

椎体 CT 值在腰椎短节段内固定术后螺钉松动预测中的应用

邹 达, 李危石, 陈仲强, 郭昭庆, 齐 强, 曾 岩, 孙垂国

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

【摘要】目的:探讨椎体 CT 值与腰椎短节段内固定术后螺钉松动的关系,选取用于预测螺钉松动的 CT 临界值。**方法:**回顾性分析 2006 年 7 月~2015 年 6 月在我院行腰椎短节段(≤ 2 个椎间隙)内固定术且术前 1 个月内行腰椎三维重建 CT 检查,随访 ≥ 24 个月的患者资料。共 297 例,男 104 例,女 193 例,年龄 54.3 ± 12.5 岁(21~80 岁),随访 36.1 ± 16.5 个月(24~110 个月)。以末次随访 X 线评估螺钉松动和融合情况,根据螺钉是否松动及螺钉松动的位置,分为上端椎螺钉松动组、上端椎螺钉对照组和下端椎螺钉松动组、下端椎螺钉对照组,另将下端椎螺钉按是否固定到 S1 分为两个亚组,并分别分析各亚组内松动组和非松动组的差异。测量 L1、上端固定椎、下端固定椎和 S1 椎体的 CT 值,收集年龄、性别、体重指数(body mass index, BMI)、糖尿病史、手术节段数、两端融合方式、是否固定到 S1 等资料。以组内相关系数评估 CT 值测量的一致性,以 Logistic 回归分析判断 CT 值与螺钉松动的关系,以受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析评估 CT 值对螺钉松动的预测价值,由于松动组例数较少,组内 CT 值非正态分布,因此以中位数而非均值作为松动高危者预测的界值。**结果:**共 53 例患者出现螺钉松动,松动率 17.8%(53/297)。上端椎螺钉松动组 21 例,对照组 276 例;下端椎螺钉松动 48 例,对照组 249 例。共有 24 例患者出现不融合,总体融合率 91.9%(273/297),其中上端节段融合率 93.6%(278/297),下端节段融合率 93.3%(277/297)。椎体 CT 值测量具有可靠的测量者内一致性和测量者间一致性(ICC > 0.8 , $P < 0.001$)。与上端椎对照组相比,上端椎松动组的上端椎体 CT 值更低(87.3 ± 41.9 HU vs 140.5 ± 55.9 HU, $P < 0.05$);当下端固定至腰椎时,下端椎松动组的下端椎体 CT 值低于对照组(121.9 ± 39.9 HU vs 152.2 ± 54.5 HU, $P < 0.05$);当下端固定至 S1 时,下端椎松动组的 S1 椎体 CT 值低于对照组(216.4 ± 61.1 HU vs 254.8 ± 81.7 HU, $P < 0.05$)。上端椎、下端腰椎和 S1 的松动组椎体 CT 值中位数分别为 75HU、110HU、220HU。椎体 CT 值是端椎螺钉松动的独立影响因素(上端椎:OR, 0.979; 95%CI, 0.967~0.992 下端椎:OR, 0.990; 95%CI, 0.983~0.998)。端椎 CT 值可用于松动预测(AUC > 0.6 , $P < 0.05$)。**结论:**椎体 CT 值是腰椎短节段内固定术下端椎螺钉松动的独立影响因素,CT 值越低,发生螺钉松动风险越高。

【关键词】 螺钉松动; CT 值; 骨质疏松

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.05.10

中图分类号: R445.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2018)-05-0447-09

Application of CT attenuation value in prediction of screw loosening after short-segment lumbar pedicle screw fixation/ZOU Da, LI Weishi, CHEN Zhongqiang, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(5): 447-455

【Abstract】 Objectives: To explore the relationship between vertebral CT attenuation value and screw loosening after short-segment lumbar pedicle screw fixation, and to identify thresholds of bone density in HU for predicting screw loosening. **Methods:** The clinical data of patients who underwent short-segment lumbar pedicle screw fixation in our spinal center from July 2006 to June 2015 were retrospectively analyzed. The inclusion criteria included: (1) no more than 2 segments; (2) at least 2-year follow-up; (3) three dimensional reconstructive CT was done within 30 days before operation. 297 patients(104 males, 193 females) with a mean age of 54.3 ± 12.5 years(21-80 years) and a mean follow-up of 36.1 ± 16.5 months(24-110 months) were reviewed. Screw loosening and bone fusion with lumbar X-ray of final follow-up were assessed. According to

第一作者简介: 男(1993-), 博士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)62017691-7011 E-mail: fingerstyle_zd@163.com

