

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500739

研究課題名(和文) テニスにおけるトップスピン技術が手関節に及ぼす影響

研究課題名(英文) Influence to a wrist joint by the topspin technology in tennis

研究代表者

前田 寛 (Maeda, Hiroshi)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：60181591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、トップスピンのボールを打つ時のラケットスイング動作が、手関節に与える負担の割合をグリップ角度の違いという観点から明らかにし、手首に障害を起こさないラケットのスイング方法を探ろうとした。そこで、手関節の3軸周りのオイラー角と、ラケットスロート部に生じる撓みから手関節にかかるトルクを測定した。その結果、手関節にかかる最大トルクはグリップ角度の違いに関わらず同様な値を示した。しかし、ウエスタングリップ、所謂厚いグリップでは、オイラー角の変化をみると回内運動が主に使われており、回内運動はパワー特性にすぐれているため、手関節に負担が小さいと考えられた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to clarify the posture of hand and forearm during the top spin racket swing and to reduce the wrist injury that occurs by hitting topspin. The angle of wrist joint during the racket swing of topspin was measured, and the difference of Euler angles between the western grip and eastern grip was compared. On the other hand, maximum torque of circumference of 3 axes of wrist joints was measured, and it compared with that of actually swinging a racket. And these torques differ little even in the grip angle of western and eastern. But comparing the Euler angle, eastern grip uses radial flexion and western grip uses the pronation mainly. The pronation has much flexibility and also it has much power than radial flexion. That means the western grip has possibility to reduce the injuries.

研究分野：複合領域

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：スポーツバイオメカニクス テニスラケット トップスピン グリップ角度 手関節 オイラー角

1. 研究開始当初の背景

現在のテニスでは、トップスピンのボールを打つ技術が、ゲームを有利に進める上で必要不可欠となっている。これまで、ボールとラケットの衝突現象を分析し、ボールとラケットの衝突とボールの回転に関する研究は数多くなされてきた。しかし、回転をかけるための身体の運動に関するスポーツ工学的な分野における研究は少ない。また、このトップスピンのボールを打つことにより、手関節の障害を起こす例があり、その障害は手関節の3軸周りの運動とグリップ角度に関連があると考えられる。今回は特に、ウエスタングリップと中・高年者に多いイースタングリップとのグリップ角度の違いに着目して、トップスピン技術を明らかにしようとした。

2. 研究の目的

これまでテニスのラケットを振ることによりテニス肘(上腕骨外側上顆炎)を患うプレイヤーが多く、特に40才以上のプレイヤーにその傾向が強いと言われている。しかし、近年ラケットの軽量化とともに、ボールに前回りの回転をかけるトップスピンのボールを打つプレイヤーが増加し、それにともない肘関節ではなく手関節部の外傷・障害による痛みを訴えるプレイヤーが増えている。この手関節痛は三角繊維軟骨複合体(TFCC)損傷が要因と考えられている。そこで本研究は、三角繊維軟骨複合体(TFCC)損傷などの障害を起こさないトップスピン技術を明らかにする。そして安全にかつスピーディな技術上達の一助となることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ラケットとボールの衝突角度とスピン

本研究では、先ずラケットをスイングしてトップスピンのボールを打つ際、どのようにしてボールにトップスピンがかかっているのか、その現象を明らかにする。ボールにスピンのかかっていると言うことは、ボールとラケットの間に摩擦力が生じており、まず、その摩擦力を測定しようとした。そこでラケットの左右フレーム近くの4本の横糸に16枚の歪みゲージを二組接着する。そのうち一組は、ボールの衝突によるストリングの伸び(張力)から、図1に示す、ラケットに対して垂直方向の力 $f_v$ を検出する。またボールが衝突し、ラケット面に対して平行に力がかかった場合、すなわち摩擦力が生じると、片方の横糸が伸び、もう一方は縮む。このストリングの歪み(張力)の差を利用して、もう一組の8枚の歪みゲージからラケット面に対して平行となる摩擦力 $f_h$ を検出した。

