

平成 22 年 3 月 23 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18500474

研究課題名（和文）卓球一流選手における打球直前の動作修正時のスイング様式

研究課題名（英文） Movement patterns in rapid adjustment of swing immediately before hitting the ball in elite table tennis players

研究代表者

吉田 和人 (YOSHIDA KAZUTO)

静岡大学・教育学部・教授

研究者番号：80191576

研究成果の概要：本研究では、卓球選手を対象に、スイングの回転半径の大小が異なる2つの打法（フォアハンドによるドライブ打法とフリック打法）における、打球直前の動作修正時のスイング様式を検討した。その結果、いずれの打法でも、イレギュラーバウンドにより打球までの時間が短くなった場合、遂行中のスイングの慣性モーメントを小さくするなどの動作修正がみられた。こうした素早い動作制御の検討では、動作の力学的特性に着目することが重要であると考えられた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	420,000	3,820,000

研究分野：スポーツバイオメカニクス

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：卓球，動作修正，スイング，視覚制御，ラケットの動き，筋活動，内観

1. 研究開始当初の背景

これまで、いくつかの研究が、急激な状況変化に対応する場合の視覚情報と動作制御の関係を、実験室的課題として（河辺・大築，1980，1982），あるいは実際のスポーツ場面で（例えば，McLeod，1987）検討してきた。

河辺・大築（1980）の研究では、移動する指標の追跡課題において、予測が可能な条件では筋放電開始まで最小100ms程度、反応時間全体でも200msの値が得られている。また、予測崩壊後には、筋放電開始までの時間が350ms程度まで伸びることが報告されている。

河辺・大築（1982）の研究では、合図によって左右いずれかの手を屈曲させる課題において、フェイント的合図を出したところ、誤反応が20%程度みられ、たとえ実際に動きがない場合でも誤反応があると、最小でも動作が50ms、平均では100ms程度遅れること、また誤反応から正反応に切り替わる時点で、いずれの反応に対する筋放電もない休止時間が現れることが報告されている。

Smeets and Brenner（1995）と Brenner and Smeets（1997）の研究では、ターゲットを打つ課題において、被験者が手を動かしてから

ターゲットを急激に移動させると、その110ms後にそれに対応する動きが発生することが報告されている。

実際のスポーツ競技での課題に関して、McLeod (1987)の研究では、クリケットプレーヤーの打球において、イレギュラーへの対応が最小でも190msであったことが報告されている。

Bootsma and Van Wieringen (1990)の研究では、卓球のフォアハンドドライブ打法におけるラケットの動きについて、最初にプログラム化された動作によって制御されているのではなく、時々刻々入力される視覚情報によって制御されている可能性を指摘している。そして、インパクト前100msまでは視覚情報が利用可能であることを示唆している。

山本 (2005)の研究では、野球のバッティング場面を模した装置によって、様々な時間でボールのコースが分岐するよう提示された条件を比較することで、どの程度までの視覚情報が利用可能かについての検討がなされている。その結果、動作に610ms程度、また選択反応に260msかかるにも関わらず、インパクトの510ms前にコースが提示される条件でも、コース刺激の提示から動作開始までの反応時間は約100msなのに対して、動作自体も510msほどであり、動作とコースへの対応が並列的に処理されていることが示されている。

視覚的な情報が受容されてから実際に動作が修正されるまでには、筋へ修正の指令が出される時間と、それが実際に運動動作の修正として現れる時間を考慮する必要がある。後者の時間については、反応する身体部位や道具の力学的特性が考慮される必要がある。しかし、スポーツ選手の瞬時の動作修正について、その素早さの解明を動作の特性との関係から検討した研究は少ない。

【引用・参考文献】

- Bootsma, R. J. and van Wieringen, P. C. W. (1990) : Timing an attacking forehand drive in table tennis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 21-29.
- Brenner, E. and Smeets, J. B. J. (1997) : Fast responses of the human hand to changes in target position. *Journal of Motor Behavior*, 29, 297-310.
- 河辺章子・大築立志 (1980) : 移動視標の方向変化に対する反応時間, *体育学研究*, 25, 301-311.
- 河辺章子・大築立志 (1982) : フェイント刺激による誤反応の修正-対側前腕屈筋への運動指令の切り換え時間について. *体育学研究*, 27, 217-227.

