

ホッケーのプッシュストロークにおけるスティックの角度とボールの方向

久 我 晃 広

[要旨] 本研究の目的は、ホッケー競技のプッシュについてスティックの打撃面角度がボールの方向性、速度に与える影響を明らかにすることであった。被験者に7ヤード(6.37m)前方の標的(幅0.21m)を狙い、プッシュを行わせた。各被験者の試行をビデオで撮影し、映像解析により打撃面の角度を求めた。またスティックにストレーンゲージを貼り付け、歪み波形を経時的に記録し力学的パラメータを収集した。

リリース時のスティックの打撃面角度と左右方向への力積の間には有意な相関が得られ($r=-0.574$; $p<0.01$), 右方向の力積が大きいくほど打撃面が左に傾くことがわかった。リリース時の打撃面角度(-10.08°)は目標方向(-0.55°)以上に左へ傾いており、ボールが打撃面上をスライドしながらリリースされていることが明らかになった。これらは被験者がボールの位置を判断し、正確な方向へストロークが行えるように打撃面を調節している、熟練されたストローク動作であると考えられた。しかしながらボール速度の実測値は8.49m/sと非常に小さい値を示し、力積から得られた理論値(28.87m/s)に対してわずか29%の値であり、方向性を重視したストローク法は速度の面では非効率的であることが示唆された。

[キーワード] プッシュストローク, 映像解析, 歪み, ボール速度, ボールの進行方向

1. 緒言

ホッケー競技には大きく分けると2種類のストローク法がある。1つはヒットと呼ばれ、強いシュートや遠距離のパスをする場合に多く用いられる。これに対してプッシュは、近距離でのパスや特に迅速を要する場合などに用いられ、正確性を重視したストローク法である。また、ヒットと比較してボールとスティックの接触時間が長く、投動作的な特徴を持っている。ホッケーで用いられるスティックを手にとったとき、右側は曲面を、左側の面は平面を成しており、ルール上左側の平面でしかボールを扱うことができない。この平面の角度、すなわちストローク時におけるスティックの打撃面の角度によって、ボールに加えられる力の方向が変化し、ボールの速度および方向性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

ボールと打具を用いる競技の研究では、多くの場合

がその打撃を行う動作そのものの分析を目的としており^{1,5,6)}、打具とボールの方向性の関係について研究されたものは少ない。また打具の衝撃力に関する研究においては、打撃面に対して法線方向の打撃力について報告されたものがほとんどであり^{2,3,8,10)}、実際のボールの進行方向への力学的考察は行われていない。プッシュを力学法則に従ってボールの方向性についてのみ考えると、ボールに加えられる作用力の方向が常に目標とする方向に向かって作用することが、正確性の高いストロークを生み出すと考えられる。しかしながら実際のストローク動作は回転運動を伴うため、スティックの打撃面が常にボールの目標方向と一致し続けることはありえない。先行研究において⁴⁾、ボールリリース時のスティックの打撃面角度とボールの進行方向との間、またスティックから生み出されるボールの進行方向に向かって左右方向への力積とボールの進行方向との間には、それぞれ高い相関があること

が示されている。しかしながらこの報告は、被験者の最大努力でプッシュを行っており、方向のコントロールについては規定されていなかった。そのため、正確なストロークにおける、打撃面の角度と力積の関係については報告されていない。

そこで本研究では、正確に方向のコントロールがな

表1 被験者一覧

	age (Years)	height (cm)	weight (kg)	career (years)	position
K.Y	20	168	60	9	DF
T.H	22	177	64	6	DF
Y.O	19	171	61	7	MF
R.A	20	172	65	6	MF
T.M	19	175	66	7	FW
M.K	21	170	60	10	FW
average	20.25	172.00	62.50	7.00	
SD	1.09	3.24	2.06	1.22	

されたプッシュストロークについて、ストローク中におけるスティックの打撃面の角度とその変化がボールの速度およびその方向性に及ぼす影響を明らかにし、熟練したストロークを提示しようとした。

