

寰枢椎椎弓根螺钉固定的研究进展

李 野, 刘景臣

(吉林大学中日联谊医院骨科 130033 吉林省长春市)

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2008)-02-0149-04

寰椎椎弓根螺钉固定技术, 即通常所说的经寰椎后弓侧块螺钉固定技术, 与寰椎侧块螺钉固定技术不是等同的概念。有很多文献将其混淆。寰椎椎弓根螺钉固定技术由 Resnick 等^[1]于 2002 年首次提出, 用于治疗齿状突骨折引起的寰枢椎不稳。枢椎椎弓根螺钉固定技术首先由 Leconte 于 1964 年用于枢椎创伤性滑脱的治疗。近年来在寰枢椎后路内固定术中寰枢椎椎弓根螺钉固定技术发展越来越快, 显示出其他固定方法无可比拟的优越性。国内外关于寰枢椎椎弓根螺钉的固定技术的应用解剖学研究、生物力学研究及临床应用研究的报道屡见不鲜, 现综述如下。

1 寰椎椎弓根的应用解剖研究

1.1 寰椎椎弓根的定义

在解剖学上, 椎弓根是指连接椎体和椎弓的部分。寰椎具有独特的解剖特点: 缺乏椎体和椎板及棘突, 因此不存在严格意义上的椎弓根。谭明生等^[2]将侧块与后弓连接处, 即椎动脉沟处的后弓看作是寰椎的椎弓根。将椎动脉沟处看作在结构上和力学上类似于其他脊椎的椎弓根。而马向阳等^[3]将侧块与后弓连接部, 也就是与椎动脉沟的连接部叫做椎弓根, 也叫做狭部, 但不包括椎动脉沟处。后弓的内缘作为椎弓根的内界, 寰椎横突孔的内侧壁作为椎弓根的外界。谭明生的解剖定位更符合椎弓根的定义。但无论那种椎弓根的界定, 寰椎椎弓根螺钉固定都是特指经由寰椎后弓、椎动脉沟、寰椎后弓狭部到寰椎侧块内的螺钉固定技术^[4]。

1.2 寰椎椎弓根的解剖测量

无论那种椎弓根的界定, 在置入寰椎椎弓根螺钉时最关键的部位都是椎动脉沟。椎动脉沟底骨质最薄, 解剖结构非常重要。上方有椎动脉横行穿过, 下方有 C2 神经节及神经后根(枕大神经)通过, 外为椎静脉丛, 内为延髓生命中枢, 所以是行寰椎椎弓根螺钉固定的关键部位。它的厚度是决定寰椎椎弓根螺钉直径大小及手术能否实施的关键。谭明生等^[2]测量了 50 例寰椎的骨标本, 结果显示椎动脉沟底骨质最薄处的后弓高明显小于后弓的宽, 亦小于进钉点处后弓的高度, 其外径高左侧为 $4.58 \pm 0.65 \text{mm}$, 右

侧为 $4.72 \pm 0.68 \text{mm}$; 内径高左侧为 $2.13 \pm 0.43 \text{mm}$, 右侧为 $2.20 \pm 0.46 \text{mm}$, 进钉点与侧块前缘的距离为左侧 $30.07 \pm 1.66 \text{mm}$, 右侧 $29.52 \pm 1.79 \text{mm}$ 。认为能置入长为 24mm 、直径为 3mm 左右的螺钉。马向阳等^[3]测量 50 例寰椎骨标本的结果为, 椎动脉沟下方寰椎后弓的宽度为 $8.46 \pm 0.57 \text{mm}$, 其内侧 1/3 和外侧 1/3 的高度分别为 $3.88 \pm 0.52 \text{mm}$ 和 $4.25 \pm 0.51 \text{mm}$; 其定义的椎弓根的宽度和高度分别为 $8.57 \pm 0.65 \text{mm}$ 和 $5.83 \pm 0.75 \text{mm}$ 。从测量结果来看主要限制因素在椎动脉沟处尤其内侧 1/3 部, 但外侧 1/3 部高度平均为 4.25mm , 且此处避开了椎动脉压迹最深处, 髓腔相对较大, 由此放置直径 3.5mm 的螺钉安全性也较大。因此建议进钉点位置应在椎弓根中点偏外。Resnick 等^[1]通过三维 CT 及立体定向手术导航系统测得 C1 能放置最大安全直径为 $7 \pm 1.6 \text{mm}$ 的螺钉, 螺钉平均长度位 $26 \pm 2 \text{mm}$; C2 则能放置直径为 $6.5 \pm 1.4 \text{mm}$, 最大长度为 $24.2 \pm 4.2 \text{mm}$ 的螺钉。如果 C1 用直径 4mm 的螺钉, 测量螺钉边缘到椎间孔的平均距离为 $2 \pm 1.2 \text{mm}$ 。

