

テニス競技におけるサーブ技術の解析  
～下肢動作の役割を中心として～

市谷 浩一郎

目 次

要約 .....	1
第1章 諸言 .....	2
第2章 方法 .....	3
第3章 結果 .....	6
第4章 考察 .....	13
第5章 まとめ .....	15
謝辞 .....	15
参考文献・業績 .....	16

# テニス競技におけるサーブ技術の解析 ～下肢動作の役割を中心として～

市谷 浩一郎

## 要約

本研究では、サーブ動作における下肢の動作に着目し、熟練者および未経験者のトスアップからインパクトに至るまでの動作を筋電図解析ならびに動作分析を行い、サーブ動作のパフォーマンス発揮における下肢動作の関与を明らかにし、サーブ動作の指導に際しての基礎的資料を得ることを目的とした。

方法は、被験者5名にベースラインよりサービスエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせ、その間、EMG計測システムを用いての筋電図記録ならびにハイスピードカメラ2台を用いての動作映像記録を行った。これらの記録されたデータをもとに筋の活動電位変化の定性的・定量的解析ならびにDLT法によって入力された座標値の三次元解析を行った。

筋電図解析より、熟練者は腓腹筋の活動が観察され、足関節の底屈によって地面をしっかりと蹴っていると考えられた。このジャンプ動作のような蹴り足がボールスピードを決定する重要な要因と考えられ、足関節の技術がサーブ動作時の体重移動につながり、強力なインパクトを可能にするものと考えられた。未経験者の場合、腓腹筋の活動はなく熟練者のように地面をしっかりと蹴ることができておらず、ボールに力が伝わっていないものと考えられた。

またバックスイング中においても熟練者と未経験者で大きく異なり、熟練者は大腿直筋と大腿二頭筋の活動によって膝関節と股関節を固定させており、重心を低く保つことで右足の離床する際に十分に力が発揮できるものと考えられ、「ため」を作り一気に膝関節伸展を行うための技術的要素であると考えられた。未経験者の場合、踏み込み足に体重が移動してしまい十分な膝関節伸展が発揮できない状態といえる。

動作分析より、熟練者はトスアップと同時に蹴り足の膝関節を屈曲させインパクト直前までに膝関節の伸展を行っていた。これらのことから熟練者は地面を強く蹴りあげることにより素早く重心移動をさせながらインパクトを行っていると考えられた。また、蹴り足の膝関節伸展のピークがインパクトの直前に表れていることから前方向に体重が乗った形でサーブ動作を行っているものと考えられた。しかしながら、未経験者になるとトスアップと同時に蹴り足の膝関節が伸展されていき、テイクバック完了の時点で膝関節が伸展された状態の棒立ちとなり、「ため」の動作はなく地面を蹴ることも不可能となり、重心を鉛直方向に移動させながらのインパクトを行っているものと考えられた。これらの習熟の異なる被験者の動作様式の違いがサーブ動作の習得を困難にさせている要因であると考えられた。

トスアップにおいて、熟練者はボールを比較的低い位置より動作を開始し、ボールを高く上げてしっかりとテイクバックを行っており、トスアップの時間が長い分だけ膝関節を屈曲することができ、トスアップの時間が下肢で得られる運動エネルギーの量に影響を及ぼすものと考えられた。しかしながら、未経験者になると最高到達地点も低く、短時間のトスアップのため十分なテイクバックを行えず、膝関節の状態も屈曲を行うためには不十分なものであると考えられた。インパクトのボール速度は、熟練者が約 158 km/h、未経験者が約 85 km/h であり、熟練者の方が約 73 km/h も高い数値を示す結果となり、上述した結果に起因するものと考えられた。

サーブ動作における下肢動作の役割および技術的要素としては、下肢動作はボールへ大きな力を伝達するためには必要な動作であり、大きな運動エネルギーを発生させ、ボールへ供給する役割を担うものである。また、下肢の技術としては、膝関節と股関節を固定させた状態から軸足を離床させ、足関節を十分に底屈させるものであり、膝関節の屈曲により、テイクバック、インパクト、フォロースルーを安定した動作にするものと考えられた。

# 1. 諸言

球技などのスポーツにおいて、競技を行う選手は時々刻々と変化する状況の中、ボールや相手選手の動きなど瞬時に対応しながらプレイしなければならないものである。この状況判断能力はスポーツ選手にとって重要な能力のひとつであり、個々の選手は瞬時に周りの状況を的確に判断し行動することが要求され、状況判断能力の習熟は対人型のスポーツにおいて必要不可欠なものである。

テニス競技においてもネットを挟んだ状況の中、相手プレイヤーのスマッシュやボレーに対してボールの速度や回転および角度などを判断し、相手プレイヤーが簡単にレシーブを行うことができないように打ち返すものである。プレイヤーそれぞれが状況判断に基づいて動作が実行されるテニス競技において、基本となる動作はサーブ(サービス)・ボレー・スマッシュなどがあげられ、これらの動作を行いながら相手プレイヤーとの勝敗を競うものである。テニス競技におけるゲーム開始の最初の1球目はボール(サーブ権)を保持しているプレイヤーによるサーブ動作から始まり、ポイントを取り合いながらゲームが進行していくものである。サーブ権は1ゲームごとに交代を行うため、プレイヤーはゲームの組み立てにおいてサーブ動作からの展開を考えながらゲームを進めていくものといえる。サーブ権がある場合には、相手プレイヤーのレシーブを行にくい苦手な場所を狙ったり、サービスラインぎりぎりを狙ったり、深く速いサーブを打つなどをして優位にゲームを行えるように考え、逆にサーブ権がない場合でも相手プレイヤーのサーブを予測していかに有効的なレシーブを行えるかを考えながら勝敗を競うものである。このように、サーブの優劣がその後のゲーム展開に大きく影響するものである。つまり、テニスにおいてサーブ動作の習得は勝敗を左右する重要な要素のひとつであるといえる。

サーブ動作は、相手の動きに左右されずに行えるクローズドスキルという特性から、選手は個人練習において習熟度を高めていくことが可能であり、効果的に競技力を向上できるものといえる。このサーブ動作は、下肢の伸展で得られた運動エネルギーを躯幹に伝達し、上肢によるスイング動作でボールコントロールを行う動作である。鷹取ら(1970)は、効率の良いサービスには高い打点と素早い重心移動が必要であると報告しており、石川ら(2009)は、ラケットスピード獲得のための上肢各関節の役割をラケット-上肢系の運動方程式に基づく順動力学的分析を行って明らかにしている。しかしながら、テニスのサーブ動作における技術分析に関する報告は、上肢や体幹部に着目したものや関節角度や関節トルクなどの関係による報告が多く、下肢がサーブ動作に及ぼす影響を筋の作用機序についての報告は少ない。サーブ動作における下肢は、トスアップ時において股関節および膝関節が屈曲位を保ち、インパクトにかけて股関節伸展、膝関節伸展の動作が行われており、この動作を強く行うプレイヤーにおいてはジャンプ動作がみられる場合もあり、サーブ動作は下肢の各関節まわりの発生筋力によりパフォーマンスが発揮されるものといえる。

