

テニスのフォアハンドストローク動作に及ぼす打点位置の影響

Effects of height in hitting position on forehand stroke of tennis players

山崎 猛 (国土館大学大学院スポーツ・システム研究科)
田中 重陽 (国土館大学大学院スポーツ・システム研究科)
角田 直也 (国土館大学大学院スポーツ・システム研究科)

山田 龍彦 (国土館大学大学院スポーツ・システム研究科)
熊川 大介 (国土館大学大学院スポーツ・システム研究科)

I. 研究目的

テニスの試合ではサーブをはじめ、ストローク・スマッシュ・ボレーなどの多様な技術が見られるが、中でもフォアハンドストロークは利用される頻度が高く、試合の勝敗に大きく影響する(藤澤ほか, 1998)。このフォアハンドストロークを得点に結びつける条件の一つに「強打による速いボールの返球」がある。それを実現するためには、身体から発揮されたパワーを合理的なストローク動作をすることによりラケットを介してボールに加えていく必要がある(Gilbert, B., 1997)。これまでテニスのストローク動作を対象とした研究は数多くなされてきた。しかし、そのほとんどが腰の高さのストローク動作を分析試技としているため、腰の高さより高い打点や低い打点のストローク動作を比較した研究は見当たらない。またGilbert (1997)は、高い打点でストロークをすることは、よりネットに近い状況で打つことになり、相手の準備が整う前に返球することにつながるため、ポイント取得する確率も高くなり、極めて有効なストロークであると指摘している。また、Howard (2009)はテニスのストロークにおけるボールの軌道についての研究で、バウンド後のボールの軌道のピークか、ピークの直後に打ち返すと相手コートに入る可能性が高くなると報告している。一方、低い打点ではこうした知見が見当たらない。試合を優位にする要素がなく、技術的に難しいことが考えられる。したがって、高さが異なるストローク動作を分析することは、高さの違いによるストローク動作特性を明らかにすることが可能であり、テニス選手の競技力向上や、技術指導を行うコーチングにおいて極めて有用であると考えられる。

そこで本研究では、フォアハンドストロークの打点の高さを3条件に分け、異なる打点の高さが動作に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、大学体育会硬式テニス部に所属しており、年間を通して定期的にテニスのトレーニングを実施している男子大学生7名とした。被験者の身体的特性を表1に示した。なお、全被験者には、研究目的、方法及び実験に伴う危険性について十分に説明を行い、任意により実験への参加の同意を得た。また、本研究は国土館大学大学院スポーツ・システム研究科研究倫理委員会の承認を受けて実施した。

表1 被験者の年齢、テニス経験年数及び身体的特性

n	年齢 (歳)	テニス経験 (年)	身長 (cm)	体重 (kg)
7	20.7±1.4	6.6 ± 2.0	172.6 ± 7.7	65.0 ± 10.5

平均値±標準偏差

2. 形態計測

被験者の身長および体重は、身長は身長計により計測し、体重は、身体組成測定装置(BODY FAT ANALYZER: TANITA社製)を用いて測定した。

3. ストローク動作の測定

ストローク動作は、2台の高速度カメラ(デジモ社製、VCC-H1000)を同期させ、テニスコートの周囲に設置し、フィルムスピード250コマ、シャッタースピード1/2000で撮影した。撮影範囲は、テニスコート内のシングルスサイドラインとベースラインの接点からセンターマーク方向へ2m、ネット方向に向かって2mとした(図1)。送球されるボールの高さ及び速度を一定にするため、硬式テニス用テニスマシン(SILVER REED社製、テニサーPM20

硬式用)を使用した。全被験者に身体に密着する黒の衣類を着用させ、球体のマーカーをラケットヘッドと左右の肩峰点、肘関節、手関節、大転子、膝関節、足関節の計13箇所に取り付けた。被験者には十分なウォーミングアップを行わせ、前方から送り出された高さの異なる3種類のボールをフォアハンドストロークにより、ターゲットエリアを狙って打つように指示をした。尚、被験者にはあらかじめ送球されるボールの高さを伝え、試技を行った。

