

· 实验研究 ·

肌肉动力与断端显微位移的动态观察

中国中医研究院骨伤科研究所 (北京 100700)

关继超 钟红刚 董福慧 尚天裕 丛铁民*

摘要 目的: 观察骨折愈合过程中不同时期肌力和位移的变化, 探讨肌肉动力在骨折愈合中的作用。方法: 采用肌力和位移传感器, 测试夹板固定下兔胫骨干闭合骨折后的肌力与位移变化, 计算机同步数据采集。结果: 正常肌力 5.04kg, 伤后第一天肌力 1.87kg, 位移 0.87mm; 7 天时肌力 3.35kg, 位移最大为 1.02mm; 14 天时肌力接近正常 5.01kg ($P>0.05$); 21 天时肌力恢复正常, 位移下降至 0.28mm; 35 天时位移仅为 0.035mm, 骨折愈合。结论: 肌肉动力为骨折端提供间歇性生理应力为骨折愈合所必需, 骨折愈合的最佳应力是该部生理状态下所承受的肌力。在功能活动时允许断端一定范围的纵向活动, 能促进骨折愈合。

关键词 肌肉动力 断端位移 骨折愈合

The Dynamic Observation on the myodynamia and the Microdisplacement between the Fracture Segments

Institute of Orthopaedics and Traumatology, China Academy of Traditional Chinese Medicine (Beijing 100700)

Guan Jichao, Zhong Honggang, Dong Fuhui, et al

Abstract Aim To investigate the changes of muscle force and displacement in different periods of fracture healing process and to inquire into the effect of myodynamia on healing of fracture. **Methods** The changes of muscle force and displacement of rabbits' tibial shaft closed fracture fixed with splints were measured by muscle force and displacement transducer, with the data collected synchronously by computer. **Results** The normal muscle force is 5.04kg; at the first day after injury, the muscle force is 1.87kg and the displacement is 0.87mm; one week after injury, the muscle force is 3.35kg and the displacement is 1.02mm; two weeks after injury, the muscle force is close to the normal level, 5.01kg ($P>0.05$); three weeks after injury, the muscle force is recovered to normal and the displacement is decreased to 0.28mm; and five weeks after injury, the displacement is 0.035mm and the fracture is healed. **Conclusion** The intermittent physiological stress at the fracture site provided by myodynamia is necessary for the healing of fracture and the optimal stress for fracture healing is produced by the muscle force under the physiological state. Permitting a limited longitudinal motion, during the functional training, can accelerate the fracture healing.

Key words Myodynamia Displacement between fracture segments Fracture healing

为了更直接和客观地分析肌肉动力在骨折愈合中的作用, 我们通过本实验观察了在骨折

愈合过程中肌肉动力与骨折端位移变化的相互作用关系, 藉以探讨中医“宗筋主束骨而利机

* 黑龙江省佳木斯市中医院

关”的理论基础，为骨折治疗和功能锻炼提供一个量的概念。

材料与方 法

1. 材料：肌力传感器是采用我所生物力学研究室提供的扣带式微型在体肌力传感器（专利号：ZL92 Z 04390.6），位移传感器是采用具有高灵敏度、高弹性的铜片制成“S”型弹性元件，两弧对称，两端位于中线。传感器标定结果分别为 $0.73 \pm 0.04\text{kg}$ 和 $0.6 \pm 0.004\mu\text{m}$ 。自制多导传感放大器。采集控制前端机 KL—ACCI 及 IBM—PC 主机。弧形中空热塑夹板。动物模型。

2. 方法：选用 10 只健康家兔，雌雄不限，体重为 2.8~3.2kg，用 3% 戊巴比妥钠（1ml/kg），耳缘静脉麻醉，然后将兔右后侧小腿置于电子万能试验机台上（WD—1 型），呈三点折断，造成闭合骨折模型，多为横断或短斜形。然后将右后下肢剪毛、消毒、铺巾，在距折线 0.5cm 上下端各穿入一枚直径 1.2mm 的克氏针，用两块中空的热塑夹板固定，克氏针由夹板空区穿过，贴近骨面安装套筒，用螺母锁住，防针侧滑，两针之间安装位移传感器。在小腿下方后外侧显露跟腱，安装肌力传感器，肌力测试以具有代表性的小腿三头肌为主。两传感器通过引线与传感放大器相连，然后经单板机与主机相连，肌力与位移数据同步采集。测试前先调整零点，平衡后开始测试。骨折前先测正常肌力值，骨折后观察时，尽量使动物在一定范围内保持自然状态活动。

术后第 1 天开始测试，第 1 周内连测 3 次，以后每周 1 次，直至愈合。本组动物在实验 2 周时病亡 2 只，故用于位移测试共 8 只。

结 果

1. 大体观察：动物术后清醒即放回饲养笼，于术后当天即可行走，但患肢不敢负重或负重很少，也不愿活动，以静卧为主。术后 1 周活动增加，可部分负重，活动范围增大。2 周时则活动正常，患肢可以接近正常负重。

2. 显微观测：

表 1 骨折后不同时间的肌力变化（单位：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	0.8	1.4	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	5.5
5	4.1	1.32	1.69	2.93	2.77	3.6
6	4.6	2.7	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*

