

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	テニスにおける巧みさの獲得と指導に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	友末亮三
Author(English)	
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第3453号, 授与年月日:2000年5月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:宇治橋 貞幸
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第3453号, Conferred date:2000/5/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

テニスにおける巧みさの獲得と
指導に関する研究

友 末 亮 三

目 次

第1章 緒 論	.....	1
1.1 テニスに関する研究の現状	.....	1
1.1.1 世界におけるテニス研究の動向	.....	1
1.1.2 テニスの研究小史	.....	2
1.2 本研究の目的と意義	.....	4
1.3 打を生み出す身体の動き	.....	5
1.4 巧みな動作の定義	.....	8
1.4.1 1970年頃までの打法	.....	8
1.4.2 1970年から1990年頃までの打法	.....	8
1.4.3 1990年以降現在までの打法 (1.4の図表)	.....	9 11
1.5 本論文の概要	.....	15
第2章 巧みさの分析	.....	16
2.1 緒言	.....	16
2.2 サーブの力学的解析	.....	17
2.2.1 目的	.....	17
2.2.2 方法	.....	17
2.2.3 結果と考察	.....	17
2.2.4 分析結果の現場への活用法	.....	18
2.2.5 まとめ (2.2の図表)	.....	19 20
2.3 フォアハンド・ストロークの力学的解析	.....	23
2.3.1 目的	.....	23
2.3.2 方法	.....	23
2.3.3 結果と考察	.....	24
2.3.4 分析結果の現場への活用法	.....	26

2.3.5	まとめ	.....	26
	(2.3の図表)	.....	27
2.4	ボレーの力学的解析	.....	29
2.4.1	目的	.....	29
2.4.2	方法	.....	29
2.4.3	結果と考察	.....	29
2.4.4	分析結果の現場への活用法	.....	31
2.4.5	まとめ	.....	31
	(2.4の図表)	.....	32
2.5	サービス・リターンの動作解析	.....	36
2.5.1	目的	.....	36
2.5.2	方法	.....	36
2.5.3	結果と考察	.....	38
2.5.4	分析結果の現場への活用法	.....	40
2.5.5	まとめ	.....	40
	(2.5の図表)	.....	41
2.6	結言	.....	47
第3章 用具の力学的特性と性能			..... 49
3.1	緒言	.....	50
3.2	テニス・ラケットの反発特性	.....	50
3.2.1	目的	.....	50
3.2.2	方法	.....	50
3.2.3	結果と考察	.....	53
3.2.4	分析結果の現場への活用法	.....	55
3.2.5	まとめ	.....	55
	(3.2の図表)	.....	57
3.3	テニス・ラケットの衝撃振動	.....	67
3.3.1	目的	.....	67
3.3.2	方法	.....	67
3.3.3	結果と考察	.....	68
3.3.4	分析結果の現場への活用法	.....	71
3.3.5	まとめ	.....	71
	(3.3の図表)	.....	72

3.4	結言	84
第4章 障害の予防と治療		85
4.1	緒言	85
4.2	テニス肘患者のストローク動作	86
4.2.1	目的	86
4.2.2	方法	86
4.2.3	結果と考察	87
4.2.4	分析結果の現場への活用法	88
4.2.5	まとめ	88
	(4.2の図表)	89
4.3	テニス肘装具の効果	94
4.3.1	目的	94
4.3.2	方法	94
4.3.3	結果と考察	94
4.3.4	分析結果の現場への活用法	95
4.3.5	まとめ	95
	(4.3の図表)	97
4.4	結言	103
第5章 巧みさの指導		104
5.1	緒言	104
5.2	サーブにおける巧みさの指導	105
5.2.1	目的	105
5.2.2	方法	105
5.2.3	結果と考察	107
5.2.4	まとめ	109
	(5.2の図表)	110
5.3	フォアハンド・ストロークにおける巧みさの指導	119
5.3.1	目的	119
5.3.2	フォームの評価の信頼性	119
5.3.3	ビデオフィードバックの効果	121
5.3.4	まとめ	122

(5.3 の図表)	…… 124
5.4 障害の予防を配慮した指導	…… 130
5.4.1 目的	…… 130
5.4.2 指導内容	…… 130
5.4.3 考察	…… 131
5.4.4 まとめ	…… 132
(5.4 の図表)	…… 133
5.5 結言	…… 137
第6章 結 論	…… 139
文 献	…… 141
関連研究発表論文	…… 148
謝 辞	…… 150

第 1 章

緒 論

1.1 テニスに関する研究の現状

1.1.1 世界におけるテニス研究の動向

テニスが学会でテーマとして取り上げられたのは、1978年、カナダで開催された International Congress of Sports Science が最初であろう。テニスだけでなくバドミントンやスカッシュも含め、ラケット・スポーツという名称で独立したセッションを与えられた。発刊された論文集 *Science in Racquet Sports* ⁽⁵¹⁾ は、当時はラケット・スポーツという用語が耳新しかったこともあり、各国の研究者から注目を集めた。

この会議ではもうひとつ、各方面にインパクトを与えたものがあった。それは“Bridge the Gap!” という標語である。Gap とは現場と研究室との間にある深い溝のことで、これを埋めていくための応用的な研究が不足しているのではないかとこの標語をもって、基礎研究中心であったスポーツ科学の世界に疑問を投げかけたわけである。この主張はとくにバイオメカニクスの研究者に強く受け、この会議を機に現場で役に立つ研究の必要性が、バイオメカニクス関連の学会で度々叫ばれるようになる。

しかし、応用的な研究といってもそう簡単に進展するはずはなく、80年代は研究者と選手・指導者とが同じ土俵で論議するまでには至らない。現場サイドも参加可能な雰囲気を持つ会議が開かれるようになるのは、90年代に入ってからのことになる。

1991年、アメリカのエール大学で開催された 1st World Congress of Sports Medicine & Science in Tennis, 1994年、イギリスのリバプールで開催された 1st World Congress of Science and Racket Sports, 1995年、広島で開催された第1回アジアテニス医・科学会議、そして1996年、イタリアのミラノで開催された 1st International Symposium on Tennis Biomechanics などがそれで、いずれもコーチングへの応用ということを前面に押し出し、選手・指導者、そして、一般のテニス愛好家の参加を広く求めた会議として特筆される。

さてこのように、遅々としてではあるが着実に歩を進めてきたテニスの応用的研究のなかで、発表数が最も多いバイオメカニクス関係の論文を概観してみると、プレイヤーの動作分析を行ったものと、ラケットやシューズなどの用具分析を行ったものが大半を占める。これらの研究はいずれも、選手・指導者の経験的所見と客観的事実との間に存在する“Gap”を埋めようという志向のもとに行われており、中には指導論に少なからぬ影響を与えたものもある。

以下、これまでに行われた研究の review を研究対象別に概観しながら、現場に役立つ研究が行われる可能性というものを探ってみることにしたい。

1.1.2 テニスの研究小史

1.1.2.1 動作分析

動作分析は、高速度カメラ、筋電図、ゴニオメーター、加速度計などを用いて行われる。古くは1948年に Slatter-Hammel⁽⁴⁹⁾ がフォアハンド・ストロークの際の上肢の筋電図を記録し、1968年には Bleivernicht⁽⁵⁾ が同じくフォアハンド・ストロークの際の動きを上方より撮影している。これらはいずれも、上級者のみを対象にして分析を行っている。

70年代の後半になると、新しい測定装置が開発されるに相まって、この種の研究は急増する。Anderson⁽²⁾ は筋電図による分析と画像解析の両面から、女子の上級者と初級者がサーブを行う際の筋活動について論じ、Miyashitaら⁽³⁷⁾ は同様な研究を行って、サーブにおいて上級者と初級者を簡単に区別できる点は肘関節の動きであると報告している。また、吉澤ら⁽⁶⁸⁾ はフォアハンド・ストロークについて、上級者と初級者の動作を同様な手法で比較し、上級者は上腕からラケットにかけての“むちうち状動作”を行っていること、インパクト前後に右上肢内転筋に放電の休止が認められることなどを明らかにしている。

このほかにも、技術水準の異なるグループ間の動作を比較するという形で、“巧みな動作”を追及しようとした研究は増加しつつある。今後もラケットの動きや上肢の筋放電時相など一見単純に見えるデータであっても、これを積み重ねていくことで、現場に役立つ情報を導き出していく必要がある。

しかし、こうした形の研究を進めていく際にはいくつか注意すべき点があることも忘れてはならない。ひとつは実践の後追い、つまり、経験論の確認作業に終わりはしないかという点である。分析者は、“巧みな動作”がどういうものかあらかじめ理念的にとらえていることが多く、分析をする際にはその理念に合いそうな要素に目を向けがちである。そうすると、得られた結果は事前に予想したも

のばかりということになってしまう⁽⁵⁶⁾。このようなデータは基礎資料としてはそれなりに貴重であるが、現場でとりあげられることは少ない。

もうひとつは、どのようなレベルであれストローク動作の個人差が非常に大きいという点である。そのため、グループ間にある動作の差異を分析するという形では、細かい部分の異同までは客観化しにくく、“巧みな動作”がどのような動きなのか不明なままで終わってしまうことがある。また、グループの人数が少ない場合は、グループ間の差異が“個性”によるものなのか、あるいは本当に技術水準の違いによるものなのか、判断がつきにくいこともある⁽⁵⁶⁾。

このような難点を克服するためのひとつの方法として最近注目されているのが、同一プレイヤーの動作の変化を追跡するという形の縦断的研究である。練習に伴う動作の変化やその変化と指導内容との関係といったテーマは、経験豊かなコーチといえども未整理の分野であるし、またそれらを分析していく過程で“巧みな動作”が自ずと明らかになっていくことがある。こうした実践研究や事例報告に属するタイプの研究はデータの収集に長期間を要するので、これまではあまり行われていないが、今後は現場と研究室の交流を図るためひとつの手段としても、盛んに行われるようになることが望まれる。

1.1.2.2 用具分析

スポーツのパフォーマンスを向上させるために、用具それ自体の分析が重要であることは論を待たない。テニスにおいても反発性能の良いラケットやグリップ性の良いシューズが登場することによって、プレイは格段にスピードアップした。現在もより性能の良い用具を造るため、あるいは用具を選択しやすくすることを目指して、ラケットやシューズの物理特性を調べる研究が盛んに行われている。

一方、指導への応用ということを念頭に、実際にプレイヤーがボールを打つ際の用具の反応に注目しようとした研究も増えている。

たとえば実打による実験では、しばしばプレイヤーの感覚が評価される。オフセンターで打球すると振動が増大する⁽⁴³⁾、その増大の様子はラケット面の大きさによって異なる⁽⁸⁾などは、プレイヤーの実感と一致する結果である。これに対し、テンションが違っても衝撃力の差異は現れない⁽²⁶⁾、フレームの厚さはインパクト時間に影響をおよぼさない⁽²⁵⁾など、実感と一致しない結果も導かれている。

今後はこうした用具の反応と“巧みな動作”との関係を知るために、実際に動作が成立している機械-人間系での機械特性を明らかにしていく必要がある。Casoloら⁽⁶⁾はそのような志向のもとに、インパクト時における腕系関節に伝わる衝撃力を予測し、予測をする際には腕系に付加質量を与える必要があることを示している。

1.2 本研究の目的と意義

スポーツを実施する目的は、人により種々様々である。記録の向上をめざす熾烈なスポーツもあれば、仲間と交流し気分転換になればそれでよいというスポーツもある。また、体力を維持増進するためのスポーツがある一方で、病気や障害からの回復を図るためのスポーツもある。

しかし、目的やレベルは違っても、少しでもうまくなり強くなりたいと思うことには変わりがないはずである。テニスのように複雑な動作で構成されているスポーツではとくにそうで、練習ではどのレベルにおいても“巧みさの獲得”が中心課題となって展開されている。

このような事実があるにもかかわらず、テニスの“巧みさ”の科学的解明はまだ十分になされているとは言えないし、その指導法も経験の域を出るものではない。最近の測定・分析技術の進歩によって、テニスのストローク動作や用具に関する研究が幅広く行われるようになってはいるが、それらの多くは基礎研究的な色彩が濃く、実際に巧みさの獲得を目指している現場のプレイヤーに恩恵を与えるような応用的な研究は少ない。また、巧みさを獲得する過程で避けて通ることができない種々の障害についても、有効な手だてが提示されていないというのが現状である。

こうした問題を解決するためには、テニスにおける巧みな動作、巧みさ獲得につながる用具、そして各種の障害予防法とはどのようなものか、現場の視点も含めながら客観化していく必要がある。

本研究では、テニスにおける巧みさとその指導法を科学的客観的に示すことを目的として、「巧みな動作の獲得」「性能の良い用具の使用」「障害の予防」という3つの観点からそれぞれの達成法を具体的に提案し、これを実際の指導現場において応用することによってその有効性を示す。

1.3 打を生み出す身体の動き

テニスに限らず打具でボールを打つスポーツでは、図 1-3-1 にみられるように、中枢側の segment の動きが先行し、末梢側の segment の動きがあとに続くというパターンが、望ましい動作であるとされている。これは次の2つの理由が考えられる。

1つは、力学的理由である。話を簡単にするため、スウィング中の上腕と前腕の関係で考える。まず、上腕の回転が生じると、前腕はほぼ同じ量回転する。次に、前腕が上腕に対して回転し始めると、その回転は上腕部に反作用を生み出し、上腕部の回転速度を減少させる。上腕部で生み出したエネルギーの一部は前腕部に転移し、前腕の回転速度を増大させる。

もう1つは、解剖学的理由である。一般に、各 segment を動かす筋は中枢側に付着し、中枢側ほど大きい。末梢側の速度を大きくするためには、中枢側の重い部分を先に動かすことが重要で、先の例では上腕→前腕の順に動くのがよいということになる。ただ、下肢の場合は状況が異なり、下肢→腰の順に末梢側から中枢側へと動くほうがよい。なぜならば、腰は下肢の筋群を働かせることにより回転するからである。

以上まとめると、打を生み出す身体各部位の動きは、下肢→腰→胴体→上肢（上腕→前腕）の順であることが望ましいということになる。テニスの場合、身体各部位の最高速度の出現順序として、図 1-3-2 のような模式図が示されることがある。

しかし、この考え方は単純化された2次元のモデルに基づくもので、すべての打動作に当てはめようとするとう無理が生じる。たとえば、テニスでは回転運動がサーブのように鉛直平面を主体に行われるものと、グラウンド・ストロークのように水平面を主体に行われるものがあるが、後者では腰すなわち骨格でいうと骨盤は左右の大腿骨頭から直接力を受けるので、下肢の回転と骨盤の回転はほぼ同時になる。また、各 segment の回旋動作も含めた3次元にわたる動きのなかで上記のような考え方が成立するかどうかは不明である⁽⁶²⁾。さらに、実際の指導現場においては、身体各部位を順序良く動かすということは初級者にとっては難しい課題であるとされている。

そこで本研究では、こうした時間遅れをともなう動きは応用的な動作であると考え、打を生み出す身体の動きの本質はあくまで回転運動であると規定して、話を進める。

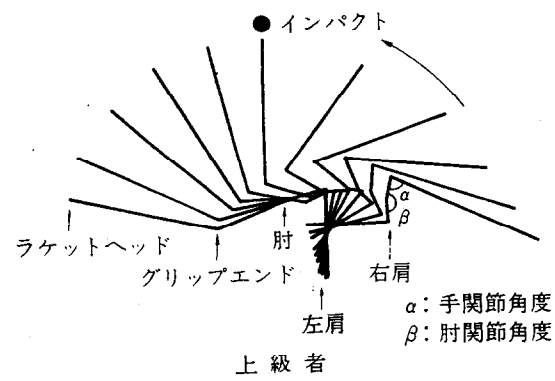


図 1-3-1 上方からみたテニスのフォアハンド・ストロークの線画
(20 ミリ秒毎)

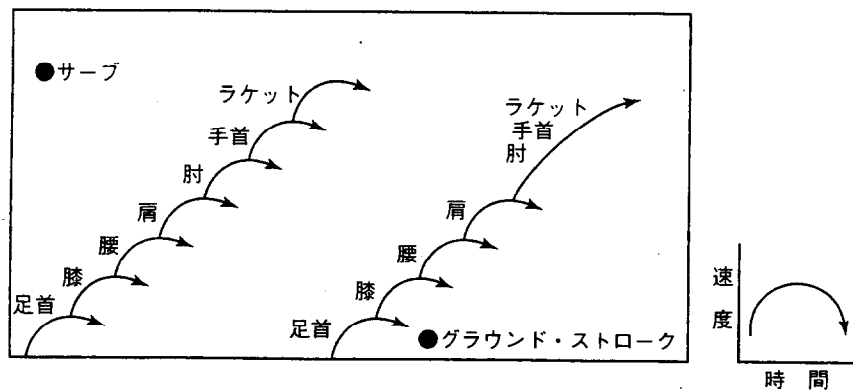


図 1-3-2 テニスにおける速度加重の模式図

1.4 巧みな動作の定義

ここ 30 年間にテニスの打法は、ラケットの発達とともに 3 度大きな変化を遂げている⁽⁶⁰⁾。ここでは、テニスの打法の変化をふり返りながら、現時点でのテニスにおける巧みな動作とはどのようなものか定義する。

なお、スポーツ科学の分野では“巧みさ”の分析対象としては、動作だけでなく神経系の働きに関するものすべて、たとえば、記憶・イメージ・反応・知覚など心理的な要素も含まれるが、本論文では主として動作、つまり身体運動として外から観察される力学的な情報を分析対象としてとりあげる。

1.4.1 1970 年頃までの打法

ラケットは木製で、現在と比較すると反発性能に劣っていた⁽³²⁾。また、重量はストリングスを含め平均 400g で、現在よりも 80~150g 重かった。そのためスウィング速度、反発ボール速度ともに現在のように速くなく、世界一流男子テニス選手のサーブ速度で比較すると、当時 (180km/時⁽¹⁵⁾) は現在 (210km/時) よりも 15% 前後遅かった。

そのような時代にプレイヤーに要求されたのは、「速いボールを打つこと」よりも「コントロールの良いボールを打つこと」であった。ラケットの動きを指導する際には、コントロールの乱れが少ないと考えられる直線的な動きが強調されていた。ラケットの並進運動を正確に行うためには、並進運動を阻害する動きを排除する必要がある。そのため、脊柱を中心とした身体の回転運動や上体のひねりが強調されることは少なく、むしろそうした動きが過大にならないようにするために、フォワード・スウィングの際にはどのストロークも左腕をラケットの進行方向と逆方向に動かすような指導が行われていた (図 1-4-1)。

1.4.2 1970 年から 1990 年頃までの打法

ラケットの技術は、木からグラスファイバーに移行した。ラケット面サイズが 10~20% 大きいデカラケが主流になり、反発性能が向上した⁽⁸⁾。スウィング速度、反発ボール速度ともに速くなり、ポイント時間の短縮化に向かう⁽⁶⁷⁾のがこの時代の特徴で、ラケットの動きを指導する際には並進運動とともに回転運動も強調されるようになる。脊柱を中心とした身体の回旋速度を大きくするためには、で

きるだけたくさんの筋肉を動員する必要がある。テイクバックのときには左腕を後方に動かして体幹部の後方への回転量を大きくし、この左腕をフォワード・スウィングと同時にラケットと一緒に前方へ動かすよう、指導が行われていた。つまり、左腕は1970年以前とは逆の方向へ動くようになった(図1-4-2)。

1.4.3 1990年以降現在までの打法

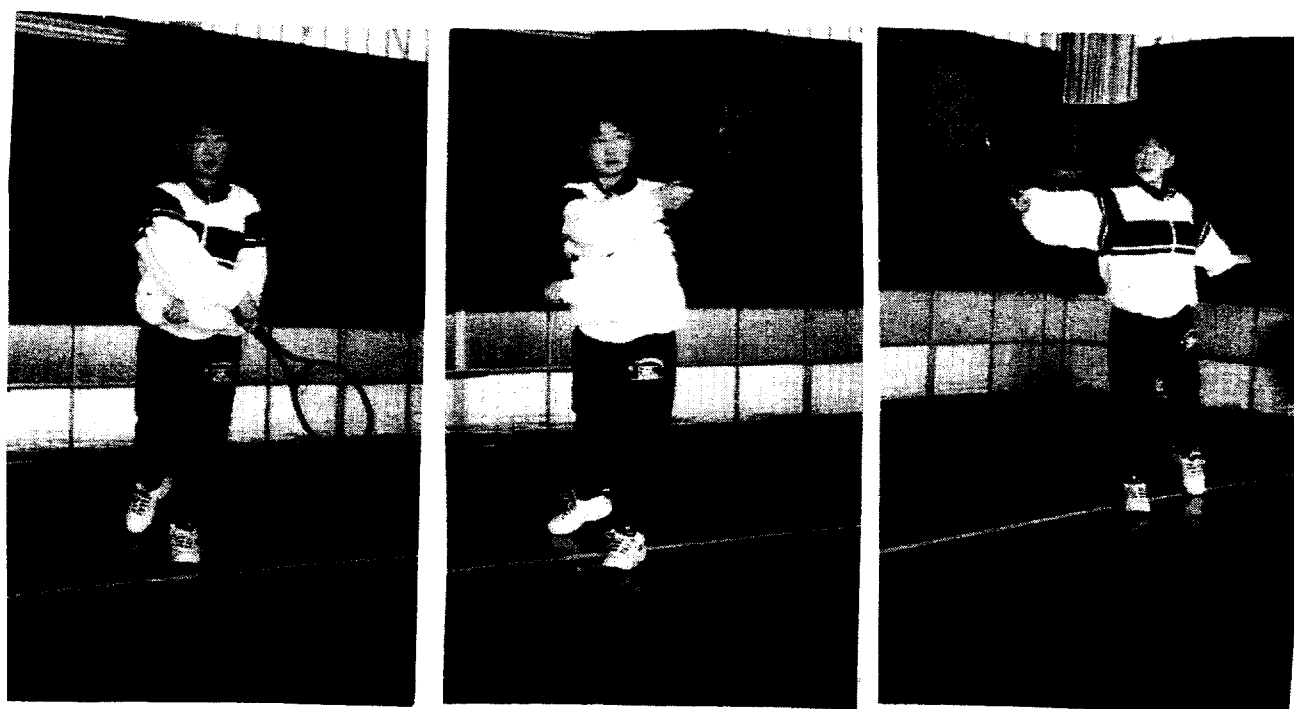
ラケットの軽量化が進むとともに、フレームの厚いアツラケが登場した。スウィング速度、反発ボール速度とともにさらに大きくなり、世界一流女子テニス選手のサーブ速度が200km/時を越すようになった。プレイヤーには「速いボールを打つこと」が要求されるようになり⁽⁶²⁾、指導の際にはラケットだけでなく身体全体の動きに目が向けられるようになった。すなわち、脊柱を中心とした身体の回旋速度、とくに骨盤の回旋速度をラケットの速度に加算するために、ラケットだけでなく左腕と下半身も同時に回旋させる、という指導が行われるようになった(図1-4-3)。ひとことで言うと、現在のテニスは「両腕、体幹、下肢、つまり身体全体で同時に円を描くスポーツである」と言うことができる。それぞれのストローク動作の本質的な部分である回転運動に焦点をあて巧みな動作を定義すると、次のようになる。

- ・サーブにおける巧みな動作……トスを上げた後、右手を上方に動かし始めるときに左手が同じタイミングで下方に円を描くように動く。右足は左足を軸にやはり同じタイミングで前方に円を描くように動く(図1-4-4)。

- ・フォアハンド・ストロークにおける巧みな動作……クローズド・スタンスでは、フォワード・スウィング開始と同時に左手も動き始め、右手左手ともに左回りの円を描く。右足は左足を軸にやはり同じタイミングで前方に円を描くように動く(図1-4-4)。オープン・スタンスでは左足は右足を軸に後方に円を描くように動く(図1-4-4)。はっきりとしたクローズド・スタンスやオープン・スタンスではないとき、フォワード・スウィング開始と同時に軽くジャンプして体幹を回旋させる。

- ・バックハンド・ストロークにおける巧みな動作……クローズでは右足が軸オープンでは左足が軸に、そしてジャンプ打法ではフォアと回旋の向きが逆になるだけで、フォアハンド・ストロークと同様である。

- ・ ボレーにおける巧みな動作……グラウンド・ストロークの場合と同様に，身体全体で円を描くように動く（図 1-4-4）。

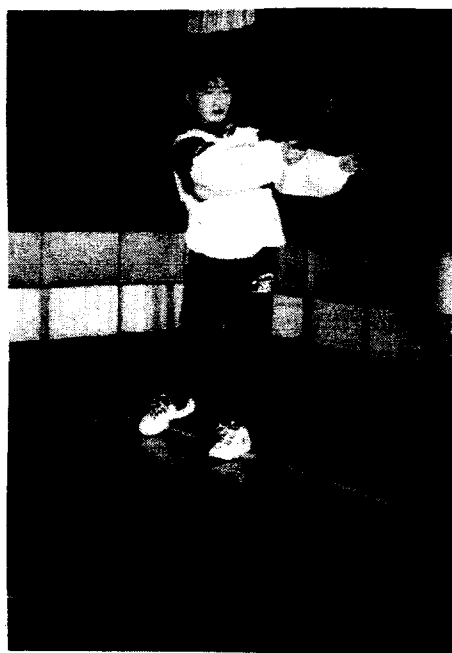


サーブ

フォアハンド
グラウンド・ストロークバックハンド
グラウンド・ストローク

図 1-4-1 1970 年頃までの打法

フォワードスイングの際に左腕が
ラケットの進行方向とは逆方向に動いている



フォアハンド
グラウンド・ストローク



バックハンド
グラウンド・ストローク

図 1-4-2 1970 年から 1990 年頃の打法
フォワードスイングの際に左腕が
ラケットと一緒に前方へ動いている

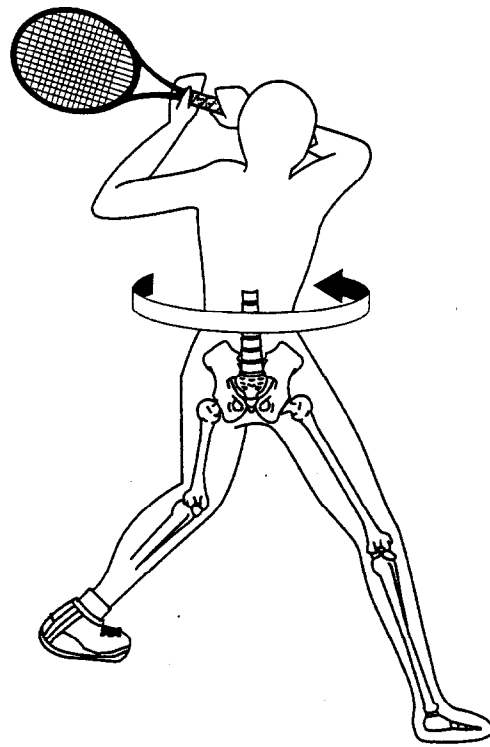
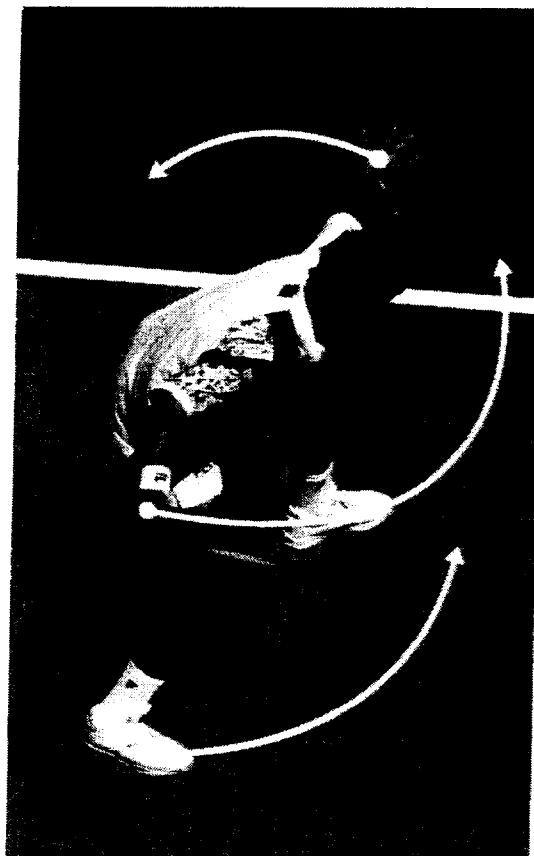


図 1-4-3 骨盤の回旋



フォアハンド・ストローク
オープン・スタンス



フォアハンド・ストローク
クローズド・スタンス



サーブ



ボレー



図 1-4-4 1990 年以降現在までの打法
両腕，体幹，下肢が同時に円を描くように動いている

1.5 本論文の概要

本論文は後記の「関連研究発表論文」にある 11 編の論文をまとめたものであり、6 章で構成されている。

第 1 章『緒論』では、テニスに関する研究の現状を概観した後、本研究の意義と目的について述べるとともに、テニスにおける巧みな動作とはどのような動きか定義している。

第 2 章『巧みさの分析』では、サーブ、グラウンド・ストローク、ボレー、そしてサービス・リターンについて、巧みな動作とはどのような動きかその一端を客観化した上で、いま現在行われている指導法に対して検討を加えている。

第 3 章『用具の力学的特性と性能』では、人間系と用具系とが複雑に絡む現象を解明し、巧みさ獲得を目指すプレイヤーに用具選択の指針を提示していくための第一歩として、ラケットの物理特性の違いがラケットの反発性能、およびインパクトにおける衝撃振動にどう影響をおよぼすか検討を加えている。

第 4 章『障害の予防と治療』では、巧みさを獲得していく過程で避けて通ることのできない種々の障害と打法の関係、およびテニス肘装具の効果について、バイオメカニクスの立場から追求している。

第 5 章『巧みさの指導』では、巧みさを獲得していく過程に焦点をあて、ある一定期間の練習によって巧みさがどう向上するか、また障害がどのようにして克服できるか縦断的に追跡している。これにより巧みさを獲得する過程を客観化するとともに、指導をどのような形で行うのが望ましいか、そのひとつの考えを提示している。