本研究では、先行研究(吉澤・熊本, 1983)を参考にし、打点位置を定義した。肩峰点と骨盤上部を結んだ線の中点よりZ座標上高い位置でインパクトをしたストローク動作を①ハイストローク(High stroke:HS)、肩峰点と骨盤上部を結んだ線の中点と、骨盤上部と膝関節を結んだ線の中点との間でインパクトをしたストローク動作を②ミドルストローク(Middle stroke:MS)、骨盤上部と膝関節を結んだ線の中点よりZ座標上低い位置でインパクトをしたストローク動作を③ローストローク(Low stroke:LS)、という3条件に分け、ストローク動作の撮影を実施した(図2)。被験者には、それぞれの条件に合わせた試技を最大努力で3回ずつ行わせ、ターゲットエリア内に入った1試技を分析の対象とした。

なお、分析の対象とした各試技のインパクト時のラケットヘッドの高さはHSが 144.9 ± 8.7 (cm)、MSが 70.8 ± 7.7 (cm)、LSが 35.3 ± 7.8 (cm)であった。

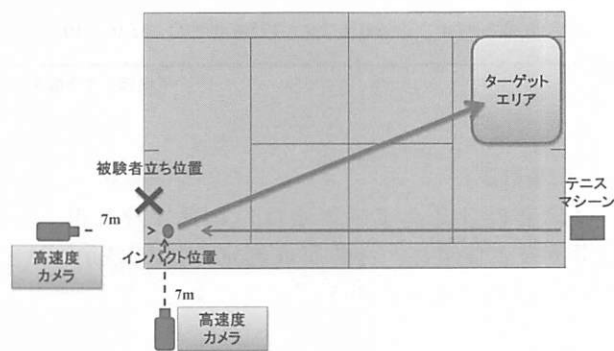


図1 撮影模式図

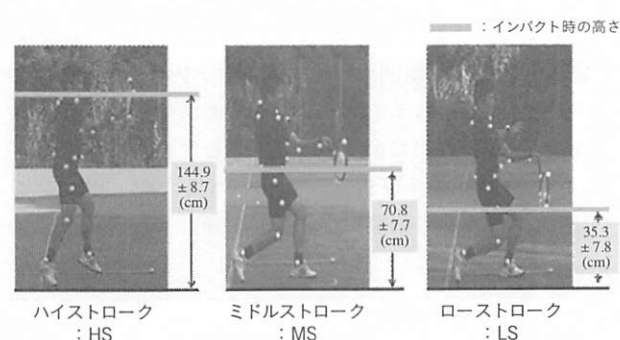


図2 動作の定義

4. 測定項目

ストローク動作は先行研究(道上・阿江, 1998)を参考にして、テークバック終了後、手関節がボール方向に動き始めてからインパクトまでのフォワードスウィング(FS)局面を分析区間とした。

1) 速度の算出

FS局面における右脚の大転子、右腕の肩峰点、肘関節、手関節、及びラケットヘッドに着目し、各分析点の最大速度(MV)、インパクト時における速度(IV)、MVとIVの速度差(ΔV)をそれぞれ算出した。また、ボール速度は先行研究(田子ほか, 2006)を参考にして、インパクト直後1コマから4コマの間の平均合成移動速度とした。

2) 高さの算出

FS局面における右脚の大転子、右腕の肩峰点、肘関節、手関節、及びラケットヘッドの高さは、分析の結果得られた座標値を、それぞれの測定被験者の身長で除した値を用いて算出した。

5. データの規格化・平均化と統計処理

本研究のラケット及び身体各部の速度データは、FS開始である手関節が打球方向に動き始めた時点を0%とし、インパクトの瞬間までの時間を100%として規格化した。

全ての測定項目における値は、平均値(Mean)±標準偏差(SD)で示した。各測定項目に対する打点位置の影響については、二元配置分散分析を用いて調べ、要因に有意な主効果が認められた場合には、FisherのPLSD法の多重比較検定を用いて各群間における有意差を検定した。また同群間の動作間の測定値については、対応のあるStudent T-testを用いて検定を行った。

