

卓球におけるフォアハンド技術の筋電図的研究

岡 秀 郎* 生 田 章** 西 羅 彰 夫***

(平成11年9月20日受理)

I 緒 言

現代の卓球競技は、科学技術の進歩とともに用具が発達し、それと前後して打球のスピードが要求されるようになってきている。中でも、スマッシュ打法は、どの戦型においても決定打とも言えるべきもので、選手にとって最もスピードが要求され、且つ、最も得点力の高い技術である。

スマッシュ打法に関する研究には、スマッシュ技術の際の肘関節の固定化と正確性との関係を扱ったもの^{4,5,6)}、動作分析から「力のタメ」を扱ったもの^{3,6)}、腰の捻りを扱ったもの^{3,6)}、フリーハンドの使い方を扱ったもの^{6,7)}、スマッシュ打法とドライブ打法との動作の差異を扱ったもの⁶⁾、フォアハンドスマッシュ打法の球速の測定を行ったもの^{3,17)}、また、戦型別の動作分析を行ったもの¹⁶⁾や、トッププレイヤーの全身反応時間やプレー領域を測定したもの⁸⁾等があるが、いずれも動作分析を中心としたものである。身体運動は、神経系の制御の下、筋系と骨格系によって実行されており、運動発現は、筋の活動の強さと働き合いの様態、筋の起始・停止する骨の空間的配置等によりその内容が決定される。それ故、身体運動を直接支配している骨格筋の活動様式の面からの検討も必要となる。しかしながら、スマッシュ打法を筋の作用機序の面から検討した報告は著者らの猟書した範囲では見当たらない。

そこで今回、強力なフォアハンドスマッシュを最大の武器とし、1979年にシングルスで世界チャンピオンになった小野誠治選手を熟練者として、卓球におけるフォアハンドスマッシュの技術的特徴を動作ならびに筋の作用機序の面から検討した。

II 方 法

被験者は熟練者として、前述のごとく、元世界卓球選手権(1979年、於平壤)シングルスチャンピオンで、現在もプレイヤーとして活躍している小野誠治選手(40歳)を選んだ。また、経験者として、元国民体育大会出場選手(38歳;以下、I.A.)、元卓球競技選手(40歳;以下

N.A.)、大学卓球部員(19歳;以下、K.S.)、高校卓球部員(17歳;以下、Y.S.)の、それぞれ習熟度の異なった5年以上の卓球競技歴を有する男子4名を選んだ。

上記被験者に対して、卓球マシン(ヤマト卓球社製コントロールパートナーCPX-1)より配球されたボールを全力でフォアハンドスマッシュを行わせ、この間の、多用途万能型脳波計による筋電図記録、打球時の衝撃音によるボールインパクト(以下、インパクト)時の記録、電気角度計による肘関節の角度変化の記録、ビデオカメラによる動作映像記録を行った。以下、動作方法並びに記録方法について記述する。

1. 動作方法

卓球マシンを被験者の対角線上に、卓球台のエンドラインから約30cm離れた位置に設置し、配球時のボールのバウンド位置が台の中央辺り、頂点が約40cmの高さになるように調節した。この状態で、卓球マシンからの配球間隔を1球だけのロビング打ち、被験者が打球しやすい間隔およびピッチ30(45回/分)、60(82回/分)、82.5(100回/分)の間隔で配球し、10球連続スマッシュを全力で行わせた。

また、後述する集音マイクを打球点から約60cm離れた位置に設置し、インパクト時の瞬間を記録した。

2. 記録方法

1) 筋電図記録

筋電図記録は上肢の基本動作に関する解析結果^{9,11,12,13,14,15)}および打球動作の解析結果^{10,20)}から打球側の肘関節・肩関節筋群の中より上腕二頭筋長頭、上腕三頭筋外側頭、上腕三頭筋長頭、大胸筋鎖骨部、三角筋前部、三角筋後部の6筋、フリーハンド側の肩関節群の中より三角筋前部、三角筋後部の2筋の計8筋を被験筋とした。尚、著者らの皮膚表面誘導法による干渉波形としての筋電図解析結果^{2,4)}から、手関節筋群の筋活動様式とコントロール等の技術的特徴との詳細な関係について、言明する事は困難であった。また、今回の実験ではスイングスピードに対する筋電図の解析を主眼としたため、手関節筋群からの筋電図記録は除外した。

*兵庫教育大学生活・健康系教育講座

**神戸市立鈴蘭台中学校

***篠山市立篠山小学校

筋電図は、14素子多用途万能型脳波計（三栄測機製1 A12-14型）を用い、直径6 mm皿状円盤電極を筋巾の中央部付近に筋走行に平行に約3 cmの間隔で貼付し、皮膚表面双極誘導法により記録した。同時に、14チャンネルデータレコーダー（TEAC製 RX-510）を用い、19 cm/sec.のテープ走行速度で筋活動電位変化を脳波計からの電位変化として記録した。

2) フォームの記録

フォアハンドスマッシュ実施時の上肢は、肩関節を運動支点として三次元動作を行っている。また、筋放電様相の解析時、動作を連続した静止画像として観察する必要がある。そのような観点から、電子シャッター付きビデオカメラを被験者の頭上（ソニー製 VX1）と、正面（ナショナル製 NV-M90）とに設置し、それぞれ1/500sec.のシャッタースピードで撮影した。この際、二台のビデオカメラからのビデオ画像をビデオ効果特殊装置（ソニー製 XV-10000）により合成し、ビデオ映像パルス発生装置（オステック製 VS-01）を用い、合成ビデオ画像のフィールド毎の数値と動作をスーパーインポーズさせ、ビデオレコーダーに録画すると同時に、フィールド毎の電位変化を筋電図記録紙上およびデータレコーダーのテープ上にシグナルパルスとして筋電図と同時記録した。