通讯作者: 李危石 E-mail: liweishi@medmail.com.cn

the occurrence of screw loosening at UIV(upper instrumented vertebra) or LIV(lowest instrumented vertebra), patients were divided into screw loosening groups (screw loosening at UIV; screw loosening at LIV) and corresponding control groups. Moreover, the LIVs were divided on whether or not the LIV was at S1. The CT attenuation values of L1, UIV, LIV and S1 were measured. Patient data included age, gender, body mass index(BMI), history of diabetes, number of instrumented vertebrae, fusion methods at marginal segments, LIV at S1. According to the occurrence of screw loosening at UIV or LIV, patients were divided into screw loosening groups (screw loosening at UIV; screw loosening at LIV) and corresponding control groups. Inter-examination and inter-observer reliability were assessed by using the intraclass correlation coefficient(ICC). The role of CT attenuation values in screw loosening was explored with Logistic regression analysis. Receiver-operating characteristic curve analysis was used to evaluate the value of CT attenuation values in predicting screw loosening. Because of the relatively small sample size and non-normal distribution of CT attenuation value in screw loosening group, the median rather than the average of the CT attenuation value in screw loosening group was chosen to be the threshold for predicting screw loosening. **Results:** Fifty-three patients suffered from postoperative screw loosening(17.8%, 53/297). 21 patients suffered from screw loosening at UIV, 276 patients were in the corresponding control group. 48 patients suffered from screw loosening at LIV, 249 patients were in the corresponding control group. 24 patients suffered from nonunion, the rate of union at upper interbody was 93.6%(278/297), and the rate of union at lowest interbody was 93.3%(273/297). Inter-examination and inter-observer reliability were excellent(ICC>0.8, $P<0.001$). There were statistically significant differences of CT attenuation values between screw loosening groups and control groups: the mean CT attenuation value of UIV was 87.3 ± 41.9 HU in the UIV-screw loosening group and 140.5 ± 55.9 HU in corresponding control group, $P<0.05$; the mean CT attenuation value of LIV at lumbar vertebrae was 121.9 ± 39.9 HU in the LIV screw loosening group and 152.2 ± 54.5 HU in corresponding control group, $P<0.05$; the mean CT attenuation value of LIV at S1 was 216.4 ± 61.1 HU in the LIV screw loosening group and 254.8 ± 81.7 HU in corresponding control group, $P<0.05$. The CT attenuation value was the independent risk factor of screw loosening. The CT attenuation value of marginal vertebrae was the independent risk factor of screw loosening at marginal vertebrae (UIV-CT attenuation value: OR, 0.979; 95%CI, 0.967-0.992; LIV-CT attenuation value: OR, 0.990; 95%CI, 0.983-0.998). The application of CT attenuation value in prediction of screw loosening was acceptable(AUC>0.6, $P<0.05$), the median CT attenuation value in UIV-screw loosening group, LIV-lumbar-screw loosening group and LIV-S1-screw loosening group was 75HU, 110HU, 220HU respectively. **Conclusions:** The CT attenuation value of marginal vertebrae is the independent influencing factor of screw loosening at marginal vertebrae, the lower the CT attenuation value, the higher the risk of screw loosening.

[Key words] Screw loosening; CT attenuation value; Osteoporosis

[Author's address] Department of Orthopaedics, Peking University Third Hospital, Beijing, 100191, China

随着人口老龄化加速,骨质疏松症及其相关疾病已成为全球性的健康问题^[1]。在中国,60岁以上人群中骨质疏松症发病率男性为23%,女性为49%^[2]。在需接受脊柱外科手术治疗的50岁以上患者中,约51.3%的女性和14.5%的男性合并骨质疏松症^[3]。目前,经椎弓根螺钉内固定已成为脊柱畸形、骨折、肿瘤、退行性病变等疾病的常规方法之一,但因螺钉与骨质接触面稳定性下降等原因,骨质疏松患者在内固定术后更易出现螺钉松动^[4]。文献报道,影像学螺钉松动率在骨质疏松患者中可以达到60%,而在非骨质疏松患者中约1%~27%^[5,6],且主要发生于上下端固定椎^[7-9]。

骨质疏松症被认为是螺钉松动的危险因素之

一^[5],但仅少数研究报道了骨密度值与螺钉松动风险的具体关系^[10,11],对临床实践的指导作用有限。近年来,以椎体CT值评估骨密度的方法逐渐受到骨质疏松学界关注^[12]。从术前三维重建CT检查中测得的椎体松质骨CT值与双能X线吸收法测得的骨密度值具有较好的相关性^[13],且在骨质疏松患者的筛查中具有重要价值^[14]。因此,本研究希望以椎体CT值代表骨密度,研究其与螺钉松动的关系,并选取用于预测螺钉松动的CT值界值,为骨质疏松患者的脊柱外科治疗提供参考。考虑长节段固定融合的患者病情相对复杂,脊柱-骨盆矢状位序列失平衡等影响螺钉松动的混杂因素较多,本研究选择短节段固定(固定节段 ≤ 2 个

椎间隙)患者资料进行分析。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2006 年 7 月~2015 年 6 月我院行腰椎(包括 S1)内固定融合术治疗的腰椎退行性疾病患者资料。纳入标准:(1)随访时间 ≥ 24 个月;(2)术前 1 个月在我院行腰椎 X 线及腰椎 CT 检查(平扫+重建);(3)固定节段 ≤ 2 个椎间隙。排除标准:(1)存在先天性脊柱畸形、脊柱创伤、脊柱肿瘤、脊柱结核、强直性脊柱炎、既往脊柱手术史等;(2)存在代谢性骨病,或长期服用皮质激素等影响骨密度的药物;(3)在术后 2 年内因非螺钉松动的原因行翻修手术者,如术中神经损伤,术后伤口血肿,相邻间盘退变等。所有患者均由同一组高年资脊柱外科医师制定计划和实施手术,采用常规内固定器械,后外侧植骨、椎间植骨等融合。

最终共纳入 297 例,男 104 例,女 193 例,年龄 54.3 ± 12.5 岁(21~80 岁),体重指数(body mass index, BMI) $25.6 \pm 3.4 \text{ kg/m}^2$, 合并糖尿病者 30 例,随访时间 36.1 ± 16.5 个月(24~110 个月)。

1.2 临床资料与影像学测量

个体资料包括年龄、性别、BMI、糖尿病史。手术资料包括最上端固定椎(upper instrumented vertebra, UIV)位置、最下端固定椎(lowest instrumented vertebra, LIV)位置;固定融合节段数(单节段或双节段);植骨融合方式,即最上端节段是否采取椎间植骨融合(upper interbody fusion,

