

骨折愈合的应力适应性研究

董福慧 关继超 赵勇 邹炳曾 尚天裕
(中国中医研究院骨伤科研究所,北京 100700)

【摘要】目的 探讨骨折端受力、肌肉动力、骨痂密度与骨折愈合的关系。方法 通过传感器电测技术与 X 线灰度分析的方法,从三个方面对骨折愈合的应力适应性进行了研究: 分别对 14 只 1 岁龄山羊进行了断端受力与骨折愈合的关系的研究; 对 10 只健康成年家兔进行了肌肉动力与骨折愈合的关系的研究; 对 56 只健康成年家兔进行了骨痂密度与骨折愈合的关系的研究。结果与结论 理想的骨折愈合与最佳的应力状态相适应; 肌肉动力是应力适应的反馈调节因素; 骨痂密度是应力适应的反馈结果。

【关键词】 生物力学 胫骨骨折 骨折愈合

Study of stress adaptability of fracture healing DONG Fu-hui, GUAN Ji-chao, ZHAO Yong, et al. Institute of Orthopaedics and Traumatology, China Academy of Traditional Chinese Medicine(Beijing, 100700)

【Abstract】 Objective To explore the relationship between local stress status, muscular motivation, callus density and fracture healing. **Methods** Stress adaptability of fracture healing was studied from three respects: 1. the relationship between fracture local stress and fracture healing was studied in 14 one year old goats; 2. the relationship between muscular motivation and fracture healing was studied in 10 health adult rabbits and 3. the relationship between callus density and fracture healing was studied in 56 healthy adult rabbits. Electric transducer technique and X-ray densitometry method were used in all the three groups of animals. **Results and Conclusion** 1. Ideal fracture healing should be adapted to the best stress status; 2. Muscular motivation is the biofeedback regulation factor of stress adaptability of fracture healing; 3. The density of callus is the result of biofeedback of stress adaptability of fracture healing.

【Key Words】 Biomechanics Tibial fractures Fracture healing

本文通过传感器电测技术与 X 线灰度分析的方法,探讨了骨折端受力、肌肉动力、骨痂密度与骨折愈合的关系,进而分析骨折愈合的应力适应性。

1 断端受力与骨折愈合的关系

用自行设计的加压测力装置,装于实验动物骨折模型。实施断端轴向加压,并观测在不同压力梯度下对骨折愈合的影响^[1,2]。

1.1 材料与方法

1.1.1 加压测力装置 由复位固定和施力测试部分组成,复位固定部分由两根支撑杆和两个半环组成,施力测试部分由簧式测力计及锁紧螺母组成。

1.1.2 动物模型 健康 1 岁龄山羊 14 只,体重 13~20kg,在后肢胫骨中点做横形截骨,在远近端各穿两枚直径 2.5mm 的

克氏针与骨干垂直。安装调整加压器,将针锁紧,通过簧式测力计给预定压力作用于骨折断端。本实验共用 28 条腿,其中 5 条腿未施加压力做对照组,余下 23 条腿分为 3 组给予不同压力:低应力组(0.1~0.3kg/mm²),中应力组(0.35~0.85kg/mm²),高应力组(0.87~1.1kg/mm²)。

术后 7 周将动物处死,取出完整胫骨,锯掉两端,用 NJ-SOB 扭转试验机做扭转强度测试。用 YD-15 动态电阻应变仪,SC16B 光线示波仪记录扭转曲线。

1.2 结果 从扭断后的胫骨观察到,断裂发生在截骨部,高应力组与低应力组周围外骨痂较少,断端间连续性骨痂亦不多。中应力组外骨痂呈环形分布,断端间有部分连接。对照组有较多梭形外骨痂。

扭转强度显示中应力组与其它两个试验组有显著差异($P < 0.05$),与对照组无显著性差异($P > 0.05$)。

2 肌肉动力与骨折愈合的关系

在骨折愈合过程中,肌肉动力作用非常复杂。它既能造成骨折再移位,又可稳定骨折促进愈合。本实验利用传感技术测量骨折前后肌肉动力和断端位移的变化,分析肌肉动力在骨折愈合中的作用^[3,4]。

2.1 材料与方法 自行设计扣带式肌力传感器和“S”形位移

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 19272068)

