

研究報告

足関節捻挫後の機能的不安定性に対する末梢神経電気刺激の効果について

吉田隆紀¹⁾ 谷埜予士次¹⁾ 鈴木俊明¹⁾ 増田研一²⁾

1) 関西医療大学 臨床理学療法教室

2) 関西医療大学 整形外科

要 旨

目的 足関節捻挫後の不安定性は、構造的不安定性や機能的不安定性、その両方を合わせ持つタイプとの3タイプに分類することができる。今回、本研究では機能的不安定性を有する症例に対して、経皮的電気刺激（以下TENS）が片脚立位とジャンプ着地時の足圧中心（以下COP）軌跡長の改善に効果があるかを検討した。

対象と方法 対象は足関節捻挫を既往に持つ研究に同意を得た男子大学生7名である。測定は、重心動揺計を用いて、30秒間の片脚立位時のCOP軌跡長を計測した。またフォースプレートを使って、横向きにジャンプし片脚で着地した時の単位時間あたりのCOP軌跡長を計測した。さらに電気刺激前後でのCOP軌跡長を両下肢で計測し、比較した。

結果 片脚立位時とジャンプ後の着地時のCOP軌跡長は、TENS前では健側と比較して捻挫側は有意に増加していた。TENS実施前後では、捻挫側は有意に減少したが、健側は有意な差はなかった。

考察 今回の結果より、捻挫側の片脚立位時とジャンプ後の着地時のCOP軌跡長はTENS実施後に改善を示した。これはTENSが関連する中枢神経機能に影響を与え、腓骨筋の筋活動を向上させたためと推察した。

キーワード：足関節捻挫・末梢神経電気刺激・足圧中心

I. 緒 言

足関節捻挫受傷後、疼痛や不安定感が長期にわたり残存している症例は少なくない。足関節捻挫後の不安定性は、構造的な不安定性や機能的な不安定性を有する場合があり、さらに両方が混在するケースに分類することが出来る¹⁾。足関節の構造的不安定性は、正常な生理的関節可動範囲を超えた可動域を有する関節と定義される。また機能的不安定性は、構造的不安定性の有無にかかわらず、足関節捻挫後に不安定感が残存している状態と定義される。²⁾

足関節の機能的不安定性を有する場合には、固有感覚機能の低下や腓骨筋群の筋収縮の遅延が存在するという報告²⁾がある。Konradsenら³⁾やDochertyら⁴⁾は、機能的不安定性がある症例は、片脚立位時の重心動揺計の軌跡長が有意に増加していることを報告した。機能的不安定性に対する理学療法は、不安定板やバランスディスクなどの不安定性を利用したトレーニングが用いられることが多い。しかし理学療法の早期介入には、足関節捻挫の再発の危険性や疼痛が出現しやすいな

どの理由で、使用困難な場合が存在する。今回、末梢神経への電気刺激によって大脳皮質運動野の興奮性が増大するというWuら⁵⁾の報告に着目した。また関連する報告で脳卒中患者に対する経皮的電気刺激によって、ピンチ力の向上⁶⁾、手指機能の改善⁷⁾が報告されている。これら末梢神経への経皮的電気刺激は、健常者や脳卒中患者に対する上肢機能へのアプローチがほとんどであり、過去の研究において下肢の整形外科的な症例へのアプローチはない。そこで本研究の目的は、足関節捻挫後の機能的不安定性に対しての経皮的電気刺激療法（transcutaneous electrical nerve stimulation以下、TENS）が片脚立位時やジャンプ動作での片脚着地時の重心動揺を減少させ、捻挫後のリハビリテーションとして効果的であるかを検討することである。

II. 方 法

当大学サッカー部に所属する男子学生21名のうち、捻挫経験のある全部員を対象とした。Karlssonら⁸⁾の足関節機能的安定性スコアで捻挫の既往がある足部側

(以下捻挫側)が80点以下であり、なおかつ捻挫側は健側より15点以上差があるものを被験者として選定した。また左右足関節の前方引き出しテスト、medial subtalar glide (MSG) テストを実施し、不安感や疼痛を誘発したものを陽性とし、どちらかのテストが陽性であり構造的不安定性の疑いがあるものは除外した。最終7名の被験者(平均年齢 20.3 ± 0.9 歳、平均身長 175.1 ± 3.4 cm、平均体重 64.0 ± 9.4 kg)(括弧内のデータは平均 $\pm$ 標準偏差を示す)から測定を行った。

