

齿状突螺钉钢板内固定系统的研制 及解剖学可行性分析

胡 勇,董伟鑫,袁振山,孙肖阳

(浙江省宁波市第六医院脊柱外科 315040)

【摘要】目的:自行设计与制作齿状突螺钉钢板内固定系统,并验证其解剖学可行性。**方法:**收集 40 例健康志愿者(其中男 20 例,女 20 例,年龄 22~32 岁,平均 26 岁)的颈椎 CT 数据,导入到 Mimics 15.01 中,通过 Mimics 软件测量枢椎(C2)、第 3 颈椎(C3)及 C2/3 椎间盘的相关解剖参数,包括:齿状突高度、齿状突前后径、齿状突横径、枢椎椎体前缘高度、枢椎椎体后缘高度、枢椎椎体前后径、枢椎椎体横径、枢椎前下唇的高度、枢椎前下唇的宽度、枢椎前唇与枢椎椎体后缘最高点连线与 C2 椎体下终板面的夹角、齿状突轴径与冠状面的夹角、在枢椎椎体横径测量平面测量该切面枢椎椎体前突部分的夹角、枢椎椎体矢状面前缘与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角、C3 椎体前后径、C3 椎体横径、C3 椎体前缘高度、C3 椎体后缘高度、C3 前下唇的高度、C2/3 前部椎间盘厚度、C2/3 中部椎间盘厚度、C2/3 后部椎间盘厚度、C3 椎体正中矢状位前缘最高点与后缘最低点连线与 C3 椎体上终板面的夹角、C3 上终板面与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角、齿状突理想钉道与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角。并进行统计学分析,为齿状突螺钉钢板内固定系统的设计提供相关解剖参数范围,在此基础上设计与制作齿状突螺钉钢板内固定系统,并将其在 Mimics 软件上和尸体标本上进行模拟手术。在 Mimics 软件上模拟齿状突螺钉钢板内固定系统置入后,通过 Mimics 软件上的透明功能观察螺钉通道在 C2 和 C3 中的位置是否合理,尸体模拟手术后通过对标本行 CT 扫描和三维重建,观察钉道是否准确。**结果:**根据上述 C2、C3 及 C2/3 椎间盘的相关解剖参数测量结果设计、采用医用钛合金材质(Ti-6Al-4V)制作的齿状突螺钉钢板内固定系统,主要由螺钉固定板、C2/3 椎间融合器和相关配件组成,其中配件包括齿状突固定部件、椎体锚定部件和锁定部件。齿状突螺钉钢板内固定系统在 Mimics 软件上和尸体标本上模拟手术置入后,通过透明功能和 CT 检查显示钉道位置合理。**结论:**自行研制的齿状突螺钉钢板内固定系统的置入在解剖学上具有可行性。

【关键词】前路钢板固定;齿状突骨折;解剖学;Hangman 骨折;Mimics

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2014.06.09

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2014)-06-0533-09

Odontoid screw plate fixation system, designation and its anatomical analysis/HU Yong, DONG Weixin, YUAN Zhenshan, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2014, 24(6): 533-541

【Abstract】Objectives: To offer the anatomical data and feasibility of self-designed odontoid screw plate fixation system(OSPFS). **Methods:** 40 healthy volunteers'[20 of each gender, age 22-32 years(mean 26 years)] CT data of cervical spine were collected and imported into Mimics software, the data included: dens height, dens anteroposterior diameter, dens width, C2 vertebral anterior height, C2 vertebral posterior height, C2 vertebral body diameter, C2 vertebral body width, C2 anterior inferior lip height, C2 anterior inferior lip width, the angle between C2 inferior end plate and the line of C2 anterior lip and the highest point of C2 vertebral posterior marginal, the angle between coronal plane and the axis of odontoid, the angle of C2 vertebral body which was measured in the plane with C2 vertebral body width, the angle between C2 sagittal plane front edge and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line, C3 vertebral body diameter, C3 vertebral body width, C3 vertebral anterior height, C3 vertebral posterior height, C3 anterior inferior lip height, C2/3 anterior intervertebral disk thickness, C2/3 middle intervertebral disk thickness, C2/3 posterior intervertebral disk thickness, the angle between C3 superior end plate and the line of C3 vertebral sagittal highest point of

第一作者简介:男(1974-),主任医师,医学博士,研究方向:颈椎的基础与临床

电话:(0574)87996113 E-mail:huyong610@163.com

the leading edge and the lowest point of vertebral posterior marginal, the angle between C3 superior end plate and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line, the angle between dens' ideal screw channel and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line. All these data were analyzed by SPSS software to work out relevant parameter range to OSPFS, the design and manufacture of odontoid screw plate fixation system are on the basis of these data, and simulated surgery in Mimics software and on cadavers. After simulated surgery, the accuracy of screw channel position were detected by the transparent function of Mimics and undergoing CT scanning and three-dimensional reconstruction. **Results:** The OSPFS was designed based on the C2, C3 and C2/3 related anatomical measurements completely. OSPFS consisted of screw fixing plate, C2/3 disc fusion device and related accessories, which used medical titanium alloy material(Ti-6Al-4V) manufacturing. The complex included dens fixation parts, vertebral body anchoring parts and locking parts. The simulated surgery in Mimics software and on cadavers was successfully carried out which demonstrated the placement of OSPFS was feasible. The screw channel position of odontoid screw plate were accurate which detected by the transparent function of Mimics and undergoing CT scanning and three-dimensional reconstruction. **Conclusions:** The placement of self-designed OSPFS in C2-3 complex is feasible anatomically.

