

骨折功能锻炼的生物力学研究进展

方斌, 杨海韵

(佛山市中医院骨科, 广东 佛山 528000)

【摘要】 中西医结合治疗骨折十分重视功能锻炼, 它对骨折愈合的影响是至关重要的, 在骨折整复固定后即开始功能锻炼, 体现了祖国医学治疗骨折的动静结合原则。它可以使骨折端产生有利于骨折愈合的应力, 有效促进骨折愈合, 但同时不正确的功能锻炼又会产生剪切力、扭转力等不良应力, 形成不利于骨折愈合的因素。因此, 骨折功能锻炼的生物力学研究也成为骨折治疗中的一个热点。

【关键词】 骨折; 功能恢复; 自体锻炼; 生物力学; 综述文献

Advances in biomechanical studies on functional training for the treatment of fractures FANG Bin, YANG Hai-yun.
Department of Orthopaedics, Foshan Hospital of TCM, Foshan 528000, Guangdong, China

ABSTRACT Functional training is put a very high position in the treatment of fractures by Western Medicine and Traditional Chinese Medicine. The influences of functional training during fracture healing are very important. Functional training will begin after reduction and fixation and it represents the principle of the combination of functional training and fixation in the fracture treatment by TCM. Functional training makes kinds of favourable stress, which can accelerate the healing of fracture, but the incorrect functional training makes shear strength or torsion and so on, which may make interfere fracture healing. So, the biomechanical studies on functional training of the fracture are becoming a focus of fracture treatment.

Key words Fractures; Recovery of function; Autogenic training; Biomechanics; Review literature

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2009, 22(6): 478-480 www.zggszz.com

骨折愈合的过程是把整复、固定和功能锻炼 3 个阶段密切结合在一起的过程。功能活动的最终目的就是恢复肢体正常的功能和使用能力, 因而被看作骨折治疗的重要手段。研究功能活动对骨折、固定的力学特性的影响对骨折的治疗有重要的意义。

1 功能锻炼与骨折愈合的生物力学特性

功能活动可以使骨折端产生应力, 改变骨折的力学环境, 如果血运正常, 骨折愈合形式及发生延迟愈合或不愈合主要取决于与稳定性有关的力学环境, 理想的骨折愈合与最佳的应力状态相适应。试验表明^[1]: 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, 同样可以在最佳应力状态下实现最理想的骨折愈合。

骨折愈合的生物力学因素基于 Wolff 定律: 骨改建符合最优化设计原则, 即在生理范围内, 应力较高的区域通过骨的新生而使结构增强, 应力低的区域通过骨吸收、萎缩而使结构减弱。骨组织对应力刺激具有良好的适应性, 骨折愈合的好坏与其力学环境密切相关。骨的愈合过程就是骨的结构和生物力学特性的恢复过程。White 等描述骨折愈合的 4 个生物力学阶段: 第 1 阶段, 血肿机化演进阶段, 血肿机化为肉芽组织, 骨折处骨质很松, 受力时断裂将通过原始骨折处; 第 2 阶段, 受力时断裂将部分通过原始骨折处, 但骨折部位刚度增加; 第 3 阶段, 受力时断裂将部分通过原始骨折处, 部分通过非骨折处, 此时骨痂充分钙化以稳定骨折; 第 4 阶段, 受力时断裂发

生在完整骨, 骨折更加稳定^[2]。因此, 骨折不同时期功能锻炼的要求也不同。血肿机化期: 患肢疼痛, 肢体肿胀, 骨折端不稳定, 容易发生移位, 此期功能锻炼以患肢肌主动收缩活动为主。原始骨痂形成期: 肢体肿胀消退, 骨折断端已纤维连接, 肌肉有力, 骨折部日趋稳定, 可适当加大活动。骨痂改造塑形期: 此期有临床愈合征象, 功能锻炼的指标更广。

