

原著

# ダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせたプロトコルが膝関節伸展パワーに及ぼす急性の効果

内海 景憲\*, 山口 太一\*\*, 石井好二郎\*\*\*, 安田 和則\*\*\*\*

## Acute effects of dynamic stretching combined with static stretching on leg extension power output

Kagenori Utsumi\*, Taichi Yamaguchi\*\*, Kojiro Ishii\*\*\*, Kazunori Yasuda\*\*\*\*

### 要 約

本研究の目的はパフォーマンス向上効果が認められているダイナミックストレッチングにパフォーマンス低下の恐れのあるスタティックストレッチングを組み合わせたプロトコルが等負荷性運動時の筋機能に及ぼす効果を明らかにすることであった。大学硬式野球部員13名を対象に以下の前処置を行った後、短縮性等負荷性膝関節伸展パワーを測定した。前処置は①膝関節伸筋群の伸張および膝関節伸展を行うダイナミックストレッチングを実施する処置、②膝関節伸筋群および膝関節屈筋群の30秒のスタティックストレッチング後に同様のダイナミックストレッチングを実施する処置、③順序を入れ替えダイナミックストレッチング後にスタティックストレッチングを実施する処置であった。各処置におけるピークパワーに有意な差は認められなかった。よって、ダイナミックストレッチングに30秒のスタティックストレッチングを組み合わせて実施しても、その順序を入れ替えて実施しても、ダイナミックストレッチングのみ実施する場合と等負荷性運動時の筋機能に及ぼす効果に相違がないことが示された。

キーワード：ウォーミングアップ、ストレッチング、パフォーマンス、パワー

\* 北海道大学教育学部体力科学  
Laboratory of Human Performance and Fitness, Faculty of  
Education, Hokkaido University  
〒060-0811 札幌市北区北11条西7丁目  
Kita-11, nishi-7, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0811, Japan

\*\* 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番地  
582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501,  
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 京都府京田辺市多々羅都谷1-3  
1-3 Miyakodani, Tataru, Kyoutanabe, Kyoto, 610-0394,  
Japan

\*\*\*\* 北海道大学大学院医学研究科スポーツ・再建医学分野  
Department of Sports Medicine and Joint Reconstruction  
Surgery, Graduate School of Medicine, Hokkaido University  
〒060-8638 札幌市北区北15条西7丁目  
Kita-15, nishi-7, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8638, Japan

受付日：2009年5月19日

受諾日：2009年11月18日

### Abstract

Previous studies have shown that static stretching acutely decreases muscular performance and that dynamic stretching acutely enhances muscular performance. The studies that investigated the acute effects of dynamic stretching combined with static stretching on muscular performance were limited, and the results were not consistent. Moreover, the acute effect of stretching order on muscular performance has not been revealed. Therefore, the purpose of this study was to clarify the acute effects of dynamic stretching combined with static stretching on muscular performance during concentric dynamic constant external resistance (DCER, formally called isotonic) muscle action, and to examine the differences in the acute effect of stretching order. Thirteen university baseball players measured concentric DCER leg extension power output after 3 types of pretreatment. The pretreatments were a) dynamic stretching (DS) treatment including dynamic stretching of leg extensors and simulating the leg extension motion, b) static stretching and dynamic stretching (SS+DS) treatment including static stretching for 30 seconds in leg extensors and flexors followed by the dynamic stretching, and c) dynamic stretching and static stretching (DS+SS) treatment including the dynamic stretching followed by the static stretching. The power outputs were not significantly different among 3 types of pretreatment (DS:  $604.5 \pm 112.1$  W; SS+DS:  $602.6 \pm 107.3$  W; DS+SS:  $598.2 \pm 127.0$  W). This result suggests that there are no differences in acute effect on concentric DCER leg extension power output among dynamic stretching only, dynamic stretching after static stretching for 30 seconds and static stretching for 30 seconds after dynamic stretching.

Key words : warm-up, stretching, performance, power output

## I. 緒言

スポーツ競技者はパフォーマンスの向上と傷害予防を目的として、競技前やトレーニング前にはウォーミングアップを行っている。一般的なウォーミングアップの手順として、軽い有酸素性運動とストレッチングが行われている。ウォーミングアップにおけるストレッチングは関節可動域を広げ柔軟性を向上させることから、傷害を予防し、パフォーマンスを向上させると考えられている<sup>10, 24, 28)</sup>。その手法として、ゆっくりと筋や腱を引き伸ばし関節可動域の限界あるいは限界近くで一定時間保持するスタティックストレッチングが、安全で容易な方法であることから広く用いられている<sup>10, 24, 28)</sup>。ところが近年、このスタティックストレッチングは筋力やパワーといった筋機能ならびに垂直跳びやスプリント走といった瞬発的なパフォーマンスを低下させることが報告されており<sup>4, 7, 9, 11, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 30, 31)</sup>、ウォーミングアップにおけるスタティックストレッチングの利用を否定する意見が散見される<sup>13, 20, 22)</sup>。

