

## 実践研究

# 下肢筋群におけるスタティックストレッチングおよび 等尺性筋活動が間欠的なジャンプパフォーマンスに 及ぼす急性の効果 —バレーボール競技のウォームアップを想定して—

山口 太一<sup>\*,\*\*</sup>, 高嶋 涉<sup>\*\*,\*\*</sup>, 瀧澤 一騎<sup>\*\*,\*\*</sup>, 石井好二郎<sup>\*\*,\*\*</sup>

Acute effects of static stretching and maximum voluntary  
isometric muscle action in muscle groups of lower extremities  
on intermittent jump performances  
— The simulation of a warm-up in volleyball game

Taichi Yamaguchi<sup>\*,\*\*</sup>, Wataru Takashima<sup>\*\*,\*\*</sup>,  
Kazuki Takizawa<sup>\*\*,\*\*</sup>, Kojiro Ishii<sup>\*\*,\*\*</sup>

\* 酪農学園大学食・健康スポーツ科学研究室  
Laboratory of Food Ecology and Sports Science, Rakuno  
Gakuen University  
〒 069-8501 北海道江別市文京台緑町 582  
582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501,  
Japan

\*\* 北海道大学大学応用体力科学研究室  
Laboratory of Human Performance and Fitness, Hokkaido  
University  
〒 060-0811 北海道札幌市北区 11 条西 7 丁目  
kita-11, Nishi-7 Kita-Ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0811, Japan

\*\*\* 岐阜県スポーツ科学トレーニングセンター  
Gifu Sports Science Training Center  
〒 502-0817 岐阜県岐阜市長良福光青襖 2070-7  
2070-7 Aofusuma Nagara Fukumitsu, Gifu, Gifu Prefecture,  
502-0817, Japan

\*\*\*\* 北海道大学高等教育推進機構高等教育研究部生涯学習計画  
研究部門

Research Division for Lifelong Learning, Center for  
Research and Development in Higher Education,  
Hokkaido University  
〒 060-0817 北海道札幌市北区北 17 条西 13 丁目北海道大  
学スポーツトレーニングセンター  
Kita-17, Nishi-13, Kita-Ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0817,  
Japan

\*\*\*\*\* 同志社大学スポーツ健康科学部  
Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University  
〒 610-0394 京都府京田辺市多田羅都谷 1-3  
1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto, 610-0394,  
Japan

受付日：2012 年 10 月 26 日

受諾日：2013 年 2 月 13 日

## 要 約

本研究の目的は下肢筋群におけるストレッチングおよび等尺性筋活動が間欠的なジャンプパフォーマンスに及ぼす即時効果を明らかにすることであった。13名の男性が前処置後に間欠的なジャンプパフォーマンス測定を実施した。前処置は1) 安静を保持するコントロール (CON), 2) 下肢筋群にスタティックストレッチングを実施するストレッチング処置 (STR), 3) 下肢筋群において最大随意等尺性筋活動を行う等尺性筋活動処置 (MVIC) であった。ジャンプパフォーマンスには垂直跳び跳躍高を採用し、30秒間隔で20回測定した。CONおよびSTRの跳躍高は1回目から6あるいは7回目まで漸増し、その後はほぼ一定水準で推移した。一方、MVICの跳躍高は1回目よりほぼ一定水準で推移し、1~3回目の跳躍高がCONならびにSTRのそれらよりも有意に高値を示した。よって、下肢筋群における等尺性筋活動が間欠的なジャンプパフォーマンスの向上および維持に有効であることが示唆される。

キーワード：ジャンプ、ストレッチング、最大随意等尺性筋活動、活動後増強、バレーボール

## Abstract

The purpose of present study was to clarify acute effects of static stretching and isometric muscle action in muscle groups of lower extremities on intermittent jump performances. Thirteen male subjects were evaluated intermittent jump performances after three types of pretreatment. The pretreatments were a) control (CON), b) stretching (STR) treatment including static stretching for thirty seconds x one repetition in four muscle groups (i.e., plantar flexors, leg flexors, hip flexors and leg extensors) of both lower extremities, and c) isometric muscle action (MVIC) treatment including maximum voluntary isometric contraction by manual resistances for five seconds x two repetitions in the same muscle groups as the STR treatment. The intermittent jump performances were measured twenty trials and rest intervals for thirty seconds were set between the trials. The jump performance was assessed by the height of countermovement jump. The jump heights in the CON and the STR treatment were gradually increased to the seventh and the sixth trial, and were maintained with the fixed level after those trials. The MVIC treatment maintained the jump heights with the fixed level through all trials. Accordingly, the jump heights from the first to the third trials in the MVIC treatment were significantly higher than those in the CON and the STR treatment. The present study demonstrated that maximum voluntary isometric muscle actions in muscle groups of lower extremities acutely improved intermittent jump performances. The result suggests that the isometric muscle actions are more effective to be utilized during a warm-up in event like volleyball.

