

バスケットボールのフリースロー動作における足底圧力の解析に関する研究

中村 恒平^{*1}, トッド パタキ^{*2}

Plantar pressures in basketball free-throw movements

Kohei NAKAMURA ^{*1} and Todd C. PTAKY

^{*1} Shinhu Univ. Division of Mechanical Engineering and Robotics
Tokita 3-15-1, Ueda city, Nagano, 386-0000 Japan

Free-throws are one of the important factors for deciding basketball game outcomes. The purposes of this research were to analyze free-throws by measuring plantar pressures during free-throw movements and to explore the potential to construct free-throw training feedback application using plantar pressure sensors. Ground reaction force impulse was tested in a comparison between highly skilled and unskilled subjects. The impulse of skilled subjects was significant smaller than those of unskilled subjects. Skilled subjects also threw the ball using shorter durations and smaller ground reaction forces. In addition, the variability of impulse was much more stable in skilled subjects. The meaning of these results is likely that skilled shooters can throw the ball more efficiently with high level of movement reproducibility.

Key Words : Foot Biomechanics, Basketball Free-thorw, Ground Reaction Force

1. 緒 言

バスケットボールにおいてフリースロー（以下、FT と表記する）は、試合の勝敗を決定付ける重要な要素のひとつであることが一般に知られている。FT による得点が全得点を占める割合は約 20 % であり⁽¹⁾、試合終盤、特に競り合っている試合ではその割合はさらに増加する⁽²⁾。

FT について研究している例は多く、選手の心理面についての研究⁽³⁾や成功率についての統計学的な研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾、また FT 動作のメカニズムについての運動学的な研究などが存在する。FT 動作についての運動学的な研究の多くは、モーションキャプチャを用いた研究であり、動作の効率性、再現性といった事項について言及されている⁽⁶⁾⁽⁸⁾。しかしながら、それらの研究が実際の FT 動作トレーニングに応用され、FT 成功率により影響を与えているかは疑問である。というのは、FT のトレーニングにおいて、選手はシュートを撃つたびに自分が理想的なフォームにどれだけ近づけているか把握し、動作を記憶していく必要がある。その選手の FT 動作を客観的に評価するため、または、理想的な FT 動作のモデルを構築するため、延いては FT 成功率向上に貢献するために FT の研究は存在している。しかし、選手が練習のたびにモーションキャプチャを装着し、自分の動きを客観的に把握することは、費用や手間、またはモーションキャプチャのセンサによる動作の制限などの問題から、実質的に困難なのである。FT 動作向上トレーニングは、より実際の練習環境に近い状況で、利用しやすいフィードバックが用いられるべきであり、また、そのための研究が必要である。

そこで本研究では、バスケットボール選手の FT 動作時の足底圧力（以下、足圧と表記する）を解析する。足圧はリハビリテーション⁽⁹⁾や個人認証⁽¹⁰⁾といった分野においてはすでに研究されており、スポーツ分野においての応用も可能であると考えられる。足圧計測の利点は、シューズ内部の圧力センサのみを計測機器として用いており、選手の動作の妨げになりにくい点である。近年では、圧力センサを内蔵したシューズ NIKE+ (NIKE, Oregon, USA)が開発されており⁽¹¹⁾、それはスマートフォンや PC と連携して使用され、客観的データを可視化するシステムである。このようなシステムを用いることで、足圧を解析して得られた客観的データを FT 動作の向上にフィードバックさせることが可能であると考えられる。本論文ではその初期段階として、足圧解析から FT 熟達者と未熟

^{*1} 学生員, 信州大学 理工学系研究科

^{*2} 正員, 信州大学 (〒386-0000 長野県上田市常田 3-15-1)
E-mail: 12fm324d@shinshu-u.ac.jp

者でどのような差異が見られるかを調べ、FT 動作における足圧解析の応用の可能性を示唆する。

ある FT 動作時の関節運動の影響を調べた先行研究では、フリースロー成功率が高い選手ほど関節運動の再現性が高いということが報告されている⁽⁷⁾。足圧分布計測においてもフリースロー成功率と足圧パラメータの再現性に関係性を見出せることが望ましい。

