

2008年度 修士論文

バレーボールにおける  
スパイクジャンプの跳躍高と筋機能の関係

Relationships between jump height and muscular  
function in women volleyball players

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5007A002-4

飯島 康平

Iijima, Kouhei

研究指導教員： 岡田 純一 准教授

# バレーボールにおけるスパイクジャンプの跳躍高と筋機能の関係

コーチング科学研究領域

5007A002-4 飯島 康平

研究指導員：岡田 純一 准教授

## 【緒言】

バレーボールのゲームにおいてスパイクはゲームの勝敗を左右する重要な技術であるが、スパイクの決定力を上げる手段の一つとして高い打点で打つことが挙げられる。そのためにはできるだけ高く跳ぶことが重要である。

バレーボールでスパイクを打つ時の跳躍動作の多くは助走を伴う両脚踏切の跳躍であり、特にスパイクジャンプと呼ばれている。スパイクジャンプは膝屈曲角度、踏切時間、筋出力などが左右で異なり、左右非対称の動作であり、垂直跳びとも大きく異なっている。

一方、垂直跳びの跳躍高と下肢の筋力、筋パワーといった筋機能との関係について検討した研究では、垂直跳びの跳躍高と筋力、筋パワーとの間に有意な相関関係があることが認められている。しかし、これまでにスパイクジャンプと筋機能との関係について明確にはなされていない。

そこで本研究はスパイクジャンプの跳躍高と下肢における筋出力特性との関係を検討し、スパイクジャンプの跳躍高に及ぼす下肢の筋機能を明らかにすることを目的とする。

## 【方法】

バレーボールをクラブ活動で経験しスパイクジャンプに慣れている女子大学生 19 名を本研究の被験者とした。

跳躍パフォーマンスとして VJ (直立姿勢から腕振りと脚の反動動作を用いた跳躍) および APJ (スパイクジャンプをシミュレートした 3 歩の助走と腕振りを用いた両脚踏切の跳躍) の跳躍高をヤードスティック (Swift performance equipment 社製) を用いて測定した。また、APJ

と VJ の跳躍高の差を求め助走の貢献率とした。

以下の垂直跳びをフォースプレート上で測定し、スピード筋力の指標とした。

①SJ (腕振り無し、反動無しの跳躍) および SJA (腕振り有り、反動無しの跳躍) : 求心性収縮における下肢の瞬発的パワーの指標。

②CMJ (腕振り無し、反動有りの跳躍) および CMJA (腕振り有り、反動有りの跳躍) : 長時間の SSC 運動の遂行能力の指標。

③DJ (30cm の台上から跳び下り、着地直後に腕振りを用いずにできるだけ短い接地時間で高く跳ぶ跳躍) および DJA (30cm の台上から跳び下り、着地直後に腕振りを用いてできるだけ短い接地時間で高く跳ぶ跳躍) : バリステックな SSC 運動の遂行能力の指標。

SJ, SJA, CMJ および CMJA は跳躍高を算出し、DJ および DJA は跳躍高を踏切時間で除した値 (DJ-index, DJA-index) を算出した。また、パワープロセッサを用いて、ジャンプスクワットによる最大脚伸展パワー (Pm) およびスクワット動作による最大脚伸展筋力 (Fm) を測定した。さらに BIODEX を用いて等尺性 (ISO), 60 度/秒および 300 度/秒での求心性 (CON) および遠心性 (ECC) 膝伸展筋力を左右の膝について測定した。なお、分析処理においてスパイクジャンプ踏切時の前脚 (F) と後脚 (B) に分け膝伸展筋力の分析を行い、前脚の求心性筋力を FC, 後脚の遠心性筋力を BE のように表記した。統計処理は測定項目間の相関関係を検討するためにピアソンの積率相関係数を算出した。また、跳躍パフォーマンスおよび膝伸展筋力の測定値に基づき上位 9 名下位 9 名の二群に分け、二群間の平均値の差の検定を対応のない t 検定を用いて行った。いずれも危険率 5% 未満をもって有

意とした。

### 【結果および考察】

APJ(58.9cm)はVJ(50.6cm)に比べ有意に高い値を示した。この要因として助走によってSSCの効果が高まったことが考えられる。助走の貢献率は16.2%であり、APJの跳躍高と助走の貢献率との間に $r=0.71$ で有意な相関関係が認められた。また、APJの跳躍高と腕振り有りの垂直跳びとの相関( $r=0.64\sim 0.77$ )は腕振り無しの垂直跳びとの相関( $r=0.55\sim 0.68$ )よりも高い傾向にあった。さらにAPJの上位群のCMJAにおける腕振りの貢献率は下位群と比較して有意に高値を示した。これらのことからスパイクジャンプで高い跳躍高を獲得するためには助走および腕振りを効果的に使い、身体の総仕事量を高めることが重要であると考えられる。

APJの跳躍高と相関関係が高かったのはスピード筋力および最大脚伸展パワーであった( $r=0.62\sim 0.77$ )。また、FC300/kg、BC300/kgとの間に有意な相関関係( $r=0.51$  および  $0.59$ )が認められたが、ISO、ECC60度/秒、ECC300度/秒およびCON60度/秒との間に有意な相関を認めなかった。なお、助走の貢献率と有意な相関( $r=0.47$ )を認めたのはDJA-indexのみであり、APJの上位群のDJ-index、DJA-indexは下位群と比較して有意に高値を示したが、VJにおける上位群と下位群の間に有意な差は認められなかった。これらの結果は、スパイクジャンプでより高く跳ぶためには単関節よりも多関節、低速度よりも高速度での求心性筋力および筋パワーが重要であり、さらに助走を効果的に使うためにはバリストリックなSSC運動の遂行能力が特に必要であることを示唆するものである。

FC300/kg および BC300/kg の各測定値の上位9名と下位9名の二群に分け、平均値の差の検定を行った。その結果、BC300/kgの上位群と下位群との間にAPJおよびVJの跳躍高に有

意な差が認められたが、FC300/kgの上位群と下位群には有意な差は認められなかった。この結果は、後脚の力発揮能力に優れたものがスパイクジャンプで高い跳躍高を獲得できる可能性を示唆するものである。

### 【結論】

スパイクジャンプの跳躍高に強く影響するのはパワーおよび高速での求心性筋力であることが明らかになった。特に、DJA-indexで評価される爆発的パワー発揮能力を高めること、および後脚で大きな力を発揮することが助走を効果的に使いスパイクジャンプの跳躍高を高めるための必要条件であることが示唆された。

表 1. 測定項目間の相関関係

	APJ	VJ	貢献率
SJ	0.62 **	0.68 **	0.22
SJA	0.77 ***	0.69 ***	0.44
CMJ	0.63 **	0.65 **	0.28
CMJA	0.75 ***	0.76 **	0.34
DJ-index	0.66 **	0.55 *	0.44
DJA-index	0.75 ***	0.64 **	0.47 *
Pm/kg	0.62 **	0.71 ***	0.19
Fm/kg	0.10	0.24	-0.12
FISO/kg	-0.02	0.21	-0.26
FC60/kg	0.30	0.43	0.02
FC300/kg	0.51 *	0.59	0.17
FE60/kg	0.03	0.29	-0.28
FE300/kg	0.06	0.36	-0.30
BISO/kg	0.22	0.55 *	-0.28
BC60/kg	0.45	0.58 **	0.06
BC300/kg	0.59 **	0.54 *	0.33
BE60/kg	0.12	0.31	-0.16
BE 300/kg	0.05	0.35	-0.30

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$

## 目次

第 1 章 序論	1
1-1 緒言	1
1-2 研究小史	2
1-2-1 スパイクジャンプに関する研究	2
1-2-2 スピード筋力	3
1-2-3 跳躍パフォーマンスと筋力との関係	4
1-3 目的	6
第 2 章 方法	7
2-1 被験者	7
2-2 跳躍パフォーマンスの測定	7
2-3 筋機能の測定	8
2-3-1 測定項目	8
2-3-2 スピード筋力	8
2-3-3 最大脚伸展パワーおよび最大脚伸展筋力	10
2-3-4 膝伸展筋力	11
2-4 統計処理	12
第 3 章 結果	14
第 4 章 考察	16
4-1 助走の効果	16
4-2 腕振りの効果	16
4-3 APJ の跳躍高と筋力および筋パワーとの関係	17
4-4 APJ とバリスティックな SSC 運動の遂行能力の関係	18
4-5 前脚と後脚について	20
4-6 実践への応用	21
第 5 章 結論	22
参考文献	23
謝辞	30
表図	31

# 第 1 章 序論

## 1-1 緒言

スポーツの中の跳躍動作は「距離志向動作」と「距離有意動作」に分けられる<sup>22)</sup>。前者は陸上競技の走幅跳びや走高跳びなどの跳躍距離がそのまま競技成績につながるものであり、後者はバスケットボールやバレーボールなどの球技に多くみられ、跳躍距離が直接成績につながるということはないが、競技進行上極めて有利になるというものを指す<sup>22)</sup>。バレーボールのゲームにおいて総得点の 48.8%~62.1%がスパイクによる得点である<sup>25)</sup>ことから、スパイクはゲームの勝敗を左右する重要な技術であると考えられる。スパイクの決定力を上げる手段の一つにできるだけ高い打点で打つことが挙げられるが、そのためにはできるだけ高く跳ぶことが重要であると考えられる。

バレーボールにおいてスパイクを打つ時の跳躍動作の多くは助走を伴う両脚踏切の跳躍であり、特にスパイクジャンプと呼ばれている。スパイクジャンプは助走によって生み出された水平速度を効率的に垂直速度に変換することによって、垂直跳びよりも 12~19cm 高い跳躍高を獲得することを可能にし、空中でより多くの戦術的行動の可能性をスパイカーに与える<sup>4)</sup>。スパイクジャンプにおける助走の多くは、2 歩の走ステップにホップを加えた 3 歩である<sup>4)</sup>。右利きの選手の場合、踏切局面においてまず右足で接地し、次いで左足が右足の前<sup>4)</sup>に接地し離地に至る<sup>43)</sup>ことが一般的である。

スパイクジャンプと垂直跳びを比較するとスパイクジャンプの方が垂直跳びよりも踏切時の膝屈曲角度が浅く、垂直跳びは左右対称の動作であるのに対しスパイクジャンプは左右非対称の動作であり、且つ助走を伴うといった点で異なっている。

一方、跳躍高は離地時の重心の鉛直速度によって決まる<sup>1)</sup>。その鉛直速度は鉛直力積によって決まるため、鉛直速度を高めるためには鉛直方向の大きな力を地面に加える必要がある<sup>1)</sup>。また、垂直跳びの跳躍高と筋力、筋パワーといった下肢の筋機能との関係について検討したものは数多くあり<sup>3)6)14)26)27)35)36)</sup>、下肢三関節の伸展筋力および筋パワーと有意な相関関係があると報告されている<sup>54)58)</sup>。また、Nagano ら<sup>45)</sup>は下肢三関節の総仕事量が跳躍パフォーマンスに最も

強く影響し、跳躍動作の違いはほとんど影響しないと報告している。同様に、垂直跳びの優劣を決定する主要な要因は大きな力を素早く発揮する能力であり、跳躍技術はさほど重要な要因でないという報告もある<sup>56)</sup>。これらの先行研究から高い跳躍高を獲得するためには筋力、筋パワーといった体力的要因が技術的要因よりも大きいということが考えられる。

しかし、スパイクジャンプと垂直跳びは異なっており、スパイクジャンプに必要とされる筋機能も異なると考えられる。したがって、スパイクジャンプと強く関係する筋機能を明らかにすることは、バレーボール選手の競技力向上に有用であると考えられるが、これまでにスパイクジャンプに関する研究はわずかであり、スパイクジャンプを向上させる筋機能については明らかでない。

