

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700622

研究課題名（和文） 加圧トレーニングは靭帯・腱損傷からの復帰を早める

研究課題名（英文） Effect of low-intensity resistance training combined with restricted venous blood flow on tendon and ligament after the injury.

研究代表者

倉持 梨恵子 (KURAMOCHI RIEKO)

中京大学・スポーツ科学部・講師

研究者番号：00386658

研究成果の概要（和文）：

加圧トレーニングは、低負荷、短時間で、筋肥大をはじめとする有用な効果が得られるとされる。我々は膝前十字靭帯再建術後の患者に加圧トレーニングを実施し、採取した半腱様筋腱の再生、再建靭帯の成熟から、腱や靭帯の損傷にも早期治癒の効果が期待できるかを検討した。その結果男性被験者ではトレーニング群で、再生腱が肥大し、再建靭帯の成熟が早まる傾向が認められ、筋以外の組織においても有用性が高い可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：

This study focused on blood flow-restricted training as a measure aimed at early recovery in postoperative rehabilitation following knee anterior cruciate ligament (ACL) using the semitendinosus tendon. The purpose of this study was to examine whether blood flow-restricted training after ACL reconstruction could promote hypertrophy and maturation of the regenerated ST tendon and reconstructed ACL. In this study, the regeneration of the tendon was excellent in the blood flow-restricted group of males and this study hints at the utility of blood flow-restricted training. If we assume that the promotion of hypertrophy and maturation of the regenerated ST tendon is derived from the endocrine system, the possibility of promotion of maturation of the reconstructed ACL is also hinted at which we believes makes an early return to competition possible.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，スポーツ科学

キーワード：トレーニング科学・加圧トレーニング

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 加圧トレーニングの理論

加圧トレーニングとは専用のベルトと機器を用いて四肢の付け根に適正な圧力をかけ

て血流を制限し、トレーニングを行うものである。加圧により適切な血流制限下で運動を行うとすることで、筋への酸素供給が減少し、短時間・軽負荷であっても無酸素性の運動を得

意とする速筋の動員が始まるため、筋の肥大効果が得られるとされている。

このようなメカニズムで速筋が動員されると、乳酸などの代謝産物が筋内に貯留する。筋内の乳酸値が上昇して筋内の環境が酸性に傾くと、高負荷でトレーニングした時と同じような筋内環境になり、感覚神経から視床下部、さらに脳下垂体に指令が送られて成長ホルモンの分泌が促進され、筋肥大や筋力の向上につながる (Takarada 2000, 2002)。加圧トレーニング実施後には成長ホルモンが通常トレーニング後の 10 倍、安静時と比べると約 100 倍の血中濃度に達するとされ、分泌された成長ホルモンは血流に乗って全身を巡るため、トレーニング部位への効果だけでなく、全身作用も期待される (Takano 2005)。このように加圧トレーニングによる成長ホルモンの分泌促進により、損傷した靭帯や腱の治癒・再生効果についても期待できると考えられる。

## (2) 膝前十字靭帯の手術と機能損失

スポーツ選手にとって怪我による競技からの長期離脱は、選手生命にも関わる重大な事項である。中でも膝前十字靭帯 (以下 ACL) 断裂は、多くの場合靭帯移植手術を必要とする。前十字靭帯のリハビリテーション期間中最も重要な事は再建した靭帯の再断裂を防ぐことである。そのためには移植した靭帯が早期に成熟する事が医学的には最優先され、復帰期間もそれによって規定されており、現在では半年から 1 年近くのリハビリテーション期間が必要とされている。ACL の治療やリハビリテーションは、多くの研究成果により発展を遂げ、1990 年代以降、自分自身の半腱様筋 (以下 ST) の腱部を採取して移植する術式が、術後の痛みが少なく、再建靭帯の強度が高いことなどから広く用いられている。しかしながら、ST は内側ハムストリングスの一部であり、その筋を失うことで当然ながらその機能を失うことにもつながる。膝屈曲、特に ST は深い膝屈曲位で機能するため、競技復帰後の膝深屈曲の機能損失が、術後の問題点の一つであった。

(3) 移植した靭帯と採取した腱の治癒・再生ところが、術後 1 年以上経過した症例で ST 腱部に正常腱と同様な組織の再生を確認できることが、1999 年 Eriksson らによって報告され、その後も報告が相次いだ (Ferretti 2002, Okahashi 2006)。

さらに、再生した ST の体積が大きいほど筋力の回復度合いも良いことが明らかにされ、再生した腱や筋が機能する可能性が高い (Nisino 2006, Takeda 2006)。これまで半腱様筋の採取による機能損失はある程度仕方ないと思われてきたものが、腱がより良く

再生することで解決される可能性が高いと考えられる。

腱の再生度合いを評価するにはいくつかの手段が考えられるが、本研究では磁気共鳴映像法 MRI を用いる。MR は非侵襲的であるため、①手術直後から繰り返し評価出来る点、②任意の断面で評価可能な点において、術後の経過を縦断的に評価するのに優れていると言える。特にこれまで MR 画像において靭帯や腱の評価は、組織の輝度、いわゆる「見た目」の定性的な評価にとどまっていたが、我々はその成熟度合いを「定量評価」する取り組みを行い、組織の水分含有量からその成熟度を知ることのできる腱の T2 緩和時間 (以下 T2 値と呼ぶ) を術後の靭帯および腱から読み取る手法を確率紙、縦断的な評価をおこなってきた。