III. 結果及び考察

1. ラケットヘッド及び上肢各関節の高さの変位

ラケットヘッド及び上肢各関節の高さの変位を図3、図4に示した。図中の黒丸は、同試技間の隣り合うデータ間における高さに有意差があることを示している。白丸は、有意差がないことを示しており、地面と平行に移動していることを表している。

ラケットヘッドの高さは、HS、MSおよびLSにおいてFS開始後下降し、地面と平行に移動する時間帯の後に上昇が見られた。HSのラケットヘッドは、FS開始からMS、LSに対し有意に高い位置であることが認められた。MSは75%からLSより有意に高い値が現れた。

次に、手関節においてもHSは、MS、LSに対してFS開始からインパクトまで有意に高い位置であることが示された。MSは55%付近からLSに対して有意に高い値を示した。同試技における高さは、HSは、FS開始後下降することなく35%付近から上昇を始め、インパクトまで上が

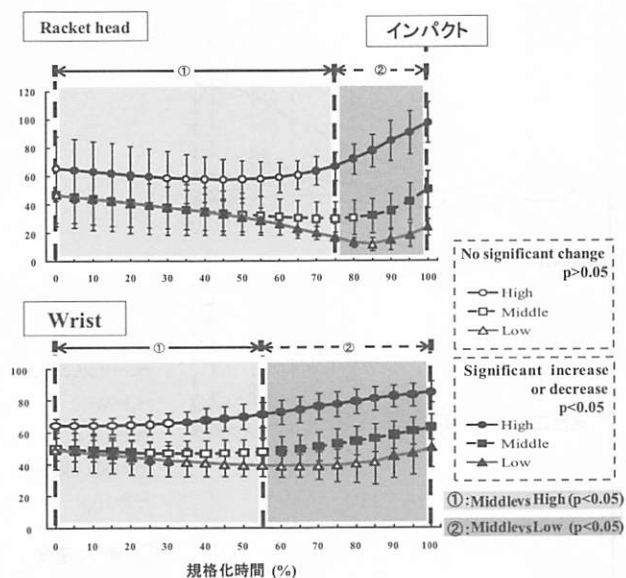


図3 異なる打点位置による高さの変位(1)

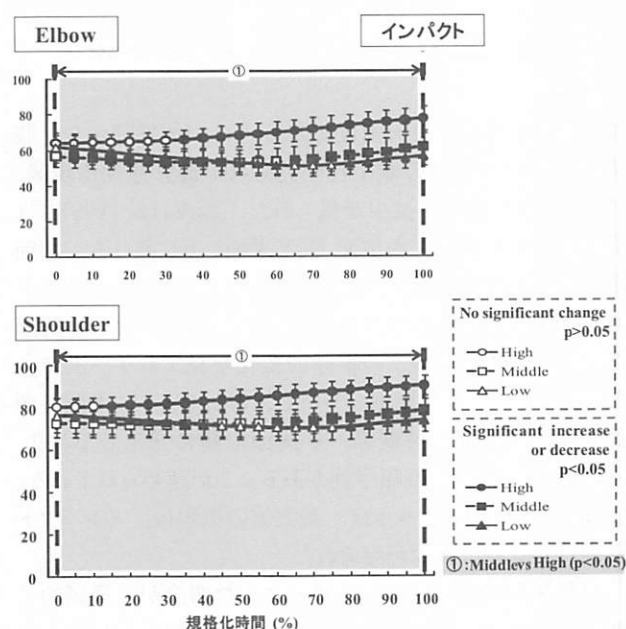


図4 異なる打点位置による高さの変位(2)

り続ける傾向を示した。MSとLSは、ラケットヘッドと同様にFS開始から下降し、地面と平行に移動する時間帯の後に上昇が見られた。HS、MSおよびLSにおいてラケットヘッドと異なる時間帯で下降及び上昇が見られた。

