

仮想足圧中心位置が跳躍動作における関節トルク算出に与える影響

The culculated leg joint torque's behavior during vaulting when the COP is assumed to be fixed.

佐野 真也

Shinya SANO

Abstract

The aim of this study was to describe the culculated leg joint torque's behavior during vaulting when the centre of pressure (COP) was assumed to be fixed. The subject vaulted on the springboard used in the vaulting of gymnastics. The board reaction force (BRF) acting on the gymnast was calculated by subtracting the inertial force of the springboard from the ground reaction force. The ankle, knee and hip joint torque were calculated by assuming the COP was fixed in two ways. The ball of foot and the centre between toe and heel were used for the fixed COP. There were large difference between two type of calculated joint torque. This suggests that the accuracy of the COP is important for calculate the joint torque.

Keywords : 支持脚, 跳躍板, 体操競技, 逆動力学

緒言

身体動作は関節で発揮されたトルクにより引き起こされるため、日常生活に現れる歩行動作からスポーツに現れる走、跳、投動作に至るまで、これまで様々な身体動作において関節トルクの解析が行なわれてきている。この関節トルクは、筋の張力に由来するものと関節間力に由来するものとの大きく二つに大別できるが、いずれも、実測するためには外科的手術によって計測器を生体組織内部へと埋め込まなければならない。しかしながら、このような侵襲的な手法は被験者の身体的負担、倫理面および動作の制約などの問題が存在するため、限られた条件においてしか用いられていない。そのため、関節トルクは動作を高速度撮影した映像データから逆動力学的手法により算出されるのが一般的である。

この逆動力学的手法では、身体の末梢部から中枢部へと順次、力学計算が行なわれる。このとき、変形を無視できる球体の投動作などにおいては、映像データのみから力学計算が可能である。だが、走動作や跳動作における支持脚など、身体外部から力が加わり、かつ、その力の大きさと作用点を映像データから精度良く推定することが困難な場合に関節トルクを算出するには、外力を計測器により実測することが必要となる。

跳動作において関節トルクを算出する際、外力の計測には床反力計が用いられるのが一般的である。床反力計は力の大きさおよび圧中心位置を精度良く計測できるため、床反力計を用いて算出した跳動作支持脚の関節トルク値は信頼性が比較的高いと考えられる。だがこの手法を用いる

場合も、環境面および技術面において制限がある。環境面の制限としては、床反力計を埋設できる施設でなければ計測ができないということであり、競技会などにおいてデータを取得することは非常に難しい。技術面の制限としては、力の大きさおよび作用点の双方を精度良く計測することが困難な器械上での跳躍が挙げられ、体操競技用跳躍板やトランポリンなどが該当する。このような場合に関節トルクを算出するためには、別の手法や工夫が必要となる。

関節トルクを算出する別の手法としては、力の大きさおよび作用点のいずれも映像データから推定するということが挙げられるが、この手法では十分な精度をもったデータを得られないと考えられている。他には、力の大きさと作用点のいずれか一方が計測可能な場合に、もう一方に推定データを用いるという手法が考えられるが、この手法で十分な精度をもった関節トルクデータが得られるかを検証した報告はみられない。

本研究では、足部へ加わる力の大きさが計測可能な条件下において、仮想の作用点を算出に用いることが跳躍動作支持脚の関節トルク算出値に与える影響を検証することを目的とする。

方法

本研究では、体操競技用跳躍板を用いて検証を行なった。跳躍板から足部へ加わる力は計測が可能であるが(Sano et al., 2007)、その方法から作用点を精度良く計測することは難しいと考えられ、本研究の想定する条件に合致すると判断した。

体操競技選手1名(27歳, 1.73m, 65.5kg)を被験者とし、競技会における跳馬と同様の器具セットアップの元、前転とびを行なわせた。被験者には黒のタイトなロングスリーブシャツおよびタイツを着用させ、デジタイズの目印とするため、手関節、肘、肩峰、第5中足骨遠位端、踵、外果、膝、大転子、肋骨下端に反射マーカを貼り付けた。同様にデジタイズの目印とするため、跳躍板を構成する合板の側面に反射マーカを10cm間隔で貼り付けた。

