ボールバウンシング課題の速度増加局面における動作特性の変容

岩見 雅人¹⁾ 木塚 朝博²⁾

Masato Iwami¹ and Tomohiro Kizuka²: Movement characteristics during the speed-increase phase in a ball bouncing task. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 56: 313-323, December, 2011

Abstract : The present study aimed to examine the difference in upper limb movement characteristics between basketball players and novices during the speed-increase phase in a basketball bouncing task. Two-dimensional video analysis and electromyography were used to clarify the motor control with increase in bouncing speed. The participants were 9 college basketball players and 6 novice subjects. The basketball players had approximately 10 years of experience in playing basketball and were now in training for approximately 5 days per week in their college basketball team. The novices had learned how to play basketball in their physical education class, but the ball bouncing movement was not a familiar task for them. The subjects were instructed to synchronize their movement with an external audio signal (100 bpm), and to change the bouncing speed as quickly as possible when a LED signal was lighted. During the bouncing task, two-dimensional body kinematics (joint angular displacements) were measured using a high-speed camera at 100 frames/s. Electromyographic changes were measured by surface electromyograms (EMGs) obtained at the shoulder, elbow, and wrist muscles; the co-contraction index (CI) was calculated on the basis of the activities of the flexor and extensor muscles of each joint.

We found that the amplitude of angular displacement in the elbow and wrist joints was greater in the basketball players than in the novices. In each group, EMG activities, especially those of the elbow and wrist muscles, showed different changes with increased bouncing speed. In the speed-increase phase, the wrist muscles CI in the basketball players was less than that in the novices. The results of this study indicate that basketball players bounce the ball with a greater range of motion and less joint stiffness. In contrast, novices have a more restricted range of motion and higher co-contraction in the speed-increase phase. Thus it appears that basketball players can control a ball with a longer ball contact time and lower co-contraction, and can produce a more effective bouncing movement in the speed-increase phase.

Key words : basketball, change of pace, angular displacement, co-contraction

キーワード : バスケットボール, チェンジオブペース, 角度変位, 同時収縮

I 緒 言

対人スポーツにおいて、周囲の状況や他のプレイヤーの動きの変化に合わせて素早く動作を切り換えることは、より高度なパフォーマンスを達成するための重要なスキルである。このような状

況の変化に対して、動作を適切に制御し、また学習やトレーニングによって更に最適化していくことが、より高度なパフォーマンスへつながると考えられる。では、日常動作やスポーツ動作において、我々は状況の変化に対してどのように動作を制御し、対応しているのだろうか。

先行研究を概観すると、リーチング動作等に対

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 筑波大学人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 岩見雅人

1. *Doctoral Program in Physical Education, Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1, Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1, Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author iwami.masato.gb@u.tsukuba.ac.jp

して機械的に作り出した力場 (Force Field) を適用し、力場の負荷設定によって動作中の状況を変化させた際の動作特性の変容を捉えた研究がいくつかみられる (Osu et al., 1999, 2002; Darainy and Ostry, 2008). この力場を用いることで、動作に外乱を与えるような状況を設定することができ、その変化に対する応答を実験的に捉えることが可能となる。Osu et al. (1999, 2002) はこの力場を用いた研究から、ヒトはリーチング動作中の外乱に対して、神経—筋機能の調節によって関節スティフネスを適切に変化させていると報告している。また、高德・藤原 (2009) は光刺激に対して動作の「大きさ」を素早く切り換える反応課題を用い、その切り換え局面において上腕の主働筋および拮抗筋の筋放電パターン (主に放電時間や放電量) が変化したと報告している。このように、状況の変化やそれに対応するための「動作の切り換え」に関する動作特性が捉えられている。

実際のスポーツ動作において、特に対人競技や球技では、相手選手やボールの動きに反応して動作速度や方向を切り換える場面が多くみられる。例えば、バスケットボールやハンドボールなどにおいて頻繁に用いられるボールの「バウンスング」動作では、安定したパフォーマンスを実現するためにリズムカルかつ正確な動作が求められ、また実践場面では、状況によって動作速度を変化させる「Change of pace」などの技術が要求される。また、バウンスング動作は球技スポーツにおける基礎技術としても位置づけられ、バスケットボールやハンドボールにおける主要な攻撃パターンの一つとして取り上げられている (佐藤, 1985 ; 泉ら, 2002)。

