

文章编号:1004-7220(2010)05-0380-05

猪、小牛与人颈椎的生物力学比较

盛孙仁¹, 徐华梓¹, 王向阳¹, 毛方敏¹, 洪德亮²

(1. 温州医学院附属第二医院 骨科, 温州 325100; 2. 浙江玉环县红十字医院 骨科, 温州 317602)

摘要: 目的 比较猪、小牛与人颈椎功能节段的生物力学, 确定猪与小牛颈椎是否适合在脊柱体外研究中替代人的脊柱标本。方法 取12具1岁龄, 60~80 kg猪龄颈椎(颈0-胸1), 12具1周龄, 40~50 kg小牛的颈椎(颈0-胸1)。12具标本分成两组, 一组6具被分成C2-C3, C4-C5, C6-C7; 另一组被分成C3-C4, C5-C6。每个功能节段(C2-C3, C3-C4, C4-C5, C5-C6, C6-C7)分别测试。连续测试前屈后伸、旋转、侧弯上的活动范围和中性区, 并同已发表的人体颈椎活动度进行比较。结果 中性区: 在旋转和前屈后伸方向上, 小牛和人颈椎的中性区比较相近, 但远大于猪颈椎的中性区; 在左右侧弯方向上, 猪C2-C3为人的中性区69.7%, 猪C6-C7约为人的中性区60.4%, 余节段均相差较大; 小牛颈椎与人颈椎在C2-C3上十分相近, 余节段也相差较大。活动范围: 在前屈后伸和左右侧屈上, 猪与人颈椎的活动十分相近, 均远小于小牛颈椎的活动度, 约为其的50%; 在旋转方向上, 猪C2-C3约为人的69%, 余节段均小于人颈椎; 小牛颈椎远大于人颈椎, 最相近的为C4-C5上, 相差3.5°。结论 猪的C2-C3, C6-C7的生物力学可以替代人颈椎进行各种方向生物力学实验; 小牛颈椎的活动度普遍大于人, 小牛C2-C3, C3-C4的生物力学同人比较相似。

关键词: 小牛; 猪; 颈椎; 生物力学; 力学测试

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

Biomechanical comparison with cervical spines of porcine, calf and human

SHENG Sun-ren¹, XU Hua-zi¹, WANG Xiang-yang¹, MAO Fang-min¹, HONG De-liang² (1. Department of Orthopaedic Surgery, Second Affiliated Hospital of Wenzhou Medical College, Wenzhou 325100, China; 2. Department of Orthopaedic Surgery, Yuhuan Red Cross Hospital, Wenzhou 317602, China)

Abstract: Objective To identify whether the calf or porcine cervical spine is a suitable substitute specimen for vitro spine study by comparing the biomechanical characteristics of porcine, calf and human cervical segments. **Method** Twelve fresh (age: 1 year; average weight: 60-80 kg) porcine cervical spines (C0-T1) and twelve fresh (age: 1 week; average weight: 40-50 kg) calf cervical spines (C0-T1) were taken. The twelve specimens were divided into two groups. One group of six was divided into C2-C3, C4-C5, C6-C7; the other group was divided into C3-C4, C5-C6. The muscle and soft tissue of each functional segment (C2-C3, C3-C4, C4-C5, C5-C6, C6-C7) were removed, preserving the full ligament, and then each functional segment was tested respectively. The flexion/extension, axial left/right rotation, and right/left lateral bending were applied continuously on the range of motion (ROM) and neutral zone (NZ). The findings in the study were compared with the published data of human cervical spine. **Results** In rotating and extension/flexion of NZ, the calf and human cervical spines were relatively similar, but they were far greater than that of the porcine cervical spine. In the lateral bending, the NZ of porcine C2-C3 was 69.7% of human, the NZ of porcine C6-C7 was 60.4% of human, and other

收稿日期: 2010-05-20; 修回日期: 2010-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30700843); 浙江省医药卫生科技计划资助项目(20082157)。

