

原 著

バレーボールジャンプの跳躍高と踏切時の 下肢の関節角度および筋活動との関係

——スパイクジャンプとブロックジャンプとの比較——

伊藤 浩 充¹⁾・村上 芙貴子²⁾

沖田 祐 介³⁾・鈴木 郁⁴⁾

Kinematic Analysis of Volleyball Spike and Block Jumps

——Relationship of Lower Extremity Joint Angles and
Muscular Activities to Jumping Height——

ITOH Hiromitsu, MURAKAMI Fukiko, OKITA Yusuke and SUZUKI Iku

Abstract : The purpose of this study was to determine the influence of the kinematics of the trunk and hip, knee, and ankle joints and muscular activations of the lower extremities on volleyball spike jumps (SJ) and block jumps (BJ). The 3-D kinematic analysis and EMG analysis were performed on seven experienced volleyball players. The EMG activities of the gluteus maximus (GMa), rectus femoris (RF), biceps femoris (BF), lateral head of the gastrocnemius (LG) were recorded during the take-off phase, and the RMS of each muscle was calculated. The jump height (JH) of the SJ was significantly higher than the BJ in all players. Knee flexion, trunk flexion and ankle dorsiflexion were significantly less during the take-off phase in SJ than in BJ (knee flexion, trunk flexion and ankle dorsiflexion : $p < 0.0298$, $p < 0.0253$ and $p < 0.0022$, respectively). The results of the EMG analysis showed that the BF activation was significantly higher in SJ than in BJ ($p < 0.0022$). The JH in SJ was significantly correlated to the ankle plantiflexion angle ($r = 0.824$, $p < 0.0224$). However, no significant relationships could be found between the JH in the BJ and each joint angle. Therefore, it is concluded that the JH in the SJ was more efficiently performed than in the BJ by decreasing ankle dorsiflexion, knee flexion and trunk flexion, and BF activation for lower extremity extensor force production during take-off.

Key Words : Spike jump, block jump, jump height, 3-dimensional analysis, EMG

抄録：バレーボールジャンプの動作解析では、膝関節と股関節の運動に着目された報告が多く、足関節も含めた3関節運動や下肢の筋活動も合わせた報告は少ない。本研究の目的は、スパイクジャンプ(SJ)とブロックジャンプ(BJ)における跳躍高の違いをジャンプ踏切時の股・膝・足関節角度および下肢筋活動との関係から明らかにすることである。対象は、大学のバレーボール選手7名(男子3名、女子4名)である。方法は、SJおよびBJの踏み切り動作における股・膝・足の関節運動と下肢の筋活動量を計測した。SJとBJの跳躍高の比較ではいずれの被験者もSJの方がBJよりも高く跳んでいた。ジャンプ踏み切り時の関節角度をSJとBJとで比較すると、膝関節と体幹においてSJの

¹⁾甲南女子大学看護リハビリテーション学部理学療法学科

²⁾おおくまりハビリテーション病院リハビリテーション科

³⁾京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻

⁴⁾南和歌山医療センターリハビリテーション科

方が有意に小さく (各々 $p < 0.0298$, $p < 0.0253$), 足関節において SJ の方が有意に大きかった ($p < 0.0022$)。下肢筋活動量についての比較では, 大腿二頭筋 (BF) において SJ の方が有意に高値を示していた ($p < 0.0022$)。跳躍高と下肢関節角度および下肢筋活動量との相関係数を調べた結果, SJ による跳躍高は足関節底屈角度と有意な相関関係 ($r = 0.824$, $p < 0.0224$) が認められた。BJ による跳躍高はいずれの関節角度とも相関関係は認められなかった。このように, SJ は BJ よりも膝関節の屈曲角度と体幹の前傾角度を減じ, 足関節の背屈角度も小さくしながら BF の活動を生かして下肢の伸展力を発揮させる点が異なっていた。

