

膝関節伸展位固定を用いた運動連鎖の遮断による 慢性足関節不安定症の新たな評価手法の開発

新潟医療福祉大学 菊 元 孝 則
(共同研究者) 同 高 林 知 也
同 久 保 雅 義

Development of a New Evaluation Method for Chronic Ankle Instability by Blocking the Kinetic Chain Using Knee-Extension Immobilization

by

Takanori Kikumoto, Tomoya Takabayashi, Masayoshi Kubo
*Niigata University of Health and Welfare,
Institute for Human Movement and Medical Sciences*

ABSTRACT

The purpose of this study was to observe the postural control strategy during the single-leg standing posture with knee joint extension fixation and clarify the pathogenesis of chronic ankle instability (CAI) specific to the ankle joint, which is obscured by the postural control governed by the hip joint. The subjects consisted of male basketball players, including 15 healthy individuals with no history of ankle sprain and 15 subjects with CAI. They maintained a double-leg standing posture for 10 seconds, followed by a single-leg standing posture for 20 seconds. In addition to comparing the healthy group and the CAI group, comparisons were made between the two groups with and without knee bracing to immobilize the knee joint in the extended position. The CAI group exhibited significantly higher center of pressure acceleration during the transition from bipedal to single-leg standing due to knee joint immobilization, suggesting a substantial contribution of the hip and ankle joint kinetic

chain to the CAI group's ability to maintain the single-leg standing posture. The results revealed ankle dysfunction masked by the hip strategy, which could not be confirmed through previous examination of CAI pathology.

キーワード

慢性足関節不安定症, 足圧中心, 姿勢制御能力, 足関節戦略, 関節機能障害

Keyword

Chronic ankle instability, Center of pressure, postural control ability, joint strategy, joint dysfunction

要 旨

本研究は、膝関節の伸展位固定における片脚立位の姿勢制御戦略を観察し、股関節からコントロールされる姿勢制御にマスクされている、足関節に特化した慢性足関節不安定症 (CAI) の病態を明らかにすることを目的とした。対象は男性バスケットボール選手で、足関節捻挫の既往歴を有さない健常群15名、CAIを発症した15名とした。対象者は両脚立位姿勢保持を10秒間、その後片脚立位姿勢保持を20秒間行い、健常群とCAI群の比較検証に加え、膝装具の着用による膝関節伸展位固定の有無による条件間の比較検証を行った。CAI群では膝関節の伸展位固定により、両脚立位から片脚立位への移乗時において足圧中心加速度が有意に高値を示した。CAI群は片脚立位での姿勢を維持するため、股関節と足関節の運動連鎖の寄与が大きかった可能性が高い。これまでのCAIの病理学的検査では確認が不可能であった、股関節戦略によってマスクされた足関節の機能障害が明らかになった。

緒 言

足関節内反捻挫は、スポーツ活動中に頻回する損傷であり¹⁾、多額の医療費²⁾と長期的な影響³⁾をもたらす。足関節内反捻挫を繰り返してしまう

ことで、慢性足関節不安定症 (CAI) を発症する⁴⁾。CAIは足関節の機能的不安定性や自覚的不安定感を有し、足関節捻挫の再発歴があることと、IAC (International Ankle Consortium) が定義付けている⁵⁾。CAIは、足関節底屈筋力の低下や動的バランス能力の低下などの機能障害を引き起こし⁶⁾、その結果、競技パフォーマンスにも影響を及ぼす可能性が高い。上記の機能障害の中でも足関節内反捻挫後の姿勢制御能力の低下は、繰り返しの足関節内反捻挫を誘発するCAIへのパスウェイとなり得る。CAIを発症する前段階で足関節捻挫の再発リスクが高い人を特定し、適切なりハビリテーションを処方するための姿勢制御能力の評価を行うことが重要である。