一方、ウォーミングアップにおけるストレッチングとしてダイナミックストレッチングが用いられることもある。ダイナミックストレッチングはターゲットとなる筋群の拮抗筋群を意識的に収縮させ、関節の曲げ伸ばしや回旋などを行うことで筋や腱を引き伸ばしたり、実際の運動をシミュレートした動作を取り入れたストレッチングであり<sup>10, 24, 28)</sup>、筋機能や瞬発的なパフォーマンスを向上させることが報告され<sup>9, 13, 31, 32)</sup>、ウォーミングアップにおけるストレッチングとして推奨されつつある<sup>9, 13, 31)</sup>。

ウォーミングアップにおけるスタティックストレッチング、ダイナミックストレッチングについて、これまでにそれぞれのストレッチング単独でのパフォーマンスに及ぼす効果について検討した研究は数多く行われてきた<sup>1, 3, 4, 7, 9, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 30, 31)</sup>。しかしながら、実際の運動場面を考えるとウォーミングアップにおけるスタティックストレッチングとダイナミックストレッチングが併用されることもあり、このようなスタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合わせたときのパフォーマンスに及ぼす効果につ

いて検討した研究は少ない<sup>5,6,25)</sup>。また、スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合わせたときの組み合わせの順序によってパフォーマンスに差が生じるのか否かについての先行研究は筆者の知る限りでは存在しない。それ故、既存の知見だけではスポーツ競技前のウォーミングアップとして適切なストレッチングの方法が不明瞭であると言わざるを得ない。

そこで本研究の目的は、ダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせたプロトコルが等負荷性運動時の筋機能に及ぼす急性の効果、既存の研究でパフォーマンス向上効果があるとされるダイナミックストレッチングのみ実施する条件と比較することによって明らかにし、ウォーミングアップとして適切なストレッチングの方法を検討することである。

## II. 方法

### A. 被験者

右下肢に外科的な既往歴のない男子大学硬式野球部員13名（年齢：21.0 ± 1.3歳；身長：175.6 ± 4.3 cm；体重：71.5 ± 5.2 kg；平均値 ± 標準偏差）が本研究に参加した。全ての被験者は日常の練習において本研究で行うダイナミックストレッチング、短縮性等負荷性膝関節伸展運動を行っており、十分に慣れていた。ただし、実験前日ならびに当日にはストレッチングおよび膝関節伸展を含む運動を行わないよう注意を促した。全ての被験者に本研究の目的、方法および危険性について説明を行い、研究参加の同意を得た上で実験を行った。

### B. 研究デザイン

本研究では3-9日の間隔において4回の実験を行った。まず、1回目に、被験者に対し実験の説明を行い、次いで、5分間の有酸素性運動のあと右脚における等尺性最大随意収縮での膝関節伸展筋力の測定を実施した。その後しばらく時間をあけ短縮性等負荷性膝関節伸展パワー発揮の練習およびピークパワーの初期値の測定、ならびにダイナミックストレッチングの練習を行った。2回目には共通のウォーミングアップとして5分間の有酸素性運動を行い、各被験者に対し以下に示す前処置を実施した後、右脚における短縮性等負荷性膝関節伸展パワーを測定した。前処置は、①ダイナミックストレッチングの

み実施する処置（以下、DS処置）、②スタティックストレッチングの後にダイナミックストレッチングを実施する処置（以下、SS+DS処置）、③ダイナミックストレッチングの後にスタティックストレッチングを実施する処置（以下、DS+SS処置）のいずれかとし、2回目における前処置は各被験者でランダムに決定した。3回目には2回目と別の2つの前処置のいずれかを実施し、また、4回目には2回目、3回目とは別の前処置を実施し、同様の膝関節伸展パワーを測定した。

ウォーミングアップにおけるストレッチングが筋機能に及ぼす効果について検討した多くの先行研究では、等尺性筋活動、あるいは等速性筋活動がその指標として用いられてきた<sup>4,7,9,16,20,21,23,31)</sup>。しかしながら、スポーツ競技における実際の運動は等負荷性筋活動で行われていることがほとんどであり、本研究ではより実際の運動場面に近い筋活動様式を筋機能の指標とするため等負荷性筋活動を採用した。

パワー測定における負荷は1回目に測定した各被験者の最大随意収縮（maximum voluntary contraction, 以下、MVC）筋力の30%に相当する負荷重量（以下、30%MVC）に設定した。下肢筋群の最大パワーは、短縮性等負荷性筋活動の最大筋力である最大拳上重量の45～60%の負荷で発揮されるが<sup>12)</sup>、本研究で用いた測定機器においては30%MVCの負荷を用いた際に発揮される張力が最大拳上重量の45～60%に相当することが明らかとなっており<sup>30,32)</sup>、各被験者の最大パワーに近い値を測定することが可能であると考えた。また、Yamaguchi et al.は同測定システムを利用し、5%、30%、および60%MVCの全ての負荷において、スタティックストレッチングによるパワーの低下<sup>30)</sup>ならびにダイナミックストレッチングによるパワーの向上<sup>32)</sup>を示していることから、代表値として30%MVCのみを用いた。30%MVCにおけるパワーをDS処置、SS+DS処置、およびDS+SS処置の間で比較し、ダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせたときの筋機能、さらにはその組み合わせの順序による筋機能に及ぼす急性の効果について検討した。

