

基础研究

数字化仿真技术确定最佳骶髂螺钉通道的研究

谭培勇¹, 项 舟¹, 宋 彬², 黄子星², 张加劲³, 李佳兵¹

(1 四川大学华西临床医学院骨科; 2 影像科; 3 四川大学数学学院 610041 四川省成都市)

【摘要】目的:探索一种基于数字化仿真技术的最佳骶髂螺钉通道测量方法,用于指导计算机导航下的进钉。方法:将 8 例成人无病变骨盆 CT 数据集导入 Mimics 10.01 进行三维重建,利用数字化仿真技术建立骶椎阴模,利用透视阴模内表面的方法确定最佳骶髂螺钉通道,利用计算机辅助作图结合空间解析几何计算测量相关参数。结果:8 例 16 侧的 S1 最佳骶髂螺钉通道均可用此方法确定。最佳骶髂螺钉通道参数值:半径,均 $>7.3\text{mm}$,其中男 $8.75\pm 0.72\text{mm}$,女 $8.38\pm 0.67\text{mm}$;进钉深度,男 $78.44\pm 3.43\text{mm}$,女 $74.07\pm 6.04\text{mm}$;与矢状面夹角,男 $72.62^\circ\pm 5.01^\circ$,女 $79.65^\circ\pm 7.59^\circ$;与横截面夹角,男 $13.28^\circ\pm 6.33^\circ$,女 $9.60^\circ\pm 4.17^\circ$;与冠状面夹角,男 $9.99^\circ\pm 7.67^\circ$,女 $2.01^\circ\pm 1.58^\circ$;与 S1 椎体上表面夹角,男 $14.91^\circ\pm 6.48^\circ$,女 $7.62^\circ\pm 5.88^\circ$;S1 最佳进钉终点位于导航出口位透视图像上上下方向最大径的 2:5 处,左右方向最大径 1:1 处及入口位上下方向最大径 3:1 处;S1 最佳进钉点位于导航出口位透视图像上上下方向最大径的 3:5 处,左右方向最大径 2:5 处及入口位上下方向最大径 5:2 处;S1 最佳进钉终点约在 S1 椎体中轴线上 2:3 及前后径 3:5 处。与矢状面夹角、与冠状面夹角、与 S1 椎体上表面夹角男女比较有统计学差异($P<0.05$),余无统计学差异($P>0.05$)。结论:利用数字化仿真技术可以在几何学上精确确定并测量最佳骶髂螺钉通道,用以指导计算机导航下进钉。双侧 S1 最佳骶髂螺钉通道具有对称性。S1 椎弓根可以置入 2 枚直径 7.3mm 的骶髂螺钉。

【关键词】骶髂关节;骶髂螺钉;CT;数字化仿真技术;骶髂螺钉通道

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.07.11

中图分类号:R687.3,R319 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2012)-07-0634-07

Digital virtual technique in determining the optimal sacroiliac screw channel/TAN Peiyong, XIANG Zhou, SONG Bin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2012, 22(7): 634-640

【Abstract】Objectives: To explore digital virtual technique(DVT) to determine the optimal sacroiliac screw channel(OSSC), and to provide a method for instrumentation under navigation. Methods: The pelvic CT scan data of 8 healthy adults were processed into Mimics 10.01 for 3D reconstruction. DVT was used to establish the model of sacral cavity die, which was used to determine the OSSC, and the associated parameters were measured by using computer aided design(CAD) and Space Analytical Geometry's(SAG) method. Results: The OSSC of 16 S1 pedicles in 8 cases was determined by this way. The radius of the OSSC was greater than 7.3mm in both side of all the cases, which the radius of the OSSC was $8.75\pm 0.72\text{mm}$ for male, and $8.38\pm 0.67\text{mm}$ for female. The depth was $78.44\pm 3.43\text{mm}$ for male, and $74.07\pm 6.04\text{mm}$ for female. The introversion angle in sagittal plane was $72.62^\circ\pm 5.01^\circ$ for male, and $79.65^\circ\pm 7.59^\circ$ for female. The angle in cross-sectional plane was $13.28^\circ\pm 6.33^\circ$ for male, and $9.60^\circ\pm 4.17^\circ$ for female. The angle in coronal plane was $9.99^\circ\pm 7.67^\circ$ for male, and $2.01^\circ\pm 1.58^\circ$ for female. The angle in upper face of S1 vertebral was $14.91^\circ\pm 6.48^\circ$ for male, and $7.62^\circ\pm 5.88^\circ$ for female. On fluoro-navigation images, the starting point of S1 OSSC was 3:5 in up-down direction and 2:5 in left-right direction on out-let view, while 5:2 in up-down direction on in-let view. The end-ponit of S1 OSSC was 2:5 at the max length of pelvis in up-down direction and midpoint in left-right direction on out-let view, while 3:1 in up-down direction on in-let view. The end-point of OSSC was also 2:3 at the axis wire of S1 vertebra and 3:5 at the max length of S1 vertebra in anterior-posterior direction. The angles in sagittal plane, coronal plane, and upper surface showed sex-related statistical differences ($P<$

第一作者简介:男(1985-),住院医师,博士研究生,研究方向:创伤骨科

电话:(028)85475148 E-mail:tan073@qq.com

通讯作者:项舟

0.05), while the others showed no statistical difference($P>0.05$). **Conclusions:** DVT is guided to measure and determine the OSSC. The bilateral OSSC of S1 is symmetrical, and can hold 2 sacroiliac screws.