姿勢制御能力とは、あらゆる直立姿勢でバランス状態を維持、達成、回復する能力として定義される⁷⁾。先行研究では、立位姿勢制御の不安定性の変化が、CAIのような足関節内反捻挫再発のリスクが高い人を特定する手がかりになる可能性が示唆されている。例えば、足関節捻挫のリスクが高い人は、立位での足圧中心 (COP) 変位が高値を示すことが報告されており⁸⁾、繰り返す足関節捻挫はCAIの要因となる。さらに、CAI群では健常群に比して、片脚立位課題での姿勢制御能力の低下が報告されている⁹⁾。しかしながら、COP変数の変化のみでは、片脚立位姿勢制御に対する足

関節不安定性の関与を選択的に捉えることは困難である。その理由として、片脚姿勢制御におけるCOPの変数は、複数の関節戦略の結果として変化することが考えられるからである。健常若年成人は足関節戦略を主に姿勢制御を行うとの報告がある^{9,10)}が、CAI群では股関節戦略を主に行っていることが報告されている⁹⁾。以上の点からも、姿勢制御時のCOPの変数を、各関節での運動戦略の変化と共に評価を行う必要がある¹¹⁾。そこで本研究は、下肢関節での姿勢制御能力を評価するのではなく、足関節単独の評価手法を開発することを目的とする。

一般的な姿勢制御能力の評価に用いられる片脚立位は、股関節と足関節の戦略があると考えられており、どちらか一方のみの戦略ではなく協働して姿勢制御が行われている。つまり、膝関節を屈曲させた片脚立位姿勢保持における足関節の姿勢制御能力は、股関節との運動連鎖によってマスクされるため、観察が困難であることが示唆される¹²⁾。この問題を克服するため、膝関節伸展位で固定した片脚立位での姿勢制御能力を評価する必要がある。この評価方法においては、股関節との運動連鎖により隠された足関節の不安定性が、より顕著に捉えられることが想像され、再受傷リスクの高い人を特定するためのスクリーニング指標となると考えられる。本評価により、足関節の不安定性に対する効果的なりハビリテーションプログラムを開発するための貴重な知見を提供すると共に、CAIの病態生理をより深く理解することで、足関節捻挫による再受傷のリスクが高い人を特定するために必要である効果的な評価方法を開発することが可能となる。

1. 研究方法

1.1 対象

関節弛緩性や月経周期などの影響を考慮し、下肢に手術歴を有さない、新潟県バスケットボール

協会に所属する男子選手を対象とした。足関節内反捻挫の既往を有さない15名(年齢 19.8 ± 1.6 歳、身長 176.3 ± 5.3 cm、体重 72.9 ± 9.4 kg)を健常群とし、IACの選定基準により選定されたCAIを発症した15名(年齢 20.1 ± 1.8 歳、身長 178.8 ± 9.3 cm、体重 74.8 ± 10.9 kg)をCAI群とした。IACの選定基準とは、少なくとも1回以上の足関節捻挫歴を有し、足関節の機能的不安定性や捻挫の再発、不安定性の既往を有することである。また、IACが推奨する足関節不安定性に関するアンケート調査法のうち2種類を使用し、両アンケート調査の包含基準に含まれた足関節を、不安定性が有する足関節と定義した。アンケート調査法と包含基準は、Cumberland Ankle Instability Toolでは24点以下、Identification of Functional Ankle Instabilityでは11点以上の選手とした。対象者には事前に口頭及び書面にて研究内容に関する十分な説明を行い、同意を得た上で実施した。なお、本研究は所属機関の倫理審査委員会の承認を得たうえで実施した。

1.2 実験手順

Footscan7足底圧計測システム(rs scan社)上での片脚立位を課題試技とした。閉眼による10秒間の両脚立位姿勢の保持直後、CAI群はCAI側、健常群は左側による20秒間の片脚立位姿勢の保持(図1)を行い、姿勢制御時のCOPの移動距離を前後方向と左右方向で算出した(図2)。加えて、両脚立位から片脚立位への移乗時におけるCOPの加速度の算出も行った。計測開始前に5分程度の練習を行い、その際、片脚立位時の再現性を高めるため、片脚立ち保持時の股関節屈曲角度を30度、膝関節屈曲角度を45~50度に統一するため、ゴニオメーターで計測し、対象者へのフィードバックを行った。Balance Error Scoring Systemの基準を採用し、腰部を保持していた手が離れた等のエラーが認められた場合は失敗試技とした。ま

