

文章编号:1004-7220(2016)01-0061-06

冷冻、冻干、辐照对用于脊柱融合的胫骨皮质骨力学性能的影响

申才良¹, 刘斌², 唐天驹³, 杨惠林³

(1. 安徽医科大学第一附属医院 骨科, 合肥 230022; 2. 合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009;
3. 苏州大学附属第一医院 骨科, 苏州 215006)

摘要: **目的** 研究冷冻、冻干及辐照处理方法对胫骨皮质骨抗压强度和硬度的影响, 探讨适合的胫骨皮质骨处理方法。**方法** 收取外伤截肢的胫骨干中段皮质骨, 将其加工成大小约 10 mm × 10 mm × 5 mm 的皮质骨板, 并随机平均分为 7 组: 正常组(A 组)、深冻组(B 组)、冻干组(C 组)、冷冻 + ⁶⁰Co 辐照 (25 J/g) 组(D 组)、冷冻 + ⁶⁰Co 辐照 (50 J/g) 组(E 组)、冻干 + ⁶⁰Co 辐照 (25 J/g) 组(F 组)、冻干 + ⁶⁰Co 辐照 (50 J/g) 组(G 组)。应用生物材料试验机分别对不同处理方法的同种皮质骨进行抗压强度和硬度测试。**结果** 胫骨皮质骨的最大抗压强度为 6.089 ~ 9.089 kN。与 A 组比较, B、C、D、F 组胫骨皮质骨的抗压强度无明显区别 ($P > 0.05$), B、C 组硬度无明显区别 ($P > 0.05$), 但 D、F 组硬度分别减少 9.6% ($P < 0.05$) 和 8.7% ($P < 0.05$); E、G 组与 A 组比较, 抗压强度分别减少 29.6% ($P < 0.05$) 和 33.1% ($P < 0.05$), 硬度分别减少 16.7% ($P < 0.05$) 和 14.8% ($P < 0.05$)。**结论** 对胫骨皮质骨进行冷冻、冻干处理时, 抗压强度及硬度较无处理组无明显变化。与无处理组比较, 冷冻后或冻干后接受小剂量 ⁶⁰Co 辐照时胫骨皮质骨的抗压强度无明显变化, 但硬度有一定降低; 大剂量 ⁶⁰Co 辐照时, 抗压强度及硬度均有明显降低。在应用同种皮质骨融合支架行椎间融合时, 辐照灭菌剂量应控制在 15 ~ 25 J/g。

关键词: 冷冻; 冻干; 辐照; 皮质骨; 生物力学

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2016.01.061

Effects from deep-freezing, freeze-drying or radiation on mechanical properties of cortical bone for spinal fusion

SHEN Cai-liang¹, LIU Bing², TANG Tian-si³, YANG Hui-lin³ (1. Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Suzhou University, Suzhou 215006, Jiangsu, China)

Abstract: Objective To study the effects on compressive strength and rigidity of tibia cortical bone from deep-freezing, freeze-drying or radiation treatments, and to discuss the appropriate method for tibia cortical bone treatment. **Methods** The cortical bone were collected from the middle part in tibial diaphysis from amputated limbs of trauma patients and made into bone plates with the size of 10 mm × 10 mm × 5 mm each. The bone plates were then divided into seven groups evenly and randomly: control group (Group A), deep-freezing group (Group B), freeze-drying group (Group C), deep-freezing plus ⁶⁰Co (25 J/g) radiation group (Group D), deep-freezing plus ⁶⁰Co (50 J/g) radiation group (Group E), freeze-drying plus ⁶⁰Co (25 J/g) radiation group (Group F), freeze-drying plus ⁶⁰Co (50 J/g) radiation group (Group G). The compressive strength and rigidity of allograft cortical

