

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10908

研究課題名(和文) 電気刺激を付加したジャンプトレーニングは跳躍能力やランニング効率を高めるか

研究課題名(英文) Effects of rebound jump training with electrical stimulation on jump performance and running efficiency

研究代表者

小木曾 一之(Ogiso, Kazuyuki)

青山学院大学・教育人間科学部・教授

研究者番号：20249808

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電気刺激をふくらはぎの筋に与えながら連続ジャンプを行うトレーニングが、筋力や腱組織の弾性機能を向上させ、跳躍能力や運動効率を向上させるかどうかについて検討した。その結果、このトレーニングは、筋力だけでなくアキレス腱硬度も増加させ、ジャンプ中の「弾む感覚」をトレーニング実施者に与えながら跳躍高や持久的運動のエネルギー効率を効率よく向上させた。これらのことから、電気刺激を下腿三頭筋に与えながらの連続ジャンプトレーニングは、跳躍能力や運動効率の向上に効果的であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

反発力のあるシューズがマラソンなどの記録を大幅に向上させているように、弾性の利用は様々な身体運動のパフォーマンスを大幅に向上させる可能性を持つ。しかし、身体の弾性を向上させ、利用することは、技術的な困難さも伴い簡単なことではない。本研究で行ったふくらはぎの筋に電気刺激を付加しながらの連続ジャンプトレーニングは、特別な技術や長いトレーニング期間、多くのトレーニング量も必要とせず、筋力とともにアキレス腱の弾性機能を短期間のうちに向上させ、弾む感覚とともにその跳躍高や運動効率を向上させたことから、そのような課題を解決する1つの有効な方法となりうる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated whether consecutive rebound jump training with electromyostimulation applied to the calf muscle improves muscle strength and elastic function of the Achilles tendon tissue, and enhances jumping ability and exercise efficiency. The results showed that this training increased not only muscle strength but also tendon stiffness, and efficiently improved the jump height and the energy efficiency of endurance exercise while giving the trainee a "bouncing sensation" during jumps. In conclusion, consecutive rebound jump training with electromyostimulation applied to the calf muscle is an effective method for improving jumping ability and exercise efficiency.

研究分野：応用生理学

キーワード：電気刺激 トレーニング ジャンプ 筋力 アキレス腱硬度 運動感覚

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ケニアなどと日本の長距離トップランナーの間にはその競技力に大きな差がみられる。しかし、彼らに生理的能力の統計的な有意差はみられない。一方、ケニア人ランナーなどの躍動的な走りを見れば、その違いに腱組織などの弾性が関与することは疑いない。跳躍や歩行などの運動では、筋の長さがある程度一定に保ちながら腱を伸縮させ、その反動を利用することで効率の良い動きが生み出される。よって「大きな力を発揮できる至適長付近で等尺性収縮をしながら、腱組織の伸縮による弾性を用いる」ことができれば、そのパフォーマンスは向上する可能性が高い。大きな弾性を持つ厚底シューズの使用が、ここ数年にわたるマラソン競技の大幅な記録更新を牽引していることを考えれば、道具ではなく、我々自身が有する身体の弾性を効果的に利用することは重要な課題である。しかし、このような身体の弾性の効果的な利用は技術的にも困難で、なかなかその能力を向上させることは難しい。この問いに対し、大きな力を素早く発揮できる速筋線維を優先的に動員できる電気刺激 (EMS) を与えながらのジャンプはその有効な一つの手段となり得るかもしれない。そこで、本研究では、電気刺激を用いて筋を収縮させながら、腱組織を効果的に伸縮させるトレーニング方法を考案し、そのトレーニングが弾性要素の機能向上を図ることができるのかについて考えていく。

2. 研究の目的

本研究の目的は、EMS をふくらはぎの筋に与えながらの連続リバウンドジャンプ (RJ) トレーニングが筋力や腱組織の弾性を向上させ、跳躍能力や運動効率を向上させるかどうかについて検討することであった。これは、電気刺激をふくらはぎの筋に与えることで筋に至適長近くでより等尺性に近い状態を作り出し、その状態で連続 RJ を行うことでアキレス腱等のより大きな伸張と短縮を繰り返し作り出すことができると考えたためである。