第 6 章『結論』では、本研究で得られた成果と結論を総括している。

第 2 章

巧みさの分析

2.1 緒言

テニスにおける主要なストロークには、サーブ、グラウンド・ストローク、ボレー、スマッシュの4つがある。

Gray⁽¹⁵⁾は、テニスに関する初期のバイオメカニクスの研究をまとめる中で、これらストロークの“型”は個人によりかなり異なっているものの、トーナメント・プレイヤーは比較的オーソドックスな打ち方をしていると指摘し、テニスのストロークという複雑な動作においても“基本的な技術”というものがあって然るべきであると述べている。

しかしながら、テニスの基本的な技術の客観化は十分に行われているとは言えないし、その指導法も経験の域を出るものではない。

そこで本章では、各ストロークにおける身体、ラケット、ボール、この3者の動きの関係をいろいろな技術水準のテニス・プレイヤーについて明らかにし、いま現在行われている指導法に対して検討を加えるとともに、基本的なストローク技術とはどのようなものか検討することを主要な目的とした。

具体的な手順としては、まずはじめに動作の差異と共通性を、高速度カメラによって得られた画像をもとに大まかにとらえる。そして次に、画像解析では微分操作によって測定誤差が増大する⁽⁴³⁾ことを考慮して、細かい部分の異同については、加速度形あるいは上下運動計測センサを用いることによって客観化する、という形をとった。

このような形で客観化された基本的技術は、“巧みな動き”そのものを表していると考えられる。

2.2 サーブの力学的解析

2.2.1 目的

テニスのサーブは同時に2つの動き——ボールのトスとラケットのスウィング——を同調させる必要があるので、初級者にとっては難しいストロークのひとつである。したがって、上級者と初級者とを比較すると、打法やボールスピード等に明確な違いがみられる⁽³⁶⁾。

本節の目的は、サーブにおける上肢の動き、およびラケットヘッドとグリップエンドの速度変化の関係を検討し、サーブにおける巧みな動作とはどのようなものか明らかにすることである。

2.2.2 方法

被検者は19～23歳の男子で、上級者グループ5名（大学テニス部員）、初級者グループ4名（テニス歴半年未満）の合計9名とした。被検者には研究の内容と目的を十分に説明し、実験に参加することへの同意を得た。各被検者はベースライン後方左サイドに立ち、右サイドのサービスコートに最大努力のフラットサーブを打った。

被検者の動作を16ミリ高速度シネカメラ（フォトソニック16-1p）を用い、右側方20mのところより毎秒100コマで撮影した。ラケットヘッド、グリップエンド、ボールの速度、および手関節、肘関節の角度変化は、モーション・アナライザー（ナック製）を用いて算出した。

2.2.3 結果と考察

各グループ内ではほとんど同様な傾向のスティック・ピクチャー（線画）が得られたので、典型例を図2-2-1に示した。上級者と初級者とではラケットの可動範囲だけに着目してもかなりの違いがみられ、各部位の速度や角度にも大きな違いが生じているであろうことは容易に想像できる。

表2-2-1に、インパクト直前のラケットヘッド、グリップエンドの速度およびインパクト直後のボール速度を、図2-2-2に、鉛直平面における肘関節、手関節の角度変化、およびラケットヘッド、グリップエンドの速度変化を示した。

はじめに肘関節の角度（図2-2-1の β ）の変化から比較すると、上級者の場合はインパクトに向けて著しく伸展しているのに対して、初級者の場合はほとんど

伸展位のままであり、あまり変化をしていない。次に手関節の角度（図2-2-1の α ）の変化を比較すると、上級者の場合はインパクトの90ミリ秒前から40ミリ秒前、すなわちラケットを上方へ動かしていく過程で一時伸展し、その後インパクトに向けて著しく屈曲するのに対し、初級者の場合は全体になだらかな屈曲のみであることが分かる。

上級者において認められた以上のような肘・手関節の角度変化の特徴は、上級者のサーブでは肘関節の伸展と手関節の急激な屈曲が見られると述べたMiyashitaら⁽³⁷⁾の報告と一致しており、ラケットヘッドの速度を大きくするための一要因になっていることが確認された。

さて次に、ラケットヘッドとグリップエンドの速度変化に注目する。まず、ラケットヘッドに関して分かることは、両グループともインパクト前は加速期にあり、インパクト直前の値は上級者のほうが大きいという点である。一方、グリップエンドに関しては、インパクト直前の値にはあまり差がみられないものの、インパクトに向かうまでの様相に大きな違いが認められる。すなわち、初級者はほぼ一定の速度を維持しているのに対し、上級者はインパクトの50ミリ秒前にピークに達し、インパクトに向けて著しく減速しているのである。このグリップの減速は、先にみた手関節の急激な屈曲と関係しており、ラケットの回転運動を促進する際に重要な役割を果たしている。

以上の結果をまとめると、初級者はサーブにおいては肘関節をあまりはやく伸展しないようにすること、また、インパクトに向けて手首の屈曲を上手に利用すべきであるという提言を導き出すことができる。上級者に見られる、インパクトに向けての肘関節の伸展と手関節の屈曲という、いわゆるスナップ動作⁽⁴³⁾を上手に利用した一連の動作は、身体全体で円を描くというサーブにおける巧みな動作の一要素を構成するものとして、重要な役割を果たしていることが示された。

2.2.4 分析結果の現場への活用法

上級者にみられるスナップ動作は、手関節部を柔らかくすることによって結果として生じるものであり、特別に意識をして行っているのではない⁽⁴⁹⁾。実際、サーブのインパクト時において、手首を屈曲させることを意識するよりも、余分な力を抜くよう意識したほうが良い結果につながることが多い。初級者を指導する際には、ラケットや身体の動きといった表面的な“形（フォーム）”についてのアドバイスに片寄りがちであるが、力の出し入れといった動きの“中身（グレイディング）”⁽⁴⁴⁾に関するアドバイスにも目を向ける必要がある。

2.2.5 まとめ

サーブにおける巧みな動作とはどのようなものか，その一端を客観化するために，高速度カメラを用いて上級者と初級者の動作解析を行った．上肢の動き，およびラケットの速度，肘・手関節の角度変化を比較したところ，初級者は肘関節・手関節角度ともあまり変化させていないのに対し，上級者はインパクトに向けて肘関節を伸展させるとともに手関節を急激に屈曲させ，いわゆるスナップ動作を上手に利用していることが明らかになった．

上級者に見られるこのようなスナップ動作は，ラケットの回転運動を促進することにつながっており，身体全体で円を描くというサーブにおける巧みな動作の一要素を構成するものとして，重要な役割を果たしていることが示された．

表 2-2-1 インパクト直前のラケットの速度
およびインパクト直後のボール速度

	インパクト直前の速さ (m/秒)		ボールの初速 (m/秒)
	ラケットヘッド	グリップ	
上級者 (n=5)	35.6 ± 3.1	6.11 ± 0.9	38.8 ± 2.4
初級者 (n=4)	25.6 ± 2.7	7.16 ± 0.7	27.7 ± 1.6

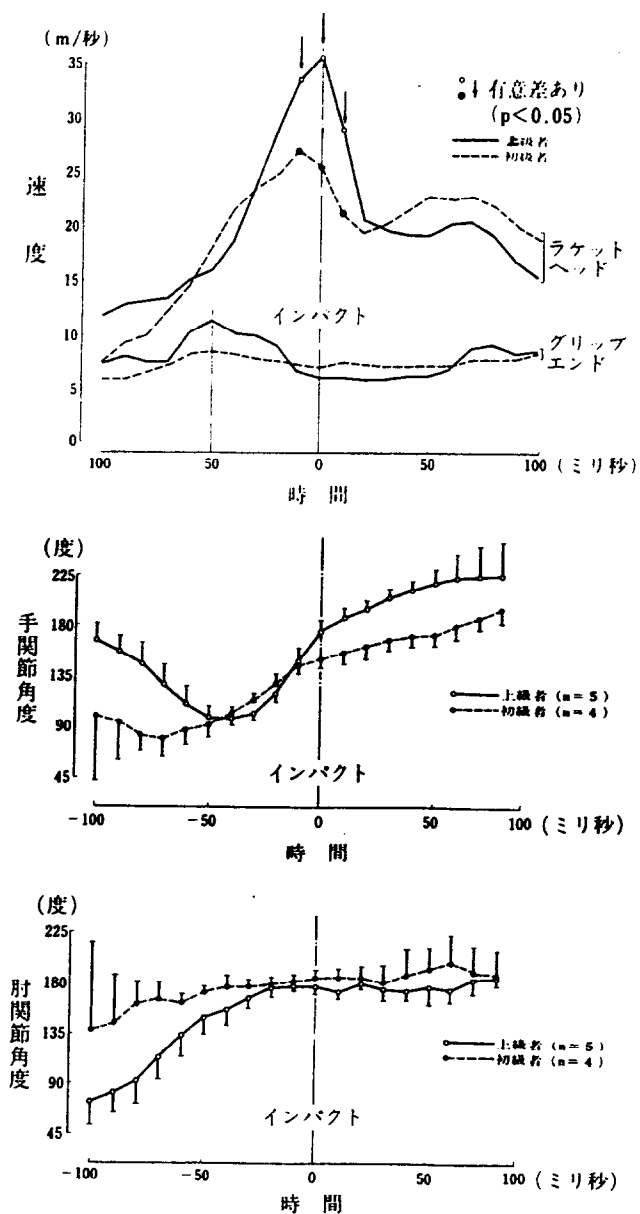


図 2-2-2 サーブにおける肘関節・手関節の角度変化およびラケットヘッドとグリップエンドの速度変化

2.3 フォアハンド・ストロークの力学的解析

2.3.1 目的

テニスのグラウンド・ストロークにおける身体各部位の動きは、並進運動と回転運動とが合成されたものである⁽⁴⁷⁾。並進運動は身体を打球方向に移動させることで得られるのに対し、回転運動は脊柱を中心とした体幹の回転、肩関節を中心とした上腕の回転、肘関節を中心とした前腕の回転、および、手関節を中心とした手の動きによって生じる。

この並進運動と回転運動は、最終的にはプレイヤーの手を介してラケットの動きを形成するので、ラケットそれ自体の動きも並進運動と回転運動とが組み合わさったものとして観察されることになる。

しかしながら、身体各部位の動きをより詳細に論ずるためには、こうした動きを数量化した上で定量的に論じて行かなくてはならない。本節の目的は、ラケットの並進運動と回転運動を加速度波形を用いて数量化し、フォアハンド・グラウンド・ストロークにおける巧みな動作とはどのようなものか明らかにすることである。

2.3.2 方法

加速度計はシャフト (A1)、グリップ下部 (A2)、グリップ上部 (A3) の3箇所に取り付け、A1とA2からはラケット面に対して垂直方向の、A3からはラケットの長軸方向の加速度を導出した (図2-3-1)。定格容量はA1は50G、A2とA3は20Gとした。

使用したラケットはセミラージ344gで、材質はカーボン・グラファイト、ストリングス張力は58ポンドであった。

使用球は硬式用と軟式用の2種類とした。軟式用ボールも用いたのは、打球の際にラケットに加わる衝撃が、加速度計の定格容量を越えないようにするためである。

加速度波形におよぼす重力の影響を取り除くため、2本の棒をラケット面とスロートの部分に固定し、画面上におけるそれぞれの棒の長さから、ラケット面が鉛直平面となす角度、およびラケットの長軸が水平面となす角度を求めた。

重力補正をして得られた加速度から、重心回りの角加速度 $\ddot{\theta}$ 、重心におけるラケットに垂直な方向の並進加速度 a を求め、それぞれ、ラケットの慣性モーメントと質量を乗じて、重心回りのトルクと重心に作用する力を算出した。

なお、角加速度 $\ddot{\theta}$ と並進加速度 a 求め方は次のとおりである。重心から A1,

A2 までの距離をそれぞれ l_1 , l_2 とし, A1, A2 から得られる加速度をそれぞれ a_1 , a_2 とすると,

$$a_1 = a - l_1 \ddot{\theta}$$

$$a_2 = a - l_2 \ddot{\theta}$$

が成り立つ. 連立方程式を解いて,

$$\ddot{\theta} = (a_1 - a_2) / (l_2 - l_1)$$

$$a = (a_1 l_2 - a_2 l_1) / (l_2 - l_1)$$

被検者はグラウンド・ストロークにおける巧みな動きを体現できるレベルにあるとみなされるテニス歴15年以上の男子一流テニス選手1名(A), 男子テニスコーチ1名(B)とした. 被検者には研究の内容と目的を十分に説明し, 実験に参加することへの同意を得た. 各被検者はベースラインの外側に立ち, フォアハンド・ストローク(フラット)を行った. まず加速度計を装着していない同型ラケットで硬式用ボールを10球連続して打ち, その直後に加速度計を装着したラケットに持ちかえて, 軟式用ボールを10球連続して打った.

被検者の動作を側方20.2mのところから高速度カメラ(フォトソニック16-1P)を用い, 毎秒100コマで撮影した.

2.3.3 結果と考察

加速度波形の分析の前に, 軟式用ボールを打球するときの動作が硬式用ボールを打球する際の動作と同様であることを, 画像を観察することによって確認した.

図2-3-2 上段は, ラケットの長軸がカメラの方向に対してなす角度を重心位置を直線上に揃え, 各時相ごとに書き表したものである. つまり, この図は上方からみたラケットの角度を表しており, 実際のラケットの動きを示すものではない.

図2-3-2 中段は, 重力補正をして得られた各部位の加速度波形, 下段は計算をして求めたトルクと力で, いずれもそれぞれの被検者の典型例である.

まずラケットの長軸の動きについて, インパクトの200ミリ秒前からインパクトまでの重心を中心とする回転角度を算出してみると, 被検者Aが約100度, 被検者Bが約70度とかなりの差がみられた. このことは, 技術水準の高い被検者Aの打法が被検者Bに比べてラケットの回転をより利用する打ち方であることを示している.

ここで注目したいのが, 被検者Aのインパクト前140ミリ秒におけるラケットの動き(図中★印)である. 微妙な動きではあるが, この時点においてラケットをスウィングの方向とは逆方向に回転させている. これはフォワード・スウィング中の動きであり, フォワード・スウィング開始直前に再度後方に引く“二度引き”とは異なるものである. スウィングの際中にラケットを一瞬逆方向に回転さ

せる動きは、反動動作としてラケット速度の増大に貢献していると考えられ、被検者Aの打法は反動動作を上手に利用した巧みな動作により構成されている、ということが出来る。

一方、被検者Bのスウィングにはこのような反動動作を利用するような動きは見られない。フォワード・スウィング全体にわたり、ラケットを平行に押し出すような打ち方をしている。

次にラケット各部位の加速度、およびトルク・力について検討する。

被検者Bの場合、シャフト部とグリップ底部はいずれも正の値を示し、グリップ下部もインパクトの直前の20ミリ秒以外は正の値を示していた。このことは、シャフトとグリップを前方に、またグリップを図2-3-1で示すところの下方に押しながらインパクトに向かっている、ということの意味している。また、いずれの部位もインパクトの50ミリ秒までに最も大きな力が加わり、その後はインパクトに向けて低下していた。

重心に作用する力と重心回りのトルクの値は、いずれもフォワード・スウィング開始時からゆるやかに上昇し、インパクト前約70ミリ秒においてほぼ同時にピーク値をむかえ（力=20.8N、トルク=2.7Nm）、その後インパクトに向けて減少していた。重心に作用する力のピーク値は、被検者A（11.5N）の約1.8倍であった。

一方、被検者Aの場合、シャフトおよびグリップ下部の加速度はインパクト前200ミリ秒までは低値を保ち、その後グリップ下部、シャフトの順に負の値を示していた。また、グリップ底部はインパクト前約100ミリ秒においてピーク値を示した後、インパクト直前には負の値に転じていた。ラケットの角度を考慮しながら解釈すると、被検者Aの場合はインパクト前150ミリ秒あたりからグリップエンドを前方に急激に加速することで、ラケットの前方向への大きなトルクを得ていると考えることができる。実際、被検者Aのトルクの最大値は4.9Nmで、被検者Bの1.8倍であった。

なお、シャフト部とグリップ下部に前方ではなく後方に押す力が働いているという点は理解しにくいかも知れないが、これはインパクト直前では前方向の回転に対してブレーキが働いているためである。また、ラケットが手関節の伸展とともに後方に返され、加速度計が進行方向とは逆に向いていることにもよる。

以上まとめると、重心に作用する力ではテニスコーチが優れていたのに対し、重心回りのトルクでは一流テニス選手が優っていたということになり、オーソドックスな打ち方をしているといわれる上級者⁽¹⁵⁾においても、並進運動を多く含んでいる場合と回転運動を主体とする場合の2通りに分類できること、また、技術水準の高いプレイヤーほど、ラケットで円を描くというグラウンド・ストロークにおける巧みな動作を達成していることが、明らかになった。

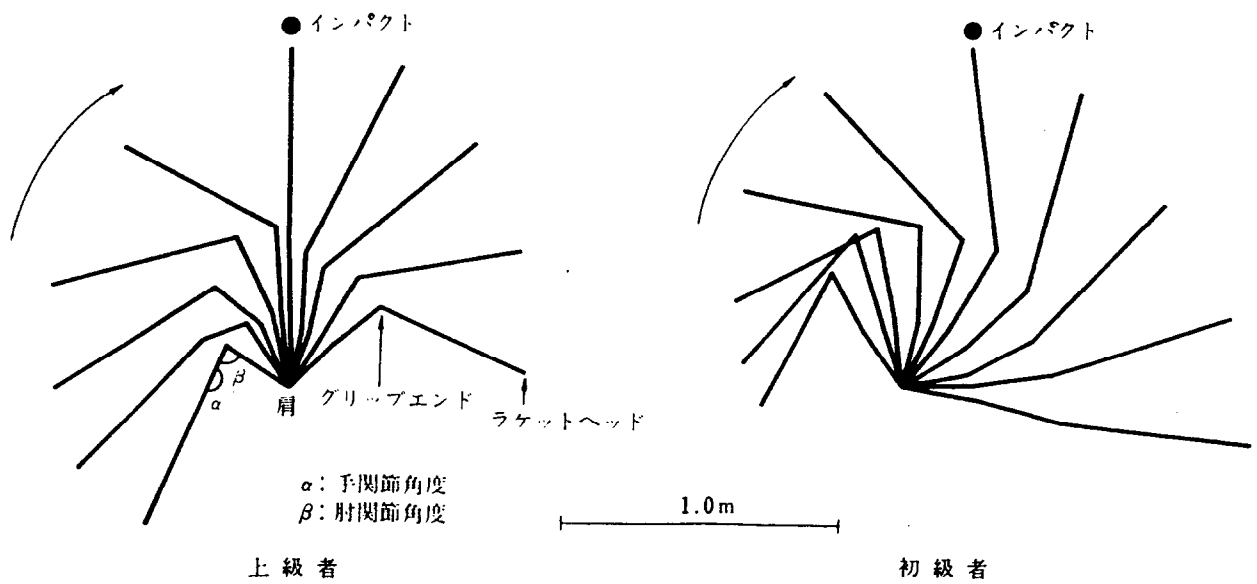


図 2-2-1 肩を基準点としたテニス・サーブの線画 (20 ミリ秒毎)

2.3.4 分析結果の現場への活用法

ラケット，左手，体幹，下肢で円を描くというグラウンド・ストロークにおける巧みな動作の中で最も重要なのは，脊柱を中心とした体幹の回転運動であり，ラケットの円運動だけを強調することがないようにしたい．とくに，初級者は，上級者と比べると手首を使ってラケットを加速する傾向がある⁽⁵²⁾ため，ボールのコントロールが悪くなる．そのような場合は，手首を屈曲しすぎないように，むしろグリップは固定させたほうがよい．上級者に見られるラケットで円を描くという巧みな動作は，並進運動と回転運動とをうまく組み合わせた上で達成されているのである．

2.3.5 まとめ

フォアハンド・ストロークにおける巧みな動作とはどのようなものか，その一端を客観化するために，ラケットに加速度計を取り付けて動作解析を行った．得られた加速度波形からラケットの動きを並進運動と回転運動に分離したところ，オーソドックスな打ち方をしていると言われる上級者においても，並進運動を多く含んでいる場合と回転運動を主体とする場合の2通りに分類できること，また，技術水準の高いプレイヤーほど，ラケットで円を描くというグラウンド・ストロークにおける巧みな動作を達成していることが，明らかになった．

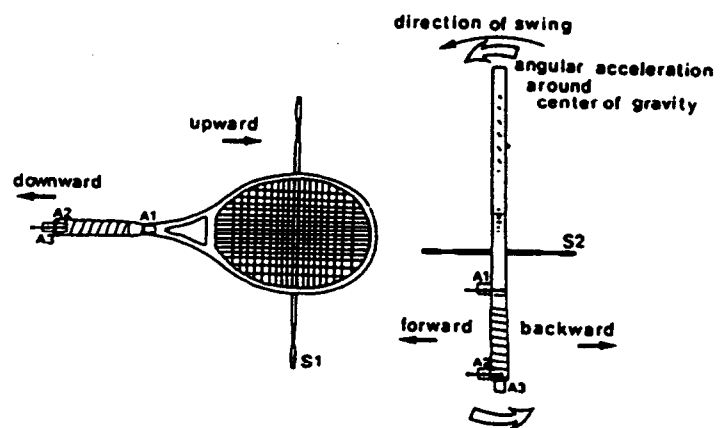


図2-3-1 加速度計の装着部位および重力補正のための棒の固定位置

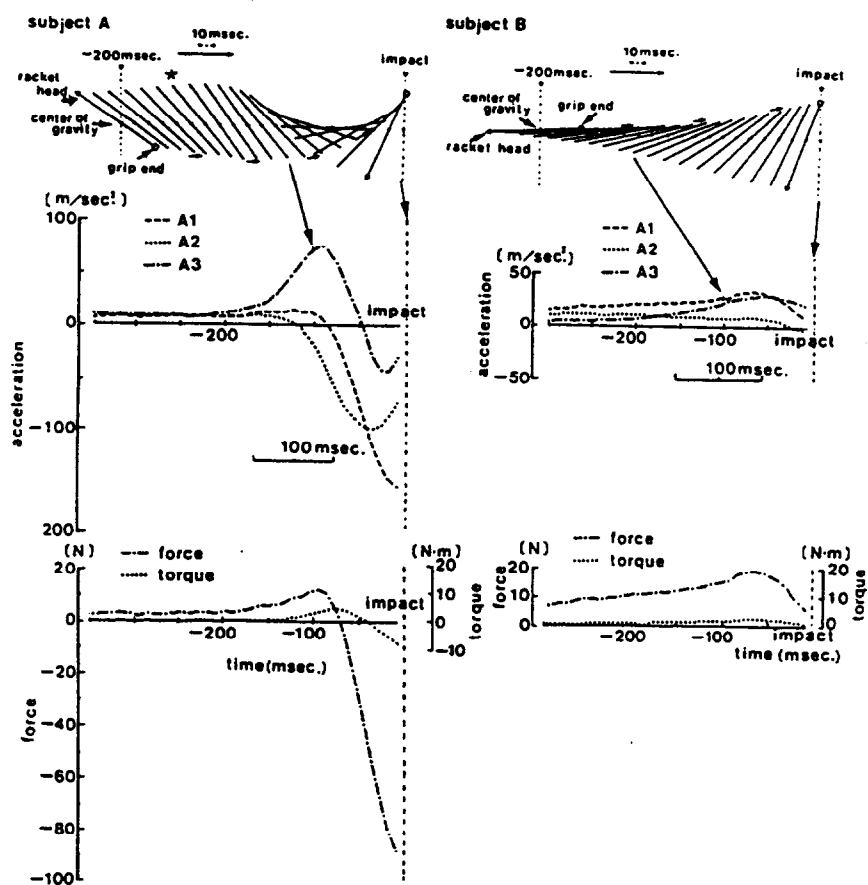


図2-3-2 加速度波形、トルク、力、および
ラケットの長軸がカメラの方向に対してなす角度

2.4 ボレーの力学的解析

2.4.1 目的

テニスのストロークの中で分析対象に選ばれやすいのは、サーブとグラウンド・ストロークである。ボレーに関しては Plagenhoef⁽⁴⁶⁾ が取りあげて以来、本格的な分析はほとんど行われていない。

そこで本節では、ドライブボレー（ラケットを前方へ動かしながら、ボールに回転をかけないで打つ普通のボレー）に加えて、ドロップボレー（ネット際に緩くボールを返すボレー）も分析対象として取り上げる。このドロップボレーはインパクト前後のラケットの動かし方や、力の入れ具合に微妙な技術が要求されるために、指導の際にはあいまいな表現が頻出する。

本節の目的は、ボレーの際のラケットの動きを数量化し、ドライブボレーおよびドロップボレーにおける巧みな動作とはどのようなものか明らかにすることである。

2.4.2 方法

被検者はドライブボレーとドロップボレーにおける巧みな動きを体現できるレベルにあるとみなされるテニス歴15年以上の男子上級者2名（I, S）とした。被検者には研究の内容と目的を十分に説明し、実験に参加することへの同意を得た。各被検者はサービスラインとネットの間に立ち、経験豊かなテニスコーチが打ち出したボールに対して、ドライブボレーとドロップボレーを行った。

加速度計の固定方法、使用ラケット、使用球、加速度および動作の分析方法は、2.3のフォアハンド・ストロークの場合と同様である。

2.4.3 結果と考察

図2-4-1 は、被検者 I の側方よりみたラケットの動きの典型例である。ドロップボレーの場合はラケットの動きが小さく、インパクト直前の重心の前方向への速度はわずかに 1.3m/秒であり、ドライブボレーの 5.5m/秒の1/4であった。

このように、インパクトに向けてラケット速度を小さくすることは、打球後のボール速度を遅くするための要因のひとつとして重要である。実際、硬式用ボールを打球したある試行におけるインパクト直前の前方向へのラケット速度、およ

びインパクト直後の前方向へのボール速度は、ドライブボレーの場合それぞれ 7.2m/秒、20.4m/秒、ドロップボレーの場合それぞれ 1.2m/秒、7.2m/秒であった。

図2-4-2 は、このときのラケットとボールの動きを側方よりみたものである。

図2-4-3 は、ラケットの重心回りのトルク、および重心に作用する力のラケット面に対する垂直成分の変動の様子を示したもので、どちらも先に典型例とした試行から導かれたものである。

トルク曲線と力曲線はともに、ドロップボレーはドライブボレーよりはるかに小さい値を示している。インパクト直前の値を比較すると、トルクの最大値はドロップボレーが 0.71Nm で、パンチボレーの 3.97Nm の約1/6、力の最大値はドロップボレーが 5.38N で、ドライブボレー 16.91N の約1/3であった。

ここで注目すべき点は、ドロップボレーの場合もトルク・力とも、インパクトの直前は常に正の値を示しているという点である。いずれも値は小さいものの、ドロップボレーの場合もドライブボレーと同様に、インパクトに向けてラケットを前方へ押す力と前方へ回転させる力が加わっている。

図2-4-4 は、被検者Sのトルク曲線、力曲線である。やはり被検者Iと同様にドロップボレーの場合、ドライブボレーと同様にインパクトに向けてラケットを前方へ押す力と前方へ回転させる力が加わっている。上級者の場合は、どちらのボレーにおいてもラケットで円を描いている、ということだ。

さて、ドロップボレーを指導する際、『インパクトのときに腕を後ろに引く』あるいは『インパクトの直前にラケットを引く』という表現がしばしば用いられるが、そのようなラケットを後方に引く力は他の試行においても認めることができなかった。また、『ラケット面を上向きにしてボールの下部を打つ』という表現が用いられることもあるが、図2-4-2 から分かるようにラケットが上向きになるのはインパクトの直後であり、インパクトの瞬間はラケット面はまっすぐに立った状態であった。

ドロップボレーでは、このようにボールがラケットに当たることによってラケットは後方に押し戻され上向きに傾くが、こうした現象がインパクトの直後、わずか40～50ミリ秒後に起こるために、『ラケットを引く』とか『ラケット面を上向きにする』という表現になったと考えられる。

本節の場合、経験豊かなコーチによって打ち出されたボール速度は 15m/秒前後であり、実際のプレイ中に飛来するボールの速度としては平均的なものである。以上の結果から、この程度の速度で飛来するボールをボレーによってネット際に緩く落とすためには、ラケットを静止状態に近づけるだけで十分であり、とくにラケットを後方に引く力や後方に回転させる力を加える必要はない、という提言を導き出すことができる。ドロップボレーにおける巧みな動作としては、インパクトに向けてラケットを静止状態に近づけるという動きが、最も重要であること

が示された。

2.4.4 分析結果の現場への活用法

どんなスポーツでも微妙な技術が要求される動きでは、客観的に明らかになった事実とプレイヤーの感覚とが一致しないことがある。本節で分析を行ったドロップボレーはまさにその典型で、プレイヤーは、実際にラケットが引かれていなくても引いていると感じたり、また、上向きでなくても上向きになっている、と感じている。

このような場合、『ラケットを引く』とか『ラケット面を上向きにする』という指示が事実とは違っているとしても、その言い方でドロップボレーの習得に効果があがっているのであれば、その指導方法を間違いであると決めつけることはできない。しかし、『インパクトの直前にラケットをすばやく引く』とか『ボールの下部を鋭くこすって逆回転を与えるようにする』というように、小手先の動きをあまりに強調しすぎると、それは実際に起こっていることとは異なっているだけに、良い結果につながらない。ドロップボレーを指導する際には、ラケットの速度を遅くしておけば遅いボールが返るという、ボール・ストップの本質を見失わないようにしたい。

2.4.5 まとめ

ボレーにおける巧みな動作とはどのようなものか、その一端を客観化するために、ラケットに加速度計を取り付けて動作解析を行った。普通のドライブボレーとネット際にボールを緩く落とすドロップボレーとを比較したところ、上級者の場合はどちらのボレーも、インパクトに向けてラケットを前方へ押す力と前方へ回転させる力が加わっており、ラケットで円を描くという巧みな動作を達成していた。ドロップボレーを指導する際にはラケットを引くこと、あるいはラケット面を上向きにすることがしばしば強調されるが、インパクトの前段階ではそのような現象は起こっていないということが明らかになった。ドロップボレーにおける巧みな動作としては、インパクトに向けてラケットを静止状態に近づけるといふ動きが、最も重要であることが示された。