体育館の床に埋設した4枚の床反力計(Kistler, 9281B)上へ跳躍板(Senoh, Aj0504)を設置した。床反力(GRF)は、4枚の床反力計から得られたデータ(1000Hz)を合計して求めた。踏切動作および跳躍板の挙動それぞれを側方より500Hzのハイスピードビデオカメラ(NAC, HSV-C³)2台で2次元的に同期撮影した。画像データと床反力データとの同期を行なうため、撮影範囲内に設置した発光ダイオードを発光させると同時に、床反力データへパルスを発生させた。

撮影された画像から、デジタイズシステム(DKH, Frame-DIAS)によって、反射マーカの実空間座標値を得た。スムージングによる座標値のゆがみの影響を避けるため、踏み切り局面に加え前後20コマずつもデジタイズを行なった。座標値はバターワース型のローパスフィルターによりスムージングを行ない、ノイズを除去した。遮断周波数はWinter(1990)の方法を用いて計測点毎に決定した。遮断周波数は、被験者の身体各部位が10~15Hz、跳躍板の各部位が20~25Hzであった。

デジタイズで得られた計測点の座標値により、跳躍板を29セグメントから成るリンクセグメントモデルにモデル化した。跳躍板から足部へ加わる力(BRF)は、リンクセグメントモデルから求めた跳躍板の慣性力でGRFを補正することにより得た(Sano et al., 2007)。求められたBRFと身体各部位の計測点データを用い、脚部の関節(足関節、膝関節および股関節)のトルクを末梢部より逆動力的手法により算出した(Winter, 1990)。この時、算出に必要なBRFの作用点は仮想点(仮想足圧中心位置)とした。仮想足圧中心位置は拇指球および足部中心点(つま先とかかとの中心点)の2通りとし、関節トルクも2通り算出した。

結果および考察

本研究では、身体へ加わる外力の大きさと作用点のいずれか一方しか精度良く計測できないケースとして体操競技用跳躍板上での跳動作を用いた。跳躍板からの外力の計測については精度の確認が行なわれている(Sano et al., 2007)。作用点についてもこの計測手法で理論上は計測可能であるが、方法論上、誤差の蓄積等により、作用点(圧

中心)の精度は高くないと予測された。始めに、この点についての確認を行なった。図1は、この計測法の応用により算出した踏み切り動作中の圧中心(COP)変位の一例を、つま先(Toe)、拇指球(BOF)およびかかと(Heel)の変位と共に示している。算出された圧中心は踏み切り初期および終期に足底から外れた場所に位置し、また中盤にはかかと直下という踏み切り動作では一般的に考えられない場所に位置するなどしており、Sano et al.(2007)によって考案された計測法は、予測どおり圧中心位置の計測にまでは応用できないことが確認された。

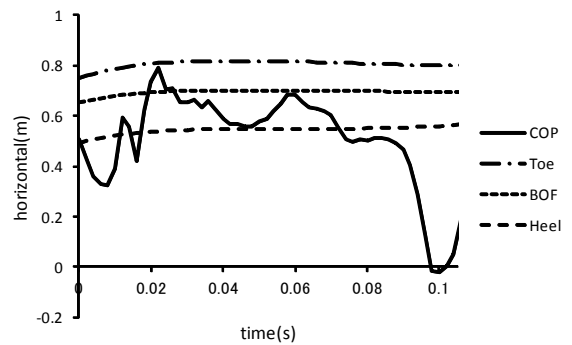


図1：圧中心位置

跳躍板上での踏み切り動作において、足底圧中心の計測の手段として他には足底圧センサーの使用が考えられる。しかしながら、足底圧センサーはシューズ内部での足部との位置関係の特定を精度良く行なえないことやセンサーの構造により測定値自体に精度の限界があることなどから、関節トルクを精度良く算出するような使用には適していないと考えられている。さらに、足底圧センサーを使用する場合、センサーから得られるデータの送受信機を身体へ装着しなければならず、センサーと送受信機とを結ぶ有線ケーブルや送受信機が動作の妨げとなる。とりわけ宙返りを伴うような動作においてはそれらの装着により動作を妨げ危険性を増大しかねない。よって、足底圧センサーも、跳躍板上での踏み切り動作において関節トルクの精度良い算出を目的とした使用には適当でないと考えられる。