2 枢椎椎弓根的应用解剖研究

2.1 枢椎椎弓根的定义

关于枢椎椎弓根的界定同样存在着不同的看法。Yarbrough 等^[5]及马向阳等^[6]认为枢椎上下关节突之间的连接区域是椎弓根, 即狭部。Benzel 等^[7]与上述观点类似, 也认为这一区域叫椎弓根。Bome 等^[8]认为枢椎椎体-齿状突复合体与上关节突之间的区域为椎弓根, 这与国内学者侯黎升等^[9]的观点相似。Ebraheim 等^[10]对 20 个枢椎干骨标本进行大体观察, 对 6 具尸体的枢椎进行三维 CT 扫描得出: 枢椎上关节突下方和横突孔前内侧的部分是椎弓根, 上下关节突之间的狭窄部分叫狭部。两者之间的骨皮质和骨密度分布没有差异, 枢椎椎弓根螺钉的走行是经下关节突、狭部、进入椎弓根最后固定于椎体上。这种观点得到了很多人的认可。Naderi 等^[11]认为枢椎的椎弓根为上下关节突之间的狭部所覆盖, 连接椎体与下关节突的部分。袁峰等^[12]的观点与 Naderi 的一致, 且认为上下关节突之间的部分是狭部和椎弓根复合体, 复合体上部扁平的部分为狭部, 中下部分半管柱状结构(少数为薄壁状)的骨嵴为椎弓根部, 其位于狭部的下方, 在横突孔的内后侧连接椎体和下关节突。昌耘冰等^[13]对 160 个枢椎观测后指出: 狭部位于上下关节突之间, 覆盖了椎弓根, 由于两者在解剖学上的密切