## (4) ACL 術後選手に対する加圧トレーニング実施の試み

我々はスポーツの靭帯損傷の中でも特に復帰に困難を極める ACL 術後のリハビリテーションについて、機能損失が少なく、安全で早期の復帰を目指すための試行錯誤を行ってきた。そして腱の再生、靭帯の成熟、さらには筋力回復といったリハビリテーション初期の重要な時期にそれらを促進させる方法として加圧トレーニングに着目した。

本研究によって得られた結果は前十字靭帯のリハビリテーションだけでなく、あらゆる靭帯・腱のリハビリテーション促進に応用可能である。また、怪我をした直後のスポーツ選手だけでなく、高齢者など大きな負荷をかけられないような対象者への効果的なリハビリテーション手段としても有用である可能性が高く、その結果を広く社会に応用できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、加圧トレーニング (血流制限下での筋力トレーニング) が、筋力増大の効果だけではなく、靭帯・腱の治癒・再生を促進するかについて検証をする。加圧トレーニングは成長ホルモンの分泌促進により、従来の筋力トレーニングよりも軽負荷・短時間で筋力を増大させることができる。スポーツ選手の靭帯・腱損傷に対するリハビリテーションでは、軽負荷の筋力トレーニングから始め、出来る限り短時間で競技復帰を目指す。もし、加圧トレーニングが靭帯や腱の治癒・再生にも有効であるならば、スポーツ選手の外傷・障害からの早期復帰を実現させることができる。

## 3. 研究の方法

### (1) 対象

膝前十字靭帯 (以下 ACL) を損傷した患

者男女 44 名とし、ACL 再建術後リハビリテーションに対し、加圧トレーニングを用いた群、男性加圧群 13 名 (21.3 ± 1.6 歳)、女性加圧群 9 名 (20.1 ± 0.9 歳) および、対照群、男性対照群 10 名 (20.1 ± 1.2 歳)、女性対照群 12 名 (19.8 ± 1.1 歳) とした。

(2) 介入内容

トレーニングの開始は 3 週間の入院期間終了後、手術後約 1 ヶ月から行う。術後から 4 ヶ月までの初期に通常のリハビリテーションメニューに週 2 回の加圧トレーニングを付加した。

(3) 評価項目

靱帯と腱の成熟度の評価については非侵襲的な MRI を用いた。

- ・筋腱移行部の位置：腱の長さ
- ・再生腱の断面積：腱の太さ
- ・再生腱および再建靱帯の T2 値：腱および靱帯の成熟度

我々はこれまでに通常のリハビリテーションを行った ACL 術後の被験者を多数評価し、その手法を確立してきた。そこで、本研究ではこれまで同じ評価項目で調査してきた被験者をコントロール群とし、新たな被験者に加圧トレーニングを付加してトレーニング群とした。従って本研究でのデータ取得直後から、その成果を検証することができた。

4. 研究成果

(1) 腱再生の縦断的評価

非侵襲的な MRI による評価を用いることで、術後から腱再生、靱帯成熟の様子を縦断的に評価することが可能であった (図 1)。



図 1 術後の MRI 画像による腱再生および成熟過程の様子

(2) 再生腱の長さ

術後に採取した腱は筋腱移行部が男性で約 30mm、女性で約 50mm 近位方向に移動していた。つまり腱が長く筋が短い状態で再生し、加圧トレーニング群と対照群では男女とも有意な差は認められなかった (図 2)。

(3) 再生腱の太さ

加圧トレーニングを開始した群のうち、男性グループにおいて術後 2 ヶ月目 (トレーニング開始後 1 ヶ月目) より有意に増大した。一方で女性グループにおいて

- は有意な差は認められなかった (図 3)。  
 (4) 再生腱および再建靱帯の成熟度  
 再生腱の成熟度の評価指標とした T2 値については、トレーニング群と対照群で有意な差は認められなかった (図 4)。

