

# PWC評価および振動計測評価に基づいた 高齢者ショートテニスのための基礎的研究

塩野谷 明\*・堀内 昌一\*\*

Fundamental study on short tennis for the elderly people based on the PWC measurement  
and vibration analysis of short tennis racket.

Akira SHIONOYA\* and Shoichi HORIUCHI\*\*

This paper describes the fundamental study on short tennis for the elderly people. View points of study were as follows; 1) The physical fitness of the elderly people participating to this study as subject. 2) The characteristics of tool of short tennis especially short tennis racket. To clarify the physical fitness of the elderly people participating to this study, PWC75%HRmax (Heart rate max) in each subject was measured using bicycle ergometer. Based on this PWC75%HRmax, the way to game of short tennis for the elderly people was made. From view point of PWC, doubles was better than singles in game. Heart rate in doubles game was not beyond the level of 75%HRmax. To clarify the characteristics of tool of short tennis especially tennis racket, vibration characteristics of short tennis racket was measured using impulse hammer and analyzed by fast fourier transform. The vibration frequency of short tennis racket was higher than that of tennis racket. From this result, the sponge ball for short tennis was thought to be better than the low pressure felt ball for short tennis.

**Key words :** Short tennis, elderly people, PWC, Vibration

## 1. はじめに

高齢化社会を向かえ、健康問題はこれまで以上に我々にとって身近なそして重要な問題となってきた<sup>1)</sup>。それは単に身体的 (Physical) な健康だけではなく、WHO (世界保健機構) が提唱するように、精神的 (Mental) そして社会的 (Social) な健康が、すべての年代に求められなければならない。これはどんなに高齢者であっても、勿論例外ではない。

高齢者を対象とした様々なプログラムは、年々その数を増やしている。全国的に展開されるような高齢者大学といった教育的プログラムは元より、スポーツプログラムにおいても各種マスターズ競技会といった高齢者のスポーツ競技大会が開催されている。しかし高齢者を対象としたとき押えておかなければならない重要な点は、ヒトは加齢とともに各種機能の低下がみられるという点であり、そしてその低下には個人差があるという点である。特にスポーツに関係する運動機能や能力については、それが顕著にみられるということを忘れてはならない。

例えば持久力の指標である単位体重当りの酸素摂取量は、60歳台では3、4歳の幼児よりも20~30%程度も低い数値である<sup>1)</sup>。これだけでも、加齢による運動機能の低下を説明するには十分であると考えられる。すなわち、高齢者のスポーツ活動の場合こういった点を考慮してスポーツプログラムを構築していかなければ、それは身体的であれ、精神的であれ、そして社会的であれ、健康を齎すことにはならない。

そこで本研究では、高齢者に適当なスポーツとして、幼児および小学校低学年 (ジュニア期) のテニス導入に開発されたショートテニスを推奨し、高齢者の運動能力や使用される用具を考慮して、ショートテニスをさらに高齢者に適当なスポーツとするための基礎的研究を行った。

## 2. 方法

### 2.1 研究の視点

ショートテニスでは、一般のテニスラケットに比較して、短くかつ軽量のラケットを用いることから、身体的な負担は小さいことが報告される<sup>6)</sup> (図1参照)。

本研究ではこういった短いラケットを用いて行うショートテニスを、高齢者を考慮してより高齢者に適当なスポーツとするために、次の2点について検討する

原稿受付：平成15年5月19日

\*長岡技術科学大学体育・保健センター

\*\*亜細亜大学

こととした。



図1 ショートテニスラケットと一般のテニスラケット

- 1) 高齢者の身体能力を考慮したショートテニス
- 2) ショートテニス用具の適正

これらの視点に係る測定および実験を並行して行い、高齢者が健康を追求することができるショートテニスについて検討した。

## 2. 2 高齢者の身体能力を考慮したショートテニス

高齢者の身体能力を考慮したショートテニスを考えるために、PWC (Physical Work Capacity: 身体作業能力) に基づいた測定評価を行った<sup>7)</sup>。被験者は60歳以上の高齢者で、医療の専門家(医師)による診断で運動が禁忌ではなく積極的に行うことを推奨された5名とした。