これらのことから、サーブ動作はトスアップから上肢動作と下肢動作を同時に遂行することが必要不可欠であり、トスアップの最高到達点において上肢・下肢の協調動作によるインパクトが非常に重要なものとなる。しかしながら、指導現場においてこれらの上肢動作と下肢動作の2つの習得には多くの時間が必要となり、未熟練者にとって難しく上肢動作のみの指導が行われていることが多い現状がある。

そこで本研究では、サーブ動作における下肢の動作に着目し、熟練者および未熟練者のトスアップからインパクトに至るまでの動作を筋電図解析ならびに動作分析を行い、サーブ中における下肢動作がどのようにパフォーマンス発揮に関与しているかを明らかにし、今後のサーブ動作の指導に際しての基礎的資料を得ることを目的とした。

## 2. 方法

被験者5名に対して、ベースラインよりサービスエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせた。この間、EMG 計測システムを用いて双極皮膚表面誘導法による筋電図記録ならびにハイスピードカメラ2台を用いての動作映像記録を行った。これらの記録されたデータをもとに筋の活動電位変化の定性的・定量的解析ならびに DLT 法によって入力された座標値の三次元解析を行った。

### 2.1 実験方法

硬式テニスの公式球を用いてサーブ動作をおこなわせた。サーブ動作は初心者でもボールの回転をかけず真っ直ぐに打つことが可能なフラットサーブで実施した。ラケットの握り方に関しては、ラケットの面(ガット)に手のひらを当てそのままグリップの所まで滑らせて握る方法である基本的なイースタン・グリップで行い、センターマークから高さ・奥行き・幅すべて2m四方のサーブ動作を無理なく行える範囲を実験エリアと設定し、実験エリア内からサーブ動作を行わせた。ベースラインの右側から左斜め前のサービスエリアにクロスして1st サーブを入るよう打ち、それを5球入るまで行わせた。

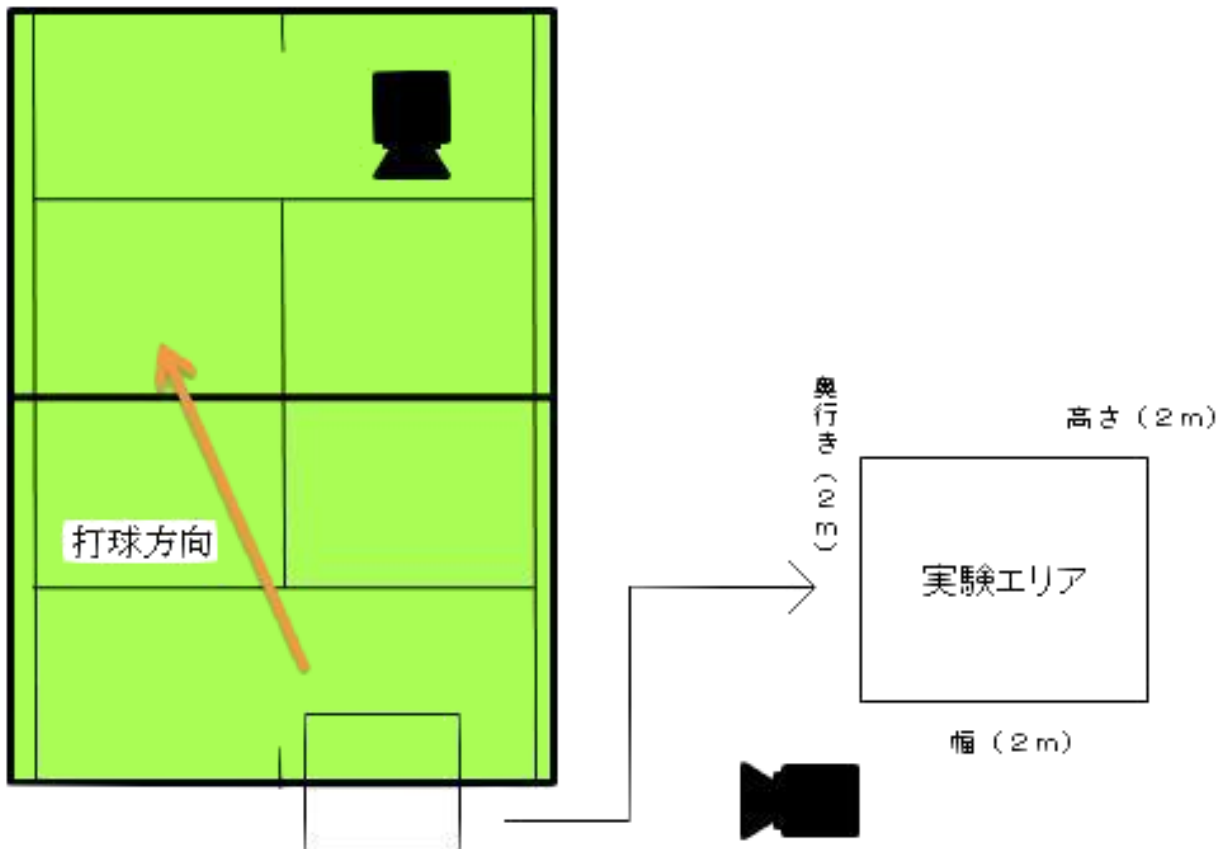


図1. 実験配置

## 2.2 被験者

被験者は、熟練者(表1)としてプロテニスプレーヤーの成人男子2名(K, F) , 未経験者(表2)としてO大学に所属する成人男子3名の計5名とした。なお未経験者において、テニスの競技歴はないものの野球競技の投動作やバドミントン競技のスマッシュやバレーボール競技のアタックなどのオーバーハンド系の動作を経験している者は2名であった。

表1. 熟練者

	身長	体重	年齢	テニス歴	備考
Sub.K	182cm	77kg	26歳	18年	日本ランク Best 13位
Sub.F	168cm	62kg	36歳	33年	日本ランク Best 9位

表2. 未経験者

	身長	体重	年齢	テニス歴	備考
Sub.O	168cm	55kg	21歳	なし	オーバーハンド経験者
Sub.F	173cm	74kg	21歳	なし	オーバーハンド経験者
Sub.C	166cm	59kg	20歳	なし	オーバーハンド未経験者