キーワード: スパイクジャンプ, ブロックジャンプ, 跳躍高, 3次元動作分析, 筋電図

I. 緒 言

バレーボール競技では, ボールを操る上肢の技術的要素だけでなく, それを生かすための身体的能力として下肢の跳躍動作による「高さ」, 「速さ」, 「パワー」がより一層強く要求される¹⁾。バレーボールの跳躍動作による跳躍高は, アタック動作とブロック動作といった技術的要素に深く関与し, 勝敗に大きく影響する²⁾。つまり, バレーボール競技において高く跳ぶことは競技力に非常に重要である。

垂直に跳ぶ動作の跳躍高に大きく影響するのは下肢の伸展筋力である³⁻⁶⁾。また, 股関節の柔軟性や上肢や体幹による反動の使い方によっても影響を受けるとされている^{7, 8)}。つまり, バレーボールでの跳躍動作は, 身体的全関節運動の相乗効果として垂直への跳躍力が発揮されている。しかし, その一方, バレーボールでは, 膝蓋腱の疼痛を主訴とするジャンパー膝の発症率が他のスポーツと比べて圧倒的に多いと報告されている^{9, 10)}。また, その特徴として膝伸展筋力の強い者ほどジャンパー膝を発症しやすいとされている¹¹⁾。さらに, バレーボールジャンプには攻撃のためのスパイクジャンプ (SJ) と防御のためのブロックジャンプ (BJ) があるが, SJ と BJ とではジャンパー膝を発症しやすい左右の下肢が異なるという報告もある¹²⁾。しかし, ジャンパー膝については未だ不明な点も多く, バレーボールジャンプの kinematic な解析はジャンプによる膝外傷の発症起序や原因を解明する上で必要である¹²⁻¹⁵⁾。

一般に, SJ と BJ の跳躍高を比較すると, SJ による跳躍高の方が高いとされている³⁾。この違いとしては, 膝関節と股関節の伸展モーメントを発揮するそれぞれの伸展筋力の影響が大きいとされている。しかし, 実際には SJ と BJ による跳躍高の差異が大きい

選手と小さい選手とが存在する。このような SJ と BJ の跳躍高の差異に及ぼす影響を解明することは, SJ と BJ の跳躍能力向上解明にも重要であり, また, ジャンパー膝の発症起序解明と予防対策にも重要となる。これまで, バレーボールジャンプの動作解析では, 膝関節と股関節の運動に着目された報告が多く, 股関節・膝関節だけでなく足関節も含めた3関節運動や下肢の筋活動も合わせた報告は少ない^{4, 5, 7, 12, 16)}。

そこで, 本研究では SJ と BJ における跳躍高の違いをジャンプ踏切時の股・膝・足関節角度および下肢筋活動との関係から明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

大学のバレーボール選手7名 (男子3名, 女子4名) である (表1)。

被験者には, ヘルシンキ宣言に基づき, 研究に関して予め目的と内容を説明し, 十分に理解を得た上で同意を得た。

2. 方法

SJ および BJ のジャンプ動作における股関節・膝関節・足関節の関節運動とその時の筋活動量を計測するために以下の計測を行った。被験者はすべて利き腕が右手であったので, SJ はネットに向かって左サイド

表1 対象

項目	男子 (n=3)	女子 (n=4)
年齢 (歳)	20.0 ± 0.8	20.0 ± 0.8
身長 (cm)	170.7 ± 3.3	158.9 ± 1.9
体重 (kg)	60.3 ± 2.9	54.3 ± 3.4
BMI	20.7 ± 0.2	21.5 ± 1.1
競技歴 (月)	65.0 ± 21.3	96.8 ± 29.8
ポジション	レシーバー 2名 セッター 1名	アタッカー 4名

からの助走とし、関節運動および筋活動量の測定はすべて右下肢とした。

(1) 三次元動作解析による股関節・膝関節・足関節の関節運動の計測

SJ および BJ のジャンプ動作における股関節・膝関節・足関節の関節運動の測定には、8 台の Eagle カメラと動作解析システム EvaRT 5.04 (Motion Analysis 社製) を用いて行った。被験者にはまず図 1 のごとく身体の 32 か所に反射マーカを貼り付け、ジャンプ動作中の各マーカの空間座標をサンプリング周波数 120 Hz で PC に取り込んだ。また、踏み切り時の床反力の測定には、AMTI 社製の force plate を用い、三次元動作解析装置と同期してサンプリング周波数 1200 Hz で PC に取り込んだ。

