

下肢血流制限バンドによるトレーニングが長身バスケットボール選手の 大腿部筋横断面積と脚伸展力に及ぼす影響について

松尾 晋典*・工藤 聡**・衣笠 竜太*・山田 保**
清水 義明***・堀居 昭**

(2004 年 5 月 31 日受付, 2004 年 9 月 30 日受理)

Effect of Resistance Training with Vascular Occlusion on Muscular Strength and Cross-sectional Area in the Thigh of Tall Basketball Players

Shinsuke MATSUO, Satoshi KUDO, Ryuta KINUGASA,
Tamotsu YAMADA, Yoshiaki SHIMIZU
and Akira HORII

The purpose of this study was to investigate the effectiveness of resistance training with vascular occlusion on muscular strength and cross-sectional area in the thigh of tall basketball players.

Eighteen basketball players were participated in the present study, and they were divided into band training group (BT group) and control group (C group). Each subject of BT group performed resistance training of lower limb (half squat) twice a week for 8 weeks. The isokinetic knee extension torque was determined at an angular velocity of 60,120,180 deg/sec by using isokinetic dynamometer. Magnetic resonance imaging was used for analyzing the muscle cross-sectional area (CSA) of middle and upper regions in the thigh. Endocrine hormones such as growth hormone (GH), adrenalin, noradrenalin, dopamine, and creatine phosphokinase (CPK) were obtained only in BT group. These measurement items were all acquired both before and after resistance training period.

As to the comparison between before and after training on CSA of knee extensors, relative increasing in BT group was significantly higher than C group ($p < 0.01$). Moreover, the relative changes in isokinetic knee extension torque per body mass and CSA at all angular velocity of BT group were significantly higher than that of C group at both legs ($p < 0.01$). Although GH did not show significant changes, CPK, adrenalin, noradrenalin and dopamine significantly increased in BT group with resistance training with vascular occlusion ($p < 0.01$).

These results suggested that short-term resistance training with vascular occlusion could cause gaining muscle hypertrophy and strength efficiently even in tall basketball players.

Key words: Tall basketball player, Vascular occlusion, Resistance training

キーワード: 長身バスケットボール選手, 血流制限バンド, レジスタンストレーニング

* 日本体育大学トレーニング科学系, ** 日本体育大学運動処方, *** 日本体育大学運動方法 バスケットボール

I. 緒 言

バスケットボールにおける日本の長身選手は低身長選手に比べ、ジャンプ力や瞬発力などの運動能力に欠けている傾向があるので¹⁾、特に長身選手は、筋力トレーニングを実施して、十分に筋量と筋力をつけた上で競技に望むことが重要になると考えられる。

桜庭は、レベルの高い大学バスケットボール部員には膝関節の慢性障害が多いと報告している²⁾。筋を肥大させ、筋力を増大するためには、最大挙上重量の80%程度の負荷が必要であること³⁾は知られているが、レジスタンス・トレーニングのような高強度の筋力トレーニングを、膝の弱いとされている長身選手や膝に何らかの障害を持っている選手に実施すれば、膝関節などの外傷・障害を生じる危険性がある。これらをいかに防ぎ、かついかに筋量と筋力をつけることができるかが、我が国の長身選手が世界へとつながるプレーヤーになる第一歩だと考えられる。

ヒト骨格筋は、負荷強度の違いによるさまざまな力学的刺激に反応し適応する。最大筋力（最大挙上重量=1 RM）の65~70%以上の強度でトレーニングすれば、筋横断面積の増加に伴い筋力は増加する⁴⁾。一方、最大筋力の40%以下における低い負荷強度では、酸化能力をはじめとした持続的な適応を引き起こすと報告されている⁵⁾。

血流制限をした状態で、低強度の(20~40% 1 RM)筋力トレーニングを行っても、筋横断面積の増大を伴った筋力の改善が引き起こされ^{6,7)}、それらの増加の程度は、従来の筋肥大を目的とした高強度の筋力トレーニング(80% 1 RM)のものに相当する値であったと報告されている^{6,8)}。これらの研究結果より、100~110 mmHgの圧迫強度にて血流制限を行ったトレーニングは、低い負荷強度でも筋横断面積の増大に伴った筋力の改善が引き起こされるために、膝の弱いとされるバスケットボールの長身選手にも応用できるトレーニングであると考えられる。

