

2013年1月7日

博士学位論文審査報告書

大学名	早稲田大学		
研究科名	スポーツ科学研究科		
申請者氏名	阪口 正律		
学位の種類	博士 (スポーツ科学)		
論文題目	Factors influencing frontal plane knee joint kinematics and kinetics during running (ランニング中の前額面膝関節キネマティクス・キネティクスに影響を及ぼす因子)		
論文審査員	主査	早稲田大学教授	川上 泰雄 博士 (教育学) (東京大学)
	副査	早稲田大学教授	矢内 利政 Ph.D. (アイオワ大学)
	副査	早稲田大学教授	福林 徹 博士 (医学) (筑波大学)

本論文は第1章から第5章までの本論と文献リストから構成されている。

近年、健康の維持・増進を目的として、ランニングを行う人が増加している。しかし、ランニング障害の受傷率は29～56%と報告されており、決して低くない。ランニング障害全体の約40%は膝関節に発生し、その中でも膝蓋大腿関節痛は、最も受傷率の高い障害であると報告されている。加えて、膝関節におけるランニング障害は女性に好発することが報告されている。膝関節は解剖学的機能として大きな屈曲可動域とわずかな内旋・外旋可動域を有し、運動中には大きな負荷が加わる関節である。また、運動中にはその負荷などによって内反・外反も起こる。ランニング中の前額面膝関節運動および関節にかかる負荷はランニング障害のリスクファクターと考えられている。しかし、膝関節を内反・外反させる解剖学的機能を有する筋は存在しないため、前額面の膝関節キネマティクス・キネティクスには膝関節よりも遠位に位置する足部・足関節や近位に位置する骨盤・股関節の動きの影響を受けることが指摘されているが、これらのものがどういった機序で前額面膝関節キネマティクス・キネティクスに関連しているかには不明な点が多い。そこで本論文は、膝蓋大腿関節痛のリスクファクターである前額面膝関節キネマティクス・キネティクスにどのような下肢の動きが関連しているかについて、特に足関節・股関節キネマティクスに着目して明らかにすることを目的とした。本論文の概要と主な知見は以下の通りである。

第2章では、ランニング中の下肢関節キネマティクスの性差について検討された。ランニング時の膝・股関節運動には性差があることが報告されており、この女性に特有の

動作が女性に膝関節障害が多い一因と考えられている。足関節の外反とそれに伴う下腿の内旋は膝関節障害のリスクファクターに寄与する動きとされているが、ランニング中の足関節の動きの性差については不明である。そこで、足関節を含めたランニング時の下肢関節運動の性差について検討した。その結果、女性は先行研究で報告されている通り、膝関節外反、股関節内転および内旋が大きく、一方で男性は足関節外反が大きいことが明らかとなった。足関節の外反は古くから膝関節障害のみならず足部・足関節障害のリスクファクターであるとされてきたが、実際には膝関節外反角度が大きい被験者は足関節外反角度が小さく、股関節内転角度が大きかった。つまり、前額面での下肢関節の動き（足関節外反、膝関節外反、股関節内転）は、代償動作のように振舞うことが示唆された。この一連の下肢の動きは、下肢におけるランニング障害の発症率の性差を説明し得るものであると考えられる。

上記の研究は、下記の学術論文として国際誌に掲載の予定である。

Sakaguchi, M., Ogawa, H., Shimizu, N., Kanehisa, H., Yanai, T., Kawakami, Y. Gender differences in hip and ankle joint kinematics on knee abduction during running. *European Journal of Sport Science* (in press).

第3章では、ランニング中の前額面膝関節運動と足関節・股関節キネマティクスの関連性について検討された。膝関節障害のリスクファクターとされている膝関節の外反には足関節外反・脛骨内旋、股関節内転・内旋が寄与すると考えられてきたが、それらがどのように関連しているかについては不明な点が多い。また、先行研究における股関節内旋角度の膝関節障害に及ぼす影響に関する知見は一致しておらず、足関節外反角度に関しても膝関節障害を有する被験者の動きは障害を持たない被験者と比較して差はないとの報告が散見される。そこで、ランニング中の膝関節外反角度に足関節・股関節の動きがどのように関連しているか検討した。膝関節外反角度が大きい被験者は、性別によらず、股関節内旋角度および足関節外反角度が小さく、股関節内転角度が大きかった。このことから、より大きな足関節外反・脛骨内旋、股関節内転・内旋が膝関節外反を強めるというこれまでに提唱されているメカニズムとは異なるメカニズムの存在が示唆された。

上記の研究は、現在国際誌に投稿中である。

Sakaguchi, M., Shimizu, N., Stefanyshyn, D., Yanai, T., Kawakami Y. Relationships between ankle and hip joint kinematics and frontal plane knee joint motions during running. *Journal of Biomechanics* (under review).

