

新型自导向椎弓根丝锥可行性的解剖学研究

刘永涛¹, 周晓吉², 陈加成³, 曹晓建¹

(1. 南京医科大学第一附属医院骨科, 江苏 南京 210029; 2. 中国人民解放军联勤保障部队第 904 医院骨科, 江苏无锡 214000; 3. 灌南县人民医院骨科, 江苏 连云港 222000)

【摘要】 目的: 探讨应用新型自导向椎弓根丝锥辅助椎弓根螺钉置入的准确性和安全性。方法: 根据椎弓根的解剖特点, 研制新型自导向椎弓根丝锥。选择成人脊柱标本 6 具, 其中男性 4 具, 女性 2 具, 分别采用传统丝锥(对照组)和新型自导向丝锥(实验组)对 T₁-L₅ 同节段的每一对椎弓根的左侧和右侧进行攻丝, 并置入椎弓根螺钉。使用秒表记录并比较两组的置钉时间。通过脊柱标本的 CT 扫描, 将其影像学结果按照 Heary 分级观察螺钉置入的准确性和安全性。结果: 实验组胸腰椎置钉时间分别为 (5.87±1.25) min, (5.45±1.67) min, 对照组胸腰椎置钉时间分别为 (6.12±1.69) min, (6.22±2.13) min, 两组比较差异无统计学意义 (P>0.05)。两组椎弓根螺钉的 Heary 分级显示, 实验组 Heary I 级和 Heary I + II 级分别为 86 枚 (84.31%) 和 96 枚 (94.12%), 对照组 Heary I 级和 Heary I + II 级分别为 72 枚 (71.29%) 和 84 枚 (83.17%), 两组比较差异有统计学意义 (P<0.05)。结论: 新型自导向椎弓根丝锥能够准确和 safely 地置入胸腰椎弓根螺钉, 且成本低廉、操作简便, 具有良好的临床应用价值。

【关键词】 脊柱; 椎弓根钉; 可行性研究; 解剖学

中图分类号: R608

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.09.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Anatomical study on the feasibility of a new self-guided pedicle tap LIU Yong-tao, ZHOU Xiao-ji, CHEN Jia-cheng, and CAO Xiao-jian*. *Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China

ABSTRACT Objective: To evaluate the accuracy and safety of pedicle screw placement using a new self-guided pedicle tap. **Methods:** According to the anatomical characteristics of the pedicle, a new self-guided pedicle tap was developed. Six adult spinal specimens including 4 males and 2 females were selected and tapped thread on the right and left sides of each pair of pedicles from the same segment T₁ to L₅ with traditional taps (control group) and new self-guided pedicle taps (experimental group), respectively. And the pedicle screws were placed. The screwing time was recorded and compared between two groups. CT scanning was completed to observe the accuracy and safety of the screw placement according to the Heary classification of imaging results. **Results:** The screwing time of thoracic and lumbar vertebrae in the experimental group were (5.87±1.25) min and (5.45±1.67) min, respectively. While those in the control group were (6.12±1.69) min and (6.22±2.13) min, respectively. Then there was no significant difference in screwing time of thoracic and lumbar vertebrae between two groups (P>0.05). The Heary grade of the pedicle screw showed that Heary grade I and Heary grade I + II were respectively 86 (84.31%) and 96 (94.12%) in the experimental group, 72 (71.29%) and 84 (83.17%) in control group, and the difference between two groups was statistically significant (P<0.05). **Conclusion:** The new self-guided pedicle tap can accurately and safely insert the thoracolumbar pedicle screw, with low cost, easy operation, and good clinical application value

KEYWORDS Spine; Pedicle screws; Feasibility studies; Anatomy

作为现代脊柱外科快速发展的标志, 椎弓根螺钉内固定技术已广泛应用于各种脊柱疾患, 如创伤、畸形、肿瘤和退变性疾病等。近年来许多学者开始研

究利用神经电生理监测、计算机导航和 3D 打印导板等技术以实现椎弓根螺钉的准确置入, 但因其设备昂贵、延长手术时间和需要培训专业人员等原因, 并未在国内广泛开展^[1-3]。目前国内胸腰椎椎弓根螺钉的置入多为徒手法, 凭借经验、手感置入螺钉, 易导致椎弓根螺钉置入失败及血管、神经损伤等并发症^[4]。因此, 笔者研制了一种新型自导向椎弓根丝锥(实用新型专利号: ZL201821580271.9), 以期提高椎弓根螺钉置入的准确性和安全性, 并通过解剖学试

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 81871773, 81672152); 江苏省重点研发计划(产业前瞻与共性关键技术)(编号: BE2018132)

Fund program: National Natural Science Foundation of China (No. 81871773, 81672152)