(2) 表面筋電図による計測

踏み切り動作時の筋活動を調べるため、ニホンサンテック社製表面筋電図を用い下肢の筋活動量の計測を行った。測定筋は、大殿筋 (以下 GMa)、大腿直筋 (以下 RF)、大腿二頭筋 (以下 BF)、腓腹筋外側頭 (以

下 LG) の 4 筋とした。各筋の導出部位は表 2 に示した。電極を貼付する際、貼付部位の電気抵抗を下げるために剃毛を行い、皮膚の電極間抵抗が 5 k Ω 以下になるように皮膚前処理剤 (スキンピュアー、日本光電社) で処理した。電極間中心距離を約 20mm とし、ディスプレイザブル電極 (株式会社メッツ) を各筋の筋走行と平行に筋腹に、またアース電極は腓骨頭に貼付した。

三次元動作解析及び force plate と筋電図とを同期させるために床面にマットスイッチを設置し、マットスイッチからの信号は A/D 変換ボードを介して三次元動作解析措置 EvaRT 5.04 の PC 処理システムおよびニホンサンテック社製表面筋電図解析処理システムに送信することによって force plate とともに動作開始のタイミングを同期できるようにした。動作課題中の筋電図生波形は、時定数 0.03 秒、高域フィルタ 3000 Hz で小型多用途生体アンプ (BA 1008 m, ニホンサンテック社) に取り込み、A/D 変換ボード (MaP 1038, ニホンサンテック社) を介して、サンプリング周波数 2000 Hz で全波整流し、PC に保存した。

(3) 動作課題

まず、反射マーカおよび筋電電極を張付ける前に計測空間内に設置されたバレーボールネットに向かって、SJ および BJ を行わせた。SJ の助走は各個人が競技中に行っている歩数とし、ネットに触れずに最大跳躍できる踏み切り位置が force plate 上の位置と一致するようにネットの位置と被験者各自の助走距離および方向を確認した。BJ についてもネットに触れずに最大跳躍できる force plate とネットの位置関係を確認した。また、両ジャンプ共に Force plate 上にて踏み切ることを確認した。

計測は、反射マーカおよび筋電電極を張付けた状態で再度練習を行った後、SJ、BJ とともに十分な休憩を挟んで 3 回ずつ行った。SJ と BJ、それぞれのジャンプで最も跳躍高の高い 1 試行をデータとして分析に用いた。

(4) データ処理と分析

三次元動作解析により得られた各マーカの座標から、跳躍高、踏み切り時の股関節・膝関節・足関節の関節角度、垂線に対する体幹前傾角度、および各筋の筋活動量を求めた。

まず、跳躍高については次のように求めた。まず、両上前腸骨棘を結ぶ線の midpoint と両上後腸骨棘を結ぶ線の midpoint を結び、その線の midpoint を点 G とする。そして、静止立位とジャンプ動作中の点 G の最高到達点での