[Key words] Anterior plate fixation; Odontoid fracture; Anatomy; Hangman fracture; Mimics

[Author's address] Department of Spinal Surgery, Ningbo No.6 Hospital, Ningbo, 315040, China

颈椎骨折中涉及枢椎损伤者占 18%~25%^[1,2], 其中齿状突骨折占颈椎骨折的 9%~18%^[3-5], Hangman 骨折占颈椎骨折的 4%~7%^[6], 齿状突骨折合并 Hangman 骨折占上颈椎骨折的 3.4%^[7]。Hangman 骨折常伴有不同程度的椎间盘和前、后纵韧带等周围软组织的损伤,同时多伴有 C2/3 椎体间的不稳或脱位,而目前对于齿状突骨折联合 Hangman 骨折同时合并 C2/3 椎间盘损伤的治疗尚没有较好的方式,较常用的治疗方法有颈后路 C1~C3 融合术或枕颈融合术、前路齿状突螺钉固定+后路枢椎椎弓根螺钉+C3 侧块螺钉固定植骨融合术、齿状突螺钉固定+前路 C2/3 椎间隙融合术^[8,9]。然而这些术式都有其自身的局限性,颈后路融合术丧失了寰枢关节的生理功能,严重影响患者的生活质量并加速邻近颈椎节段的退变,并增加了椎动脉和脊髓损伤的风险;前后路联合术式,因术中需要变换患者的体位,增加了脊髓损伤的风险;齿状突螺钉固定+前路 C2/3 椎间隙融合术对医生的置钉准确性要求高且整体稳定强度较弱。鉴于这些原因,设计一种可以一期前路治疗 II 型(前斜型除外)、III 型齿状突骨折联合 Hangman 骨折同时合并 C2/3 椎间盘损伤的一体化钢板内固定系统十分必要。本研究旨在为齿状突螺钉钢板内固定系统(odontoid screw plate fixation system, OSPFS)的设计提供解剖学依据,研制出来后将其在 Mimics 软件上和尸体标本上进行模拟手术,通过 Mimics 软件上的透明功能及 CT 扫描

和三维重建,观察螺钉通道在 C2 和 C3 中的位置是否合理,为后续临床应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 颈椎 CT 数据的收集

收集 47 例华东地区汉族健康志愿者的颈椎 CT (Philips Brilliance 64 CT, Philips Medical Systems, Netherland)扫描数据。CT 扫描技术参数:层厚 1mm,层间距 0.5mm,螺距 0.938,球管电压 120 kV,电流 280mA,窗宽 1000,窗位 300),排除发育不良、骨代谢性疾病、骨质增生等 7 例志愿者,最终获得 40 份有效颈椎 CT 扫描数据,其中男 20 例,女 20 例,年龄 22~32 岁,平均 26 岁。将 CT 数据导入到 Mimics 15.01(Materialise 公司,比利时,由宁波大学医学院提供)中,通过 Mimics 软件实现对患者 CT 数据的动态观测,并在 Mimics 中生成三维立体图,在该三维立体图中选取相应测量参数的剖面,通过在水平面、矢状面和冠状面三个面上进行坐标定位,然后在相对应的 CT 片上进行测量,长度测量精确度为 0.01mm,角度测量精确度为 0.01°。

1.2 C2、C3 椎体及 C2/3 椎间盘的相关解剖参数测量

根据 OSPFS 设计的需要,对以下参数进行测量(图 1)。(1)齿状突高度(DH)。(2)齿状突横径(DW)。(3)枢椎前下唇的宽度(C2AILW)。(4)C3 椎体横径(C3VBW):在过 C3 椎体前后径中点连

