

ストリングス・テンションの異なるラケットでテニス ボールを打撃したときのプレイヤー上肢系衝撃振動の測定 (フォアハンド・グランドストロークにおける手首部 およびサービスにおける肘部の加速度)

Measurement of the Shock Vibrations at the Wrist Joint during the Forehand Stroke and at the Elbow Joint during the Service Stroke with the Racket Strung Loosely Comparing with the Racket Strung Tightly

○ 川副嘉彦(埼玉工大), 友末亮三(安田女子大)
村松 憲(慶応大), 吉成啓子(白百合女子大)
柳 等(国立スポーツ科学センター)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Inst. of Tech., 1690 Okabe, Saitama
Ryoso TOMOSUE, Yasuda Women's College
Tadashi MURAMATU, Keio University
Keiko YOSHINARI, Shirayuri Women's College
Hitoshi YANAGI, Japan Institute of Sports Sciences

At the current stage, the terms used in describing the performance of a tennis racket are still based on the feeling of an experienced tester or a player. Accordingly, there are many unknowns in the relationship between the performance estimated by a player and the physical properties of a tennis racket. It is often said that lower tensions increase the dwell time of the ball on the strings, offer less impact on the arm, and is better for the arm. However, there are few literatures with the experiments at the actual impact velocities. This paper investigates the effect of the string tensions on the impact shock vibrations of the arm of a tennis player. In the forehand stroke test, accelerations at the player's wrist joint and the racket handle were measured. In the service stroke test, accelerations at the player's elbow joint and the racket handle were measured. The results showed that the waveforms of the loosely strung racket and tightly strung racket are similar and there is no big difference when a male tournament player hits flat forehand drive. With the measured accelerations at the player's elbow joint and the racket handle when a male tournament player hits service at near the center of the racket face, the waveforms of the loosely strung racket and tightly strung racket were also similar and there is no big difference despite of the difference of 20 lbs. Accordingly, it might be not correct that the looser strings are effective for the Tennis Elbow.

Key Words: Tennis Racket, Comfort, String Tension, Shock Vibrations, Wrist Joint, Elbow Joint, Forehand Stroke, Service Stroke, Sports Engineering

1. 緒言

ラケットの進歩がテニスの技術やプレイスタイルに影響してきたと言われている。しかし、現状では、ラケットの性能は使用して初めてわかるものであり、人間の評価が優先する。一方、最近ではラケットの性能に関する工学的研究も盛んになっており、ラケットの反発性能およびボールの飛びにおよぼすラケット・フレームの影響についてはかなり明らかになってきた。

ストリングス初張力(張り上がりテンション)がどのようにラケット性能に影響するかも、プレイヤーにとっては関心事であり、従来から多くの実験的な検討がなされてきたが、インパクトの速度やラケットが異なることもあって、実験結果は複雑であり、そのメカニズムには依然として謎が多い。たとえば、ストリングス・テンションと反発性の関係については以下のような実験結果がある。ミッドサイズ・ラケットでは、天然ガットの場合はテンションが 60 ポンドのとき最大、ナイロンの場合は 50 ポンドのとき最大であり、オーバー・サイズ・ラケッ

トでは 70 ポンドのとき最大であり、それ以下でもそれ以上でも低下する⁽¹⁾。テンションは反発性には大きくは影響しないという研究もある^{(2) - (4), (5)}。

一方、テニスラケットのストリングスを緩く張ると、



Fig.1 Location of accelerometers at the elbow joint and the racket handle in the service stroke.

ボールの衝撃を多く吸収し、振動を低減し、プレイヤーの肩・肘・手首の傷害を防止するのに良いと一般に言われており、テニスの書物や雑誌などにもたいてい書かれている。しかし、これらを実証する研究はほとんど見あたらない。

本論文では、ストリングス・テンションの異なるテニスラケットでボールを打撃したときのプレイヤー上肢系衝撃振動の測定結果を示す。著者らが過去に行った研究⁽²⁾⁻⁽⁴⁾の確認でもある。フォアハンド・グランドストロークにおける手首部およびサービス・ストロークにおける肘部の加速度をラケット・ハンドル部と同時に測定した。図1は、肘部に取り付けた加速度の位置を示す。図2は実験状況を示す。



Fig.2 Situation of hitting test.