【Key words】 Sacroiliac joint; Sacroiliac screws; Computed tomography; Digital virtual technique; Sacroiliac screws channel

【Author's address】 Department of Orthopedics, Huaxi Hospital, Affiliate to the Sichuan University, Chengdu, 610041, China

有限元分析提示骶髂螺钉固定有较好的生物力学强度^[1],临床应用日趋广泛。骶髂螺钉的使用可以减少骨盆骨折内固定术的手术创伤,缩短手术时间和术后康复时间^[2]。但由于骶髂关节毗邻解剖结构复杂,骶髂螺钉置入手术较易损伤周围血管及神经。骶髂螺钉置入术中出现髂血管、腰骶干及马尾神经损伤的几率高达 2%~15%^[3,4]。结合计算机导航技术,骶髂螺钉的置入变得更加精确、微创、安全^[5],但目前对骶髂螺钉最佳进钉方法争议颇大^[6]。本研究在数字化仿真技术的基础上,力求从数学角度精确客观地确定 S1 单枚骶髂螺钉固定时的最佳骶髂螺钉通道,并对其参数进行测量和分析,用以指导计算机导航下骶髂螺钉进钉。此外也为同类手术术前计划或相关的测量研究提供方法学上的参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象与设备

硬件:西门子 16 排螺旋 CT;PC 机(Intel P4 2.8G,1G 内存,Window XP)。软件:Materialise 交互式医学影像控制系统(Materialise's Interactive Medical Image Control System,Mimics 10.01),Microsoft excel 2007,SPSS 13.0。

2011 年 4 月 1 日~2011 年 7 月 12 日入院的 8 例(其中男 4 例,女 4 例,年龄 25~53 岁,平均 38 岁)成人无病变骨盆 CT 数据集。扫描条件:电压 120V,层厚 1mm,矩阵 512×512。

1.2 三维模型建立

将 CT 数据集导入 Mimics 10.01,在 Segmentation 模块中,依次执行阈值分割工具(Thresholding,226~2976HU),区域增长工具(Region Growing),得到面罩 1。利用面罩编辑工具中的擦除工具(Edit Masks→Erase)结合逻辑运算工具(Boolean Operations)分离各关节,得到双侧髂骨(面罩 2、面罩 3)、骶椎(面罩 4)的面罩。将面罩 2、3、4 依次用面罩编辑工具中的阈值工具(Edit Masks→Threshold,半径 5,89~2976HU)封闭边缘

孔隙,执行形态学操作中的膨胀操作(Morphology Operations→Dilate),用工具(Edit Masks→Draw,半径 5)封闭仍未封闭的孔隙,用空腔填充工具(Cavity Fill)填充内部空间,消除所有细小空隙,连续执行两次形态学操作中的腐蚀操作(Morphology Operations→Erode),得到面罩 5、6、7。将面罩 2 与 5,3 与 6,4 与 7 分别执行逻辑运算工具中的交集操作(Boolean Operations→Unite),分别得到左侧髂骨面罩 i_l 、右侧髂骨面罩 i_r 、骶椎面罩 s 。执行 3D 计算(Calculate 3D),得到对应的三维模型(模型 i_l 、模型 i_r 、模型 s)。

1.3 坐标系及参考平面的确定

使用 Mimics 导入数据时生成的坐标系(x 轴沿冠状轴水平向左, y 轴沿矢状轴水平向后, z 轴沿垂直轴垂直向上,原点位于最上、前、右处,单位 1mm,此坐标系与 CT 扫描方向及体位有关)。采用以骨性标志物确定的参考平面,定义 S1 上表面为出口位横截面(面 axi_o ,因其在骨盆出口位水平),此平面与解剖水平面关系约呈 45°角。定义人体的左右对称面为出口位矢状面(面 sag_o),根据前两参考面计算得出出口位冠状面(面 cor_o)。

调整骨盆的角度直到两侧髂骨完全重叠(不能完全重叠的则保证髂前上棘、髂后上棘、坐骨棘重叠),在屏幕上任意无三维图形处做一平面(面 sag_o)。调整骶椎角度,使 S1 上表面水平,在空白处做一平面(面 1)。以面 sag_o 法向量(m_s, n_s, p_s)和面 1 法向量(m_1, n_1, p_1)计算出面 axi_o 法向量(m_a, n_a, p_a),根据面 sag_o 法向量及面 axi_o 法向量计算出面 cor_o 法向量(m_c, n_c, p_c)。矢状面(面 cor)与出口位矢状面法向量相等。求与面 axi_o 呈 45°及与面 sag_o 垂直的平面,列出方程用 excel 求解,其二解分别为横截面(面 axi ,法向量沿上下方向)及冠状面(面 cor ,法向量沿前后方向)。