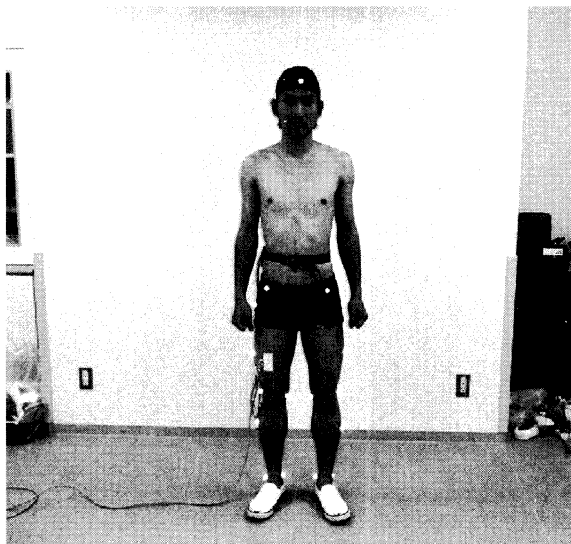


図 1 被験者の反射マーカ (32 カ所) 貼付部位

頭部	頭頂部・前頭部・後頭部
体幹	第 10 胸椎棘突起・第 4 腰椎棘突起・右肩甲骨
骨盤	上前腸骨棘・上後腸骨棘 (両側)
上肢	肩峰・上腕骨外側上顆 (両側)
下肢	大転子・大腿中央部・大腿骨内外顆・下腿中央部 内外果・踵部・足尖部 (両側)

表 2 各筋の活動電位導出部位

筋名	導出部位
GMa	仙骨と大転子を結ぶ線の中央部
GL	腓骨頭と踵部を結ぶ近位 1/3
BF	坐骨結節と脛骨外顆を結んだ線の中央部
RF	上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の中央部

Z軸変位を跳躍高として、統計学的解析に用いた。

次に、各関節角度を求めるために股関節・膝関節・足関節の関節中心を決定した。股関節の関節中心（以下 HC）は、倉林らによる推定方法の修正版¹⁷⁾を採用した。具体的には、大転子と上前腸骨棘を結ぶ線の27.2%の点を点 D とし、両側の点 D を結ぶ線の19.7%内挿した点を HC とした。膝関節中心（以下 KC）は、脛骨内外顆の midpoint、足関節中心（以下 AC）は内外果の midpoint とした。そして、股関節角度は上前腸骨棘と HC を結ぶ線と、HC と KC を結ぶ線とでなす角とし、膝関節角度は HC と KC を結ぶ線と、KC と AC を結ぶ線とでなす角、足関節角度は KC と AC を結ぶ線と、AC と足尖部を結ぶ線のなす角とした。そして、ベクトルの内積を用いて、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度、足関節底屈角度を算出した。また、体幹の前傾角度は、第10胸椎棘突起と第4腰椎棘突起を結ぶ線と垂線とのなす角として算出した。SJ および BJ ともに踏み切り動作中の点 G が最下点の時の股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度、足関節底屈角度、体幹前傾角度を求めて、それらを統計学的解析に用いた。

さらに、各筋の筋活動量の解析区間としては、SJ および BJ ともに踏み切り動作中の点 G が最下点になってから足部が離地するまでとした。そして、踏切時の実行値 (RMS) を読みとり、単位時間当たりの値を算出してデータとして用いた。動作課題中の筋活動量の正規化には、ダニエルスらの徒手筋力検査法の最上段階の検査肢位で、各筋の5秒間の最大等尺性収縮時の筋活動を測定し、最大振幅時の前後0.5秒の計1秒間のRMS値を100% (MVC: Maximal Voluntary Contraction) として用いた。そして、踏切時の単位時間当たりの各筋の筋活動量を %MVC として標準化し、統計学的解析に用いた。

(5) 統計学的解析

SJ と BJ のそれぞれの跳躍高と、SJ の跳躍高と BJ の跳躍高の差を求めた。下肢の各関節の角度と筋活動量を SJ と BJ とで比較するために、Mann-Whitney の U 検定を行った。SJ と BJ における跳躍高と、股関節・膝関節屈曲角度、足関節底屈角度、体幹前傾角度、下肢の各筋の %MVC との関係については、Pearson の相関係数を求めた。

統計学的解析には統計ソフト (JMP 6.0) を用い、有意水準は危険率5%未満とした。

III. 結 果

被験者の SJ と BJ における跳躍高を表3に示す。いずれの被験者も SJ の方が BJ よりも高く跳んでいた。SJ の跳躍高と BJ の跳躍高の差は平均0.09 m であり、0.05 m から0.13 m の範囲であった。