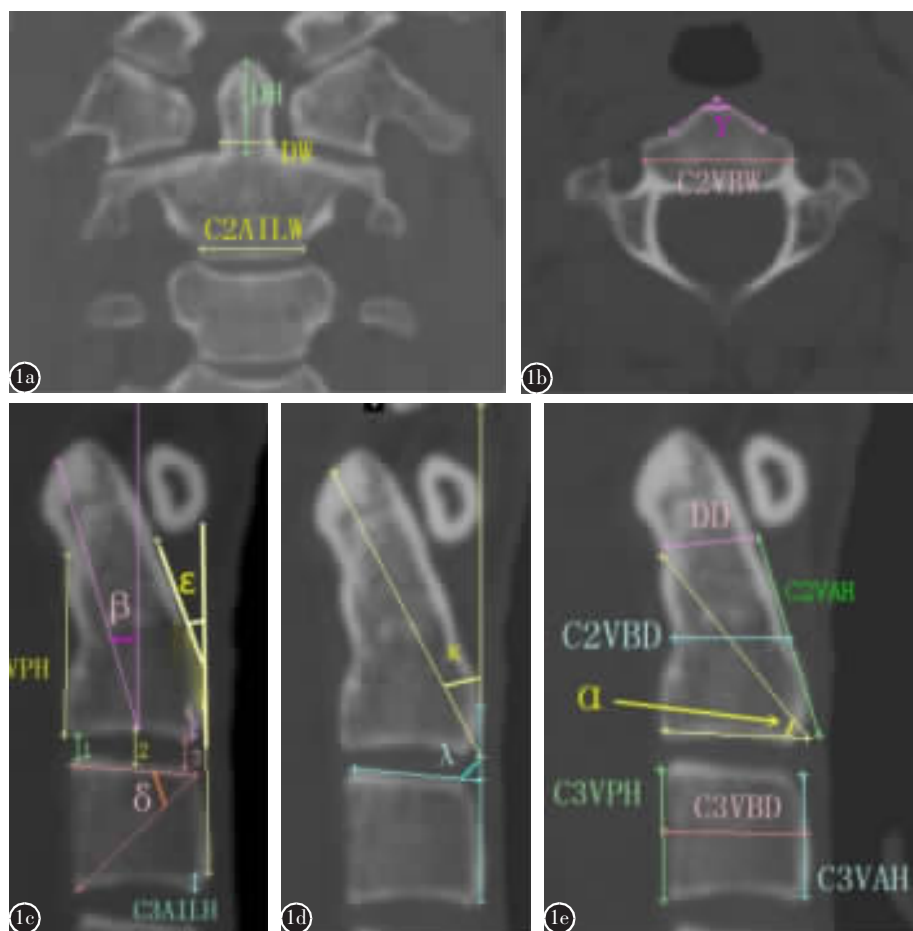


图 1 **a** 冠状面(过齿状突最高点)测量指标:DH,齿状突高度;DW,齿状突最小宽度;C2AILW,C2 前下唇宽度 **b** 横断面测量指标:γ,在枢椎椎体横径测量平面,测量该切面枢椎椎体前突部分的夹角;C2VBW,枢椎椎体横径 **c** 矢状面(过齿状突最高点)测量指标:C2VPH,枢椎椎体后缘高度;C3AILH,C3 前下唇的高度;1,C2/3 前部椎间盘厚度(C2/3ADT);2,C2/3 中部椎间盘厚度(C2/3MDT);3,C2/3 后部椎间盘厚度(C2/3PDT);4,枢椎前下唇的高度(C2AILH);β,齿状突轴径与冠状面的夹角;ε,枢椎椎体矢状面前缘与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角;δ,C3 椎体正中矢状位前缘最高点与后缘最低点连线与 C3 椎体上终板面的夹角 **d** λ,C3 上终板面与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角;κ,齿状突理想钉道与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角 **e** C3VBD,C3 椎体前后径;C3VAH,C3 椎体前缘高度;C3VPH,C3 椎体后缘高度;C2VBD,枢椎椎体前后径;C2VAH,枢椎椎体前缘高度;DD,齿状突前后径;α,枢椎前唇与枢椎椎体后缘最高点连线与 C2 椎体下终板面的夹角

Figure 1 **a** The measurement on coronal plane which through the top of dens: DH, dens height; DW, dens width; C2AILW, C2 anterior inferior lip width **b** The measurement on transverse plane: γ, the angle of C2 vertebral body which is measured in the plane with C2 vertebral body width was measured; C2VBW, C2 vertebral body width **c** The measurement on sagittal plane which through the top of dens: C2VPH, C2 vertebral posterior height; C3AILH, C3 anterior inferior lip height; C2/3ADT, C2/3 anterior intervertebral disk thickness; C2/3MDT, C2/3 middle intervertebral disk thickness; C2/3PDT, C2/3 posterior intervertebral disk thickness; β, the angle between coronal plane and the axis of odontoid; ε, the angle between C2 Sagittal plane front edge and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line; δ, the angle between C3 superior end plate and the line of C3 vertebral sagittal highest point of the leading edge and the lowest point of vertebral posterior marginal **d** λ, the angle between C3 superior end plate and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line; κ, the angle between dens' ideal screw channel and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line **e** C3VBD, C3 vertebral body diameter; C3VAH, C3 vertebral anterior height; C3VPH, C3 vertebral posterior height; C2VBD, C2 vertebral body diameter; C2VAH, C2 vertebral anterior height; DD, dens anteroposterior diameter; α=the angle between C2 inferior end plate and the line of C2 anterior lip and the highest point of C2 vertebral posterior marginal

线中心的水平面上,测量 C3 椎体横径。(5)枢椎椎体前突角(γ):在枢椎椎体横径测量平面,测量该切面枢椎椎体前突部分的夹角。(6)枢椎椎体横径(C2VBW):在过枢椎椎体前后径中点连线中心的水平面上,测量枢椎椎体横径。(7)齿状突前后径(DD):以齿状突腰部最窄处为测量点。(8)枢椎椎体前缘高度(C2VAH)。(9)枢椎椎体后缘高度(C2VPH)。(10)枢椎椎体前后径(C2VBD):枢椎椎体前后缘中点连线。(11)枢椎前下唇的高度(C2AILH)。(12)C3 椎体前后径(C3VBD):C3 椎体前后缘中点连线。(13)C3 椎体前缘高度(C3VAH)。(14)C3 椎体后缘高度(C3VPH)。(15)C3 前下唇的高度(C3AILH)。(16)C2/3 前部椎间盘厚度(C2/3ADT)。(17)C2/3 中部椎间盘厚度(C2/3MDT)。(18)C2/3 后部椎间盘厚度(C2/3PDT)。(19)C2 椎体螺钉最大进钉角(α):枢椎前下缘与枢椎椎体后缘最高点连线与枢椎下终

板面的夹角。(20)齿状突轴冠角(β):齿状突轴径与冠状面的夹角。(21)C3 椎体螺钉最大进钉角(δ):C3 椎体前缘最高点与后缘最低点连线与 C3 上终板面的夹角。(22)C3 上终板倾斜角(λ):C3 上终板面与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角。(23)枢椎后倾角(ϵ):枢椎椎体矢状面前缘与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角。(24)齿状突螺钉进钉角度(κ):齿状突理想钉道与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角。

1.3 OSPFS 的设计与制作

根据上述测量结果设计 OSPFS,并采用医用钛合金材质(Ti-6Al-4V)制作。OSPFS 主要由螺钉固定板、C2/3 椎间融合器和相关配件组成,其中配件包括齿状突固定部件、椎体锚定部件和锁定部件(图 2~3)。(1)齿状突固定部件:为 1 枚直径为 3.5mm 的齿状突拉力螺钉^[10],长度可以根据术前枢椎 CT 扫描结果来确定,配备间隔 2mm 的