そこで本研究は、スパイクジャンプの跳躍高と下肢における筋出力特性との関係を検討し、スパイクジャンプの跳躍高に及ぼす下肢の筋機能を明らかにすることを目的とする。

## 1-2 研究小史

### 1-2-1 スパイクジャンプに関する研究

バレーボールにおけるスパイク技術は助走、踏切、空中、打球、フォロースルー、着地の6局面に分けることができる<sup>4)</sup>。一般に助走と踏切局面を合わせてスパイクジャンプと呼ぶ。スパイクジャンプは助走によって生み出された水平速度を効率的に垂直速度に変換することによって、垂直跳びよりも12~19cm高い跳躍高を獲得することを可能にし、空中でより多くの戦術的行動の可能性をスパイカーに与える<sup>4)</sup>。Sheppardら<sup>49)</sup>はナショナルレベルの男子バレーボール選手では助走の貢献率は24%~28%と報告している。また、助走を伴うことによって最大および平均床反力も垂直跳びに比べ増加することが報告されている<sup>39)41)50)</sup>。

踏切局面では通常、右利きプレーヤーであれば、右足が接地し、次いで左足が右足の前<sup>4)</sup>に接地する<sup>43)</sup>。踏切時間は全体では220msec~378msecであり、左足では167msec~266msecと報告されている<sup>24)44)</sup>。また、Tilpら<sup>53)</sup>は踏切時の右膝の伸展時間は133msec、左膝は106msecと報告している。同じく、右利きプレーヤーにおける踏切時の右膝の最大屈曲角度は約90度~116度、左膝の

最大屈曲角度は約 125~140 度である<sup>24)43)53)</sup>。

以上のように、スパイクジャンプでは膝関節の屈曲角度、踏切時間が左右の脚で異なっており、左右非対称の動作であると考えられる。すなわち、垂直跳びの最下点での膝関節屈曲角度 77 度<sup>7)</sup>、踏切時間 840msec<sup>8)</sup>、伸展時間 290msec<sup>8)</sup>と大きく異なっていると考えられる。さらに、左右の脚を **Lead leg(LL**：スパイクジャンプの踏切時に先に接地する脚)と **Trail leg(TL**：スパイクジャンプの踏切時に LL に次いで接地する脚)と位置付けて、運動力学的に比較した研究<sup>41)</sup>では、スパイクジャンプにおける平均床反力および下肢三関節の平均関節モーメントは TL に比べ LL の方が有意に高い。一方、スパイクジャンプ時に LL が発揮した床反力および膝関節モーメントの平均値は垂直跳びに比べ有意に高い値を示したが、TL では垂直跳びの方がスパイクジャンプよりも有意に高かったと報告されている<sup>41)</sup>。また、バレーボール選手を対象に垂直跳び時の左右脚の床反力について検討した研究<sup>51)</sup>では、利き脚の平均床反力は非利き脚に比べ有意に高いと報告されていることから、バレーボール選手は跳躍時の筋出力にも左右差があることが考えられる。

### 1-2-2 スピード筋力

急激な力発揮または高速での力発揮のことをスピード筋力と呼び<sup>34)</sup>、スピード筋力の評価指標として **squat jump(SJ)**, **countermovement jump(CMJ)**, **drop jump(DJ)**が用いられている<sup>59)60)</sup>。

**SJ** は膝関節を屈曲し、静止した状態から反動動作を用いずに跳ぶ跳躍であり、純粋な求心性収縮における下肢の発揮パワーの評価指標とされている<sup>21)59)60)</sup>。直立姿勢から下肢の反動動作を用いて跳ぶ **CMJ** は長時間の **SSC** 運動の遂行能力の評価指標となる<sup>59)64)</sup>。さらに **DJ** はある高さの台から跳び下り、着地後ただちに高く跳びあがる跳躍であり、跳躍高を踏切時間で除して求めた指数(**drop jump index** : **DJ-index**)を用いてバリスティック (短時間) な伸張 - 短縮サイクル(**stretch-shortening cycle** : **SSC**)運動の遂行能力の評価指標となる<sup>63)64)</sup>。

**DJ** における跳躍高と踏切時間との間には有意な相関関係はないことから、両者は互いに独立した異なる能力である<sup>65)</sup>。一方、**DJ-index** と跳躍高、**DJ-index**

と踏切時間との間には高い相関関係があることから **DJ-index** は両者の能力を反映した指標であり<sup>64)</sup>、バリスティックな **SSC** 運動の遂行能力の評価に適していると報告されている<sup>64)</sup>。また、**CMJ** の跳躍高と **DJ-index** との相関は高くはないことから、両者はそれぞれ異なった能力であると報告されている<sup>32)61)</sup>。

反動動作は **SSC** を含んだ動作である。**SSC** は求心性収縮に先立って遠心性収縮が生じる筋活動のことであり<sup>38)</sup>、求心性の筋活動だけによって発揮可能な筋力よりも大きくなる<sup>15)52)</sup>。**Schmidtbleicher**<sup>48)</sup>は動作時間によって **SSC** 運動が 2 種類に分類できるとしている。すなわち、バスケットボールにおけるジャンプシュートやバレーボールのブロックジャンプのような下肢関節の角変位が大きく、動作時間が **250msec** 以上の長時間の **SSC** と走り高跳びや走り幅跳びのような下肢関節の角変位が小さく動作時間が **250msec** 以下の短時間の **SSC** である。また、**CMJ** と **DJ** をバイオメカニクスの的に比較した研究<sup>8)</sup>では、跳躍高は **CMJ** の方が **DJ** に比べ有意に高い値を示したが、関節角速度、関節モーメントおよび関節パワーでは **DJ** の方が **CMJ** に比べ有意に高値を示した。このように動作および筋出力が両者で異なっているため、踏切時間が **840msec**<sup>8)</sup>の **CMJ** は長時間の **SSC** 運動、**260msec**<sup>8)</sup>の **DJ** は短時間（バリスティック）の **SSC** 運動に分類される。

スパイクジャンプの跳躍高と **CMJ**・**DJ**（沈み込みの浅い **DJ**）の跳躍高、スクワット **1RM** およびジャンプスクワット時の発揮パワーとの関係について検討した研究<sup>49)</sup>では、スパイクジャンプと最も相関が高かったのは **DJ** の跳躍高であったと報告している。また、**Young** ら<sup>63)</sup>は助走を伴う片足踏切の跳躍(**Run-up jump**)あるいは垂直跳び(**VJ**)の跳躍高を従属変数、**DJ-index** を含む 5 つの筋機能を独立変数とし重回帰分析を行った結果、**VJ** に **DJ-index** は選択されなかったが、**Run-up jump** には **DJ-index** が選択されたと報告している。

これらの知見から助走を伴い踏切時間の短い跳躍ではバリスティックな **SSC** 運動の遂行能力も必要であると考えられる。しかし、**Sheppard** らの研究<sup>49)</sup>では、**DJ**は跳躍高のみでしか評価しておらず、踏切時間については考慮されていない。

### 1-2-3 跳躍パフォーマンスと筋力と関係

これまでに垂直跳びの跳躍高と等尺性および等速性の下肢三関節の伸展筋力

との関係<sup>3)14)18)23)25)26)35~37)40)54)</sup>, 脚伸展筋力および脚伸展パワーとの関係<sup>6)25)27)28)37)40)46)49)58)63)65)</sup>について検討した研究は数多くある。

金久<sup>37)</sup>および福永ら<sup>25)</sup>は膝関節伸展筋力と垂直跳びとの間には有意な相関はないが, スクワット動作における立ち上がり時のパワーおよび平均筋力との間に有意な相関関係が認められたことを報告している。また, スクワットの 1RM, 等速性のスクワット時のピークフォースあるいは脚伸展パワーと垂直跳びとの間に有意な相関関係が認められている<sup>6)40)46)47)49)58)63)</sup>。一方, スクワット動作あるいは脚伸展動作における等尺性筋力と垂直跳びとの間には有意な相関を認める報告<sup>28)65)</sup>と相関を認めていない報告<sup>46)63)</sup>がある。

Jarić ら<sup>36)</sup>は股関節, 膝関節および足関節の等尺性筋力と垂直跳びの跳躍高との間に有意な相関関係があることを報告している。また, 深代ら<sup>23)</sup>および Tsiokanos ら<sup>54)</sup>は下肢三関節の等速性筋力(60~180deg/sec)と垂直跳びの跳躍高との間に有意な相関関係を認めているが, 等尺性膝伸展筋力, 5rpm および 30deg/sec~150deg/sec での等速性膝伸展筋力と垂直跳びとの間に有意な相関関係を認めていない報告もある<sup>3)25)37)40)</sup>。一方, 30deg/sec~300deg/sec における等速性膝伸展筋力と垂直跳びとの関係について検討した研究<sup>14)26)35)</sup>では, 低速から中速(30deg/sec~180deg/sec)における等速性膝伸展筋力と垂直跳びとの間に有意な相関関係は認められなかったが, 中速から高速(180deg/sec~300deg/sec)での等速性膝伸展筋力との間に有意な相関関係を認めている。また, 垂直跳びと低速, 中速および高速での下肢の伸展筋力あるいはパワーとの相関関係はいずれも有意であるが, 低速よりも高速での筋力およびパワーとの相関関係が強いと報告されている<sup>6)54)58)</sup>。

遠心性膝伸展筋力と垂直跳びの跳躍高との関係について検討した研究<sup>3)37)40)</sup>ではいずれも跳躍高と遠心性筋力との間に有意な相関はなかったと報告している。また, DeStaso ら<sup>18)</sup>はドロップジャンプの跳躍高と遠心性膝伸展筋力および遠心性足関節底屈筋力との間に有意な相関関係を認めていない。

垂直跳びにおいて重要なことは求心性局面における多関節でのパワーおよび高速度, すなわち垂直跳びに速度特異的な筋力発揮であると思われる。しかし, 低速度および等尺性筋力に関しては一致した見解が得られていない。また, 前述したように, 筋出力の左右差といった問題もあるがこれまでに左右の脚の筋

力と垂直跳びとの関係について検討したものはわずかしかない<sup>3)</sup>.

### 1-3 目的

そこで本研究の目的は、スパイクジャンプの跳躍高と下肢における筋出力特性との関係を検討し、スパイクジャンプの跳躍高に及ぼす下肢の筋機能を明らかにすることとする。

## 第 2 章 方法

### 2-1 被験者

バレーボールをクラブ活動で経験しスパイクジャンプに慣れている女子大学生 19 名（年齢： $20.6 \pm 1.5$  歳，身長： $165.9 \pm 7.3$ cm，体重： $57.4 \pm 6.5$ kg，競技歴： $6.9 \pm 2.6$  年）を本研究の被験者とした．実験に先立ち，被験者に本研究の目的，方法および実験への参加に伴う危険性についての説明を文書ならびに口頭で十分に行い，全ての被験者から書面による同意を得た．

### 2-2 跳躍パフォーマンスの測定

#### (1) 跳躍の方法

次の 2 種類の跳躍における跳躍高を測定した．

a) Vertical Jump(VJ)：直立姿勢から腕振りと脚の反動動作を用いた跳躍

b) Approach Jump(APJ)：3 歩の助走と腕振りを用いた両脚踏切での跳躍．なお，助走の速度および距離は被験者の任意とした．

#### (2) 測定器具

跳躍高の測定にはヤードスティック（Yard Stick II，Swift performance equipment 社製）を用いた．なお，ヤードスティックはポールと指先で簡単に動かすことができるパネルから構成されており，跳躍時にパネルを叩くことによって 1cm 単位で跳躍高を測定することのできる垂直跳び測定器である(図 1)．

#### (3) 測定手順

測定はリーチ高（上肢挙上中指端高）<sup>33)</sup>，VJ，APJ の順に行った．測定前には被験者にストレッチなどのウォーミングアップに加え，各跳躍動作につき十分な練習を行わせた．