第4章では、ランニング中の股関節回旋角度と前額面における膝関節への負荷との関連性についての検討が行われた。前額面において膝関節へ加わる負荷（内的膝関節外反角力積）も、膝関節障害のリスクファクターとされている。近年、股関節の動きによる

膝関節障害への影響について多く検討されているが、股関節の動きと膝関節へ加わる負荷との関連は不明である。加えて、先行研究における膝蓋大腿関節痛を有するランナーの股関節内外旋運動に関する知見は一致していない。そこで、股関節内外旋運動がどのように膝関節外反角力積と関連しているか検討した。その結果、股関節外旋角度が大きい者ほど Toe-out 角度が大きく、前額面における圧力中心位置が足関節中心に対して外側に位置していた。それに伴い、地面反力の作用線と膝関節中心との距離が短かった。つまり、股関節外旋角度が大きい者ほど膝関節障害のリスクファクターである膝関節外反角力積は小さく、股関節内旋角度が大きい者ほど内的膝関節外反角力積は大きかった。そのため、第3章の結果を踏まえると、動きにおけるリスクが高い、つまり膝関節外反角度が大きい者は膝関節にかかる負荷におけるリスクである内的膝関節外反角力積は小さいということを示唆するものである。

上記の研究は、現在国際誌に投稿中である。

Sakaguchi, M., Shimizu, N., Yanai, T., Stefanyshyn, D., Kawakami, Y. Hip rotation angle is associated with frontal plane knee joint mechanics during running. *Gait & Posture* (submitted).

本論文の一連の研究の結果をまとめると以下ようになる。1) 膝関節障害を好発する女性の下肢関節キネマティクスは男性と比較して膝関節外反、股関節内転・内旋角度が大きく、足関節外反角度は小さい、2) 膝関節におけるランニング障害のリスクファクターである前額面膝関節キネマティクスには足関節および股関節の動きが関連するが、先行研究により提唱されているメカニズムとは異なり、股関節内旋・足関節外反角度が小さく、股関節内転角度の大きい者ほど膝関節外反角度が大きい、3) 動きにおけるリスクが高い者は、膝関節にかかる負荷におけるリスクは低いと見積もられる。

これらの知見が得られた背景として考えられるメカニズムとして、第3章および第4章で得られた結果をふまえると、股関節外旋角度が大きくなることで、Toe-out 角度が大きくなり、これに関連して前額面における圧力中心位置が足関節中心に対して外側に位置する。ここで、地面反力の向きおよび大きさが同じであると仮定すると、地面反力の作用線と膝関節中心との距離、すなわちレバーアームが短くなる。内的膝関節外反モーメントは外的膝関節内反モーメントの反作用なので、この外的膝関節内反モーメントが小さい、つまり下腿を内転させる力の回転効果が小さくなることで、膝関節外反が大きくなる。一方、股関節内旋角度が大きい場合には、上記の逆のメカニズムによって、内的膝関節外反モーメントが大きく、膝関節内反角度も大きくなる。ここで、第2章で示されたように前額面での下肢関節の動きが代償動作のように動くことで、膝関節外反角度が大きい場合には、股関節内転角度は大きく、足関節外反角度は小さくなると考えられる。関節モーメントの大きさは関節角度の変化とは必ずしも一致しないため、このメカニズムでは完全には説明することはできないが、膝関節内外反可動域のなかで性別に関わらず、以上のようなメカニズムにより成り立っていると考えられる。つまり、股

関節内外旋角度が膝関節におけるランニング障害のリスクファクターとされる前額面膝関節キネマティクス・キネティクスに関連する重要な要因であることが示唆された。

本論文の知見は、走運動のバイオメカニクスに関する研究分野に新しい視点をもたらすものである。今後の走運動のメカニズムや傷害予防に関する研究の発展につながる道標となり得るものであり、スポーツ科学の分野の研究として極めて意義の高いものだといえる。本申請者の今後の研究上の活躍が大いに期待できる。

上記のような評価を得て、本審査委員会は、阪口正律氏の学位申請論文が博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上