2. 実験・解析方法

2・1 計測機器

FT 動作時の足圧計測機器として、Pedar X (NOVEL, Munich, Germany)を用いた (図 1)。Pedar X はシューズの中敷状の圧力センサによって足圧を計測し、Bluetooth によって PC にデータを送信する。送信されるデータは時系列の 2 次元 ASCII データとして保存される。Pedar X のサンプリングレートは 50 Hz であり、これは 1.0~1.5 秒を動作時間として要する FT 動作の計測において十分である。Pedar X は NIKE+ と比べ、空間分解能が高く、より詳細なデータを得ることができるので、初期段階としては Pedar X を計測機器として使用する。

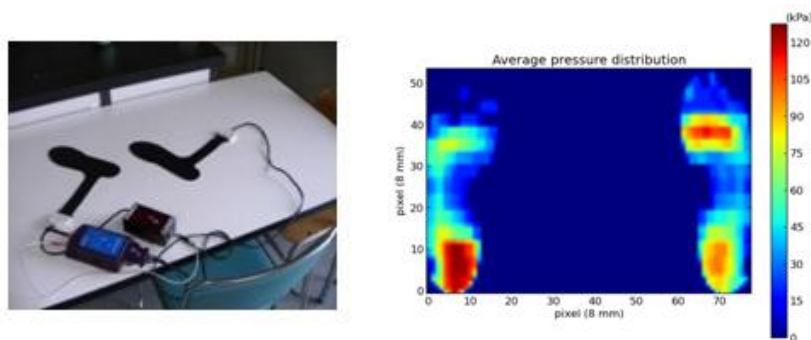


Fig. 1 Pedar X and average plantar pressure distribution.

2・2 解析ソフト

データ処理や解析にはオープンソースのプログラミング言語 Python 2.7 を用いた。Python 言語を編集するエディタは Canopy (Version 1.0) (Enthought, Austin, USA) である。

2・3 被験者

2 グループの被験者を用意した (Skilled グループ, Unskilled グループ)。Skilled グループの被験者は、信州大学男子バスケットボール部の部員であり、週 5 日以上コンスタントに練習を行っている。一方、Unskilled グループの被験者は、大学バスケットボールサークルの部員や、過去に高校の部活動などでバスケットボールを行っていた経験のある人たちである。いずれのグループも 8 名で構成されている。怪我や病気による動作への障害はなく、全員右利きである。以下の表 1 にそれぞれのグループの被験者の情報を記す。各値は被験者の情報の平均値であり、括弧内の値は標準偏差を表している。

Table 1 Subject characteristics

Group	Skilled	Unskilled
Age [years]	21.4 (1.11)	24.1 (4.96)
Mass [kg]	78.0 (7.18)	65.1 (4.23)
Height [cm]	182.8 (6.14)	175.6 (4.58)
Shoe size [cm]	28.9 (0.95)	27.1 (0.42)
Competitive experience [years]	8.25 (1.39)	5.38 (3.16)
Percentage [%]	81.1 (8.21)	48.3 (7.58)

2・4 実験方法

被験者は Pedar X を装着し、フリースローライン上の規定された位置（図2参照）に立つ。観測者の合図とともに計測を開始し、被験者は FT 動作を行い、ゴールに向かってボールを放つ。FT 成功・失敗の如何に関わらず計測を 50 回行う。

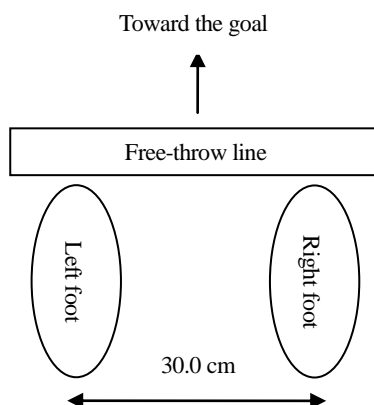


Fig. 2 Position of standing

2・5 解析方法

FT 熟達者 (Skilled グループ) と未熟者 (Unskilled グループ) の比較において、今回は特に床反力やその周辺要素に有意差が見られるかを解析した。有意差の有無の判断は t 検定によって行った (有意水準 $p = 0.05$)。