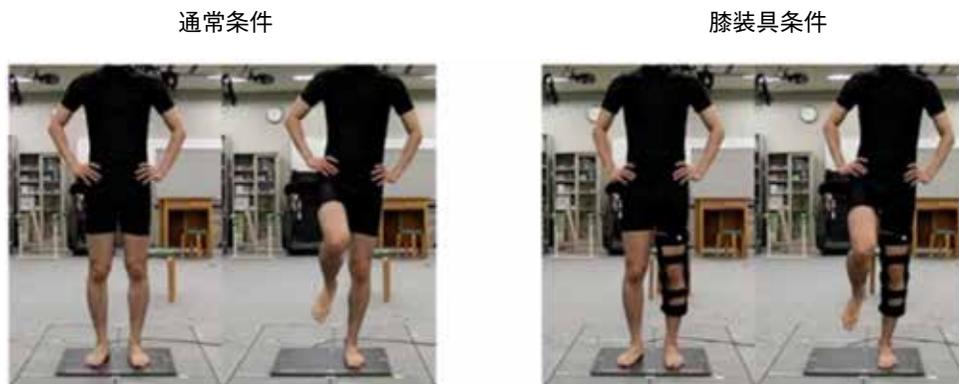


図1 実験試技

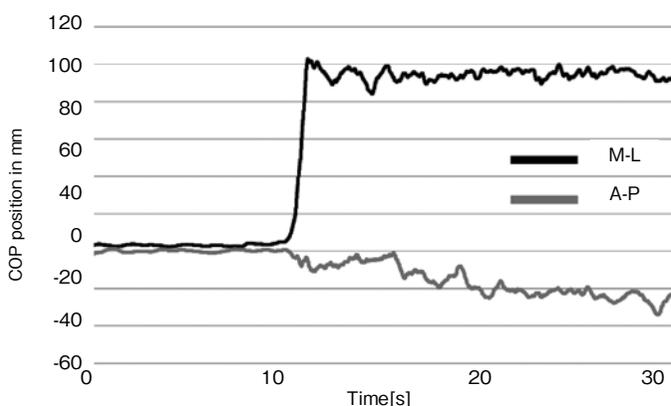


図2 COPデータ

た片脚立位への移乗時、対象者の運動特性による遊脚側の動作の相違を排除するため、骨格モデルによる三次元動作解析システムであるOpenCap[®] (opencap.ai) を用い、各対象者における課題動作の統一を図った。通常時と膝装具 (SecuTec Genu, Bauerfeind 社) による膝関節完全伸展位に強制した際の立位姿勢をランダムに計測した。通常条件と膝装具条件を各3回ずつの計測を1セットとし、計3セット、2条件での合計18回の計測を行い、計測結果の平均値を代表値として算出した。

1. 3 データ解析

両脚立位から片脚立位へのCOP遷移の解析には、COPの移動距離と加速度の解析に加え、ターデサントスポーツ科学 Vol. 45

ゲットまでの距離とその大きさの関数を予測するFittsモデルを用いた。Fittsモデルの仮定によると、移行時に姿勢安定性を高めるためには、COPを初期位置から足幅(W)に等しい距離(D)に位置する目標点まで、可能な限り迅速に移動させる必要がある¹³⁾。COPを両脚立位から片脚立位への目標位置まで迅速に移動させるのに必要な時間は、初期位置から目標点までの距離(D)と目標領域の幅(W)の比に影響されると予測される。この比の対数を用いて、両脚立位から片脚立位への移行の移動困難度指数(ID)を算出した(式1)。目標位置におけるCOP変位の振幅の増大は、神経筋制御におけるノイズ(N)の一種とみなされ、結果としてID値が高値となる¹⁴⁾と仮説を立てた。

$$ID = \log_2 \left(\frac{2D}{W - N} \right)$$

(式1 移動困難度指数 (ID))