1.4 骶椎阴模制作

将一个实心圆柱体与原始模型进行差集运算,圆柱体必须在空间位置上与原始模型重合并能包围住原始模型。阴模内表面结构和原始模型

外表面一样,但更便于透视。为显示内表面结构,将生成的阴模对剖并挖掉耳状面以外的部分。

作一略大于模型 s 的圆柱体(圆柱体 1)。测量双侧坐骨棘坐标,计算其中点坐标 $P_m(x_m, z_m, y_m)$ 。以点 P_m 及面 sag_0 法向量做一平面(面 sag_0 , 出口位正中矢状面)。在 Simulation 模块中,将圆柱体 1、模型 s 执行逻辑运算中的减集运算(Boolean Operations→Minus),得到骶椎模型的阴模(模型 s_c)。利用 Cut Orthogonal To Screen 沿面 sag_0 将模型 s_c 切割为左侧骶椎阴模(模型 s_d)和右侧骶椎阴模(模型 s_{cr})。利用 Cut With Polyplane 沿骶髂关节耳状面边缘切掉模型 s_d 、模型 s_{cr} 耳状面以外的部分(分多次切割,保证耳状面完整),运行 Split 分离切割后模型,删掉无用部分,得到模型 s_{dl} 、模型 s_{cr1} (图 1)。

1.5 最佳骶髂螺钉通道的确定

骶髂螺钉安全进钉的原则是尽量远离骶椎椎弓根的骨面。沿进钉方向透视阴模的内部,其内部空腔会在屏幕上留下一个投影,调整透视角度,投影面积变大则安全范围变大。为保证进钉通道与各处边界均较远,需要作投影的内切圆,内切圆的圆心即为进钉通道在屏幕上的投影。选择在透视方向的远端作一球体,当球体的投影与阴模空腔的投影相内切时,进钉通道过球心。当球体半径最大时,此时的透视方向为最佳进钉方向。操作时,作两个球体交替调整大小和位置,利用无限逼近法(精确到 0.1mm),找到球体半径最大时的透视方向。利用透视方向及球心坐标可以确定最佳骶髂螺钉通道轴线。

选取一侧阴模,在其内侧作两球体,调整其位置使其能在阴模的外侧透过阴模的内部空腔可见。隐藏一个球体,调整另一个球体的半径及位置使其在屏幕上的投影与阴模空腔的投影相内切,隐藏此球体并显示另一球体,在上一个球体半径的基础上增加球体半径并调整球体位置、阴模透视角度使球体投影与阴模空腔的投影再次相内切,交替进行直到球体(球 sp)半径不能增大为止(图 2)。此时在屏幕空白处作一平面(面 2)。以面 2 法向量 (m_p, n_p, p_p) 和球 sp 球心 (x_{sp}, y_{sp}, z_{sp}) 做一直线(直线 p)。直线 p 即为最佳骶髂螺钉通道轴线。直线 p 与同侧髂骨翼外板的交点即最佳进钉点(点 P_i),在此处作一点并读取坐标 (x_i, y_i, z_i) 。根据面 sag_0 法向量、点 P_m 坐标、直线 p 方向向量

(m_p, n_p, p_p) 、球 sp 球心计算最佳进钉终点 P_e 坐标 (x_e, y_e, z_e) 。相同方法分析另一侧。

1.6 最佳骶髂螺钉通道参数的测量

测量参数包括最佳骶髂螺钉通道半径、进钉深度、与各参考面的夹角、最佳进钉点和最佳进钉终点与骨盆的相对位置、最佳进钉终点和 S1 椎体的相对位置。实现方法是建立一个三维模型的包围盒,此包围盒的面与参考面对应平行,各面与三维模型恰好相切。计算盒子内某一点到一个面的距离和与其平行的包围盒边长的比值,即为相对位置。

