片脚着地動作における着地前筋活動と 接地時の足関節肢位との関係

The Relationships between Pre-landing Muscle Activation and Ankle Position at Ground Contact during Single-Leg Drop Landing

越野 裕太^{1,2)} 山中 正紀^{3,4)} 武田 直樹^{3,4)}

YUTA KOSHINO, RPT, MS^{1,2)}, MASANORI YAMANAKA, RPT, PhD^{3,4)}, NAOKI TAKEDA, MD, PhD^{3,4)}

¹⁾ Graduate School of Health Sciences, Hokkaido University: Kita-12 Nishi-15, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0812, Japan.

TEL+81 11-706-3383 E-mail: y-t-1-6@hs.hokudai.ac.jp

²⁾ Rehabilitation Center, NTT East Corporation Sapporo Hospital

³⁾ Department of Rehabilitation Science, Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

⁴⁾ Hokuto Endowed Chair in Prevention of Joint Disease, Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

Rigakuryoho Kagaku 28(4): 527-532, 2013. Submitted Feb. 18, 2013. Accepted Mar. 28, 2013.

ABSTRACT: [Purpose] To investigate the relationships between pre-landing ankle muscle activities and ankle position at ground contact during single-leg drop landing. [Subjects] Nine healthy subjects (4 men and 5 women, a total of 18 legs) participated in this study. [Methods] The ankle dorsiflexion and inversion angles, EMG activities of the peroneus longus (PL), tibialis anterior (TA), and gastrocnemius medialis (GM) were recorded during a single-leg drop landing from a 30-cm high box. The integrated EMG (IEMG) activity during the pre-landing (100 ms before ground contact), muscle activity ratio for the ankle plantarflexor and dorsiflexor, and the invertor and evertor muscles were calculated using each IEMG activity. [Results] There was a significant positive correlation between TA pre-landing IEMG activity and ankle inversion angle at ground contact, as well as GM pre-landing IEMG activity and ankle dorsiflexion angle at ground contact. Moreover, TA IEMG activity relative to PL and GM IEMG activities were significantly associated with ankle inversion angle at ground contact. [Conclusion] These results suggest that the pre-landing ankle muscle activities and their ratios are associated with ankle position at ground contact.

Key words: muscle pre-activation, ankle sprain, landing

要旨:〔目的〕片脚着地動作における接地前の足関節周囲筋活動と接地時の足関節肢位との関係を調べることとした。〔対象〕健康者9名18脚とした。〔方法〕30 cm 台からの片脚動作中の足関節背屈および内反角度と、長腓骨筋 (PL)、前脛骨筋 (TA)、腓腹筋内側頭 (GM) の筋活動を記録した。得られた計測値から接地前 100 ms 間の各筋電積分値と、足関節の底背屈筋、内外反筋活動比を算出した。〔結果〕TA の接地前筋活動と接地時の大きな内反角度との間に、GM の接地前筋活動と接地時の足関節背屈角度との間に、また、PL、GM に対する TA の相対的な筋活動と接地時の内反角度との間にそれぞれ有意な正の相関を認めた。〔結語〕着地動作における接地前の足関節周囲筋活動量と筋活動比は接地時の足関節肢位に関連することが示唆された。

キーワード: 接地前筋活動, 足関節捻挫, 着地動作

¹⁾ 北海道大学大学院 保健科学院: 札幌市北区北 12 条西 5 丁目 (〒060-0812) TEL 011-706-3383

²⁾ NTT 東日本札幌病院 リハビリテーションセンター

³⁾ 北海道大学大学院 保健科学研究所 機能回復学分野

⁴⁾ 北海道大学大学院 保健科学研究所 北斗関節機能障害予防学分野

I. はじめに

足関節内反捻挫は最も一般的なスポーツ損傷であり、全スポーツ損傷の15-30%を占める^{1,2)}。その再発率は約70%にまで及び³⁾、受傷者の40-75%で慢性的な足関節不安定性(chronic ankle instability; CAI)へ⁴⁾、さらに、複数回の受傷は足関節の変形性関節症や軟骨病変^{5,6)}へ発展することも報告されている。それゆえ、足関節内反捻挫の初発および再発を予防することは重要である。