作者简介: 盛孙仁(1982-), 男, 研究方向: 骨科。

通讯作者: 王向阳, 副主任医师, E-mail: xiangyangwang@126.com; Tel: (0577)88879123。

segments were far smaller than human; the calf cervical spines were different from human, except the C2-C3. In bending and extension flexion of ROM, the porcine and human cervical spines were very similar. But they were far less than the calf, approximately 50% of calf; in the rotation, C2-C3 of porcine was about 69% of human, and other segments were less than the human. The calf cervical spine was much larger than human, and the smallest gap was in C4-C5 of 3.5°. **Conclusions** The C2-C3 and C6-C7 of porcine can replace the human cervical spine in nearly all biomechanical experiments on spines. The ROM of calf is bigger than human cervical, but the C2-C3 and C3-C4 of calf are similar to human in biomechanics.

Key words : Calf; Porcine; Cervical spine; Biomechanics; Mechanical testing

由于人体标本取材困难,并且受伦理道德的限制,寻找可以替代人体脊柱模型进行体外实验的动物标本变得十分需要。一个理想的动物模型应该在形态学、组织学、固有的生物力学和运动学的特性上与人体相近。一些学者已经研究了小牛与猪的胸腰椎体的解剖生物力学。Bozkus 等^[1]比较了人与猪的胸椎,认为猪胸第 6、第 10 胸椎是最佳的替代节段。Schmidt 等^[2]比较了猪颈椎和人颈椎在不同手术方法上的差别,认为猪颈椎在前屈和后伸的生物力学上与人颈椎相似。Yingling 等^[3]认为猪颈椎可以替代年轻人腰椎。Cotterill 等^[4]研究小牛的 T6、T12、L3 的解剖,认为这几个节段存在不同,在生物力学研究时必须考虑到。Hans-Joachim 等^[5]认为小牛胸腰椎段可以替代人体。但是目前还没有关于小牛与猪的颈椎同人生物力学比较的研究。因此,本研究的目的是测量这两种动物颈椎功能单位的生物力学数据,并同已发表的人颈椎的数据^[6,7,9]进行比较。通过这些比较,试图验证小牛与猪颈椎是否合适替代人的颈椎模型以进行生物力学测试。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 标本制备及分组 从屠宰市场取 12 具 1 岁龄,平均 60 ~ 80 kg 的猪的颈椎(颈 0-胸 1),12 具 1 周龄,平均 40 ~ 50 kg 的小牛的颈椎(颈 0-胸 1)。实验前,所有颈椎存放在 -20 °C 的冷藏库中。所有的肌肉组织被小心剔除,韧带和骨性组织完整保留。标本被制作成单一的椎体功能节段,上面有完整的椎间盘和韧带组织。12 具标本分成两组,一组 6 具被分成 C2-C3, C4-C5, C6-C7;另一组被分成 C3-C4, C5-C6。每个功能节段(C2-C3, C3-C4, C4-C5, C5-C6, C6-C7)分别测试。力学测试采用 panjabi 方法研制的三维运动试验机及测量分析系统。

1.2 生物力学测试

整个测试过程标本保持湿润。每个功能节段放在牙托粉中固定后,放在三维力学测试仪上测试三维运动范围(见图 8)。使用运动力矩为 2.5 N·m^[5]测试前屈后伸、旋转、侧弯上的活动范围(range of motion, ROM)和中性区(neutral zone, NZ)。活动范围:在第 3 个循环上,中性点到最大载荷点的范围。中性区:在第 3 个循环上,中性点到零载荷点的范围(见图 1)。由于 2.5 N·m 小于最大完整健康椎体的破坏负荷,处于大多数体外脊柱实验的载荷范围内。脊柱三维力学测试仪使用(PC-Reflex; Qualysis)电脑软件分析功能单位的三维运动范围。为了减少这些数据的相关性,本研究只测试单方向载荷时的位移。为了减少实验的黏性影响,每个功能测试 3 个循环,第 3 个循环时开始记录。

