バランスシューズを用いた下肢リアライメントプログラムが大学女性バレーボール選手の着地時下肢筋活動に及ぼす効果：前後比較試験

The effects of lower limb realignment program using Balanceshoes on lower limb muscle activity during landing maneuvers in collegiate female volleyball players: time series design

蒲田 和芳¹⁾ 山地 勇喜²⁾ 窪田 智史³⁾

KAZUYOSHI GAMADA¹⁾, YUKI YAMAJI²⁾, SATOSHI KUBOTA³⁾

要旨：バランスシューズは足に装着するトレーニング器具で、膝関節動的外反（dynamic valgus）の矯正効果が期待される。我々はバランスシューズを用いた15分間の下肢リアライメントプログラムを考案し、大学女性バレーボール選手の着地動作時の下肢筋活動に及ぼす効果を検証した。介入は週3回、4週間実施した。介入前後に、30cm台からの片脚着地と drop vertical jump 実施時の下肢筋活動を測定、分析した。介入後、片脚着地では初期接地後20msec 間での半腱様筋活動量と半腱様筋／大腿二頭筋比が、drop vertical jump では初期接地前後20msec 間での半腱様筋／大腿二頭筋比と初期接地後20msec 間での内側広筋／外側広筋比が介入前に比べ増加した。このことより、本プログラムは、大学女性バレーボール選手の着地動作時の半腱様筋と内側広筋の筋活動を改善させる可能性がある と結論づけられた。

キーワード：膝前十字靭帯損傷予防プログラム、動的アライメント、筋活動

Abstract: We implemented an exercise program using the ReaLine Balanceshoes (GLAB corp.). The aim of this study was to determine if the Balanceshoes program elicit neuromuscular adaptation during landing activities.

Six collegiate female volleyball players were enrolled. The subjects performed Balanceshoes exercises. One session taking 15 minutes was executed 3 days a week for 4 weeks. The Balanceshoes is a shoe-type training device aimed for correcting dynamic valgus. The sole of the Balanceshoes remains horizontally balanced only when the knee-over-the-toe position is maintained. A 4-staged progressive exercise program includes slow closed-chain strengthening, joint realignment, balancing (biofeedback), feedforward (landing) and plyometric (jumping) components. Neuromuscular activity of 6 muscles was recorded during a single-limb landing and a drop vertical jump maneuvers.

Post-intervention electromyographic activities of the semitendinosus ($p=0.04$) and the semitendinosus/biceps femoris ratio ($p=0.046$) during the landing phase of the single-limb landing were greater than pre-intervention activities. Post-intervention semitendinosus/biceps femoris ratio ($p=0.03$) during the prelanding and landing phases and vastus medialis/vastus lateralis ratio ($p=0.04$) during the landing phase of the drop vertical jump were also greater than pre-intervention activities. Neuromuscular adaptation during landing maneuvers were elicited which would potentially decrease the risk of dynamic valgus.

Key words: ACL injury prevention program, dynamic alignment, muscle activity

受付日：2012年10月9日、採択日：2013年1月30日

¹⁾ 広島国際大学 保健医療学部 総合リハビリテーション学科

〒739-2695 広島県東広島市黒瀬学園台555-36 広島国際大学 1号館705号室

TEL/FAX : 0823-70-4550 E-mail: kazgamada@ortho-pt.com

Department of Integrated Rehabilitation, Hiroshima International University

²⁾ 独立行政法人 国立病院機構浜田医療センター リハビリテーション科

Department of Rehabilitation, National Hospital Organization Hamada Medical Center

³⁾ 広島国際大学大学院 医療・福祉科学研究科 医療工学専攻

Graduate School of Medical Technology and Health Welfare Sciences, Hiroshima International University

