

〈原 著〉

高フィジカルパフォーマンス選手は競技中動作負荷も高いのか？ ～加速度計による体幹身体衝撃を指標として～

Do high physical performance athletes have a greater impact during a sport event based on the index for trunk acceleration?

永野 康治¹, 笹木 正悟², 市川 浩³, 湯田 淳⁴,
吉田 孝久⁴, 島田 結依², 佐々木 直基⁴, 柴田 雅貴¹
YASU HARU NAGANO¹, SHOGO SASAKI², HIROSHI ICHIKAWA³, JUN YUDA⁴,
TAKAHISA YOSHIDA⁴, YUI SHIMADA², NAOKI SASAKI⁴, MASAKI SHIBATA¹

Abstract

High physical performance athletes need to exert great physical force during movement. It is unknown whether a high physical performance athlete carries a high physical load in jump-landing, acceleration, deceleration, or high-impact movements during a sport event. The purpose of this study was to examine the relationships between physical performance and physical load in female basketball athletes during a real game event. Trunk acceleration of sixteen female basketball athletes was measured during a basketball game, and frequency of high-impact movements greater than 4G was calculated. Vertical jump height, rebound jump index, 20 m sprint time, and pro-agility time were measured as indicators of physical performance. The frequency of high-impact movements during the basketball game did not show a significant correlation with the physical performance rating. The results suggest that the superiority and inferiority of physical performance does not determine the quality of movement loads during a basketball game, which depends more on the athlete's play style.

Key words: Ball games, Wearable sensor, Physical load

¹Department of Sports and Health Science, Japan Women's College of Physical Education

²Faculty of Health Sciences, Tokyo Ariake University of Medical and Health Sciences

³Department of Health and Sports, Niigata University of Health and Welfare

⁴Department of Sports Science, Japan Women's College of Physical Education

緒言

トレーニングの主な目的にスピードや跳躍高の向上といったフィジカルパフォーマンス向上があげられる。先行研究 (Tsuchi et al. 2008, 有賀ら 2012, 山田ら 2020) においてもこれらの指標をトレーニング実施の参考としている。こうしたパフォーマンスの向上にはより大きな力の発揮が必要となるが、力の発揮に伴う負荷が競技中に繰り返し身体にかかることにより外傷や障害が引き起こされることも考えられる。しかし、外傷、障害発生との関係については、ジャンプ着地時の膝関節運動と膝前十字靭帯損傷の関係 (Myer et al. 2015) やランニング動作と膝関節障害の関係 (Stefanyshyn et al. 2006) など動作自体との関係が検討されているが、フィジカルパフォーマンスとの関係は検討されておらず、スピードや跳躍高などが高い選手において、実際の競技動作中においても高い負荷が課されているかは不明である。むしろ、フィジカルパフォーマンスの低い選手ほど、競技中に自身の身体レベルに比して高い動作を要求され、その結果、負荷が高くなることも考えられる。

競技中の負荷指標としては、試合・練習時間、移動距離、心拍数、乳酸値、自覚的運動強度などが用いられている (Vanrenterghem et al. 2017)。しかし、時間や距離ではその間の強度が考慮されず、心拍数や乳酸値は主に循環器系やエネルギー供給系への負荷を示すものである。さらに、自覚的運動強度は複合的な要因による結果であると考えられる。そのため、これらの指標では競技中の筋骨格系に対する動作強度を定量化できず、筋骨格系への負荷指標として使用可能であるかは不明である。そこで我々は体幹部の加速度計測による身体衝撃指標を用いた検討を行ってきた (Nagano et al. 2016, Nagano et al. 2016, 笹木ら 2017, 永野ら 2020)。体幹加速度の計測では体幹部の上部背面に固定した加速

度データを用い、その場合、動作制限がほとんど起こらないため、実際の競技動作中の計測が可能である (永野ら 2020)。また、着地時の体幹加速度は床反力と回帰関係にあり (Nagano et al. 2016)、着地時 (笹木ら 2017) や繰り返し時 (Nagano et al. 2016) の体幹傾斜角度を反映するなど、動作時の特性を評価可能である。バスケットボールにおいても身体衝撃指標を用いた評価を行い、4G以上の動作には減速、方向転換、ストップ、着地動作が多く含まれ、競技中における外傷好発動作頻度の評価が可能と示唆された (永野ら 2020)。つまり、身体衝撃指標を用いることで、競技中の筋骨格系への負荷を定量化できると考えられる。