球 sp 的半径即为最佳骶髂螺钉通道半径。 P_i 与 P_e 的距离即为进钉深度。根据直线 p 方向向量、各参考平面的法向量计算最佳骶髂螺钉通道与各参考面的夹角。根据 P_i 坐标、 P_e 坐标计算进钉深度。如图 3a,长方体 ABCD-EFGH 为骨盆三维模型的包围盒,面 EFGH 平行于面 axi_0 ,面 EHDA 平行于面 sag_0 ,面 EFBA 平行于面 cor_0 , $P_e N_e$ 、 $P_e M_e$ 、 $P_e L_e$ 分别为最佳进钉终点与面 EHDA、面 EFGH、面 EFBA 的距离, $P_i N_i$ 、 $P_i M_i$ 、 $P_i L_i$ 分别为最佳进钉点与面 EHDA、面 EFGH、面 EFBA 的距离。依次平移面 sag_0 到骨盆三维模型的右侧、左侧并与之相切的位置,分别读取面 sag_0 定位坐标 $P_r(x_r, y_r, z_r)$, $P_l(x_l, y_l, z_l)$,则 P_r 、 P_l 分别为面 EHDA、面 FGCB 上某一点。同样方法平移面 axi_0 到骨盆三维模型的下方、上方得到坐标值 $P_d(x_d, y_d, z_d)$, $P_u(x_u, y_u, z_u)$,平移面 cor_0 到骨盆三维模型的后方、前方得到坐标值 $P_p(x_p, y_p, z_p)$, $P_a(x_a, y_a, z_a)$ 。根据 P_i 坐标、 P_l 坐标、面 sag_0 法向量计算 EF;根据 P_e 坐标、 P_r 坐标、面 sag_0 法向量计算 $P_e N_e$,计算 $P_e N_e/EF$ 。同样方法计算 $P_e M_e/EA$ 、 $P_e L_e/EH(EF/2-P_i N_i)/EF$ 、 $P_i M_i/EA$ 、 $P_i L_i/EH$ 。同理,如图 3b,长方体 $A_1 B_1 C_1 D_1-E_1 F_1 G_1 H_1$ 为 S1 椎体三维模型的包围盒,面 $E_1 F_1 G_1 H_1$ 平行于面 axi_0 ,面 $E_1 H_1 D_1 A_1$ 平行于面 sag_0 ,面 $E_1 F_1 B_1 A_1$ 平行于面 cor_0 , $P_e S_e$ 、 $P_e R_e$ 、 $P_e T_e$ 分别为最佳进钉终点与面 $E_1 F_1 G_1 H_1$ 、面 $E_1 H_1 D_1 A_1$ 、面 $E_1 F_1 B_1 A_1$ 的距离。平移面 axi_0 到 S1 椎体下方并与之相切的位置(此平面在 CT 断层图像上确定),读取面 axi_0 定位坐标 $P_{ds}(x_{ds}, y_{ds}, z_{ds})$;平移面 axi_0 到 S1 椎体三维模型上表面上方并与之相切,读取面 axi_0 定位坐标 $P_{us}(x_{us}, y_{us}, z_{us})$,同样方法平移面 cor_0 到 S1 椎体三维模型上表面的后侧、前侧得到坐标值 $P_{ps}(x_{ps}, y_{ps}, z_{ps})$ 、 $P_{as}(x_{as}, y_{as}, z_{as})$ 。用与分析骨

盆同样的方法测量 P_eR_e/E_1A_1 、 P_eT_e/E_1H_1 (其中 P_eS_e/E_1F_1 恒为 0.5, 不需再测)。 P_eR_e/E_1A_1 、 P_eT_e/E_1H_1 表示在骨盆出口位或入口位时, 最佳进钉点依次在第一骶椎上下、前后方向的相对位置。

1.7 数据处理

所有数据由 Microsoft excel 2007 进行计算, 用 SPSS 13.0 进行统计分析, 计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)描述, 将 8 例共 16 侧结果分为男女两组, 采用方差不同的 t 检验进行统计学比较, $P < 0.05$ 为有统计学差异。