足関節内反捻挫は着地動作時に生じることが多い^{7,8)}。その発生因子として接地時の不適切な足関節肢位が関わりとされている⁹⁾。接地時の、足関節の底屈角度や内反角度の増加は足関節に加わる内反モーメントの増加を通して、足関節内反捻挫の潜在的危険性を高めると示唆されている^{10,11)}。CAIを有する者では、健常者と比較して着地動作や歩行において接地時に大きな足関節内反角度を示す¹²⁻¹⁴⁾ことが報告されており、これらの足関節運動変化が足関節捻挫の再発や足関節のgiving way(急性の捻挫をもたらない制御困難な過度の足関節内反)に関連していると考えられている。しかし、何故接地時に足関節の肢位が変化しているのかについては明らかになっていない。

着地動作においては、足部が地面に接地する前に衝撃に対する準備として筋活動が生じることが示されており¹⁵⁾、予期せぬ、急速な足関節内反運動に抗するためには接地前の筋活動による動的な保護が不可欠であると考えられている¹⁶⁾。接地前の足関節周囲筋の活動は足関節の安定性を高めると推察されるが、実際に接地時の足関節の運動に影響を与えるのかどうかについて明らかになっていない。また、CAIを有する者では健常者と異なる着地動作時の接地前の足関節周囲筋活動に加え接地前後の足関節肢位の変化が見られるが^{12,17)}、これらの直接の関係は不明である。足関節内反捻挫の予防にとって足関節肢位の適切な動的制御を可能にするために、着地動作における接地時の足関節肢位に影響を与える要因を明らかにすることは重要であると考えられる。CAIを有する者は前距腓靭帯の病的な弛緩や、関節位置覚の障害を呈することから、これらの因子が足関節運動に影響を与えている可能性がある^{18,19)}。接地前の筋活動と足関節肢位との関係の有無を明らかにするために、まずはこれらの障害がない健常者においてどのような特性を持つのかを明確にすることが必要である。これはCAIによってもたらされる変化した足関節肢位の要因解明の一助になると考える。よって、本研究の目的は健常者を対象として着地動作における接地前の足関節周囲筋活動と接地時の足関節肢位との関係性を調べることとした。

II. 対象と方法

1. 対象

足関節捻挫の既往がなく、さらに下肢に整形外科的疾患の既往や手術歴がない健常者9名18脚(男性:4名, 女性5名, 年齢, 身長, 体重の平均±標準偏差はそれぞれ, 21.2 ± 0.4 歳, 162.8 ± 7.7 cm, 52.1 ± 8.0 kg)を対象とした。各被験者には、実験前に、本研究内容についての説明を口頭と書面により行い、実験参加に対する理解と同意を得た。本研究は北海道大学大学院保健科学院の倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号:09-57)。

2. 方法

動作計測には赤外線カメラ6台(Hawk Digital Camera, Motion Analysis社製, USA)をサンプリング周波数200 Hz, 床反力計1枚(Kistler社製, Swiss)を1200 Hzにて使用した。各被験者に貼付された赤外線反射マーカーの3次元座標および床反力データはEvaRT4.3.57(Motion Analysis社製, USA)を使用して収集した。ボディスパッツを着用した被験者の、両側の上前腸骨棘, 大転子, 大腿外側中央, 大腿骨内外側上顆, 下腿外側中央, 内外果, 踵骨隆起, 第1, 2, 5中足骨頭と仙骨に合計25個の反射マーカーを貼付した。

まず、動作記録前に静的立位時のマーカー座標を記録した。動作課題は片脚着地動作とした。例として右脚で着地する場合、被験者は30 cm高の台の上に左脚で立ち、右脚は非荷重としリラックスさせ、それから右脚で床反力上へ着地した。動作中は、被験者の両手を腰に固定することとした。非着地脚が接地した場合、大きく体幹が屈曲または側屈した場合あるいは両手が腰から離れた場合は失敗とした。被験者に動作計測前の十分な練習時間を与えた。各脚3回の成功施行が記録され、1人につき計6試行記録した。マーカーを直接足部の骨ランドマークに貼付するために全試行は裸足で実施された。