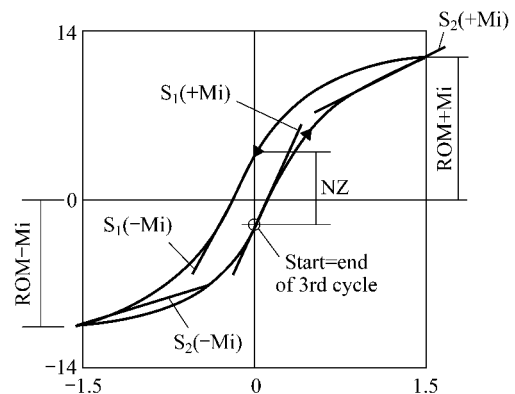


图 1 测量参数示意图 (ROM-活动范围, NZ-中性区)
Fig.1 Schematic diagram of measurement parameters (ROM-range of motion, NZ-neutral zone)

2 结果

前屈后伸。猪的活动范围和中性区均小于小牛。猪的中性区在从 C2-C3 到 C6-C7 波动较大,最

小的中性区范围在 C2-C3 ($0.41^\circ \pm 0.29^\circ$), 最大的中性区范围在 C6-C7 ($2.56^\circ \pm 2.03^\circ$), 但从 C2-C3 到 C6-C7 活动范围变化不大。小牛的活动范围从 C2-C3 的 18.2° 增长到 C6-C7 的 38.0° , C6-C7 的活动范围约为 C2-C3 的 2 倍, 小牛的最小中性区在 C4-C5 为 3° , C2-C3 和 C6-C7 的中性区相差不大。

左右侧屈。猪的最大中性区在 C2-C3 ($6.28^\circ \pm 2.31^\circ$), 最小中性区在 C4-C5 ($1.35^\circ \pm 1.27^\circ$), 其活动范围变化不大, 波动于 $14^\circ \sim 16^\circ$ 。小牛的中性区从 C2-C3 到 C6-C7 波动于 $10^\circ \sim 14^\circ$, 小牛最大的活动范围是 C5-C6 的 $40.38^\circ \pm 5.09^\circ$, 最小的活动范围是 C2-C3 的 $29.16^\circ \pm 4.98^\circ$ 。

旋转。猪的旋转活动范围和中性区远小于小牛。猪的中性区波动于 $0.22^\circ \sim 1.1^\circ$, 活动范围波动于 $3.5^\circ \sim 7.6^\circ$, 最小的中性区和活动范围均在 C3-C4。小牛的中性区从 C2-C3 到 C6-C7 波动于 $5^\circ \sim 8^\circ$, 活动范围波动于 $15^\circ \sim 21^\circ$ 。

3 讨论

测试小牛和猪的颈椎的方法数据来源 Wen 的研究^[6], 并和其他生物力学机构测试方法^[7-8] 相差不大。已发表的人体颈椎活动度的文章很多^[6,7,9], 其加载力也有不同。但由于加载的力矩相似, 都在 $1.5 \sim 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的范围内, 故本文采用 $2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的力矩测量小牛和猪颈椎的生物力学特性, 并同人的数据比较。

前屈后伸。猪的中性区明显小于小牛和人(见图 2), 约为 $6\% \sim 38\%$ 。小牛的中性区在 C2-C3、C3-C4、C5-C6、C6-C7 4 个节段, 和人相差不多(相差在 5° 内), 但 C4-C5 的中性区约为人的 50%。猪的活动范围和人比较相近, 但远小于小牛的活动范围(见图 3), 约为其 50%。小牛的活动范围从 C2-C3 ($18.20^\circ \pm 5.96^\circ$) 增加到 C6-C7 ($38.03^\circ \pm 2.65^\circ$)。

左右侧弯。猪颈椎的中性区远小于人和小牛(见图 4), 人与小牛的中性区在 C2-C3 上相差较小, 余节段人远小于小牛。猪与人在侧弯方向上的活动范围相差不大, 小牛颈椎的活动范围明显大于人和猪(见图 5) ($P < 0.05$)。