Key words: jump, stretching, maximum voluntary isometric muscle action, postactivation, potentiation (PAP), volleyball

## I. 緒言

バレーボール競技は間欠的な高強度運動によって構成される。すなわち、移動時のスプリント、ならびにスパイク、サーブ、ブロック時のジャンプなどが比較的短いインターバルを挟んで繰り返される。このうち、ジャンプについてはできるだけ高く跳躍することによってスパ

イクやサーブを高い位置から放つことが可能となる。その結果、大きな位置エネルギーの獲得により威力ある攻撃が実現される。また、スパイクでは対戦相手のブロックに触れることなく狙ったところへ攻撃する確率も高まる。他方、ブロックにおいてはより高い位置で相手の攻撃を阻止ないしボールを制御することが可能となり、結果として得点数を増やし、失点数を抑えることに繋がる。

したがって、バレーボール競技においてはできるだけ高く跳躍すること、そして、試合を通じて高く跳躍し続けることを念頭にいた各種トレーニングプログラムが立案され、実行されている<sup>9)</sup>。無論、競技前のウォームアップにおいても同様の目的が達成されるべきである。

バレーボール競技に限らず多くの競技前の一般的なウォームアップにはランニングおよびストレッチングが含まれる。このことから、現在まで一般的なウォームアップあるいはスタティックストレッチングのみの実施がパフォーマンスに及ぼす急性の効果について検討されてきた<sup>15)</sup>。また、そのなかにはパフォーマンスの指標としてジャンプパフォーマンスを採用した研究も数多く存在する<sup>1, 9, 15, 17)</sup>。ところが、これらの研究結果によると一般的なウォームアップないしスタティックストレッチングのみの実施ではジャンプパフォーマンスへの正負の効果がなかったこと、あるいはジャンプパフォーマンスを低下させたことが報告されている。しかしながら、先行研究の多くは単発のジャンプパフォーマンスに及ぼす急性の効果について検討していたか、あるいは急性の効果の持続時間を明らかにするために間欠的なジャンプパフォーマンスを評価指標とした研究もあったものの、ジャンプ間のインターバルが最短でも3分間と比較的長かった<sup>1, 9)</sup>。したがって、バレーボール競技のような比較的短いインターバルにおける間欠的なジャンプパフォーマンスに及ぼす一般的なウォームアップあるいはスタティックストレッチングの実施による即時効果については未だ不明と言わざるを得ない。

他方、ジャンプパフォーマンスを向上させるウォームアップの方法のひとつとして、あらかじめ運動で利用する筋群において最大下あるいは最大努力の力発揮を行い、当該筋群における興奮性の亢進あるいは神経および筋のコーディネーション能力の改善を図る postactivation potentiation (PAP: 活動後増強) という方法が存在する<sup>11, 12)</sup>。実際に、種々の力発揮方法を用いた活動後増強の効果により、ジャンプパフォーマンスが向上したことが確かめられている<sup>3, 5, 11, 12)</sup>。さらに、比較的短いインターバルにおける間欠的なジャンプパフォーマンスに及ぼす活動後増強の即時効果についても検討はされているものの、ジャンプの実施が最大でも8回と限られており<sup>9)</sup>、バレーボール競技の現場に応用するためにはジャンプの実施回数が少なかった。よって、いずれのウォームアップの方法についても現時点におい

てはバレーボール競技前に適しているか否かについては明らかではない。

そこで本研究の目的はスタティックストレッチングおよび活動後増強を生じさせることを目論んだ最大随意等尺性筋活動を含んだウォームアップが間欠的なジャンプパフォーマンスを向上させるか否かについて明らかにし、各ウォームアップのバレーボール競技への有効性を検討することである。

## II. 方法

### A. 被験者

被験者は、健康で活動的な男子大学生13名(平均値 ± 標準偏差, 年齢 22.2 ± 1.8 歳, 身長 176.1 ± 4.3 cm, 体重 69.2 ± 7.9 kg)であった。彼らのなかには、運動の部活動経験者およびサークル(バレーボールサークル3名)活動をしているものもいたが、実験実施時は日常的に激しいトレーニングを実施しているものはいなかった。また、実験前日ならびに当日に各種トレーニングを実施しないよう注意を促した。加えて、被験者にはあらかじめ実験の内容および危険性について十分に説明を行い、実験への参加の同意を得た上で参加してもらった。なお、本研究は酪農学園大学大学院の研究倫理審査委員会の承認のもと遂行された。

### B. 研究デザイン

被験者はウォームアップを行った後、30秒間で前処置の準備を行い、以下に挙げる3種類の前処置のひとつを実施した。次いで、2分間で移動ならびに機器の設定を行い、ジャンプパフォーマンスの測定を開始した(図1)。3種類の前処置は、1) 椅座位にて安静を保持するコントロール(control: CON), 2) 下肢筋群に対しスタティックストレッチングを実施するストレッチング(stretching: STR) 処置, および 3) ストレッチング処置と同様の下肢筋群において徒手抵抗に抗い最大随意等尺性筋活動を行う等尺性筋活動(maximum voluntary isometric contraction: MVIC) 処置であった。各被験者は3種類の前処置のすべてをランダムな順序で別日に実施した。また、実験は少なくとも48時間以上の間隔が空けて行われた。なお、すべての実験は約25℃に温度管理された実験室内で行った。

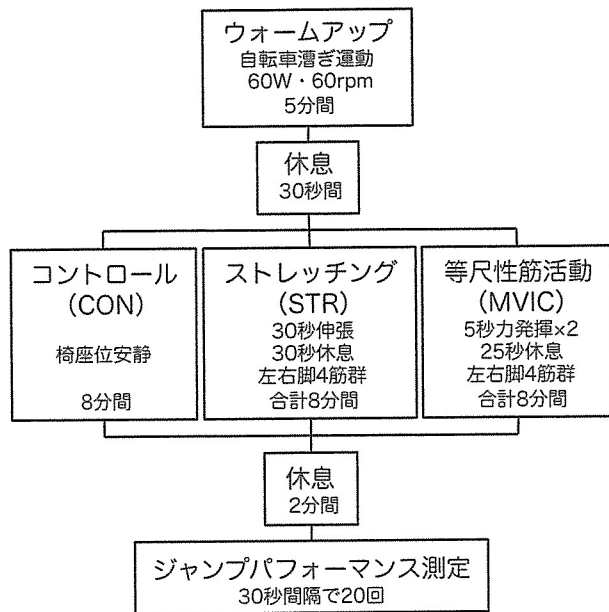


図1 実験プロトコル.