ジャンプ踏み切り時の下肢の関節角度および体幹前傾角度を SJ と BJ とで比較すると、膝関節と体幹において SJ の方が有意に小さな角度を示し (表4, 各々 $p < 0.0298$, $p < 0.0253$)、足関節において SJ の方が有意に大きな角度を示していた (表4, $p < 0.0022$)。すなわち、BJ よりも SJ の方が、膝関節屈曲角度を浅くし、足関節背屈も減じさせ、体幹の前傾も浅くして踏み切っていた。ジャンプ踏み切り時の下肢筋活動量を SJ と BJ とで比較すると、BF において SJ の方が有意に高値を示していた (表4, $p < 0.0022$)。また、統計学的有意差はなかったが、GL も SJ の方が大き

表3 対象者のスパイクジャンプ (SJ) とブロックジャンプ (BJ) の跳躍高

対象者	性別	跳 躍 高		跳躍高差
		SJ(身長比)	BJ(身長比)	SJ-BJ
A	男	0.67(0.40)	0.54(0.32)	0.13
B	男	0.56(0.33)	0.44(0.26)	0.12
C	男	0.52(0.30)	0.46(0.27)	0.06
D	女	0.53(0.33)	0.45(0.28)	0.07
E	女	0.51(0.32)	0.41(0.26)	0.10
F	女	0.48(0.31)	0.43(0.28)	0.05
G	女	0.40(0.25)	0.33(0.21)	0.07
平均		0.53(0.31)	0.44(0.26)	0.09
標準偏差		0.08(0.03)	0.06(0.03)	0.03

単位: m

表4 スパイクジャンプ (SJ) とブロックジャンプ (BJ) の下肢関節角度および下肢筋活動量の比較

	SJ	BJ	p 値
関節角度 (度)			
股関節屈曲	69.3 ± 9.7	83.3 ± 35.3	n.s.
膝関節屈曲	66.8 ± 10.6	89.8 ± 32.1	0.0298
足関節底屈	-5.1 ± 11.7	-24.8 ± 3.7	0.0022
体幹前傾	21.3 ± 3.7	35.3 ± 14.7	0.0253
筋活動量 (%)			
GMa	37.4 ± 19.8	24.4 ± 13.2	n.s.
RF	79.0 ± 26.2	66.7 ± 25.4	n.s.
BF	32.2 ± 8.2	11.5 ± 4.0	0.0022
GL	65.6 ± 26.7	38.9 ± 14.1	n.s.

- ・ GMa: 大殿筋, RF: 大腿直筋, BF: 大腿二頭筋, GL: 腓腹筋外側頭
- ・ 平均値 ± 標準偏差
- ・ Mann-Whitney U 検定
- ・ n.s.: 有意差無し

表5 各ジャンプにおける跳躍高と下肢関節角度および下肢筋活動量との関係

	SJ 跳躍高	BJ 跳躍高
関節角度 (度)		
股関節屈曲角度	0.154	0.218
膝関節屈曲角度	-0.523	0.174
足関節底屈角度	0.824※	0.376
体幹前傾角度	0.092	0.070
下肢筋活動量 (%)		
GMa	0.566	0.585
RF	0.109	-0.256
BF	0.230	0.346
GL	0.385	0.163

- ・ SJ：スパイクジャンプ，BJ：ブロックジャンプ
- ・ GMa：大殿筋，RF：大腿直筋，BF：大腿二頭筋，GL：腓腹筋外側頭
- ・ Pearson の相関係数
- ・ ※：p=0.0224

な値を示す傾向にあった。

このような SJ と BJ の違いが、跳躍高と関連しているのかどうかを調べるために、各跳躍高と下肢の関節角度との間の相関係数を調べた。その結果、SJ による跳躍高は足関節底屈角度と有意な相関関係 ($r=0.824$, $p<0.0224$) が認められたが、その他の関節角度とは強い相関関係は認められなかった (表5)。BJ による跳躍高はいずれの関節角度とも相関関係は認められなかった (表5)。同様に各跳躍高と下肢の筋活動量との間の相関係数を調べた。SJ による跳躍高も BJ による跳躍高も GMa との相関係数が 0.5 程度を示すぐらいで、下肢の筋活動量との間には強い相関関係は認められなかった (表5)。