3) 肘関節動作の記録

フォアハンドスマッシュ実施中の肘関節の動きを連続して観察するため、肘関節の尺骨側に電気角度計を貼付し、スマッシュ時の肘関節の屈曲・伸展動作の電位変化を、筋電図記録紙上及びデータレコーダーのテープ上に上記電位変化と同時記録した。

4) インパクト時の記録

フォアハンドスマッシュ動作時の筋活動様式を検討するためには、動作様式に加えてバックワードスイング・フォワードスイング・インパクト・フォロースルーの一連の動作の中でのインパクトの瞬間を正確に捉える必要がある。これまでの卓球に関する動作的な報告の中でも、電気回路を利用した種々の工夫がなされている^{3,4,5,6)}。しかしながら、いずれの場合もボール側に工夫を凝らした静止した球によるものであった。これは、卓球が小さい軽量のボールを扱い、その上、微妙な回転が加わるため、グリップの形状等にも個々に独特のものがあ、フォアハンド技術の発揮には各被験者に合致したラケット・ラバーの使用が要求されることによるものと考えられる。そのため、個々の選手のラケットに対する記録装置の付加は適していない。

今回の実験では、できるだけ実際の動作に近い状態を

再現し、且つ、配球の較差を少なくするため、卓球マシンの使用を前提としているので、後述するような工夫によりインパクトの瞬間を記録した。

インパクトの瞬間を従来の電気回路によるものではなく、インパクト時の衝撃音を電気信号に変換し、電位変化として記録した。言うまでもなく、音波は電気信号に比し、追従性には劣るが音源と集音部が近接していれば、測定による誤差は僅かで、十分インパクトの瞬間を捉えることができると考えられる。そこで実験誤差を検討するため、ラケットの裏面にストレインゲージ（共和電業社製 KFC-5-C1-11L500）を貼付し、ストレインゲージからの電位変化と衝撃音からの電位変化の時間差を検討した。

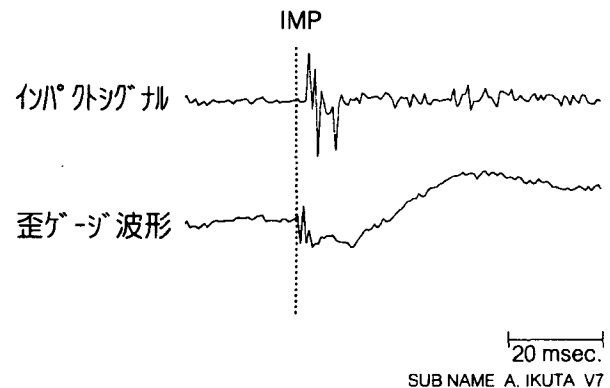


図1 ボールインパクト時の衝撃音とストレインゲージからの電位変化

図1は卓球マシンから配球された球を実験と同様の状態で、卓球経験者（元国体選手）が、全力でフォアハンドスマッシュを行った際のインパクト時の衝撃音からの電位変化（図中、上部曲線）と、ストレインゲージからの電位変化（図中、下部曲線）を示している。この際の音信号からの電位変化はストレインゲージからの電位変化に比し、1.25msec.の遅延が認められたが、今回の筋電図解析では十分使用に耐えるものと判断した。

III 結 果

フォアハンドスマッシュ時、ラケットハンド側の筋活動様式に関しては、各被験者間で、個体内差、個体間差は少なく、ほぼ類似した放電様相が観察された。しかしながら、フリーハンド側の放電様相に関しては、熟練者と経験者間で、差異が認められた。肘関節の動作様式においても、電気角度計からの変化曲線では、全被験者とも、フォワードスイング時、インパクト前まで伸展し、その後屈曲する過程でインパクトを迎えていたが、ビデオ画像から伸展・屈曲の度合いに関しては、熟練者と経験者間で、顕著な差異が認められた。尚、卓球マシンか

らの配球速度が増大し、ピッチ82.5 (100回/分) になった場合、また、ロビング打ちの場合でも、各被験者間の基本的な筋活動様式ならびに肘関節の動作様式に大きな差異は観察されなかった。そこで、熟練者ならびに経験者の筋活動様式、肘関節の動作様式について記述する。

図2は、熟練者の打球しやすい間隔で配球した時の代表例を示している。図中の点線は、それぞれ、2. バックワードスイング開始時、2. フォワードスイング開始時、3. インパクト、4. フォワードスイング終了時を示している。また、図の上部、pose1から4は、それぞれの局面に対応した動作を示している。(以下、図3, 4も同様)