关系,建议临床上应称为“椎弓根狭部复合体”。但无论怎样划分,枢椎的狭部和椎弓根关系密切,是椎弓根螺钉固定的必经通道。

2.2 枢椎椎弓根的解剖测量

由于上述不同的观点导致测量结果存在较大的差异。瞿东滨等^[14]对 100 例枢椎椎弓根干骨标本的形态进行观测,椎弓根的上宽平均为 $7.9 \pm 1.7\text{mm}$,中宽 $6.0 \pm 1.6\text{mm}$,下宽 $4.1 \pm 1.1\text{mm}$,高度为 $8.3 \pm 0.9\text{mm}$ 。可以看出椎弓根的高度不是置钉的限制因素,主要在椎弓根的宽度上。如果以直径 3.5mm 椎弓根钉进行固定,80%左右的枢椎椎弓根适用于内固定,并提出应以椎弓根的中宽为准,必要时应用直径小于 3.5mm 的螺钉进行固定。沙勇等^[15]对 100 例枢椎骨标本(男 70 例、女 30 例)进行测量,枢椎椎弓根的宽度平均为 $7.65 \pm 1.79\text{mm}$,高度为 $9.01 \pm 1.26\text{mm}$,内倾角为 $24.58^\circ \pm 3.05^\circ$,上倾角为 $27.69^\circ \pm 5.04^\circ$,并得出椎弓根的宽度右侧明显大于左侧,男性全部标本椎弓根宽度大于 3.5mm ,但小于 4.5mm 的标本有 2 侧,女性标本中有 2 侧椎弓根宽度小于 3.5mm ,但大于 3.5mm 、小于 4.5mm 的标本有 3 侧。袁峰等^[12]从上下两个平面测量了枢椎椎弓根的内倾角,上部的内倾角为 $42.6^\circ \pm 4.9^\circ$,下部的内倾角为 $11.1 \pm 2.4^\circ$,与沙勇测量的内倾角有一定差别。Naderi 等^[14]的测量结果是枢椎左侧椎弓根高度为 $10.3 \pm 1.6\text{mm}$,宽度为 $7.9 \pm 1.7\text{mm}$;右侧高度为 $9.9 \pm 1.5\text{mm}$,宽度为 $8.5 \pm 1.6\text{mm}$ 。左侧椎弓根的上倾角和内倾角分别为 $18.8 \pm 1.7^\circ$ 和 $28.6 \pm 2.2^\circ$;右侧椎弓根的上倾角和内倾角分别为 $18.8 \pm 2.1^\circ$ 和 $28.4 \pm 2.5^\circ$ 。尹东等^[16]对 55 例成人枢椎标本进行了测量,结果显示椎弓根的宽度、高度及内倾角和上倾角左右侧没有显著性差异,椎弓根的宽度为 $8.22 \pm 1.48\text{mm}$,厚度为 $8.42 \pm 0.86\text{mm}$,内倾角为 $36.57^\circ \pm 3.18^\circ$,上倾角为 $26.79^\circ \pm 2.10^\circ$ 。结果表明国人的枢椎椎弓根有足够的空间供螺钉固定。Mandel 等^[17]采用 CT 技术对 205 例枢椎标本(男 103、女 102)进行了测量,测得椎弓根高度男女分别为 $8.6 \pm 2.0\text{mm}$ 和 $6.9 \pm 1.5\text{mm}$,椎弓根宽度分别为 $8.2 \pm 1.5\text{mm}$ 和 $7.2 \pm 1.3\text{mm}$ 。作者的结论是,对大多数人来说,置入直径 3.5mm 的螺钉是安全的,只有 10% 的人存在风险。Xu 等^[18]测量的枢椎椎弓根高度男女分别为 7.7mm ($5 \sim 10\text{mm}$) 和 6.9mm ($4 \sim 10\text{mm}$),宽度分别为 8.6mm ($6 \sim 12\text{mm}$) 和 7.9mm ($6 \sim 7.9\text{mm}$),上倾角分别为 20.4° ($14^\circ \sim 30^\circ$) 和 20.0° ($13^\circ \sim 25^\circ$),内倾角分别为 33.3° ($26^\circ \sim 40^\circ$) 和 32.7° ($28^\circ \sim 41^\circ$)。国内外各家报道的数据有很大差别,主要是由于人种的不同、测量方法、测量工具及各家对解剖位置的理解不同引起的。但都说明了一个问题:大部分椎弓根还是适合应用椎弓根螺钉进行固定的。

3 寰枢椎椎弓根螺钉的应用

3.1 进钉技术研究

Brantley 等^[19]研究指出,椎弓根螺钉的横截面积为椎弓根横截面积的 70%~90% 时固定最牢固;进钉的深度为

钉道最长深度的 80% 时,螺钉的固定强度已经足够,再增加深度,固定强度无明显增加。寰枢椎椎弓根钉内固定的螺钉直径为 3.5mm ,多数文献报道均一致。关于螺钉的进钉技术主要涉及:进钉点的选择、进钉角度的选择及螺钉的长短。

3.1.1 寰椎的进钉技术研究 寰椎椎弓根螺钉的进钉点不同于寰椎侧块螺钉的进钉点。后者的进钉点在寰椎后弓与侧块移行部^[20]。而寰椎椎弓根螺钉的进钉处直接在后弓。主要有以下几种进钉技术。

谭明生等^[2,21]以寰椎后结节中点旁开 $18 \sim 20\text{mm}$ 的矢状面与后弓下缘上方 2mm 的交点作为进钉点,在冠状面上保持垂直,矢状面上螺钉朝头端倾斜 5° 。螺钉长为 24mm 。手术中特别注意钉道起始 1cm 段的螺钉置入。谭明生等在 50 例寰椎标本上测量进钉点与侧块前缘的距离(AL)和进钉点与椎动脉沟前缘的距离(AV)分别是:左侧为 30.07mm 和 10.60mm ;右侧为 29.52mm 和 10.79mm ,在 5 位患者的 CT 片上测量结果 AL 为 $30.07 \pm 1.66\text{mm}$ 。