続いて、肘関節はHSにおいて、MS、LSに対してFS開始からインパクトまで有意に高い位置であることが認められた。加えて手関節と同様に下降することなく上昇を続ける傾向が認められた。MSとLSの高さに有意差は認められず、FS局面においてほぼ同じ高さでストローク動作が行われていることが考えられた。

更に、肩関節はHSにおいて、MS、LSに対してFS開始からインパクトまで有意に高い位置であることが示され、手関節及び肘関節と同様に、FS局面中は下降することなく上昇を続ける傾向が見られた。MSとLSの間の高さに有意差は認められず、ほぼ同じ高さでストローク動作が行われていることが示された。

テニスのストローク動作の upper limb 各関節の角度変化について渋谷ほか(1992)はゴニオメーターを使用し、ストローク動作中の関節角度変化の研究をしている。それによると、硬式テニスのフォアハンドストロークにおいて、upper limb 各関節の最大角度変化は25度以内であったことを報告している。この研究の試技は被験者の最適な打点とされ、本研究におけるMSにあたる。MSにおける高さの変位は、肩関節、肘関節、手関節それぞれ60%付近からの上昇が認められる。ほぼ同時時間帯から同時に上昇しているため、大きな角度変化は起きにくいと考えられる。そのため、この結果は先行研究を支持するものと捉えられる。田子ほか(2006)は野球における、高低の打撃ポイントに対する動作の調整について、スイング開始からインパクトまで肩関節および肘関節の関節角度に有意差が見られることを報告している。打者の任意の高さで分けたhigh, middle, lowの打撃動作の比較において、lowは肘伸展がhigh, middleより有意に大きいことを明らかにしている。このことから、本研究においてLSのラケットヘッドおよび手関節が他の2試技より上昇を始める時間帯が遅いことは、肘関節伸展の影響もあると考えられる。

以上のことより、異なる打点の高さに対応するためにはFS開始時のラケットヘッドおよびupper limb 各関節の高さ変動すること及び、肘関節の角度の調整が重要であることが推察された。

2. 打点位置別にみたボール速度とラケットヘッド及びupper limb 各関節の移動速度

1) ボール速度の比較

打点位置ごとのボール速度を図5に示した。各試技でのボール速度は、HSが最も高く、LSが最も低い速度であった。また、HSとMSがLSに対して有意に高い値を

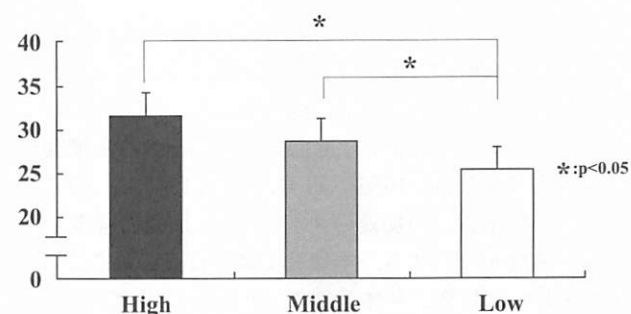


図5 HS、MS及びLSにおけるボール速度の比較

示し、HSとMSの間に有意な差は認められなかった。この結果からHS、MSに比べてLSのみ、打ち返したボールの速度が遅くなることが明らかになった。

2) ラケットヘッド及び上肢各関節の最大速度、インパクト速度及び速度差

次にラケットヘッド及び上肢各関節のMV、IV、 ΔV を各試技で比較した。ストローク動作におけるラケットヘッドの速度は、HS、MSがLSに対して有意に高い値を示した(図6)。また、IVではHSがMS、LSより有意に高い値を示した。一方、MVとIVの速度差である ΔV は、MSがHS、LSに対して有意に高い値を示した。

手関節のMVは、HSがLSに対して有意に高い値を示した。同様に、肘関節もMVはHSがLSに対して有意に高い値を示した(図7)。これらのことから、ラケットヘッドのMVは、ボール速度同様にLSのみ低い値を示すことが明らかとなった。また、この傾向は手関節及び肘関節においても認められた。