同時に1秒間に300コマ撮影できる高速度カメラで衝突の様子を撮影し、衝突前後のボールの回転数と衝突速度からボールにかかる力積を算出し、その力積から摩擦力を推定した。そして、この映像からの得られた摩擦力と、歪みゲージから得られた摩擦力を比較

し検討した結果、映像による分析方法と、歪みゲージを用いた測定方法の妥当性を確認した。

そしてこのラケット面に生じる垂直方向の力と摩擦力をもとに、ボールがラケットに衝突する角度によって、3つの状態に分類することができた。入射角が $45^\circ \sim 60^\circ$ の時、ボールはラケット面に接触中回転しているが、離れるとき、ボールはストリングを回転方向に押しながらかれるため、逆回転の力が働き、回転は小さい。これはオーバースピンと呼ばれている。入射角が $30^\circ \sim 45^\circ$ の時、ボールはラケット面上を転がり、その接触中ラケット面の接線方向の摩擦力 $f_h$ を受け、力積も大きいため回転量も多い。これはローリングと呼ばれている。入射角が $30^\circ$ 以下では、ボールはラケット面上をスリップしながら離れてしまい、摩擦力は小さくなる。このように、オーバースピンとローリングとスリップの3つの現象があることは、Tom Allen(Effect of friction on tennis ball impacts, J. Sports Engineering and Technology, 2010:pp229-236)らの報告と一致していた。このことから、ボールとラケットが衝突する際の入射角の中で、もっともボールに回転しやすい角度があることが示された。また、本研究のように、直接ストリングに歪みゲージを接着してラケット面とボールの間に生じる摩擦力を測定した例は、国内外をとおしても見られないユニークな方法である。

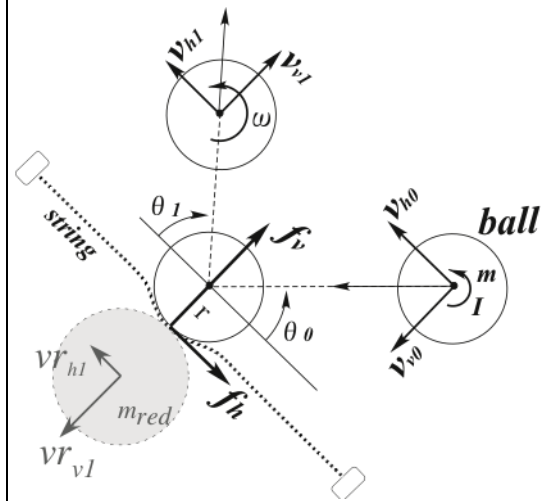


図1. ボールとラケット面の衝突

(2) ラケットスイング時の前腕、手部の運動

上記のラケットとボールの衝突時の現象をもとに、グリップ部を握る角度を変えた際のラケットのスイングが、どのように行われているか、プレイヤーの前腕部と手部の運動から手関節のオイラー角を算出した。同時に、ラケットのスロート部に、ラケット面に対して直角と水平の、2方向の回転トルクが測定できるように2組の歪みゲージを装着し、手にかかるとるトルクを算出した。

図2に実験の概要を示す。被験者は天井から吊り下げられ静止したボールをトップスピンのようにラケットをスイングして打つ。その際グリップは図3に示すウエスタングリップとイースタングリップの2種類で行った。

スイング中のグリップ部を握る手と前腕の角度変化を見るために、手背部と前腕中部伸展側に慣性センサーを装着する。このセンサーはロジカルプロダクト社製の小型9軸センサーで、加速度、角速度、地磁気をそれぞれ3軸検出できる。これらのセンサーから送信された信号は、レシーバで受信し、サンプリング周波数1KHzのA/D変換器を通してコンピュータに収録される。

また、前述したようにラケットのスロート部に、ラケット面に対して垂直方向と接線方向の2方向の歪み・振動を検出するために、ストレインゲージを接着した。この歪みの大きさから、ラケットをスイングしようとする