### C. 前処置

DS処置では、1分40秒間座位にて安静を保持し、右脚の膝関節伸展筋群に対するダイナミックストレッチング

ならびに膝関節伸展運動をシミュレートしたダイナミックストレッチングを計2種目それぞれ1セット実施した。

SS+DS処置では、被験者の右脚に同一験者による膝関節伸筋群と膝関節屈筋群に対する受動的なスタティックストレッチングを計2種目それぞれ1セット実施した後、DS処置と同様のダイナミックストレッチングを実施した。

DS+SS処置では、SS+DS処置のスタティックストレッチングとダイナミックストレッチングの順序を入れ替えて実施した。全てのダイナミックストレッチングは、Yamaguchi et al.の方法<sup>29)</sup>を参考に被験者が日常の練習で行っている方法を融合させ、3秒で2回行うリズムで30秒実施した。スタティックストレッチングは、Yamaguchi & Ishiiの方法<sup>29)</sup>に倣い、被験者が口頭で示す限界の肢位までゆっくりと伸張し、その肢位で30秒保持するものとした。5分間の有酸素性運動から安静またはストレッチングの移行時、ストレッチングの変更時には20秒とり、ダイナミックストレッチングの種目間のみ10秒とした。なお、ウォーミングアップの合計時間は約8分10秒であり、短縮性等負荷性膝関節伸展パワーの測定は測定システムまでの移動および測定システムへの固定のための必要時間を考慮し、ウォーミングアップ終了3分後に実施した。有酸素性運動、ダイナミックストレッチング、スタティックストレッチングは以下に示す方法で実施した。

### 1. 有酸素性運動

有酸素性運動として自転車エルゴメーター(CORIVAL400, Lode, Groningen, Holland)を用いての5分間の有酸素性運動を実施した。負荷は50Wとし、被験者にはペダルの回転数を毎分60回転に保つよう指示した。

### 2. ダイナミックストレッチング

#### 1) 膝関節伸筋群を伸張させるための臀部蹴り上げ

被験者はハムストリングスの収縮を意識して膝関節を屈曲させ、踵で臀部を蹴り上げ、膝関節伸筋群を伸張させた(図1-a)。

#### 2) 膝関節伸展運動をシミュレートした前方への膝関節伸展

被験者は始めに膝関節を屈曲した状態で股関節屈筋群

a



b

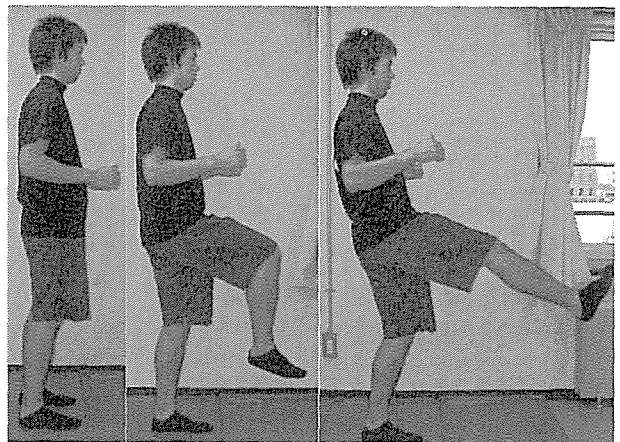


図1 各筋群に対するダイナミックストレッチング。  
a: 臀部蹴り上げ。b: 前方への膝関節伸展。

の収縮を意識して股関節を屈曲させ、大腿部を地面と平行になるまで持ち上げる。その後、大腿四頭筋群の収縮を意識して膝関節を伸展させ、身体の前方向へ脚を伸展させた(図1-b)。