バウンスング動作に着目したこれまでの研究として、Broderick and Newell (1999) は4歳から22歳までの熟練度の異なる被験者を用い、バスケットボールのバウンスング中の上肢の関節角度の変化を捉えた。その結果、熟練群は上肢関節の角度変位パターンが一定であり、バウンスングのリズムを維持できていたが、一方で未熟練群は関節の角度変位パターンを一定に保つことができず、各関節における動作の変動が大きかったと報

告している。また、Katsuhara et al. (2010) の最近の研究では、バスケットボール群 (大学バスケットボール選手) と対照群 (一般大学生) のバウンスング動作を比較したところ、バスケットボール群はボールの落下地点やボールと手の接触時間の変動が少なく、時空間的に安定した動作が可能であったと報告している。これらの研究から、熟練度によってバウンスング動作に伴う関節の角度変位パターンや、時空間的な安定性が異なることが明らかにされている。このように、経験年数や競技レベルなどの差から表される熟練度によって、バウンスングの動作特性が異なることがいくつかの研究で報告されている。しかし、これらの先行研究ではキネマティクスデータを指標として比較、検討しているにとどまり、筋活動様相などの神経—筋機能の観点からバウンスングを検討した研究はみられない。

熟練度の差異を捉える際、筋活動様相を指標として用いることで、機械的効率を含めたより詳細な技術や制御戦略の差異を明らかにできると考えられる。中でも、伸筋と屈筋の筋活動量から算出される「同時収縮 (Muscle co-contraction)」を用いることで、熟練度の差異を捉えようとする試みがされてきている。Bazzucchi et al. (2008) は、テニス選手に等速性の肘伸展動作課題を行わせたところ、テニス選手は非テニス選手に比べて同時収縮が低かったと報告している。また Osu et al. (2002) は、リーチング動作における上肢の同時収縮は関節のスティフネスを表す指標であり、学習やトレーニングによって同時収縮の少ない最適な筋活動へと調節されると報告している。Candotti et al. (2009) も、サイクリング動作における下肢の同時収縮が少ないことは拮抗筋の活動を適切に制御し、力発揮に伴う機械的効率を向上させると報告している。さらに、動作速度の違いによって筋活動様相が変化することも報告されており、例えば歩行 (Falconer and Winter, 1985) やサイクリング (Chapman et al., 2008) の動作速度が速くなることで、筋活動量や筋の同時収縮が増大することが報告されている。しかし、バウンスング動作の速度変化に伴う動作特性の変容

は、筋活動様相を含めて十分に検討されていない。これらを明らかにすることは、より巧みなバウンシングスキルを実現する制御戦略に関する知見を提供し、コーチング場面における教示方法に対する一助となることが期待される。

そこで本研究では、バウンシング速度の増加局面における上肢関節の角度変位や筋活動様相の変化を明らかにすることを目的とした。また、大学バスケットボール選手と一般大学生のバウンシングを比較し、熟練度の違いによる動作特性の相違を検討した。

Ⅱ 方 法

1. 被験者

被験者は、上肢に障害などの既往歴がなく、健康で右利きの男子大学生とした。現在大学のバスケットボール部に所属しており、一週間に5日程度の練習を行なっている選手9名をバスケットボール群 (Basketball players, 年齢: 19.9 ± 0.8 歳, 身長: 181.1 ± 11.0 cm, 体重: 72.3 ± 6.6 kg, 競技歴: 9.8 ± 2.2 年) とした。また、バスケットボールの専門的なトレーニング経験のない一般大学生6名を対照群 (Controls, 年齢: 22.9 ± 3.0 歳, 身長: 177.3 ± 9.5 cm, 体重: 69.7 ± 7.7 kg) とした。対照群のバスケットボール経験は体育の授業程度であり、両群間の競技経験年数の差を熟練度の違いとして、群間の比較を行なった。両群の身長と体重に有意差はみられなかった。なお、本研究は筑波大学人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認の下、被験者の自筆署名による実験参加の同意を得て実施した。

2. 測定方法

(1) 測定装置

被験者は、下肢の動きや姿勢が動作に影響しないようにするため、高さ調節が可能な椅子に座り、個人の最も快適な高さに調節してバウンシング課題を行なった (Fig. 1)。バウンシング課題に使用するボールには、バスケットボールの7号検定球 (モルテン社製, MTB7WW) を用い

Fig. 1 Schematic presentation of the experimental setup and the definition of joint angles.

