

靴型足底圧マルチセンシングシステムによる ジュニアアスリートの障害予防の研究

Prevention of Sports Impediment by Plantar Pressure Multi-Sensing System

2041027



研究代表者

東京医療保健大学 医療保健学部
医療情報学科

教授

山下 和彦

[研究の目的]

人間の足部は26個の骨と33個の関節で構成され、それをつなぐ筋や靭帯は複雑な構造となっている。さらに足裏には3つのアーチがあり、内側縦アーチ（土踏まず）、横アーチ（前足部の母指球から第5中足骨にかけてのアーチ）、外側縦アーチで構成される。これらは複雑な骨や筋の配列にて構築され、運動中の荷重や衝撃を緩衝する機能があると報告されている。

スポーツにおける足部の障害を予防するためには、足底が地面に接することで動作の起点となることからClosed kinetic chain（閉鎖運動連鎖：CKC）の観点より、足底部の機能に着目することが重要である。特に、内側縦アーチ、踵部の距骨下関節、横アーチ、外側縦アーチの状態はスポーツにおける下肢障害に関連していると考えられている。

一方、スポーツの中でもサッカーはスポーツ障害が発生しやすいものの1つであり、プロリーグに所属する38%に骨折の既往があったという先行研究もある。特に足第5中足骨の疲労骨折であるJones骨折は難治性であり再発例も多く見られる。そのため、Jones骨折に関連するパフォーマンスからのリスク因子を分析するのみではなく、CKCに基づく要因や身体的特徴を定量的に評価することが求められる。

そこで本研究では、高校生までのアスリート

のスポーツ障害に関連すると考えられる身体的特徴を評価する計測システムの開発とその特徴について明らかにすることを目的とした。

[研究の内容・成果]

研究方法

本研究では、Jones骨折等のスポーツ障害のリスク推定のために、CKCの観点から足底部の解剖学的特徴、さらに運動学的特徴を計測するための靴型足底圧マルチセンシングシステムを開発した。本システムは、前足部に4点、中足部に2点、後足部に1点の計7点の圧力センサを配置した。

本システムでは、静止立位中や歩行中の足圧中心（Center of pressure：COP）の計測が可能だけでなく、足底部の筋骨格系の動き、すなわち、解剖学的特徴を評価できるようセンサ位置を構成した。サンプリング周波数は100 Hz、通信距離は約50 mであり、歩行などの運動評価が可能である。

計測は、図1に示した計測システムによる静止立位時（45秒間の両足立ち、片足立ち）、歩行時の足底部の解剖学的・運動学的特徴の分析、図2に示した膝下の筋力を総合的に計測・評価する足指力計、股関節の内転・外転筋力を計測する膝間力計測器を用いて計測を実施した。さらに、アンケート、足底部の観察を実施した。

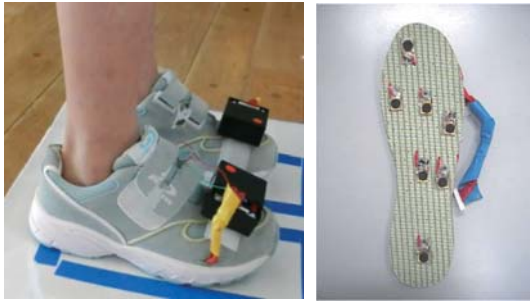


図1 靴型足底圧マルチセンシングシステム

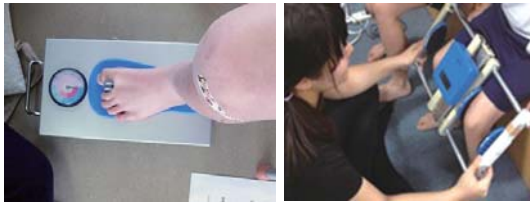


図2 下肢筋力計測装置（左：足指力計，右：膝間力計）

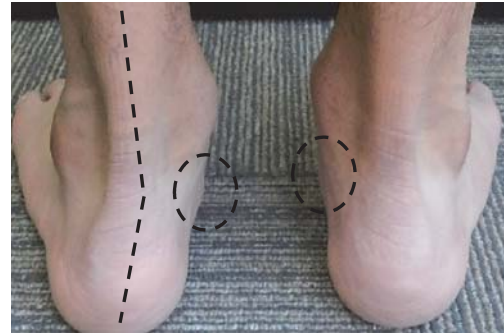
対象者

本研究では、幼稚園児から高校生までの2088人（スポーツ選手1012人）に対し、調査を行った。本報告では特徴的な男子高校サッカーのトップリーグに所属する複数チームの155名について述べることにする。本対象選手は、高校サッカーのインターハイやサッカー選手権大会の全国大会に出場しているチームに所属している。