IV. 考 察

バレーボールでは2種類の跳躍動作があり、攻撃の際の跳躍はスパイクジャンプ (以下 SJ) といい、防御の際の跳躍はブロックジャンプ (以下 BJ) という。両者の大きな違いは助走を用いた跳躍であるかどうかと、ネットによる制約の程度が大きいかどうかである。バレーボールではネットに触れるのは反則行為であるので、いずれのジャンプもネットに触れないように高く跳ぶことが要求される。SJ では、助走による前方への加速を上方へ変換する際に、身体が前方へ流れすぎないようにしてできるだけ高く跳ぶことが重要であるが、ある程度ネットから離れた位置から助走するので、ネットの影響を受けずに跳躍動作を行うことが可能である。一方、BJ では身体とネットとの間の空間が広いほど自陣のコートにボールが落ちる可能

性が高くなるため、いかにネットに近い位置で垂直に高く跳躍するかが重要となる。このように、競技中の役割やポジションによってネットの制約の程度が異なるため、バレーボール選手としては SJ と BJ の2つの跳躍動作を上手く使い分ける能力と高い跳躍高を発揮する能力とを兼ね備えている必要がある。

従来から跳躍高に及ぼす身体各部のうち下肢の関与度の重要性が指摘されている。跳躍高に影響する下肢の関節運動の貢献を調べるために跳躍動作を分析する際、着目される動作相は踏み切り時である¹²⁾。Ford らは、ドロップジャンプでの跳躍高は、踏み切り時の膝関節と股関節の伸展モーメントが大きく影響していると報告している⁴⁾。また、Lian らは、ジャンパー膝の症状を呈するバレーボール選手は、そうでない選手と比べて跳躍高が高く、膝の伸展筋力も強いと報告している¹¹⁾。その他、Lee らは、垂直跳びの跳躍高は股関節の柔軟性によっても影響を受けると報告している⁷⁾。つまり、垂直に跳ぶ動作の跳躍高に大きく影響するのは下肢の伸展筋力や柔軟性であると考えられている³⁻⁷⁾。このように、跳躍動作における下肢の貢献度については、膝関節と股関節に着目されている場合が多い。しかし、跳躍動作は全身が協調的に働くことによって達成され、特に跳躍の力源となる踏み切り時の下肢伸展運動は、股関節と膝関節だけでなく足関節と体幹の運動の関与があるので、足関節や体幹は SJ や BJ の跳躍高に及ぼす影響を調べる際には必要な分析対象部位である。本研究では、そのことを踏まえて、股関節、膝関節、足関節、体幹の4部位の運動と下肢の伸展に関わる筋肉の活動について SJ と BJ を分析し、跳躍高の違いに及ぼす影響を調べることによって、SJ と BJ における各関節と各筋の貢献の特徴を明らかにしようとした。

Bobbert らは、Countermovement jump と Squat jump による跳躍高の違いを報告している³⁾。そこでは、跳躍高の差は平均 3.4 cm であり、その差異は踏み切り時の関節モーメントが影響していると報告している。また、阿部らは、助走を用いた SJ において、より高い跳躍高を獲得するためには、助走により得られる水平方向の力を効率よく鉛直方向に変換する必要があるとし、そのためには踏み切り時の身体の後方制動が重要となり、そこに足関節底屈・膝関節伸展・股関節伸展運動が関与してくると報告している⁸⁾。さらに、助走による水平方向の力を鉛直方向の力に変換するには、股関節の伸展モーメントが大きく関わっていると報告されている^{18,19)}。本研究では、SJ と BJ とで跳躍

