

バドミントン競技におけるスマッシュ、クリア およびドロップ動作の力学的エネルギーの動態

升 佑二郎¹⁾ 駒形純也¹⁾

Dynamics of the Mechanical Energy on Smash, Clear and Drop Motions in Badminton

MASU Yujiro¹⁾, KOMAGATA Junya¹⁾

抄 録

【目的】

本研究では日本トップレベルの大学生選手におけるスマッシュ、クリアおよびドロップ動作時の力学的エネルギーの動態について検討した。

【方法】

被験者は、全日本学生バドミントン選手権大会優勝チームに所属する男子選手5名とした。フィーダーがフィードしたシャトルコックを各被験者はクリア、ドロップおよびスマッシュストロークにて返球し、その際の動作をMAC3Dシステムを用いて撮影した。

【結果】

力学的エネルギーの動態について、ラケット足の下腿および足、非ラケット足の下腿および足、ラケット腕の上腕および前腕、非ラケット腕の上腕および前腕にスマッシュとドロップ、またはクリアとの間に有意差が認められ ($p < 0.05$)、スマッシュが最も高い値を示した。一方、クリアとドロップ間に有意差は認められなかった。

【結論】

これらのことから、スマッシュ動作においては下肢において大きな力学的エネルギーを産み出し、非ラケット腕は力学的エネルギーの伝達および姿勢の安定性の確保に貢献することにより、ラケット腕にて大きな力学的エネルギーを効果的に活用することができると考えられた。一方、クリアおよびドロップ動作はスマッシュのような大きなパワー発揮は必要とされず、同程度の力学的エネルギーの動態であることが示された。

キーワード：バドミントン、スマッシュ、クリア、ドロップ、力学的エネルギー

1) 健康科学大学 健康科学部 理学療法学科

I. はじめに

バドミントン競技では緩急のあるショットをコート四隅に打ち分け、相手の態勢を崩すことが有利なラリーを展開していく上で必要になる、例えば、コート後方で打球する場合、ネット前にシャトルコックを落下させるドロップショットやコート後方にシャトルコックを落下させるクリアショットを打ち、相手の態勢が崩れた場合には攻撃力の高いスマッシュショットにて得点する。これらのストロークはその時々状況に応じて適切に使い分ける必要がある。

これまでの先行研究ではスマッシュ動作に関する報告が多く存在する¹⁻⁴⁾。升ほか⁵⁾は、日本トップレベルの大学生と高校生選手を対象にスマッシュおよびドロップの動作様式について検討した。その結果、テイクバック時に肩水平外転角度および肘関節屈曲角度を増加させることにより、手関節の活動範囲を増加させることができる。このテイクバック時の動作様式は、スマッシュ動作ではラケットヘッドの移動距離の増加に結びつき、より速いスマッシュショットを放つことができ、ドロップ動作ではラケットヘッドの移動距離を長くすることにより、ラケットを速く振るための動作様式に近い動作が行えるということを報告した。さらに兒嶋ほか⁶⁾は、日本トップレベルの大学バドミントン選手におけるスマッシュ、クリアおよびドロップ動作時の筋活動について検討した。スマッシュやクリアといった瞬間的に大きな力発揮を要するストロークでは前腕及び三角筋の活動が高くなり、大きな力発揮を必要としないドロップではこれらの筋活動が小さくなることが示された。また、クリアとドロップ間では棘下筋への負担に差はなく、それ程大きな負担が生じない場合もあるものの、より速いクリアショットを打ち放つ場合には、スマッシュと同程度の負担が生じる可能性があることが示唆された。このようにバドミントン競技のストローク動作に関する先行研究では、運動学的観点から検討された動作分析や筋活動の特徴について検討されたものがある。