2. 方法

2.1 実験方法

被験者は関東学生ホッケーリーグ1部に所属する、全日本ジュニア代表選手1名を含む男子大学生プレーヤー6名であった(表1)。図1に示すように、人工芝の上から1歩踏み込みの予備動作でプッシュを行わせた。実験空間の設定として、ボールをおいた位置を原点とし、ボールの進行方向に対して左右方向をX軸、前後方向をY軸、上下方向をZ軸と設定した。ストロークの

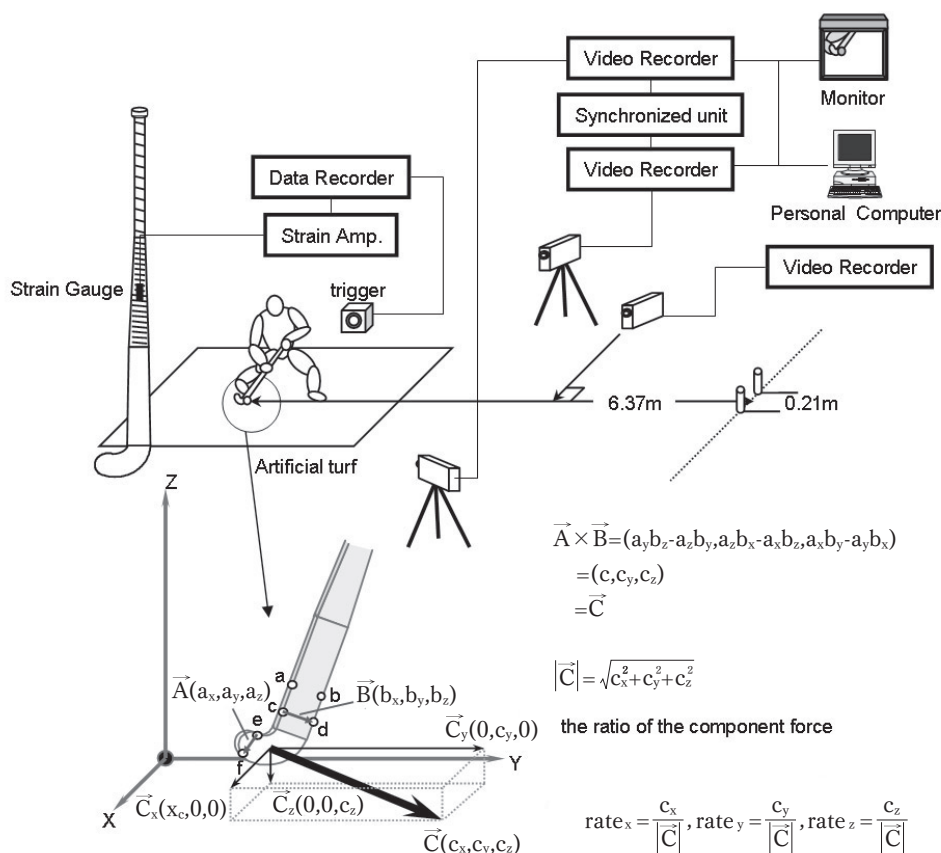


図1 実験・解析システムおよび座標の定義

目標として6.37m (7yards) 前方のY軸上に幅0.21m (ホッケーボールの直径の3倍に相当する広さ) の的を設置し、各被験者には確実にその的にボールを通過させるように指示を与えた。各被験者の的に通過した5回の試行、合計30回の試行が、2台のハイスピードビデオカメラによって400fps、シャッタースピード1/1000で、スティックの先端をズームアップして撮影された。これと同時にストロークされたボールの速度を求めるため、ボールの進行方向に対して垂直な位置から60 fps、シャッタースピード1/1000でビデオカメラにより撮影し、Y軸方向へのボール速度を測定した。

