

卓球フォアハンドフリック打法によるレシーブ時インパクト直前 15msec における前腕部骨格筋 EMG からみたラケットコントロール

Racket Controls and EMG Responses in the Upper Limbs for 15msec Just Before Impact during Forehand
Flick Stroke Receive in Table Tennis Players

杉山康司・吉田和人・村越 真

Koji SUGIYAMA · Kazuto YOSHIDA · Shin MURAKOSHI

（平成 17 年 9 月 30 日受理）

要約

本研究は上肢骨格筋 EMG から卓球のフォアハンドフリック打法によるレシーブ時のラケットコントロールについて検討するため、二つの実験をデザインした。実験 1 (Exp1) として、下回転および無回転サーブをレシーブする際の上肢骨格筋におけるインパクト直前の放電量を比較検討した。また、実験 (Exp2) として、レシーバーコートに砂をまき、サーブのバウンドを変化させた場合の動作修正時にみられる筋放電量の変化から、レシーバーの認知情報の修正メカニズムについて検討した。被験者は某大学体育会系卓球部に所属する男子選手 2 名（被験者 A および B）とした。彼らの内 1 名はユニバーシアード (2001) に参加するなど日本国内においてエリート選手として活躍する一人であった（被験者 A）。両実験とも卓球熟練者から供給されたサーブを相手コートの指定場所にフォアハンドフリック打法でレシーブした。Exp1 では被験者にサーブの球種を事前に伝えた。また、サーブの球種は下回転および無回転の 2 種類とした。Exp2 の条件は下回転、無回転サーブのどちらかとし（被験者には知らせない）、レシーバーコートに砂をまき、バウンド時にボールがイレギュラーバウンドする条件を設定した。フォアハンドフリック打法におけるレシーブ時のラケットコントロールの特徴をみるため、利き手前腕および上腕部における 5 種の骨格筋部の表面筋電図を記録した。その結果、被験者 A および B ともに尺側手根伸筋に球種の差がみられた (Exp1)。しかし、A が下回転時において有意に大きい放電 ($p < 0.05$) を示したのに対し、B は無回転時に有意に大きな放電 ($p < 0.05$) を示した。さらに、B はいずれの回転においても短橈側手根伸筋の放電が顕著であった。シェイクハンドラケットを使用する選手のフォアハンドフリック打法のレシーブ時においてはサーブの回転への対応として、尺側部の伸筋群が重要に働いていることが示唆された。そして、同じ打法においても選手によって骨格筋制御が異なることが示唆された。一方、イレギュラーバウンドに対する動作修正では、両被験者とも尺側手根伸筋における放電量が低下する傾向がみられた (Exp2)。また、被験者 B においてバウンド後の球種がほとんど変化しなかった場合の放電量も小さくなる傾向を示した。これらの結果は、バウンドが変化するという事前情報により卓球選手はレシーバーコートでのバウンド前後において一度主要な筋の緊張を解き、イレギュラーバウンドに対応しようとしているのではないかと推察された。今後はこの点を検討する必要がある。

キーワード

尺側手根伸筋、EMG、卓球、フォアハンドフリック打法

1. はじめに

卓球では、ネット際の相手打球に対する返球技術としてフリックとストップが代表的である。これらは競技成績と密接に関連する極めて重要な技術と考えられている⁹⁾。そのうち、ネット際のボールを手首中心に軽く払うように打つフリック打法はレシーバーコートでのボールバウンド直後に上腕の筋を調節しながら打球する打法と考えられている。この打法は他の打法に比べ、動作範囲が小さく、動作時間が短いという特徴がある^{2,10)}。

卓球の熟練者はフリック打法を用いたレシーブにおいてサービスの球種（上回転、下回転、無回転サービスなど）に対応し、打ち方を変えていると推察される。しかし、前腕の各筋がラケット面のコントロールに関連しているかどうかについて十分な知見は得られていない。前腕部における各筋肉が球種に対するラケットコントロールにどのような関わりを持っているかを明らかにすることはレシーバーコートでのバウンド直後からインパクトまでの間に行う動作修正についてのメカニズムを知るために重要な手がかりとなる。我々はこれまで、レシーバーコートでのボールバウンド直後からインパクトまでの間に行う動作修正にはインパクト直前の尺側手根伸筋の放電量に影響が生ずるのではないかという見解を得るところまで研究を進めてきている^{7,9,11)}。