### C. ウォームアップ

被験者は、すべての前処置について同様のウォームアップを行った。ウォームアップは自転車エルゴメータ (CORIVAL400, Lode, Groningen, Holland) を用いた5分間の自転車漕ぎ運動とした。負荷は60Wattsとし、被験者にはメトロノームの音に合わせてペダルの回転数を毎分60回転に保つよう指示した。

### D. 前処置

#### 1. コントロール (CON)

以下のSTRおよびMVIC処置の処置時間である8分間、椅座位にて安静を保持した。

#### 2. ストレッチング (STR) 処置

先行研究<sup>16)</sup>に倣い、跳躍動作に関わる両脚の4つの筋群、すなわち、足関節底屈筋群、膝関節屈曲筋群、股関節伸展筋群および膝関節伸展筋群に、順に、各被験者自身がスタティックストレッチングを実施した。被験者にはすべての筋群のストレッチングに共通して、反動をつけずにやや不快と感じる肢位まで筋群を伸張させ、その肢位を保持するように指示した。各筋群に対するストレッチングはそれぞれ左脚から行った。ストレッチングの時間は30秒間とし、1セットずつ実施するものとした。また、右脚への脚の入れ換えならびに筋群の変更の際にそれぞれ30秒間の休息をおいた。これら時間の管理は験者が行い、口頭で各手順を指示した。なお、合計

の処置時間は8分間であった。

#### 1) 足関節底屈筋群 (図2-a)

被験者は壁に向かい両手で姿勢を保持しながら立位となった。その後、ストレッチング脚を踵が床から離れない範囲で後方へ移動させ、足関節底屈筋群を伸張させた。このとき、ストレッチング脚の膝関節をできるだけ伸展させるものとした。

#### 2) 膝関節屈曲筋群 (図2-b)

被験者は長座位となり、非ストレッチング脚の股関節を外転、膝関節を屈曲させ、足底がストレッチング脚の大腿部内側に付くようにした。その後、ストレッチング脚の膝関節を完全伸展させた状態で股関節を屈曲し、上体をストレッチング脚に正対させたままストレッチング脚の方向へ倒し、膝関節屈曲筋群を伸張させた。

#### 3) 股関節伸展筋群 (図2-c)

被験者は仰臥位にてストレッチング脚の膝関節を屈曲させた状態で、股関節を屈曲させ、脚を胸に抱え込むようにして股関節伸展筋群を伸張させた。

#### 4) 膝関節伸展筋群 (図2-d)

被験者は長座位となり、ストレッチング脚の膝関節を踵が臀部に触れるよう屈曲させた。その後、ストレッチング脚の下腿前部が床から離れぬよう注意をしながら股関節を伸展させ、上体を倒して膝関節伸展筋群を伸張させた。

#### 3. 等尺性筋活動 (MVIC) 処置

STR処置と同一の筋群を対象とし最大随意等尺性筋活動が行われた。すべての対象筋群に共通して、被験者には験者の号令に合わせて力発揮および脱力をコントロールし、力発揮時には験者の徒手抵抗に対して最大努力で反発するよう指示した。各筋群における筋活動はSTR処置同様左脚から実施するものとした。また、筋活動の時間はSTR処置における片脚の各筋群に費やす時間 (伸張および休息の合計時間である1分間) と同一となることを第一条件とした。さらに、Frenchら<sup>3)</sup>によって、活動後増強を生じさせるための筋活動の合計時間は10秒以内が望ましいとされていることから、筋活動の時間を5秒間を2セット、計10秒と設定し、セット間に25秒間の休息をおいて、各筋群の処置時間を1分間とした。さらに、右脚への変更および筋群の変更の際にもそれぞれ25秒間の休息をおいた。その結果、処