身体運動では、発揮された身体各部の力学的エネルギーを効果的に用いることがより良いパフォーマンスの獲得に関与すると考えられ、様々な動作研究⁷⁻¹⁰⁾において力学的観点から検討されてきた。宮西ほか⁹⁾は、野球の投球動作における体幹及び投球腕の力学的エネルギーの動態について検討し、体幹や肩関節の運動によって生み出されたエネルギーが肘関節、手関節と転移し、ボール速度に関与すると示唆している。バドミントン競技におけるスマッシュ動作は投動作と類似した運動様式であり、投動作においてボール速度を高めるために体幹から手関節へとエネルギーを伝達させていくことが重要なように、バドミントン競技のスマッシュ動作において、より速くラケットを振るためには身体各部の力学的エネルギーを手関節へと効果的に伝達させることが重要であると推察される。升¹¹⁾は、スマッシュ動作時の力学的エネルギーの動態について検討し、非ラケット足をラケット足に速く引き寄せる動作を行うことにより、非ラケット足の力学的エネルギーを増加させることができ、下肢で大きなエネルギーを生み出すことにより、上肢においてもより大きなエネルギーを発揮することができるということを報告し

た。このようにスポーツパフォーマンスの評価方法として力学的エネルギーを検査することは有効であるものの¹²⁾、クリアやドロップ動作について力学的エネルギーの観点から検討された報告はみあたらない。

そこで本研究では、日本トップレベルの大学生選手におけるスマッシュ、クリアおよびドロップ動作時の力学的エネルギーの動態について検討することにより、各ストロークの特性を理解するための資料を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、全日本学生バドミントン選手権優勝チームに所属する男子選手5名（全員右利き）とした（年齢： 18.5 ± 0.5 歳、競技経験： 11.8 ± 0.8 年、身長： 174.0 ± 8.2 cm、体重： 67.0 ± 6.8 kg）。なお、全被験者には測定に関する目的及び安全性について説明し、任意による測定参加の同意を得た。本研究は、健康科学大学研究倫理評価委員会の承認を受けて実施した（平成28年3月31日、承認番号第36号）。

2. ストローク動作の撮影方法

クリア、ドロップ及びスマッシュ動作は、バドミントンコートの周囲に設置したモーションキャプチャーシステム MAC3D（Motion Analysis 社製、フィルムスピード毎秒240コマ、シャッタースピード1/1500秒）8台を用いて撮影した。撮影範囲は、バドミ