收稿日期:2015-08-01; 修回日期:2015-09-15

基金项目:安徽省科技计划项目(攻关计划)(08010302194)。

通信作者:申才良,主任医师,教授,Tel:(0551)62923244;E-mail:shencailiang1616@163.com。

bone were tested by mechanical testing machine. **Results** The largest compressive strength of the tibia cortical bone was in the range of 6.089-9.089 kN. Compared with Group A, the strength in Group B, C, D and F showed no significant difference, and the rigidity in Group B and C showed no significant difference, while the rigidity in Group D and F was decreased by 9.6% ($P < 0.05$) and 8.7% ($P < 0.05$), respectively. Compared with Group A, the strength in Group E and G was reduced by 29.6% ($P < 0.05$) and 33.1% ($P < 0.05$), respectively, and the rigidity was reduced by 16.7% ($P < 0.05$) and 14.8% ($P < 0.05$), respectively. **Conclusions** The strength and rigidity of tibia cortical bone are not changed significantly after deep-freezing or freeze-drying treatment. Compared with the untreated group, the strength of tibial cortical bone with the small dosage of ^{60}Co treatment is not significantly changed after deep-freezing or freeze-drying, but the rigidity is decreased; the strength and rigidity with the large dosage of ^{60}Co treatment are decreased obviously. For application of cortical bone used in spinal fusion, radiation sterilization dosage should be controlled in the range of 15-25 J/g.

Key words: Deep-freezing; Freeze-drying; Radiation; Cortical bone; Biomechanics

脊柱融合通过消除退变或不稳定的脊柱节段,增加脊柱稳定性,成为治疗下腰痛的常用方法。自体髂骨行后路椎间融合一直是治疗腰骶部退行性病变的标准方法之一,但自体髂骨植骨不仅带来取骨处并发症,更由于其力学强度的不足,不能有效地支撑机体载荷;同时,其形状的不规则导致术后易发生椎间隙塌陷、植骨吸收、移位等并发症。近年来,国内外相继开展了椎体间金属支架融合术,取得满意的疗效,但其远期疗效有待时间检验。例如,金属支架的自身缺陷,如金属在体内引起的电介反应、碎裂、假体松动,目前还无法解决;金属支架弹性模量较高,椎间植入时在椎体内部会引起应力遮挡,并对邻近节段造成影响,目前已逐渐弃用;在椎间融合支架材料改进方面,目前较多使用的是聚醚醚酮(PEEK)等合成材料,这些融合材料的弹性模量虽然与椎体相近,对融合椎间及邻近节段的应力影响较小,但不能被人体吸收,增加了病人的精神负担。

同种骨移植是骨科修复手术的重要手段,常用于骨缺损的充填以及结构重建。临床上运用同种皮质骨的目的是利用其骨传导作用,提供结构上的支持。为弥补以上椎间融合材料的不足,本文采用胫骨皮质骨自行研制出同种皮质骨融合支架,采用同种皮质骨融合器作为植入物。由于皮质骨的弹性模量与椎体骨相近,减小了应力遮挡效应以及对邻近节段的影响;同时,在愈合过程中皮质骨能够被爬行替代,并释放出骨诱导因子。本课题组已应用同种皮质骨融合支架行后路椎体间融合治疗腰椎退变性疾病^[1],取得良好疗效。在制备融合支架的过程中,为降低同种骨的抗原性以及灭菌,要对其进行低温冷冻或冻干、脂脱及辐照等处理。为了解这些处