UIBF), 最下端节段是否采取椎间植骨融合(lowest interbody fusion, LIBF), 若只有一个椎间隙, 则 UIBF 与 LIBF 相同;下端椎是否固定到 S1(LIV at S1)。

所有患者术前及末次随访时拍摄标准站立位腰椎正侧位 X 线片,术前 1 个月内行腰椎三维重建 CT 检查,采用的 CT 机器为 GE64 排螺旋 CT (Light Speed, 美国)或西门子双源 CT(Definition, 德国),扫描管电压均 120kV。由一名经验丰富的医师独立使用 PACS 系统(美国 GE 公司)进行影像学测量。CT 测量参数:在不了解螺钉松动情况的前提下,首先选取腰椎椎弓根水平的某一横断面(一般选择椎体二分之一与中上三分之一水平之间, S1 与腰椎类似),避开皮质骨、局部骨质增生区、椎内静脉丛,在松质骨内画出椭圆形感兴趣区(region of interest, ROI),读取 ROI 内的平均 CT 值(图 1)。用以上方法测量每位患者的 L1、UIV、LIV、S1 椎体松质骨 CT 值。出现 L5 和 S1 移行时,以参与骶髂关节形成的第一节椎体为 S1, L1~L5 的判定以该椎体为参考。一个月后,随机选择 30 例患者,由同一位测量者再次测量 CT 值,并选择另一位测量者测量该 30 例患者的 CT 值。

由另一名高年资脊柱外科医师独立判断螺钉松动和植骨融合情况(图 2)。螺钉松动的诊断标准^[5]:末次随访时腰椎正侧位 X 线中螺钉两侧出现 $\geq 1\text{mm}$ 的透亮带。不融合诊断标准:末次随访时腰椎伸屈侧位 X 线中椎间动态成角 $\geq 5^\circ$ 或滑移 $\geq 3\text{mm}$ 或融合区未见连续骨小梁形成^[15]。分别

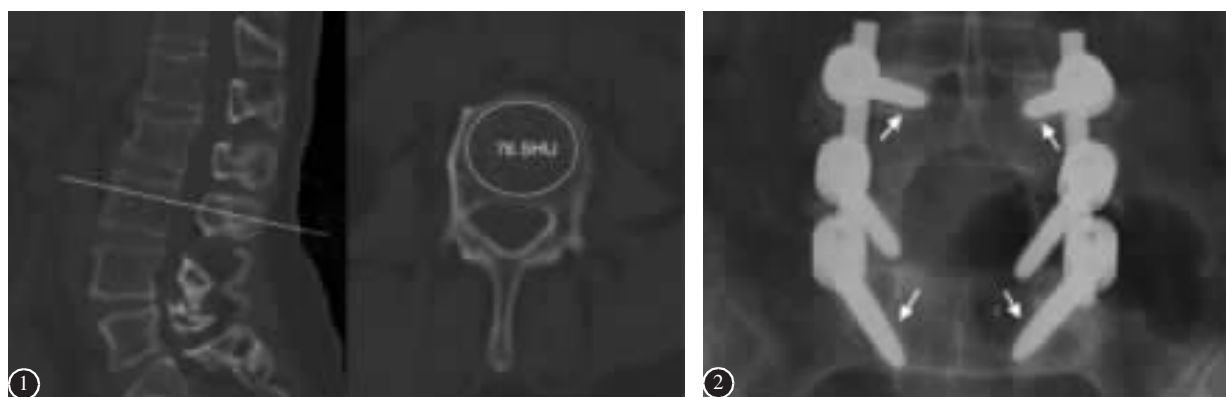


图 1 椎体 CT 值测量:取椎弓根水平横断面,沿骨皮质边缘选取椭圆形测量区 图 2 螺钉松动 X 线透亮带举例:螺钉侧边均出现密度减低的透亮带,且透亮带宽度 $\geq 1\text{mm}$

Figure 1 CT attenuation measurement: placing a single oval region of interest (ROI) over an image in the transverse plane of vertebral pedicle **Figure 2** The graph showed the sign of radiolucency in screw loosening: with a minimal thickness of 1mm around the four marginal

统计上、下端椎的螺钉松动情况,以及上端椎和下端椎所在节段的融合情况,若为单节段则两端椎融合情况一致。

1.3 统计学方法

使用 SPSS 22.0 软件分析数据。连续变量(年龄、体重指数、CT 值)表达为平均值 $\pm$ 标准差,分类变量(性别、节段数、植骨融合方式、末次随访是否融合、固定到 S1)表达为百分比。以组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评估 CT 值测量的测量者内一致性和测量者间一致性, ICC ≥ 0.8 表示一致性可靠。比较组间计量资料时,资料符合正态分布(年龄、BMI)进行独立样本 t 检验,由于部分松动组样本量较少,在松动组与对照组的椎体 CT 值比较中采用 Mann-Whitney U 检验,比较计数资料采取 χ^2 检验或 Fisher 精确检验(上端节段融合情况分析)。以 Logistic 回归分析判断 CT 值与螺钉松动的关系。采用 ROC 分析判断端椎 CT 值在螺钉松动预测中的价值,以松动组端椎 CT 值中位数为界值。 $P < 0.05$ 有统计学意义。

2 结果

2.1 CT 值测量的一致性分析

由于上下端椎椎体不统一,仅选择所有患者的 L1 和 S1 进行 CT 值测量的一致性分析,具体 ICC 值以及两次测量结果的差值见表 1。以 ICC ≥ 0.8 为标准, L1 和 S1 的 CT 值测量在单一测量者的两次测量间和两位测量者的单次测量间均有可靠的一致性。

2.2 一般资料

表 1 椎体 CT 值测量的一致性分析

Table 1 Inter-examination and inter-observer reliability of CT attenuation measurements