## 2.3 記録方法

### (1) 筋電図記録

被験者に電極パッド(DKH製)を各被験筋に装着し、EMG計測システム(DKH製)を用いて通常の変極皮膚表面誘導法により記録した。

なお、被験筋は、下肢の基本動作に関する筋電図解析結果(Okamoto,1968;後藤ほか,1974)、下肢筋群の制御機構に関する筋電図解析結果(Kumamoto et al.,1994;大島ほか,2005)ならびに歩く・走る・跳ぶ等の下肢の運動を伴うスポーツの筋電図解析結果(岡, 1984;松下ほか,1976;市谷ほか,2001;岡本, 1966)より下記の6筋を選択した。

- ・前脛骨筋(TA) Tibialis anterior muscle
- ・腓腹筋(GAS) Gastrocnemius muscle
- ・内側広筋(VM) Vastus medialis muscle
- ・内側ハムストリングス(MH) Medial hamstrings
- ・大腿直筋(RF) Rectus femoris muscle
- ・大腿二頭筋(BF) Biceps femoris muscle

## (2) 動作映像記録

サーブ動作を鮮明な静止画像として観察するため、ハイスピードカメラ（CASIO 製 EX-FH25）を被験者の前面として実験エリアから 19m の地点と被験者の側面として実験エリアから 16m の地点に配置し、2 台のハイスピードカメラを同期させフィルムスピード 240fps の速度で撮影を行った。

なお、被験者の前面に配置されたハイスピードカメラの後方よりサーブ時のボール速度をスピードガンによって計測した。

## 2.4 データ処理

### (1) 筋電図解析

筋活動電位変化の処理方法として、パフォーマンス発揮の技術要素について筋の作用機序の面より筋電図を定性的ならびに定量的解析処理を行った。定性的処理としてデータとして記録された筋活動電位変化、測定時間を TRIAS(A/D 変換&ビデオ総合計測システム DKH 製)を用いて、デジタル信号に変換してパーソナルコンピュータに入力し各々の電位変化を計算させ、平滑化を行い定性的な波形として描写させた。定量的処理として、定性的解析結果よりサーブ動作時のパフォーマンスに影響していると考えられる筋群の筋活動電位変化を TRIAS(A/D 変換&ビデオ総合計測システム DKH 製)を用いて積分し、その EMG の積分値(integrated EMG)より筋の放電比率を求めた。

### (2) 動作解析

撮影された映像処理は計測点 3 次元座標として算出した。各カメラの計測点および較正点の 2 次元座標より得られたデータを Frame-DIAS II V3(DKH 製)を用いて解析しプログラムにより、身体各部位 23 点およびボールとラケットを座標として入力し数値化を行った。

なお、2 次元座標算出に際しマーキングした全身各部位は、頭頂・耳珠点・胸骨上縁・右肩・右肘・右手首・右手先・左肩・左肘・左手首・左手先・右大転子・右膝・右足首・右踵・右拇指球・右爪先・左大転子・左膝・左足首・左踵・左拇指球・左爪先の 23 点である。

解析区間はトスアップからインパクト後のフォロースルーまでとし、トスアップから肩関節外旋開始までをテイクバックと定義し、テイクバック完了時からインパクトまでの区間におけるボールの変位・速度ならびに膝関節角度・股関節角度を求めた。

### 3. 結果

#### 3.1 筋電図学解析結果

##### (1) 定性的EMG解析

被験者5名に対して、ベースラインよりサーブエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせた。その結果、サーブ動作時の蹴り足(右足)において、熟練者群では多少の異なる波形はあるものの技術的な要因と考えられる類似した活動様相が観察され、未経験者群においても習熟の違いによると考えられる共通した活動様相があり、熟練者と未経験者において異なる放電様相が認められた。そこで熟練者群と未経験者群よりそれぞれ K と C の放電様相を典型例として取り上げ、サーブのパフォーマンス発揮における下肢動作の関与について記述する。

図2-αは、熟練者 K のサーブ動作時における蹴り足の代表的な筋電図記録である。図中上部のステイックピクチャーはそれぞれの局面に対応した動作となっており、pose I はバックスイング終了時、pose II は右足離床時、pose III はインパクト時を示している。

熟練者の場合、足関節背屈筋である前脛骨筋(TA)は、バックスイング終了時である pose I の直前において放電の出現が観察された。足関節底屈・膝関節屈曲筋である腓腹筋(GAS)は、バックスイング終了時である pose I の前後において顕著な放電が出現する二峰性の放電様相を示した。膝関節伸展筋である内側広筋(VM)および膝関節屈曲筋である内側ハムストリングス(MH)においては、バックスイング終了時である pose I からインパクト時である pose III にかけての顕著な放電の出現は観察されなかった。膝関節伸展・股関節屈曲筋である大腿直筋(RF)は、バックスイング終了時である pose I の手前において顕著な放電の出現が観察された。膝関節屈曲・股関節伸展筋である大腿二頭筋(BF)は、RF と同様にバックスイング終了時である pose I の手前において放電が出現し、RF との同時放電が観察された。

図2-βは、未経験者 C のサーブ動作時における蹴り足の代表的な筋電図記録である。図中上部のステイックピクチャーはそれぞれの局面に対応した動作となっており、pose I はバックスイング終了時、pose II は右足離床時、pose III はインパクト時を示している。

未経験者の場合、足関節背屈筋である前脛骨筋(TA)は、熟練者にみられた pose I 直前の放電は観察されなかった。足関節底屈・膝関節屈曲筋である腓腹筋(GAS)は、バックスイング終了時である pose I の手前において顕著な放電の出現が観察された。しかしながら、熟練者にみられた pose I 前後において顕著な放電が出現する二峰性の放電様相は認められなかった。膝関節伸展筋である内側広筋(VM)および膝関節屈曲筋である内側ハムストリングス(MH)においては、バックスイング終了時である pose I からインパクト時である pose III にかけての顕著な放電の出現は観察されず、熟練者の放電と同様な傾向を示した。膝関節伸展・股関節屈曲筋である大腿直筋(RF)は、熟練者にみられた pose I 手前における顕著な放電の出現は認められなかった。膝関節屈曲・股関節伸展筋である大腿二頭筋(BF)は、熟練者と同様にバックスイング終了時である pose I の手前において顕著な放電の出現が観察された。しかしながら、熟練者とは異なり、膝関節と股関節に関与する二関節筋群の RF と BF の放電様相には差異が観察された。すなわち、RF には顕著な放電の出現が観察されず RF と BF の同時放電は認められなかった。