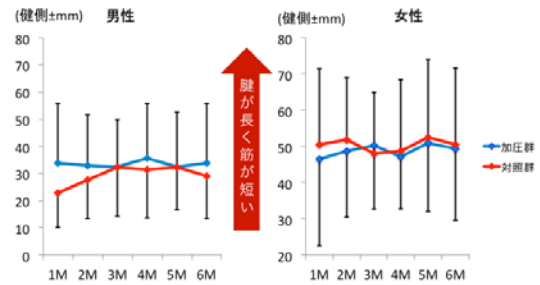


図 2 再生腱の筋腱移行部の位置

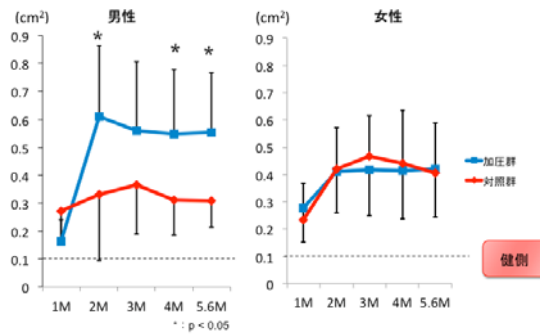


図 3 再生半腱様筋腱の断面積

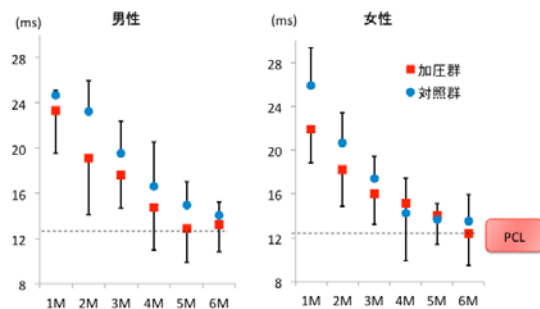


図 4 再生半腱様筋腱の T2 値

本研究では、膝前十字靱帯再建術後患者に対する加圧トレーニングの介入により腱、靱帯の治癒促進効果について検証した。上記の結果より、再生腱の断面積が男性被験者群においてトレーニング介入後から有意に増加し、これまで数多くの報告がある筋の肥大のみならず、腱の肥大効果についても転位する可能性が示唆された。しかしながら、成熟度の指標である T2 値には変化はなく、本研究の結果から、その性質の変化が早まるかどうかについては直接明らかにすることはできなかった。さらに、女性被験者群においては腱の肥大効果についても有意な変化は認められなかった。血流制限下のトレーニング効果はホルモン因子が大きく関与することから、男女によるホルモン動態の違いが存在す

る可能性も高く今後検討の必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 倉持梨恵子、後療法と早期スポーツ復帰を目指したアスレティックリハビリテーション、整形外科最小侵襲手術ジャーナル、査読無、66巻、2013、105-113
- ② 倉持梨恵子、ACL再建術後の筋力回復に影響する因子、関節外科、査読無、30巻、2011、47-52

[学会発表] (計11件)

- ① 倉持梨恵子、ACL再建術後のハムストリングス形態と機能、第1回日本アスレティックトレーニング学会学術集会、2013/2/3、笹川記念館
- ② 倉持梨恵子、ACL損傷後のアスレティックリハビリテーションにおける視点と注意点、愛知県アスレティックトレーナー連絡協議会主催第4回アスレティックトレーナーズミーティング、2012/4/22、スポーツ医・科学研究所
- ③ Kuramochi Rieko, Fukubayashi Toru et al. Effect of low-intensity resistance training combined with restricted venous blood flow on semitendinosus tendon maturation after reconstruction of the ACL. Orthopaedic Research Societies 2012 Annual Meeting. 2012/2/4-7. San Francisco, California, USA.
- ④ Katsumata Shota, Kuramochi Rieko et al. A 6 months follow-up study of T2 value of substituted ACL. International Symposium on Ligaments & Tendons - XII. 2012/2/3. San Francisco, California, USA.
- ⑤ 倉持梨恵子、膝前十字靭帯再建術後の血流制限下トレーニングの効果、第6回埼玉アスレチック・リハビリテーション研究会、2011/11/12、ラフレさいたま
- ⑥ 勝又翔太, 倉持梨恵子 他、膝前十字靭帯再建術後の加圧トレーニングによる半腱様筋腱再生の効果、第22回日本臨床スポーツ医学会、2011/11/5-6、ホテル青森

- ⑦ 洪禎鞠, 倉持梨恵子、半腱様筋腱を用いた膝前十字靭帯再建術後血流制限におけるリハビリテーションの効果、第66回日本体力医学会大会、2011/9/16-18、海峡メッセ下関
- ⑧ Fukubayashi Toru, Kudo Maiko, Kuramochi Rieko, KAATSU training can prevent the muscle atrophy and accelerate the post-operative rehabilitation. IOC World Conference on Prevention of Injury & Illness in Sport. 2011/4/7-9, Grimaldi Forum Monaco, Monte-Carlo.
- ⑨ Hung chen-chu., Kuramochi Rieko et al., EFFECTS OF LOW-INTENSITY RESISTANCE TRAINING WITH RESTRICTED MUSCLE BLOOD FLOW ON TENDON REGENERATION AFTER ACL RECONSTRUCTION OPERATION, International Symposium on Ligaments & Tendons XI, 2011/1/12, Irvine, California, USA.
- ⑩ 勝又翔太, 倉持梨恵子他、膝前十字靭帯再建術後の加圧トレーニングによる半腱様筋腱再生の効果、第5回埼玉アスレチック・リハビリテーション研究会、2010/10/23、早稲田大学所沢キャンパス
- ⑪ Kuramochi Rieko, Fukubayashi Toru, Semitendinosus tendon regeneration after anterior cruciate ligament reconstruction. 6th World Congress of Biomechanics. 2010/8/6, Singapore.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

倉持 梨恵子 (KURAMOCHI RIEKO)  
中京大学・スポーツ科学部・講師  
研究者番号：00386658

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：