	组内相关系数 ICC	P 值 P value	两次测量差值(HU) Difference
L1-测量者内一致性 L1 inter-examination reliability	0.996	<0.001	0.8 $\pm$ 4.8
L1-测量者间一致性 L1 inter-observer reliability	0.992	<0.001	0.2 $\pm$ 6.8
S1-测量者内一致性 S1 inter-examination reliability	0.987	<0.001	-0.7 $\pm$ 12.9
S1-测量者间一致性 S1 inter-observer reliability	0.977	<0.001	-3.4 $\pm$ 17.7

297 例患者的上端椎体 CT 值 136.7 $\pm$ 56.6HU (13.9~343.3HU), 下端固定至腰椎者下端椎体 CT 值 147.9 $\pm$ 53.6HU (49.4~295.8HU), 下端固定至 S1 者 S1 椎体 CT 值 247.2 $\pm$ 79.3HU (58.1~436.5)。上端椎 CT 值低于下端腰椎, 下端腰椎 CT 值低于 S1 椎体 CT 值($P < 0.05$)。53 例患者术后出现螺钉松动, 其中上端椎螺钉松动率 7.1% (21/297), 下端椎螺钉松动率 16.2% (48/297), 下端椎松动率高于上端椎 ($P < 0.05$)。下端固定至腰椎的患者 190 例, 其螺钉松动率 14.2% (27/190), 下端固定至 S1 的患者 107 例, 其螺钉松动率 19.6% (21/107), 下端腰椎和 S1 的螺钉松动率无统计学差异($P = 0.224$)。中间椎体未发生螺钉松动。因螺钉松动而行翻修手术者 1 例(0.3%), 为 56 岁男性, 其上端椎 CT 值 71.7HU, 下端腰椎 CT 值 89.7HU, 术前未行骨密度检查。上端节段采取椎间植骨融合者 161 例, 下端节段采取椎间植骨融合者 168 例。共有 24 例患者出现不融合, 总体融合率 91.9% (273/297), 其中上端节段有 19 例不融合, 融合率 93.6% (278/297), 下端节段有 20 例不融合, 融合率 93.3% (277/297)。

2.3 螺钉松动的危险因素分析

上端椎螺钉松动组与对照组的资料比较见表 2。松动组患者的女性比例高于对照组($P < 0.05$),

表 2 上端椎螺钉松动组与对照组的比较

Table 2 Comparison of patient data between the two groups at UIV

	松动组(n=21) Screw loosening group	对照组(n=276) Control group
年龄(岁) Age	57.8 $\pm$ 12.5	54.1 $\pm$ 12.5
性别(男/女) Gender	2/19	102/174 ^①
体重指数(kg/m ²) BMI	25.9 $\pm$ 2.4	25.6 $\pm$ 3.4
糖尿病(有/无) Diabetes	18/3	249/27
上端椎 CT 值(HU) CT attenuation value of UIV	87.3 $\pm$ 41.9	140.5 $\pm$ 55.9 ^①
单节段/双节段 Single level/Two levels	6/15	161/115 ^①
上端椎间植骨(是/否) Upper interbody fusion (Y/N)	8/13	153/123
固定到 S1(是/否) LIV at S1(Y/N)	9/12	98/178

注: ①与松动组相比 $P < 0.05$

Note: ①Compared with screw loosening group, $P < 0.05$

上端椎 CT 值低于对照组 ($P<0.05$), 松动组单节段固定患者比例低于对照组 ($P<0.05$)。在上端椎松动组中, 上端节段融合率 85.7% (18/21); 在对照组中, 上端节段融合率 94.2% (260/276), 两组融合率无统计学差异 ($P>0.05$)。年龄、BMI、糖尿病、上端椎间植骨方式等资料的差异也均无统计学意义 ($P>0.05$)。

下端椎螺钉松动组与对照组的资料比较见表 3。松动组的患者年龄高于对照组 ($P<0.05$); 虽然松动组的下端椎 CT 值与对照组相比无统计学差异 ($P<0.05$), 但由于下端腰椎 CT 值与 S1 椎体 CT 值有统计学差异, 所以需对下端椎位置进行区分。当下端固定至腰椎时, 下端椎松动组的下端椎体 CT 值低于对照组 ($P<0.05$); 当下端固定至 S1 时, 下端椎松动组的 S1 椎体 CT 值低于对照组 ($P<0.05$)。松动组患者的单节段固定融合患者比例低于对照组 ($P<0.05$), 下端节段采取椎间植骨融合的比例低于对照组 ($P<0.05$)。在下端椎松动组中, 下端节段融合率 77.1% (37/48); 在对照组中, 下端节段融合率 96.4% (240/249), 两组融合率有统计学差异 ($P<0.05$)。其余资料的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

表 3 下端椎螺钉松动组与对照组的比较

Table 3 Comparison of patient data between the two groups at LIV

	松动组 (n=48) Screw loosening group	对照组 (n=249) Control group
年龄 (岁) Age	58.5±9.8	53.5±12.9 ^①
性别 (男/女) Gender	13/35	91/158
体重指数 (kg/m ²) BMI	25.6±2.7	25.6±3.5
糖尿病 (有/无) Diabetes	6/42	24/225
下端椎 CT 值 (HU) CT attenuation value of LIV	163.2±68.7	187.6±81.3
下端椎 CT 值-腰椎 (HU) CT attenuation value of LIV-lumbar	121.9±39.9	152.2±54.5 ^①
下端椎 CT 值-S1 (HU) CT attenuation value of LIV-S1	216.4±61.1	254.8±81.7 ^①
单节段/双节段 Single level/Two levels	9:39	158:91 ^①
下端椎间植骨 (是/否) Lowest interbody fusion	15:33	153:96 ^①
固定到 S1 (是/否) LIV at S1	21:27	86:163