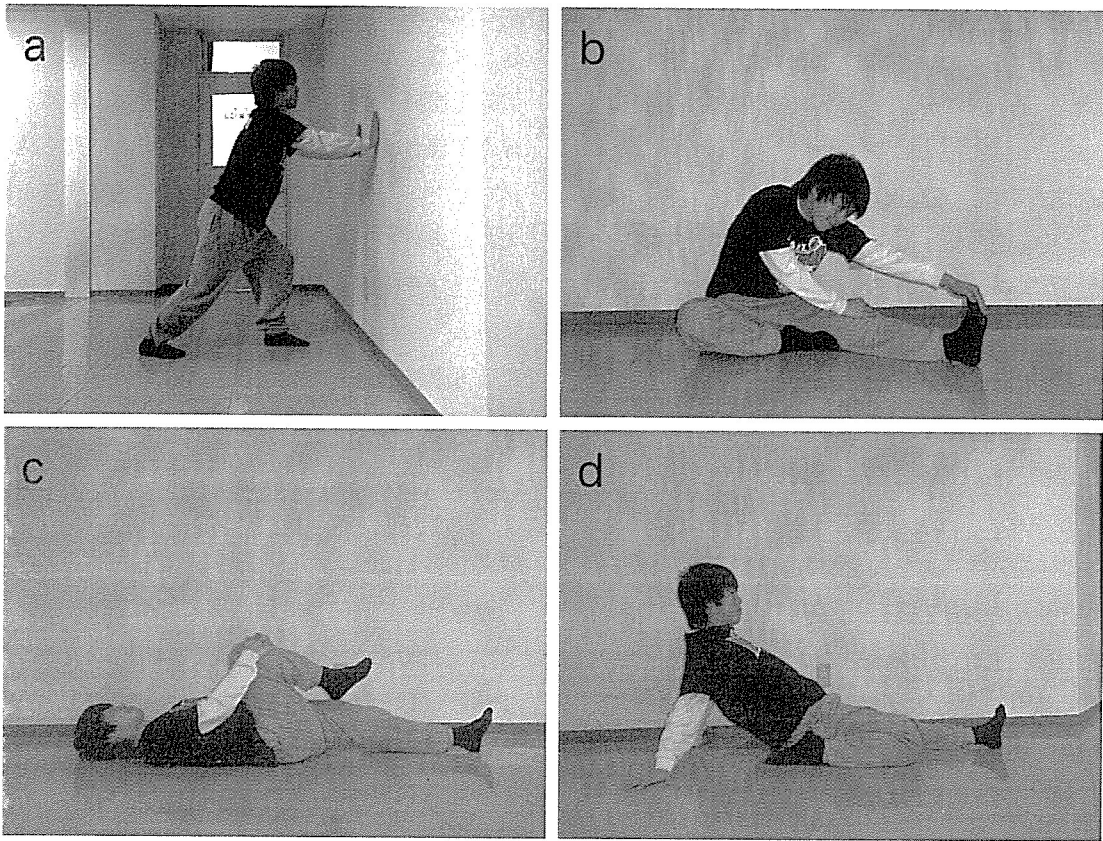


図2 ストレッチング (STR) 処置における各筋群へのスタティックストレッチング.

a. 足関節底屈筋群, b. 膝関節屈曲筋群, c. 股関節伸展筋群, d. 膝関節伸展筋群.

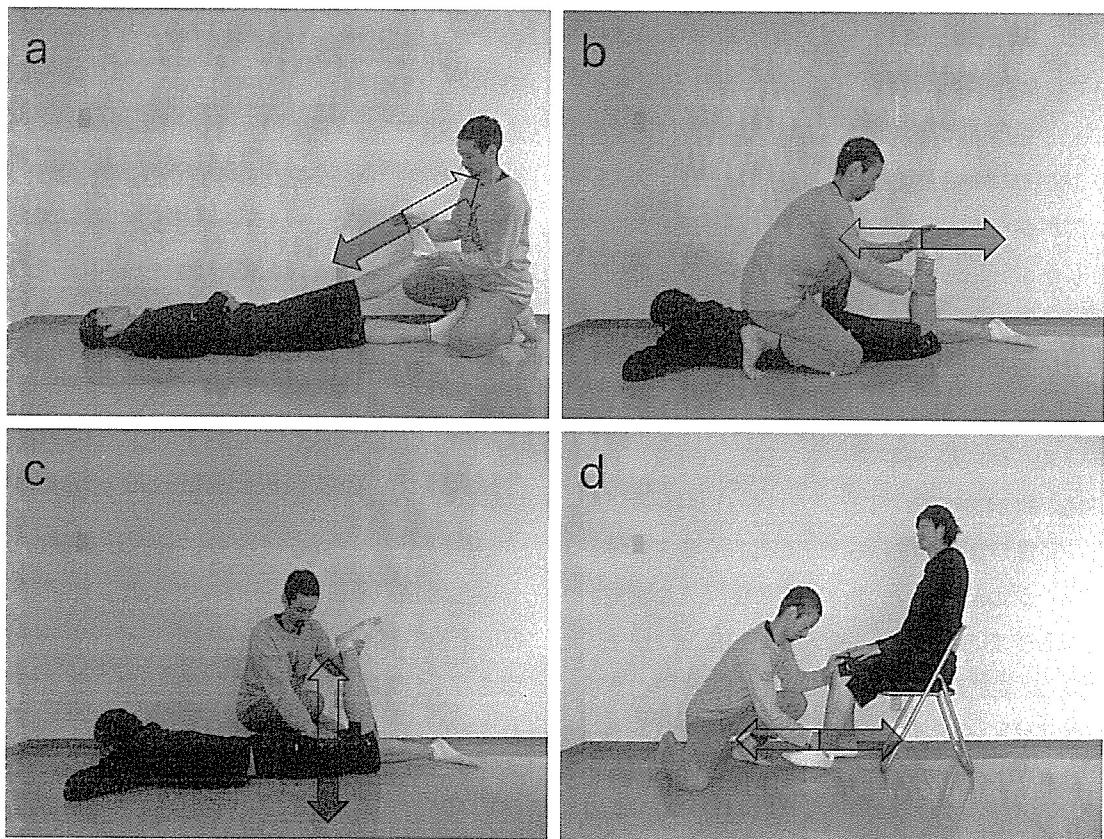


図3 等尺性筋活動 (MVIC) 処置における各筋群における最大随意等尺性筋活動.

a. 足関節底屈筋群, b. 膝関節屈曲筋群, c. 股関節伸展筋群, d. 膝関節伸展筋群. 黒矢印が験者の徒手抵抗の力発揮の方向, 白矢印が被験者の力発揮の方向を示す.

置の合計時間はSTR処置同様、8分間となった。なお、各対象筋群における徒手抵抗の方法は徒手筋力検査法<sup>7)</sup>を参考とし、同一験者がすべての被験者に対する処置を受け持った。

#### 1) 足関節底屈筋群 (図3-a)

被験者は長座位となり、筋活動を行う脚の足関節を90度で保持した。その肢位のまま、験者が足底上部を保持し、足関節背屈方向へ力を加え、被験者はそれに反発するように底屈方向へ力発揮した。

#### 2) 膝関節屈曲筋群 (図3-b)

被験者は伏臥位となり、筋活動を行う脚の膝関節を90度に屈曲させた。その肢位のまま、験者が踵を保持し、膝関節伸展方向へ力を加え、被験者はそれに反発するように屈曲方向へ力発揮した。