た。被験者には、床に置かれた目標上 (20×20 cm) でバウンシングを行なわせた。この目標は、5 mm 厚の硬質ゴムと金属プレートで構成された接触スイッチでもあり、ボールの反発力を減衰させずにボールの接地、離地を記録できるようにした。また、被験者の2 m 前方に視覚刺激用の赤色 LED ライトを設置し、被験者にはライトを注視してボールを見ずに課題を実行するよう指示した。

(2) 上肢のキネマティクスデータの収集および記録

本研究で用いた静止座標系を Fig. 1 に示した。被験者の矢状面上前方に設置している LED ライトに向かうベクトルを X 軸、鉛直方向を Y 軸として設定した。二次元データを記録するために、身体の5ヵ所に反射マーカを取り付けた。反射マーカは、上前腸骨棘、肩峰、肘頭、尺側茎状突起、第三中手骨頭 (全て右側) に貼付し、肩峰から上前腸骨棘および肘頭に向かうベクトルが成す角を肩関節角度 (Shoulder angle)、肘頭から肩峰および尺側茎状突起に向かうベクトルが成す角を肘関節角度 (Elbow angle)、尺側茎状突起から肘頭および第三中手骨頭に向かうベクトルが成す角を手関節角度 (Wrist angle) として、それぞれの角度を定義した (Fig. 1 左)。これらの反射マーカを、被験者の5 m 右側方に置かれた高速度カメラ (ディテクト社製, HAS-220) によって、毎秒100コマ、シャッタースピード 1/400秒で撮影した。映像はパーソナルコンピュータに記録し、動作解析ソフト (Frame DIAS V4, DKH 社製) の二次元 DLT 法を用いて

1/100秒毎に各マーカートをプロットし、それらの座標値を基にバウンシング動作中の各関節の角度波形を求めた。その後、各関節の角度波形は波形解析ソフト (Spike2, CED 社製) を用いて FIR のデジタルローパスフィルタ (Cut off=20 Hz, Transition gap=10 Hz) にて平滑化した。

(3) 筋活動データの収集および記録

動作中の表面筋電図 (Surface electromyography, EMG) を上肢6筋から導出した。EMGは右側の三角筋前部線維 (Anterior deltoid, AD), 三角筋後部線維 (Posterior deltoid, PD), 上腕二頭筋長頭 (Biceps brachii, BB), 上腕三頭筋長頭 (Triceps brachii, TB), 橈側手根屈筋 (Flexor carpi radialis, FCR), 尺側手根伸筋 (Extensor carpi ulnaris, ECU) から導出した。EMGの増幅器にはテレメータ (WEB-5500, 日本光電社製, 感度0.2 mV/div, 時定数0.03 s, ハイカットオフ500 Hz) を用い, 電極はアクティブ電極 (SS-2096, 日本光電社製, 電極間距離10 mm, 増幅度5倍) を使用した。上腕部にはマジックテープ式のアースバンド (NM-522S, 日本光電社製) を巻き付けた。課題遂行中に導線が動作を阻害しないよう, サージカルテープで導線を結束し, 上肢に着用するサポーターによって導線および電極部を固定した。また, LEDライトと同期させた信号をEMGに入れることで, キネマティクスデータと筋活動データを同期させた。

(4) 実験手順

実験に先立ち, 各被験者の筋活動データを規格化するために上肢6筋から徒手筋力検査法 (Manual muscle test, MMT) により, 等尺性最大随意筋収縮 (Maximum voluntary contraction, MVC) 時の各筋のEMGを記録した。MVC時の各筋のEMGは, 2分間の休憩を挟んで2回ずつ計測した。

その後, 被験者は椅子に座り, 目標上でのバウンシング課題を実行した。被験者には, 検者の合図と同時に100 bpmに設定されたメトロノームの音声信号に同期させるようにバウンシング動作を行なわせた。その後, 検者はランダムに被験者前方の赤色LEDライトを点灯させ, 点灯と同時

に個人の可能な限り速いバウンシングへと切り換えるよう被験者に指示した。その際, バウンシングの高さに関しては個人の最適高さで実施すること, またボールを「こねる」ような手関節の回内や回外を行なわないことを伝え, 動作に慣れるため十分に練習を行なわせた。なお, 1回の試行時間は約20秒であり, 3回試行を実施させた。課題遂行中に目標上でのバウンシング動作ができなくなった場合や, 外部の音声信号と同調させることができなかった場合, そしてボールを見ながらバウンシングをしてしまった場合には, 再試行とした。試行間には十分な休息時間を設け, 疲労の影響がないように配慮した。