马向阳等^[2,23]建立了以枢椎下关节突为解剖标志的寰枢椎椎弓根螺钉的进钉技术。在寰枢椎无旋转脱位或旋转脱位已复位的情况下,经枢椎下关节突的中点的垂线与寰椎后弓上缘交点的正下方 3.0mm 处为进钉点。螺钉内倾角为 10° 、上倾角 5° 。螺钉的最大进钉深度平均为 30.51mm ,推荐用长 28mm 的螺钉,能刚好达到寰椎侧块前方骨皮质后缘。该技术的关键之一在于避免造成椎动脉的损伤,进钉点与后弓上缘必须留足 3.0mm ;对于后弓高度小于 4.0mm 者,放置直径 3.5mm 的螺钉后,会有部分螺纹突破椎弓根下缘的骨皮质,但对螺钉固定强度影响不大,因为在寰椎侧块内的螺钉长度与寰椎侧块螺钉一样,理论上固定强度至少等同于寰椎侧块螺钉。

校佰平等^[24]在直视下寻找寰枢椎椎弓根螺钉的进钉点。根据椎弓根上内侧的骨面形成的三角向后方的延续部分确定寰枢椎椎弓根螺钉的进钉点。寰椎螺钉向上、向内倾斜 10° ,穿入深度为 $22 \sim 32\text{mm}$ 。

Resnick 等^[1,4]应用外科手术导航系统进行寰枢椎椎弓根螺钉的固定,导航系统确定进钉点,然后用高速钻将进钉点的骨皮质磨除,C1 的内倾角为 10° ,C2 与其棘突平行。

谭明生等^[2,21]和 Resnick 等^[1,4]的进钉点比马向阳等^[21,22]的进钉点偏内。寰枢椎无旋转脱位或旋转脱位已复位的情况下应用马向阳等^[22,23]的方法比较方便,在寰枢椎旋转脱位未复位的情况下应用谭明生等^[2,21]的方法可以解决定位难的问题。校佰平^[24]的方法临床应用的报道少,应进一步检验。

3.1.2 枢椎的进钉技术研究 Xu 等^[18]通过解剖学研究认为,枢椎椎弓根螺钉安全的进钉点位于椎板上缘下 5mm 和椎管内缘外 7mm 的交点处,内倾角 30° ,上倾角 20° 。随后的研究^[25]发现,应用上述方法置钉,16 枚钉中有 3 枚突破横突孔与椎动脉相接触,1 枚穿入椎动脉。而采用直视

的方法显露椎弓根的上面和内面进行置钉,16 枚中有 2 枚穿破横突孔内壁,但螺钉未与椎动脉相接触,所有突出的椎弓根均由外壁突出,内壁和上壁、下壁均无损伤,他们认为可能与内倾角不够有关。

Howington 等^[20]以枢椎棘突中线和下关节突为标志进行定位。以棘突正中垂线外 26mm 和下关节突最下缘上方 9mm 的交点为进钉点。他们发现显露椎弓根的上缘和内缘后,按照新的进钉点螺钉内倾 35.2°、上倾 38.8°。

马向阳等^[9]以枢椎下关节突为标志建立了两个进钉点:(1)位于下关节突中心点的内、上各 2mm 处,螺钉内倾 32.1°,上倾 28.3°,平均最大螺钉长度为 26.89mm。(2)位于枢椎下关节突内缘的纵垂线与枢椎下关节突中上 1/4 水平线的交点,螺钉内倾 16.5°、上倾 18.6°,平均最大螺钉长度为 25.23mm。两个进钉点均在下关节突的内上象限。并提出进钉点宜上不宜下,上倾角和内倾角宜大不宜小。

李志军等^[27]则将枢椎横突下缘水平线与关节突的中外 1/4 垂线的交点处作为进钉点。

校佰平等^[24]提出在直视下进钉的方法,Xu^[18]及 Howington 等^[26]也都应用了此方法。无论那种方法都因人而异。瞿东滨等^[14]认为由于个体差异,解剖测量的参数很不可靠,而应根据具体情况而定。