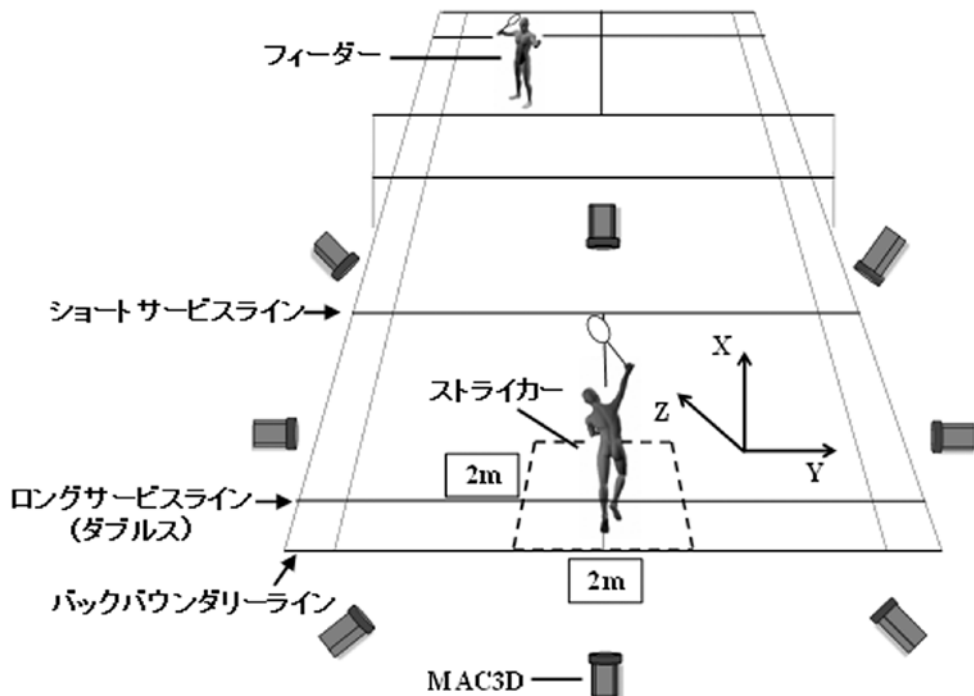


図1 ストロークの撮影状況

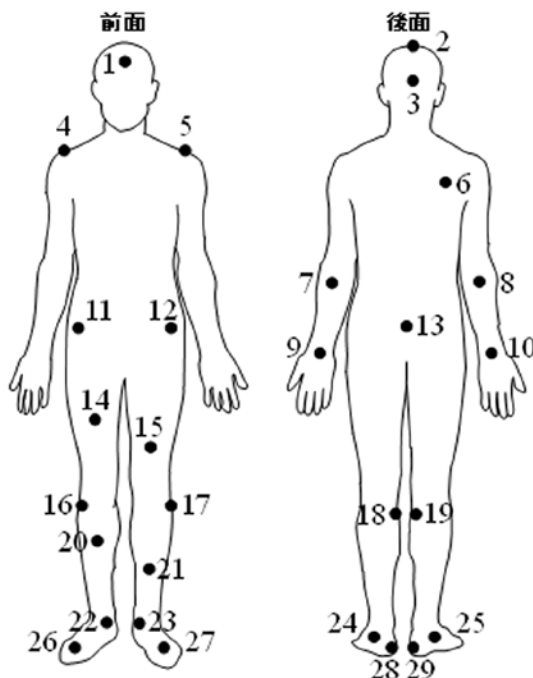


図2 マーカー貼付部位

ントコート内のセンターラインとバックバウンダリーラインの接点から左右1m、ネット方向に向かって2mとした(図1)。3次元座標について、X軸はセンターライン方向、Y軸はネットに対して平行方向、Z軸は床に対して垂直方向と設定した。

被験者は、上体は裸、下腿はハーフタイツ、バドミントンシューズを着用した状態で測定を行った。また、反射マーカーを身体の計29箇所につけた。反射マーカー設置部位は、Helen Hayes マーカーセット法に従い、頭部(1、2、3)、肩峰(肩関節: 4、5)、右肩甲骨下角(6)、肘橈骨側(肘関節: 7、8)、手関節(9、10)、上前腸骨棘(11、12)、第5腰椎(13)、大腿骨(14、15)、大腿骨外側上顆(16、17)、大腿骨内側上顆(18、19)、脛骨(20、21)、内踝(22、23)、外踝(24、25)、第2指中足骨(26、27)、踵(28、29)とした(図2)。

3. 分析試技および動作局面の定義

フィーダーは撮影範囲内にシャトルコックをフィードし、各被験者にクリア、ドロップおよびスマッシュを打たせた。ダブルスロングサービスラインとバックバウンダリーライン間にシャトルコックを落下させるショットをクリア、ショートサービスラインより手前にシャトルコックを落下させるショットをドロップ、最大努力で鋭角に打つショットをスマッシュとし、スタンディングの姿勢において各ストロークを行わせた。撮影エリア内においてシャトルコックを打ち、なおかつ明らかに打球態勢が崩れて不自然と判断されるものを除き、各ストローク2試技ずつ各被験者の動作を撮影した(分析対象: クリア10試技、ドロップ10試技、スマッシュ10試技)。シャトルコックのコルク