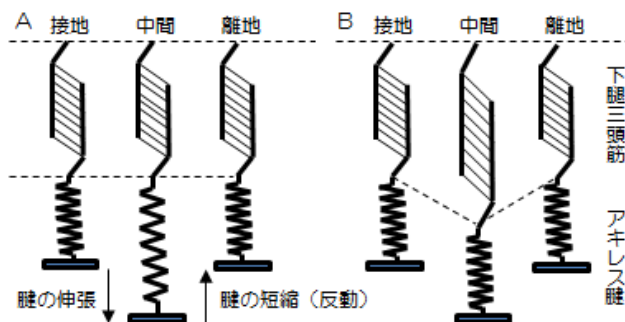


図1. 足の接地時における下腿三頭筋・アキレス腱の伸張-短縮サイクルモデル

筋が等尺性収縮に近いと筋出力が大きくなるとともに、腱組織の弾性がより引き出される(A)。しかし、現実には、接地の衝撃によって筋が引き伸ばされ、腱組織の弾性がうまく引き出せず、筋が一生命短縮しなくてはならない非効率な状態になることが多い(B)。そのため、本研究では、Aのような状態を電気刺激により引き出す。

3. 研究の方法

研究の目的を達成するため、以下の3つの実験を行った。実験1では、EMS をふくらはぎの筋に付加した状態で連続 RJ トレーニングを行い、そのトレーニングがジャンプの跳躍高に及ぼす影響を、実験2では、実験1と同様なトレーニングを行い、そのトレーニングが80回連続 RJ 時におけるエネルギー効率に及ぼす影響を、実験3では、EMS を筋に付加する連続 RJ トレーニングの効果が EMS を付加する筋によって影響されるかどうかについて検討した。

実験1) 実験1の目的は、EMS をふくらはぎの筋に付加した連続 RJ トレーニングの跳躍高に対する効果を検証することであった。被験者は、EMS をふくらはぎの筋に付加されながら連続 RJ を行う EMS 群、EMS の付加無しに連続 RJ を行う Non-EMS 群、そしてジャンプを実

【1 研究目的、研究方法など (つづき)】

施しない Control 群に分けられた。Non-EMS 群と EMS 群は、3 週間、1 日おきに連続 RJ トレーニングを行い、最初の 6 回のトレーニングでは 1 日 10 回 3 セット、最後の 3 回では 1 日 20 回 3 セットを実施した。1 回のトレーニング時間は約 5 分であった。被験者は、両手を腰に当て、同じ場所で最大努力のジャンプをするように指示されたが、ジャンプに関する技術的なアドバイスは行われなかった。EMS の周波数は 20 Hz とし、その強度は最大随意等尺性足底屈トルクの 10% から 20% を発生させる電流値へと漸増的に増加された。トレーニングの効果を評価するため、トレーニング前 (Pre)、トレーニング終了後 (Post)、トレーニング期間終了から 1 週間後 (1W) に、ジャンプの跳躍高と接地時間に加え、最大随意等尺性足底屈トルクとアキレス腱の伸張量を測定し、そのトルク値と伸張量からアキレス腱硬度も計算した。