I. 背景

膝前十字靱帯 (anterior cruciate ligament : ACL) 損傷は、注目度の高いスポーツ外傷の1つである。米国では年間250,000件もの ACL 損傷が発生するとされ¹⁾、特に10代後半の女性アスリートに好発する²⁾。日本の中学生バスケットボール選手を対象にした大規模疫学研究においても同様の結果が示され、1000活動時間当たりの ACL 損傷発生件数は男性が0.001件であったのに対し女性は0.007件であった³⁾。ACL 損傷の治療には1件当たり約17,000ドルもの費用がかかり、経済的損失は莫大である⁴⁾。スポーツ復帰には6-12ヶ月要すことから⁵⁾、選手の労働時間損失や授業欠席が生じ、学業成績低下や奨学金の取り消しなどの社会的損失も問題となっている^{6,7)}。さらに、再建術を行ったとしても多くの症例が将来的に変形性膝関節症を発症するなど^{8,9)}、二次的な膝関節障害を惹起する可能性もある。したがって、ACL 損傷予防の取り組みは急務であるといえる。

ACL 損傷の特徴として、非接触型損傷が70-80%を占めることが挙げられる^{1,10,11)}。なかでもジャンプ着地動作のような減速動作で発生することが報告され、その際に過度の膝関節外反・内旋のような膝関節動的マルアライメントと脛骨前方偏位を呈することが主要な受傷メカニズムであるとされた^{10,12)}。外傷受傷リスクの少ない膝関節動的アライメントの保持には筋活動が不可欠であることから、種々の危険因子の中でも特に神経筋因子が注目されてきた¹⁾。近年、神経筋トレーニングを中心としたさまざまな ACL 損傷予防プログラムが考案され、その実施によって損傷発生率が減少したと報告された^{13,14)}。しかし、ACL 損傷とスポーツ動作中の過度の膝関節外反・内旋に代表される膝関節動的マルアライメントには密接な関係が指摘されてきたにもかかわらず、既存のプログラムにおいて下肢動的アライメントの修正に対して直接的な介入を施した研究は見当たらない。また、介入前後での神経筋活動の変化を検証した研究もわずかである¹⁵⁻¹⁸⁾。そこで本研究は、下肢動的アライメント修正に着眼した直接的な介入を考案し、そのプログラムが女性アスリートの神経筋活動に及ぼす効果を検証することを目的とした。

下肢動的アライメントの中でも膝関節動的な外反 (dynamic valgus) は ACL 損傷発生の予測因子であることが Hewett ら¹⁹⁾ による前向き研究で確認され、予防プログラムにおける dynamic valgus (図1) 修正の重要性が強調された。実際に、ACL 損傷受傷リスク

図1 : Dynamic valgus

が高い女性の方が男性に比べ各種スポーツ動作中の膝関節外反角度が大きいと報告された²⁰⁻²²⁾。また、神経筋活動にも性差があることが報告されてきた。Myer ら²³⁾ は、ACL 損傷受傷場面を模した膝関節外反負荷動作時の内側広筋 (vastus medialis ; VM) と外側広筋 (vastus lateralis ; VL) の筋活動を男女間で比較し、女性では VM/VL 比が低値であったと報告した。Palmeri-Smith ら²⁴⁾ は、女性前方ホップ時に外側ハムストリングスに比べ内側ハムストリングスの筋活動が少なかったとした。他の研究では、男性に比べ女性の方が片脚着地時の大殿筋 (gluteus maximus ; G-max) 活動が小さかったとされ、殿筋群の重要性も示唆された²⁵⁾。したがって、dynamic valgus の回避と、安全な膝関節動的アライメントを保持するための膝関節内側筋群および殿筋群の筋活動の改善こそが、効率的な ACL 損傷の予防戦略であると考えられる。

以上の文献的考察より、本研究の仮説を、dynamic valgus の矯正に着目した運動プログラムの実施が女性バレーボール選手における着地動作時の膝関節内側筋群・殿筋群の筋活動を改善させる、とした。介入は、リアライン・バランスシューズ (GLAB 社、図2) を用いた運動プログラムを実施した。バランスシューズは、外傷受傷リスクの少ない膝関節動的アライメントの保持機能獲得を目的としたトレーニング・デバイスであり、足部第4趾列直下にバランス軸が位置するように設計された。爪先の真上に膝関節が位置しないと足底面のバランスが崩れてしまうため、バランスシューズを着用した状態で既存の予防プログラム^{13,14)} に準じたエクササイズを行うことによって、常に膝関節を爪先の真上に保つ動作が習慣づけられ、ACL 損傷受傷リスクが少ないと思われる膝関節動的アライメ

