

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700497

研究課題名（和文） スポーツ動作における体幹の運動力学的分析方法の確立

研究課題名（英文） Development of kinetic analysis methods of the trunk in sport motions

研究代表者

飯野要一（IINO YOICHI）

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：50345063

研究成果の概要：

体幹の基本動作とテニスのフォアハンドストロークを対象として、逆動力学により求めた骨盤トルクの信頼性について、Top-down 法と Bottom-up 法により計算された骨盤トルクの差を求めることにより調べた結果、体幹を 2 つあるいは 3 つの剛体セグメントに分割したモデルを用いた Top-down 法の逆動力学により、脊柱の大きな動きを含まない運動と同程度の信頼性で骨盤トルクを求めることができることが明らかになった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	300,000	0	300,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	800,000	150,000	950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 スポーツ科学

キーワード：逆動力学、体幹、慣性パラメータ

1. 研究開始当初の背景

(1) 体幹部は、脊柱の可動性があり、スポーツ動作においても大きな脊柱の動きがあることが報告されている。テニスのストロークや野球のピッチング等において、体幹から上肢へのエネルギーの流れがラケットやボールのスピードを高めるために重要であることが示唆されている。私は、これまでに行ってきたテニスのフォアハンドストロークの動作分析を進めて、体幹を 2 つに分割して、分割点でのトルクと力を計算し、さらにエネルギーの流れの分析を行った。しかし、肩関節におけるエネルギーの流れについて、上肢

から計算した値と下肢から計算した値が一致せず、測定精度に問題があることが分かった。これまでに、体幹のトルクや力がどの程度妥当であるかは調べられていない。

(2) 体幹部の運動力学的分析を行う際に考慮しなければならない問題は、逆動力学計算における剛体の仮定の妥当性である。先に述べたように、体幹は一般的にスポーツ動作中剛体であるとは言えず、この仮定は妥当でないかもしれない。L5/S1 関節のトルクを top-down 法と bottom-up 法の逆動力学を用いてその計算の妥当性が負荷挙上課題について調べられてきた。しかし、体幹の大きい

速い動きを含む運動について体幹の逆動力学計算の妥当性はこれまでに調べられていない。

(3) 体幹部の運動力学的分析を困難にしている理由の一つは、体幹の慣性パラメータの推定精度である。体幹の質量を体重から推定する場合に、体重に対する割合は文献により43.6%から52.4%の幅がある。これは、文献の被験者の差異(死体が生体か、年齢、性別)や境界の定義の違いが原因であると考えられる。現在、体幹の3次元の慣性データは以下の3つの文献に基づいて推定できる。阿江ら(1992)、Pearsallら(1994)、Zatsiorsky and Seluyanov (1983)である。これらの文献は、体幹の分割の仕方や、上肢と下肢との境界の定義が異なっているが、3つの文献に基づく慣性データの体幹の運動力学計算に与える影響は調べられていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、逆力学を用いてスポーツ動作中の体幹部の運動力学的分析を行う際に、慣性パラメータの推定方法が分析精度に与える影響を調べ、体幹部の力やトルクを計算する際に最も誤差の少ない分析方法を確立することである。

(2) 慣性パラメータの推定法の体幹のトルクや力の精度に与える影響は、全身の動作を映像で分析するとともに床反力を同時に測定することによって可能になる。すなわち、ニュートンの第2法則から、各セグメントの質量と加速度の積のすべてのセグメントについて足したものは、床反力と等しい。また、骨盤に働くトルクを逆力学法で上肢から計算した場合と下肢から計算した場合、理論上は等しくなる。等しくならない原因として、位置や速度の誤差、慣性パラメータの誤差、床反力の誤差が考えられる。体幹のセグメントの慣性パラメータの推定方法だけを変えて、床反力と各セグメントの質量と加速度の積の和がどの程度一致するかを比較する。この比較により各慣性パラメータの推定法がどの程度正しいのかを定量的に評価することができる。本研究では、まず単純な体幹の側屈、屈曲伸展、回旋の動作において慣性パラメータの推定方法の影響を調べる。また、体幹の大きな動きを含むスポーツ動作の代表としてテニスのフォアハンドストロークを選び、同様に慣性パラメータの推定方法の影響を調べる。以上の結果から、スポーツ動作における体幹の運動力学的分析のための提言をまとめる。