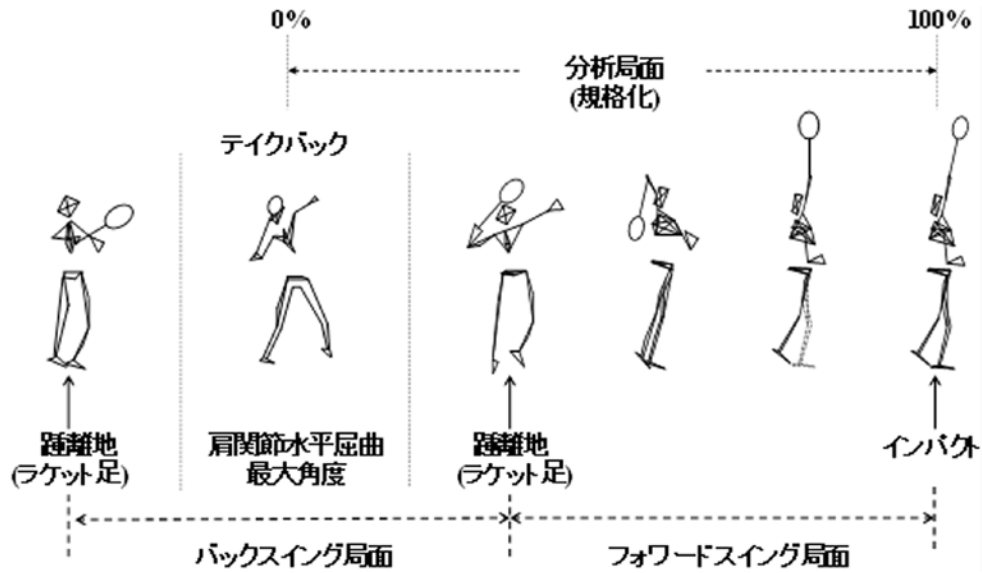


図3 分析局面

部分に反射テープを巻き、フィードされたシャトルコックの落下軌道が変わる時点を入力時として判断した。

本研究の分析試技であるオーバーヘッドストロークは、まず、非ラケット足（ラケットを持っていない側の下肢）を軸にラケット足（ラケットを持っている側の下肢）及びラケット腕（ラケットを持っている側の上肢）を後方に移動させ、体側をネット方向に向け、ネットに対して半身の姿勢を作る。その半身の姿勢から、落ちてくるシャトルコックにタイミングを合わせ、ラケット足及びラケット腕を前方に移動させると同時にラケットを動かし、シャトルコックを打つといった動作様式が行われる。この一連の動作様式は、クリア、ドロップおよびスマッシュともに同様に行われる。

