間をさいてX線撮影して頂いた片岡裕司放射線技師と大塚盛男センター長をはじめとするスタッフの方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Becker H, Rosenbaum D, Claes L, Gerngro H (1997) : Measurement of plantar pressure distribution during gait for diagnosis of functional lateral ankle instability. *Clin Biomech* 12 (3) : 19
- 2) Feuerbach JW, Grabiner MD, Koh YJ, Weiker GG (1994) : Effect of ankle orthosis and ankle ligament anesthesia on ankle joint proprioception. *Am J Sports Med* 22 : 223 - 229
- 3) 福岡重雄, 斉藤和快(2002) : プロサッカー選手における足関節靭帯損傷の急性期および反復受傷者の対処法(予防トレーニング方法を含めて). *臨床スポーツ医学* 19 (2) : 123 - 127
- 4) 福岡重雄, 斉藤和快(2002) : 急性及び反復性の捻挫とリハビリテーション&予防. *Coaching Clinic*. 9 : 12 - 15
- 5) 石井朝夫, Khin-Myo-Hla, 坂根正孝, 宮城哲, 佐藤彩乃, 林浩一郎(1997) : 機能的不安定性を伴う反復性足関節捻挫の腓骨筋反応時間. *日本整形外科学会誌* 71 (3) : 694
- 6) Karlsson J, Peterson L (1991) : Evaluation of ankle joint function : the use of a scoring scale. *The Foot* 1 : 15-19, 1991.
- 7) 川野哲英(2002) : 足関節靭帯損傷に対する機能的テーピング療法. *臨床スポーツ医学* 19 (2) : 155 - 162
- 8) 小林寛和(1997) : 足関節捻挫(保存療法) - 足関節内反捻挫の陳旧例で二次的機能障害併発 - : *スポーツ外傷・障害の理学療法* ; 368 - 373
- 9) 小林寛和(1993) : 足関節捻挫(保存療法 : 新鮮例). *臨床スポーツ医学* 10, 増刊号 : 361 - 366
- 10) 黒澤尚, 星川吉光, 高尾良英, 坂西英夫, 川野哲英(2001) *スポーツ外傷学IV下肢*. 医歯薬出版株式会社, 東京 : Pp. 299.
- 11) 三木英之, 蒲田和芳(2002) : 急性足関節靭帯損傷のリハビリテーションとスポーツ復帰. *臨床スポーツ医学* 19 (2) : 143 - 148
- 12) 宮下寛子(2003) : 足関節不安定性が着地動作時の筋活動に及ぼす影響 : *体育科学* 52 (6) : 978
- 13) 森石丈二, 鈴木賢一, 西川悟(2001) : バスケットボール選手にみられる足関節の外傷・障害 - 急性損傷 -. *臨床スポーツ医学* 18 (9) : 985 - 990
- 14) 縄田耕二, 岸本英彰, 那須吉郎, 塩谷彰秀, 村田雅明, 橋口浩一, 岸隆広, 西畑貴子, 林育太, 西原伸二, 豊島良太(2003) : 足関節機能的不安定性を持つスポーツ選手の足底圧分布. *日本整形外科学会雑誌* 77 (3) : 381
- 15) Platzer W (著) 長島聖司(訳) (2002) 分冊 解剖学アトラス I. 文光堂, 東京 : Pp. 343.
- 16) Richard Lofvenberg, Johan Karrholm, Gunnevi Sundelin, Olof Ahlgren : Prolonged Reaction Time in Patients with Chronic Lateral Instability of the Ankle (1995). *Am J Sports Med* 23 (4) : 414 - 417
- 17) 桜庭景植(2002) : 足関節靭帯損傷の受傷機転と診断(定量的評価, 画像診断を含む). *臨床スポーツ医学* 19 (2) : 113 - 121
- 18) 下條仁士, 宮永豊, 福林徹, 林浩一郎(1990) : バスケットボール選手における足関節捻挫の定量的ストレスX線計測とテーピングの効果について. *日本整形外科スポーツ医学会誌* 9 : 277 - 281
- 19) 下條仁士(2002) : 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
- 20) 杉本和也(2000) : 足関節外側靭帯損傷とその合併症の診断. *MB Orthop*. 13 : 9 - 15
- 21) 浦辺幸夫, 金村朋直, 川口浩太郎, 大成浄志, 岩本久生(2002) : 足関節にテーピングあるいは

- 装具のどちらを選ぶ？ 4. 足関節内反捻挫のシミュレーション分析. 臨床スポーツ医学19(3): 323 - 329
- 22) 山本利春, 井上佳子(2001): 足関節筋力に及ぼすチューブトレーニングの効果. Sportsmedicine31: 40 - 42