まず、各被験者には自転車エルゴメータを用いたPWC75%HRmax (最大心拍数の75%時の作業能力: 最大心拍数は220-年齢から算出) の測定を行った。測定に際してエルゴメータに加える3つの負荷値は、年齢と安全性を考慮して20W、40W、60Wの低負荷とした。これら負荷の設定は、以下のような点特に安全性を考慮して設定した。体重60kgのヒトが、やや早歩きをした場合の速度を4.0[km]と仮定、これを秒速に変換するとおおよそ1.0[m/s]となる。単位時間当りの仕事量(P)であるパワー[W]は $P = J/s$ であるから、この場合、60Wはほぼ60kgのヒトが早歩きで歩くに等しい仕事量となり、医師より運動を積極的に行うことを推奨されている点とあわせて、この負荷での測定は安全と考えた。

この負荷条件で、各被験者のPWC75%HRmaxを測定した。その一例を図2に示す。

次に、実際のショートテニスの試合を行い、この求

めたPWCに基づいてその負荷が適当か否かを評価した。試合はコートが大きさがほぼ等しい理由から、バトミントンのダブルスコート(縦13.4×横6.1m)を用いた。得点は軟式テニスのルールに従い4ポイント先取とし、シングルスおよびダブルスでの試合中の運動強度を測定した。

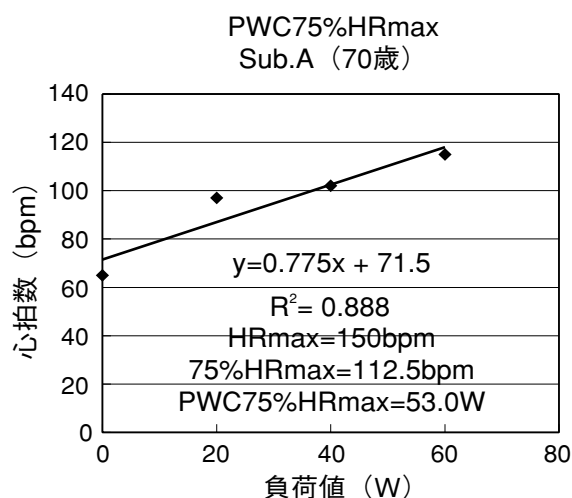


図2 PWC75%HRmaxの決定

ダブルスでは動く範囲を制限することを考え、シングルの半分すなわちコートの横サイズ6.1mの半分3.05mを1人がカバーすることとした。これによって、シングルスでは6.7×6.1mの範囲、ダブルスでは6.7×3.05mの範囲を動くことになる。

運動強度の測定には、被験者に試合中、日本精密機械社製パルスメモリー(時計型心拍測定装置)を利き手の反対側の腕(本体部)および指(センサー部)に装着し、試合中および試合終了直後の心拍数を記録し、心拍数を測定した。こういった心拍数に基づく運動強度の測定には、一般に心電図やハートレートモニターを用いることが多いが、これらは胸部誘導であるため高齢者が嫌悪感を抱く可能性の大きいことを第一に考慮し、これに対して験者は医療有資格者ではないことも考えあわせ、今回は心電図等は用いなかった。

## 2. 3 ショートテニスの用具の適正

ショートテニスで使用される用具について、高齢者が使用することを考慮して検討するために、ショートテニスラケットの振動解析実験を行った。

実験に用いたラケットはショートテニスラケットの他、グラフィトラケット、タングステンコンポジットラケットの3種類であった。実験に際して、これらの

ラケットの静的物理特性およびバネ定数を測定した。

実験では各々のラケットのスロート部に加速度センサーを取り付け（図3）、ラケットのスウィートスポット部に高さ2mから一般用およびショートテニス用のフェルトボールを自由落下させ、その際の振動を加速度センサー（PCB Piezo-tronic社製：感度10mV、周波数レンジ3～10kHz、共振周波数65kHz以上）によって検出した。