注: ①与松动组相比 $P<0.05$

Note: ①Compared with screw loosening group, $P<0.05$

以单因素分析中 $P<0.10$ 为标准, 分别选择端椎螺钉松动的潜在影响因素进行 Logistic 回归分析, 以判断椎体 CT 值与螺钉松动的关系。在下端椎螺钉松动分析中, 虽然“固定到 S1”在单因素分析中不显著 ($P>0.05$), 但由于腰椎和 S1 的 CT 值差异显著且差异较大, 依然将“固定到 S1”加入下端椎螺钉松动的 Logistic 回归模型中 (表 4)。

2.4 CT 值预测螺钉松动的 ROC 分析

在不考虑节段数、融合情况、固定到 S1 的简化条件下, 以端椎 CT 值预测螺钉松动的 ROC 分析见表 5。以 CT 值预测上端椎、下端腰椎和下端骶椎松动的 ROC 分析结果均显著。其中 CT 值预测上端椎螺钉松动的 AUC>0.8, 预测效果理想, 为进一步分析上端椎 CT 值与松动的关系, 作上端椎螺钉松动率、未松动率与上端椎 CT 值界值的关系曲线 (图 3)。为保证一定的样本量 (至少 30 例), 图中 CT 值所选区间为 70~220HU。由于松动组例数较少, 组内 CT 值非正态分布, 因此以中位数作为松动高危者预测的界值 (根据一致性分析结果, CT 值测量存在一定误差, 界值未保留小数, 且四舍五入取 5 的倍数), 上端椎 CT≤75HU, 下

表 4 端椎螺钉松动危险因素的 Logistic 回归分析

Table 4 Logistic regression analysis of risk factors associated with screw loosening at marginal vertebrae

	OR 值 Odds ratio	OR 值 95% 置信区间 95% CI for OR	P 值 P value
上端椎 UIV			
性别 Gender	3.459	0.758~15.780	0.109
上端椎 CT 值 (HU) CT attenuation value of UIV	0.979	0.967~0.992	<0.001
单节段 Single level	0.501	0.180~1.399	0.187
下端椎 LIV			
年龄 Age	0.984	0.942~1.028	0.470
下端椎 CT 值 (HU) CT attenuation value of LIV	0.990	0.983~0.998	0.018
固定到 S1 LIV at S1	2.849	1.119~7.255	0.028
单节段 Single level	0.127	0.049~0.334	<0.001
下端椎间植骨 Lowest interbody fusion	0.654	0.302~1.416	0.281
下端节段融合 Union at LIV	0.076	0.024~0.247	<0.001

端腰椎 CT 值 $\leq 110\text{HU}$, 下端骶椎 CT 值 $\leq 220\text{HU}$ 是相应端椎螺钉松动的高危因素。如上端椎 CT 值 $\leq 75\text{HU}$ 的患者有 37 例, 其中 10 例发生上端椎螺钉松动, 松动率 27%, 是上端椎螺钉总体松动率 7.1% 的近 4 倍。

表 5 CT 值预测螺钉松动的 ROC 曲线分析
Table 5 ROC curve analysis of screw loosening prediction with CT attenuation value

	上端椎 UIV	下端椎-腰椎 LIV-lumbar	下端椎-S1 LIV-S1
松动率 Loosening rate	7.1% (21/297)	14.2% (27/190)	19.6% (21/107)
界值(HU) Threshold value	75	110	220
曲线下面积 AUC	0.801	0.665	0.646
曲线下面积-95%CI AUC-95%CI	0.695~0.908	0.559~0.770	0.525~0.768
P 值 P value	<0.001	0.006	0.038

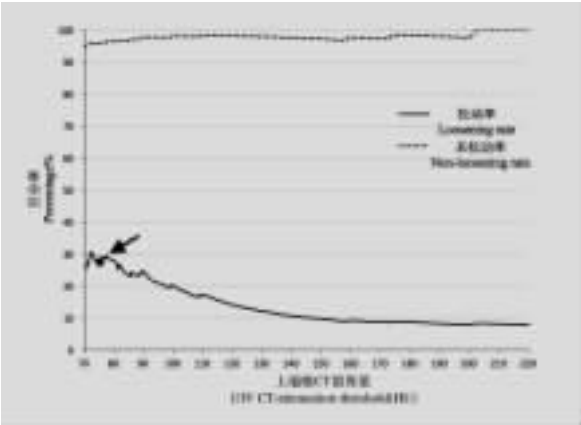


图 3 上端椎螺钉松动率、未松动率与上端椎 CT 值界值 (70~220HU) 的关系曲线: 如图中箭头所指数据, 以 75HU 为界值, 在上端椎 CT 值 $\leq 75\text{HU}$ 的患者中, 上端椎螺钉松动率为 27%(10/37), 在上端椎 CT 值 $>75\text{HU}$ 的患者中, 上端椎螺钉的未松动率为 96%(249/260)

Figure 3 The downward-sloping curve indicated an association between loosening rates and UIV CT-attenuation value thresholds. The upward-sloping curve indicated an association between non-loosening rates and UIV CT-attenuation value thresholds. The range of UIV CT-attenuation thresholds was from 70 to 220HU. Take the data point (at the arrowhead) as an example, 75HU is the threshold, the loosening rate is 27%(10/37) at UIVs with CT-attenuation values at or below 75HU, the non-loosening rate is 96%(249/260) at UIVs with CT-attenuation values above 75HU