一方、卓球の場合はレシーバーコート上でバウンドした後、プレーヤーがそれ以前に予測していた球種と異なる場合には急激な動作修正が要求されることとなる。先行研究⁷⁾によると、動作修正の必要性を認知してから実際にラケット面をコントロールするために必要な時間の限界が100msec程度と考えられる。また、葛西³⁾によると、球種が異なる場合、インパクト直前30msecからインパクト直後にレシーバーのラケット面および動作が異なることを明らかにしている。球種によるラケット面コントロールがインパクト直前30msec以降に行われているならば、レシーバーコート上でボールバウンドからインパクトまでの約200msec間に十分な随意的修正が可能ではないかと推察される⁹⁾。このような場合、インパクト直前の極めて短い時間であれば、筋の放電量には明らかな差が認められる可能性も指摘される⁸⁾。

そこで、本研究はエリート卓球選手に加え、卓球熟練者1名のラケットコントロールについてもEMGから解析し、2種類の実験条件における卓球選手のフリック打法の動作修正時にみられる筋放電量から内観的予測動作について検討することを目的とした。このことを検討するため、実験1 (Exp1) では予め回転が決められたサービス（下回転および無回転サービス）をレシーブする際の上肢骨格筋EMGを測定した。実験2 (Exp2) ではレシーバーコート上でイレギュラーバウンドを発生させ、その時にみられる動作修正時の筋放電量を測定した。

2. 実験方法

1) 被験者：某大学体育会系卓球部に所属する男子選手2名を被験者とした。被験者1名（被験者A）はユニバーシアード（2001）に参加するなど日本国内においてエリート選手として活躍する一人であった（165.0 cm、59.0kg）。また、他の1名（被験者B）は学生レベルとしては比較的上位の成績を持つ熟練者であった（166.0 cm、63.0kg）。2名はいずれもシェイクハンドグリップの選手であった。なお、実験に際し、本研究の目的および安全性について本人に十分説明した後、実験参加の承諾を得た。

2) **実験手順**：被験者に電極を装着し、卓球台のレシーブ位置に立たせた。サーバーは験者の合図で相手コート決められたポイントに指定された球種でバウンドするよう、正確にサービスをした。供給されたサーブを被験者は相手コートの指定場所にフォアハンドフリック打法でレシーブした。Exp1として、サービスの球種は下回転および無回転の2種類であり、レシーバーとなる被験者は事前に球種を知らされていた。また、各試技を20回程度実施し、そのうちサービスおよびレシーブが正確に行われた試技の測定データのみを採用した。次の日にExp2として、レシーバーコートのボールバウンド位置付近に砂をまき、バウンドがイレギュラーする条件を設定した。被験者は球種に関わらず、レシーバーコートにおけるバウンド後のイレギュラーに対する動作修正が要求された。Exp2においては動作修正が行え、返球できた場合、イレギュラーしたが動作修正の必要がなかった場合および修正できなかった場合に分けてそれぞれの内観を記録した。また、Exp2の最後にイレギュラーしない条件での下回転サービスのフリック打法を数回実施した。したがって、本研究では動作修正ができた場合とイレギュラーしたが動作修正の必要性がなかった場合およびイレギュラーバウンドが起きない場合（砂をまかない条件）について放電量を分析した。

3) **測定項目**：本研究はフォアハンドフリック打法におけるレシーブ時直前のラケットコントロール特性をみるため、利き手前腕および上腕部における5種の骨格筋部の表面筋電図と手首の外内転、屈曲伸展および肘関節の屈曲伸展角度変化を記録した。表面筋電図記録と同時にレシーブ時のボールインパクトを記録し、インパクト前後における筋放電量の違いが見られるようにした。また、各試技の動作をビデオ撮影し、サービスとレシーブが条件通りであったかどうかについての判断をした。