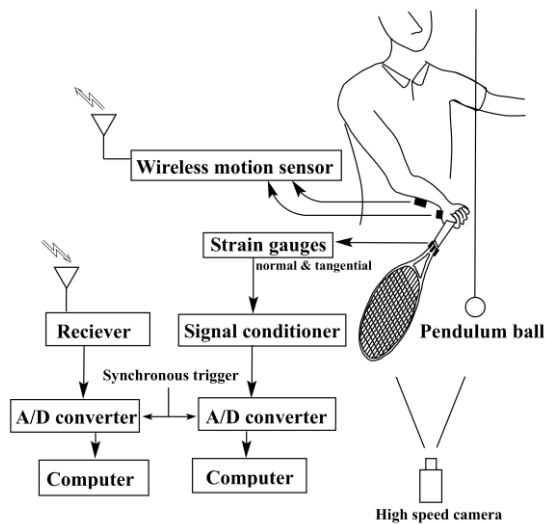


図 2. 実験の概要図

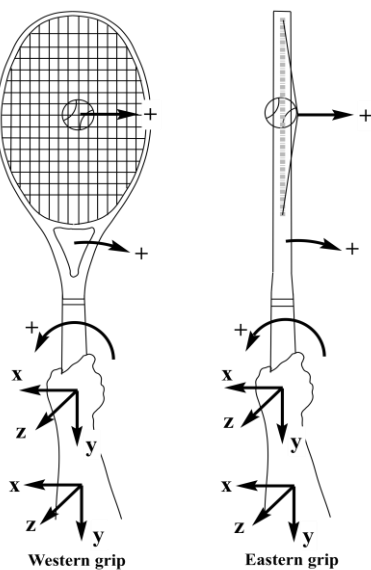


図 3. ウエスタングリップとイースタングリップにおけるオイラー角  
x:ピッチ, y:ロール, z:ヨー

際のグリップ部にかかるトルクを推測できる。また振動の状態から、ラケットの中心近くのいわゆるスイートスポットに衝突したか否かをおおよそ判断できる。これらのスロート部に接着したストレインゲージから検出される信号は、シグナルコンディショナーで増幅され、A/D変換器を通してコンピュータに電圧として収録される。その時のサンプリング周波数は20KHzである。

慣性センサーの信号と、歪みゲージから検出された信号は、サンプリング周波数が異なるが、トリガ信号を入力することにより同期されている。

### (3) オイラー角の算出

また慣性センサーの3軸方向の正負を、図3の手背部と前腕部に示した矢印のように設定した。回転角度の向きは矢印に対して右ネジの方向を+とする。x軸, y軸, z軸をオイラー角では一般にピッチ, ロール, ヨー角と呼ぶ。手関節まわりの角度で表すと、ピッチ角 $\phi$ は掌屈が正, 背屈が負, ロール角 $\theta$ は回外が正, 回内が負, ヨー角 $\psi$ では撓屈が正, 尺屈が負となる。これらのオイラー角は、慣性センサーから得られる角速度を、加速度センサーの値で補正をしながらフィードバック制御アルゴリズムを用いて積分し、姿勢行列へ変換し、3行3列の方向余弦行列 $E$ を算出する。そしてこの方向余弦行列 $E$ から、前腕から見た手関節周りのオイラー角,  $\phi, \theta, \psi$ を算出した。

### (4) 手関節 3 軸周りのトルク, パワー特性の測定

本研究では、実際にラケットをスイングした際の手関節にかかる負担を、手関節まわりの最大トルクに対する割合で表そうとした。そこで手関節の3軸周りについて、最大トルクと最大パワーを測定している。被験者は健康な男性7名である。被験者には回内・回外, 掌屈・背屈, 撓屈・尺屈ができるグリップ部を握り、テニスラケットに近い3種類の慣性モーメントを持つ物体を最大努力で回転させる。その時のグリップにかかるトルクと回転時の角速度を測定し、手関節3軸周りの正負, 計6軸の最大トルクと最大パワーを算出

表 1. 手関節周りのトルク (N・m)

