

高校女子ハンドボール・ バスケットボール選手における膝前十字靭帯 損傷の発生と静的バランス能力の関連性

Relationship between Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury
and Static Balance in High School Female Handball
and Basketball Players: a 3-year Prospective Study

大島健史*, 中瀬順介*, 沼田仁彬*
高田泰史*, 土屋弘行*

キー・ワード : Anterior cruciate ligament, static balance, risk factor
前十字靭帯損傷, 静的バランス, 危険因子

【要旨】 非接触型 ACL 損傷の発生と静的バランスの関連性を調査することを目的として、高校女子ハンドボール・バスケットボール選手 203 名に対し、入学時に重心動揺計を用いて静的バランス能力を測定し、卒業までの3年間における ACL 損傷発生を調査した。観察期間中に 18 名の非接触型 ACL 損傷が発生し、ACL 損傷群と非損傷群の2群間で入学時の静的バランス能力を比較検討した。静的バランス能力の指標のひとつである単位軌跡長は ACL 損傷群で有意に長く（損傷群 $1.34 \pm 0.39 \text{cm/s}$ 、非損傷群 $1.07 \pm 0.23 \text{cm/s}$ 、 $p = 0.011$ ）、静的バランス能力の低下は ACL 断裂の危険因子の一つであることが示唆された。

背景

膝前十字靭帯（以下 ACL）損傷に対する予防への注目が高まる中、近年、様々な危険因子に関する調査が行われており、その危険因子の一つに着地時、減速、切り返し時の危険肢位が報告されている¹⁾。バランス能力は質量中心の投影点を安定限界と呼ばれる規定面の範囲内に保持する能力と定義され²⁾、無意識下での神経筋コントロールと相まって関節を安定化している³⁾。したがってバランス能力の低下は動作中に危険肢位をとることと関与しており、ひいては ACL 損傷の危険因子のひとつとなりえるのではないかと推察した。本研究の目的は、ACL 損傷の発生頻度が高い高校女子ハンドボール・バスケットボール選手において、ACL 損傷発生と静的バランス能力との関連性を

調査する事である。

方法

1. 対象者

われわれは平成 21 年 4 月より北陸 3 県（石川、富山、福井）の高校ハンドボール・バスケットボール部（各県でベスト 4 以上のレベル）の女子部員を対象に ACL 損傷における危険因子の前向き調査を行っており、本研究はその調査の一環として行った。平成 21 年、22 年 4 月に入部した女子部員 203 名（ハンドボール 80 名、バスケットボール 123 名、全選手 15 歳）を対象として、入学時に重心動揺計を用いて静的バランス能力を測定し、卒業までの3年間における ACL 損傷発生を調査した。調査期間中の3年間は ACL 損傷予防トレーニングの介入は一切行わなかった。医療機関にて MRI などで ACL 損傷と診断され、ACL 再建術の際に関節鏡にて ACL 断裂をみとめたものを ACL 損

* 金沢大学整形外科



図1 測定肢位

傷ありと定義した。

本研究は金沢大学医学倫理審査委員会の承認のもと、事前に被験者及びその保護者に本調査の内容について十分な説明を行い、全員からの同意を得たうえで施行した。

2. 重心動揺測定

重心動揺計 GS-31 (アニマ社製) を用いて足圧重心動揺を測定した。通常の直立では足圧重心は身体重心とほぼ等しいとされており⁴⁾、本研究でも足圧の重心をもって身体の重心とした。

被験者には裸足で重心動揺計上に両脚立位姿勢をとらせた。踵を合わせ、足趾は前方に向くようにし、膝関節は伸展、両手は自然と体の横に垂らした状態とした(図1)。視線は被験者の2m先、かつ耳眼水平位置に直径2cmのマーカーを注視させた。40秒間記録し、初期動揺の影響が出ないように最初の10秒間を除いた30秒間の記録を用い、サンプリング周期は20Hzとした。測定は練習やトレーニングの影響を受けないよう、練習のない休日を利用して行った。2回測定を行い、どちらか一方をランダムに選択し分析に用いた。