3. データ解析および統計処理

(1) キネマティクスデータの解析

データ解析に先立ち, ボールの接地から次の接地までを1サイクルと定義し, 各試行におけるバウンシング動作を次のように局面分けした (Fig. 2)。初期の100 bpmの局面を「Slow」, LEDライトの点灯に続く低速度および高速度1回ずつのサイクルを「Change」, その後の高速度のバウンシング局面を「Fast」とした。また, 各局面における被験者間のバウンシング速度の差を検討するために, 各局面における1サイクルに要した時間から, バウンシング速度 (bpm) を算出した。バウンシング時のボールの高さを確認するために, 撮影した映像から接地時を0 cmとしてボールの高さ最大値 (以下, バウンシング高) を算出した。これらの項目については, 3試行の平均値を各個人の代表値として算出した。

動作解析から得られた上肢関節の角度波形を用い, Change局面における各関節の角度変位を算出した。角度変位は, 各局面における最大屈曲位と最大伸展位の差の絶対値とし, Change局面における光刺激から最初の低速度の1サイクルをSC区間 (Slow-Change), 次の高速度の1サイクルをFC区間 (Fast-Change) として区間分けした (Fig. 2 灰色区間)。この角度変位から, 上肢の関節可動域をどのように調整してバウンシング速度を増加させているのかを明らかにした。

Fig. 2 A typical example of time histories of shoulder, elbow and wrist joint angles and EMGs from representative basketball player. The grey shaded area represent the SC and FC speed-change phase.

(2) 筋活動データの解析

MVC時における、各筋のEMGのピーク値の前後0.5秒間のRMS（Root mean square, 二乗平均平方根）を算出し、2回のMVC測定時の平均値をEMGmaxとした。バウンシング課題中の各筋の活動量は、角度変位と同様にSC区間およびFC区間のそれぞれ区間におけるRMSを算出し、3試行の平均値を代表値とした。そして、各区間における代表値を予め計測したEMGmaxで除算し、100を乗算することで%EMGmaxに変換した。

(3) 同時収縮値

各関節の動きに関わる屈筋（flx）と伸筋（ext）の筋活動量から同時収縮を定量化した。屈筋と伸筋の組み合わせは、肩関節ではAD-PD、肘関節ではBB-TB、手関節ではFCR-ECUとした。各筋の%MVCの値から、関節のスティフネスおよび動作の効率性を評価する指標として用いられて

いる関節の同時収縮値（Co-contraction index, CI）を、下記のFalconer and Winter (1985)の式から算出した。この同時収縮値は100%に近似するにつれて、屈筋と伸筋が同程度活動していることを表す。

$$I_{\text{emg}} = \int_{t1}^{t2} \% \text{EMGmax}_{\text{flx}}(t) dt + \int_{t2}^{t3} \% \text{EMGmax}_{\text{ext}}(t) dt$$

$t1, t2$: 屈筋の活動が伸筋より高い区間

$t2, t3$: 伸筋の活動が屈筋より高い区間

$$I_{\text{Total}} = \int_{t1}^{t3} [\% \text{ENGmax}_{\text{flx}} + \% \text{EMGmax}_{\text{ext}}](t) dt$$

$t1, t3$: 屈筋と伸筋の総活動区間

$$\text{CI (Co-contraction index)} = \frac{2I_{\text{emg}}}{I_{\text{Total}}} \times 100 [\%]$$

4. 統計処理

全被験者の各試行におけるキネマティクスおよび筋活動データは、それぞれの群で平均値および標準偏差を算出した。データの比較には、統計処理ソフト（SPSS 11.0, SPSS社製）を用いた。SC区間およびFC区間におけるキネマティクスおよび筋活動の各指標は、二元配置の分散分析を用いて差の検定を行なった。交互作用が有意であった場合は、Bonferroni法を用いて単純主効果の検定を行なった。危険率は5%未満とした。

III 結 果

1. バウンシング速度およびバウンシング高

Table 1は、1サイクルに要した時間から算出した、SC区間およびFC区間におけるバウンシング速度（bpm）の結果である。SC区間では群間で有意差はみられなかった。また、FC区間ではバスケットボール群が対照群より有意に高い値を示した（バスケットボール群 187.0 ± 18.3

bpm, 対照群 167.8 ± 11.1 bpm, $p < 0.05$). この結果から, バスケットボール群は対照群と比較して, FC 区間ではより速いバウンスングを行っていたことが示された.

