

2. 下肢の疲労骨折に対する 低出力超音波パルスの効果

Low-intensity pulsed ultrasound for lower limb stress fractures

根井 雅*^{1,2}, 笹原 潤*^{1,2}, 宮本 亘*^{1,2}, 豊岡青海*^{1,2}
塚田圭輔*^{1,2}, 安井洋一*^{1,2}, 中川 匠*^{1,2}, 河野博隆*^{1,2}

●はじめに

下肢の疲労骨折はランニング競技を行うアスリートにおいて発生頻度が高いスポーツ傷害のひとつである¹⁾。下肢の疲労骨折に対する従来の保存治療は、「患部」の安静と、消炎鎮痛剤の投与や足底板の処方、再発予防の理学療法を行う「患部外」へのアプローチが一般的であるが、症状が長期化して治療に難渋する症例も多い²⁾。しかし、アスリートの疲労骨折の治療に関しては、競技中止による安静期間をいかに短縮できるかどうかということが求められることが多く、医療現場で忸怩たる思いをすることも少なくなかった。そのような中、より積極的な保存治療として、「患部」へ直接アプローチできる低出力超音波パルス (Low Intensity Pulsed Ultrasound, 以下 LIPUS) が注目されてきている。

本稿では、下肢の疲労骨折に対する LIPUS 療法のエビデンスおよび臨床応用のポイント、自験例の臨床研究に関して報告する。

●エビデンス

LIPUS 療法は、体表に置いた治療ヘッドから照射される断続的超音波 (パルス波) が骨折部を機械的に刺激することにより、骨癒合期間を短縮させる非侵襲的な治療法である³⁾。1983年に Duarte ら⁴⁾が、極めて出力の弱い超音波をパルス状にして

ウサギの骨切りモデルに照射すると、骨折治癒過程が促進することを報告した。これをもとに LIPUS を用いた超音波骨折治療器が米国で開発され、本邦では 1998 年に「難治性骨折」が LIPUS 療法の保険適応となり、2008 年には「観血的手術症例に対する新鮮骨折」も保険適応となった。また、LIPUS には骨芽細胞や軟骨細胞の分化を促進する効果があることが報告されており⁵⁾、新鮮骨折や難治性骨折のみならず、疲労骨折に対しても効果があると考えられる。

疲労骨折に対する LIPUS の有効性に関する研究も多数報告されている。Uchiyama ら⁶⁾は、跳躍型の脛骨骨幹部疲労骨折の 5 例に対して 20 分/日で連日 LIPUS を照射したところ、従来の保存治療と比較して成績が明らかに優れていた (競技復帰：平均 3 か月、疼痛消失：平均 3.8 か月、骨癒合：平均 11 か月) と報告している。また Li ら⁷⁾は、ラットの尺骨疲労骨折モデルを用いて LIPUS の効果を調べたところ、骨癒合を促進する効果があったと報告している。

一方で、疲労骨折に対する LIPUS の効果はなかったと結論付けている研究も報告されている。Gan ら⁸⁾は脛骨・腓骨・中足骨疲労骨折 23 例に対して、Rue ら⁹⁾は脛骨疲労骨折 43 例、LIPUS の効果を検証するためにランダム化比較試験を行ったところ、臨床所見や画像所見において有意差はなく、疲労骨折に対する LIPUS の効果はなかったと結論づけている。

この研究の限界として、両者ともに LIPUS のターゲティングの方法について言及していないこ

*1 帝京大学スポーツ医科学センター

*2 帝京大学整形外科科学講座

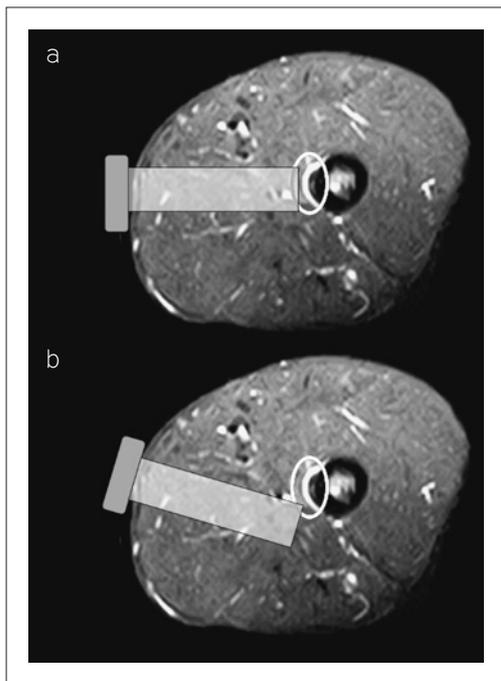


図 1 左大腿 MRI (STIR 水平断)：灰色四角 (治療ヘッド)，淡灰色四角 (LIPUS の照射方向)，丸 (疲労骨折部)
 a：適切な照射方法
 b：不適切な照射方法
 大腿骨は皮膚から骨までの距離が長い
 ため，b のように治療ヘッドの方向が
 少しずれるだけで，骨折部に適切に照
 射できなくなる．そのため a の方向に
 照射できるように超音波画像診断装置
 で指導する．