足圧重心測定の評価項目は、単位軌跡長(1秒当たりの足圧重心点が移動した距離)、外周面積(動揺の軌跡の最外殻により囲まれる内側の面積)、単位面積軌跡長(総軌跡長を外周面積で除した値)の3項目とした。Demuraらは、健常人30名を対象とした検証において上記3項目の施行間の信頼性はいずれも信頼係数0.7以上であり、信頼度が高

表1 損傷群、非損傷群の身体特性

	損傷群 (n=18)	非損傷群 (n=183)	p 値
身長 (cm)	160.3±6.9	161±5.9	p=0.645
体重 (kg)	56.2±6.5	55.2±6.3	p=0.532

かったと報告している⁴⁾。単位軌跡長、外周面積は値が小さくなるほど姿勢が安定していることを示す。また単位軌跡長は重心動揺速度を示しており、値が小さいほど速度が低下している。単位面積軌跡長は直立姿勢制御の微細さを示しており、値が小さいほど細かく動揺していることを示している⁵⁾。

3. 統計処理

実験データは平均値±標準誤差で示し、統計処理は、統計ソフト (IBM SPSS Statics) を用いて行った。student-t 検定を用いて、2群間の値を比較し、有意水準はすべて危険率5%未満とした。

結 果

203選手全員が、卒業まで3年間の追跡が可能であった。その結果、203名中20名(9.9%)にACL損傷の発生をみとめ、18名が非接触型損傷、2名が接触型損傷であった。非接触型損傷18名のうち、9名が試合中、9名が練習中の受傷であった。受傷時期は1年生夏が2名、1年生秋が5名、2年生春が4名、2年生夏が1名、2年生秋が4名、2年生冬が1名、3年生春が1名であった。

今回の評価では接触型損傷の2名は除外し、損傷群18名、非損傷群183名の2群間で入学時の静的バランス能力を比較検討した。2群間の身体特性には有意差をみとめなかった(表1)。

損傷群、非損傷群の開眼両脚立位時の各評価項目の測定値を表に示した(表2)。単位軌跡長において損傷群 1.34 ± 0.39 cm/s、非損傷群 1.07 ± 0.23 cm/sで2群間に有意な差を認めた($p=0.011$)。外周面積は損傷群 2.44 ± 1.23 cm²、非損傷群 1.90 ± 0.93 cm²($p=0.083$)、単位面積軌跡長は損傷群 19.52 ± 7.46 cm/s、非損傷群 20.14 ± 7.71 cm/s($p=0.745$)であり有意差はみとめられなかったが、外周面積は損傷群で非損傷群に比して大きい傾向があった。

考 察

本研究では静的バランス能力と非接触型ACL

表 2 損傷群, 非損傷群の開眼両脚立位時の各評価項目の測定値

	損傷群 (n=18)	非損傷群 (n=183)	p 値
単位軌跡長 (cm/s)	1.34 ± 0.39	1.07 ± 0.23	p = 0.011
外周面積 (cm ²)	2.44 ± 1.23	1.90 ± 0.93	p = 0.083
単位面積軌跡長 (1/cm)	19.52 ± 7.46	20.14 ± 7.71	p = 0.745

損傷の関係性について比較検討を行った。その結果、損傷群は非損傷群に比して有意に単位軌跡長が延長していた。静的バランス能力の指標のひとつである単位軌跡長は重心速度を示しており、その延長は姿勢安定性の低下を表している。すなわち ACL 損傷群では非損傷群に比して静的バランス能力が低下していたことが示された。

健常人 2201 名を対象とした重心動揺検査の研究において、健常女性の単位軌跡長（開眼両脚立位、サンプリング周期 20Hz、記録期間 30 秒間）は 3 歳から 20 歳代前半にかけて減少傾向がみられ、15-19.9 歳の平均値は 1.26 ± 0.31 cm/s であったと報告されており⁶⁾、本研究における ACL 損傷群の値は健常人の平均値よりも高く、非損傷群では低かった。