ラケットヘッド

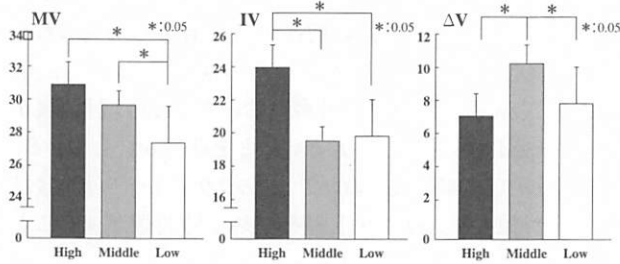


図6 ラケットヘッドのMV、IV及び ΔV

手関節

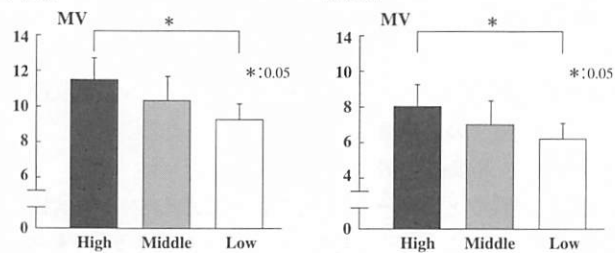


図7 上肢各関節のMV

3. ラケットヘッド及び身体各部の最大速度の出現時点

分析区間の時間は個人や、打点の高さごとに要した時間が異なるため、相対時間で規格化した。投動作や打動作においては、近位部から遠位部へと加速される鞭動作が見られる(Elliot, 1983; 石井, 1958; 友末, 1997)。その時、身体各部の加速のタイミングや加速の程度が遠位部の速度を決定する。本研究では、打点の高さごとにラケットヘッド及び身体各部の速度曲線を比較した(図8)。3条件の打点位置別の速度曲線を見ると、打点の高

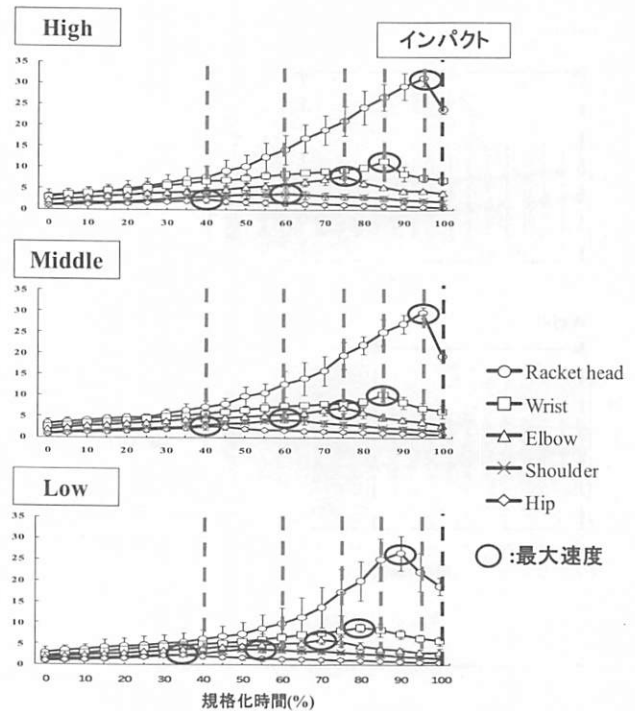


図8 ラケットヘッド及び身体各部の最大速度出現時間

さが異なっても、最大速度出現時点は、体幹部から上肢末端に向けて同様の順序性が見られ、最大速度出現後、インパクトに向けて減少が見られた。藤澤ほか(1998)は高速カメラを用い、水平面(X-Y平面)上における、関節トルクの算出を行った。この研究では、フォアハンドストローク中の上腕及びラケットを持つ腕の肩、肘、手関節で発生した関節トルクの継時的変化を見ており、上肢各関節のトルクの発生時期について報告している。上肢各関節では、肩関節、肘関節、手関節の順に発生しており、その最大値も同様の順序性があることが認められている。また、それら関節トルクは、最大値の出現後、インパクトに向けて急激に減少が見られた。