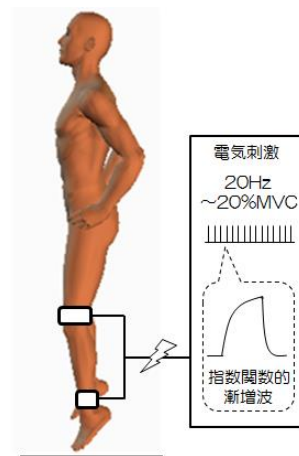


図2. ジャンプ中の電気刺激

実験2) 実験2の目的は、EMSをふくらはぎの筋に付加した連続RJトレーニングの持続的運動に対する効果を検証することであった。被験者は、EMSを下腿三頭筋に付加されながらRJを行うEMS群とEMSの付加無しにRJを行ったNon-EMS群に分けられた。彼らは4週間にわたり1日おきに連続ジャンプトレーニングを行い、最初の3回は1日10回3セット、4回目から6回目では1日15回3セット、7回目から9回目では1日20回3セット、10回目から15回目では1日20回4セット行った。1回のトレーニング時間は10分以下であった。被験者は実験1と同様なジャンプ位置や姿勢を指示され、ジャンプの技術的なアドバイスも与えられなかった。EMSの周波数は20Hzとし、その強度は最大随意等尺性足底屈トルクの10%から20%を発生させる電流値へと漸増的に増加された。トレーニングの効果を評価するため、Pre、Post、1W時に、3種類の跳躍方法による跳躍高と接地時間、80回連続RJ中における跳躍高、接地時間と酸素摂取量、連続RJ前後における血中乳酸値を測定するとともに、質問紙による運動強度等に関する調査を行った。また、体重当たりの酸素摂取量で80回連続RJの平均跳躍高を除することで、簡易的な80回連続RJ時におけるエネルギー効率を算出した。

実験3) 実験3の目的は、筋にEMSを付加しながら行う連続RJトレーニングの効果が、そのEMSを付加する筋により影響されるのかどうかを検証することであった。被験者は、EMSをふくらはぎの筋に付加されながら連続RJを行うEMScalf群、大腿前面の筋群に付加されながら行うEMSaf群、大腿後面の筋群に付加されながら行うEMSpf群、そして大腿全体の筋群に付加されながら行うEMSthigh群に分けられた。彼らは4週間にわたり1日おきに、実験2と同様な回数とセットでトレーニングを行った。1回のトレーニング時間は10分以下であった。被験者は実験1および2と同様なジャンプ位置や姿勢を指示され、ジャンプの技術的なアドバイスも与えられなかった。EMSの周波数は20Hzとし、その強度はEMScalf群では最大随意等尺性足底屈トルクの、EMSaf群では最大随意等尺性膝伸展トルクの、EMSpf群では最大随意等尺性膝屈曲トルクの10%から20%を発生させる電流値へと漸増的に増加された。なお、EMSthigh群の電流値は、EMSaf群とEMSpf群の平均値とした。トレーニングの効果を評価するため、Pre、Post、1W時に、ジャンプの跳躍高と接地時間に加え、足・膝・腰関節周りの最大随意等尺性トルクとアキレス腱の伸張量を測定し、最大随意足底屈トルク値と伸張量からはアキレス腱硬度も計算した。

【1 研究目的、研究方法など (つづき)】

4. 研究成果

1) EMS をふくらはぎの筋に付加した連続 RJ トレーニングのジャンプパフォーマンスに対する効果

EMS をふくらはぎの筋に付加した状態での連続 RJ トレーニングは、背屈位置での最大随意等尺性足底屈トルクを有意に増加させ、ジャンプ中の軽さと弾む運動感覚を誘発させながら垂直跳、ドロップジャンプそして RJ 全ての型の跳躍高を有意に増加させた。また、筋力だけではなく、アキレス腱硬度も増加させる傾向もみられた。一方、EMS 無しの連続 RJ トレーニングは、そのような変化を示さず、足底屈曲位置のみで最大随意等尺性足底屈トルクの有意な増加を示し、トレーニングと同型の RJ でのみ跳躍高を有意に増加させた。EMS の付加は、EMS の付加をしないトレーニングに比べ、特に EMS 強度を増加した後により強い筋痛を引き起こした。筋痛は EMS が付加されない場合、筋腹付近に生じたが、EMS を負荷した場合には、腓腹筋の遠位筋腱接合部に引き起こされた。結論として、EMS による連続 RJ トレーニングは短時間で筋力と腱硬度を改善し、ジャンプ中の軽さと弾みの感覚を誘発しながら跳躍能力を向上させるが、一時的な筋肉痛も引き起こすことが示された。

表 1. 連続RJトレーニング前後における各種ジャンプの跳躍高の変化 (cm)