静的バランス能力に関与する因子として体幹筋、足趾筋力、足底感覚などがある⁷⁻¹¹⁾。今井らは体幹トレーニングのひとつである Stabilization exercise が静的バランスの向上に即時効果があることを報告し、Daneshjoo らは 2 か月間の FIFA 11+ の継続が静的バランスを向上させたことを報告している^{10,11)}。また、実際にバランストレーニングを取り入れた予防トレーニングが ACL 損傷予防に対し一定の成果を上げている。Olsen らは男女ハンドボール選手にバランストレーニングを含む 20 分の予防ウォームアッププログラムを行ったところ、シーズン中の膝靭帯損傷が介入群において 3 例 (n=958) であり、非介入群 14 例 (n=879) に比べて有意に低下したと報告しており (p=0.01)¹²⁾、Petersen らも女子ハンドボール選手を対象に予防プログラムを行ったところ ACL 損傷発生率は介入群 (n=134) で 1000 プレー時間当たり 0.04 件であり、非介入群 (n=142) の 0.21 件に比べて有意ではないものの ACL 損傷が減少する傾向がみられたと報告している¹³⁾。

我々の渉猟し得た限りでは ACL 損傷の危険因子として静的バランス能力をあげた報告はない。前述のごとく体幹トレーニングや FIFA11+ が静

的バランスを向上させることが示され、これらを取り入れた予防トレーニングが ACL 損傷を減少させている。本研究の結果はバランストレーニングが非接触型 ACL 損傷の予防に有効であることを裏付けるものである。

本研究結果で有意差のみられた静的バランスのパラメータのひとつである単位軌跡長は深部知覚反射による重心動揺制御能を示しているが¹⁴⁾、バランス能力が高いと、反射経路を介した姿勢制御による ACL 損傷の回避が可能となると単純に解釈すべきではないと考えている。

Dyhre-Poulsen らはヒトの膝において ACL に電気的な刺激を加えた結果、ACL の緊張を和らげるようにハムストリングの収縮が起こると報告しており¹⁵⁾、Solomonow らはこの反射を靭帯一筋反射と呼び、膝の安定性に寄与していると述べている¹⁶⁾。着地動作時に ACL にかかる張力は床反力のピーク時に最大となることが知られており¹⁷⁾、Koga らはビデオの 3 次元解析より接地時から 40 ms で体重の 3.2 倍もの床反力ピークが生じると同時に膝関節が最大外反位をとると報告し、この時に ACL 損傷が生じると報告している¹⁸⁾。一方、ACL に電気的刺激を加えた場合、膝を弛緩した状態では刺激より 95 ± 35 ms 後に、膝を等尺性に屈曲・伸展させた状態では 60ms 後に半腱様筋の電気的活動が高まり、電気的活動が起きてから半腱様筋に張力が生まれるまでには更に 40 ms を要するといわれている¹⁹⁾。ACL 損傷を防ぎ得る様な張力が発揮されるまでには更に時間を要するため、靭帯一筋反射による ACL 損傷予防は理論上難しい。

静的バランス能力には体幹筋、足趾筋力、足底感覚などが関与しており⁷⁻¹¹⁾、これらを総合的に改善する事が静的バランス能力の改善につながる。非損傷群は損傷群に比して体幹筋、足趾筋力などが総合的に優れており、その結果として静的バランス能力に差が生じたのではないかと推察している。前述の如く、靭帯一筋反射による ACL

損傷の予防は理論上難しく、静的バランス能力の改善は靭帯一筋反射の反応時間を短くするのではなく、ACL 損傷をきたしうような危険動作・肢位を回避することにつながると考えられる。

本研究の問題点としては、高校生女子バスケットボール・ハンドボール選手という限られた対象における結果であり、異なる年齢層、男性、他のスポーツにおける ACL 損傷にも当てはまるかは不明であること、測定後から ACL 損傷までの期間が長い選手では、当初の重心動揺測定値が ACL 損傷直前の静的バランス能を反映していない可能性があること、ACL 損傷は複数のリスク因子によって発生するとされており、単一因子のみの検討からその意義を結論づけることには限界があることである。