3 讨论

3.1 椎体 CT 值与骨密度

目前应用最广的骨密度测量方式是双能 X 线吸收测量法 (dual-energy X-ray absorptiometry, DXA), 测量部位通常选择腰椎 (L1~L4) 或股骨近端, 以腰椎任一节段或股骨近端的最低 T 值 ≤ -2.5 诊断为骨质疏松症^[16]。然而, 脊柱畸形、脊柱手术史、椎体压缩性骨折、骨关节炎病、皮质骨骨赘形成和肥胖等都会影响 DXA 的准确性, 如约 59% 的骨质疏松性椎体压缩骨折患者为 DXA 假阴性^[12, 14, 17]。另外, 近年来以定量 CT 评估骨密度的方法也逐渐完善。与 CT 值相同, 定量 CT 也选择测量对骨量丢失较敏感的椎体松质骨骨密度, 避开皮质骨等区域, 较 DXA 能更早、更灵敏地反映骨量变化^[18]。然而定量 CT 的应用需要额外的质量控制和校准体模 (保证测量的精准度以及将测量结果换算成等效的骨矿物质密度)、软件 (用于测量区域的精准定位等) 培训^[19], 因此目前在临床实践中的应用较少。

与 DXA 测量骨矿物含量不同的是, 椎体松质骨区域 CT 值所反映的其实是包括骨矿物质、脂肪、血液等在内的组织密度。Alacreu 等^[17]将椎体 CT 值根据人的肌肉和脂肪组织标准化, 发现标准化和非标准化的椎体 CT 值高度相关 ($r^2=0.833$, $P<0.01$), 各椎体标准化和非标准化的椎体 CT 值无显著差异, 并且在诊断骨质疏松的表现上也无显著差异。

腰椎三维重建 CT 是腰椎手术患者的常规术前检查之一, 测量者可以通过选择合适的 CT 值测量区, 便捷地获取螺钉钉道附近区域的骨密度水平。既往研究^[13, 14]报道腰椎椎体松质骨 CT 值与 DXA 所得 BMD 值线性正相关, 如 Schreiber 等^[13]对椎体 CT 值及骨密度值 (L1~L4 均值) 进行线性回归, 所得 $r^2=0.44$ ($P<0.0001$), 并且发现 CT 值与物理抗压强度相关 ($r^2=0.998$, $P<0.0001$)。骨质疏松患者椎体 CT 值一般低于非骨质疏松患者, 因此 CT 在骨质疏松患者的初步筛查中也有重要价值。如 Pickhardt 等^[14]对 1867 例患者的 CT 值和 DXA 骨密度值分析得出, 若以 L1 椎体 CT 值 $\leq 110\text{HU}$ 筛检骨质疏松患者, 可获得 90% 的特异度, 若以 $\leq 135\text{HU}$ 筛检骨质疏松患者, 可以获得 75.5% 的敏感度和 75.4% 的特异度。

虽然影响椎体 CT 值的因素较多, 但一些单

中心的研究表明其具有理想的测量一致性。如 Pompe 等^[20]利用肺癌筛查的胸部低剂量 CT 结果测量 L1 及其相邻椎体松质骨 CT 值, 结果表明 CT 值测量具有可靠的测量者内一致性和测量者间一致性, 并且这种一致性在男性和女性之间, 以及胸腰段椎体之间无显著差异。本研究随机抽取 30 例患者进行了 CT 值测量的一致性分析, 测量者内和测量者间 ICC 均大于 0.8。

既往文献对 S1 椎体骨密度的报道较少, 可能是因为 S1 不在 DXA 检查的常规检测范围内。因此, CT 值测量在对 S1 的骨密度评估方面有一定优势, Hoel 等^[21]测得 S1 椎体松质骨的 CT 值均值为 224HU (95% CI 211~238), 本组为 234.9HU (95% CI 226~244), 两者相近。然而, S1 椎体 CT 值的测量值误差相对较大, 如本研究中两次测量间和测量者间的 S1-CT 值差的标准差约为 15HU, L1 仅约为 5HU。这可能是因为 S1 椎体较小, 而终板硬化等因素使得 S1 椎体内局部骨质异化较大, 测量区域的微小变化就可能带来较大的 CT 值差异。本研究首次直接比较了 S1 和腰椎的 CT 值, 并发现 S1 的松质骨 CT 值显著高于腰椎, 因此本研究在分析椎体 CT 值与螺钉松动的关系时, 对下端固定椎是否是 S1 进行了区分, 分别给出了预测界值。另外, 既往研究认为固定到 S1 的螺钉更容易发生松动^[9, 22]。由于本研究发现 S1 椎体松质骨椎体 CT 值高于腰椎, 因此 S1 螺钉松动高发可能与骨密度相关性较小, 而与 S1 没有典型的椎弓根结构, L5/S1 活动度丧失增大了 S1 螺钉所受应力相关性更大。

3.2 螺钉松动与椎体 CT 值的关系

螺钉松动是行腰椎内固定术后最常见的并发症之一, 目前螺钉松动诊断并无统一标准, 本研究以正侧位腰椎 X 线平片中螺钉周围 $\geq 1\text{mm}$ 的透亮带作为影像学螺钉松动的诊断标准, 且这种表现在正位更明显, 其诊断敏感度约 64%, 特异度约 100%^[23]。

文献报道的螺钉松动率差异较大, 可能的原因有松动诊断标准不统一、统计方式不一致(按螺钉记与按患者记)、固定节段差异、骨密度差异、随访时间差异等, 如部分文献报道的总体松动率小于 1%^[5], 但长节段固定和骨质疏松患者的松动率为 60%左右^[9, 24]。考虑到同一椎体的螺钉松动并不独立, 本研究的松动率以椎体记, 并且关注了螺钉

