DOI:10.16016/j.1000-5404.1993.03.009

骨外固定器轴向加压对骨折愈合影响的实验观察

许建中 李起鸿 马树枝 （第三军医大学西南医院骨科）630038

提 要 本试验对青山羊胫骨骨折端分别施加不同的压应力，观察其对骨折愈合的影响。体外测试表明本外固定器具有较低的应力保护作用。X 线片发现随着加压量的增大，外骨痂出现渐晚且骨痂量减少，术后 6 周轻度加压者骨折线模糊，重度加压者外骨痂中仍可见与骨折线平行的透光影。力学测试虽各组间无统计学差异，但轻度加压者骨折愈合强度更接近正常骨。组织学检查各组骨折均为二期愈合，切片中可见内、外骨痂及桥梁骨痂，但随着加压量增大，骨痂成熟度下降。

关键词 骨增长；骨折固定；骨外固定；骨折愈合

随着骨科生物力学的发展，不同力学环境对骨折愈合的影响越来越受到重视，轴向加压可使骨折断端紧密对合，增加骨折端的静态摩擦，从而加大骨折的固定刚度。压应力引起生物电位的变化而刺激成骨，具有促进骨折愈合作用。然而，压应力过大可造成压迫性骨坏死，并使骨折端的静态摩擦转化为动态摩擦，降低骨折的固定刚度。本试验用特制的半环槽式外固定器[1]对青山羊胫骨干骨折持续加压，术后任羊自由活动，通过 X 线照片，骨痂的力学性能测试及组织学检查观察不同压应力对骨折愈合的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物：中国杂种青山羊 20 只，年龄 8～10 月，体重 16～25kg。随机分为 4 组，每组 5 只，对照(A)组不加压；轻压力(B)组骨折端加压 5kg；中压力(C)组 10kg；重压力(D)组 20kg。

1.1.2 仪器设备：杭州余杭计量仪器厂 BHR-7 型载荷传感器及 WDL-2 型万能电子测力仪，羊实验用半环槽式外固定器及其加压装置。30mA X 线摄片机，小型扭转试验机等。

1.2 动物试验

3%戊巴比妥钠溶液 1ml/kg 体重静脉麻醉，侧卧常规消毒铺巾，分别在小腿上、中、下 1/3 各穿一组 ∅2.0mm 的克氏钢针，于中、上 1/3 交界处用线锯将胫骨横行锯断，将骨折解剖对位，组装外固定器，严密缝合骨膜，逐层缝合切口。根据动物分组用弹簧向骨折端施加不同压力，术后任动物自由活动。

1.3 观察方法

1.3.1 X 线摄片：术后第 1 天及每两周行 X 线摄片 1 次，每次 X 线摄片条件相同。

1.3.2 力学测试：术后第 6 周末全部处死，拆除外固定器，剔除骨外软组织，安置于小型扭转试验机上行力学强度测试。

1.3.3 组织学检查：力学测试后，将骨标本贮于 10%福尔马林溶液中，择期用 10%硝酸脱钙，石蜡包埋，切片，HE 染色。

2 结果

2.1 X 线摄片

截骨外固定后骨折均达到解剖对位，随着加压量的增加，骨痂出现逐渐推迟，骨痂量逐渐减少，骨痂的形态逐渐规则化，由对照组的不规则骨痂逐渐变为规则的条梭状骨痂，而且骨折线模糊与消失也逐渐变晚。A、B 组术后 6 周 X 线示骨折线完全消失；C 组有 1 例尚可见模糊的骨折线；D 组有 2 例骨折线较为清晰。骨痂的大小径经统计学处理，骨痂前后径（$P=0.226292$）及左右径大小（$P=0.33074$）虽因加压量的增大而逐渐减小，但无统计学差异。