まず、ラケットハンド側の筋活動様式についてみると、

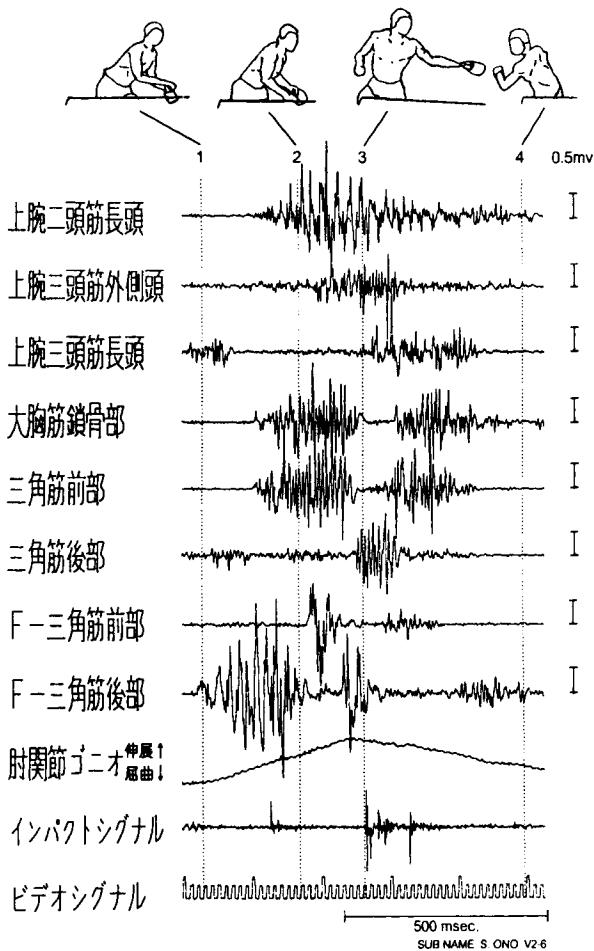


図2 熟練のフォアハンドスマッシュ時の筋電図と肘関節の角度変化曲線

1はバックワードスイング開始時、2はフォアスイング開始時、3はインパクト、4はフォワードスイング終了時を示している。また、図の上部、pose1から4は、それぞれの局面に対応した動作をしている。(以下、図3, 4も同様)

上腕二頭筋長頭はpose1のバックワードスイング後半より放電を開始し、pose2のフォワードスイング直前からpose3のインパクト直後にかけて顕著な放電の増大が認められた。上腕三頭筋外側頭はフォワードスイング開始後からインパクト及びフォワードスイング後半にかけて顕著な持続放電が出現し、インパクト前後、拮抗筋である上腕二頭筋長頭との同時放電が観察された。しかしながら、インパクト前、同じ肘関節伸展筋で肩関節伸展にも関与する上腕三頭筋長頭は同時期、顕著な放電の出現は認められず、インパクト直後からフォワードスイング後半にかけて放電の出現が認められた。肩関節の動きに関与する筋群では、大胸筋鎖骨部は上腕二頭筋長頭と同様、バックワードスイング後半より放電を開始し、インパクトにかけて顕著な放電の出現が認められた。しかしながら、この放電はインパクト直前に急激に減少・消失し、フォワードスイング後半時に再び出現した。三角筋前部の放電も大胸筋鎖骨部と同様の出現傾向が認められた。三角筋後部はインパクト直前、三角筋前部の放電の減少・消失に呼応して放電が出現し、再び三角筋前部の放電が出現する時点で急激に減少した。次に、フリーハンド側の筋活動様式についてみると、三角筋前部はフォワードスイングへの移行期中頃に顕著な放電の出現が観察された。三角筋後部はバックワードスイング開始時より顕著な放電の出現が観察されたが、三角筋前部の放電の出現に呼応して急激に減少・消失し、三角筋前部の放電が減少・消失する時点からインパクトにかけて顕著な放電の出現が認められた。

肘関節の動作様式に関して、電気角度計からの角度変化曲線は、フォワードスイングからインパクトの間に最大伸展位を示し、インパクトからフォワードスイング前半にかけて緩やかな屈曲傾向を示した。また、ビデオ画像から最大伸展時、肩関節・肘関節・手関節は、ほぼ一直線上に位置していた。

図3は、経験者の中で最も習熟度が高いI.A.の代表例を示している。経験者においても、ラケットハンド側の筋活動様式には、熟練者と類似した放電様相が認められた。すなわち、上腕二頭筋長頭においては、バックワードスイングの後半より放電を開始し、インパクトの直後にかけて顕著な放電の増大が観察された。上腕三頭筋外側頭も、フォワードスイングからインパクト及びフォワードスイング終了にかけて顕著な持続放電が出現し、上腕二頭筋長頭とのインパクト前後での同時放電が認められた。上腕三頭筋長頭は、インパクト直前からフォワードスイング後半にかけて、放電の出現が観察された。また、大胸筋鎖骨部は、バックワードスイングの終わりから、インパクト直前までの顕著な放電の出現とインパクト前後における放電の減少が認められた。三角筋前部も、バックワードスイング中頃から、インパクト前まで顕著な放

