

野球打撃動作における横断方向の地面反力を増大させるために必要な 下肢関節トルク成分の追求

身体科学研究領域

5018A033-9 後藤 広一

研究指導教員：矢内 利政 教授

【緒言】身体が有する鉛直軸回りの角運動量が大きい打者は、スイング速度が速いことが先行研究で述べられている。身体が有する角運動量は身体に作用する外力が身体重心まわりに生み出すモーメントによって獲得されるため、このモーメントを最大化させることで角運動量の増大につながり、バット速度の向上が期待される。身体とバットの一つの系としてみると、この系がスイング中に受ける外力は重力と地面反力のみである。先行研究では、バッターボックスを横断する方向に作用する地面反力（横断成分と呼ぶ）により生み出される身体重心まわりのモーメントが、大きな角運動量を身体鉛直軸まわりに生み出すことが報告されている。この地面反力の横断成分を生み出すために必要な下肢関節トルクがどの動作成分であるかは明らかにされていない。そこで本研究の目的は、横断方向の地面反力を増大させるために必要な下肢関節トルク成分を明らかにすることであった。

【方法】実験の対象者は、12名の大学野球部に所属する選手12名であった（身長 $1.76 \pm 0.04\text{m}$ 、体重 $79.8 \pm 7.02\text{kg}$ ）。対象者にティー台を用いたティー打撃を行わせた。打撃試技について、対象者の全身、及びバットに貼付した反射マーカの3次元座標値と地面反力データのそれぞれをモーションキャプチャシステムとフォースプレートを用いて取得した。分析区間は、踏み出し足接地から、ボールインパクトの直前までとした。また分析区間から、踏み出し足大腿セグメントの角速度鉛直軸成分を下胴セグメントの角速度鉛直軸成分が上回った瞬間、下胴セグメントの角速度鉛直軸成分を上胴セグメントの角速度が上回った瞬間、上胴セグメントの角速度が最大となった瞬間の3つのイベントを定義した。

得られたデータから逆動力学分析を行い、膝関節トルク（大腿が下腿に加えた関節トルク）、股関節トルク（体幹が大腿に加えた関節トルク）を算出した（測定値による関節トルク、増大値による関節トルク）。また、計測された地面反力の横断成分が1.2倍に増大したと仮定した際の両関節トルクも算出した。2条件の地面反力（測定値条件、増大値条件）について算出された関節トルクの差分（＝増大条件の関節トルク－測定条件の関節トルク）を関節座標系に分解した。イベントごとに、関節トルク各成分の差分について、対象者の体重と身長で正規化し、1標本t検定を行った。検定値は0とした。統計分析における有意水準は5%未満とした。

【結果】1標本t検定の結果、踏み出し足側下胴加速局面における、股・膝関節屈曲伸展成分、股関節内外転・内外旋成分、踏み出し足側上胴加速局面における全成分、踏み出し足側上胴極大局面における股・膝関節屈曲伸展成分、股関節内外転成分、膝関節内外旋成分、軸足下胴加速局面における股・膝関節屈曲伸展成分、股関節内外転成分、軸足上胴加速局面における股・膝関節屈曲伸展成分、股関節内外転・内外旋成分、軸足側上胴極大局面における全成分で有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。また、関節トルクの値は、図1, 2の通りであった。

表1 正規化された踏み出し足関節トルク差分の平均値。

踏み出し足	股関節			膝関節		
	屈曲(-)	伸展(+)	内転(-) 外転(+)	内旋(-) 外旋(+)	屈曲(-)	伸展(+)
関節トルク(Nm/kg・m)	-0.21±0.07	0.13±0.06	0.03±0.02	0.25±0.09	0±0.01	
イベント1	-0.21±0.07	0.13±0.06	0.03±0.02	0.25±0.09	0±0.01	
イベント2	-0.33±0.05	0.08±0.08	0.06±0.05	0.33±0.07	-0.02±0.02	
イベント3	-0.13±0.09	-0.1±0.05	-0.04±0.02	0.12±0.07	-0.01±0.01	

(※) 背景色がある項目は有意差あり（ $p < 0.05$ ）。文字の色は、差分トルクの方向が、赤文字は関節トルクを増大させる方向、青文字は減衰させる方向を表す。