1. 4 統計解析

姿勢制御時の足圧中心 (COP) の移動距離を内外側と前後方向で算出し、加えて、両脚立位から片脚立位への移乗時におけるCOPの加速度を算出した。算出したCOP値の正規性の検定はKolmogorov-Smirnov検定を用い、群間比較 (CAI群 vs 健常群) と、条件間比較 (膝装具あり vs 膝装具なし) を行い、統計的に有意な差を特定するため反復測定分散分析 (ANOVA) を用いた。なお、有意水準は5%とし、解析および統計処理は、プログラミングソフトRを用いて行った。

2. 研究結果

健常群の足長平均は27.9 ± 8.4cm、足幅平均は109.55 ± 7.1mmであり、CAI群の足長平均は26.8 ± 10.4cm、足幅平均は111.55 ± 9.2mmであった。表1に足関節不安定感に関するアンケート結果と、最後に受傷した足関節捻挫からの期間を示す。アンケート結果において、CAI群が健常群に比して有意に主観的不安定感を認めた (p<0.01)。また、足関節捻挫を受傷してからの期間に関しても、CAI群が健常群に比して有意に短い期間であった (p<0.01)。

図3にCOPの移動距離を、両脚立位から片脚立位への移動距離と片脚立位時における内外側の移動距離、前後方向の移動距離を示す。両脚立位から片脚立位への移動距離は、健常群に比して

CAI群で有意に高値となったが (p<0.05)、膝関節完全伸展位の強制による影響は認められなかった (p=0.42)。また、片脚立位時の内外側の移動距離に関して、健常群に比してCAI群で有意に高値となったが (p<0.05)、膝関節完全伸展位の強制による影響は認められなかった (p=0.35)。一方で、片脚立位時の前後方向の移動距離に関して、健常群に比してCAI群で有意に低値となったが (p<0.05)、内外側と同様に膝関節完全伸展位の強制による影響は認められなかった (p=0.64)。

図4に両脚立位から片脚立位への移乗時における、COPの加速度を示す。膝装具を使用した膝関節完全伸展位の強制により、CAI群では移乗時のCOPの加速度が膝装具を使用していない試技に比して高値を示した (p<0.05)。一方、健常群では膝装具の着用有無による有意差は認められなかった (p=0.35)。

表2に移動困難度指数 (ID) の結果を示す。健常群に比して、CAI群で有意に高値となったが (p<0.05)、膝関節完全伸展位の強制による影響は認められなかった (p=0.29)。

3. 考察

本研究の目的は、膝装具の着用による膝関節伸展位固定を用いた運動連鎖の遮断により、慢性足関節不安定症の新たな評価手法の開発することである。足関節における動的運動制御能力をより顕著に評価するため、片脚立位課題を膝関節伸展位固定と非固定の2つの条件下で実施した。膝装具を用いて運動連鎖を遮断し、CAI群の足関節機能のみを評価することで、再受傷の可能性が高い人を特定できる指標を検証した。さらに、この検証

表1 足関節不安定感のアンケート結果と最後に受傷した足関節捻挫からの期間

	健常足(mean(SD))	CAI足(mean(SD))	p-Value
Cumberland Ankle Instability Tool	28.4 (1.6)	21.6 (1.5)	<0.01 *
Identification of Functional Ankle Instability	7.8 (1.9)	15.8 (3.6)	<0.01 *
Time since last ankle sprain (month)	21.0 ± 7.5	2.1 ± 1.5	<0.01 *

Note. *: p<0.01 (有意差あり)