作者简介:董福慧(1951-),男,吉林人,博士,主任医师,博士生导师,中国中西医结合学会常务理事,中国中西医结合学会骨伤科专业委员会副主任委员。主要从事中西医结合治疗骨折及软组织损伤的研究。1984 年以来获省部级科技进步二等奖 5 项,1991 年获“中国有突出贡献的博士学位获得者”荣誉称号,1995 年获全国百名杰出青年中医金牌,1999 年获“二十世纪中国接骨学最高成就奖”。

传感器,经标定后显示线性关系良好者用于实验。传感器与多导放大器连接,再接采集控制前端机, KL - ACCI 及 IBM - PC 主机

选用健康成年家兔 10 只,体重 2.8 ~ 3.2kg,麻醉后将兔右后小腿置于 WD-1 型电子万能试验机上,呈三点弯曲折骨,在骨折远近端各穿一枚直径 12mm 的克氏针,用两块带孔的热塑夹板连接两枚克氏针。位移传感器固定在两克氏针的外侧端,肌力传感器装在跟腱上。

2.2 结果(见表 1、表 2)

表 1 肌力随骨折愈合时间变化的均值(kg)

动物号	骨折前		骨折后(天)			
	正常	1	3	7	10	14
1	3.16	1.22	1.65	2.68	3.63	3.85
2	5.88	0.80	1.40	2.33	4.28	5.87
3	5.71	2.03	3.36	4.38	5.05	5.38
4	5.35	3.56	3.88	4.11	4.71	5.50
5	4.10	1.32	1.69	2.93	2.77	3.60
6	4.60	2.70	3.32	3.54	4.44	4.71
7	5.42	0.59	1.21	2.54	3.05	5.83
8	5.24	1.42	1.71	3.75	2.49	5.34
9	6.55	2.59	3.13	3.71	4.57	
10	4.35	2.51	3.05	3.35	4.16	
均数	5.04	1.87	2.44	3.35	3.92	5.01

注:组间均数两两比较 Q 检验显示骨折两周后的肌力与正常肌力无显著差异(P > 0.05)。

表 2 位移随骨折愈合时间变化的均值(μm)

动物号	骨折后(天)					
	1	7	14	21	28	35
1	543.3	891.0	297.0	262.5	30.0	30.0
2	1081.1	1455.0	645.0	90.0	30.0	30.0
3	617.0	951.0	955.0	603.0	30.0	30.0
4	936.0	357.0	922.7	317.1	30.0	40.0
5	651.0	835.4	567.8	169.3	188.6	30.0
6	1638.0	551.4	521.4	136.5	174.0	51.9
7	1059.0	1785.4	524.2	245.7		
8	429.0	879.0	1365.0	429.0		
9		1497.0				
均数	869.3	1022.5	724.76	281.64	80.43	35.32

注:组间均数两两比较 Q 检验显示两周后位移明显减少,与两周前有显著差异(P < 0.001)。

3 骨痂密度与骨折愈合的关系

骨痂的形成断端提供机械强度和刚度,骨痂的桥架使骨的力学特性得以恢复,以上均以骨痂的密度为基础。本实验通过对骨折不同愈合阶段力学强度与 X 线灰度相关性的分析,探讨骨痂密度与骨折愈合的关系^[5,6]。

3.1 材料与方法 健康成年家兔 56 只,按实验二方法在电子万能试验机上造成闭合性骨折模型,塑料夹板固定,随机分组,每组 8 只。于术后 2、3、4、5、6、7、8 周拍 X 线片。然后用空气栓塞处死。取完整胫骨标本在电子万能试验机上进行三点弯曲强度测试,X 线片用计算机图像分析仪进行灰度值检

测。

3.2 结果(见表 3)

表 3 骨折不同愈合阶段力学强度与 X 线灰度相关性的关系

组别	兔数	骨折时间(周)	X 线灰度率(%)	骨痂强度率(%)
对照	10	0	82.76 ±10.40	—
1	10	2	113.15 ±18.64	17.38 ±5.29
2	10	3	127.66 ±12.89	76.21 ±35.50
3	10	4	126.71 ±13.34	78.55 ±31.84
4	10	5	125.81 ±9.93	64.82 ±18.87
5	10	6	126.62 ±19.34	50.88 ±13.24
6	10	7	115.40 ±26.81	43.73 ±22.80
7	10	8	126.46 ±17.31	43.74 ±26.08