結 語

本研究より静的バランス能力の低下は非接触型 ACL 損傷の危険因子の一つであることが示唆された。静的バランス能力を向上させるトレーニングの重要性を啓蒙し、バランストレーニングを予防プログラムに取り入れることで、非接触型 ACL 損傷の予防効果を高めることができるものと考えられる。

文 献

- 1) Olsen, OE. et al.: Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 32: 1002-1012, 2004.
- 2) Shumway-Cook, A. ほか：モーターコントロール—運動制御の理論と臨床応用（田中 繁ほか監訳）. 医歯薬出版, 東京, 2 版, 174-175, 2004.
- 3) Vrbanić, TS. et al.: Balance index score as a predictive factor for lower sports results or anterior cruciate ligament knee injuries in Croatian female athletes—preliminary study. *Coll Antropol* 31: 253-258, 2007.
- 4) Demura, S. et al.: Examination of parameters evaluating the center of foot pressure in static standing posture from viewpoints of trial-to-trial reliability and interrelationships among parameters. *Equilibrium Res* 60: 44-55, 2001.
- 5) 時田 喬：重心動揺検査—その実際と解釈. アニマ, 東京, 5-13, 2010.
- 6) 今岡 薫ほか：重心動揺検査における健常者データの集計. *Equilibrium Res* 12: 1-81, 1997.
- 7) 中村拓人ほか：バドミントン選手における片脚立位バランス能力と足趾筋力の関係について. *みんなの理学療法* 23: 28-31, 2011.
- 8) 宮本淑可ほか：冷却による足底感覚の鈍麻が立位バランスに及ぼす影響. *中部リハビリテーション雑誌* 5: 52-55, 2010.
- 9) 藤田浩之ほか：立位姿勢制御能力に及ぼす足底知覚能力の影響について. *奈良理学療法学* 2: 2-5, 2010.
- 10) 今井 厚ほか：異なる体幹エクササイズが静的バランスに及ぼす即時効果. *日本臨床スポーツ医学会誌* 20: 469-474, 2012.
- 11) Daneshjoo, A. et al.: The effects of injury preventive warm-up programs on knee strength ratio in young male professional soccer players. *PLoS One* 7: e51568, 2012.
- 12) Olsen, OE. et al.: Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 330: 449-455, 2005.
- 13) Petersen, W. et al.: A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg* 125: 614-621, 2005.
- 14) Ishii, Y. et al.: Changes of body balance before and after total knee arthroplasty in patients who suffered from bilateral knee osteoarthritis. *J Orthop Sci* 18: 727-732, 2013.
- 15) Dyhre-Poulsen, P., Krogsgaard, MR.: Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J Appl Physiol* 89: 2191-2195, 2000.
- 16) Solomonow, M., Krogsgaard, M.: Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports* 11: 64-80, 2001.
- 17) Cerulli, G. et al.: In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11: 307-311, 2003.
- 18) Koga, H. et al.: Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med* 38: 2218-2225, 2010.
- 19) Zhou, S. et al.: Effects of fatigue and sprint training

Relationship between Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury and Static Balance in High School Female Handball and Basketball Players: a 3-year Prospective Study

Oshima, T.* , Nakase, J.* , Numata, H.*
Takata, Y.* , Tsuchiya, H.*

* Department of Orthopaedic Surgery, Kanazawa University

Key words: Anterior cruciate ligament, static balance, risk factor

[Abstract] The aim of this study was to investigate the relationship between static balance and the incidence of non-contact anterior cruciate ligament (ACL) injury. The subjects of this study were 203 female high school handball or basketball players. At the time of enrollment in the study, each subject's static balance was measured with a gravicorder, and the incidence of non-contact ACL injury was investigated over three years until the student graduated. Eighteen players suffered non-contact ACL injuries during the 3-year observation period. Locus length over time, one of the parameters of static balance, was significantly longer in injured than uninjured players (injured group: 1.34 ± 0.39 cm/s, uninjured group: 1.07 ± 0.23 cm/s, $p = 0.011$). This result indicates that poor static balance is a risk factor for non-contact ACL injury.