バウンスング高に関して, SC 区間ではバスケットボール群が対照群より有意に高い値を示した (バスケットボール群 73.0 ± 7.1 cm, 対照群 61.0 ± 5.1 cm, $p < 0.05$). しかし, FC 区間ではバスケットボール群と対照群に有意な差は認められなかった (バスケットボール群 49.4 ± 7.4 cm, 対照群 45.2 ± 7.4 cm, $p = 0.18$).

2. Change 局面の角度変位

Change 局面における角度変位を最大屈曲位と最大伸展位の差の絶対値から算出し, 群間で比較したところ (Fig. 3), 肩関節では区間および群間に有意な差はみられなかったが, 肘関節の SC 区間においてバスケットボール群が対照群より有意に大きい値を示した (バスケットボール群 80.4 ± 8.1 deg, 対照群 72.1 ± 3.6 deg, $p < 0.05$). 手

関節では SC と FC の両区間においてバスケットボール群が対照群より有意に大きい値を示した (SC 区間: バスケットボール群 24.5 ± 5.9 deg, 対照群 14.6 ± 1.8 deg, FC 区間: バスケットボール群 29.1 ± 4.8 deg, 対照群 21.4 ± 5.0 deg, $p < 0.05$). また, 両群ともに SC 区間から FC 区間にかけて, 角度変位量は有意に減少していた ($p < 0.05$).

3. Change 局面の筋活動量

Change 局面における上肢の各筋の活動量を表面筋電図によって記録し, 群間で比較した (Fig. 4). その結果, 上腕三頭筋 (TB) では, SC と FC の両区間においてバスケットボール群が対照群より有意に高い値を示し, SC から FC 区間にかけてバスケットボール群は有意に活動量が増加していた (SC 区間: バスケットボール群 $37.6 \pm 24.3\%$ MVC, 対照群 $14.4 \pm 6.7\%$ MVC, FC 区間: バスケットボール群 $65.2 \pm 36.4\%$ MVC, 対照群: $20.6 \pm 9.2\%$ MVC, $p < 0.05$). 前腕筋群において, 両群とも橈側手根屈筋 (FCR) および尺側手根伸筋 (ECU) の筋活動量は SC から FC 区間にかけて増加していた ($p < 0.05$). また, FCR では, SC 区間においてバスケットボール群が対照群より有意に低い値を示した (バスケットボール群 $8.2 \pm 2.7\%$ MVC, 対照群 $12.8 \pm 3.4\%$ MVC, $p < 0.05$). 一方, ECU では, FC 区間においてバスケットボール群が対照群より有意に高

Table 1 Means and standard deviation of a bouncing speed in each phase.

		Basketball players (bpm)	Controls (bpm)	<i>p</i>
Change	SC	110.3 ± 8.3	114.1 ± 7.3	N.S.
	FC	187.0 ± 18.3	167.8 ± 11.1	< 0.05

Fig. 3 The each joints angular displacements in the SC and FC speed-change phase.

Fig. 4 The upper limb EMG activities in the SC and FC speed-change phase.

Fig. 5 The each joint muscles co-contraction index in the SC and FC speed-change phase.

い値を示した (バスケットボール群 $56.1 \pm 17.7\%$ MVC, 対照群 $39.0 \pm 18.9\%$ MVC, $p < 0.05$).

4. Change 局面の同時収縮値 (CI)

Change 局面における屈筋および伸筋の筋活動から算出した同時収縮値 (CI) について, 群間

での比較を行なった。その結果、肩関節および肘関節においては群間に有意な差はみられなかったが、バスケットボール群は SC から FC 区間にかけて有意に CI が減少していた ($p < 0.05$)。また、手関節における SC および FC の両区間で、バスケットボール群が対照群より有意に低い値を示した (Fig. 5, SC 区間: バスケットボール群 $41.4 \pm 6.2\%$, 対照群: $50.3 \pm 5.8\%$, FC 区間: バスケットボール群 $39.82 \pm 8.0\%$, 対照群: $50.2 \pm 7.2\%$, $p < 0.05$)。

