

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700627

研究課題名(和文) 血流制限下で行う他動的膝関節伸展・屈曲運動による筋肥大および筋力増強効果

研究課題名(英文) Effects of Passive Knee Extension and Flexion with Blood Flow Restriction on Muscle Cross-sectional Area and Strength

研究代表者

窪田 敦之 (KUBOTA, ATSUSHI)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：20569339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：自ら関節を動かすことや筋を収縮させることが困難な状況や、高負荷のトレーニングが困難な状況であっても、十分なトレーニング効果が得られる方法の一つとして血流制限下で行う他動的運動に着目し、その効果の検証等に関連する調査を進めてきた。その結果、他動的膝関節伸展・屈曲運動を血流制限下で行うことにより筋肥大や筋力増強の効果が得られる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We aimed in this study to clarify the effect of passive knee extension and flexion with blood flow restriction on the cross-sectional area and muscle strength around knee joint. This study showed that a passive exercise with blood flow restriction could be an effective intervention to increase both the muscle volume and strength.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学

キーワード：筋力トレーニング 血流制限 他動的運動

1. 研究開始当初の背景

骨格筋はトレーニング等の運動負荷により筋肥大や筋力増加が生じる一方で、安静臥床や関節固定等によって活動量が減少すると筋萎縮や筋力低下が生じる。また、筋力の維持や何らかの理由で生じた筋力低下の回復は、自立生活の維持だけでなくスポーツ活動への復帰においても非常に重要である。そのため、筋力トレーニングを中心に筋力低下の予防に関する検討も数多く行われ、様々な方法が調査されてきた。

一般的に、筋力トレーニングは自らの意思で関節を動かすことで関節周囲の筋を収縮させ、物理的ストレスをかけることによって筋肥大や筋力増強効果が得られる。また、このような効果を得るには、ある一定以上の負荷でトレーニングを行うことが重要とされている。しかし実際には、何らかの理由で自ら関節を動かすことや筋を収縮させることが困難な場合や、高い負荷を用いたトレーニングの実施が不可能な場合がある。そのため、このような状況下であっても十分なトレーニング効果が得られる方法の発案が求められる。

一方、血流を制限した状態でトレーニングを行うことによって、通常では筋肥大や筋力増強が得られない低負荷であっても、高いトレーニング効果が得られることが証明され、新たなトレーニング方法の一つとして近年注目されている。さらに、リハビリテーション機器の開発が進み、一定速度で他動的運動を行うことができる機器が産出されている。これにより、自らの意志で行う関節運動が困難な状況であっても、安全かつ簡便に運動を行うことができる。しかし、他動的運動は筋肥大や筋力増強を得るには運動負荷が非常に低い。そこで、血流制限が低負荷トレーニングの効果を高める作用を組み合わせることで、筋肥大や筋力増強の効果が得られるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

(1) 一定速度条件下の他動的な関節運動を血流が制限された状態で定期的に行わせ、それが膝関節周囲筋の筋力および筋横断面積に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした

(2) 血流制限下で行う低強度の遠心性運動による筋横断面積と筋力の変化および筋痛発生について調査し、トレーニング効果を明らかにすることを目的とした。また、短縮性運動による変化と比較することで、血流制限を用いたトレーニングにおける特異性に

いても検討することとした

3. 研究の方法

(1) 大学水泳競技部に所属する男子学生 7 名(年齢: 19.6 歳、身長: 176.1 ± 5.9 cm、体重: 70.9 ± 5.9 kg) を対象とした。また対象者は、実験期間中も本研究のトレーニングとは別に水泳競技部の通常トレーニングを行った。

対象者の右脚を特に何も行わないコントロール (CON) 条件とし、左脚を定期的に血流制限下で他動的運動を行う (PEB) 条件とした。駆血帯を用いて左脚の大腿基部に 200mmHg の圧を加えることで、下肢の血流を制限した。PEB 群は、血流を制限した状態で等速性筋力訓練装置を用い、座位にて膝関節伸展・屈曲運動を角速度毎秒 90 度で他動的に 150 回行わせた。CON 群は他動的膝関節伸展・屈曲運動のみ行わせた。セット間の休息は 3 分間とし、最初の 4 週間は合計 3 セットを週 3 回実施した。5 週目からは 4 セットとし、実験期間は全部で 8 週間であった。

実験前後で膝関節伸展および屈曲の求心性筋力の角速度 $60 \cdot 180 \cdot 300^\circ / \text{秒}$ と、遠心性筋力の角速度 $6 \cdot 180^\circ / \text{秒}$ 、等尺性の筋力を測定し、MRI を用いて撮像された大腿部横断面増から大腿部前面および後面の筋横断面積も測定した。