本研究では、バックスイングの姿勢をとるためにラケット足の踵が離地したコマからバックスイングの姿勢後にラケット足の踵が離地したコマまでをバックスイング局面、バックスイング局面終了時のコマからインパクトに至るまでをフォワードスイング局面とした（図3）。さらにバックスイング局面において、肩関節水平屈曲角度が最大値を示した時点を取バック動作として定義した。

4. 力学的エネルギーの算出

得られた座標データに対して、人体寸法・形状データベース（産業技術総合研究所）を基に各被験者の筋骨格モデルの調整を行った後、下記の式から大腿、下腿（脛骨側）、足、上腕、前腕（橈骨側）、手の力学的エネルギーを算出した(1)。これらの解析は筋骨格解析ソフトウェア（nMotion）を用いて行った。

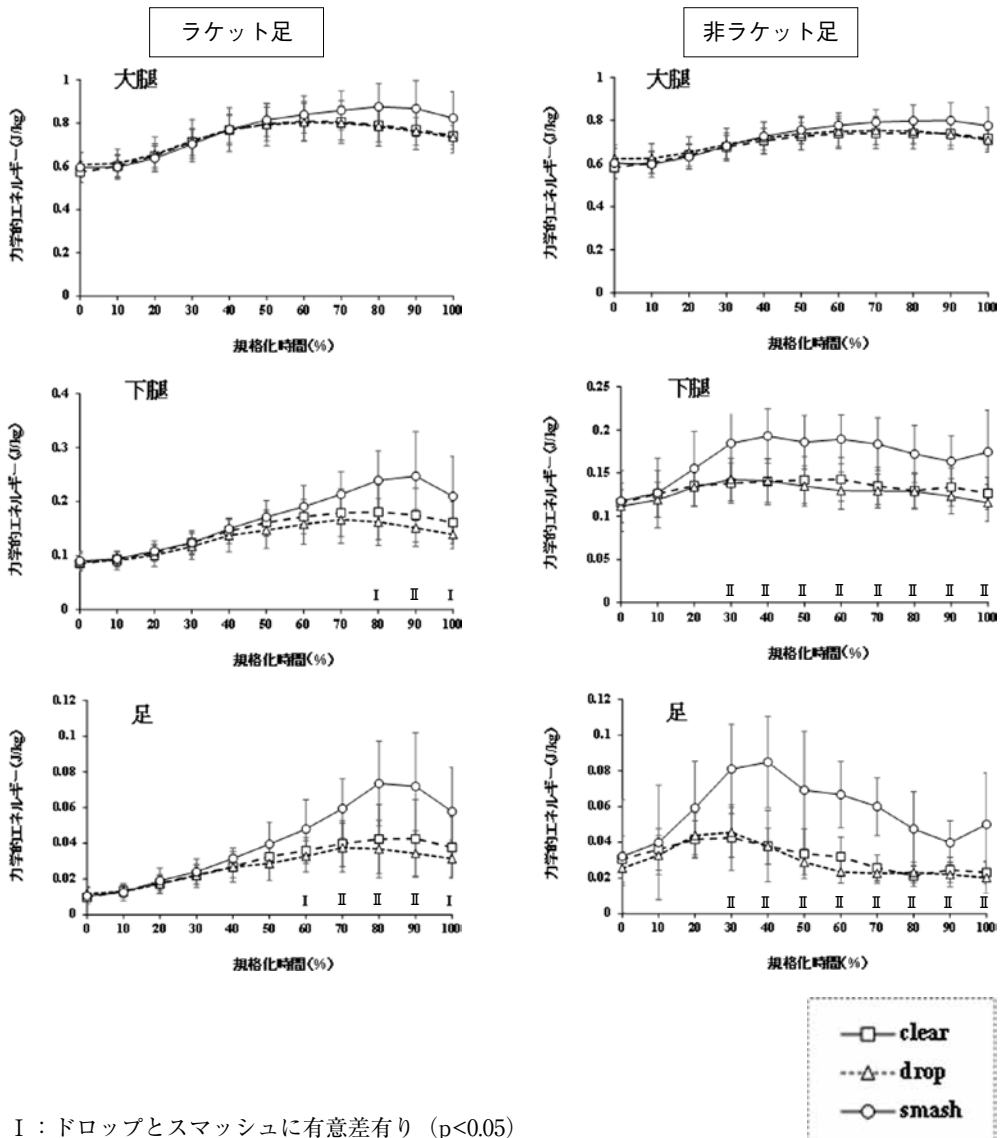
$$E_{i,j} = m_i g h_{i,j} + \frac{1}{2} m_i v_{i,j}^2 + \frac{1}{2} I_i \omega_{i,j}^2 \quad (1)$$