SIMM 4.2.1(MusculoGraphics社製, USA)を用い、各被験者個別の骨盤と下肢の骨モデルを作製した²⁰⁾。被験者の体重やセグメント長に基づき、セグメント慣性特性を適合させた²¹⁾。足関節座標系はInmanの足関節座標系と同様に設定されており^{20,22)}、膝関節屈曲、足関節背屈および内反を正の値で表した。なお、SIMMは皮膚運動による誤差と変動性を減ずるアルゴリズムであるglobal optimization method^{23,24)}を介して、各マーカーの3次元座標から関節角度を算出するものである。関節角度は被験者の計測された静的立位に対して表現された。初期接地時の足関節の角度が抽出され、3試行の平均値を解析に使用した。

被験筋を前脛骨筋(TA)、長腓骨筋(PL)、腓腹筋内側頭(GM)とした。筋活動量の計測には表面筋電計(日本光電社製)をサンプリング周波数1200 Hzで使用した。

計測前にアルコール綿で皮膚処置をした後、表面電極 (AMBU社製, ブルーセンサー) を中心間距離 30 mm で, SENIAM の推奨に準じて各筋に配置した²⁵⁾. TA, PL の最大随意等尺性収縮 (MVIC) の計測法は SENIAM project (surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles) の推奨方法に準じ²⁵⁾, GM の MVIC の計測は片脚立位におけるヒールレイズで計測した. MVIC の計測時間は各筋 5 秒間とした. 導出されたアナログ信号は A/D 変換してコンピュータに取り込まれた. これらの筋電データに対しカスタム MATLAB プログラム (MathWorks 社製, USA) を用いて, 各筋の筋電波形について 4 次の Butterworth bandpass filter (20–500 Hz) 処理し²⁶⁾, 全波整流後に 4 次の Butterworth low pass filter (cutoff 10 Hz) による平滑化を施した²⁷⁾. 初期接地の前 100 ms 間の各筋の積分値を算出し, MVIC 中の 100 ms 間の積分値の最大値を基準として正規化した. さらに, 正規化された各筋積分値から, 足関節の底背屈筋, 内外反筋活動比をそれぞれ TA/GM 比, TA/PL 比として算出した. 各筋の 3 試行の積分値および筋活動比の平均値が解析に使用された. なお, 4 次の Butterworth low pass filter (cutoff 200 Hz) 処理された垂直床反力が初めて 10 N を超えた瞬間を初期接地として定義した²⁸⁾.

接地時の足関節背屈, 内反角度と, 接地前の各筋の積分値および筋活動比との関連性を調査するために, Pearson の積率相関係数を用いて分析した. 有意水準は 5% 未満とし, SPSS version 17 (IBM 社製, USA) を用いた.

III. 結 果

初期接地時の全被験者の下肢関節肢位は平均して膝関節軽度屈曲, 足関節底屈および軽度外反位であり (図 1), 底背屈に関しては全脚底屈位を示し, 内外反に関しては

内反位または外反位を示し一定ではなかった. また全ての被験筋で接地前筋活動が認められ, PL と TA では接地に向かって徐々に筋活動が大きくなっていくが, GM では接地前に最大の筋活動に達していた (図 2). 接地前の TA 積分値と接地時の内反角度との間に有意な正の相関が認められた ($R=0.475$, 表 1). また接地前の GM 積分値と接地時の背屈角度との間に有意な正の相関が認められた ($R=0.583$, 表 1). 接地前の筋活動比に関して, TA/PL 比および TA/GM 比と接地時の内反角度との間に有意な正の相関が認められた (それぞれ $R=0.561$ および $R=0.588$, 表 2).

IV. 考 察

着地動作における接地時の不適切な足部肢位は足関節捻挫の危険性を高めると考えられている⁹⁾. また, 足関節不安定性を有する者は健常者に比して接地時の足関節内反角度が大きいことや¹²⁻¹⁴⁾, 接地前の筋活動の変化が報告されているが^{12,14,17)}, これらの直接の関係は不明である. そこで, 本研究は健常者を対象とし, 着地動作における接地前の筋活動と接地時の足関節肢位との関連性の有無を分析した.

まず, 本研究の結果は足関節周囲筋である TA の接地前筋活動は足関節の前額面肢位に有意に関係することを示した. TA は足関節を背屈, 内反させる機能を有している. それゆえ, 接地前の TA の筋活動と接地時の足関節内反角度との間に正の相関を認めたと考えられる.