(2) 健常大学生 12 名(男子 4 名、女子 8 名、年齢: 20.7 ± 1.4 歳、身長: 164.2 ± 6.7 cm、体重: 55.3 ± 8.7 kg) を対象とした。対象者は、トレーニングを開始する前に肘関節屈曲の求心性筋力の角速度 $60 \cdot 120^\circ / \text{秒}$ と、遠心性筋力の角速度 $60 \cdot 120^\circ / \text{秒}$ 、等尺性筋力を測定した。さらに、MRI を用いて上腕部横断面像を撮像し、上腕部前面の横断面積を測定した。その後、血流制限群とコントロール群の 2 群に分類し、両上肢のトレーニングを開始した。トレーニング期間中は、毎トレーニング前に筋痛評価を行った。トレーニング終了後、再び筋力測定と横断面像の撮像を行った。

トレーニングは肘関節屈曲 60~120 度の範囲で肘関節屈曲運動のみを行った。肘関節屈曲運動 15 回を 1 セットとし、トレーニング期間の最初の 4 週間は 3 セット繰り返し、5 週目からは 4 セット繰り返した。なお、セット間の休息は 60 秒とし、週 3 回の頻度で実施した。運動条件は、対象者の利き腕は遠心性運動条件 (eccentric exercise: EE)、非利き腕は求心性運動条件 (concentric exercise: CE) とし、両運動とも角速度 30 度/秒の等速性条件で行った。トレーニング強度は、トレーニング開始前に行った筋力測定の結果から最大トルクの 30% と設定した。血流制限群の対象者は、全てのトレーニング

を血流制限下で実施した。血流制限は上腕基部に駆血帯を用いて行い、各セット終了直後に除圧し、セット間の休息は加圧なしの安静とした。なお、コントロール群の対象者は自然血流下（血流制限なし）で全てのトレーニングを行った。

4. 研究成果

(1) 実験前後の筋力の比較において、CON 条件の膝関節伸展では等尺性筋力でのみ有意な筋力増加がみられた（実験前：252.5 ± 63.8 N・m、実験後：279.3 ± 51.0 N・m、 $p=0.029$ ）。膝関節屈曲では、遠心性筋力の角速度 60°/秒（実験前：132.8 ± 21.6 N・m、実験後：143.9 ± 25.7 N・m、 $p=0.005$ ）と遠心性筋力の角速度 180°/秒（実験前：108.5 ± 26.6 N・m、実験後：127.9 ± 20.3 N・m、 $p=0.035$ ）で筋力増加がみられた。

それに対し PEB 条件では、膝関節伸展筋の遠心性筋力の角速度 60°/秒（実験前：285.6 ± 84.2 N・m、実験後：335.7 ± 47.2 N・m、 $p=0.042$ ）、求心性筋力の角速度 60°/秒（実験前：221.5 ± 29.8 N・m、実験後：255.9 ± 34.2 N・m、 $p=0.012$ ）、求心性筋力の角速度 180°/秒（実験前：156.1 ± 18.9 N・m、実験後：170.3 ± 22.2 N・m、 $p=0.026$ ）、求心性筋力の角速度 300°/秒（実験前：123.7 ± 17.3 N・m、実験後：136.0 ± 16.6 N・m、 $p=0.007$ ）のそれぞれで筋力増加がみられた。膝関節屈曲では、CON 条件と同様に遠心性筋力の角速度 60°/秒（実験前：10.9.3 ± 27.5 N・m、実験後：127.8 ± 23.5 N・m、 $p=0.04$ ）と遠心性筋力の角速度 180°/秒（実験前：120.8 ± 29.3 N・m、実験後：135.9 ± 25.6 N・m、 $p=0.031$ ）で筋力増加がみられた。

さらに、両条件で筋力の増加率を算出し条件間で比較したところ、膝関節伸展筋筋力において求心性筋力の角速度 60°/秒でのみ両条件間に有意差がみられた（CON：4.6 ± 4.8%、PEB：16.1 ± 11.5%、 $p=0.043$ ）。また、遠心性筋力の角速度 60°/秒（ $p=0.081$ ）や求心性筋力の角速度 180°/秒（ $p=0.092$ ）、300°/秒（ $p=0.069$ ）においても PEB 条件の筋力増加の方が CON 条件よりも高くなる傾向がみられた。しかし膝関節屈曲筋筋力においては、両条件間に有意差はみられなかった。

筋横断面積では、両条件とも実験後に大腿前面および後面の筋横断面積が増加した。さらに増加率で比較したところ、大腿前面においてのみ CON 条件の変化率が 2.5 ± 1.5%であったのに対し PEB 条件は 5.2 ± 2.5%で、条件間で有意差がみられた（ $p=0.04$ ）。

(2) 肘関節屈曲筋筋力について、コントロール群では EE 条件および CE 条件の両条件で、明らかな筋力増加がみられなかった。その一方で、遠心性筋力の角速度 120°/秒において

実験後に筋力が低下した（実験前：43.4 ± 14.6 N・m、実験後：37.6 ± 12.1 N・m、 $p=0.007$ ）。これらに対して、血流制限群の EE 条件では、遠心性筋力の角速度 60°/秒で実験後に筋力が増加した（実験前：54.0 ± 17.4 N・m、実験後：59.6 ± 20.0 N・m、 $p=0.037$ ）。一方 CE 条件では、求心性筋力の角速度 60°/秒で実験後に筋力が増加した（実験前：28.8 ± 12.2 N・m、実験後：32.6 ± 12.1 N・m、 $p=0.036$ ）。