実験に用いたスティックには予めストレインゲージが貼り付けてあり、各試行におけるスティックの打撃面に対して法線方向の歪み量が経時的に記録された。なお、実験に用いたスティックの重量は0.570kg、ボールの重量は0.157kgであった。

2.2 解析方法

得られた2方向の画像データからDLT法を用い、図1に示すaからfまでの打撃面上にある6点およびボールの中心の合計7点について、スティックとボールが接触している間の3次元座標を算出した。これらの点から任意に選ばれた、c, d, e, f点が存在する面を打撃面として、その面上のeからfへ向かうベクトル \vec{A} (a_x, a_y, a_z) およびcからdへ向かうベクトル \vec{B} (b_x, b_y, b_z) を求めた。この両者のベクトル積 \vec{C} (c_x, c_y, c_z) を求めると、

$$\begin{aligned}\vec{C} &= \vec{A} \times \vec{B} \\ &= (a_y b_z - a_z b_y, a_z b_x - a_x b_z, a_x b_y - a_y b_x) \\ &= (c_x, c_y, c_z)\end{aligned}$$

となる。ここで求められるベクトル \vec{C} 積は、ベクトル \vec{A} およびベクトル \vec{B} に対して垂直な方向を持っており、すなわち打撃面に対して法線方向を向いている。また、 c_x, c_y および c_z は各軸方向の成分を示しており、これらからベクトル積 \vec{C} の大きさととの関係を求めることができる。すなわち各軸方向成分のベクトル積の大きさに対する比率はそれぞれ、

$$\text{rate}_x = c_x / |\vec{C}|, \text{rate}_y = c_y / |\vec{C}|, \text{rate}_z = c_z / |\vec{C}|$$

で表すことができる。

そこでストレインゲージから得られた法線方向の歪み量の大きさに、これらの各比率をかけることにより、各軸方向へ向かって生じる力を時系列で求めた。また、得られた力の時系列変化曲線から、各軸方向生じる力積を計算した。このときX軸方向への力積については、時間経過とともに力の方向が変化するため、右方向への力積と左方向への力積の差を示した。同様にZ軸方向への力積についても、上下の差を示した。

力積(I)は力(F)と時間(t)の積であり、また力(F)は質量(m)と加速度(a)の積であり、さらに加速度(a)と時間(t)の積は速度(v)であることから、

$$I = Ft = mat = mv$$

となる。この式を用いて、Y軸方向の力積を質量で除することにより理論的なボール速度を求めた。

3. 結果

図2に30本全ての試行について、スティックとボールが接触してからリリースするまでの、3次元方向および各軸方向へ向かって生じた力の変化を時系列で示した。各試行はそれぞれスティックとボールの接触時間が異なるため、各図の横軸は接触時間を100%とした場合の相対値で表示した。図において正の値は、X軸方向の図で右方向、Y軸方向で前方、Z軸方向で上方を示している。3次元方向およびY方向へのグラフは、ほぼ同様の形状を示した。これに対してX軸方向のグラフからは、ストロークの始めから約80%までの時間帯において、スティックが右方向へ力を作用させ、最終局面において左方向への力を作用させていることが示された。各軸方向に向かって生じた力積を求めると、X軸方向で $0.12 \pm 0.10\text{Ns}$ 、Y軸方向で $4.53 \pm 1.03\text{Ns}$ 、Z軸方向で $-0.10 \pm 0.47\text{Ns}$ であった。Y軸方向への30試行の平均ボール速度は、 $8.49 \pm 1.14\text{m/s}$ を示した。Y軸方向への力積をボールの質量で除することにより理論的な平均ボール速度を求めると、 $28.87 \pm 6.57\text{m/s}$ になり、実測値