① **筋電図** 本研究はフリック打法のラケットコントロールにおける特徴を検討するため、尺側手根伸筋 (M. extensor carpi ulnaris)、総指伸筋 (M. extensor digitorum)、短橈側手根伸筋 (M. extensor carpi radialis brevis)、橈側手根屈筋 (M. flexor carpi radialis)、円回内筋 (M. pronator teres) を被験筋とし⁵⁾、表面双極誘導法により筋放電を導出した。電極は直径 12mm の小型生体電極 (日本光電) を用い、電極間を約 20mm とし、消毒用アルコール綿および皮膚前処理剤 (スキンピュア-; 日本光電) で皮膚抵抗を十分落とした後、Zipp の方法¹²⁾ に従い、筋線維の走行と一致するように装着した。筋放電は時定数 0.03 に設定した生体用増幅器 (AB621G: 日本光電) を介し、Biopac100 (モンテシステム製) を用いてサンプリング周波数 1 kHz で A/D 変換され、パーソナルコンピュータ (iMac: Apple 社) にデータとして保存された。

② **ボールインパクト** サーバーのラケットおよびレシーバーのラケットに加速度計を装着し、ストレインアンプメータ (DSA605C: Shinkoh) を介し、筋放電およびゴニオメータと同じ A/D 変換システムで各パラメータとともに測定した。

③ **ビデオカメラ撮影** 実験時における被験者の動作を側方からデジタルビデオカメラ (SONY: DCR-TRV10) で撮影し、後日、各試技のサービスおよびレシーブが正確に行われていたかどうかについて複数の卓球コーチにおいて確認した。

4) **データの分析および統計処理**：ボールインパクト時に記録された波形からボールインパクト直前 15 msec 間の各被験筋における積分値を求め、放電量とした。得られた値は対応のない平均値の差の検定 (Student の t テスト) を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。なお、Exp.2 については各現象がみられた試技回数が多くなかったことから有意差検定は行わなかった。

3. 結果および考察

フォアハンドフリック打法によるレシーブ動作中の放電パターンをみると尺側手根伸筋の放電が最も早く認められ、尺側の筋群が橈側に向けて徐々に放電を開始し、インパクト付近では橈側の筋群においても放電が顕著になることが報告されている⁹⁾。本研究でも先行研究と同じフォアハンドフリック打法で見られるパターンが観察された。先行研究では短橈側手根伸筋付近の放電パターンからサービスの球種に対するラケットコントロールに尺側部の筋肉が重要な働きを示している可能性を示している。本研究では、Exp1としてラケットコントロールに最も重要な働きがあると考えられる尺側部の伸筋群においてインパクト直前15msec間の放電量を測定し、ボールインパクト瞬間の筋制御を検討した。

Exp1で得られた被験者AおよびBの下回転ならびに無回転サービスにおけるインパクト直前15msec間の筋放電量(Exp1)を図1(被験者A)および図2(被験者B)にそれぞれ示した。被験者Aの結果をみると、インパクト直前は尺側手根伸筋に顕著な放電があり、その放電量は下回転の方が有意に高い値を示した(下回転: 122.1 ± 42.1 、無回転: $87.1 \pm 36.3 \mu\text{V}$, $p < 0.05$)。他の被験筋において有意差は認められなかった。一方、Bの結果は被験者Aと同様に有意差が認められたのは尺側手根伸筋であったが、無回転の方が高値であった(下回転: 45.6 ± 11.0 、無回転: $71.1 \pm 31.6 \mu\text{V}$, $p < 0.05$)。

Sakurai and Ohtsuki(2000)⁶⁾はバドミントン熟練者のスマッシュストローク時における前腕のEMGパターンはインパクトに近い時間帯(約40msec)に橈側手根伸筋の筋放電がピーク値となることを報告している。この研究と同様、我々の研究¹¹⁾においても、卓球のレシーブ時の筋放電はレシーバーコートにバウンドしてからインパクトまでの間(約200msec)において尺側伸筋群および橈側屈筋群の放電が大きくなっていた。このことから、レシーブの成功に直接影響するラケット

コントロールもまた非常に短い時間で行われていると考えてきた¹¹⁾。本研究ではこのことに着目し、インパクト前15msec間という非常に短い時間においてこの瞬間的なラケットコントロールに違いが見られるのかどうかをみた。その結果、球種による筋放電量の差が認められ、選手によって筋放電量の関係が異なっていることが分かった。球種による放電量の差はインパクト直前におけるラケット面のコント