ここで、 E_i 、 j は時刻 j における部分 i の力学的エネルギー、 g は重力加速度、 v_i は静止座標系における部分の中心速度、 ω_i は部分中心の角速度であり、部分質量 (m_i)、部分の中心座標の高さ (h_i) 及び部分中心まわりの主慣性モーメント (I) である。

5. データの規格化・平均化と統計処理

本研究の力学的エネルギーのデータは、テイクバック動作時を0%とし、シャトルをインパクトした時点を100%として規格化した(分析局面)。

全ての測定項目における値は、平均値 (Mean) ± 標準偏差 (SD) で示した。統計処



I : ドロップとスマッシュに有意差有り (p<0.05)

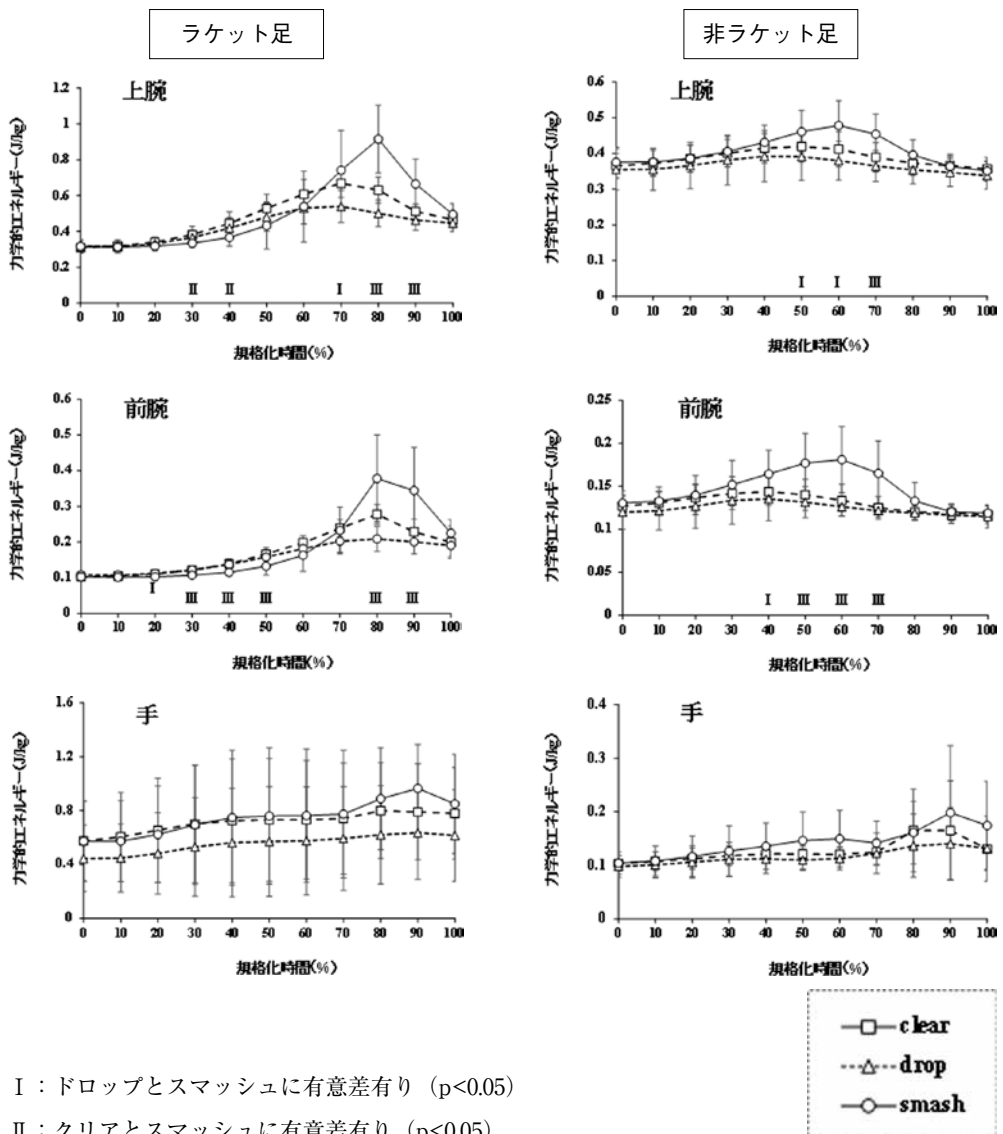
II : ドロップとスマッシュ (I)、クリアとスマッシュに有意差有り (p<0.05)

図4 下肢の力学的エネルギーの動態

理には統計処理ソフト (Stat View) を用いた。有意差の検定は一元配置の分散分析を行い、要因に有意な主効果が認められたものに対し、Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行なった。有意水準は 5% 未満とした。

Ⅲ. 結 果

下肢の力学的エネルギーの動態を図 4 に示した。ラケット足の下腿 (80%~100% 局面) および足 (60%~100% 局面) にスマッシュとドロップ、またはクリアとの間に有意差が認められ ($p<0.05$)、スマッシュが最も高い値を示した。非ラケット足において



I : ドロップとスマッシュに有意差有り ($p<0.05$)

II : クリアとスマッシュに有意差有り ($p<0.05$)

III : ドロップとスマッシュ (I)、クリアとスマッシュ (II) に有意差有り ($p<0.05$)

図 5 上肢の力学的エネルギーの動態

も下腿 (30%~100% 局面) および足 (30%~100% 局面) にスマッシュとドロップおよびクリア間に有意差が認められ ($p<0.05$)、スマッシュが最も高い値を示した。

上肢の力学的エネルギーの動態を図5に示した。ラケット腕の上腕 (30~40% 局面、70~90% 局面) および前腕 (30~50% 局面、80~90% 局面) にスマッシュとドロップ、またはクリアとの間に有意差が認められ ($p<0.05$)、スマッシュが最も高い値を示した。非ラケット腕においても上腕 (50~70% 局面) および前腕 (40~70% 局面) にスマッシュとドロップ、またはクリアとの間に有意差が認められ ($p<0.05$)、スマッシュが最も高い値を示した。