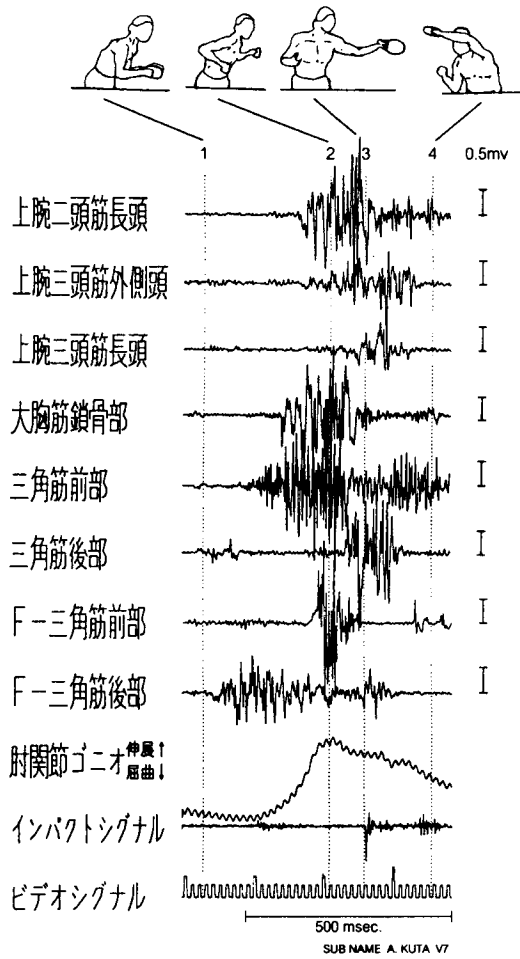


図3 経験者 (I.A.) のフォアハンドスマッシュ時の筋電図と肘関節の角度変化曲線

電の出現が認められ、インパクト直前から放電が急激に減少し、インパクト後再び顕著な放電の出現が認められた。三角筋後部は、インパクト前の三角筋前部の放電の減少に呼応して、放電の出現が認められ、再び三角筋前部の放電が顕著になる時期に放電の減少・消失が観察された。フリーハンド側の筋活動様式においては、前述の熟練者とは顕著な差異が観察された。すなわち、三角筋前部は、フォワードスイング開始直前からインパクト前まで顕著な放電の出現が観察されたが、熟練者に認められたインパクト直前における三角筋後部の顕著な放電の出現は殆ど認められず、インパクト直後に放電の出現が観察された。

肘関節の電気角度計は熟練者と類似した角度変化曲線を描いたが、ビデオ画像より、角度変化曲線の最大伸展時にも顕著に屈曲されているのが観察された。すなわち、熟練者がほぼ肘関節を伸ばした状態でインパクトを迎えていたのに対し、経験者の場合、肘関節を曲げた状態でインパクトを迎え、インパクト後も大きく屈曲している

のが観察された。この傾向は、他の経験者の場合も同様であった。

図4は、高校生Y.S.のものである。上腕二頭筋長頭はフォワードスイングからインパクトにかけて、上腕三頭筋外側頭との同時放電が観察されるが、インパクト後、O.S., I.A.に比し放電が急激に減少・消失していた。その他のラケットハンド側の筋群の放電様相は類似していた。しかしながら、インパクト直前・直後のフリーハンド側の三角筋後部の放電は殆ど観察されず、前述のO.S., I.A.の放電様相とは顕著な差異が認められた。

他の経験者においても、前述の如く、ラケットハンド側の放電様相は類似した出現傾向を示したが、大胸筋鎖骨部、三角筋前部のインパクト後の放電様相には差異が見られ、フォワードスイング後半に顕著な放電が出現しない場合が観察された。フリーハンド側の放電様相に関しては、三角筋後部の放電が、インパクト後に出現する場合が観察されたが、熟練者のようなインパクト直前の爆発的な放電は認められなかった。

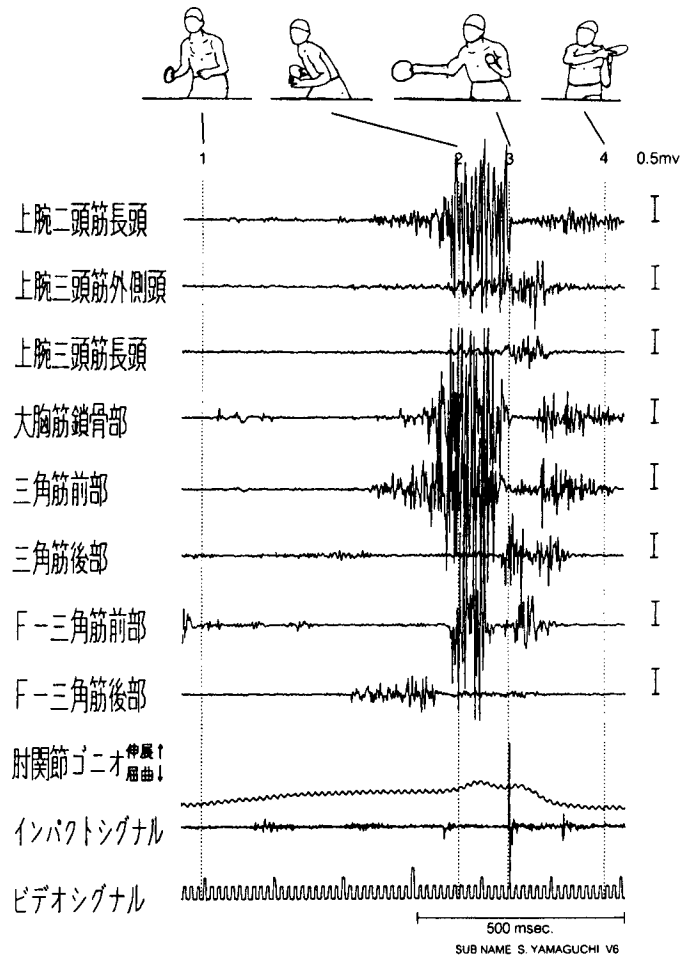


図4 経験者 (Y.S.) のフォアハンドスマッシュ時の筋電図と肘関節の角度変化曲線

IV 考 察

現代の卓球競技に要求される技術には、サービス・レシーブ及び、攻撃のためのスマッシュ打法、ドライブ打法等が挙げられる。サービスのスイングスピードや、レシーブをはじめ、返球するタイミングを早くすれば、相手に準備態勢を整える時間を与えず、より得点力を高められるが、それ以上に決定打となるのは、強力なスピードのあるスマッシュ打法である。スマッシュ打法は、ボールをラケット面に対して、フラットに当てる必要がある。その結果、ボールスピードも最大に発揮できる技術である。今回、熟練者として用いた小野誠治選手のように驚異的なスマッシュがあれば、それだけで相手に恐怖感を与えるものである。