Group	Jump mode	Pre	Post	1W	Difference
EMS	Squat jump	34.0 ± 5.2	36.5 ± 5.7	37.7 ± 5.9	Pre < Post ***, Pre < 1W***
	Counter move. Jump	37.1 ± 6.9	39.8 ± 6.3	41.3 ± 5.6	Pre < Post ***, Pre < 1W***, Post < 1W *
	Drop jump	30.8 ± 5.8	33.8 ± 6.2	35.7 ± 4.5	Pre < Post ***, Pre < 1W***, Post < 1W *
	Rebound jump	30.5 ± 6.5	33.8 ± 5.4	35.8 ± 5.2	Pre < Post ***, Pre < 1W***, Post < 1W **
Non-EMS	Squat jump	37.0 ± 5.6	37.0 ± 5.5	38.8 ± 6.2	n.s.
	Counter move. Jump	42.3 ± 6.8	41.0 ± 5.9	42.2 ± 5.5	n.s.
	Drop jump	30.5 ± 5.6	31.3 ± 6.8	32.8 ± 5.7	n.s.
	Rebound jump	30.5 ± 5.9	31.8 ± 4.1	33.3 ± 5.3	Pre < 1W***
Control	Squat jump	33.5 ± 4.7	33.9 ± 3.4	33.8 ± 3.7	n.s.
	Counter move. Jump	36.5 ± 6.0	35.6 ± 5.2	35.6 ± 5.6	n.s.
	Drop jump	26.7 ± 4.8	27.2 ± 5.5	27.7 ± 4.3	n.s.
	Rebound jump	26.0 ± 5.3	25.5 ± 5.9	26.9 ± 5.3	n.s.

Data are presented as mean ± standard deviation.

***: p<0.001, **: p<0.01, *: p<0.05

(Ogiso and Miki, 2020より引用・改変)

2) EMS をふくらはぎの筋に付加した連続 RJ トレーニングの持久的運動に対する効果

EMS をふくらはぎの筋に付加した状態での連続 RJ トレーニングは、80 回連続 RJ 中の平均跳躍高と酸素摂取量を有意に増加させた。トレーニング後にみられた酸素摂取量の増加は、トレーニングにともなう筋活動量の増加と考えられるが、その結果、それらの割合であるエネルギー効率は変化しなかった。一方、EMS を付加しない場合、平均跳躍高は変化せず、酸素摂取量は有意に増加したため、そのエネルギー効率は有意に低下した。EMS が付加された場合、1) 80 回連続 RJ 後半で跳躍高の低下と接地時間の増加の割合が低い、2) 80 回連続 RJ 終了 5 分後に血中乳酸値の有意な増加がみられない、3) ジャンプの「跳びやすさ」の自己評価が高く、「反発をもらえた」「弾む感じがした」「浮かんでいる感じがした」などの運動感覚が得られる、

【1 研究目的、研究方法など (つづき)】

といった特徴がみられ、EMS の有無によるトレーニング効果の違いの原因の 1 つはアキレス腱の弾性が向上したかどうかによると考えられた。したがって、ふくらはぎの筋に EMS を与えながらの連続 RJ トレーニングは、持続的なジャンプパフォーマンスを高め、その効率を維持することが示唆された。