2. 実験の概要

2.1 フォアハンド・ストロークによるボールの打撃

男子上級プレイヤー(全日本ランカー)がフォアハンド・グランドストローク(フラット)によりボールを打撃したときの手首部およびラケット・ハンドル部(グリップ端から 210 mm)の衝撃振動加速度をFFTアナライザで測定した。補助者が床に垂直に弾ませたボールをラケット面上の先端寄りのオフ・センタで打撃した場合およびラケット面センタで打撃した場合の波形を記録した。

実験は同一条件で打撃を繰り返し、打ち損じた場合を除く5回の試行波形を記録した。図3は取り付けた加速度計の位置を示す。

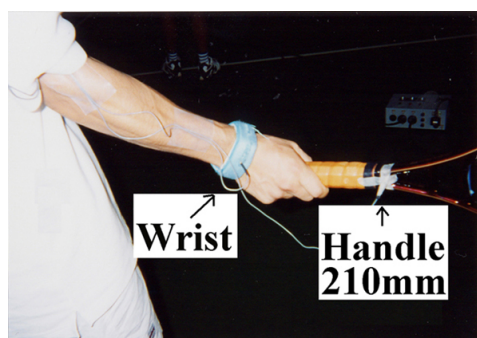


Fig.3 Location of accelerometers at the wrist joint and the racket handle in the forehand ground stroke.

2.2 サービス・ストロークによるボールの打撃

サービス・ストロークにおける肘部およびラケット・ハンドル部(グリップ端から 210 mm)の加速度を同様に測定した。ラケット面のセンタでの打撃について、図1に示す位置に加速度計を取り付けて肘関節の衝撃振動波形を記録した。

2.3 ボール

従来のタイプ2と新しく公認されたタイプ1、タイプ3の3種類のボール⁽⁶⁾について実験したが、本論文ではラージ・ボール(Type 3)とノーマル・ボール(Type 2)の場合の結果のみを示す。図5は、ラージ・ボールとノーマル・ボールの寸法を示す。質量は、両ボールとも約 58 g である。

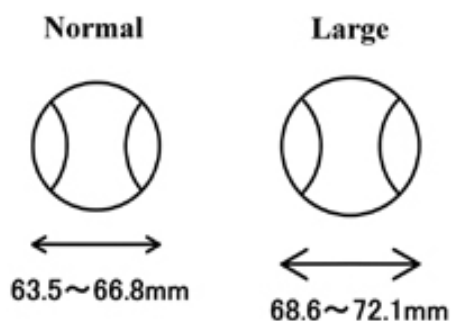


Fig.5 New Larger ball and conventional normal ball

2.4 ラケットとストリングス・テンション

使用したラケットの仕様と主な物理特性を表1に示す。プリンス製 Super Graphite であり、ストリングスを含む質量は 337~339 [g], 全長 27 インチ(685~ 688 [mm]), バランス(グリップ端から重心位置までの距離) 327 ~ 330 [mm]である。

ストリングス初張力(テンション)が 45 lbs (低め) と 65 lbs (高め) の2種類の場合について実打実験を行った。ストリングス・テンションの 2, 3 lbs の違いまで気にするラケット・ユーザーにとっては、この 20 lbs のテンションの違いはかなり大きく、このテンションの違いが衝撃振動にどう影響するかは興味深い。

Table 1 Racket specifications and main physical properties

ラケット名	prince SG		
Tention	45lb	55lb	65lb
Total length	687mm	685mm	688mm
Mass	336.5g	338.0g	338.5g
Center of gravity	329mm	327mm	330mm
Face area	694cm ²		
Moment of inertia I_{GY} about Y axis	15.0gm ²		
Moment of inertia about grip (70 mm)	37.3gm ²		
period about Y axis	1.317s		
X axis			
period about X axis	1.055s		
Moment of inertia I_{GY} about X axis	0.935gm ²		

3. フォアハンド・ストロークで打撃した場合のハンドルと手首部の衝撃振動の測定結果

3.1 ノーマル・ボールを打撃した場合

3.1.1 ラケット面センタでの打撃

図6は、フォアハンド・ストロークでノーマル・ボールをラケット面センタで打撃した場合のハンドルと手首関節の衝撃振動測定結果である。補助者が床に垂直に弾ませたボールを打撃するので、ボールとラケットの衝突速度はインパクト直前のラケット速度に等しい。ただし、この場合のラケット速度の値は高速ビデオ画像解析から算出したラケット先端部の値であり、ラケット面衝突位置での速度はラケット先端部の速度の値より小さめになり、1m/s 程度の速度誤差もある。

