

スポーツにおける微弱電流刺激療法

ふじや ひろと
藤谷 博人

(受付：平成 29 年 9 月 21 日)

索引用語

微弱電流, マイクロカレント, 修復, 再生

はじめに

スポーツ外傷には、骨折、脱臼、靭帯損傷、腱損傷、骨格筋損傷、打撲等の運動器の外傷がみられるが、特に軟部組織損傷は競技種目に関わらず治療対象となるケースがきわめて多い¹⁾。一般にスポーツ選手は、受傷後、スポーツ現場への可及的な早期復帰を一樣に渴望するものであるが、これは治療する上で留意すべき重要なポイントである。実際、治癒までに数ヶ月以上を要するようなケースは、競争の多いスポーツ界においては、選手にとって非常に深刻な問題となっている²⁾。

近年、組織損傷に対してその治癒を促進させる手法に関する研究報告が多くみられている。骨折に対してはすでに、超音波刺激 (LIPUS: Low-intensity pulsed ultrasound) の効果について多くの基礎研究がなされ、現在では臨床の現場でも広く利用されており、主に難治性の骨折に対する 1 つの治療手法として確立された^{3,4)}。一方、スポーツにおいてよくみられる靭帯、腱、骨格筋等の軟部組織損傷に対しては、主に微弱電流刺激 (MENS: Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation)^{2,5,6)}、高気圧酸素 (HBO: hyperbaric oxygen)^{7,8)}、あるいは自己多血小板血漿 (PRP: autologous platelet-rich plasma)^{9,10)}等の関与が近年注目されている。これらの手法の中で、HBO についてはその大規模で高価な施設設置の問題、安全性の管理、高額な使用料等から現時点では全ての

選手に対して汎用される標準的治療方法ではない。また、PRP は未だその最適な投与内容 (血小板濃度、濃縮率、血小板総数等)、方法、条件等が確立しておらず、また高額な治療費用、治療効果の確実性という点でも今後も多くの臨床および基礎研究が必要とされている⁹⁾。

1. 微弱電流刺激療法とは

微弱電流刺激療法 (以下、微弱電流) はマイクロカレントとも呼ばれ、組織には知覚的に無感覚の μA レベルの非常に微細な電流による電気刺激療法である (図 1)。筋の収縮等は一切みられない。歴史的にはすでに 1970 年代より学術的研究が一部みられたものの、主にスポーツ現場でのトレーナーによる選手ケアの目的で使用されてきた¹¹⁾。実際の治療機器はコンパクトで選手個人が携帯できるタイプもあり、使用方法も簡便で、特に副作用も無く安全であり、また実際問題として HBO や PRP よりも治療費用が安価で経済的な利点もある。以前から、靭帯損傷、腱損傷、打撲傷、肉ばなれ等の軟部組織損傷において、受傷直後から使用することにより早期に競技復帰可能となるケースが多いことが、主にスポーツの限られた現場で多く経験されてきた²⁾。

2. 微弱電流のメカニズム

微弱電流の生体組織への作用メカニズムについては、ATP 生成の増加が関与しているとの報告がある。Cheng らは、電流刺激によるラット皮膚組織での ATP 生成を観察した結果、 $500 \mu\text{A}$ では増加し、

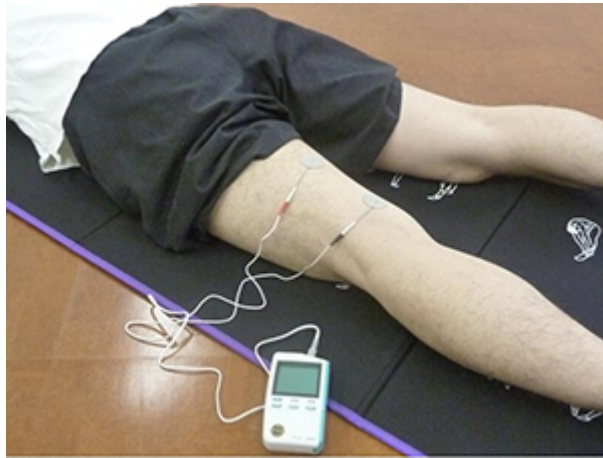


図1 肉ばなれ(ハムストリング)に対する微弱電流刺激療法

1000 μA 以上では低下し、出力が小さいと ATP 産生の効果は大きく 50 μA ~1000 μA では未処置よりも 3~5 倍に増加したと報告した¹²⁾。また宮崎らは、微弱電流の効果はミトコンドリアにおける電子伝達系に働き ATP 合成を促進させるのではないかと推測している¹³⁾。しかしながら、微弱電流の詳細な作用メカニズムについては未だ明らかでない。