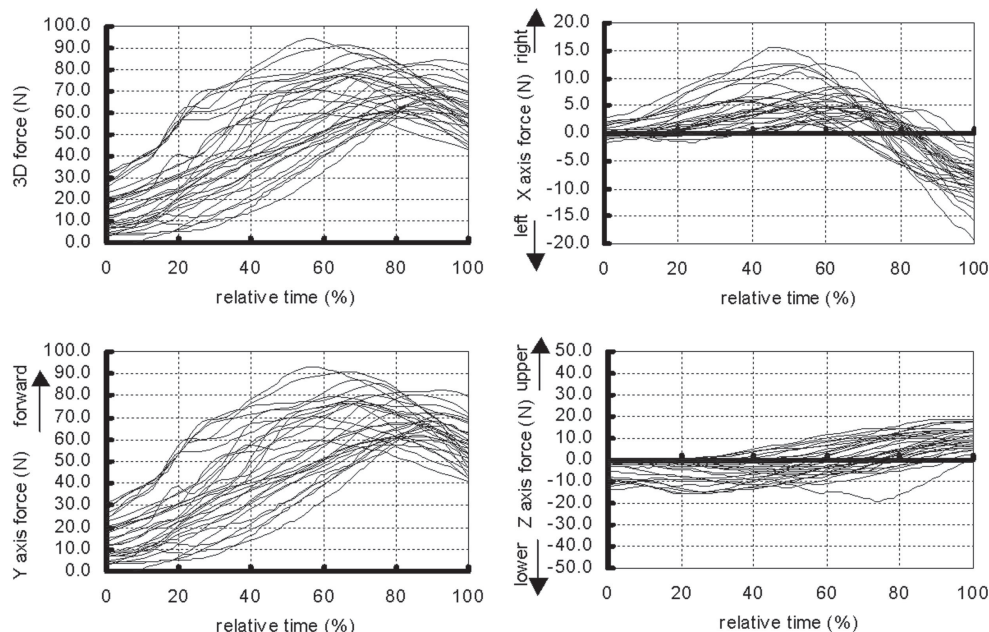


図2 3時限方向への力へ生じる力とその分力

右上図がX、左下図がY、右下図がZ軸方向を示す。
正の値はそれぞれ右方、前方、上方を示す。

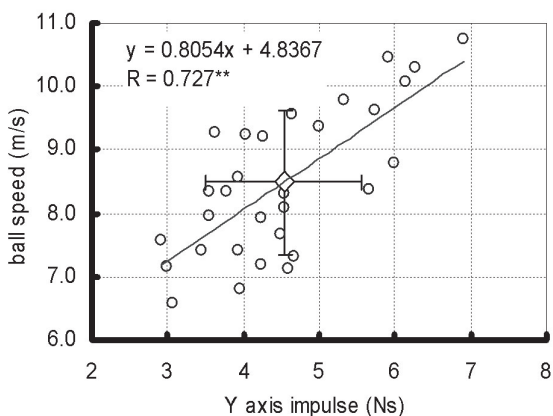


図3 Y軸方向の力積とボール速度の関係

◇は平均値を示す。

はこれに対してわずか29.4%という小さな値しか示さなかった。これらのY軸方向への力積とボール速度の関係を見ると(図3), 両者の間には1%水準で有意な相関関係($r=0.727$)が認められた。

図4にリリース時のXY平面上における打撃面角度とX軸方向の力積との関係を示した。打撃面角度は、打撃

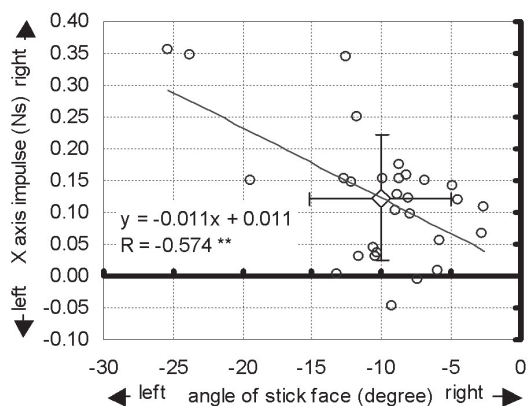


図4 リリース時の打撃面角度とX軸方向の力積の関係

◇は平均値を示す。

面がY軸に対して垂直(X軸と平行)である場合を0°として右方向に傾くと正, 左方向へ傾くと負の値とした。全てのストロークにおいて, 打撃面はボールリリース時に左方向へ傾いており, その角度は平均 $-10.08 \pm 5.11^{\circ}$ であった。これに対してX軸方向の力積からは, ほとんどのストロークにおいて, スティックがボールに対し

