

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K17859

研究課題名（和文）スポーツ外傷の慢性化予防のための神経系指標を基にした新たなリハビリテーション戦略

研究課題名（英文）A novel rehabilitation strategy based on neurophysiological assessments to prevent chronic sports injuries

研究代表者

二橋 元紀 (Futatsubashi, Genki)

東洋大学・健康スポーツ科学部・准教授

研究者番号：20738017

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、スポーツ外傷が慢性化へと移行する神経系の時系列的な過程を明らかにすることを目的とし、大学スポーツ選手を対象に足関節捻挫受傷後の皮質脊髄路の時系列的变化を検証した。併せて、皮質運動マップと片脚立位バランス能力との関連性を検証した。その結果、皮質脊髄路興奮性の回復過程が受傷頻度（初回足関節捻挫群、足関節捻挫再受傷群）により異なることが明らかになった。また、下腿筋群の皮質運動マップ領域が広いほど片脚立位時の足圧中心移動距離が小さく、バランス機能に優れていることが明らかになった。以上より、神経生理学的指標も取り入れたスポーツ外傷後のリハビリテーション戦略の必要性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツ外傷の慢性化を予防するためには、反復受傷に至る機序を明らかにする必要がある。本研究は、より高次を含んだ中枢神経系（皮質脊髄路の興奮性）がスポーツ外傷後にどのような時系列的過程を経て変容するかを受傷頻度別に明らかにし、特に初回受傷時の回復過程が重要である点を示した点で新規な成果であり、スポーツ外傷後のリハビリテーションを考えていく上で学術的にも有益である。一方で、下肢筋群の皮質運動マップ領域が片脚立位バランス能力と関連している可能性が示され、従来の臨床評価に神経生理学的な機能評価指標を加えることで、スポーツ外傷後のリハビリテーションがより効果的になる可能性が期待され、社会的意義も有する。

研究成果の概要（英文）：The present study aimed to clarify the time course of corticospinal excitability changes in the peroneal longus (PL) muscles after ankle sprains with respect to the history of ankle sprains. In addition, we verified the relationship between cortical motor maps and single-leg standing balance abilities. We determined that the recovery process of corticospinal excitability in the PL muscles differed depending on the history of ankle sprains. In patients with their first ankle sprain, the gain and threshold tended to decrease gradually within 6 months after the ankle sprain. In contrast, in patients with recurrent ankle sprains, the gain and threshold remained constant at high values from 2 weeks to 6 months. Furthermore, subjects with a wider cortical motor map area of the lower leg muscles had shorter path length of the center of pressure while standing on one leg. Therefore, our findings suggest the need for sports rehabilitation strategies based on neurophysiological assessments.

研究分野：スポーツ医学

キーワード：スポーツ外傷 慢性化予防 経頭蓋磁気刺激 皮質脊髄路 皮質運動マップ リハビリテーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スポーツ外傷の予防ならびに再受傷予防は一つの大きな課題である。多くのコホート研究では、ただ一度の外傷既往および“受傷頻度”がその後の再受傷にとって大きなリスク要因であることが明らかにされており (Engelbrechtsen et al. 2010, Futatsubashi et al. 2014 J Phys Fitness Sports Med)、再受傷の機序解明および予防対策が重要であることは明白である。

我々はこれまで運動制御に関与する皮膚反射 (感覚経路) に着目し、足関節捻挫再受傷の機序解明に取り組み (Futatsubashi et al. 2016 Eur J Appl Physiol)、その中で“受傷頻度”に応じて、回復過程に神経系の可塑的变化が起こることを示唆した。特に、初回と2回目との間における臨界期の存在を示唆した。

一方、慢性的足関節不安定症 (CAI) において、経頭蓋磁気刺激に伴う皮質脊髄路興奮性入力特性の閾値が増大するなど、皮質脊髄路興奮性にも可塑的变化が引き起こされることがこれまでの我々の研究でも明らかになってきた。しかしながら、現状で皮質脊髄路興奮性の可塑的变化がスポーツ外傷受傷後のどの段階で引き起こされてくるか、どの段階で慢性化に近づいてくるのかといった知見は示されていない。