そこで本研究は、長身バスケットボール選手を対象として、血流を制限させる血流制限バンドを用いて、週3回・8週間の短期間でのトレーニングを実施させ、大腿部の伸展力および筋横断面積に及ぼす影響について検討することを目的とした。

II. 方 法

1) 対象者

各グループの身体特性および年齢を表1に示した。被検者は、関東1部リーグに所属するN大学バスケットボール部の男子部員18名であった。身長が190 cm以上の選手に血流制限バンドを装着し、下肢の血流量を制限してトレーニングを行うグループ(Band Training Group, 以下BT群: $n=10$)と、身長が170 cm前後の選手が血流制限バンドを装着せずに通常のトレーニングを行うグループ(Control Group, 以下C群: $n=8$)の2群に分けた。

BT群は現在3名(内側側副靱帯損傷と診断された選手1名、ジャンパー膝と診断された選手2名)膝関節の障害をかかえており、中学時に2名(内側側副靱帯損傷, オスグット病), 高校時に4名(内・外側側副靱帯損傷, ジャンパー膝, オスグット病), 大学時に現在膝関節の障害を診断された選手3名以外に2名(内側側副靱帯損傷, 前十字靱帯損傷)が膝関節の障害を経験していた。このことからN大学の長身選手は膝関節の慢性障害が多いグループであることが示唆された。

トレーニング効果は、トレーニング前の値を

表1 各グループの身体特性および年齢

	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)
BT 群	20.0±1.00	192.1±2.63**	80.4±4.32**
C 群	20.3±2.31	172.9±4.19	67.4±5.50

平均値±標準偏差 **: $p<0.01$; BT群対C群

表2 BT群における安静時と血流制限時の血流量

($n=10$)	安静時 (ml/min)	血流制限時 (ml/min)	血液制限率 (%)
K.F	112.6	77.7	31.0
T.U	74.9	53.3	28.8
T.S	69.1	47.3	31.6
S.I	86.7	58.3	32.8
Y.T	66.4	46.4	30.1
H.M	92.9	61.2	34.1
Y.O	83.7	56.7	32.2
D.N	96.1	31.1	66.2
T.S	85.6	60.9	29.8
A.F	52.3	36.5	30.3
平均	82.0	56.5	31.2
標準偏差	17.11	11.49	0.02

(pre)とし、トレーニング後の値を(post)とした。被検者には実験の目的、主旨、内容および危険性について説明し、参加の同意を得た。

2) 血流制限バンド

本研究では、本学の教授である堀居昭氏考案によるD&M社製の収縮性マジックバンド100(血流制限バンド 特開平12-3090629)を用いた。

3) 血流量の測定

表2にはBT群における安静時と血流制限時の血流量を示した。血流量の測定には超音波双方向血流計(DVM-4200P, 林電子(株)製, Japan, 医療用具承認番号20900BZZ00335000)を用い、後頸骨動脈拍動部で測定を行った。100~110 mmHgの圧にて血流を制限した血流制限バンドを装着したときの安静時の血流量が、通常の血流量のおよそ30%減の状態になるようにした。

4) トレーニングプロトコール

本研究は、大腿の伸展力と屈曲力を高める処方として、ハーフスクワットを用いた。BT群は、血流制限下での10 RMの負荷を用い、C群は、血流制限のない通常の10 RMの負荷でトレーニングを行った。頻度は週3回で、期間は8週間とした。なお、3セット間は血流制限バンドを装着させたままトレーニングを行い、セット間の休息は1分間とした。

5) 負荷強度の設定

表3にはBT群における血流制限ありと血流制限なしでの1 RMおよび10 RMの比較を示した。

これまでの日常のトレーニングは、10~20 RMを1セットとして数セット行い、トレーニング効果をもたらしてきた。しかし運動負荷を低下させれば、挙上回数は増加する傾向にあり、負荷を弱めれば弱めるほどトレーニング回数は多くなりすぎ、集中力が低下し、トレーニングメニューを消化することが困難になる⁹⁾。本研究の血流制限下でのBT群の運動強度は、血流制限下での1 RMを基準にして、10 RMに設定されたものである。本研究に用いた10 RMは、通常の1 RMからみると $53.0 \pm 2.93\%$ に相当するものである。一方C群は、血流制限のない通常の1 RMを基準として、10 RMになるように設定されたものである。