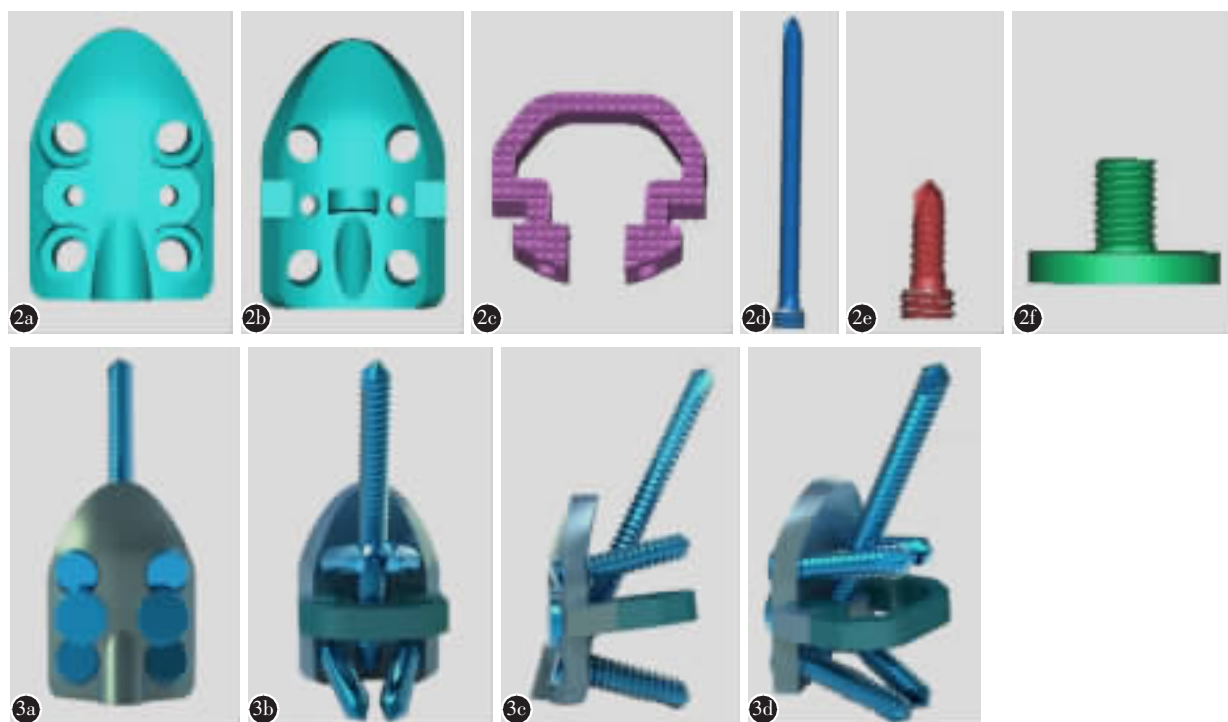


图 2 a 齿状突螺钉钢板正前位图 b 齿状突螺钉钢板正后位图 c C2/3 椎间融合器 d 齿状突拉力螺钉 e 椎体锚定螺钉 f 锁定螺钉 图 3 a 齿状突螺钉钢板内固定系统(OSPFS)正前位示意图 b OSPFS 正后位示意图 c OSPFS 侧位示意图 d OSPFS 45°侧位示意图

Figure 2 a The anterior view of odontoid screw plate b The posterior view of odontoid screw plate c The C2/3 interbody fusion apparatus d The odontoid screw e The anchor screw of vertebral body Figure 3 a The anterior view of odontoid screw plate fixation system(OSPFS) b Posterior view of OSPFS c Lateral view of OSPFS d Lateral view with 45° of OSPFS

多个规格螺钉,螺钉的进钉点为枢椎前下部,进钉角度与螺钉固定板夹角为 65° 。(2)椎体锚定部件:由 4 枚直径为 3.5mm 的螺钉组成,配备间隔 2mm 的多个规格螺钉,具体长度根据术前 CT 扫描结果确定,4 枚螺钉两枚固定在枢椎,进钉角度设置为上倾 15° ,另外 2 枚固定在 C3,进钉角度设置为下倾 15° ,4 枚螺钉均内倾 12° 。(3)锁定部件:为 2 枚直径为 2mm 的锁定螺钉,钉帽直径为 6.5mm,钉长 5mm。(4)C2/3 椎间融合器:为马蹄形,与螺钉固定板夹角为 83° ,厚度为 3.5mm,前后径为 13mm,横径为 16mm,上下两个面设计为多棱锥面。(5)螺钉固定板:为 OSPFS 的核心部件,因单纯齿状突螺钉固定失效的主要原因为从枢椎椎体的前部剪切而出,而不是从枢椎椎体下部拔出^[1],故齿状突螺钉尾部没有设计锁定螺钉,只需在齿状突螺钉钉帽和螺钉固定板相应位置处加上锁定螺纹。在椎体锚定螺钉的螺帽处也加上锁定螺纹,但由于上颈椎前路的钢板不能太厚,初步设定钢板厚度为 3mm,虽能达到固定强度的整体要求,但由于钢板的厚度较薄,单纯依靠钉帽螺纹的锁定强度不够,同时设计了锁定螺钉来加强其强度,防止椎体锚定螺钉松动而失效。

1.4 OSPFS 在尸体标本上和 Mimics 软件上模拟手术的操作步骤

在 2 具尸体枕颈部标本上进行模拟手术的步骤如下:(1)体位、切口及手术显露。尸体取仰卧位,头部向左旋转,颈部取适当过伸位,取右侧胸锁乳头肌内侧缘斜形切口至第 4 颈椎上段,显露 C2/3 椎间隙前部^[12,13]。(2)C2/3 椎间盘切除。在安全范围内暴露出 C2/3 椎间隙,切开前纵韧带,切除部分枢椎前唇及 C2/3 椎间盘,保留部分骨性终板,充分减压,将 C2/3 椎间融合器置入,同时在该部件内部放入制备好的自体骨。(3)螺钉固定板安装。在 C2/3 椎间融合器置入完成后,将螺钉固定板置入组成一体化钢板,此时由于螺钉固定板与 C2/3 椎间融合器的镶嵌结构,螺钉固定板位置得到固定,在此基础上,进行枢椎椎体螺钉的固定,然后进行 C3 椎体螺钉的固定,在椎体螺钉全部置入后,进行齿状突螺钉的置入,最后进行锁定螺钉的加固。尸体模拟手术后,通过对标本行 CT 扫描和三维重建,观察螺钉钉道是否准确。