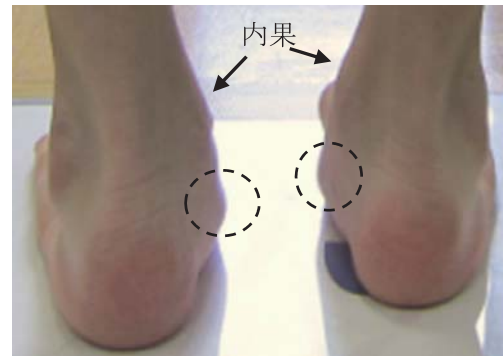
成果

踵・足底部の変形によるスポーツ障害リスク群の調査

スポーツ障害を予防するために解剖学的側面から距骨下関節と踵の運動軸は重要である。そこで、図3のように足底部のアーチ構造に関連する後脛骨筋腱障害などの観点から内果下の骨の突出状況について調査した。さらに、図4のようにアーチ構造に関連する足底部に加わる圧力値の評価のために、静止立位時の特徴点を調べた。なお、ここでの骨の突出について、舟状骨、あるいは外頸骨などの可能性があるが、レントゲン等の画像診断的介入が行えないため、ここでは厳密に区別はしていない。その結果、内果下に左右どちらか、あるいは両方に骨が突



a. 踵の外反と骨の突出



b. 骨の突出

図3 踵に観察される問題

出していたのは、108名（69.7%）であった。この割合は、本研究で調査してきた他の群と比べて高く、距骨下関節や踵などの解剖学的観点からより深く分析することが求められる結果であった。

図4左のように第5中足骨に荷重が観察されたのは、両足立ち時で78名（50.3%）、片足立ち時で101名（65.2%）、図4右のように横アーチに荷重が観察されたのは両足立ち時で106名（68.4%）、外側縦アーチに荷重が観察さ

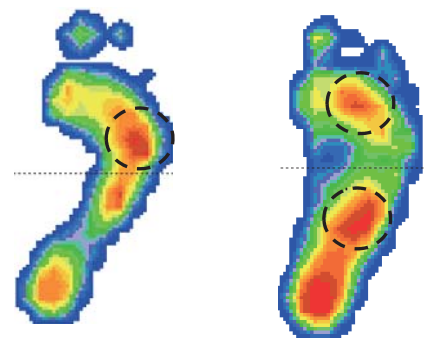
第5中足骨，外側縦アーチ
中央への荷重横アーチ，外側縦アーチ
中央への荷重

図4 静止立位時の足底部への荷重

れたのは両足立ち時で 86 名 (55.4%)、片足立ち時で 111 名 (71.6%) であった。

子どもの骨格構造は軟骨で構成され、成長とともに骨化が進むが、踵骨等の後足部の骨は 8 歳ごろに骨化が完成の域に達するとされる。本研究対象とした高校生は平均 6 歳でサッカーを始めていた。サッカー経験年数は 11.2 歳であり、幼少期からのスポーツ特性が発達に影響をおよぼしていることが推定できる。すなわち、表 1 のように過去にサッカー以外のスポーツ経験がない人は外側縦アーチに荷重がある割合が高いことがわかった。

図 5 に左右の足指力の計測結果を示した。足指力は図 2 のように計測部を足拇趾と足第 2 趾で挟み込み、足趾を丸めるように計測することで、膝から下、特に前足部の筋力や機能が評価できる。足趾は歩行や静止立位時の前方方向の姿勢制御に強くかかわっている。

斜線より下のプロットは右足が左足より値が高いことを示す。その結果、左右差が大きいタイプ、5 kgf を下回るような十分に足趾周辺の筋発揮力が機能しないタイプが存在することがうかがえた。すなわち右足は 45 名、左足は 78 名が該当した。図 1 の靴型の計測装置でも足拇趾の荷重が小さいタイプが多数存在しているこ

表 1 サッカー以外のスポーツ経験と足部構造

		サッカー以外のスポーツ経験	
		なし	あり
外側縦アーチ 荷重の有無	なし	25	44
	あり	46	40

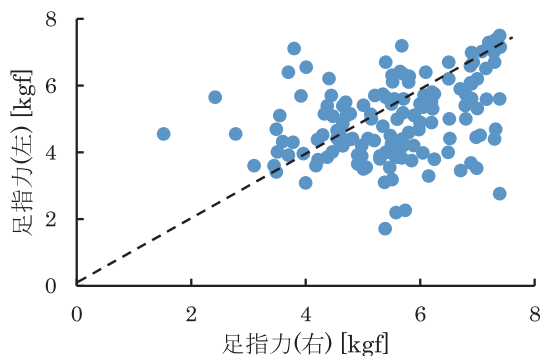


図 5 左右の足指力の計測結果

とから、前足部機能が低下していることが確認できた。すなわち、CKC の観点から足趾の機能を向上させ、運動中の安定な姿勢制御に寄与するためには、5 kgf を下回る対象者には柔軟性や可動域向上を図るケアプログラムの実施が求められることがわかった。

図 6 には膝間力の内転と外転筋力の計測結果を示した。内転筋力 40 kgf を下回ったのは 10 名、外転筋力 35 kgf を下回ったのは 18 名であった。膝間力に関連する筋力は比較的優れていることがわかった。

足指力に関する筋特性は足裏の 3 つのアーチ構造に密接に関連している。特に小学校などの時期に足指力や膝間力に関連する筋特性を向上させ、踵、舟状骨、距骨下関節などのアライメントを適切に構築することはスポーツ障害の予防に関連すると考えられる。今回の結果から、約半数が足指力の発達について十分でないことがわかった。

