

ソフトテニスにおけるスキルの分析 —— 反応時間を基にした測定法の試み ——

Analytical study on the Skill in Soft-Tennis —— Measuring the EMG and Movement Reaction Time ——

畠 山 孝 子

Takako HATAKEYAMA

I 目 的

ソフトテニスは、エネルギー発揮能力に依存したプレーの重視によってだけでは実競技中の複雑な状況に対応しきれないことが考えられ、技術の発揮に出力されるエネルギーはなんらかの高度な制御をもって、個々の技術に微妙に反映されていると思われる。この出力を制御する要因には知覚や予測能力、動作のすばやさ、巧みさ、正確さ等があげられる点は予測に難しい。ソフトテニスにおけるこれらの能力、いわゆるスキルの解明への手がかりの一つの試金石として、著者は、筋電図反応時間および動作反応時間の測定が一つの可能性を示し得ると考えた。

そこで、今回の研究ではソフトテニスの基本的な技術の中でも特にボールに対する敏速な対応が要求されるボレーの動作を取り上げた。実競技中のボレー動作は、おそらく相手のスウィングのインパクト後のボールに反応する動作のみでは行っていないことが考えられる。多くのソフトテニスの指導書においても、例えば石橋¹⁾弘、的川泰宣著軟式テニス上達の科学の中で「相手のフォーム、打法、足の運び、その時のカウント、さらには目付きや顔つき」と示されるように、ボールを選択するために事前に、これらの情報の取り込みの存在を明らかにしている。しかしながら、これらの情報について明確に示された研究あるいは測定方法は見出せない。そこで、著者は、今回の研究の手がかりを得るために最初に実際のボールと競技者の反応時間との関係について調べた。次いで、いくつかの追加測定を実施し、スキルを明確にする一つの方法として検討を加えた。

II 方 法

ボールのネット到達時間とボレー動作のインパクト時間

1. ボールのネット到達時間

被検者のラケットにおけるインパクト時のボールがネットを通過するまでの時間は、米国コダック社製デジタル仕様高速度ビデオカメラおよび画像解析システムを用いて、秒間500コマで画像撮影し、それを分析し測定値を得た。図1は、そのビデオ画像をプリントしたものである。

被検者とネットは鏡の反射を利用してビデオカメラのファインダーの中に同時におさめた。図は左がインパクト時、右がボールのネット通過後である。なお、ボールは、北海道女子ランキング上位の選手によって、フォアハンド・グラウンドストロークを通常の力で打球された。



図1 秒間500コマの画像分析
左：インパクト時 右：ボールのネット通過

2. ボレー動作のインパクト時間

測定は、前述と同一の被検者によって実験室で行れたが概要を図2に示す。被検者には、実競技中に相手の送球に対して最も早く対応できる、腕の伸展によるボレー動作を行うよう指示した。その動作からインパクト位置を設定し、そこにコンタクトセンサーを設け、光の刺激に反応してボレー動作のラケットでセンサーにタッチさせた。被検者にはボレーの自然な待球姿勢を競技に最も近い位置にとらせたが、そのつま先位置からインパクト位置までの距離は72cmであった。筋電図は、右上腕三頭筋から10mm径の銀盤電極で双極誘導し、角変位は同腕肘関節外側にゴニオメータを装着して求めた。これらはポリグラフモニターによって監視し付随記録器によって保存記録を得た。この測定での有効回数は13回であった。

肘の伸展運動の筋電図反応時間および動作反応時間

次に、ボレーの動作の中でも上肢の反応に着目して、優位腕（ラケットを持つ側の腕、以下同様に示す）の肘の伸展運動の反応時間を測り、筋電図反応時間と動作反応時間を求めた。

測定方法は図3に示す通り、被検者には、座位の姿勢から、優位腕を台の上へ置き90°に屈曲した肘を光の刺激に反応して最も早く伸展させる動作を指示した。この動作を最初は「ヨーイ」と合図した後に光刺激を発する方法（以下間欠法とする）で100回実施した。その後、被検者には十分な休憩を取らせ後に、次には「ヨーイ」と合図を与えず（以下連続法とする）に100回同様の動作を行なわせた。なお、光刺激は、前者では合図発生後、後者では被検者の肘が90°の位置に準備された後およそ1秒から15秒の間隔をあげランダムに出力された。筋電図は、優位腕の上腕三頭筋から、前述の筋電図測定で用いた方法と同様の記録方法で保存記録を得た。腕の移動はゴニオメータを肘に取り付けることによってとらえた。被検者は、表1に示す北