3.2.1 骨折愈合的力学强度

$$\text{骨痂强度率} = \frac{\text{实验侧胫骨抗弯强度}}{\text{对照侧胫骨抗弯强度}} \times 100\%$$

统计分析各组间有显著性差异(P < 0.001)。

3.2.2 骨痂强度与 X 线灰度相关分析

$$\text{X 线灰度率} = \frac{\text{骨折端平均灰度值}}{\text{对照侧胫骨平均灰度值}} \times 100\%$$

结果显示骨折后 2 ~ 8 周内各期骨痂灰度值有显著性差异(P < 0.001)。骨痂强度与 X 线灰度率均数直线相关分析显示,二者间呈正的直线相关关系(r = 0.785 q = 0.037)。

4 讨论

4.1 理想的骨折愈合与最佳的应力状态相适应 应力是物体抵抗外力造成变形的内力,骨折愈合实质是局部应力由小到大的恢复过程,骨折愈合的不同阶段总有与之相适应的局部应力状态,而且这种应力状态直接影响到骨痂形成的质量。局部高应力状态可能造成新生骨小梁的崩解坏死,低应力状态则可能发生废用性萎缩。本组比较理想的应力范围是 0.35 ~ 0.85kg/mm²,统计分析表明与高低应力组有显著性差异(P < 0.05),在这一应力范围内骨痂的抗扭强度最高,是一种比较理想的骨折愈合过程。但该应力组的愈合指数与对照组无显著性差异(P > 0.05),说明骨折在理想的局部外固定下,通过肢体负重,肌肉内在动力,日常功能活动所提供的良好力学环境下,同样可以在最佳的应力状态下实现最理想的骨折愈合^[6,7]。

4.2 肌肉动力是应力适应的反馈调节因素 肌肉收缩是骨折局部应力的外源性动力,并产生一系列的生物反馈效应,促使骨折愈合。Eggers 认为^[5]骨折愈合的最佳应力是该部生理状态下所承受的肌力,肌肉活动的力量为骨折愈合所必需。骨折后,肌肉失去其杠杆作用而使肌力下降。整复固定后,肌肉收缩活动逐渐恢复使断端恢复稳定。而稳定的断端又使肌力的稳定作用更好发挥,使断端处于最佳应力状态,从而促进骨折愈合。实验测得兔小腿三头肌的正常肌力为 5.04kg,骨折后第一天为 1.87 ±0.36kg,而此时位移为 0.87 ±0.89mm,这时断端的稳定靠筋膜间室内的血肿造成的流体不可压缩效应来完成。骨折一周后,肌力恢复至 3.35 ±0.69kg,伤肢肿胀消退,此时断端位移最大为 1.02 ±0.47mm,此时断端的稳定主要靠肌肉的张力。骨折两周后肌力可达 5.01 ±0.87kg,与正常肌力接近,相应的断端位移亦下降至 0.73 ±0.34mm,至第三周时肌力完全正常,位移也明显下降至 0.28 ±

0.17mm,可见在整个骨折愈合过程肌肉动力是一个主观能动的反馈调节因素。

4.3 骨痂密度是应力适应的反馈结果 骨折局部最佳应力状态能促进骨痂形成,为骨折局部提供机械强度和刚度,恢复骨的力学特性,而骨痂自身受应力的调节,不断改变其质量分布,在主应力方向集中了最大密度的骨痂,在 X 线片上则表现了最大的灰度值^[8,9]。

骨折后早期的血管重建首先发生在周围软组织,故骨的形成最先在周围,形成一个骨壳。血肿位于骨折中心,这就在骨折处产生一个物质梯度的变化,力学性能最好的位于外周,外表面的骨控制了骨痂的力学强度。随着断端应力状态的变化,骨痂不断钙化,其强度和密度也逐渐增加。本实验表明,骨痂力学强度与 X 线灰度密切相关,是应力适应性的反馈结果^[10,11]。

参考文献

[1] Lipper FG, Frederick G, Carl hinsch. The three dimensional measurement of tibia fracture motion by photogrammetry. Clin Orthop, 1974, 105:130.

[2] Seligson D, Powers G, O Connell P, et al. Measurement of fracture gap motion in external fixation. J Trauma, 1981, 21:798.

