

电刺激促进骨折愈合的历史和现状

History and advancement of promotion of fracture healing with electric stimulation

宋亚文¹ 谢利民²

SONG Yawen, XIE Limin

【关键词】 骨折愈合; 电生理学 【Key words】 Fracture healing; Electrophysiology

近年来,人们对骨折愈合过程的认识到了分子生物学水平。伴随着人们对其修复过程认识的不断深入,国内外专家学者也在不断地从各个方面探求促进骨折愈合的方法。电刺激作为传统的治疗骨折和骨不连的有效手段,一直是临床骨科研究和应用的热点,而且随着研究的深入,它也不断地得到改进,不断地融入了各种医学理论,本文将就其发展过程及现状作一综述。

1 在骨的压电效应理论指导下的电刺激成骨

虽然在 1812 年 Horshorne 就首先尝试电刺激方法治疗骨不连并取得一定进展,但他并没有一定的理论基础。直到 1953 年 Yasuda^[1]报道了干骨存在压电效应,人们才开始重视骨和电的关系。后来 Yasuda^[2]又继续对活体骨的电特性进行了深入的研究。初步认识到骨的机电效应在骨生长、修复及重建过程中的作用。到了 20 世纪 60 年代初, Bassett 等^[3]在测量湿骨机电效应的过程中,发现在骨悬臂梁试验中,梁的压缩侧和拉伸侧分别为负电位和正电位。此后他们的进一步实验结果还表明微安级电流诱导就能够加速新骨的形成,且形成的新骨位于阴极附近。所以他们认为负电荷能引起骨生长,正电荷可以引起骨吸收。在这种实验结果的启发下, Friedenberg^[4]和 Bassett 等^[5]分别于 1971 年和 1974 年报道了运用电刺激治疗骨折不愈合、先天性假关节获得成功。不久 Brighton 也用直流电针刺刺激成骨获得成功并探讨了其作用机制。

在治疗过程中他们发现在阳极附近有坏死,阴极也有排斥和感染等不良反应发生。研究者们就对刺激所用电流、电极进行研究,试图避免不良反应的发生。Friedenberg 等^[6]进行了系统的研究后认为电流强度的适宜范围为 5~20 μA ,大于 20 μA 会引起骨坏死,小于 5 μA 则无新骨形成,20 μA 成骨效果最好。后来多数研究者都采用 10~20 μA 的直流电刺激水平。对于这一点,我国学者倪蓉祥等^[7]在动物试验中选用 150 m μA ~100 μA 之间的 10 种电流量对家兔骨缺损进行刺激,发现每一种电流量都有新骨形成,同时他还建议用多阴极刺激。王虎等^[8]用自制脉冲电流刺激仪输入 20 μA , 30 Hz 的脉冲电流在阳极和阴极都未发现骨坏死。一般阴极使用的材料有不锈钢、铂、金、银、钛、铂-铱、钒等,阳极一般用非金属材料碳素,并放在骨折局部的表面皮肤上。电针促进骨折愈

合的机制总结起来有如下几点:①阴极的负电位促进骨生成,电位的改变可以导致成骨细胞的分化或再分化^[9]。②使局部血液循环增加,加快骨折端血肿机化吸收^[8]。③促进钙盐沉着,加速钙化过程^[10]。④由于电解作用造成阴极周围氧张力减低和 pH 值升高,促进毛细血管长入^[11]。但是这些电刺激方式都需要将针极通过手术置入骨折中心,存在创伤、感染等缺点,而且疗效不太肯定。

2 在神经-体液理论指导下的电刺激成骨

神经系统对机体各组织、器官及系统的发生、发育过程起介入及调控作用,当然骨组织也不例外,人们对骨组织中神经的认识起于 19 世纪末,1880 年 Variot 和 Remy 利用组织学的方法第一次在人和动物的体内观察到骨神经,而且神经常位于血管附近。到了 20 世纪中期 Hurrell^[12]和 Sharman^[13]发现许多有髓和无髓的神经支配骨组织和骨膜。Hurrell 还通过研究成骨细胞附近的神经纤维,推测这些神经纤维与骨的塑形和生长有关。近年的研究表明大鼠在出生时骨组织就受自主神经和感觉神经的支配,而且神经纤维的生长与骨的骨化过程平行^[14,15]。不仅如此,临床上还发现截瘫和颅脑损伤患者若伴有骨折则骨折愈合速度明显快于正常人,而且常有骨痂的过度生长。这一系列神经解剖上的发现和临床现象的观察使人们想到尝试用刺激神经的方法来促进骨折的愈合。