6) 筋横断面積の測定

大腿四頭筋の解剖学的横断面積の測定には、MR装置(日立メディコ(株)製AIRIS, Japan, 医療用具承認番号20700B2200388000, 静磁場強度0.3 T, 共鳴周波数12.7 MHz)を使用し、T1強調画像で撮影した。測定部位は、腓骨骨頭から大転子までを100%としたときの遠位から近位方向へ50%および70%の位置とした。筋横断面積の算出にはScion Image (Version 4.0.2)を用いた。筋横断面積の測定誤差は2%以下であった。左右の筋横断面積の平均値を大腿部50・70%部位筋横断面積の値とした。

7) 等速性膝伸展力の測定

等速性膝伸展力の測定にはBiodex system 3 (Biodex Medical Systems 社製, USA)を用い、角

表3 BT群における血流制限ありと血流制限なしでの1 RMおよび10 RMの比較

(n=10)	血流制限なし		血流制限あり		10 RM (制限あり)	1 RM (制限なし) (%)
	1 RM (kg)	10 RM (kg)	1 RM (kg)	10 RM (kg)		
K.F	95.0	62.5	85.0	52.5		55.3
T.U	87.5	57.5	75.0	50.0		57.1
T.S	90.0	55.0	77.5	47.5		52.8
S.I	82.5	52.5	72.5	42.5		51.5
Y.T	92.5	60.0	80.0	47.5		51.4
H.M	85.0	55.5	72.5	45.0		52.9
Y.O	80.0	52.5	67.5	45.0		56.3
D.N	82.5	50.0	42.5	72.5		51.5
T.S	85.0	52.5	67.5	40.0		47.1
A.F	82.5	57.5	70.0	45.0		54.5
平均	86.3	55.6	74.0	45.8		53.0
標準偏差	4.89	3.87	5.55	3.74		2.93

速度 60・120・180 deg/sec で測定を行った。測定は、測定用の椅子に肩・腹部・大腿部を専用ベルトで固定し、膝関節可動域 0~107°において最大努力により試行させた。各角速度での膝伸展筋力としてピークトルクの値を採用した。左右のピークトルクの平均を各角速度の等速性膝伸展力の値とした。

8) 血液検査

BT 群は、8 週間のトレーニング期間におけるトレーニング前とトレーニング後の安静時に血液検査を行った。起床直後に安静仰臥位の姿勢をとり、肘正中静脈から血液を採取した。採血は医師の指示のもと有資格者（医療従事者）が行った。運動と関係のある項目として成長ホルモン、造血系を示す項目としてエリスロポエチン、赤血球数、ヘマトクリット値、ヘモグロビン濃度を測定した。また、ストレス性内分泌系を示す項目としてアドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミンを測定した。さらに、骨格筋の筋細胞の分解に関与するクレアチンホスホキナーゼを測定した。これらの分析はエスアールエル東京メディカル、JAPAN に依頼した。

9) 統計処理

トレーニング前後における BT 群と C 群間の比較には、対応のあるサンプルの *t* 検定を用い、トレーニング前における BT 群と C 群の比較には、独立 2 群間の *t* 検定を用いた。有意水準は 5% 未満とした。

III. 結 果

1. トレーニング前における BT 群と C 群の大腿部筋横断面積および膝伸展ピークトルクの比較

図 1 にトレーニング前の BT 群と C 群における体重当たりの膝伸展ピークトルクの比較を示し、図 2 にトレーニング前の BT 群と C 群における大腿部筋横断面積の比較を示した。

体重当たりの膝伸展ピークトルクは、60 deg/sec において C 群の方が有意な差を示した ($p < 0.01$)。120・180 deg/sec に有意な差は認められなかった。大腿部筋横断面積は、50・70% 部位ともに BT 群の方が高い値を示し、有意な差が認められた ($p < 0.01$)。