### 3. スタティックストレッチング

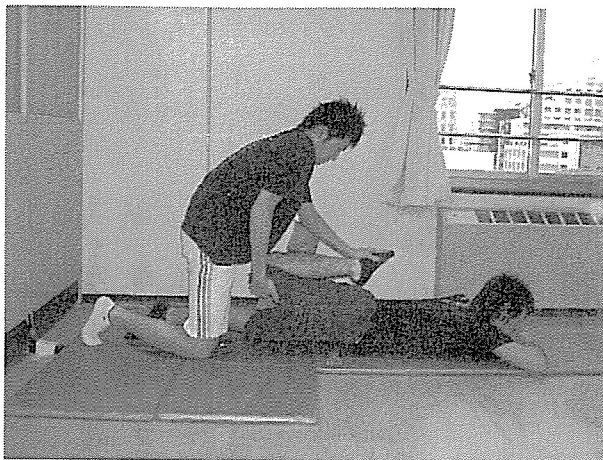
#### 1) 膝関節伸筋群に対する伏臥位での受動的ストレッチング

被験者は伏臥位となり、験者が被験者の右足首を持ち、踵が臀部につくまで右膝関節を屈曲させ、さらに膝を拳上させ股関節を伸展させ膝関節伸筋群を伸張させた(図2-a)。

#### 2) 膝関節屈筋群に対する仰臥位での受動的ストレッチング

被験者は仰臥位となり、験者が被験者の右膝関節を完全に伸展させた状態で股関節を屈曲させた(図2-b)。

a



b

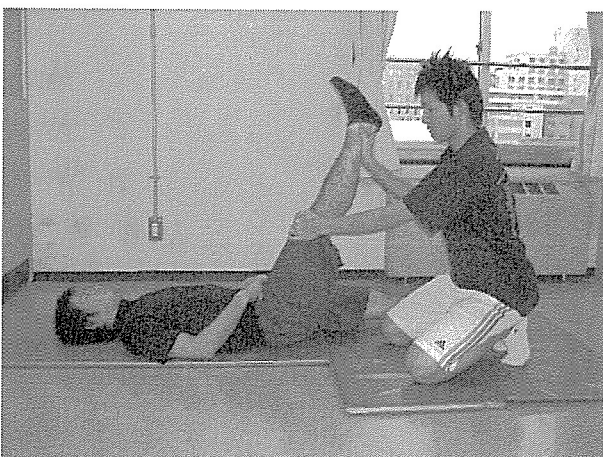


図2 各筋群に対するスタティックストレッチング。  
a: 膝関節伸筋群ストレッチング。  
b: 膝関節屈筋群ストレッチング。

#### D. 等尺性最大随意収縮での膝関節伸展筋力および短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーの測定

MVC筋力ならびに短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーの測定はYamaguchi et al.の方法<sup>30, 32)</sup>に基づいて実施した。測定では多関節筋力・パワー測定装置Power Processor (VINE, 東京)を測定器として設置した筋力・パワー測定システムを用いて評価した。MVC筋力ならびにパワー測定の開始肢位は以下の通りとした。被験者は股関節角度が90度となるような測定システムの椅子に深く腰を掛け、体幹部、腰部および両脚の大腿部をベルトでしっかりと固定した。そして、右足首に測定システムのワイヤーをストラップを用いて装着し、膝関節角度が90度となるようにワイヤーの長さを調節した。なお、被験者には測定中、両腕を胸の前で組み、声を発さずに力を発揮するよう指示した(図3)。

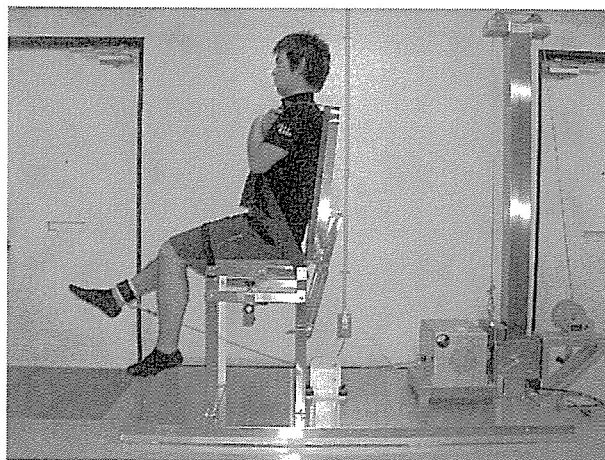


図3 筋力・パワー測定システムおよび短縮性等負荷性膝関節伸展パワーの測定風景。

##### 1. 等尺性最大随意収縮での膝関節伸展筋力の測定

MVC筋力の測定時には被験者に対し、測定開始肢位で5秒間全力で膝関節を伸展させワイヤーを引くよう指示した。測定中、ワイヤーにかかる張力のデータを500 Hzのsampling rateで測定システムの汎用パーソナルコンピュータに集積し、5秒間における最大張力をMVC筋力として算出した。この測定を、測定間に2分の休息をおいて3回実施し、3回の測定値のうち最も高い値を各被験者のMVC筋力として採用した。

##### 2. 短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーの測定

各被験者の短縮性等負荷性膝関節伸展パワー測定時の負荷は実験1回目に測定したMVC筋力の30%に相当する負荷重量(30%MVC)に設定した。パワー測定時には被験者に対し、測定開始肢位よりできるだけ素早くかつ力強く膝関節を伸展させワイヤーを引くよう指示した。測定中、ワイヤーが引かれる張力と伸張速度のデータを500Hzのsampling rateで解析ソフトVPM21(VINE)を用いて汎用パーソナルコンピュータに集積し、さらに、張力と伸張速度の積として算出されたパワーの最高値(ピークパワー)を求めた。この測定を、測定間に2分の休息をおいて3回実施し、3回の測定値のうち最も高い値を各被験者のピークパワー(peak power output, 以下, PP)として採用した。また、スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングの組み合わせとその順序によるPPの変化のメカニズム