スポーツ外傷の繰り返しに伴う慢性化を予防するためにも、スポーツ外傷および再受傷のリスク要因を多角的に評価し、その予防法を確立していくことが必要となる。従来のスポーツ外傷に関する評価は専ら、臨床的評価に頼っており、神経生理学的アプローチを用いた運動制御の観点がまだまだ不足している。特に、初回のスポーツ外傷から如何にして慢性化につながるのか。その神経系の経緯を明らかにすることがリハビリテーション実施にも重要であり、従来の臨床的評価に加え、神経生理学的な新たな機能評価指標を加えることにより、新たなリハビリテーション戦略の指針を示すことができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下を明らかにすることであった。

(1) 代表的なスポーツ外傷である足関節捻挫受傷後における皮質脊髄路興奮性を時系列的に明らかにし、受傷頻度別でその回復過程の相違を明らかにすること。

(2) 皮質脊髄路興奮性および抑制性機構と動的バランス動作との関連性を明らかにすること。

(3) 下肢筋群に対する皮質運動マップ領域と片脚立位バランス能力の機能的な関係性を明らかにすること。

3. 研究の方法

(1) 足関節捻挫受傷後の時系列的变化: 足関節捻挫を新規で受傷した大学生アスリート (初回捻挫群、再受傷群) に対して、受傷側の長腓骨筋 (PL) から表面筋電図を記録し、最大随意収縮 (MVC) の 20% に相当する等尺性筋活動を発揮している時に、一次運動野に経頭蓋磁気刺激 (TMS) を与え、PL より運動誘発電位 (MEP) を記録した。得られた MEP データの振幅値 (Mmax で標準化) より、入出力特性 (Input-Output curve) を算出した。興奮性の指標として定常値 (plateau value)、最大傾斜 (maximum slope = gain)、閾値 (threshold) を算出した (Sekiguchi et al. 2007)。時系列変化を検討するため、足関節捻挫受傷後から 2 週間後、4 週間後、2 ヶ月後、3 ヶ月後、および 6 ヶ月後に繰り返して実施した。併せて、その他の臨床的指標として、足関節外反筋力 (Mobie Pull センサー)、Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) スコアを時系列的に測定した。各指標に関して、初回足関節捻挫群と足関節捻挫再受傷群でその時系列的变化を比較検証した。

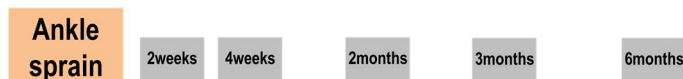
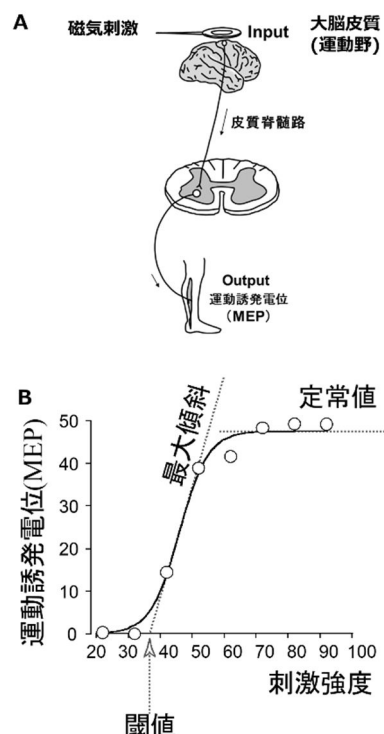


図 1. 経頭蓋磁気刺激および皮質脊髄路興奮性の入出力曲線 (Input-Output curve) から算出した各指標 (定常値、最大傾斜、閾値)

(2) 動的バランスとの関係性：(1)と同様に、大学生アスリートに対して、軸足・非軸足の長腓骨筋(PL)より表面筋電図を記録し、最大随意収縮(MVC)の20%に相当する等尺性筋活動を発揮している時に、一次運動野に経頭蓋磁気刺激(TMS)を与え、PLよりMEPを記録した。皮質脊髓路興奮性の入力特性(Input-Output curve)より、定常値(plateau value)、最大傾斜(maximum slope = gain)、閾値(threshold)を算出した。併せて、動的バランス機能としてStar Excursion Balance Test(SEBT)を実施し、8方向へのリーチ長(棘果長で補正)、総リーチ長を計測して、皮質脊髓路興奮性指標との関連性を軸足・非軸足間で比較した。