3. 微弱電流の効果

微弱電流には主な効果として、a. 除痛効果¹¹⁾¹⁴⁾、と b. 損傷組織の治癒促進効果⁵⁾⁶⁾¹⁵⁻¹⁷⁾の2つがあるとされている。

a. 除痛効果

Curtis は、35 人の健常人に対して eccentric トレーニングをさせた後に微弱電流 (20 分間) を施行すると、その後の遅発性筋痛は有意に少なくなったと報告した¹¹⁾。また Larner は、慢性腰痛患者 40 人に対し微弱電流刺激を実施した群と実施しなかった群に分けてその効果をみた結果、微弱電流 (1 μA 以下) を実施した群は、実施しなかった群に比べ 37.26% 腰痛が軽減したと報告した。また、2 ヶ月後においても微弱電流を実施した群では 75.22%、実施しなかった群では 6.30% 軽減したとしている¹⁴⁾。

b. 損傷組織の治癒促進効果

一方、微弱電流の治癒促進効果については諸家による先行研究がみられるが、その対象組織としては皮膚潰瘍、褥創、創傷、腱、靭帯、そして骨格筋の

損傷が挙げられている。

1) 皮膚潰瘍 (skin ulcer)

Gault は、阻血性皮膚潰瘍患者 106 名に対し微弱電流 (200~800 μA) の効果を検討した結果、コントロール群に比べほぼ 2 倍の早さで治癒したとしている¹⁵⁾。

2) 褥創 (decubitus)

Carley は、30 人の膝下あるいは仙骨部の褥瘡患者に対し、Low intensity direct current (200~800 μA) を週 5 日、1 日 2 回 (2 時間/回)、5 週間実施したところ、通常の処置よりも 1.5~2.5 倍有意に早く修復されたことを報告した。またその病変部は、デブリードメントは不要で、瘢痕組織もより弾力性に富み感染も認められなかったとしている¹⁶⁾。

3) 創傷 (wound)

Huckfeldt は、熱傷後に皮膚移植をした 30 人に対し微弱電流 (50 μA ~100 μA) を実施して、その移植片の着生するまでの時間を観察した。その結果、微弱電流の実施群は 4.6 日と、対照群の 7.2 日に比較し 36% 治癒時間が短縮されたと報告している¹⁷⁾。

4) 腱 (tendon)

Nessler は、ウサギの Deep flexor tendon を摘出、横切、修復を行い、その後の生長を無細胞培養環境下にて、7 μA の継続した電流刺激にて観察したところ、腱の修復の指標となる (¹⁴C) proline, および (¹⁴C)

hydroxyproline の活性が、それぞれ 91%, 255% 増加したことを報告している。またさらにこの現象は、42 日まで継続したと述べている⁵⁾。また Owoeye は、ラットのアキレス腱切断後、微弱電流にてその修復過程を観察した結果、40 μA 程度の小さい電流に修復効果が強く、電流が大きくなるにつれ効果が減弱すると報告した⁶⁾。

5) 靭帯 (ligament)

宮崎らは、膝内側側副靭帯損傷 (単独 2 度損傷) 患者 18 例に対して、膝装具固定を 3 週間施行し、微弱電流 (出力 30 μA , 周波数 0.3 Hz, パルス幅 25 msec) を実施した群 (8 例) は、微弱電流を実施しなかった群 (10 例) よりも、除痛効果、運動機能 (Lysholm score) の改善が有意にみられたと報告している¹³⁾。

6) 骨格筋 (skeletal muscle)

骨格筋についてはこれまで長く基礎研究報告はなかったが、最近になり動物実験による詳細な報告がみられている。

Fujiya らは、マウスの骨格筋損傷モデルを用いて、筋損傷後早期の筋再生過程における微弱電流 (出力 10 μA , 周波数 0.3 Hz, パルス幅 250 msec) の修復促進効果について、組織学的および分子生物学的に検討した。その結果、微弱電流は筋再生に中心的な