2 功能锻炼使骨折端产生的应力利于骨折愈合的研究

2.1 压应力(间断或持续力)促进骨生长的压电学说和显微损伤学说 压应力对骨生长促进作用的生物力学机制未完全被阐明, 较有影响的理论有压电学说和显微损伤学说^[3]: 给骨施加一压力, 骨内电荷重新分布, 压力下骨折端呈阴极电荷分布, 实验证明负电荷促进骨细胞和成骨母细胞的增殖; 骨作为载荷材料, 在反复应力作用下会出现显微骨折, 显微损伤学说认为这种应力来自肌肉的牵拉和负重, 并能刺激骨的细胞活性, 以修复骨的损伤。压应力可使骨产生电势能变化, 且由于应力的不断刺激和骨的显微骨折诱导, 骨修复潜能进一步激发, 效应叠加, 骨折愈合自然加速。试验显示^[4]: 不同程度的应力刺激对骨修复诱导作用不同, 大约 0.5~1 Hz 的应力刺激可有效促进新骨形成, 防止骨质疏松, 促进骨折愈合。

2.2 应力增加骨再生, 缩短骨折愈合时间 Feehan 等^[5]通过动物实验证实, 早期被动运动有助于骨折对线和稳定。在愈合后期, 各种应力均有一定的骨痂改建作用, 切应力的增加可促进成骨细胞分化, 导致更多的类骨质沉积并使之骨矿物化, 但

必须限制过度活动^[6]。骨组织对间歇性或循环性应力刺激更敏感,骨折部位的轻微活动可刺激成骨,并增加骨再生^[7]。实验支持中医和中西医结合治疗中强调功能锻炼的观点。适当的功能锻炼,能加快骨折愈合速度,提高愈合质量,缩短疗程。动物实验的红外光谱也表明^[8]:断端应力能促进骨折端愈合,提高愈合质量,加快愈合速度,缩短疗程。而功能锻炼可使骨折端获得应力性刺激^[9]。

2.3 骨折端的持续压应力促进成骨细胞的分化 下肢骨折术后部分负重时可产生持续动态压应力作用,而持续压应力可使环氧化酶-2 (COX-2) mRNA 的表达量以及 PGE2 和 cAMP 的含量均较骨折前显著上升,且实验组在术后 3~4 周时以上指标明显高于对照组,组织学结果则显示实验组骨折间隙内软骨内成骨和编织骨向板层骨的改建均领先于对照组^[10]。所以持续压应力通过 COX-2、PGE2 和 cAMP 这一信号通路使得成骨细胞分化成熟,促进了骨折愈合。

2.4 骨折端应力增强骨折愈合时骨痂的骨密度和骨痂的“钙化” 骨膜骨痂形成的范围和量以及分化的速度可被机械因素调节,骨折局部的力学环境对骨折愈合有重要的作用^[11-12]。功能锻炼时可使骨折端产生微动,骨折端微动时应力能明显增加骨折愈合时骨痂的骨密度^[13]。利用双能 X 线骨密度测量仪测定动物骨折端骨痂的骨密度显示微动时应力能明显增强骨愈合时骨痂的骨密度。

2.5 功能锻炼调节 VEGF 的表达 力学刺激可直接作用于细胞骨架,使后者的排列方式和空间结构发生改变,从而把力学信号转化为生物化学信号对细胞发挥作用。

适当功能锻炼可以预防 DVT,改善骨折局部血运,促进骨折局部血肿吸收,进而调节血肿内 VEGF 的表达,从而诱导新生血管的形成。临床研究也表明^[14]:动力载荷可促进干骺部骨皮质及骨痂内血管的扩张和增生,同时促进骨折部位侧支循环的建立,加速骨折愈合。有研究表明^[15]:VEGF 参与了骨折修复过程。所以,功能锻炼在一定程度上通过改变细胞的生物化学信号和促进骨折部血管再生而促进骨折愈合过程。

3 功能锻炼产生的剪力、扭转力及成角力不利于骨折愈合的研究

有学者提出,术后过度功能锻炼是造成内固定失败、骨折不愈合及延迟愈合的主要原因之一。不良应力长期作用是内固定物发生弯曲、松动甚至断裂的主要原因^[16],应予以重视。避免过度活动和过早负重,因不当的功能锻炼使骨折断端间存在不利于愈合的应力干扰。

引起骨折断端间的剪力、成角及扭转应力的活动主要是指增加肢体重力的活动和骨折上下段之间的不一致的旋转。愈合早期,剪切和扭转载荷产生剪应力驱动成纤维细胞增殖为纤维组织,造成骨内部应力重分布,骨断端的板层界面应力过于集中,对愈合不利,并能直接破坏新生毛细血管和骨痂。在愈合中后期,不充分的功能锻炼使骨折端的应力(应变)太低,组织分化的力学诱导降低,不足以引起弹性变形,组织分化难于产生,容易导致延迟愈合或骨不连;相反,应力(应变)太高,活体骨将在骨-骨界面或骨-内固定物界面发生反应性表面吸收,会损伤形成的骨痂,造成骨质疏松。当结果性应变超过临界限度时,进一步的分化及愈合将停滞^[17],甚至导致骨折