1986 年 Osterman 等^[16]运用周围神经功能性电刺激促进骨折愈合获得成功,试验组比对照组愈合速度明显加快。国内学者邓廉夫等^[17]也以实验性骨痂组织、细胞的形态学变化和骨痂骨系细胞的立体定量学分析为依据,评价周围神经功能性电刺激对骨折愈合过程的影响。他们运用电刺激坐骨神经周围来促进胫腓骨骨折的愈合。结果显示:周围神经功能性电刺激可使骨痂内毛细血管含量增加,骨生成细胞增殖并向成骨细胞转化,成骨细胞、成纤维细胞和破骨细胞的功能活跃,骨小梁形成与成熟提前,骨痂的骨化、改建及重建速率加快。他们还进一步探究了周围神经功能性电刺激促进骨折愈合的机制。用放射性核素示踪技术发现早期骨痂内胶原蛋白合成量增加,基质钙化迅速,完全骨性骨痂发生早^[18]。对于最佳刺激方式,一般认为宽波、低频的电流刺激可使周围神经发生有效去极化,而增强神经纤维的主动性活动,进而增强神经纤维的功能状态,使神经细胞的各种酶类活性增加、轴突运输加强、代谢旺盛,使所支配组织的毛细血管血流量增加。对

1. 中国中医研究院广安门医院骨科在读硕士研究生,北京 100053;

2. 中国中医研究院广安门医院骨科

于周围神经功能性电刺激促进骨折愈合的机制,邓廉夫等^[18]认为主要是通过加强神经末梢释放某些物质调整骨折处组织的代谢活动及细胞的 DNA、RNA 合成速率;使神经所支配的肌肉有规律的舒缩活动,使骨折段产生纵向微动刺激成骨。而微动可以刺激成骨已被 Goodship 等^[19]的实验证实。在以后的研究中要进一步研究刺激所用的最佳时间参数,电流的最佳强度、频率和波形等相关参数并探究神经末梢释放的神经肽调控骨折愈合过程的机制,以便更好地提高其临床疗效。周围神经功能性电刺激促进骨折愈合有无痛苦、无损伤、无感染、病人易接受等优点,所以有很高的研究和应用价值。

3 在针灸理论指导下的电刺激成骨

近年来电针治疗骨折取得很好的疗效,人们开始重视电刺激成骨理论与针灸理论的结合。1988 年张俊峰^[20]首先报道了用电针治疗骨折的病例。他认为电针不仅有促进骨折愈合的作用,还有消肿止痛的作用。后来许多针灸和骨科临床工作者在取穴、刺激方式及作用机制方面进行了广泛探讨和深入研究。在取穴上,张俊峰以骨折局部取穴和全身配穴相结合的方式为主,将电针的阴极放在骨折中心,正极放在骨折端上或下一个穴位。肱骨取肩俞、曲池;尺桡骨取曲池、合谷;股骨取血海、髀关;胫腓骨取足三里、解溪。全身配穴取内关、合谷、足三里、阳陵泉。他认为针刺促进骨折愈合主要作用在骨折局部,配穴主要是调节全身机能。张作君等^[21]则以固定取穴与辨证取穴相结合,股骨骨折的固定穴位是环跳、血海、髀关、阴市;小腿是足三里、阳陵泉、悬钟、太冲,他们以超越骨折断端的上下穴为正负极。他们认为针刺主要是增进饮食、调整体质、通调二便、消肿止痛,间接促进骨折愈合。熊芳丽等^[22]取大杼、膈俞促进骨折愈合,他们取穴的依据是:骨会大杼,可以舒筋壮骨;血会膈俞,可以调血活血、祛瘀生新,从而有利于骨折的愈合。邹志军等^[23]用巨刺法,取健侧太冲、太溪、足三里、绝骨、急脉、环跳、阳陵泉和其门穴治疗股骨颈骨折延迟愈合。祁晓华等^[24]在实验过程中取患侧的曲池、合谷、双侧三阴交(透绝骨),他们取穴的依据是:邻近穴可以调和气血、疏经通络,还可以通过使患肢肌肉有节律的舒缩,使骨折段产生纵向微动刺激成骨,三阴交可以养血活血。张俐等^[25]在实验过程中取患侧的曲池、合谷、足三里、太溪,他们取穴的依据是:邻近穴曲池、合谷可以疏经通络,足三里、太溪可以补肾益精从而促进骨折的愈合。