について検討するため、PP時の張力 (torque at peak power output, 以下,  $T_{pp}$ ), 速度 (velocity at peak power output, 以下,  $V_{pp}$ ), 最大張力 (peak torque, 以下, PT), 最大速度 (peak velocity, 以下, PV), および実験1回目に測定したMVC筋力に占める  $T_{pp}$  の割合 (以下, %MVC $_{pp}$ ) を算出した. なお, 本研究で用いた筋力・パワー測定システムのデータの測定日間の再現性は, 先行研究<sup>30)</sup> によって測定-再測定のデータ間に有意な差は見られず, 比較的高い級内相関係数 ( $r=0.85-0.98$ ) が確認されている. また, 実験1回目のパワー測定の練習における各被験者の数回の測定値より算出された変動係数は平均2.9 (1.1-4.7) %であった. したがって, 本システムの再現性は良好であったと言える.

### E. 統計処理

DS処置, SS+DS処置, およびDS+SS処置における各測定値の比較には統計ソフトStatcel2 (オーエムエス出版, 埼玉) を用いた. データの分布を正規性の検定ならびにパートレット検定により確かめ, データの分布が正規分布であり等分散とみなせる場合には対応のある一元配置分散分析を用い, 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. データの分布が正規分布でないかもしくは等分散とみなせない場合にはクラスカル・ワーリス検定を用いた. 全ての統計量は平均値および標準偏差で示し, 有意水準は  $P<0.05$  で判定した.

## Ⅲ. 結果

各被験者における短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーにおける, DS処置, SS+DS処置, およびDS+SS

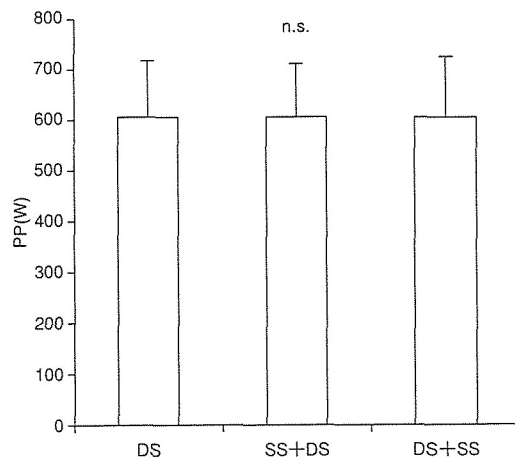


図4 DS処置, SS+DS処置, およびDS+SS処置における短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワー (PP) の平均値 (+標準偏差). n.s.= not significant.

処置間の測定値に有意な差は認められなかった (図4; DS処置:  $604.5 \pm 112.1$  W; SS+DS処置:  $602.6 \pm 107.3$  W; DS+SS処置:  $598.2 \pm 127.0$  W). 一方, 第1回目の実験において測定された膝関節伸展パワー発揮練習後のピークパワーの初期値は,  $560.8 \pm 128.6$  Wであり, この値を含めて測定値の比較をしたところ, 初期値に比べDS処置ならびにSS+DS処置において有意に ( $P<0.05$ ) 高値を示した.

$T_{pp}$ ,  $V_{pp}$ , PT, PV, %MVC $_{pp}$  においても, DS処置, SS+DS処置, およびDS+SS処置間での測定値に有意な差は認められなかった (表1).

## Ⅳ. 考察

これまでのスタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合わせたときのパフォーマンス

	DS	SS+DS	DS+SS	
$T_{pp}$ (N)	$269.2 \pm 34.5$	$266.2 \pm 37.8$	$269.1 \pm 39.5$	n.s.
$V_{pp}$ ( $m \cdot sec^{-1}$ )	$2.24 \pm 0.22$	$2.26 \pm 0.21$	$2.20 \pm 0.20$	n.s.
PT(N)	$315.5 \pm 71.3$	$306.2 \pm 33.7$	$299.4 \pm 41.3$	n.s.
PV( $m \cdot sec^{-1}$ )	$2.46 \pm 0.29$	$2.42 \pm 0.29$	$2.39 \pm 0.26$	n.s.
%MVC $_{pp}$ (%)	$46.1 \pm 5.7$	$45.0 \pm 4.9$	$45.4 \pm 4.8$	n.s.

平均値 ± 標準偏差

表1 DS処置, SS+DS処置, およびDS+SS処置における各測定値.