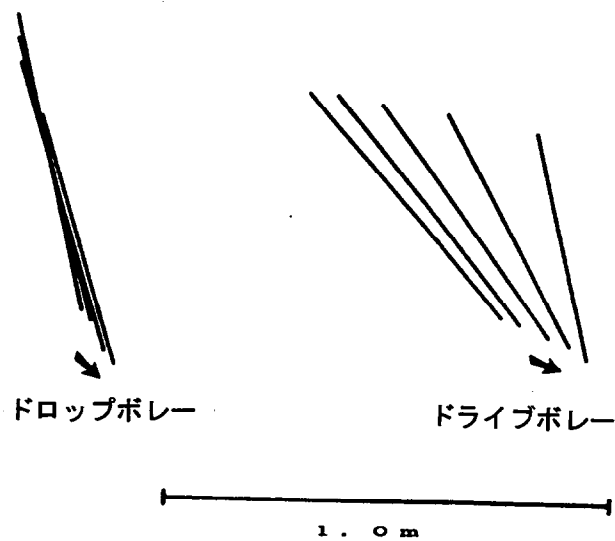


図2-4-1 側方よりみたインパクト直前のラケットの動き (1/100秒毎)

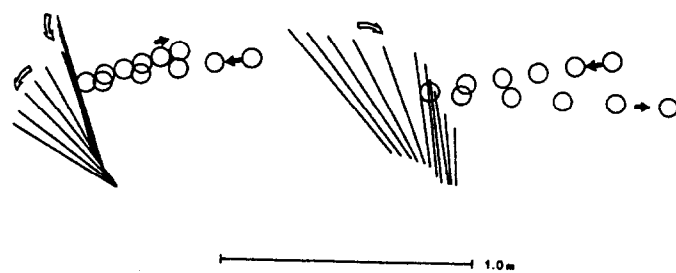


図2-4-2 ドロップボレー（左）とドライブボレーにおけるラケットとボールの動き・(1/100秒毎)

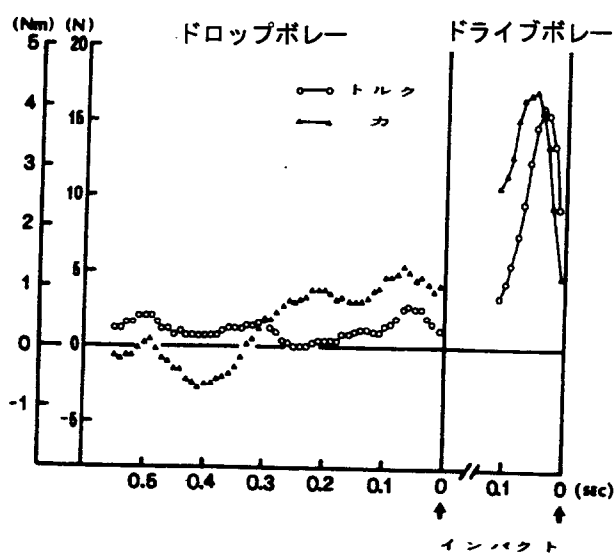


図2-4-3 ラケットの重心回りのトルクおよび重心に作用する力（被検者1）

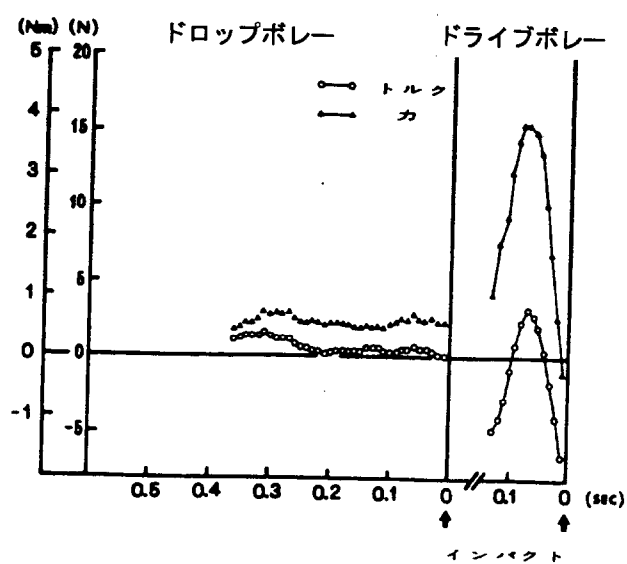


図2-4-4 ラケットの重心回りのトルクおよび重心に作用する力（被検者S）

2.5 サービス・リターンの動作解析

2.5.1 目的

テニスの試合において、レシーバーが動作を開始するのはサーバーがボールをインパクトする以前のことである。レシーバーは少なくともサーバーがトスを上げると同時に準備動作を起こし、インパクトの前後に軽くジャンプをしている（これを事前ジャンプと呼ぶ）。この事前ジャンプはテニスに限らず他のスポーツにおいても、プレイヤーが素速くボールに反応しようというときに行う動作である。

しかし、そのタイミングや大きさを肉眼で正確にとらえることが困難であるため、この事前ジャンプそのものを取りあげた指導はあまり行われていない。また、事前ジャンプを客観的にとらえようとした報告⁽²³⁾⁽³³⁾⁽⁵⁰⁾はいくつかみられるものの、相手の動作と対応させながら論じた報告はこれまでのところ見当たらない。

そこで本節では、サービス・リターンにおけるレシーバーの準備動作および事前ジャンプを、サーブ動作と対応させながら論じ、サービス・リターンにおける巧みな動作とはどのようなものか明らかにすることを主要な目的とした。さらに、実際に事前ジャンプを指導する際の指示内容についても検討を加えることにした。

2.5.2 方法

2.5.2.1 上下運動計測センサの検討

本節ではサービス・リターンにおける反応動作を検討するために、上下運動計測センサ⁽⁶⁶⁾を用いた。このセンサは大気圧の微小変化を計測することで上下方向の運動をとらえようとするもので、簡便かつ被検者に制約を与えない装置として注目されている。

しかし、実際のスポーツ場面で計測を行った例が少なく、人間の素速い動きを追従するものかどうかはあらかじめ確認しておく必要がある。

そこで反応動作の実験に入る前に、画像解析によるデータと比較をすることにした。選んだ動作はスクワットの連続動作で、メトロノームの音に合わせてある一定のリズムで膝の屈伸を行うというものである。このときの動作を被検者（男子1名）の頭部と腰部に装着した上下運動計測センサで計測するとともに、高速度ビデオカメラを用いて毎秒200コマで側方より撮影した。

2.5.2.2 手指による左右選択反応時間の測定

反応動作の検討に先立ち，光刺激による手指の左右選択反応時間の測定も行った．これは，サービス・リターンという複雑な局面における反応時間を，単純な動作における反応時間と対比させて考察するためである．

被検者は健康な男子 10 名（年齢 21～27 歳）とした．被検者には研究の内容と目的を十分に説明し，実験に参加することへの同意を得た．各被検者は実験室内において椅座位をとり，机上に設置された 2 つのランプを注視した．ランプは発光ダイオードで，被検者との距離は 1.5m，左右の間隔は 15cm であった．スイッチは左右それぞれの手元に設置した．

実験は次の 2 つの条件について行った．

(1) 単純反応時間の測定

被検者にどちらか一方のランプが点灯することを予告し，その点灯するランプだけを注目させ，ランプ点灯後にすばやくスイッチのボタンを押すよう指示した．これを左右それぞれ 10 回ずつ行った．

(2) 選択反応時間の測定

被検者に左右のランプを注視させ，どちらか一方のランプが点灯したらすばやく同じ側のスイッチのボタンを押すよう指示した．ランプは左右ランダムに点灯させ，左右少なくとも 10 回になるまでくり返した．

2.5.2.3 サーバーおよびレシーバーの動作の分析

被検者は元全日本ランキング選手を含む男子テニスコーチ 2 名（A，B）および女子初級者 1 名の合計 3 名とした．被検者には研究の内容と目的を十分に説明し，実験に参加することへの同意を得た．

実験は室内コートで行った．サーバーはデュースサイドに立ち，センターとクロス の 2 つのコースに最低 10 球ずつ配球されるまで打球した．左右の打ち分けの順序は乱数表により決定した．レシーバーはそのサーブを，相手コートのセンターを狙って打ち返した．サーバーが放ったボールの平均初速度は 34.0 ± 4.1 m/秒で，すでに報告した上級者のサーブにおけるボール速度（ 38.9 m/秒）⁽⁵²⁾ よりわずかに低い値であった．

サーバーおよびレシーバーの動作は，高速度ビデオカメラ（ナック製）を用いて毎秒 200 コマで撮影した．その際，レシーバーの後方に鏡を設置し，レシーバーと鏡に写ったサーバーとが同一画面上に入るよう調整した（図 2-5-1）．

得られた画像から，

- ①サーバーのトス開始
- ②トスしたボールの頂点
- ③サーブのインパクト

- ④レシーバーのテイクバック開始
- ⑤レシーバーのテイクバック完了
- ⑥サービス・リターンのインパクト

の各時点を特定した。

なお、サーバーのトス開始時点は、サーブ動作に入った直後にボールを持つ手が上昇し始める時点とし、レシーバーのテイクバックについては、ラケットが左右どちらかに（フォアの場合は右、バックの場合は左）動き始める時点を開始時点、後方に引かれたラケットがフォワード・スウィングに入る前に停止する時点完了時点とした。

上下運動計測センサは、レシーバーの右足首、左足首および腰の3ヶ所に装着し、それぞれの部位の上下動を計測した。

上下動データと画像データの同期には、集音マイクから得られるサービス・リターン時のインパクト音を用いた。

2.5.3 結果と考察

2.5.3.1 上下運動計測センサ

図 2-5-2 に示すように、上下運動計測センサから求めた変位曲線と画像解析から求めた変位曲線とはよく一致していた。また、模擬的にセンサを上下方向に素早く動かし、上下動の追従が4 Hzまで可能であるということを確認した。

2.5.3.2 手指による選択反応時間

測定結果を表 2-5-1 に示した。反応時間の分布は正規型を示していたが全体にやや右に歪んだ形であったため、各被検者の代表値としてメディアンを採用した。

単純反応時間、選択反応時間とも右よりも左が長い傾向にあるが有意差は認められなかった。しかし、単純反応時間（左右こみ）と選択反応時間（左右こみ）とを比較すると、サービス・リターンの場合に近い条件設定であると考えられる選択反応時間の方が約50ミリ秒ほど長く、その差は有意であった。

2.5.3.3 サービス・リターンにおける準備動作

図 2-5-3 に、サービス・リターン（バックハンド）におけるそれぞれの被検者の上下運動の典型例を示した。コーチA、Bと初級者女子とを比較すると、コーチのほうが明らかに準備動作を開始する時点が早く、また上下動作自体も大きい。コーチA、Bについては、

- ・ サーバーのトス開始直後（左手が上方に動き始めたとき）に準備動作を始める

- サーブ・インパクトの時点では両脚はすでに空中にある（地上 10～15cm）
 - 着地直前（0.1～0.2 秒前）にテイクバックを開始する
- という特徴を有していることが分かる。

表 2-5-2 に、サーバーがボールをインパクトしてからレシーバーがテイクバックを開始するまでに要した時間を示した。コーチの示す 320 ミリ秒前後という値は、先に行った選択反応時間 254 ミリ秒よりも長く、コーチの準備動作開始時点が早いとはいえ、サーブ・インパクトの以前に左右の（フォア側に来るかバック側に来るかの）判断をしているのではない。

サーバーのインパクト前のフォームからコースを予測することが可能な場合もあるが、実際にコースを判断するのはボールの弾道を確認してから…と考えるほうが自然である。単純に計算すれば、ボールの初速が 34m/秒であれば、約 2 m ほど弾道を確認していることになる。

この表 2-5-2 についてもうひとつ注目したいのは、コーチの示す標準偏差が初級者に比べるとかなり小さいという点である。このことは、コーチの場合はテイクバックの開始時相のバラツキが少ないということの意味しており、コーチの動作の再現性の高さを伺うことができる。コーチの場合はフォアハンドのサービス・リターンにおいても、バックハンドと同様な時間的特徴を示していた（図 2-5-4）という点と考えあわせると、事前ジャンプを含む準備動作は、一連の動作としてパターン化されたものになっているといえる。

では、この事前ジャンプは何のために行われているのであろうか。

左右選択反応において、刺激提示前に事前ジャンプが行われると全身反応時間が短くなる⁽³³⁾という報告、そして、左右選択刺激を与える前に連続的な先行刺激を与えて事前ジャンプを誘発すると反応時間が短くなる⁽²³⁾という報告に本節のケースを当てはめてみると、サーブ動作における先行刺激であるトスアップ動作にタイミングよく事前ジャンプを合わせることで反応時間を短くしている、と説明することができる。事前ジャンプを行わなかった初級者と事前ジャンプを行ったコーチとの間にある 200 ミリ秒の反応時間の差異は、そのすべてが事前ジャンプによるものではないにしても、事前ジャンプの有無が大きく影響していることは明らかである。

一方、画像データから確認されたことであるが、多くの場合、事前ジャンプで着地すると同時に左右への移動が行われていた。これは、事前ジャンプによる反動動作を利用した動きであると考えることができ、下肢の筋パワーを効率よく身体外部に伝えるための巧みな動作としてとらえることができる。

2.5.4 分析結果の現場への活用法

冒頭で述べたように、事前ジャンプの指導は現場ではあまり行われていない。しかし、サービス・リターンの成否を決める重要な動作であることは間違いない。実際に指導をする際には、上級者の特徴として明らかになった次のような動きを、サービス・リターンを成功させるための巧みな動作として強調すべきであると考えられる。

- サーバーのトス開始直後、サーバーの左手が上方に動き始めたときに事前ジャンプの準備を開始する
- 両脚が地上 10～15cm の高さにあるときにサーブ・インパクトを迎えるようジャンプのタイミングを合わせる
- 着地の 0.1～0.2 秒前にテイクバックを開始する

2.5.4 まとめ

サービス・リターンにおける巧みな動作とは何か、その一端を客観化するために、上下運動計測センサを用いて動作解析を行った。サーブ・インパクトの前後に軽くジャンプをする事前ジャンプに注目したところ、上級者の場合はインパクト以前にジャンプを開始しているのに対し、初級者でははっきりとしたジャンプが行われていないということが明らかになった。この事前ジャンプは反応時間を短くするだけでなく、着地直後の左右への移動を素速くするために行われていた。上級者の特徴として明らかになった次のような動きは、サービス・リターンを成功させるための巧みな動作として重要な役割を果たしていることが示された。

- サーバーのトス開始直後、サーバーの左手が上方に動き始めたときに事前ジャンプの準備を開始する
- 両脚が地上 10～15cm の高さにあるときにサーブ・インパクトを迎えるようジャンプのタイミングを合わせる
- 着地の 0.1～0.2 秒前にテイクバックを開始する

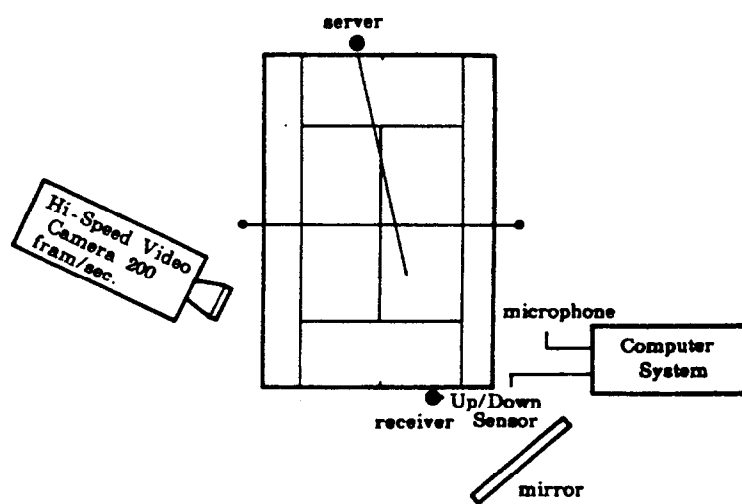


図 2-5-1 実験の構成図

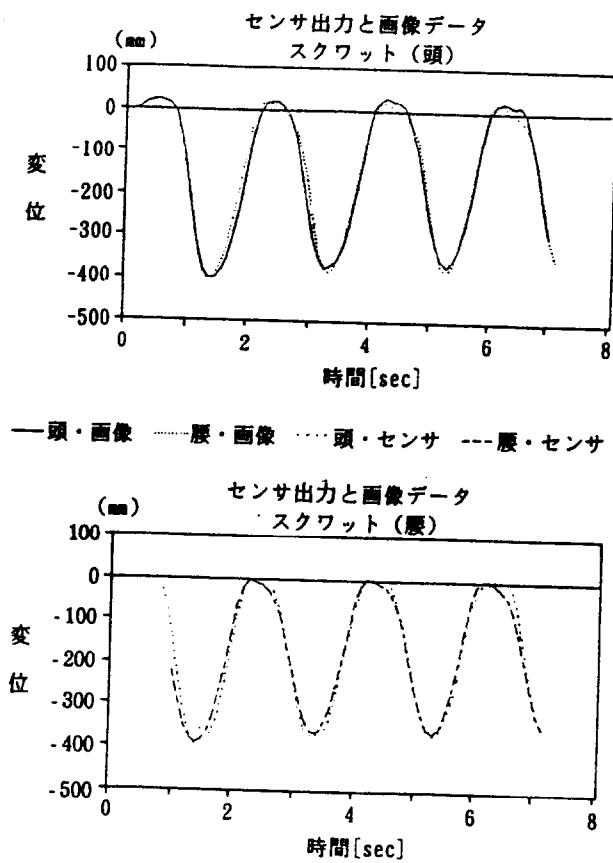


図 2-5-2 スクワット動作について得られた変位曲線の比較

表 2-5-1 光刺激による手指の反応時間

	n	mean \pm SD
単純反応時間 (右)	10	202 \pm 11
単純反応時間 (左)	10	206 \pm 10
単純反応時間 (左右こみ)	10	205 \pm 10
選択反応時間 (右)	10	245 \pm 21
選択反応時間 (左)	10	254 \pm 20
選択反応時間 (左右こみ)	10	254 \pm 24

注) 被験者10名の10試行のうちの代表値 (メディアン) の平均。
左右こみの値も各被験者の代表値の平均である。

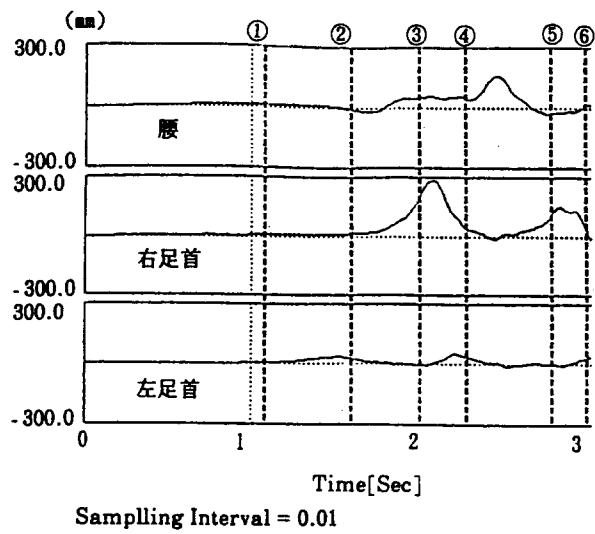
表 2-5-2 サーブ・インパクトからレシーバーのテイクバック開始までの時間

テニスコーチA n=19	テニスコーチB n=19	初級者 n=17
324 ± 24	315 ± 53	522 ± 122 (ms)

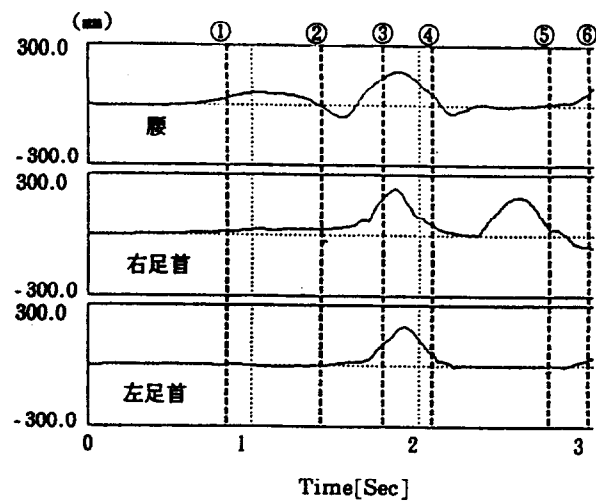
n：試行数，平均値±標準偏差

テニスコーチAと初級者，テニスコーチBと初級者との間にそれぞれ有意な差 (p. <01) が認められた.

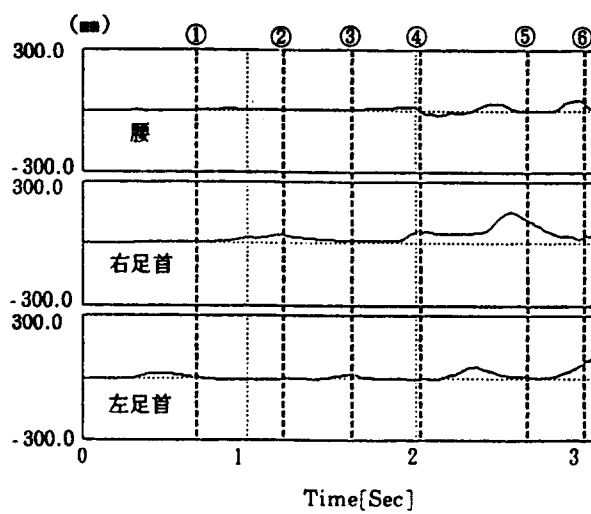
テニスコーチA



テニスコーチB

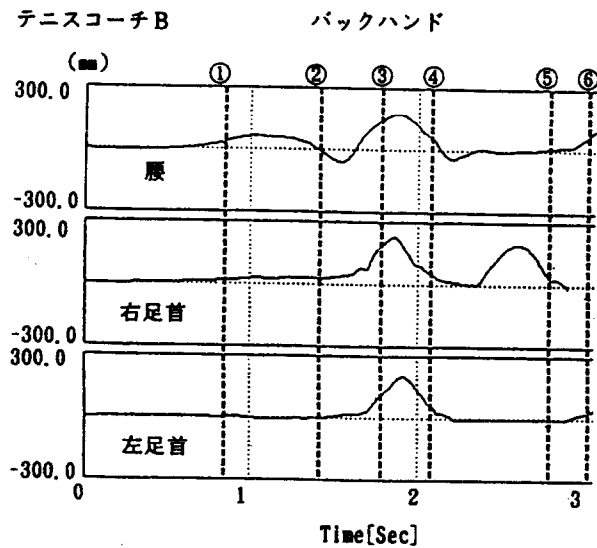
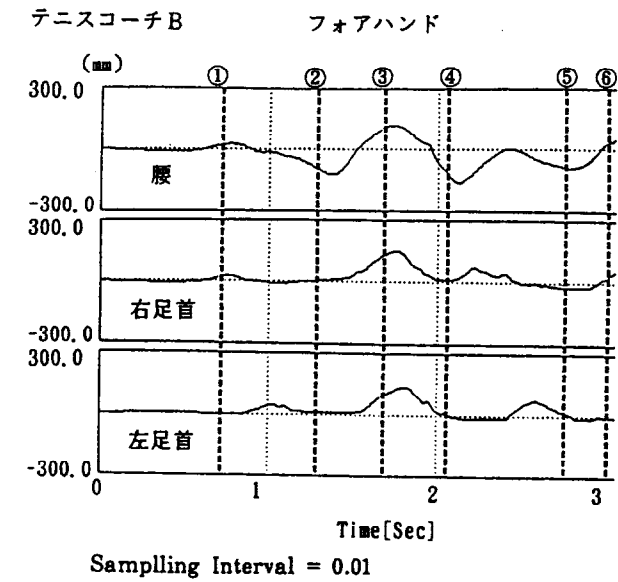


初心者



- ①サーバートス開始 ②トスの頂点 ③サーブインパクト
- ④レシーバーテイクバック開始 ⑤テイクバック完了
- ⑥レシーブインパクト

図 2-5-3 レシーバーの上下運動の技術レベルによる違い
(バックハンド)



- ①サーバートス開始 ②トスの頂点 ③サーブインパクト
 ④レシーバーテイクバック開始 ⑤テイクバック完了
 ⑥レシーブインパクト

図 2-5-4 レシーバーの上下運動の打法による違い

2.6 結言

本章では、サーブ、グラウンド・ストローク、ボレー、そしてサービス・リターンについて、巧みな動作とはどのようなものか、その一端を客観化するとともに、いま現在行われている指導方法に対して検討を加えた。分析にあたっては高速度カメラだけでなく、動作の細かい部分の異同が明確にできる、加速度計や上下運動計測センサも用いた。以下に、明らかにされた知見を各ストローク毎にまとめる。

サーブ：ラケットの速度および肘・手関節の角度変化を上級者と初級者とで比較したところ、初級者は肘関節・手関節角度ともあまり変化させていないのに対し、上級者はインパクトに向けて肘関節を伸展させるとともに手関節を急激に屈曲させ、いわゆるスナップ動作を上手に利用していることが明らかになった。上級者に見られるこのようなスナップ動作は、ラケットの回転運動を促進することにつながっており、身体全体で円を描くというサーブにおける巧みな動作の一要素を構成するものとして、重要な役割を果たしていることが示された。

グラウンド・ストローク：フォアハンド・ストロークにおけるラケットの動きを、加速度計を用いて並進運動と回転運動に分離したところ、オーソドックスな打ち方をしていると言われる上級者においても、並進運動を多く含んでいる場合と回転運動を主体とする場合の2通りに分類できること、また、技術水準の高いプレイヤーほどラケットで円を描くというグラウンド・ストロークにおける巧みな動作を達成していることが、明らかになった。

ボレー：普通のドライブボレーとネット際にボールを緩く落とすドロップボレーにおけるラケットの動きを、加速度計を用いて並進運動と回転運動に分離したところ、上級者の場合はどちらのボレーにおいてもインパクトに向けてラケットを前方へ押す力と前方へ回転させる力が加わっており、ラケットで円を描くという巧みな動作を達成しているということが明らかになった。ドロップボレーを指導する際にはラケットを引くこと、あるいはラケット面を上向きにすることがしばしば強調されるが、インパクトの前段階にはそのような現象は起こっていなかった。ドロップボレーにおける巧みな動作としては、インパクトに向けてラケットを静止状態に近づけるという動きが、最も重要であることが示された。

サービス・リターン：レシーバーの準備動作をサーバーの動作と対応させながら、上下運動計測センサを用いて分析したところ、上級者の場合は事前ジャンプをサーブ・インパクトの前に開始しているのに対し、初級者でははっきりとしたジャンプが行われていないということが明らかになった。この事前ジャンプは反応時間を短縮するとともに、着地直後の左右への移動を素速くするために行われていた。上級者の特徴として明らかになった次のような動きは、サービス・リターンを成功させるための巧みな動作重要な役割を果たしていることが示された。

- サーバーのトス開始直後、サーバーの左手が上方に動き始めたときに事前ジャンプの準備を開始する
- 両脚が地上 10～15cm の高さにあるときにサーブ・インパクトを迎えるようジャンプのタイミングを合わせる
- 着地の 0.1～0.2 秒前にテイクバックを開始する

第 3 章

用具の力学的特性と性能

3.1 緒言

用具の進歩は、スポーツの記録や技術に影響をおよぼす。テニスの場合も例外ではなく、木製ラケットから新素材のラケット、デカラケ、アツラケ・・・と新しいラケットが開発されるにつれて、プレイ・スタイルも大きく変遷してきた。またシューズの性能についてみても、ここ10数年の間に飛躍的に向上していると言える。

しかしこれまでのところ、こうした用具開発の原動力になっているのは主としてプレイヤーの経験や設計者の試行錯誤であり、工学的な理論がラケットやシューズの設計に直接関与したという例は少ない。ラケットの反発特性に関する従来の研究報告⁽⁴⁾⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁷⁾⁽⁶⁴⁾にしても衝突現象の複雑さを示しているだけであり、ボールとストリングスの相互作用や、ラケットの性能と衝撃振動、ボール・コントロールなどとの関係についてはほとんど解明されていないと言ってよい⁽²⁵⁾⁽²⁷⁾。

一方では、プレイヤーの技術および身体的条件の客観的評価などに関しても不明な点が多く、どのような物理的特性を組み合わせれば巧みさ獲得に結びつくラケットが得られるかが明らかではない。

そこで本章では、人間系と用具系とが複雑に絡む現象を解明し、巧みさ獲得を目指す現場のプレイヤーに対して、用具選択の指針を提示していくための第一歩として、ラケットの物理特性の違いがラケットの反発性能、およびインパクトにおける衝撃振動にどう影響をおよぼすか検討を加えた。

3.2 テニス・ラケットの反発特性

3.2.1 目的

プレイヤーは巧みさ獲得につなげるために、反発性能の良いラケットを求めている。そしてこの反発性能の評価には、『反発が良い』『スイート・エリアが広い』など様々な表現が日常的に用いられている。特に初級者は、上級者と比べると同じラケット速度で打球しても打球速度が遅くなる⁽⁵²⁾ので、できるだけ『ボールの飛びが良い』ラケットを使用することが望まれている。しかし、このようなラケットの反発に関する表現の多くはプレイヤーの打球感覚に基づいて導かれたものであり、客観的な裏付けとなるとほとんど得られていないというのが現状である。

本節の目的は、ボールとラケットの実験的な同定と衝突解析により、球離れの良さを表す反発係数およびボールのはね返りの良さを表す反発力係数を定義し、ボールの飛びの良い打点領域とを予測する方法と予測例を示すことである。

3.2.2 方法

3.2.2.1 反発係数、反発力係数に関するスイート・エリアの予測法

まず、インパクトの瞬間にはラケットは手の拘束力を受けないと仮定し、質量 m_B のボールが、質量 M_R の静止ラケットに、速度 V_{BO} で正面衝突するときの剛体運動を考える。