在临床疗效方面,张俊峰^[20]报道电针组与对照组相比骨折后的疼痛、肿胀等症状和体征的持续时间明显缩短,新鲜尺桡骨骨折临床愈合时间比公认的提前 22 d,股骨干骨折提前 14 d,13 例陈旧性骨折及延迟愈合骨折全部愈合。张作君等^[21]通过观察患者的饮食、二便、叩压痛、骨痂强度(触摸骨折断端的活动度)、骨痂生长情况(X 线评分)及下床活动情况来比较试验组与对照组疗效的差别,结果发现治疗组的各个指标均比对照组好,有显著性差别($P < 0.01$)。在疗效上,我们还需要设计严格的随机对照实验和评价方法来评价其疗效。在刺激方法上,张俊峰^[20]用 20~40 μA , 2~3 Hz 的脉冲直流电,每次 20 min,每天 1 次,初期强刺激,中后期弱刺激。祁晓华等^[24]在试验中第一周用 10 μA , 频率为每分钟 70 和 140 Hz 的疏密波(或以局部肌肉出现收缩为准),每次 15 min,

每天 1 次,第二周改用断续波,刺激强度为 6 μA (或以针身颤动为准),隔日 1 次。在作用机制方面,张俐等^[25]通过试验证实针灸可以促进 Zn、Cu、Mn、Fe、Mg 等微量元素的吸收,提高其生物利用率以促进骨折。祁晓华等^[26]则证实针刺能够促进性激素、生长激素分泌,抑制骨折后肾上腺皮质功能的亢进,解除垂体-甲状腺轴的抑制来调节骨折愈合。张俐等^[27]还通过红外热像图观察认为针刺可以促进骨折局部血液运行,加快血肿机化速度,促进骨细胞的分化与增殖。在电针促进骨折愈合方面,目前尚缺少严格的随机对照试验来评价其疗效,而且在取穴和配穴方面各家报道不一,究竟何种方法更具优势或是各有不同的临床适用情况,有待今后进一步研究探讨。

纵观上述文献报道,大量的临床和实验都证实了电刺激在促进骨折愈合方面有很好的疗效,然而对于前面概括的三种理论指导下的电刺激成骨方法,目前尚没有相关研究对其疗效及可行性等方面进行综合的评价。今后在电刺激成骨的理论指导方面,我们要不断融入新的医学理论,寻求一种简便易行、无损伤、无痛苦、疗效好的方法。其实如果将前面说的三种理论结合起来指导电刺激成骨,电极用针灸针,选骨折局部的阿是穴和相邻的局部解剖有支配骨折神经的穴位为刺激穴位,那么对其疗效的提高和应用的便捷会有帮助的。当然在电流的强度、波形、频率等方面也要做进一步的研究和探讨。相信以后随着电刺激成骨疗效的提高,它会得到更加广泛的临床应用。

参考文献

- 1 Yasuda I. Fundamental aspects of fracture treatment. J Kyoto Med Soc, 1953, 4: 395.
- 2 Yasuda I. Piezoelectricity of living bone. J Kyoto Pref Univ Med, 1953, 53: 325.
- 3 Bassett CAL, Becker RO. Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress. Science, 1962, 137: 1063-1064.
- 4 Friedenber ZB. Healing of nonunion of the medial malleolus by means of direct current. J Trauma, 1971, 11: 883-889.
- 5 Bassett CAL, Pawluk RJ, Pilla AA. Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields. Science, 1974, 184: 575.
- 6 Friedenber ZB, Andrews ET, Smolenski BI, et al. Bone reaction to varying amounts of direct current. Surg Gynecol Obstet, 1970, 131: 894-899.
- 7 倪蓉祥, 赵泰庆, 陈植, 等. 电刺激促进骨愈合的实验和临床观察. 中华外科杂志, 1982, 20(2): 103-105.
- 8 王虎, 葛宝丰, 杨晓鸿, 等. 全植入脉冲刺激器促进骨折愈合实验研究及临床应用. 中华骨科杂志, 1988, 8: 115-117.
- 9 Becker RO. Boosting our healing potential. In: Nauk WH. Science Year. Field Enterprises, 1975. 41-45.
- 10 Qian W, Pud S. Osteogenesis of electrically stimulated bone cells mediated in part by calcium ions. Clin Orthop and Related Research, 1998, 348: 259-268.
- 11 Brighton CT, Krebs AG. Oxygen tension of healing fractures in the rabbit. J Bone Joint Surg (Am), 1972, 54: 323-332.
- 12 Hurrell DJ. The nerve supply of bone. J Anat, 1937, 72: 54-61.
- 13 Sharman MS. The nerves of bone. J Bone Joint Surg (Am), 1963, 45: 522-528.
- 14 Sisask G, Bjurholm A, Ahmed M, et al. The development of auton-