#### 3) 股関節伸展筋群 (図3-c)

被験者は伏臥位となり、筋活動を行う脚の膝関節を90度に屈曲させた。その肢位のまま、験者が大腿部後面末端部を上部から抑えて股関節屈曲方向へ力を加え、被験者はそれに反発するように伸展方向へ力発揮した。

#### 4) 膝関節伸展筋群 (図3-d)

被験者は椅子座位となり、筋活動を行う脚の膝関節をおよそ90度屈曲させた。その肢位のまま、験者が下腿前面末端部を前面から抑えて膝関節屈曲方向へ力を加え、被験者はそれに反発するように伸展方向へ力発揮した。

### E. ジャンプパフォーマンスの測定

ジャンプパフォーマンスの測定は30秒間隔で20回行うものとした。Tillmanら<sup>13)</sup>は、大学女子バレーボール選手を対象としたゲーム分析により、前衛の選手の1セットあたりのジャンプ回数は平均22回であったことを報告している。また、ジャンプ頻度については、1回のプレー平均時間が約11秒であり、加えて、インターバルの時間が約14秒であることから、合計で25秒程度となるとの報告がなされている<sup>10)</sup>。これらを鑑み、本研究ではジャンプの回数を20回、頻度は実験条件設定上の便宜を図り、30秒に1回に設定した。なお、ジャンプ間は立位にて安静を保持した。

ジャンプパフォーマンスの指標には、カウンタームーブメントジャンプの跳躍高を採用した。跳躍高の測定に際し、跳躍時の腕振りが跳躍高に及ぼす効果の個人差をできるだけ排除するため、各被験者は両手を腰に当てた

状態で跳躍を行った。被験者には、両足を肩幅程度に開き、直立した姿勢から、任意の高さまで膝関節および股関節を屈曲させて沈み込み、その後、膝関節および股関節を伸展させ、できるだけまっすぐ上に高く跳ぶよう指示をした。また、正確な滞空時間を測定するため、空中では離地時の下肢位を保持し、着地直前に脚を曲げないように注意を促した。滞空時間は特製のマットスイッチシステム(株式会社ウチダシステムソリューション、札幌)により計測された離地から着地までの時間とし、それを用いて以下の式より跳躍高を求めた。

$$(式) h = 1/8 \times g \times t^2 \times 100 [h: 跳躍高 (cm), \\ g: 重力加速度 (9.8m/秒), t: 滞空時間 (秒)]$$

跳躍前の各前処置の跳躍高に対する改善効果を明らかにするために、20回の跳躍高の推移について前処置間で比較検討を行った。なお、同一のマットスイッチシステムによる跳躍高の測定における再現性は良好であることが先行研究<sup>10)</sup>により確かめられている(級内相関係数 = 0.96 および誤差 = 0.3cm)。

### F. 統計処理

1回目から20回目までの跳躍高の推移に対する前処置の効果の比較には、反復測定の分散分析〔3(前処置)×20(跳躍回数)]を用い、有意な交互作用が認められた場合には、跳躍回数毎に繰り返しのある一元配置分散分析を用いて多重比較検定を行った。また、各前処置における1から20回目までの跳躍高の推移の分析にも繰り返しのある一元配置分散分析を用いた。それぞれ有意性が認められた場合には、Tukey-Kramer法による多重比較検定を行った。すべての測定値は平均値および標準偏差で示し、有意水準は $p < 0.05$ を以て判定した。

## III. 結果

各処置後の1～20回目までの跳躍高の推移を図4に示した。CONおよびSTR処置では、類似した傾向の推移を示し、7あるいは6回目まで跳躍高が漸増し、その後安定がみられた。そのため、CONおよびSTR処置が跳躍高の推移に及ぼす効果には相違は認められなかった。しかしながら、それぞれの処置後の推移について着目すると、CONでは(図4-a)、1回目に比較して、7、

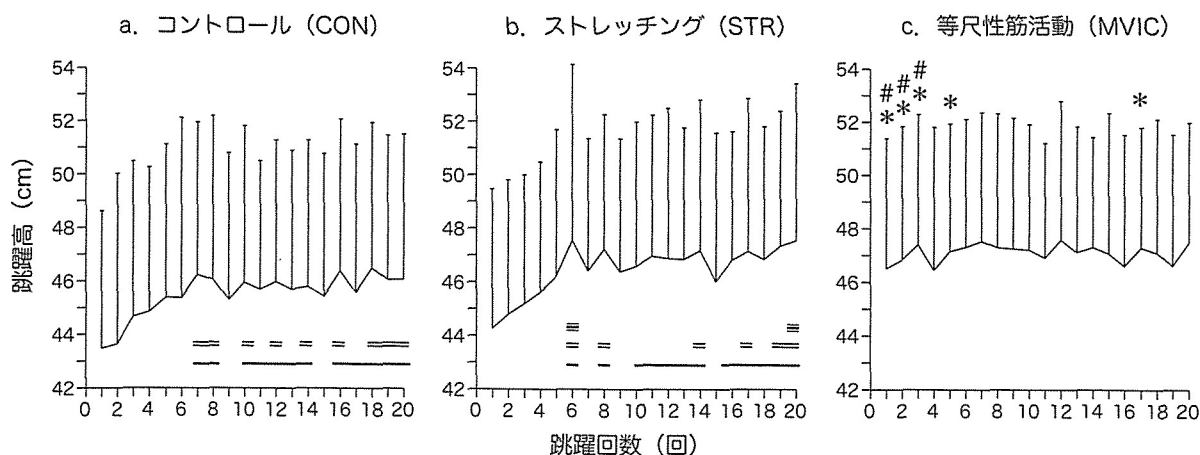


図4 各前処置後の跳躍高の推移.

a. コントロール (CON), b. ストレッチング (STR) 処置, c. 等尺性筋活動 (MVIC) 処置. aおよびbにおける1本線は1回目との間で, 2本線は2回目との間で, 3本線は3回目との間で同一の前処置において有意差 ( $p < 0.05$ ) があることを示す. cにおける\*はCONとの間で, #はSTR処置との間で, 同じ回数に有意差 ( $p < 0.05$ ) があることを示す.