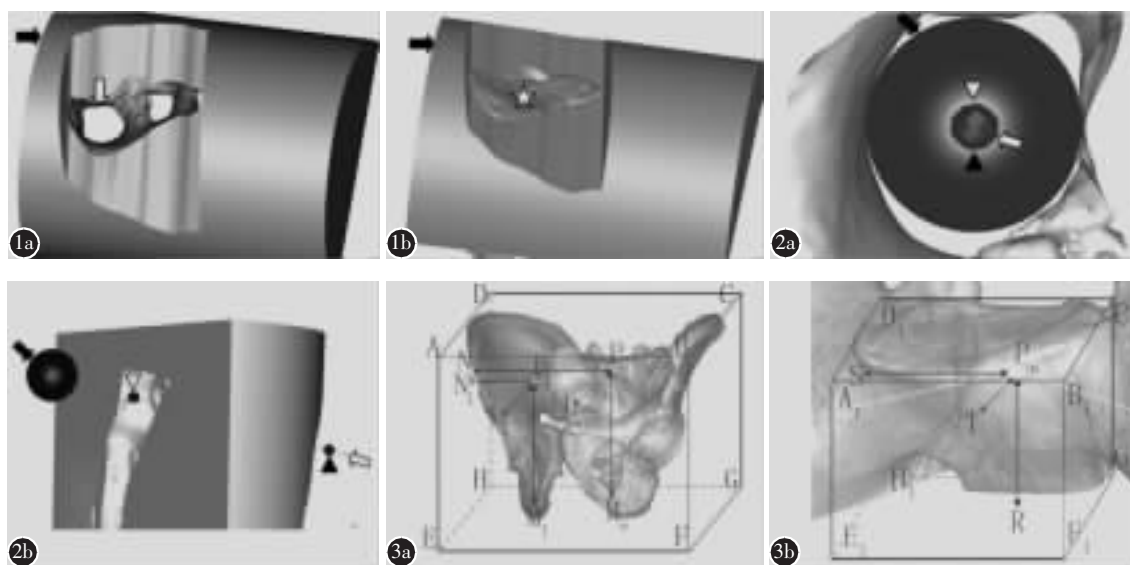


图 1 骶椎阴模(↓骶椎阴模, ⇓内部空腔, ☆耳状面) **a** 侧面观 **b** 后面观(含骶椎) **图 2** 最佳骶髂螺钉通道的确定[⇓最佳骶髂螺钉通道轴线, ▼最佳进钉点, ∇最佳进钉终点, ↓用于确定最佳骶髂螺钉通道的球体(球 sp)] **a** 正面: 示球体投影与左侧椎体阴模内部空腔投影相切, 球体、最佳进钉点、进钉终点投影均重叠 **b** 侧面: 示球体、最佳进钉点、进钉终点均在最佳骶髂螺钉通道轴线上 **图 3** 最佳骶髂螺钉通道测量参数的几何关系 **a** 与骨盆相对位置参数的几何关系 **b** 与 S1 椎体相对位置参数的几何关系 长方体 ABCD-EFGH 为骨盆三维模型的包围盒, 面 EFGH 平行于出口位横截面 (面 axi_o), 面 EHDA 平行于出口位矢状面 (面 sag_o), 面 EFBA 平行于出口位冠状面 (面 cor_o), 各面与三维模型均恰好相切; P_e 为最佳进钉终点; P_i 为最佳进钉点; P_eN_e 、 P_eM_e 、 P_eL_e 分别为最佳进钉终点与面 EHDA、面 EFGH、面 EFBA 的距离; P_iN_i 、 P_iM_i 、 P_iL_i 分别为最佳进钉点与面 EHDA、面 EFGH、面 EFBA 的距离。同理, 长方体 $A_1B_1C_1D_1-E_1F_1G_1H_1$ 为 S1 椎体三维模型的包围盒, P_eS_e 、 P_eR_e 、 P_eT_e 分别为最佳进钉终点与面 $E_1F_1G_1H_1$ 、面 $E_1H_1D_1A_1$ 、面 $E_1F_1B_1A_1$ 的距离

Figure 1 The sacral cavity die (↓The sacral cavity die ⇓The internal cavity ☆Auricular surface) **a** Lateral view **b** Back view(Contains sacral vertebra) **Figure 2** Determining of the optimum sacroiliac screw channel(OSSC)[⇓The axile wire of the OSSC ▼The initial point of OSSC ∇The end point of the OSSC ↓The sphere for determining the OSSC (sphere sp)] **a** Front view: the perspective of the sphere inscribes with the perspective of the internal cavity of the sacral cavity die. The sphere, the initial point of OSSC, the end point of OSSC are all overlapping **b** Lateral view: the sphere, the initial point of OSSC, the end point of OSSC are all in the line of the axile wire of the OSSC **Figure 3** The geometric meaning of the parameter of the OSSC **a** the geometric meaning of the parameter relative with the pelvis **b** The geometric meaning of the parameter relative with the first sacral vertebra Cuboid ABCD-EFGH is the bounding box of the pelvic, plane EFGH parallel to the axial plane in out-let view(plane axi_o), plane EHDA parallel to the sagittal plane in out-let view (plane sag_o), plane EFBA parallel to the coronal plane in out-let view (plane cor_o). The pelvic inscribes with the cuboid's each planes; P_e is the end point of the OSSC; P_i is the initial point of the OSSC; P_eN_e , P_eM_e , P_eL_e are the distance between the end point of the OSSC and plane EHDA, plane EFGH, plane EFBA respectively; P_iN_i , P_iM_i , P_iL_i are the distance between the initial point of the OSSC and plane EHDA, plane EFGH, plane EFBA respectively. Similarly, Cuboid $A_1B_1C_1D_1-E_1F_1G_1H_1$ is the bounding box of the first sacral vertebrae, P_eS_e , P_eR_e , P_eT_e are the distance between the end point of the OSSC and plane $E_1F_1G_1H_1$, plane $E_1H_1D_1A_1$, plane $E_1F_1B_1A_1$ respectively

2 结果

利用数字仿真技术可以精确确定最佳骶髂螺钉通道(图4)。骶椎阴模投影上界为骶椎椎体上表面、下界第一内侧骶孔上缘,外界由耳状面后侧缘中份和S1椎弓根后缘共同组成,后界由较平滑的骶弓根前缘组成。其形状不规则,近似长轴沿铅垂线方向的椭圆。与球的投影相切的部位为:S1椎体上表面靠前部分、耳状面外侧缘中份突出部分(其中2侧为S1椎弓根后缘中部)、第一内侧骶孔上缘靠前部分。耳状面的个体变异最大,对最佳骶髂螺钉通道影响最大。

最佳骶髂螺钉通道半径均大于7.3mm。采用配对 t 检验,男性左右侧对比与女性左右侧对比均无统计学差异($P>0.05$)。可见最佳骶髂螺钉通道左右差异较小,因此合并左右侧数据,再次统计分析,得出最佳骶髂螺钉通道参数测量结果(表1),与矢状面夹角、与冠状面夹角、与S1椎体上表面夹角男女比较有统计学差异($P<0.05$),余无统计学差异。S1最佳进钉终点位于导航出口位透视图像上上下方向最大径的2:5处,左右方向最大径1:1处及入口位上下方向最大径3:1处。S1最佳进钉点位于导航出口位透视图像上上下方向最大径的3:5处,左右方向最大径2:5处及入口位上