ラケットの重心回りの慣性モーメントを I_G 、重心と衝突位置との距離を a とすると、ラケットの並進運動および回転運動より、

$$M_r = 1/(1/M_R + a^2/I_G) = M_R I_G / (I_G + M_R a^2) \quad (1)$$

とおくと、運動量保存の法則は、

$$m_B V_{BO} = m_B V_B + M_r V_R \quad (2)$$

と書ける。ただし、衝突後のラケット速度およびボール速度をそれぞれ V_R 、 V_B とする。したがって、式(1)で表される M_r は、ラケット面の衝突位置に換算した換算質量とみなすことができる。市販されている一般的なラケットの場合、グリップ端から 70mm の位置に腕系の等価質量 $M_H=1.0\text{Kg}$ を付加しても、 M_r にはほとんど影響しない。この付加質量については次節において詳細に検討する。

反発係数は衝突におけるエネルギー損失と密接に関係している。ラケット・フレームの振動によるエネルギー損失を求めるためには、ラケットに作用する衝突力および接触時間を求める必要がある。これらの導き方は、次のとおりである⁽²⁹⁾。

上記の換算質量 M_r を導入し、ストリングス周辺のラケット・ヘッドを固定した状態でボールを衝突させた場合の反発係数実測値 e_{BG} を用いると、運動量保存の法則と反発の式から、フレームの振動を無視したときのボールの衝突後の速度 V_B 、および力積 $\int F(t)dt$ は、

$$V_B = -V_{BO}(e_{BG} - m_B/M_r)/(1 + m_B/M_r) + V_{RO}(1 + e_{BG})/(1 + m_B/M_r) \quad (3)$$

$$\int F(t)dt = m_B V_{BO} - m_B V_B \quad (4)$$

と書ける。ただし、衝突前のラケット速度およびボール速度を、それぞれ V_{RO} 、 V_{BO} とする。実測値 e_{BG} は、ラケット・フレームが振動しない場合の反発係数であるから、衝突におけるボールとストリングスのエネルギー損失に対応する。

ここで、ストリングスの質量をラケットの質量 M_r に含め、ボールおよびストリングスの非線形ばねを介して、ボールとラケットが衝突するモデルを考える。

ボール・ストリングス複合系のばね剛性 K_{GB} は強い非線形であるから、接触時間を T_c として力積波形を

$$F(t) = F_{MAX} \cdot \sin(\pi t/T_c) \quad (0 \leq t \leq T_c) \quad (5)$$

のように近似し、接触時間 T_c の間一定の等価的な衝突力 $F_{MEAN} (= 2F_{MAX}/\pi)$ と、それに対応する等価ばね剛性 K_{GB} を考えると次のような関係が成り立つ。

$$T_c = \pi m_B^{1/2} / [K_{GB}(1 + m_B/M_r)]^{1/2} \quad (6)$$

$$\int F(t)dt = F_{MEAN} \cdot T_c \quad (7)$$

式 (3),(4),(6),(7) から、衝突速度が与えられたときの F_{MEAN} と、それに対応する K_{GB} の関係は次のようになる。

$$F_{MEAN} = (V_{BO} - V_{RO})(1 + e_{BG})m_B^{1/2}K_{GB}^{1/2} / \{\pi(1 + m_B/M_r)\}^{1/2} \quad (8)$$

一方、ボールとストリングスのエネルギー損失は e_{BG} として考慮したから、実験的に求めたボールとストリングスの復元力-変位特性から、等価的衝突力は複合ばね剛性の関数として次のように表せる。

$$F_{MEAN} = \text{func.}(K_{GB}) \quad (9)$$

式 (8),(9) を連立させると、衝突速度が与えられたときの F_{MEAN} と K_{GB} が数値計算により求められ、さらに式 (6) から接触時間 T_c も定まる。

式 (5) のフーリエ・スペクトルを $S(f)$ (f : 振動数 Hz)、ラケットの k 次固有振動モード (固有振動数 $\omega_k = 2\pi f_k$) に対するラケット面上の点 j における衝突力成分を $S_j(\omega_k)$ と表すと、ラケット上の点 i における k 次モードの応答振幅成分 X_{ijk} は、

$$X_{ijk} = r_{ijk} * S_j(\omega_k) \quad (10)$$

と近似できる。ただし、 r_{ijk} は、任意の点 i と j の間の k 次の振動モードの留数である。ストリングス面の任意の打点にボールが衝突したときのフレームの振動速度振幅分布を式 (10) から求め、フレームの質量分布を与えれば、フレームの振動

によるエネルギー損失 ΔE_1 を求めることができる。

また、ボールとストリングスの衝突によるエネルギー損失 ΔE_2 は次のように求めることができる⁽²⁷⁾。

$$\begin{aligned}\Delta E_2 &= [m_B V_{BO}^2 - (m_B V_B^2 + M_r V_r^2)]/2 \\ &= [m_B M_r / (m_B + M_r)] (1 - e_{BG}^2) V_{BO}^2 / 2\end{aligned}\quad (11)$$

衝突における全エネルギー損失 ΔE は、 ΔE_1 と ΔE_2 との和となり、これがボールとラケットの反発係数に対応する。

質量 m_B のボールと、換算質量 M_r のラケット ($V_{RO} = 0$) との衝突では、

$$\begin{aligned}\Delta E &= [m_B V_{BO}^2 - (m_B V_B^2 + M_r V_r^2)]/2 \\ &= [m_B M_r / (m_B + M_r)] (1 - e_r^2) V_{BO}^2 / 2\end{aligned}\quad (12)$$

の関係が成り立ち、相対速度に関する反発係数 e_r は次のように求めることができる。

$$e_r = [1 - 2\Delta E(m_B + M_r) / (m_B M_r V_{BO}^2)]^{1/2}\quad (13)$$

ボールの衝突後の速度 V_B は、

$$V_B = -V_{BO}(e_r - m_B/M_r) / (1 + m_B/M_r) + V_{RO}(1 + e_r) / (1 + m_B/M_r)\quad (14)$$

と書ける。

一方、静止ラケットにボールを衝突させたときのボールの跳ね返り速度 V_B と入射速度 V_{BO} の比、

$$e = -V_B/V_{BO}\quad (15)$$

を実測し、反発性能を評価することが多い。この係数 e は反発係数 e_r と誤解されやすいので、本節においては反発力係数と呼ぶことにする。 $V_{RO} = 0$ の場合、

$$V_B = -V_{BO}(e_r - m_B/M_r) / (1 + m_B/M_r)\quad (16)$$

となり、反発力係数 e は式 (15), (16) から、

$$e = -V_B/V_{BO} = (e_r - m_B/M_r) / (1 + m_B/M_r)\quad (17)$$

と表せる。

3.2.2.2 ボールの飛び (打球速度) の予測

反発力係数 e を用いると、式 (14) は、

$$V_B = -V_{BO}e + V_{RO}(1 + e)\quad (18)$$

と書ける。打球方向のボール速度は、

$$|V_B| = |V_{BO}|e + |V_{RO}|(1 + e)\quad (19)$$

と表せる。式 (19) において、ラケット速度 V_{RO} を実際のスウィングに近く与えてやれば、打撃直後のボール速度が予測できることになる。ここでは、手首と肘の関節角度を一定に保ち、肩関節だけに一定のトルク N_s を与え、腕・ラケット系が肩関節まわりに $\pi/2$ 回転したところでボールとラケットが衝突するような

スウィング・モデルを考える。この場合、打撃直後のボール速度は次のように導ける⁽²⁸⁾。

いま、ラケットの質量を M_R 、重心まわりの慣性モーメントを I_G 、グリップ端から重心までの距離を L_G 、グリップ端から肩関節までの水平面に投影した距離を L_{RS} とすると、ラケットの肩関節まわりの慣性モーメント I_{RS} は、

$$I_{RS} = I_G + M_R(L_{RS} + L_G)^2 \quad (20)$$

となる。上腕、前腕、手の質量を考慮した腕系の肩関節まわりの慣性モーメントを I_A とすると、スウィング動作における腕・ラケット系の肩関節まわりの慣性モーメント I_S は、

$$I_S = I_A + I_{RS} \quad (21)$$

となる。さらに、肩関節からラケット面上の衝突位置までの距離を L_X とすれば、腕・ラケット系が肩関節まわりに $\pi/2$ 回転したときの衝突位置のラケット速度 V_{RO} は、

$$V_{RO} = L_X(\pi N_S/I_S)^{1/2} \quad (22)$$

となる。式 (19) に衝突直前のボール速度 V_{BO} と式 (22) を代入すると、ストリング面の任意の位置における打球速度を予測することができる。

3.2.3 結果と考察

3.2.3.1 ラケットの物理特性

対象とした3本のラケット EOS120A, EOS120H, EOS100 のおもな物理特性を表3-2-1 に示した。EOS120A と EOS120H は、打球面サイズは同一であるが質量および質量分布が異なっており、EOS120A と EOS100 は、質量は同一であるが打球面サイズが異なっている。

これらのラケットの換算質量分布は、図3-2-1 のようになる。ただし、オフセンターでのインパクトにおいて、ラケットが長軸に直交する軸まわりに回転するとした場合の換算質量と、長軸まわりに回転するとした場合の換算質量とを比べて、換算質量が小さいほうの軸まわりにラケットが回転すると仮定している。

換算質量はいずれのラケットについても長軸の根元側で最大値を示すが、その分布状況はラケット毎に異なる。EOS120A と EOS120H とを比較すると、ラケット面の中心から先端寄りでは軽量タイプの EOS120A がやや大きな値を示し、長軸から大きくはずれた位置では EOS120H が大きな値を示す。EOS120A と EOS100 とを比較すると、打球面の広い EOS120A が全体的に大きな値を示している。

一方、実験モード解析により同定したラケットの振動モード特性は、図3-2-2

のようになる。基本曲げ振動数は、打球面の広いラケットの方が低い。

3.2.3.2 反発係数，反発力係数，ボールの飛びに関するスウィート・エリアの予測結果

図3-2-3 は，それぞれのラケットのストリングス面にボールが一定の速度 30m/秒で衝突したときの，ラケット・フレームの振動によるエネルギー損失の割合を示したものである。フレームの振動成分は，2 節曲げ，2 節ねじり，3 節曲げ，ストリングスの一次の膜振動を考慮している。オフセンターでは，フレームの 2 節曲げと 2 節ねじりの成分が大きい。軽量で打球面が広く，固有振動数がやや低い EOS120A のエネルギー損失が大きく，オフセンターでの振動振幅がかなり大きいことを示している。ねじり振動モードの腹の位置での衝突で，振動が特に大きい。

図3-2-4 に，衝突速度が 30m/秒の場合の反発係数 e_r の予測値を示す。図3-2-3 の結果から予測されるように，いずれのラケットについても反発係数が高い領域は 2 節曲げ振動と 2 節ねじり振動の節に近い領域であり，オフセンターでは軽量ラケット EOS120A の反発係数の低下が目立つ。

図3-2-5 に，衝突速度が 30m/秒の場合の反発力係数 e の予測値を示す。反発力係数には，換算質量と反発係数が影響する。図3-2-1 の換算質量分布と傾向が似ており，長軸の根元側で高い値を示す。極端なオフセンターを除くと，反発係数よりも換算質量の影響の方が大きいことが分かる。

軽量ラケット EOS120A の反発力係数は，根元側においては長軸から大きくはずれた位置で低い値を示す。これは，反発係数 e_r が低下するのに加えて，ラケットが長軸まわりに回転し，換算質量が小さくなるからである。しかし，反発力係数の低い先端側ではラケットは長軸まわりには回転しにくいので，軽量による反発力の低下はほとんどない。また，反発力係数の高い根元側はラケットが回転しやすいものの反発力の値そのものはかなり大きく，これが反発力の高い領域を広くしていると考えられる。

図3-2-6，図3-2-7 に，それぞれ肩関節トルク $N_S = 56.9\text{Nm}$ ，ボールの入射速度 10m/秒のときの衝突における反発係数と反発力係数の値の分布を示す。ここでは， $I_A = 0.085\text{kgm}^2$ ， $I_{RS} = 0.342\text{m}$ を与えている。この場合の衝突速度は図3-2-4，図3-2-5 の場合に近いため，図3-2-6，図3-2-7 はそれぞれ図3-2-4，図3-2-5 と似た結果になっている。

図3-2-8 は，衝突直前のラケット・ヘッドの速度である。EOS120A と EOS120H を比較すると，先端寄りに重心のある軽量ラケット EOS120A の方が大きな値を示す。EOS120A と EOS100 を比較すると，根元側では EOS120A の

方がやや低い値を示すものの、先端側ではラケット面を相似的にみればほとんど同じ値を示している。

図3-2-9は、同じ条件下での打球速度 V_B の予測値である。EOS120AとEOS120Hを比較するとボールの飛びに関するスイート・エリアはEOS120Aの方が広く、しかもラケット面の中心近くに位置している。長軸を大きくはずれた場合、先端側では打球の速度はほとんど差がないが、中心から根元側ではEOS120Hの打球が速い。EOS120AとEOS100を比較すると、ボールの飛びに関するスイート・エリアは打球面サイズに比例してEOS120Aの方が広く、しかもラケット面の中心に位置している。長軸を大きくはずれた場合は、ラケット面を相似的にみれば大きな差はない。

3.2.4 分析結果の現場への活用法

ボールの飛びに関するスイート・エリアは、質量が小さく先端寄りに重心があるラケット、そして打球面が広いラケットで広く、しかもラケット面の中心近くに位置している。長軸を大きくはずれた打点位置では、従来型の質量が大きいラケットは中心から根本側で打球が速い。打球面サイズが異なる場合は、ラケット面を相似的に見れば長軸を大きくはずれた位置でも打球の速さに大差はない。つまり、巧みさ獲得につなげるための反発性能の良いラケットとは、打球面サイズが大きく軽量のラケットである、ということが確認されたわけである。

なお、このボールの飛びに関するスイート・エリアは、その予測法からも分かるように、衝突直前のボールとラケットの速度、およびスウィング・モデルに依存する。ここでの条件設定は普通に行われるグラウンド・ストロークのラリーを想定しているが、得られた予測結果はテスターの試打による評価やプレイヤーの経験的所見に客観的な裏付けを与えた形になっている。今後は他のストロークについても、両者の一致性を検討していく必要がある。

ラケットの種類が多様化している現在、ラケットの性能はプレイの種類、スタイル、技術水準、身体的条件、プレイの状況などにより異なるということを念頭に、自分に合ったラケットを選択するようにしたい。

3.2.5 まとめ

ボールとラケットの実験的同定結果と衝突解析により、ラケット面上の任意の位置、任意の速度でボールと衝突するときの反発係数および反発力係数を定義し

た. その上で, 打球面サイズが同一で質量および質量分布が異なる場合と, 質量が同一で打球面サイズが異なる場合について, 簡単なスウィング・モデルによりボールの飛びに関するスウィート・エリアを予測する方法と適用例を示した. 本節の方法により, ボールの飛びに関するラケットの性能の特長とラケットの物理特性との関係を明らかにすることができる.

表3-2-1 ラケットの物理特性

Racket	EOS120A	EOS120H	EOS100
Total length mm	690	686	680
Face area cm ²	760	760	608
Mass g	292	349	290
String tension lb (1lb = 4.45N)	79	79	59
Center of gravity (from grip end) mm	363	323	350
Moment of inertia I _{GY} about Y axis gm ²	14.0	16.0	11.4
Moment of inertia about grip(70mm) gm ²	39.1		34.1
Moment of inertia I _{GX} about X axis gm ²	1.78	2.21	1.12
Frame frequency Hz (Grip free)	137	142	171

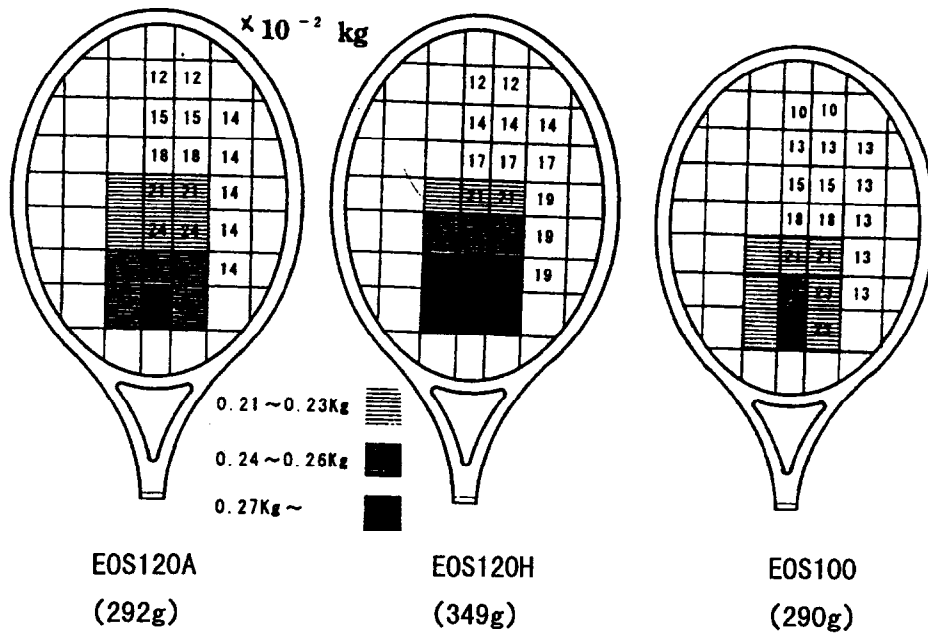


図3-2-1 ラケットの換算質量分布

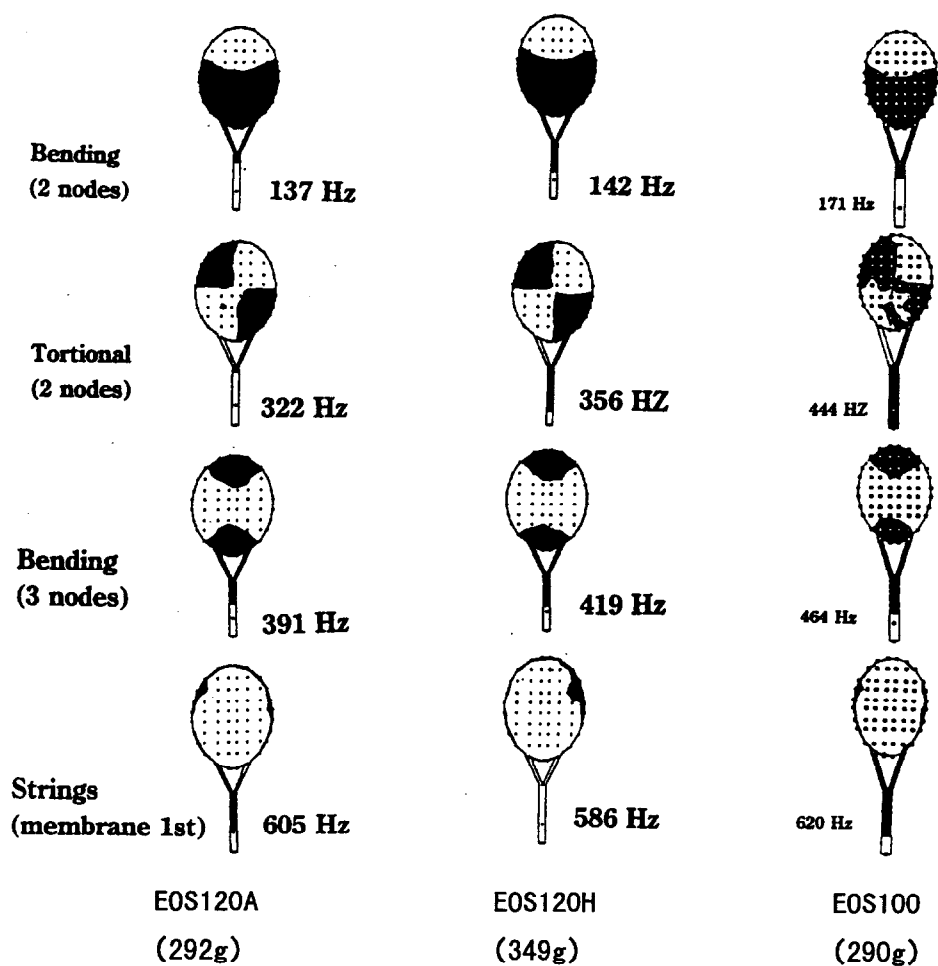


図3-2-2 実験モード解析により同定したラケットの振動モード特性

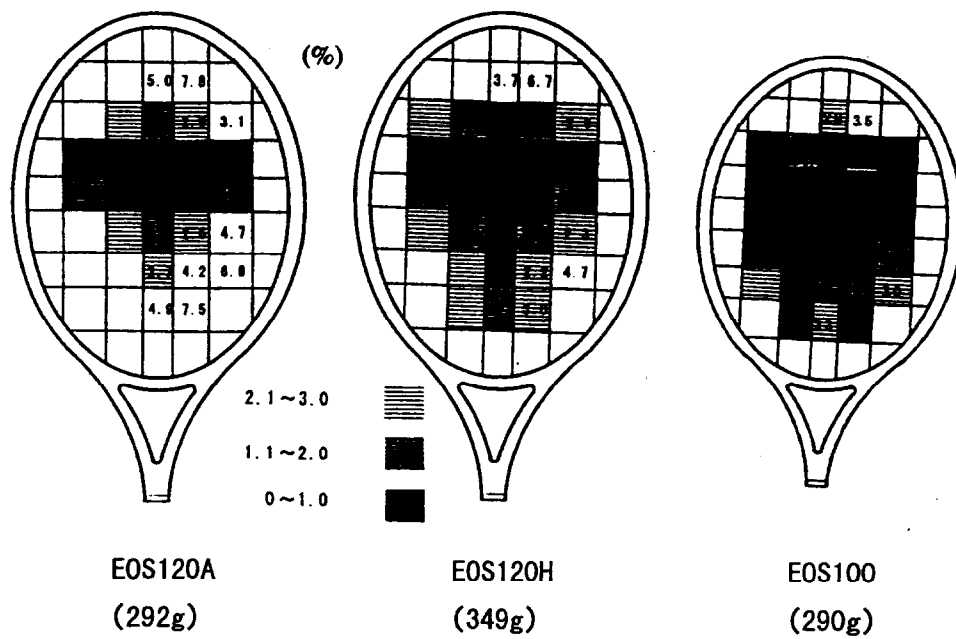


図3-2-3 エネルギーロスの低い領域
(ボール速度が30m/秒の場合)

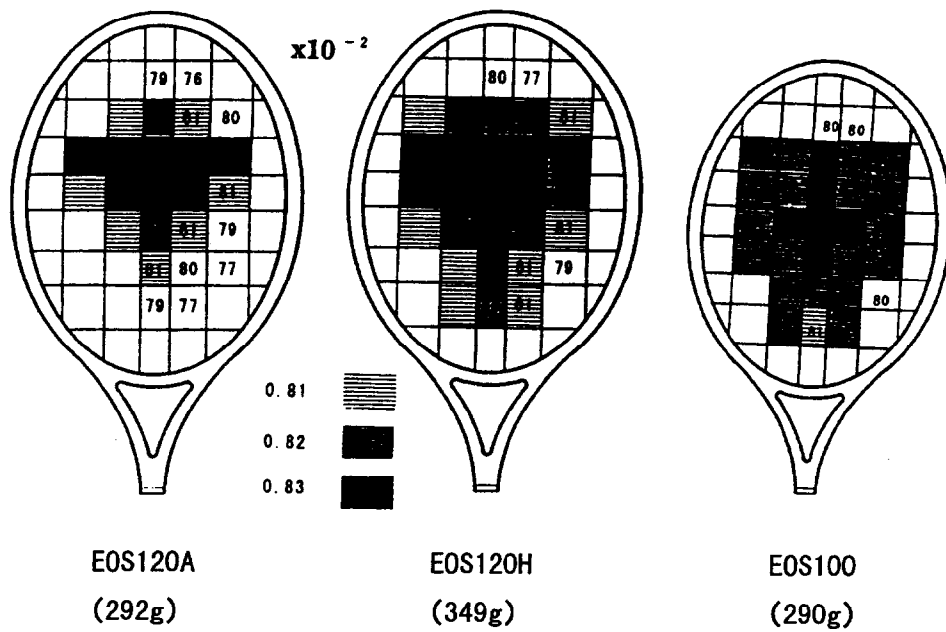


図3-2-4 反発係数 e_r の高い領域 ($V_{B0} - V_{R0} = 30\text{m/s}$)

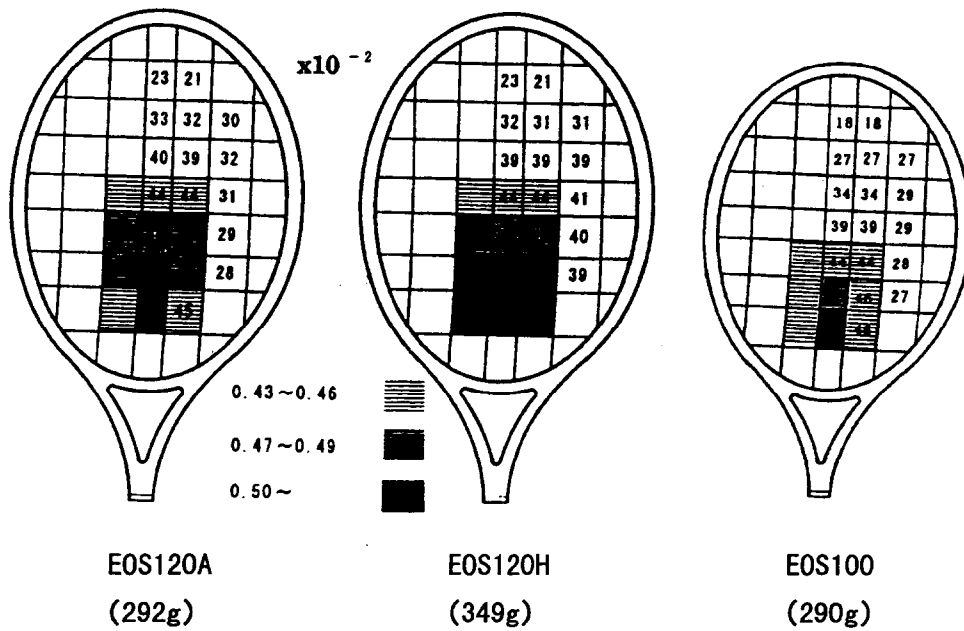


図3-2-5 反発力係数 e の高い領域 ($V_{R0} - V_{R0} = 30\text{m/s}$)

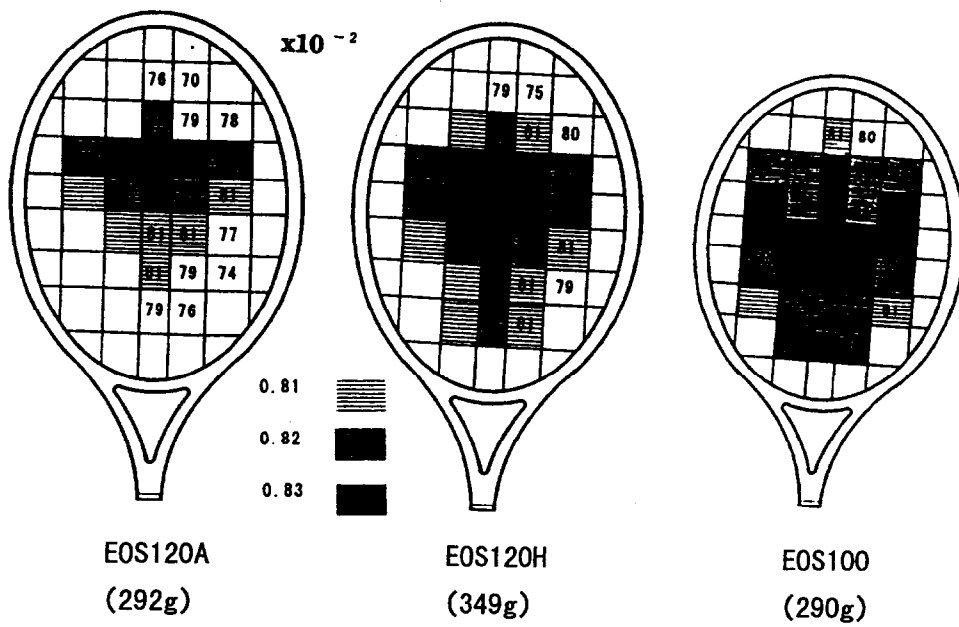


図3-2-6 反発係数 e_r の高い領域 ($V_{b_0}=10\text{m/s}$ 、 $N_s=56.9\text{Nm}$)

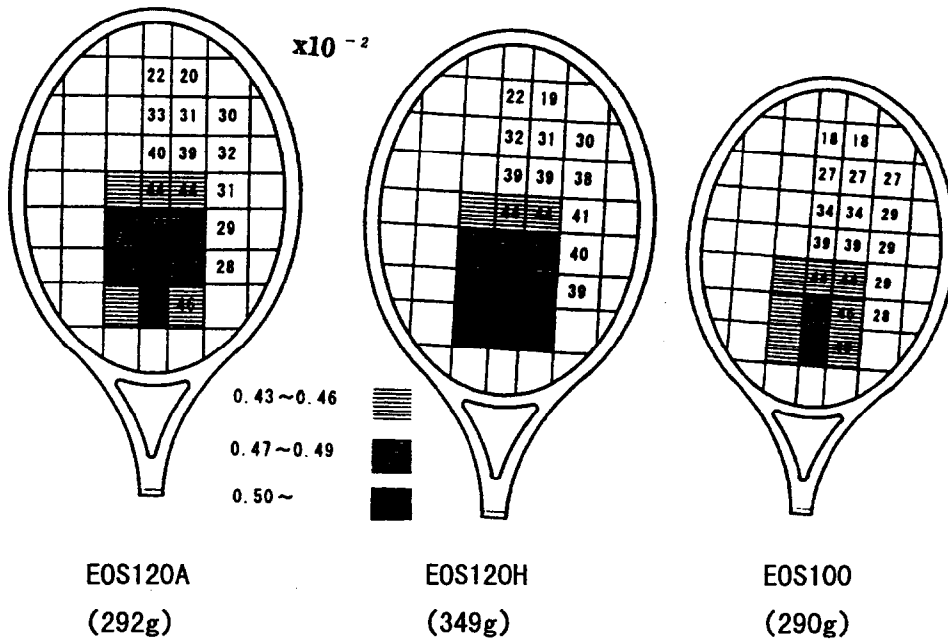


図3-2-7 反発力係数 e の高い領域 ($V_{\infty}=10\text{m/s}$ 、 $N_s=56.9\text{Nm}$)