2. 体重当たりの膝伸展ピークトルクの変化

図 3 に両群のトレーニング前後における体重当たりの膝伸展ピークトルクの比較を示した。BT 群

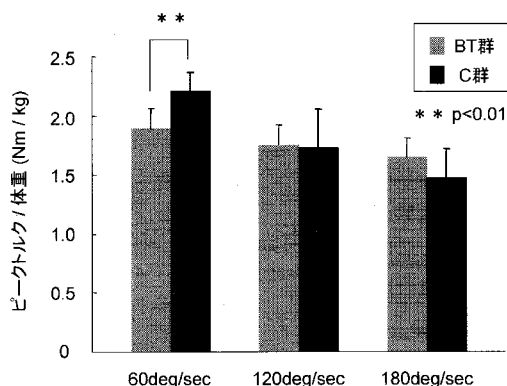


図 1 トレーニング前の BT 群と C 群における体重当たりの膝伸展ピークトルクの比較

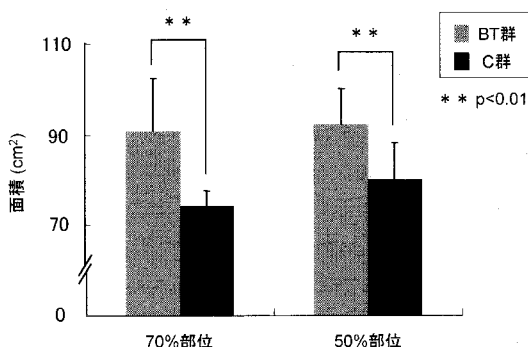


図 2 トレーニング前の BT 群と C 群における大腿部筋横断面積の比較

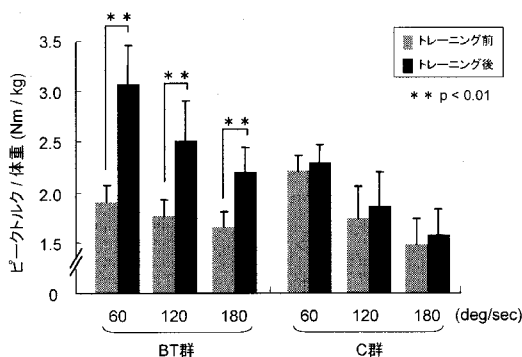


図 3 両群のトレーニング前後における体重当たりの膝伸展ピークトルクの比較

は、60 deg/sec で 1.90 ± 0.17 Nm/kg (pre) から 3.07 ± 0.39 Nm/kg (post) まで有意に増加し、120 deg/sec で 1.76 ± 0.16 Nm/kg (pre) から 2.50 ± 0.41 Nm/kg (post) まで有意に増加し、180 deg/sec で 1.65 ± 0.16 Nm/kg (pre) から 2.20 ± 0.24 Nm/kg (post) まで有意に増加した。C 群では、

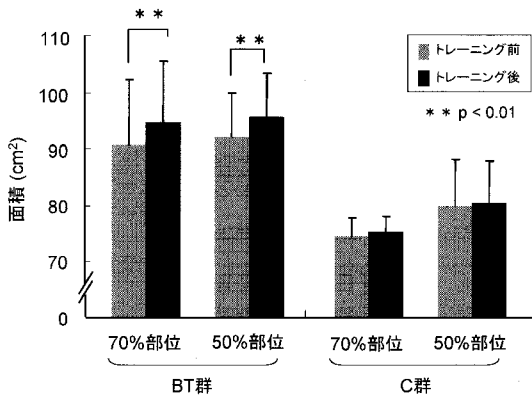


図4 両群のトレーニングに伴う大腿部筋横断面積の変化

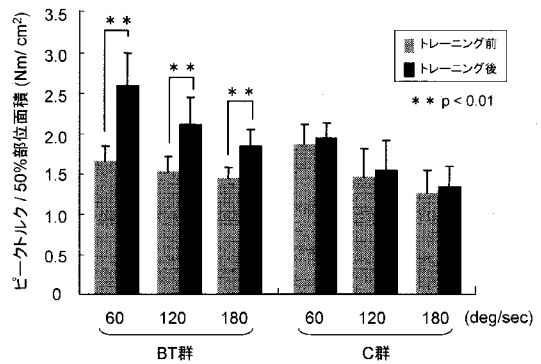


図5 両群のトレーニング前後における大腿部筋横断面積(50% 部位)当たりの膝伸展ピークトルクの比較

60・120・180 deg/secにおいていずれも増加の傾向を示したが、有意ではなかった。トレーニング前後を比較したBT群の実測値は、すべての角速度において有意な増加が認められた(いずれも $p < 0.01$)。