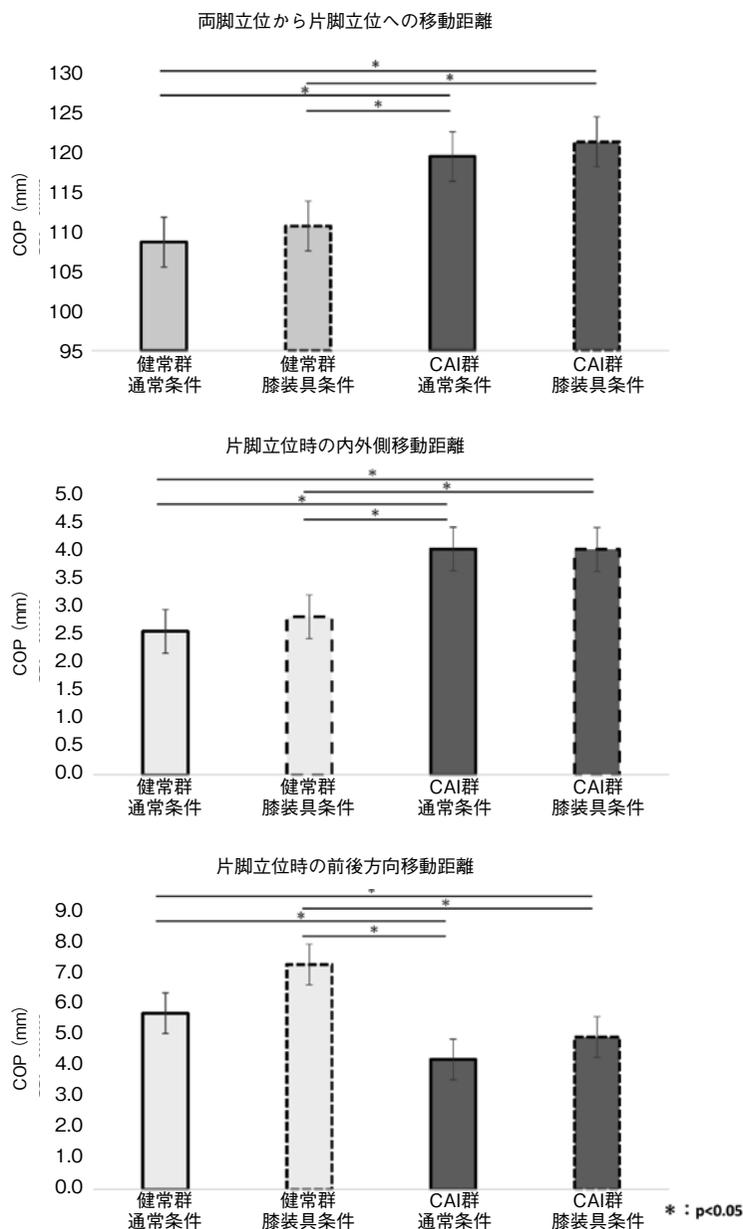


図3 COP移動距離

プロセスにより、CAIの病態生理が包括的に理解され、CAI発症後のリハビリテーションの開発の一助になると考えられる。

立位姿勢制御における膝関節運動の寄与を考慮すると、片脚立位課題における膝関節固定は姿勢制御の自由度を低下させ¹⁵⁾、バランス課題の難易度を高めると考えられる。この変化は、複数の

関節運動に関する情報を含むCOPの変化によって捉えられる。本研究結果からも、膝関節を伸展位固定することで下肢関節間の運動連鎖が遮断され、姿勢制御戦略にも変化をもたらした。特に、膝関節伸展位固定によるCAI群で観察された姿勢移乗時の加速度の増加は、CAIによる足関節の関節位置覚の低下¹⁶⁾や下腿の筋反応時間の延長¹⁷⁾