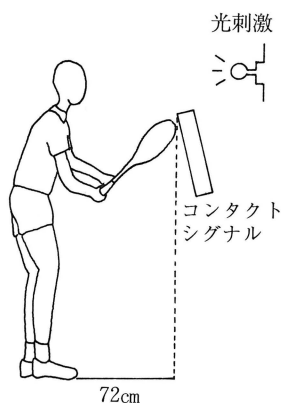


図2 ボレー動作のインパクト
までの動作反応時間測定法

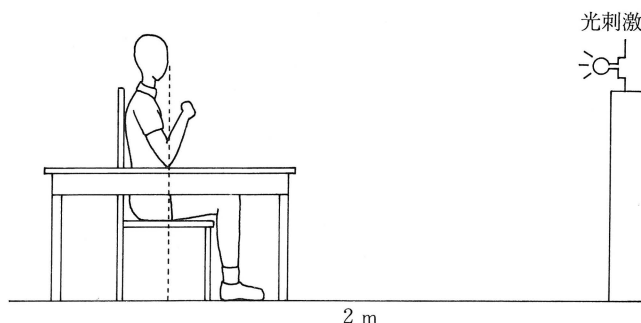


図3 上肢の伸展運動の反応時間測定法

海道女子学生選手の8名であった。上段4名は北海道学生選手権大会の優勝者および3位入賞者、下段4名は同大会において入賞していない選手であった。また、この中で前衛技術を専門に高めた選手が4名、後衛技術を専門に行ってきた選手が4名であった。

なお、データの解析はパソコン上のソフトを使用した。

表1

被検者名	年齢	体重	身長	前・後	大会成績
O N D	18	56	158	後衛	平成6年度北海道学生選手権大会, 女子優勝
O T A	19	49	157	前衛	平成6年度北海道学生選手権大会, 女子優勝
M K B	18	58	162	後衛	平成6年度北海道学生選手権大会, 女子3位
U T G	19	72	172	前衛	平成6年度北海道学生選手権大会, 女子3位
H Y S	19	48	150	後衛	平成6年度北海道学生選手権大会, ベスト16
Y M S	19	50	163	前衛	平成6年度北海道学生選手権大会, ベスト16
N M K	19	58	157	後衛	平成6年度北海道学生選手権大会, ベスト32
T M R	18	56	163	前衛	平成6年度北海道学生選手権大会, ベスト32

Ⅲ 結果と考察

ボールのネット到達時間とボレー動作の関係

北海道女子上位ランキング選手のフォアハンド・グラウンドストロークにおいて、ボールがインパクトからネットに到達するまでの所要時間は、図1のビデオ画像解析システムを用いて得た結果、およそ296msecと358msecの間であることが判明した。

次に、ボレー動作のインパクト時間測定 of 1例を図4に示す。図は最上段の筋電図が上腕三頭筋、その下は角変位、インパクトシグナル、光の刺激開始時間の順である。上腕三頭筋の反応時間が最も早くおよそ230msec、角変位がその約30msec後のおおよそ260msecそしてインパ

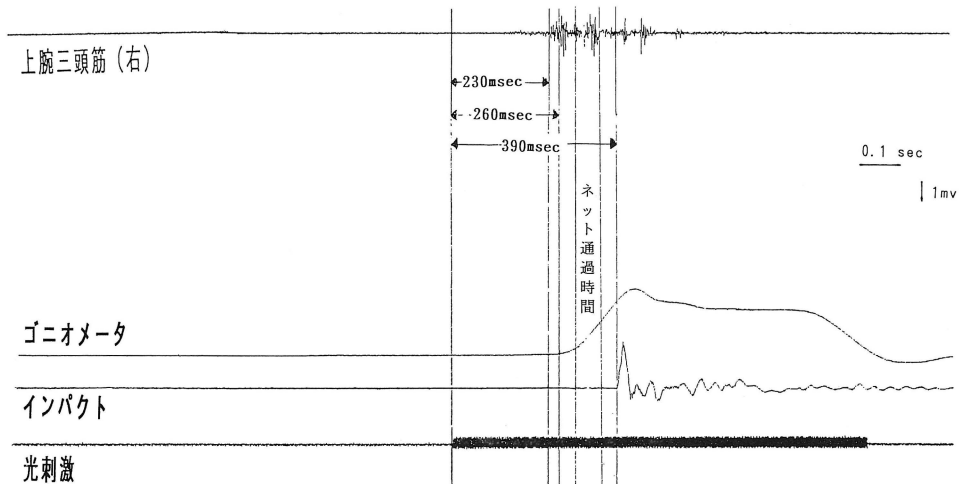


図4 ボレー動作の反応時間

クトまでは更にその約130msec 後のおよそ390msecであった。また、図に示すインパクトの平均値はおよそ387msecと確認されている。

以上について、両者を比較するとボレーの動作に反応する時間よりもボールのネット通過時間が早いという結果となった。

しかしながら、ボレーは試合において決定打等としてしばしば返球されている。従って、ボレー動作は飛球に対する反応動作だけでは行っていないことが考えられ、ソフトテニスにおけるボレー動作は単純反応時間以前に選手に多くの情報があらかじめプログラムされており、それを加味して対応動作が開始していることが考えられた。次に、これらの視点から、更に追加測定を行った。結果を以下に示し考察する。