リーチ高<sup>33)</sup>は立位で利き腕を垂直に真っ直ぐに伸ばし，指先が届くところまでのパネルをはたき，残った一番下のパネルの高さをリーチ高として記録した．

VJ および APJ の測定は，跳躍時にできるだけ高い位置にあるパネルをはたき，残った一番下のパネルの高さを各跳躍における到達点とした．2 回目以降の測定では，直前の跳躍で残ったパネルを目標に跳躍を行わせた．各跳躍は 3 回ずつ試行を行った．但し，3 回目の試行で記録が伸びた場合は 4 回目以降も測定を続

け、記録が伸びなくなった時点で測定を終了とした。測定が終了した時点で、残った一番下のパネルの高さを到達点の記録として採用した。

#### (4) 分析項目

各跳躍における到達点からリーチ高を引いた値を VJ および APJ の跳躍高とした。また、本研究では VJ および APJ の跳躍高から「 $\{(APJ \text{ の跳躍高} - VJ \text{ の跳躍高}) / VJ \text{ の跳躍高}\} \times 100$ 」を算出し、助走の貢献率とした。

### 2-3 筋機能の測定

#### 2-3-1 測定項目

跳躍パフォーマンスと筋機能の関係について検討するため、以下の項目について測定した。

- ①多関節運動…スピード筋力<sup>60)63)</sup> (純粋な求心性収縮による下肢の瞬発的パワーの評価指標となる SJ および SJA<sup>21)60)</sup>, 長時間の SSC 運動の遂行能力の評価指標となる CMJ および CMJA<sup>21)60)</sup>, バリステイックな SSC 運動の評価指標となる DJ および DJA<sup>63)64)</sup>, スクワット動作による最大脚伸展パワーおよび最大脚伸展筋力。
- ②単関節運動…等尺性, 求心性および遠心性膝伸展筋力

#### 2-3-2 スピード筋力

##### (1) 試行

Forceplatform (FP6012-15, Bertec 社製) を用いて以下の試行を行った。

- a) Squat jump without an arm swing (SJ) : 手を腰に当て、膝関節を 90 度に屈曲したスクワット姿勢から、腕振りと反動動作を用いない跳躍。
- b) Squat jump with an arm swing (SJA) : 膝関節を 90 度に屈曲したスクワット姿勢から脚の反動動作は用いずに、腕振りのみを用いた跳躍。
- c) Countermovement jump without an arm swing (CMJ) : 手を腰に当て、直立姿勢から腕振りは用いずに脚の反動動作のみを用いた跳躍。
- d) Countermovement jump with an arm swing (CMJA) : 直立姿勢から、腕振りおよび脚の反動動作を用いた跳躍。
- e) Drop jump without an arm swing (DJ) : 手を腰に当て、30cm の台の上から

跳び下り，着地直後に腕振りはいわずにできるだけ短い踏切時間で高く跳ぶ跳躍。

f) Drop jump with an arm swing (DJA) : 30cm の台の上から跳び下り，着地直後に腕振りを用いてできるだけ短い踏切時間で高く跳ぶ跳躍。

## (2) 測定手順

本測定に先立ち，被験者は，ウォーミングアップに加え，試行に慣れることを目的として各跳躍動作につき十分な練習を行った。SJ および SJA の測定では，Forceplatform の上に乗りスクワット姿勢になってから 1~2 秒程度静止した後跳ぶように指示した。同様に CMJ および CMJA の測定では Forceplatform の上に乗ってから直立姿勢で 1~2 秒程度静止してから跳ぶように指示した。また，各跳躍動作の実施にあたり，被験者に対して，SJ, SJA, CMJ および CMJA ではできるだけ跳躍高が高くなるように最大努力で行うように指示し，DJ および DJA ではできるだけ短い接地時間でできるだけ跳躍高が高くなるように最大努力で行うように指示した<sup>61)</sup>。各跳躍は 3 回ずつ試行を行い，SJ, SJA, CMJ および CMJA は跳躍高が最も高いものを記録として採用し，DJ および DJA では DJ-index, DJA-index が最も大きいものを記録として採用した。

測定順序は SJ, CMJ, DJ を無作為に行い，その後に SJA, CMJA, DJA を無作為に行った。

## (3) データ分析

各跳躍における床反力の垂直方向の力( $F_z$ )を Forceplatform (FP6012-15, Bertec 社製)を用いて測定した。アナログ信号は A/D 変換器 (Powerlab 16SP, ADInstruments 社製)を介してサンプリング周波数 1000Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。

$F_z$  のデータをもとに滞空時間( $t_a$ )を求めた。滞空時間は， $F_z$  が離地によって基線の水準へ低下した時点から，着地によって基線から急峻に立ち上がり始めた時点までの時間とした<sup>66)</sup> (図 2~4)。さらに，DJ および DJA については踏切時間( $t_c$ )についても求めた。踏切時間は，台から跳びおりた際の着地によって  $F_z$  が基線から急峻に立ち上がり始めた踏切開始時点から，離地によって  $F_z$  が基線の水準へ低下した踏切終了時点までの時間とした<sup>66)</sup> (図 4)。各跳躍における跳躍高( $h$ )は滞空時間をもとに式(1)より跳躍高を算出した。また，DJ および DJA

については DJ-index, DJA-index を式(2)より算出した<sup>64)</sup>.

$$h = 1/8 \cdot g \cdot ta^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$DJ\text{-index, DJA-index} = h / tc \quad \dots \dots \dots (2)$$

[h : 跳躍高, g : 重力加速度(9.81m/s), ta : 滞空時間, tc : 踏切時間]

また, 腕振りを伴う跳躍(SJ, CMJ, DJ)と腕振りを伴わない跳躍(SJA, CMJA, DJA)の跳躍高および index の差から腕振りの貢献率「{(腕振りを伴う跳躍－腕振りを伴わない跳躍)／腕振りを伴わない跳躍}×100」<sup>30)</sup>を算出した.

### 2-3-3 最大脚伸展パワーおよび最大脚伸展筋力

#### (1) 試行

被験者はパワープロセッサ (VINE 社製) のワイヤーを取り付けたベルトを腰に巻き, 以下の試行を行った.

- a) スクワット動作による等尺性脚伸展筋力発揮(SQ) : ワイヤーを固定し, 膝関節を 90 度に屈曲したスクワット姿勢でワイヤーを上方に 5 秒間牽引.
- b) ジャンプスクワット(JSQ) : 手を腰に当て, 膝関節を 90 度に屈曲したスクワット姿勢から, 腕振りと反動動作を用いない跳躍.

#### (2) 測定機器

最大脚伸展パワーおよび最大脚伸展筋力の測定には等張力性負荷装置 (パワープロセッサ, VINE 社製) を用いた. パワープロセッサは軸の回転パルス検出装置, ワイヤーの張力検出装置, ワイヤーの負荷装置およびワイヤーを軸に巻き取る小型モーターから構成されている. なお, ワイヤーに作用する負荷は, パウダーブレーキによる等張力性負荷法を用い, その強度はパウダーブレーキに供給される電圧調節装置により制御されている. ワイヤーの牽引速度は, 軸に取り付けたロータリーエンコーダーから 1/500 回転毎に出力されるパルスより求めた. 一方, ワイヤーの張力は, 引っ張り用ロードセルを用いて直接測定した. すなわち, 軸の回転時間と張力は A/D 変換器を介してサンプリング周波数 500Hz でパーソナルコンピュータに取り込み, 以下の処理を行った. 軸の回転時間は, ワイヤーが牽引される方向の線速度として演算処理され, 時間軸に対する速度曲線を求めた. さらに力曲線と速度曲線を 5 ミリ秒毎に乘じパワー曲線を得た.

### (3) 測定手順

本測定に先立ち、ウォーミングアップに加え、試行に慣れることを目的として、軽い負荷をかけて測定動作の十分な練習を行った。本測定では、全ての試行を最大努力で行うよう指示した。JSQにおけるワイヤーの負荷は0Vおよび最大脚伸展筋力のおよそ30%、40%、50%、60%、70%に相当する負荷とした。なお、負荷の順番は無作為とした。試行回数はSQの測定は2回、JSQの測定では各負荷につき3回ずつとした。

### (4) 分析方法

SQの測定において力曲線が最大まで立ち上がりプラトーになった部分の張力の最大値を抽出し(図5)、2回の測定のうち張力の最大値が大きい方を最大脚伸展筋力(Maximum Force : Fm)として評価し、分析の対象とした。JSQの測定において、一試行中に発現されるパワー曲線の最大値をピークパワーとし(図6)、各負荷における3回の測定のうちピークパワーが大きかったものを記録として採用した。さらに各負荷条件で得られたピークパワーの中の極大値を最大脚伸展パワー(Maximum Power : Pm)として評価し(図7)、分析の対象とした。

## 2-3-4 膝伸展筋力

### (1) 試行

等速性筋力測定装置(Biodex System3, Biodex Medical Systems 社製)を用いて、以下の試行を右膝、左膝について行った。

- a) 等尺性膝伸展筋力発揮(ISO) : 膝関節角度 110 度 (完全伸展位 180 度) での膝伸展動作における 5 秒間の筋力発揮。
- b) 求心性膝伸展筋力発揮(CON) : 膝関節最大屈曲位から最大伸展位までの膝伸展動作における筋力発揮。
- c) 遠心性膝伸展筋力発揮(ECC) : 膝関節 150 度 (完全伸展位 180 度) における静的筋力発揮に続く、最大屈曲位までの膝伸展動作における筋力発揮。

なお、CON および ECC における角速度はそれぞれ 60deg/sec および 300deg/sec とした。

## (2) 測定手順

被験者の測定姿勢は椅座位で、胸部 2 箇所、腰部、大腿部をストラップにより固定した。また、足部をダイナモメーターのアタッチメントにストラップを用いて固定した。この際ダイナモメーターの回転軸に膝関節の回転軸が一致するように設定した。

測定前にはウォーミングアップと練習を兼ねて、最大下努力および最大努力による筋力発揮を各測定動作で行った。測定は全ての試行を最大努力で行うよう指示した。ISO の試行は 2 回行い、CON および ECC は各角速度で 3 回ずつ試行を行った。測定は ISO, CON 60 deg/sec, CON 300deg/sec, ECC 60 deg/sec, ECC 300 deg/sec の順に行った。なお、右膝と左膝の測定順序は無作為とした。

## (3) 分析方法

膝関節伸展トルクを等速性筋力測定装置 (Biodex System3, Biodex Medical Systems 社製) を用いて測定した。アナログ信号を A/D 変換器 (Powerlab 16SP, ADInstruments 社製) を介してサンプリング頻度 1000Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。そして、取り込んだデジタル信号はソフトウェア (chart4 .2.4, ADInstruments 社製) 上で 20Hz のローパスフィルターを用いてノイズを除去した。

ISO の測定ではトルク曲線が最大まで立ち上がりプラトーになった部分でのピークトルクを抽出し (図 8)、2 回の測定のうちピークトルクの値が大きい方を記録として採用した。また、CON および ECC の測定では各試行におけるピークトルクを抽出し (図 9, 10)、3 回の試行のうち最も大きいピークトルクの値を記録として採用した。

なお、スパイクジャンプの踏切時に左右の足は前後に位置する。そのため、本研究では前脚(F)と後脚(B)に分けて膝伸展筋力の分析を行い、前脚の求心性筋力を FC、後脚の遠心性筋力を BE のように表記した。

## 2-4 統計処理

各測定項目について平均値±標準偏差を算出した。それぞれの測定項目間の相関関係を検討するためにピアソンの積率相関係数を算出した。跳躍高の高い者と低い者および APJ と VJ の特徴を明らかにするために、また、跳躍に対す

る前脚と後脚の特徴について検討するために、APJ, VJ, FC300/kg および BC300/kg における各測定値の上位 9 名と下位 9 名の二群に分けた。二群間の平均値の差の検定は対応のない t 検定を行った。