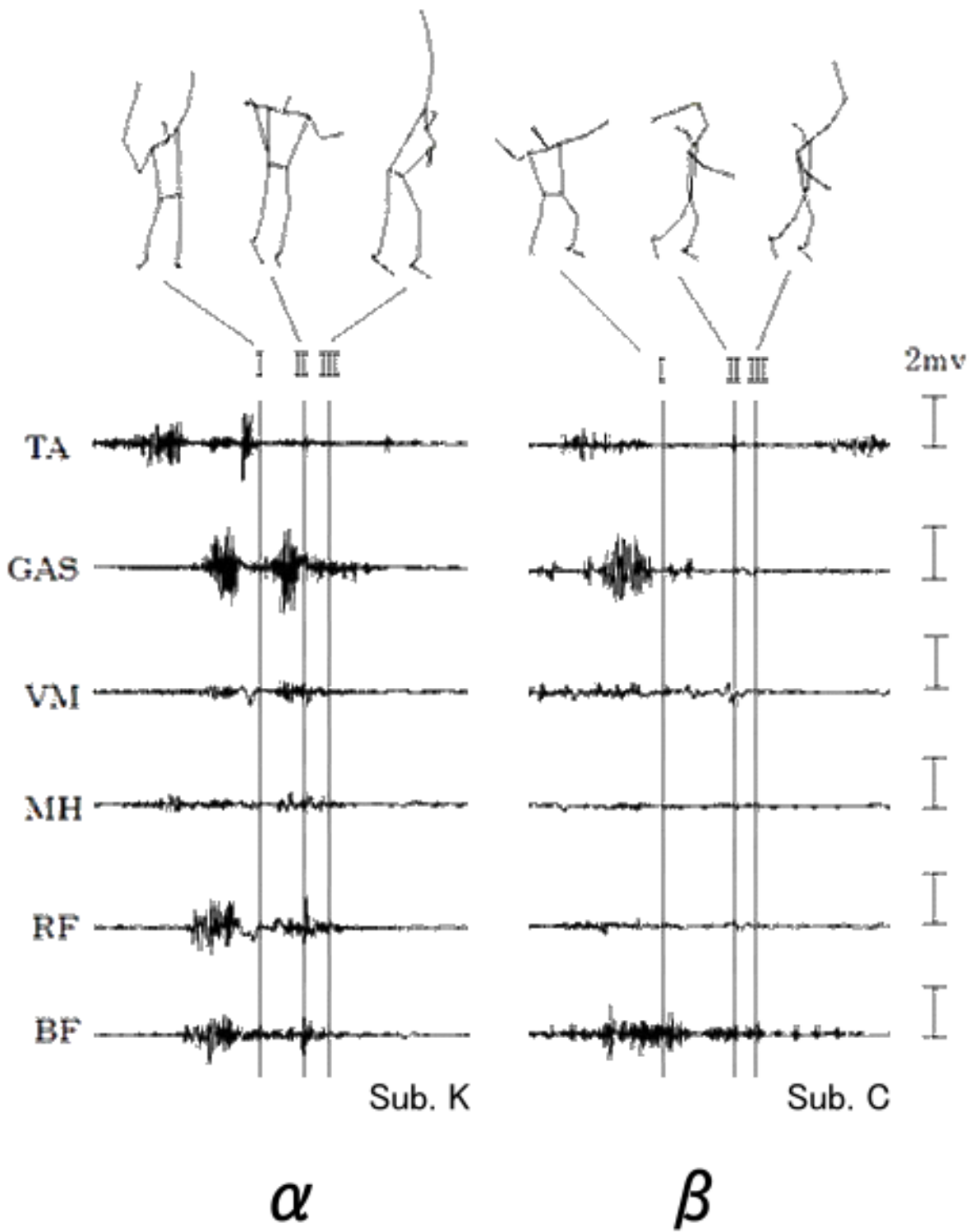


図2. サーブ動作の筋電図



## (2) 定量的EMG解析

定性的解析結果より、熟練者と未経験者において足関節に関与する筋群である前脛骨筋と腓腹筋ならびに膝関節と股関節に関与する二関節筋群である大腿直筋と大腿二頭筋の放電様相に大きな差異が認められた。このことはサーブ動作における下肢の技術的差異に起因するものと考えられ、この点をさらに裏付ける為に筋群の数量化を試みた。前脛骨筋と腓腹筋の2筋については、バックスイング終了時から右足離床時に至るまでの間の放電量を加算し、足関節筋群の放電比率を求めた。また、大腿直筋と大腿二頭筋の2筋については、バックスイング中の放電量を加算し、膝関節と股関節に関与する筋群の放電比率を求めた。

図3は、バックスイング終了時から右足離床時における足関節筋群の放電比率グラフである。図中の左側が熟練者であり、図中の右側が未経験者である。グラフの濃色部分が前脛骨筋(TA)、淡色部分が腓腹筋(GAS)を示している。

図より、熟練者においては、GASを主体とした比率を示し、TAが低い比率を示した。このことより熟練者ではバックスイング終了時から右足離床時にかけてGASの筋出力で下肢動作を行っているものといえる。未経験者においては、TAとGASがほぼ同様の比率を示した。しかしながら、定性的EMG解析の結果からTA・GASとも顕著な波形が観察されておらず、足関節の筋出力自体はほとんど出てないものといえる。

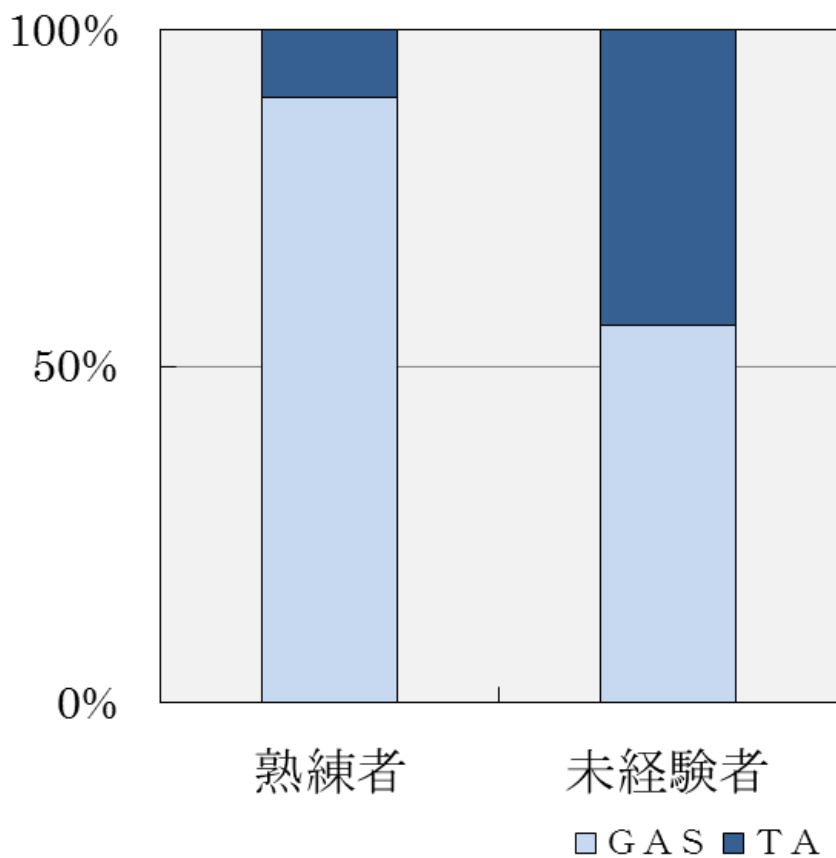


図3. バックスイングから右足離床時における筋の放電比率

図4は、バックスイングにおける膝関節と股関節に関与する二関節筋群の放電比率グラフである。図中の左側が熟練者であり、図中の右側が未経験者である。グラフの濃色部分が大腿直筋(RF)、淡色部分が大腿二頭筋(BF)を示している。