3.2 生物力学研究

寰枢椎不稳时,后路寰枢椎经关节螺钉(Magerl)固定术是目前国内外推崇的手术,特别是 Magerl 螺钉联合 Gallie 钢丝构成的三点固定,其生物力学强度明显优于此前的其他内固定方式^[28]。Richter 等^[29]采用寰椎侧块螺钉而非寰椎椎弓根螺钉,联合应用枢椎椎弓根螺钉的钉棒系统固定的生物力学研究发现其力学强度与 Magerl 螺钉等效。寰椎椎弓根螺钉的长度大于侧块螺钉的长度,可能具有更大的力学强度。Melcher 等^[30]的生物力学研究表明,寰椎侧块螺钉联合枢椎椎弓根螺钉及双侧直径 3mm 的棒组成的系统与双侧经关节螺钉在稳定性方面没有差异,并且在侧弯和轴向旋转方面比没有螺钉的 Gallie 结构更稳定。同上寰椎椎弓根螺钉的长度大于侧块螺钉的长度,在力学强度上要优于侧块螺钉。马向阳等^[31]的生物力学研究证实,C1~C2 椎弓根螺钉可以满足前后和左右方向的稳定性要求,在抗旋转方面与 Magerl 螺钉等效,而 Magerl 螺钉具有良好的抗旋转功能,说明 C1~C2 椎弓根螺钉具有可靠的轴向稳定性。

目前所有生物力学研究只评价了置钉后的即刻稳定性。因此需要进一步的生物力学研究来评估寰枢椎椎弓根螺钉长期的稳定性。

3.3 临床应用效果

Resnick^[1]最初应用寰枢椎椎弓根螺钉治疗 1 例 54 岁的女患者,Ⅱ型齿状突骨折不愈合移位,由于患者高大肥胖,不适合齿状突螺钉及 Magerl 螺钉和 Halo-vest 架固定。给患者实施了寰枢椎椎弓根螺钉固定。6 个月后患者神经症状消失,骨折愈合良好。并得出结论:对于不适合

Magerl 螺钉和有胸椎后凸畸形者可以使用寰枢椎椎弓根螺钉进行固定。

Hams^[20]应用 C1 侧块螺钉和 C2 椎弓根螺钉治疗作为临时固定治疗了两位患者:25 岁男性寰枢椎半脱位;21 岁女性Ⅲ型齿状突骨折。术后 3~4 个月去除内固定物,寰枢椎位置良好,活动正常,且未损伤寰枢椎关节。这点明显优于其他固定方法。

校佰平等^[24]应用寰枢椎椎弓根螺钉治疗 13 例寰枢椎不稳的患者,未发生血管神经损伤。术后随访症状均减轻,X 线片见内固定物位置良好。作者认为,经椎弓根螺钉内固定技术是治疗寰枢椎不稳的有效方法。

郝定均等^[32]应用寰枢椎椎弓根螺钉治疗 26 例寰枢椎不稳患者,效果满意,无神经血管损伤。近来关于寰枢椎椎弓根螺钉固定治疗寰枢椎不稳报道^[33,34]在增加,治疗效果大多令人满意。

寰枢椎椎弓根螺钉固定主要的适应证^[8,24,33]是:(1)Ⅱ型齿状突骨折伴寰枢椎脱位;横韧带损伤伴寰枢椎脱位;陈旧性寰枢椎脱位伴寰枢椎不稳;类风湿关节炎所致寰枢椎不稳;齿状突发育不全伴寰枢椎半脱位;有鹅颈畸形的寰枢椎不稳;寰椎后弓缺如时重建寰枢椎稳定性;寰椎椎后路椎板减压后椎板缺如时行固定。(2)Ⅰ型和Ⅱ型 Hangman 骨折,不伴有椎体骨折。禁忌证^[8,24,33]:(1)外伤性寰枢椎脱位伴有寰椎侧块或枢椎椎体骨折;(2)寰枢椎不稳同时伴有枕颈或 C2、3 不稳者;(3)寰枢椎椎弓根直径小不适合螺钉固定及椎动脉变异有损伤椎动脉的风险。