在 Mimics 软件上导入 stl 格式的 C2/3 椎间融合器、齿状突螺钉钢板以及锁定螺钉、椎体锚定

螺钉和齿状突螺钉,并在 C2~C3 节段上按照 C2/3 椎间融合器、齿状突螺钉钢板以及椎体锚定螺钉、锁定螺钉和齿状突螺钉的顺序依次置入模拟手术的置钉过程。OSPFS 置入后,通过 Mimics 软件上的透明功能观察 OSPFS 在 C2 和 C3 中的位置是否合理。

1.5 统计学分析

使用 SPSS 16.0 统计软件对数据进行处理与整理,将测得数据进行男女比较,分析性别对测量参数造成的差异是否有统计学意义。如差异有统计学意义,将测量结果分开记录,如差异无统计学意义,将测量参数的数据进行合并,方法采用两独立样本 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 C2、C3 有关参数的测量

男、女两组数据均服从正态分布且服从方差齐性,对男性、女性进行两独立样本 t 检验比较,男性略大于女性,但差异无统计学意义,遂将资料合并。各参数具体测量结果见表 1、2。

2.2 在 Mimics 软件上和尸体标本上模拟手术结果

将根据上述测量结果而设计并制作的 OSPFS,在 Mimics 软件上进行模拟置入后,通过 Mimics 软件上的透明功能观察 OSPFS 在 C2 和 C3 中的位置准确合理(图 4)。在尸体标本上模拟手术后,通过对标本行 CT 扫描和三维重建,显示螺钉钉道准确合理,椎体锚定螺钉、齿状突螺钉、椎间融合器的位置准确合理(图 5)。说明 OSPFS 的设计合理,手术入路及 OSPFS 的置入具有解剖学可行性。

3 讨论

3.1 OSPFS 的设计

OSPFS 是在测量 40 份颈椎 CT 数据的基础上设计而来。齿状突高度为 $14.89 \pm 1.13\text{mm}$ 、齿状突前后径为 $10.74 \pm 0.85\text{mm}$ 、齿状突横径为 $10.4 \pm 1.18\text{mm}$,无法容纳 2 枚 3.5mm 的齿状突螺钉。Feng 等^[15]的研究结果认为单枚齿状突螺钉和双枚齿状突螺钉固定的生物力学稳定性差异无统计学意义,故笔者选择单枚齿状突螺钉对齿状突骨折部分进行固定。枢椎椎体横径为 $28.05 \pm 2.07\text{mm}$ 、枢椎前下唇的高度为 $3.03 \pm 0.61\text{mm}$ 、枢椎前下唇

的宽度为 16.60±1.03mm 和枢椎前唇与枢椎椎体后缘最高点连线与 C2 椎体下终板面的夹角 α 为 47.13°±3.75°, C3 椎体正中矢状位前缘最高点与后缘最低点连线与 C3 椎体上终板面的夹角 δ 为 42.57°±3.47°, 笔者将枢椎锚定螺钉的角度设计为上倾 15°和内倾 12°, 将 C3 锚定螺钉的角度设计为下倾 15°和内倾 12°, 这样的设计不仅能够为枢椎锚定螺钉提供较大稳定性, 还能够减小手术风险和简化操作, 使得锚定螺钉在椎体内的长度达到最大, 从而增加椎体对螺钉的握持力, 4 枚锚定螺钉结合在一起有角度效应, 增加 OSPFS 的整体生物力学稳定性。根据枢椎椎体前缘高度为 24.73±2.14mm、枢椎椎体后缘高度为 19.61±

2.31mm、枢椎椎体前后径为 14.30±1.13mm、C3 椎体前缘高度为 14.70±1.67mm、C3 椎体后缘高度为 14.53±2.10mm、C3 前下唇的高度为 2.15±0.52mm, 结合进钉角度和个体差异, 将锚定螺钉的长度设计为 14~22mm, 每个长度相差 2mm。根据枢椎椎体矢状面前缘与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角 ε 为 20.17°±3.07°, 齿状突理想钉道与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角 κ 为 28.25°±2.94°, 结合齿状突螺钉的理想进钉和出钉位置, 笔者将齿状突螺钉与齿状突螺钉钢板的成角设计为 25°。根据 C3 椎体前后径为 17.05±2.10mm、C3 椎体横径为 21.75±1.94mm、C2/3 前部椎间盘厚度为 2.26±0.45mm、C2/3 中部椎间盘厚度为 4.73±0.63mm、C2/3 后部椎间盘厚度为 2.55±

表 1 枢椎有关参数的测量结果
Table 1 The measurement results of axis related parameters

测量指标 Measured parameters	测量值($\bar{x}\pm s$)(范围) (observed value)(range)
齿状突高度(mm) Dens height	14.89±1.13(13.72~17.69)
齿状突前后径(mm) Dens anteroposterior diameter	10.74±0.85(8.56~11.77)
齿状突横径(mm) Dens width	10.40±1.18(9.21~13.66)
枢椎椎体前缘高度(mm) C2 vertebral anterior height	24.73±2.14(21.86~29.90)
枢椎椎体后缘高度(mm) C2 vertebral posterior height	19.61±2.31(15.63~24.99)
枢椎椎体前后径(mm) C2 vertebral body diameter	14.30±1.13(12.70~16.57)
枢椎椎体横径(mm) C2 vertebral body width	28.05±2.07(22.15~29.91)
枢椎前下唇的高度(mm) C2 anterior inferior lip height	3.03±0.61(1.94~3.82)
枢椎前下唇的宽度(mm) C2 anterior inferior lip width	16.60±1.03(15.24~18.22)
α(°)	47.13±3.75(37.12~52.30)
β(°)	19.49±7.03(6.74~35.90)
γ(°)	107.76±5.68(100.28~117.21)
ε(°)	20.17±3.07(13.58~23.13)