に及ぼす効果について検討した先行研究では<sup>5, 6, 25)</sup>, スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングの組み合わせの順序によってパフォーマンスに差が生じるか否かについては検討されていなかった. そこで本研究では, ダイナミックストレッチングのみを実施した条件, スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合わせた条件, さらにその組み合わせの順序を入れ替えた条件の筋機能に及ぼす効果を比較し, ウォーミングアップとして適切なストレッチングの方法を検討した. その結果, DS処置, SS+DS処置, およびDS+SS処置を実施した後の短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーで差が認められないことが明らかとなった. 一方, 3条件のピークパワーに相違は認められなかったものの, 1回目の実験において測定された練習後のピークパワーの初期値に比し, 高値を示す傾向がみられ, DS処置ならびにSS+DS処置において有意に高い値となった. したがって, ダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせて実施しても, あるいはその順序を入れ替えて実施しても, 短縮性等負荷性筋活動における筋機能を向上させるものの, ダイナミックストレッチングによる筋機能の向上効果をスタティックストレッチングによって低下させる影響もなく, 組み合わせる実施することによる相乗効果もないことが示された. よって, いずれにしてもウォームアップにおいて筋機能を向上させるためにはダイナミックストレッチングの実施が必要であることが示唆される.

ダイナミックストレッチングが筋機能を向上させる要因として, 運動で利用する筋群をあらかじめ高強度で活動させることによって当該筋群の筋機能が一時的に亢進する活動後増強の関与が推察されている<sup>5, 9, 16, 31, 32)</sup>. 活動後増強について検討した先行研究では, ウォーミングアップとして実施した筋活動によって生じた下肢筋群における活動後増強が, ウォーミングアップの12分後<sup>14)</sup>あるいは18.5分後<sup>2)</sup>まで持続していることを報告している. したがって, 本研究ではストレッチングを実施してから3分後に短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーを測定していることから, ダイナミックストレッチングのみを実施した条件, スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合わせた条件, さらにその組み合わせの順序を入れ替えた条件においてダイナミックストレッチングが筋機能を向上させる要因はパ

ワー測定時まで持続していた可能性が考えられる. 今後は, ダイナミックストレッチングによる筋機能向上効果がどのくらい継続するのかについて詳細に検討することで, ウォーミングアップにおけるダイナミックストレッチングの利用について更なる提言が可能になるだろう.

一方, ダイナミックストレッチングの後にスタティックストレッチングを実施することがパフォーマンスに及ぼす効果については明らかになっていないものの, 本研究において確認されたダイナミックストレッチングのみ実施した条件とスタティックストレッチングの後にダイナミックストレッチングを実施した条件とではその後のパフォーマンスに差が生じなかったことは, Faigenbaum et al.<sup>5)</sup>やTorres et al.<sup>25)</sup>の研究と一致する. しかし一方でFletcher & Anness<sup>6)</sup>は, スタティックストレッチングの後にダイナミックストレッチングを実施した条件ではダイナミックストレッチングのみを実施した条件より, その後の50m走のパフォーマンスが低下したことを報告している. Faigenbaum et al.<sup>5)</sup>, Torres et al.<sup>25)</sup>, そして本研究では, ひとつの筋群に合計30秒のスタティックストレッチングを実施していたのに対し, Fletcher & Anness<sup>6)</sup>はひとつの筋群に合計66秒のスタティックストレッチングを実施していた. Ogura et al.<sup>17)</sup>は30秒のスタティックストレッチングを実施した条件では等尺性膝関節屈曲最大随意筋力は低下しないが, 60秒のスタティックストレッチングを実施した条件では低下することを報告しており, 本研究とFletcher & Anness<sup>6)</sup>の研究の結果の相違はダイナミックストレッチングと組み合わせたスタティックストレッチングの時間の相違によるものと考えられる. スタティックストレッチングが筋機能を低下させる要因として, 運動神経における神経-筋の興奮水準の低下, 筋腱組織の粘弾性の減少の関与が推察されている<sup>7, 8, 15)</sup>. しかしながら, Guissard et al.<sup>9)</sup>は, 30秒のスタティックストレッチングにおいてストレッチング中には運動神経における神経-筋の興奮水準が低下しているものの, ストレッチング直後には回復することを報告している. また, Magnusson et al.<sup>15)</sup>は, 45秒のスタティックストレッチングにおいてストレッチング中には筋腱組織の粘弾性の減少が見られるものの, ストレッチングが終了してから30秒後には筋腱組織の粘弾性は回復することを報告している. すなわち, ダイナミックストレッチングの前後に

30秒以下のスタティックストレッチングを組み合わせてもその後のパフォーマンスに及ぼす影響はなく、ダイナミックストレッチングのみを実施するのと同程度のパフォーマンス発揮が可能になることを示唆している。ただし、Siatras et al.<sup>29)</sup>は10秒、20秒のスタティックストレッチングを実施した条件では等速性膝関節伸展ピークパワーは低下しないが、30秒以上のスタティックストレッチングによってパワーが低下することを報告しており、未だスタティックストレッチングによる筋機能低下の時間的な閾値は明確ではない。今後の更なる研究によって、ストレッチングが筋機能を変化させるメカニズムの解明と、スタティックストレッチングの時間と筋機能低下の関係について明らかにする必要があると思われる。