統計処理には SPSS (14.0J for Windows, エス・ピー・エス・エス社製) を使用し、いずれも危険率 5%未満をもって有意とした。

### 第3章 結果

図 11 に APJ および VJ の跳躍高を示した。APJ の跳躍高( $58.9 \pm 6.5\text{cm}$ )は VJ の跳躍高( $50.6 \pm 4.1\text{cm}$ )に比べ有意に高い値を示し( $p < 0.001$ )、助走の貢献率は  $16.2 \pm 8.3\%$ であった。表 1 に APJ, VJ および助走の貢献率の相関関係を示した。

図 12 に SJ, SJA, CMJ, および CMJA の跳躍高を示した。腕振りを用いることによって SJA( $29.5 \pm 4.0\text{cm}$ )および CMJA ( $35.9 \pm 4.5\text{cm}$ )の跳躍高は SJ( $24.9 \pm 3.9\text{cm}$ )および CMJ( $31.1 \pm 3.5\text{cm}$ )の跳躍高よりも有意に増加した( $p < 0.001$ )。なお、SJA における腕振りの貢献率は  $19.2 \pm 8.6\%$ 、CMJA における腕振りの貢献率は  $15.5 \pm 6.2\%$ であった。表 2 に DJ および DJA の接地時間、跳躍高および DJ-index, DJA-index を示した。接地時間は DJ が DJA に比べ有意に短く( $p < 0.01$ )、跳躍高は DJA が DJ に比べ有意に高値を示した( $p < 0.001$ )。一方、DJ-index と DJA-index については統計的に有意な差は認められなかった。

表 3 は APJ, VJ および助走の貢献率と SJ, SJA, CMJ および CMJA との相関関係を示したものである。APJ および VJ と腕振りを用いない跳躍(SJ, CMJ)との間には中程度の相関があった( $r = 0.652 \sim 0.677, p < 0.01$ )。また、腕振りを用いた跳躍(SJA, CMJA)との間には高い相関関係が認められた( $r = 0.694 \sim 0.770, p < 0.001$ )。表 4 および表 5 に APJ, VJ および助走の貢献率と DJ, DJA の接地時間、跳躍高, DJ-index および DJA-index との相関関係を示した。APJ および VJ と DJ の跳躍高および DJ-index との間には有意な相関関係  $\{r = 0.552(p < 0.05) \sim 0.725(p < 0.001)\}$ が認められた。また、APJ および VJ と DJA の跳躍高および DJA-index との間には有意な相関関係も有意であった  $\{r = 0.644 (p < 0.01) \sim 0.748(p < 0.001)\}$ 。さらに助走の貢献率と DJA-index との間には有意な相関関係 ( $r = 0.470, p < 0.05$ )が認められた。

表 6 に APJ, VJ および助走の貢献率と最大脚伸展パワーおよび最大脚伸展筋力との相関関係を示した。APJ と Pm/kg との間に  $r = 0.624(p < 0.01)$ で有意な相関関係が認められたが、Fm/kg との間には有意な相関関係は認められなかった。表 7 および表 8 に APJ, VJ および助走の貢献率と膝伸展筋力との相関関係を示した。APJ と有意な相関関係が認められたのは FC300/kg( $r = 0.512, p < 0.05$ )および BC300/kg( $r = 0.592, p < 0.01$ )であった。

表 9 に APJ の上位群と下位群の各測定項目の平均値および標準偏差を示した。上位群と下位群に有意な差が認められたのは APJ, VJ, 助走の貢献率, SJ, SJA, CMJA, CMJA における腕振りの貢献率, DJ-index, DJA-index, Pm/kg, BC300/kg であった。

表 10 に VJ の上位群と下位群の各測定項目の平均値±標準偏差を示した。APJ, VJ, SJ, SJA, CMJ, CMJA, CMJA における腕振りの貢献率, Pm/kg, BISO/kg, BC60/kg, BC300/kg に上位群と下位群の間で有意な差が認められた。

FC300/kg の上位群と下位群の間に APJ (上位群  $61.0 \pm 4.6\text{cm}$  vs 下位群  $56.0 \pm 7.3\text{cm}$ ), VJ (上位群  $52.4 \pm 3.5\text{cm}$  vs 下位群  $49.0 \pm 4.3\text{cm}$ ) および助走による貢献率 (上位群  $16.5 \pm 7.8\%$  vs 下位群  $14.0 \pm 6.6\%$ ) に有意な差は認められなかった (図 13)。一方, BC300/kg の上位群と下位群では APJ (上位群  $62.3 \pm 4.2\text{cm}$  vs 下位群  $55.3 \pm 7.1\text{cm}$ ) および VJ (上位群  $52.6 \pm 3.3\text{cm}$  vs 下位群  $48.6 \pm 4.2\text{cm}$ ) に有意な差 ( $p < 0.05$ ) が認められた (図 14)。助走の貢献率に有意な差は認められなかった ( $18.8 \pm 7.6\%$  vs  $13.8 \pm 9.0\%$ )。

## 第4章 考察

### 4-1 助走の効果

APJの跳躍高(58.9cm)はVJの跳躍高(50.6cm)と比較して有意に高い値を示した( $p<0.001$ )。この結果は助走を用いることによって跳躍高が増加するという先行研究の結果と一致する<sup>49)50)62)</sup>。Youngら<sup>62)</sup>は3歩あるいは5歩の助走を用いることによって跳躍高が7cm(12%)高くなり、また、Sheppardら<sup>49)</sup>はAPJの跳躍高はVJの跳躍高と比較しておよそ17cm(27%)高い値を示している。助走を用いることで跳躍高および踏切時の床反力が増大する<sup>41)50)</sup>ことや股関節、膝関節および足関節モーメントが増大することが報告されている<sup>41)</sup>。その要因の一つとして助走によって筋の伸張速度が速くなりSSCの効果が高まったことが考えられる。SSCは、弾性エネルギーの貯蔵と再利用<sup>11~13)38)</sup>、伸張反射の効果<sup>12)13)57)</sup>、予備緊張の効果<sup>9)10)55)</sup>などの要因によって、求心性の筋活動だけによって発揮可能な筋力よりも大きくなる<sup>15)52)</sup>。遠心性局面において、筋が速い速度で伸張されるとそれだけ筋線維の動員が増し、求心性局面における筋活動も増強され<sup>34)</sup>、その結果、跳躍高が高くなったことが推察される。

本研究における助走の貢献率は16.2%であった。また、APJの跳躍高と助走の貢献率との間に有意な相関( $r=0.710, p<0.001$ )が認められ、より高いAPJの跳躍高は助走によりもたらされていることから、APJの跳躍高を高めるためには助走を効果的に使うことが重要であることが示唆された。

### 4-2 腕振りについて

Haraら<sup>30)</sup>は腕振りを伴うことによってSJAの跳躍高はSJの跳躍高に比べ18.0%増加し、CMJAの跳躍高とCMJの跳躍高の差は8.7cm(17.6%)であったと報告している。また、Haraら<sup>29)</sup>はSJAにおける腕振りの貢献率は23%であったと報告しており、腕振りの貢献率は約17~23%の範囲であると考えられる<sup>29~31)42)</sup>。本研究では、全被験者におけるCMJAの跳躍高(35.9cm)がCMJの跳躍高(31.1cm)に比べ4.8cm増加し、腕振りの貢献率は15.5%であり、先行研究の貢献率(17~23%)より若干低い値である。しかし、APJおよびVJの上位群のCMJAにおける腕振りの貢献率は約19%であり先行研究と同程度の値であった。

一方、下位群の CMJA における貢献率は約 13%であり、下位群の CMJA における腕振りの貢献率は上位群と比較して有意に低値を示したことから、下位群は上位群に比べて腕振りを効果的に使えていないと考えられる。

腕振りを伴う跳躍は離地時の重心高が高くなること<sup>19)20)42)</sup>、あるいは鉛直方向の最大床反力および力積の増加<sup>29)</sup>によって重心速度が大きくなる<sup>19)20)42)</sup>ことで、跳躍高が増加することが多くの先行研究で認められている<sup>19)29)30)42)</sup>。また、腕振りを伴う跳躍は股関節トルクおよび足関節トルクが増加することに加え、上肢のトルク（肩関節トルク+肘関節トルク）が発生する<sup>19)29)30)</sup>ことにより、身体の総仕事量が増加し跳躍高の増加につながっていると考えられている<sup>19)29)30)</sup>。例えば、Hara ら<sup>29)</sup>は腕振りによって増加した総仕事量のうち 1/3 以上は上肢によるものだと報告している。本研究において APJ および VJ の上位群は下位群と比較して CMJA における腕振りの貢献率が有意に高値を示したこと、および APJ および VJ の跳躍高と腕振りを伴う垂直跳び(SJA, CMJA, DJA)との間の相関関係 $\{r=0.644\sim 0.770(p<0.01, p<0.001)\}$ は腕振りを伴わない垂直跳び(SJ, CMJ, DJ)との相関関係 $\{r=0.551\sim 0.677(p<0.05, p<0.01)\}$ よりも強い傾向にあったことから、高い跳躍高を獲得するためには腕振りを効果的に使い身体の総仕事量を高めることが重要である可能性が示唆された。

#### 4-3 APJ の跳躍高と筋力および筋パワーとの関係

APJ と垂直跳びで評価したスピード筋力および最大脚伸展パワーとの間に中程度の相関関係 $\{r=0.618\sim 0.770(p<0.01, p<0.001)\}$ が認められ、膝伸展筋力との相関 $\{r=-0.020(n.s.)\sim 0.592(p<0.01)\}$ よりも高い傾向にあった。垂直跳びの跳躍高と脚伸展パワーおよびスクワット動作時の発揮パワーあるいはフォースと有意な相関関係が多く認められている<sup>6)40)49)58)63)</sup>。また、金久<sup>37)</sup>および福永ら<sup>25)</sup>は垂直跳びの跳躍高とスクワット動作時の発揮パワーあるいは平均筋力と有意な相関を認めているが、等速性膝伸展筋力との間に有意な相関はないと報告している。これらのことから単関節よりも多関節での筋力およびパワー発揮能力が重要であることが示唆された。

APJ の跳躍高と等尺性収縮による筋力、FC および BC60deg/sec など低速度の筋力との間に有意な相関を認めなかった。一方、APJ の跳躍高とより高速度

の筋出力，すなわち FC300/kg および BC300/kg との間に有意な相関を認めた．低速よりも高速での筋力，筋パワーと垂直跳びの跳躍高との相関関係が強いという報告<sup>6)14)26)35)58)</sup>あるいは等尺性筋力および比較的低速での等速性筋力との間に有意な相関はないという報告<sup>3)27)46)63)40)</sup>と本研究の結果は一致している．これらのことは APJ に対する下肢の筋出力に速度特異性がみられることを示唆している．

スパイクジャンプは垂直跳びに比べ踏切時の遠心性負荷が増大する<sup>39)50)</sup>ため，遠心性膝伸筋力との間に相関関係があると予想したが，APJ の跳躍高と遠心性膝伸展筋力との間に有意な相関関係は認められなかった．スパイクジャンプは垂直跳びに比べ踏切時の遠心性負荷が増大する<sup>39)50)</sup>という報告があるが，一方 Coutts<sup>17)</sup>はスパイクジャンプの最大床反力は 1203N ~1450N，Lawson ら<sup>41)</sup>はおおよそ 2N/BW と報告しており，本研究における CMJA の最大床反力の平均値 1252N(2.2N/kg)とさほど変わらない値を示している．また，黒川ら<sup>40)</sup>および Anderson ら<sup>3)</sup>も本研究と同様に垂直跳びと遠心性膝伸展筋力との間に有意な相関は認めておらず，垂直跳びに比べ遠心性の負荷が増大するドロップジャンプ<sup>8)</sup>の跳躍高と遠心性膝伸展筋力との間にも有意な相関はない<sup>18)</sup>．これらのことから，スパイクジャンプ時には高い遠心性の負荷がかかっていないため大きな遠心性の力発揮をする必要がないこと，および跳躍には大きな遠心性の筋力を有する必要がないため，APJ の跳躍高と遠心性筋力との間に相関関係が認められなかったことが考えられる．