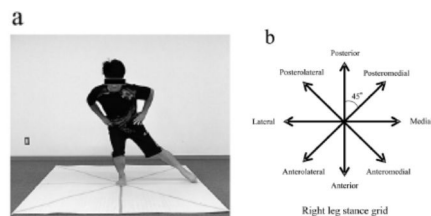


図 2. Star Excursion Balance Test : SEBT (Yanagisawa et al. 2018)

(3) 皮質運動マップ課題：被験者は、頭長(Cz)を基準に左右にまたがるグリッドを作成し、各グリッドをTMSにより4回ずつ刺激して、各筋の皮質運動マップを同定した。グリッド間隔は15mmとした。被検筋は大腿直筋(RF)および前脛骨筋(TA)とした。刺激強度は、運動時間閾値の1.3倍とした。マップ記録時に、最大随意収縮(MVC)の20%に相当する等尺性筋活動を発揮させた。各グリッドで記録された運動誘発電位(MEP)の平均振幅からマップを描き、筋毎のMEPの最大値で標準化し、マップ面積を算出するとともに、2筋の重複する面積も算出した。併せて、運動課題として20秒の開眼片脚立位バランスを分布センサー付きトレッドミル(Zebulis社製)上にて実施し、足圧中心COPの総軌跡長、COPの平均移動速度を算出した。RF、TAのマップ面積、両筋の重複面積を独立変数、運動課題における各指標を従属変数として回帰分析を行った。

4. 研究成果

*得られた成果は、現状で投稿論文に仕上がっていない(今後論文投稿を予定)ため、現時点では公表可能な図表のみを載せる。

(1) 足関節捻挫受傷後の時系列的变化：

皮質脊髓路興奮性の指標として、入力特性(Input-Output curve)より定常値(plateau value)、最大傾斜(maximum slope = gain)、閾値(threshold)を算出し、足関節捻挫受傷後から時系列的に2週間後、4週間後、2ヵ月後、3ヵ月後、および6ヵ月後に評価した。

足関節捻挫受傷2週間後では、初回足関節捻挫群、再受傷群ともに閾値は受傷2週間後においてCAI群(二橋らの先行研究より引用)と同等くらいに高まり、Control群(二橋らの先行研究より引用)と比較しても解離していた。しかしながら、回復過程を追うごとに初回足関節捻挫群の閾値はControl群と同等程度まで低くなった。再受傷群では、6ヵ月後においても高止まりの状態が続く結果となった($p < 0.01$)。また、最大傾斜(gain)においても同様に再受傷群では経過とともにgainが高くなったのに対して、初回足関節捻挫群では6ヵ月後にControl群と同等程度まで低減していた($p < 0.05$)。