表 1 の Percentage の項目は各グループの実験時の平均 FT 成功率である。なお括弧内の値は標準偏差を表している。Skilled グループと Unskilled グループの成功率の有意差は t 検定によると $p < 0.01$ であり、有意差が見られる。週 5 日以上コンスタントに大学バスケットボールチームで練習を行っている Skilled グループとサークル活動で週 1、2 日程度の練習を行っている Unskilled グループでは、Skilled グループの方が成功率は有意に高い。この 2 グループの足圧解析を行うことで、FT の技巧と足圧の関係性を言及することが可能である。

解析を行った項目は以下の 3 項目である。

①床反力の時系列的変位およびその力積 FT 動作においてボールをゴールに向かって投じるとき、シューターは床を足で押して反力を生み出し、それを調整してボールに伝達する。そのときの床反力の時系列的変移は図 3 のような山型の波形となる。図 3 はある被験者の全試行の平均荷重の時系列データ 1.0 秒間を示しており、被験者は 0.0 秒においてボールを投じている。床反力を得るため一度荷重が上昇し、その後ボールに力を伝達し投じるため荷重は減少していることが図からわかる。

図 4 は Skilled グループ、Unskilled グループそれぞれの全被験者の平均圧力を表している。図 4 から見てわかるように FT 成功率の高い Skilled グループの方が Unskilled グループよりも床反力の増減の波形が小さい。そこで各グループにおける床反力の時系列的変位の総和 (力積; Impulse) について比較を行った。

式(1)のように、シュート動作前の 0.2 秒間の床反力の平均とその標準偏差の和によって閾値 (threshold, th) を設定し、その閾値以上の荷重の合計を力積とする (図 3 参照)。Skilled グループと Unskilled グループにおける力積の有意差を t 検定によって判断する。

$$th = \overline{\Delta F} + SD_{\Delta F} \quad (1)$$

②動作時間 図 4 を見ると、Unskilled グループは Skilled グループに比べ、床反力の増加開始が早いように見える。そこで、動作時間についても力積を算出した時と同様に閾値を設け、Skilled、Unskilled グループで有意差は見られるか調べた。荷重が閾値を超えた時点から動作終了(0.0 s)までを動作時間とした。

③力積の変動性 Skilled グループの選手が高い動作の再現性において FT 動作を行っているのか確認するため、各被験者の試行による力積の標準偏差を変動性 (Variability) の指標として用いた。Variability が小さいほど、被験者は毎試行において同程度の荷重によってボールを投じており、すなわち FT 動作の再現性が高いと言えることができる。