そこで本研究では大学女子バスケットボール選手を対象にフィジカルパフォーマンスと競技中の動作負荷の関連性を検討することを目的とした。フィジカルパフォーマンス指標として垂直跳び、リバウンドジャンプ指標、20m スプリント、プロアジリティを計測し、さらに、競技中の負荷指標として競技中の高衝撃頻度を、加速度センサを用いて計測した。バスケットボールはその競技特性として、ジャンプ着地や切り返しを伴うスプリントを繰り返すことから、これらのフィジカルパフォーマンス指標を採用した。仮説としては、フィジカルパフォーマンスの低い選手、とくにリバウンドジャンプなど短時間での力発揮能力の低い選手は、競技中の高衝撃動作頻度が高くなる、とした。

方法と対象

1) 対象

関東大学女子バスケットボールリーグ2部に所属する健常女子大学バスケットボール選手16名 (年齢 20.0 ± 0.9 歳, 身長 1.68 ± 0.06 m, 体重 63.9 ± 6.9 kg; 平均±標準偏差) を対象とした。対象者のポジションはガード1名, フォワード8名, センター7名であった。研究に際し、日本女子体育大学研究倫理委員会の承認を

受けた（承認番号 2016-9）．対象者には事前に研究の説明を行い，書面にて研究に対する同意を得た．

2) 動作計測

対象者の体幹上部背面に 3 軸加速度センサ（サンプリングレート 100 Hz）（SPI HPU, GPSports, Australia）を，専用ベストを用いて固定した．本研究では，この体幹上部における加速度データを体幹加速度として使用した．さらに圧迫性のあるインナーシャツを着用し，体動や振動によるセンサのずれを抑制した．この状態で上肢運動を妨げないことを確認した．センサは各軸方向を重力方向に向けた際の加速度を 1G と設定した．センサ軸方向は，X 軸を左右方向，Y 軸を上下方向，Z 軸を前後方向とした．対象者は加速度センサを装着した状態でバスケットボール 1 試合（練習試合）間の加速度計測を行った．試合は他大学との練習試合（7 名）および校内試合（9 名）であり，それぞれ別日に 1 ピリオド 10 分を 4 ピリオド行った．交代はヘッドコーチの指示のもと制限なく行い，各選手の出場時間を記録した．計測されたデータは加速度計内のメモリに保存され，計測終了後データを回収し，データ解析を行った．計測された 3 軸加速度データから合成加速度 (1) を求め，合成加速度の値から高衝撃 (4G 以上) 動作頻度 (回 / 分) を求めた．

$$\text{合成加速度} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

X : 左右方向加速度 Y : 上下方向加速度

Z : 前後方向加速度

フィジカルパフォーマンス計測は垂直跳び，リバウンドジャンプ，20m スプリント，プロアジリティの計測を行った．垂直跳びはジャンプマット（フォーアシスト社製）上にて立位姿勢から脚の反動動作を用いての最大跳躍とした．跳躍中の滞空時間を計測し，跳躍高を算出した (2)．計測は 2 回行い，最高値を採用した．

$$\text{跳躍高(cm)} = 1/8 \cdot g \cdot \text{滞空時間(sec)}^2 \quad (2)$$

g : 重力加速度 (9.8)

リバウンドジャンプはジャンプマット（フォーアシスト社製）上にて，連続垂直跳びを，接地を極力短く，かつ，高く飛ぶ指示のもと 5 回行った．1，5 回目の着地を除いた 3 回の接地 - ジャンプ時における跳躍高を垂直跳びと同様に算出し，接地時間で除することでリバウンドジャンプ指数 (3) を算出し，その最高値を採用した．なお，両試技とも腕の位置について規定はせず腕振りは自由とした．

リバウンドジャンプ指数

$$= \text{跳躍高(m)} / \text{接地時間(s)} \quad (3)$$

20m スプリントはスタート地点および 20m 地点に TC Timing System (Brower Timing Systems, USA) を設置し，スタートから 20m 通過までのタイムを計測した．計測は 2 回行い，最速値を採用した．プロアジリティテスト (非特定営利活動法人 NSCA ジャパン 2003) はスタートラインから 5m を走行後，180 度の方向転換を行いさらに 10m を走行し，再度方向転換をして 5m 走行しスタートラインに戻るまでの時間を計測した．計測は TC Timing System (Brower Timing Systems, USA) を用いて行い，方向転換の際には手は床に着かないこととした．計測は 2 回行い，最速値を採用した．