IV. 考 察

スポーツパフォーマンスにおいて、短距離走のように力学的エネルギーが大きいほど、高いパフォーマンスが得られると考えられる動作もあるが、長距離走のように上下動の大きい疾走フォームで走ると、力学的エネルギーが大きくてもパフォーマンスが高くないばかりか、逆に低くなる動作もある¹³⁾。このように効率良くエネルギーを活用し、持続的な運動を行うことが求められる動作と、より大きな力を発揮することが求められる動作では力学的エネルギーの評価内容が異なる。野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れについて検討した報告によると、下肢からの力学的エネルギーは体幹から上腕、前腕、手、ボールへと伝達されていくことが示唆されている^{9,10)}。このような下肢から上肢へと最大値が順次出現する現象は運動連鎖の原則と呼ばれ、この運動連鎖によって上肢末端部の速度をより大きくすることができる¹⁴⁾。バドミントン競技におけるスマッシュ動作においてもラケットを速く振ることが求められることから、投球動作と同様に運動連鎖の原則に基づく下肢から上肢へと力学的エネルギーを伝達させる動作様式を行うことが必要になる。特に、下肢において大きな力学的エネルギーを産み出す動作様式を行うことにより、スイング速度を高めることができるということが指摘されている¹¹⁾。一方、本研究の力学的エネルギーの動態において、ドロップとスマッシュ間、もしくはクリアとスマッシュ間に有意差が認められた。ネット際のコート前方にシャトルコックを落下させることが求められるドロップはスマッシュのように大きなパワーを発揮する必要はない。また、クリアにおいてはコート後方にシャトルコックを落下させることからドロップよりは大きなパワー発揮が求められる可能性がある。しかしながら本研究において、クリアとドロップ間に有意差が認められる項目はなかった。従って、コート後方にシャトルコックを落下させるクリアにおいてもスマッシュのような大きなパワー発揮は必要とされなかったことにより、力学的エネルギーの動態に有意差は認められなかったと考えられた。

ジャンピング・スマッシュ動作における三次元的角運動量を算出した報告によると¹⁵⁾、空中にあるスマッシュ動作は角運動量保存の法則に従い、身体各部分の密接な協調動作によって構成されている。特に下肢は、踏み切りで得た角運動量を利き腕のスイングへの伝達、利き腕とのバランス取りに大きな役割を果たし、胴体、左腕及び頭部は、角運

動量の伝達、利き腕の拮抗運動に重要な役割を果たしていることが指摘されている。本研究において、非ラケット腕の力学的エネルギーはスマッシュがクリアおよびドロップよりも有意に大きな値を示した。非ラケット腕の動きはストローク時の姿勢の安定性を確保するために重要な役割を担い、安定した姿勢でラケットを振ることは打ち放つシャトルの正確性や無駄なエネルギーを消費せず、効率良く動くために必要となる。また、テイクバック動作時に弓矢を引くようにラケット腕を後方に引き、胸を張る（大胸筋を伸ばす）。そしてラケット腕が前方に移動すると同時に非ラケット腕を内側に移動させることにより（大胸筋が縮む）、大胸筋のSSC運動が生じ、ラケットを速く振ることができる¹⁶⁾。この大胸筋のSSC運動を活用するために非ラケット腕を速く動かしたことにより、力学的エネルギーがドロップおよびクリアよりも有意に高い値を示したと考えられた。これらのことから、スマッシュ動作においては下肢（ラケット足および非ラケット足）において大きな力学的エネルギーを産み出し、非ラケット腕は力学的エネルギーの伝達および姿勢の安定性の確保に貢献することにより、ラケット腕にて大きな力学的エネルギーを活用できると考えられた。一方、クリアおよびドロップ動作はスマッシュのような大きなパワー発揮は必要とされず、同程度の力学的エネルギーによって動作が行われることが示された。

V. まとめ

本研究では、日本トップレベルの大学生選手におけるスマッシュ、クリアおよびドロップ動作時の力学的エネルギーの動態について検討した。その結果、以下の知見が得られた。

力学的エネルギーの動態について、ラケット足の下腿および足、非ラケット足の下腿および足、ラケット腕の上腕および前腕、非ラケット腕の上腕および前腕にスマッシュとドロップ、またはクリアとの間に有意差が認められ ($p < 0.05$)、スマッシュが最も高い値を示した。一方、クリアとドロップ間に有意差が認められた部分はなかった。