図 7 に 1 年間の追跡を行った対象者の足指力

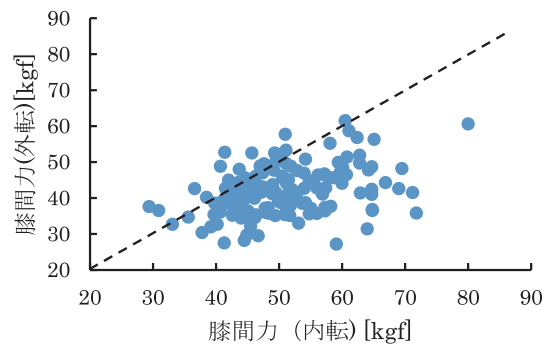


図 6 膝間力の内外転の関係

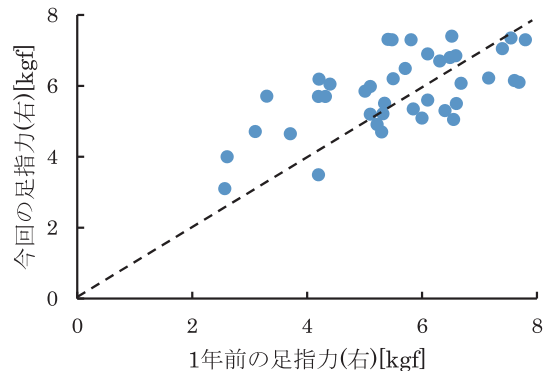


図 7 1 年間の足指力の変化

の変化を示した。1年前に足指力が5 kgfを下回っていたのは40名中の10名であった。本結果とそれぞれ対象者の特徴は追跡を行ったチームのコーチとトレーナに説明し、それぞれのチームで練習メニューやプログラムを実践した。その結果、足指力の5 kgfを下回っていた対象者で1年後に低下したのは1名であり、5 kgfを上回ったのは6名存在した。すなわち、足趾の機能を高め、筋力の向上を図るトレーニングを組み合わせることが有効であり、計測結果を見える化し、フィードバックすることが重要であると考えられる。

さらに、靴型足底圧マルチセンシングシステムの第5中足骨、外側縦アーチの中間部、前足部の横アーチの中間部等のセンサ位置はJones骨折などのスポーツ障害のリスクを評価する上で有用であることが分かった。これらのセンサ情報を組み合わせることで踵や距骨下関節の運動軸を推定できる可能性があり、運動中のこれら解剖学的特徴に着目できることが期待できる。

[今後の研究の方向・課題]

本研究では、ジュニアを含むアスリートのスポーツ障害予防を目的とし、CKCの観点からスポーツ障害に密接に関連すると考えられる足底部の特徴点の圧力値を計測できる靴型足底圧マルチセンシングシステムを開発し、さらに、足指力と膝間力計測器による筋力計測装置を開発した。本報告では、Jones骨折などの足底部に関連するスポーツ障害が多い高校サッカーのトップグループに着目し、踵や距骨下関節の変形、運動軸の変化を推定するために骨の状況の観察、静止立位時の足底圧の特徴量抽出、下肢筋力について計測、解析した。

その結果、第5中足骨の荷重、前足部の横アーチと外側縦アーチの低下が高い割合で観察

され、あわせてくるぶしである内果の下に骨が突出している割合が高いこともわかった。足底部の3つのアーチの構成には、足底部や膝下の筋力の影響が関係するため、足指力と膝間力による筋力計測を実施した。その結果、左右差や十分に筋力が向上していない、あるいは足趾の機能が低下している事例が明らかになった。1年間の足趾等の機能向上の指導の結果、筋力などの機能低下が認められる対象者は概ね向上することがわかった。

本研究の今後の展開は、今回報告した155名の対象者、および比較対象や発達の評価を加えている2000人以上の対象者について追跡調査し、横断的な足底部の解剖学的、運動学的変化について明らかにする。さらに、踵や距骨下関節の運動軸の評価方法を確立し、簡単にスポーツ障害のリスク指標を構築し、それぞれの対象者の特徴により予防方策を提供できるよう研究を組み立てる。

課題として、これまでサッカーのジュニアを含むアスリートに着目してきたが、水泳やライフセービングなどのサッカーとは全く異なる運動特性を持つアスリートにも視野を広げるべきである。実際に、外側縦アーチが確保されている対象者は小学生の頃に水泳などに取り組んでいる傾向にあり、足部の発達のメカニズムにまで踏み込んで、スポーツ特性を組み合わせた検討をCKCの観点から行うことが求められる。

[成果の発表]

Yamashita K, Anzai E, Yamada K, Ohno Y, Ohta Y : Evaluation of lower extremity function for prevention of foot deformities on healthy children, LE2014, 2014

Anzai E, Nakajima K, Yamashita K, Matsunaga Y, Sato M, Onishi T, Ohta Y : Evaluation of Foot Structure and Gait Feature of Knee-Osteoarthritis by the Shoe Type Stabilometer, LE2014, 2014