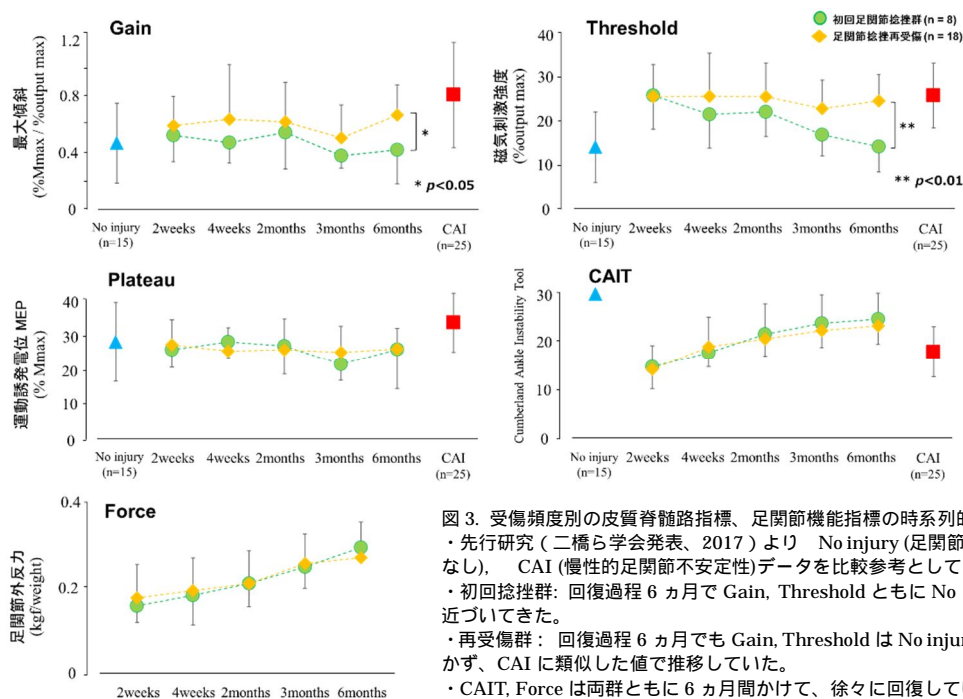


図 3. 受傷頻度別の皮質脊髓路指標、足関節機能指標の時系列的变化
 ・先行研究(二橋ら学会発表、2017)より No injury(足関節捻挫既往なし)、CAI(慢性的足関節不安定性)データを比較参考として引用。
 ・初回捻挫群: 回復過程6ヵ月でGain, ThresholdともにNo injuryに近づいてきた。
 ・再受傷群: 回復過程6ヵ月でもGain, ThresholdはNo injuryに近づかず、CAIに類似した値で推移していた。
 ・CAIT, Forceは両群ともに6ヵ月間かけて、徐々に回復していた。

一方で、臨床的評価として CAIT、足関節外反筋力ともに時間経過が進むにつれて回復傾向をたどり、初回足関節捻挫群、再受傷群で回復過程に違いは認められなかった。そのため、従来の臨床的評価と神経生理学的評価で時系列的变化に解離も認められた。この結果は、皮膚反射で我々が以前に示した先行研究を支持する結果でもあり、皮膚反射回路のみならず皮質脊髄路興奮性の回復過程においても、再受傷群で中枢神経系の可塑的变化が残存し続ける可能性が示された。

(2) 動的バランスとの関係性：

TMS の各指標（定常値、最大傾斜、閾値、サイレントピリオド）は、軸足・非軸足間の比較において有意な差は認めなかった。SEBT の各 8 方向へのリーチ距離、総リーチ距離にも軸足・非軸足間での有意差を認めなかった。一方で、軸足では SEBT の総リーチ長と皮質脊髄路興奮性入出力特性の最大傾斜、閾値との間に有意な関係性を認めたものの、非軸足では両指標間に有意な関係性を認めなかった。軸足は一般的に動作中において非軸足よりもバランスに関与していることも多いことから、よりバランスに関与する軸足の方が皮質脊髄路興奮性指標と関連性が強かった可能性が示唆された。

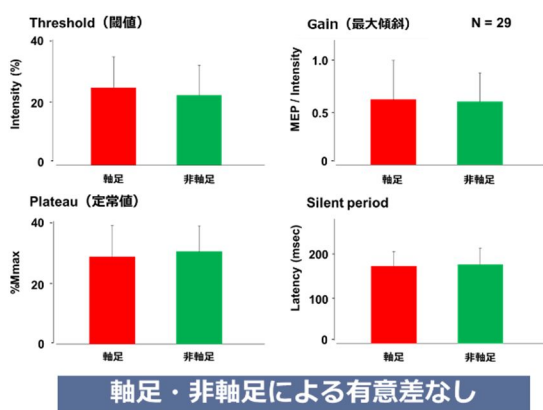


図 4. 軸足・非軸足別の皮質脊髄路興奮性指標（定常値、最大傾斜、閾値）および抑制性指標（サイレントピリオド）の比較

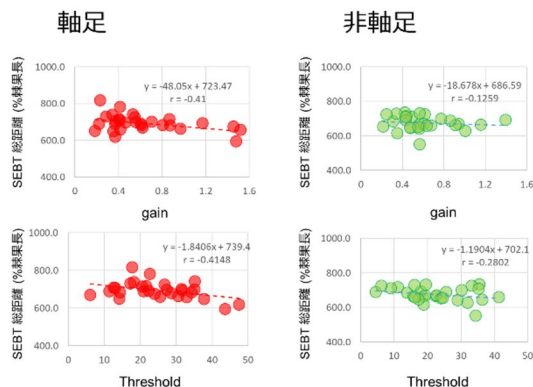


図 5. 軸足・非軸足における SEBT 総リーチ距離と最大傾斜 (gain) および閾値との関係性。軸足において、SEBT 総リーチ長と gain、閾値に負の相関関係を認めた。