最後に本研究の限界として、本研究ではピークパワーすなわちパフォーマンスを指標にダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせたプロトコルの効果について比較検討したが、ウォームアップにおけるストレッチングに望まれる効果として他に、柔軟性の向上、血液循環の促進ならびに神経-筋の促通なども期待されている<sup>10, 33)</sup>。したがって、本実験におけるプロトコルがこれら効果についても有効か否かについて検討しなければならない。また、本研究において得られた知見が全てのストレッチングプロトコルないし種々のパフォーマンスにも当てはまるとは言い切れない。よって今後は、様々なストレッチングプロトコル（時間やメニュー）を用いて、種々のパフォーマンス（他関節のピークパワーあるいは瞬発的なパフォーマンスなど）に及ぼす効果について検討する必要があると思われる。

## V. 結語

### A. 本研究の結論

本研究の結果から、ダイナミックストレッチングに30秒のスタティックストレッチングを組み合わせても、あるいはその順序を入れ替えて実施しても、ダイナミックストレッチングのみを実施する条件と比較して短縮性等負荷性膝関節伸展ピークパワーに差が生じないことが示された。したがって、ダイナミックストレッチングに30秒のスタティックストレッチングを組み合わせても筋機能は低下せず、相乗効果もないこと

が示唆される。

### B. 現場への応用

本研究の結果よりウォーミングアップとして適切なストレッチングの方法を考えると、ダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせても相乗効果が生じないことから、筋機能を向上させるためにはダイナミックストレッチングのみの実施で十分であると考えられる。

しかしながら一方で、ダイナミックストレッチングにスタティックストレッチングを組み合わせる際には、次のような利点も考えられる。過去に傷害歴を有している、あるいは現在傷害を抱えている競技者は、スタティックストレッチングを実施しないと傷害の再発・悪化の不安から全力でパフォーマンスを発揮できないことがある。この場合、スタティックストレッチングを実施することによって傷害予防の安心感を得られ、全力でパフォーマンスを発揮することが望めるかもしれない。また、疲労の蓄積により特定の関節可動域が縮小しパフォーマンスが低下する可能性がある。この場合、スタティックストレッチングを実施することによって関節可動域を改善させることで、パフォーマンス向上に貢献すると考えられる。これらのようにスタティックストレッチングの実施によってパフォーマンスの向上が望める場合には、30秒以下のスタティックストレッチングであればダイナミックストレッチングの前あるいは後に組み合わせることで、ダイナミックストレッチングのみを実施する場合と同程度のパフォーマンス発揮が期待される。加えて、ダイナミックストレッチングを実施する前提として、それぞれの運動に必要とされる基礎的な柔軟性が獲得されていることや、疲労が蓄積していないことが挙げられている<sup>31)</sup>。これらを踏まえ、傷害による不安がある場合や、基礎的な柔軟性が不足している、あるいは柔軟性のバランスが崩れている場合には、30秒以下のスタティックストレッチングを実施し、その後にダイナミックストレッチングを実施することが推奨されよう。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、水野眞佐夫、高山晃作両氏