- ic innervation in bone and joints of rat. J Auton Nerv Syst, 1996, 59: 27-33.
- 15 Sisask G, Bjurholm A, Ahmed M, et al. Ontogeny of sensory nerves in the developing skeleton. Anat Rec, 1995, 243: 234-240.
- 16 Osterman AL, Bora FW. Electrical stimulation applied to bone and nerve injuries in the upper extremity. Clin Orthop (North Am), 1986, 17(3): 353-364.
- 17 邓廉夫, 成义仁, 马璟, 等. 周围神经功能性电刺激对实验性骨折愈合的影响. 中国临床解剖学杂志, 1996, 14(2): 144-148.
- 18 邓廉夫, 李敬山, 马璟, 等. 周围神经功能性电刺激对实验性骨痂中胶原蛋白代谢及基质钙化的影响. 济南医学院学报, 1997, 20(1): 1-4.
- 19 Goodship AE, Norroddin N, Francis M. The stimulation of prostaglandin synthesis by micromovement in fracture healing. Micromovement in orthopaedics. London: Oxford, 1992. 31-34.
- 20 张俊峰. 针刺、脉冲直流电治疗骨折 44 例报道. 中国针灸, 1988, 8(2): 23-25.
- 21 张作君, 王俊欣, 成传德, 等. 针刺、艾灸促进骨折愈合的临床研究: 附 147 疗效分析. 中国针灸, 1992, 12(2): 7-10.
- 22 熊芳丽, 肖亚平. 针灸促进骨折愈合的临床观察. 中国针灸, 1997, 17(11): 685-686.
- 23 邹志军, 张建军, 马凤英. 巨刺疗法对股骨颈骨折延迟愈合的疗效观察. 中国中医骨伤科杂志, 1991, 1(3): 32-33.
- 24 祁晓华, 沈梅红, 聂明, 等. 电针对实验性骨折愈合作用的组织学观察. 针刺研究, 1998, 23(1): 61-65.
- 25 张俐, 移平, 吴炳煌, 等. 针灸对家兔微量元素的影响. 中国中医骨伤科杂志, 1999, 7(5): 1-4.
- 26 祁晓华, 沈梅红, 黄晔, 等. 针刺促进骨折愈合与“肾主骨”关系的初探. 中国针灸, 1999, 19(12): 747-750.
- 27 张俐, 张安桢, 移平. 针灸促进骨折愈合的红外热像图观察. 中国骨伤, 2001, 14(8): 468-469.

(收稿: 2003-05-27 编辑: 王宏)

第 11 届全国中西医结合骨伤科学术研讨会会议纪要

第 11 届全国中西医结合骨伤科学术研讨会于 2003 年 9 月 26 日至 2003 年 9 月 28 日在甘肃兰州举行。出席会议的除脊柱外科及神经外科医师外, 还有矫形医师、科研工作者等 330 人。内容涵盖微创理念、脊柱不稳、肿瘤、畸形、创伤的病因病理、基础研究、临床研究以及康复治疗等。其中, 微创骨科倍受重视。会议交流分为三种形式: 专题讲座、论文报告、学术交流。现将会议主要内容纪要如下。