図2：リアライン®・バランスシューズ(GLAB 社製)
Dynamic valgus の矯正を目的とし、第4趾列の真下にバランス軸を設置したトレーニング用デバイス。スクワットや着地動作においてバランスシューズを水平に保ちつつ運動を行うためには、常にバランス軸の直上に膝の位置を保つ必要がある。

ントを保持する筋活動パターンや関節位置の学習が促進されると推測される。

II. 方法

1. 対象

本研究は広島国際大学倫理小委員会の承認を得た後に実施した。対象は、健康大学女性バレーボール選手6名(年齢 19.4 ± 0.5 歳、身長 1.59 ± 0.48 m、体重 53.3

± 4.9 kg)とした。対象者の除外基準は、介入開始時点で1)筋骨格系疾患または膝関節傷害を有する者、2)内科的リスクを有する者、3)精神科疾患・コミュニケーションに障害がある者、とした。対象者の人権保護のため、対象者には研究開始前に研究内容に関する説明を行い、ヘルシンキ宣言の精神に基づき作成された文書にて同意を得た。

2. 介入

プログラムはLevel I-IVの4段階に分けられており、漸進的な構成になっている(図3)。Level Iは両足接地を保つエクササイズのみから構成される。荷重位での下肢アライメントの再学習を進め、良好なアライメントを保つ筋活動パターンの学習とともに固有受容機能の向上を図った。Level IIは膝屈曲位を保ったステップエクササイズである。荷重位での良好な下肢アライメントを保つとともに、フィードフォワード機構の再学習を進めた。Level IIIは両足でのジャンプエクササイズで、瞬発的な動作および着地における良好な下肢アライメントを保つことを意識させた。Level IVでは、片足でのスクワットやジャンプ、着地などを行うことにより、片脚でのスポーツ動作におけるACL損傷の受傷リスクの減少を図った。内容は従来のACL損傷予防プログラムに準じたものであるが、全てのエ

両脚スクワット
スプリットスクワット
フロントランジ
サイドランジ

Level I

両脚荷重動作を主体とした
エクササイズ

スクワットステップ
サイドステップ
前後ウォーク
ニーリフト

Level II

両脚ステップを主体とした
エクササイズ

クイック・スクワット
クイック・スプリットスクワット
スクワットジャンプ
スプリット・スクワットジャンプ

Level III

両脚ジャンプを主体とした
エクササイズ

片脚スクワット
片脚着地
連続ジャンプ
ブロックジャンプ

Level IV

片脚荷重動作または
スポーツ特異的動作を主体とした
エクササイズ

図3：バランスシューズを用いた下肢リアライメントプログラム

クササイズをバランスシューズ装着下で行うことが特徴である。プログラムは Level I から開始し、1 週間経過した時点で次の Level へと進んだ。プログラム 1 回あたりの所要時間は15分で、週 3 回の頻度で 4 週間実施した。各エクササイズの設定間の休憩は30秒間とし、次のエクササイズに進む際に1分間の休憩を入れた。全てのエクササイズはプログラム内容を熟知した理学療法士の指導のもとに行われた。

3. 動作課題

課題動作は30cm 台からの片脚着地動作²⁶⁾および drop vertical jump¹⁹⁾とした。いずれも対象者に動作を説明して練習を行った後、成功試技が 3 回得られるまで行った。成功試技は、バランスを崩すことなく 1 秒以上着地肢位を保てたものとした。

片脚着地動作は、非測定側下肢で台の上に立った後、台から30cm前方へ片脚で踏み切り、測定側下肢で着地した(図4)。対象者には上方へのジャンプを最小限にするよう指示した。着地位置は、台から30cm離れた床面に逆 T 字状に貼付したビニールテープによって規定した。測定側下肢は普段ボールを蹴る側の下肢と定義した。動作中は手を腰に置き、上肢によるバランス補正を制限した。また、接地の際に非測定側下肢が台に残らないよう指示した。