3. 大腿四頭筋横断面積の変化

図4に両群のトレーニングに伴う大腿部筋横断面積の変化を示した。BT群は、70%部位で $90.7 \pm 11.3 \text{ cm}^2$ (pre) から $94.9 \pm 10.4 \text{ cm}^2$ (post) まで有意な増加を示し、50%部位では、 $92.3 \pm 7.3 \text{ cm}^2$ (pre) から $95.8 \pm 7.4 \text{ cm}^2$ (post) まで有意に増加した。C群では、70%部位と50%部位に増加の傾向を示したが、有意にまで至らなかった。トレーニング前後を比較した実測値は、BT群で両部位に有意な増加が認められた(ともに $p < 0.01$)。

4. 大腿部筋横断面積当たりの膝伸展ピークトルクの変化

図5に両群のトレーニング前後における大腿部筋横断面積(50% 部位)当たりの膝伸展ピークトルクの比較を示した。BT群は、60 deg/secで $1.67 \pm$

0.19 Nm/cm^2 (pre) から $2.60 \pm 0.40 \text{ Nm/cm}^2$ (post) まで有意に増加し、120 deg/secで $1.54 \pm 0.17 \text{ Nm/cm}^2$ (pre) から $2.11 \pm 0.34 \text{ Nm/cm}^2$ (post) まで有意に増加し、180 deg/secで $1.44 \pm 0.15 \text{ Nm/cm}^2$ (pre) から $1.85 \pm 0.19 \text{ Nm/cm}^2$ (post) まで有意に増加した。C群では、60・120・180 deg/secにおいていずれも増加の傾向を示したが、有意ではなかった。トレーニング前後を比較したBT群の実測値は、すべての角速度において有意な増加が認められ(いずれも $p < 0.01$)、C群には有意な増加が認められなかった。

大腿部筋横断面積(70% 部位)当たりの膝伸展ピークトルクの比較をした結果、BT群・C群ともに増加の傾向はあったものの有意にまで至らなかった。

5. 運動と関係のある血液成分の変化

表4にBT群の運動に関係のある血液成分におけるトレーニング前後の実測値の比較を示した。クレアチンホスホキナーゼは、 $109.2 \pm 48.92 \text{ IU/L}$ (pre) から $287.9 \pm 87.97 \text{ IU/L}$ まで有意に増加した

表4 BT群の運動に関係のある血液成分におけるトレーニング前後の実測値の比較

項 目	トレーニング前	トレーニング後
クレアチンホスホキナーゼ (IU/L)	109.2 ± 48.9	$287.9 \pm 87.97^{**}$
成長ホルモン (ng/ml)	19.9 ± 5.10	23.8 ± 9.33
アドレナリン (pg/ml)	44.0 ± 17.97	$87.3 \pm 22.94^{**}$
ノルアドレナリン (pg/ml)	402.2 ± 94.88	$87.3 \pm 156.72^{**}$
ドーパミン (pg/ml)	10.9 ± 4.95	$22.8 \pm 6.65^{**}$

平均値±標準偏差

**: $p < 0.01$; トレーニング前対トレーニング後

($p < 0.01$)。アドレナリンは 44.0 ± 17.97 pg/ml (pre) から 87.3 ± 22.94 pg/ml (post) まで有意に増加し、ノルアドレナリンも 402.2 ± 94.88 pg/ml (pre) から 630.1 ± 156.72 pg/ml (post) まで有意に増加した。またドーパミンは 10.9 ± 4.95 pg/ml (pre) から 22.8 ± 6.65 pg/ml (post) まで有意に増加した (すべて $p < 0.01$)。しかし筋肥大のホルモン因子である成長ホルモンは、 19.9 ± 5.10 ng/ml (pre) から 23.8 ± 9.33 ng/ml (post) に増加し、有意ではないが増加の傾向を示した ($p < 0.11$)。

IV. 考 察

1. 血流制限下での負荷強度と血流制限のない負荷強度の比較

血流制限のない通常時の 1 RM の方が、血流制限下での 1 RM よりも挙上回数が高かった。そこで本研究では、血流制限下でのトレーニング負荷を設定するために、血流制限下での 1 RM を基準として、10 RM (通常時の最大筋力の $53 \pm 2.93\%$) の運動を実施させた。BT 群の選手には、トレーニング期間中に、疲労感が残る・疲れやすいという自覚症状が多く見られた。血流制限を行えば、血液供給量の減少をきたし、低酸素化を招き、また高強度の運動になると、筋組織内にさらなる低酸素化が促進されることが報告されている¹⁰⁾。本研究でも血流制限を行ったため血流量が減少し、筋組織内の低酸素化により選手に通常のトレーニング以上の疲労感を与えたと考えられる。