トルク	回内	回外	掌屈	背屈	撓屈	尺屈
平均	5.79	5.75	3.81	3.71	5.69	6.63
SD	1.95	1.54	1.15	1.16	1.87	1.69
ピーク	9.70	10.00	6.80	6.60	10.30	10.50

表 2. 手関節周りのパワー (N・m/s)

パワー	回内	回外	掌屈	背屈	撓屈	尺屈
平均	54.6	47.8	18.4	18.1	29.6	37.0
SD	21.3	16.8	3.9	4.6	8.8	8.4
ピーク	115.0	115.0	32.4	33.0	48.6	53.4

した。その結果の一例を表1に示す。トルクの平均値では尺屈が若干大きい値を示しているが、ピーク値をみると回内・回外と撓屈・尺屈が大きな値を示し、大きな差は見られない。しかしパワーでは平均値、ピーク値とも回内・回外が大きな値を示していた。

#### 4. 研究成果

##### (1) ウェスタングリップにおける手関節のオイラー角

ウェスタングリップで被験者にラケットを握らせ、ボールをトップスピがかかるとして打たせた。その際の手関節のオイラー角の変化を算出した実験結果の一例を図4に示す。横軸は時間軸で、0秒がボールとラケットが衝突した時点である。

始めに、ボールを打つと想定した位置にラケットを構え、はじめの合図で、衝突の約0.75秒前から動作が開始されラケットのテークバックが行われ、約-0.2秒の時点からラケットが前方に振り出されている。-0.2秒から衝突後0.1秒までを拡大して見たのが、下段の図である。

テークバック時ピッチ、ロール、ヨー角ともプラスに変化し、すなわち掌屈、尺屈、回外運動がおこる。ラケットが前方に振り出されてからは、掌屈運動はあまり変化しないが、0秒で衝突するまで、ロール角（細線）が減少しており、すなわち前腕部を回内させると同時に、手関節を撓屈させてボールにトップスピをかけようとしている様子が窺える。

##### (2) ウェスタングリップのトルク

図5はラケット面に対して垂直方向、下段が接線方向のトルクである。横軸は時間軸で

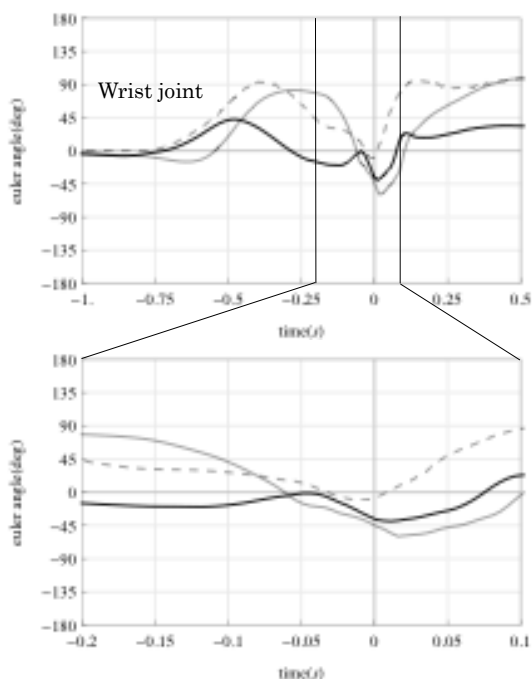


図4. ウェスタングリップにおける手関節のオイラー角。

——ピッチ, - - - - -ロール, ·····ヨー

あるが、ラケットを前方に振り始めた-0.2秒から0秒で衝突後、0.1秒までを示している。

ラケット面に垂直方向のトルク（上段 normal）では正の方向にトルクが生じているが、衝突の直前には負に転じている。これはラケットの回転にブレーキがかかっていることを示している。また、接線方向のトルク（下段 tangential）では正のまま、ラケットを上方向に振り上げているものと考えられる。

垂直方向のトルクは最大で約7Nmの値を示していた。これは、予め測定した手関節周りのトルク（表1）中、この被験者の平均値は7.4Nmで、ほぼ最大努力と等しいトルクが生