役割りを担う筋衛星細胞を増加させるとともに、筋タンパク合成を刺激し筋線維断面積を増大させ (図 2), 損傷骨格筋の再生を促進することを明らかにした²⁾。また Yoshida らは、微弱電流と、一般にスポーツ現場の救急処置に用いられるアイシングとの併用が、損傷骨格筋の再生過程に及ぼす影響について検討した。その結果、アイシングは疼痛、腫脹を軽減 (炎症抑制) させ、また一方で損傷組織の治癒を遅延させるとの報告があるが¹⁸⁾¹⁹⁾、この両者の併用にて、アイシングの治癒遅延作用を抑制することが確認された。したがって、微弱電流とアイシングの併用は疼痛と腫脹を抑制し、また損傷骨格筋の修復を促進できる、現場に即した有用な方法であるとした²⁰⁾。また Kudo らは、微弱電流にさらに HBO を加え、骨格筋損傷の修復促進効果を検討した。その結果、筋線維断面積の増大が一部に認められ、微弱電流に HBO を加えると微弱電流単独よりも、骨格筋損傷の修復がさらに促進する傾向があると報告している²¹⁾。

4. 微弱電流の今後

微弱電流は靭帯損傷、腱損傷、創傷、骨格筋損傷等の軟部組織損傷に対し、これまでの研究成果によれば、その修復促進効果は十分期待できるものである。しかしながら、微弱電流の作用機序、あるいは様々な損傷組織に対する微弱電流の至適な刺激強度、

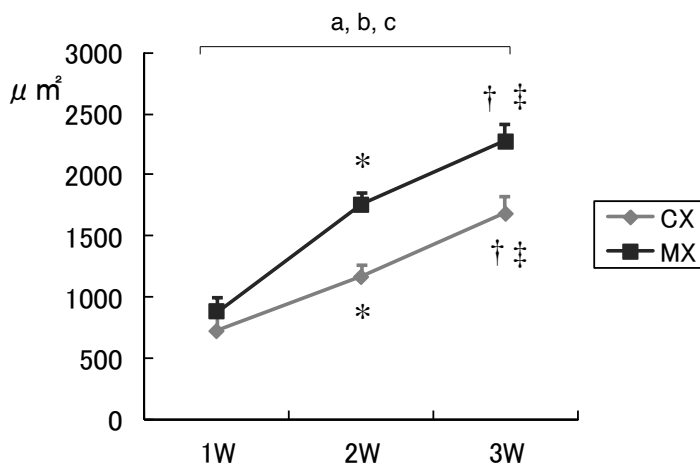


図 2 微弱電流によるマウス損傷骨格筋 (前脛骨筋) の筋線維断面積の経時的变化
CX 群 (コントロール) よりも MX 群 (微弱電流施行) の方が、刺激後 2 週, 3 週において筋線維断面積は有意に大きかった (文献 2 より抜粋)。

等については今後さらなる検討が必要であろう。

現状において微弱電流は、HBOやPRPよりも受傷直後からすぐに、またいつでも簡便に使用することができ安価で安全性も高い。これまで微弱電流は限られたスポーツ現場で主に使用されていたこともあり、一般の整形外科医にはその詳細の多くは知られていなかった感があるが、今後は一般医療機関でも積極的に使用する価値のある治療手法と思われる。現在、軟部組織損傷に対する標準的な治療法としては、局所安静を主とした保存療法が教科書的であるが、今後は受傷直後から微弱電流を導入させる、いわゆる積極的保存療法が新しい治療法となる可能性もある。

またさらに、スポーツ選手のみならず一般の患者に対しても早期治癒を促すことにより、治療期間の短縮による国民医療費の削減にも寄与することができ、医療経済の面からもその有用性はきわめて高いと思われる。