図より、熟練者においてはRFとBFがほぼ同様の比率を示した。このことより熟練者ではバックスイング中において膝関節と股関節を固定させ力を入れた状態で動作を行っているものといえる。未経験者においては、BFを主体とした比率を示し、RFが低い比率を示した。このことより未経験者ではバックスイング中にBFの筋出力を用いて動作を行っているものといえる。

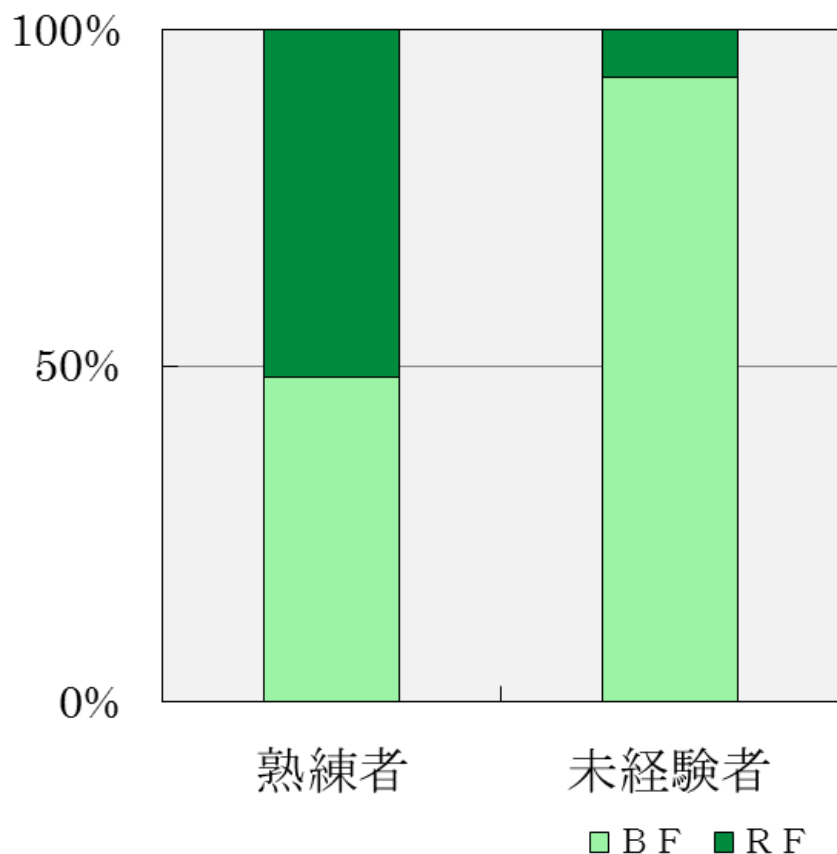


図4. バックスイング中における筋の放電比率

### 3.2動作解析果

被験者5名に対して、ベースラインよりサービスエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせた。その結果、サーブ動作時におけるボールの変位・ボール速度・下肢の関節角度において、熟練者と未経験者に技術的な要因と考えられる相違が認められた。そこで筋電図解析と同様に熟練者群と未熟練者群よりそれぞれKとCのサーブ動作を典型例として取り上げ、サーブのパフォーマンス発揮におけるボールの変位とボールの速度ならびに下肢の関節角度について記述する。

#### (1)ボールの変位

図5は、サーブ動作におけるボールの変位を示したグラフであり、図中の上部は熟練者、下部は未経験者である。なお、図中の点線・破線はそれぞれの局面であり、紫色の点線はテイクバック時を示し、黄色の破線はインパクト時を示している。

図より、熟練者の場合、トスを上げる直前のボールの位置が約1.5mの高さであり、そこから約3.7mの高さまでボールを約2.2m上げてトスアップを行っており、未経験者においては約2.2mの位置から約3.3mの高さまでボールを約1.1m上げてトスアップを行っていた。熟練者・未経験者ともボールの位置が最高到達点に達するところでテイクバックを完了していたが、トスアップに関しては、熟練者は未経験者に比べて約1m高くボールを上げており、その高さの分だけ熟練者は時間をかけてテイクバックを行っていた。インパクト時におけるボールの高さは、図より熟練者は約2.9mの位置でインパクトを行っているのに対し、未経験者では約2.7mの位置でインパクトを行っていた。

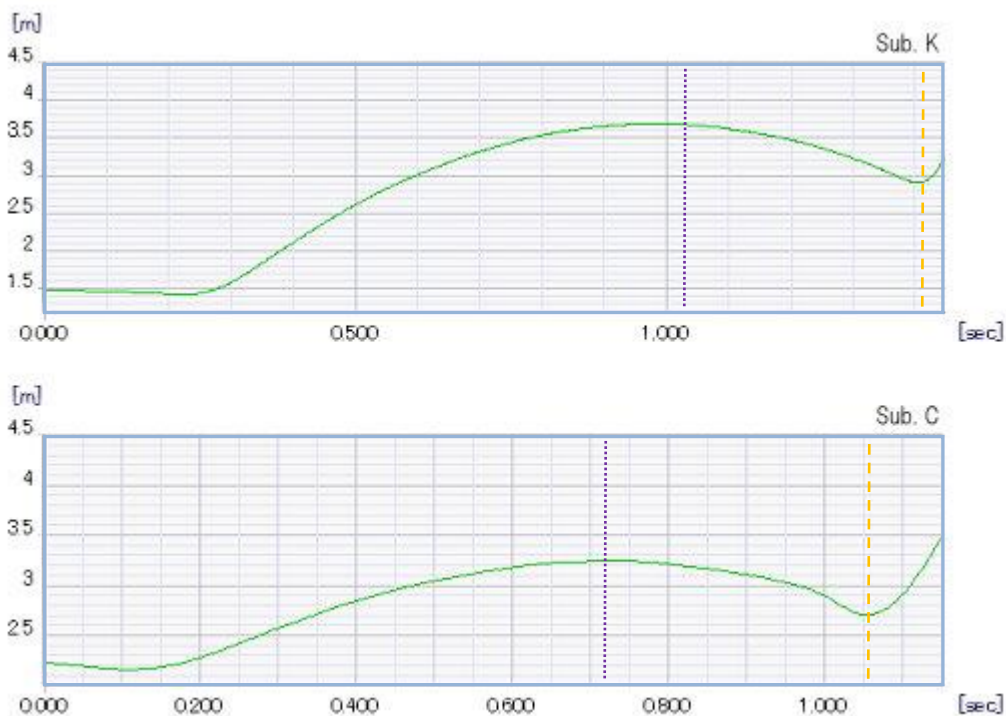


図5. サーブ動作におけるボール変位

## (2)ボールの速度

図6は、サーブ動作におけるボールの速度を示したグラフであり、図中の上部は熟練者、下部は未経験者である。なお、図中の点線・破線はそれぞれの局面であり、紫色の点線はテイクバック時を示し、黄色の破線はインパクト時を示している。