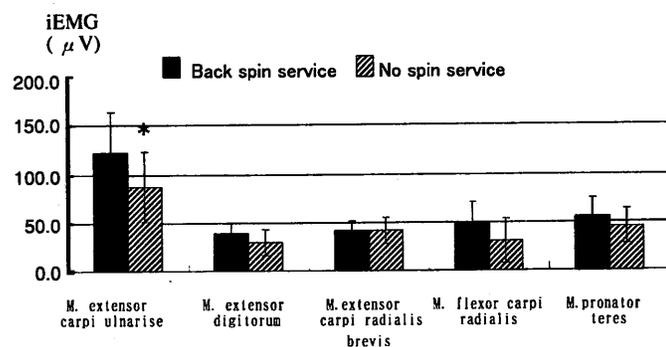


Fig. 1 iEMG of Subject A for 15msec immediately impact in Expl. * indicates significant difference, $p < 0.05$, between Back spin and No spin services.

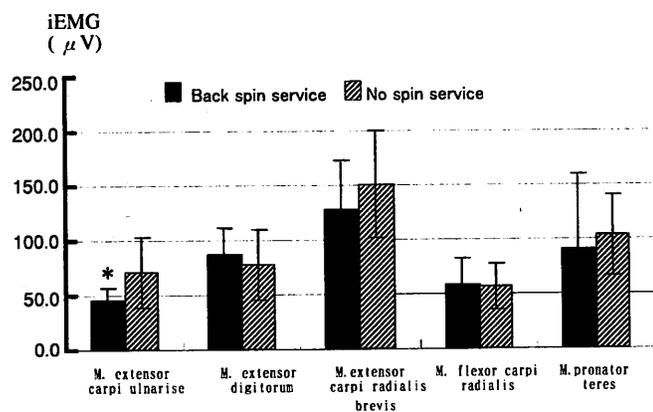


Fig. 2 iEMG of Subject B for 15msec immediately impact in Expl. * indicates significant difference, $p < 0.05$, between Back spin and No spin services.

ロールを決定させる筋として尺側手根伸筋が極めて重要であることを示唆している。また、先行研究¹⁰⁾には5名の熟練者が下回転サービスおよび無回転サービスをレシーブした場合のレシーバーコートバウンド後、インパクトまでの時間が一様ではなかったという報告がある。これはサービスの球種、球速あるいはコースを見極めてからレシーブするまでの時間やラケット面の使い方などが選手によって異なっている可能性があり、インパクト直前での尺側手根伸筋の放電にはさまざまな要因が影響を及ぼしているのではないかと考えられる。本研究で得られた筋放電の違いについては返球のタイミング、ラケット面の変化および手首の関節角度変化などを手がかりに技術的な解析を検討したい。

一方、サービスのバウンドが変化する条件 (Exp2) において得られた放電量を図3 (被験者A) および図4 (被験者B) に示した。両被験者とも、イレギュラーした場合の動作と、通常のフリック動作とを比較した。被験者Bにおいてのみイレギュラーする条件でもほとんどバウンドが変化しなかったケースがあり、その場合のデータを別の動作として比較した。その結果、イレギュラーバウンドに対する動作修正では両被験者とも尺側手根伸筋における放電量が低下する傾向がみられた。他の被験筋でも放電量の増減傾向がみられたが、フリック打法において尺側手根伸筋は動作の起点となる骨格筋であり、Exp1において球種による放電変化がみられたことから、この筋の変化について検討することが必要であろう。卓球のフリック打法を動作分析した我々の研究では事前に球種を伝えた場合にはラケット面はレシーバーコートでボールがバウンドする直前くらいから対応する動きが見られるのに対し、サービス回転を判別しなければならない場合にはラケット面の角度軌跡はスムーズな線を描くことなく、打球タイミングがわずかに遅れて (0.05 秒)、インパクト直前にラケット面の向きを決定していることが分かっている⁹⁾。また、動作修正の必要性を認知してから実際にラケット面をコントロールするために必要な時間の限界が 100msec 程度と考えられている¹⁾ ことを勘案すると、動作と修正するための筋放電がインパクト直前で観察されているのではないと思われる。したがって、本研究の結果は被験者がバウンドした直後から動作を修正しなければならない場合、一時的に尺側手根伸筋の緊張を解き、バウンドした結果を見て意図的にラケット面の向