身体運動では、直線的に連結された関節が、連鎖的に関係して動き、体幹部のエネルギーを末端部に伝達するメカニズムが働くと、多関節の運動連鎖により、末端部の速度を飛躍的にアップさせることができる(堀田ほか, 1988; 石井, 1958)。本研究で分析した結果においても同様の関係が認められ、先行研究の結果を支持するものと考えられた。

一方、打点の高さごとの最大速度の出現時点を見ていくと、HS、MSよりLSは早い時点で最大速度が出現することが明らかになった。LSにおいては、障害物であるネットの影響をHS、MS以上に受ける。限られたコート内にコントロールするためにはボールの回転量を調節する必要がある。そのため最大速度から減速させて面の向きを調整し、インパクトをしようとする意識が働いていると

推察された。

IV. 総括

本研究では、フォアハンドストロークの打点の高さを3条件に分け、ボール速度、ラケット、身体各部の移動速度及び高さの変位を比較し、異なる打点の高さが動作に及ぼす影響を検討した。被験者には送球されるボールの高さを伝え、試技を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1. 異なる打点位置に対応するためにはFS開始時のラケットヘッド及び上肢各関節の高さの調節並びに肘関節の角度の調整が重要であることが推察された。
2. ボール速度及びラケットヘッドの速度はLSがHS、MSと比べ低値を示し、上肢各部位の速度は肩関節から手関節と末端部にかけて移動速度の打点位置に伴う差が認められた。
3. ストローク動作におけるラケットヘッドの最大移動速度とインパクト速度との関係、インパクト速度とボール速度の関係は打点の高さが異なっても同様であることが明らかになった。
4. ラケットヘッド及び身体各部の最大移動速度は、異なる打点位置でも体幹部から末端部にかけて同様の順位性が認められた。

以上の結果から、異なる打点位置のフォアハンドストローク動作に及ぼす影響が明らかとなった。また、打点位置が高いほど上肢の移動速度が有意に高いことが示唆された。

V. 参考文献

- Elliot, B. (1983) Spin and the power serve in tennis. *J Hum. Mov. Stud.*, 9 (2): 91-104.
- 藤澤朋子・淵本隆文・金子公宥 (1998) テニスのストローク動作における関節トルク: 頭上から見た水平回転運動の解析. *体育学研究*, 41:23-37.
- Gilbert, B. (1997) :Winning UGLY. 日本文化出版
- Howard, B. (2009) *Tennis Science for Tennis Players*. 丸善ブラネット株式会社
- 堀田朋基・宮本浩哉・山地啓司・北村潔和 (1988) バレーボールのスパイクにおける上肢の動作の定量解析. *J. J. Sports Sci.*, 7 (4): 256-262.
- 石井喜八 (1958) ハンドボールの投球動作の分析. *体育学研究*, Ⅲ -1: 33.
- 道上静香・阿江通良 (1998) 世界一流女子テニスプレイヤー

のフォアハンドストロークのキネマティック的分析. *J. J. Biomech. Sports Exerc.*, 2 (4): 242-251.

渋谷利秋・小河原慶太・加藤達郎・古谷嘉邦 (1992) テニスのグランドストロークにおける上肢の動きについて. *東海大スポーツ医科学*, 4: 60-66.

田子孝仁・阿江通良・藤井範久・小池関也・高橋佳三・川村卓 (2006) 野球における打撃ポイントの高さが打撃動作に及ぼす影響. *J. J. Biomech. Sports Exerc.*, 10 (1): 2-13.

友末亮三 (1997) 再び打つ動作のバイオメカニクス. *体育科学研究*, 41: 395-399.

吉澤正伊・熊本水瀬 (1983) テニス・グランド・ストロークの動作学的・筋電図学的研究. *J. J. Sports Sci.*, 2 (5): 394-400.

連絡責任者

住所: 〒206-8515 東京都多摩市永山7-3-1

国士舘大学体育学部 身体運動学教室

氏名: 山崎 猛

E-mail: take4yama3@yahoo.co.jp