[3] Cunningham TL, Evans M, Kenwright J. Measurement of fracture

movement in patients treated with unilateral external skeletal fixation. J Biomed Eng, 1989, 11:118.

[4] Eileen G. Relationship between ankle muscle and joint kinetics during the stance phase of locomotion in the cat. J Biomech, 1993, 26(4):465.

[5] Eggers GWN. Internal contact splint. J Bone Joint Surg, 1984, 30A:40.

[6] Markel MD. Formation of bone in tibial defects in a canine model. J Bone Joint Surg, 1991, 73A:914 - 916.

[7] Chao YS, Aro HT, Lewallen DG, et al. The effect of rigidity on fracture healing in external fixation. Clin Orthop, 1989, 241:24 - 25.

[8] Tiedeman JJ, Lippiello L, Connolly JF, et al. Quantitative roentgenographic densitometry for assessing fracture healing. Clin Orthop, 1990, 253:279 - 281.

[9] Nicholls PJ, Berg E, Bliven FE, et al. X - ray diagnosis of healing fracture in rabbits. Clin Orthop, 1979, 142:234 - 236.

[10] Markel Md, Chao YS. Noninvasive monitoring techniques for quantitative description of callus mineral content and mechanical properties. Clin Orthop, 1993, 239:37 - 39.

[11] Black J, Perdigon P, Brown N, et al. Stiffness and strength of fracture callus. Clin Orthop, 1984, 182:278 - 280.

(收稿:2000 - 08 - 14 编辑:李为农)

短篇报道

麻醉下手法松解粘连性肩关节周围炎

王玉忠 余美娟

(淳安县中医院,浙江 淳安 311700)

笔者对 100 例中、重度肩周炎粘连者采用在麻醉下手法松解,疗效好,现报告如下。

1 临床资料

本组 100 例,共 104 肩,男 67 例,女 33 例;年龄 27 ~ 69 岁;左肩 62 例,右肩 34 例,双肩 4 例。肩、臂有明显肌肉萎缩者 47 例,伴有心血管、呼吸道慢性疾病的 29 例。治疗前肩关节摄片均无骨质异常。

2 治疗方法

(1) 麻醉:常规消毒后,用 0.25% 布比卡因针 20ml 做肌间沟麻醉。注药后当患者感肩、上肢麻木、沉重等反应,5 分钟后即可施术。

(2) 松解:先以单手或双手在患肩周围按摩、搓捏或按压相关穴位,并作肩关节前后左右摇摆数次。在患侧腋下置

一软垫,做足蹬牵引的同时将患肢外展外旋。然后将其肩背部垫高,术者托住其肘部,握住腕部作内收搭肩、外展。接着施屈肘抬肩上扳,术者一手握其肘部,一手压住肩部,将肘部徐徐向上抬举,并逐渐加大幅度(此时可听到撕布样响声),直至能过头摸对侧耳部。再令其患肩在上侧卧,术者立于其背侧,一手握前臂中段向后拉,一手推肩向前,同时施力,逐步向上升高,以指尖能触到 T₁₀ 棘突以上为度。上述手法可视情重复。

(3) 术后内服中药松肩汤(自拟):归尾 12g,苏木、刘寄奴各 15g,炙乳香、没药各 10g,桂枝 8g,海桐皮、透骨草、寻骨风、姜黄各 12g,地龙、莼肉、怀牛膝各 10g。每日一剂,水煎,早晚各服一次。

(4) 功能锻炼:术后当天即开始功能锻炼,每天两次。

3 治疗结果

痊愈:肩关节活动正常,疼痛消失,肩关节周围无压痛者,共 97 肩。显效:肩关节外展上举达 140°~ 160°,后伸 20°,疼痛明显减轻,7 肩。无效:治疗前后无明显好转者,本组无。

4 讨论

如要恢复肩关节的正常功能,必须解决粘连,而消除粘连最有效的方法,就是辅加一个外力——手法松解^[1]。我们选择在无痛下施行手法松解,不但在操作时轻松自如,而且还避免了患者常由于一些慢性疾病,身体各种生理机能低下,而又因加重疼痛,诱发心脑血管等疾病的发作。

参考文献

[1] 周辉,项国平. 肩关节周围炎的生物力学. 中国骨伤, 1995, 8(6):6.

(编辑:连智华)