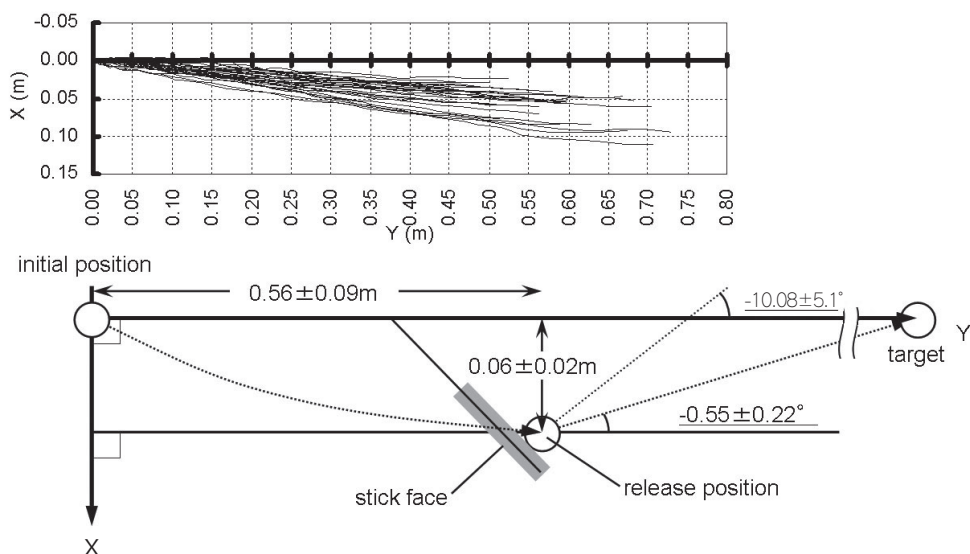


図5 ボールの移動軌跡(上図)と打撃面角度およびリリース角度(下図)

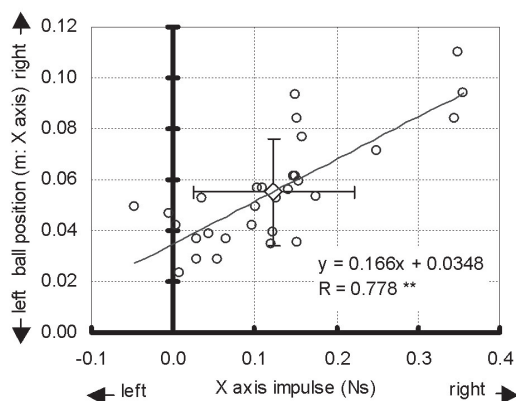


図6 X軸方向への力積とX軸方向へのボールの移動距離の関係

◇は平均値を示す。

て右方向への力を大きく作用させていることを示し、両者の間には1%水準で有意な負の相関($r=-0.574$)が得られた。

図5にスティックとボールが接触している間のボールの移動軌跡を示した。ボールリリースまでの間に、ボールはY軸方向へ平均 $0.56 \pm 0.09\text{m}$ 移動し、その移動はY軸上をするのではなく、わずかに右方向へ移動しながら前方へ移動していることが観察された。この右

方向への移動はリリース時には平均 $0.06 \pm 0.02\text{m}$ に達した。X軸方向の力積とこのリリース時の右方向への移動距離との間には、 $r=0.778$ の高い相関関係が認められ、これは1%水準で有意であった(図6)。