テンション 45 lbs の方がやや衝突速度が大きいことも

あって、この場合のラケット・ハンドルおよび手首関節の衝撃振動は 45 lbs の方が 65 lbs に比べてわずかに大きい。

3.1.2 ラケット面オフ・センターでの打撃

図7は、ラケット面中心より先端側寄りのオフ・センタで打撃した場合の測定結果である。

ラケット・ハンドルおよび手首関節の衝撃振動は 45 lbs の方が 65 lbs に比べてやや小さめである。

3.2 ラージ・ボールを打撃した場合

3.2.1 ラージ・ボールをラケット面センターで打撃した場合

図8は、フォアハンド・ストロークでラージ・ボールをラケット面センターで打撃した場合のハンドルと手首関節の衝撃振動測定結果である。

テンション 45 lbs の方がやや衝突速度が小さいこともあって、手首関節の衝撃振動は 45 lbs の方が 65 lbs に比べてかなり小さい。ただし、ラケット・ハンドルの衝撃振動にはほとんど差がない。この場合はラケット面

センターでの打撃だから、65 lbs の場合の衝撃振動も絶対値は小さい。

3.2.2 ラージ・ボールをラケット面オフ・センタで打撃した場合

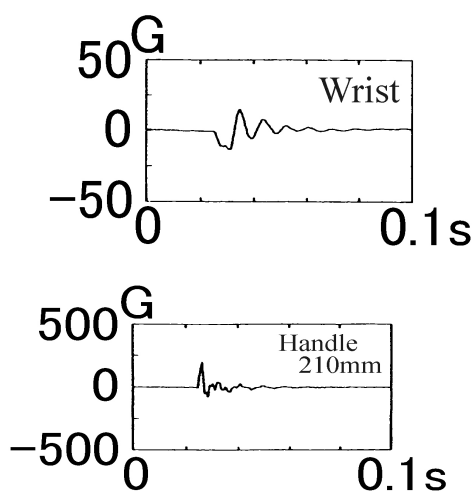
図9は、ラケット面中心より先端側寄りのオフ・センタで打撃した場合の測定結果である。

テンション 45 lbs の方がやや衝突速度が小さいこともあって、ラケット・ハンドルおよび手首関節の衝撃振動は 45 lbs の方が 65 lbs に比べてやや小さい。

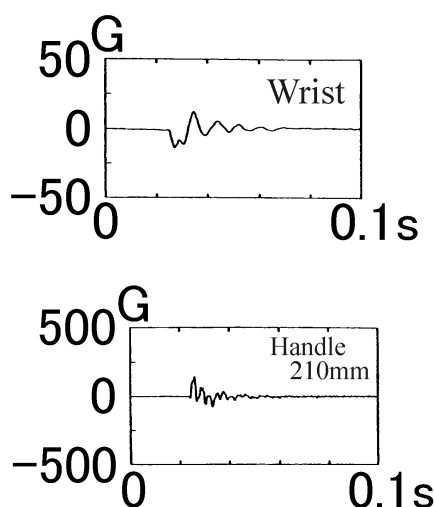
4. サービス・ストロークで打撃した場合のハンドルと肘部の衝撃振動の測定結果

4.1 サービス・ストロークでノーマル・ボールを打撃した場合

図10は、サービス・ストローク（図2参照）でノーマル・ボールをラケット面センターで打撃した場合のハンドルと肘関節（図1参照）の衝撃振動測定結果である。

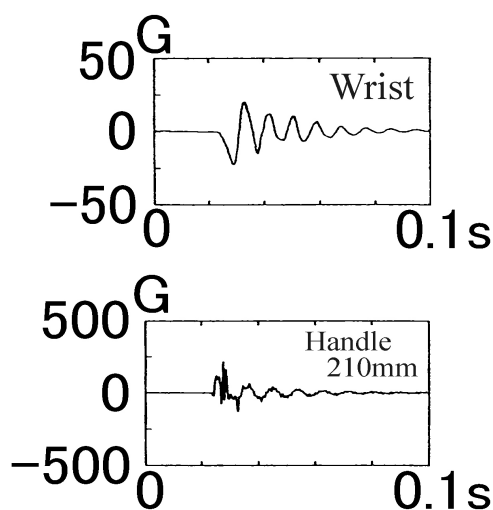


(a) 45lb (Impact Velocity: 23 m/s)

