

博士論文の内容の要旨

Abstract of Doctoral Dissertation

氏名 Full Name	村澤 智啓
学位名 Name of Degree	博士 Doctor of (医工学/BIO MEDICAL ENGINEERING)
学位授与年月日 Date of The Degree Conferral	2023年 9月30日/September 30th
論文題目 Dissertation Title	ランニングにおける優れた弾特性に関連するバイオメカニクス特徴

(博士論文の内容の要旨 Abstract of Doctoral Dissertation)

習慣的な長距離走は心身の健康増進につながると考えられており、ランニング人口の増加は国家レベルの取り組みとなっている。多くのランナーにとって、長距離走パフォーマンス (e.g. 競技記録, 順位等) の改善は、ランニングを習慣づける重要な意欲である一方、過使用によるランニング障害 (e.g. 膝蓋大腿関節痛, 腸脛靭帯炎症, アキレス腱障害, 脛骨疲労骨折等) は特に初心者レベルのランナーのランニング実施率を低下させる要因となっている。ランニング動作やランニング中に生じる力学的負荷といったバイオメカニクス要因は、長距離走パフォーマンスや、ランニング障害リスクに関連すると考えられており、効果的なトレーニング方法の確立のためには、ランニングをバイオメカニクスの観点からより深く理解することが重要である。

身体運動におけるバネ的振る舞いを spring-mass 系の運動にモデル化した際のバネ定数に相当する leg stiffness は、バイオメカニクス分野ではランニングなどの跳運動における弾特性の理解に広く用いられてきた。大きな leg stiffness は優れた長距離走パフォーマンスの実現に重要な要因と考えられ、プライオメトリクストレーニングなどのような leg stiffness の増大につながるトレーニングの有効性が報告されている。しかしながら、leg stiffness を少ないランニング障害リスクで効果的に増大させるための知見は限られており、大きな leg stiffness に関連するバイオメカニクス特徴の更なる研究が必要であった。そこで本研究では、主に初心者レベルのランナーが、怪我やランニング障害のリスクを高めることなく長距離走パフォーマンスを改善させるトレーニングに対する示唆を得るために、重要な長距離走パフォーマンス指標とされる leg stiffness に関するバイオメカニクス特徴について様々な観点から検討した。

研究課題1では、前足部接地走法を大きな leg stiffness と関連付けた先行知見の結果が、異なる leg stiffness の計測方法においても同様なのかについて検討した。その結果、多くの先行研究で用いられている数理モデルによる leg stiffness は、CoP (足底圧力中心) と CoM (身体重心) の計測に基づく leg stiffness に比べて、後足部接地走法においてより小さい値となることが明らかになった。すなわち、多くの先行研究で利用される数理モデルに基づく leg stiffness の計測方法により様々な足部接地パターンのランナーの leg stiffness を評価した場合、前足部接地走法のそれが大きく評価されることを意味する。なお依然として、CoP と CoM の計測に基づく leg stiffness においても長距離走パフォーマンスに関連付けられることは変わらなかった。本研究において足部接地方法以外の要因でも大きな leg stiffness が長距離走パフォーマンスに関連付けられることを示したことはトレーニングの検討に重要な示唆を与えられる。また本研究では初心者レベルから一流陸上競技者まで様々なランニング技術 (走法) を有するランナーの評価を行うことから、CoP と CoM の計測に基づく leg stiffness を用いることが適切と考えられた。

研究課題2では、大きな leg stiffness に関する優れた長距離走パフォーマンスを有するランナー (HR) の運動方略を明らかにするために、骨盤および下肢3関節のランニング周期全体に渡っての kinematics データに対して主成分分析を行うことで HR に特有の kinematics 特徴を含む主成分ベクトル (PCV 1) を生成し、その主成分ベクトルが leg stiffness と相関することを示した。この主成分ベクトルが含む kinematics 特徴をデータの再構築技術によって記述し、HR の

運動方略として解釈した。その結果、HR は先行研究で優れた長距離走パフォーマンスや低いランニング障害リスクに関連付けられた特徴を総合的に含んだ運動方略を有していることが示された。この知見は、leg stiffness を適切に増大させるためのランニング技術に重要な示唆を与えた。

最後に研究課題3では、ランニング中の大きな leg stiffness を実現する上で必要な関節の弾特性を明らかにするために、leg stiffness を従属変数、膝関節・足関節の最大モーメントおよび RoM (関節角変位) を独立変数とした重回帰分析を行った。その結果、足関節最大底屈モーメントが leg stiffness に対する最も大きな寄与を示し、続いて膝関節 RoM, 足関節 RoM, 膝関節最大伸展モーメントの順で有意な寄与が認められた。膝関節は初心者ランナーのランニング障害好発箇所であることや、leg stiffness への寄与が比較的小さいことなどから、特に足関節底屈筋群を選択的に強化するトレーニング (e.g. アンクルホップ) が有効であることが提案される。

以上により、本研究は長距離走パフォーマンスの重要な要因である leg stiffness に関連するバイオメカニクス特徴を明らかにするために、計測方法 (研究課題1)、運動方略 (研究課題2)、関節の弾特性 (研究課題3) の観点から検討した。本研究の知見は、主に初心者レベルのランナーが leg stiffness を効果的に高める上で重要となる運動方略の習得や関節の弾特性の改善に関するトレーニングに役立つことが期待される。