また、図5に示すように、リリース時のボールの位置からゲートの中央をつないだ線とY軸との間の角度を求めると、平均 $-0.55 \pm 0.22^\circ$ を示した。

4. 考察

図2の3次元方向およびY方向へのグラフがほぼ同様の形状を示しており、またY軸方向への力積とボール速度の間に相関が認められていることから、スティックに作用する力の大部分が、Y軸方向へのボールスピードの増大に利用されていることが推測される。これに対してボールの方向性はX軸方向への力によって影響されていたと推測できる。実際、ストロークされたボールの進行方向が、ボールリリース時のスティックの打撃面角度およびX軸方向への力積に影響を受けることは、先行研究によってすでに報告されている⁴⁾。これによるとボールリリース時のスティックの打撃面と

ボールの進行方向との間、およびスティックに作用するX軸方向への力積とボールの進行方向との間には、それぞれ高い相関があった。これに対して、本研究の結果で認められたボールリリース時のスティックの打撃面角度とX軸方向への力積の間の有意な相関(図4)は、ボールの進行方向に対して右方向への力積が大きくなるに従って、リリース時の打撃面の角度が左方向に傾いていくことを示している。ボールの進行方向のみについて物理的に考えると、左右の力積差が0で、リリース時の打撃面角度が0度(原点からの向かう直線に対して垂直)であることが、最も正確なストロークになるであろう。しかしながら打動作では多くの場合身体の内転運動が利用されるため、そのようなストロークは身体運動的に考えて決して現実的ではない。

プッシュのスイング中にも、左股関節の内旋と体幹の左方向への捻転動作および右肩関節の内転屈曲などにより、反時計回りの回転運動が行われる。このような回転運動は、スイングの速度を増大するために重要な動作であり、どのような打動作にも共通した動きである。一般的な打動作では、身体の内転動作によって打具のスイング速度を増大させ、打撃面がボールの目標方向に向いた瞬間にボールを捕らえ、打撃力を伝達している。これに対してプッシュは、図2のY軸方向への力からもわかるように、ボールを捕らえた後に回転運動によってスイング速度を増大させ、徐々にボールに力を加えながら押し出して放つストロークである。このように、他の打動作と比較して長時間打具とボールが接触していることに、回転動作による影響が加味され、スティックとボールが接触している間の打撃面の角度が大きく変化していくものと考えられる。これにより左右方向への力の作用の仕方も変化して左右の力積差が生じる。プッシュにおけるスティックの動きは、ボールと接触している間にグリップエンドを中心として回転するため、打撃面がグリップエンドより後方にある場合は、打撃面が右方向を向き、同方向へ作用する力が大きくなる。図2のX軸の力からは、明らかに右方向への力が大きく作用していることが良くわかる。

また、右方向へ作用する力積が大きくなると、当然ボールは右方向へ運ばれる(図5, 6)。ボールが右方向に

移動すれば、それにしたがってリリースの方向は左方向へコントロールすることが要求される。すなわち被験者は、スティックとボールが接触している間にボールの右方向への位置変化を判断し、リリースの瞬間に打撃面角度を調節することにより、ボールの方向をコントロールしていたものと考えられる。この調節動作がボールリリース時の打撃面角度とX軸方向への力積の間の有意な相関となって現れていると考えられる。また、図2のX軸の力から、ストローク最終局面で左方向へ力を作用させていることがわかるが、これは図5のボールの軌跡からもわかるように、右方向へ運ばれたボールを左に戻す動きではないと考えられる。この動きはむしろボールが右方向へ進もうとする慣性を抑え、的に向かってリリース時のコントロールをするための準備をしているのではないかと考えられる。