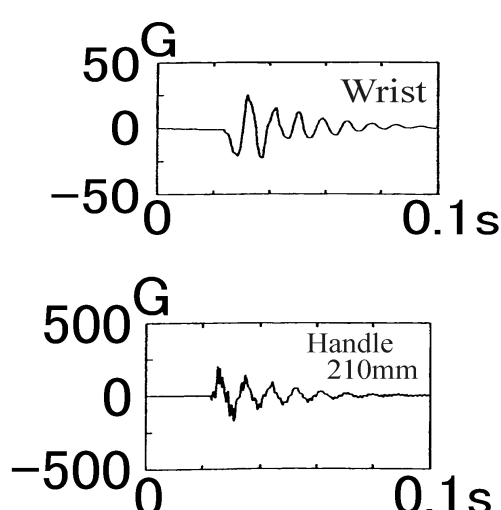


(b) 65lb (Impact Velocity: 18 m/s)

Fig.6 Measured shock vibrations at the wrist and the racket handle (210 mm from grip end) when hitting a normal ball with flat forehand drive at the center of the racket face.



(a) 45lb (21 m/s)



(b) 65lb (21 m/s)

Fig.7 Measured shock vibrations at the wrist and the racket handle (210 mm from grip end) when hitting a normal ball with flat forehand drive at the off-center (Top side) of racket face.

サービスの場合は、トスしたボールを打撃するので、ボールとラケットの衝突速度はインパクト直前のラケット速度に等しい。この場合のボールとラケットのインパクト直前の衝突速度は 45 lbs の方がやや小さい。

テンション 45 lbs の場合は 65 lbs に比べて、ラケット・ハンドルの衝撃振動は大きく、肘関節の衝撃振動はやや小さめである。ただし、肘関節の衝撃振動は 65 lbs の場合も絶対値は小さい。

4.2 サービス・ストロークでラージ・ボールを打撃した場合

図 11 は、サービス・ストローク（図 2 参照）でラージ・ボールをラケット面センタで打撃した場合のハンドルと肘関節（図 1 参照）の衝撃振動測定結果である。

この場合も、ノーマル・ボールの場合と同様に、テン

ション 45 lbs の場合は 65 lbs に比べて、ラケット・ハンドルの衝撃振動は大きく、肘関節の衝撃振動はやや小さめである。この場合はラケット面センターでの打撃だから、肘関節の衝撃振動は 65 lbs の場合も小さい。

5. 結 論

男子上級プレイヤー（全日本ランカー）のフォアハンド・ストロークにおける手首部およびサービス・ストローク（フラット）における肘部の加速度をラケット・ハンドル部と同時に測定し、ストリングス・テンションの異なるラケットでノーマル・ボールおよびラージ・ボールを打撃したときのプレイヤー上肢系衝撃振動へのテンションの影響（45 lbs と 65 lbs の違い）を実験的に調べた。実験結果を要約すると以下ようになる。