肘の伸展運動の筋電図反応時間および動作反応時間

次に優位腕の肘の伸展運動の反応能力の測定について間欠法の結果を図5に、連続法の結果を図6に示す。また、測定値の集計を表2に示す。

1. 本測定結果とボレー動作との関係

動作反応時間で平均値の最も低い被検者は、間欠法ではTMRの237.81msec、最頻値は同じくTMRの217.00msecであり、最も高い値はONDの平均値358.13msec、最頻値334.00msecであった。連続法ではTMRの233.38msec、最頻値は同じくTMRの217.10msecであり、最も高い値はONDの平均値380.95msecおよび最頻値350.70msecであった。ほとんどの被検者の動作反応時間が前述の測定で求めたボールのネット到達時間358msecを下回り、ここではボールに間に合う可能性が示されたが、通常のボレーのインパクトまでは更に130msecの時間を経過することが前記の測定から求められており、図4並びに図5の図中の網かけ部分でこの時間を示すと、反応時間が最も低いTMRにおいても、ほとんどの試技が間に合わない結果であった。従って、本測定においても、先の結論を裏付ける結果となった。

表2 上肢の伸展運動時の筋電図および動作反応時間の測定値

間欠法

	OND-A	OND-B	OTA-A	OTA-B	MKB-A	MKB-B	UTG-A	UTG-B
最小値	183.70	250.50	133.60	225.45	108.55	200.40	175.35	267.20
最大値	784.90	851.70	359.05	467.60	576.15	668.00	467.60	567.80
平均値	262.61	358.13	221.19	327.15	187.88	279.22	251.08	348.28
最頻値	250.50	334.00	217.10	317.30	175.35	250.50	233.80	334.00
中央値	250.50	334.00	217.10	317.30	175.35	267.20	233.80	334.00

	HYS-A	HYS-B	YMS-A	YMS-B	NMG-A	NMG-B	TMR-A	TMR-B
最小値	125.25	208.75	125.25	200.40	116.90	208.75	116.90	167.00
最大値	459.25	551.10	417.50	501.00	367.40	450.90	283.90	384.10
平均値	218.27	291.00	196.73	280.14	196.39	272.96	171.76	237.81
最頻値	183.70	267.20	167.00	250.50	167.00	250.50	150.30	217.10
中央値	204.58	275.55	183.70	267.20	183.70	263.03	167.00	233.80

連続法

times	OND-A	OND-B	OTA-A	OTA-B	MKB-A	MKB-B	UTG-A	UTG-B
最小値	200.40	317.30	167.00	267.20	133.60	217.10	158.65	250.50
最大値	517.70	617.90	526.05	617.90	392.45	459.25	317.30	400.80
平均値	277.05	380.59	247.99	340.10	198.90	278.56	209.93	296.59
最頻値	250.50	350.70	217.10	300.60	167.00	267.20	200.40	283.90
中央値	267.20	367.40	233.80	317.30	183.70	267.20	200.40	292.25

times	HYS-A	HYS-B	YMS-A	YMS-B	NMG-A	NMG-B	TMR-A	TMR-B
最小値	125.25	217.10	116.90	208.75	133.60	192.05	116.90	167.00
最大値	359.05	442.55	709.75	801.60	417.50	467.60	300.60	367.40
平均値	203.91	276.30	208.50	290.91	185.54	254.42	166.33	233.38
最頻値	183.70	250.50	167.00	233.80	167.00	233.80	150.30	217.10
中央値	192.05	267.20	183.70	267.20	175.35	250.50	154.48	229.63

A : M. R T

B : E M G. R T

2. 本測定の結果にみられるいくつかの所見

①間欠法の結果からみた合図開始時間

筋電図反応時間における最小値は、間欠法にみられるのが4名、連続法にみられるのが2名、同様の値が2名であった。次に平均値の両者の比較では、低い値を示すのは、間欠法、連続法共4名ずつであった。また、最頻値は同値が6名、連続法が2名、中央値は間欠法が3名、同値が1名、連続法が4名であった。間欠法に最小値が多く認められるにもかかわらずその他の値では連続法が低い結果となった。このことから、間欠型における「ヨーイ」の合図から光刺激が出力される時間と筋電図反応時間との関係を求め、最も反応時間の早い「ヨーイ」の時間を割り出すことが可能になると考えた。結果は図7に示す。