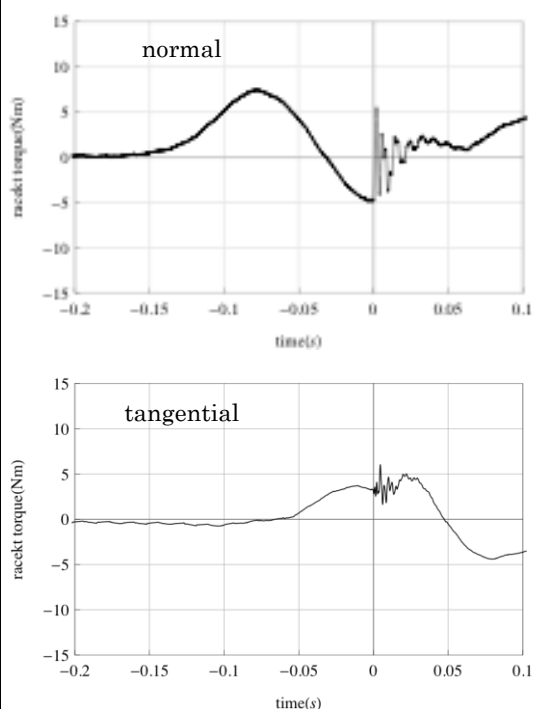


図5. ウェスタングリップ時のトルク

じている。

##### (3) イースタングリップにおける手関節のオイラー角

図6はイースタングリップでスイングしたときの、手関節のオイラー角である。ウェスタングリップの結果と比べて手関節のオイラー角の変化が小さい。下段の前方へ振り出した-0.2秒後の図を見ても、ロール、ヨー角の変化が小さく、手首を固定したスイングをしていると考えられる。

##### (4) イースタングリップのトルク

図7はイースタングリップでスイングした際のグリップ部に表れるトルクを示す。0秒でボールが衝突した後の振動は、図5に示したウェスタングリップの際の衝突後の衝撃振動と比べて振幅が大きく、若干、ラケットの振動の節をはずれていることがわかる。ラケット面に対して垂直方向のトルク（上段

normal) は、スイングを開始してから最大で約 7.5 [Nm] の値を示し、ウエスタングリップの値とほぼ同じであったが、衝突直前には 0 [Nm] に戻っている。しかしラケット面に対して接線方向の歪みから推測したトルク (下段 tangential) の値は、ウエスタンの時と比べて最大で約 8 [Nm] とおおきく、その正の面積、すなわち回転の力積も大きい。これらのことから、イースタングリップでは、手関節を固定して前腕と手部全体でボールに回転