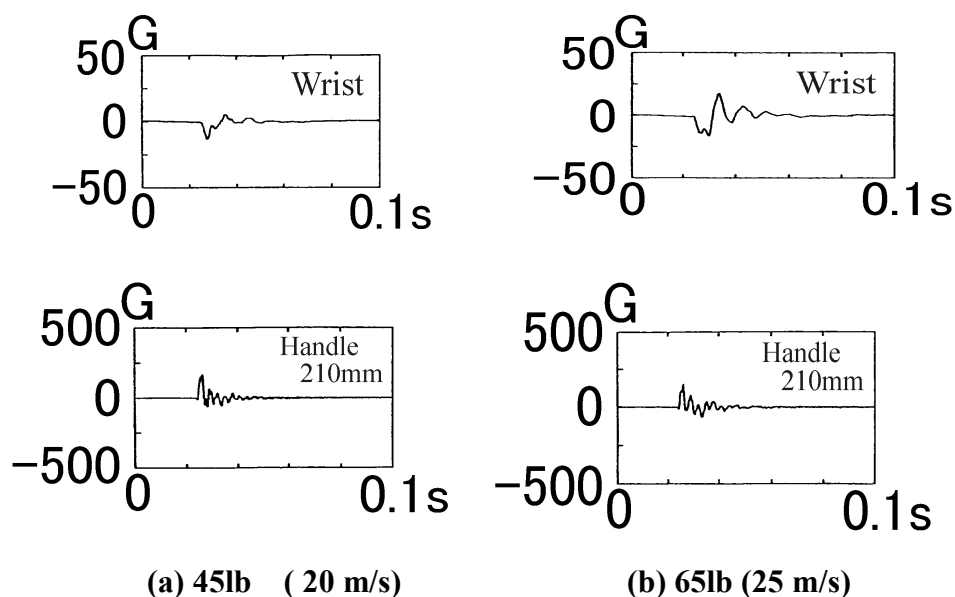


Fig.8 Measured shock vibrations at the wrist and the racket handle (210 mm from grip end) when hitting a Larger ball with flat forehand drive at the center of the racket face .

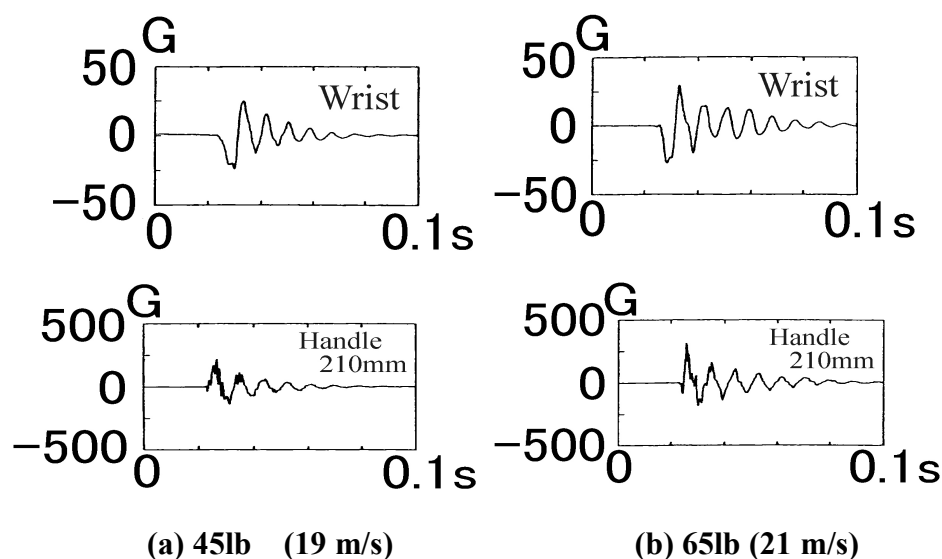


Fig.9 Measured shock vibrations at the wrist and the racket handle (210 mm from grip end) when hitting a larger ball with flat forehand drive at the off-center (Top side) of racket face .