測定方法は、重心動揺計(ユニメック社製)を用いて、捻挫側のTENS施行前と施行後において、30秒間の開眼片脚立位時の足圧中心(center of pressure 以下COP)の移動距離(以下COP総軌跡長)を3回計測し、平均値を比較した。なお、測定肢位はTroppら⁹⁾の方法に準じた。上肢を前胸部で組み一方の下肢の膝関節を屈曲した姿勢をとらせ、被験者の目の高さで3m前方の高さの壁に取り付けた指標を注視するように指示した(図1)。



図1 重心動揺計測定場面

上肢を前胸部で組ませ、一方の下肢の膝関節を屈曲した姿勢をとらせ、対象者の目の高さで、3m前方の高さの壁に取り付けた指標を注視するように指示した。

また、フォースプレート(AMTI社製)を用いて高さ20cmの台を連続で横向きに飛び越えて片脚で着地した時の単位時間あたりのCOPの移動距離(以下COP軌跡長)を、捻挫側のTENS施行前と施行後において比較した(図2)。なお、TENSは総腓骨神経に单相矩形波(パルス幅1ms、パースト周波数1bps、パルス周波数10Hz)で、刺激強度を感覚閾値レベルの強さを40分間

実施した。TENS機器には、インテレクトモバイル・システム(CHATTANOOGA GROUPS社製)を用い、電気刺激の電極には、腓骨頭下端に5cm $\times$ 5cmの粘着パッド式電極を発布し使用した。データは統計学的検討には、捻挫側と健側及び末梢神経へのTENSの施行前・後の比較をWilcoxon検定で実施した。危険率は5%とした。

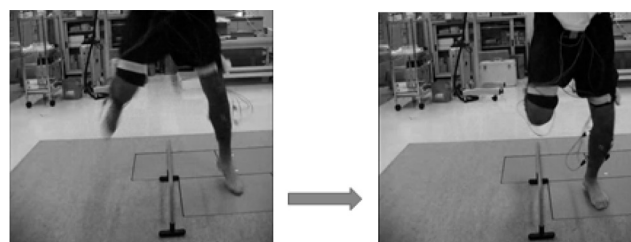


図2 フォースプレートによるジャンプ動作片脚着地時のCOP軌跡長の計測場面

両手を胸の前で組んだ姿勢で高さ20cmの台を連続で横向きに飛び越えて片脚で着地した時のCOP軌跡長を計測した。

本研究の実施にあたり、研究目的及び方法を対象者に文章にて説明し、研究への参加について書面による同意を得ている。また本研究は、関西医療大学倫理委員会(処理番号12-24)で承認されている。

Ⅲ. 結 果

1) TENS強度

被験者の総腓骨神経に対して、徐々に電気刺激を加えて筋収縮が生じない程度の電気の強さで設定し、電気強度は 4.7 ± 1.2 mAであった。

2) 重心動揺計

TENS前後の片脚立位動作におけるCOP総軌跡長の変化は、TENS実施前の捻挫側はCOP総軌跡長が 975.1 ± 475.4 mmで、健側の 755.3 ± 422.5 mmと比較して重心動揺計のCOP総軌跡長が有意に増加した。TENS前後の変化としては、捻挫側はTENS前のCOP総軌跡長が 975.1 ± 475.4 mmからTENS後には 633.4 ± 229.8 mmに有意に減少した。また健側はTENS前のCOP総軌跡長 755.3 ± 422.5 mmからTENS後 649.7 ± 353.4 mmとなりTENS前後で比較して有意な差は認められなかった(図3)。また、捻挫側のTENS前後での軌跡長の変化における前後方向と左右方向の比較において、捻挫側のX軸(左右方向)は 623.2 ± 304.7 mmから 412.9 ± 179.2 mmと有意な減少があり、Y軸(前後方向)