#### 4-4 APJ とバリスティックな SSC 運動の遂行能力の関係

DJ-index はドロップジャンプにおける跳躍高を接地時間で除した値であり，バリスティックな SSC 運動の遂行能力(短時間で大きな跳躍高を獲得する能力)の評価指標<sup>64)</sup>あるいは遠心性局面から求心性局面に素早く切り替える能力<sup>59)</sup>の評価指標とされている．DJ における跳躍高と踏切時間との間に有意な相関関係はないことから，両者は互いに独立した異なる能力である<sup>65)</sup>が，DJ-index と踏切時間および跳躍高との間に高い相関関係があることから DJ-index は両者の能力を反映した指標である<sup>64)</sup>．また，CMJ と DJ の踏切時の動作は運動学，運動力学的に異なっている<sup>8)</sup>．そこで，本研究においてもバリスティックな SSC

運動の遂行能力の評価指標として DJ-index を、長時間の SSC 運動の遂行能力の評価指標として CMJ を用いた。

APJ の跳躍高と CMJ および DJ-index の相関係数はほぼ同じ値であり、APJ の跳躍高と CMJA および DJA-index の相関係数の値もほぼ同じであった。Schmidtbleicher<sup>48)</sup>は 250msec を境に長時間の SSC 運動と短時間の SSC 運動に分けている。スパイクジャンプの踏切時間は 220msec~378msec<sup>24)44)</sup>であり、250msec で分けると長時間の SSC 運動に分類される。本研究における DJA の接地時間は 232msec、CMJA の動作時間は 742msec であり、スパイクジャンプの踏切時間は DJA の踏切時間に近い。そのため、CMJ および DJ の両方と有意な相関関係があったと考えられる。また、スパイクジャンプの跳躍高と CMJ および DJ の跳躍高、スクワットの 1RM およびジャンプスクワット時の発揮パワーとの関係について検討した研究<sup>49)</sup>では、スパイクジャンプと相関が高かったのは CMJ および DJ であったと報告されており、また、助走を伴う片足踏切の跳躍についても同様の報告が為されている<sup>63)</sup>ことから、スパイクジャンプは長時間の SSC 運動の遂行能力およびバリスティックな SSC 運動の遂行能力の両方が必要であることが示唆された。

APJ の跳躍高と助走の貢献率の間には  $r=0.710(p<0.001)$  と強い相関関係が認められたことから、助走を効果的かつ効率よく使うことによって APJ の跳躍高を高められると考えられる。なお、助走の貢献率と有意な相関があったのは DJA-index のみであった。また、APJ における上位群の DJ-index および DJA-index は下位群に比べ有意に高い値を示したが、VJ における上位群と下位群の間に有意な差は認められなかった。これらのことは助走を効果的に使い、スパイクジャンプの跳躍高を高めるためにはバリスティックな SSC 運動の遂行能力、すなわち短時間で大きな跳躍高を獲得する能力が特に必要であることを示唆するものである。

APJ の跳躍高と DJ および DJA の接地時間との間に有意な相関はなかったが、跳躍高との間に有意な相関が認められた。一方、APJ の跳躍高と DJ の跳躍高との相関( $r=0.725, p<0.001$ )は DJ-index との相関( $r=0.664, p<0.01$ )よりも高い傾向にあるが、APJ の跳躍高と DJA との関係は逆になり、APJ の跳躍高は DJA の跳躍高( $r=0.651, p<0.01$ )とよりも DJA-index( $r=0.748, p<0.001$ )との関係の方

が強い傾向にあった。この原因の一つとして腕振りを用いることによって、DJAの跳躍高はDJに比べ有意に高くなったが、接地時間も有意に長くなったことが考えられる。このことはスパイクジャンプで高く跳ぶためには高い跳躍高を獲得する能力がより重要であるが、その前提として運動遂行時間を十分に短縮する能力が要求されることを示唆するものである。また、助走の貢献率はDJAの跳躍高および接地時間との間に有意な相関関係は認められなかったが、DJA-indexとの間には有意な相関関係が認められたことから接地時間を短縮する能力と高い跳躍高を獲得する両方の能力を兼ね備えることがスパイクジャンプの跳躍高の増加につながるのではないかと考えられる。

#### 4-5 前脚と後脚について

跳躍高は離地時における身体重心の初速度によって決まる<sup>1)</sup>。また、重心初速度は力積によって決まるので、大きな初速度を得るためには大きな力を長い時間にわたって地面に対して加える必要がある<sup>1)</sup>。

スパイクジャンプは踏切時の左右の関節角速度<sup>16)</sup>、関節角度、接地時間あるいは伸展時間<sup>24)43)44)53)</sup>、平均床反力<sup>41)</sup>など左右で異なっている。そのため、前脚と後脚でスパイクジャンプの跳躍高に及ぼす影響が異なる可能性がある。そこでスパイクジャンプに対する前脚と後脚の特徴を検討するため、FC300/kgおよびBC300/kgそれぞれの値の上位9名と下位9名に分け比較した。

右利きの場合、主に後脚となる右膝の方が前脚となる左膝よりも屈曲角度が大きく<sup>43)53)</sup>、右脚の方が左脚に比べ接地時間および伸展時間が長い<sup>24)43)44)53)</sup>。さらに、スパイクジャンプ踏切時の前脚と後脚を比較した研究<sup>41)</sup>では、スパイクジャンプにおける平均床反力および下肢三関節の平均モーメントは前脚に比べ後脚の方が有意に大きいと報告している。本研究においてはBC300/kgの上位群と下位群との間にAPJおよびVJの跳躍高に有意な差が認められたが、FC300/kgの上位群と下位群には有意な差は認められなかった。これらのことから、後脚の力発揮能力に優れたものがスパイクジャンプで高い跳躍高を獲得できる可能性が示唆される。

#### 4-6 実践への応用

APJ は VJ よりも 16.2%跳躍高が増加した。また、APJ の跳躍高は腕振りを伴わない跳躍よりも腕振りを伴う跳躍と強い相関関係にあった。反動動作の効果と腕振りの効果はそれぞれ独立している<sup>30)</sup>ことから、スパイクジャンプでより高く跳ぶためには反動動作と腕振りの両方を効果的に使うことが重要であると考えられる。

本研究においてスパイクジャンプで高い跳躍高を獲得するためには求心性の高速での筋力および爆発的なパワー発揮能力を高めることが重要であることが示唆された。したがって、スパイクジャンプの跳躍高を高めるためには、スパイクジャンプに動作特異的、速度特異的なトレーニング、すなわち、バリステイックトレーニングやプライオメトリクスを通常のレジスタンストレーニングに組み合わせることがスパイクジャンプの跳躍力の向上に効果的であると考えられる。

## 第 5 章 結論

本研究は、スパイクジャンプの跳躍高に及ぼす下肢の筋機能を明らかにすることを目的とした。

その結果、スパイクジャンプの跳躍高に強く影響するのはパワーおよび高速での求心性筋力であることが明らかになった。特に、DJA-index で評価される爆発的パワー発揮能力を高めること、および後脚で大きな力を発揮することが助走を効果的に使いスパイクジャンプの跳躍高を高めるための必要条件であることが示唆された。

参考文献

- 1) 阿江通良・渋川侃二 (1983) その場から高く跳ぶ跳躍－垂直跳のバイオメカニクス－. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 2(8) : 590-599.
- 2) 明石正和・千葉正 (1999) バレーボール競技におけるゲーム分析. 城西大学年報, 23 : 71-80.
- 3) Anderson, M.A., Gieck, J.H., Perrin, D., Weltman, A., Rutt, R. and Denegar, C. (1991) The relationships among isometric, isotonic, and isokinetic concentric and eccentric quadriceps and hamstring force and three components of athletic performance. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 14(3) : 114-120.
- 4) アリー・セリンジャー・ジョーン・アッカーマンブルント:都沢凡夫訳 (1993) セリンジャーのパワーバレーボール. ベースボール・マガジン社:東京, pp114-119.
- 5) 浅井正仁 (2001) バレーボールゲームの得点に関するゲーム分析的研究 - ラリーポイント制における得点構成及び連続得点について -. 大阪体育大学紀要, 32 : 13-24.
- 6) Ashley, C.D. and Weiss, L.W. (1994) Vertical jump performance and selected physiological characteristics of women. *Journal of strength and conditioning research*, 8(1) : 5-11.
- 7) Bobbert, M.F., Mackay, M. and Schinkelshoek, D. (1986) Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(6) : 566-573.
- 8) Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1987) Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4) : 332-338.
- 9) Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G.M., Litjens, M.C.A. and Van Soest, A.J. (1996) Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11) : 1402-1412.
- 10) Bobbert, M.F. and Casius, L.J.R. (2005) Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development?

- Medicine and Science in Sports and Exercise, 37(3) : 440-446.
- 11) Bosco, C. and Komi, P.V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106(4) : 467-472.
  - 12) Bosco, C., Komi, P.V. and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111(2) : 135-140.
  - 13) Bosco, C., Viitasalo, J.T., Komi, P.V. and Luhtanen, P. (1982) Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114(4) : 557-565.
  - 14) Bosco, C., Mogroni, P. and Luhtanen, P. (1983) Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(3) : 357-364.
  - 15) Cavagna, G.A., Dusman, B. and Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of applied physiology*, 24(1) : 21-32.
  - 16) Coleman, S.G.S., Benham, A.S. and Northcott, S.R. (1993) A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike. *Journal of Sports Sciences*, 11(4) : 295-302.
  - 17) Coutts, K.D. (1982) Kinetic differences of two volleyball jumping techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(1) : 57-59.
  - 18) DeStaso, J., Kaminski, T.W. and Perrin, D.H. (1997) Relationship between drop vertical jump heights and isokinetic measures utilizing the stretch-shortening cycle. *Isokinetics and Exercise Science*, 6(3) : 175-179.
  - 19) Feltner, M.E, Frascetti, D.J. and Crisp, R.J. (1999) Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *Journal of Sports Science*, 17(6) :449-466.
  - 20) Feltner, M.E., Bishop, E.J. and Perez, C.M. (2004) Segmental and kinetic

- contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(3) : 216-230.
- 21) 深代千之 (1990) 無酸素性パワーの測定と評価法. *スポーツ医・科学*, 4:25-34.
- 22) 深代千之 (1990) 跳ぶ科学. *スポーツ科学ライブラリー4*. 大修館書店 : 東京, pp18.
- 23) 深代千之・小林規・若山章信・柳等・小嶋俊久 (1993) 垂直跳動作と労作計による筋出力パワーの比較. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 12(5) 326-332.
- 24) 福原祐三・朽堀伸二・都沢凡夫・石島繁・阿江通良・橋原孝博・横井孝志・矢島忠明・遠藤俊郎・池上寿伸・岡内優明・吉田雅行・小山勉 (1982) '82年日米対抗女子バレーボールにおける一流選手のスパイク動作に関する事例的研究. 昭和57年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 2 : 331-341.
- 25) 福永哲夫・松尾彰文・安部孝・川上泰雄・沼沢秀雄・深代千之 (1991) 種目別スポーツ競技力評価方法の開発ーバレーボール競技の場合ー. *スポーツ医・科学*, 5(2) : 47-54.
- 26) Genuario, S.E. and Dolgener, F.A. (1980) The relationship of isokinetic torque at two speeds to the vertical jump. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(4) : 593-598.
- 27) Haff, G.G., Carlock, J.M., Hartman, M.J., Kilgore, J.L., Kawamori, N., Jackson, J.R., Morris, R.T., Sands, W.A., and Stone, M.H. (2005) Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4) : 741-748.
- 28) Hakkinen, K. (1989) Maximal force, explosive strength and speed in female volleyball and basketball players. *Journal of Human Movement Studies*, 16(6) : 291-303.
- 29) Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D. and Fukashiro, S. (2006) The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 39(13) : 2503-2511.