4 寰枢椎椎弓根螺钉固定在后路寰枢椎固定中的作用

寰枢椎后路固定术包括:Gallie 钢丝、Brooks 钢丝、Halifax 椎板夹、Apofix 椎板夹、Magerl 螺钉、寰椎侧块螺钉+枢椎椎弓根螺钉、寰椎椎弓根螺钉+枢椎椎弓根螺钉。钢丝固定是 1980 年以前寰枢椎不稳的标准后路固定技术。Magerl 螺钉技术仍然是现在推崇的手术。寰椎侧块螺钉和寰椎椎弓根螺钉固定技术是新兴起的技术,寰椎椎弓根螺钉和侧块螺钉的主要区别在于进钉点的位置不同,因而螺钉的长度也不同;寰椎侧块螺钉的进钉点是在寰椎后弓下缘与寰椎侧块后缘的移行处,沿寰椎侧块矢状轴置入^[9]。进行寰椎侧块螺钉固定必须显露寰枢椎侧块关节后方,该位置有丰富的静脉丛和枕大神经,容易造成大出血和神经损伤,这样限制了侧块螺钉的应用。同时,寰椎椎弓根螺钉的通道长、把持力好,螺钉与后部的钢板容易锁定。虽然颈椎后路寰枢椎椎间固定的首选方法是 Magerl 术式,但 Magerl 螺钉技术要求进钉角度大,且术前要求寰枢椎解剖复位,而且这种术式要求下颈椎有足够的屈曲度,对于下颈椎为鹅颈畸形、胸椎有后凸畸形者不能采用此术式,采用寰枢椎椎弓根螺钉将更容易^[1]。Hams^[20]指出:经关节螺钉(Magerl 螺钉)固定技术要求高,且有损伤椎动脉的风险;经关节螺钉固定需要术中应用 X 线监测且必须在寰枢椎复位的情况下应用。椎弓根螺钉或侧块螺钉则应用方便且

不依赖于 C1 后弓的完整性, 另一大优点是可在不损伤 C1/2 关节的情况下起临时固定作用。但 Resnick^[4]指出: 尽管 C1、C2 椎弓根螺钉有很多优点, 但并不能取代 Magerl 螺钉, 因为 Magerl 螺钉钉道的安全直径大于 C1、C2 椎弓根螺钉道的安全直径; 而且在理论上更多的人适合 Magerl 螺钉固定, 严格从解剖观点来看, 并不能说明 C1、C2 椎弓根螺钉比 Magerl 螺钉更安全; 两者的主要不同在于在于椎弓根螺钉固定时, C2 置钉的上倾角变小, 且在 C1、C2 不能完全复位的情况下也能置钉。

寰枢椎椎弓根螺钉固定技术会在后路寰椎固定中发挥越来越大的作用。由于其操作简单, 固定可靠, 无论临时固定还是长期固定均可, 应用会日益广泛。但关于寰枢椎椎弓根的范围还应进一步研究明确, 以使测量标准及手术统一化。生物力学的研究应评价其长期的稳定性。其适应证及禁忌证有待在临床实践中进一步探讨。