理方法对胫骨皮质骨生物力学性能的影响,本文对用不同方法处理的胫骨皮质骨的抗压强度和硬度进行测试,以期获得适合的胫骨皮质骨处理方法。

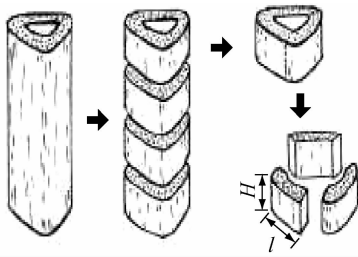
1 材料和方法

1.1 同种皮质骨融合支架的制备

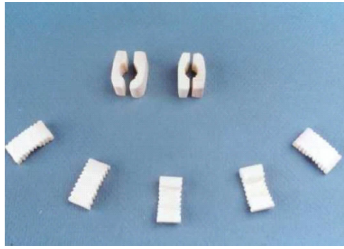
参照美国组织库协会(American Association of Tissues Banks, AATB)骨库标准^[2],选择无活动性感染、肿瘤、病毒性肝炎、性病、自身免疫性疾病和无菌性骨坏死等病史,术前无长期应用激素,年龄20~40岁的患者作为供体。无菌条件下收集他们因外伤截肢的胫骨干,去除周围软组织、骨膜及骨髓后,用生理盐水在超声清洗机中清洗3次,每次0.5 h,然后放入95%丙酮,4℃下脱脂48 h,生理盐水反复冲洗后,室温下使丙酮充分挥发。用线锯截取高度为10~15 mm、长度约为25 mm的长方形皮质骨板[见图1(a)],用骨锉充分修整其表面。在骨板的上下方分别锉出宽约2 mm、深1 mm,并带有同向斜面的骨齿[见图1(b)]。修整两骨板的对合面,使之充分接触,尽量扩大两骨板骨髓腔的间隙,用医用粘合胶将两皮质骨板连接。将加工后的骨板放在-80℃低温冰箱中冻冷3周,用3层塑料真空袋密封包装,经过剂量为25 J/g的 γ 射线辐照灭菌后,抽样行细菌培养,贮存在低温冰箱中备用。使用时,将骨板在37℃的生理盐水中复水2 h,其中间的间隙用椎管减压切除的椎板或棘突松质骨充填。

1.2 胫骨皮质骨的制备及分组

参照AATB骨库标准^[2],于伤后6 h内收集因外伤截肢的胫骨干,去除周围软组织、骨膜及骨髓后,用生理盐水反复冲洗后,用98%丙酮脱脂48 h,室温下充分挥发丙酮后,将胫骨中段用线锯断,将其



(a) 制备骨板过程示意图



(b) 骨板外观

图1 胫骨皮质骨板制备过程

Fig.1 Preparation process of tibial cortical bone plates

(a) Schematic diagram for preparation of bone plate,

(b) Appearance of bone plate

加工成大小约 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}^3$ 的皮质骨板, 随机分为 7 组, 每组 8 块。分别作如下处理——A 组: 正常对照组, 将皮质骨用密封塑料袋包装, 防止水分蒸发; B 组: 冷冻组, 将骨块置于 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中冷冻 3 周; C 组: 冻干组, 将新制成的深低温冷冻骨放入干燥机, 使骨内含水量降低到 5% 以下; D、E 组: 冷冻 + 辐照组, ^{60}Co 辐照剂量分别为 25、50 J/g; F、G 组: 冻干 + 辐照组, ^{60}Co 辐照剂量分别为 25、50 J/g。

1.3 胫骨皮质骨的抗压强度测定

将上述不同分组的皮质骨置于岛津材料试验机 (型号 DCSS-500, 日本岛津公司) 上进行极限抗压强度测试, 加载速度为 1.5 mm/min , 根据载荷-位移曲线, 记录极限抗压强度值 (见图 2)。

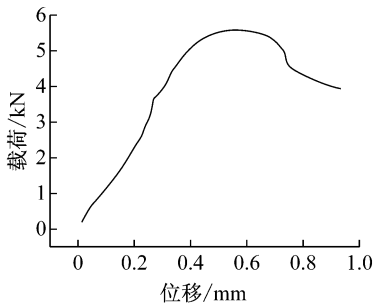


图2 载荷-位移曲线

Fig.2 The load-displacement curve

1.4 皮质骨的硬度测试

将皮质骨板的外表面经砂纸磨制, 样品表面抛光 3 min。表面经真空气相沉积金, 镀金厚度小于 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ (见图 3)。

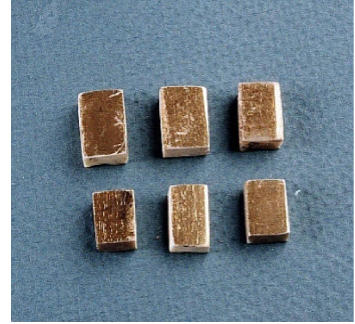


图3 真空气相沉积金标本

Fig.3 Bone plates with vacuum vapor deposited gold

采用 71 型显微硬度计 (上海光学仪器二厂) 测定皮质骨硬度。方法如下: 采用维氏硬度试验法, 用以相对两棱面夹角为 136° (两棱夹角为 $146^\circ 6' 22''$) 的金刚石正四棱角锥体为压头, 在 200 g 载荷作用下, 压入被试物表面, 保荷时间为 30 s , 测量所得压痕的两对角线, 取其平均值, 然后代入公式计算得出硬度值:

$$HV = F/S$$

式中: HV 为维氏硬度, F 为作用在压头上的负荷, S 为所得压痕的表面积。

1.5 统计学分析

数据以均数 \pm 标准差表示, 采用单因素方差分析, 先进行方差齐性检验, 然后对极限强度与硬度两组数据分别继续进行各组间数据两两比较。

2 结果

2.1 皮质骨的极限强度测试结果

根据载荷-位移曲线, 测得胫骨皮质骨的极限强度。结果表明, 胫骨皮质骨的抗压强度为 $6.089 \sim 9.089\text{ kN}$ 。与正常对照组 (A 组) 比较, 深低温冷冻 (B 组)、冻干 (C 组) 以及低剂量 γ 射线辐照 (D、F 组) 对皮质的抗压强度无明显影响; 当剂量增加到 50 J/g 时, 冷冻 (B 组)、冻干皮质骨 (C 组) 的抗压强度分别减少 29.6% 和 33.1% ($P < 0.05$, 见表 1)。

2.2 胫骨皮质骨的硬度测试结果

显微镜下观察发现, 冻干 (B 组) 及冷冻 (C 组)

和低剂量 γ 射线辐照 (D、F 组) 后, 表面无明显改变; 而当剂量增加到 50 J/g 时, 被测皮质骨块表面有纵向微裂纹, 出现点状孔隙, 其脆性大于 3 级。同正常对照组 (A 组) 比较, 冻干骨和冷冻骨经 25 J/g γ 射线辐照 (D、F 组) 后, 硬度分别减少 9.6% ($P < 0.05$) 和 8.7% ($P < 0.05$); 冻干骨和冷冻骨经 50 J/g γ 射线辐照 (E、G 组) 后, 其维氏硬度分别下降 16.7% 和 14.8% ($P < 0.05$, 见表 1)。

表 1 不同处理方法后胫骨皮质骨的抗压强度及硬度变化
($\bar{x} \pm s, n=8$)

Tab. 1 Compressive strength and rigidity of the tibial cortical bone after different treatment

分组	极限载荷/N	维氏硬度/mPa
A	7 589.6 \pm 1 499.7	53.74 \pm 2.8
B	7 533.0 \pm 1 741.2	53.41 \pm 2.8
C	7 384.7 \pm 1 677.4	53.20 \pm 2.9
D	6 863.4 \pm 1 240.4	49.79 \pm 3.0
E	5 347.2 \pm 1 612.8	45.23 \pm 1.7
F	6 927.3 \pm 1 869.4	47.18 \pm 2.1
G	5 077.4 \pm 1 589.4	44.79 \pm 1.8

3 讨论

冷冻/冻干和辐照是目前处理同种骨的最常用方法, 可以达到消除同种骨的抗原性以及灭菌的目的, 但是这些处理方法对其力学性能有不同的影响。

3.1 冷冻对同种骨力学性能的影响

冷冻是一种物理方法, 不同的冷冻温度对骨的力学性能影响各异。Rozen 等^[3] 研究发现, 将骨冷冻到 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后复温, 骨生物力学性质与新鲜同种骨移植比较不会产生显著变化, 对骨的弯曲负荷的机械强度无影响; Hamer 等^[4] 研究发现, 当冰冻温度为 $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 折弯强度减少 10%, 而扭转强度无改变; Suarez 等^[6] 和 Pelker 等^[7] 研究表明, 将骨冷冻到液氮中 ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), 对同种骨的生物力学性质不产生变化。在本实验中, 用 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷冻时, 胫骨同种皮质的抗压强度为 7.533 kN, 与新鲜骨的抗压强度 7.5896 kN 相比, 差别没有统计学意义 ($P > 0.05$), 与文献[6,7]中的报道相符。