8, 10~14および16~20回目で, 2回目に比較して, 7, 8, 10, 12, 14, 16および18~20回目で有意に ( $p < 0.05$ ) 高値を示し, 跳躍高の高低差は最大で3.0 cmの差がみられた. また, STR処置では(図4b), 1回目に比較して, 6, 8, 10~14および16~20回目で, 2回目に比較して, 6, 8, 14, 17, 19および20回目で, 3回目に比較して6および20回目で有意に ( $p < 0.05$ ) 高値を示し, 跳躍高の高低差は最大で3.3 cmの差がみられた. 一方, MVIC処置では(図4c), ほぼ一定水準で推移し ( $p = 0.69$ ), 跳躍高の高低差は最大でも1.2 cmであった. さらに, MVIC処置と他の2処置との間に有意な ( $p < 0.05$ ) 交互作用, すなわち跳躍高の推移に及ぼす効果に相違が認められ, 多重比較検定の結果, 1~3回目では, CONおよびSTR処置と比較し, 5および17回目では, CONのみに比べ, MVIC処置で有意に ( $p < 0.05$ ) 高値を示した(図4c).

#### IV. 考察

##### A. 最大随意等尺性筋活動の影響

本研究において下肢の4筋群における徒手抵抗を用いた最大随意等尺性筋活動がジャンプパフォーマンスを向上させることが明らかとなった(図4c). 一方, Young and Elliott<sup>17)</sup>は下肢の3筋群, すなわち, 膝関節伸展筋群, 股関節伸展筋群および足関節底屈筋群に対する5秒間, 3セットの徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動を実施したものの, 単一のジャンプパフォーマンスに向上

が認められなかったとしている. 彼らの研究<sup>17)</sup>と本研究で用いられた最大随意等尺性筋活動における方法の相違点は, 第一に本研究では膝関節屈曲筋群に対しても実施したこと, そして第二に量が本研究では5秒間, 2セットと少なかったことである. 本研究における膝関節屈曲筋群に対する最大随意等尺性筋活動がどの程度ジャンプパフォーマンスの向上に貢献したかは不明であるものの, 量に関しては先行研究と本研究との結果に相違を生じさせた要因と考えられるかもしれない. なぜなら, Frenchら<sup>3)</sup>は疲労の影響を考慮すると前処置の最大随意等尺性筋活動の時間は10秒以内が望ましいことを示唆している. つまり, 本研究で用いた5秒間, 2セットの徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動はジャンプパフォーマンスの向上に適していると言えよう.

また, 本研究で用いた最大随意等尺性筋活動は30秒間隔で繰り返された20回の間欠的なジャンプパフォーマンスの維持にも貢献することが示された(図4c). これまでに最大随意等尺性筋活動が比較的短い間隔で繰り返される間欠的なジャンプパフォーマンスに及ぼす即時効果については, Güllich and Schmidtbleicher<sup>4)</sup>がレッグプレス動作を用いて5秒間の最大随意等尺性筋活動を3セット実施した後に, 5分間の休息を空け, 20秒間隔で8回のジャンプパフォーマンス測定を実施している. その結果, 8回の跳躍高すべてが何も実施しなかったコントロールよりも高値を示したことを報告している. 他方, 本研究においては, 徒手抵抗を用いた最大随意等尺性筋活動が下肢4筋群に対して5秒間, 2セットずつ遂

行されたこと、ジャンプパフォーマンスの測定まで2分の休息が設けられたこと、ならびにジャンプパフォーマンスの測定が30秒間隔で実施されたことが上述の先行研究<sup>4)</sup>とは異なるものの、CONに比べ1～3回目までのジャンプパフォーマンスが高値を示し、その後5および17回目についても高値を示した。さらに、向上したジャンプパフォーマンスは20回目まで維持された。よって、本研究の結果は20回続くような比較的短い間隔の間欠的なジャンプパフォーマンスであっても最大随意等尺性筋活動を用いたウォームアップの有用性を示すものである。ひいては、本研究のような間欠的なジャンプパフォーマンスが主な運動様式として含まれるバレーボール競技のウォームアップにおいて、ジャンプパフォーマンスの向上と維持のために、本研究で用いた下肢筋群における徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動の実施の有効性が示唆される。

今後は本研究で用いたすべての下肢筋群に対する徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動の相乗効果によってジャンプパフォーマンスが向上したのか、または、いずれかの下肢筋群への実施がジャンプパフォーマンス向上に貢献したのかを明らかにすることで徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動を実施すべき筋群を明らかにすることが可能となるかもしれない。さらに、最大随意等尺性筋活動の時間、セット数ならびにそれらの合計時間を変数として、ジャンプパフォーマンスへの影響を検討することもより良い方法を模索して行くうえで必要となるだろう。加えて、本研究では神経生理学的な指標や力学的な指標を測定していないため、本研究における徒手抵抗を用いた最大随意等尺性筋活動がパフォーマンスを向上させた要因について明らかにすることはできない。しかしながら、先行研究<sup>3, 5, 11)</sup>同様、予め利用する筋群を活動させておいたことで活動後増強の効果により、筋機能の亢進が生じていたことが予想される。活動後増強はミオシン軽鎖のリン酸化、すなわち、筋小胞体から放出されるCa<sup>2+</sup>に対するアクチンおよびミオシンの感受性の高まりにともない、低量のCa<sup>2+</sup>でも筋収縮が可能となることで筋収縮能が向上する現象であり、その効果として張力発揮時間の短縮や張力発揮速度の改善をとまなうことが報告されている<sup>12)</sup>。今後は実際に本研究で用いた徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動によって神経筋電気刺激にとまなう発揮張力やその際の表面筋電図活動な