表2 正規化された軸足関節トルク差分の平均値。

軸足	股関節			膝関節		
	屈曲(-)	伸展(+)	内転(-) 外転(+)	内旋(-) 外旋(+)	屈曲(-)	伸展(+)
関節トルク(Nm/kg・m)	0.16±0.02	0.14±0.08	0.09±0.06	-0.19±0.03	0.01±0.01	
イベント1	0.16±0.02	0.14±0.08	0.09±0.06	-0.19±0.03	0.01±0.01	
イベント2	0.24±0.03	0.05±0.07	0.06±0.05	-0.24±0.03	-0.01±0.01	
イベント3	0.04±0.03	-0.03±0.02	0.01±0.01	-0.04±0.03	-0.01±0.01	

(※) 背景色がある項目は有意差あり（ $p < 0.05$ ）。文字の色は、差分トルクの方向が、赤文字は関節トルクを増大させる方向、青文字は減衰させる方向を表す。

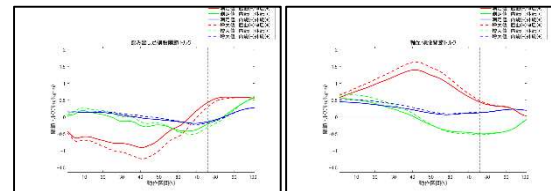


図1 踏み出し足（左図）と右が軸足（右図）の股関節トルク。

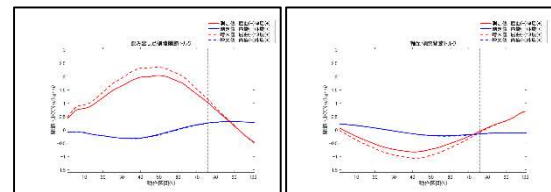


図2 踏み出し足（左図）と右が軸足（右図）の股関節トルク。

【考察】

本研究の結果、下肢動作を変化させることなく地面反力の横断成分を増大させるために必要な下肢関節トルクが明らかになった。逆動力学分析により算出される関節トルクは、①身体部位の運動状態を維持・変化させる役割、②重力に対抗する役割、③外力を生み出す役割があるが、本研究で仮想的に設定した横断成分増大条件は①と②が同じで③のみが異なる条件であることから、算出された関節トルクの差分は、外力のみを生み出すために必要な関節トルク成分と解釈できる。そこで、各動作局面において、差分トルクの絶対値が最も大きいものを考察する。

下胴加速局面では、差分トルクの絶対値は、踏み出し足側では膝関節伸展成分、軸足側では膝関節屈曲成分の値が最も大きく、既存トルクを増大させる方向に働いていた。この局面における対象者の下肢の姿勢をふまえ、差分トルクが働くことを仮定すると、打者の姿勢は図3のように変化することが考えられる。また、上胴加速局面において、差分トルクの絶対値は、踏み出し足側では股関節屈曲、膝関節伸展成分、軸足側では股関節伸展成分、膝関節屈曲成分の値が最も大きく、既存トルクを増大させる方向に働いていた。この局面における対象者の下肢の姿勢をふまえ、差分トルクが働くことを仮定すると、打者の姿勢は図4のように変化することが考えられる。足部の横断方向の変化は大きくなると考えられるが、足部は地面に接しているこ

とから、足部の姿勢を変化させる力を地面に作用させ、その反力として横断方向の地面反力を得ることができると考えられる。

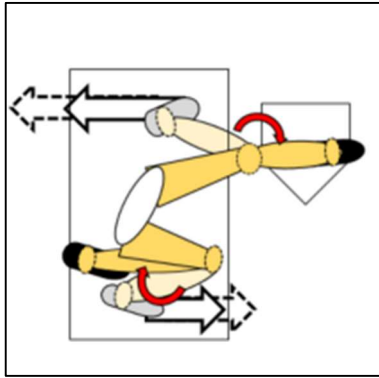


図3 下胴加速局面における打者姿勢（下肢）を上空から見下ろした図。踏み出し足側の膝関節では伸展トルクを増大させ、軸足側では膝関節屈曲トルクを増大させることにより、地面反力の横断成分が増大する。橙色は、地面により動作が制限されていないとき、下胴加速局面における打者姿勢から差分トルクが作用した際の打者の姿勢を表す。