注:α, 枢椎前唇与枢椎椎体后缘最高点连线与 C2 椎体下终板面的夹角(以此来确定椎体固定螺钉的角度和长度);β, 齿状突轴径与冠状面的夹角;γ, 在枢椎椎体横径测量平面, 测量该切面枢椎椎体前突部分的夹角;ε, 枢椎椎体矢状面前缘与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线夹角

Note: α, the angle between C2 inferior end plate and the line of C2 anterior lip and the highest point of C2 vertebral posterior marginal; β, the angle between coronal plane and the axis of odontoid; γ, the angle of C2 vertebral body which is measured in the plane with C2 vertebral body width was measured; ε, the angle between C2 sagittal plane front edge and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line

表 2 C3 有关参数的测量结果
Table 2 The measurement results of C3 related parameters

测量指标 Measured parameters	测量值($\bar{x}\pm s$)(范围) Observed value(range)
C3 椎体前后径 C3 vertebral body diameter	17.05±2.10(13.78~19.65)
C3 椎体横径 C3 vertebral body width	21.75±1.94(17.35~23.91)
C3 椎体前缘高度 C3 vertebral anterior height	14.70±1.67(12.45~18.98)
C3 椎体后缘高度 C3 vertebral posterior height	14.53±2.10(10.65~18.62)
C3 前下唇的高度 C3 anterior inferior lip height	2.15±0.52(1.07~2.81)
C2/3 前部椎间盘厚度 C2/3 anterior intervertebral disk thickness	2.26±0.45(1.23~3.06)
C2/3 中部椎间盘厚度 C2/3 middle intervertebral disk thickness	4.73±0.63(3.68~5.65)
C2/3 后部椎间盘厚度 C2/3 posterior intervertebral disk thickness	2.55±0.74(1.84~3.90)
δ(°)	42.57±3.47(37.55~48.46)
λ(°)	83.03±1.54(80.81~85.75)
κ(°)	28.25±2.94(23.36~33.93)

注:δ, C3 椎体正中矢状位前缘最高点与后缘最低点连线与 C3 椎体上终板面的夹角;λ, C3 上终板面与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角;κ, 齿状突理想钉道与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角

Note: δ, the angle between C3 superior end plate and the line of C3 vertebral sagittal highest point of the leading edge and the lowest point of vertebral posterior marginal; λ, the angle between C3 superior end plate and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line; κ, the angle between dens' ideal screw channel and C2-C3 vertebral anterior edge sagittal plane tangent line

0.74mm、椎间盘的平均厚度约为 3.2mm,笔者结合实际将 C2/3 椎间融合部件设计为马蹄形,可与螺钉固定板组合为一个整体,厚度为 3.5mm,前后径为 13mm,横径为 16mm,这样设计的优点在于,

在即刻恢复椎间高度的同时,可以防止椎间融合过程中的过度沉降,同时使得后纵韧带与其有 3mm 左右的距离,可以防止该部件压迫后纵韧带,进而压迫脊髓引起相应的症状。有研究表明颈