端重新移位引起骨折不愈合。

徐建民^[18]在“不良应力干扰股骨远端骨折愈合的分析”中提出不当功能锻炼是骨折不愈合及延迟愈合的重要因素之一,不当的活动会使骨折端的剪力加大,导致内固定失败,影响骨折愈合。

4 监测骨折的生物力学变化来评估骨折愈合进程的展望

测定骨的力学性能变化是评价骨折愈合进展的最直接的方法。国内外学者致力于研究一种无创的可量化的方法来监测和评估骨愈合的进程,包括测定骨损害部位的骨量及骨密度、刚度、骨痂的量及骨代谢变化等。在判断一种无创评估方法时,均以力学性能作为参照来比较分析^[19]。骨折端组织的机械强度和刚度是骨折愈合的指标已被普遍接受,了解功能锻炼时骨折的生物力学的变化,有助于洞察骨折愈合过程中生物力学特性的变化,从而评估骨折愈合的情况。董福慧^[19]在“骨折治疗的信息化数字化研究”中提出了“从临床数据采集-数据分析-计算机逻辑模型建立-应用物理模型建立-系统网络”的建立是实现骨折治疗方法数字化信息化的关键。通过力学传感器和特定程序的计算机同步监测功能锻炼时骨折的生物力学改变,使各种指标更加定量化,从而发现相互间的逻辑规律,使骨科治疗向理论化、定量化和精确化方向发展。

5 总结

功能锻炼可以改变骨折的生物力学特性,适当的功能锻炼可以使骨折端的力学环境达到骨折愈合的绿色环境,促进骨折愈合;不当的功能锻炼产生不良的力学特性,不利于骨折愈合。在骨折治疗中避免或及时纠正不利于骨折的因素,提高骨折修复成功率,缩短治疗时间,减少并发症,成为临床上一个重要课题。运用信息化技术建立数字模拟监测系统可监测功能锻炼时骨折生物力学特性变化,以建立一种客观无损性技术,从而实现对骨折愈合过程监控和对愈合质量的评估。这些方面的研究必将给临床骨科治疗带来一场全新的革命。

参考文献

- [1] 董福慧. 骨折愈合的应力适应性研究. 中国骨伤, 2001, 14(1): 14-16.
- [2] 潘滔. 影响骨折愈合的生物物理学因素及其意义. 国际骨科杂志, 2007, 28(4): 261-263.
- [3] 赵勇. 骨折愈合的生物力学基础. 中国骨伤, 2001, 14(1): 32-33.
- [4] 王柯慧. 肌肉活动方式对骨痂骨密度及 X 线片灰度值的影响. 中国骨伤, 2003, 16(6): 324-326.
- [5] Feehan LM, Tang CS, Oxland TR, et al. Early controlled passive motion improves early fracture alignment and structural properties in a closed exera-articular metacarpal fracture in a rabbit model. J Hand Surg(Am), 2007, 32(2): 200-208.
- [6] Jagodzinski M, Krettek C. Effect of mechanical stability on fracture healing——an update. Injury, 2007, 38(Suppl 1): 3-10.
- [7] 顾雅君. 荷载对骨愈合影响的生化观察. 中国骨伤, 2000, 13(6): 334-335.
- [8] 顾雅君. 功能锻炼对骨折愈合影响的红外实验与临床观察. 中医正骨, 2000, 12(3): 5-6.
- [9] 张春秋. 骨折愈合塑形的力学机理 II 骨自优化理论的应用. 中国生物医学工程学报, 2002, 21(2): 132-137.
- [10] 任可. 持续动态压应力下骨折愈合时环氧化酶及相关信号分

全髋翻修骨缺损分型的现状

高兆宾,王志生,王志强

(华北煤炭医学院附属骨科医院,河北 唐山 063000)