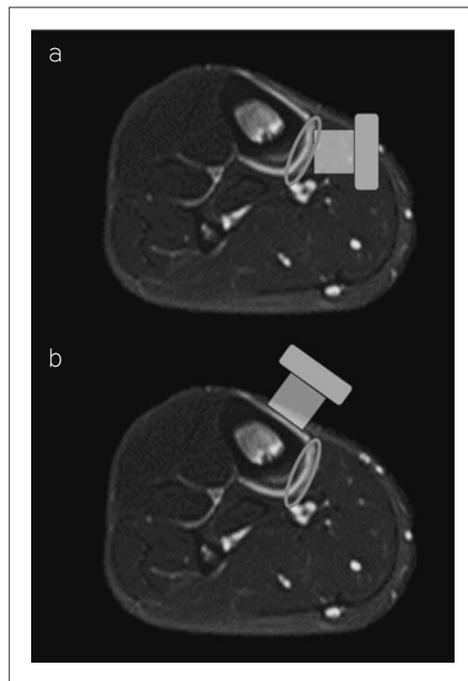


図 2 右下腿 MRI (STIR 水平断)：灰色四角 (治療ヘッド)，淡灰色四角 (LIPUS の照射方向)，丸 (疲労骨折部)
 a：適切な照射方法
 b：不適切な照射方法
 脛骨疲労骨折 (疾走型) は，脛骨の内側
 後面から発生する．b のように脛骨前
 面に治療ヘッドを置いても，骨折部
 (内側後面) には照射されない．その
 ため a のように下腿内側から皮膚を
 押し付けるように治療ヘッドの角度
 や方向を超音波画像診断装置で指導
 する．

とが挙げられる．従来，LIPUS の照射位置は，LIPUS が骨折部へ照射されるように単純 X 線を用いて決定することがほとんどであった．しかし，単純 X 線をガイドとして用いた場合，X 線の照射方向と LIPUS の照射方向は必ずしも一致せず，大腿骨など皮膚から骨までの距離が長い場合は，骨折部に LIPUS が照射されないことがある (図 1)．また，骨ごとの特徴的な形状も考慮する必要がある．例えば，脛骨では疲労骨折の多くが疾走型に分類され，脛骨骨幹部遠位の後内側面から生じることが報告されている¹⁰⁾．この部位にピンポイントに照射するためには，LIPUS の治療ヘッドの照射方向を正確に指導する必要がある (図 2)．さらに中足骨など足部の疲労骨折は，骨が密集しており，治療ヘッドの照射面から垂直な一方向のみに照射されるため正確に病変部を捉えることは難しい．

このように，LIPUS 療法のポイントは照射方法であり，Gan や Rue らの RCT では骨折部に

LIPUS が適切に照射されていないことから，有意差が出なかった可能性があると考えている．

●臨床応用

LIPUS 治療器は，LIPUS を発生させる本体と患部へ LIPUS を照射するための治療ヘッドから構成されている．その使用方法は，治療ヘッドを皮膚の上から骨折部へ向けて当て，1 日 1 回 20 分間 LIPUS を照射する．LIPUS の照射位置は，LIPUS が骨折部へ照射されるように単純 X 線や超音波などを用いて決定する．LIPUS 照射は連日行って骨折部の癒合状況を定期的に確認し，十分な骨癒合が得られたと判断した時点で終了する．

我々は，上述したように骨折部へピンポイントな LIPUS 照射を行うために，超音波をガイドとして用いている．また，超音波を用いて初回の照射位置指導を行ったのちに，再診時にチェックする

と照射位置がずれているということもしばしば経験する。そのため外来で繰り返し指導することが重要であり、放射線の被爆がなく繰り返し使用できる超音波が有用である。

●臨床研究

我々は、大学長距離ランナーの下肢疲労骨折に対するLIPUSの効果をj知るために、当大学の長距離ランナーに発生した下肢疲労骨折に対して、疲労骨折部位ごとの競技復帰に要した期間を調査した。全例に対して上述した方法でLIPUS療法を実施し、制限なく練習を行えることを競技復帰と定義した。LIPUS治療器は帝人ファーマのセーフス®exogen®を用いた。