スマッシュ打法によるスピードのある強力なボールを打つための力学的条件として、運動支点から、打球点となる作用点までの距離をできるだけ長くすること、及び、作用点の角速度をできるだけ大きくすること等が考えられる。これを実際の卓球のスマッシュ打法に当てはめると、スイング時、上肢の回転半径をできるだけ長くし、できるだけ速いスイングスピードでスマッシュ動作をすることである。しかしこの方法では、テニスのようにラケットに重量があり、ボールの衝撃も大きい場合、「テニス肘」と言われるような傷害¹⁹⁾が出兼ねない。しかしながら、卓球の場合は、ラケットも軽く、慣性モーメントも小さくなり、ボールの衝撃も少なく、肘にかかる負荷も少なくなるため、上述した如き力学的条件によるスイングが可能となる。今回用いた被験者は、いずれも卓球経験を有しており、これらの力学的条件を満たすべく、全力でフォアハンドスマッシュを実施していたものと考えられる。しかしながら、筋活動様式に関して、顕著な差異が認められた。これは、先ず、技術的差異に起因するものと考えられる。そこで、熟練者の放電様相を中心に卓球におけるスマッシュ技術とは何かについて考察する。

熟練者の場合、フォワードスイング開始から、インパクト後まで、上腕二頭筋長頭と上腕三頭筋外側頭との同時放電がみられた。これら上腕で相拮抗する拮抗筋群の同時放電は、スイングスピードに抗しての肘関節固定に関与しているものと考えられる。動作の面から、フォワードスイング時、上腕骨は屈曲方向への内転動作を行っている。そのため、前腕部の慣性モーメントに抗して、放電が出現したものと考えられる。しかしながら、上腕三頭筋外側頭と同様に肘関節伸展の分力を有している上腕三頭筋長頭には、インパクト時まで顕著な放電は観察されなかった。上腕三頭筋長頭は、肩関節と肘関節にまたがる二関節筋であり、肩関節伸展の分力を有している。それ故、より素早い肩関節屈曲動作を行うのに対して妨

げとなるため、放電が出現しなかったものと考えられ、上腕二頭筋長頭との相拮抗する二関節筋相互の拮抗筋抑制に起因するものと推察される^{11,13)}。肩関節筋群でも、各被験者間で類似した傾向が観察された。スマッシュ動作の際、上腕骨はできるだけ素早い内転動作が要求され、その中でも、インパクト時にはそれが最大に発揮されるべきものである。しかしながら、インパクト直前から肩関節内転動作の主働筋である大胸筋鎖骨部と三角筋前部に放電の急激な減少・消失が観察され、インパクト後に再び顕著な放電の出現が認められた。このインパクト後の放電の出現は、全被験者でピッチを速くした場合には観察されなかった。動作の面から、ピッチが速くなれば、インパクト後のアームスイング動作も、次の配球に対応すべくピッチに合わせて小さくなったことが原因と考えられる。いずれにせよ、放電の減少・消失の時期はインパクト前後であり、上述した如き力学的条件を考慮しても一番スイングスピードが要求される時期である。また、大胸筋鎖骨部と三角筋前部の放電が減少・消失している間、加えて、スイング動作とは逆の肩関節外転に関与する三角筋後部に顕著な放電の出現が認められている。

そこで、パフォーマンスとは相反するインパクト前後の肩関節筋群の放電様相を検討するため、以下の実験を行った。図5は、I.A.がスイングスピードを種々変化させて模擬的にフォアハンドスマッシュ動作を行った時の放電様相ならびに加速度計からの加速度曲線を示している。左の図(A)は、肩関節内転筋群に放電が出現する程度のスピードでのスイング、左から2番目の図(B)は、それよりスイングスピードを増した中程度のスイング、左から3番目の図(C)は強度のスイング、右の図(D)は全力でのスイング時を示している。図中下部の加速度曲線は、前額面に対しての水平位での横方向・前後方向の加速度変化を示しており、加速度曲線の増大は、スイングスピードの増大を示している。

図5のAで、持続放電を示していた三角筋前部・大胸筋鎖骨部は、スイングスピードの増大に伴って放電の減少・消失が観察されるようになった。また、三角筋後部の放電は、上記2筋の放電の減少・消失時に出現し、スイングスピードの増大に伴い、増大が認められた。これに加えて、上腕三頭筋長頭の放電も三角筋後部と同様の出現傾向が認められ、全力でのスイングでは、顕著な放電の出現が観察された。これらの放電は卓球競技の未経験者の場合でも同様の出現傾向を示した。

三角筋前部・大胸筋鎖骨部は、鎖骨と上腕骨に起始・停止しており、スイングスピードの増大に伴い、それぞれの腱は、より一層伸張される。そのため、ゴルジ腱器官も伸張され、Group I b線維を介しての抑制性入力と同筋に作用し、自動抑制的反応としての放電の減少・消失が現れたものと推察される。これに加えて、異名筋