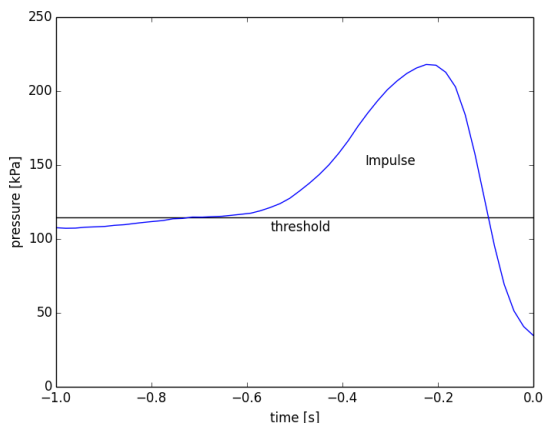


Fig. 3 An instance of impulse divided by threshold

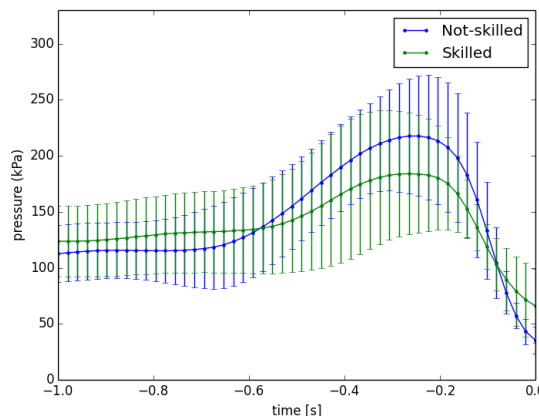


Fig. 4 Mean ground reaction force of skilled and unskilled group

3. 結果・考察

3・1 力積

Skilled と Unskilled グループの力積を比較した結果は、表 2 の Impulse の項目である。 $p < 0.01$ であり Skilled グループは有意に力積が小さいと判断した。 Skilled グループの被験者の力積が小さい理由は、より効率的に動作を行っているためであり、それによって高い動作の再現性を有していると思われる。

先行研究において、FT 動作をビデオカメラで撮影し、選手の体重と FT 動作時の重心移動距離の積を仕事量として FT 熟達者と未熟者の比較を行ったものがある⁽⁸⁾。その結果は、熟達者と未熟者の間に仕事量の有意差はなしと報告されている。それに対し、本実験では FT 動作時の床反力の力積において、2 グループ間の有意差が認められた。この結果の相違は、足圧計測による力積の算出の方が、より正確に FT 動作に用いられた内在的なエネルギーを求めることができるためであると考えられる。

3・2 動作時間

Skilled と Unskilled グループの動作時間を比較した結果は、表 2 の Duration の項目に示されている。 $p < 0.05$ であり有意差ありと判断した。このことから、Unskilled グループの被験者は Skilled グループの被験者に比べ、動作時間が有意に長いことが示された。FT 動作がよりコンパクトであることは動作の効率性と深く関わっていると思われる。

3・2 力積の変動性

Skilled と Unskilled グループの力積の変動性を比較した結果は、表 2 の Impulse Variability の項目に示してある。有意差は、 $p < 0.001$ であり、Skilled グループの Variability が有意に小さかった。したがって、Skilled グループは FT 動作における床反力の再現性が Unskilled グループに比べて明らかに高いと言えることができる。

先行研究において、FT 成功率の高い被験者ほど関節運動の再現性が高いということが報告されていた⁽⁷⁾が、床反力においても FT 成功率の高い選手ほど再現性が高く、関節運動と床反力という異なるパラメータ間ではあるが、FT 動作を評価するパラメータとして先行研究と一致する結果を得られた。

Table 2 Group results

Group	Skilled	Unskilled
Percentage (%)	81.1 (8.21) [†]	48.3 (7.58) [†]
Impulse (kPa)	711.8 (392.2) [‡]	1875 (703.6) [‡]
Duration (s)	0.55 (0.11)*	0.71 (0.15)*
Impulse Variability (kPa)	125.2 (19.9)**	331.3 (125.6)**

[†] Significant difference between skilled and unskilled subjects in FT success percentages ($p < 0.01$).

[‡] Significant difference between skilled and unskilled subjects in Impulse ($p < 0.01$)

* Significant difference between skilled and unskilled subjects in moving duration ($p < 0.05$)

**Significant difference between skilled and unskilled subjects in Impulse Variability ($p < 0.001$)

4. 今後の展望

4・1 圧力中心

今回行わなかった FT 熟達者と未熟者の比較項目として、足圧解析の主な指標のひとつである圧力中心 (Center-of-Pressure, COP)がある。COP を解析することにより、FT 動作中の身体の動きや足底のバランス等を知ることが可能である。これは上肢の運動学的解析のような複雑な力学に比べ、非常にわかりやすいパラメータとして用いることができるものである。FT 動作中における COP の変位の仕方や変動性を、熟達者と未熟者間で有意差が存在するかどうか確認することで、足圧解析による FT 動作評価の応用可能性が広がると思われる。

4・2 より詳細な実験

今回の実験は、FT 熟達者 8 名と未熟者 8 名について比較したものであった。被験者 8 名ずつという人数は必ずしも十分な人数とはいえないかもしれない。さらに FT 熟達者とはいえ、被験者はアマチュア選手である。より詳細な実験で信頼できるデータを得るには、被験者の人数を増やし、なおかつプロ選手の協力を得て解析を行いたい。それによって今回と同様、もしくはより強い傾向の結果を得ることができれば、足圧解析による FT 動作の評価という題目の説得力が増すだろう。