高差をみると平均 0.09 m, 最低で 0.05 m, 最大で 0.13 m の差が認められ, この差異の生じる原因を踏み切り時の関節角度と筋活動に着目して分析した。その結果では, SJ は BJ に比べて, 膝関節屈曲角度と足関節底屈角度と体幹前傾角度および大腿二頭筋の活動量に有意な差を示した。すなわち, SJ は BJ よりも, 跳躍の踏み切り時には膝関節の屈曲角度を浅くし, 足関節の背屈角度を小さくし, 体幹の前傾角度も浅くしながら, BF の筋活動を高めて下肢の伸展力を発揮することによって, BJ よりも高く跳ぶことができたと考えられた (表 4)。しかも, 足関節の底屈角度が最も SJ の跳躍高と相関していたので (表 5, $r=0.824$), SJ では膝関節と股関節の矢状面におけるモーメントアームが BJ よりも短くなることを考え合わせると, SJ では足関節底屈運動による跳躍高の向上が達成されているのではないかと考えられた。さらには, 阿部らが指摘しているように SJ では助走により得られる水平方向の力を効率よく鉛直方向に変換する必要があるので, BJ との有意差が認められなかったものの踏み切り時にみられた GL の比較的高い活動は足関節背屈の制動にも関与し, その結果, 下腿の前傾を抑えることで助走による水平方向の力をより鉛直方向の力に変換できたのではないかと考えられる。

体幹前傾角度について考えてみると, バレーボールでは前方にネットがあるので体幹前傾による上半身の前方変位を制動しながら跳躍力を高める必要がある。山副は, 高く跳ぶためには踏み切り時に質量の大きい体幹を振り上げ, 身体の鉛直方向への慣性を生み出す必要性を指摘している³⁰。また, 石田らは, 股関節を屈曲させ体幹を前傾させると脊柱起立筋の発揮筋力が減少すると報告している³¹。さらに, Amasay は, BJ をスクワット肢位から行った場合と直立位から行った場合とで跳躍高を比較し, その結果, 直立位から行った場合の方が高く跳べると報告している³²。このように考えると, 本研究では, SJ と BJ での体幹前傾角度は SJ の方が有意に小さかったが, それぞれ平均 21 度と 35 度といずれも小さな値を示したのは, ネットの存在があったため体幹の前傾を制御しようと脊柱起立筋を働かせ, かつ下肢の伸展筋群の活動を効率よく伝達させることにより跳躍高差に影響を及ぼしたと考えられる。しかし, 体幹前傾角度は, SJ や BJ の跳躍高との間に相関関係を示さなかった (表 5), その影響は非常にわずかではないかと考えられた。

V. 結 語

SJ と BJ の跳躍高に及ぼす影響の違いは, SJ は BJ よりも膝関節の屈曲角度と体幹の前傾角度を減じ, 足関節の背屈角度も小さくしながら, 大腿二頭筋の活動を生かして下肢の伸展力を発揮させる点が異なっている。しかも, 足関節の底屈可動域を増大させるように腓腹筋外側頭の活動を高めることによって, 下腿の前傾を制動しつつ助走による水平力の鉛直方向への変換をすることによって跳躍高を高めていたと考えられた。

本研究ではより実践に近い形での動作を用いたために, ジャンプ動作における条件をネットの位置と踏み切る位置以外には特に与えなかった。しかし, このことにより, 筋活動量において個人差が大きくなった。また, 対象者数も少なかったために統計学的には十分な解明には至っていない。

今後は, 対象者を増やし, 動作に条件を付け加え, さらには, スパイクフォームや筋力, 筋活動量などによって群分けをすることで, SJ と BJ における跳躍高の差異を多関節運動連鎖との関連から検討していく必要があると考えている。そして, 本研究では主に矢状面での関節運動のみに着目してきたが, 水平面や前額面での運動と関節モーメントについても追求し, 上肢や体幹の影響も考慮して研究をすすめていく必要があると考えている。