【摘要】 全髋翻修中骨缺损的分型包括髋臼侧和股骨侧。髋臼侧的分型有美国骨科医师学会分型(AAOS),Paprosky 分型,Engh 分型,Gross 分型,Gustilo & Pasternak 分型和重庆髋臼骨缺损分型等。股骨侧的分型有美国骨科医师学会分型(AAOS),Paprosky 股骨缺损分型,Mallory 分型,Taylor 和 Rorabeck 的改良 Mallory 分型等。不同分型之间的术前评估不一致,导致了应用混乱,需要更多的研究。

【关键词】 关节成形术,置换,髋; 分类法; 手术中并发症; 综述文献

Current study on classification of bone deficiency in the revision of total hip replacement GAO Zhao-bin, WANG Zhi-sheng, WANG Zhi-qiang. *The Orthopaedics Hospital Affiliated to Coal Medical College of Northern China, Tangshan 063000, Hebei, China*

ABSTRACT In the revisions of total hip replacement, the classification of the bone deficiency includes both the acetabular and the femur. That classification of the acetabular bone deficiency includes the classification of Paprosky, Engh, Gross, Gustilo and Pasternak, *Chongqing*, and so on. That classification of the femoral bone deficiency includes AAOS, Paprosky, Mallory, and modified Mallory. All of the classification is not consistent for peroperative evaluation. As to the confusion, it is necessity to do more researches.

Key words Arthroplasty, replacement, hip; Classification; Intraoperative complications; Review literature

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2009, 22(6):480-482 www.zggszz.com

在美国,估计每年有 250 000 例髋关节手术,而全髋置换术大约为髋关节手术量的 17.5%^[1]。Kurtz 等^[2]的研究显示全美髋翻修的人数和花费还在持续增加。目前髋关节置换术在我国也在不断发展,不可避免造成翻修手术也随之增多。而髋翻修术中骨丢失与骨缺损是骨科医师所面对的一个极大的挑战。为了能找到不同骨缺损共存的一般特性,以期能对临床起到最佳的指导作用,有必要对骨缺损进行分型。

全髋翻修手术成功的关键是术前对骨缺损大小和现有骨

量的正确评估。人们习惯用临床 X 线片粗略了解骨缺损的大小,以及术中发现实际的骨缺损情况,来确定下一步的处理。现在计算机断层扫描可以获得连续断层图像,并能通过重建获得患髋的三维图像,定量分析骨缺损和聚乙烯假体杯的磨损^[3],从而准确计算出缺损及剩余骨量,为接下来手术方案的制定及选择材料奠定基础。新一代的 CT 能够处理金属假体的影响,值得推广。

骨缺损分型有很多方案,最常用的方案应该容易记忆、再现和能够很好指导治疗。髋关节初次成形术后或翻修后假体周围的骨缺损包括髋臼侧和股骨侧的缺损。

通讯作者:王志强 E-mail:wzhqde@163.com

子的表达. 第四军医大学学报, 2007, 28(19):1781.

[11] Wong M, Siegrist M, Gooduin K. Cyclic tensile strain and cyclic hydrostatic pressure differentially regulate expression of hypertrophic markers in primary chondrocytes. *Bone*, 2003, 33(4):685-693.

[12] Mizuno S, Tateishi T, Ushida T. Hydrostatic fluid pressure enhances matrix synthesis and accumulation by bovine chondrocytes in three-dimensional culture. *J Cell Physiol*, 2002, 193 (3):319-327.

[13] 尹东. 骨矿密度监测与骨愈合进程的无创评估. *中国临床康复*, 2004, 8(35):8082-8083.

[14] 苏佳灿, 王家林, 张春才, 等. 骨折愈合过程血管形成的影响因

素. *中国骨伤*, 2002, 15(3):187-188.

[15] 王长海. 血管内皮生长因子促进骨折愈合的研究进展. *内蒙古医学院学报*, 2005, 27(5):103-106.

[16] 沈洪兴. 肱骨干骨不连的病因和预防. *中国骨伤*, 2003, 16(8):500-502.

[17] 任可. 应力在骨折修复过程中的作用. *现代康复*, 2001, 5(11):73-78.

[18] 徐建民. 不良应力干扰股骨远端骨折愈合的分析. *中国矫形外科杂志*, 2004, 12(1, 2):139-140.

[19] 董福慧. 骨折治疗的信息化数字化研究. *中国骨伤*, 2005, 18(1):1-2.

(收稿日期:2008-12-25 本文编辑:王玉蔓)