- 30) Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., Hay, D.C. and Fukashiro, S. (2008) A comparison of the mechanical effect of arm swing and countermovement on the lower extremities in vertical jumping. *Human Movement Science*, 27(4) : 636-648.
- 31) Harman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N. and Rosenstein, R.M. (1990) The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(6) : 825-833.
- 32) Hennessy, L. and Kilty, J. (2001) Relationship of the Stretch-Shortening Cycle to Sprint Performance in Trained Female Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3) : 326-331.
- 33) 保志宏 (1989) 生体の線計測法. 人間科学全書テキストブックシリーズ 3. てらぺいあ : 東京, pp142-143.
- 34) 石井直方総監修 (2002) NSCA 決定版ストレングス&コンディショニング第2版. ブックハウス・エイチディ : 東京
- 35) Iossifidou, A., Baltzopoulos, V. and Giakas, G. (2005) Isokinetic knee extension and vertical jumping: Are they related? *Journal of Sports Sciences*, 23(10) : 1121-1127.
- 36) Jarić, S., Ristanovic, D. and Corcos, D.M. (1989) The relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(5) : 370-376.
- 37) 金久博昭 (1990) スポーツ選手トレーニングにおけるジャンプ・パフォーマンス向上のためのトレーニング. *Japanese journal of sports sciences*, 9(4) : 202-209.
- 38) Komi, P.V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and woman. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10(4) : 261-265.
- 39) 小村堯・宮原満男・高本友彦・佐々木宏 (1981) 跳躍運動の分析. *人間工学*, 17(6) : 267-272.

- 40) 黒川貞生・南匡奏・白井徹男・田中博明・原巖・柏森康雄・高梨泰彦・八坂剛史・津田佳弘・豊田博 (1991) ジャンプ力と下肢筋出力および筋放電パターンの関係について. 平成 3 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 2 : 192-198.
- 41) Lawson, B.R., Stephens II, T.M., DeVoe, D.E. and Reiser II, R.F. (2006) Lower-extremity bilateral differences during step-close and no-step countermovement jumps with concern for gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3) : 608-619.
- 42) Lees, A., Vanrenterghem, J. and Clercq, D.D. (2004) Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37(12) : 1929-1940.
- 43) 増村雅尚・阿江通良 (2007) バレーボール選手のスパイクジャンプ. *体育の科学*, 57(7) : 521-527.
- 44) 都沢凡夫・福原祐三・朽堀伸二・多田繁・矢島忠明・遠藤俊郎・阿江通良・橋原孝博・横井孝志・勝本真・吉田雅行・岡内優明・岡部修一・小山勉 (1981) バレーボールワールドカップ '81 における一流選手のスパイク動作に関する事例的研究. 昭和 56 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 2 : 46-55
- 45) Nagano akinori and Fukashiro senshi (2000) Relationships between mechanical output from individual joints and jump height in sub-maximal to maximal effort vertical jumps. *バイオメカニクス研究*, 4(1) : 16-20.
- 46) Nuzzo, J.L., McBride, J.M., Cormie, P. and McCaulley, G.O. (2008) Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3) : 699-707.
- 47) Peterson, M.D., Alvar, B.A. and Rhea, M.R. (2006) The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4) : 867-873.
- 48) Schmidbleicher, D (1992) Training for power events In : P. V. Komi (Ed) *Strength and power in sport*, Oxford : Blackwell, pp381-395.

- 49) Sheppard, J.M., Cronin, J.B., Gabbett, T.J., McGuigan, M.R., Etxebarria, N. and Newton, R.U. (2008) Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3) : 758-765.
- 50) 島津大宣・明石正和・田中博明・泉川喬・荒川勝彦・松尾彰文・池川繁樹 (1981) バレーボールの跳躍に関する諸因子の分析－助走とジャンプ高および地面反力－ 昭和 56 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 2 : 44-46.
- 51) Stephens II, T.M., Lawson, B.R., DeVoe, D.E. and Reiser II, R.F. (2007) Gender and bilateral differences in single-leg countermovement jump performance with comparison to a double-leg jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3)190-202.
- 52) Svantesson, U., Grimby, G. and Thomee, R. (1994) Potentiation of concentric plantar flexion torque following eccentric and isometric muscle actions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 152(3) : 287-293.
- 53) Tilp, M., Wagner, H. and Muller, E. (2008) Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements. *Sports Biomechanics*, 7(3) : 386-397.
- 54) Tsiokanos, A., Kellis, E., Jamurtas, A. and Kellis, S. (2002) The relationship between jumping performance and isokinetic strength of hip and knee extensors and ankle plantar flexors. *Isokinetics and Exercise Science*, 10(2) : 107-115.
- 55) Van Schenau, G.J.I., Bobbert, M.F. and De Haan, A. (1997) Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4) : 389-496.
- 56) Vanezis, A. and Lees, A. (2005) A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*, 48(11-14) : 1594-1603.
- 57) Viitasalo, J.T. and Bosco, C. (1982) Electromechanical behaviour of human muscles in vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(2) : 253-261.

- 58) 山本正嘉 (1990) 垂直跳び成績と等速性脚伸展パワーの関係. ジャンプ研究  
日本バイオメカニクス学会抄録集, : 178-181.
- 59) Young, W. (1995) Laboratory strength assessment of athletes. *New Stud. Athletics*, 10(1) : 89-96.
- 60) Young, W.B., McLean, B. and Ardagna, J. (1995) Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35(1) : 13-19.
- 61) Young, W.B., Pryor, J.F. and Wilson, G.J. (1995) Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 9(4) : 232-236.
- 62) Young, W., Macdonald, Ch., Heggen, T. and Fitzpatrick, J. (1997) An evaluation of the specificity, validity and reliability of jumping tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37(4) : 240-245.
- 63) Young, W., Wilson, G. and Byrne, C. (1999) Relationship between strength qualities and performance in standing and run-up-vertical jumps. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(4) : 285-293.
- 64) 関子浩二・高松薫・古藤高良(1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. *体育学研究*, 38(4) : 265-278.
- 65) 関子浩二・高松薫(1995) バリスティックな伸張 - 短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 - 筋力および瞬発力に着目して -. *体力科学*, 44(1) : 147-154.
- 66) 関子浩二・高松薫(1995) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因 : 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. *体育学研究*, 40(1) : 29-39.

## 謝辞

本研究は、早稲田大学スポーツ科学学術院 岡田純一准教授の御指導のもと実施されました。岡田准教授には実験から論文執筆にあたり全ての面において多大なご指導、ご助言を賜りました。心より感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり、多くの方々からご協力を頂きました。早稲田大学スポーツ科学学術院 杉崎範英助手には、実験に関するアイデア、実験データの解釈や論文執筆にあたって多くの助言を頂き、また験者として実験に参加して頂くなど、あらゆる面において御指導頂きました。心より感謝いたします。岡田研究室の岡先聖太君には御自身の研究があるにも関わらず、毎回のように験者として研究にご協力して頂きました。岡先君なしでは実験を成し遂げることは出来ませんでした。深く感謝いたします。早稲田大学女子バレーボール部の皆様には被験者として多大なご協力を頂きました。そして実験を盛り上げて頂き、楽しいひと時を過ごさせてもらいました。大変感謝いたします。また、快く実験の被験者を引き受けて頂いたサークルの後輩や学部生の皆様には、心より厚く御礼申しあげます。研究を含めて様々な面で、多大なご協力を頂いたコーチング科学研究領域の皆様にも心より感謝の意を表します。

最後に、常に心の支えとなっている家族に感謝いたします。

表 1. APJ, VJ および助走の貢献率の相関関係

	APJ	VJ	助走の貢献率
APJ	1.000	—	—
VJ	0.784 ***	1.000	—
助走の貢献率	0.710 ***	0.121	1.000

\*\*\*p<0.001

表 2. DJ, DJA における接地時間, 跳躍高, DJ-index および DJA-index

		DJ		DJA		
		平均値 ± 標準偏差		平均値 ± 標準偏差		
接地時間	(sec)	0.212	± 0.023	0.232	± 0.021	**
跳躍高	(cm)	28.1	± 3.6	32.1	± 4.3	***
index		1.336	± 0.220	1.394	± 0.221	

\*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 3. 跳躍パフォーマンスと SJ, CMJ, SJA および CMJA との相関関係

	SJ	CMJ	SJA	CMJA
APJ	0.618 **	0.633 **	0.770 ***	0.751 ***
VJ	0.677 **	0.652 **	0.694 ***	0.762 ***
助走の貢献率	0.216	0.282	0.442	0.337

\*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 4. 跳躍パフォーマンスと DJ の接地時間,  
跳躍高および DJ-index との相関関係

	接地時間	跳躍高	DJ-index
APJ	-0.113	0.725 ***	0.664 **
VJ	0.041	0.698 ***	0.552 *
助走の貢献率	-0.225	0.371	0.438

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 5. 跳躍パフォーマンスと DJA の接地時間,  
跳躍高および DJA-index との相関関係

	接地時間	跳躍高	DJA-index
APJ	-0.406	0.651 **	0.748 ***
VJ	-0.216	0.661 **	0.644 **
助走の貢献率	-0.407	0.292	0.470 *

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 6. 跳躍パフォーマンスと最大脚伸展パワー  
および最大脚伸展筋力との相関関係

	Pm/kg	Fm/kg
APJ	0.624 **	0.099
VJ	0.710 ***	0.243
助走の貢献率	0.193	-0.119

\*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 7. 跳躍パフォーマンスと前足膝伸展トルク（相対値）との相関関係

	FISO/kg	FC60/kg	FC300/kg	FE60/kg	FE300/kg
APJ	-0.020	0.301	0.512 *	0.027	0.059
VJ	0.215	0.426	0.585 **	0.295	0.357
助走の貢献率	-0.259	0.025	0.174	-0.276	-0.301

\*p<0.05, \*\*p<0.01

表 8. 跳躍パフォーマンスと後足膝伸展トルク（相対値）との相関関係

	BISO/kg	BC60/kg	BC300/kg	BE60/kg	BE300/kg
APJ	0.222	0.447	0.592 **	0.122	0.054
VJ	0.549 *	0.579 **	0.541 *	0.314	0.349
助走の貢献率	-0.279	0.057	0.335	-0.157	-0.299

\*p<0.05, \*\*p<0.01

表 9. APJ における上位群 vs 下位群

		上位群(N=9)	下位群(N=9)	
		平均値±標準偏差	平均値±標準偏差	
APJ	(cm)	64.3 ± 1.9	53.3 ± 4.8	***
VJ	(cm)	53.0 ± 3.4	48.0 ± 3.4	**
助走の貢献率	(%)	21.8 ± 7.7	11.1 ± 5.3	**
SJ	(cm)	26.9 ± 3.0	22.7 ± 3.9	*
SJA	(cm)	31.9 ± 1.9	26.7 ± 3.9	**
CMJ	(cm)	32.1 ± 2.0	29.7 ± 4.4	
CMJA	(cm)	38.1 ± 2.9	33.3 ± 4.8	*
DJ-index		1.489 ± 0.148	1.180 ± 0.182	**
DJA-index		1.527 ± 0.134	1.252 ± 0.220	**
Pm/kg	(W/kg)	19.6 ± 2.1	17.2 ± 2.5	
Fm/kg	(N/kg)	23.8 ± 5.0	21.4 ± 5.6	
FISO/kg	(N/kg)	3.3 ± 0.8	3.3 ± 0.4	
FC60/kg	(N/kg)	2.9 ± 0.6	2.7 ± 0.4	
FC300/kg	(N/kg)	1.8 ± 0.2	1.7 ± 0.2	
FE60/kg	(N/kg)	4.0 ± 1.0	4.1 ± 0.5	
FE300/kg	(N/kg)	4.1 ± 1.2	4.2 ± 0.8	
BISO/kg	(N/kg)	3.5 ± 0.5	3.3 ± 0.3	
BC60/kg	(N/kg)	3.0 ± 0.3	2.8 ± 0.4	
BC300/kg	(N/kg)	1.9 ± 0.2	1.7 ± 0.2	*
BE60/kg	(N/kg)	3.8 ± 0.6	3.7 ± 0.4	
BE300/kg	(N/kg)	3.8 ± 1.0	3.9 ± 0.5	
CMJA における 腕振りの貢献率	(%)	18.9 ± 6.3	12.3 ± 4.6	*