通讯作者: 曹晓建 E-mail: caoxiaojianmu@163.com

Corresponding author: CAO Xiao-jian E-mail: caoxiaojianmu@163.com

验研究其临床应用的可行性。

1 资料与方法

1.1 解剖学材料

6 具经甲醛固定且解剖结构完整的成人脊柱标本(T₁-L₅),其中男性 4 具,女性 2 具,排除创伤、先天性发育畸形、侧弯畸形等情况,由南京医科大学解剖教研室提供。取胸腰椎后正中切口,切开皮肤、皮下组织和腰背筋膜,剥离椎旁肌肉,显露椎板、关节突和横突。由同一位脊柱外科医师对 6 具脊柱标本于左右两侧椎弓根从 T₁-L₅ 依次置入椎弓根螺钉,左侧置钉时使用自导向丝锥攻丝(实验组),右侧使用传统丝锥攻丝(对照组),以便同脊柱节段左右两侧椎弓根置钉相关指标的对比。本研究中两组标本均由相同的 4 具男性和 2 具女性成人脊柱标本构成,两组标本的一般基线资料经统计学处理,差异无统计学意义,见表 1。

1.2 自导向丝锥的研制

该丝锥材质为医用不锈钢,由螺纹端、连接结构和手柄端构成(图 1a)。螺纹端头尖部采用钝球形结构设计,以减少丝锥攻破椎弓根的可能性。螺纹端尺寸为直径 5.5 mm×40 mm 和直径 4.0 mm×40 mm,可满足多数胸、腰椎置钉的需要。在螺纹端远端设置一段弹性结构(图 1b),其内部为弹性钢缆,外层由弹簧环绕,两者在不受侧方应力时,可保持直线形状,而受到侧方压力时,可向压力对侧弯曲(图 2)。

1.3 椎弓根螺钉置入方法

胸椎螺钉置入选择 Fennell 等^[5]法(横突与上关

节突外侧缘移行部尾端约 3 mm),腰椎螺钉置入选择人字嵴顶点法(即椎板峡部嵴与副突嵴交点)。(1)实验组:先于进钉点处常规开口去除骨皮质,以开路锥进行椎弓根钻孔,用球探确定钉道完整性,然后用该新型丝锥进行椎弓根的攻丝,当攻丝方向正确时,丝锥弹性结构保持轴线方向(图 2a),可直接完成椎弓根钉道的准备。当攻丝方向偏差时,椎弓根外层皮质骨会对螺纹端的产生挤压,导致弹性结构向对侧弯曲(图 2b),自行矫正方向后,可继续攻丝完成钉道。以球探确定钉道完整性后,沿预备的钉道最后拧入螺钉。(2)对照组:于进钉点开口后,先以开路锥钻孔,用球探测试钉道完整性,再以传统丝锥进行椎弓根攻丝,球探再次探查后,最终拧入螺钉(图 3)。

1.4 观察项目与方法

以秒表记录每枚螺钉的置入时间,自椎弓根进钉点去除骨皮质开口时开始计时,至螺钉完全拧入结束计时。以 CT 机(GE Light Speed 16,美国通用公司)对置入螺钉后的胸腰椎标本进行扫描。螺钉位置评价采用 Heary 等^[6]分级标准:Ⅰ级,椎弓根螺钉完全位于椎弓根及椎体内;Ⅱ级,椎弓根外侧壁穿破,但螺钉前缘位于椎体内;Ⅲ级,螺钉钉尾穿出椎体外侧壁或前壁;Ⅳ级,穿破椎弓根内侧壁或下缘;Ⅴ级,穿破椎弓根或椎体损伤脊髓神经根或大血管需翻修者。Ⅰ级为椎弓根螺钉准确置入,Ⅰ级以下为螺钉置入不良,Ⅰ级和Ⅱ级视为安全置钉。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 17.0 进行统计分析,定量资料以均

表 1 两组脊柱标本的一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data of spine specimens between two groups

组别	置钉数量(枚)	置钉节段(枚)		椎弓根最小直径($\bar{x}\pm s$, mm)		椎弓根通道长度($\bar{x}\pm s$, mm)	
		胸椎	腰椎	胸椎	腰椎	胸椎	腰椎
实验组	102	72	30	5.87±0.91	8.74±1.35	37.46±1.74	41.45±2.67
对照组	101	72	29	5.85±0.74	8.71±1.02	37.19±1.39	40.45±2.47
检验值		$\chi^2=0.0120$		$t=0.1447$	$t=0.0961$	$t=1.0287$	$t=1.4920$
P 值		0.9128		0.8852	0.9238	0.3054	0.1412

注:椎弓根最小直径为椎弓根横径和矢状径的最小值。椎弓根通道长度为椎弓根后缘皮质中点沿椎弓根轴线至椎体前缘皮质的距离

Note: Minimum pedicle diameter was the minimum of both transverse and sagittal diameters of pedicles. Length of pedicle channel was the distance from midpoint of posterior pedicle cortex to vertebral anterior cortex along the pedicle axis