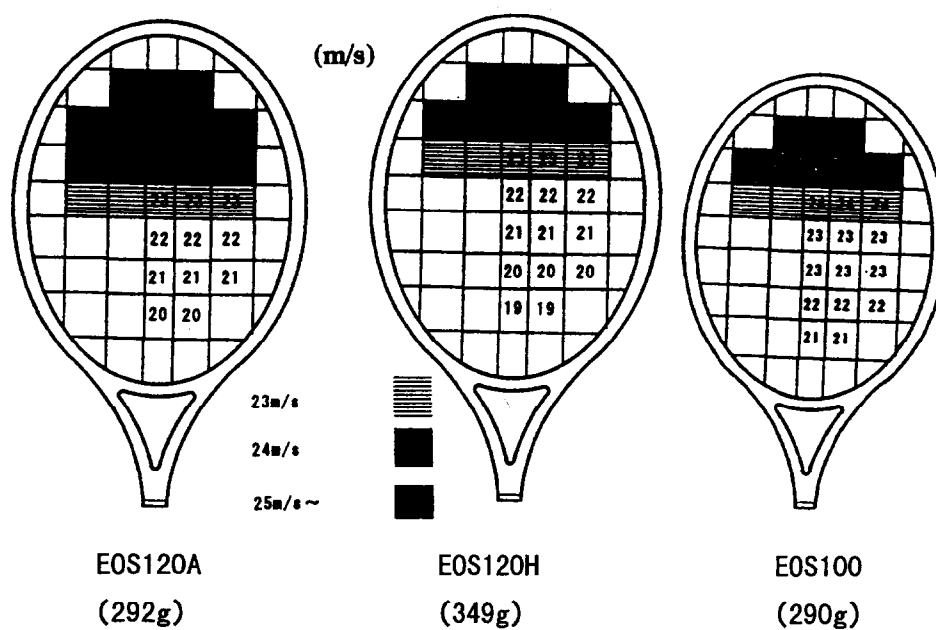


図3-2-8 衝突直前のラケットヘッドの速度 V_{h0}
 ($V_{h0}=10\text{m/s}$ 、 $N_s=56.9\text{Nm}$)

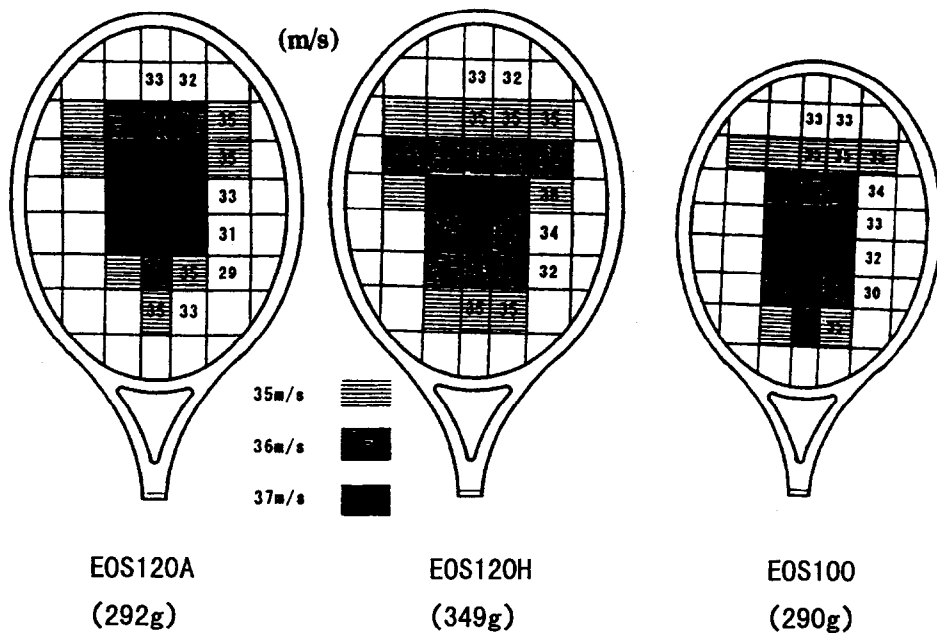


図3-2-9 打球速度 V_b の予測値 ($V_{b0}=10\text{m/s}$ 、 $N_s=56.9\text{Nm}$)

3.3 テニス・ラケットの衝撃振動

3.3.1 目的

ラケットとボールが衝突するインパクトにおいては、ストリングスとボールとの間に衝撃力が作用する。フレームは衝撃により振動するので、プレイヤーはグリップに伝わる衝撃と振動によりインパクトを感じることになる。このグリップ部分の衝撃・振動は、ただ単にラケット性能を評価するだけでなく、打点位置やスウィングの良し悪しをチェックする際の判断材料として役に立っている。また、テニス肘をはじめとする上肢の障害とも関連していると考えられている⁽²⁶⁾。

しかし現状では、ラケットの衝撃・振動はプレイヤーの感覚により評価されており、衝撃・振動と動作の巧みさ、あるいは上肢に及ぼす負担度との関係は、ほとんど未解明のままである。ラケットから腕関節へ衝撃・振動が伝達するメカニズムが明確になれば、ラケットの性能のみならず、動作の巧みさやプレイヤーの打球感覚なども定量的に論じることが可能になるとと思われる。

そこで本節では、このような観点のもとに、実打実験における加速度実測波形と、ラケットの実験的同定に基づいた予測波形とを比較対照し、インパクトにおけるラケット・ハンドルの加速度実測波形に物理的説明を与えることを主要な目的とした。

3.3.2 方法

図3-3-1 に、実打実験の状況を示した。被検者はテニス歴10年以上の男子上級者1名で、フォアハンド・ストローク（フラット）を行った。被検者には研究の内容と目的を十分に説明し、実験に参加することへの同意を得た。

加速度計は実際にグリップを握っている部分に固定するのは難しいので、ハンドル部分（グリップ下端から210mm）に固定した（図3-3-2）。

使用したラケットは、質量：342g、全長：685mm、重心位置：グリップ下端から310mm、重心回りの慣性モーメント：0.014kgm²、打球面積：100inch²（645cm²）、ストリングス張力：60lbであった。

3.3.3 結果と考察

3.3.3.1 実打におけるラケット・ハンドルの衝撃振動加速度

図3-3-3 に、得られた加速度波形の代表例を示す。加速度の最初のピークのところは衝突の瞬間で、衝突による衝撃反力によるものとフレームの振動によるものが重なっている。そして、これに続く振動はボールが離れた後の残留振動である。

加速度波形を打点位置によって比較すると、ラケット面の中心で打撃した場合の振動加速度が先端や根元で打撃した場合に比べて小さいこと、また加速度の最初のピーク値は根元打撃の場合が最も大きく中心と先端とでは大きな違いがない、ということなどが読みとれる。

3.3.3.2 ラケット・ハンドルの衝撃加速度の予測

いま t を時間とし、ボールとストリングス間に作用する力積波形を正弦半波パルス、

$$F(t) = F_{\text{MAX}} \cdot \sin(\pi t/T_c) \quad (0 \leq t \leq T_c) \quad (1)$$

と仮定すると、ストリングス面の衝突位置と衝突速度を与えたときの F_{MAX} および衝突時間 T_c を得ることができる⁽³⁰⁾。

インパクトにおけるグリップの拘束力を無視し、ラケットの質量を M_R 、重心回りの慣性モーメントを I_{G0} 、重心と打点位置との距離を a_0 、重心からグリップ位置までのグリップ端側への距離を X とすると、ラケットの剛体運動によるハンドル部加速度 $A_{nv}(t)$ は次のように導くことができる。

重心の加速度を A_G 、重心回りの角加速度を $d\omega/dt$ とすると、

$$M_R A_G = F(t) \quad (2)$$

$$I_{G0} \cdot d\omega/dt = F(t) a_0 \quad (3)$$

重心から X の距離にあるラケット・ハンドルの加速度 $A_{nv}(t)$ は、

$$A_{nv}(t) = A_G - X \cdot d\omega/dt \quad (4)$$

式(2)、(3)を用いて A_G 、 $d\omega/dt$ を消去すると、式(4)は次のように書ける。

$$A_{nv}(t) = F(t) [1/M_R - (a_0/I_{G0})X] \quad (5)$$

3.3.3.3 ラケット・ハンドルの振動加速度成分の予測

ラケットとボールとのインパクトにおける接触時間、およびラケット・フレームの初期振動振幅は、手で支持したラケットと宙づりラケットとでは大きな差異はない⁽²⁹⁾。

実験モード解析⁽²⁴⁾に基づいて求めた任意の点 i と j の間の k 次モードの留数を Γ_{ijk} 、 k 次モードの振動数を $\omega_k = 2\pi f_k$ 、減衰比を ζ_k 、式(1)のフーリエ・ス

ベクトルの k 次の衝突力成分を $S_j(\omega_k)$ とすると、ラケット面上の打点 j でボールと衝突したときのラケット・ハンドル上の点 i における振動加速度成分は、

$$A_{ijk}(t) = -\omega_k^2 r_{ijk} * S_j(\omega_k) \cdot \exp(-\omega_k \zeta_{kt}) \sin(\omega_k t) \quad (6)$$

式(5)と式(6)の和が、ハンドル上の衝撃加速度になる。

3.3.3.4 インパクトにおけるハンドルの衝撃振動の予測

図3-3-4 は、ストリングス面上の打点A（先端）、D（中心）、H（根元）の位置を示し、図3-3-5 は、それぞれの打点において、ボールと衝突した時のラケットの初期加速度振幅成分の予測値である。衝突速度は 30m/秒であり、上から2節曲げ、3節曲げ、2節ねじり、ストリングスの膜1次振動成分を示す。

図3-3-6、図3-3-7、図3-3-8 は、ハンドル（グリップ下部から 210mmの位置）の衝撃振動成分の時系列波形予測値である。それぞれの図の (a)は宙づりラケットの場合（減衰比 ζ_F ）、(b)は手で支持した状態で同定した減衰比 ζ_H を用いた場合、(c)は(b)の2.5倍の減衰比 ζ_A を用いた場合であり、上から2節曲げ、3節曲げ、2節ねじり、ストリングスの膜1次の振動成分、衝撃加速度成分、およびそれらを合成した波形である。それぞれの図の (a) と (b) の差は、手が吸収したことになる。

減衰波形(b)は、実打における減衰波形（図3-3-3）とは異なっており、(b)の減衰比の2.5倍の値を与えた波形(c)の方が、減衰の様子が似ている。したがって、実打における減衰値は実験モード解析により同定した減衰値よりかなり大きく、減衰比が振幅に依存することを示している。

また、図3-3-6（ストリングス面の先端）および図3-3-8（根元側）のオフセンターの場合の予測波形は、負側のピーク値が実測波形に比べて小さい。

3.3.3.5 ラケット・ハンドルの衝撃・振動におよぼす腕系の付加質量の影響

次に、衝突の力積波形およびハンドルの衝撃加速度に、グリップの握りの位置に付加した腕系の等価質量⁽³¹⁾がどの程度影響をおよぼすか吟味する。

ラケット単体のグリップ端から重心までの距離を L_{GO} とし、グリップ端から L_H の位置に腕系の等価質量 M_H を付加したときの重心の移動量を ΔG とすると、

$$\Delta G = (L_{GO} - L_H)M_H / (M_R + M_H) \quad (7)$$

重心と打点位置との距離 a 、および重心回りの慣性モーメント I_G は次のようになる。

$$a = a_0 + \Delta G = a_0 + (L_{GO} - L_H)M_H / (M_R + M_H) \quad (8)$$

$$I_G = I_{GO} + M_R \Delta G^2 + M_H (L_{GO} - L_H - \Delta G)^2 \quad (9)$$

いま、等価質量 M_H を付加した静止ラケットに、質量 m_B のボールが速度 V_{B0} で正面衝突するときの剛体運動を考える。インパクトにおいてラケットは手の拘束力を受けないと仮定すると、等価質量 M_H を付加したラケットの並進運動の運動量および重心まわりの角運動量は、重心の速度を V_G 、角速度を Ω 、衝撃の力積を S とすると、

$$(M_R + M_H)V_G = S \quad (10)$$

$$I_G \Omega = S \cdot a \quad (11)$$

ラケットの衝突位置の衝突後の速度は、

$$V_R = V_G + \Omega \cdot a \quad (12)$$

式(10)、(11)、(12)から V_G と Ω を消去すると、

$$V_R = S[1/(M_R + M_H) + a^2/I_G] \quad (13)$$

あるいは、

$$S = V_R/[1/(M_R + M_H) + a^2/I_G] \quad (14)$$

したがって、ボールの運動量の変化は、

$$m_B V_{B0} - m_B V_B = S = V_R/[1/(M_R + M_H) + a^2/I_G] \quad (15)$$

となる。ここで、

$$\begin{aligned} M_r &= 1/[1/(M_R + M_H) + a^2/I_G] \\ &= (M_R + M_H)I_G/[I_G + (M_R + M_H)a^2] \end{aligned} \quad (16)$$

とおくと、式(15)は、

$$m_B V_{B0} = m_B V_B + M_r V_R \quad (17)$$

と書ける。したがって、式(16)で表される M_r は、腕系の等価質量 M_H をグリップの握りの位置に付加したラケットの、長さ方向中心線上の衝突位置に換算した質量とみなすことができる。

図3-3-9は、グリップ端から70mmの位置に腕系の等価質量 $M_H = 1.0\text{Kg}$ を付加したときのラケットの重心位置を示し、図3-3-10は、換算質量 M_r におよぼす M_H の影響を式(16)を使って計算した結果である。等価質量 M_H の M_r におよぼす影響は小さく、したがって、衝突の力積 S 、衝突力 F 、接触時間 T_c への影響も小さいことになる。

腕系の等価質量 M_H を付加したラケット・ハンドルの衝撃加速度成分は、式(5)と同様に次式で与えられる。

$$A_{nv}(t) = F(t)[1/(M_R + M_H) - (a/I_G)X] \quad (18)$$

ただし X は、腕系の等価質量を付加したラケットの重心から握りの位置までの距離である。

図3-3-11は、腕系の等価質量 M_H がインパクトにおけるラケット・ハンドル(グリップ端から210mm)の衝撃加速度の最大値におよぼす影響を、式(18)を

使って計算した結果である。等価質量は打点E（ラケット面の中心よりやや根元側）における衝撃加速度成分には影響をおよぼさないものの、その他の打点における衝撃加速度成分の打点による違いが小さくなっている。

図3-3-12 は、腕系の等価質量 $M_H = 1.0\text{kg}$ を付加したときの衝撃振動の予測波形である。等価質量を付加しなかった場合（図3-3-6, 図3-3-7, 図3-3-8）に比べると、衝撃加速度成分が小さくなり、より実測波形（図3-3-3）に近いものになっている。

しかし、実測波形と比較すると減衰の様子は似ているものの、全体的には十分に一致しているとは言い難い。とくに、インパクト直後の予測波形の負側のピーク値が実測波形に較べて小さくなっているのは、予測波形の3節曲げ成分が実打に比べて小さく出ていることによる。また、微小振幅で同定した場合と大振幅の実打における振動特性とが多少異なることも考えられる。さらに、等価質量の値に関してもラケットの支え方によって異なる可能性もある。

3.3.4 分析結果の現場への活用法

本節の方法により、物理特性の異なる他のラケットの場合も含めて検討を加えることで、衝撃振動の小さいラケットとはどのようなものか明らかにすることができる。ラケットの種類が多様化している現在、性能の違いを評価する表現に物理的な裏付けがあるかどうか確認した上で、自分に合ったラケットを選択するようにしたい。

3.3.5 まとめ

フォアハンド・ストロークのインパクトにおけるラケット・ハンドルの加速度実測波形と予測波形とを比較したところ、次のことが明らかになった。

- 実験モード解析により同定した各振動モード減衰比は、手で支持したラケットの場合はラケット単体の場合より約2倍以上大きい。
- 実測波形と予測波形の比較に基づくと、実打のときの減衰比はさらに約2.5倍である。これは、振幅が大きいほど減衰比が増すことを示している。
- 腕系の等価質量は反発性能にはほとんど影響しないが、ラケット・ハンドルの衝撃加速度には影響する。



図3-3-1 実打実験の状況

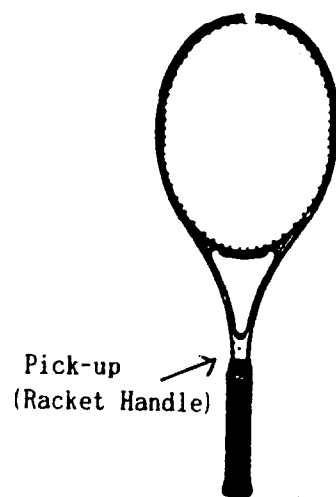


図3-3-2 加速度計の固定位置

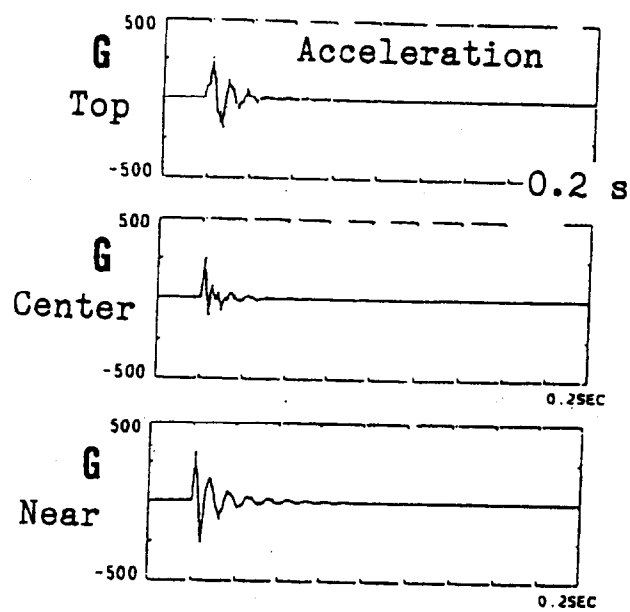


図3-3-3 フォアハンド・ストロークにおけるラケットハンドル部の
加速度波形

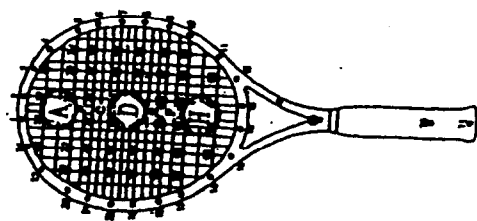


図3-3-4 スtringス面上の打点の位置

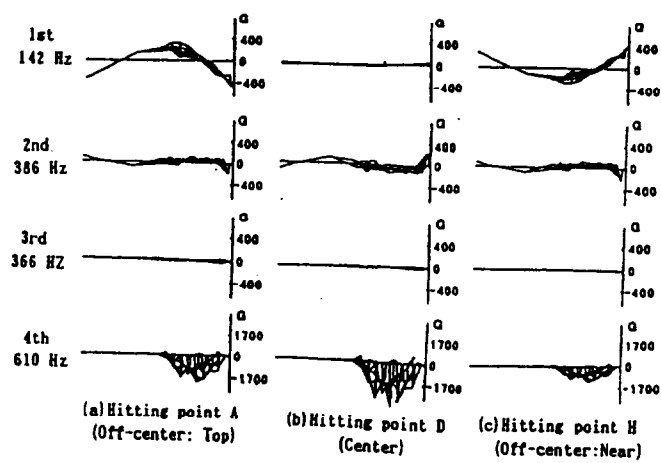


図3-3-5 ラケットの初期加速度振幅成分の予測値
(衝突速度30m/秒)

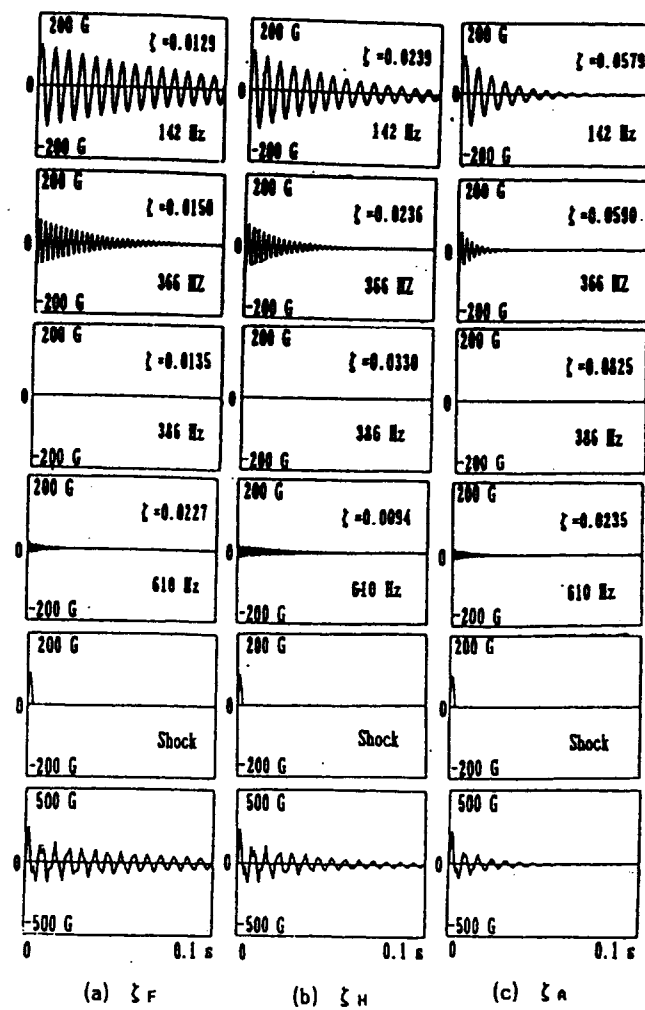


図3-3-6 ハンドルの衝撃振動成分の時系列波形予測値
(衝突速度30m/秒、先端側で打撃した場合)

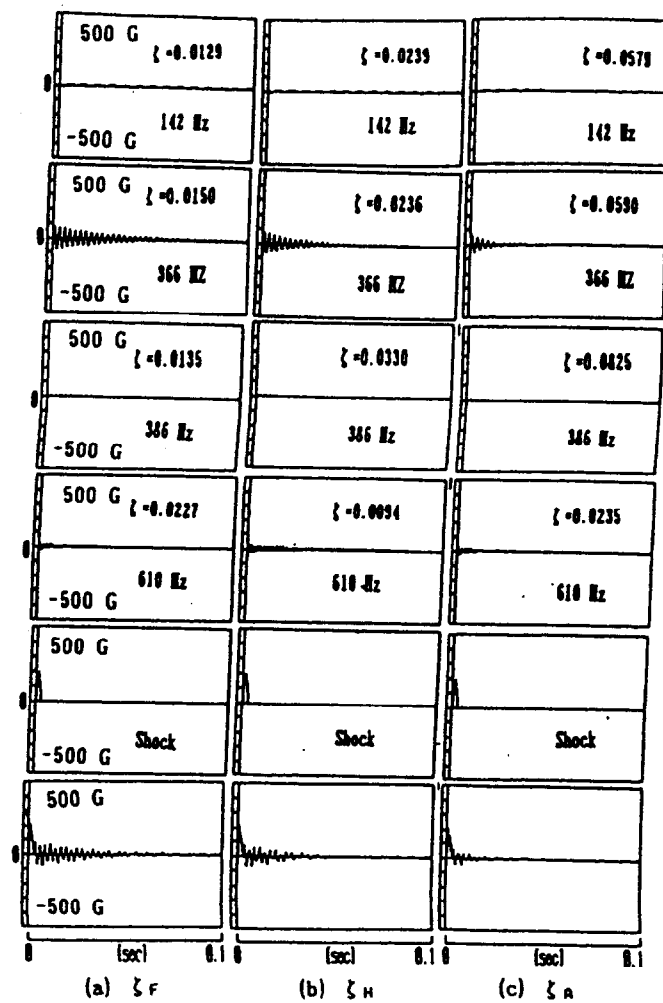


図3-3-7 ハンドルの衝撃振動成分の時系列波形予測値
(衝突速度30m/秒、中央で打撃した場合)

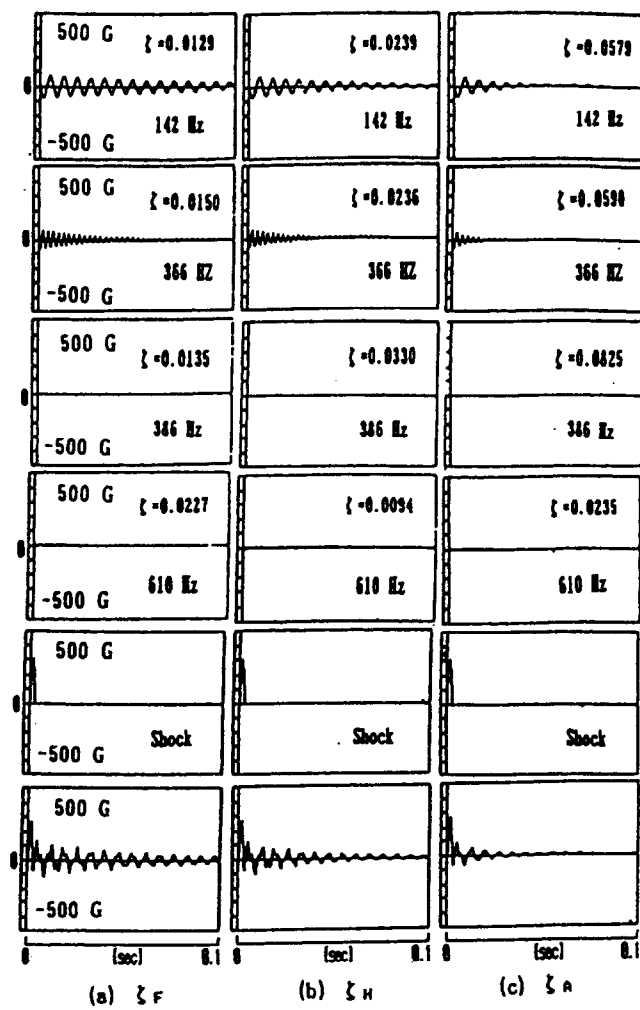


図3-3-8 ハンドルの衝撃振動成分の時系列波形予測値
(衝突速度30m/秒、根本側で打撃した場合)

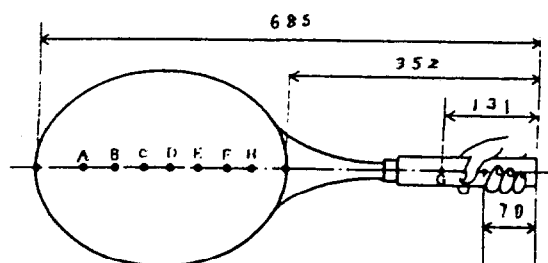


図3-3-9 腕系の等価質量 ($M_n=1.0\text{kg}$) を付加したときのロケットの重心位置

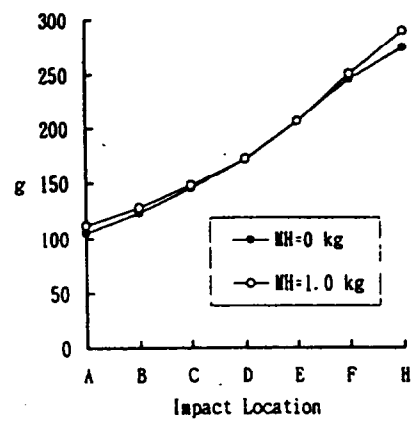


図3-3-10 換算質量 M_r におよぼす等価質量 M_H の影響

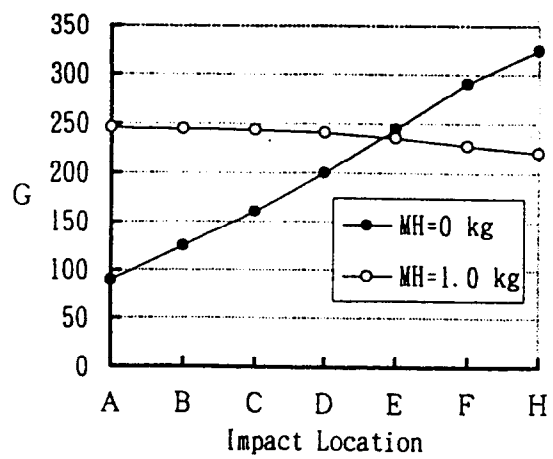


図3-3-11 腕系の等価質量 ($M_H=1.0\text{kg}$) がラケット・ハンドルの衝撃加速度の最大値におよぼす影響

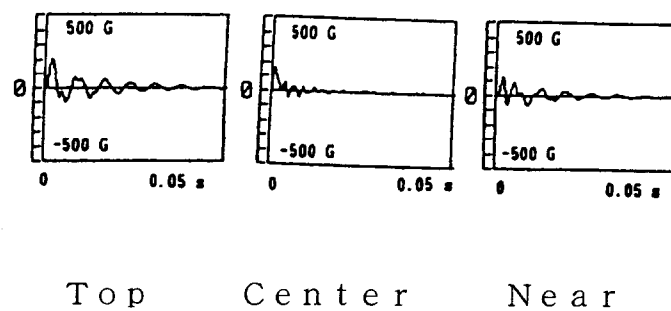


図 3-3-12 腕系の等価質量 ($M_n=1.0\text{kg}$) を付加したときの衝撃振動の予測波形

3.4 結言

本章では、人間系と用具系とが複雑に絡む現象を解明し、巧みさ獲得を目指す現場のプレイヤーに対して、用具選択の指針を提示していくための第一歩として、ラケットの物理特性の違いがラケットの反発性能、およびインパクトにおける衝撃振動にどう影響をおよぼすか検討を加えた。以下に、明らかにされた知見を各項目毎にまとめる。