3.2 冻干对同种骨力学性能的影响

冻干处理可使骨发生纵向微细骨折, 增加移植

骨的脆性。Ilgenli 等^[7] 研究发现, 冻干可使移植骨的折弯强度减少 55% ~ 90%; Jeresch 等^[8] 研究表明, 冻干骨再水化后抗弯曲应力较新鲜骨减少 45% ~ 100%, 抗旋转应力减少 61%, 而抗压强度无明显改变; Wolfenbarger 等^[9] 发现, 冻干骨再水化后抗压强度增加, 故使用之前应对其再水化。本实验结果表明, 冻干对胫骨皮质骨的抗压强度无明显影响 ($P < 0.05$), 在应用同种皮质骨融合支架行椎间融合时, 通常使用之前进行水化, 常规用生理盐水浸泡, 以提高其抗压强度。

3.3 辐照对皮质骨力学性能的影响

辐照常用的是 γ 射线, 应用其具有较强的穿透能力和激发电子的直接作用以及自由基的生成, 来消除同种骨的抗原性和灭菌。但大剂量 γ 射线辐照可以破坏骨胶原分子间的交联, 造成骨力学强度的降低^[10]。Anderson 等^[11] 对用不同剂量辐照的胫骨上段松质的抗压强度和弹性模量进行测定发现, 与配对的未照射样品比较, 当辐照剂量为 10、31 和 51 J/g 时, 抗压强度和弹性模量无显著差别; 只有当剂量提高到 60 J/g 时, 其抗压强度和弹性模量显著下降。Nguyen 等^[12] 研究发现, 采用 20 ~ 25 J/g 辐照髌骨后, 不论先辐照后冻干, 还是先冻干后辐照, 强度等指标与不辐照对照组相比没有明显差别。因此, AATB 建议辐照灭菌剂量应控制在 15 ~ 25 J/g^[2], 这样既能达到灭菌目的, 又不足以引起骨的生物力学性能改变, 并仍可保留部分骨诱导能力。在本实验中, 同正常对照组 (A 组) 比较, 应用 25 J/g 剂量辐照时, 冷冻与冻干骨的抗压强度无显著改变 ($P > 0.05$), 当辐照剂量增大到 50 J/g 时, 冷冻与冻干骨的抗压强度分别减少 29.5% 和 33.1% ($P < 0.05$), 提示在应用同种皮质骨融合支架行椎间融合时, 辐照灭菌剂量应控制在 15 ~ 25 J/g。

3.4 冷冻/冻干加辐照对胫骨皮质骨硬度的影响

本实验发现, 冷冻、冻干以及小剂量辐照对硬度影响不大, 但当辐照剂量增大到 50 J/g 时, 同正常对照组比较, 其冷冻与冻干骨的硬度分别减少 16.7% 和 14.8%, 推测与辐照破坏骨原分子间的链接, 在骨皮质表面出现纵向微裂纹、点状孔隙, 脆性增大有关。

3.5 同种异体骨支架临床生物力学特性分析

椎间融合支架置入术是以撑开压缩原理进行的

手术,使原来松弛的纤维环及韧带恢复张力,脊柱退变变窄的间隙得到改善,显然融合支架强度起决定性的因素。椎间植入物的强度大小对椎体载荷的分担具有重要作用。研究发现,活体内腰椎在静态状态下的负荷强度为 3.334 ~ 7.112 kN,最大负荷可达 8.890 kN^[13]。本实验测得胫骨皮质骨板最大抗压强度为 6.089 ~ 9.089 kN,显然胫骨皮质骨融合支架的强度已足够维持脊柱的强刚度^[14],在椎体作用力下,能够足以承载极限压力。胫骨皮质弹性模量与椎体骨相差不大,在力学上表现为变形与位移小;临床应用胫骨皮质骨提供机械支撑,自体骨椎间及支架内充分植入自体骨,提供骨诱导活性物质,皮质骨在骨融合过程中逐渐被爬行替代,形成自体骨骨性融合,是比较理想的临床选择。

同种骨在移植后的愈合过程中,其生物力学性能也将发生改变。研究者对骨重建力学性能测定采用仿真理论及方法,通过计算机模拟重建过程和结果,可以预测临床矫形或远期生物力学效果^[15-16];汤亭亭等^[17]研究发现,同种皮质骨植入后,移植骨-宿主骨界面间的连接强度持续上升,而移植骨自身的生物力学强度逐渐降低,至第 8 周时达到最低点,然后再缓慢上升,同时不同载荷对移植的皮质骨自身的力学强度也有影响。因此,在临床上应用同种皮质骨融合支架行椎间融合时,应该加用内固定,一方面防止移植骨的移位,在移植骨力学性能降低时,通过内固定分担载荷,可以防止因力学性能降低导致的皮质骨断裂;另一方面可通过内固定对移植骨进行加压,加速其临床愈合,同时也有利于防止内固定器械的疲劳断裂。