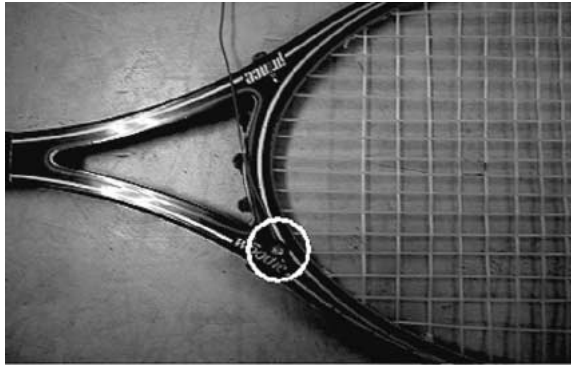


図3 加速度センサーの貼り付け位置

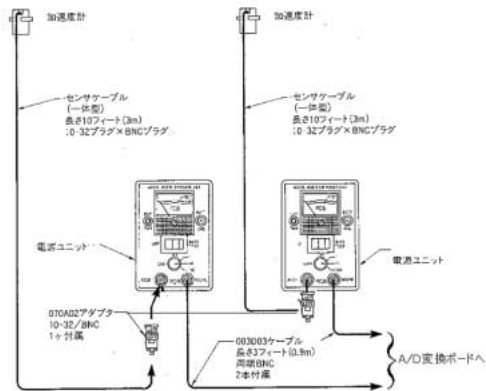


図4 センサーからのインターフェース（2点計測時）

なおスロート部は、各ラケットとも平坦であるため、センサーの貼り付けが容易であることから振動計測位置とした。得られた加速度信号は、整流器（PCB Piezo-tronic社製：シグナルコンディショナー480B10）を介してPCにリアルタイムで取り込まれ、データ解析システム（エルメック社製DAQ-WINおよびWAAP-WIN）によって振動解析および周波数解析を行った。センサーからPCまでのインターフェースについては、図4を参照する。

### 3. 結果

#### 3.1 PWCの結果

表1では、今回の被験者のPWCの測定結果を示している。年齢によって決定される75%HRmaxは、最大が120bpm、最小が112.5bpmであった。すなわち、これ以下の心拍数であれば安全に運動遂行が可能と考えられ、ショートテニスの試合中の心拍数の尺度となる。

PWC75%HRmaxは最大が74.9W、最小が53.0Wであった。宮下らの評価基準では65歳以上のカテゴリーを持たないが、年齢に相応した一般的な体力水準にあると考えられる。

表1 PWC測定結果

Sub.	Age	HRmax (bpm)	75% HRmax (bpm)	PWC 75%HRmax (W)
A	72	148	112.5	53.0
B	65	155	116.3	74.9
C	66	154	115.5	70.2
D	60	160	120.0	62.5
E	64	156	117.0	64.2
F	63	157	117.8	71.0

表2 シングルスおよびダブルスの心拍数

Sub.	シングルス		ダブルス	
	試合中	終了時	試合中	終了時
A	128	123	112	96
B	125	122	112	94
C	119	118	105	98
D	128	125	110	102
E	121	120	111	108
F	120	118	110	105

なお、各被験者の最大心拍数（HRmax）については、表1を参照するものとする。表2では、各被験者のシングルス、ダブルスの試合中および終了時の心拍数について示した。前述のように心拍数測定には、心電図等は被験者の嫌悪感を招く恐れがあるため、今回は拘束性の少ない測定機器を用いた。そのため、測定は試合中ランダムに行い、その最大値を示している。

シングルスの場合、試合中最大心拍数が128bpm、最小が119bpm、試合終了時最大心拍数が125bpm、最小が

118bpmといずれも各被験者の75%HRmax水準を超える結果となった。

これに対してダブルスでは、試合中の最大心拍数が112bpm、最小が105bpm、試合終了時最大心拍数が108bpm、最小が94bpmでいずれも75%HRmax水準を下回っていた。