どが変化するか否かを観察することで活動後増強が実際に発生していたのかを確かめることができ、ひいては本研究で明らかとなったジャンプパフォーマンス向上のメカニズムが解明できるかもしれない。

## B. ストレッチングの影響

下肢筋群に対するスタティックストレッチングはジャンプパフォーマンスを向上させず、STR処置におけるジャンプパフォーマンスは20回目までCONとほぼ同様の推移を辿った(図4aおよびb)。よって、バレーボール競技におけるウォームアップにおいて本研究で用いた下肢筋群に対するスタティックストレッチングの実施がジャンプパフォーマンスの向上および維持のために有効とは言えない。単発あるいは比較的長いインターバルで行われたジャンプパフォーマンスに対するスタティックストレッチングの効果を検討した先行研究では跳躍高が低下したとする研究と跳躍高に対する正負の効果に相違がなかったとする研究が存在する<sup>1, 9, 15, 17)</sup>。前者では比較的長い伸張時間のスタティックストレッチングが用いられていることが多かった一方、後者では伸張時間は比較的短かった<sup>15)</sup>。本研究においてもスタティックストレッチングはひとつの筋群に対して30秒と比較的短い伸張時間を用いたこともあり、単発あるいは比較的長いインターバルで行われたジャンプパフォーマンスへのスタティックストレッチングの影響について検討した研究結果に準じ、CONとの間に効果の差は認められなかった。そもそもウォームアップにおいて実際に利用されているスタティックストレッチングの伸張時間について調査した結果<sup>2)</sup>によれば、スタティックストレッチングを20秒以内で実施している割合は73%と20秒より長く実施する場合のそれよりも高いことが示されている。スタティックストレッチングによってパフォーマンスの低下が認められた研究のなかにはそのメカニズムについて探究しているものもあり、それら研究結果によれば筋や腱をはじめとする結合組織における力学的変化および神経-筋を含めた神経生理学的変化が関与すると推察されている<sup>15)</sup>。しかしながら、これら変化については前者では45秒、後者では30秒のスタティックストレッチング中には生じることが明らかになっているものの、各々のストレッチング終了直後にはそれら変化に対する影響が消失したことが確かめられている<sup>4, 8)</sup>。よって、



例えばインターバルが短い間欠的なジャンプパフォーマンスへの影響であっても、単発あるいは比較的長いインターバルの間欠的なジャンプパフォーマンスへの影響を調べた研究と同様に、STR 処置と CON との間で処置間の影響に相違が認められなかったのではなからうか。今後は最大随意等尺性筋活動同様、各下肢筋群にスタティックストレッチングを実施し、ジャンプパフォーマンスに対する個別の影響も明らかにする必要があるだろう。

他方、STR 処置および CON における 1～20 回目までの推移について概観すると (図 4a および b)、CON では 7 回目まで、STR 処置では 6 回目まで漸増する傾向にあり、さらに、CON では 2 回目まで、STR 処置では 3 回目まで後半の本数に比して有意に低値を示していた。これらのことを鑑みれば、ウォームアップにおいてランニングのみあるいはランニングとスタティックストレッチングを実施した場合については、最低でも 3～4 回、できれば 6～7 回程度ジャンプ動作を行うことで、ジャンプ動作のウォームアップ効果により、ジャンプパフォーマンスを高め、その後少なくとも十数本に渡ってその効果を維持できることが示唆される。これは本研究で用いた最大随意等尺性筋活動を発揮させるために行った徒手抵抗同様、間欠的なジャンプパフォーマンスの測定時におけるジャンプ動作によってジャンプで実際に利用される筋群において活動後増強が生じパフォーマンスが向上したものと推察される。よって、バレーボール競技のウォームアップとして、ランニング、スタティックストレッチングおよび 30 秒間隔の間欠的な練習ジャンプ 6～7 回という方法も最大随意等尺性筋活動の実施と同様に推奨されよう。この場合、本研究の最大随意等尺性筋活動のように徒手抵抗を行うパートナーが必要ないことから、よりスポーツ現場に即した方法として利用価値が高いかもしれない。今後は本研究と同様の間欠的なジャンプパフォーマンスの指標を用いて、ウォームアップにおけるジャンプ動作の有用性についても検討する必要があると思われる。

### C. 本研究の限界

本研究の限界として、今回、30 秒間隔で 20 回という実験的な間欠的なジャンプパフォーマンスを用いて検討を行ったが、実際のバレーボールの試合では、攻撃や守備の機会によってジャンプの頻度が増したり、ラリーが長

く続けばその分だけジャンプの回数も増加する可能性がある。さらに、本研究では両脚のジャンプを用いてジャンプパフォーマンスの検討を行ったが、実際の試合では片脚のジャンプも含まれる。よって、連続ジャンプによる疲労の影響や片脚ジャンプへの効果についても検討しなければ、直接的にはバレーボール競技に有効とは言い切れない。したがって、今後は実際にバレーボールの試合前に徒手抵抗を用いた最大随意等尺性筋活動あるいはジャンプ動作を含めたウォームアップを実施し、試合中において動作分析等を用いたジャンプ動作やスパイク動作等に及ぼす影響を検討することにより、実際の試合にも本研究の成果が応用されるのか否かについて明らかにする必要がある。また、本研究ではバレーボール競技の試合のうち 1 セット分だけをシミュレートした検討に過ぎない。本来バレーボール競技の試合は最低でも 3 セット、多ければ 5 セット継続されることから、今後はセット数を増やして実験的に検討する必要もある。

