

第1回研究会 平成30年5月22日(火)

バイオメカニクス研究への招待

柏木 悠 (商学部講師)

I. スポーツにおけるBiomechanicsの役割

スポーツ選手や指導が競技力を向上させるためには、まず、個人の願望から目標とするパフォーマンスや技術などのイメージが描かれる。そこには、自分とトップ選手とはどれくらい違うのか? どのようなトレーニングが必要なのか? といったイメージの発生要因がある。このイメージ(感じ)は、「動作が実際に理想とする動きと何が違うのか」ということであり、このイメージを具体的に客観性を捉えることがバイオメカニクス研究のスタートとなる。なぜ動きやパフォーマンスに他者との違いが生まれるのか? という疑問に対して、「動きの仕組み、原因」を探るために、神経系や筋力張力によって発生された関節トルクや、身体外力(主に力の計測:地面反力、足底圧分布、重力、抵抗)を定量化することによって動きの因果関係を明らかにすることである。そこから、パフォーマンスを向上させるための材料や予測値を考えるとバイオメカニクス研究の主な役割である(Fig.1)。本研究報告では、ヒトの動きの仕組みを探る1つのアプローチとして、身体外力を常に受け止めている足部に焦点を当て、そこでの地面反力や足底圧分布の定量化と変化を報告する。

II. 足底圧分布定量化による跳躍動作の技術評価

1 はじめに

足底は、ヒトの身体部位において唯一地面と接地し、身体と地面とのインターフェイスの役割を果たす身体部位である。日常の基本的な「歩く、走る、跳ぶ」といった動作は、全て身体外力を足底から足底圧分布として受けることによって達成される。そもそもヒトの動作は、脳か

ら神経伝達を運動神経や中枢神経などが複雑に相互に機能することによって達成される。神経伝達機能の一つにヒトの皮膚で感じる感覚神経も求心性の機能がある。特にヒトの足裏感覚は、常に動作の遂行や、バランスを調整するために機能していると考えられている。スポーツ場面において、この足裏感覚は重要である。一般的に正確な動作の調整には、力の調節の「Grading」時間的配列の「Timing」空間的配列の「Spacing」の3つの要素が必要であると考えられている¹⁾。これらの要素を足裏感覚に例えると、足底の「どこの部位」で、「どのタイミング」で、「どれくらいの力」でといった足裏感覚に例えられ、足底圧分布の中心となる有効な地面反力ベクトルを身体合成重心に作用させ効率的な動作を生むためには重要な要因となる。したがって、ヒトの足底圧分布を定量化することは、ヒトの「動きの仕組み」を探るための有効的な手段となる。

しかし、足底圧分布を定量化するための手法には、多くの問題があることも一方で報告されている。そもそも足底の力を測ることへの興味は、発明家のÉtienne-Jules Marey (1830~1904 Fig.2)の時代まで遡る。しかし、最初に研究論文として発表されたのは、1972年のHutton and Drabble²⁾であることから研究の歴史としては、まだ浅いことがわかる。筆者が学位論文を取得した時点では、約300篇ぐらいであった。研究の初期は、静的な姿勢の写真撮影から、現在では歩行などの動的な測定に改良され、足の形をそのまま定量化する技術まで報告されている³⁾。計測器の多くは、足底圧の大きさを色のコンターで定性的に示したものが多く、計測器によって絶対量を得ることができないものもあった。特に荷重量の正確性や再現性などの問題点が課題として挙げられてきた。

本研究は、ヒトの「動きの仕組み」について足裏感覚を定量化することからアプローチし、スポーツパフォーマンスを向上させるための足底圧分布定量化の方法の確立と、この方法を用いてヒトの全身パワー発揮測定でも用いられている跳躍動作の技術評価を行うことを目的に研究を行なった。

2 方法

本研究は、足底圧分布を足部の解剖学的計測点から区分するために、モーションキャプチャーシステム(200Hz, VICON社製)、地面反力計(1kHz, Kistler社製)および足底圧計(200Hz, RSScan社製)を時間的空間的に同期して用いた。この時、足底圧計の荷重量の精度は、地面反力計と比較し、計測区間で $2.3 \pm 1.5\%$ の精度であった。また、モーションキャプチャーシステム、地面反力計および足底圧計の座標系の精度は、足底圧計の1センサー(7.0mm×5.6mm)内の誤差範囲であった。被験者の全身の解剖学的計測点35点および足部には、解剖学的計測点8点に反射マーカーを貼付した。被験者は、モーションキャプチャー、地面反力計および足底圧計が統合されたシステム上で全力の反動ありの垂直跳びを行なった。被験者の動作中の運動学、運動力学データは、モーションキャプチャーによって取り込まれ、逆運動力学法によって下肢3関節のトルク、パワーおよび仕事量を算出した。垂直跳び踏み切り動作中の足底圧分布データの定量化は、足部のランドマーカーを足底圧計上に投影し、足底を5部位に分割した(Fig.3 MF:Medial forefoot, LF:Lateral forefoot, MIF:Mid foot, MH:Medial heel, LH:Lateral heel)。分割された5部位の足底圧分布は荷重量として、垂直跳び踏み切り動作の部位ごとの足底荷重力積量を算出した。