Ⅳ 考 察

1. Change 局面における角度変位の相違

Change 局面における角度変位を群間で比較したところ、バスケットボール群の肘および手関節における角度変位は対照群より大きい値を示し、この結果は、バスケットボール群の方が関節の可動域を大きくした状態でのバウンシング動作を行っていたことを示唆している。古屋ら (2006) は、ピアノの打鍵動作におけるテンポや音量の大小によって関節の角度変位が異なっていたと報告しており、また Temprado et al. (1997) は、バレーボールのサーブ動作を分析したところ、熟練度によって関節の角度変位パターンが異なっていたと報告している。岩見・木塚 (2010) も、バウンシング動作の速度条件 (ゆっくり, 最適, 速い) によって上肢の角度変位が熟練度で異なることを明らかにしており、対照群は速度の増加に伴い角度変位を減少させることで上肢関節の可動域を「制限」し、バスケットボール群は角度変位を狭小化させずに可動域を「開放」して動作を実行していたと報告している。特に、SC 局面における肘関節の角度変位およびバウンシング高は同様の差異を示しており、SC 局面でバスケットボール群は肘を屈曲し、できる限り高い位置までボールをコントロールしようとしていたと推察される。本研究におけるこれらの群間差は、上述した上肢関節の可動域における制御戦略の違いを反映していると考えられる。

また、角度変位に対する心理的要因の影響も先

行研究で報告されており、Higuchi et al. (2002) は被験者にストレス条件下におけるタイミング一致課題を行なわせたところ、ストレスなし条件に比べてストレスあり条件では動作の安定性や関節の角度変位が減少したと報告している。本研究においても、特に対照群では、光刺激に対してできる限りバウンシング速度を増加させる課題がストレスあるいはプレッシャーとなり、動作を安定させようと角度変位が狭小化したと推察される。今後は、このような心理的なストレスがキネマティクスに及ぼす影響も併せて検討していく必要があるだろう。

2. Change 局面における筋活動量の相違

Change 局面における筋活動量を群間で比較したところ、SC および FC の両区間での上腕三頭筋の筋活動量はバスケットボール群が対照群より有意に高く (Fig. 4 中段右)、バスケットボール群はボールを「強く押し出す」バウンシングを実行していたと推察される。一般的にバスケットボールのコーチング現場では、「ボールを強くつく」ことがバウンシングにおいて重要であると言われている。この高い上腕三頭筋の筋活動に関連して、Yamazaki et al. (2002) は、上腕三頭筋の筋活動量と肘伸展動作の加速度の増加に相関関係がみられたと報告しており、バスケットボール群における上腕三頭筋の高い筋活動は「強い」バウンシングに関わる加速度の生成に関与していたと推察される。Table 1 で示された、FC 区間におけるバスケットボール群のより速いバウンシングには、この上腕三頭筋の筋活動によるボールへの大きな加速が貢献していると考えられる。

また、尺側手根伸筋は FC 区間においてバスケットボール群が高く、橈側手根屈筋は SC 区間において対照群が有意に高い値を示し、背屈および掌屈における筋活動量が群間で異なっていた (Fig. 4 下段)。バスケットボール群の高い尺側手根伸筋の活動量は手関節における角度変位の大きさと関連していると考えられ、ボールをつく局面で手関節屈筋群が引き伸ばされることによる、筋腱複合体の弾性エネルギーの利用に貢献していた

と推察される。また、Katsuhara et al. (2010) のバウンシング動作の研究によると、バスケットボール群は対照群と比較してボールとの接触時間 (Contact time) が長く、指先などの末梢部の受容器から得られる感覚入力量を増加させていたと報告している。本研究においても、バスケットボール群は手首をより大きく背屈させることによってボールとの接触時間を長くし、感覚入力量を増加させることで、より精度の高いボールのコントロールを可能にしていたと推察される。しかし、本研究ではボールと手との接触、非接触による局面分けを行っていないため、今後はさらに局面を細分化することで、より詳細な制御戦略が明らかになると考えられる。一方で、対照群はSC区間における橈側手根屈筋の筋活動量が有意に高かった。この筋活動は、上昇してきたボールをブレーキングするための活動であったと推察され、手首を固定しボールを急激にブレーキングさせることでバウンシング動作の切り換えを行っていた可能性がある。Fig. 3で示された、対照群の手関節の角度変位がバスケットボール群より小さかったことは、この手首の固定によるブレーキングが影響していると考えられる。