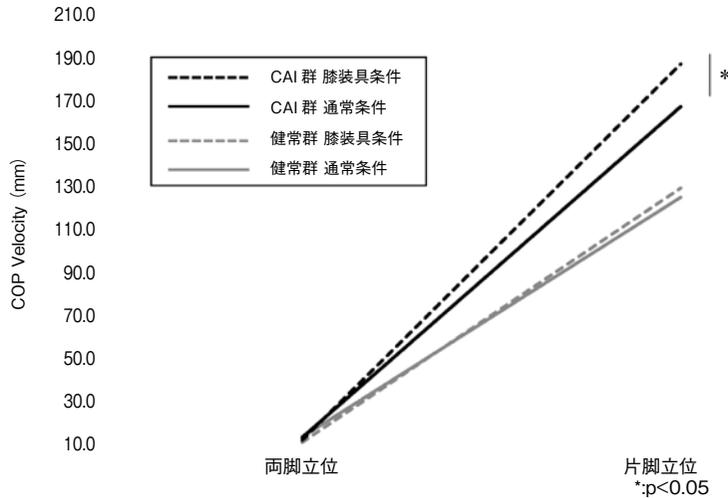


図4 移乗時のCOP加速度

表2 移動困難度指数(ID)

	移動困難度指数(ID)
健常群 通常条件	1.120
健常群 膝装具条件	1.155
CAI群 通常条件	1.294
CAI群 膝装具条件	1.307

などを示す先行研究の結果からも、より股関節の動きを利用するバランス戦略への移行を示唆した¹⁸⁾。足関節戦略が姿勢制御の初期段階において主要な役割を果たすことは、先行研究でも述べられている¹⁹⁾。足関節の機能低下が考えられるCAI群では、COPの内外側移動距離が高値になり、その要因もあり加速度も高値となったと考えられる。一方で、健常群ではCOPの前後方向の変数が増加したことから、片脚立位課題における膝関節の伸展位固定が前後方向のバランス維持にも影響していることが示唆された。つまり、本研究で行われた内外側移動動作は、CAI群では十分な安定性が得られず、前後方向への戦略の導入に繋がらなかったと考えられる。この機能障害は、内外側方向の動的安定性に寄与する組織への負荷を増大させていることも予想できる。

CAI群は健常群に比して、片脚立位での姿勢制御時にCOPの内外側移動を有意に使用した結果、移動困難度指数(ID)も高値を示した。この結果

は、CAIの発症による足関節の機能障害によるものであると考えられ、CAIの発症に伴う関節位置感覚の異常¹⁶⁾や運動制御能力の低下²⁰⁾が影響している可能性が高い。加えて、CAI群における腓骨筋の反応時間の遅延¹⁷⁾を示した報告もあり、これらの機能障害が本研究の結果に繋がったと考えられる。加えて、CAI群で膝関節を伸展位固定した試技では、片脚立位に移行する際のCOPの加速度は、膝関節を固定しなかった場合に比して有意に高値を示した。これにより、より詳細な足関節の機能障害が明らかになり、CAI群は他の関節戦略を用いている²¹⁾という先行研究を支持するものであった。様々な足関節の機能不全によるバランス能力低下²²⁾が認められるCAI群は、片脚立位での姿勢を維持するため、股関節戦略に大きく依存した姿勢戦略を行った可能性が高い。この股関節が担う姿勢戦略が、膝関節の伸展位固定による足関節と股関節の運動連鎖の遮断により阻害され、その結果として足関節に特化した機能障害が明らかになった。

また、片脚立位時におけるCOPの前後方向の姿勢制御戦略において、健常群に比してCAI群が有意に高値を示した。CAI群は、片脚立位時の内外側戦略に費やす時間が長く、前後方向の戦略へ

の依存度が低下していたことが考えられる。前後方向の姿勢制御戦略は、足部の形態から鑑みて、足関節機能に依存していることが先行研究で述べられている²³⁾。CAI群では姿勢制御の際、股関節戦略に大きく依存している可能性が高く、着地やカッティング動作に遅れが生じ、再受傷に繋がると考えられる。従って、姿勢制御能力の改善には足関節戦略に特化したリハビリテーションが必要であり、CAI群における姿勢制御戦略を理解することの重要性が明らかとなった。今後は、姿勢制御能力の改善を目的とした足関節に特化した姿勢制御戦略をターゲットとしたリハビリテーションプログラムを開発する必要がある。