リリース時のボールの位置からゲートの中央をつないだ線とY軸との間の角度を求めると、平均 $-0.55 \pm 0.22^\circ$ を示したが、これはリリース時のボールの位置からボールがゲートを通過するために必要とされる角度である。これに対してボールリリース時の打撃面の角度は平均 $-10.08 \pm 5.11^\circ$ を示し、必要とされる角度以上に左方向を向いていた。これはボールが打撃面に対して直角にリリースされているのではなく、打撃面上を右方向へスライドしながらリリースされていたと考えられる。このようにボールをスライドさせるストローク動作は、右方向への力積とリリース時の打撃面角度の関係をうまく調節している動作であると考えられ、ボールの方向をコントロールする上で熟練したストロークであると考えられる。

しかしながらこのように打撃面をスライドするボールの動きは、身体各部位からスティックに伝えられた力を、ボールに効率良く伝達することが難しく、ボールの速度に対しては悪影響を与えているのではないかと考えられる。本来であれば打撃面の角度と実際にリリースする角度が等しくなる、すなわち打撃面に対してボールが垂直に放たれるようなストロークが、方向性および速度のコントロールの両面において最適な値を示すのではないかと推測される。

先行研究による最大努力のプッシュに関する報告に

において、その平均ボール速度は $16.65 \pm 0.57 \text{ m/s}$ を示し、Y軸方向へ向かって生じる力積の平均値は $7.73 \pm 0.45 \text{ Ns}$ であった⁴⁾。本研究で得られた結果はこれらの値と比較すると非常に小さな値であり、その割合はボール速度で約51.0%、力積では約58.6%と、ほぼ半分の値しか示さなかった。これら力積や速度の減少は、先行研究においては最大努力のできる限り速いプッシュを行わせており、ボールの方向を厳密に規定していなかったのに対し、本研究では確実に的を通すという目的を持たせたため、その指示が顕著に影響を与えたものと考えられる。また、Y軸方向への力積から得られたボール速度の理論値に比較して、実測値がわずかに29.4%という小さな値しか示さなかった。これは算出した力積がボールに作用していたのではなく、あくまでもスティックに対して作用したものであり、これらの力が全てボールに作用していたのではないと考えられる。すなわち、ストローク中にスティックと人工芝が摩擦することによって生じる影響を受けていたものと考えられる。また、打撃面上をスライドしながらリリースされていたことにより、ボールへうまく力が伝達されていなかったことも予測される。

プッシュはスティックの回転運動によって、ヘッドに大きな速度を与えてボールスピードを生み出していることは前述のとおりである。その回転運動は主に水平面(XY平面)に近い角度で行われる。そのために打撃面の角度が左右方向へ変化することは避けられず、その結果、ストロークされたボールの方向に誤差が生じる可能性が高い。この誤差を少なくするための方法として、スティックの回転を垂直面(YZ平面)に近い状態で行うことにより、左右方向への打撃面の角度変化が小さくなり、方向のコントロールが正確になる可能性が考えられる。近年、ホッケーでは人工芝グラウンドの普及に伴い、ドラッグプッシュという新しいストロークが現れた。これはスティック先端の曲がった部分にボールを引っかけ、引きずるようにストロークする方法である。このドラッグは、通常のプッシュと比較してスティックとボールの接触時間が長く、スティックの回転もXY平面よりもYZ平面に近くなっていると考えられ、力学的に考えても方向性および速度の両面で優

れたパフォーマンスを発揮するものと考えられる。しかしながら酒井らは⁹⁾、通常のプッシュとドラッグとの比較を行い、通常のプッシュの方が正確性は高く、ボール速度についても速かったと報告されている。今後、このドラッグについても、より詳細な力学的な分析を行う必要がある。

5. まとめ

ホッケー競技のプッシュストロークを対象として、スティックの打撃面角度がボールの方向性に与える影響について研究を行った結果、以下のことが得られた。

スティックの打撃面角度と左右方向への力積の間には有意な相関が得られ($r = -0.574$; $p < 0.01$)、右方向の力積が大きいほど打撃面が左に傾くことがわかった。また、リリース時の打撃面角度は目標方向以上に傾いており、ボールが打撃面上をスライドしながらリリースされていることが明らかになった。これらは被験者がボールの位置を判断し、正確な方向へストロークが行えるように打撃面を調節している、熟練されたストローク動作であると考えられた。しかしながら方向性を重視したストローク法は、速度の面では非効率的であることが示唆された。