においても $799.5 \pm 407.1\text{mm}$ から $500.8 \pm 249.7\text{mm}$ と有意に減少した (図4)。

3) フォースプレート

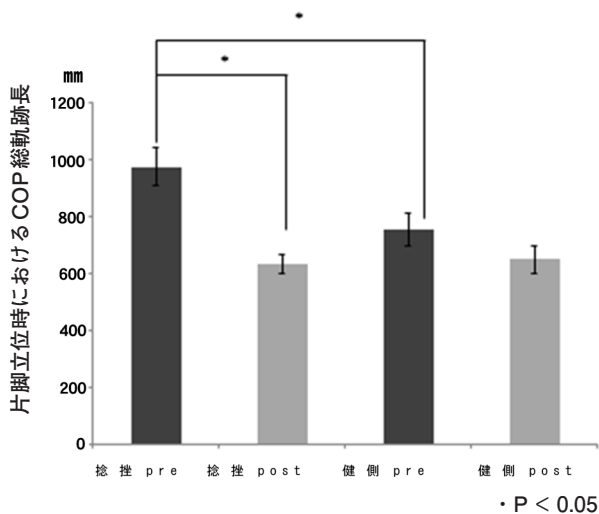


図3 片脚立位時におけるCOP総軌跡長

TENS実施前において捻挫側のCOP総軌跡長が健側と比較してCOP総軌跡長が有意に増加していた。TENS前後の変化は、TENS前の捻挫側のCOP総軌跡長がTENS後に有意に減少した。

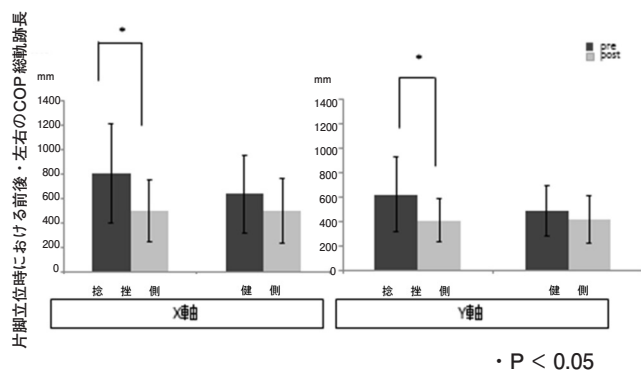


図4 片脚立位における前後・左右方向へのCOP軌跡長

TENS実施前後での捻挫側の軌跡長の変化における前後方向と左右方向の比較において、捻挫側のX軸 (左右方向) は有意な減少があり、Y軸においても (前後方向) 有意に減少した。

TENS前後のジャンプ動作片足着地時における単位時間あたりのCOP軌跡長における変化は、TENS実施前において捻挫側の軌跡長が $24.5 \pm 3.7\text{mm}$ であり、健側軌跡長の $21.0 \pm 2.5\text{mm}$ と比較してジャンプ着地時の単位時間あたりのCOP軌跡長が有意に増加していた (図5)。TENS前後の変化としては、捻挫側はTENS前の軌跡長 $24.5 \pm 3.7\text{mm}$ からTENS後には $20.8 \pm 2.5\text{mm}$ となり、有意に改善した。また捻挫側のTENS前後での軌跡長の変化は、X軸は $13.9 \pm 2.3\text{mm}$ から $16.4 \pm 2.3\text{mm}$ と有意な変化は認められなかったが、Y軸は $10.6 \pm 5.4\text{mm}$ から $4.4 \pm 0.5\text{mm}$ と有意に改善した。健

側はTENS前の軌跡長 $21.0 \pm 2.5\text{mm}$ からTENS後 $21.0 \pm 23.0\text{mm}$ となりTENS前後で比較して有意な差は認められなかった (図6、図7)。

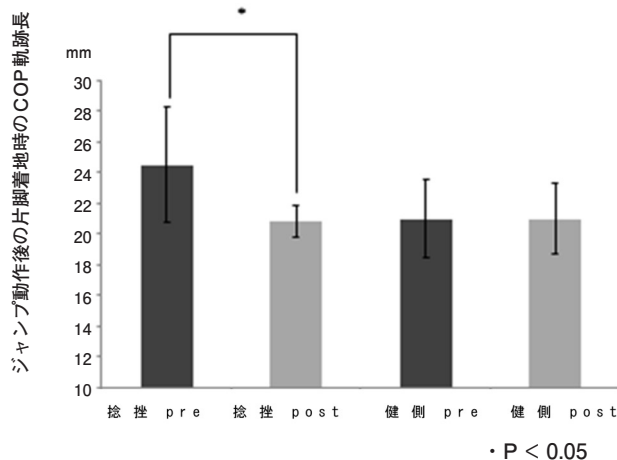


図5 ジャンプ動作後の片脚着地時のCOP軌跡長

TENS実施前において、ジャンプ着地時の単位時間あたりの総軌跡は、健側と比較して捻挫側は有意に増加していた。TENS前後の変化としては、捻挫側のCOP軌跡長はTENS前からTENS後は有意に減少した。