旋转。猪颈椎的中性区远小于小牛与人。人与小牛的中性区除了 C4-C5 外, 均相差不大(见图 6)。在旋转方向上三者活动范围相差较大(见图 7), 小

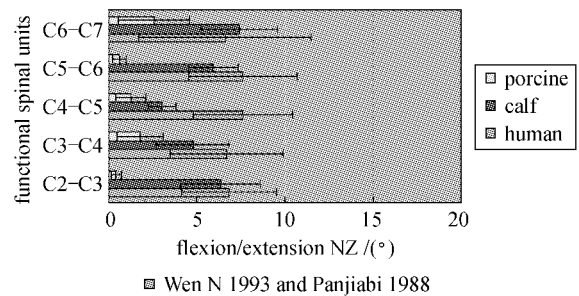


图2 猪,小牛和人的前屈后伸的中性区比较

Fig. 2 Comparison of extension-flexion of NZ in calf, porcine and human

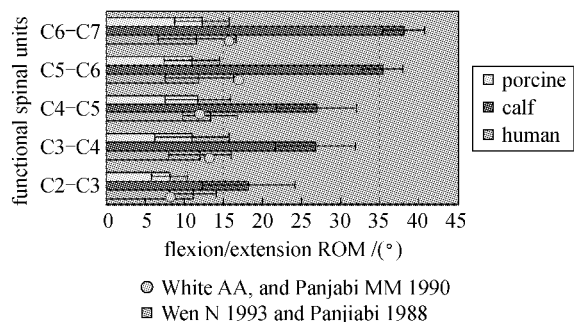


图3 猪,小牛和人的前屈后伸的活动区比较

Fig. 3 Comparison of extension-flexion of ROM in calf, porcine and human

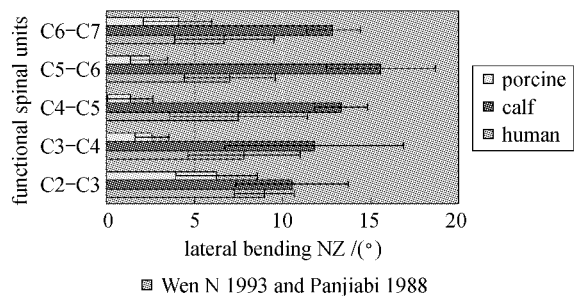


图4 猪,小牛和人的左右侧弯的中性区比较

Fig. 4 Comparison of lateral bending of NZ in calf, porcine and human

牛的最小活动范围(C2-C3 的 16.73°), 最大活动范围(C3-C4 的 21.84°); 人颈椎活动范围波动于 $9.8^\circ \sim 15.5^\circ$; 猪的颈椎活动度较小, 最大的活动范围为 7.66° 。

在各个受力方向上, 猪的中性区明显小于其他两者, 除了左右侧弯方向上的 C2-C3 的中性区(相

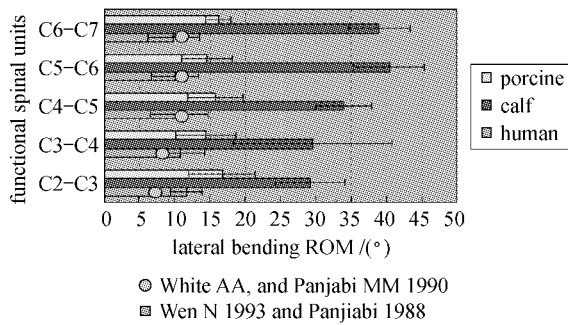


图5 猪,小牛和人的左右侧弯的活动区比较
Fig.5 Comparison of lateral bending of ROM in calf, porcine and human