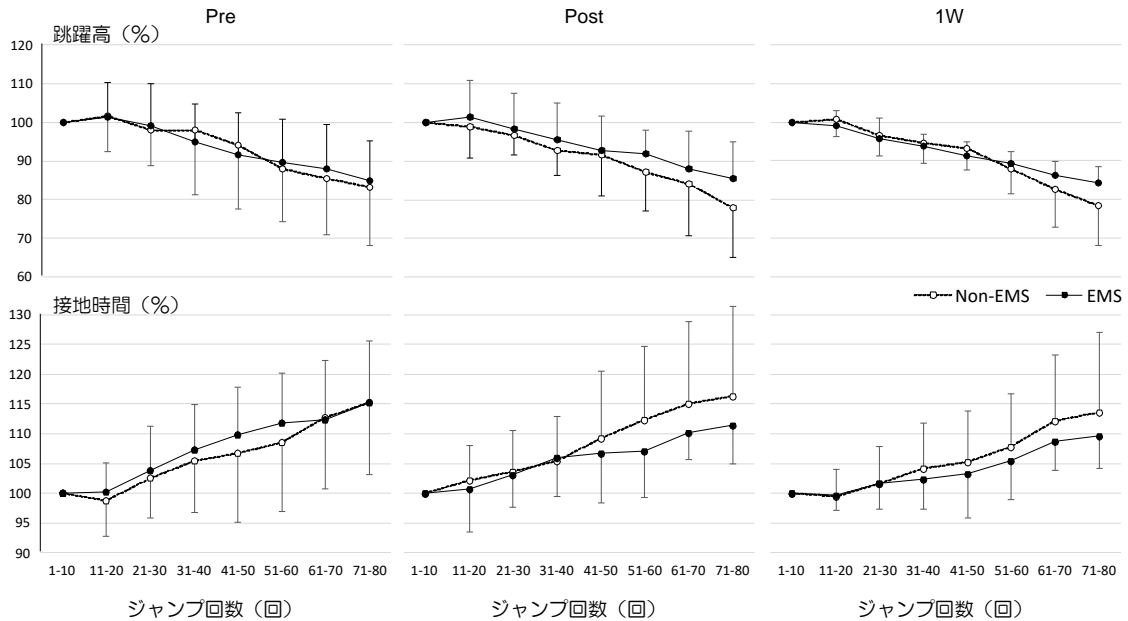


図3. 80回連続RJ中における10回毎の跳躍高と接地時間の変化。値は1回目から10回目の値に対する割合。
(小木曾, 2021から引用・改変)

3) EMS を付加する筋の違いによる連続 RJ トレーニングの効果の違い

連続 RJ トレーニング後、跳躍高は全ての EMS を付加した群で有意に増加し、EMS を付加しなかった群では増加しなかった。しかし、トレーニングにより生じた運動感覚と最大随意等尺性トルクが増加した関節やその関節角度は、ジャンプ中に EMS を付加した筋に依存して異なった。ふくらはぎの筋に EMS を付加した群は、ジャンプ中に明らかな「跳ね返り」 感覚を経験し、足関節背屈位置での最大随意足底屈トルクおよびアキレス腱硬度が増加した。連続 RJ 中、身体は無意識のうちに移動し、大腿前面の筋群に EMS を付加した群では後方に、大腿後面に付加した群では前方に移動した。大腿全体に EMS を付加した群では、連続 RJ 中に身体の移動はみられず、最も安定して簡単にジャンプできるという報告がなされた。したがって、連続 RJ 中に下肢筋群への EMS の適用はその跳躍能力を高めるが、その向上メカニズムと効果は EMS を適用する筋に依存することが示された。

以上の結果から、EMS を筋に与えながらの連続リバウンドジャンプトレーニングは、その付加する筋群に応じてその効果は異なるものの、筋力や腱組織の弾性を向上させ、跳躍能力やその運動効率を向上させることが明らかとなった。また、特別な技術的トレーニングを伴わなくとも、その跳躍能力を短期間で向上させることができることから、身体技能などの違いなどに大きく影響されず、様々な人の跳躍能力を向上させることのできる汎用性のある方法であると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ogiso K, Miki S	4. 巻 3(5)
2. 論文標題 Consecutive rebound jump training with electromyostimulation of the calf muscle efficiently improves jump performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Translational Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 454-463
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tsm2.161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小木曾一之	4. 巻 12
2. 論文標題 腓腹筋に電気刺激を付加したジャンプトレーニングは運動効率を高めるか	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 教育人間科学部紀要	6. 最初と最後の頁 37-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34321/21775	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Ogiso K, Miki S
2. 発表標題 Effects of jump training with electromyostimulation on jump performance
3. 学会等名 The 25th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Otani D, Hara K, Miki S, Ogiso K
2. 発表標題 Fascicle behavior depends on muscle length, region and contraction velocity and joint angle
3. 学会等名 Asia Conference of Kinesiology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miki S, Otani D, Hara K, Ogiso K
2. 発表標題 Effects of passively isokinetic electromyostimulation exercise on hip joint torque
3. 学会等名 Asia Conference of Kinesiology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hara K, Otani D, Miki S, Ogiso K
2. 発表標題 Effects of passively isokinetic training with electrical stimulation to the hamstrings on jump and sprint performance
3. 学会等名 Asia Conference of Kinesiology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miki S, Ogiso K
2. 発表標題 Effects of passive isokinetic hip extension-flexion training with electromyostimulation on hip joint torque and sprint performance
3. 学会等名 Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

実験3に関する論文は、現在投稿中です。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------