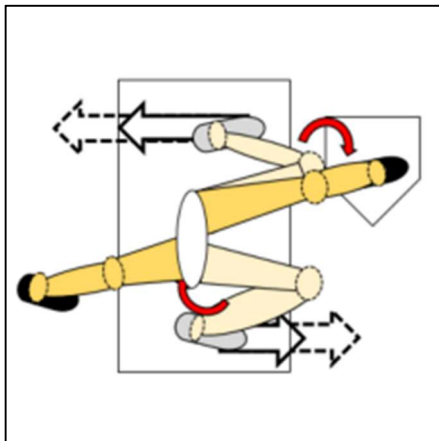


図4 上胴加速局面における打者姿勢（下肢）を上空から見下ろした図。踏み出し足側の股関節では屈曲トルクを増大させ、軸足側では膝関節伸展トルクを増大させることにより、地面反力の横断成分が増大する。橙色は、地面により動作が制限されていないとき、上胴加速局面における打者姿勢から差分トルクが作用した際の打者の姿勢を表す。

上胴極大局面において、差分トルクの絶対値は、踏み出し足側では股関節屈曲成分、軸足側では股関節伸展成分、膝関節屈曲成分の値が最も大きく、踏み出し足側は既存トルクを減衰させる方向に、軸足側では既存トルクを増大させる方向に働いていた。しかし、先行研究では、踏み出し足側股関節伸展トルクは打撃姿勢を維持する役割があることや、軸足側股関節は、力学的エネルギー生成としての役割は小さいことが報告されている。そのため、これらの関節トルクは、横断方向の地面反力増大に貢献するが、踏み出し足側股関節伸展トルクは打撃姿勢を崩す可能性が、軸足側股関節トルクによる回転運動への影響が小さいと考えられる。膝関節伸展方向の差分トルクと股関節内転方向の差分トルクも大きな値であり、既存トルクを増大させる方向であった。この局面における対象者の下肢の姿勢をふまえ、差分トルクが働くことを仮定すると、打者の姿勢は図5のように変化することが考えられる。足部の横断方向の

変化は大きくなると考えられるが、足部は地面に接していることから、足部の姿勢を変化させる力を地面に作用させ、その反力として横断方向の地面反力を得ることができると考えられる。

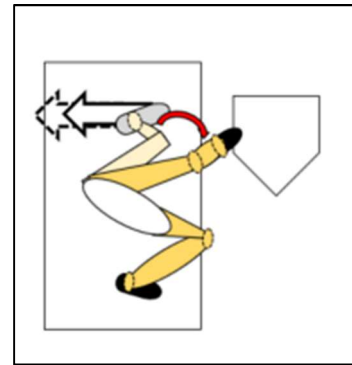


図5 上胴極大局面における打者姿勢（下肢）を上空から見下ろした図。踏み出し足側の股関節では内転トルクを増大させ、膝関節では伸展トルクを増大させることにより、地面反力の横断成分が増大する。橙色は、地面により動作が制限されていないとき、上胴加速局面における打者姿勢から差分トルクが作用した際の打者の姿勢を表す。

先行研究では、打撃動作において膝関節屈曲伸展動作は大きな筋活動や力学的エネルギーを生成することが可能であることや、両股関節の屈曲伸展軸、踏み出し足側膝関節の屈曲伸展軸における可動範囲が他の関節軸より大きくなることを報告している。本研究においても、下胴、上胴加速局面において、踏み出し足側では膝関節伸展成分、軸足側では膝関節屈曲成分の差分トルクは、他の関節軸に比べ絶対値が大きかった。また、上胴加速局面では、踏み出し足側では股関節屈曲成分の差分トルク、軸足側では股関節伸展成分の差分トルクが大きな値であった。以上のことから、動作前半から後半にかけて股関節屈曲伸展、膝関節屈曲伸展方向の差分トルクの役割は大きなものと考えられる。

【結論】

本研究の結果、地面反力の横断成分を増大させるために必要な下肢関節トルクが明らかになった。下胴加速局面においては踏み出し足側膝関節伸展成分、軸足膝関節屈曲成分を増大させることが、上胴加速局面においては踏み出し足側股関節屈曲成分、膝関節伸展成分、軸股関節伸展成分、膝関節屈曲成分を増大させること、つまり踏み出し足を前に、軸足を後ろに蹴り出すような動作をすることが横断方向の地面反力増大に貢献する。上胴極大局面においては、軸足では、股関節伸展成分、膝関節屈曲成分を増大させることが横断方向の地面反力増大に貢献する。踏み出し足側では、股関節伸展成分を減衰させること、膝関節伸展成分、股関節内転成分を増大させることで横断方向の地面反力を増大させることに貢献する。