「ヨーイ」の合図と刺激との関係を考える際に、陸上競技におけるスタートのタイミングを想像することができる。陸上競技関係の文献には「会心のスタートをするためには、注意力の頂点とピストルの発射音とが一致するようにしなければならない。」と示されている。また、この中で「用意から号砲の鳴るまでの時間は1.4秒と1.6秒が最も早くスタートできる時間」と報告した実験結果を記載している。テニスのボレーにおいても早いスタートの時間があることが考えられ、その時間を割り出す可能性を求めた。図7から3.5秒前後ないし5秒前後に最小値の集中傾向をみるものの、1秒から15秒の時間設定は適切でなく、今後測定条件の設定を更

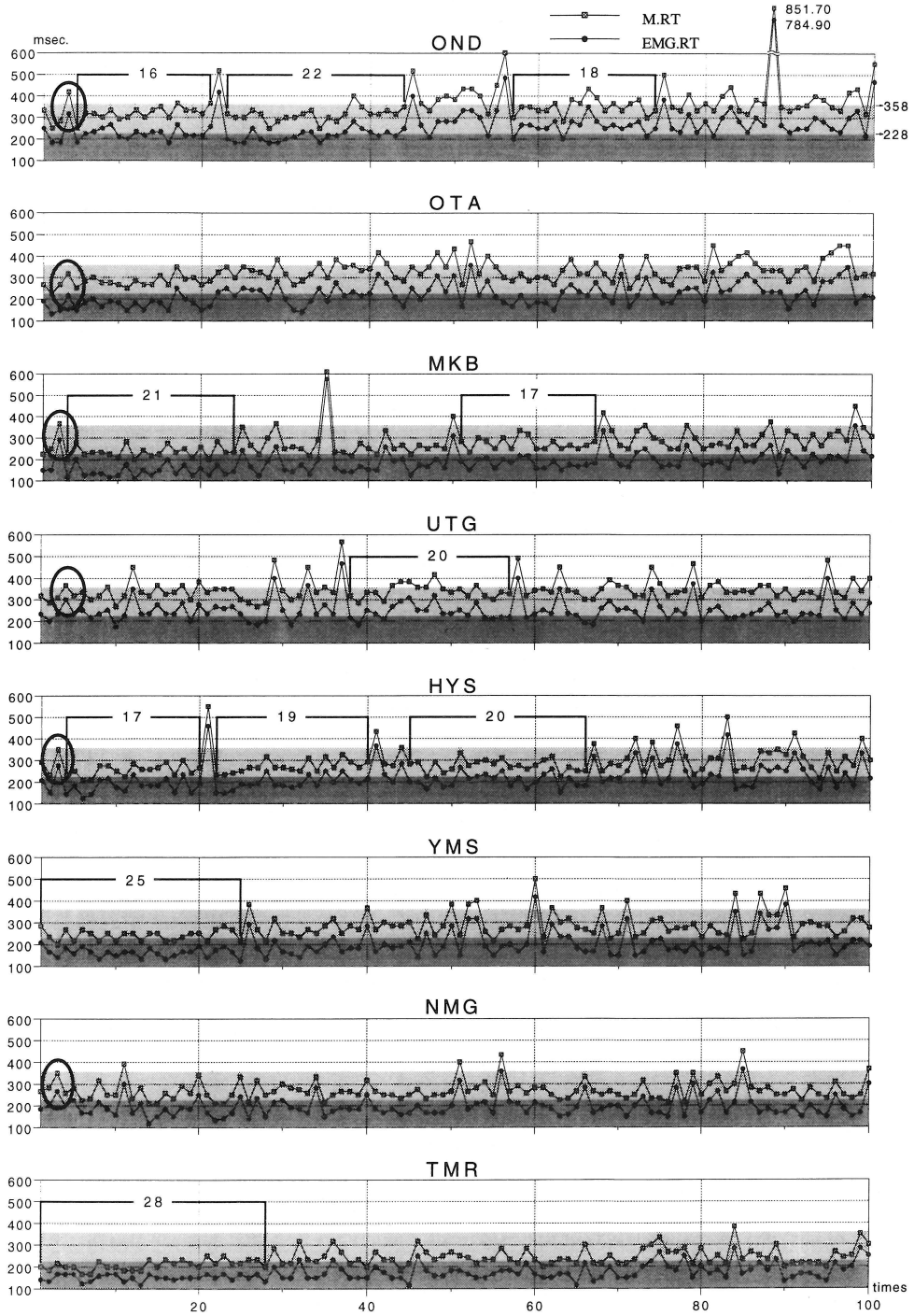


図5 間欠法による上肢の伸展運動時の筋電図反応時間および動作反応時間