さらに実験前後の筋力から変化率を算出し、血流制限群における 2 条件間で比較したところ、遠心性筋力の角速度 60°/秒においてのみ運動条件間で有意差がみられた（EE 条件：10.5 ± 8.3%、CE 条件：-4.7 ± 11.2%、 $p=0.034$ ）。

上腕部前面の筋群の横断面積については、コントロール群では運動条件にかかわらず明らかな変化はみられなかった。それに対し、血流制限群では EE 条件（実験前：8.7 ± 3.5 cm²、実験後：9.5 ± 3.7 cm²、 $p=0.027$ ）、CE 条件（実験前：7.3 ± 3.5 cm²、実験後：8.1 ± 3.8 cm²、 $p=0.045$ ）とともに実験前後で有意差がみられ、実験後に横断面積が増加した。さらに、これらの変化率を両運動条件間で比較したが有意差はみられなかった。筋痛評価のために行った肘関節の可動域および上腕部周囲径、VAS のいずれにおいても明らかな変化はみられず、測定日毎の比較においても有意差はみられなかった。

以上の結果から、他動的膝関節伸展・屈曲運動を血流制限下で行うことにより、筋肥大や筋力増強効果が得られる可能性が示された。しかし、(1) の調査では対象者が水泳競技者であったため、普段行っている部活動によるトレーニング効果を無視することはできず、血流制限下で行う他動的運動のみの効果を示すことはできなかった。次に、(2) の調査により血流制限下で行う低強度のトレーニングであっても、その効果が動作（筋収縮様式や速度）に依存する可能性が示された。つまり、(1) で示された筋力増強効果においても動作速度に依存している可能性が考えられたが、やはり部活動でのトレーニングの影響が考えられたため、運動習慣のない対象者による再調査が必要と考えた。

そこで、(1) の調査をもとにトレーニングの回数等を見直し、運動習慣のない対象者（年齢：23.8 ± 1.5 歳、身長：167.8 ± 6.9 cm、体重：59.6 ± 9.2 kg）で再調査を実施した。その結果、実験前後の変化率を血流制限なし（CON）と血流制限有り（BFR）のそれぞれで見ると、膝関節伸展の遠心性筋力の角速度 60°/秒では CON：-1.8%であったのに対し、BFR：11.8%で、角速度 180°/秒では CON：2.1%に対し BFR：10.4%であった。等尺性筋

力は CON : -2.8% に対し BFR : 17.2% であった。求心性筋力の角速度 60° / 秒では CON : -5.5% に対し BFR : 8.4%、角速度 180° / 秒では CON : -3.0% に対し BFR : 6.7%、角速度 300° / 秒では CON : -4.2% に対し BFR : 7.7% であった。膝関節屈曲の筋力においても同様に CON よりも BFR の変化率が高かった。以上のように、同一対象者により再調査を実施したところ血流制限下で行う他動的運動のみであっても筋力増強効果が得られることが明らかとなった。また、他動的運動による効果は筋収縮様式や角速度に関係なく筋力増強効果が得られる可能性が考えられた。

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1件)

(1) 窪田敦之, 桜庭景植, 小倉裕司, 藤田真平, 鈴木大地, 鈴木良雄, 洪定男, 鹿倉二郎. 血流制限下で行う他動的運動が筋力および筋横断面積に及ぼす影響 大学男子水泳競技者の下肢筋力を中心に. 日本臨床スポーツ医学会誌. 20: 563-569, 2012

[学会発表](計4件)

(1) 窪田敦之, 桜庭景植, 藤田芳正, 藤田真平, 洪定男. 血流制限下で行う低強度の遠心性トレーニングの効果. 第39回日本整形外科スポーツ医学会. 名古屋, 愛知, 2013

(2) Kubota A, Sakuraba K, Fujimine S, Fujita S, Ogura Y, Koh S, Nakadake M, Shikakura J. Low Intensity Eccentric Exercise with Blood Flow Restriction Improves Eccentric Strength without Muscle Soreness. The 17th Annual Congress of European College of Sport Science. Bruges, Belgium, 2012

(3) Kubota A, Sakuraba K, Kato H, Ogura Y, Koh S. Passive Exercise with Blood Flow Restriction Increases Cross-sectional Area and Strength in Thigh Muscles. The 16th Annual Congress of European College of Sport Science. Liverpool, England, 2011

(4) 窪田敦之, 桜庭景植, 小倉裕司, 藤田真平, 鈴木大地, 洪定男. 大学男子水泳競技者の筋力および筋横断面積に、血流制限下で行う他動的運動が及ぼす影響. 第22回日本臨床スポーツ医学会学術集会. 青森, 青森, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

窪田 敦之 (KUBOTA, Atsushi)
順天堂大学・スポーツ健康科学部・助教
研究者番号: 20569339