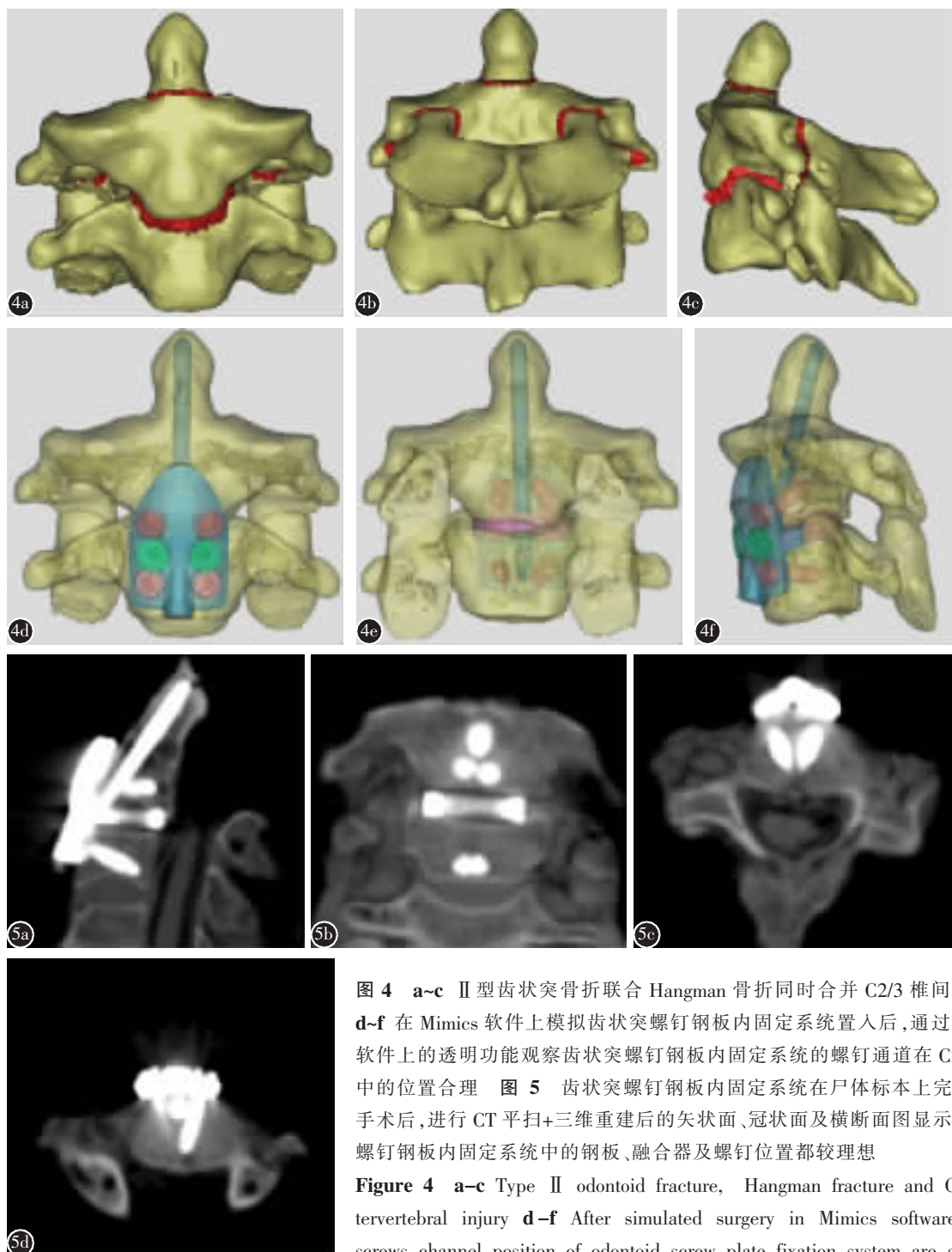


图 4 a~c II 型齿状突骨折联合 Hangman 骨折同时合并 C2/3 椎间盘损伤 d~f 在 Mimics 软件上模拟齿状突螺钉钢板内固定系统置入后,通过 Mimics 软件上的透明功能观察齿状突螺钉钢板内固定系统的螺钉通道在 C2 和 C3 中的位置合理 图 5 齿状突螺钉钢板内固定系统在尸体标本上完成模拟手术后,进行 CT 平扫+三维重建后的矢状面、冠状面及横断面图显示齿状突螺钉钢板内固定系统中的钢板、融合器及螺钉位置都较理想

Figure 4 a~c Type II odontoid fracture, Hangman fracture and C2/3 intervertebral injury d~f After simulated surgery in Mimics software, the screws channel position of odontoid screw plate fixation system are accurate

which detected by the transparent function of Mimics **Figure 5** After simulated surgery on cadavers, the screws channel position of odontoid screw plate fixation system are detected underwent CT scanning and three-dimensional reconstruction, it's the sagittal, coronal and transverse view on CT scanning, which show that the position of the C2/3 interbody fusion apparatus, plate and screw channel are ideal

椎后纵韧带作为颈椎稳定结构的一部分,保留后纵韧带的完整性有较多好处,如作为抗拉伸结构预防置入椎间融合器时发生的颈椎过伸^[16]。根据 C3 上终板面与 C2~C3 椎体前缘矢状面切线的夹角 λ 为 $83.03^\circ \pm 1.54^\circ$,笔者将 C2/3 椎间固定部件与七孔固定板的成角设计为 83° ,这样设计使得手术时 C3 上终板面的准备变得简便,不仅可节约手术时间,且较多保留了上终板,从而理论上降低了远期融合过程中发生过度沉降的发生率^[17]。

OSPFS 要求组织相容性好、术后整体稳定性好、手术置入操作方便、固定后符合生理功能需要、置入过程二次损伤小以及不伤及重要结构如血管、神经。基于这些要求,笔者设计的 OSPFS 力求在获得足够稳定性的同时保留寰枢关节的生理功能。OSPFS 的设计原理与创新之处在于它能够一期前路治疗齿状突骨折联合 Hangman 骨折同时合并 C2/3 椎间盘损伤,保留了寰枢关节的生理功能。OSPFS 使得 C2/3 椎间融合器、配件通过螺钉固定板连接为一个整体,OSPFS 的一体化极大地提高了损伤部位的稳定性,还能彻底解决齿状突螺钉从枢椎椎体表面剪切而出的可能性^[11]。由于 C2 与 C3 椎体的横断面与马蹄形类似,故 C2/3 椎间融合器的形状设计为中空马蹄形,上下两个面设计为多棱锥面,中空部位用来放置自体骨,这样的设计既可以即刻恢复椎间高度,促进 C2 与 C3 之间的骨性融合,也可以防止植骨块的滑动。OSPFS 的设计保证了齿状突螺钉与椎体锚定螺钉进钉角度的安全、合理及准确。

3.2 OSPFS 颈前外侧入路手术置入的可行性分析

颈椎前路钢板内固定术广泛应用于颈椎创伤、颈椎病、颈椎畸形及颈椎肿瘤等疾患,颈椎前路钢板使颈椎术后能够获得即刻稳定性,使假关节发生率和颈椎后凸畸形率降低^[6,7,11]。在颈椎前路手术中,颈前外侧入路是较为常用的术式,OSPFS 选择右侧入路术式^[12],患者在仰卧位的状态下,将头适当左旋,使颈椎处于伸展位,在此体位下患者颈胸距离增加,从而使得视野更加宽阔,相应椎间隙也加大,更有利于椎间盘切除^[12]。不稳定型 Hangman 骨折常合并椎间盘损伤,由于椎间盘自身修复能力很差,使其成为 C2/3 节段间不稳定的根源^[18]。对于 Hangman 骨折,前路钢板内固定术具有能够维持颈椎生理曲度、直接摘除受损

椎间盘、脊髓前路减压、骨折部位的良好复位、椎间植骨融合及术后即刻稳定等优点^[19]。OSPFS 的手术置入与齿状突螺钉固定+前路 C2/3 椎间隙融合术的手术入路一致。Blondel 等^[9]在 2009 年应用齿状突螺钉固定+前路 C2/3 椎间隙融合术治疗 1 例齿状突骨折联合 Hangman 骨折患者,该术式的临床应用,以及结合 OSPFS 在 Mimics 软件上的模拟手术,说明了理论上 OSPFS 的置入具有临床可行性”。