図より、熟練者はトスからテイクバック完了に至るまでにボールの速度は0 km/h から約 24km/h まで増加し、その後ボール速度は緩やかに減少していきテイクバック完了時には0 km/h の数字を示した。これはトスアップの動作におけるボール速度の変化であり動作映像とも一致した。ボール速度の増加は、ボール変位において記述した最高到達点の高さまでボールを上げるために加速させたものであり、最高到達点までボールが達した時に速度は0 km/h となる。テイクバック完了からのボールの速度は0 km/h から約 20km/h まで増加してインパクトが行われ、その後ボール速度は一気に約 158 km/h まで上がり、インパクトによって急激に増加した。これらの数値は最高到達点のボールが自由落下し、インパクトが行われたボールの速度変化である。インパクトによってボール速度は急激に加速して行き、その後もボール速度は増加してグラフで示された数値より高い値となった。スピードガンによる最高速度の計測では 180 km/h を超える数値を示した。未経験者においては、トスからテイクバック完了に至るまでにボールの速度は0 km/h から約 20km/h まで増加し、その後ボール速度は緩やかに減少していきテイクバック完了時には熟練者と同様に0 km/h の数字を示した。ボール速度の数値が熟練者と未経験者で 4 km/h という差があり、ボールの最高到達点に影響するものといえる。テイクバック完了後からのボールの速度は自由落下により約 10km/h まで増加してインパクトによってボール速度が約 85 km/h まで増加したが、インパクトによる数値が熟練者よりも約 73 km/h も低い数値で大きく異なる値であった。ボール速度は増加後すぐに減少するという結果となり、スピードガンによる最高速度の計測でも約 85 km/h という低い数値であった。

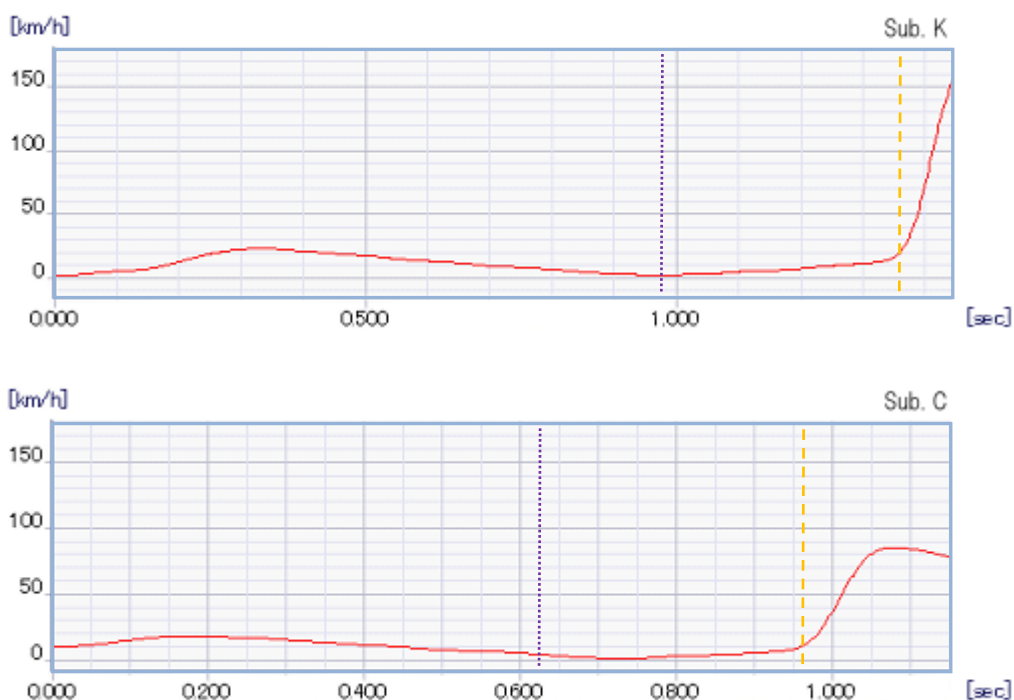


図6. サーブ動作におけるボール速度

### (3) 関節角度

図7は、サーブ動作時における蹴り足の代表的な関節角度グラフであり、図中の左側  $\alpha$  は熟練者であり、右側  $\beta$  は未経験者である。膝関節の角度は赤色の実線で示し、股関節の角度は青色の実線で示している。なお、上部のスティックピクチャーおよび図中の点線はインパクト時を示したものである。

図より、熟練者 ( $\alpha$ ) の場合、股関節は約 125 度から緩やかに数値が増加した後、減少してからインパクト直前まで増加し、インパクト前後は約 160 度のまま推移する数値を示した。このことより、熟練者はテイクバックからインパクトの直前に至るまで股関節を伸展していき、インパクトにおいては股関節を固定させて動作を行っているものといえる。股関節角度の一時の減少は上体が前傾したために起こった結果であり、動作映像記録からも上体の前傾する映像が観察された。膝関節においては、約 90 度からインパクト手前まで増加していき、そこからインパクトにかけて減少する数値を示した。このことより、熟練者はテイクバック付近で膝関節を最大限に屈曲させてから伸展動作に入り、インパクトの手前で膝関節を最大限に伸展させてインパクト動作を行っていたものといえる。インパクトの手前よりみられた膝関節角度の減少は、動作映像記録から足関節の底屈動作によるものと観察された。未経験者 ( $\beta$ ) の場合、股関節は約 153 度と伸展された状態からではあるが、熟練者と同様な傾向を示した。膝関節においては、約 153 度からインパクト手前までインパクトにかけて減少する数値を示した。このことより、経験者はテイクバックからインパクトまでにかけて膝関節が屈曲していく状態でサーブ動作が行われており、熟練者の蹴り脚の動作とは逆の動作を行っているものであった。