外力の大きさと作用点のうち、いずれか一方しか計測できない場合には、もう一方に推定値や理論値を用いることで、関節トルクは理論上、算出可能となる。本研究では、跳躍板から足部へ加わる力の圧中心位置を仮定して関節トルク値を算出し、その算出値を検証することとした。歩行や走行など、床反力計を使用した厳密な計測が可能な動作を対象としたこれまでの研究により、接地中の足底圧中心はかかと寄りから拇指球の範囲内で推移することが確認されている。跳躍板上での踏み切り動作においても、こ

仮想足圧中心位置が跳躍動作における関節トルク算出に与える影響

れらと同様の範囲内で圧中心が推移すると考えられる。本研究では、圧中心位置を拇指球と仮定した場合と、かかとと拇指球の midpoint と仮定した場合の、二つのパターンで関節トルク値を算出した。

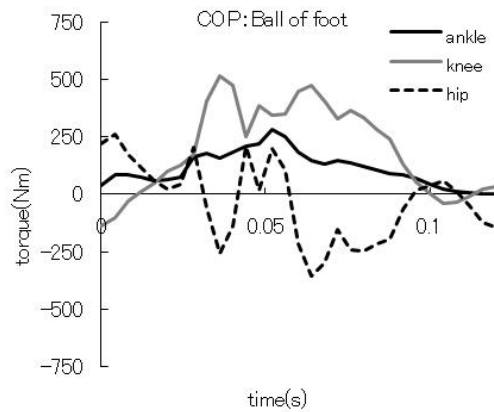


図 2 : 関節トルク (圧中心を拇指球と仮定)

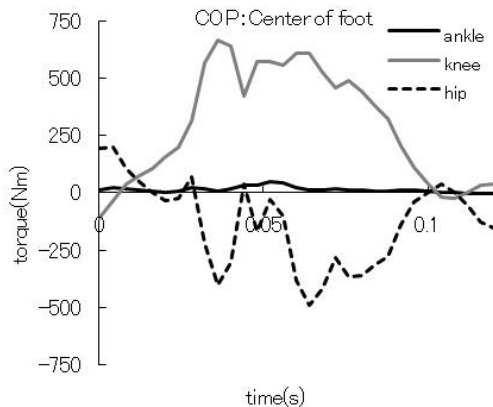


図 3 : 関節トルク (圧中心を拇指球とかかとの midpoint と仮定)

図 2 は圧中心位置を拇指球と仮定した場合、図 3 は圧中心位置をかかとと拇指球の midpoint と仮定した場合それぞれの、脚部の各関節のトルク値の変動を示している。これらを比較すると、変動のパターンは両方で比較的、似通っていたものの、絶対値の大きさには顕著な違いがみられた。とりわけ足関節に関しては、圧中心を拇指球とかかとの midpoint と仮定した場合において、トルク値がほとんどゼロとなっていた。また、股関節では、踏み切り中盤において、値の正負が異なる局面がみられた。

本研究で用いた仮想足圧中心位置は、跳動作のみならず歩動作や走動作においても一般的に見られる足圧中心の

変動範囲内にあり、その位置の差もわずか数センチメートルである。それでもなお、2通り算出したトルク値の間には顕著な差がみられた。これは、関節トルク算出の際に作用点の精度が非常に重要であることを示している。関節トルク算出値の変動パターンは似通っていたものの、外力の作用点に推定値や理論値を用いた場合には、関節トルク算出値の解釈には制限があるものと考えられる。

参考文献

- 1) Sano, S. Ikegami, Y. Nunome, H. Apriantono, T. Sakurai, S. (2007). The continuous measurement of the springboard reaction force in gymnastic vaulting. *Journal of Sports Sciences*, 25, 381-391.
- 2) Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement* (2nd edn.). New York: Wiley.

(提出日 平成 25 年 1 月 11 日)