

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 辻本 典央

論 文 題 目

ランニング時における後足部回内モーメントの発生要因

論文審査担当者

主 査

名古屋大学総合保健体育科学センター教授 秋間 広

名古屋大学総合保健体育科学センター教授 蛭田秀一

名古屋大学総合保健体育科学センター教授 佐々木 康

## 論文審査の結果の要旨

第1章では、後足部回内動作と過使用ランニング障害についての先行研究をまとめ、ランニング時における後足部回内モーメントを調べる意義について概説し、本論文における目的を設定した。

ランニング支持期前半において、後足部では回内動作が発生する（横江,1984）が、過度の後足部回内動作は、足底腱膜の過伸張（Kwong et al., 1988; Nishikawa et al., 2002）や、膝関節の負担を誘発する（Tiberio, 1987）とされ、過使用ランニング障害の要因と考えられてきた。伝統的に後足部回内動作の評価には後足部回内角度の大きさが用いられてきたが、後足部の可動域（ROM）は個人によって異なるため、外から見た角度では過度の動作を評価することが難しい（Rodrigues et al., 2013）。したがって、近年では角度ではなく、実際に関節に加わる力学的負荷であるモーメントが過使用ランニング障害の要因として使われるようになってきた（McMillan and Payne, 2008）。

ランニング支持期中、後足部の回内外に関わるモーメントには、人体内部で発生する回内外モーメント、床反力由来の回内外モーメント、さらには正味の回内外モーメント（後足部の回内外方向の慣性モーメントと後足部の回内外方向の角加速度によって発生）が存在する。このうち、床反力由来のモーメントが支持期前半に回内方向に作用することが報告されているため（Becker et al., 2014; Hurd et al., 2010; Willwacher et al., 2013）、後足部回内動作に最も関与しているのは床反力由来のモーメントであると考えられる（正味のモーメントはこの3つのモーメントの中では無視できるほど小さく、人体内部で発生するモーメントは床反力由来のモーメントに拮抗するように支持期前半は回外方向に作用する）。よって、本研究では、後足部の回内外に関わる3つのモーメントのうち、後足部の回内動作を誘発し、かつ、足関節への力学的負荷である、床反力由来の後足部回内外モーメントを扱うこととした。

第2章では、後足部接地のランナーを対象に、ランニングの支持期中における後足部回内角度と床反力由来の後足部回内モーメントの関係性を調べ、運動学的変数が実際に加わるモーメントの大きさを反映しているかを検討した。全ての被検者は裸足で実験に参加し、中央部に床反力計が埋め込まれた30mの走路を走り抜けた。角度の値は、先行研究で主に採用されている値の取り方に基づき（Hreljac et al., 2000; Messier and Pittala, 1988; Messier et al., 1991; Viitasalo and Kvist, 1983; Willems et al., 2006）、後足部回内角度の最大値、立位時の後足部回内角度と最大値の差、接地の瞬間の後足部回内角度と最大値の差を用いた。モーメントの値は、床反力由来の後足部回内モーメントの最大値を用いた。その結果、支持期全体に対して行った分析、接地直後の局面に限定して行った分析のいずれにおいても、後足部回内角度の大きさと床反力由来の後足部回内モーメントの大きさとの間に有意な相関関係は認められなかった。したがって、過使用ランニング障害の要因としては、後足部回内角度ではなく、実際に足関節に加わる力学的負荷である後足部回内モーメントを扱う必要があることが示された。

## 論文審査の結果の要旨

第3章では、ランニング支持期における床反力由来の後足部回内モーメントの発生要因について検証した。この分析を行うために、モーメントを構成する要素を、床反力の水平面成分由来の後足部回内モーメント、床反力の垂直成分由来の後足部回内モーメントに分けた。さらに水平面成分由来のモーメントを構成する要素を、足関節中心の高さと床反力の側方成分に分け、垂直成分由来のモーメントを構成する要素についても、水平面における足関節中心に対する足圧中心（COP）の側方変位と床反力の垂直成分に分けた（本論文では、踵と第2第3中足骨遠位端の midpoint を結んだ線を足部長軸とし、水平面における足部長軸に対して垂直な方向を側方と定義している）。これらの要素が、床反力由来の後足部回内モーメント全体の大きさに与える影響について検証した。その結果、接地直後は主に床反力の側方成分によってモーメントが発生しており、さらにその床反力の側方成分は、接地直前の後足部側方速度の大きさに依存していることが明らかとなった。また、接地直後より後の局面では、水平面における足関節中心に対するCOPの側方変位によってモーメントが発生していることが示された。このように、床反力由来の後足部回内モーメントの発生要因は、接地直後の局面やその後の局面によって異なるため、モーメントを減少させるためには、局面毎に異なる方法が求められる可能性が示唆された。