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表 10. VJ における上位群 vs 下位群

		上位群(N=9)	下位群(N=9)	
		平均値±標準偏差	平均値±標準偏差	
APJ	(cm)	62.4 ± 3.7	55.1 ± 7.1	*
VJ	(cm)	53.9 ± 2.5	47.3 ± 2.7	***
助走の貢献率	(%)	15.9 ± 5.6	16.2 ± 11.0	
SJ	(cm)	27.3 ± 2.4	21.9 ± 3.1	***
SJA	(cm)	32.1 ± 2.0	26.7 ± 4.0	**
CMJ	(cm)	32.8 ± 3.1	29.0 ± 3.0	*
CMJA	(cm)	38.9 ± 3.0	32.8 ± 3.9	**
DJ-index		1.414 ± 0.190	1.230 ± 0.211	
DJA-index		1.483 ± 0.119	1.283 ± 0.262	
Pm/kg	(W/kg)	20.1 ± 2.0	16.7 ± 1.7	**
Fm/kg	(N/kg)	23.6 ± 6.5	20.6 ± 4.7	
FISO/kg	(N/kg)	3.4 ± 0.9	3.3 ± 0.4	
FC60/kg	(N/kg)	2.8 ± 0.6	2.8 ± 0.4	
FC300/kg	(N/kg)	1.8 ± 0.2	1.7 ± 0.2	
FE60/kg	(N/kg)	4.1 ± 1.0	4.0 ± 0.5	
FE300/kg	(N/kg)	4.5 ± 1.1	4.1 ± 0.9	
BISO/kg	(N/kg)	3.8 ± 0.2	3.1 ± 0.3	***
BC60/kg	(N/kg)	3.1 ± 0.2	2.7 ± 0.4	**
BC300/kg	(N/kg)	1.9 ± 0.2	1.6 ± 0.2	*
BE60/kg	(N/kg)	4.0 ± 0.6	3.7 ± 0.5	
BE300/kg	(N/kg)	4.2 ± 0.9	3.7 ± 0.6	
CMJA における 腕振りの貢献率	(%)	18.7 ± 5.7	12.9 ± 5.5	*