4 结语

冷冻、冻干及小剂量⁶⁰Co 辐照消毒对胫骨皮质骨板的抗压强度及硬度无显著影响,大剂量⁶⁰Co 辐照时,胫骨皮质骨板的抗压强度及硬度显著下降。在临床上,为了使胫骨皮质骨板构建的椎间融合支架保持良好的强度及硬度,应注意辐照灭菌时的剂量,既保证了灭菌效果,又避免骨的强度及硬度的丢失,一般推荐剂量为 15 ~ 25 J/g。

参考文献:

[1] 申才良,唐天驷,杨惠林. 同种皮质骨融合支架的研制及临

床应用[J]. 临床骨科杂志, 2007, 10(4): 302-305.

[2] Campbell DG, Li P. Sterilization of HIV with irradiation: Relevance to infected bone allografts [J]. Aust N Z J Surg, 1999, 69(7): 517-521.

[3] Rozen B, Brosh T, Salai M, et al. The effects of prolonged deep freezing on the biomechanical properties of osteochondral allografts [J]. Cell Tissue Bank, 2009, 10(1): 27-31.

[4] Hamer A, Strachan JR, Black MM, et al. Biomechanical properties of cortical allograft bone using a new method of bone strength measurement-A comparison of fresh, fresh-frozen and irradiated bone [J]. J Bone Joint Surg, 1996, (3): 363-368.

[5] Suarez LS, Richmond JC. Overview of procurement, processing, and sterilization of soft tissue allografts for sports medicine [J]. Sports Med Arthrosc, 2007, 15(3): 106-113.

[6] Pelker RR, Friedlaender GE, Markham TC. Biomechanical properties of bone allografts [J]. Clin Orthop Relat Res, 1983, 174: 54-57.

[7] Ilgenli T, Dundar N, Ilhan Kal B. Demineralized freeze-dried bone allograft and platelet-rich plasma vs platelet-rich plasma alone in infrabony defects: A clinical and radiographic evaluation [J]. Clin Oral Invest, 2007, 11(1): 51-59.

[8] Jerosch J, Muchow H, Clahsen H. Stability of human bone cortex following various preservation and sterilization methods [J]. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 1991, 129(4): 295-301.

[9] Wolfenbarger L, Zhang Y, Adam BLT, et al. A comprehensive study of physical parameters, biomechanical properties, and statistical correlations of iliac crest bone wedges used in spinal fusion surgery. I. Physical parameters and their correlations [J]. Spine, 1994, 19(3): 277-283.

[10] Hoburg A, Keshlaf S, Schmidt T, et al. Fractionation of high-dose electron beam irradiation of BPTB grafts provides significantly improved viscoelastic and structural properties compared to standard gamma irradiation [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011, 19(11): 1955-1961.

[11] Anderson MJ, Keyak JH, Skinner HB. Compressive mechanical properties of human cancellous bone after gamma irradiation [J]. J Bone Joint Surg Am, 1992, 74(5): 747-752.

[12] Nguyen H, Morgan D, Forwood M. Sterilization of allograft bone: Is 25 kGy the gold standard for gamma irradiation? [J]. Cell Tissue Bank, 2007, 8(2): 81-91.

[13] Schlegel KF, Pon A. The biomechanics of posterior lumbar interbody fusion (PLIF) in spondylolisthesis [J]. Clin Orthop, 1985, 193: 115-119.

[14] 葛鹏,申才良,董福龙,等. 腰骶部椎间融合支架的改进及力学性能研究[J]. 安徽医科大学学报, 2013, 48(8): 929-932.