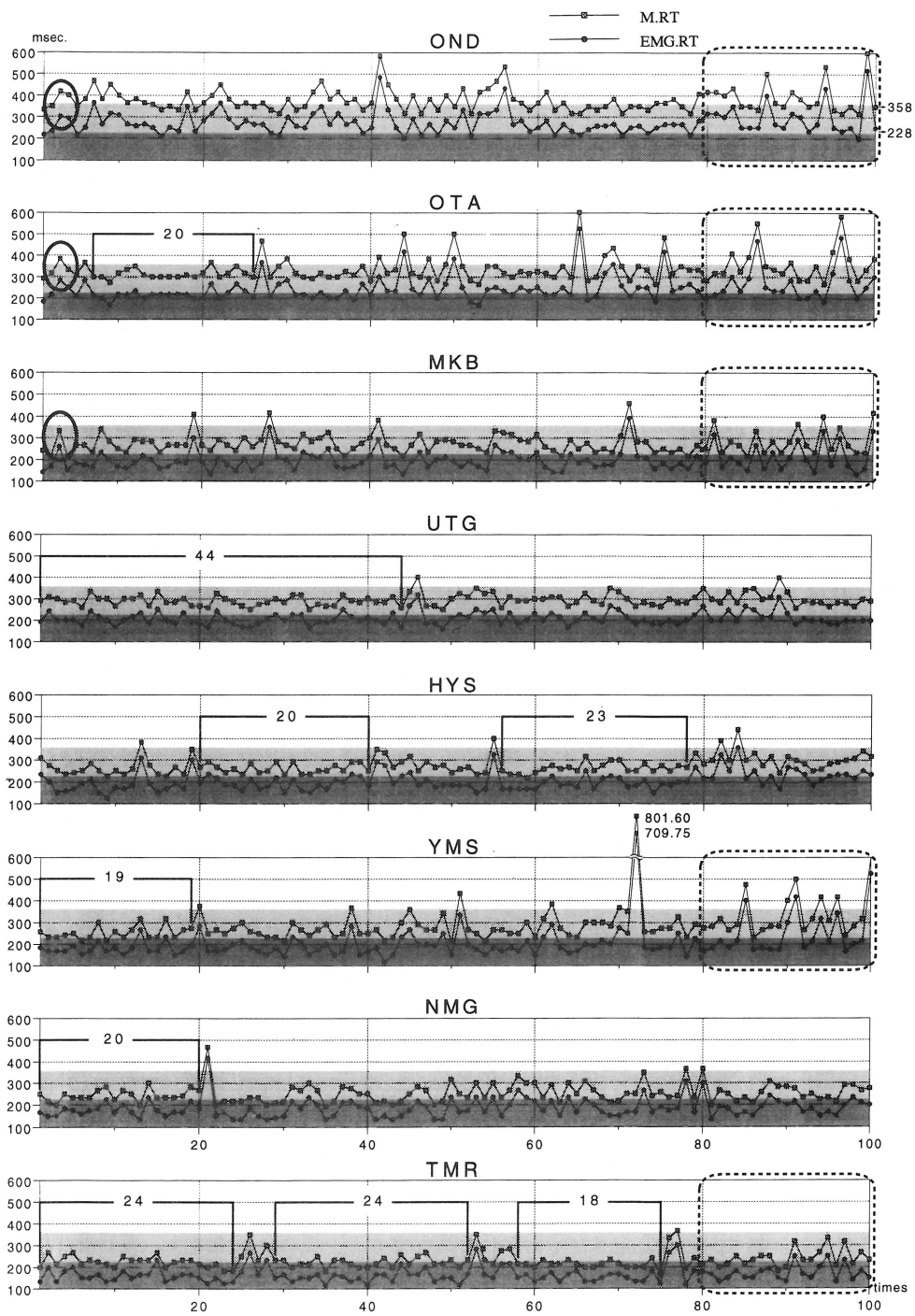


図6 連続法による上肢の伸展運動時の筋電図反応時間および動作反応時間

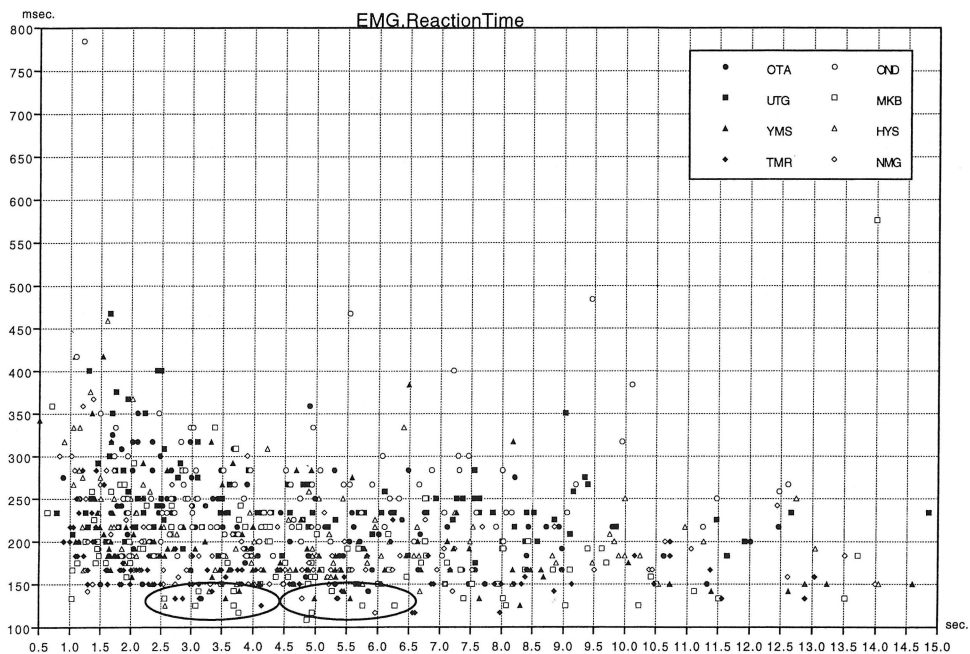


図7 間欠法による合図から光刺激までの時間と筋電図反応時間

に吟味する必要が確認された。しかし、ボレー動作の用意のタイミングは、ボレー動作から逆算して、相手のグラウンドストローク中に求めることができる。このことから、一般的に言われる「事前の情報の取り込み」「予測」といったスキルの要因の一つの手掛かりが、相手の動作を想定した反応時間の測定から可能になることが示唆された。

②試技数の増加に伴う反応時間の遅れ

筋電図反応時間においては、試技数の増加に伴い徐々にその時間が遅れる傾向を認めることができた。被検者全員の回帰曲線を図8に示すが、この傾向はいずれの方法においても同様に観察された。また、その傾きは、連続法よりも間欠法に顕著に現れていた。

次に、間欠法および連続法の分散図の二例を図9に示す。UTGは反応時間は高いが、測定において終始均等な力を出し、試技を重ねるごとに遅れる傾向の少ない選手である。これは連続法においても同様の傾向であり、すばやい動作に対して持続能力のある選手と考えられ、集中力や注意力が安定している選手である可能性がある。これに対してONTはその遅れの傾向が顕著であり、集中力の不安定さが考えられる選手である。これらの結果は、選手個人個人の競技特性を把握するコーチングの資料となり得ることが考えられ、反応時間の測定の新たな活用が期待できる。

③全体に共通のいくつかの傾向

前記した図5、図6に示す図の中の、顕著な遅れの全体的な特徴を太字で記載した。まず、最初の遅れは何回目に見えるかについて検討したところ、試技開始後3回目に高い頻度で出現