Drop vertical jump は、台から30cm前方へ両脚で踏み切り、接地後即座に垂直跳びを行わせた(図5)。片脚着地動作と同様に対象者には上方へのジャンプを最小限にするよう指示し、着地位置はビニールテープで規定した。また、垂直跳びを頭上の鉄パイプに手が届くように行わせることで、最大努力での実施を促した。垂直跳びの際の上肢の腕振りには許可し、それ以外に特別な指示は与えなかった。なお、先行研究では、drop vertical jump における最大膝関節外反時の膝関節間距離に関して、二次元のビデオ解析法による高い再現性(級内相関係数: 0.916)が報告された²⁷⁾。

4. 筋電図解析

筋電図(electromyography; EMG)測定は BiologDL-3100 (S&ME 社)を用い、サンプリング周波数1000 Hz で記録した。被検筋は、測定側下肢の VM, VL, 半腱様筋(semi-tendinosus; ST), 大腿二頭筋長頭(biceps femoris; BF), G-max, 中殿筋(gluteus medius; G-med)の計6筋とした。研磨剤およびアルコール綿による皮膚前処理を施した後、表面電極 Blue Sensor

N-00-S (Ambu 社)を Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles が推奨する部位に貼付した²⁸⁾。電極中心間距離は 2 cmとした。アース電極は、測定側上肢の橈骨茎状突起に貼付した。導出した筋電位はブリアンプで増幅させて Biolog DL-3100に入力し、A/D 変換後にコンピュータへ取り込んだ。

着地動作の相分けは、デジタルビデオカメラ (VL-PD 7, SHARP 社, 30コマ/秒) 撮影による二次元動作解析に基づいて行った。マーカー貼付部位は測定側下肢の大転子、膝蓋骨中央、腓骨外果の計3箇所とした。デジタルビデオカメラを、着地位置から側方380 cm, 床から93cmの高さに1台設置した。解析には画像解析ソフト ImageJ (アメリカ国立衛生研究所)を使用し、矢状面上で大転子と膝蓋骨のマーカーを結ぶ直線と膝蓋骨と腓骨外果のマーカーを結ぶ直線の成す角度を膝関節屈曲角度として算出した。初期接地と足趾離地は、フットセンサー DL-250 (S&ME 社)を用いて測定した足底圧が10N をそれぞれ上回ったまたは

図4：片脚着地動作

図5：Drop vertical jump

下回った時点と定義した¹⁷⁾。フットセンサーは測定側母趾の底側に位置するようインソールに固定し、導出した信号はBiologDL-3100に入力後、A/D変換してコンピュータに取り込んだ。

筋電図の生波形を10–500Hzでフィルター処理後、課題動作を相分けし、各相における%IEMGおよびVM/VL比、ST/BF比を算出した。片脚着地動作は、初期接地前20msec間 (prelanding)、初期接地後20msec間 (landing)、膝関節最大屈曲前20msec間 (maximal flexion) の計3相、drop vertical jumpは前述の3相に足趾離地前20msec間 (jumping) を加えた計4相とした。%IEMGは、最大随意性収縮 (maximum voluntary contraction; MVC) 時の筋積分値で各筋活動量を正規化して算出した。なお、MVC測定はDanielsの徒手筋力検査法²⁹⁾に基づいて実施し、5秒間測定中の安定した波形1000msecの積分値を算出した。

5. 統計学的解析

統計処理にはStatcel 2 (オーエムエス出版) を用いた。筋活動量の前後比較には対応のあるt検定、筋活動比の前後比較にはWilcoxon符号付順位検定を行った。いずれも、危険率5%未満を統計学的有意とした。

III. 結果

1. 筋活動量の変化

片脚着地動作ではlanding相のSTの筋活動量が介入前に比べ介入後に有意 ($p=0.04$) に増加したが、他の筋に介入前後での統計学的有意差は認められなかった (表1)。Drop vertical jumpでは全ての筋で介入前後での統計学的有意差が認められなかった。