3. 研究の方法

(1) Dumasら(2007)は、McConvilleら(1980)の慣性パラメータのデータセットを基に、標

準的なマーカーによるセグメントの定義に対応したセグメントの慣性パラメータの推定法を示した。そこで本研究では、慣性パラメータの推定方法として、Dumasら(2007)によって修正されたMcConvilleら(1980)を含めることにした。

(2) Pearsall(1994)は体幹の慣性パラメータの推定方法しか与えておらず、また阿江ら(1992)やZatsiorsky and Seluyanov (1983)と体幹のセグメントの境界の定義が一致しているわけではない。したがって、Pearsall(1994)から、体幹以外のセグメントの慣性パラメータを適切に推定することはできないと考え、Pearsall(1994)のデータは本研究の検討対象から外した。

(3) 健常男子大学生9名を被験者とした。体幹の側屈、屈曲伸展、回旋の基本動作を2台のフォースプレート上で行わせた。この動作をVICONのモーションキャプチャシステム(8台のMxf20カメラ)で200Hzで記録し、同時にフォースプレートの床反力データを1000Hzで記録した。

(4) 阿江ら(1992)、Dumasら(2007)によって修正されたMcConvilleら(1980)、DeLeva(1996)によって修正されたZatsiorsky and Seluyanov (1983)の3つの慣性パラメータデータセット(以下、AE、MC、ZAと記す)を用いて、骨盤に両股関節を通して作用するトルク(以下、骨盤トルクと記す)をTop-down法とBottom-up法の逆力学により算出した。2つの方法で計算した骨盤トルクのRMS差と骨盤トルクのピーク値の絶対値の差を逆力学計算の信頼性の指標として算出した。1元配置分散分析により、慣性パラメータのデータセットの影響を調べた($P<0.05$)。

(5) テニスのフォアハンドストロークについても体幹の基本動作と同様に実験を行い、同様の分析を行った。ただし、被験者はテニスの大学男子テニス選手(上級者)8名とした。また、6台のハイスピードカメラ(HAS220, Ditect)により200Hzで動作を撮影した。

4. 研究成果

(1) 体幹の基本運動について、2つの方法で計算された骨盤トルクのRMS差を図1に示す。1元配置分散分析とPost hocの多重比較(Holmの方法)の結果、屈曲・伸展と回旋課題におけるトルクのRMS差は、ZAの方がMCより小さいことが分かった。

また、2つの方法で計算された骨盤トルクのピーク値の絶対値の差を図2に示す。1元配置分散分析の結果、慣性パラメータのデータセットの影響は有意でなかった。しかし、側屈課題と屈曲・伸展課題における側屈トルクと屈曲トルクのピーク値の絶対値の差は、MCで10Nmを上回った。

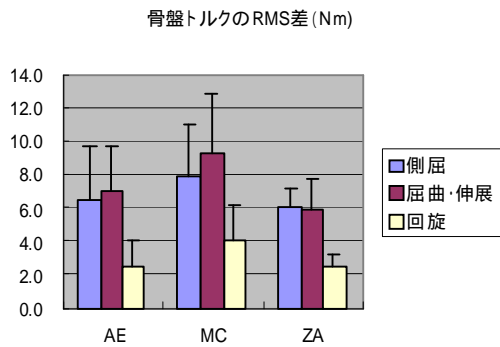


図 1. Top-down 法と Bottom-up 方で算出した骨盤トルクの RMS 差 (Nm).