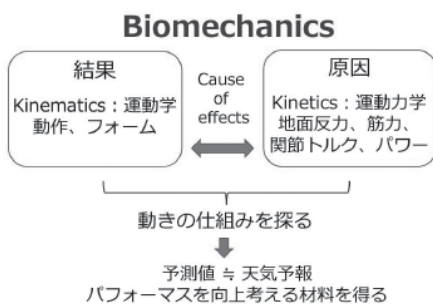


Fig.1 Biomechanicsの役割(筆者思索)



Fig.2 Marey's pneumatic analysis of human locomotion (from Centre National d' Art et de Culture Georges Pompidou, 1977, with permission of Ville de Beaune, Conservation des Musees). (Nigg 2) 1977より引用)

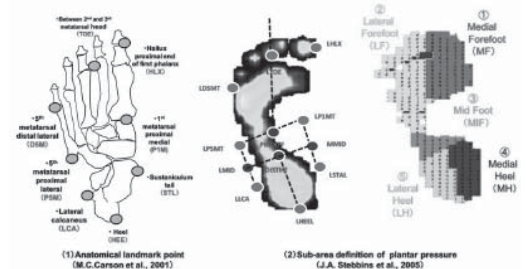


Fig.3 足底区分方法(柏木と船渡2012⁴⁾)

3 結果および考察

垂直跳び踏み切り動作中の足底荷重量の変化は、踵部位から前足部位のLF、そしてMFへ移行していくことが示された(Fig.5)。これは、跳躍パフォーマンスの違いにかかわらず同様な荷重移行パターンを示した。このパターンが示すことは、歩行動作、跳躍動作であってもヒトの足底において有効的な足底荷重量を得るためには、共通的な荷重パターンであることを意味する。一方で、足底荷重量とパフォーマンスの関係性をみてみると、MF部位の足底荷重力積の違いは、垂直跳びの跳躍高に大きく影響し、地面反力全体の力積量に有意に正の相関関係を示した($r=0.488, p<0.05, \text{Fig.6}$)。このMF部位の力積量を得るために跳躍高の高い被験者は、垂直跳び踏み切り動作中のLF部位からMF部位へ荷重を移行させるタイミングが相対的に早いことがみられた($p<0.001, \text{Fig.5}$)。このタイミングは、さらにMF部位の力積量に有意に負の関係性($r=-0.809, p<0.001, \text{Fig.6}$)がみられたことから、有効的な地面反力を得るための足底荷重戦略(Plantar load strategy)が存在することが示唆される。

足底荷重量の違いが、下肢3関節の運動力学量へ及ぼす影響は、特に股関節のトルク発揮でみられた。一般的に跳躍パフォーマンスを向上させるためには、質量の多い体幹部分の仕事量を上げることが必要となる。しかし、股関節ピークトルクが出現するタイミングと足底荷重戦略(Plantar load strategy)のLFからMFへ荷重を移行するタイミングは異なり、むしろ股関節のピークトルクの発揮の方が早い。本研究において、被験者自身の意識、感覚という部分までは踏み込めていないが、スポーツ現場において、「足裏の母指球に力を入れる」、または、バランスをとるといったような指導やアドバイスというのは、股関節での力発揮や維持に有効的な手段であることが本研究の結果から示唆される。

4 まとめ

本研究報告では、スポーツ現場においてBiomechanics研究の役割と、身体外力としての足底圧分布の計測方法の確立とスポーツパフォーマンスへの関係性を言及した。本研究では、ラボ実験の検証であり、対象とする動作が限られているが、更なるスポーツ現場への応用は、実際の競技場面で軽量化されたインソールシステムによって、様々な状況下で定量化することが重要である。計測されたデータ単体からは、技術を紐解くことは困難であるが、加わっている力、身体外力の計測からトレーニングの方法の再考や、または、傷害予防の資料など予測

するための材料を得ることが可能となると考えられる。

5 参考文献

- 1)大塚立志:たくみの科学, 朝倉書店, 1988.
- 2)Nigg M. Benno and Walter Herzog: Biomechanics of the Musculo-skeletal System Third Edition. British Library :27.1994.
- 3)Hutton W. and G. Drabble: An apparatus to

give the distribution of vertical load under the foot. Rheumatology & Physical Medicine, 11:313-317,1972.