- [15] 马宗民, 李淑娴. 动载荷下骨重建力学调控机制[J]. 医用生物力学, 2015, 30(4): 346-349.
Ma ZM, Li SX. Mechanostat of bone remodelling under dynamic loads [J]. J Med Biomech, 2015, 30(4): 346-349.
- [16] 雷周激欣, 王冬梅, 王春慧, 等. 不同力学激励对骨重建数值

- 模拟的影响[J]. 医用生物力学, 2015, 30(4): 299-303.
Lei ZJX, Wang DM, Wang CH, et al. The effect of mechanical stimuli on numerical simulation of bone remodeling [J]. J Med Biomech, 2015, 30(4): 299-303.
- [17] 汤亭亭, 戴尅戎, 顾冬云. 同种异体皮质骨移植的生物力学研究[J]. 中华外科杂志, 1998, 36(5): 272-274.

《医用生物力学》2013 年度“最高被引论文”结果公示

为鼓励作者将创新性、高质量的学术论文发表在《医用生物力学》杂志上, 促进学术交流, 提高学术水平, 本刊从 2012 年起开展了《医用生物力学》优秀论文评选活动。2015 年 12 月初, 本刊编辑部委托中国科学院上海科技查新咨询中心对本刊 2013 年发表的 97 篇论著文章进行检索, 检索的数据库为中国学术文献网络出版总库(CNKI)、中国科学引文库(CSCD)、万方数据知识服务平台、Science Citation Index Expanded (SCI-E)。本刊编委会评审专家小组根据检索报告出具的单篇论文被引频次排序, 通过综合评定, 评选出 6 篇优秀论文。现对拟获奖论文进行公示。公示无异议后, 编辑部将对 6 篇论文予以表彰, 授予“《医用生物力学》2013 年度最高被引论文奖”, 获奖作者将获得编辑部颁发的证书及奖金 1500 元。

如有异议, 请在公示之日起 15 日内向本刊编辑部投诉。欢迎本刊广大读者、作者就上述论文的任何问题提出反馈意见。

电话:(021)53315397, 电子邮箱:shengwulixue@163.com

本刊编辑部

附《医用生物力学》2013 年度“最高被引论文奖”名单(*为通讯作者)

题名: 基于汽车碰撞损伤的人体胸部有限元模型构建与验证

作者: 蔡志华*, 兰凤崇, 陈吉清*, 刘卫国, 雷旦
单位: 华南理工大学机械与汽车工程学院
来源: 医用生物力学, 2013, 28(1): 36-43
被引频次: 10(自引 1 次, 他引 9 次)

题名: 不同连接筋结构的支架治疗椎动脉狭窄的力学分析

作者: 张站柱, 乔爱科*, 付文字
单位: 北京工业大学生命科学与生物工程学院
来源: 医用生物力学, 2013, 28(1): 44-49
被引频次: 8(自引 1 次, 他引 7 次)

题名: 推拿手法对腰椎间盘突出症腰椎结构三维位移的影响

作者: 周楠, 吕强, 方舟, 顾立栩, 陆文龙, 孙武权, 张喜林, 刘鲲鹏, 张树锋, 房敏*
单位: 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院推拿科
来源: 医用生物力学, 2013, 28(3): 269-274
被引频次: 4(自引 0 次, 他引 4 次)

题名: 全腰椎三维有限元模型的建立及其有效性验证

作者: 秦计生, 王昱, 彭雄奇*, 蒋钰钢
单位: 上海交通大学材料学院
来源: 医用生物力学, 2013, 28(3): 321-325
被引频次: 11(自引 0 次, 他引 11 次)

题名: 内侧支撑螺钉在锁定钢板治疗肱骨近端骨折中的生物力学优势

作者: 曾浪清, 陈云丰*, 李元超, 王磊, 宋文奇, 刘燕洁, 章伟, 张长青, 曾炳芳
单位: 上海交通大学附属第六人民医院骨科
来源: 医用生物力学, 2013, 28(3): 338-343
被引频次: 9(自引 0 次, 他引 9 次)

题名: 周期性张应变通过活性氧生成促进膝关节骨关节炎患者的软骨细胞发生凋亡

作者: 俞超, 杨飞, 戴尅戎, 张晓玲, 唐坚*, 朱振安*
单位: 上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科
来源: 医用生物力学, 2013, 28(3): 350-356
被引频次: 4(自引 0 次, 他引 4 次)