9H バレーボールのオーバーハンドパスにおける手とボールの衝突モデル

A Model of Impact Between Hands and Ball in Overhead Passing in Volleyball

○正 岡内 優明 (大分大学) 正 前田 寛 (大分大学) 准 島田 義生 (大分大学)

Masaaki OKAUCHI, Oita University, 700 Dannnoharu, Oita-shi, Oita
 Hiroshi MAEDA, Oita University
 Yoshio SHIMADA, Oita University

The purpose of this study was to obtain basic data for teaching ball handling in overhead passing in volleyball. The method used was simulation of a mass-elasticity-viscosity model consisting of hands and ball.

First, we calculated the acceleration of the ball during contact with the hands through VTR images. As a result of comparing this acceleration with that of the simulation of the model, we found that the coefficients of elasticity and viscosity were adequate. The coefficients show that a skilled player absorbs the shock of the ball by finger elasticity soft in both trials, then accelerates the ball with wrist elasticity by changing stiffness depending on the height of set up. This is the reason skilled players can control the ball accurately. On the other hand, an unskilled player changes finger elasticity depending on the height of set up, and accelerates the ball by making wrist elasticity stiff, which results in less ball control.

Key Words: volleyball, overhead passing, mass-elasticity-viscosity model, simulation, video motion analysis

1. はじめに

オーバーハンドパスはアンダーハンドパスに比べて、ボールコントロールが正確で、セットアップ(トス)を中心として使用されるパス技術である。

アンダーハンドパスのボールと腕の衝突では、ボールはそれ自体の弾性によってはね返されている。ところが、オーバーハンドパスはボールの弾性には頼らずに、プレイヤーの動作によって一旦緩衝され再び加速されている。この一旦緩衝し再び加速する技術が、オーバーハンドパスのコントロールの正確さを高めているといえよう。

また、この技術は短時間に行われる繊細な動作であるため、相当な熟練が必要である。初心者オーバーハンドパスはボールに手がぶつかっているようで、十分なコントロールができないのに対し、上級者のそれは瞬時にボールの勢いが吸収されて、思った所に正確にパスが送られる。

オーバーハンドパスはボールに直接触れる指、手首の動きだけでなく、肘や肩、さらに膝や足首まで含んだ体全体の動きによって実現されているものであるが、とくにボールに直接触れる手の操作はボールハンドリングとか、タッチなどと表現されて、繊細で高度な技術としてとらえられている。

2. オーバーハンドパスの粘弾性モデル

われわれはこのボールの衝撃を一旦緩衝し再び加速する機能について、粘弾性モデルを用いたシミュレーションによりそのメカニズムを明らかにしようとしている。

これまで、オーバーハンドパスをボールと上肢全体の衝突現象としてとらえ、Fig-1 に示す2つの粘弾性要素を持つ直列連結モデルを用いたシミュレーションにより検討してきた^{1), 2)}。その結果、この2つの要素をそれぞれ C_1 , K_1 を手の機能、 C_2 , K_2 を腕の機能とみなした。そしてその係数から見て、下側に硬いバネ、上に軟らかいバネがあって、飛来するボールの勢いや返球する距離によって、それぞれの弾性を変化させているものと考えている。

これまで、上肢のモデルを2つの粘弾性要素で表してき

たが、上肢のうち腕の機能は肩関節・肘関節の動きによって制御され、手の機能は手首の関節と指の関節によって制御されるので、2つの粘弾性要素だけではなくさらに多くの要素が存在するとも考えても良い。今回、我々はオーバーハンドパスのメカニズムをさらに細かく見るために、手の機能に絞って検討することにした。

これまでのシミュレーションでは手の機能は1つの粘弾性要素で表していたが、実際のボールと手の衝突を見ると手首の動きと指の動きがあるため、2つの粘弾性要素を持つモデルの方が適当であると考えた。

Fig-1. Mass-Elasticity-Viscosity Model of Overhead Passing

Fig-2. Condition of Experiment

Fig-3. Displacement, Velocity, Acceleration of the Ball during Contact Calculated from Video Images

3. 方法

3.1 実験概要

Fig-2 に実験の概要を示した。パスを行う条件を一定にするため、ボールはパスを行う位置の直上から落下させた。被験者を、手のみによってしかパスできないように制限するため、椅子に座らせ前腕を固定した。

このようにして行われたオーバーハンドパスの動作を、高速度ビデオカメラ (RGB-Rabbit:PHOTORON) で撮影した。シャッタースピードは 1/1000 秒、撮影コマ数は毎秒 250 コマであった。使用したボールは国際バレーボール連盟公認球で、重さ 0.273kg、外周 0.655m、内気圧 0.3kg/cm² であった。