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

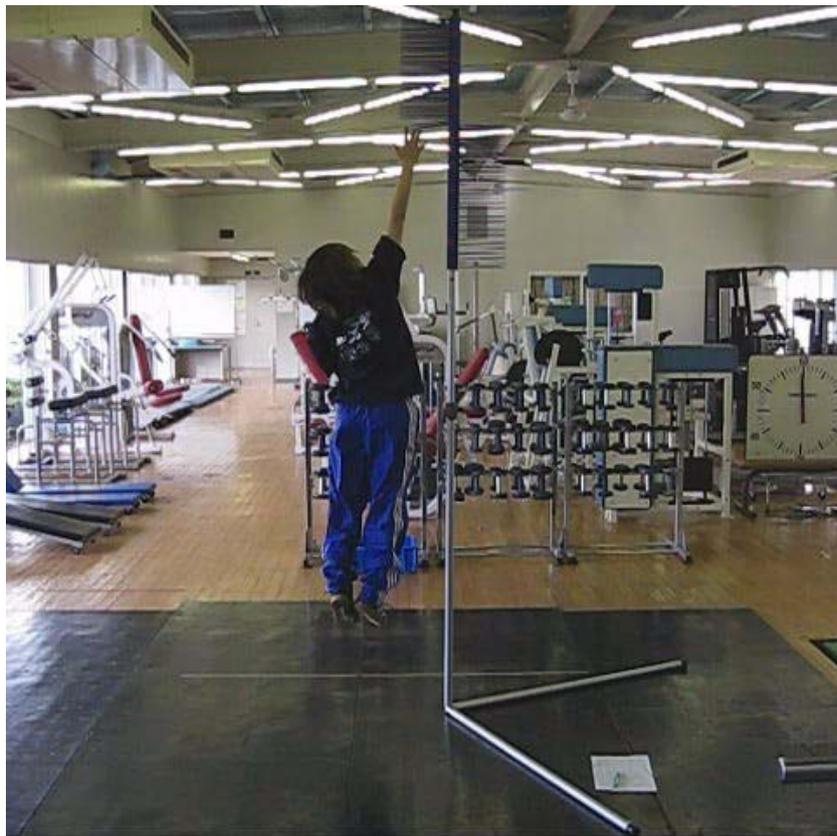


図 1. 跳躍パフォーマンスの測定

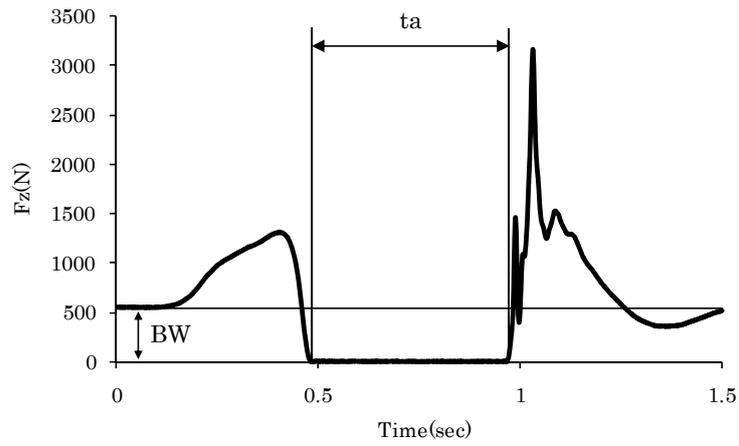


図 2. SJ, SJA における床反力

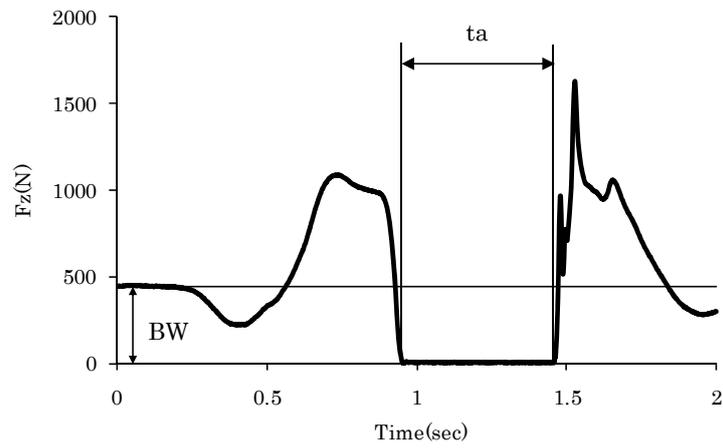


図 3. CMJ, CMJA における床反力

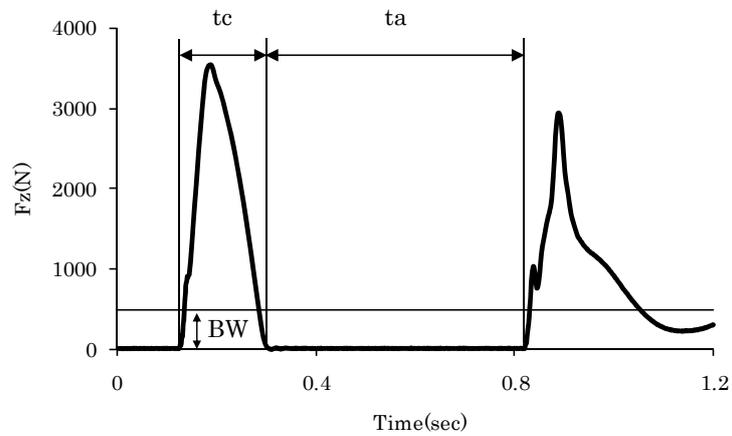


図 4. DJ, DJA における床反力

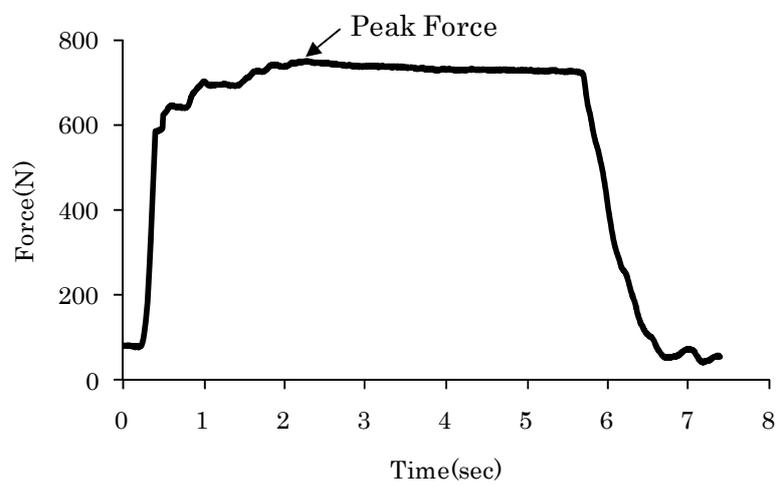


図 5. スクワット動作による等尺性筋力発揮時の力波形

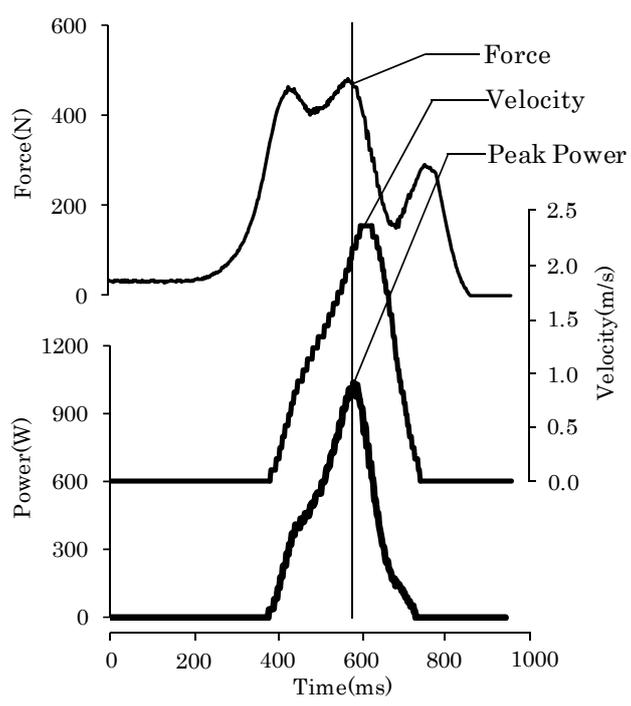


図 6. パワープロセッサの一動作の試行で記録される力，速度およびパワー曲線

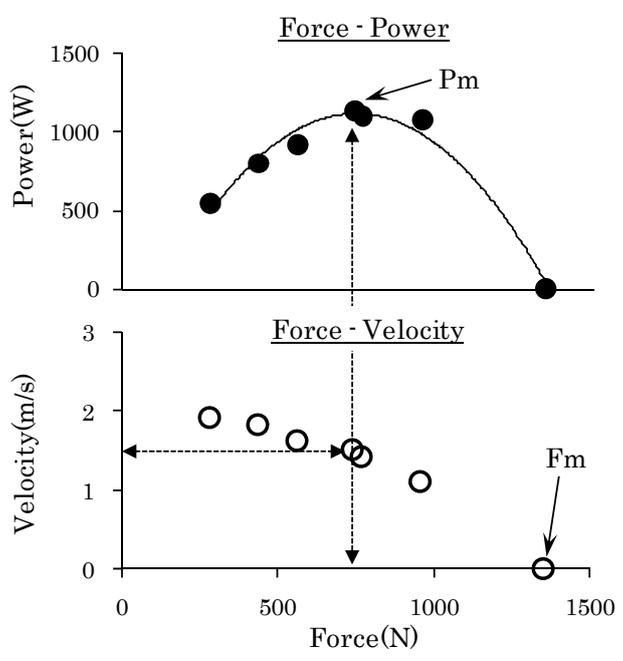


図 7. パワープロセッサの各電圧負荷条件で記録されたピークパワーとその出現時の力および速度との関係

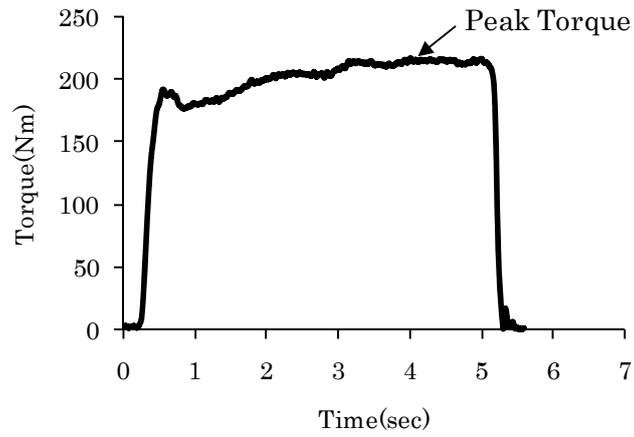


図 8. 等尺性筋力発揮におけるトルク波形

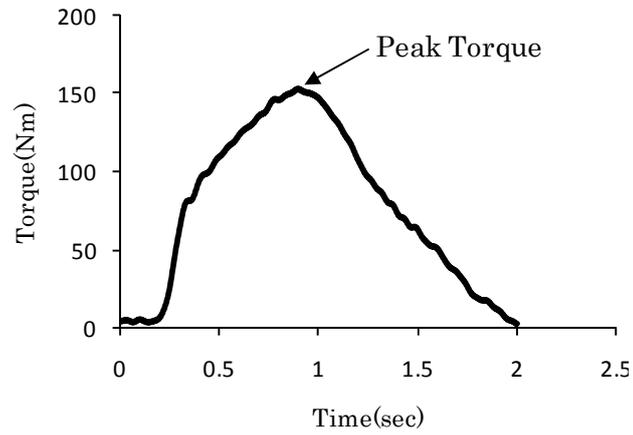


図 9. 求心性筋力発揮におけるトルク波形

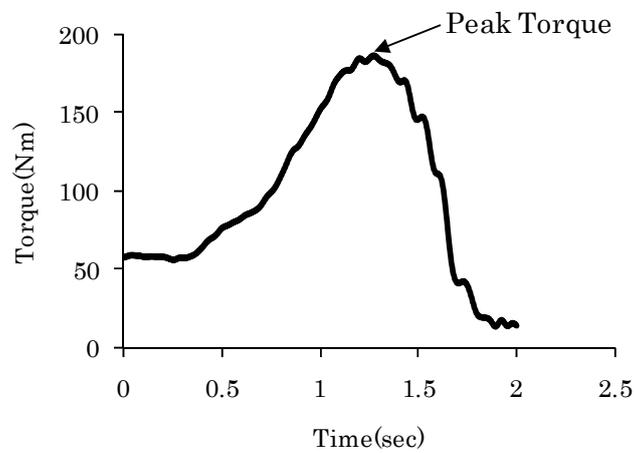


図 10. 遠心性筋力発揮におけるトルク波形

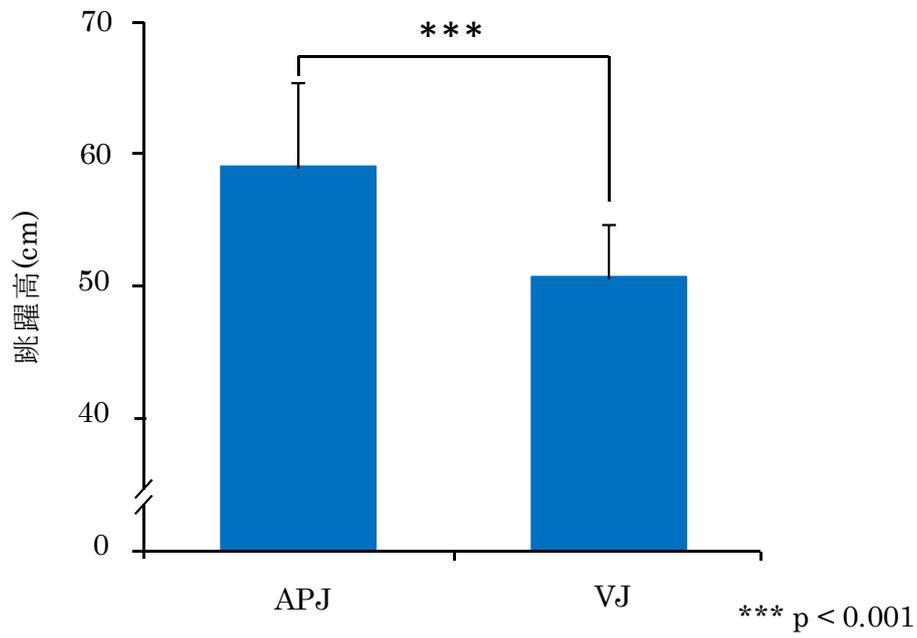


図 11. APJ および VJ の跳躍高

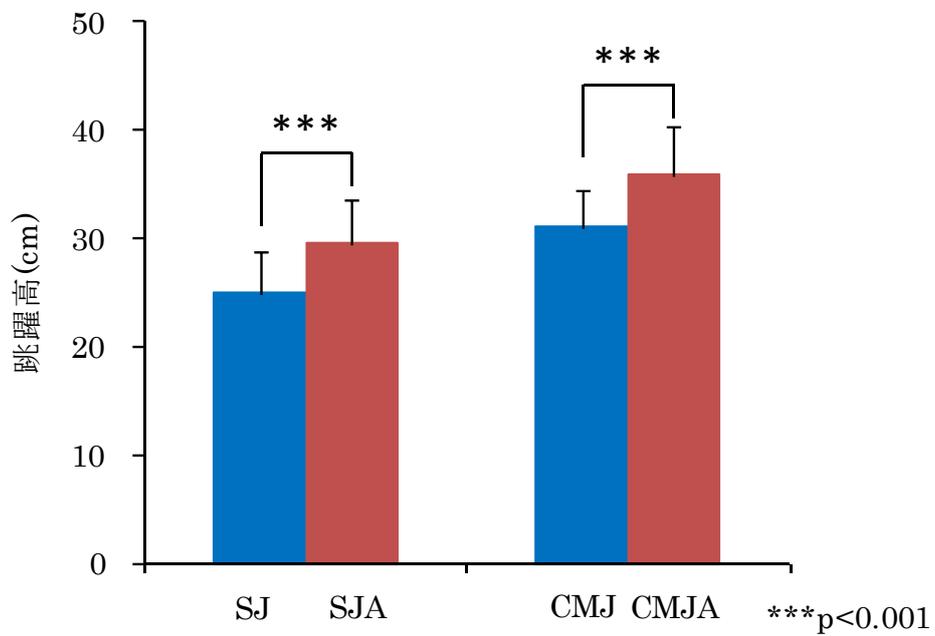


図 12. SJ,SJA および CMJ,CMJA の跳躍高

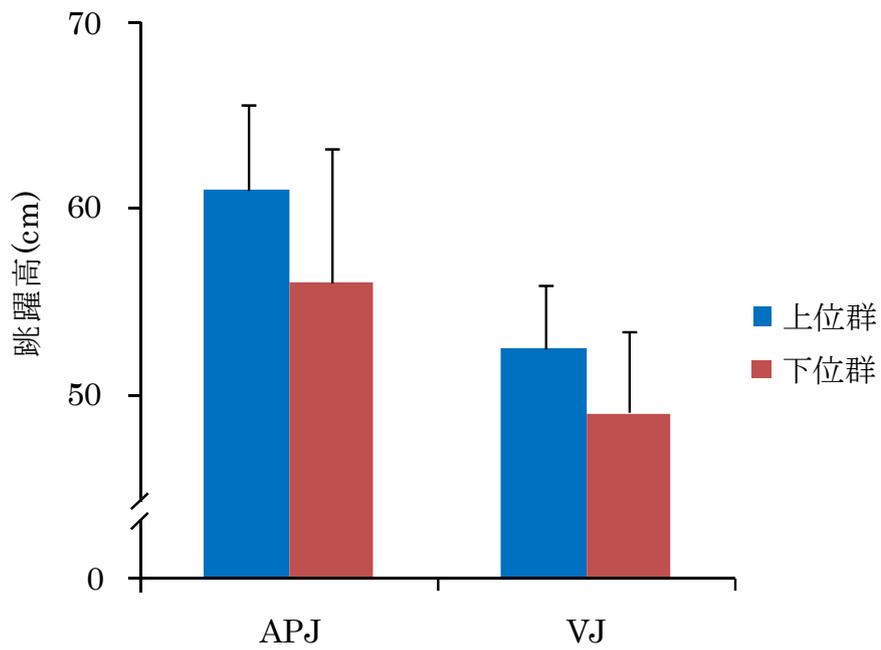


図 13. FC300/kg における上位群と下位群の APJ および VJ の跳躍高

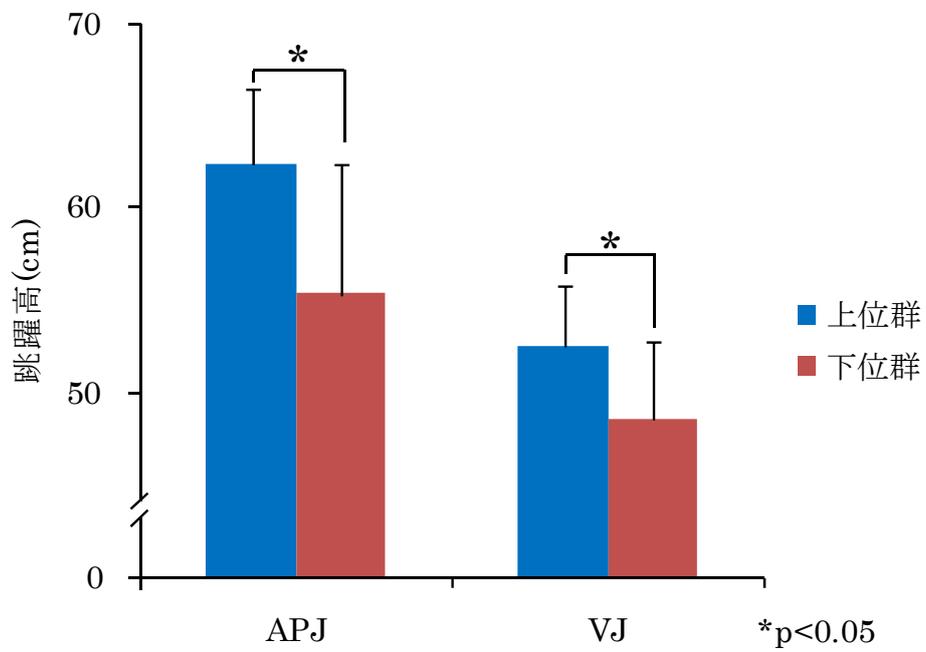


図 14. BC300/kg における上位群と下位群の APJ および VJ の跳躍高