* $P > 0.05$ 无显著性差异，肌力接近正常

表 2 骨折后不同时间的断端位移变化（单位： μm ）

动物号	骨折后（天）					
	1	7	14	21	28	35
1	543.3	891	297	262.5	30	30
2	1081.1	1455	645	90	30	30
3	617	951	955	603	30	30
4	936	357	922.7	317.1	30	40
5	651	835.4	567.8	169.3	188.6	30
6	1638	551.4	521.4	136.5	174	51.9
7	1059	1785.4	524.2	245.7		
8	429	879	1365	429		
9		1497				
均数	869.3	1022.48	724.76*	281.64*	80.43	35.32

* $P < 0.01$ 差异显著，说明 2~3 周为愈合重要阶段

从统计结果看，在功能状态活动下，兔小腿三头肌的正常肌力平均值为 5.04kg 。骨折后第 1 天肌力下降平均为 $1.87 \pm 0.96\text{kg}$ ，而此时位移为 $0.87 \pm 0.39\text{mm}$ ；第 7 天肌力恢复到 $3.35 \pm 0.69\text{kg}$ ，此时断端位移最大，平均值为 $1.02 \pm 0.47\text{mm}$ ；第 14 天时肌力可达 $5.01 \pm 0.87\text{kg}$ ，（ $P > 0.05$ ）肌力接近正常，而同期位移下降至 $0.73 \pm 0.34\text{mm}$ ；第 21 天时肌力恢复达到正常，位移也明显下降至 $0.28 \pm 0.17\text{mm}$ ，

与 14 天时相比 $P < 0.01$, 有显著性差异, 断端稳定; 第 35 天时断端位移小至 0.035mm 或测不出, 骨折愈合。

讨 论

现代骨折愈合理论是建立在固定和血运基础上的, 许多学者对固定程度和血运做了大量的研究, 越来越多的人认识到断端间在一定范围内活动, 有利于骨折愈合。临床上趋向采用较低强度的固定方法治疗骨折; 但是对断端的活动范围、肌肉活动与位移的关系、肌肉动力与骨折愈合之间的关系问题知之甚少。Lippert 等^[1]用 X 线摄片测量骨折端在不同条件下的显微位移, Selig 等^[2]和 Cunningham 等^[3]通过安装在外固定架支撑杆上的传感器, 测量骨折端周围骨针的活动来推测骨折端的位移, 顾华^[4]曾用光导棒法直接观测了不同条件下骨折端在不同时期的间隙变化, Eileen^[5]等将传感器安装在踝关节周围的肌腱上, 测量了猫在活动小腿肌力变化和踝关节的位置关系, 但到目前为止, 尚未见到有对骨折后肌力变化的报道及肌肉动力变化对断端位移的影响。我们在总结前人工作的基础上, 应用传感技术测量了兔胫骨骨折后肌肉动力在骨折愈合过程中不同时期的变化, 以及和断端位移变化之间的关系, 为临床治疗骨折和功能锻炼提供指导。

Eggers 认为骨愈合的最佳应力是该部生理状态下所承受的肌力, 肌肉动力为骨折愈合所必需^[6]。中医早就认识到“宗筋主束骨而利机关”, “骨肉相连”, “筋能束骨”的作用。在骨折愈合过程中, 外骨痂形成量的多少与骨折端活动量的大小密切相关, 断端间隙是一个静态测量的结果, 而位移则是活动时断端间隙变化, 这种变化又和肌肉活动时的力量密切相关。骨折早期肌肉受到损伤、局部出血、疼痛等炎症刺激, 肌力下降, 肢体不敢负重, 断端位移低, 相对稳定。骨折 7 天后, 肌肉肿胀、疼痛减轻, 肢体活动增加, 断端间血肿机化, 局部张力下降, 流体不可压缩效应减弱, 折端位移最大。因

此这个时期要减少活动和负重, 使骨折端保持相对稳定, 如活动过大, 不利于纤维组织连接形成骨痂, 影响愈合。14 天后肌力恢复正常, 为骨折端提供了间歇性应力刺激, 相应的断端位移下降, 肌肉重新恢复了对骨的约束作用, 断端重新趋于稳定。但此时断端间仍以纤维软骨性骨痂为主, 没有形成桥梁骨痂, 肢体可进行不负重主动活动。21 天后肌力完全正常, 此时断端位移也急剧下降, 断端形成桥梁骨痂, 成骨活跃, 断端越来越稳。外骨痂增加了骨折部的横截面积, 骨性骨痂位于断端周围, 力学性能差的位于中心, 使骨有最大的负重能力, 肌肉动力对断端的间歇性应力刺激作用不断加强, 而断端位移越来越小, 骨折端越稳定, 最后直至愈合。

总之, 肌肉动力为骨折端提供了间歇性的生理应力, 在功能活动状态下, 允许骨折端一定范围内的活动, 由外骨痂桥梁于骨折端的二期愈合, 有效地增加了骨外径和截面惯性矩, 使骨有最佳的力学特性, 加速了骨折愈合。同样, 随着骨痂的形成, 断端趋于稳定, 为充分发挥肌力的作用创造了条件, 二者相互作用, 使骨折愈合的同时, 肢体的功能也得以恢复。

参考文献

1. Lippert 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, Pope MH. 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. 顾 华, 尚天裕. 骨折的绝对固定与相对固定. 尚天裕医学文集. 中国科学技术出版社, 1991: 748.
5. Eileen G. Relationship between ankle muscle and joint kinetics during the stance phase of locomotion in the cat. J Biomech 1993; 26 (4): 465
6. Eggers GWN. Internal contact splint. J Bone Joint Surg, 1984; 30A: 40

(收稿: 1998-01-06 修回: 1998-04-06)