3.2 試技

実験試技は、頭上 1.2m から落下してくるボールを頭上約 0.8m の高さに返球する試技と、頭上 1.2m から落下してくるボールを頭上約 0.4m の高さに返球する試技の 2 種類である。

3.3 被験者

熟練者としてバレーボール歴 10 年、大分県中学校選抜チームのセッターで活躍した経験のあるものを選んだ。オーバーハンドパスでは高い技能を持っていると判断される。未熟練者として授業以外ではバレーボール経験のないものを選んだ。

3.4 ビデオ画像からの 2 次元運動解析

高速度ビデオにより撮影した画像をデジタル映像としてパーソナルコンピュータに取り込み、その画像を 1 コマずつ再生しながらボールの座標点をデジタイズした。得られたボールの位置座標の鉛直成分を 2 階微分することによりボールの鉛直加速度を算出した。

画像からの運動解析であるため、読み取り誤差等のノイズが多く含まれるため、5 点移動加重平均法による平滑化を施した後 2 階微分を行い、さらに得られた加速度に FFT を応用したフィルターをかけて高周波成分を取り除いた。

変位からの微分による速度と加速度の算出結果の例を Fig-3 に示す。ボールの変位を点線で、1 階微分によって算出した速度を破線で、2 階微分によって算出した加速度を実線で示した。

3.5 シミュレーション

オーバーハンドパスのボールと手の衝突モデルは fig-1 に示すとおりである。

質量 m_1 はボールとし、質量 m_2 は手全体とした。2 質量間の粘弾性係数は、 k_1, c_1 が指の機能、 k_2, c_2 が手首の機能を表すものとした。また、指は関節可動域の限界まで曲げられると、急激に硬くなる非線形的性質を持っていることから K_1 を非線形の弾性モデルとした。その時の運動方程式は以下の通りである。

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = -k_1 (x_1 - x_2)^3 - c_1 \left(\frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_2}{dt} \right) - m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -k_2 x_2 - c_2 \frac{dx_2}{dt} - m_2 g - m_1 \left(\frac{d^2 x_1}{dt^2} + g \right) \quad (2)$$

この運動方程式に、初期値として、変位 x_1, x_2 , 速度 v_1, v_2 を与え、方程式の数値解を Wolfram 社製のソフトウェア Mathematica の数値解析の関数を用いて求めた。また、 m_1 はボールの質量、 m_2 は手の質量で松井³⁾の身体各部位の質量比を使用し算出した。ボールの初速度は -4.8m/s、であった。 c_1, c_2, k_1, k_2 の値は、実験値に最も良く合うように、実験値とシミュレーションの加速度の波形の差が最も小さくなるように設定した。

Fig-4. Vertical Acceleration of the Ball Calculated from Motion Analysis

4. 結果と考察

4.1 ビデオ撮影によるボールの加速度

ビデオ映像の運動解析から得られたボールの鉛直方向の加速度の変化を Fig-4 に示す。

熟練者と未熟練者を比較すると、熟練者の方がボールとの接触時間が長く、加速度の立ち上がりが緩く、ピークも低くなっていた。熟練者はボールの衝撃を受け止めてから押し出すという動作を行っており、未熟練者はボールを打つような動作を行っていたが、それがこの波形の違いとなって現れているようである。

熟練者の2つの試技を比較すると、加速度の立ち上がりとはピークはほぼ同じであるが、半ば過ぎから高く返球した場合のほうが加速度が大きく、2度目のピークがあり、ボールとの接触時間も長くなっている。

熟練者は加速度の立ち上がりとはピークが同じことから、ボールを受けるときには返球の高さに関係なく同じ力で緩衝を行い、その後返球の高さの違いによって押し出す力を変えているようである。高く返した場合の方がボールとの接触時間が長かったのはボールへの加速の大きさの違いのためであろう。熟練者はボールを受けるときには、力の入れ具合がボールの衝撃を効率良く吸収するように、また短時間にボールを受けてから押し出すという、時間のずれた2つの動作を行なえるように学習されているものと考えられる。

未熟練者の2つの試技を比較すると、加速度の立ち上がりとはピークはほぼ同じであるが、ピークを過ぎてから低く返した場合の方が早く加速を緩めている。また、高く返球した場合の方がボールとの接触時間が長くなっている。