一方で、1 セット目を先取することが勝利に繋がることも確かである。2007 年から 2011 年までの過去 5 年間の日本バレーボールリーグの公式戦プレミアリーグの結果を概観すると<sup>14)</sup>、1 セット目を先取したチームが試合に勝利した確率は、男子で 78.3% (548 試合中 429 試合)、女子で 78.1% (603 試合中 471 試合) であった。よって、本研究の結果より 1 セット目の先取を念頭において徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動や数回のジャンプ動作をウォームアップに取り入れることを推奨するとともに、今後はそれぞれのウォームアップによるパフォーマンス向上効果がどの程度 (具体的には何セット) 継続するのかについて検討すること、併せてセット間のインターバル中に前セットの疲労を軽減させ、次セットのパフォーマンスを向上させるために適したクールダウンないしウォームアップの方法を明確にしていく必要があると思われる。

## V. 結論

本研究はバレーボール競技を実験的にシミュレートした 30 秒間隔で 20 回ジャンプを行う間欠的なジャンプパフォーマンスに対するスタティックストレッチングおよび等尺性筋活動を含めたウォームアップの影響を検討した。その結果、以下のような知見が得られた。1) ジャン

ブ動作に関わる下肢筋群に対する徒手抵抗を用いた最大随意等尺性筋活動を含むウォームアップにより、ジャンプパフォーマンスが向上し、その効果が20回目まで維持された。2) 同様の下肢筋群へのスタティックストレッチングを含むウォームアップでは、ジャンプパフォーマンスの向上効果は確認されず、安静を保持した場合とほぼ同様の推移を示し、正負の効果がみられなかった。以上のことから、バレーボール競技のウォームアップにおいてジャンプパフォーマンスを向上させ、維持するために本研究で用いた徒手抵抗による最大随意等尺性筋活動の実施の有効性が示唆される。一方で、本研究で用いたスタティックストレッチングはジャンプパフォーマンスの向上および維持には有効とは言えない。しかしながら、CON および STR 処置では跳躍高が跳躍回数3~4回目まで有意に増加し、6~7回目まで漸増傾向であった。そしてその後は跳躍高が向上したまま維持された。これらのことから、ウォームアップにおいて、ジャンプ動作を最低でも3~4回、できれば6~7回程度実施しておくこともジャンプパフォーマンスを向上させ、維持するための有効な方法であることが示唆される。

## 謝辞

本研究に参加して下さった被験者のみなさまにお礼申し上げますとともに、実験の遂行に尽力して下さった稲森謙吾氏に心からお礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) Brandenburg, J., W. A. Pitney, P. E. Luebbers, A. Veera, A. Czajka: Time course of changes in vertical-jumping ability after static stretching, *J. Sports Physiol. Performance*, 2: 170-181, 2007.
- 2) Duehring, M. D., C. R. Feldmann, W. P. Ebben: Strength and conditioning practices of United States high school strength and conditioning coaches, *J Strength Cond. Res.*, 23: 2188-2203, 2009.
- 3) French, D. N., W. J. Kraemer, C. B. Cooke: Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions, *J. Strength Cond. Res.*, 17: 678-685, 2003.
- 4) Guissard, N., J. Duchateau, K. Hainaut: Muscle stretching and motoneuron excitability, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 47-52, 1988.
- 5) Güllich, A., D. Schmidtbleicher: MVC-induced short-term potentiation of explosive force, *N. Stud. Athl.*, 11: 67-81, 1996.
- 6) Hedrick, A: バレーボールで高度なパフォーマンスを発揮するためのトレーニング, *ストレングス&コンディショニングジャーナル*, 14 (1) : 38-52, 2007.
- 7) Hislop, H. J., J. Montgomery: 新・徒手筋力検査法, 津山直一翻訳, 第6版, 協同医書出版社, 東京, 1996.
- 8) Magnusson, S. P., P. Aagaard, J. J. Nielson: Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 1160-1164, 2000.
- 9) Needham, R. A., C. I. Morse, H. Degens: The acute effect of different warm-up protocols on anaerobic performance in elite youth soccer players, *J. Strength Cond. Res.*, 23: 2614-2620, 2009.
- 10) 大石博暁: 現場からの指導レポート1-全日本男子バレーボールチームの取り組みA-, *JATI EXPRESS*, 17: 10-11, 2010.
- 11) Robbins, D. W.: Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review, *J. Strength Cond. Res.*, 19: 453-458, 2005.
- 12) Sale, D. G.: Postactivation potentiation: role in human performance, *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 30: 138-143, 2002.
- 13) Tillman, M. D., C. J. Hass, D. Brunt, G. R. Bennett: Jumping and landing techniques in elite woman's volleyball, *J. Sports Sci. Med.*, 3: 30-36, 2004.
- 14) バレーボールVリーグオフィシャルサイト: 過去の記録, リーグ別一覧, プレミアリーグ男子および女子, [http://www.vleague.or.jp/record/league=premier\\_m](http://www.vleague.or.jp/record/league=premier_m) および w, 2012.
- 15) 山口太一, 石井好二郎: ウォームアップにおける各種ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響, *トレーニング科学*, 23: 233-250, 2011.
- 16) 山口太一, 石井好二郎, 瀧澤一騎, 高嶋渉, 稲森謙吾: 数分間隔で繰り返される跳躍間の適切な準備運動, *トレーニング科学*, 19: 351-359, 2007.
- 17) Young, W., S. Elliott: Acute effects of static stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and maximum voluntary contractions on explosive force production and jumping performance, *Res. Q. Exerc. Sport.*, 72: 273-279, 2001.