### 3. 2 振動測定結果

表3は、各ラケットの静的物理特性を示している。今回対象としたショートテニスラケットは、長さが535[mm]、重心位置(先端から)300[mm]、重量199[g]、バネ定数8.2[N/mm]で、バネ定数で最大値、その他はいずれも最小値であった。

その他、グラファイトおよびタンゲステンコンポジットラケットについては表3を参照するものとする。

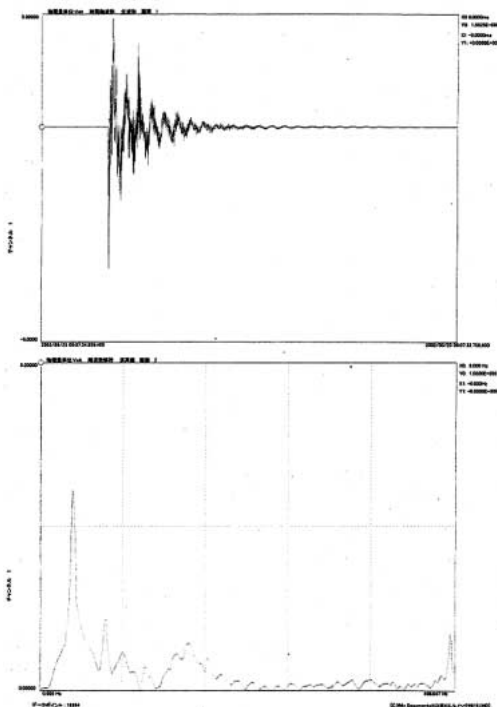


図5：ショートラケットの振動周波数

図5および図6は、ショートテニスラケットおよびグラファイトラケットの振動周波数を示している。グラファイトラケットに比較してショートラケットは、振動周波数が高く、さらに振動減衰時間が小さいことが伺える。

これを数値化したものが、表4である。ショートラケットではすべてのモードでの振動周波数が、他のラケットに比較して高かった。さらに振動の減衰時間も、他のラケットに比較して短かった。

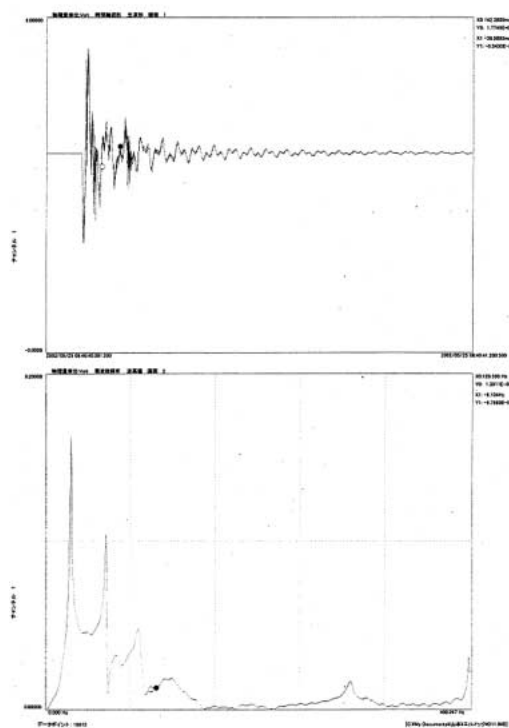


図6 グラファイトラケットの振動周波数

表3 各種ラケットの静的物理特性

ラケット	長さ (mm)	重心 (mm)	重量 (g)	バネ定数 (N/mm)
ショートテニス	535	300	199	8.2
グラファイト	685	360	385	6.5
タンゲステン	698	363	293	8.0

表4 各種ラケットの振動周波数

ラケット	1次 (Hz)	2次 (Hz)	3次 (Hz)	減衰時間 (msec)
ショートテニス	39.0	79.3	178.2	235
グラファイト	29.3	70.8	109.9	548
タンゲステン	23.2	63.5	123.9	364