3)Kouchi M., Kimura M., Mochimaru M. Deformation of foot cross-section shapes during walking. Gait and posture, 30(4):482-486, 2009.

4) 柏木悠, 船渡和男: 垂直跳び踏み切り動作中の足底荷重パターンとパフォーマンスの関係. トレーニング科学 24(2): 161-173, 2012.

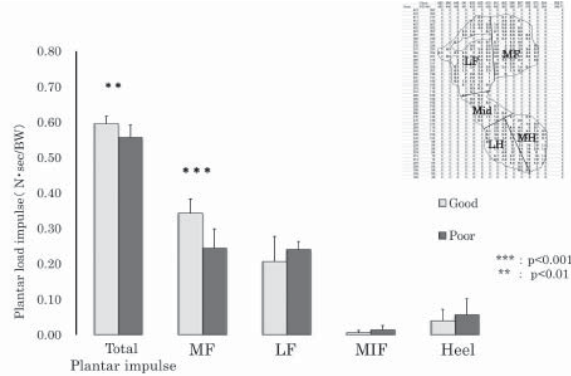


Fig. 4 Comparison of 5 sub-area plantar load impulse in Good and Poor groups during positive phase. (Note: Heel region = Medial heel + Lateral heel) (柏木と船渡 2012⁴⁾)

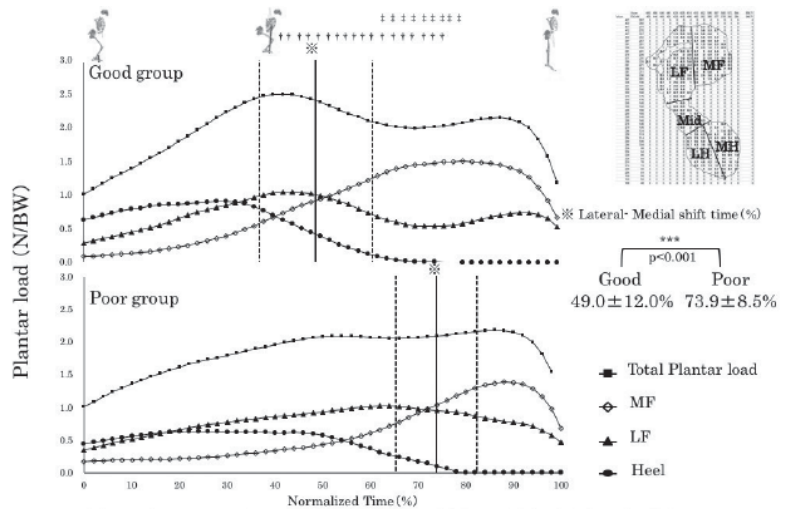


Fig. 5 Temporal changes in 5 sub-area plantar load distribution (sum of right and left foot) during take off phase normalized as 100% in vertical jump (upper: Good group n=7, lower: Poor group n=6). The dotted line indicates mean ± 1 SD. Comparison of plantar load between Good and Poor groups indicated as \dagger : significant difference in Medial forefoot and \ddagger : significant difference in Lateral forefoot. Vertical solid (dashed) line shows mean (± 1 SD) of the shift timing when Medial plantar load exceeds Lateral load. (Note: Heel region= Medial heel + Lateral heel) (柏木と船渡 2012⁴⁾)

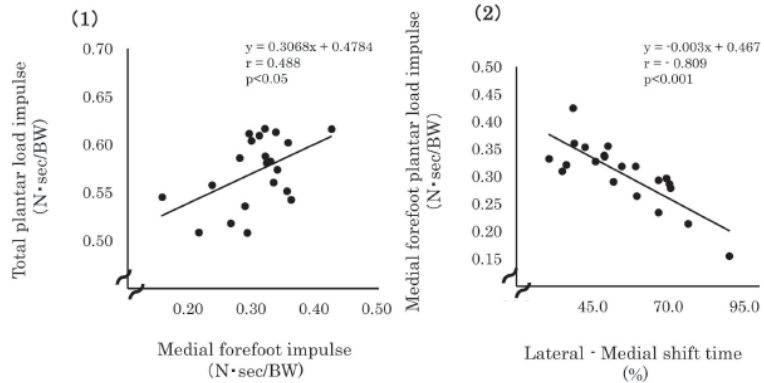


Fig 6 (1) Correlation between Medial forefoot plantar load impulse and Total plantar load impulse (n=21). (2) Correlation between Lateral - Medial Shift time and Medial forefoot plantar load impulse (n=21). (柏木と船渡 2012⁴⁾)