下方向最大径5:2处。S1最佳进钉终点约在S1椎体中轴线上下2:3及前后径3:5处(表1,图4)。

3 讨论

既往关于骶髂螺钉通道参数的研究很多,总结如下:①基于尸体标本的解剖测量^[7-11]:测量直观,结果可靠,但需要较多的材料、时间,因切割等操作不可逆,测量方位有限,妨碍了从脊椎内部测量参数。游标卡尺确定椎弓根最狭窄处的方法精度欠佳,靠置入螺钉确定最佳骶髂螺钉通道的方法可重复性差。②基于二维影像资料的测量^[11-13]:能节省材料、时间,可大样本测量,但测量方位有限,测量结果描述依赖影像学参考平面,测量的距离仅为在参考面上的投影距离,而参考平面本身受拍摄体位及患者体型影响,从而严重降低精确度。③基于二维的MPR法重建图像的测量^[14]:相对基于二维影像资料的测量,测量角度更多。能选取一个最佳角度测量,结合图形拟合法,可确定椎弓根最狭窄部位,但精度及可重复性均比不上基于尸体标本的解剖测量。④基于数字化仿真技术的三维测量^[15-18]:可任意对三维模型执行切割等操作,从内部、外部及各个方位进行测量;使用软件的测量工具精度高,利用透视法确定最佳骶髂

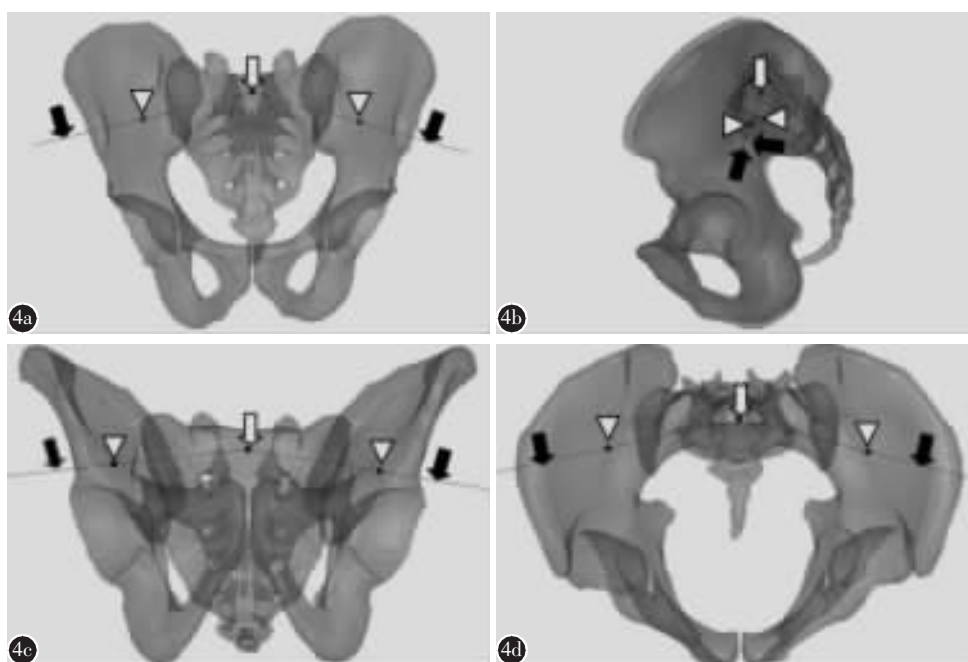


图4 最佳骶髂螺钉通道[□示进钉终点(双侧已重合),▽示最佳进钉点,↓示进钉通道] a 正位 b 侧位 c 出口位 d 入口位

Figure 4 The optimum sacroiliac screw channel (OSSC)[□The end point of the OSSC (the left side coincide with the right side) ▽The initial point of the OSSC ↓The OSSC] a A-P view b Lateral view c Out-let view d In-let view

表 1 最佳骶髂螺钉通道参数测量结果 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 The parameter of the optimum sacroiliac screw channel

	男 (n=4) Male	女 (n=4) Female
半径(mm) The radius	8.75±0.72	8.38±0.67
进钉深度(mm) The depth	78.44±3.43	74.07±6.04
与矢状面夹角(°) The angle with sagittal plane	72.62±5.01	79.65±7.59 ^①
与横截面夹角(°) The angle with axial plane	13.28±6.33	9.60±4.17
与冠状面夹角(°) The angle with coronal plane	9.99±7.67	2.01±1.58 ^①
与S1椎体上表面夹角(°) The angle with the upper surface of the S1 vertebra	14.91±6.48	7.62±5.88 ^①
P _e N _i /EF	0.50±0.01	0.50±0.02
P _e M _i /EA	0.75±0.05	0.67±0.13
P _e L _i /EH	0.72±0.02	0.78±0.03 ^①
(EF/2-P _e N _i)/EF	0.28±0.02	0.28±0.01
P _i M _i /EA	0.64±0.04	0.61±0.09
P _i L _i /EH	0.69±0.05	0.74±0.04
P _e R _i /E _i A ₁	0.62±0.03	0.61±0.04
P _e T _i /E _i H ₁	0.61±0.08	0.63±0.06