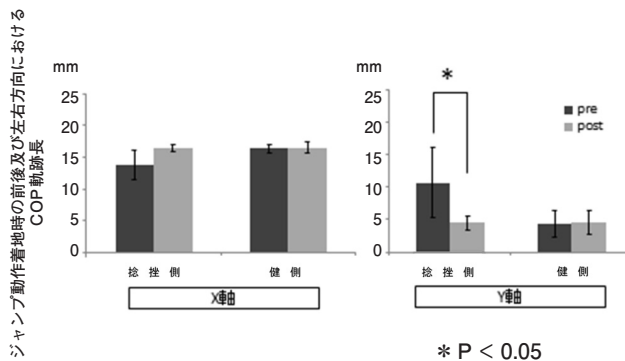


図6 ジャンプ動作着地時の前後及び左右方向におけるCOP軌跡長

捻挫側のTENS実施前後での軌跡長の変化は、X軸では有意な変化は認められなかったが、Y軸は有意に減少した。

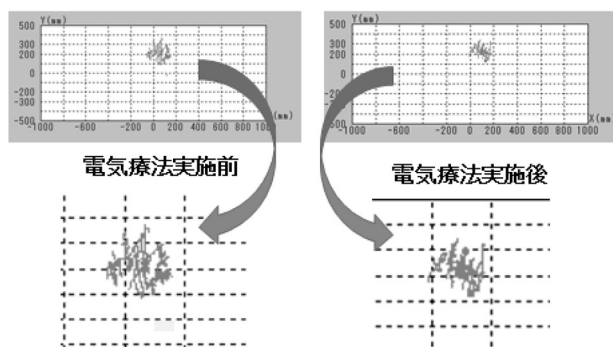


図7 ジャンプ動作着地時のCOP軌跡長 (捻挫側の代表例)

IV. 考 察

足関節捻挫後の機能的不安定症を有するものは、関節位置覚、腓骨筋の反応時間、姿勢制御機能が低下しているとの報告が多い^{3) 4)}。しかし、過去の報告では腓骨筋の筋力低下が存在するかは、一定の見解が得られていない¹⁰⁾。

本研究の結果では、捻挫側は、健側と比較して片脚立位及びジャンプ着地時のCOP軌跡長が有意に増加していた。これは過去の報告と同様に捻挫側で腓骨筋群の反応時間が低下していることを示唆させる。また捻挫側による片脚立位及びジャンプ着地時の重心動揺は、TENS後に有意に減少していた。Wuら⁵⁾の報告では、正中神経への電気刺激を連続で実施し、15分間隔で脳血流量の評価を実施して30分から45分までの時間に脳血流が増大し、大脳皮質感覚野から皮質間連絡により運動野への興奮が伝導することを確認している。よって今回の研究によるTENSは、総腓骨神経に関連する大脳皮質感覚野から皮質間連絡により運動野への興奮が伝わり、長・短腓骨筋などの下腿筋群の反応性を高めた結果でないと推察する。しかしForssbergら¹¹⁾は、感覚神経の刺激は、脊髄後根より脊髄前根に伝わり、 α 運動神経線維を興奮させると報告し、また視床から直接運動野への経路が存在し¹²⁾、今回の研究では、TENSがどのように作用したかは断定することはできない。

また、片脚立位時の課題において、COP総軌跡長をX軸（左右方向）とY軸（前後方向）に分けた分析ではTENS後、捻挫側のX軸とY軸での改善が認められた。しかしジャンプ着地時のX軸とY軸の分析では、Y軸の改善のみTENS後に認められた。この理由として、ジャンプ着地動作課題は電気刺激によって、長・短腓骨筋などの足関節外反筋群の反応性が増大し、左右方向への安定性が増したと考えられる。よってジャンプ着時に生じる重心動揺は、左右方向への安定性が増すことにより、足関節の底背屈動作による重心制御が必要でなくなったためと考えられる。一方、片脚立位課題においては、片脚立位時間が30秒間という比較的長い時間であるため、足関節以外にも姿勢保持に関わり他の関節運動が生じる結果として、X軸とY軸のCOP軌跡長が変化したと考えられる。これにより片脚立位課題と比較して、ジャンプ動作着地時における足底の接地時間が短い動作の安定性には、足関節の安定性が高く必要とされることが示唆された。