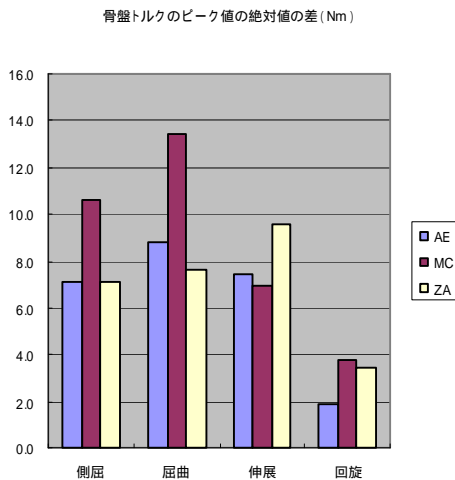


図 2. Top-down 法と Bottom-up 法で計算された骨盤トルクのピーク値の絶対値の差 (Nm).

(2) これらの RMS 差とピークの絶対値の差の値は、先行研究の負荷挙上課題において報告されている値 (RMS 差で 10-20Nm 以下、ピーク値の差で 10Nm 以下) と同程度であった (Kingma et al., 1996; Plamondon et al., 1996; Lariviere and Gagnon, 1999).

したがって、骨盤を 2 つ (AE) あるいは 3 つ (ZA) に分割し、それぞれを剛体と仮定したリンクセグメントモデルによる逆動力学法を用いて、脊柱の大きな動きを含まない運動についてと同程度の信頼性で脊柱の大きな動きを含む運動について骨盤トルクを求めることができることが示唆された。

(3) 2 つの方法で求められた骨盤トルクの RMS 差とピーク値の絶対値の差には、大きな被験者間の差があることが分かった。RMS 差は凡そ側屈課題において 3-13Nm、屈曲・伸展課題においては 3-15Nm、回旋課題において 1-7Nm のばらつきがあった。また、ピーク値の絶対値の差は、側屈課題で 25Nm、屈曲・伸展課題で屈曲トルクが 30Nm、伸展トルクが 20Nm、回旋課題で 8 Nm を超える被験者がいた一方、側屈と屈曲・伸展課題で 5Nm 以下、

回旋課題で 2 Nm 以下の被験者も複数いた。これらの被験者間の差は、データセットの回帰式によって予測された慣性モーメントの値がある被験者では正しい値に近く、ほかの被験者では誤差が大きいことを示唆した。したがって、Top-down 法を用いて、骨盤トルクを精度良く求めるためには、上体の慣性パラメータを精度よく推定することが重要であり、同時に慣性パラメータのデータセットに示された回帰式を用いた推定法では限界があることを示唆した。

(3) MC は ZA より RMS 差が大きかったが、この原因を調べるために、3 つのデータセットから推定された体幹と頭の質量と重心位置を比較した。その結果、MC と ZA の体幹の質量は AE より小さく、MC の体幹と頭の重心位置は、AE より股関節により近い位置にあることが分かった。これらの結果は、MC を用いた場合 Top-down 法で求めた骨盤トルクが、AE より小さくなることを意味し、MC において RMS 差が大きい原因の一つであることを示唆した。この結果から、若年の男子日本人の被験者を対象にして体幹の逆動力学分析を行う場合には、MC より AE や ZA を使用した方が適当であることが示唆された。しかし、本研究の被験者になっていない、肥満者、女性、外国人等については、さらに研究が必要である。

(4) テニスのフォアハンドストロークについて、2 つの方法で計算された骨盤トルクの RMS 差を図 3 に示す。

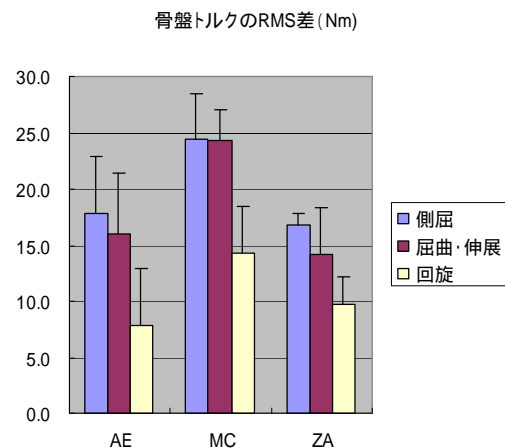


図 3. テニスのフォアハンドストロークについて Top-down 法と Bottom-up 方で算出した骨盤トルクの RMS 差 (Nm).