3. Change 局面における同時収縮値の相違

上肢筋群の屈筋と伸筋のペアの筋活動量から算出した同時収縮値を群間で比較したところ、手関節のSCおよびFCの両区間においてバスケットボール群は対照群より有意に低いことが明らかとなった (Fig. 5)。バスケットボール群は速度を増加させる局面において、主働筋および拮抗筋の活動を明確に切り換えることで、より同時収縮の少ないバウンシング動作が可能であったと考えられる。Osu and Gomi (1999) は、学習によってより適切なフィードフォワード制御が可能となることで、同時収縮が低下すると報告している。このことから、バスケットボール群は長期にわたる練習の効果によって、バウンシング速度の増加に対してより適切なフィードフォワード制御が可能であったため、より少ない同時収縮での動作切り換えが可能であったと推察される。このように同

時収縮が少ないことは、主動作に対する拮抗筋の活動が少ないことから力発揮時のエネルギー効率に優れており、サイクリングなどの周期的な動作における疲労の軽減やパフォーマンスの向上につながることが先行研究で示されている (Candotti et al., 2009)。このことから類推すると、バスケットボール群は同時収縮の少ない効率的なバウンシング動作の学習によって、実践場面において疲労を蓄積させずに高いパフォーマンスを維持できる可能性があると推察される。

一方で、対照群はバウンシング速度の増加に伴う手関節の同時収縮値が高かった。Gribble et al. (2003) は、同時収縮による関節スティフネスの増大は動作の正確性や安定性を高め、難易度の高い課題を遂行する際の制御戦略として用いられると述べている。本研究における対照群も、同時収縮を高めて動作の正確性および安定性を向上させて、バウンシング速度を増加させていたと推察される。Furuya and Kinoshita (2008) は、ピアノの打鍵動作における熟練度の制御戦略の相違を検討しており、熟練群はバイオメカニクスのな負荷や末梢部の筋活動を低減させて課題を遂行していたが、未熟練群は末梢部の同時収縮を増大させて可動域を制限し、関節スティフネスを高めることで課題を実行していたと述べている。またOsu et al. (2002) およびDarainy and Ostry (2008) は、力場を用いたリーチング課題を用いて学習による同時収縮の変化を計測したところ、学習の初期では状況の変化に対して動作のエラーを少なくしようと関節スティフネスを高めていたと報告している。これらの知見からも、対照群は、バウンシング時の関節スティフネスを高めることで関節の可動域を制限し、動作の安定性を高める戦略を用いていたと推察される。しかしながら、手関節以外の関節ではこのような群間差はみられなかった。その原因として、今回は1サイクル全体の平均値から比較していることや、座位でのバウンシング動作であったために肩および肘関節の貢献度が少なかったと推察される。今後はさらに細かく局面分けして解析することで、手関節以外の関節における同時収縮の差異がみられると考えられ

る。

以上のように、両群の比較から、バウンシング速度の増加局面における同時収縮値および関節角度変位がパフォーマンスに大きく影響していることが示された。より良いバウンシング動作を行なうための教示方法として、「ボールが手に吸い付く感覚」への重み付けを大きくしていくことが重要であると考えられる。この感覚を養うことで、結果としてボールとの接触時間が増加し、より適切な関節の角度変位と同時収縮でのバウンシング動作が可能となっていくのではないだろうか。したがって、コーチング場面における「肘や手首の可動域をなるべく大きくして、ボールとの接触時間を増やす」などの教示方法は有効である。今後は、解析局面を細分化するだけでなく、走行や方向転換を伴う実戦的な状況での課題を用いることで、より詳細なバウンシング動作の制御戦略が明らかになると期待される。

V 要 約

スポーツの場面において、状況の変化に対して動作速度を切り換える状況が多くあり、より高度なパフォーマンスを達成するには素早く次の動作へと移行することが重要となる。しかし、それらの速度増加局面における動作特性の変容は明らかにされていない。そこで本研究では、バスケットボールのバウンシング課題を用い、バウンシング速度の増加局面における角度変位および筋活動様相の変化を捉えることを目的とした。その主な結果は、以下の通りであった。

1. 角度変位は、肘関節の SC 区間においてバスケットボール群が対照群より有意に大きい値を示し、手関節では SC と FC の両区間においてバスケットボール群が対照群より有意に大きい値を示した。
2. Change 局面における上腕三頭筋 (TB) の筋活動量は、SC と FC の両区間においてバスケットボール群が対照群より有意に高い値を示した。また、橈側手根屈筋 (FCR) では、SC 区間においてバスケットボール群が対照