3) データ解析

高衝撃動作頻度と垂直跳び跳躍高，リバウンドジャンプ指数，20m スプリントタイム，プロアジリティタイムの関係についてピアソンの積率相関係数およびその 95% 信頼区間を算出し，無相関の検定を行い相関係数の有意性を検討した．なお，各計測値について，Shapiro-Wilk 検定を行い，正規分布に従うことを確認した．有意確率は 0.05 未満とした．

結果

対象者の出場時間は 29.8 ± 11.6 min であった．測定結果を Table 1 に示した．高衝撃動作頻度と垂直跳び跳躍高，リバウンドジャンプ指

Table 1 Results of measurements

	Average	SD
Frequency of high-impact (>4G) movements (cases/min)	27.7	15.1
Vertical jump height (cm)	34.0	3.9
Rebound jump index (m/s)	1.7	0.3
20 m sprint time (s)	3.6	0.1
Pro-agility time (s)	5.5	0.2

Table 2 Correlation coefficient with frequency of high-impact movements

	Correlation coefficient	95% confident interval	p value
Vertical jump height	-0.309	-0.70 — 0.22	0.24
Rebound jump index	0.017	-0.48 — 0.51	0.95
20 m sprint time	0.067	-0.44 — 0.54	0.80
Pro-agility time	-0.172	-0.62 — 0.35	0.53

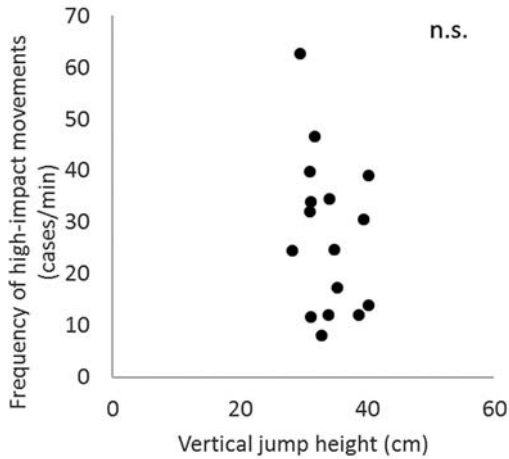


Figure 1 Relationship between vertical jump height and frequency of high-impact movements (n.s.; not significant)

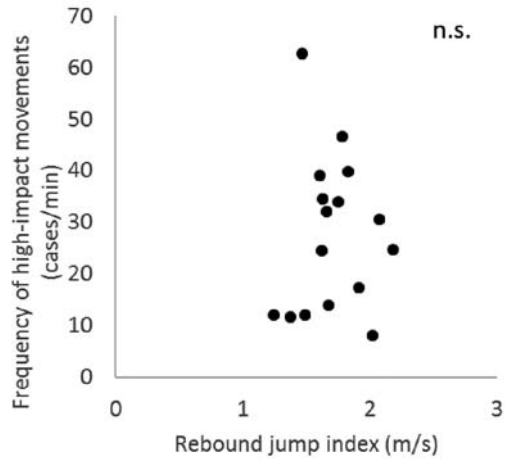


Figure 2 Relationship between rebound jump index and frequency of high-impact movements (n.s.; not significant)

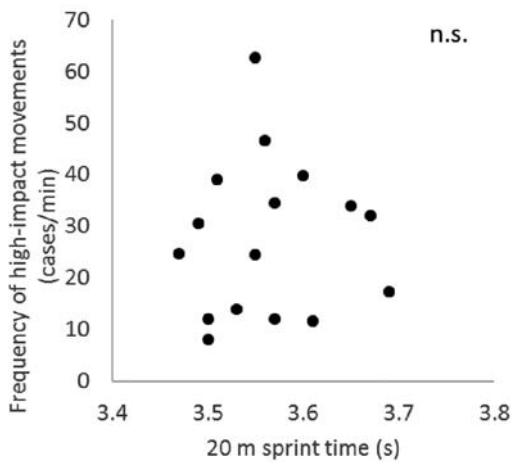


Figure 3 Relationship between 20 m sprint time and frequency of high-impact movements (n.s.; not significant)