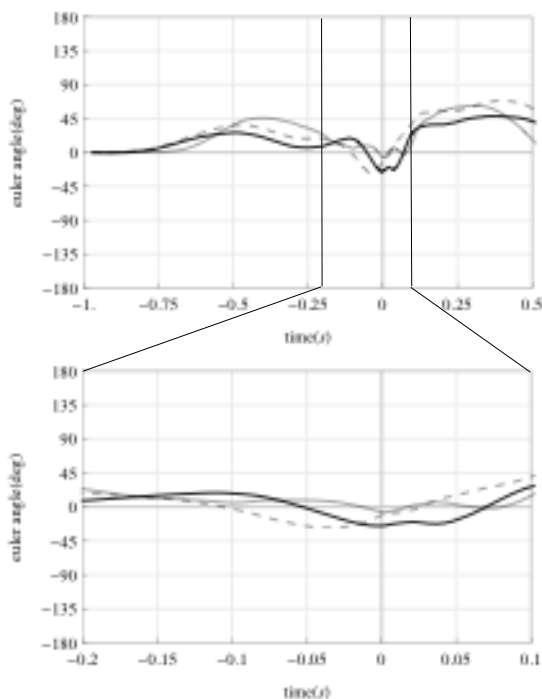


図 6. イースタングリップにおける手関節のオイラー角。

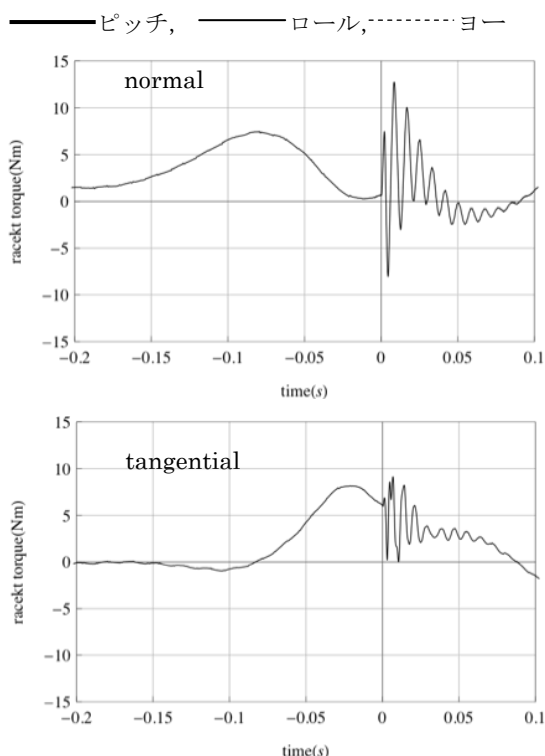


図 7. イースタングリップ時のトルク

を加えようとしているものと考えられる。

(5) グリップ角度の違いによるスイング

この 2 種類の試技における、ボールとの入射角度、ボールの回転数はほぼ同じであった。しかし、スイング時の手関節オイラー角をみると、イースタングリップでは、手関節を固定してスイングしているのに対して、ウエスタングリップでは主に回内運動が主となり、それに撓屈運動が加わっていると見ることが出来る。

表 1, 2 に示したように手関節周りの回転運動の特性から、撓屈・尺屈運動は、可動域は狭いが力特性に優れている。また回内・回外運動は可動域が大きく、力特性は同じでもパワー特性に優れていると考えられる。そのため、ウエスタングリップのように、グリップ部を厚く持った方がトルクでは最大トルクが発揮されているが、パワーの面ではまだ余裕があり、手関節における負担の度合いも小さいことが推察される。

(6) 本研究の位置づけと今後の課題

手関節は 3 つの軸周りに回転が可能のため複雑な運動が行われるが、それをオイラー角で表すことができた。今後、グリップの角度を様々に変えた場合に対応させて、ボールにスピンのかかるようにスイングすると、どのように手関節のオイラー角度が変化していくかをみていきたい。

また、ウエスタングリップとイースタングリップでは、手関節にかかるトルクに大きな差は見られなかった。しかし、回内運動はその可動範囲が大きく、手関節周りのパワー特性を見ても、撓屈や掌屈運動より回内運動は十分に大きい。このことから、手関節にかかるトルクだけでなく、最大パワーに対する、スイング時のパワーを比べることにより、手関節にかかる負担を評価できると考えられる。三角繊維軟骨複合体等の障害に関しても、回内運動時における尺骨頭にかかる負担等を、パワーの大きさで表すことにより可能になると思われる。

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)

[雑誌論文] (計 1 件) 査読有

① Hiroshi Maeda, Masaaki Okauchi, Friction properties of the face of a hand-held tennis racket, 9<sup>th</sup> Conference of the International Sports Engineering Association, pp544-549, 2012

[学会発表] (計 3 件)

① 前田 寛, 岡内優明: 「テニスラケットスイング時の手関節角度の計測方法」、シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2013、日本機械学会 [No. 13-34]、2013/11

② 前田 寛, 岡内優明: 「テニスにおけるトップスピン技術の分析方法」、シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012、pp34-39、日本機械学会

[No. 12-39]、2012/11

③前田 寛、岡内優明：「テニスラケットとボールの衝突面に生じる摩擦力の測定」、日本体育学会第 62 回大会、p144、2011/9

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前田 寛 (MAEDA, Hiroshi)

大分大学・工学部・教授

研究者番号： 60181591

### (2) 研究分担者

岡内 優明 (OKAUCHI, Masaaki)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号： 20194334