McLeod, P. (1987) : Visual reaction time and high-speed ball games. *Perception*, 16, 49-59.

Smeets, J. B. J. and Brenner, E. (1995) : Perception and action based on the same visual information: Distinction between position and velocity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 19-31.

山本裕二 (2005) : 複雑系としての身体運動 : 巧みな動きを生み出す環境のデザイン, 東京大学出版会, 65-74.

2. 研究の目的

卓球選手を対象としたアンケート調査では、90%程度が「自分の打球直前のボールを見て動作を修正できる」と回答している。

著者らはこれまで、卓球一流選手の打球直前の動作修正について、その意志決定が、選手の内観の通り、自領コートでのボールバウンドから打球までの間のボールの視覚情報を用いて行なわれているかを実験的に検討してきた。その結果、手首を中心にして軽く払うように打つフォアハンドフリック打法において、選手のラケットの動き、内観、および筋放電パターンから、ラケットの軌道が瞬時に変更されていると思われるケースが複数みられた。

しかし、それらの研究では、スイングの瞬時の軌道変更を可能としている動作について、十分に検討されていない。

そこで本研究では、卓球選手のフォアハンドによるドライブ打法（肩関節の水平屈曲・水平伸展が顕著で、回転半径の大きなスイング）とフリック打法（手関節の屈曲・伸展や内転・外転が顕著で、回転半径の小さなスイング）を対象に、以下の2点を検討した。

(1) 各打法における、イレギュラーバウンドへの対応時のラケットの動き、ボールの動き、上肢の動き、上肢の筋活動、および選手の内観と、それらの相互関係

(2) スイングの大きさと、瞬時の修正動作の力学的特性との関係

3. 研究の方法

3.1 実験手順

実験は、2006年8月に実施した。被験者は、男子卓球選手3名とした。彼らの特徴を表1に示した。彼らのグリップ（ラケットの握り方）は、いずれもシェイクハンドタイプであった。

試技は、S大学体育会卓球部に所属する女子選手により配球される、イ) 通常のボール（レギュラーバウンド課題）と、ロ) イレギュラーバウンドが発生しやすいように、表面

表 1 被験者の特徴

被験者	年齢	戦型	競技年数	備考
A	24	ドライブ	11.5	全日本大学対抗卓球選手権大会3位メンバー(2002年). 全国高等学校卓球選手権大会シングルス出場(2000年)
B	19	ドライブ	7.5	全国高等学校卓球選手権大会シングルス出場(2003年, 2004年)
C	20	ドライブ	8.5	なし

被験者の年齢は、実験時のものとした。備考欄には、全国大会出場以上の主な競技成績を示した。

を凹凸に加工したボール（イレギュラーバウンド課題）に対する、フォアハンドドライブ打法とフォアハンドフリック打法による強打とした。いずれの打法においても、返球位置は、ネットから配球者コート側に 95cm、被験者の左サイドラインから 30cm を中心とした半径 25cm の卓球台上の円内とした。

フォアハンドドライブ打法時の配球位置は、ネットから被験者コート側に 90cm、被験者の右サイドラインから 40cm を中心とした半径 20cm の卓球台上の円内とした。この時の配球方法は一本打ち（トスしたボールを打球し、被験者コートに直接バウンドさせる）とした。フォアハンドフリック打法時の配球位置は、ネットから被験者コート側に 50cm とし、台上の左右位置と円の大きさは、フォアハンドドライブ打法の場合と同じとした。この時の配球方法はサービスとした。配球のスピードは、いずれの打法の場合も 4m/s 程度とした。