参考文献

- 1) Elliott, B. C., and Chivers, L. "A three dimensional cinematographic analysis of the penalty corner hit in field hockey." in Biomechanics XI-B, ed. By Groot, G. D., Hollander, A. P., Huijing, P. A., and Schenau, G. J. V. I., Amsterdam, Free University Press, 1988, 791-797.
- 2) Hatze, H. "Forces and duration of impact, and grip tightness during the tennis stroke." Medicine and Science in Sports. vol.8, no.2(1976), p.88-95.
- 3) 久我晃広・田中さくら・永田晟「ホッケー競技におけるプッシュストロークのキネティクス」『第12回日本バイオメカニクス学会大会論集, 生体・運動のシステムスポーツスキルの向上-』永田晟 第12回日

- 本バイオメカニクス学会大会実行委員会 1995 p.86-90.
- 4) 久我晃広・永田晟・寺田佳代「ホッケー競技における
プッシュストロークのボール速度とスティック角
度」『第13回日本バイオメカニクス学会大会論集,身
体運動のバイオメカニクス』第13回日本バイオメカ
ニクス学会大会編集委員会 第13回日本バイオメカ
ニクス学会大会実行委員会 1997 p.340-345.
- 5) 楠原慶子「ホッケーにおけるヒッティング動作の動
作特性」『平成7年度日本体育協会スポーツ医・科学
研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研
究-第19報-, ホッケー』1996 p.127-132.
- 6) Limerick, R. B., Abernethy, B., and Neal, R. J.
"Experience and backswing movement time
variability." *Human Movement Science*. vol.10
(1991), p.621-627.
- 7) 中西光雄ら「ホッケー選手の体力強化とスキルに関
する研究(2)」『昭和59年度日本体育協会スポー
ツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関
する研究-第8報-, ホッケー』1984 p.109-118.
- 8) Noble, L., and Eck, J. "Effects of selected softball
bat loading strategies on impact reaction impulse."
Medicine and Science in Sports and Exercise.
vol.18, no.1(1986), p.50-59.
- 9) 酒井俊郎・小林和典・勝田茂「ペナルティコーナーに
関する研究-球速と正確性の検討-」『平成5年度
日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技
種目別競技力向上に関する研究-第17報-, ホッ
ケー』1994 p.200-203.
- 10) Weyrich, A. S., Messier, S. P., Ruhmann, B. S.,
and Berry, J. "Effects of bat composition, grip
firmness, and impact location on postimpact ball
velocity." *Medicine and Science in Sports and
Exercise*. vol.21, no.2(1989), p.199-205.

Effect of the Stick Angle on Ball Direction during the Push Stroke in Field Hockey

Akihiro KUGA

[Abstract] The purpose of this study was to investigate the effect of the angle of the striking plane in relation to the ball direction during the push stroke of field hockey. On artificial turf, six subjects performed the push stroke. All subjects were instructed to aim at the target (0.21 meters wide) at seven yards (6.37m) distance. Five trials of each subject that hit the target were recorded by two high-speed video cameras (400 fps, shutter speed 1/1000). Additionally, a strain gauge was used on the stick and the time-force waves of each trial were recorded.

There was a significant correlation ($r=-0.574$; $p<0.01$) between stick angle and impulse force parallel to the X-axis and it is suggested that subjects judging the ball position and adjusting the stick face angle during the period of contact between the stick and the ball. The angle between the line from the target to the release position and the Y-axis was -0.55 ± 0.22 degrees and was less than the stick angle at the release (-10.08 ± 5.11 degree). It is assumed that this may explain the demonstrated difference between the logical velocity and the actual velocity.

[Key words] push stroke, cinematography, strain, ball velocity, ball direction