#### 4. 考察

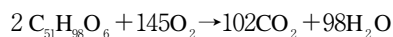
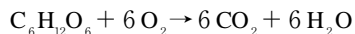
前述のように高齢化社会を向かえ、健康問題はこれまで以上に我々にとって身近なそして重要な問題となってきた。それは単に身体的（Physical）な健康だけではなく、WHO（世界保健機構）が提唱するように、精神的（Mental）そして社会的（Social）な健康が、すべての年代に求められなければならない。これはどんなに高齢者であっても、勿論例外ではない。

高齢者を対象とするとき押えておかなければならない重要な点は、ヒトは加齢とともに各種機能の低下がみられるという点であり、そしてその低下には個人差があるという点である。特にスポーツに関係する運動機能や能力については、それが顕著にみられる<sup>1)</sup>ということ忘れてはならない。

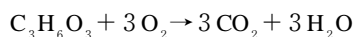
そこで本研究では、高齢者に適当なスポーツとして、幼児および小学校低学年（ジュニア期）のテニス導入用に開発されたショートテニスを推奨し、高齢者の運動能力や使用される用具を考慮して、ショートテニスをさらに高齢者に適当なスポーツとするための基礎的研究を行った。そして、その視点として次の2つについて検討することを目的とした。

- 1) 高齢者の身体能力を考慮したショートテニス
- 2) ショートテニス用具の適正

高齢者の身体能力としてPWC75%HRmaxに基づいた場合、バトミントンコートを用いたシングルスでは各被験者とも最大心拍数の75%水準を超えてしまうことが伺えた。この水準は、一般に安全でかつ効果的な運動強度の指標である無酸素性作業閾値（Anaerobic Threshold：AT）に相当すると考えられているため、特に高齢者で健康を意識した運動実践を行う場合は、この水準を超えることが望ましいと考える。この水準を超えてしまうと、



らの好氣的代謝過程による収縮エネルギーのATP生成が高進され、O<sub>2</sub>の需要が増大すると同時に、



といった乳酸の緩衝反応が加わることから、O<sub>2</sub>の需要が一層増大する結果となる。その結果として、心筋へのO<sub>2</sub>供給不足が心筋の虚血を招き、思わぬ事故に結びつかないとも限らない。特に高齢者では、高いリスクとなることも予想される。

すなわち、高齢者に適した運動強度という点からは

ショートテニスコート（またはほぼ等しいバトミントンコート）の1/2を守備範囲とするダブルスの試合形式が好ましいものと考えられる。

ダブルスの守備範囲を考えると、前後方向最大6.7m、横方向最大3.05mとなる。しかし実際の打ち合いではボールが自分に向かってくるため、前後に6m以上の移動を伴うことはほとんどない。概ね、自分の守備範囲は1、2歩程度の移動で可能と考えられる。PWCの測定でも考慮したが、1W=1J/1sであることから、体重60kgのヒトがゆっくり1、2歩程度移動して打球できれば、60W程度の仕事量になると予想できる。これは今回の各被験者のほぼPWC75%HRmax水準であることから、ここでもダブルスによる試合形式が適当と判断できるものとする。

しかし、今回の実験で数値とならない各被験者の内省報告であるが、ダブルスの試合では運動量が少ないあるいは物足りないと感じる者が少なくなく、シングルスの方が充実感が高いという報告があった。これは単にショートテニスだけの問題ではなく、高齢者にとってのスポーツ感と実際を考える上で貴重な内省と思われる。

次に、ショートテニス用具の適正特に使用するラケットについて考えてみる。

ショートテニスラケットでは、一般のテニスラケットと比較して振動周波数が高くかつ振動減衰時間は短いという特徴がみられた。

これはショートテニスラケットの、静的な物理特性すなわち長軸の長さやバネ定数等を反映したものと考えられる。また、ラケット重量も軽量であるため、向かってくるボールに対する等価質量はより小さくなる。

こういった物理的特性から例えば高い周波数の振動特性を持つことになるが、これが一般のテニスラケットであればテニスエルボーといった障害に直結してくる。

テニスエルボーは、過度の負荷や腕の使いすぎによる筋や腱の微細断裂等に伴う肘の痛みで、上腕骨内顆炎と呼ばれるフォアハンドテニスエルボー、上腕骨外顆炎と呼ばれるバックハンドテニスエルボーに大別される<sup>9)</sup>。一般にテニスエルボーは、上腕骨肘関節面の骨が隆起する部分に付着する前腕筋群の腱・靭帯の痛みを伴う炎症と考えられている。