(3) 皮質運動マップ課題：

健康な大学生を対象に、下肢筋群（RF、TA）を標的とした皮質運動マップ面積、および片脚立位バランス能力をそれぞれ評価した。また、RF と TA との皮質運動マップ領域の重複度合いも検証した。単純な RF と TA の皮質運動マップ領域の重複面積と片脚立位バランス時の COP 軌跡長、移動速度には有意な関係性は認められなかった。また、大腿部の関りとして、RF の皮質運動マップ面積と片脚立位バランス能力にも有意な関係性は認められなかった。一方で、下腿部に関して、TA の皮質運動マップ面積と COP 軌跡長、移動速度にそれぞれ有意な負の相関が認められた ($r = -0.693, p < 0.001$; $r = -0.673, p = 0.0011$)。以上より、TA の皮質運動マップが広いほど、片脚立位バランス能力が高い可能性が示唆された。

本研究では、スポーツ外傷受傷後まで皮質運動マップ領域を検証することができなかったため、今後さらにスポーツ外傷後の可塑的変容を検証していく必要がある。しかしながら、片脚立位バランス能力と皮質運動マップ領域の関係性を考慮すると、TA の巧緻性につながるようなリハビリテーショントレーニングを実施することで皮質運動マップ領域の改善ならびにバランス機能の改善を含めたスポーツ外傷再受傷予防につながる可能性が示唆された。

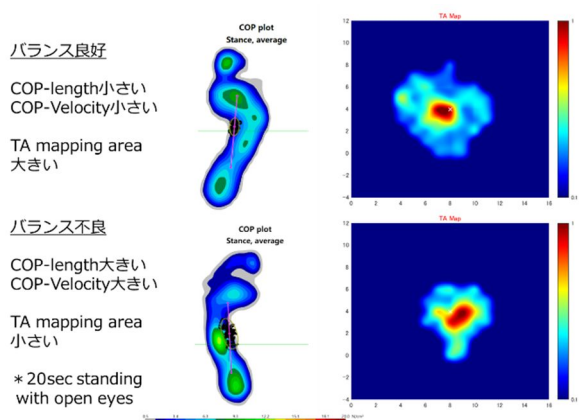


図 6. 左図：片脚立位バランス課題（20 秒間）における足圧中心 COP の変化。右図：TA の皮質運動マップ面積の比較。

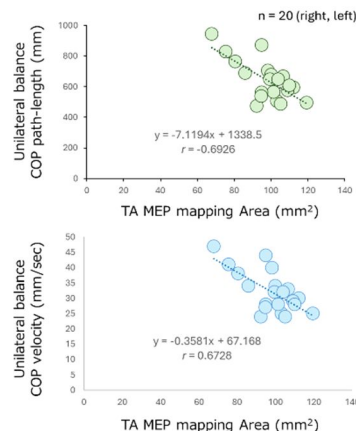


図 7. TA の皮質運動マップ面積と片脚立位バランス能力（上段：COP 軌跡長、下段：COP 移動速度）の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 二橋元紀、伊藤新、関口浩文
2. 発表標題 大学女子バスケットボール選手における 慢性足関節不安定性と皮質脊髄路興奮性の関係
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関口浩文、佐々木睦、竹内成生、宮崎真、二橋元紀、門田宏、山中健太郎、野崎大地、中澤公孝
2. 発表標題 脳機能マップの筋間における重複面積が広いほど新規な運動スキル学習は速い
3. 学会等名 第52回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 二橋元紀、関口浩文
2. 発表標題 軸足・非軸足の動的バランス機能と皮質脊髄路興奮性との関係性
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関口浩文、佐々木睦、二橋元紀、門田宏
2. 発表標題 左右脳機能マップと両手協調運動によるスキル学習との関連性
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会学術大会第50回記念大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 二橋元紀
2. 発表標題 足関節捻挫受傷後の皮質脊髄路興奮性の変容
3. 学会等名 第28回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 二橋元紀、関口浩文、小宮山伴与志
2. 発表標題 皮質脊髄路興奮性と足関節捻挫受傷リスクに関する前向き検討
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会 (in 筑波)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------