謝辞

本稿を終えるに当たり, 研究に協力して下さいました神戸大学体育会バレーボール部員の皆様, 機器操作等について助言下さいました株式会社ナックイメージテクノロジーの古田誠朗氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本バレーボール協会指導普及委員会編:「シリーズ, スポーツ Q&A, 実践バレーボール下」大修館書店, 東京, 1983, pp.86-87
- 2) 黒川貞夫:「バレーボールの競技力向上に資するスポーツ科学の成果. 21 世紀と体育・スポーツ科学の発展 2」日本体育学会第 50 回記念大会誌, 日本体育学会第 50 回記念大会特別委員会編集, 2000, pp.89-99
- 3) Bobbert MF, Gerritsen KG, Litjens MC, et al.: Why is countermovement jump height greater than squat jump height? Med Sci Sports Exerc. 1996 Nov; 28(11): 1402-1412.
- 4) Ford KR, Myer GD, Brent JL, et al.: Hip and knee extensor moments predict vertical jump height in adolescent

- girls. *J Strength Cond Res.* 2009 Jul; 23(4) : 1327-1331.
- 5) de Ruyter CJ, Vermeulen G, Toussaint HM, et al. : Isometric knee-extensor torque development and jump height in volleyball players. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Aug; 39(8) : 1336-1346.
- 6) Sheppard JM, Cronin JB, Gabbett TJ, et al. : Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *J Strength Cond Res.* 2008 May; 22(3) : 758-65.
- 7) Lee EJ, Etnyre BR, Poindexter HB, et al. : Flexibility characteristics of elite female and male volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 1989 Mar; 29(1) : 49-51.
- 8) 阿部通良：「高さをねらいとする跳のバイオメカニクスの特性，身体運動の科学V」杏林書院，東京，1983，pp.182-188，1983
- 9) Ferretti A, Papandrea P, Conteduca F. : Knee injuries in volleyball. *Sports Med.* 1990 Aug; 10(2) : 132-8.
- 10) Lian OB, Engebretsen L, Bahr R. : Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports : a cross-sectional study. *Am J Sports Med.* 2005 Apr; 33(4) : 561-7. Epub 2005 Feb 8.
- 11) Lian Ø, Refsnes PE, Engebretsen L, et al. : Performance characteristics of volleyball players with patellar tendinopathy. *Am J Sports Med.* 2003 May-Jun; 31(3) : 408-13.
- 12) Richards DP, Ajemian SV, Wiley JP, et al. : Knee joint dynamics predict patellar tendinitis in elite volleyball players. *Am J Sports Med.* 1996 Sep-Oct; 24(5) : 676-83.
- 13) Blazina, M. E., Kerlan, R. K., Jobe, F. W., et al. : Jumper's knee. *Orthopedic Clinics of North America* 1973, 4, 665-678
- 14) Ferretti A. : Epidemiology of jumper's knee. *Sports Med.* 1986, Jul-Aug; 3(4) : 289-95.
- 15) Kettunen JA, Kvist M, Alanen E, et al. : Long-term prognosis for jumper's knee in male athletes. A prospective followup study. *The American Journal of Sports Medicine* 2002, 30, 689-692.
- 16) Wagner H, Tilp M, Duvillard SP, et al. : Kinematic Analysis of Volleyball Spike Jump. *Int J Sports Med.* 2009 Jul 7
- 17) 倉林準：「股関節中心推定方法の比較・検討」バイオメカニズム学会誌 2003, 27(1), p.29-36
- 18) 長見豊：「スパイクジャンプの制動動作における軸足の力学的負担について」理学療法学 2004, 31(2), p.43
- 19) 長見豊：「大学バレーボール選手のスパイクジャンプ動作解析」理学療法学 2002, 29(2), p.312
- 20) 山副孝文, 浦川宰, 藤野雄次他：「垂直跳び動作における体幹・下肢筋放電パターンと跳躍成績の関連」体力科学 2006, 55(6), p.844
- 21) 石田弘, 渡邊進, 田邊良平他：「前かがみ姿勢での等尺性引き上げ運動における体幹および股関節伸展筋の筋電図学的検討－体幹前傾角度の違いが及ぼす影響－」理学療法学 2007, 34(3), p.74-78
- 22) Amasay T. : Static block jump techniques in volleyball : upright versus squat starting positions. *J Strength Cond Res.* 2008 Jul; 22(4) : 1242-8.