また, 接地前の GM 積分値と接地時の背屈角度との間に正の相関が認められた. GM の筋活動パターンをみると (図 2), 接地の直前に筋活動のピークに達していた. また, 接地前の足関節の肢位は底屈位であり, 接地の直前から徐々に底屈角度が減少し背屈運動へと切り替わっていた (図 1). Self and Paine (2001) は 4 つの異なる着地

図 1 片脚着地動作における接地前後 100 msec 間の平均膝関節屈伸角度, 足関節内外反角度および底背屈角度の経時変化. 0 msec は接地の瞬間を示す. 縦軸の正の値は屈曲, 内反, 背屈を示す.

図 2 片脚着地動作における接地前後 100 msec 間の長腓骨筋 (PL), 前脛骨筋 (TA), 腓腹筋内側頭 (GM) の平均筋活動 (%MVIC) の経時変化. 0 msec は接地の瞬間を示す.

表1 接地前筋活動と接地時の足関節肢位との相関 (Pearsonの相関係数)

	前脛骨筋 (TA)	腓腹筋内側頭 (GM)	長腓骨筋 (PL)
内反角度	R=0.475 (P=0.046)	R=-0.351 (P=0.154)	R=-0.080 (P=0.752)
背屈角度	R=0.032 (P=0.900)	R=0.583 (P=0.011)	R=-0.271 (P=0.276)

表2 接地前筋活動比と接地時の足関節肢位との相関 (Pearsonの相関係数)

	TA/PL比	TA/GM比
内反角度	R=0.561 (P=0.016)	R=0.588 (P=0.010)
背屈角度	R=0.251 (P=0.316)	R=-0.183 (P=0.466)

戦略を調査し、接地時の足関節底屈が大きい着地戦略が垂直床反力を最も吸収したことを示した²⁹⁾。Schmitsら(2007)は片脚着地動作におけるエネルギー吸収には他の関節に比べ足関節が最も寄与することを示し、主に下腿三頭筋が床反力を減衰させることを示唆した³⁰⁾。本研究において、接地時の底屈角度が小さい者は、接地前のGMの筋活動を高めることによって衝撃を吸収していた可能性がある。また、GMは足関節を底屈させる機能と、さらに二関節筋であるため膝関節を屈曲させる機能を有している。片脚着地動作では接地に備えて接地直前に背屈運動とほぼ同時に膝関節の屈曲運動が生じていた(図1)。結果には示していないが、接地時の足関節背屈角度と膝関節屈曲角度との間には有意な正の相関を認めた(R=0.624, P=0.008)。それゆえGMは接地前に活動することにより衝撃吸収の準備をし、さらに膝関節を屈曲させる機能として作用することで運動する足関節背屈運動を導いた可能性がある。

接地前の各筋活動だけでなく、そのバランスが接地時の足関節肢位に有意に関係していることも示唆された。TA/PL比およびTA/GM比と接地時の内反角度との間に有意な正の相関が認められた。つまりPL、GMの接地前筋活動の低下またはTAの筋活動の増加することでTA/PL比およびTA/GM比は大きくなり、足関節内反角度も大きくなる可能性がある。PLは足関節を外反させる機能を有し、急な足関節内反運動に対する動的な保護を提供することから、足関節内反捻挫を予防するために重要視されている筋である³¹⁾。しかし、本研究の結果からはPLの接地前筋活動と足関節角度との有意な相関は認められていないため、PLの単独の筋活動ではなく、TAとPLの前額面における筋活動バランスが足関節の内反運動の制御に貢献すると考えられる。またCAIを有する者では健常者に比べ、着地動作^{12,17)}の他に、歩行や急な切り返し動作においても^{14,32)}PLの低下した筋活動が認められ、着地動作や歩行での大きな足関節内反角度が示されている¹²⁻¹⁴⁾。これらの報告例を、本研究結果を踏まえて考えると、PLの接地前筋活動の低下がTA

との筋活動バランスを崩し、これが足関節の内反角度の増加をもたらしたものと解釈される。GMの前額面での機能はTAと同様に足関節を内反させると考えられている。それゆえ、なぜTA/GM比が内反角度と関係するかについてを明白に説明するのは難しい。しかし、TAとGMは主動筋と拮抗筋の関係であり、足関節を背屈・内反させる機能を有するTAの筋活動を制御するためにはGMの筋活動が重要であるのかもしれない。