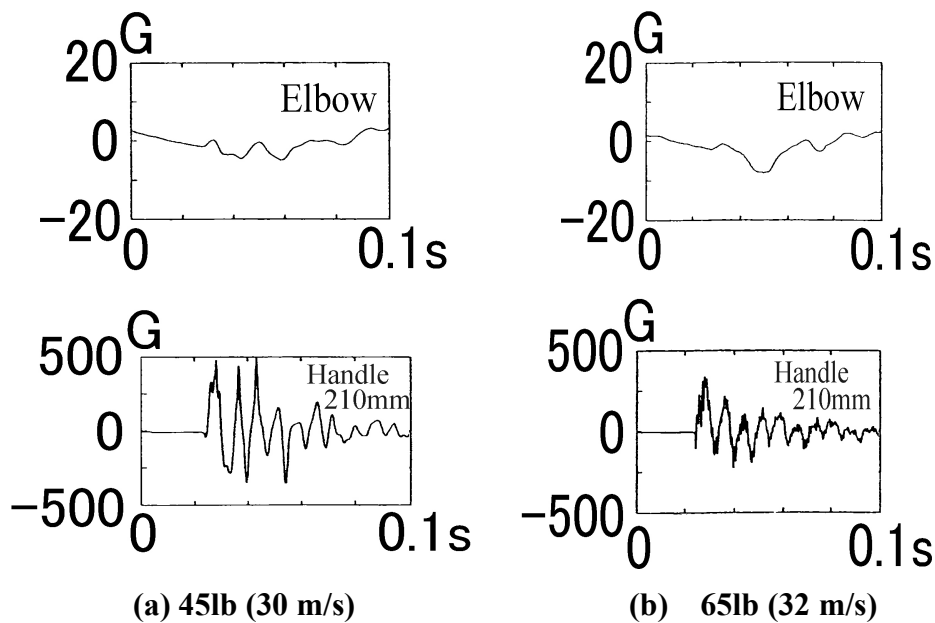


Fig.10 Measured shock vibrations at the elbow joint and the racket handle (210 mm from grip end) when hitting a normal ball with service stroke at the center of the racket face.

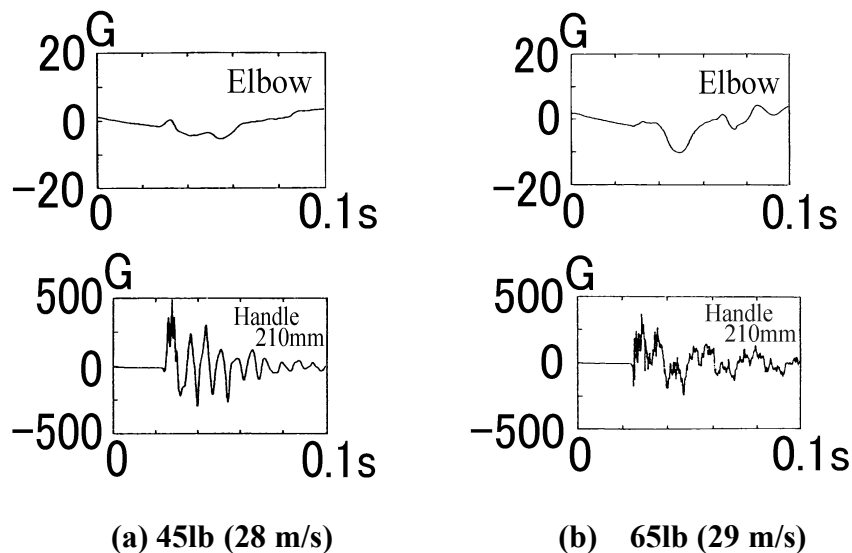


Fig.11 Measured shock vibrations at the elbow joint and the racket handle (210 mm from grip end) when hitting a larger ball with service stroke at the center of the racket face.

(1) フォアハンド・ストロークにおけるラケット・ハンドルと手首関節の衝撃振動は、ラケット面センタで打撃した場合はほとんどテンションの違いはなく、ラケット面中心より先端側寄りのオフ・センタ打撃では、45 lbsの方が65 lbsに比べてやや小さかった。ただし、20 lbsのテンションの差に対する衝撃振動の差は小さい。

(2) サービス・ストロークでは、ノーマル・ボールの場合もラージ・ボールの場合も、テンション45 lbsは65 lbsに比べて、ラケット・ハンドルの衝撃振動は大きく、肘関節の衝撃振動はやや小さめであった。この場合も、20 lbsのテンション低減に対する衝撃振動低減の効果は大きいとは言えない。

したがって、ストリングスを緩く張るとプレイヤーの肩・肘・手首の傷害を防止するのに効果的といわれている説は正しいとはいえない。

衝突解析による予測結果との比較・考察は別報に述べる。おわりに、図表作成にご助力いただいた埼玉工大・平成12年度4年生山田裕昭・北村和浩の両君に深謝する。なお、本研究の一部は平成13年度科学研究費 基盤研究(B)、基盤研究(C)の援助および埼玉工業大学 ハイテク・リサーチセンターの援助によって行われたことを付記する。

(文 献)

- (1) Groppe, J. L., Shin, I. S., Thomas, J. A. and Welk, G. J., Int. J. Sport Biomech., Vol.3(1987), 40.
- (2) 川副嘉彦, 機論, 58-552, C(1992), pp.2467-2474.
- (3) 川副嘉彦, 機論, 59-562, C(1993), pp.1678-1685.
- (4) 川副嘉彦, 機力・計測制御講義 0.96-5(A), pp.497-500.
- (5) Cross, R., Tennis Science & Technology, lackwell Science, (2000), pp.119-126.
- (6) ITF (2000) ITF approved Tennis Balls, p.3.