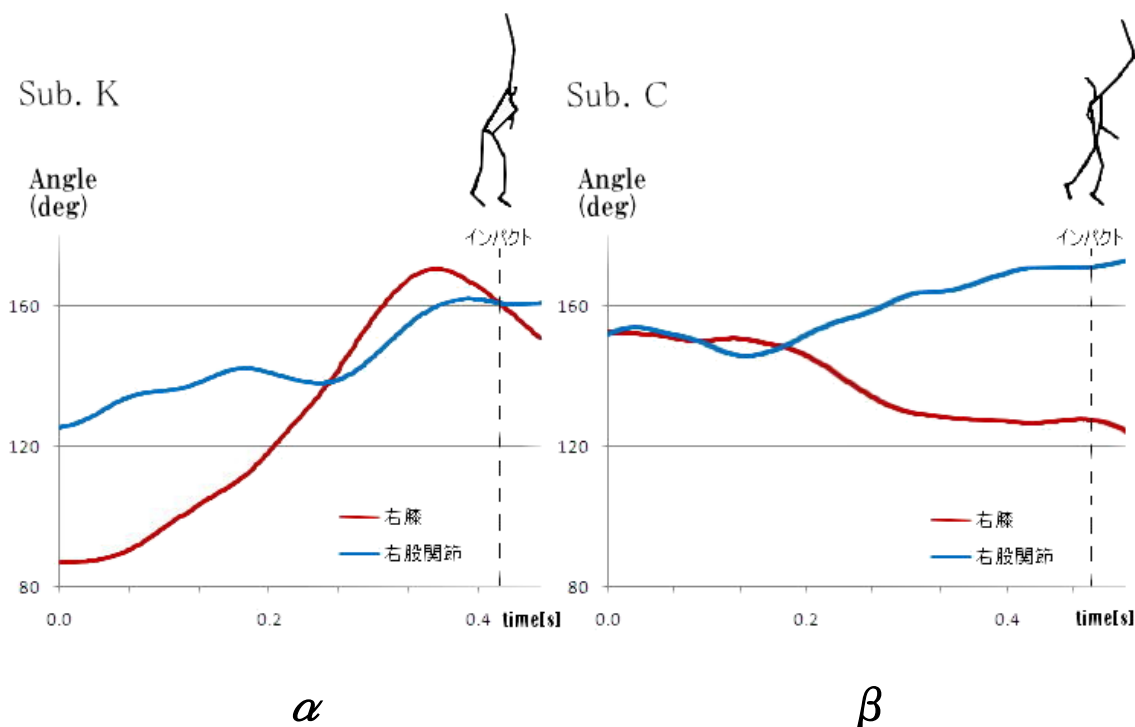


図7. サーブ動作における下肢の関節角度

## 4. 考察

### 4.1 筋電図解析

被験者5名に対して、ベースラインよりサーブエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせた結果、サーブ動作時における軸足(右足)において、熟練者群と未経験者群とで技術的な要因と考えられる活動様相の違いが観察され、放電比率からも大きく異なる比率を示した。

熟練者は腓腹筋の放電がバックスイング終了の手前から右足離床時にかけて、顕著な放電が観察され、筋の放電比率も腓腹筋主体の比率が認められた。これらのことより、熟練者は腓腹筋の活動によって足関節をしっかりと底屈しているものと考えられた。足関節が底屈するということは、地面をしっかりと蹴る動作ができており、ジャンプ動作のような蹴り脚がボールスピードを決定する重要な要因であると考えられた。足関節の技術がサーブ動作時の体重移動につながり、下肢からの運動エネルギーが躯幹に伝達され、上肢のコントロールによって強力なインパクトを可能にするものと考えられる。

未経験者になるとバックスイング終了時から右足離床時にかけての腓腹筋の放電は一切観察されず、筋の放電比率からも腓腹筋の出力は認められなかった。これらのことより、未経験者は熟練者のように地面をしっかりと蹴ることができておらず、上肢の筋出力のみで動作が行われていたと考えられ、ボールに力が伝わっていないものと考えられた。

また、膝関節と股関節に関与する筋群においても熟練者と未経験者で大きく異なる結果が認められた。熟練者はバックスイング終了に至るまでに大腿直筋と大腿二頭筋の同時放電が観察され、筋の放電比率においても、ほぼ同じ比率が認められた。これらのことより、熟練者は大腿直筋と大腿二頭筋の活動によって膝関節と股関節を固定させているものと考えられた。膝関節と股関節を固定するという動作は蹴り足に体重をのせた状態であり、重心を低く保つことで右足の離床する際に十分に力が発揮できる準備を可能とさせていると考えられ、「ため」を作り一気にインパクトまで持って行く技術的要素であると考えられた。

未経験者になるとバックスイング終了に至るまでに大腿直筋の放電は観察されず、筋の放電比率においても、大腿二頭筋主体の比率が認められた。これらのことより、未経験者は熟練者のように膝関節と股関節の固定ができておらず、踏み込み足に体重が移動してしまい右足が離床する際に十分に力が発揮できない状態であるものと考えられた。

熟練者の筋電図解析結果からみたサーブ動作における下肢動作の役割は、ボールへの力の伝達するために必要なものであり、技術的要素としては、膝関節と股関節を固定させた状態から軸足を離床させ、軸足の離床時には足関節を十分に底屈させるものと考えられた。

## 4.2動作分析

被験者5名に対して、ベースラインよりサービスエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせた結果、サーブ動作時における変位・速度・下肢の関節角度において、熟練者群と未経験者群とで技術的な要因と考えられる差異が観察された。

ボール変位の解析結果より、熟練者はトスアップからボールの最高到達地点までの変位が未経験者よりも約 1.1m 高く、その高さの分だけ時間をかけてテイクバックを行っていた。このことから、熟練者は比較的低い位置でボールを保持し、その状態よりトスアップを行い、ボールを高く上げてしっかりとテイクバックを行っているものといえる。また、トスアップの時間が長い分だけ膝の関節を屈曲することができ、トスアップの時間が下肢で得られる運動エネルギーの量に影響を及ぼすものと考えられた。未経験者においては、比較的高い位置からトスアップが行われ、最高到達地点も低いものであった。このことから、未経験者は短い時間によるトスアップのため十分なテイクバックを行えず、膝関節の状態も屈曲を行うためには不十分なものになっているものと考えられた。

ボール速度の解析結果より、トスアップにおいて熟練者と未経験者ではボール速度の数値に 4 km/h という差があり、ボールの変位結果の最高到達点に影響を及ぼしたと考えられる。また、インパクトにおけるボール速度は、熟練者のインパクトでは約 158 km/h に対して未経験者のインパクトでは約 85 km/h であり、インパクトによる数値が熟練者の方が約 73 km/h も高い数値を示していた。このことは、動作様式の違いによって生じた結果であり、技術的要素に起因するものと考えられた。