接地時の足関節内反角度が大きいと距骨下関節軸は床反力作用線に対して外側に位置しやすいため、足関節に加わる外部内反モーメントが大きくなると考えられている¹¹⁾。近年、実験室内で足関節内反捻挫の受傷場面を解析した症例報告では、足関節内反捻挫を生じたカッティング動作では外部足関節内反モーメントが急増していたことが明らかにされており³¹⁾、このモーメントの増大をいかに抑制するかが足関節内反捻挫の予防にとって重要である。よって、接地前のTAの、そしてPLおよびGMに対するTAの筋活動は足関節内反捻挫の予防にとって重要な因子となるかもしれない。

本研究において足関節周囲筋活動は3筋全てにおいて接地前に活動が観察された。PLとTAは接地に向かって徐々に筋活動が増加しているが、GMは接地前のまだ足部が空中にあるときに最大筋活動に達していた(図2)。この着地動作におけるGMの接地前筋活動のパターンは先行研究と一致する^{27,34)}。Santello(2005)はGMのような足関節底屈筋群の接地前筋活動は足関節のスティフネスを高めることを示唆した¹⁵⁾。また底屈筋はTAやPLと共同収縮することで足関節の安定性に寄与しているかもしれない³⁴⁾。それゆえ、これらの足関節周囲筋の接地前筋活動は接地時の衝撃による足関節の運動の逸脱を抑制するために不可欠であると言える。着地時に生じる予期しない急な足関節内反運動を予防するためには、接地前の筋活動が不可欠であると考えられている¹⁶⁾。本研究から、足関節周囲筋の接地前筋活動および筋活動バランスは接地時の足関節の肢位に有意な程度の影響を与えることが明らかとなった。CAIを有する者や足関節内反捻挫を受傷した患者には足関節周囲筋の筋活動変化および筋力低下が存在することが報告されている^{19,35-37)}。今後は、足関節不安定性や固有受容感覚の障害などの影響も含め、健常者とCAIを有する者との間で着地動作時の筋活動や足関節運動を比較検討することが必要である。また、これらの筋活動バランスが崩れていると、着地動作のようなダイナミックな動作において足関節は内

反捻挫にとって脆弱な肢位に陥るかもしれない。単一の筋のみに対するよりも、足関節を交差する筋群全体に対するアプローチが、足関節内反捻挫の予防において、適切で安全な足関節肢位の獲得にとって重要であるかもしれない。

本研究において考慮すべき限界は、足関節内反筋である後脛骨筋の筋活動を計測していないことである。この筋の接地前筋活動によっても足関節の肢位は影響を受けていたかもしれない。しかし、後脛骨筋は表面筋電図で計測することは困難であり、侵襲的な針筋電図を使用しなければ正確なデータを計測できないことから今後、計測方法を含めて検討すべき課題である。