2. 筋活動比の変化

片脚着地動作ではlanding相のST/BF比が介入前に比べ介入後に有意 ($p=0.046$) に増加したが、VM

表1：筋活動量 (%IEMG) の変化

被検筋	解析相	片脚着地			Drop vertical jump		
		介入前	介入後	p 値	介入前	介入後	p 値
半腱様筋	prelanding	17.1±8.4	25.0±11.6	0.21	27.6±15.6	34.2±14.5	0.44
	landing	18.8±13.1	47.4±27.7	0.04	29.6±16.2	44.7±25.4	0.16
	maximal flexion	25.7±22.5	37.4±10.4	0.09	46.3±13.0	76.7±61.9	0.29
	jumping	–	–	–	42.5±17.3	48.5±34.6	0.65
大腿二頭筋	prelanding	38.0±12.8	29.8±10.1	0.14	34.0±19.8	22.7±10.1	0.23
	landing	35.3±15.3	51.5±43.3	0.28	35.5±14.6	28.1±15.4	0.36
	maximal flexion	43.0±15.1	30.6±10.4	0.12	43.7±45.4	30.4±9.4	0.48
	jumping	–	–	–	34.4±17.9	40.5±16.7	0.39
内側広筋	prelanding	61.1±11.7	87.3±50.9	0.24	47.3±16.4	44.3±11.1	0.78
	landing	112.8±53.5	142.7±91.4	0.49	116.5±60.9	111.2±31.1	0.82
	maximal flexion	171.7±157.5	193.5±114.1	0.67	154.3±122.8	223.7±100.6	0.09
	jumping	–	–	–	135.9±94.6	177.7±135.3	0.41
外側広筋	prelanding	81.4±26.2	69.5±18.2	0.43	32.0±23.3	25.8±14.7	0.65
	landing	112.3±43.0	85.4±25.1	0.11	83.7±67.2	47.8±26.3	0.31
	maximal flexion	143.5±58.5	133.1±58.6	0.72	131.4±95.5	116.6±70.4	0.72
	jumping	–	–	–	131.6±48.4	103.2±53.1	0.46
内股筋	prelanding	39.6±19.7	33.9±14.3	0.57	32.8±22.2	30.1±13.2	0.79
	landing	49.9±27.9	51.1±14.7	0.87	45.9±27.7	48.6±29.7	0.88
	maximal flexion	47.7±13.0	63.9±32.2	0.30	39.7±26.7	62.6±43.4	0.36
	jumping	–	–	–	42.3±20.2	63.7±12.7	0.20
大股筋	prelanding	48.6±13.6	74.4±65.0	0.80	12.5±3.3	6.7±2.5	0.06
	landing	50.9±16.8	102.2±56.9	0.57	25.3±5.8	34.0±26.8	0.66
	maximal flexion	95.3±53.5	123.6±137.0	0.64	31.0±18.9	39.1±6.3	0.53
	jumping	–	–	–	70.1±20.1	81.5±39.1	0.83

※平均±標準偏差

表 2：筋活動比の変化

被検筋	解析相	片脚着地			Drop vertical jump		
		介入前	介入後	p 値	介入前	介入後	p 値
VM/VL	prelanding	0.8±0.4	1.1±0.5	0.17	1.5±1.2	1.7±1.3	0.92
	landing	1.0±0.5	1.1±1.3	0.12	1.4±1.6	2.3±1.5	0.04
	maximal flexion	1.2±0.9	1.2±1.1	0.46	1.2±0.9	1.9±2.1	0.72
	jumping	—	—	—	1.0±0.5	1.7±3.1	0.25
ST/BF	prelanding	0.5±0.2	0.8±0.2	0.08	0.8±0.5	1.5±1.2	0.03
	landing	0.5±0.2	0.9±0.4	0.046	0.8±0.5	1.6±0.5	0.03
	maximal flexion	0.6±0.5	1.2±0.5	0.08	1.1±0.5	2.5±1.5	0.60
	jumping	—	—	—	1.2±0.9	1.2±1.3	0.75

※平均±標準偏差

/VL 比に介入前後での統計学的有意差は認められなかった。Drop vertical jump では、prelanding 相および landing 相の ST/BF 比 ($p=0.03$) と landing 相の VM/VL 比 ($p=0.04$) が介入前に比べ介入後に有意に増加した (表 2)。