これらのことから、スマッシュ動作においては下肢において大きな力学的エネルギーを産み出し、非ラケット腕は力学的エネルギーの伝達および姿勢の安定性の確保に貢献することにより、ラケット腕にて大きな力学的エネルギーを効果的に活用できると考えられた。一方、クリアおよびドロップ動作はスマッシュのような大きなパワー発揮は必要とされず、同程度の力学的エネルギーの動態であることが示された。

〈参考文献〉

- 1) Sakurai S., Ohtsuki T.: Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *Journal of Sports Sciences*, 18 : 901-914, 2000.
- 2) 升佑二郎, 田中重陽, 熊川大介, 他: 日本トップレベルの大学生と高校生バドミントン選手におけるスマッシュ動作の運動学的考察-ラケットヘッドの移動軌跡及び肩関節運動に着目して. トレーニン

- グ科学, 22(3): 257-268, 2010.
- 3) 湯海鵬, 安部一佳, 加藤幸司: バドミントンのスマッシュ動作の3次元動作解析-前腕と手関節の動きを中心に. 体育学研究, 38: 291-298, 1993.
 - 4) 升佑二郎, 角田直也: 中学バドミントン選手におけるスマッシュショット速度に関わる能力の一考察. 体育の科学, 61(11): 879-884, 2011.
 - 5) 升佑二郎・田中重陽・角田直也: バドミントン競技におけるスマッシュ及びドロップ動作のキネマティック的分析-テイクバック動作に着目して. トレーニング科学, 23(4): 305-320, 2012.
 - 6) 兒嶋 昇, 升佑二郎, 上村孝司: 日本トップレベルの大学バドミントン選手におけるオーバーヘッドストロークの筋活動. 法政大学スポーツ健康学研究, 5: 33-40, 2014.
 - 7) Christopher A. M., Mary C. V.: Determination of the step duration of gait initiation using a mechanical energy analysis. Journal of Biomechanics, 29(9): 1195-1199, 1996.
 - 8) 榎本靖士, 阿江通良, 岡田英孝, 他: 力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾走技術. バイオメカニクス研究, 3(1): 12-19, 1999.
 - 9) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 他: 野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギー・フローに関する3次元解析. 体力科学, 46: 55-68, 1997.
 - 10) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 他: 野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れ. バイオメカニクス研究, 8(1): 12-26, 2004.
 - 11) 升佑二郎: バドミントン競技のスマッシュ動作における大学生及び高校生選手の比較-力学的エネルギーに着目して. 東京電気大学総合文化研究, 9: 197-207, 2011.
 - 12) 窪 康之, 阿江通良: 力学的エネルギーからみた立幅跳の踏切動作における技術トレーニングの効果. バイオメカニクス研究, 9(4): 205-216, 2005.
 - 13) 石田明充, 廣川俊二, 宮崎信次, 他: 身体運動のバイオメカニクス, コロナ社, 東京, pp 140-141, 2002.
 - 14) 阿江通良, 藤井範久: スポーツバイオメカニクス 20講, 朝倉書店, 東京, pp 13-14, 2002.
 - 15) 湯海鵬: 角運動量保存から見たバドミントンのスマッシュ動作. バイオメカニクス学会誌, 13: 33-40, 1996.
 - 16) 升佑二郎: バドミントン競技におけるオーバーヘッドストロークの指導理論. 健康科学大学紀要, 12: 43-53, 2016.

Abstract

Objective : This study aimed to investigate the dynamics of mechanical energy generated during smash, clear, and drop shots performed by top-level Japanese university badminton players.

Methods : Five male badminton players belonging to a top-ranked team in the All Japan Badminton Championships were instructed to deliver these strokes. Each stroke motion was recorded using MAC3D System Cameras.

Results : Significant differences in the dynamics of mechanical energy were observed in the racket foot (leg and foot), non-racket foot (leg and foot), racket arm (upper arm and forearm), and non-racket arm (upper arm and forearm), with higher values during the smash motion compared with clear and drop motions. No significant differences were observed between the clear and drop motions.

Conclusion : When delivering smash shots, greater mechanical energy may be generated by the lower limbs (both racket and non-racket legs and feet), which is effectively used by the racket arm after being transferred from the non-racket arm, contributing to postural stability. On the other hand, the dynamics of mechanical energy are similar between clear and drop shots, neither of which requires the use of such great power as smash shots do.

Key word : badminton

smash

clear

drop

mechanical energy