テニス・ラケットの反発特性：ボールとラケットの実験的同定結果と衝突解析により、ラケット面上の任意の位置、任意の速度でボールと衝突するときの反発係数および反発力係数を定義した。その上で、打球面サイズが同一で質量および質量分布が異なる場合と、質量が同一で打球面サイズが異なる場合について、簡単なスウィング・モデルによりボールの飛びに関するスイート・エリアを予測する方法と適用例を示した。本節の方法により、ボールの飛びに関するラケットの性能の特長とラケットの物理特性との関係を明らかにすることができる。

テニス・ラケットの衝撃振動：フォアハンド・ストロークのインパクトにおけるラケット・ハンドルの加速度実測波形と予測波形とを比較したところ、次のことが明らかになった。

- 実験モード解析により同定した各振動モード減衰比は、手で支持したラケットの場合はラケット単体の場合より約2倍以上大きい。
- 実測波形と予測波形の比較に基づくと、実打のときの減衰比はさらに約2.5倍である。これは、振幅が大きいほど減衰比が増すことを示している。
- 腕系の等価質量は反発性能にはほとんど影響しないが、ラケット・ハンドルの衝撃加速度には影響する。

第 4 章

障害の予防と治療

4.1 緒言

巧みさを獲得していく上で、障害の発生はできるだけ避けたいものである。これまでにもテニス肘をはじめとする発生頻度の高い障害に対しては、統計的な調査が行われており⁽¹⁸⁾⁽³⁸⁾⁽⁴⁵⁾、打法や用具はどうあるべきか検討されている。

しかしながら、ストローク動作のどのような点が障害を引き起こしやすいのか、あるいはラケットのどのような性質が痛みの原因になっているのかといった、巧みさ獲得を目指すプレイヤーが求めている具体的な情報となると、統計的な調査からだけでは得られにくい。

また、実際に指導現場で行われている『手首を使って打たないほうがよい』あるいは『軟らかいラケットに変更するように』などのアドバイス内容にしても、その有効性が客観的に確かめられているものは少ない。

そこで本章では、障害と打法、およびラケットの関係を、バイオメカニクスの立場から検討し、障害の予防法および障害が発生した際の保存的治療法を提示することを主要な目的とした。

4.2 テニス肘患者のストローク動作

4.2.1 目的

テニス肘の発生原因を、バイオメカニクスの立場から検討しようとした報告が増加しつつある。栗山ら⁽³⁴⁾、Ilfeld⁽²¹⁾はストローク動作との関係について、Adelsbergら⁽¹⁾はグリップサイズとの関係について、そしてGroppelら⁽¹⁶⁾はテニス肘バンドの効果について、表面筋電図による分析や画像解析によって明らかにしようとしている。

しかし、いずれの報告もテニス肘の既往のない者を被検者としているため、肘に痛みのあるテニス肘患者の特徴を“推測した”という形にとどまっている。

そこで本節では、実際にテニス肘を煩っている人を被検者として選定し、ストローク動作と肘の痛みとの関係を明らかにしようとした。具体的には、ストローク動作中に訴える痛みの程度と、スウィングの強弱、打球位置の関係を検討し、テニス肘患者に対して有効な治療法を提示することが本節の目的である。

4.2.2 方法

被検者は、テニス肘の既往のある女子中級者3名であった。被検者には研究の内容と目的を十分に説明し、実験に参加することへの同意を得た。3名の身体的特徴、経験年数、練習時間等を表4-2-1にまとめた。

いずれの被検者も実験の数ヶ月前から肘の痛みを訴えており、当日の医師の診察で、2名(A, B)は上腕骨外側上顆部に痛みを示すバックハンド型のテニス肘、1名(C)は上腕骨内側上顆部に痛みを示すフォアハンド型のテニス肘と診断された。実験当日もストローク動作中に痛みを感じており、特にフォアハンド・ストロークとサーブの際に痛みを感じる人が多いと訴えていた。

データの収集は、フォアハンド・ストロークとサーブについて行った。測定手順は次の通りである。

まず各被検者とも医師の診察を受けた後に、ストレッチングとストロークの練習を中心にしたウォーミングアップを行った。ウォーミングアップ終了後、フォアハンド・ストロークを打球位置およびラケット速度について分類し、

- いつもの打ち方（センターでの打球、普通のラケット速度）
- ラケットをゆっくり振る（センターでの打球、普通のラケット速度より15～20%遅い速度）
- オフセンターで打球する（センターよりボール1個外れた位置での打球、普

通のラケット速度) (図 4-2-1)

の3種類の打ち方で、それぞれ4～5本続けて行った。

スウィングの強弱を客観的に示すものとしては、ラケットの速度をとりあげた。ラケット速度は、被検者の動作を側方 18mのところより高速度ビデオカメラを用いて毎秒 180 コマで撮影し、得られた画像を動作解析コンピュータ・システム (SONY 製) で分析することによって求めた。

ラケット面における打球位置は、検者のひとりが被検者の後方より記録するとともに、正確な位置を得られた画像によって確認した。

使用したラケットはセミラージ 380g で材質はグラファイト、ストリングス張力は 60 ポンドであった。

ストローク中の肘の痛みの度合いは、表 4-2-2 のごとく4段階に分けた痛みの中から選ばせた。

4.2.3 結果と考察

4.2.3.1 痛みとラケット速度の関係

被検者が訴えた痛みの段階は、フォアハンド・ストロークの場合は、②少し痛い、①痛くないの2通り、サーブの場合は、③痛い、②少し痛い、①痛くないの3通りであった。

表 4-2-3 は、それぞれの痛みの段階におけるラケット速度の平均値・標準偏差で、センターで打球した場合について算出したものである。

ラケット速度は、フォアハンド・ストロークの場合は痛みの有無にかかわらず 20m/秒前後の値を示し、あまり差が認められない。しかし、サーブの場合はラケット速度が大きくなるにつれて痛みの度合いが大きくなるという傾向がある。その差はわずかに 1～2 m/秒であるが、①と②、および①と③の間には有意な差が認められており、強いスウィングが肘の痛みにつながっているということが示された。また、ラケット速度を大きくするためにはグリップの把握力を大きくする必要があり⁽⁶⁰⁾、この把握力の増大が肘への痛みをもたらした可能性もある。

4.2.3.2 痛みと打球位置の関係

フォアハンド・ストロークについて、センターで打球した場合とオフセンターで打球した場合の痛みの度合いの違いを検討した。

図 4-2-2 に、3名の結果をまとめて示した。痛みを訴えた試行はオフセンターの場合は 13 試行のうち 9 試行 (69%)、センターの場合は 33 試行のうち 15 試行 (46%) であった。オフセンターで打球した場合に痛みを訴えることが比較的

多くみられるのは、すでに明らかにされているように衝撃力が大きくなる⁽⁵⁰⁾ということに加えて、その結果生じるグリップ部分のぐらつきが肘への負担を大きくしているからと考えられる。

4.2.4 分析結果の現場への活用法

テニス肘患者は、強いスウィングとオフセンターでの打球で痛みを訴えており、次のようなアドバイスが治療法として有効になるろう。

サーブの場合は、『いつもよりスウィング速度を遅くする』。ただし、1~2m/秒遅くするだけで十分なので、サーブにおける巧みな動作である身体全体の円運動は維持するようにする。グラウンド・ストロークの場合は、余裕をもってフォワード・スウィングを行い、ボールをよく見るようにするために、『相手が打球した直後にラケットを引き始める』『ボールのバウンドするところをよく見る』『ボールの表面の文字を観察する』など。

4.2.5 まとめ

テニス肘の既往のある女子中級者3名にフォアハンド・ストロークとサーブを行わせ、動作中に訴えた痛みの程度と、スウィングの強弱、打球場所の関係を検討したところ、以下のことが明らかになった。

- サーブの場合、ラケット速度が大きいほど痛みを感じる度合いが大きい。
- フォアハンド・ストロークの場合、オフセンターで打球した際に痛みを訴えることが多い。

表 4-2-1 被検者の身体的特徴、経験年数、練習時間

被 検 者	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)	経 験 年 数 (年)	一週間の平均練習日数(日/週)	一日の練習時間(時間/日)
A	42	156	48	10	6	3
B	28	156	47	1	5	1.5
C	32	152	42	3	5～6	3

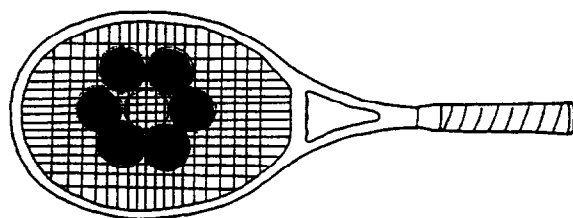


図 4-2-1 オフセンターでの打球位置

表 4-2-2 痛みの4段階の分け方

①	痛くない
②	少し痛い
③	痛い
④	非常に痛い

表 4-2-3 痛みとラケット速度の関係

フォアハンド・ストローク

痛 み	①	②
ラケット速度(m/秒)	20.7 ± 3.0	20.3 ± 2.4
試 行 数	25	18

サービス

痛 み	①	②	③
ラケット速度(m/秒)	18.0 ± 1.2	19.3 ± 1.5	19.4 ± 0.8
試 行 数	10	10	6

1-2、1-3 有意 ($p < 0.05$)

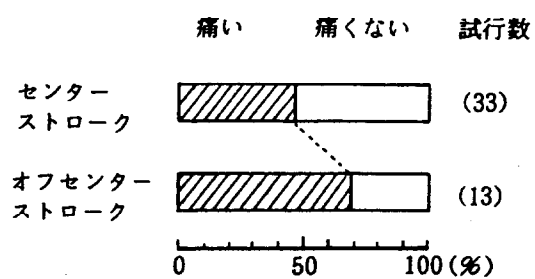


図 4-2-2 痛みと打球位置との関係

4.3 テニス肘装具の効果

4.3.1 目的

ストリングスに装着する衝撃吸収材（以下ダンパ）が、ラケットと手関節部の衝撃を減少させるという報告⁽⁶¹⁾がある。しかし、障害の起こりやすい肘関節部に対しての影響は明らかにされていない。また、テニス肘の保存的治療として用いられるエルボーバンドやリストバンドの衝撃緩衝特性についても、ほとんど明らかでない。

そこで本節では、実際にストロークを行ったときの肘関節部の衝撃振動を導出し、種々のテニス肘装具がテニス肘の予防・治療に有効かどうか明らかにすることを主要な目的とした。

4.3.2 方法

被検者はテニス歴 10 年以上の男子上級者 1 名とした。被検者には研究の内容と目的を十分に説明し、実験に参加することへの同意を得た。被検者はスロート下部および上腕骨外側上顆部に加速度計（A&D 製）を装着し、テニスマシンから発射された一定球速のボール（打球直前の速度が 4~5m/秒）を、フォアハンドのグラウンド・ストロークでストレートの方向に返球した。

高速度ビデオ（NAC 製）を用いて打球部位を確認した後、2チャンネルFFT（小野測器製）を用いて衝撃力の分析を行った。インパクトによる衝撃の大きさがテニス肘発症の重要な要因になっていると考えられる⁽³⁵⁾ので、ここでは衝撃振動の諸要素のうちから振幅の最大値に着目することにした。振幅の最大値はインパクト直後に得られる加速度波形（衝撃振動）の最大値と最小値の差（以下衝撃力と呼ぶ）で評価した（図 4-3-1）。

本研究で用いたテニス肘装具は、ストリングス部分に固定するスポンジ状のもの（D群，図 4-3-2），一般に市販されているエルボーバンド（E群，図 4-3-3），リストバンド（W群，図 4-3-4）であり，それらの効果を判定するために，何も装着しないとき（U群）との比較を行った。

4.3.3 結果と考察

衝撃力は、センター・インパクトとオフセンター・インパクトの2つの場合に

ついて検討した。オフセンターでの打球部位は、ラケット面の下部でスロート近辺に限定した（図 4-3-5）。得られた結果を図 4-3-6 に示す。

まずセンター・インパクトの場合の衝撃力の大きさを検討すると、ラケットの 461～506G に対し、肘関節は 15.1～17.0G と、約 1/40 に衰減している。ほぼ同じ条件で測定された報告⁽⁵⁸⁾では、インパクトによる衝撃が最初に伝わる手関節部では 30～40G を示しており、肘関節部には手関節部の衝撃がさらに 1/2 程度に衰減して到達するということがわかる。

次に打球部位で衝撃力を比較すると、これまでの報告⁽⁵⁸⁾と同様にセンターよりもオフセンターでの衝撃が大きく、ラケットでは 1.2～1.3 倍、肘関節では 1.6～1.9 倍を示していた。いわゆるスイート・スポットで打球をすると衝撃が小さくなるのが、今回の実打実験においても再確認されたわけである。

さて、現場でもしばしば話題になるテニス肘装具の効果であるが、結果は図 4-3-6 に集約されている。この図をみると、ダンパはラケットの衝撃を緩衝するものの、肘関節部には影響をおよぼしていない。むしろ肘関節部に対しては、リストバンドやエルボーバンドのほうが、高い緩衝機能を保持していることが読みとれる。リストバンド、エルボーバンドはストローク中の過度の筋活動を抑制する⁽¹⁶⁾と報告されていることを考慮すると、バンド状の装具はテニス肘の保存的治療に際してはダンパ以上の効果が期待できる。

4.3.4 分析結果の現場への活用法

リストバンドやエルボーバンドは、オフセンターで打球することが多い初・中級者⁽⁴³⁾に対しては威力を発揮しそうである。

一方のダンパを装着することの是非について、本節の結果をもって『肘には効果なし』と否定的な見解を導くことは避けたい。本節においてもストリングスおよびフレームの衝撃振動を抑制する作用が確認されており、上肢に対しても影響をおよぼしているはずである。今後は、振幅の最大値だけでなく、減衰率や振動数といった衝撃振動の他の要素についても検討を加えることで、ダンパの上肢におよぼす影響を詳細に解明していく必要がある。

4.3.5 まとめ

種々のテニス肘装具が、テニス肘の治療・予防に効果があるかどうか明らかにするために、フォアハンド・ストロークを行った際の、ラケットと肘関節部の衝

撃振動を加速度計を用いて導出した。ストリングスに装着するスポンジ状の衝撃吸収材（ダンパ），リストバンド，エルボーバンドの3者で比較したところ，肘関節部に対する衝撃緩衝効果はダンパよりもバンド状装具のほうが優れていた。

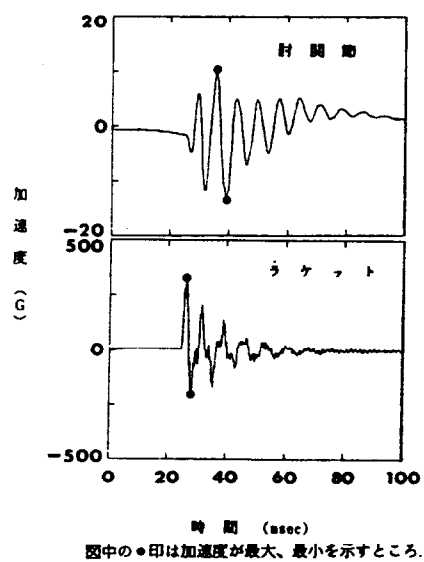


図 4-3-1 フォアハンド・ストロークをセンターで打球した際の加速度波形

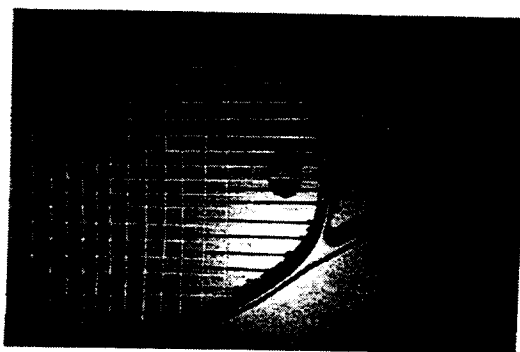


図 4-3-2 衝撃吸収材 (ダンパ)

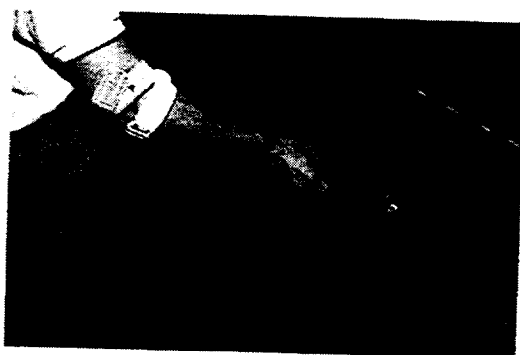


図 4-3-3 エルボーバンド

上腕骨外上顆末梢で、短橈側骨手根伸筋収縮時の膨隆を抑制する肘型装具「テニスエルボーサポーター（アルケア製）」



図 4-3-4 リストバンド

ゲル状 Shock Absorber により振動を減少させる球型の腕型装具「TENEX（アルプレン製）」

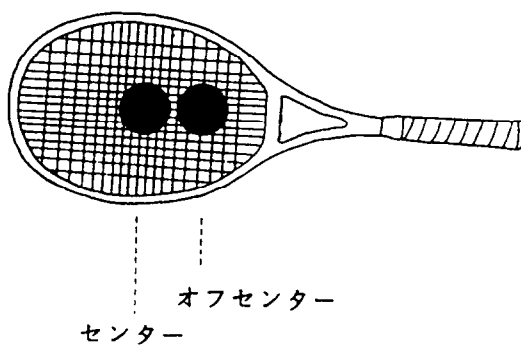
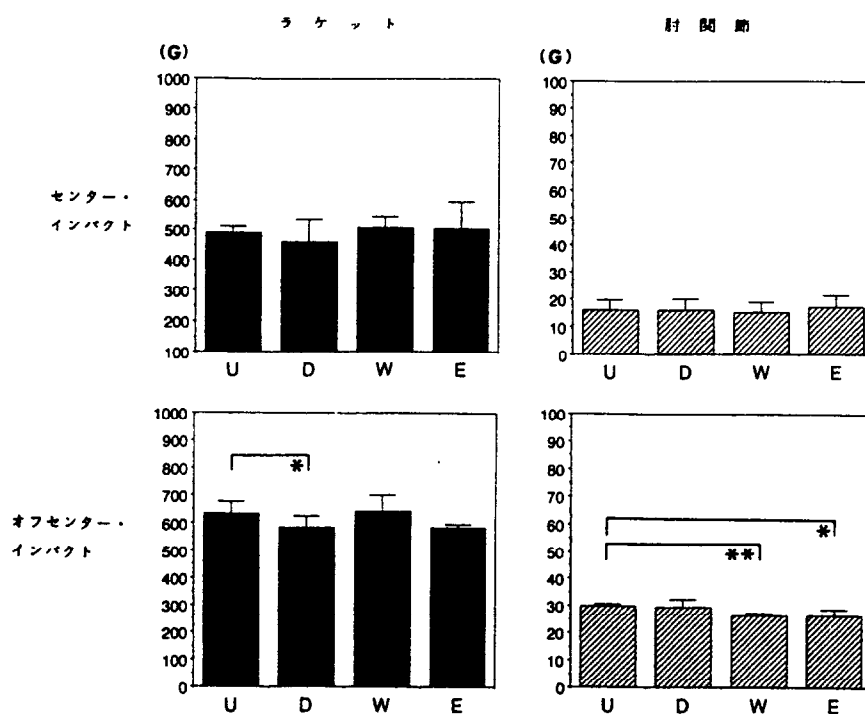


図 4-3-5 打球位置



[試行数] センター：各群とも5
 オフセンター：U群=6, D群=12, W群=5, E群=5
 ※：P<0.005, ※※：P<0.001

図 4-3-6 インパクト直後の衝撃力

4.4 結言

本章では、巧みさを獲得していく過程で避けて通ることができない種々の障害と打法の関係、およびテニス肘装具の効果について、バイオメカニクスの立場から検討した。以下に、明らかにされた知見を各項目毎にまとめる。

テニス肘患者のストローク動作：テニス肘の既往のある女子中級者3名にフォアハンド・ストロークとサーブを行わせ、動作中に訴えた痛みの程度と、スウィングの強弱、打球場所との関係を検討したところ、以下のことが明らかになった。

- サーブの場合、ラケット速度が大きいほど痛みを感じる度合いが大きい。
- フォアハンド・ストロークの場合、オフセンターで打球した際に痛みを訴えることが多い。

テニス肘装具の効果：種々のテニス肘装具が、テニス肘の治療・予防に効果があるかどうか明らかにするために、フォアハンド・ストロークを行った際の、ラケットと肘関節部の衝撃振動を加速度計を用いて導出した。ストリングスに装着するスポンジ状の衝撃吸収材（ダンパ）、リストバンド、エルボーバンドの3者で比較したところ、肘関節部に対する衝撃緩衝効果はダンパよりもバンド状装具のほうが優れていた。

第 5 章

巧みさの指導

5.1 緒言

これまで第 2・3・4 章において、「巧みな動作の獲得」「性能の良い用具の使用」「障害の予防」という 3 つの観点からそれぞれの達成法を具体的に提案してきた。

そこで本章では、そうした提案に基づいて進められる指導や練習により巧みさがどう向上していくか、また障害が予防できるのかどうか縦断的に追跡した。本章の目的は、巧みさを獲得する過程を客観化するとともに、指導をどのような形で行うのが望ましいか、そのひとつの考えを提示することである。

5.2 サーブにおける巧みさの指導

5.2.1 目的

テニスのストローク、野球のピッチング、サッカーのキックなど、スポーツにおける各種の技術は誰もがはじめは全くの素人であり、練習によって習熟していくものである。その動きを見れば、熟練者か未熟練者かはすぐに見極めができることから分かるように、練習によって動きのパターンが変わり、巧みさを獲得し、より目的に適ったフォームになっていく。

そこで本節では、テニスを行ったことのない初心者を対象に、サーブを1年間にわたって指導し、それにともなって何が変わっていくかを追跡しようと試みた。分析にあたっては、表面的な動きの変化だけでなく、力の発揮や筋の作用機序の変化などに注目し、巧みさを獲得する過程を客観化するとともに、これらの変化と指導内容との関係も明らかにしようとした。

5.2.2 方法

5.2.2.1 指導内容

被検者はテニスを経験したことのない男子大学生8名とした。いずれも志願者であり、研究の内容および目的を十分に説明したのちに、実験への参加の同意を得た。

サーブの指導は、大学の体育実技でテニスの指導を専門とする教官（1名）が担当した。本節では、初級者にとって最も修得しやすいと考えられているスライス・サーブの指導を行った。指導の際に重点をおいたのは、「身体全体で円を描く」というサーブにおける巧みな動作を達成するための技術として、

- ①体重の移動を大きくすること
- ②動作を大きくすること
- ③トスの位置を安定させること

の以上3点とした。①と②の具体的な内容については図5-2-1⁽³⁹⁾、図5-2-2⁽³⁹⁾に示した。

練習開始後の1ヶ月間は、ラケットの軌道や打点の高さの感じをつかませるために、図5-2-1のようにあらかじめラケットをかついだうえでトスをして打つ練習を行った。2ヶ月目からは、図5-2-2のように通常の構えから動作を開始する練習にきりかえた。これら図中にあげたポイントを指導する際には、たとえば、

『ラケットをネットの向こう側に放り投げるような感じで』

あるいは、

『もっとからだ全体を大きく回転させること』

『無駄な力を入れないようにすること』

というように、身体全体を大きくしかもスムーズに動かすことを強調したアドバイスを多用した。これは、初級者が、

『手首のスナップを使って』

『膝をしっかり曲げて』

というようにからだの一部分だけに注意を払ってスウィングすると、ぎこちない動きになってしまうことが多い⁽⁶⁵⁾ためである。また、図中にあげたポイント以外の動作に欠点があったとしても、できるだけ注意を与えないようにし、あくまで重点をおいた上記3項目の修得を第一目標とした。

なお、トスをする際にはボールを腕を伸ばして打つことができる高さまであげることで、からだの少し右斜め前（ボールが右足の前 20~30cm のところに落ちるぐらいの位置）にあげることの2点に注意を払わせた。

以上のような指導は、平均して週2回のペースで1年間実施した。1回の指導時間は30分から40分であった。

5.2.2.2 データの処理方法

指導の効果を測定するために指導の前、および指導を開始してから1年後に、被検者のサーブ動作中における身体重心の移動の様子、各関節の角度変化、筋の収縮様式等を分析した。

被検者には、各自の自由な動作でできるだけ速いボールを打つよう指示した。試行回数は3回で、このうち最もボール速度が大きかった試行について分析を行った。

また、指導対象となった10名の被検者とは別に、上級者2名についても同様な形でデータ収集を1回実施し、指導効果を判定するための材料として用いた。

具体的な測定項目は、

- ①インパクト直後のボール速度
- ②ラケットの水平方向移動距離
- ③インパクトの瞬間における各関節角度および各 segment の傾斜角度
- ④右足、左足床反力の垂直成分
- ⑤上腕三頭筋、撓側手根屈筋の筋放電パターン

の5項目である。これらは、指導の際に重点をおいたポイントの修得度を判定するための傍証となりうるような項目として選択された。

すなわち、『動作を大きくすること』および『体重の移動を大きくすること』

については項目②あるいは④から、『インパクトを高い位置で行うこと』については項目③から、そして、『インパクト前に無駄な力を入れないようにすること』については項目⑤から、それぞれの課題の修得度を判定しようとしたわけである。

項目①，②，③に関するデータは，側方より毎秒 100 コマで撮影した画像をもとにモーション・アナライザーで分析することによって得た。

ボール速度は，インパクト直後の 20 ミリ秒間にボールの中心が移動した距離から算出し，ラケットの水平方向の移動距離は，図 2-3 のごとくラケットヘッドがバックスウィング時に最も後半に達する地点の X 座標とインパクトの瞬間の X 座標の差，と定義した。インパクトの瞬間の各関節角度および各 segment の傾きは，図 2-4 のごとくラケットと前腕のなす角度(θ_1)，前腕，上腕，脊柱の前方への傾斜角度（それぞれ θ_2 ， θ_3 ， θ_4 とする）と定義した。

項目④については圧力盤（キスラー製），項目⑤についてはテレメータ（三栄測器製）を用いて測定した。

5.2.3 結果と考察

5.2.3.1 インパクト直後のボール速度

各被検者（以下トレーニング群）および上級者（X，Y）のボール速度を表 2-1 に示した。トレーニング群のボール速度は，トレーニング後に小さくなる傾向が認められた ($0.1 < P < 0.2$) が，これはスピードよりもコントロールを重視したスライス・サーブを指導したためであると考えられた。トレーニング前の試行では指導前ということもありサーブの種類をとくに指示しなかったが，ほとんどの被検者がボール速度の大きくなりやすいフラット系のサーブで打球を行っていた。

5.2.3.2 ラケットの水平方向移動距離

表 5-2-2 に，ラケットの水平方向の移動距離の変化を示した。上級者の 179cm，198cm に比較すると，トレーニング群の指導前の平均値は 165.4cm と小さい値であった。しかし，練習後は約 20cm 増大しており，練習によって上級者の示す大きな値に近づいていく傾向にあることが示された。

体重の移動や動作を大きくするためには，身体全体をバックスウィング時にいったん後方に移動させ，フォワード・スウィングの際に前方に移動しやすくする必要がある。したがって，ラケットの移動距離自体も必然的に大きくなる。ここで示された結果は，体重の移動や動作が大きくなったことの傍証のひとつとして

とりあげることができる。

5.2.3.3 インパクトの瞬間の各関節角度および各 segment の傾斜角度

トレーニング群の示す値を評価する前に、各角度について望ましい値の範囲を検討しておく。

インパクトをできるだけ高い位置で行うためには、ラケットと身体全体を上方に一直線に伸ばして打球を行う必要がある。しかし、手関節 θ_1 については上級者は 177° 、 155° と、ややラケットを後傾させた上体でインパクトしており、必ずしも最高点でインパクトしているわけではない。これは、インパクト中はラケットが上方へ動いている⁽¹⁰⁾ためであり、 180° になるのはインパクト直後にラケットが最も高い位置に達した時点であると考えられる。 θ_1 の値としては、 170° 前後の値を示すのが理想的であろう。

一般に上級者の場合は、ボールに大きな運動量を与えるために、体重の移動を伴いながら、身体全体をやや前傾させた状態で打球を行うことが多い。したがって、 $\theta_2 \sim \theta_4$ に関しては、2名の上級者が示すように、 $0 \sim 30^\circ$ 前後の値を示すのが理想的であろう。

図 5-2-4 は、角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ の練習前後の値を比較したものである。練習前の値を上級者の値と比較すると、 θ_1 と θ_4 については小さめかほぼ同じ、 θ_2 と θ_3 については大きめ、というパターンを示す者が8名中4名あったが、全体的には個人差が大きく一定の傾向を見出せなかった。しかし、練習によって上級者より小さい値を示していた者は大きい値へ、逆に上級者より大きい値を示していたものは小さい値へと変化していくという傾向が、 $\theta_1 \sim \theta_4$ すべての角度について認められた。この結果は、初級者それぞれが高い位置でインパクトし、身体全体で円を描く熟練者の打法に近づきつつある、ということを示している。

5.2.3.4 右足、左足の床反力の垂直成分

図 5-2-5 に、練習前後の床反力波形の代表的なものを示した。スウィング直前の右足（後ろの足）の垂直成分は、練習の前後ともにはっきりとしたピークは認められない。これは上級者についても同様であり、上方へ身体を持ち上げるためには、フォワード・スウィングの際に軸足となる左足（前の足）が大きな役割を果たしていることがわかる。

これに対し、左足の場合ははっきりとしたピークが認められる。垂直成分ピーク値を練習前後で比較すると、練習後は練習前より大きな値を示している（ $0.1 < P < 0.2$ ）（表 5-2-3）。これは画像から観察すると、足首や膝の伸展を積極的に行うようになったためであると考えられた。しかしその値は上級者2名と比較す

ると依然小さく、上級者のように身体全体で円を描くサーブを身につけるためには、左足を軸にして右足を前方に大きく移動させる必要がある。

5.2.3.5 上腕三頭筋，橈側手根屈筋の筋放電パターン

サーブのフォワード・スウィングの際の主働筋の一部と考えられる上腕三頭筋と橈側手根屈筋の筋放電開始時期（それぞれT，Fとする）を調べた。トレーニング群の代表的なものを図 5-2-6 に示した。