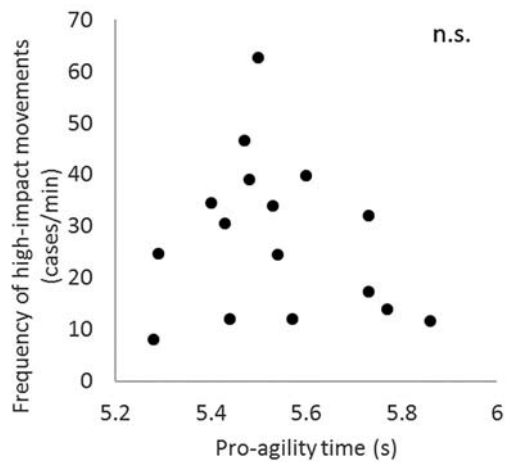


Figure 4 Relationship between pro-agility time and frequency of high-impact movements (n.s.; not significant)

数、20m スプリントタイム、プロアジリティタイムの関係を Figure 1~4 に示し、相関係数および 95%信頼区間、p 値を Table 2 に示した。いずれも有意な相関関係はみられなかった。

考察

本研究では、大学女子バスケットボール選手を対象にフィジカルパフォーマンスと競技中の動作負荷の関連性を検討した。フィジカルパフォーマンス指標として、垂直跳び跳躍高、リバウンドジャンプ指数、20m スプリントタイム、プロアジリティタイムを、動作負荷として試合中の高衝撃動作頻度を求め、その関係性を検討したが有意な相関関係は認められなかった。試合中の高衝撃動作は減速、方向転換、ストップ、着地動作が多く含まれ(永野ら 2020)、これらの動作は遠心性収縮が求められる筋骨格系への負荷が高い動作と考えられるため、高衝撃動作頻度を本研究では動作負荷量の指標として使用した。この指標と、各フィジカルパフォーマンス指標との間に相関関係がみられなかったことは、ジャンプやスプリント、方向転換といった体力要素の優劣は競技中の動作負荷の大小とは関係なく、その選手のプレースタイルに依るところが大きいと考えられる。例えば、減速動作が好発する場面として、オフェンス時に周りの選手にあわせて自身の位置を素早く移動させる場合や、ディフェンス時に相手選手のマークに着く場合があげられるが、こうした動きの際にかかる衝撃を身体で吸収できず、大きな衝撃が課される動作を行う選手であれば、競技中の高衝撃動作頻度が大きくなるといえる。

リバウンドジャンプ指数に関して、本研究における対象者の平均値は、大学女子バレーボール選手(有賀ら 2012)や運動を専門的に行っていない男性(Tauchi et al. 2008)と同程度であった。リバウンドジャンプでは連続して着地-跳躍動作を行うため、バスケットボール競技中の素早い減速、方向転換、着地など瞬時に次

の動作が求められるものと同様の動作形態であると考えられた。そのためリバウンドジャンプ指数と競技中の高衝撃動作頻度との間に関係性が見られると仮説を立てたが、相関関係はみられなかった。これは前述したように競技中の高衝撃動作が着地-ジャンプ能力よりプレースタイルに依存するためと考えられる。本研究ではポジション別の検討は行わなかったが、ゴール下でのプレーが主となるセンタープレーヤーと、比較的コートでの動きの多いフォワード、ガードプレーヤーでは競技中に求められる動作が異なると考えられる。そのため、リバウンドジャンプ能力の必要性も異なる可能性があり、今後、対象者を増やし、ポジション毎のリバウンドジャンプ能力と競技中の高衝撃動作特性を検討する必要がある。一方、リバウンドジャンプ指数が高い場合、より短時間に大きな力発揮に耐えられる能力を有するとも解釈できるため、同じ強度、頻度の衝撃動作が加わったとしても、個人に対する相対的な負荷は小さくなる可能性がある。本結果より、リバウンドジャンプ指数と高衝撃動作頻度に関係性がみられなかったことから、リバウンドジャンプ指数は高衝撃動作頻度とは別の外傷・障害発生に関わる要素として検討する必要があると考えられる。

