

論文審査結果の要旨

論文提出者氏名：飯野要一

本論文「運動力学的解析法を用いたテニスのフォアハンドストロークの一研究」は、クローズドスタンスで行われたテニスのフォアハンド・グランドストロークでの基本的な身体の使い方を運動力学的に調べることを目的とし、そのストロークで体幹長軸周りの体幹の回転を生み出すための脚の働き、及び、ラケットを加速するために体肢で行われた力学的エネルギーの生産と移動を、高速度で撮影した映像と床反力の計測からなる実験室的手法を用いて明らかにした。これらの研究から得られた知見は、これまで運動学的な研究が多かった打動作のスポーツバイオメカニクス研究に運動力学的研究の手法を導入したこと、及び全く分析されていなかった、打動作中に体幹を回転させるための脚の働きをテニスのフォアハンドストロークについて運動力学的に明らかにしたことで、注目される。

本論文は5章よりなり、以下のように要約される。

第1章 股関節を通じて骨盤に作用する骨盤上下軸まわりのトルク

テニスの指導書では、いわゆる「手打ち」にならないために、体幹長軸周りの体幹の回転がグランドストロークでのパワーの源として、経験的に重要視されている。しかし、この回転がどのような身体の働きによって生み出されているのかは、全く不明であった。この回転は、体幹のその長軸周りのねじれと体幹自体を脚が回転させることによって生み出されると考えられる。そこで本章では、テニスのフォアハンド・グランドストロークについて、体幹の最下部にある骨盤を脚が回転させる仕組みを明らかにすることを目的とし、高速度映画カメラと床反力計をそれぞれ2台用い、関東大学テニスリーグ一部のチームに属する男子学生を被験者として研究を行った。

その結果、両肩を結ぶ線の回転の約60%は骨盤の回転によって生み出されていることが明らかになった。さらに、その際、後脚の股関節の伸展モーメントが最も骨盤の回転に貢献していることが明らかになった。また、この伸展モーメントを骨盤の回転に結びつけるには、股関節が外転位にある必要がある。したがって、後脚の股関節の姿勢も骨盤の回転に重要であることが分かった。

これらの結果から、フォアハンド・グランドストロークでの体幹の回転に、脚の働きが重要であり、その中でも後脚の股関節伸展モーメント発揮が最も重要で

あることが分かった。

第2章 膝の曲げ伸ばしが骨盤に作用する骨盤上下軸まわりのトルクに与える影響

グランドストロークに関し、テニスの指導書でしばしばストローク中の膝の曲げ伸ばしの重要性が指摘されるが、その機能的意味はほとんど述べられていない。本章では、膝の曲げ伸ばしの違いが、脚が骨盤を回転させる作用に影響を及ぼすという仮説の下に、第1章と同様の方法を用いて、膝の曲げ伸ばしに違いのあるフォアハンド・グランドストロークの分析を行った。

第1章の実験に参加した被験者に、普通のフォアハンド・グランドストロークの試行後、出来るだけ膝を曲げないフォアハンド・グランドストロークを行うよう指示した。

両ストロークの比較の結果、膝を曲げないようにして打ったストロークでは、脚の骨盤回転作用が弱い傾向にあった。そして、その主な原因は、このストロークでは後脚の股関節で発揮された外旋モーメントと伸展または外転モーメントが小さかったためであることが明らかになった。つまり、実験結果は、膝の曲げ伸ばしの違いが、脚が骨盤を回転させる作用に影響を及ぼすという仮説を支持した。

膝を曲げないようにして打ったストロークでは、膝の屈曲だけでなく股関節の屈曲も浅かったために、股関節で大きなトルクが発揮できずに、骨盤の回転作用も弱かったと考えられる。

本章では、フォアハンド・グランドストローク中の膝の曲げ伸ばしの役割のひとつは、同時に股関節を曲げ伸ばし、股関節モーメントを大きくして、骨盤を回転しやすくすることであることを明らかにした。

第3章 骨盤トルクと股関節モーメントの誤差と変動（再現性）の評価

第1章と第2章では、映像と床反力から、逆動力学を用いて、フォアハンド・グランドストローク中の股、膝、足の各関節の関節モーメントと関節間力を計算した。この方法を用いて得られた結果には、無視できない誤差が含まれる可能性があることが指摘されている。また、誤差に影響を及ぼす要因として、床反力計の圧力中心の位置の誤差及び関節中心の位置の誤差が大きな影響を及ぼすと考えられている。

そこで本章では、圧力中心と股関節中心の位置について、実際の計測値に系統的な誤差を加えて股関節トルクを計算し、それらの誤差が脚の骨盤回転の作用に及ぼす影響を調べた。