身体の中心部から末端へ順序よく力を発揮していくのを理想的な動作である⁽³⁾とすれば，T→Fの順になることが望ましく，実際本節における2名はいずれもこの順序を示していた。

トレーニング群のトレーニング前における順序はF→Tを示すものが8名中6名あった。橈側手根屈筋はグリップを強く握る際に動員される筋であり，トレーニング群のほとんどの者が，スウィングの早いうちからグリップを強く握りしめていたとみなされる。しかし，トレーニングを行うことによってF→Tの順を示した6名のうち4名がT→Fの順に逆転し，F→Tのままであった2名もFとTの間隔が大幅に短くなっている。このことは，初級者それぞれがインパクト前に無駄な力を入れないスウィングを修得しつつあるということを示している。

5.2.4 まとめ

サーブにおける巧みさ獲得の過程を客観化するため，初級者8名に1年間にわたってサーブを指導し，動作がどのように変わっていくか縦断的に追求した。指導の際には，「身体全体で円を描く」というサーブにおける巧みな動作を達成するための技術として，①体重の移動を大きくすること，②動作を大きくすること，③トスの位置を安定させることの3項目に重点をおいた。そして，それらの修得度を判定するため，ラケットの移動距離，関節・segment が示す角度，右足・左足の床反力，上肢筋群の筋放電パターン等を測定した。いずれの測定項目についても，初級者の動作が上級者の示す巧みな動作に近づきつつあることが確認され，本節の指導法が的を得たものであることが示された。



図 5-2-1 サーブの指導内容（練習開始後 1 ヶ月間）
 （水野 1984、友末加筆）



図 5-2-2 サーブの指導内容（練習開始後2ヶ月目から）
 （水野 1984、友末加筆）

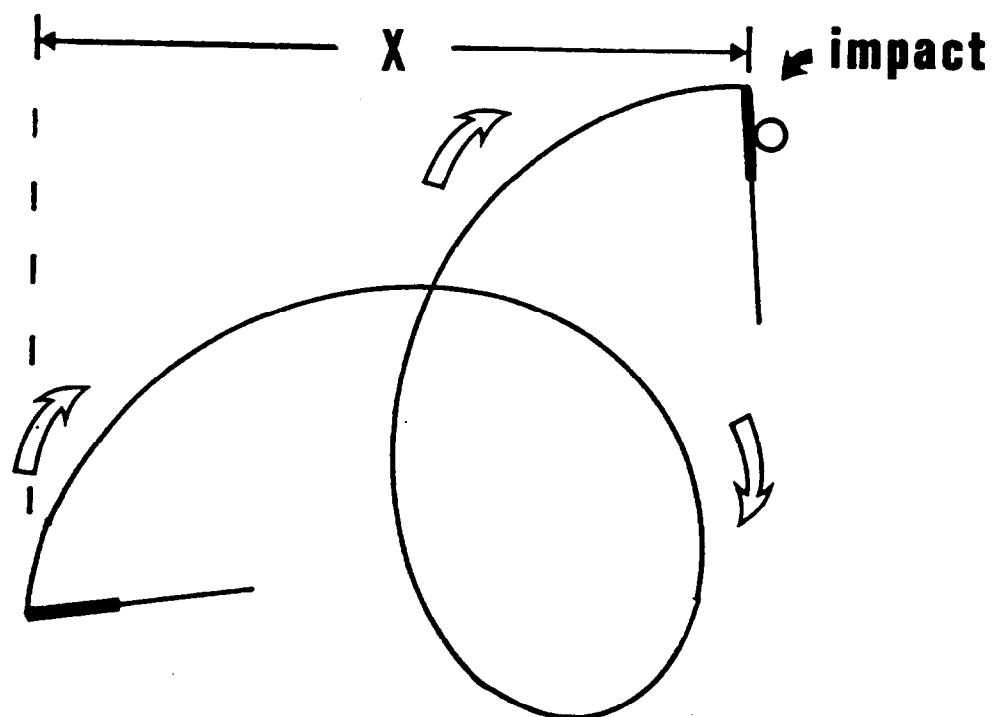


図 5-2-3 サーブにおけるラケットの水平方向の移動距離

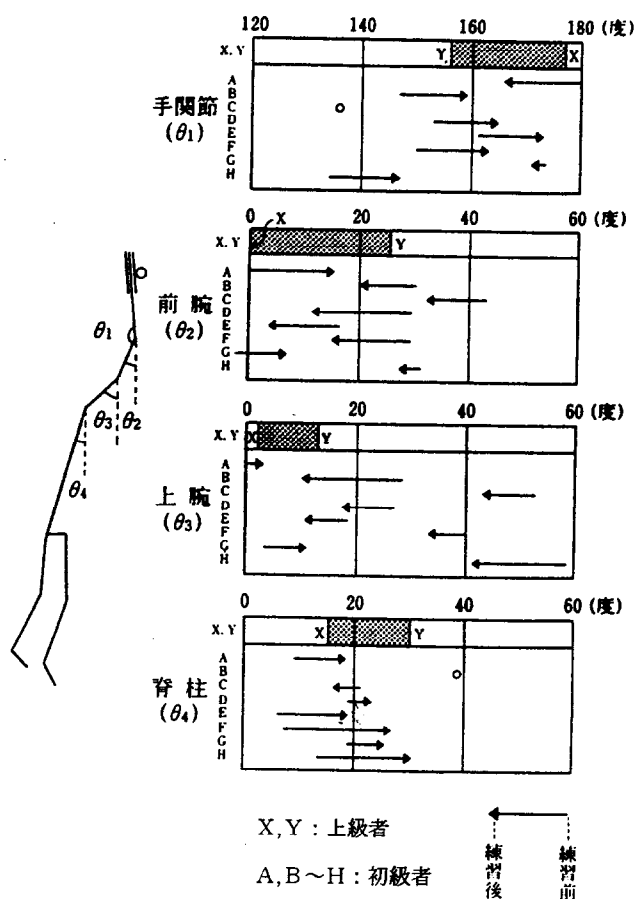


図 5-2-4 インパクト時の身体とラケットの位置

表 5-2-1 サーブにおけるインパクト直後のボール速度

トレーニング群 (N = 7)		上級者 X	上級者 Y
トレーニング前	トレーニング後		
34.4 ± 8.0	29.3 ± 3.9	34.9	35.7 (m/s)

(平均値 ± 標準偏差)

表 5-2-2 サーブにおけるラケットの水平方向の移動距離

トレーニング群 (N=7)		上級者X	上級者Y
トレーニング前	トレーニング後		
165.4 ± 33.9	185.0 ± 33.3	179	198 (cm)

(平均値±標準偏差)

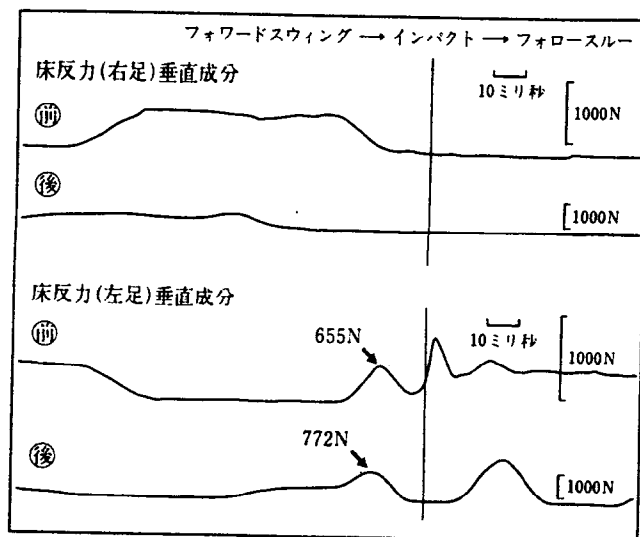


図 5-2-5 サーブにおける床反力の練習による変化

表 5-2-3 サーブにおける床反力（左足）の垂直成分の最大値

トレーニング群 (N=7)		上級者 X	上級者 Y
トレーニング前	トレーニング後		
654.9 ± 94.5	772.4 ± 160.3	1141	952 (N)

(平均値±標準偏差)

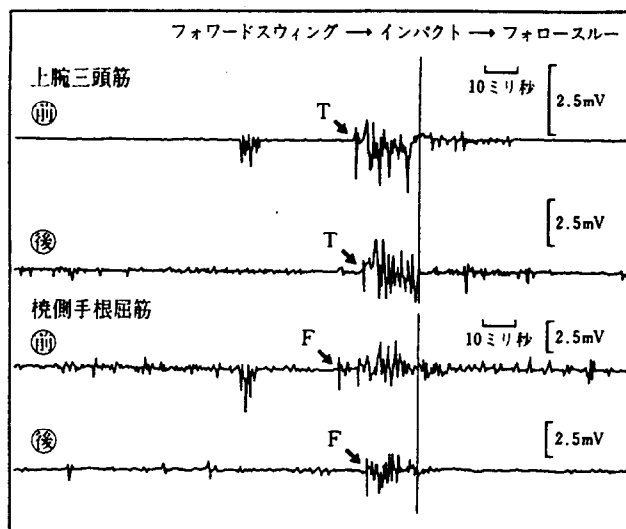


図 5-2-6 サーブにおける筋電図の練習による変化

5.3 フォアハンド・ストロークにおける巧みさの指導

5.3.1 目的

スポーツにおける各種技術の指導を進めていく際、巧みさの獲得の程度を知るためにフォームの評価が行われることが多い。しかしながら、フォームの評価の信頼性を検討した報告は少なく、体操競技⁽¹²⁾⁽²⁰⁾⁽²²⁾や投動作⁽⁴⁰⁾についていくつか見られる程度である。

本節の第1の目的は、フォアハンド・グラウンド・ストロークについて、①採点者が同じフォームを2回採点したときに生ずる変動量（判定者内誤差）、②2人以上の採点者が同じフォームを採点したときに生ずる変動量（判定者間誤差）を検討することである。

一方、テニス・ストロークの巧みさ獲得にビデオ・テープレコーダー（VTR）・システムの利用が有効なことは、以前から知られていた⁽¹¹⁾⁽⁴⁸⁾。しかし、それを集団に対して利用する場合には、録画と再生の間の時間が長過ぎるといふ難点が指摘されていた⁽⁶³⁾⁽⁶⁷⁾。そこで、この難点を克服するために『時間遅れ再生機能付きビデオ・システム』を開発し、フォアハンド・グラウンド・ストロークについて初心者指導を行った。

本節の第2の目的は、この新システムを用いた指導の効果を検討することである。

5.3.2 フォームの評価の信頼性

5.3.2.1 方法

採点者は大学の教養課程の体育実技でテニスを担当している教官5名であり、その年数は7～20年であった。フォームの評価にはVTRシステムを用いた。評価の対象となったのは、大学の教養課程の体育実技にテニスを選択した初級者48名であった。対象者はネットの向こう側におかれたテニスマシンから打ち出されたボールを、フォアハンド・ストロークでテニスマシンの方向に1分間に10～15本打ち続けた。その間、対象者の動作を右斜め前方より撮影した。その際、対象者の像がモニターテレビの画像の縦方向の距離の約1/2になるようにズームレンズを調節した。約80日後に同様な撮影を再び行った。

フォームの評価項目は、フォアハンド・ストロークの巧みさ獲得のために重要であると考えられる以下の5項目とした。ラケットの動きに焦点をあてているのは、フォームの評価基準を単純化するためである。

- ①フォロースルー（打球後にラケットを狙った方向に正しく移動させる）
- ②フォワードスウィング（ラケットを下方から上方に向けて動かす）
- ③バックスウィング（テニスマシンから打ち出されたボールに対してラケットを早く後ろに引く）
- ④打点（ボールと身体との距離および打つタイミングの良否）
- ⑤全体の印象（項目①～④も含めた総合評価）

そして、それぞれの項目について5段階評価を行った（図 5-3-1）。

採点は 20 インチ型モニターテレビに画像を再生し、採点者がそれを見ながら行った。項目①～④における5段階の基準は、別に撮影しておいた 14 名の画像を再生する間に、筆者らが採点者にこれらの者の評価得点（以下得点と略す）を口頭で知らせるといった方法で提示した。項目⑤についてはとくに基準を設けなかった。

採点者は基準を確認した上で、延べ 89 名の対象者について同じ再生画像を 2 回続けて見る間に、図 5-3-1 の 5 段階評価尺度を用いて採点を行った。判定者内誤差を検討するため、7～10 日後に前期 89 名の対象者のうちから任意に 45 名を選び、同様な手続きで採点を行った。

5.3.2.2 結果と考察

1) 判定者内誤差について

2 回の採点における得点間の相関係数は、項目①では 0.67～0.85、項目②では 0.64～0.86、項目③では 0.77～0.86、項目④では 0.69～0.83、項目⑤では 0.59～0.88 であり、25（5 項目×5 名）個の相関係数のうち 18 個が 0.75 を上回っていた（表 5-3-1）。このことは、各採点者による 2 回の採点の一貫性の程度が高いということを示している。

2) 判定者間変動について

得点についての採点者間の相関係数（客観性係数）は、項目①では 0.44～0.75、項目②では 0.49～0.76、項目③では 0.57～0.71、項目④では 0.41～0.68、項目⑤では 0.60～0.83 であった（表 5-3-2）。客観性係数は 1) でみた 2 回の採点における相関係数ほどは高くなかったものの、50（5 項目× $_{5}C_{2}$ ）個の客観性係数のうち 36 個が 0.60 を上回っていた。そして、評価の基準を定めた項目①～④における相関よりも、むしろ採点者の主観が強く表れる項目⑤における相関が高いという傾向が認められた。

Clarke⁷⁾ は、客観性係数が 0.80 以上あれば個人測定の目的にほぼ満足でき、0.60 以上あればグループの平均値の比較には有用であると述べている。これによると、本節で用いた評価方法は一個人の評価を行うにはあまり適しているとは言

えないが、グループの評価を行うには十分有用であると言える。

5.3.3 ビデオフィードバックの効果

5.3.3.1 時間遅れ再生機能付きビデオ・システムの概要

本システムは、時間遅れ再生制御装置、カメラ、モニター、2台のVTRからなり、あらかじめ設定した時間の録画・再生を繰り返すことにより、連続して録画直後に映像を見ることができるようにしたものである（図5-3-2）。

すなわち、生徒Aが1分間の練習をする間にVTR-Aは素早く巻き戻され、次の生徒Bが1分間の練習を始めるとVTR-Bによる記録とVTR-Aによる再生とが同時に行われる。そして生徒Aは自分の動作を観察する。これの繰り返しで、すべての生徒が練習直後に自分のフォームのチェックができるわけである。

5.3.3.2 方法

被検者は先のフォームの評価の対象となった初級者48名であり、体育実技の行われる時間によって次の2群に分けた。

- ①ビデオフィードバック群（以下V群と略す）
- ②コントロール群（以下NV群と略す）

指導は2週間に1回のペースで、12週の間5回行った。練習内容としては、ネットの向こう側におかれたテニスマシンから打ち出されたボールを1分間に10～15本打ち続けるという最も基本的なものを中心とした。

5回の練習にすべて参加した者のみを評価の対象としたので、最終的な被検者数はV群が13名、NV群が19名となった。

動作に関する注意は、前出のフォーム評価項目のうち①～③、すなわち

- ①フォロースルー（打球後にラケットを狙った方向に正しく移動させる）
- ②フォワードスウィング（ラケットを下方から上方に向けて動かす）
- ③バックスウィング（テニスマシンから打ち出されたボールに対してラケットを早く後ろに引く）

以上3項目について行った。

V群、NV群ともに、実際に打球している間にこれらの注意を行ったが、V群に対しては、録画直後に再生された画面を見せながら再度注意を与えた。指導の際には、両群に与える注意の量に差が出ないように十分配慮した。

被検者の指導前後のフォームに対する採点は、すでに得点の信頼性の検討を行った際に行われているので、このときの得点を用いて各被検者の技術の獲得の程度を判定した。なお、採点の際には採点者がフォームに対して先入観をもって採

点することがないように、指導前後のフォームをそれぞれ5～6名づつまとめてランダムに提示した。

5.3.3.3 結果と考察

各項目における、指導前後の得点を表 5-3-3 に、その変化の様子を図 5-3-3 に示した。各被検者の得点は、採点者5名の得点を平均したものである。

指導の効果を判定するため両側 t 検定を行ったところ、項目①では得点は両群とも有意に向上していた ($p < 0.05$)。項目②では得点は両群とも向上していたが、有意ではなかった。項目③では V 群の得点が向上し、NV 群の得点は低下した。しかし、その変化はいずれも有意ではなかった。項目④では V 群の得点は変わらず、NV 群の得点は有意に低下した ($p < 0.05$)。項目⑤では得点は両群とも向上していたが、有意ではなかった。

次に、両群の伸びの差について検討した。両群の指導前の得点が必ずしも同じであるとはいえないので、その影響を考慮して共分散分析を行った。その結果、項目③、④、⑤では V 群のほうが伸びの差が大きかったが、いずれも有意ではなかった ($p > 0.05$)。ただし、項目③では $0.05 < p < 0.1$ で両群の伸びの差に差異がある傾向が認められた。

以上の結果は次のように整理できる。

練習直後のビデオフィードバックは、スウィングの際のラケットの軌道を覚える (項目①、②) という空間的な課題に対してはあまり影響をおよぼさないものの、ラケットを動かすタイミングを覚える (項目③) という時間的な課題に対しては良い影響をおよぼす。

Emmen ら (11) は、初級者にサーブを指導する際、ビデオフィードバックを行うとフォームが向上したと報告している。本節において空間的な課題に対してとくにビデオフィードバックの効果が認められなかったのは、課題の内容が被検者にとって容易であり、言語指示による指導だけで十分に効果があがったためと考えられる。バックハンド・ストロークやサーブ等、初級者にとって習得が困難とされるストロークにおいては、練習の直後に VTR を用いて指導すれば、巧みさの獲得に一層の効果が表れることが期待される。

5.3.4 まとめ

フォアハンド・ストロークにおける巧みさ獲得の過程を客観化するために、初級者にフォアハンド・ストロークを指導し、ストローク動作がどのように変わっていくかを縦断的に追跡した。指導の際には、初級者 32 名をビデオフィードバ

ックを行うグループ（13名）と行わないグループ（19名）の2つのグループに分け、練習直後にVTRを用いて指導をすることの効果も検討した。両グループの巧みさの獲得の程度は、あらかじめ信頼性が検討されたフォームの評価方法によって判定した。練習直後のビデオフィードバックは、スウィングの際のラケットの軌道を覚えるという空間的な課題に対してはあまり影響をおよぼさなかったものの、ラケットを動かすタイミングを覚えるという時間的な課題に対しては良い影響をおよぼした。

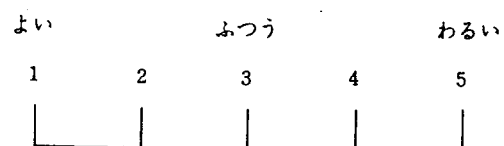


図 5-3-1 5段階評価尺度

表 5-3-1 2回の採点における得点間の相関係数

採点者/項目	①	②	③	④	⑤
1	.78	.80	.86	.72	.59
2	.77	.64	.77	.82	.85
3	.74	.84	.80	.69	.84
4	.67	.78	.85	.74	.87
5	.85	.86	.85	.83	.88

表 5-3-2 得点の採点者間の客観性係数

採点者/項目	①	②	③	④	⑤
1-2	.44	.50	.71	.64	.60
1-3	.66	.68	.60	.48	.61
1-4	.57	.63	.61	.41	.62
1-5	.61	.68	.63	.50	.71
2-3	.67	.56	.57	.63	.63
2-4	.60	.49	.63	.54	.65
2-5	.65	.67	.70	.68	.72
3-4	.63	.74	.64	.58	.83
3-5	.75	.76	.61	.51	.71
4-5	.52	.67	.67	.58	.71

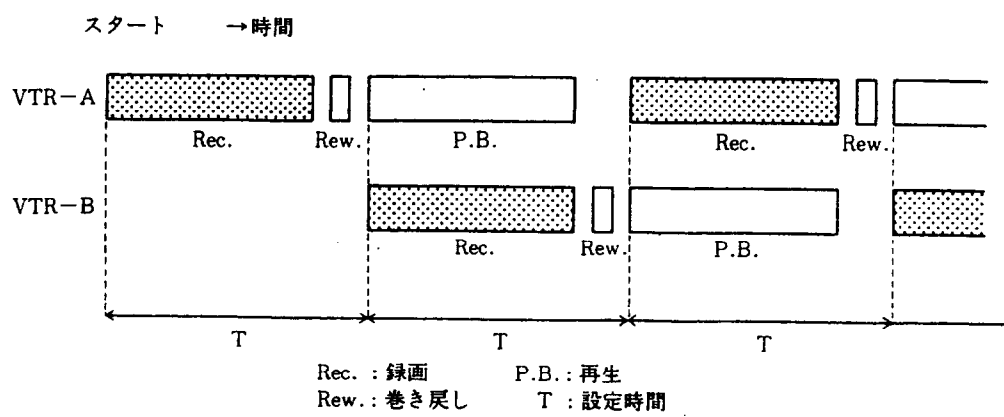


図 5-3-2 時間遅れ再生機能付きビデオシステムの原理

表 5-3-3 指導前後の得点の変化 (平均値±標準偏差)

項目	ビデオフィードバック群		コントロール群		
	前	後	前	後	
1	3.71±0.17	2.82±0.31	• 3.83±0.27	3.09±0.23	•
2	2.51±0.20	2.25±0.27	2.98±0.28	2.40±0.22	
3	2.83±0.24	2.45±0.27	2.79±0.23	2.94±0.21	
4	3.15±0.21	3.12±0.22	3.36±0.24	3.60±0.21	•
5	3.18±0.25	2.85±0.24	3.45±0.27	3.36±0.23	

• : 指導前後の比較 $p < 0.05$

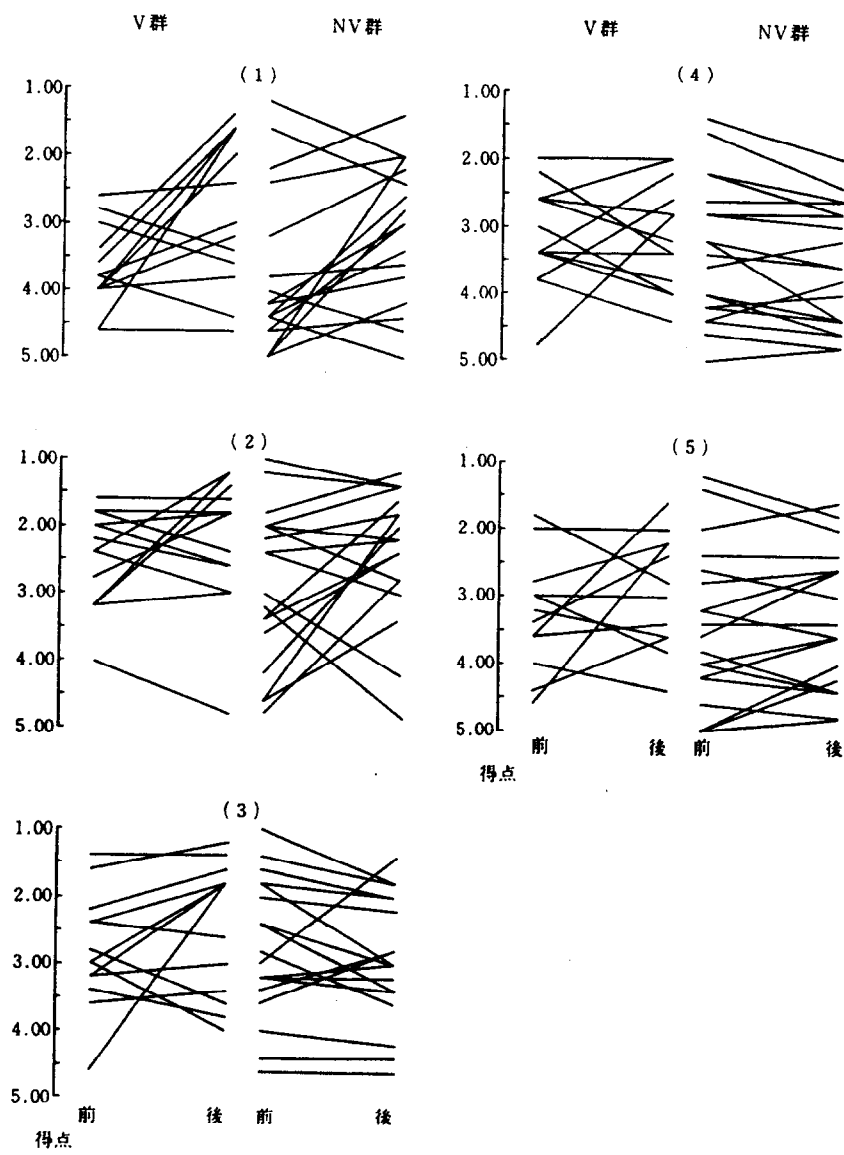


図 5-3-3 各被検者の指導前後の得点の変化

5.4 障害の予防を配慮した指導

5.4.1 目的

テニス肘やテニス肩等，テニスによる障害の発生原因は一般に複雑である．打法の修正をはじめとして，不適切なラケットを使用していないか，練習時間が長すぎないか，筋力が不足していないかなど，さまざまな要因を検討する必要がある (41)(42)(53)(54)．

本節では，テニスによる障害によりストローク動作の遂行に支障を来たしている2名のプレイヤーに保存的な治療を行い，快方に向かうまでの経過を追跡しようと試みた．治療にあたっては打法の修正のみならずラケットの変更や筋力トレーニング等，治癒・修復を目的とした指導を多角的に行った．

これによって，障害予防のためにはどのような指導が望ましいか明らかにするとともに，種々の要因が障害発生に関与する度合いについても明らかにしようとした．

5.4.2 指導内容

<症例1>

患者：K君．16歳，男子上級者（左利き）．高校テニス部員．

診断：第5腰椎分離症．

経過：1988年5月頃より腰痛出現．ハリ，整体術などを行うも症状軽快せず．88年8月頃より本格的な保存的な治療を開始．

治療：分離症に対してコルセットを2ヶ月間装着させるとともに，打法の指導を中心に行った（図5-4-1）．

指導前の打法：ボールに下から上向きの回転を加えるスピン・サーブを行っていた．このサーブは構えの際に膝を曲げ，体幹部を後方に“く”の字に反らす．そして，その反らした体幹部を鋭く元の状態に戻しながらラケットを振り上げるといものである．このときに腕の力に頼ったり小手先の動きでボールに回転を加えようとしてもよい結果は生じない．下半身と体幹部大きく動かすことで，理想的なスピン・サーブが可能になる．K君の場合，体幹部の後方へのそらしが十分でボールにスピンを加えるという目的にかなった動作であったが，だからこそ何度も繰り返すうちに腰痛が出現したと考えられた．

指導後の打法：体幹部をスピン・サーブほどは後方に大きくそらさないフラット・サーブに変更した．その際，打点位置は以前より50cm以上前方にする，そ

して、インパクト後に左足（右利きの方は右足）を前方に踏み出すように指示した。これは、体幹部分を脊柱を中心に回転させることで、ラケット速度を大きくしようとしたためである。フラット・サーブであっても体重の移動が少ないと、上級者の場合は腕の力に頼り始め、腰はともかく肩を痛める恐れがある。この左足の踏み込みについては、小さくなることのないよう再三注意を行った。指導後2年、腰痛出現せず全身の筋力も順調に回復し、大学のテニス部にて活躍している。

<症例2>

患者：Iさん。41歳，女子中級者。テニスクラブ会員。

診断：右肘痛（内側型テニス肘）。

経過：1990年10月頃ラケットを変更する。同年11月頃右肘内側の痛みがサーブとフォアハンド・ストロークで出現。以後症状軽快せず同年12月頃より本格的な保存的治療を開始。

治療：ラケットと打法の修正を行った。ラケットに関しては、重心が先端寄りでも重かった（350g）ので、重量が320g以下で（ストリングスも含めて）、重心位置が手前（グリップ部分）に近いものに変更するようアドバイスした。

指導前の打法：フォアハンド・ストロークは脊柱を中心とした体幹部の回転の少ないいわゆる“手打ち”の打法であった（図5-4-2）。

指導後の打法：フォアハンド・ストロークを、身体全体で円を描く打法に変更した。比較的短時間にこの打法を修得してくれたので、体幹部が回転しやすく、上肢への衝撃が分散すると考えられる両手打ち⁶⁹⁾は推薦しなかった。また、サーブはインパクト時の衝撃が最も小さいと考えられるスライス・サーブに変更した（図5-4-2）。このサーブは、

- ①両足のつま先を結んだ線がベースラインに45度になるよう置く
- ②トスを上げる位置をこれまでより30cmほど右にもっていく
- ③グリップを極端なコンチネンタルにする

以上3点（図5-4-3）を守りさえすれば、従来のサーブのスウィングとまったく同じ感覚で打つことができ、初・中級者でも修得しやすいサーブである。指導後1年、テニスのプレイ中に肘の痛み出現せず、経過良好である。

5.4.3 考察

本節でとりあげた2症例からも分かるように、障害を起こしやすい打法というものには確かに存在する。しかしただ単に、

「未熟な動作」＝「障害を起こしやすい動作」

と断定することはできない点、指導者は理解しておく必要がある。この関係が成り立つのは、主として初級から中級クラスであり（今回の症例2にあたる）、上級者にはあてはまらない。上級者の場合は（今回の症例1にあたる）、

「目的にかなった動作」＝「障害を起こしやすい動作」

という関係が成立することがある。

また、障害を来している人の打法を観察することで修正すべき点が導き出されたとしても、その本人の打法の修正能力ということにも、同時に注意を払わなくてはならない。『この動きをこう修正したらよい』と解答が出てきたとしても、本人にその解答を受け入れる力が不足していたら、指導は効を奏さないからだ。今回＜症例2＞において両手打ちを推薦しなかったのは、Iさんの両手打ちが不自然であったということも理由のひとつになっている。

さて、実際に指導をする際には、打法以外の要因も当然検討することになる。本節の2症例を含め、これまで合計12名の患者の指導を行った結果から推察すると、図5-4-4のような流れが浮かびあがる。つまり、体幹および上肢における障害の発生要因には順位付けが可能で、重要なものとそれほど問題にしなくてもよいものがあるということだ⁽⁵⁹⁾。