松动的端椎分布差异。具体报道短节段内固定术后螺钉松动率的文献较少, Tokuhashi 等^[25]回顾了 190 例腰椎融合内固定术后的患者随访资料发现单节段固定术后 6 个月的松动率为 19.2%, 双节段及以上的患者松动率则超过 50%。Kim 等^[22]通过对 156 例腰骶融合术后的患者随访发现, 单节段和双节段固定的患者术后 S1 螺钉总体松动率为 16.1%。本研究的螺钉松动诊断标准与上述两项研究相同, 总体螺钉松动率 17.8%, S1 松动率 19.6%, 虽高于术者预期, 但与上述研究结果接近, 因此短节段固定的螺钉松动问题应引起我们的重视。

文献报道较多的螺钉松动危险因素主要有高龄、低骨密度、长节段融合固定(≥ 3)、固定到 S1 等^[9, 10, 22]。本研究表明无论是在上端椎还是在下端椎, 以椎体 CT 值为代表的骨密度都是松动的独立影响因素, 且 OR 值小于 1, 即 CT 值越低, 松动风险越高。除了椎体 CT 值, 固定节段数也是下端椎螺钉松动的独立影响因素, 双节段固定患者更容易出现下端椎螺钉松动。固定到 S1 在组间比较中不是松动影响因素, 但在多因素分析中是螺钉松动的独立影响因素。可能是骨密度这一保护性的混杂因素导致了这种不一致。因为 S1 椎体 CT 值显著高于腰椎, 当调整了下端椎 CT 值的影响后, 固定到 S1 表现为松动危险因素。与此原理类似, 组间比较表明年龄和性别是松动的可能危险因素, 但加入椎体 CT 值进行 Logistic 回归分析后, 年龄和性别并非松动的独立影响因素, 因为年龄^[26]、性别^[2]等与骨密度相关, 存在相互影响。既往研究表明骨密度减低是螺钉松动的危险因素, 如腰椎骨密度 $\leq 0.720\text{g/cm}^2$ (以 DXA 测量)^[11]、腰椎骨密度 $\leq 92.02\text{mg/ml}$ (以 qCT 测量) 的患者^[27]更容易出现螺钉松动。但未结合上述与骨密度相关因素进行 Logistic 回归分析, 由此研究结论可能与本研究不同。

虽然采用经椎弓根螺钉内固定技术是为了促进融合, 但融合与螺钉松动的具体关系尚不明确。Galbusera 等^[9]认为成功的椎间融合减少了脊柱后柱内固定系统所受负荷, 因此可以减少螺钉松动率。Tokuhashi 等^[29]认为持续存在的 X 线松动征象高度提示植骨不融合和假关节形成。本研究提示植骨不融合是下端椎螺钉松动的危险因素, 在考虑该因素后, Logistic 回归分析表明植骨融合方式

并非端椎螺钉松动的独立影响因素。然而,本研究中不融合患者例数较少,关于融合与松动的关系仍需进一步的大样本研究。

目前,虽然骨质疏松症被普遍认为是螺钉松动的重要危险因素,但骨质疏松的严重程度与松动风险的具体关系仍不明确。 $T \leq -2.5$ 仅仅是骨质疏松症的诊断标准,适用于骨质疏松性骨折的风险评估,并非预测螺钉松动的合理值。另一方面,常规 DXA 检查不包括 L5 和 S1 的骨密度水平,因此对这些节段的内固定松动风险评估能力有限。椎体的 CT 值则能针对性地测量手术相关椎体的骨密度情况,进而对患者的并发症风险进行个性化的评估和预测,并且腰椎 CT 为腰椎手术患者的常规术前检查之一,椎体 CT 值测量简单,便于临床应用。已有部分研究初步探讨了椎体 CT 值在螺钉松动预测中的价值。如 Bokov 等^[28]以 L3 椎体为代表,以椎体 CT 值为自变量,以松动概率(Logistic 回归分析所得)为因变量作曲线,取切线斜率最大处对应的 CT 值为临界值,认为椎体 CT 值低于 81HU 的患者松动风险高。Bredow 等^[6]以松动组椎体 CT 值均值取整所得的 120HU 为松动高危因素,并认为此界值可作为选择增强固定的参考值。上述研究虽然提出了预测松动的 CT 值界值,但并未考虑松动的节段分布和椎体间的骨密度差异。本研究则针对上端椎、下端腰椎和 S1 分别提出了预测螺钉松动的临界值。结果表明,不同部位的松动预测临界值差异较大。比如预测上端椎螺钉松动的临界值是 75HU,而预测 S1 螺钉松动的临界值是 220HU,两者相差 145HU。因此,若仅仅设定一个统一的临界值,而不像本研究一样对节段和椎体进行区分,将可能无法对松动进行更加精准的预测。在 ROC 分析中,上端椎松动预测的 AUC 较大(>0.7),而下端椎松动预测的 AUC 值较小(<0.7),可能是因为影响下端椎螺钉松动的混杂因素更多。因此,在临床实践中评估松动风险还需要考虑其他因素。如长节段融合固定、脊柱矢状位序列严重失衡的患者,可能在骨量正常,或者椎体 CT 值无明显降低时,也发生了螺钉松动,相应的松动预测界值也与本研究中的人群不同。另外,本研究仅分析了通过 X 线诊断的影像学螺钉松动,但这些松动患者的预后未必更差,如本研究中因松动行翻修手术的患者仅 1 例。由此可以预测,与临床预后相关的松动预测临界