被験者には、試技ごとに、レギュラーバウンド課題とイレギュラーバウンド課題のいずれであるかを、あらかじめ告知した。実験では、各打法の 2 つの課題において、それぞれ 3 回の試技の高速度映像が被験者ごとに収録できるまで、試技を継続させた。

なお、今回の実験では、フォアハンドフリック打法について、十分なデータを得られなかった。フォアハンドフリック打法に関しては、今回の研究とほぼ同様な方法で実施された、これまでの著者らの実験データを新たに分析することとした。

3.2 測定方法

打球時の筋活動については、尺側手根伸筋、総指伸筋、上腕二等筋、円回内筋の 4 つを被験筋とし、EMG アンプを電極近傍に配置した表面筋電位測定装置により筋放電を導出した。電極は、消毒用アルコール綿および皮膚前処理剤で皮膚抵抗を十分落とした後、筋線維の走行と一致するように装着した。

肘関節の回内・回外と屈曲・伸展、手関節の外転・内転の各角度については、ゴニオメータにより測定した。

ラケットおよびボールの動きについては、機械的に同期された 2 台の高速度カメラに

より、毎秒 250 コマで収録した。ラケット打球面の端の 3 カ所には、直径 6mm の発泡スチロールの反射マーカを装着することにより、収録映像上で動きがよくわかるようにした。また、被験者の動きの全体像については、被験者の正面と横に各 1 台のビデオカメラを設置し、毎秒 30 コマで収録した。

レシーバーコートでのボールバウンド時点、および被験者のインパクト時点については、卓球台、および被験者のラケットに装着した加速度計により測定した。

全てのアナログ信号は、データ収集解析システムを用いてサンプリング周波数 1 kHz で A/D 変換し、パーソナルコンピュータにデータとして保存して処理した。高速度カメラの映像など、その他のデータも、アナログ信号と同じパーソナルコンピュータに保存して処理した。

イレギュラーバウンド課題では、1 回の打球ごとに、瞬時の動作修正に関する内観をインタビュー調査した。インタビューの主な内容は、「イレギュラーバウンドにより、ボールはどの方向に変化したか」、「動作修正をどのように行なったか」の 2 点とした。インタビューについては、ビデオカメラに収録した。

4. 研究成果

4.1 フォアハンドドライブ打法における瞬時の動作修正

フォアハンドドライブ打法のイレギュラーバウンド課題における試技回数とイレギュラーバウンドの発生回数は、被験者 A では 22 回と 12 回、被験者 B では 19 回と 11 回、被験者 C では 26 回と 10 回であった。イレギュラーバウンド課題におけるイレギュラーバウンドの発生率は 49.3%（全 67 回の試技中 33 回）であった。

イレギュラーバウンドに対応したフォアハンドドライブ打法における動作修正としては、(1)スイングの方向を変更する、(2)肘関節の屈曲・伸展により、ラケットの左右位置を変更する、あるいは、スイングの回転半径の大きさを変更する、(3)肩関節周りのスイングを減速し、前腕の回内・回外によりラケット面の向きを変更する、(4)膝の屈曲・伸展などによりラケットの上下位置を変更する、などが単独で、あるいは、いくつか同時に観察された。また、こうした動作修正の際には、インパクト時点を遅らせることも多かった。

図 1 には、被験者 B のフォアハンドドライブ打法において、高速度映像の分析が可能であった全 5 試技のラケット先端速度を示した。この図の通り、レギュラーバウンド課題における 3 回の試技（試技 dr01, dr02 および dr03）のラケット先端速度は、インパクトの約 120ms 前からインパクトまで、試技間で