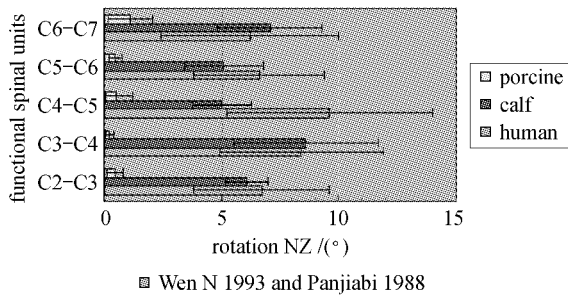


图6 猪,小牛和人的旋转的中性区比较
Fig.6 Comparison of rotating of NZ in calf, porcine and human

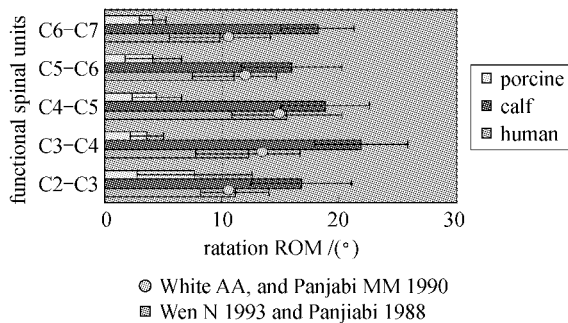


图7 猪,小牛和人的旋转的活动区比较
Fig.7 Comparison of rotating of ROM in calf, porcine and human

差在4°内)。从 C2-C7 小牛颈椎的活动范围和中性区基本上是逐渐增大,而人颈椎的活动度和中性区基本上改变不大。在前屈后伸和旋转方向上,人的中性区稍大于小牛;但在侧弯上,小牛颈椎中性区范围比人大。

总之,猪 C2-C3、C6-C7 的生物力学可以替代人

颈椎行各种方向生物力学实验。其 C3-C4 由于旋转活动范围小于人,但在侧弯和前屈后伸同人差别不大,故可替代人颈椎进行侧弯和前屈后伸上的实验;但由于猪颈椎中性区远小于人,实验须考虑其影响。小牛颈椎的活动度普遍大于人,并且有从 C2-C7 差距逐渐增大的趋势;各个方向上中性区差别不大除了 C4-C5,因此小牛 C2-C3、C3-C4 的生物力学同人比较相似。

虽然缺少解剖生物力学同人的比较,但许多实验已经使用了猪、小牛颈椎进行体外实验^[10]。本研究第一次比较猪和小牛颈椎与人的生物力学上相似与不同,提供了关于人、猪和小牛颈椎详细和完整的生物力学的数据。需要注意的是,在选择猪和小牛代替人颈椎标本行体外或体内实验时,必须综合考虑猪、牛和人的解剖、骨密度和生物力学等因素。

致谢 感谢南方医科大学生物力学实验室赵卫东工程师对本试验的指导。

参考文献:

- [1] Bozkus H, Crawford NR, Chamberlain RH, *et al.* Comparative anatomy of the porcine and human thoracic spines with reference to thoracoscopic surgical techniques. *Surg Endosc*, 2005,19:1652-1665.
- [2] Schmidt R, Richter M, Claes L, *et al.* Limitations of the cervical porcine spine in evaluating spinal implants in comparison with human cervical spinal segments; a biomechanical in vitro comparison of porcine and human cervical spine specimens with different instrumentation techniques [J]. *Spine*, 2005,30:1275-1282.
- [3] Yingling VR, Callaghan JP, McGill SM. The porcine cervical spine as a model of the human lumbar spine: an anatomical, geometric, and functional comparison[J]. *J Spinal Disord*, 1999,12:415-23.
- [4] Cotterill PC, Kostuik JP, D'Angelo G, *et al.* An anatomical comparison of the human and bovine thoracolumbar spine[J]. *J Orthop Res*, 1986,4:298-303.
- [5] Hakalo J, Pezowicz C, Wronski J, *et al.* Comparative biomechanical study of cervical spine stabilisation by cage alone, cage with plate, or plate-cage: a porcine model[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2008,16:9-13.
- [6] Wen N, Lavaste F, Santin JJ, *et al.* Three-dimensional biomechanical properties of the human cervical spine in vitro [J]. *Eur Spine J*, 1993,2:2-47.
- [7] Panjabi MM, Dvorak J, Duranceau J, *et al.* Three-dimen-

- sional movements of the upper cervical spine [J]. Spine, 1988, 13: 726-730.
- [8] Panjabi MM. Biomechanical evaluation of spinal fixation devices: I. A conceptual framework [J]. Spine, 1988, 13: 1129-1134.
- [9] White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine [M]. Philadelphia: JB Lippincott, 1990.
- [10] Ghole SA, Ivancic PC, Tominaga Y, *et al.* Incremental and single trauma produce equivalent subfailure soft tissue injury of the cervical spine [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2004, 19: 784-789.