本研究の限界として、横断的な研究であるため個人におけるフィジカルパフォーマンス指標の変化が競技中の高衝撃動作頻度に与える影響については不明である。そのため、トレーニング等によってフィジカルパフォーマンスを向上させることが、動作負荷を減少させる可能性はある。また、対象者はそれぞれ1試合ずつの測定であったため、高衝撃動作頻度とその試合展開に左右された可能性がある。今後は試合展開により、同一対象者においても高衝撃動作頻度に変化がみられるか検討する必要がある。最後に、実際の外傷・障害発生状況の調査は行っていないため、フィジカルパフォーマンス指標や動作負荷が外傷・障害につながるかは不明であり、今後の研究課題といえる。

結語

- ・バスケットボール大学女子選手において、フィジカルパフォーマンス指標として垂直跳び跳躍高、リバウンドジャンプ指標、20m スプリント、プロアジリティを計測し、さらに、競技中の負荷指標として競技中の高衝撃頻度を、加速度センサを用いて計測し、関係性を検討した。
- ・試合時の高衝撃動作頻度はどのフィジカルパフォーマンス指標とも相関関係を認めなかった。
- ・ジャンプやスプリント、方向転換といったフィジカルパフォーマンスの優劣は競技中の動作負荷の大小とは関係なく、その選手のプレースタイルに依るところが大きいと考えられた。

謝辞

本研究は平成 31 年度日本女子体育大学大学院共同研究費の補助を受けて行われた。測定に協力いただいた対象者の皆さん、日本女子体育大学バスケットボール部（当時）の峯岸莉沙さんに感謝申し上げます。

文献

- 有賀誠司, 積山和明, 藤井壮浩: 方向転換動作のパフォーマンス改善のためのトレーニング方法に関する研究: 女子バレーボール選手におけるリバウンドジャンプ能力に着目して. 東海大学スポーツ医科学雑誌, 24: 7-18, 2012.
- 非特定営利活動法人 NSCA ジャパン, Ed. ストレングス&コンディショニングII【エクササイズ編】. 東京, 大修館書店, 2003.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Di Stasi, S. L., Foss, K. D., Micheli, L. J. and Hewett, T. E.: High knee abduction moments are common risk factors for patellofemoral pain (PFP) and anterior cruciate ligament (ACL) injury in girls: is PFP itself a predictor for subsequent ACL injury? Br. J. Sports Med. 49(2): 118-122, 2015.
- Nagano, Y., Sasaki, S., Higashihara, A. and Ichikawa, H.: Relationships between trunk and knee acceleration and the ground reaction force during single limb landing. ISBS 2016, Proceedings of the 34 International Conference of Biomechanics in Sport, Tsukuba, Japan, International Society of Biomechanics in Sports. 875-878, 2016.
- Nagano, Y., Sasaki, S., Higashihara, A. and Ishii, H.: Gender differences in trunk acceleration and related posture during shuttle run cutting. Int. Biomech. 3(1): 33-39, 2016.
- 永野康治, 笹木正悟, 市川浩: バスケットボール競技中における前十字靭帯損傷好発動作の抽出. JOSKAS. 45(3): 655-659, 2020.
- 笹木正悟, 永野康治, 福林徹: 異なる片脚着地動作が体幹加速度と体幹角度, 下肢角度に及ぼす影響. 日本臨床スポーツ医学会誌, 25(2): 239-247, 2017.
- Stefanyshyn, D. J., Stergiou, P., Lun, V. M., Meeuwisse, W. H. and Worobets, J. T.: Knee angular impulse as a predictor of patellofemoral pain in runners. Am. J. Sports Med. 34(11): 1844-1851, 2006.
- Tauchi, K., Endo, T., Ogata, M., Matsuo, A. and Iso, S.: The Characteristics of Jump Ability in Elite Adolescent Athletes and Healthy Males: The Development of Countermovement and Rebound Jump Ability. Int. J. Sport Health Sci. 6: 78-84, 2008.
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A. and Drust, B.: Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. Sports Med. 47(11): 2135-2142, 2017.
- 山田魁人, 奥平柗道, 九鬼靖太, 吉田拓矢, 前村公彦, 谷川聡: 男子学生サッカー選手におけるパワー発揮能力とスプリント能力および方向転換能力の関係: 跳躍タイプによる違いに着目して. Football Science. 17: 1-10, 2020.