のばらつきが小さかった。これは他の被験者も同様であり、被験者 A と C ではインパクトの約 110ms 前からインパクトまで、被験者ごとに試技間でのラケット先端速度のばらつきが小さかった。被験者 B のイレギュラーバウンド課題におけるボールバウンドからインパクトまでの時間は、試技 di01 では 392ms、試技 di02 では 472ms であった。それぞれの試技における内観は、試技 di01 では「ボールの弾みが低かったので、体勢を低くした。しかし、ボールがもっと低かったので間に合わなかった」、試技 di02 では「ボールの弾みが予想以上に高く、ボールが止まり気味だった」であった。被験者 B のレギュラーバウンド課題の全 15 回の試技におけるボールバウンドからインパクトまでの時間の平均値が $269 \pm 27\text{ms}$ であったことから、試技 di01 と di02 では、通常の打球の場合と比べ、それぞれのインパクト時点を約 120ms と約 200ms 遅らせていたと考えられた。映像からは、試技 di01 では、ボールの弾みが低かったことに対し、体勢を低くしながら、インパクト位置を後下方にずらしていたこと、試技 di02 では、ボールの弾みが高かったことに対し、一度開始したフォワードスイングを減速し、通常のインパクト位置にボールが落ちてくるまで待った後に打球していたことが観察された。しかし、これらの試技において、「インパクト時点を遅らせる」という動作の修正が、どの時点から開始されたかについて、ラケット先端速度からは明らかにされなかった。

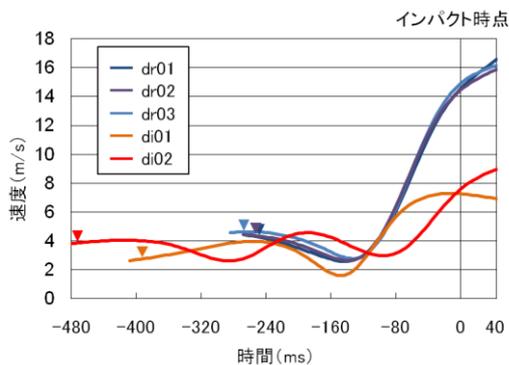


図 1 フォアハンドドライブ打法におけるラケット先端の速度

図中の「▼」は被験者コートでのボールバウンド時点を示す。時間軸はインパクト時点を 0 とした。dr01, dr02 および dr03 はレギュラーバウンド課題の試技, di01 と di02 はイレギュラーバウンド課題の試技を示す。

被験者 B のフォアハンドドライブ打法について、図 2-1 にはレギュラーバウンド課題時の筋放電（試技 dr01）、図 2-2 にはイレギュラーバウンド課題時の筋放電（試技 di01）を全波整流で示した。2つの図を比較すると、

レギュラーバウンド課題の試技に共通してみられるボールバウンドから約 120~150ms 後の上腕二頭筋の放電が、イレギュラーバウンド課題の試技 di01 ではみられなかった。これは、イレギュラーバウンド課題の試技 di02 でも同様であった。これらのことから、試技 di01 と di02 における被験者 B の動作修正は、生理学的にみると、イレギュラーバウンドの発生から約 120~150ms 後には行なわれていたと考えられた。ただし、今回の被験筋以外を測定した場合、フォアハンドドライ