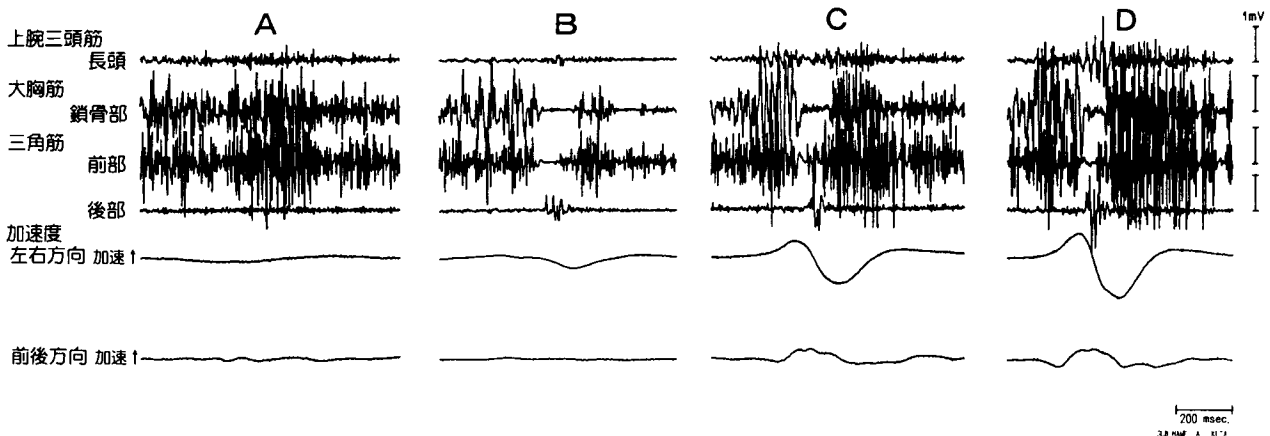


図5 経験者 (I.A) がスイングスピードを変化させて模擬的にフォアハンドスマッシュ動作を行った時の筋電図と加速度曲線

Aは、肩関節内転筋群に放電が出現する程度のスピードでのスイング、Bは、それよりスイングスピードを増した中程度のスイング、Cは強度のスイング、Dは全力でのスイング時を示している。

である三角筋後部・上腕三頭筋長頭は、スイングスピードの増大に伴い放電が出現した。これは、全力に近いスイングスピードでは、上肢に与えられた慣性モーメントに対して同名筋の抑制機構だけでは抗しきれず、筋紡錘反射によるGroup I a線維を介しての促通現象と考えられ、異名筋の収縮により、積極的にブレーキをかけているものと考えられる。上腕三頭筋長頭も、全力でのスイングでは三角筋後部と同様に放電の出現が認められた。これも三角筋後部と同様の現象によるものと推察されるが、中程度及び強度のスイングでは顕著な放電の出現は観察されていない。このことは、上腕骨の運動方向に対して、上腕三頭筋長頭の方が三角筋後部に比し、筋長が長く、筋紡錘の感受性に起因するものと考えられる。これらのことから、上記放電様相は卓球の技術に関係するものではなく、筋肉系、神経系の生理学的要因に起因するものと考えられる。

以上のように、フォワードスイング時に上記放電様相が出現した場合は、自動抑制的反応としてそれ以上のスイングスピードのパフォーマンスができないことを示唆しているものであり、熟練者を含め全被験者とも最大のスイングスピードでフォアハンドスマッシュを行っていることを示している。また、筋肉系、神経系の面から、抑制機構としての筋活動様式がI b抑制、I a促通の順に出現しているのは大変興味深く、今後、詳細な検討が必要とされることである。尚、I.Aの場合、図3では、大胸筋鎖骨部の放電の減少・消失後の出現、及び三角筋前部のインパクト時の顕著な放電の減少・消失は観察されなかったが、図5の模擬的動作では、顕著な放電の減少・消失が認められた。

フリーハンド側についてみると、熟練者をはじめ、全

被験者にフォワードスイング中頃、三角筋前部の顕著な放電の出現が認められた。三角筋前部は、上腕骨内転の分力を有しており、体幹軸の回転方向へは逆の作用となる。これは、吉澤ら²⁰⁾がテニスの筋電図で指摘しているように、ラケットハンド側の強い内転に対し、フリーハンド側の抱え込みを行ってスイング時のバランスをとるためのものであると考えられる。このような動作は、著者らのバレーボールの筋電図¹⁰⁾で、スパイクを右腕で行った際、左腕を下方から右斜め上方に抱え込むように挙げることによってバランスをとっているのと同様に、安定したプレーをするための動作であろう。

インパクト前後の三角筋後部の放電様相には、熟練者と経験者間で顕著な差異が観察された。すなわち、熟練者の場合、インパクト直前のラケットハンド側の大胸筋鎖骨部と三角筋前部の急激な放電の減少・消失に時相を一致させて、フリーハンド側の三角筋後部に顕著な放電の出現が観察された。前述のように、大胸筋鎖骨部と三角筋前部の放電の減少・消失時、ラケットハンド側の上肢は最大限のアームスイングを行っており、筋肉系、神経系の面から、これ以上のスイングスピードの増加は期待できない状態にある。そのため、より一層のスイングスピードの獲得のためには、他の身体部位の動作への参画が望まれる。

著者らの野球の投球動作時の筋電図的研究¹²⁾では、プロ野球選手の場合、投球動作の離球時、投げ手とは反対側の三角筋後部に顕著な放電の出現が認められたが、他の野球選手の場合、放電の出現は観察されなかった。プロ野球選手の場合、投げ手とは反対側の肩関節の引き動作による躯幹のひねり動作を有効に利用して投球動作を行っており、この時期の三角筋後部の放電こそが、

技術的特徴であることを指摘している。また、著者らのヒトの腕渡り動作における喉頭動態と筋活動様式¹⁾においては、腕渡り中、一流体操選手の左側中節部懸垂スイング時に、右側すなわちフリーハンド側の三角筋前部・大胸筋胸部部に顕著な放電が出現している。これは、片側中節部懸垂スイング時の前半、反対側の上肢の内転動作、すなわち振り込み動作を有効に利用して、身体の長軸方向の回転のための運動エネルギーを得ており、打球動作¹²⁾の場合と同様、技術的特徴に起因するものと考えられる。