本研究にはいくつかの限界があり、第一に用いたサンプルサイズが小さいことが、結果の統計的解釈の妥当性に影響を与えた可能性がある。対象者の選定はバスケットボール選手に限定されたこともあり、今後はより大規模な研究を実施し、より多くの対象者の検証が必要である。次に、本研究は横断的研究であり、CAI群が健常群よりも再受傷率が高いか否かは明らかにできない。前向き研究を含む更なる検証を行うことで、上記の点に基づく足関節捻挫の高リスク群の特定にも役立つ可能性がある。第三に、この研究は男性のみを対象としており、女性は含まれていないことにも注意が必要である。月経周期が足関節の靭帯弛緩を変調させることが知られており、これらの要因を排除するため、本研究では男性のみを対象とした。最後に、評価指標は対象者の足部形態や膝関節のアライメントを考慮されておらず、これが結果に影響を与えた可能性がある。扁平足や内反膝の影響を排除できないため予備的な検証を行ったが、対象者の確保が困難であったため、これらの変数を研究に組み込むことは不可能であった。今後の研究では、より正確な検証結果を得るためにも、足部形態と膝関節のアライメントを詳細に評価することも必要である。上記の様な変数を含めるこ

デサントスポーツ科学 Vol. 45

とで、CAIと姿勢制御能力との関係をより包括的に理解することができる可能性が高い。

4. まとめ

本研究は、膝装具による膝関節伸展位固定と非固定が、CAIの姿勢制御能力に及ぼす影響を検証することを目的とした。その結果、股関節戦略にマスクされている可能性がある足関節の機能障害が、膝関節伸展位固定条件下で明らかになった。CAI群では、両脚立位から片脚立位の移乗時にCOP加速度が増加したことから、健常群とは異なる関節戦略を用い、足関節捻挫を誘発するリスクが高い可能性が示唆された。CAI群では姿勢制御を股関節戦略に依存している可能性があり、競技動作時の姿勢制御に遅れが生じ、足関節捻挫の再受傷リスクが高まっている可能性が推察された。

謝 辞

本研究の実施にあたり、研究助成を受け賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団様に厚く御礼を申し上げます。また、本研究の対象者の選定のためご尽力をいただいた、一般財団法人新潟県バスケットボール協会様に心から御礼を申し上げます。さらに、研究デザインや研究結果に対して有意義なご助言を下さった所属機関の所員の皆様には感謝申し上げます。

文 献

- 1) Hootman J.M., Dick R., Agel J., Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives., *J. Athl. Train.*, 42(2) : 311-319(2007)
- 2) Knowles S.B., Marshall S.W., Miller T., Spicer R., Bowling J.M., Loomis D., Millikan R.W., Yang J., Mueller F.O., Cost of injuries from a prospective cohort study of North Carolina high school athletes., *Inj. Prev.*, 13(6) : 416-421(2007)
- 3) Hubbard-Turner T., Turner M.J., Physical activity levels in college students with chronic ankle