注:①与男性比较 $P<0.05$;②P_eN_i/EF、P_eM_i/EA、P_eL_i/EH 依次表示在骨盆出口位或入口位上,最佳进钉终点在骨盆左右、上下、前后方向的相对位置;(EF/2-P_eN_i)/EF、P_iM_i/EA、P_iL_i/EH 依次表示在骨盆出口位或入口位上,最佳进钉点在骨盆左右、上下、前后方向的相对位置;P_eR_i/E_iA₁、P_eT_i/E_iH₁ 依次表示在骨盆出口位或入口位上,最佳进钉点在第一骶椎椎体上下、前后方向的相对位置

Note:①Comparing with male, $P<0.05$; ②P_eN_i/EF, P_eM_i/EA, P_eL_i/EH mean the relative position of the end point of the optimum sacroiliac screw channel (OSSC) in pelvic in left-right direction, up-down direction, anterior-posterior direction respectively in out-let view or in-let view; (EF/2-P_eN_i)/EF, P_iM_i/EA, P_iL_i/EH mean the relative position of the initial point of the OSSC in pelvic in left-right direction, up-down direction, anterior-posterior direction respectively in out-let view or in-let view; P_eR_i/E_iA₁, P_eT_i/E_iH₁ mean the relative position of the end point of the OSSC in the first sacral vertebra in left-right direction, up-down direction, anterior-posterior direction respectively in out-let view or in-let view

螺钉通道精确,可重复性高,但步骤复杂,需专业软件辅助,精度受重建阈值影响^[19],而生成表面模型的过程会降低精度。

本研究是一种基于数字化仿真技术的三维测量。以前类似研究^[15-18]的步骤与原理为:①基于影像数据或断层解剖数据三维重建得到三维模型,

并做一定处理,如将点云模型转换为表面模型。②将表面数据模型(如椎弓根)内表面在电脑屏幕面上的投影拟合为规则图形(如椭圆),并做内切圆,均匀旋转模型直到内切圆半径最大,内切圆圆心即为进钉通道投影。本研究的基本原理与之相同,但根据实际需要做了些改进。首先利用逻辑运算生成阴模,代替表面数据模型生成过程,简化了步骤,提高了精度。其次,利用计算机辅助设计作辅助面、辅助点并读取其参数进行测量,增加精确度和可重复性。第三,利用空间解析几何计算结果,精度可达小数点后四位,计算的结果可以用于下一步的作图。为了减少参考平面对精度的影响,本研究还引入了用骨性标志物确定的参考平面,排除了拍摄体位及患者体型等因素影响。另外,由于骶椎椎弓根投影的形状较其他脊椎更不规则,并不适用于拟合,本研究中用球体透视的方法代替。在一些研究中报道了骶髂螺钉测量参数受年龄、性别、身高、体型等因素影响,但最直接影响因素是骨盆的大小和形状^[21],本研究采用与骨盆及S1相对位置参数来描述最佳骶髂螺钉通道,以消除骨盆大小及形状的影响。此外,采用相对位置参数还能精确、快速地在骨盆入口位及出口位的影像图像上确定最佳骶髂螺钉通道。在计算机二维透视导航(2D fluoroscopy-based navigation)手术中,导航系统能指导术者按预想的方案精确进钉,但系统并不能提供一个标准的进钉方案。在术前根据三维CT数据测量最佳骶髂通道相对位置参数,术中根据测量结果,通过尺子测量在导航界面上确定出口位及入口位的最佳进钉点及最佳进钉终点,可指导进钉。

S1椎体上表面靠前部分、耳状面外侧缘中部分、S1椎弓根后缘中部、第一内侧骶孔上缘靠前部分是骶髂螺钉进钉时的狭窄部位,需格外注意。在所有分析对象中,最佳骶髂螺钉通道半径均大于7.3mm,证明骶髂关节置入2枚直径7.3mm以下的骶髂螺钉是可能的,同以前的报道^[20]。各项参数男性左右对比及女性左右对比均无统计学差异。合并同性别双侧数据后,男女与矢状面夹角、与冠状面夹角、与S1上表面夹角、最佳进钉终点与骨盆前后相对关系(P_eL_i/EH)均有统计学差异,证明男女最佳骶髂螺钉通道参数差异较大,与以前的报告^[21]相符合。

本研究探索了一种新的螺钉钉道确定方法,

此方法在确定个体最佳骶髂螺钉通道时可做到较高的精确度,可以给椎弓根螺钉、骨盆其他部位的螺钉置入术的最佳螺钉通道的确定提供方法学的参考。以患者术前三维 CT 数据为基础,在 Mimics 中对骨盆进行虚拟复位,再按本研究方法确定最佳骶髂螺钉通道,测量需要的数据,然后使用直尺在导航系统屏幕上的骨盆出口位和入口位(在骨盆出口位和入口位上,S1 椎体上表面分别平行和垂直于拍摄方向,方便判断骶髂螺钉的角度和位置)上沿参考线方向作骨盆的外接矩形,将矩形的边分为十等份,根据术前测量数据用类似于确定坐标的方式确定最佳进钉点和最佳进钉终点,并根据二者确定最佳进钉通道轴线。同时在出口位及入口位上定位则可以实现三维空间内的定位。同类似研究^[17]结果相似,由于骨盆个体差异较大,本研究的统计结果仍然对临床指导价值有限。临床上对骶髂螺钉置入的精确度要求较高,而统计学数据并不能用于个体化治疗中,因此在术前进行针对个体的术前计划很有必要。关于本研究的临床应用还待探索。