本研究で採用した、血流制限下での 10 RM の負荷は、長身のバスケットボール選手の膝への負担を減少させ、膝の障害の予防になることが推察された。この負荷は、長身選手の脚伸展力も向上させることを示唆するものである。

2. 大腿部 50・70% 筋横断面積当たりの膝伸展ピークトルクについて

筋力トレーニングに伴う筋肥大は、筋腹付近において最も顕著に生じることが報告されている¹¹⁾。本研究の結果でも、BT 群の大腿部 70% 部位筋横断面積当たりの膝伸展ピークトルクにおいて、低速 (60 deg/sec)・中速 (20 deg/sec)・高速 (180 deg/sec) のすべての角速度に有意ではないが増加の傾向を示し、大腿部 50% 部位筋横断面積当たりの膝伸展ピークトルクは 60・120・180 deg/sec のすべ

ての角速度において有意な増加を示したことから、先行研究を支持するものと考えられる。

3. 大腿部筋横断面積 (50% 部位) および体重当たりの膝伸展ピークトルクの変化について

Sundberg¹²⁾ および Moritani *et al.*¹³⁾ は、運動強度が低い場合でも、圧迫による活動筋への血液供給量の減少は、活動筋への酸素供給を減少させ、より多くのタイプ I 線維に疲労をもたらし、その結果、同じ筋力レベルを維持するために追加的なタイプ II 線維の動員が余儀なくされ、圧迫しない場合よりも筋の放電量が増加することを報告している。つまり、血流制限を用いたトレーニングは、低強度の負荷でもタイプ II 線維が優先的に動員される可能性があり、筋横断面積の向上が効率的に望めるものである⁹⁾。本研究の結果、筋横断面積当たりの膝伸展ピークトルクにも有意な増加が認められた。これは、筋肥大に伴う筋力の増加を支持するものである。宝田らは、高齢女性を対象として、血流制限下での低強度 (30~50% 1 RM) のトレーニングが上腕部筋横断面積や筋力に及ぼす影響を検討した結果、血流制限を伴うトレーニングは、高強度のトレーニングで得られるものと同程度の筋肥大や筋力増加を引き起こすことを報告している¹⁴⁾。また、トレーニング能力の高いラグビーの一流競技者に血流制限を行い、週 2 回・8 週間のトレーニングを行わせた結果、膝伸展ピークトルクはすべての角速度で増加を示し、大腿四頭筋の筋横断面積が、平均で 12.3% 増加したことが報告されている⁸⁾。本研究の結果でも、BT 群の膝伸展ピークトルクはすべての角速度で有意に増加し、大腿部筋横断面積にも有意な増加が見られた。これらの結果は、先行研究を支持するものである。

4. 運動と関係のある血液成分の変化

運動と関係深い逸脱酵素であるクレアチンホスホキナーゼは有意に増加した。このクレアチンホスホキナーゼの有意な上昇は、大腿四頭筋の筋群に強い負担をかけ、逸脱酵素が上昇したのと考えられる。副腎の髄質から分泌される心臓の収縮、血圧の上昇を促す働きをするアドレナリン・ノルアドレナリン・ドーパミンが有意に増加した。宝田ら^{8,15)} は、血流制限を伴った低強度の膝伸展運動が、内分泌系ホルモンに及ぼす影響について検討している。結果、血流制限を伴った運動時及び運動後には血中

乳酸濃度, ノルアドレナリン濃度, 成長ホルモン濃度に有意な増加を示したことを報告している。これらの血流制限下での内分泌系ホルモンの増加は, 筋内代謝受容器からの視床下部-下垂体への入力が大きく関与しているものと推察される。本研究でもノルアドレナリンは有意な増加が認められた。これらの結果は, 先行研究を支持するものである。

筋肥大に関係する成長ホルモンは, 有意ではないが増加の傾向を示した ($p < 0.11$)。McCall らは, 通常のトレーニングによる筋肥大の約 50% は成長ホルモンの効果によると報告している¹⁶⁾。成長ホルモンは肝臓と筋からシステミック IGF-I を分泌させ, これが筋の幹細胞であるサテライト細胞の増殖を刺激する。増殖したサテライト細胞は筋線維に融合することで筋線維の肥大をもたらす¹⁷⁾。本研究の結果, BT 群のトレーニング前後における大腿部筋横断面積は有意に増加し, 一方成長ホルモンは有意ではないが増加する傾向を示し, 大腿部筋横断面積の肥大にも成長ホルモンが関与する可能性が示唆された。