- instability., *J. Athl. Train.*, **50**(7) : 742–747 (2015)
- 4) Doherty C., Bleakley C., Hertel J., Caulfield B., Ryan J., Delahunt E., Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: A prospective cohort analysis., *Am. J. Sports Med.*, **44**(4) : 995–1003 (2016)
 - 5) Gribble P.A., Delahunt E., Bleakley C., Caulfield B., Docherty C.L., Fourchet F., Fong D., Hertel J., Hiller C., Kaminski T.W., Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: A position statement of the International Ankle Consortium., *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, **43**(8) :585–591 (2013)
 - 6) Thompson C., Schabrun S., Romero R., Bialocerkowski A., van Dieen J., Marshall P., Factors contributing to chronic ankle instability: A systematic review and meta-analysis of systematic reviews., *Sports Med.*, **48**(1) : 189–205 (2018)
 - 7) Evans T., Hertel J., Sebastianelli W., Bilateral deficits in postural control following lateral ankle sprain., *Foot Ankle Int.*, **25**(11) : 833–839 (2014)
 - 8) Wang H.K., Chen C.H., Shiang T.Y., Jan M.H., Lin K.H., Risk-factor analysis of high school basketball-player ankle injuries: A prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength, and flexibility., *Arch Phys Med Rehabil.*, **87**(6) : 821–825 (2006)
 - 9) Tropp H., Odenrick P., Postural control in single-limb stance., *J. Orthop. Res.*, **6**(6) : 833–839 (1988)
 - 10) Abe Y., Sugaya T., Sakamoto M., Postural control characteristics during single leg standing of individuals with a history of ankle sprain: Measurements obtained using a gravicorder and head and foot accelerometry., *J. Phys. Ther. Sci.*, **26**(3) : 447–450 (2014)
 - 11) Manchester D., Woollacott M., Zederbauer-Hylton N., Marin O., Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult., *J. Gerontol.*, **44**(4) : M118–M127 (1989)
 - 12) Tansu Birinci., Sule Badilli Demirbas., Relationship between the mobility of medial longitudinal arch and postural control., *Acta. Orthop. Traumatol. Turc.*, May; **51**(3) : 233-237 (2017)
 - 13) Blaszczyk J.W., Fredyk A., Blaszczyk P.M., Ashtiani M., Step response of human motor system as a measure of postural stability in children., *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.*, **28**(4) : 895–903 (2020)
 - 14) Sternad D., Abe M.O., Hu X., Muller H., Neuromotor noise, error tolerance and velocity-dependent costs in skilled performance., *PLoS Comput. Biol.*, Sep 7 (9) : e1002159 (2011)
 - 15) Yamamoto A., Sasagawa S., Oba N., Nakazawa K., Behavioral effect of knee joint motion on body' s center of mass during human quiet standing., *Gait. Posture.*, **41**(1) : 291–294 (2015)
 - 16) McKeon J.M.M., McKeon P.O., Evaluation of joint position recognition measurement variables associated with chronic ankle instability: a meta-analysis., *J. Athl. Train.*, **47**(4) :444-56 (2012)
 - 17) Hoch M.C., McKeon P.O., Peroneal reaction time after ankle sprain: a systematic review and meta-analysis., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **46**(3) :546-556 (2014)
 - 18) Abe Y., Sakamoto M., Nakazawa R., Shirakura K., Relationship between joint motion and acceleration during single-leg standing in healthy male adults., *J. Phys. Ther. Sci.*, **27**(4) :1251–1256 (2015)
 - 19) Qian Q.L., Darwin G., Alpha A.G., Postural Control and Adaptation Strategy of Young Adults on Unstable Surface., *Motor Control.*, **10**;27(2) :179–193 (2022)
 - 20) Wright C.J., Arnold B.L., Fatigue' s effect on eversion force sense in individuals with and without functional ankle instability., *J. Sport Rehabil.*, **21**(2) : 127–136 (2012)
 - 21) Hoch M.C., Mullineaux D.R., Andreatta R.D., English R.A., Medina-McKeon J.M., Mattacola C.G., McKeon P.O., Effect of a 2-week joint mobilization intervention on single-limb balance and ankle arthrokinematics in those with chronic ankle instability., *J. Sport Rehabil.*, **23**(1) : 18–26 (2013)
 - 22) Wikstrom E.A., Naik S., Lodha N., Cauraugh J.H., Bilateral balance impairments after lateral ankle trauma: a systematic review and meta-analysis., *Gait. Posture.*, **31**(4) :407-14 (2010)
 - 23) Tropp H., Ekstrand J., Gillquist J., Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **16**(1) : 64–66 (1984)