4・3 FT トレーニングシステムへの応用

足圧解析によって FT 動作の詳細な評価が完了した後は、トレーニングシステムへの応用を行う予定である。現在構想しているシステムの概要は以下の通りである。トレーニングシステムには持ち運びに便利なスマートフォンをプラットフォームとしたアプリケーションを用いるのが好ましいと思われる。システムにはあらかじめ理想的なモデル (FT 高成功率のプロ選手のデータなど) の足圧パラメータ (COP, 力積, 荷重開始のタイミングなど) をインプットしておく。シューターは足圧計測シューズを履き FT 動作を行い、圧力データはリアルタイムでスマートフォンに送信される。そのデータが各パラメータについて理想的なモデルとどの程度差異があるか数値化、あるいは可視化を行うことで、改善点を一回一回シューターにフィードバックするシステムである。これによってシューターは自分の FT 動作の問題点を、逐一客観的に把握することができ、FT 動作の向上をスムーズに行うことができると考える。

5. 結 論

今回の実験では、FT 熟達者と未熟者の 2 グループ間における FT 動作の足圧解析を行った。比較した項目は床反力の力積、動作時間および力積の変動性の 3 項目であった。それぞれの項目において 2 グループ間で有意差が

見られた。FT 熟達者は床反力の力積が有意に小さく、動作時間も短かった。また、床反力の変動性についても2グループ間で有意差が見られ、Skilled グループはFT 動作における床反力の再現性が高いとわかった。今後、FT 動作における足圧解析をより詳細に行っていくことで、FT トレーニングシステムの構築可能性を探っていく予定である。

文 献

- (1) Hays, D., and Krause, J.V., "Scores on the Throw", The Basketball Bulletin, National Association of Basketball Coaches of U.S., Winter, (1987)
- (2) Kozar, B. and Vaughn, R.E., Lord, R.H., Dye, B. "Importance of free-throws at various stages of basketball games", Perceptual and Motor Skills, vol. 78, (1994), pp. 243-248.
- (3) 大神訓章, 児玉善廣, 野寺和彦, 金 亨俊, "バスケットボールゲームにおけるシュートのブレに関する分析的研究", 山形大学紀要 (教育科学), Vol. 15 No. 3 (2012), pp. 37-48
- (4) 鈴木 勉, "バスケットボールの試合における, フリースロー得点の勝敗に対する影響, 及びフリースロー練習課程におけるスキル分析", 日本体育学会神奈川支部発表, (1975), pp. 1-11.
- (5) 八坂昭仁, 野寺和彦, "バスケットボールのゲームにおけるショット成功率が勝敗に及ぼす影響", 九州共立大学, スポーツ学部研究紀要, No. 1 (2007), pp. 17-22.
- (6) 塩見哲大, 湯浅景元, "バスケットボールのフリースローにおけるボール運動および関節運動の再現性", 中京大学体育学論叢, Vol. 44, No. 1 (2002), pp. 29-34.
- (7) 元安陽一, "バスケットボールのフリースロー成功率に及ぼす関節運動の影響", 上智大学体育学会, Vol. 44 (2010), pp. 5-12.
- (8) 山本博男, 田中治彦, 近岡 守, 川口 勝, "バスケットボールのフリースローにおける機械的効率とその改善", 金沢大学教育学部紀要 自然科学編, Vol. 35 (1986), pp. 103-109.
- (9) 松田隆治, 田中睦英, 押川武志, "歩行時の足底圧分布に関する調査 ～足底圧分布測定器による歩行分析～", 九州保健福祉大学研究紀要, Vol. 7 (2006), pp.199-203.
- (10) Pataky, T.C., Mu, T., Bosch, K., Rosenbaum, D. and Goulermas, Y. "Gait recognition: highly unique dynamic plantar pressure patterns among 104 individuals", J. R. Soc. Interface doi:10.1098 / rsif.2011.0430
- (11) <http://www.nike.com/jp/ja.jp/lp/basketball>