2.2 力学测试

力学测试结果经统计学处理，C、D 两组的极限扭转强度（$Zmax$）、能量吸收（U_E）均与正常胫骨(N)组有显著性差异。而 A、B、C、D 四组间的 $Zmax$、扭转刚度(GTP)、扭矩(Mn)、U_E 和单位长度扭转角(θ)无显著性差异。若将 A、B 组合为 AB 组，C、D 组合为 CD 组，经统计学处理 AB 组的 $Zmax$、U_E 与 N 组无明显差异，而 CD 组的 $Zmax$、U_E 与 N 组有显著差异（$P<0.05$）。各组扭转测试至骨断裂，其中从正常骨干断裂者均为 45°的斜形骨折或斜形粉碎

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

性骨折，骨折线不透过原针道。

2.3 组织学检查

各组骨折均为二期愈合，各组可见内、外骨痂与桥梁骨痂。术后6周除随着加压量的增加骨痂间隙稍有缩小外，各组均见骨小梁呈网状排列，且与骨干平行，其边缘为成骨细胞及破骨细胞，骨小梁中可见骨细胞。C 组(1例)、D 组(2例)外骨痂中有软骨组织，其中 D 组1例骨痂中可见条梭状纤维组织。

3 讨论

骨折加压固定有加压接骨板、加压髓内针、体外机械加压及外固定器加压等。Laros (1974)[2]认为长骨骨折接骨板固定有损于骨外膜的血循，髓内针固定有损于骨内膜及髓腔血循，影响骨折愈合。外固定器加压具有损伤小，不影响骨折端血循的特点。接骨板固定存在着应力保护问题，骨折端经初次加压后，由于骨折端微小接触点因加压而渐崩溃、破坏与吸收，使骨折端遗有缝隙，实际上达不到持续加压的目的。Alan(1965)[3]认为接骨板加压与否对骨折愈合无显著影响。Eggers (1949)，Freidenberg (1952)，Laros (1974)，Hart(1985)均倾向于生理性或轻度加压。加压对骨折愈合的影响主要发生在骨折早期，后期骨折处于塑形阶段，特别是在外固定应力保护作用比较小的情况下，这种由加压带来的差异就逐渐消失。Hart(1985)[4]于截骨加压外固定90 d 比较加压对骨折愈合的影响，结果骨折后期除扭转刚度外，骨折的强度和能量吸收已无明显差异。

在牢固固定条件下，振动应力或周期性应力(Cyclic Loading)也有利于骨折愈合。王以进(1987)用振动加压治疗兔人工骨折，通过测定不同疗程兔骨的扭转特征，定量分析其生物力学性质发现振动应力刺激能促进新骨生长，提高骨折愈合的质量。Wolf(1981)[5]也予证实。

固定方法均存在固定刚度问题，半环槽式外固定器具有质量轻，选用细克氏钢针交叉穿针，应力分布均匀的优点。体外实验也证实半环槽式外固定器在骨折端紧密接触的条件下，应力保护作用较小，能允许较多的应力通过骨折端。李氏(1985)[6]用半环槽式外固定器于病灶区外穿针加压固定治疗骨不连，不需植骨与内固定，均获得骨愈合，证明半环槽式外固定器能在保证骨折牢固固定的同时，通过应力传导刺激成骨。X 线检查说明在加压条件下骨折端的稳定性随加压而增加。加压量增大，固定刚度增加，外骨痂减少。反之，固定刚度低，微小活动大，相应的骨痂增殖及钙盐沉积，骨折线消失均快。术后6周 A、B 组骨折线模糊，外骨痂连续，而 C 组和 D 组可见与骨折线平行的外骨痂透光影。此结果与 Loras 的结果类似。统计学处理 A、B、C、D 各组间 Zmax、GTP、θ、Mn、U_E 均无显著差异。作者认为骨折同时受不同持续性压力与生理性应力的影响，而两者均有刺激成骨作用，尤其是在应力保护作用小的外固定条件下，无论骨折端加压与否及加压的大小，骨折端在受持续性压应力作用的同时，受到了间断性生理应力的刺激，充分发挥了骨本身的成骨潜力，从而持续性加压对骨折愈合的影响就不太突出。Wolf(1981)[5]比较兔胫骨骨折持续性加压(80N)与持续性加压(18N)加周期性加压(40N、3 h、55Hz，早晚1次)，发现后者能在术后4～6周显著提高兔胫骨骨折的抗扭强度及能量吸收，说明持续性加压与周期性加压虽均有刺激成骨作用，但其结果不尽相同，将 AB 组和 CD 组分别合并统计处理，AB 组较 CD 组的骨折愈合强度更接近于正常骨，新生骨痂更为成熟。虽然 AB 组和 CD 组均受到间接性生理应力的影响，但不同量持续性加压对骨折愈合的影响同时存在，在实验条件完全一致时，轻度加压对骨折愈合的影响仍不可忽视。