值可能比 75HU、110HU、220HU 更低,下一步研究应对椎体 CT 值与螺钉松动翻修和预后的关系进行分析,以对临床决策提供更好的指导。

4 参考文献

1. Lin X, Xiong D, Peng YQ, et al. Epidemiology and management of osteoporosis in the People's Republic of China: current perspectives[J]. Clin Interv Aging, 2015, 10: 1017-1033.
2. 贺丽英, 孙蕴, 要文娟, 等. 2010-2016 年中国老年人骨质疏松症患病率 Meta 分析[J]. 中国骨质疏松杂志, 2016, 22(12): 1590-1596.
3. Chin D, Park JY, Kuh S, et al. Prevalence of osteoporosis in patients requiring spine surgery: incidence and significance of osteoporosis in spine disease[J]. Osteoporosis Int, 2007, 18(9): 1219-1224.
4. Lehman RA Jr, Kang DG, Wagner SC. Management of osteoporosis in spine surgery[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2015, 23(4): 253-263.
5. Galbusera F, Volkheimer D, Reitmaier S, et al. Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication?[J]. Eur Spine J, 2015, 24(5): 1005-1016.
6. Bredow J, Boese CK, Werner CM, et al. Predictive validity of preoperative CT scans and the risk of pediclescrew loosening in spinal surgery[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(8): 1063-1067.
7. Gazzeri R, Roperto R, Fiore C. Surgical treatment of degenerative and traumatic spinal diseases with expandable screws in patients with osteoporosis: 2-year follow-up clinical study[J]. J Neurosurg Spine, 2016, 25(5): 610-619.
8. Wu Z, Gong F, Liu L, et al. A comparative study on screw loosening in osteoporotic lumbar spine fusion between expandable and conventional pedicle screws [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132(4): 471-476.
9. Röllinghoff M, Schlüterbrust K, Groos D, et al. Mid-range outcomes in 64 consecutive cases of multilevel fusion for degenerative diseases of the lumbar spine [J]. Orthop Rev (Pavia), 2010, 2(1): e3.
10. Zhuang XM, Yu BS, Zhang JM, et al. Effect of the degree of osteoporosis on the biomechanical anchoring strength of the sacral pedicle screws: an in vitro comparison between unaugmented bicortical screws and polymethylmethacrylate augmented unicortical screws[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(19): E925-931.
11. Okuyama K, Abe E, Suzuki T, et al. Influence of bone mineral density on pedicle screw fixation: a study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion in elderly patients[J]. Spine J, 2001, 1(6): 402-407.
12. Milka M, Bob E, Karsten W, et al. Use of routine thoracic and abdominal computed tomography scans for assessing bone mineral density and detecting osteoporosis[J]. Curr Med

- Res Opin, 2015, 31(10): 1871–1881.
13. Schreiber JJ, Anderson PA, Rosas HG, et al. Hounsfield units for assessing bone mineral density and strength: a tool for osteoporosis management[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2011, 93(11): 1057–1063.
 14. Pickhardt PJ, Pooler BD, Lauder T, et al. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications[J]. *Ann Intern Med*, 2013, 158(8): 588–595.
 15. Glaser J, Stanley M, Sayre H, et al. A 10-year follow-up evaluation of lumbar spine fusion with pedicle screw fixation [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(13): 1390–1395.
 16. 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊治指南[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2011, 4(1): 2–17.
 17. Alacreu E, Moratal D, Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe[J]. *Osteoporosis Int*, 2017, 28(3): 983–990.
 18. 李娜, 李新民, 孙伟杰, 等. 腰椎定量 CT 与双能 X 线骨密度测量对老年患者骨质疏松检出率的比较分析[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2012, 5(2): 83–88.
 19. 程晓光, 李娜, 余卫. 美国放射学院(ACR)关于定量 CT(QCT)骨密度测量操作指南[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2013, 19(9): 991–997.
 20. Pompe E, de Jong PA, de Jong WU, et al. Inter-observer and inter-examination variability of manual vertebral bone attenuation measurements on computed tomography [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(9): 3046–3053.
 21. Hoel RJ, Ledonio CG, Takahashi T, et al. Sacral bone mineral density (BMD) assessment using opportunistic CT scans [J]. *J Orthop Res*, 2016, 35(1): 160–166.
 22. Kim JB, Park SW, Lee YS, et al. The Effects of spinopelvic parameters and paraspinal muscle degeneration on S1 screw loosening[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2015, 58(4): 357–362.
 23. Sanden B, Olerud C, Johansson C, et al. The significance of radiolucent zones surrounding pedicle screws. Definition of screw loosening in spinal instrumentation [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2004, 86(3): 457–461.
 24. EI Saman A, Meier S, Sander A, et al. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws in vertebral fractures in the elderly [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2013, 39(5): 455–460.
 25. Tokuhashi Y, Matsuzaki H, Oda H, et al. Clinical course and significance of the clear zone around the pedicle screws in the lumbar degenerative disease[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2008, 33(8): 903–908.
 26. 张译微, 郭辉, 朱新生. 腰椎松质骨 CT 值与年龄、双能 X 线骨密度值相关性研究[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2016, 22(6): 695–699.
 27. Schwaiger BJ, Gersing AS, Baum T, et al. Bone mineral density values derived from routine lumbar spinemultidetector CT predict osteoporotic vertebral fractures and screw loosening[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35(8): 1628–1633.
 28. Bokov A. Pedicle screw loosening prediction in patients with degenerative diseases of lumbar spine using bone density measured in hounsfield units[J]. *J Osteopor Phys Act*. 2016, 4(1): 1–4.
- (收稿日期:2018-01-06 末次修回日期:2018-04-25)
(英文编审 刘美彤/贾丹彤)
(本文编辑 姜雅浩)