また、第1章と第2章で導かれた結論は、2種類のストロークについて、それぞれ各被験者が上手に打てたと思った1試行の結果に基づいている。しかし、同一被験者内での、上手に打てたと思った試行間での変動は調べられていない。そこで、床反力曲線が似ていて、3試行とも上手に打てた被験者1名についてではあるが、脚が骨盤を回転させる作用の試行間の変動を調べ、その変動の大きさを推測した。

その結果、脚が骨盤を回転させる作用に関する誤差は全く無視できるほど小さくはないが、第1章と第2章で得られた結論を大きく変更しなければならないほどの大きさの誤差ではないことが明らかになった。また、1名の被験者の試行間の変動が仮に被験者を代表する値とするならば、同様に第1章と第2章で得られた結論を大きく変更しなければならないほどの大きさの変動ではないことが明らかになった。

第4章 上肢、下肢の関節におけるパワー、エネルギーの生成、吸収と移動

肩関節、肘関節や手関節の1回の屈曲または伸展で得られる力学的エネルギーは、フォアハンド・グランドストロークでのボールインパクト時の腕とラケットの持つ力学的エネルギーに比べて僅かなものであると考えられる。そのため、このストロークに必要な腕とラケットの速度を生み出すには、脚や体幹の比較的大きな筋によって生み出された力学的エネルギーを腕とラケットにまで移動させる必要があると考えられる。しかし、テニスのストロークにおけるこの生産と移動については、まだ明らかにされていない。

そのため本章では、フォアハンド・グランドストロークにおいて左右の脚とラケットを持つ腕で生み出され、移動する力学的エネルギーを明らかにすることを研究の目的とした。

第1章で被験者が行ったフォアハンド・グランドストロークについて、逆動力学を用いて、ラケットを持つ腕とラケットの運動力学的分析を行った。そして、第1章の結果も使い、両脚の股、膝、足の各関節及びラケット腕の肩、肘、手の各関節の関節モーメント、関節間力、関節中心の速度及び関節角速度を求めた。次に、これらの値に基づき、各関節で生産された力学的エネルギーと各関節を移動した力学的エネルギーを求めた。

その結果、肩関節を介してラケット腕に移動した力学的エネルギーよりやや少ない量のエネルギーが脚で生み出されていたことが明らかになった。よって、無視できない量の力学的エネルギーが体幹でも生産されていたと思われる。

また、腕で生産された力学的エネルギーは、ボールインパクト時の腕とラケットが持つ力学的エネルギーの約 20 %に過ぎず、そのほとんどは肩関節を介してのエネルギーの移動によるものであったことも明らかになった。

第 5 章 まとめ

本論文の研究から、次の結論が得られた。

クローズドスタンスで行われたテニスのフォアハンド・グランドストロークを運動力学的手法を用いて分析した結果、以下のことが明らかになった。

- 1 後脚の股関節伸展モーメントが、フォワードスイング中の骨盤のその長軸周りの回転を生み出すために最も寄与しており、その際、股関節が外転している必要があった。
- 2 ストローク中に観察された膝の曲げ伸ばしは、後脚の股関節の外旋モーメントと伸展あるいは外転のモーメントを発揮しやすくし、骨盤の回転を生み出すのを助けている。
- 3 股関節中心の位置及び床反力計の圧力中心の位置に仮定された程度の誤差が含まれていても、その誤差は第 1 章と第 2 章の結論を大きく変えるほどの大きさではない。
- 4 体肢がした仕事に関しては、右脚の股関節伸展モーメントによる仕事が最大であった。この仕事を含めて、主に下肢や体幹で生み出された力学的エネルギーが、上肢の関節を介して移動することにより、大きなラケット速度が生み出されている。

以上に述べたように、本論文は、テニスのフォアハンド・グランドストロークにおいて重要と考えられていたが、まだ科学的に明らかにされていなかった、体幹をその長軸周りに回転させるための脚の働きを、誤差解析も含めて、初めて運動力学的観点から明らかにした。さらに、同ストローク中に脚とラケット腕が生み出す力学的エネルギーと、その移動の様子の一部を明らかにした。

また、第 1 章と 2 章で用いた分析方法は、野球、卓球、ゴルフ等の体幹のその長軸周りの回転が重要と考えられる打動作や、体幹のその長軸周りの回転が伴う素早い方向変換などでの脚の働きの運動力学的分析にそのまま利用でき、大変応用性が高い。

このように、飯野要一君の論文の身体運動科学の分野における意義は、非常に大きいものがある。したがって、飯野要一君により提出された本論文は、東京大学大学院課程による学位（学術）の授与に相応しい内容と判定した。