Freidenberg(1952)[7]认为就骨折加压固定而言，不论是管状骨骨干还是扁平状骨，受

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

力部分始终是骨皮质。对四肢骨折理想的固定应当是在骨折牢固固定条件下，允许骨折端获得肌肉活动及负重等生理性应力，充分调动骨组织的自身成骨能力。Terjesen (1983)[8]分别于术后4、6、9、12周拆除外固定器，术后12周将动物宰杀行力学测试，结果术后4、6、9周拆除外固定者骨愈合强度显著高于术后12周，充分说明拆除外固定器后生理性应力对骨折愈合的良性刺激。外骨痂的形成是与外骨膜所受的应力、骨折发生的变形直接相关联，应力大外骨痂丰富，应力小外骨痂少，没有应力就没有外骨痂。从本实验可以看到，骨愈合强度并非同骨痂大小成正比，骨愈合的好坏主要取决于骨痂的质量。当然，在骨折愈合过程中骨折的固定刚度要求不是不变的，早期需要坚强固定，有利于组织修复，后期需间断性负重刺激成骨及骨痂塑形。加压可增加骨折的固定刚度，在骨折愈合过程中可通过加压量的调节而适应骨折不同生物力学时期的需要，早期增加加压量使骨折的稳定性增加，后期减少压力以允许生理压力的存在，促进骨痂的改建和塑形。

参考文献

1. 许建中 王爱民 李起鸿。半环槽式外固定器稳定性的动物实验观察。第三军医大学学报，1992；3：274
2. Laros GS，Chicago. Fracture healing：Compression vs fixation. Arch Surg，1974；108：698
3. Alan WF. The effect of axial compression on the healing of experimental fractures of the rabbit tibia. Proc R Soc Wed，1965；58：882
4. Hart MB，Wu FF，Chao EYS，et al. External skeletal fixation of canine tibial osteotomies. J Bone Joint Surg，1985；67A：598
5. Wolf TW. Comparision of cyclic loading versus constant compression in the treatment of long bone fracture on rabbits. J Bone Joint Surg，1981；63A：805
6. 李起鸿 区伯平 吴继明，等。加压外固定治疗骨不连。中华骨科杂志，1987；7(14)：247
7. Freidenberg ZB. The effects of known compression forces on fracture healing. Surg Gynec Obst，1952；94：743
8. Terjesen T，Benum P. In vitro effects of external fixation on intact and osteotomized tibiae. Acta Orthop Scand，1983；54：212

(收稿：1992-07-01；修回：1993-04-14)

A study on the effects of axial compressive external fixation on fracture-healing in goats

Xu Jianzhong，Li Qihong，Ma Shuzhi (Department of Orthopedics，Southwest Hospital，Third Military Medical College，Chongqing，630038)

Abstract Transverse fracture was inflicted to the tibia of goats and specially designed external fixator was used for fixation to observe the relationship of different intensity of compressive force with fracture-healing. It was found in vitro test that the external fixator possessed less effect of stress protection. X-ray examination revealed that the stronger the compressive force was applied，the later the external callus would appear and the less amount of external callus would form. In the 6th week after fracture，the fracture line became oblierated in cases with mild compression while a transparent line in the external callus could be seen on x-ray films in those cases with heavy compression. Though there was no significant difference of the parameters of torsionmetry among different groups，the strength of the healed fracture with mild compression was nearer to the strength of a normal bone than that with heavy compression. Histological examination revealed that all the bone unions belonged to secondary bone healing and bone callus became less matured along with the increase of compressive force.

Key words bone lengthening；fracture fixation；fracture healing；external fixation

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net