この原因についてマンーマシン系で考えると、ヒト系としての腕の使いすぎやマシン系としてボール打撃時の衝撃そして振動が上げられる<sup>4) 5) 8) 9)</sup>。特に振動については、高い振動周波数成分とテニスエルボーの

関係が注目されており、ショートテニスの場合この点に留意が必要な振動特性を有している。さらには軽い質量や長軸方向の短さと相成って、そこで使用される用具この場合はボールが重要な意味を持つことになると考えられる。

現在、ショートテニスでは今回の振動実験に用いたような、一般のテニスのテニスボールの空気圧を軽減した低反発のフェルトボールと、超軽量のスポンジボール、そしてその中間の塩化ビニールボールが用いられている。ラケットの振動特性や静的物理特性そして等価質量の問題、さらにはヒト系として高齢者の身体能力や老化までを考慮した場合、超軽量のスポンジボールを使用することが、高齢者のショートテニスには最も適していると考えられる。

そしてそれは、前述の試合形式の問題にも関係してくる。フェルトボールや塩化ビニールボールでは打球速度が高くなるため、コート上での移動速度が例えばダブルスであっても速くなることは必然的である。これに対して超軽量のスポンジボールでは、空気抵抗により打球速度が抑えられるため、結果として単位時間当りの運動量も小さくてすむ。

これらを総合的に考え、高齢者のためのショートテニスには市販されるスポンジボールを推奨するものである。

今後はラケットとボールの相互間系の観点からの、より高齢者に適したショートテニスの検討、さらにはそこで使用される用具の開発コンセプトを提案・開発することが課題と考えられる。

以上である。

## 5. まとめ

本研究は以下のようにまとめられる。

- (1) 高齢者社会を向かえ、高齢者に適当なスポーツとしてショートテニスを推奨し、1) 高齢者の身体能力を考慮したショートテニス 2) ショートテニス用具の適正の観点から検討した。
- (2) 高齢者の身体能力として、PWC（身体作業能力）に基づいてショートテニスを検討した。
- (3) その結果、コート全体を1人で防御するシングルスよりも1/2を防御するダブルスの方が適当であると判断された。
- (4) 用具の適正という観点から、ショートテニスラケットの静的物理特性および振動特性を計測した。
- (5) その結果、一般のテニスに比較して振動周波数が

高く、さらにその減衰時間が短いことが示唆された。

- (6) この点を考慮して、ショートテニスで使用されるボールは超軽量のスポンジボールが好ましいと考えられた。

以上である。なお、本研究は平成13、14年度文部科学省科学研究費補助金（課題番号13878006）萌芽の研究の一部として行われたことを追記する。

## 参考文献

- 1) 飯塚鉄雄代表編：日本人の体力標準値。第4版。不味堂出版、1989。
- 2) 小路敏彦：健康とは。学生と健康：国立大学等保健管理施設協議会編、pp2-4、1996。
- 3) 川副嘉彦：テニスのインパクトの謎を解く。日本機械学会誌メカライフ、No. 44、pp28-31、1996。
- 4) Kawazoe.Y：Prediction of various factors associated with tennis impact. The Engineering of Sport. 4, pp176-184, 2002
- 5) Kawazoe.Y：Experimental study on the effects of large tennis balls on the comfort of the wrist and the elbow. The Engineering of Sport. 4, pp192-199, 2002
- 6) 三宅真理：ショートテニスの効果と可能性。新・テニスの科学。pp132-139。1994
- 7) 宮下充正編著：一般人・スポーツ選手のための体力診断システム。ソニー企業。1986。
- 8) 三浦公亮：テニス・ラケット。JJSS. Vol. 4 (10)、pp718-722、1985。
- 9) 武藤芳照：テニス肘の発生原因と臨床像。JJSS. Vol. 2 (5)、pp332-344、1983。