1元配置分散分析と Post hoc の多重比較の結果、側屈と屈曲・伸展課題において AE と ZA は MC より骨盤トルクの RMS 差が小さいことが分かった。また、回旋課題においては、AE と ZA は MC より小さく、さらに ZA より AE が小さいことが分かった。テニスのフォアハン

ドストロークについて、2つの方法で計算された骨盤トルクのピーク値の絶対値の差を図4に示す。

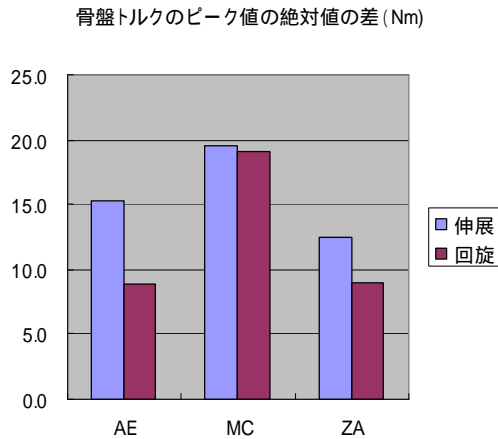


図4. テニスのフォアハンドストロークについて Top-down 法と Bottom-up 法で計算された骨盤トルクのピーク値の絶対値の差 (Nm)。

1 元配置分散分析の結果、慣性パラメータのデータセットの影響は有意でなかった。伸展トルクのピーク値の最大値の差は、どのデータセットについても 10Nm を超えた。

(5) RMS 差の値は、先行研究の負荷挙上課題で報告されている値 (10-20Nm 以下) と同程度であり、ピーク値の絶対値の差は、先行研究の値 (10Nm 以下) より大きかったが、AE と ZA では 20Nm 以下であった。したがって、骨盤を 2 つ (AE) あるいは 3 つ (ZA) に分割し、それぞれを剛体と仮定したリンクセグメントモデルによる逆動力学法を用いて、トルクの一般的パターンを知るには十分な精度で、テニスのフォアハンドストローク中の骨盤トルクを求めることができることが示唆された。しかし、値について考察する場合に、無視できない誤差を含むことに注意する必要があることも示唆した。

(6) テニスのフォアハンドストロークにおいて 2 つの方法で求められた骨盤トルクの RMS 差とピーク値の絶対値の差が、体幹の基本動作より大きかった原因は 2 つ考えられる。一つは、VICON のモーションキャプチャシステムと高速度ビデオカメラによる 3 次元座標測定の精度の違いである。マーカーの位置データと速度データを確認したところ、明らかに VICON のモーションキャプチャシステムによって得られたデータの方がノイズと考えられる成分が小さく誤差が小さいことが示唆された。もうひとつは、テニスのフォアハンドストロークで見られる肩甲骨の動きについてである。課題の特性からテニスのフォアハンドストロークの中の肩甲骨の動きは、体幹の基本運動中のそれよりも大きか

ったことが推察される。このことが、テニスのフォアハンドストローク中の骨盤トルクの差を大きくした可能性がある。しかし、上述したように、2つの動作で異なるシステムを用いたために、このことについて結論することはできなかった。今後は、肩甲骨の動きを含んだ動きを対象とした運動力学的分析における適切な体幹のモデルを研究する必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

IINO, Y. and Kojima, T., 2009. Reliability of inverse dynamics of the whole body in the tennis forehand. International Society of Sports Biomechanics Conference 2009.

飯野要一、小嶋武次 2008. 体幹の基本動作の逆動力学分析において慣性パラメータがトルクの信頼性に与える影響. 第20回日本バイオメカニクス学会.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯野 要一 (IINO YOICHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教
研究者番号: 50345063