V. 総 括

100~110 mmHg の圧迫強度にて血流制限させたトレーニングが長身バスケットボール選手の筋肥大または脚筋力の向上をもたらすことが明らかになれば, 今後のバスケットボール界における新しいトレーニング方法になると考えられるため, 本研究では血流制限下での 10 RM をトレーニング強度とし, 週 3 回・8 週間の短期間でのトレーニングを実施させ, 大腿部の伸展力および筋横断面積に及ぼす影響について検討した。その結果,

○大腿四頭筋の筋横断面積は, トレーニング前後を比較した実測値において 50%・70% 部位ともに有意な増加が認められた (ともに $p < 0.01$)。

○三つの角速度 (60, 120, 180 deg/sec) における等速性膝伸展力および体重当たりの等速性膝伸展力は, 有意な増加が認められた (いずれも $p < 0.01$)。

○50% 部位筋横断面積当たりの等速性膝伸展ピークトルクは, トレーニング前後を比較した実測値に, すべての角速度において有意な増加が認められた (いずれも $p < 0.01$)。

○クレアチンホスホキナーゼ・アドレナリン・ノルアドレナリン・ドーパミンは有意な増加を示した

(いずれも $p < 0.01$)。成長ホルモンは有意ではないが, 増加の傾向を示した。

これらの結果から, 血流を制限させる血流制限バンドを用いた短期間のトレーニングは, 膝の障害が起こりやすい長身のバスケットボール選手に対して, 筋肥大および脚伸展力の向上によって, 膝への負担を減少させ, 膝の障害の予防となる可能性が示唆された。

引用・参考文献

- 1) 嶋田出雲: バスケットボールのトレーニング. pp. 140-144, 173-177, 大修館書店, 東京, 1980.
- 2) 桜庭景植: バスケットボール選手によくみられる膝の外傷・障害—慢性障害・軟骨損傷—. 臨床スポーツ医学, **18**(9), 977-983, 2001.
- 3) Stone, M. H., *et al.*: A hypothetical model for strength training. J. Sports Med. Phys. Fitness, **21**, 342-351, 1981.
- 4) McDonagh, M. J. N., *et al.*: Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., **52**, 139-155, 1984.
- 5) Holloszy, J. O., *et al.*: Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. Annu Rev. Physiol., **18**, 273-291, 1976.
- 6) Takarada, Y., *et al.*: Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. J. Appl. Physiol., **88**, 2097-2106, 2000.
- 7) Takarada, Y., *et al.*: Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. Eur. J. Appl. Physiol., **86**, 308-314, 2002.
- 8) 宝田雄大: 加圧式筋力トレーニングのメカニズム. 体育の科学, **52**(8), 626-634, 2002.
- 9) 堀居 昭, 山田 保: 運動処方入門. pp. 21-140, 共栄出版(株), 東京, 2000.
- 10) 岡本孝信, 増原光彦: 間欠的掌握運動における適度な血流制限が活動肢の酸素動態及び抹消血管に及ぼす影響. スポーツ整復療法学研究, **5**(1), 13-17, 2003.
- 11) Narici, M. V., G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., and Cerretelli, P.: Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. Eur. J. Appl.

- Physiol. Occup. Physiol., **59**, 310-319, 1989.
- 12) Sundberg, C. J.: Exercise and training during graded leg ischaemia in healthy man with special reference to effects on skeletal muscle. Acta Physiol. Scand. Suppl., **615**, 1-50, 1994.
 - 13) Moritani, T., *et al.*: Oxygen availability and motor unit activity in humans. Eur. J. Appl. Physiol., **64**, 552-556, 1992.
 - 14) 宝田雄大, 石井直方: 血流制限下でのレジスタンス・トレーニング～新しいトレーニングの方法～. 体育の科学, **48**(1), 36-42, 1998.
 - 15) Takarada, Y., *et al.*: Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. J. Appl. Physiol., **88**, 61-65, 2000.
 - 16) McCall, G. E., *et al.*: Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. Can. J. Appl. Physiol., **24**, 96-107, 1999.
 - 17) 石井直方: 筋血流制限とトレーニング. 体育の科学, **53**(8), 564-568, 2003.