另外,本研究存在一定的局限性,如最佳骶髂螺钉通道只是几何学上的最佳骶髂螺钉通道,并未考虑生物力学等因素。在临床应用上,难以把握虚拟复位和手术中复位的一致,而直尺测量定位进钉点和进钉终点准确度较差,操作上不方便。另外,此方法并不适合较复杂的骨折,特别是有骶椎骨折的病例。我们期待术中三维导航技术的发展能解决这些问题。在导航系统计算机安装额外测量定位的软件,或在导航系统软件内增加测量定位功能(一些导航系统有简单的测量功能,但不能满足需要)来代替直尺测量定位,或者利用影像融合技术及三维可视化技术将最佳进钉通道及骨盆一同显示在导航屏幕上,可更直观地指导进钉。

4 参考文献

1. Garcia JM, Doblare M, Seral B, et al. Three-dimensional finite element analysis of several internal and external pelvis fixations[J]. J Biomech Eng, 2000, 122(5): 516-522.
2. Schweitzer D, Zylberberg A, Córdova M, et al. Closed reduction and iliosacral percutaneous fixation of unstable pelvic ring fractures[J]. Injury, 2008, 39(8): 869-874.
3. Gautier E, Bächler R, Heini PF, et al. Accuracy of computer-guided screw fixation of the sacroiliac joint[J]. Clin Orthop Relat Res, 2001, 393: 310-317.
4. Hinsche AF, Giannoudis PV, Smith RM, et al. Fluoroscopy-based multiplanar image guidance for insertion of sacroiliac screws[J]. Clin Orthop Relat Res, 2002, 395: 135-144.
5. Blake-Toker AM, Hawkins L, Nadalo L, et al. CT guided percutaneous fixation of sacroiliac fractures in trauma patients[J]. J Trauma, 2001, 51(6): 1117-1121.
6. Van Zwienen CMA, Van Den Bosch EW, Van Dijke GAH, et al. Cyclic loading of sacroiliac screws in Tile C pelvic fractures[J]. J Trauma, 2005, 58(5): 1029-1034.
7. 潘志军, 洪华兴, 黄宗坚, 等. 骶髂关节螺钉固定的钉道参数应用解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2004, 22(2): 125-128.
8. 阮默, 徐达传, 注新民, 等. 经皮骶髂螺钉内固定术的应用解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2006, 24(5): 479-484.
9. 彭阿钦, 潘进社, 王庆贤, 等. 骶 1 椎弓根截面投影在骶髂螺钉置入中的作用[J]. 中华创伤杂志, 2004, (10): 589-591.
10. 杨开舜, 马梦昆, 劳汉昌. 骶髂螺钉固定在骶髂关节脱位中的应用解剖学研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2004, (11): 848-850.
11. 李明, 徐荣明, 薛波, 等. 经骶髂关节置入骶 1 椎弓根螺钉的解剖学和影像学测量[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(1): 42-45.
12. 乔国勇, 张艳丽, 田再杰, 等. 骶骨螺钉固定骶髂关节钉道参数的变异性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(52): 10223-10226.
13. 陈练, 王晨, 杨亚安, 等. CT 辅助导航经皮骶髂螺钉内固定路径[J]. 中国临床解剖学杂志, 2009, 27(1): 52-55.
14. 汪华清, 唐康来, 龚继承, 等. 肩胛盂骨性解剖结构的三维 CT 测量及分析[J]. 中国修复重建外科杂志, 2009, 23(7): 822-826.
15. 金丹, 王丹, 裴国献, 等. 跟骨、距骨的计算机三维重建及其解剖学测量[J]. 中国临床解剖学杂志, 2009, 27(5): 544-546.
16. 谢叻, 李严兵, 钟世镇, 等. 椎弓根进钉通道数字化分析研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(S1): 378-380.
17. 谭健, 王文军, 李严兵. 寰椎椎弓根进钉通道的数字解剖学研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(11): 885-888.
18. 李培秀, 徐晓磊, 王增立, 等. 应用交互式医学影像控制系统仿真设计椎弓根最佳进钉通道[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(2): 122-124.
19. 喻忠, 龚建平, 桂建超, 等. 颈椎椎间孔三维 CT 测量的实验研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2003, 13(8): 480-483.
20. Ebraheim NA, Xu R, Biyani A, et al. Morphologic considerations of the first sacral pedicle for iliosacral screw placement[J]. Spine, 1997, 22(8): 841-846.
21. Bajner A. Normal values of sacroiliac index according to gender and age[J]. Orvosi Hetilap, 2009, 150(33): 1551-1555.

(收稿日期:2011-11-11 修回日期:2012-02-23)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)