足関節機能的不安定性は、急性足関節捻挫後の症例の10～30%の割合で生じる¹³⁾。また足関節捻挫受傷者の

80%以上に再受傷がみられたという報告¹⁴⁾がある。今回の結果より、捻挫後の理学療法において、総腓骨神経に対するTENSは、捻挫後のスポーツ復帰や再発予防に早期から介入できる手段として効果的であると考えられた。今後は、さらにTENSを取り入れたリハビリテーションやアスレティックリハビリテーションの発展が期待される。

V. 結 論

足関節捻挫後の機能的不安定性に対するTENSは、片脚立位時及びジャンプ動作着地時の重心動揺を減少させ、理学療法として効果的であると考えられた。

参考文献

- 1) Hertel J: Functional instability following lateral ankle sprain. Sports Med 29, 361-371, 2000
- 2) Tropp H, Odentrick P, Gillquist J. Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint. Int J Sports Med 6, 180-182, 1985
- 3) Konradsen L, Raven JB: Prolonged peroneal reaction time in ankle instability. Sports Med 12, 290-292, 1991
- 4) Docherty CL, Valovich McLeod TC, Shultz SJ: Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by balance error scoring system. Clin J Sport Med 16, 203-208, 2006
- 5) Wu CW, Gelderen P, Hanakawa T, et al: Enduring representational plasticity after Somatosensory stimulation. Neuroimage 27 (4), 872-884, 2005
- 6) Conforto AB, Kaelin LA, Cohen LG: Increase in hand muscle strength of stroke patients after somatosensory stimulation. Ann Neurol 51, 122-125, 2002
- 7) Wu CW, Seo HJ, Cohen LG: Influence of electric somatosensory stimulation on paretic-hand function in chronic stroke. Arch Phys Med Rehabilitation 87, 351-357, 2006
- 8) Karlsson J, Peterson L: Evaluation of ankle joint function the use of a scoring scale. The Foot 1, 15-19, 1991
- 9) Tropp H, Asling C, Gillquist S: Prevention of ankle sprains. Am J Sports Med 17, 259-262, 1985
- 10) 佐保泰明: 足関節捻挫の予防プログラムの科学的基礎. NAP, pp82-88, 2010
- 11) Forssberg H, Hirschfeld H: Forssberg Phasic modulation of postural activation patterns during human walking. Progress in Brain Research 76, 221-227, 1988
- 12) Andrews AW: Distribution of muscle strength impairments following stroke. Clin Rehabil 14, 79-87, 2000
- 13) Patrick O, McKeon, Jay Hertel: Systematic Review of

- Postural Control and Lateral Journal of Athletic Training 43 (3), 293-304, 2008
- 14) Andrews AW, Bohannon RW: Distribution of muscle strength impairments following stroke. Clin Rehabil 14, 79-87, 2000
- 15) Peter JW, Trevino SG, Reugtrom PA: Chronic lateral ankle instability. Foot ankle 12, 182-191, 1991

Study Report

The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on functional instability due to ankle joint sprain

Takaki Yoshida¹⁾ Yoshitsugu Tanino¹⁾ Toshiaki Suzuki¹⁾ Kenichi Masuda²⁾

1) Clinical Physical therapy Laboratory, Kansai University of Health Sciences

2) Department of Orthopedics Surgery, Kansai University of Health Science

Abstract

Purpose: Ankle joint instability after sprain is classified into three types: structural and functional instability, and a combination of both types. The present study examined the effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in patients with functional instability of the ankles, including the ability to stand on one leg and land after jumping at the center of pressure (COP).

Materials/Methods: The subjects were seven males with a history of ankle joint sprain. The subjects were tested three times for the total COP path by standing on one leg for 30 seconds on a stabilometer. Next, the subjects were tested per unit time the COP path by landing on a force plate with one leg after jumping over a 20-cm tall hurdle for 10 consecutive seconds. We compared the average value of enforcement before and after conducting electrotherapy to the non-sprained ankle side.

Results: The length of COP path increased significantly for standing on one leg and landing after jumping on the sprained compared with non-sprained ankle before TENS. The length of COP path decreased significantly in the sprained ankle compared with non-sprained ankle after TENS.

Conclusions: The results suggest that TENS affected the dorsal motor areas associated with stimulation and facilitated activity of the peroneus muscles. Therefore, TENS is effective in early rehabilitation.

Keyword : ankle joint sprain, transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS), center of pressure (COP)