第4章では、床反力由来の後足部回内モーメントの発生要因をランニングと歩行について分析し、各条件におけるモーメント発生の特徴について検討した。その結果、ランニング、歩行とも、接地直後の床反力の側方成分と、その後の水平面における足関節中心に対するCOPの側方変位がモーメントの発生に寄与していることが共通して認められた。しかしながら、ランニングにおいて確認された、接地直後の床反力の側方成分が、接地直前の後足部側方速度の大きさに依存しているという関係性は、歩行においては認められなかった。これは、ランニングと異なり、歩行では滞空期が存在せず、比較的安定した状態での接地となるため、接地の仕方が個人間で大きく異なることはなく、接地直前の後足部側方速度の被検者間のばらつきが少ないためであると考えられる。したがって、接地直前の足部の動きにより接地直後の後足部回内モーメントが生み出されるという機序はランニング特有のものであり、接地直後のモーメントを減少させるための方法は、ランニングと歩行で異なることが示唆された。歩行における過度の後足部回内は後脛骨筋腱機能不全と関係があるという報告もされていることから（Rabbito et al., 2011）、ランニングとともに歩行時のモーメント減少への提言ができたことは意義があるものと考えられる。

## 論文審査の結果の要旨

第5章では、ランニング時における床反力由来の後足部回内モーメントの主な発生要因である足関節中心に対する COP の側方変位と、足部長軸に対する COP の側方変位との関係について検討した。足部長軸に対する COP の側方変位は、足圧分布測定器によって即座にデータ化できることから、ランニング支持期の足部動態を簡易的に把握するために用いられてきた変数である (Ghani Zadeh Hesar et al. 2009; Willems et al., 2006)。仮に両者の間に高い相関関係が認められれば、足部長軸に対する COP の側方変位を用いて、簡易的にモーメントの推定を行える可能性が高まる。分析の結果、接地直後より後の局面において、足関節中心に対する COP の側方変位と足部長軸に対する COP の側方変位との間に相関関係が認められたものの、その程度は中程度であった。また、接地の瞬間から、足部長軸に対する COP の側方変位がどれだけ変化したかという変化量を用い、足関節中心に対する COP の側方変位との関係も分析したが、両者の間に有意な相関関係は認められなかった。したがって、床反力由来の後足部回内モーメントの主な発生要因である足関節中心に対する COP の側方変位は、足部長軸に対する COP の側方変位を用いるのみでは、十分な精度で推定できないことが明らかとなった。

第6章では、第1章から第5章までの内容を改めてまとめ、総合考察を行った。本論文によって過使用ランニング障害の予防や改善に対する知見が得られたことについて述べ、さらに知見を深めるためには、後足部接地のみならず、中足部接地、前足部接地など、異なる接地パターンのランナーの分析や、シューズ着用時の分析、さらには女性や子ども、高齢者といった異なる対象者の分析などが必要であることを述べた。

第7章では総括として、本論文で得られた知見をまとめた。過使用ランニング障害を誘発する床反力由来の後足部回内モーメントは、接地直後の床反力の側方成分と、その後の足関節中心に対する COP の側方変位によって主に発生していることが明らかとなった。また、歩行時には認められないランニング特有の特徴として、接地直前の後足部側方速度が、接地直後の床反力の側方成分に影響を与えていることが示された。以上のことから、過使用ランニング障害の予防や改善のためには、接地前の足部の側方への動きや、接地中の足関節中心や COP の側方への動きを評価し、コントロールすることが重要であると結論付けた。

## 論文審査の結果の要旨

以上の研究内容から、博士学位請求者が博士論文で取り上げた過使用ランニング障害予防の指標として注目した後足部回内モーメントに関する実験において得られた特筆すべき知見として、以下の4点が挙げられた。

第一点目は過使用ランニング障害の要因としては後足部回内角度ではなく、実際に足関節に加わる力学的負荷である後足部回内モーメントを扱う必要があることを明らかにした点。

第二点目は接地直後には主に床反力の側方成分によってモーメントが発生しており、さらにその側方成分は、接地直前の後足部側方速度の大きさに依存していることを明らかにした点。

第三点目はランニング、歩行とも、接地直後の床反力の側方成分と、その後の水平面における足関節中心に対する足圧中心（COP）の側方変位がモーメントの発生に寄与していることが共通に見られることを明らかにした点。

第四点目は、床反力由来の後足部回内モーメントの主な発生要因である足関節中心に対するCOPの側方変位を、足部長軸に対するCOPの側方変位を用いるだけでは、精度良く推定することできないことを明らかにした点。

一方、本論文に対して審査委員からは以下のような疑問点、問題点や助言が出された。

- 1) 回内角度に理想の角度は存在するのか？
- 2) ランニングでは距骨を痛める場合が多いが、それを見ることはできないのか？
- 3) 足首のランニング障害が他の関節の障害にも影響を及ぼすのか？もしそうならどのように影響を及ぼすのか？
- 4) 後足部回内モーメントをより簡単に評価する方策はないのか？
- 5) 同一人物が本実験の条件でランニングスピードのみを増加させた場合、異なる結果になるのか？

これらの指摘に対して、博士学位請求者はこれらの点をよく認識しており、今後のさらなる研究によって補うことが可能であると判断した。質疑に対する応答も具体的に適切なものであった。

以上を総合して、本論文はスポーツバイオメカニクスの基礎研究と国民的規模で長期間注目されているランニングに関して、その科学的知見の提供という意味において重要な示唆を提示するものである。また、関連領域の研究分野においても重要な知見を与え得る内容であり、学術的価値も極めて高いものと評価できる。

よって、審査員は全員一致して、本論文を博士（教育学）の学位に値するものと判断し、論文審査の結果を「可」と判断した。