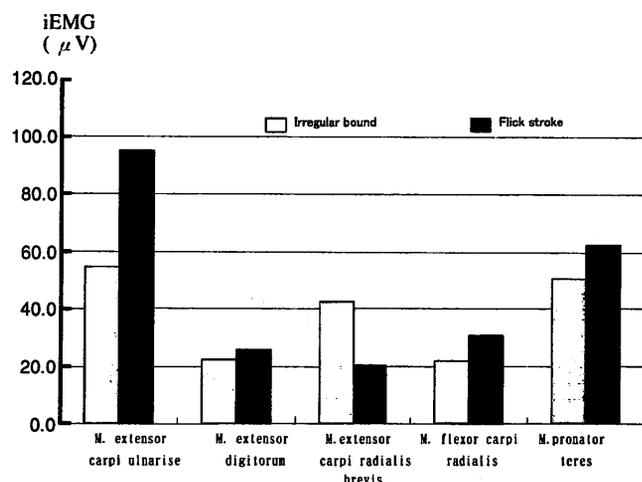


Fig. 3 iEMG of Subject A for 15msec immediately impact in Exp2.

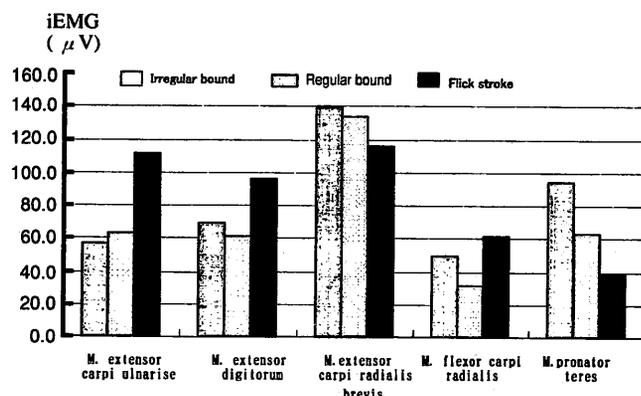


Fig. 4 iEMG of Subject B for 15msec immediately impact in Exp2.

きを修正しようとしたものと考えられる。

三田らの研究⁴⁾によると、運動肢主動筋に軽度の随意的収縮を加えた状態から急激に筋を収縮する動作を行うと、相同性放電に平行して一時的な筋放電の消失 (P.S.P.) が観察されることが分かっている。この消失はすばやい随意的動作によるところが大きいと考えられており、上位中枢に起因する要因と、肘関節角といった末梢性の要因との両面から影響を受けている。卓球エリート選手の放電パターンを観察した我々の研究ではバウンドがイレギュラーするケースにおいてこの P.S.P. 現象が認められることから、ラケット面を短時間で修正しようとする場合にはこのような神経制御のメカニズムが関わった結果、尺側手根伸筋の放電量の減少がみられたのではないかと考えられる。この現象から、インパクト前のラケット面の向きを制御する筋の放電量が減少するということはサービス回転を判別しなければならない場合で、サービス判断を迷っている場合や、サービス判断の誤りを修正する場合に選手が意識的にラケット制御を行おうとしていることを示しているのかもしれない。しかしながら、被験者 B はイレギュラーバウンド後、ほとんど球種が変化しなかった場合でも放電量が小さくなる傾向を示した。この結果は、レシーバーコートでバウンドが変化するという事前情報が与えられていたことにより、サービスの球種を見極めるのではなく、バウンド後に対応するための準備が常にできていた可能性を示している。卓球選手が、レシーバーコート上でのバウンド後にラケット面向きを修正しなければならない場合の放電パターンについては今後も実験条件などを工夫し、観察する必要がある。

結論

サービスをフォアハンドフリック打法で返球する場合にはインパクト直前の尺側手根伸筋の放電量が球種により変化することがわかった。しかし、同じフリック打法であってもその変化は個人的に大きな違いがあると考えられた。また、Exp2 におけるイレギュラーバウンド後の尺側手根伸筋の放電量は減少する傾向を示し、卓球選手が極めて短時間にラケット面の向きを修正していることが示唆された。