下肢の関節角度の解析結果より、熟練者はトスアップと同時に蹴り足の膝関節を屈曲させていきテイクバック完了付近で屈曲位がピークの状態であったことから、「ため」の動作を行っていることが伺える。その状態からインパクト直前までに膝関節伸展のピークを迎えていた。これらのことから熟練者は地面を強く蹴りあげることにより素早くサーブの打つ方向へと重心移動をさせながらインパクトを行っていることが考えられた。また蹴り脚の膝関節伸展のピークがインパクトの直前に表れていることから前方向に体重が乗った形でサーブ動作を行っているものと考えられる。しかしながら、未経験者においてはトスアップと同時に蹴り脚の膝関節が伸展され、テイクバック完了の時点で膝関節が伸展された状態で棒立ちとなり、「ため」の動作はなく地面を十分に蹴ることも不可能となり、重心を鉛直方向に移動させながら、ラケットをボールに当てただけのインパクトを行っているものと考えられた。これらの熟練者と未経験者において観察された動作の違いは、熟練者と未経験者の習熟度の違いであり、未経験者にとってサーブ動作の習得を困難にさせている技術的要素であるといえる。また、熟練者でみられた下肢の動作様式が力強いサーブを可能にするものと考えられ、ボールへ力を伝達する際に下肢動作で得られた運動エネルギーの量によってサーブの威力に大きく影響するものと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、サーブ動作における下肢の動作に着目し、熟練者および未経験者のトスアップからインパクトに至るまでの動作を筋電図解析ならびに動作分析を行い、サーブ動作のパフォーマンス発揮における下肢動作の関与を明らかにし、サーブ動作の指導に際しての基礎的資料を得ることを目的とした。方法は、被験者5名にベースラインよりサービスエリアへ5球ずつフラットサーブを行わせ、その間、EMG 計測システムを用いての筋電図記録ならびにハイスピードカメラ2台を用いての動作映像記録を行った。これらの記録されたデータをもとに筋の活動電位変化の定性的・定量的解析ならびに DLT 法によって入力された座標値の三次元解析を行った。その結果、筋電図解析ならびに動作分析より以下のことが明らかとなった。

1. 熟練者は未経験者と異なり、腓腹筋の活動により足関節の底屈によって地面をしっかりと蹴っており、このジャンプ動作がボールスピードを決定する重要な要因と考えられ、足関節の技術がサーブ動作時の体重移動につながり、強力なインパクトを可能にするものと考えられた。
2. バックスイング中において、熟練者は大腿直筋と大腿二頭筋の活動によって膝関節と股関節を固定させており、重心を低く保つことで右足の離床する際に十分に力が発揮できるものと考えられ、未経験者にはない「ため」を作り一気に膝関節伸展を行うための技術的要素であると考えられた。
3. 関節角度より、熟練者はトスアップと同時に蹴り足の膝関節を屈曲させてからインパクト直前まで膝関節の伸展を行っており、地面を強く蹴りあげ素早い重心移動によるインパクトを行っていると考えられた。また、蹴り足の膝関節伸展のピークがインパクト直前に表れ、前方向に体重が乗った形でサーブ動作を行っており、これらの動作は未経験者にとってサーブ動作の習得を困難にさせている技術的要素であると考えられた。
4. 熟練者はトスアップを高くしてテイクバックを行っており、トスアップの時間が長い分だけ膝の関節を屈曲することができ、トスアップの時間が下肢で得られる運動エネルギーの量に影響を及ぼすものと考えられた。未経験者は最高到達地点も低く、テイクバックも不十分であると考えられた。
5. インパクト時のボール速度は、熟練者が約 158 km/h、未経験者が約 85 km/h であり、熟練者の方が約 73 km/h も高い数値を示す結果であった。このことは、動作様式の違いによって生じた結果であり、技術的要素に起因するものと考えられた。サーブ動作における下肢動作の技術的要素・役割としては、ボールへ力を供給する役割であり、技術としては、膝関節と股関節を固定させた状態から軸足を離床させ、足関節を十分に底屈させるものであり、膝関節の屈曲により、テイクバック、インパクト、フォロースルーを安定した動作にするものと考えられた。

## 謝辞

本研究は、上月スポーツ教育財団の支援を受けて行ったものであり、このような貴重な機会を頂きました貴財団の関係者の皆様に深く御礼申し上げます。また、本研究の実験に参加して頂いた被験者の皆様をはじめ研究の実施にあたり協力して頂いた方々に深く感謝いたします。

なお、本研究の一部は、第 64 回日本体育学会において発表した。



## 参考文献

足立長彦:テニスの試合における勝敗に関する一考察ーサーブ分析を中心としてー 武庫川女子大学紀要  
人文・社会科学編 47, 57-63, 1999

後藤幸弘, 熊本水頼, 山下謙智, 岡本勉:下肢の基本動作における下肢筋群の働き方について, 体育学  
研究 18, 269-276, 1974

林準平, 新井健之, 蝶間林利男, 西島吉典:動作所要時間に着目したテニスサービス速度を向上させるた  
めの指導法について 日本体育学会大会予稿集(60),231,2009

市谷浩一郎, 岡秀郎, 藤川智彦, 大島徹, 熊本水頼:ヒトの跳躍動作のロボット工学的解析 精密工学会  
春季大会学術講演会講演論文集, 358, 2001

Kumamoto Minayori, Oshima Toru, Yamamoto Tomohisa : Control properties induced by the existence of  
bi-articular muscles Mechanical engineering model analyses, Human Movement Science 13, 610-634,  
1994

松下健二, 後藤幸弘, 岡本勉, 辻野昭, 熊本水頼:走の筋電図的研究 体育学的研究 19,147-156, 1976

道上静香, 阿江通良, 佐藤陽治, 梅林薫:世界一流男子テニス選手のサービス動作のバイオメカニクスの  
研究ートスおよびインパクトの高さに注目して 日本体育学会大会号(54),380,2003

岡秀郎:正常歩行中の下肢筋活動様式に関する筋電図学的研究 関西医大誌 36-1, 131-152, 1984

Okamoto,T. : Electromyographic study of the function of M. rectus femoris. Res. J. Phy-sical Education  
12, 175-182, 1968

岡本 勉:自転車走行に関する筋電図的研究.関西医科大学教養部紀要 1, 55-61, 1966

大島徹, 鳥海清司, 藤川智彦, 熊本水頼:一関節筋および二関節筋を含む筋座標系による機能別実効筋力  
評価(脚の筋カトレーニングによる出力分布特性の実験的検証) 精密工学会誌 711 9, 1163, 2005

鷹取豪, 永田晟:テニスサービス時の重心軌跡とラケット軌跡 日本体育学会大会号(46),542,1995

矢野徳郎:身体運動の主観的構成, テニスの分析 北海道大學教育學部紀要 THE ANNUAL REPORTS  
ON EDUCATIONAL SCIENCE, 64:1-8,1994

## 業績

### 【ポスター発表】

市谷浩一郎 (大阪電気通信大学), 出井章雅 (同志社大学), 村木有也 (大阪電気通信大学),  
”テニス競技におけるサービス動作に関する一考察 -下肢動作の役割を中心として-”  
日本体育学会 第 64 回大会, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 2013