IV. 考 察

大学女性バレーボール選手を対象として、バランスシューズを用いた下肢リライメントプログラムを 4 週間実施した結果、片脚着地の landing 相における ST 活動量と ST/BF 比が増加した。また、drop vertical jump の prelanding 相と landing 相における ST/BF 比、landing 相における VM/VL 比の増加も認められた。

ACL 損傷の受傷リスクの少ない膝関節動的アライメントの保持には、内側および外側ハムストリングスの均等な筋活動が不可欠である¹⁹⁾。ハムストリングスの収縮は、脛骨前方偏位³⁰⁻³²⁾を制動する。また、内側広筋と協調して収縮することにより、膝関節内側コンパートメントの圧縮力を産生して膝関節外反に抵抗する^{19,33)}。本研究では、介入後に ST 活動量および ST/BF 比、VM/VL 比が有意に増加したことから、このプログラムによる ACL 損傷受傷リスクの少ない膝関節動的アライメントの保持能改善が期待できる。ST 活動の改善が初期接地前後において認められたことも注目すべき点である。内側ハムストリングスの収縮は膝関節内側コンパートメントの圧縮力を産生するため、受傷リスクとされる膝関節外反の制動に寄与する³³⁾。また、ACL 損傷は足部接地後のごくわずかな時間で発生するとされる^{12,34,35)}。ACL の歪みを調査した研究では、ACL の歪み値のピークは足部接地前から床反力がピークに達する間で認められた^{36,37)}。したがって、

ACL 損傷の予防においては足部接地前から接地直後における膝関節動的アライメントのコントロールが重要となる。本研究では、片脚着地の landing 相で ST 活動量と ST/BF が増加し、drop vertical jump では landing 相に加え prelanding 相で ST/BF 比が有意に増加した。これらは足部接地前後において膝関節を適切なアライメントに保持するための筋活動が高まった結果と考えられ、着地時に ACL を保護する作用が期待できる。

本研究の EMG 解析では %iEMG を用いたが、本手法は正規化の方法として信頼性が高いと報告された³⁸⁾。また、ACL 損傷はジャンプ動作を頻回に行う 10 代後半女性において受傷率が高いことから、本研究の対象者は目的母集団に近いと考える。本研究の限界としては、サンプルサイズが小さいことが挙げられる。本研究では対象を限定したため、今後は男性や他競技のアスリートを対象とした検証が必要であろう。

本研究の結論を、dynamic valgus の矯正に着目した下肢リライメントプログラムは、大学女性バレーボール選手の着地動作時の半腱様筋と内側広筋の筋活動を増大させる可能性がある、とした。今後は、効果の持続性や膝関節動的アライメントに及ぼす効果についての検討、他の介入方法を実施するコントロール群を設けた無作為化対照試験の実施が必要である。

文献

- 1) Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, et al.: Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. Am J Sports Med, 2006, 34(9): 1512-1532.
- 2) Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, et al.: Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. Br J Sports Med,