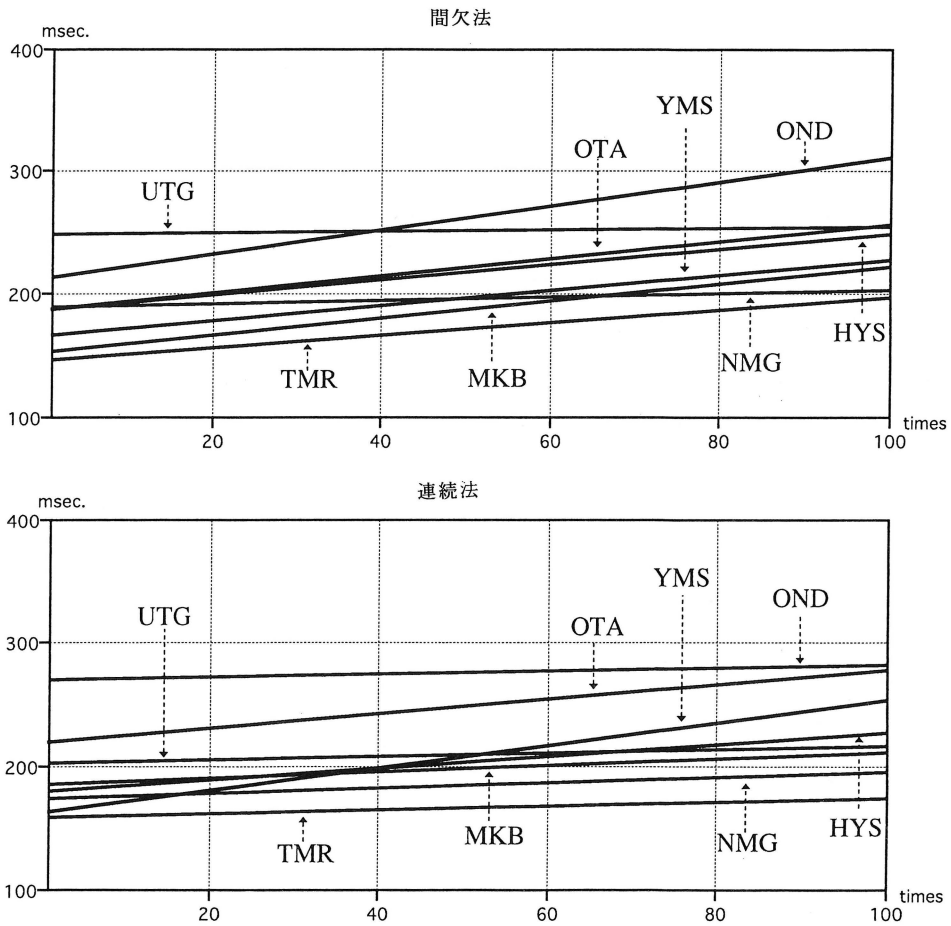


図8 間欠法および連続法の筋電図反応時間における回帰 ($y=ax+b$)

していた。実競技中のラリーにおいて、ミスが発生するのは3本目が多いと言われている。ラリーの往復運動と本測定の方法に類似性があるかの検討は今後に譲るとしても、おおいに興味ある結果であった。3回目の遅れを除くと、20回前後に1回の割合で大きな遅れが現れる傾向を認めた。最もこの傾向が遅く現れたのはUTGの連続法にみる44回目であった。また、この遅れは間欠法に多く観察された。連続法では、終盤の20回に遅れが頻繁に現れる傾向を認めた。この現象を、光刺激に対する被検者の注意力が低下する時期と考えるならば、この結果と、実競技中における選手のミスの発現傾向との関係を確認することによって、勝敗に関与する有効な資料となり得ることが考えられた。また、この結果を練習に活用するならば、例えば、グラウンドストロークの一本打ちを20回を1セットの反復とし、その際、3回目ないし4回目にミスを出さないよう意識を集中させる等の練習プログラムが考えられる。