具体的には図中の番号で説明すると、まず、①と②はすべての患者についてチェックする。多くの場合は③までの指導で十分であり、④、⑤に関する指導が必要になったケースは少ない。この①～⑤の番号順は、そのまま障害の発生要因の重要度を示す順序になっていると考えてよい。

5.4.4 まとめ

テニスによる障害によりストローク動作の遂行に支障を来している2名のプレイヤーに打法の修正、ラケットの変更等、保存的治療を多角的に行い、快方に向かうまでの経過を追跡した。打法については、2名のうち1名（上級者）は、目的にかなった動作であるがゆえに障害を引き起こしていると考えられるケースで、もう1名（中級者）は、未熟な動作が障害を引き起こしていると考えられるケースであった。いずれのケースも、スピンからフラットへ、あるいは、フラットからスライスへというようにストロークの種類を変更すること、また、身体全体で円を描くという巧みな動作に修正することで、有効な治療効果が得られた。体幹および上肢の障害の発生原因を追究する際には、①ラケット、②フォーム、③スウィングの速度、④プレイの頻度、⑤筋力…の順に要因のチェックを行うのが有効かつ簡便である。



(a) 指導前のフォーム

下半身と体幹部を大きく動かしながら打球するので、何度も繰り返していると腰痛が出現しやすい。



(b) 指導後のフォーム①

腰の屈曲，体幹部の後方へのそらしを少なくする。



(c) 指導後のフォーム②

インパクト後に左足（右ききの方は右足）を前方へ踏み出し，体幹部を脊柱を中心に回転させる。

図 5-4-1 サーブの打法と指導方法

(a) 指導前のフォーム 「手打ち」のフォアハンド・ストローク

両足が固定されたままで、脊柱を中心とした体幹の回転がほとんど見られない。

テイクバック



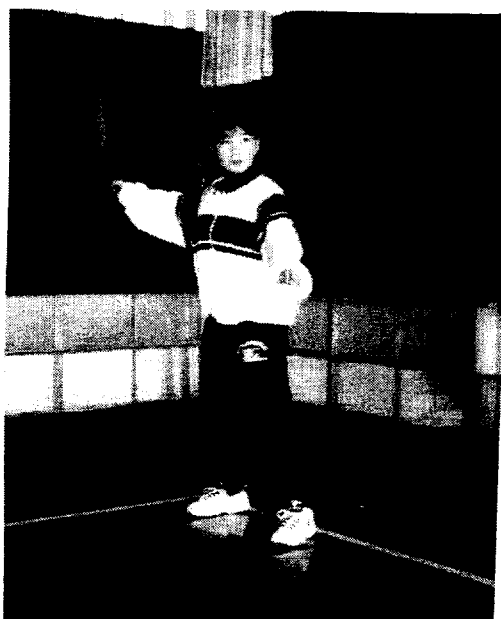
フォロースルー



(b) 指導後のフォーム 「身体全体で円を描くフォアハンド・ストローク」

フォワード・スウィング開始と同時に左手も動き始め、右手左手ともに左回りの円を描く。右足は左足を軸に同じタイミングで前方に踏み出す。

テイクバック



フォロースルー



図 5-4-2 症例 2 の打法の変更を再現

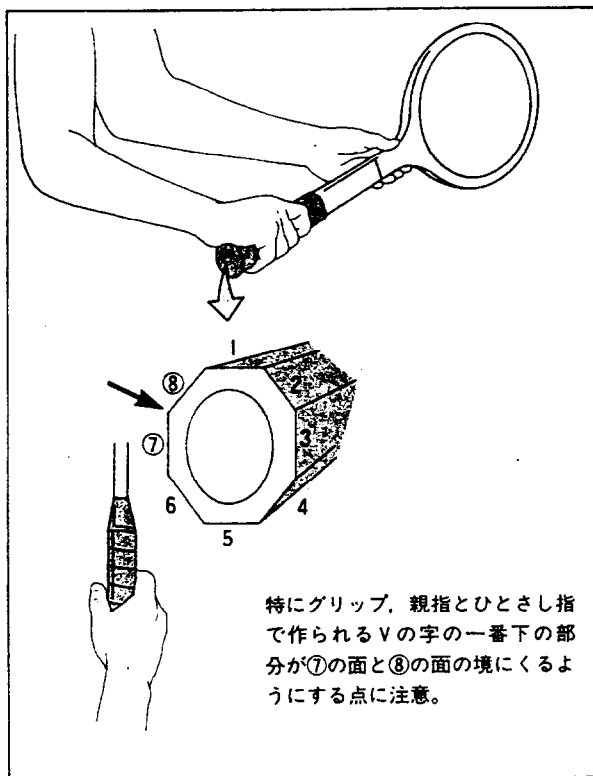
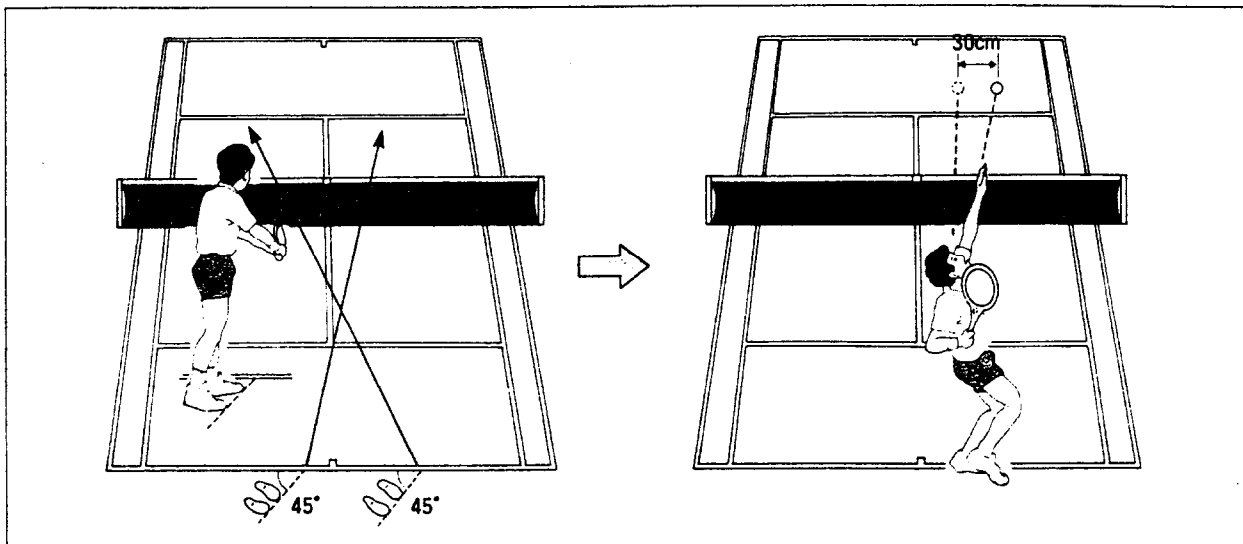
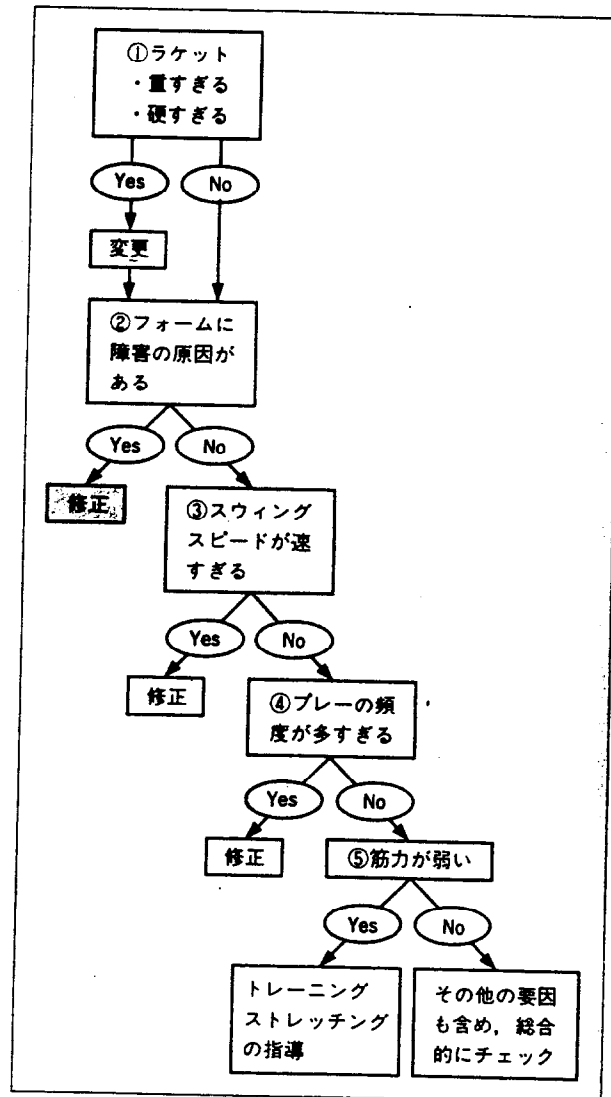


図 5-4-3 スライス・サーブの指導方法



①と②はすべての患者についてチェックする。多くの場合、③までのアドバイスで十分であり、④、⑤に関するアドバイスを強調することは少ない。

図 5-4-4 テニスによる障害の発生原因追及のための道すじ

5.5 結言

本章では、プレイヤーが巧みさを獲得していく過程に焦点をあて、ある一定期間の指導により巧みさがどう向上していくか、また障害が防止できるのかどうかを追跡した。以下、明らかにされた知見および主張したい点を各項目毎にまとめる。

サーブにおける巧みさの指導：サーブにおける巧みさ獲得の過程を客観化するため、初級者 8 名に 1 年間にわたってサーブを指導し、動作がどのように変わっていくか縦断的に追求した。指導の際には、「身体全体で円を描く」というサーブにおける巧みな動作を達成するための技術として、①体重の移動を大きくすること、②動作を大きくすること、③トスの位置を安定させることの 3 項目に重点をおいた。そして、それらの修得度を判定するため、ラケットの移動距離、関節・segment が示す角度、右足・左足の床反力、上肢筋群の筋放電パターン等を測定した。いずれの測定項目についてみても、初級者の動作が上級者の示す巧みな動作に近づきつつあることが確認され、本節の指導法が的を得たものであることが示された。

フォアハンド・ストロークにおける巧みさの指導：フォアハンド・ストロークにおける巧みさ獲得の過程を客観化するために、初級者にフォアハンド・ストロークを指導し、ストローク動作がどのように変わっていくかを縦断的に追跡した。指導の際には、初級者 32 名をビデオフィードバックを行うグループ（13 名）と行わないグループ（19 名）の 2 つのグループに分け、練習直後に VTR を用いて指導をすることの効果も検討した。両グループの巧みさの獲得の程度は、あらかじめ信頼性が検討されたフォームの評価方法によって判定した。練習直後のビデオフィードバックは、スウィングの際のラケットの軌道を覚えるという空間的な課題に対してはあまり影響をおよぼさなかったものの、ラケットを動かすタイミングを覚えるという時間的な課題に対しては良い影響をおよぼした。

障害の予防を配慮した練習：テニスによる障害によりストローク動作の遂行に支障を来している 2 名のプレイヤーに打法の修正、ラケットの変更等、保存的治療を多角的に行い、快方に向かうまでの経過を追跡した。打法については、2 名のうち 1 名（上級者）は、目的にかなった動作であるがゆえに障害を引き起こしていると考えられるケースで、もう 1 名（中級者）は、未熟な動作が障害を引き起こしていると考えられるケースであった。いずれのケースも、スピンからフラットへ、あるいは、フラットからスライスへというようにストロークの種類を変

更すること、また、身体全体で円を描くという巧みな動作に修正することで、有効な治療効果が得られた。体幹および上肢の障害の発生原因を追究する際には、①ラケット、②フォーム、③スウィングの速度、④プレイの頻度、⑤筋力…の順に要因のチェックを行うのが有効かつ簡便である。

第 6 章

結 論

本研究では、テニスにおける巧みさとその指導法を科学的客観的に示すことを目的として、「巧みな動作の獲得」「性能の良い用具の使用」「障害の予防」という3つの観点からそれぞれの達成法を具体的に提案し、これを実際の指導の現場において応用することによって、その有効性を示した。

各章の内容を要約すると、次のようになる。

第1章『緒論』では、テニスに関する研究の現状を概観した後、本研究の意義と目的について述べるとともに、テニスにおける巧みな動作を、両腕・体幹・下肢で同時に円を描く動作であると定義した。

第2章『巧みさの分析』では、サーブ、グラウンド・ストローク、ボレー、サーブ・リターンについて、巧みな動作とはどのようなものかその一端を客観化した上で、いま現在行われている指導法に対して検討を加えた。サーブの場合は、インパクトに向けて肘関節を伸展させるとともに手関節を急激に屈曲させるというスナップ動作がラケットの回転運動を促進していること、フォアハンド・ストロークの場合は、技術水準の高いプレイヤーほどラケットの動きに回転運動が多く含まれていること、ボレーの場合は、ドライブ・ボレー、ドロップ・ボレーともにインパクトに向けてラケットを前方へ回転させる力が加わっていることなどを明らかにし、身体全体で円を描くという巧みな動作の一要素を構成する動きとして重要な役割を果たしているということを示した。

第3章『用具の力学的特性と性能』では、人間系と用具系とが複雑に絡む現象を解明し、巧みさ獲得を目指すプレイヤーに対して用具選択の指針を提供していくための第一歩として、ラケットの物理特性と反発性能および衝撃振動の関係を検討した。簡単なスウィング・モデルによりボールの飛びに関するスウィート・エリアを予測する方法を提示するとともに、インパクトにおけるラケット・ハン

ドルの加速度波形と予測波形とを比較することで、衝撃振動の小さいラケットとはどのようなものが定量化する方法を提示した。

第4章『障害の予防と治療』では、巧みな動作を獲得していく過程で避けて通ることのできない種々の障害と打法の関係を、バイオメカニクスの立場から検討した。テニス肘患者に対しては、スウィングの強弱、打点位置についてのアドバイスが治療法として有効であること、肘関節に対する衝撃緩衝効果は、ストリングスに装着するスポンジ状の衝撃吸収材よりもリスト・バンドやエルボー・バンドなどのバンド状装具のほうが優れていること、などを明らかにした。

第5章『巧みさの指導』では、プレイヤーが身体全体で円を描くという巧みな動作を獲得していく過程に焦点をあて、ある一定期間内の指導や練習により巧みさがどう向上していくか、また障害が防止できるのかどうか縦断的に追跡した。サーブについては、初級者が上級者の示す巧みな動作に近づいていく様子を、フォアハンド・ストロークについては、練習直後にVTRを用いて指導することの有効性を明らかにした。また、体幹および上肢の障害の発生原因を追求する際の基本的な考え方を提示した。

文 献

- (1) Adelsberg, S.: The tennis stroke : An EMG analysis of select muscles with rackets on increasing grip size. *Am. J Sports Med.* 14:139-142, 1986.
- (2) Anderson, M.B.: Comparison of muscle patterning in the overarm throw and tennis serve. *Res.Quart.* 50:541-553, 1979.
- (3) 浅見俊雄 : スポーツ運動の打について. *Jpn. J. Sports Sci.* 3:178-187, 1984.
- (4) Baker, J.A.W. and C.A.Putnam: Tennis racket and ball responses during impact under clamped and freestanding conditions. *Res.Quart.* 50:164-170, 1979.
- (5) Blievernict, J.G.: Accuracy in the tennis forehand drive: cinematographic analysis. *Res.Quart.* 39:776-779, 1968.
- (6) Casolo, F. and G.Ruggieri: Dynamic analysis of the ball-racket impact in the game of tennis. *Meccanica* 26:67-73, 1991.
- (7) Clarke, H.H. (栗本訳) : 保健・体育への測定の活用. ベースボール・マガジン社, pp. 33-35, 1979.
- (8) Elliott, B.C., B.A.Blanksby and R.Ellis: Vibration and rebound velocity characteristics of conventional and oversized tennis racket. *Res.Quart.* 51:608-615, 1980.
- (9) Elliott, B.C.: Tennis: the influence of grip tightness on reaction impulse and rebound velocity. *Med.Sci.Sports Exerc.* 14:348-352, 1982.
- (10) Elliott, B.C.: Spin and the power serve in tennis. *J.Human Movement Studies* 9:97-104, 1983.

- (11) Emmen, H.H., L.G. Wesseling, R.J. Bootma, H.T.A. Whiting and P.C.W. Van Wieringen: The effect of video-modeling and video-feedback on the learning of the tennis service by novices. *J. Sports Sci.* 3:127-138, 1985.
- (12) Faulkner, J. and N. Loken: Objectivity of judging at the National Collegiate Athletic Association Gymnastic Meet: A ten-year follow-up Study. *Res. Quart.* 33:485-486, 1962.
- (13) Gheluwe, B.V. and M. Hebbliack : The kinematics of the serve movement in tennis : A three-dimensional cinematographical approach. *Biomechanics IX-B*. Human Kinetic Publishers, Illinois, 1985, pp. 521-526.
- (14) Grabiner, M.D., J.L. Groppe and K.R. Campbell: Resultant tennis ball velocity as a function of off-center impact and grip tightness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:542-544, 1983.
- (15) Gray, M.R. : Tennis. AAHPER Publications, Washington, DC, 1974.
- (16) Groppe, J.L. and R. Nirschl: A mechanical and electromyographical analysis of the effects of various joint counterforce braces on the tennis player. *Am. J. Sports Med.* 14:195-200, 1986.
- (17) Groppe, J.L., I. Shin, J. Spotts and B. Hill: Effects of different string tension patterns and racket motion on tennis racket-ball impact. *Int. J. Sports Biomech.* 3:142-158, 1987.
- (18) Gruchow, H. and D. Pelletier: An epidemiologic study of tennis elbow: incidence, recurrence and effectiveness of prevention strategies. *Am. J. Sports Med.* 7:234-238, 1979.
- (19) 平野祐一 : 打つ運動のバイオメカニクス. *体育学研究* 40:399-404, 1996.

- (20) Hunsicker, P. and N. Loken: The objectivity of judging at the National Collegiate Athletic Association Gymnastic Meet. Res. Quart. 42:454, 1971.
- (21) Ilfeld, F. W.: Can stroke modification relieve tennis elbow? Clinical Orthopaedics and Related Reserch. 276:182-186, 1992.
- (22) Johnson, M.: Objectivity of judging at the National Collegiate Athletic Association Gymnastic Meet: A twenty-year follow-up study. Res. Quart. 42:454, 1971.
- (23) 河原正昭、藤田 厚、吉本俊明、川島淳一、深見和男、近藤明彦、佐藤雅幸、水落文夫、鈴木 典、石井政弘：運動学習における時間的適応に関する研究－テニスのサーブレシーブをモデルにして－. 日本大学松戸歯学部一般教育紀要 14:80-89, 1988.
- (24) 川副嘉彦：テニスラケットの動力学とコンピュータ援用設計（モード特性におよぼす諸因子の影響と設計への指針）. 日本機械学会論文集（C編）56-526:1511-1517, 1990.
- (25) 川副嘉彦：衝突現象を考慮したテニスラケットのCAE（ボールとの衝突におけるラケットの応答予測と反発性能の評価指針）. 日本機械学会論文集（C編）58-552:2467-2474, 1992.
- (26) 川副嘉彦、友末亮三：テニスのインパクトにおけるラケット・ハンドルと手首関節の振動. 日本機械学会論文集（C編）59-560:1001-1008, 1993.
- (27) 川副嘉彦：ボール・ストリングス系の非線形性とフレーム振動モードを考慮したテニスラケットの反発係数分布の解析. 日本機械学会論文集（C編）59-562:1678-1685, 1993.
- (28) 川副嘉彦、神田芳文：テニスにおけるボール・ラケット系の衝突現象の解析（ボールの反発速度に及ぼすフレーム質量分布の影響）. 日本機械学会論文集（C編）59-566:3108-3115, 1993.

- (29) 川副嘉彦：手で支持したテニスラケットの実験的同定とボールとの衝突における振動振幅の予測. 日本機械学会論文集 (C編) 61-584:1300-1307, 1995.
- (30) 川副嘉彦: テニスにおける非線形衝突問題の近似解析 (衝突諸量と衝撃反力). 日本機械学会第8回計算力学講演会講演論文集 95-4:235-236, 1995.
- (31) 川副嘉彦、友末亮三、吉成啓子、Federiko CASOLO：テニスのフォアハンド・ドライブにおけるラケット・ハンドルと手首関節の衝撃振動. 日本機械学会第74期全国大会講演論文集 96-15:255-266, 1996.
- (32) Kawazoe, Y.: Performance prediction of tennis rackets with materials of the wood and the modern composites. Proc. 5th Japan International SAMPE Symposium, Tokyo, 1997, pp.1323-1328.
- (33) 衣笠 隆、藤田紀盛、田中英彦：全身選択応答時間におよぼす事前ジャンプの効果. 体育学研究 30:45-53, 1975.
- (34) 栗山節郎、丸山俊章、藤巻悦夫：テニス肘の発生原因に関する研究—表面筋電図によるスウィングの分析および CYBEX による筋力評価と治療. Jpn. J. Sports Sci. 2:356-364, 1983.
- (35) 三浦公亮：ラケットを選ぶ3つの条件—テニス肘にならないために—. Jpn. J. Sports Sci. 2:365-369, 1983.
- (36) Miura, A., R. Tomosue and T. Fukunaga : Effects of joint-fixing on the velocity of the racket head in the tennis serve. BIOMECHANICS IN SPORTS V, Hellenic Sports Reserch Institute, Athens, 1989, pp. 349-356.
- (37) Miyashita, M., T. Tsunoda, S. Sakurai, H. Nishizono and T. Mizuno: Muscular activities in the tennis serve and overarm throwing. Scand. J. Sports Sci. 2:52-58, 1980.
- (38) 水野忠和、小田切一、鎌原 剛：テニスにおける痛みの発生状況. Jpn. J. Sports Sci. 2:345-350, 1983.

- (39) 水野忠和：テニス・卓球・バドミントン。現代体育スポーツ体系 27, 1984.
- (40) Mosher, R. E. and R. W. Schutz: The development of a test of overarm throwing: An application of generalizability theory. Can. J. Appl. Spt. Sci. 8:1-8, 1983.
- (41) 武藤芳照、友末亮三、中村好男、宮下充正、水野忠和、森 健窮：テニス肘の発生原因と保存的治療について—ストローク技術・プレイヤーの筋力およびラケットの要因について—。整形外科スポーツ医学研究会会誌 3:19-23, 1984.
- (42) 武藤芳照、張 世元、友末亮三、福永哲夫、中嶋寛之、金久博昭、奥山秀雄、中川種史：テニス肘の発生と上肢筋力との関連について。整形外科スポーツ医学会会誌 5:41-44, 1986.
- (43) 大道 等、水野忠和、宮下充正：ラケットの力学的反応に見るテニスのストローク技術。身体運動の科学IV：111-122, 1983.
- (44) 大築立志：サイバネティクスからみたスキル。スポーツとスキル，大修館書店，東京，1978.
- (45) Priest, J. D., V. Braden and S. G. Gerberich: The elbow and tennis, part 1. Phys. Sportsmed. 8:81-91, 1980.
- (46) Plagenhoef, S. C.: Fundamentals of tennis. Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall, Inc., 1970.
- (47) Plagenhoef, S. C.: Patterns human motion, A cinematographical anlysis. Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall, Inc., 1971.
- (48) Rikli, R. and G. Smith: Videotape feedback effects on tennis serving form. Perceptual and Motor Skills. 50:895-901, 1985.
- (49) Slatter-Hammel, A. T.: An action current study of contraction-movement relationships in the tennis stroke. Res. Quart. 20:424-431, 1948.

- (50) 鈴木 典、河原正昭、藤田 厚、吉本俊明、深見和男、近藤明彦、佐藤雅幸、水落文夫、石井政弘：テニスのサーブモーション・シミュレータの試作と練習過程への応用。スポーツ心理学研究 16:28-36, 1989.
- (51) Terauds, J. (eds): Science and Racquet Sports. Academic Publishers, Del Mar, California, 1979.
- (52) 友末亮三、瀬戸 幸、宮下充正：テニスにおけるラケットの動きとボールの速度。Jpn. J. Sports Sci. 1:73-75, 1982.
- (53) 友末亮三、武藤芳照、宮下充正、水野忠和：スウィングとテニス肘。Jpn. J. Sports Sci. 2:370-375, 1983.
- (54) 友末亮三、武藤芳照：用具による安全対策—ラケットとテニス肘—。臨床スポーツ医学 5:631-635, 1988.
- (55) 友末亮三：テニスのスポーツ科学。臨床スポーツ医学 4:849-859, 1987.
- (56) 友末亮三、川副嘉彦：テニスのバイオメカニクス—動作分析と用具開発の将来—。Jpn. J. Sports Sci. 9:494-498, 1990.
- (57) 友末亮三：テニスのパワーアップトレーニング。大修館書店，東京，1990.
- (58) Tomosue, R., Y. Mutoh, K. Yoshinari and Y. Kawazoe: Measuring the vibrations of a racket handle and the wrist joint in the tennis forehand drive. Proceedings of XIIIth Int. congress on Biomech. in Perth. 1991, pp. 138-139.
- (59) 友末亮三、増島 篤、吉成啓子：テニスのフォームと障害。日経スポーツメディスン夏号：112-118, 1991.
- (60) 友末亮三、吉成啓子：テニス・ストロークにおける手の役割。Jpn. J. Sports Sci. 11:447-450, 1992.

- (61) Tomosue, R., K. Sugiyama, K. Yoshinari and K. Yamamoto: The effectiveness of damping material in reducing impact shock in the tennis forehand drive. *Science and Racket Sports*, E&FN SPON., London, 1995, pp. 140-145.
- (62) 友末亮三, 大島伸洋: 打球スピードを高める—テニスにおける工夫いくつか—. *Jpn. J. Sports Sci.* 15:305-309, 1996.
- (63) 富浪良夫: 体育における視聴覚教育の現状と問題点. *体育の科学* 20:220-223, 1970.
- (64) Watanabe, T., Y. Ikegami and M. Miyashita: Tennis: the effects of grip firmness on ball velocity after impact. *Med. Sci. Sports* 11:359-361, 1979.
- (65) Wright, B. (水野, 友末訳): エアロビック・テニス. ソニー企業, 東京, 1984.
- (66) 渡辺嘉二郎, 小林一行, 西沢真一: スポーツにおける上下運動の計測. *計測自動制御学会論文集* 29:10-17, 1993.
- (67) 山川岩之助, 梶原 玲: 体育の授業と教育機器. 日本体育社, 1977.
- (68) 吉澤正伊, 熊本水頼: 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. *Jpn. J. Sports Sci.* 2:394-400, 1983.

関連研究発表論文

- (1) テニスにおけるラケットの動きとボールの速度
Japanese Journal of Sports Sciences 1 : 73-75, 1982.
友末亮三 瀬戸 宰 宮下充正
- (2) テニス選手の位置検出システムの開発
Japanese Journal of Sports Sciences 2 : 830-835, 1983.
友末亮三 橋村 勝 広田光雄 宮下充正 水野忠和
- (3) 地面反力と把握力からみたテニス, 野球, ゴルフにおける打撃技術の比較
Japanese Journal of Sports Sciences 8 : 243-248, 1989.
平野裕一 友末亮三 宮下充正
- (4) ビデオシステムを用いたテニス・ストロークの初心者指導—フォームの評価の信頼性とビデオフィードバックの効果—
体育の科学 38 : 363-367, 1988.
友末亮三 小嶋武次 平野裕一 足立長彦 角田俊幸
- (5) テニスのインパクトにおけるラケット・ハンドルと手首関節の振動
日本機械学会論文集 (C編) 59-560 : 33-40, 1993.
川副嘉彦 友末亮三
- (6) テニスにおけるレシーバーの準備動作
トレーニング科学 6 : 133-138, 1995.
三浦 朗 井上直子 西沢真一 村松 憲 友末亮三 磨井祥夫
- (7) 歩行中の頭部の上下運動制御におけるバイオフィードバックの効果
Japanese Journal of Sports Sciences 14 : 371-376, 1995.
西沢真一 渡辺嘉二郎 武田裕子 友末亮三 吉成啓子
- (8) ボート・テニス・野球選手の上肢における筋力および組成の左右差
トレーニング科学 6 : 95-100, 1995.
三浦 朗 友末亮三 池川繁樹 平野裕一 金久博昭 福永哲夫

- (9) テニスはスポーツ科学をどう活用しているか
トレーニング科学 6 : 129-132, 1995.
友末亮三
- (10) 簡便で信頼度の高いテニスのスキルテストの開発
テニスの科学 4 : 46-52, 1996.
村松 憲 吉成啓子 磨井祥夫 友末亮三
- (11) テニスのインパクトにおけるラケットのスイートエリアの予測 (反発係数、
反発力、ボールの飛び)
日本機械学会論文集 (C編) 64-623 : 72-78, 1998.
川副嘉彦 友末亮三

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、東京工業大学情報理工学研究科 宇治橋貞幸教授に懇切丁寧な御指導を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表する次第である。

また、数々の御教示を頂いた東京工業大学工学部 長松昭男教授、社会理工学研究科 石井源信教授、情報理工学研究科 青木繁教授、清水優史教授、木村康治教授にこころより感謝申し上げる。

加えて、以下の指導、協力に対して感謝の意を表する。

第2章2.2は、東京大学大学院教育学研究科 宮下充正教授 武藤芳照教授の指導のもとに行われた。

第2章2.3, 2.4、第4章4.2、および第5章は、東京大学教養学部 浅見俊雄教授、福永哲夫教授、中嶋寛之教授、小嶋武次講師の指導のもとに行われた。

第3章3.2, 3.3は、埼玉工業大学 川副嘉彦教授の指導のもとに行われた。

第4章4.3は、財団法人スポーツ医・科学研究所において松井秀治所長の助言のもとに行われた。

第2章2.5は、日本テニス学会の諸氏にご協力頂いた。

(所属機関の名称および役職名は当時のものとした)