3.3 OSPFS 的优点及缺点

OSPFS 继承了颈前路内固定治疗 Hangman 骨折的优点:手术创伤小,操作相对简便,固定确实,对颈椎生理活动功能影响小,是相对可靠的安全方法。OSPFS 能够帮助患者早期下床活动,降低早期和远期并发症的发生率^[20]。OSPFS 可将椎管减压、即刻重建稳定性和保留寰枢关节生理活动功能良好的结合,笔者结合设计过程及查阅相关文献,OSPFS 理论上可以处理以下问题:伴有①、②、③中两者或三者的复合型损伤(①各种原因引起的 C2/3 不稳;②齿状突螺钉固定的适应证;③ Hangman 骨折)。OSPFS 不能处理以下几类问题:①颈椎强直或脊柱后凸畸形等颈前路手术操作困难的患者;②伴有横韧带断裂的患者;③ C2 或 C3 椎体粉碎性骨折导致锚定螺钉无法置入;④有齿状突螺钉固定的禁忌证。OSPFS 通过在枢椎椎体前部覆盖钢板,使得它相比齿状突螺钉内固定术能够提供更多额外的支撑,提供更好的可靠性,因此,理论上 OSPFS 在治疗骨质疏松和延迟愈合的患者时更具有优势。

笔者设计的 OSPFS 是以 Vichard 等^[21]的三叶草型钢板和 Platzer 等^[22]的齿状突钢板为基础,但设计目的与 Vichard 和 Platzer 等有所不同,Vichard 和 Platzer 等设计的钢板主要目的是为了单纯齿状突螺钉固定术无法处理的前斜型等齿状突骨折类型,而笔者的研究目的是为了实现一期前路治疗齿状突骨折联合 Hangman 骨折同时合并 C2/3 椎间盘损伤,笔者认为 Platzer 等^[22]将钢板插入寰齿前关节会影响寰枢关节的生理活动,故暂时没有增加治疗前斜型齿状突骨折的功能。OSPFS 保留了寰枢关节的生理功能,理论上可以极大地改善患者的生活质量。

4 参考文献

1. Pryputniewicz DM, Hadley MN. Axis fractures[J]. *Neurosurgery*, 2010, 66(3): 68–82.
2. Shorter C, Wylen E, Nanda A. Hangman's fracture in an osteogenesis imperfecta patient[J]. *World Neurosurg*, 2013, 80(5): 654. e13–15.
3. Butler J, Dolan R, Burbridge M, et al. The long-term functional outcome of type II odontoid fractures managed non-operatively[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(10): 1635–1642.
4. Hsu WK, Anderson PA. Odontoid fractures: update on management[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2010, 18(7): 383–394.
5. White AP, Hashimoto R, Norvell DC, et al. Morbidity and mortality related to odontoid fracture surgery in the elderly population[J]. *Spine*, 2010, 35(9 Suppl): S146–157.
6. Choi WG, Vishteh AG, Baskin JJ, et al. Completely dislocated hangman's fracture with a locked C2–3 facet: case report [J]. *J Neurosurg*, 1997, 87(5): 757–760.
7. Gleizes V, Jacquot F, Signoret F, et al. Combined injuries in the upper cervical spine: clinical and epidemiological data over a 14-year period[J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(5): 386–392.
8. Chittiboina P, Wylen E, Ogden A, et al. Traumatic spondylolisthesis of the axis: a biomechanical comparison of clinically relevant anterior and posterior fusion techniques: laboratory investigation[J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(4): 379–387.
9. Blondel B, Metellus P, Fuentes S, et al. Single anterior procedure for stabilization of a three-part fracture of the axis (odontoid dens and Hangman fracture): case report[J]. *Spine*, 2009, 34(7): E255–E257.
10. Rajasekaran S, Kamath V, Avadhani A. Odontoid anterior screw fixation[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(2): 339–340.
11. Daniels AH, Magee W, Badra M, et al. Preliminary biomechanical proof of concept for a hybrid locking plate/variable pitch screw construct for anterior fixation of type II odontoid fractures[J]. *Spine*, 2012, 37(19): E1159–E1164.
12. Cheung KM, Mak K, Luk KD. Anterior approach to cervical spine[J]. *Spine*, 2012, 37(5): E297–E302.
13. Xu H, Zhao J, Yuan J, et al. Anterior discectomy and fusion with internal fixation for unstable Hangman's fracture[J]. *Int Orthop*, 2010, 34(1): 85–88.
14. Doherty BJ, Heggeness MH, Esses SI. A biomechanical study of odontoid fractures and fracture fixation[J]. *Spine*, 1993, 18(2): 178–184.
15. Feng G, Wendlandt R, Spuck S, et al. One-screw fixation provides similar stability to that of two-screw fixation for type II Dens fractures[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(7): 2021–2028.
16. Martin Jr GJ, Haid Jr RW, Macmillan M, et al. Anterior cervical discectomy with freeze-dried fibula allograft: overview of 317 cases and literature review[J]. *Spine*, 1999, 24(9): 852–859.
17. Chin KR, Ghiselli G, Cumming V, et al. Postoperative magnetic resonance imaging assessment for potential compressive effects of retained posterior longitudinal ligament after anterior cervical fusions: a cross-sectional study[J]. *Spine*, 2013, 38(3): 253–256.
18. Wang C, Ma H, Yuan W, et al. Anterior C3 corpectomy and fusion for complex Hangman's fractures [J]. *Int Orthop*, 2013, 37(1): 89–93.
19. Li XF, Dai LY, Lu H, et al. A systematic review of the management of Hangman's fractures[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(3): 257–269.
20. Bohlman HH, Anderson P. Anterior decompression and arthrodesis of the cervical spine: long-term motor improvement(Part I): improvement in incomplete traumatic quadriplegia[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1992, 74(5): 671–682.
21. Vichard P, Gagneux E, Garbuio P. Osteosynthesis of the odontoid process by a clover-shaped plate[J]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 1995, 82(7): 663–667.
22. Platzer P, Thalhammer G, Krumboeck A, et al. Plate fixation of odontoid fractures without C1–C2 arthrodesis: practice of a novel surgical technique for stabilization of odontoid fractures, including the opportunity to extend the fixation to C3[J]. *Neurosurgery*, 2009, 64(4): 726–733.

(收稿日期:2013-11-27 末次修回日期:2014-03-01)

(英文编审 将欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)