群より有意に低い値を示し、尺側手根伸筋 (ECU) では、FC 区間においてバスケットボール群が対照群より有意に高い値を示した。

3. 手関節における同時収縮値は、SC および FC の両区間でバスケットボール群が対照群より有意に低い値を示した。

以上の結果から、群間によって速度増加局面における制御戦略が異なっていることが明らかとなった。バスケットボール群は角度変位が大きく同時収縮が少ないことから、関節スティフネスの低い動作の切り換えが可能であったと考えられ、一方で対照群は、同時収縮を高めて関節の可動域を「制限」することでバウンシング速度を増加させる戦略を用いていたことが示唆された。

文 献

- Bazzucchi, I., Riccio, M.E., and Felici, F. (2008) Tennis players show a lower coactivation of the elbow antagonist muscles during isokinetic exercises. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 18: 752-759.
- Broderick, M.P. and Newell, K.M. (1999) Coordination patterns in ball bouncing as a function of skill. *J. Mot. Behav.*, 31 (2): 165-188.
- Candotti, C.T., Loss, J.F., Bagatini, D., Soares, D.P., de Rocha, E.K., de Oliveira, A.R., and Guimaraes, A.C. (2009) Cocontraction and economy of triathletes and cyclists at different cadences during cycling motion. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 19: 915-921.
- Chapman, A.R., Vicenzino, B., Blanch, P., and Hodges, P.W. (2008) Pattern of leg muscle recruitment vary between novice and highly trained cyclists. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 18: 359-371.
- Darainy, M. and Ostry, D.J. (2008) Muscle cocontraction following dynamics learning. *Exp. Brain. Res.*, 190, 153-163.
- Falconer, K. and Winter, D.A. (1985) Quantitative assessment of co-contraction at the ankle joint in walking. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 25: 135-149.
- 古屋晋一・青木朋子・木下 博 (2006) 熟練ピアニストによるピアノの打鍵テンポと音量の調節に関わる運動制御. *バイオメカニズム学会誌*, 30 (3): 151-155.
- Furuya, S. and Kinoshita, H. (2008) Organization of the upper limb movement for piano key-depression differs between expert pianists and novice players. *Exp.*

- Brain. Res., 185: 581-593.
- Gribble, P.L., Mullin, L.I., Cothros, N., and Mattar, A. (2003) Role of cocontraction in arm movement accuracy. *J. Neurophysiol.*, 89: 2396-2405.
- Higuchi, T., Imanaka, K., and Hatayama, T. (2002) Freezing degrees of freedom under stress: Kinematic evidence of constrained movement strategies. *Hum. Mov. Sci.*, 21(5-6): 831-846.
- 泉 圭祐・石川 武・清水義明・木村和宏・塔尾武夫 (2002) バスケットボールのルール改正における攻撃パターンの比較. 2000, 2001年全日本男子学生バスケットボール選手権の試合分析から. 日本体育学会大会号, 53: 526.
- 岩見雅人・木塚朝博 (2010) ボールバウンシング動作の速度と熟練度の違いが関節スティフネスに及ぼす影響. *バイオメカニズム*, 20: 21-30.
- Katsuhara, Y., Fujii, S., Kametani, R., and Oda, S. (2010) Spatiotemporal characteristics of rhythmic, stationary basketball bouncing in skilled and unskilled players. *Percept. Mot. Skills.*, 110: 469-478.
- Osu, R. and Gomi, H. (1999) Multijoint muscle regulation mechanisms examined by measured human arm stiffness and EMG signals. *J. Neurophysiol.*, 81(4): 1458-1468.
- Osu, R., Franklin, D.W., Kato, H., Gomi, H., Domen, K., Yoshioka, T., and Kawato, M. (2002) Short- and long-term changes in joint co-contraction associated with motor learning as revealed from surface EMG. *J. Neurophysiol.*, 88(2): 991-1004.
- 佐藤 久 (1985) ハンドボール競技におけるステップ法の研究(Ⅱ). 仙台大学紀要, 17: 1-11.
- 高德 希・藤原素子 (2009) 肘関節における素早い伸展動作切り換え時の筋活動. *体育学研究*, 54(2): 293-306.
- Temprado, J., Della-Graza, M., Farrell, M., and Laurent, M. (1997) A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Hum. Mov. Sci.*, 16: 653-676.
- Yamazaki, Y., Suzuki, M., Itoh, H., and Ohkuwa, T. (2002) Rapid acceleration of the lower arm correlates with agonist EMGs during the initial phase. *Hum. Mov. Sci.*, 21: 259-272.

(平成22年8月23日受付)
(平成23年6月13日受理)