引用文献

- 1) Wilkerson LA: Ankle injuries in athletes. *Primary Care*, 1992, 19: 377-392.
- 2) Garrick JG, Requa RK: The epidemiology of foot and ankle injuries in sports. *Clinics Sports Med*, 1988, 7(1): 29-36.
- 3) Yeung MS, Chan KM, So CH, et al.: An epidemiological survey on ankle sprain. *Br J Sports Med*, 1994, 28(2): 112-116.
- 4) Gerber JP, Williams GN, Scoville CR, et al.: Persistent disability associated with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population. *Foot Ankle Int*, 1998, 19(10): 653-660.
- 5) Harrington KD: Degenerative arthritis of the ankle secondary to long-standing lateral ligament instability. *J Bone Joint Surg Am*, 1979, 61(3): 354-361.
- 6) Valderrabano V, Hintermann B, Horisberger M, et al.: Ligamentous posttraumatic ankle osteoarthritis. *Am J Sports Med*, 2006, 34(4): 612-620.
- 7) Bahr R, Bahr IA: Incidence of acute volleyball injuries: A prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. *Scand J Med Sci Sports*, 1997, 7(3): 166-171.
- 8) McKay GD, Goldie PA, Payne WR, et al.: Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors. *Br J Sports Med*, 2001, 35(2): 103-108.
- 9) Robbins S, Waked E: Factors associated with ankle injuries. Preventive measures. *Sports Med*, 1998, 25(1): 63-72.
- 10) Wright IC, Neptune RR, van den Bogert AJ, et al.: The influence of foot positioning on ankle sprains. *J Biomech*, 2000, 33(5): 513-519.
- 11) Tropp H: Commentary: Functional ankle instability revisited. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 512-515.
- 12) Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B: 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 Orthop Res*, 2006, 24(10): 1991-2000.
- 13) Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B: Ankle function during hopping in subjects with functional instability of the ankle joint. *Scand J Med Sci Sports*, 2007, 17(6): 641-648.
- 14) Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B: Altered neuromuscular control and ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint. *Am J Sports Med*, 2006, 34(12): 1970-1976.
- 15) Santello M: Review of motor control mechanism underlying impact absorption from falls. *Gait Posture*, 2005, 21(1): 85-94.
- 16) Hertel J: Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 364-375.
- 17) Caulfield B, Crammond T, O'Sullivan A, et al.: Altered ankle-muscle activation during jump landing in participants with functional instability of the ankle joint. *J Sport Rehabil*, 2004, 13(3): 189-200.
- 18) Yokoyama S, Matsusaka N, Gamada K, et al.: Position-specific deficit of joint position sense in ankles with chronic functional instability. *J Sports Sci Med*, 2008, 7: 480-485.
- 19) Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, et al.: Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 487-493.
- 20) Delp SL, Loan JP, Hoy MG, et al.: An interactive graphics-based model of the lower-extremity to study orthopedic surgical-procedures. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1990, 37(8): 757-767.
- 21) DeLeva P: Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J Biomech*, 1996, 29(9): 1223-1230.
- 22) Inman VT: *The Joints of the Ankle*. Williams and Wilkins, Baltimore. 1976.
- 23) Lu TW, O'Connor JJ: Bone position estimation from skin marker co-ordinates using global optimisation with joint constraints. *J Biomech*, 1999, 32(2): 129-134.
- 24) Roux E, Bouilland S, Godillon-Maquinghen AP, et al.: Evaluation of the global optimisation method within the upper limb kinematics analysis. *J Biomech*, 2002, 35(9): 1279-1283.
- 25) SENIAM <http://www.seniam.org/> (閲覧日 2010年3月4日)
- 26) DeLuca CJ: The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech*, 1997, 73(2): 135-163.
- 27) Iida Y, Kanehisa H, Inaba Y, et al.: Activity modulations of trunk and lower limb muscles during impact-absorbing landing. *J Electromyogr Kinesiol*, 2011, 21(4): 602-609.
- 28) Brown CN, Bowser B, Orellana A: Dynamic postural stability in females with chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(12): 2258-2263.
- 29) Self BP, Paine D: Ankle biomechanics during four landing techniques. *Med Sci Sports Exerc*, 2001, 33(8): 1338-1344.
- 30) Schmitz RJ, Kulas AS, Perrin DH, et al.: Sex differences in lower extremity biomechanics during single leg landings. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2007, 22(6): 681-688.
- 31) Ashton-Miller JA, Ottaviani RA, Hutchinson C, et al.: What best protects the inverted weightbearing ankle against further inversion? Evertor muscle strength compares favorably with shoe height, athletic tape, and three orthoses. *Am J Sports Med*, 1996, 24(6): 800-809.
- 32) Suda EY, Sacco IC: Altered leg muscle activity in volleyball players with functional ankle instability during a sideward lateral cutting movement. *Phys Ther Sport*, 2011, 12(4): 164-170.
- 33) Kristianslund E, Bahr R, Krosshaug T: Kinematics and kinetics of an accidental lateral ankle sprain. *J Biomech*, 2011, 44(14): 2576-2578.
- 34) Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Brüggemann GP: The

-
- effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *J Electromyogr Kinesiol*, 2003, 13(6): 533-544.
- 35) Pontaga I: Ankle joint evertor-invertor muscle torque ratio decrease due to recurrent lateral ligament sprains. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2004, 19(7): 760-762.
- 36) Fox J, Docherty CL, Schrader J, et al.: Eccentric plantar-flexor torque deficits in participants with functional ankle instability. *J Athl Train*, 2008, 43(1): 51-54.
- 37) Palmieri-Smith RM, Hopkins JT, Hopkins JT, et al.: Peroneal activation deficits in persons with functional ankle instability. *Am J Sports Med*, 2009, 37(5): 982-988.