2016年4月から2019年3月の3年間に、当大学駅伝競走部に所属した延べ162名を対象とした。調査期間内に、下肢の疲労骨折は44件発生した。LIPUSによる合併症は生じなかった。最も多かったのが疾走型脛骨疲労骨折で25件、次いで大腿骨骨幹部疲労骨折が10件、中足骨疲労骨折(第2-4中足骨頸部から骨幹部)が7件であった。競技復帰に要した期間は、疾走型脛骨疲労骨折が9.9週(3-16)、大腿骨骨幹部疲労骨折が8.4週(3-17)、中足骨疲労骨折が6.7週(4-10)であった。

Millerらは全米大学体育協会：(National Collegiate Athletic Association：NCAA)に所属するトップアスリートの大学陸上部に対して保存治療を受けた選手に対する疫学調査を行っている¹¹⁾。Millerらは、下肢疲労骨折において部位別(脛骨、大腿骨、中足骨、舟状骨)では帰時時期に差はなく、平均12.9週(6-27)であったと報告している。LIPUS療法を行った本研究と比較すると、脛骨、大腿骨、中足骨の疲労骨折すべてにおいて治癒期間は短縮している傾向がみられ、LIPUSの下肢疲労骨折に対する有用性が示唆される結果であった。

●おわりに

2020年に東京オリンピック・パラリンピックが開催されることに伴い、本邦におけるスポーツへの関心が日々高まってきている。今後スポーツ人口が増えるにつれて、スポーツ傷害も増えていくことが予想される一方で、下肢の疲労骨折などのスポーツ傷害に対する医療体制は、整っているとは言えない。非侵襲的に疲労骨折の治癒を促進

2. 下肢の疲労骨折に対する低出力超音波パルスの効果

する可能性があるLIPUS療法は、今後、トップアスリートやスポーツ愛好家にとっても有用な治療法になると考えている。しかし、現在のところ本邦では疲労骨折に対する保険適応はない。今後、疲労骨折に対するLIPUS療法のエビデンスを構築していくために、さらなる質の高い臨床研究が求められる。

文 献

- 1) 大西順二. 陸上競技種目における骨折の疲労疫学. 臨床スポーツ医学. 2016; 33(4): 352-356.
- 2) Chen YT, Tenforde AS, Fredericson M. Update on stress fractures in female athletes: epidemiology, treatment, and prevention. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2013; 6(2): 173-181 doi: 10.1007/s12178-013-9167-x.
- 3) Heckman JD, Ryaby JP, McCabe J, et al. Acceleration of tibial fracture-healing by non-invasive, low-intensity pulsed ultrasound. *J Bone Joint Surg Am.* 1994; 76: 26-34.
- 4) Duarte L. R.. The stimulation of bone growth by ultrasound. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1983; 101: 153-159.
- 5) Ikeda K, Takayama T, Suzuki N, et al. Effects of low-intensity pulsed ultrasound on the differentiation of C2C12 cells. *Life Sci.* 2006; 79: 1936-1943.
- 6) Uchiyama Y, Nakamura Y, Mochida J, et al. Effect of low-intensity pulsed ultrasound treatment for delayed and non-union stress fractures of the anterior mid-tibia in five athletes. *Tokai J Exp Clin Med.* 2007; 32: 121-125.
- 7) Li J, Waugh L. J, Hui S. L, et al. Low-intensity pulsed ultrasound and nonsteroidal anti-inflammatory drugs have opposing effects during stress fracture repair. *J Orthop Res.* 2007; 25: 1559-1567.
- 8) Gan T. Y, Kuah D. E, Graham K. S, et al. Low-intensity pulsed ultrasound in lower limb bone stress injuries: a randomized controlled trial. *Clin J Sport Med.* 2014; 24: 457-460.
- 9) Rue J. P, Armstrong D. W. 3rd, Frassica F. J, et al. The effect of pulsed ultrasound in the treatment of tibial stress fractures. *Orthopedics.* 2004; 27: 1192-1195.
- 10) Matheson GO, Clement DB, McKenzie DC, et al.

シンポジウム 6 : 下肢疲労骨折の治療と予防～過去, 現在, 未来～

- Lloyd-Smith DR, MacIntyre Stress fractures in athletes: a study of 320 cases. *Am J Sports Med.* 1987; 15: 46-58 doi: 10.1177/036354658701500107.
- 11) Miller TL, Jamieson M, Everson S, et al. Expected

time to return athletic participation after stress fracture in division I collegiate athletes. *Sports Health.* 2018; 10(4): 340-344 doi: 10.1177 / 1941738117747868.