未熟練者は熟練者のように指や手首でボールを緩衝した後、高さに応じて押し出すという動作ができないので、ボールを打つような動作をしており、ボールを返す高さによってその力を変えているようである。ところがボールにぶつかるような動きではあるが、ボールは指によってある程度うまく緩衝されているようである。つまり意識してボールの衝撃を緩衝しようとしなくても、初期衝突の質量が指であるため、自動的にある程度ボールの衝撃が吸収されるということである。

Table-1. Coefficients and Initial Values Obtained by Simulation

	SKILLED		UNSKILLED	
	HIGH	LOW	HIGH	LOW
c_1	0	0	0	0
c_2	0	0	0	0
k_1	600	600	1800	1200
k_2	13000	10000	19000	19000
$x_1[0]$	-0.26	-0.25	-0.2	-0.24
$x_2[0]$	-0.035	-0.04	-0.02	-0.03

4.2 シミュレーションによるボールの加速度

シミュレーションによって得られたボールの加速度と運動解析によって得られた加速度を重ね合わせたものを Fig-5 から Fig-8 に示す。また、シミュレーションで得られた粘弾性係数、初期値を表1に示す。 c_1 , c_2 , k_1 , k_2 , $x_1[0]$, $x_2[0]$ の値を変化させながらシミュレートし、運動解析から得られた実際の波形に近い波形を再現することができた。

Table-1 に示すように熟練者、未熟練者ともに、両方の試技で c_1 , c_2 は0であった。熟練者、未熟練者ともに、指にも手首にも粘性は働いていなかったことになる。また、熟練者、未熟練者ともに両方の試技で k_1 より k_2 が大きくなっていたことから、指を軟らかいバネ、手首を硬いバネとして使っていたと考えられる。

熟練者と未熟練者を比較すると、未熟練者は両方の試技で k_1 , k_2 ともに熟練者より大きくなっていた。熟練者の方が2つのバネを軟らかく使っているのに対し、未熟練者はどちらのバネも硬くしていたと考えられる。

熟練者の2つの試技を比較すると、 k_1 は同じで k_2 は高く返球した場合の方が大きくなっていた。返球する高さに関係なく指の弾性を軟らかくしてボールの衝撃を吸収し、手首の弾性を変えて返球する高さの調節をしているものと考えられる。また、熟練者はボールの落下速度によって指の

Fig-5. Accelerations Calculated from Motion Analysis and Simulation in Case of HIGH SET by Skilled Male

Fig-6. Accelerations Calculated from Motion Analysis and Simulation in Case of LOW SET by Skilled Male

Fig-8. Accelerations Calculated from Motion Analysis and Simulation in Case of LOW SET by Unskilled Male

Fig-7. Accelerations Calculated from Motion Analysis and Simulation in Case of HIGH SET by Unskilled Male

弾性を変えることが推測されるが、今後検討する必要がある。

未熟練者の2つの試技を比較すると、 k_1 は高く返球したほうが大きく、 k_2 は同じであった。返球する高さに関係なく手首の弾性を硬くしてボールを加速し、指の弾性を変えて返球する高さを調節をしているものと考えられる。また、熟練者とは逆にボールの落下速度によって手首の弾性を変えるかどうかは今後検討の余地がある。

5. まとめ

バレーボールのオーバーハンドパスをボールと手の衝突としてとらえ、粘弾性モデルを用いてシミュレーションを

行い、オーバーハンドパスのメカニズムを明らかにしようとした。

(1)ビデオ映像の運動解析から得られた加速度の波形に近い波形をシミュレートすることができ、手の粘弾性係数を知ることができた。

(2)熟練者は返球する高さに関係なく指の弾性を軟らかくしてボールの衝撃を緩衝し、手首の弾性を変えて返球する高さの調節をしていた。これはボールのコントロールが正確にできることを示唆するものである。

(3)未熟練者は返球する高さに関係なく手首の弾性を硬くし、指の弾性を変えて返球する高さの調節をしていた。これはボールのコントロールが難しいことを示唆するものである。

文献

- 1) 岡内優明他, バレーボールにおけるオーバーハンドパスのメカニズムに関する研究, 日本機械学会 [No.99-41] シンポジウム講演論文集, 169~173, 2000
- 2) M. Okauchi et al., Simulation of Ball Handling in Overhead Passing in Volleyball, Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports, 554-558, 2000
- 3) 松井秀治, 運動と身体の重心, 体育の科学社, 東京, 1958
- 4) 小林一敏, スポーツにおける身体の衝撃, 日本機械学会誌, 90(829), 1457-1462, 1987
- 5) 宮地力, ランニング時の着地衝撃とそのシミュレーション, バイオメカニズム学会誌, 14(2), 73-77, 1990
- 6) A. Morecki, Biomechanics of Engineering, Springer-Verlag, New York, 1987