(上接第 374 页)

- [18] 赵宝林, 权铁刚, 马洪顺. 骨性关节炎对膝关节干骺端松质骨应力松弛性质影响的实验研究 [J]. 生物医学工程研究, 2007, 26(3): 257-259.
- [19] Mourad A -H I, Fouad H, Elleithy R. Impact of some environmental conditions on the tensile, creep-recovery, relaxation, melting and crystallinity behaviour of UHMWPE-GUR 410-medical grade [J]. Materials and Design, 2009, 30: 4112-4119.
- [20] Phil HK, Young CN. The effect of c-irradiation on ultra-high molecular weight polyethylene recrystallized under different cooling conditions [J]. Radiat Phys Chem, 2001, 60: 79-87.
- [21] Wang QL, Liu JL, Ge SR. Study on biotribological behavior of the combined joint of CoCrMo and UHMWPE/BHA composite in a hip joint simulator [J]. Journal of Bionic Engineering, 2009, 6(4): 378-386.
- [22] Oral E, Arnaz SM, Muratoglu OK. Mechanism of decrease in fatigue crack propagation resistance in irradiation and melted UHMWPE [J]. Biomaterials, 2006, 27(6): 917-925.
- [23] Duran NY, Alan SL. Viscoelastic behaviour of acrylic bone cement [J]. Biomaterials, 1998, 19: 1551-1559.
- [24] Nit ta KH, Tanaka A. Dynamic mechanical properties of metallocene catalysed linear polyethylene [J]. Polymer, 2001, 42: 1219-1226.
- [25] Lacroix F, Loos J, Schulte K. Morphological investigations of polyethylene fibre reinforced polyethylene [J]. Polymer, 1999, 40: 843-847.
- [26] Wilson CC, Donkelaar B, Rietbergen HW, *et al.* A fibril-reinforced poroviscoelastic swelling model for articular cartilage [J]. Journal of biomechanics, 2005, 38: 1195-1204.

(上接第 379 页)

参考文献:

- [1] McEvoy, Kerry P, Robert U, *et al.* Baseball throwing speed and base running speed: the effects of ballistic resistance training [J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 1998, 12(4): 216-221.
- [2] Brody H. The sweet spot of a baseball bat [J]. American Journal of Physics, 1986, 54(7): 640-643.
- [3] Handee SP, Greenwald RM, Crisco JJ. Static and dynamic properties of various baseballs [J]. Journal of Applied Biomechanics, 1998, 14(4): 390-400.
- [4] Nathan AM. Characterizing the performance of baseball bats [J]. American Journal of Physics, 2003, 71(2): 134-143.
- [5] Shenoy MM, Smith LV, Axtell JT. Performance assessment of wood, metal and composite baseball bats [J]. Composite Structures, 2001, 52(3): 397-404.
- [6] Vedula G, Sherwood JA. An experimental and finite element study of the relationship amongst the sweet spot, cop and vibration nodes in baseball bats [C]. Proceedings of the 5th Conference of Engineering of Sport, 2004.
- [7] 吴俊昌, 李明宪, 相子元. 铝棒与木棒击球结果(恢复系数)之比较研究 [J]. 台北学报, 2005, 29, 252-271.
- [8] 薛庆云, 信原克哉. 肩部投掷运动的生物力学研究 [J]. 医用生物力学, 1993, 10(1): 35-39.
- [9] 戴群, 吉承恕, 李宗浩. 人格特征对棒球运动员运动损伤的影响 [J]. 天津体育学院学报, 2005, 20(2): 11-13.
- [10] 曾令劼, 韦志辉, 刘卫国. 应用生物力学分析棒球运动中的肩关节损伤 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(11): 2154-2157.
- [11] 王祥茂. 论中国棒球职业化的发展对策 [J]. 广州体育学院学报, 2002, 22(3): 84-85.
- [12] 刘延柱, 杨海兴. 理论力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 372-380.