文 献

- Peterson L and Renstoröm P. Injuries to musculoskeletal tissues, Peterson L and Renstoröm P, Sports injuries, 3rd ed, Martin Dunitz Ltd, London, 2001; 4–61.
- Fujiya H, Ogura Y, Ohno Y, Goto A, Nakamura A, Ohashi K, Uematsu D, Aoki H, Musha H, Goto K. Microcurrent electrical neuromuscular stimulation facilitates regeneration of injured skeletal muscle in mice. *J Sports Sci Med* 2015; 14: 297–303.
- Padilla F, Puts R, Vico L, Raum K. Stimulation of bone repair with ultrasound: a review of the possible mechanic effects. *Ultrasonics* 2014; 54: 1125–1145.
- Warden SJ. A new direction for ultrasound therapy in sports medicine. *Sports Med* 2003; 33: 95–107.
- Nessler JP and Mass DP. Direct-current electrical stimulation of tendon healing in vitro. *Clin Orthop Relat Res* 1987; 217: 303–312.
- Owoeye I, Spielholtz NI, Fetto J, Nelson AJ. Low-intensity pulsed galvanic current and the healing of tenotomized rat achilles tendons: preliminary report using load-to-breaking measurements. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68: 415–418.
- Babul S, Rhodes EC, Taunton JE, Lepawsky M. Effects of intermittent exposure to hyperbaric oxygen for the treatment of an acute soft tissue injury. *Clin J Sports Med* 2003; 13: 138–147.
- Horie M, Enomoto M, Shimoda M, Okawa A, Miyakawa S, Yagishita K. Enhancement of satellite cell differentiation and functional recovery in injured skeletal muscle by hyperbaric oxygen treatment. *J Appl Physiol* 2014; 116: 149–155.
- Foster TE, Puskas BL, Mandelbaum BR, Gerhardt MB, Rodeo SA. Platelet-rich plasma: from basic science to clinical applications. *Am J Sports Med* 2009; 37: 2259–2272.
- McCarrel TM, Mall NA, Lee AS, Cole BJ, Butty DC, Fortier LA. Considerations for the use of platelet-rich plasma in orthopedics. *Sports Med* 2014; 44: 1025–1036.
- Curtis D, Fallows S, Morris M, McMakin C. The efficacy of frequency specific microcurrent therapy on delayed onset muscle soreness. *J Bodyw Mov Ther* 2010; 14: 272–279.
- Cheng N, Van Hoof, H, Bockx, E, Hoogmartens, M, Mulier, JC, De Dijcker, FJ, Sansen, WM, De Loecker W. The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis and membrane transport of rat skin. *Clin Orthop Relat Res* 1982; 171: 264–272.
- 宮崎誠司, 佐藤宣踐, 橋本敏明, 白瀬英春, 山下泰裕, 中西英敏, 上水研一朗, 恩田哲也, 中村豊. 微弱電流刺激(MENS)の臨床的効果. 東海大学紀要体育学部 2007; 37: 91–95.
- Larner FN and Kirsch DL. A double blind comparative study of microstimulation and placebo effect in short term treatment of the chronic back pain patient. *J Am Chiropr Assoc* 1981; 15: 101–106.
- Gault WR and Gatens PF Jr. Use of low intensity direct in management of ischemic skin ulcer. *Phys Ther* 1976; 56: 265–269.
- Carley PJ and Wainapel SF. Electrotherapy for acceleration of wound healing: low intensity di-

- rect current. *Arch Phys Med Rehabil* 1985; 66: 443–446.
- 17) Huckfeldt R, Flick AB, Mikkelsen D, Lowe C, Finley PJ. Wound closure after split-thickness skin grafting is accelerated with the use of continuous direct anodal microcurrent applied to silver nylon wound contact dressing. *J Bone Care Res* 2007; 28: 703–707.
- 18) Takagi R, Fujita N, Arakawa T, Kawada S, Ishii N, Miki A. Influence of muscle regeneration after injury to skeletal muscle in rats. *J Appl Physiol* 2011; 110: 382–388.
- 19) Ito T, Fujiya H, Goto K, Ogura Y, Kurosaka M, Yatabe K, Kishiro S, Yoshida A, Yoshioka H, Terauchi K, Beppu M, Funabashi T, Akema T, Musha H. Icing at ealy stage depresses skeletal muscle regeneration. *J St. Marianna Univ* 2013; 4: 61–67.
- 20) Yoshida A, Fujiya H, Goto K, Kurosaka M, Ogura Y, Yatabe K, Yoshioka H, Terauchi K, Funabashi T, Akema T, Niki H, Musha H. Regeneration of injured tibialis anterior muscle in mice in response to microcurrent electrical neuromuscular stimulation with or without icing. *J St. Marianna Univ* 2015; 6: 103–113.
- 21) Kudo T, Fujiya H, Goto K, Kurosaka M, Ogura Y, Yatabe K, Ohno M, Kobayashi H, Niki H, Musha H. Effect of combination microcurrent electrical neuromuscular stimulation and hyperbaric oxygen therapy on the regeneration of injured skeletal muscle in mice. *J St. Marianna Univ* 2017; 8: (in press).