5 参考文献

1. Resnick DK, Benzel EC. C1-C2 pedicle screw fixation with rigid cantilever beam construct: case report and technical note [J]. Neurosurg, 2002, 50(2): 426-428.
2. 谭明生, 张光铂, 李子荣, 等. 寰椎测量及其经后弓侧块螺钉固定通道的研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(1): 5-8.
3. 马向阳, 钟世镇, 刘景发, 等. 寰椎后路椎弓根螺钉固定的解剖可行性研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2003, 21(6): 554-555.
4. Resnick DK, Lapsiwala S, Trost GR. Anatomic suitability of the C1-C2 complex for pedicle screw fixation [J]. Spine, 2002, 27(14): 1494-1498.
5. Yarbrough BE, Hendey GW. Hangman's fracture resulting from improper seatbelt use [J]. South Med J, 1990, 83(7): 843-845.
6. 马向阳, 尹庆水, 吴增晖, 等. 枢椎椎弓根螺钉进钉点的解剖定位研究[J]. 中华外科杂志, 2006, 44(8): 562-564.
7. Benzel EC. Anatomic consideration of C2 pedicle screw placement [J]. Spine, 1996, 21(16): 2301-2302.
8. Bome GM, Bedou GL, Pindaudeau M. Treatment of pedicular fracture of the axis: a clinical study and screw fixation technique [J]. J Neurosurg, 1984, 60(1): 88-93.
9. 侯黎升, 贾连顺, 谭军, 等. 枢椎各结构解剖学部位研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2005, 23(1): 44-47.
10. Ebraheim NA, Fow J, Xu R, et al. The location of the pedicle and pars interarticularis in the axis [J]. Spine, 2001, 26(4): E34-E37.
11. Naderi S, Aman C, Gubencer M, et al. Anatomical study of C2 pedicle [J]. Neurosurg, 2004, 3(1): 303-310.
12. 袁峰, 杨惠林, 张志明, 等. 枢椎椎弓根及狭部的临床解剖学观察[J]. 中国临床解剖学杂志, 2006, 24(4): 368-370.
13. 吕耘冰, 徐达传. 寰枢椎内固定的应用解剖学进展[J]. 中国临床解剖学杂志, 2006, 24(5): 589-591.
14. 瞿东滨, 钟世镇, 徐达传. 枢椎椎弓根及内固定的临床应用解剖[J]. 中国临床解剖学杂志, 1999, 17(2): 153-154.
15. 沙勇, 张绍祥, 刘正津, 等. 后路经寰枢关节螺钉内固定的枢椎解剖学测量[J]. 中国临床解剖学杂志, 2002, 20(3): 172-175.
16. 尹东, 靳安民, 赵卫东, 等. 枢椎椎弓根的测量及临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2006, 24(4): 371-373.
17. Mandel IM, Kambach BJ, Petersilge CA, et al. Morphologic consideration of C2 isthmus dimensions for the placement of transarticular screws [J]. Spine, 2000, 25(12): 1542-1547.
18. Xu R, Nadaud MC, Ebraheim NA, et al. Morphology of the second cervical vertebra and the posterior projecting of the C2 pedicle axis [J]. Spine, 1995, 20(3): 259-263.
19. Brantley AG, Mayfield JK, Koenenman JB, et al. The effects of pedicle screw fit: an in vitro study [J]. Spine, 1994, 19(13): 1752-1758.
20. Hams J, Melcher RP. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation [J]. Spine, 2001, 26(22): 2467-2471.
21. 谭明生, 王惠敏, 张光铂, 等. 寰椎经后弓侧块螺钉固定通道的 CT 测量[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2003, 13(1): 28-31.
22. 马向阳, 钟世镇, 刘景发, 等. 寰枢椎椎弓根螺钉进钉点的解剖定位研究[J]. 骨与关节损伤杂志, 2003, 18(10): 683-685.
23. 马向阳, 钟世镇, 刘景发, 等. 经后路寰枢椎椎弓根螺钉固定置钉研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2004, 18(5): 392-395.
24. 校佰平, 徐荣明. 寰枢椎经椎弓根螺钉固定技术的临床应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(11): 658-661.
25. Ebraheim N, Rollins JR, Xu R, et al. Anatomic consideration of C2 pedicle screw placement [J]. Spine, 1996, 21(2): 691-695.
26. Howington JU, Krude JJ, Awasthi D. Surgical anatomy of the C2 pedicle [J]. J Neurosurg, 2001, 95(1): 88-92.
27. 李志军, 刘万林, 温树正, 等. 椎弓根螺钉入点定位及双侧入点间距的应用测量[J]. 中国临床解剖学杂志, 2001, 19(1): 308-309.
28. Henriques T, Cunningham BW, Olerud C, et al. Biomechanical comparison of five different atlantoaxial posterior fixation techniques [J]. Spine, 2000, 25(22): 2877-2883.
29. Richter M, Schmidt R, Clase L, et al. Posterior atlantoaxial fixation: biomechanical in vitro comparison of six different techniques [J]. Spine, 2002, 27(13): 1724-1732.
30. Melcher RP, Puttlitz CM, Kleinstueck FS, et al. Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques [J]. Spine, 2002, 27(23): 2435-2440.
31. 马向阳, 钟世镇, 刘景发, 等. 寰枢椎后路椎弓根螺钉固定的生物力学评价[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2003, 13(12): 735-738.
32. 郝定均, 贺宝莱, 雷伟, 等. 寰枢侧块螺钉与枢椎椎弓根螺钉徒手置入技术的研究与应用 [J]. 中国矫形外科杂志, 2006, 14(8): 579-581.
33. 吴增晖, 尹庆水, 马向阳, 等. 后路寰枢椎椎弓根钉板固定融合治疗上颈椎不稳[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(10): 591-593.
34. 李松巍, 张明, 陈斌辉. 经寰枢后弓侧块螺钉固定治疗上颈椎损伤[J]. 骨与关节损伤杂志, 2004, 19(10): 654-656.

(收稿日期: 2007-04-18)

(本文编辑 彭向峰)