フォアハンドスマッシュでのインパクト時、熟練者のみに観察されたフリーハンド側の三角筋後部の放電は、筋の作用機序の面から肩関節外転に作用しており、この時期、プロ野球選手¹²⁾の場合と同様、上腕骨の引き動作を行っているものと考えられる。すなわち、ラケットハンド側の上腕骨内転筋群の休止期、よりスイングスピードを増すため、フリーハンド側の上腕骨の引き動作による躯幹の捻り動作を有効に利用して、よりスピードのあるスマッシュ動作を行っており、野球・体操の熟練者の場合と同様、これこそが卓球におけるフォアハンドスマッシュ動作の技術的特徴と考えられる。

経験者の場合、ビデオ画像より、ラケットハンド側の肘関節は、フォワードスイング時より屈曲されており、しかも、インパクト後、より屈曲される傾向にある。すなわち、上肢は熟練者に比し、小さな慣性モーメントでスイングができ、その上、インパクト後の肘関節屈曲動作により、さらに慣性モーメントは小さくなり、この状態でのスイングスピードは十分得ているものと考えられる。そのため、フリーハンド側の三角筋後部のスマッシュ動作への関与は必要とはされないと考えられる。

上記のことにより、経験者の場合も、パフォーマンスの向上には、先ず肘関節をできるだけ伸展させた状態でのスマッシュ動作が要求される。これにより、ラケットハンド側のスイングは最高のパフォーマンスが期待される。次に、フリーハンド側の三角筋後部の参画による上肢の引き動作を加えることが、より一層のパフォーマンス獲得につながるものと考えられる。そのトレーニング方法については今後の検討課題であるが、筋感覚情報を他の視覚的情報や聴覚的情報に変換する筋電図バイオフィードバックトレーニング方法¹⁸⁾等も有効な手段と考えられる。

以上、熟練者の筋活動様式を中心に、卓球におけるフォアハンドスマッシュの技術的特徴について考察したが、卓球の場合も、これまでのスポーツに関する筋電図的研究^{9, 10, 12, 20)}と同様、アームスイングを伴う動作においては、作用側とは反対側の上肢をいかに有効に動作に参画させるかが共通した技術的特徴であった。

V 要 約

現代の卓球競技は、科学技術の進歩とともに用具が発達し、それと前後して打球のスピードが要求されるようになってきている。中でも、スマッシュ打法は、どの戦型においても、決定打とも言えるべきもので、選手にとって最もスピードが要求され、且つ、最も得点力の高い技術である。そこで今回、強力なフォアハンドスマッシュを最大の武器とし、1979年にシングルスで世界チャンピオンになった小野誠治選手を熟練者として、卓球におけるフォアハンドスマッシュの技術的特徴を動作並びに筋の作用機序の面から検討した。

1) スマッシュ動作時の筋活動様式を検討するためには、インパクトの瞬間を正確に捉える必要がある。今回、インパクトの瞬間を従来の電気回路によるものではなく、打球音を電気信号に変換し、電位変化として記録した。その結果、音信号からの電位変化はストレインゲージからの電位変化に比し、1.25msec.の遅延が認められたが、今回の筋電図解析では十分使用に耐えうるものと判断した。

2) フォアハンドスマッシュ時、ラケットハンド側の筋活動様式に関しては、各被験者間で、個体内差、個体間差は少なく、ほぼ類似した放電様相が観察された。すなわち、インパクト前後、スマッシュ動作の主働筋である三角筋前部・大胸筋鎖骨部には、急激な放電の減少・消失が観察された。これに呼応して拮抗的作用を有する三角筋後部に顕著な放電の出現が認められた。これらの放電様相は、筋肉系、神経系の面から最大のスイングスピードでフォアハンドスマッシュを行っているものと考えられた。

3) フリーハンド側の放電様相に関しては、熟練者と経験者の間で、顕著な差異が認められた。すなわち、熟練者は、インパクト直前のラケットハンド側の大胸筋鎖骨部と三角筋前部の急激な放電の減少・消失時に、フリーハンド側の三角筋後部の顕著な放電の出現が観察された。これにより、フリーハンド側の上腕骨の引き動作による躯幹の捻り動作を有効に利用して、よりスピードのあるスマッシュ動作を行っており、この放電こそが、卓球におけるフォアハンドスマッシュ動作の技術的特徴と考えられた。

4) 肘関節の角度変化曲線から、熟練者・経験者とも、フォワードスイング時、肘関節は伸展し、インパクト前で屈曲していたが、ビデオ画像から、熟練者がフォワードスイングからインパクトの間に最大伸展位を示したのに対し、経験者の肘関節は終始曲げられており、インパクト時の屈曲の度合いは熟練者に比し、著しく大きかった。

5) より強力なフォアハンドスマッシュ技術の獲得に

は、経験者の場合も、先ず、肘関節をできるだけ伸展させた状態でのスマッシュ動作が要求される。これにより、ラケットハンド側のスイングは最高のパフォーマンスが期待される。次に、フリーハンド側の上肢の引き動作を加えることが、より一層のパフォーマンス獲得につながるものと考えられる。そのトレーニング方法については、今後の検討課題であるが、筋感覚情報を他の視覚的情報や聴覚的情報に変換する筋電図バイオフィードバックトレーニング方法等も有効な手段と考えられる。