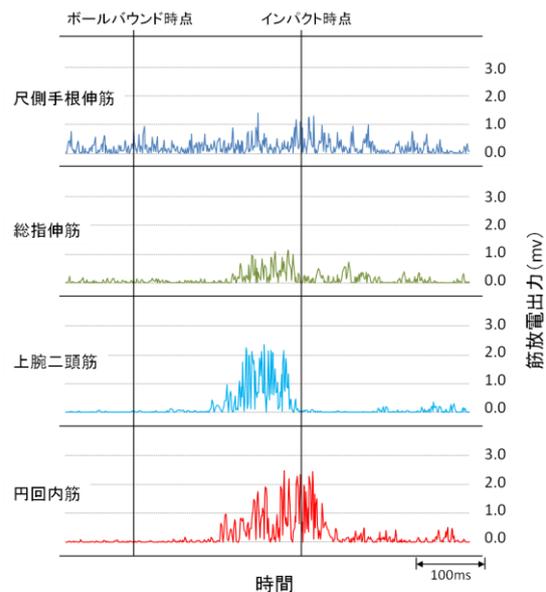


図 2-1 フォアハンドドライブ打法のレギュラーバウンド課題における筋放電（試技 dr01）

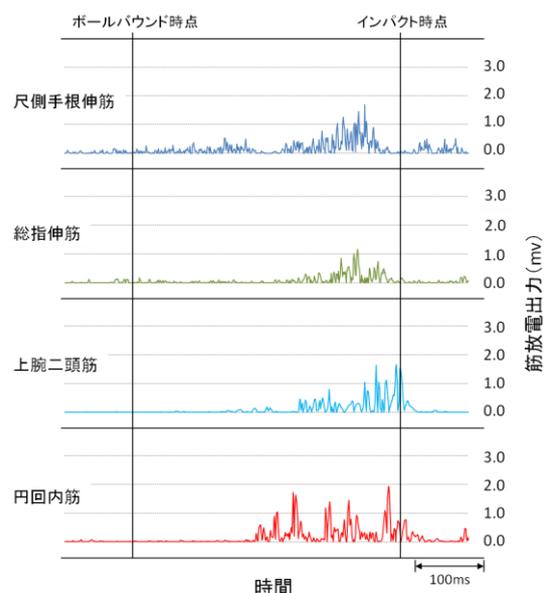


図 2-2 フォアハンドフリック打法のイレギュラーバウンド課題における筋放電（試技 di01）

ブ打法の開始に関与する上腕二頭筋以外の筋において、生理学的にみた動作修正が、さらに早い時点で観察されることもあり得ると思われた。

4.2 フォアハンドフリック打法における瞬時の動作修正

イレギュラーバウンドに対応したフォアハンドフリック打法における動作修正には、(1)スイングの方向を変更する、(2)肘関節の屈曲・伸展により、ラケットの左右位置を変更する、(3)手関節周りのスイングを減速し、前腕の回内・回外によりラケット面の向きを変更する、(4)膝の屈曲・伸展などによりラケットの上下位置を変更する、などが単独で、あるいは、いくつか同時に観察された。

図3には、既存のデータの中から1名の被験者について、フォアハンドフリック打法におけるラケット先端速度を示した。なお、この被験者は、実験時の年齢が24歳、競技年数が16.5年、主な競技成績が、全国高等学校選手権大会シングルス5位(1999年)、全日本大学対抗卓球選手権大会3位メンバー(2002年)、ラケットの握りがシェイクハンドタイプであった。図中のイレギュラーバウンド課題の試技に関する被験者の内観は、試技fi01では「自領コートでのバウンド時に急にボールが転がったので驚いた。ラケットの動きを修正したが、ボールの弾みが低すぎて十分にはできなかった」、試技fi02では「ボールの弾みが通常と比べ少し低かったので、ラケット打球面の下部で打球した」であった。図に示した3回の試技における自領コートでのボールバウンドからインパクトまでの時間は、試技fr01が194ms、試技fi01が184ms、試技fi02が184msであった。これらの試技では、先述したフォアハンドドライブ打法によるイレギュラーバウンド対応時のように、インパクト時点を遅らせてはいなかった。ラケット先端の速度については、「ラケットの動きを瞬時に修正した」と被験者自身が指摘している試技fi01において、それ以外の2回の試技と比べ、自領コートでのボールバウンドの約110ms後から値が小さくなっていた。このように、フォアハンドフリック打法では、イレギュラーバウンド発生時の約110ms後に、ラケット先端の速度に動作修正がみられることがあると考えられた。

筋放電については、図3に示した3回の試技間の比較から、試技fi01の瞬時の動作修正に関連すると考えられる変化を明らかとするには至らなかった。その原因として、これらのデータが得られた実験の被験筋が、ラケット面のコントロールに関与する尺側手根伸筋、総指伸筋、短橈側手根伸筋および円回内筋であり、フォアハンドフリック打法のフォワードスイングの加速・減速に関与する筋