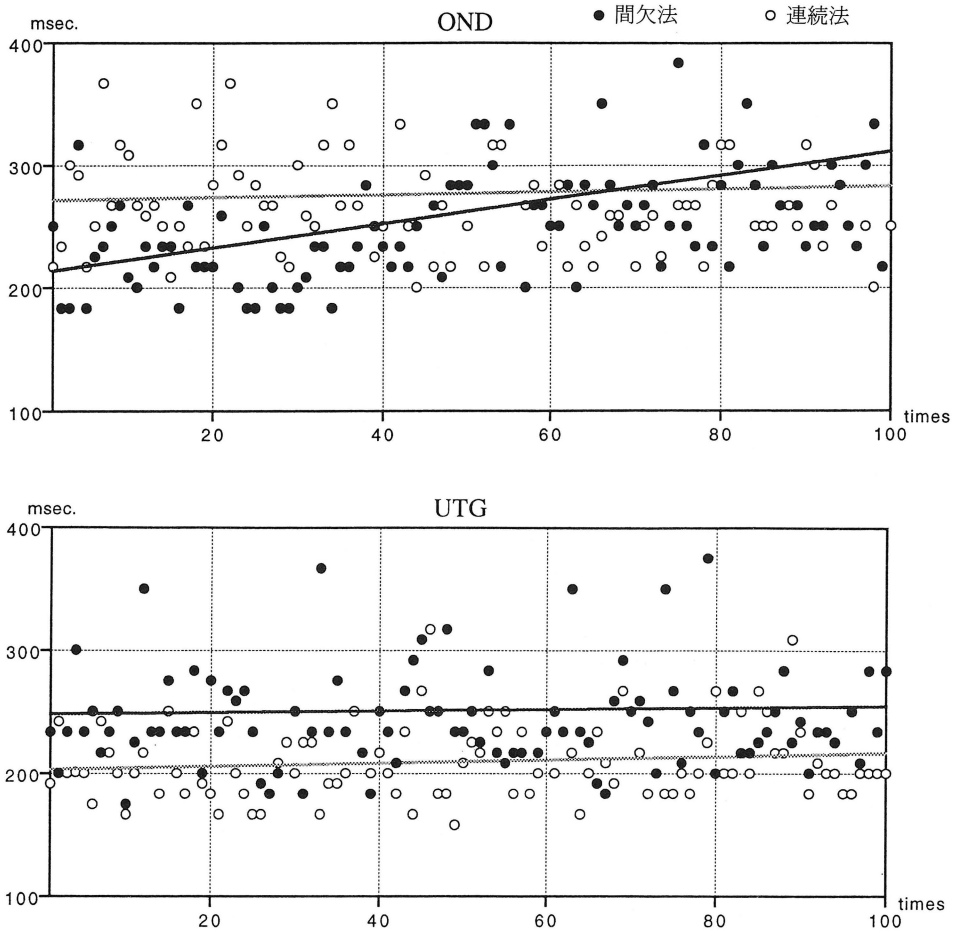


図9 間欠法および連続法の筋電図反応時間の二例

Ⅳ 要 約

ベースライン上で遂行されたインパクトからそのボールがネットに到達するまでの所要時間はおよそ296msec～およそ358msecであった。これに対してボレー動作のインパクトまでの所要時間は約390msecとなった。両値の比較から、ボレー動作は飛球に対する反応動作では間に合わず、別途情報が予め加味されたスキルの存在と必要性が示唆された。

次に、ボレーの動作を上肢の伸展運動に簡略化しその反応時間を二種の方法を用いて測定した結果においても同様の結果となった。

以上の結論の他に上肢の伸展運動の測定から、タイミングのよい「ヨーイ」の合図が反応時間を早める可能性を示す結果を得た。また、試技数の増加に伴い除々にその時間が遅れる傾向、最初の遅れは試技開始後3回目に高い頻度で出現する傾向、20回前後に1回大きな遅れが現れる傾向、連続法では、終盤の20回に遅れが頻繁に現れる傾向等の結果を得た。これらの結果は、

選手個人個人の集中力や注意力といった能力につながる特徴を把握し、コーチングの資料や勝敗に關与する有効な資料となり得ることが考えられた。今後、反応時間の測定の新たな活用が期待された。

謝 辞

本研究の測定は、主に北海道大学体育指導センター（所長、福地保馬教授）の施設・設備を用いて実施され、同センター川初清典助教授のご助力を得て進められた。統計処理では、北海道女子短期大学湯澤直樹講師に多大なご助力をいただいた。ここで、お二人に深く感謝の意を表したい。

付 記

本研究は北海道女子短期大学における平成6年度教員特別研究費の助成によるものです。

引用・参考文献

- 1) 石橋弘・的川泰宣：軟式テニス上達の科学，同文書院，P234，1985
- 2) 湯浅徹平：陸上競技入門シリーズ1短距離，ベースボール・マガジン社，p44～p48，1978
- 3) 猪飼道夫編：身体運動の生理学，杏林書院，P54～P109，P310～P333，1973，
- 4) 川初清典：身体運動における巧みさの科学，杏林書院，1982
- 5) 西園秀嗣：巧みな腕の運動と筋活動，Japanese Journal of Sports Science 第4巻第4号，p249～p257，1985
- 6) 畠山孝子：軟式テニスにおけるゲーム分析－昭和56年度東日本軟式庭球大会の記録を中心として－，北海道女子短期大学研究紀要，第16号，p147～p160，1982
- 7) 畠山孝子・東昇・後藤俊・加藤満・佐々木敏・須田力・西園秀嗣：軟式テニスのフォアハンド・ストロークにおける動作分析，北海道女子短期大学研究紀要，第20号，p109～p117，1986
- 8) 畠山孝子・後藤俊・加藤満：軟式テニス技術の熟練度と筋作用機序について－グラウンドストロークを中心として－，北海道女子短期大学研究紀要，第25号，p109～p119，1989
- 9) 畠山孝子：軟式テニスの基本技術におけるわが国 top player と学生選手の筋電図分析について，北海道大学体育指導センター報告書，第2号，p112～p116，1990
- 10) 畠山孝子・後藤俊・加藤満・須田力・川初清典：軟式テニスの基本技術における多系統筋電図－わが国 top player と学生選手との比較－，成元年度日本軟式庭球連盟スポーツ医科学報告，(財)日本軟式庭球連盟，p41～p42，1990
- 11) 畠山孝子：軟式テニス技術のグラウンドストロークにおける打法別筋電図の検討，北海道女子短期大学研究紀要，第26号，p75～p84，1991
- 12) 畠山孝子：ソフトテニスのグラウンドストローク技術における筋活動と動作画像分析－フット

ワークに着目してー，北海道女子短期大学研究紀要，第27号， p83～ p94， 1992