1. 微创与新技术的临床应用

微创外科作为一门新兴学科, 将是 21 世纪医学发展重要方向, 这已成为医学界的公认。金鸿宾(天津市骨科医院)认为筋骨并重的核心是微创与无创理念的精髓写照, 特别在治疗骨折中尤其注意对软组织损伤的认识与处理, 对软组织损伤治以活血化瘀、消肿止痛、通理气血, 保持功能则要动静结合。在整复固定骨折时, 要注意对筋的保护及关照, 固定与活动要科学合理的统一, 要适度。而功能的康复更不能舍弃筋的动力功能。李盛华(甘肃省中医院)关于微创外科的目标: 对机体造成的局部和全身创伤达到最小, 应有最佳的内环境稳定状态, 最小的手术切口, 最轻的全身炎症反应, 最小的疤痕愈合, 微创外科必须以疗效为前提, 其疗效必须达到与传统手术相似、等同或更佳。同时强调微创外科作为一项新技术, 应积极而谨慎地开展。邹季(湖北中医学院附属医院)强调微创理念及技术与医学史的发展一脉相承, 是在新的历史条件下, 顺应时代发展的要求, 是对微创理念技术的继承和创新, 所有治疗环节都坚持把对病人身体损害降低到最低限度, 这是外科临床最基本的原则, 也是微创理念指导下必然的具体要求, 微创理念必须贯彻病人治疗的全过程。贾尔同(甘肃建筑职工医院)强调: ①微创观念是临床医学, 尤其是中医学的传统观念, 树立微创观念, 从来就是对外科医生的基本要求。②微创操作是在现代科技高度的基础上开拓而出的新领域, 是微创观念在具体技术上的体现。③骨科微创操作的进展较为滞后, 尤其是常见骨折的治疗, 尚未形成一个成熟的微创治疗体系。④微创操作的确实具有不可否认的优越性, 但在强调微创操作的同时, 也有一些认识的偏差与误区。⑤对骨科开展微创操作的一些建议: 理论体系, CO 学派的理论综合了中西医之长, 具有中国特色, 符合微创治疗的原则; AO 学派以生物力学观点为核心, 提倡借助坚强内固定 I 期恢复骨干骨折的解剖学连续性和生物力学的连续性, 达到骨折部位的 I 期愈合, 加压钢板是其代表作; BO 学派强调生物的、合理的治疗骨折。其核心是骨折治疗中充分考虑局部软组织血运, 固定坚强而无加压。

2. 脊柱微创

杜宁(上海第二医科大学附属瑞金医院骨科)腰椎间盘突出症病人的治疗顺序应是保守治疗、微创手术治疗、传统的开放手术治疗、人工椎间盘置换术、腰椎融合术。定位是腰突症手术的首要问题, 是手术成败的关键之一。滕蔚然(上海第二医科大学新华医院)认为胶原酶髓核溶解术治疗腰突症是一种微创手术, 掌握适应证和正确运用操作技术是提高疗效的关键。关宏刚(广东省佛山市中医院)MED 有直接切除髓核、创伤小、减压充分、可维持腰椎的稳定性等优点, 但 MED 是发展中的技术, 需改进器械、改良手术操作等, 以提高手术的安全性和疗效。万年宇(青岛市海军四〇一医院)运用小切口治疗腰突症合并椎体后缘骨块彻底松解神经根, 摘除髓核量必须达到直径 2 cm 手术效果好。

3. 中西医结合治疗骨折

孟和(中国中医研究院骨伤科研究所)回顾中西医结合治疗骨折的 45 年来, 他认为中西医结合治疗骨折具有不开刀、痛苦小、疗效好、费用低、疗程短等优点, 因而受到社会赞许, 也为西医同行所认同, 并正在走向国外骨科领域。张亦工(甘肃省中医院)运用形状记忆合金治疗各种类型骨折 90 例, 均取得良好的疗效, 认为缩短骨折愈合周期, 手术操作简便, 生物相容性优良, 理化性能优良, 适用范围扩大, 大大降低骨质疏松率。张春才(第二军医大学长海医院)认为髓白三维记忆内固定系统为粉碎的髓白获得解剖性重建, 提供了一种新而有效的内固定技术与方法。

4. 脊柱不稳

李鸿恩(山东省枣庄矿务局医院)认为激光汽化椎间盘组织时产生的热传导不会引起椎间盘周边组织烧灼, 本治疗是安全可靠的。杭柏亚(南京市中医院)认为激光的释放量可以适当加大, 单间隙最高可达 2 500 J, 临床医生还应根据病情及患者的耐受性灵活处理。刘定汉(宁夏银川市第一人民医院)认为治疗腰椎失稳, 有多种多样的方法, 新的技术方法是选用自体骨作植骨融合, 可在直视下充分减压, 利用腰桥及牵引后再嵌入植骨, 使椎间隙获得一定程度恢复亦扩大椎间孔及椎管容积, 有针对性的解除神经受压的作用。刘仲前(四川省人民医院)认为采用经后路全椎板切除减压、植骨、椎弓根螺钉系统治疗蜕变性腰椎管狭窄症及不稳优良率达 92%。李盛华(甘肃省中医院)运用经皮穿刺腰椎间盘激光汽化减压是目前治疗腰椎间盘突出症侵入性最小的手术。赵继荣(甘肃省中医院)强调非激素类抗炎剂及中医中药治疗慢性腰痛及下肢疼痛值得研究。争论的焦点是注射治疗腰突症的机制, 是目前注射治疗的发展趋势。