が測定対象でなかったためと推察された。フォアハンドフリック打法における生理学的にみた瞬時の動作修正に関する検討は、今後の課題とされた。

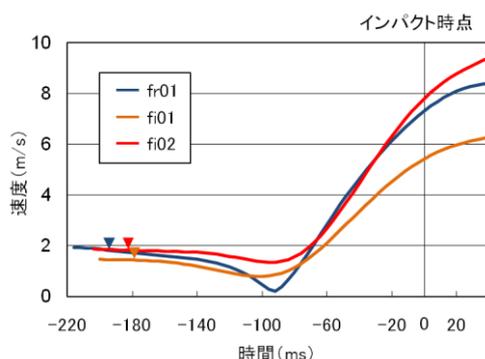


図3 フォアハンドフリック打法におけるラケット先端の速度

図中の「▼」は被験者コートでのボールバウンド時点を示す。時間軸はインパクト時点を0とした。fr01はレギュラーバウンド課題の試技、fi01とfi02はイレギュラーバウンド課題の試技を示す。fi01は空振りであったため、ボールとラケットが最も近づいた時点をインパクト時点とした。

4.3 スイングの大きさと、瞬時の修正動作の力学的特性との関係

フォアハンドドライブ打法とフォアハンドフリック打法では、スイングの回転半径の大きさが異なる。そのため、2つの打法間で、スイングの慣性モーメントの大小も異なることになる。

フォアハンドドライブ打法では、イレギュラーバウンドに対する動作修正の際、大幅にインパクト時点を遅らせることが、フォアハンドフリック打法と比べて多くみられた。これについては、慣性モーメントの大きなフォアハンドドライブ打法において、スイングの瞬時の軌道変更が難しいことと関連していると考えられた。

瞬時の修正動作については、フォアハンドのドライブ打法とフリック打法のいずれにおいても、イレギュラーバウンドによりボールの弾みが低くなり短時間にスイングの軌道変更が必要となった場合などには、遂行中のスイングの慣性モーメントを小さくするものが多かった。それは例えば、フォアハンドドライブ打法であれば肩関節周りの回転を、フォアハンドフリック打法であれば手関節周りの回転を、前腕の長軸周りの回転(回内運動)にするものなどであった。

4.4 今後の展望

今回の研究では、卓球のフォアハンドドライブ打法とフォアハンドフリック打法において、ラケットの動きや筋放電から、イレギ

ュラーバウンドに対応した素早い動作制御が行なわれていることが明らかとされた。

そうした動作制御の様々な場面の映像や被験者の内観から、卓球選手は、イレギュラーバウンドを知覚した時点からインパクトまでの時間を見積り、修正動作を瞬時に選択すると共に、インパクトまでの間に時々刻々入力される視覚情報などにより、その動作にさらなる修正を加えていると推察された。

本研究による成果は、スポーツ選手の素早い動作制御に関する検討において、動作の力学的特性に着目することの重要性を示唆するものであった。

今後、卓球における瞬時の動作修正について、その習得過程を明らかとするために、初級レベルの選手の動作の縦断的变化を実験的に検討していきたい。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

- ①吉田和人, 杉山康司, 卓球のフォアハンドドライブ打法における打球直前の動作修正, 日本スポーツ方法学会第21回大会, 2010年3月21日, 早稲田大学
- ②吉田和人, 杉山康司, 村越真, 卓球における打球直前の動作修正に関する実験的検討, 日本体育学会第58回大会, 2007年9月7日, 神戸大学

〔図書〕(計1件)

- ①吉田和人, 大修館書店, 卓球指導教本, 印刷中(共著)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 和人 (YOSHIDA KAZUTO)
静岡大学・教育学部・教授
研究者番号: 80191576

(2) 研究分担者

杉山 康司 (SUGIYAMA KOJI)
静岡大学・教育学部・准教授
研究者番号: 10206443
村越 真 (MURAKOSHI SHIN)
静岡大学・教育学部・教授
研究者番号: 30210032

(3) 連携研究者

なし