- 2008, 42(6): 394-412.
- 3) 鈴川仁人, 高橋佐江子, 永野康治・他: 中学生バスケットボール選手の外傷に関する疫学的研究. 日本整形外科学会雑誌, 2009, 29(1): 44-49.
- 4) Johnson DL, Fu FH: Anterior cruciate ligament reconstruction: why do failures occur? Instr Course Lect, 1995, 44: 391-406.
- 5) Kvist J: Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. Sports Med, 2004, 34(4): 269-280.
- 6) Arendt E, Dick R: Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. Am J Sports Med, 1995, 23(6): 694-701.
- 7) Freedman KB, Glasgow MT, Glasgow SG, et al.: Anterior cruciate ligament injury and reconstruction among university students. Clin Orthop Relat Res, 1998, (356): 208-212.
- 8) Myklebust G, Holm I, Maehlum S, et al.: Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study. Am J Sports Med, 2003, 31(6): 981-989.
- 9) Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, et al.: The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. Am J Sports Med, 2007, 35(10): 1756-1769.
- 10) Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Jr., et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. Orthopedics, 2000, 23(6): 573-578.
- 11) Agel J, Arendt EA, Bershadsky B: Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. Am J Sports Med, 2005, 33(4): 524-530.
- 12) Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al.: Mechanisms for Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Knee Joint Kinematics in 10 Injury Situations From Female Team Handball and Basketball. Am J Sports Med, 2010:
- 13) Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, et al.: The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. Am J Sports Med, 1999, 27(6): 699-706.
- 14) Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, et al.: Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. BMJ, 2005, 330(7489): 449.
- 15) Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, et al.: Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes. J Athl Train, 2004, 39(1): 24-31.
- 16) Lim BO, Lee YS, Kim JG, et al.: Effects of sports injury prevention training on the biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament injury in high school female basketball players. Am J Sports Med, 2009, 37(9): 1728-1734.
- 17) Wilderman DR, Ross SE, Padua DA: Thigh muscle activity, knee motion, and impact force during side-step pivoting in agility-trained female basketball players. J Athl Train, 2009, 44(1): 14-25.
- 18) Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, et al.: The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidcutting in female elite soccer and handball players. Clin J Sport Med, 2008, 18(4): 329-337.
- 19) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al.: Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. Am J Sports Med, 2005, 33(4): 492-501.
- 20) Russell KA, Palmieri RM, Zinder SM, et al.: Sex differences in valgus knee angle during a single-leg drop jump. J Athl Train, 2006, 41(2): 166-171.
- 21) Beaulieu ML, Lamontagne M, Xu L: Lower limb muscle activity and kinematics of an unanticipated cutting manoeuvre: a gender comparison. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2009, 17(8): 968-976.
- 22) Beaulieu ML, McLean SG: Sex-dimorphic landing mechanics and their role within the noncontact ACL injury mechanism: evidence, limitations and directions. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol, 2012, 4(1): 10.
- 23) Myer GD, Ford KR, Hewett TE: The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. J Electromyogr Kinesiol, 2005, 15(2): 181-189.
- 24) Palmieri-Smith RM, McLean SG, Ashton-Miller JA, et al.: Association of quadriceps and hamstrings cocontraction patterns with knee joint loading. J Athl Train, 2009, 44(3): 256-263.
- 25) Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, et al.: Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. J Orthop Sports Phys Ther, 2005, 35(5): 292-299.
- 26) Nagano Y, Ida H, Akai M, et al.: Biomechanical characteristics of the knee joint in female athletes during tasks associated with anterior cruciate ligament injury. Knee, 2009, 16(2): 153-158.
- 27) Ford KR, Myer GD, Hewett TE: Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. Med Sci Sports Exerc, 2003, 35(10): 1745-1750.
- 28) 下野俊哉: 表面筋電図マニュアル基礎編. 酒井医療株式会社, 東京, 2004, 107-110.
- 29) Hislop HJ, Montgomery J: 新・徒手筋力検査法原著第7版. 津山直一(訳), 協同医書出版社, 東京, 2003, 190-227.
- 30) MacWilliams BA, Wilson DR, DesJardins JD, et al.: Hamstrings cocontraction reduces internal rotation, anterior translation, and anterior cruciate ligament load in weight-bearing flexion. J Orthop Res, 1999, 17(6): 817-822.
- 31) Li G, Rudy TW, Sakane M, et al.: The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. J Biomech, 1999, 32(4): 395-400.
- 32) Wojtys EM, Ashton-Miller JA, Huston LJ: A gender-related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity. J Bone Joint Surg Am, 2002, 84-A(1): 10-16.
- 33) Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR: Muscle activation

- strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*, 2003, 35(1): 119-127.
- 34) Krosshaug T, Slauterbeck JR, Engebretsen L, et al.: Biomechanical analysis of anterior cruciate ligament injury mechanisms: three-dimensional motion reconstruction from video sequences. *Scand J Med Sci Sports*, 2007, 17(5): 508-519.
- 35) Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med*, 2007, 35(3): 359-367.
- 36) Cerulli G, Benoit DL, Lamontagne M, et al.: In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2003, 11(5): 307-311.
- 37) Taylor KA, Terry ME, Utturkar GM, et al.: Measurement of in vivo anterior cruciate ligament strain during dynamic jump landing. *J Biomech*, 2011, 44(3): 365-371.
- 38) Burden AM, Trew M, Baltzopoulos V: Normalisation of gait EMGs: a re-examination. *J Electromyogr Kinesiol*, 2003, 13(6): 519-532.