引用文献

- 1) Bootsma, R. J. and P. C. W. van Wieringen: Timing an attacking forehand drive in table tennis. *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 16:21-29, 1990
- 2) 葛西順一, 飯野要一, 小嶋武次: 卓球競技のバックハンドフリック打法の動作分析. 平成 10 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 NO. II 競技種目別競技力向上に関する研究 (22): 171-173, 1999
- 3) 葛西順一: 卓球競技の動作分析. *Jap. J. Sports Sci.* 9(8): 477-487, 1990
- 4) 三田勝巳, 青木 久, 矢部京之介: 随意動作に先行する silent period の出現条件の検討. *体力科学* 29:169-176, 1980
- 5) 越智淳三訳: 人体解剖図説 I 運動器, pp.144-169, 文光堂、東京、1979 (Kahle, W., H. Leonhardt, W. Platzer: *Taschenatlas der Anatomie, Band 16 Bewegungsapparat*, George Thieme Verlag, Stuttgart, 1995)
- 6) Sakurai, S. and T. Ohtsuki: Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *J. Sports Sciences* 18: 901-914, 2000
- 7) 杉山康司, 吉田和人, 村越 真: 卓球選手におけるフォアハンドフリックおよびストップ打法レ

シーブ時の EMG からみたラケットコントロール特性. 静岡大学教育学部研究報告、自然科学篇、第 52 号: 1-6, 2002

- 8) SUGIYAMA, K., K. YOSHIDA and S. MURAKOSHI: EMG in skeletal forearm muscles of a highly trained table tennis player during forehand flick stroke receive in response to an irregularly bounced serve, 2002 Busan Asia Sports Congress, ProceedingsII, pp1347-1351, 2002
- 9) 吉田和人、村越真、杉山康司、河合学、峯村昭三: 卓球フリック打法の動作解析～回転の異なるボールに対するラケットの動きの違いについて～. 身体運動のバイオメカニクス 318-323, 1997
- 10) 吉田和人、飯本雄二、蛭田秀一、安藤真太郎、竹内敏子、油座信男: 卓球一流選手の台上処理技術の時間的特性. 平成 10 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 NO. II、競技種目別競技力向上に関する研究 (22): 174-175, 1998
- 11) Yoshida, K., K. Sugiyama, and S. Murakoshi: The technique used to receive a rotating ball in table tennis. Science and Racket Sports III, Routledge, pp.116-120, 2004
- 12) Zipp, P.: Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. Eur. J. Appl. Physiol. 50: 41-54, 1982

Racket Controls and EMG Responses in the Upper Limbs for 15msec Just Before Impact during Forehand Flick Stroke Receive in Table Tennis Players

Koji SUGIYAMA , Kazuto YOSHIDA and Shin MURAKOSHI

Faculty of Education, Shizuoka University

Abstract

The present study investigated EMG responses of upper limb skeletal muscles when receiving a back spin service or no spin service with a flick stroke in table tennis. Two trained and skilled male athletes (Subject A and B) from the table tennis team of the university participated in this study. One player, Subject A, was an elite player who participated in Universiade 2001. This study observed players under two experimental conditions. In one experiment (Exp.1), the subjects received a back spin and no spin service with a flick stroke. In the other experiment (Exp.2), they received services that make an irregular bound on the receiver's court. EMG recorded from five muscles of upper limb, 1) M. extensor carpi ulnaris, 2) M. extensor digitorum, 3) M. extensor carpi radialis brevis, 4) M. flexor carpi radialis, and 5) M. pronator teres. The iEMG was calculated for 15msec just before impact. It was observed that the iEMG of M. extensor carpi ulnaris was significantly changed in both subjects. However, The mean value for Subject A in the back spin services was significantly higher than that in a no spin service ($p < 0.05$). On the contrary, the mean value for Subject B in a back spin service was lower than in a no spin service ($p < 0.05$). It is suggested that using M. extensor carpi ulnaris in Forehand Flick Stroke was very important when receiving a back spin service or no spin service. In Exp.2 the iEMG of M. extensor carpi ulnaris in both subjects were decreased by irregular bounds. It is suggested that table tennis players could change racket control between bounds on the receiver's court and impact during the flick stroke.

Key word

M. extensor carpi ulnaris, EMG, table tennis, forehand flick stroke receive