よりご懇篤なご指導とご高配を賜りましたことをここに感謝の意として表します。また、北海道大学体育会硬式野球部員の皆様には被験者として快くご協力頂きましたことを厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Ce, E., V. Margonato, M. Casasco, A. Veicsteinas: Effects of stretching on maximal anaerobic power: the roles of active and passive warm-ups. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 794-800, 2008.
- 2) Chiu, L. Z. F., A. C. Fry, L. W. Weiss, B. K. Schilling, L. E. Brown, S. L. Smith: Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J. Strength Cond. Res.*, 17: 671-677, 2003.
- 3) Christensen, B. K., B. J. Nordstrom: The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation and dynamic stretching techniques on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1826-1831, 2008.
- 4) Costa, P. B., E. D. Ryan, T. J. Herda, J. M. DeFreitas, T. W. Beck, J. T. Cramer: Effects of stretching on peak torque and the H:Q ratio. *Int. J. Sports. Med.*, 30: 60-65, 2009.
- 5) Faigenbaum, A. D., J. Kang, J. McFarland, J. M. Bloom, J. Magnatta, N. A. Ratamess, J. R. Hoffman: Acute effects of different warm-up protocols on anaerobic performance in teenage athletes. *Ped. Exerc. Sci.*, 17: 64-75, 2006.
- 6) Fletcher, I. M., R. Anness: The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 784-787, 2007.
- 7) Fowles, J. R., D. G. Sale, J. D. MacDougall: Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J. Appl. Physiol.*, 89: 1179-1188, 2000.
- 8) Guissard, N., J. Duchateau: K. Hainaut: Muscle stretching and motoneuron excitability. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 47-52, 1988.
- 9) Herda, T. J., J. T. Cramer, E. D. Ryan, M. P. McHugh: Acute effects of static versus dynamic stretching on isometric peak torque, electromyography, and mechanomyography of the biceps femoris muscle. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 809-817, 2008.
- 10) Holcomb, W. R.: ストレッチングとウォームアップ, ストレングストレーニング&コンディショニング, 第2版, Baechle, T. R., R. W. Earle 編, ブックハウスエイチディ, 東京, pp.355-378, 2002.
- 11) Holt, B. W., K. Lambourne: The impact of different warm-up protocols on vertical jump performance in male collegiate athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 226-229, 2008.
- 12) Izquierdo, M., K. Hakkinen, J. J. Gonzalez-Badillo, J. Ibanez, E. M. Gorostiaga: Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 87: 264-271, 2002.
- 13) Jagers, J. R., A. M. Swank, K. L. Frost, C. D. Lee: The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force, and power. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1844-1849, 2008.
- 14) Kilduff, L. P., H. R. Bevan, M. I. C. Kingsley, N. J. Owen, M. A. Bennett, P. J. Bunce, A. M. Hore, J. R. Maw, D. J. Cunningham: Postactivation potentiation in professional rugby players : optimal recovery. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 1134-1138, 2007.
- 15) 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.
- 16) Manoel, M. E., M. O. Harris-Love, J. V. Danoff, T. A. Miller: Acute effects of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle power in women. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1528-1534, 2008.
- 17) Ogura, Y., Y. Miyahara, H. Naito, S. Katamoto, J. Aoki: Duration of static stretching influences muscle force production in hamstring muscles. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 788-792, 2007.
- 18) Pearce, A. J., D. J. Kidgell, J. Zois, J. S. Carlson: Effects of secondary warm up following stretching. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 105: 175-183, 2009.
- 19) Robbins, J. W., B. W. Scheuermann: Varying amounts of acute static stretching and its effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 781-786, 2008.
- 20) Rubini, E. C., A. L. L. Costa, P. S. C. Gomes: The effects of stretching on strength performance. *Sports Med.*, 37: 213-224, 2007.
- 21) Samuel, M. N., W. R. Holcomb, M. A. Guadagnoli, M. D. Rubley, H. Wallmann: Acute effects of static and ballistic stretching on measures of strength and power. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1422-1428, 2008.
- 22) Sayers, A. L., R. S. Farley, D. K. Fuller, C. B. Jubenville, J. L. Caputo: The effect of static stretching on phases of sprint performance in elite soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1416-1421, 2008.
- 23) Siatras, T. A., V. P. Mittas, D. N. Mameletzi, E. A. Vamvakoudis: The duration of the inhibitory effects with static stretching on quadriceps peak torque production. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 40-46, 2008.
- 24) 征矢英昭, 本山貢, 石井好二郎, 編: 新版これできなっとく使えるスポーツサイエンス, 講談社サイエンティフィク, 東京, pp.2-9, 2007.
- 25) Torres, E. M., W. J. Kraemer, J. L. Vingren, J. S. Volek, D. L. Hatfield, B. A. Spiering, J. Y. Ho, M. S. Fragala, G. A. Thomas, J. M. Anderson, K. Hakkinen, C. M. Maresh: Effects of stretching on upper-body muscular performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1279-1285, 2008.
- 26) Wallmann, H. W., J. A. Mercer, M. R. Landers: Surface electromyographic assessment of the effect of dynamic activity and dynamic activity with static stretching of the gastrocnemius on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 787-793, 2008.
- 27) Winchester, J. B., A. G. Nelson, D. Landin, M. A. Young, I. C. Schexnayder: Static stretching impairs sprint

- performance in collegiate track and field athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 13-18, 2008.
- 28) 山口太一, 石井好二郎: ストレッチングの方法と効果, *からだの科学*, 245: 24-31, 2005.
- 29) Yamaguchi, T., K. Ishii: Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J. Strength Cond. Res.*, 19: 677-683, 2005.
- 30) Yamaguchi, T., K. Ishii, M. Yamanaka, K. Yasuda: Acute effect of static stretching on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. *J. Strength Cond. Res.*, 20: 804-810, 2006
- 31) 山口太一, 石井好二郎: 運動前のストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について-近年のストレッチング研究の結果をもとに-. *CREATIVE STRETCHING*, 5: 1-18, 2007.
- 32) Yamaguchi, T., K. Ishii, M. Yamanaka, K. Yasuda: Acute effects of dynamic stretching exercise on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 1238-1244, 2007.
- 33) 山本利春: ウォーミングアップとクーリングダウン. *ストレッチングトレーニング&コンディショニング I (理論編)*, NSCA ジャパン編, 大修館書店, 東京, pp.91-99, 2003.