文 献

- 1) Kameyama, O., Oka, H., Hashimoto, F. and Kumamoto, M. (1981) Electromyographic study of the ankle joint muscles in normal and pathological gaits.: *Biomechanics VII-B, International Series on Biomechanics*, 50-54.
- 2) 亀山修・岡本勉・熊本水頼・岡秀郎・橋本不二雄 (1983): EMG Biofeedbackによる歩行矯正. *身体運動の科学V*, 杏林書院: 東京, 316-323.
- 3) 葛西順一 (1982) 卓球—フォアハンドスマッシュに関する研究 (I) 球速及び正確性について. *早稲田大学体育研究紀要*, 14: 25-33.
- 4) 葛西順一・森武・関一誠・永見邦篤・中野昭一 (1983) 卓球各種打法に関する研究 (II) 球速及び正確性について. *早稲田大学体育研究紀要*, 15: 57-62.
- 5) 葛西順一・森武 (1985) 卓球各種打法の研究 (III) 球速及び正確性について. *早稲田大学体育研究紀要*, 17: 23-30.
- 6) 葛西順一・白鳥金丸・森武 (1988) 卓球各種打法の研究 (V) 球速及び正確性について. *早稲田大学体育研究紀要*, 20: 11-17.
- 7) 葛西順一・森武・中野昭一・油座信男・飯本雄二・吉田和人・小林一敏 (1989) 卓球各種打法に関する研究 (V) 球速及び正確性について. *早稲田大学体育研究紀要*, 2(1): 41-48.
- 8) 葛西順一 (1990) 卓球競技の動作分析. *Japanese Journal of Sports Science*, 9-8: 477-487.
- 9) 岡 秀郎・岡田守彦・木村 賛・葉山杉夫 (1996) ヒトの腕渡り動作における喉頭動態と筋活動様式. *霊長類研究 Vol.12*: 207-220.
- 10) Oka, H., Okamoto, T. and Kumamoto, M. (1978) Electromyographic and Cinematographic Study of the Volleyball Spike, *Biomechanics VI-B, International Series on Biomechanics*, 126-131.
- 11) 岡 秀郎・岡本 勉・吉澤正尹・熊本水頼 (1989) マット運動における前方倒立回転とびの筋電図的研究. 第9回日本バイオメカニクス学会大会論集: 273-277.
- 12) 岡 秀郎・吉澤正尹・岡本 勉・徳山 廣・熊本水頼 (1983) 筋電図による野球の三投法の比較. *身体運動の科学IV*, 杏林書院: 東京, 147-156.
- 13) Okamoto, T. (1968) A Study of the Variation Discharge Pattern during Flexion of the Upper Extremity. *関西医科大学教養部紀要*, 111-122.
- 14) 岡本 勉・高木公三郎・熊本水頼 (1966) 上肢の伸展動作の筋電図的研究. *体力科学*, 15-1: 37-72.
- 15) Okamoto, T., Takagi, K. and Kumamoto, M. (1967) Electromyographic Study of Elevation of the Arm. *Journal of Physical Education*, Vol.11-3: 127-136.
- 16) 清野幸也 (1984) 卓球のフットワークに関する研究. 昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 NO II, 競技種目別競技力に関する研究—第7報—: 158-162.
- 17) 高島規郎・入川松博・松本晃雄・佐川和則・鶴田宏次 (1982) 卓球のフォアハンドにおけるラケットスイングの分析. *日本体育学会大会号第33号*: 701. 1
- 8) Tokuhara, H., Hashimoto, F., Kameyama, O., Koyama, S., Oka, H., Kazai, N., Okamoto, T. and Kumamoto, M. (1987) EMG Biofeedback Training for Kayak Paddlers: An Application to the Arm Pull Movement, *Biomechanics X-B, International Series on Biomechanics*, 319-323.
- 19) 武藤芳照 (1983) テニス肘の発生原因と臨床像. *Japanese Journal of Sports Science*, 2-5: 332-344.
- 20) 吉澤正尹・熊本水頼 (1983) テニス・グラウンド・ストロークの動作学的ならびに筋電図学的研究. *Japanese Journal of Sports Science*, 2-5: 394-400.
- 21) Yoshizawa, M., Okamoto, T. and Kumamoto, M. (1982): Effects of EMG-biofeedback training on swimming. *Biomechanics VIII-B*, 828-832.

Electromyographic Study of Forehand Skill in Table Tennis

Hideo OKA, Akira IKUTA and Akio NISHIRA

Forehand smash (FS), which is one of the most important techniques of table tennis, has not been studied adequately in terms of the functional mechanism of the muscles. Therefore, experiments were carried out to elucidate technical characteristics of FS by means of EMG recordings.

Subjects employed in the experiments were five male table tennis players; one was a gold medalist at the 1979 world championship at Pyongyang, and the others were experienced table tennis players. They were asked to perform FS with their maximum arm swing speed. EMGs were recorded from six muscles of the upper extremity and shoulder girdle of the racket-hand side and two muscles of the shoulder girdle of the free-hand side using surface electrodes. Ball impact to the racket was recorded from audio signal when a ball impacted the racket face. Elbow movement during FS was recorded using an electro-goniometer. Front and top views motion pictures were simultaneously recorded with two video cameras. Signals of the video frames, ball impact signal and curves of the elbow movement were simultaneously recorded with the EMGs.

In all subjects, similar discharge patterns were observed in the muscles of the racket-hand side during before and after the ball impact period, that is, the marked discharges of anterior portion of the deltoid and clavicular portion of the pectoralis major abruptly ceased just before the ball contact, and corresponding with these cease of discharges, the strong discharge of posterior portion of the deltoid appeared in this period. These discharge patterns showed that all subjects performed FS with their maximum efforts. As to the discharge patterns of the shoulder girdle muscles of the free-hand side, the differences were observed between the top player and the other players. In the case of the top player, the marked discharge of posterior portion of the deltoid appeared just before and after the ball impact. Such a discharge was hardly recognized in the case of the other players. This showed that a top player performed more powerful FS, utilizing the trunk twisting by abduction of the humerus of the free-hand side.