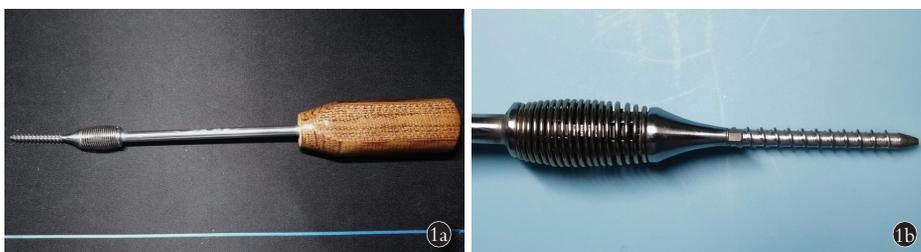


图 1 自导向椎弓根丝锥实物图 1a. 丝锥整体观 1b. 螺纹端与弹性结构局部细节

Fig.1 Product of self-guided pedicle tap 1a. Overall view 1b. Local details of threaded end and flexible structure



图 2 自导向椎弓根丝锥工作过程图 2a. 丝锥弹性结构保持轴线方向 2b. 弹性结构向对侧弯曲

Fig.2 The operating process of self-guided pedicle tap 2a. The elastic structure of the tap kept the direction of axial line 2b. Elastic structure bent to the opposite side



图 3 椎弓根螺钉置入标本

Fig.3 Pedicle screw placement in the specimen

数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验。定性资料比较采用 χ^2 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

6 具脊柱标本共置入 203 枚椎弓根螺钉,其中实验组 102 枚,对照组 101 枚螺钉,置入螺钉直径 4.0~6.5 mm,长度 35.0~45.0 mm。

2.1 两组置钉时间比较

两组在胸椎和腰椎节段的置钉时间比较差异无统计学意义(表 2),新型自导向丝锥的操作与传统丝锥相比,不会额外增加手术时间。

2.2 椎弓根螺钉置入的影像学测量

椎弓根螺钉置入后 CT 扫描结果如图 4-7 所示。两组间螺钉位置的评价根据 Heary 分级评定,统计结果见表 3,Heary I 级代表螺钉准确置入(准确性),Heary I + II 级代表安全的螺钉位置(安全性),两组比较差异有统计学意义,实验组的准确性和安

表 2 两组标本胸腰椎置钉时间比较

Tab.2 Comparison of the screwing time in specimens between two groups

组别	胸椎		腰椎	
	置钉数量 (枚)	置钉时间 ($\bar{x}\pm s$, 分钟/枚)	置钉数量 (枚)	置钉时间 ($\bar{x}\pm s$, 分钟/枚)
实验组	72	5.87±1.25	30	5.45±1.67
对照组	72	6.12±1.69	29	6.22±2.13
t 值	1.009 2		1.548 2	
P 值	0.314 6		0.127 1	

表 3 两组间椎弓根螺钉位置的比较

Tab.3 Comparison of pedicle screws placement between two groups

Heary 分级	螺钉数量[枚(%)]		χ^2 值	P 值
	实验组	对照组		
I 级	86(84.31)	72(71.29)	4.991 3	0.025 5
II 级	10(9.80)	12(11.89)	0.226 6	0.634 1
III 级	4(3.92)	9(8.91)	2.107 7	0.146 6
IV 级	2(1.96)	6(5.94)	1.202 2	0.272 9
V 级	0(0)	2(1.98)	0.515 0	0.244 7
I + II 级	96(94.12)	84(83.17)	6.056 1	0.013 9

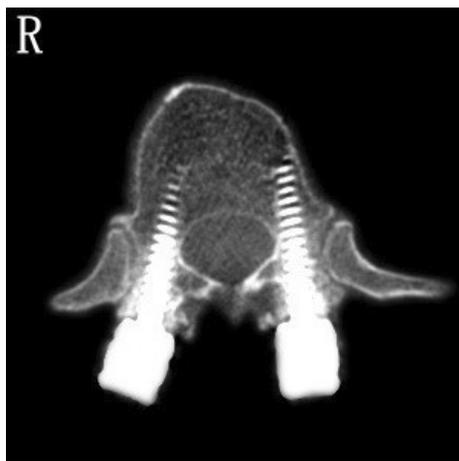


图 4 男性脊柱标本, T_{12} 节段, 两侧螺钉完全位于椎弓根及椎体内, Heary I 级

Fig.4 Male spine specimen, T_{12} segment, both screws completely placed in the vertebral pedicle and vertebral body, with Heary of grade I

全性均明显优于对照组。

3 讨论

3.1 胸腰椎椎弓根螺钉置入难点分析

在胸椎节段难点主要有:(1)椎弓根的横径明显狭小,特别在上、中胸椎节段。 T_4 - T_8 节段椎弓根平均宽度 <5 mm,这使得螺钉置入不当时极易冲破椎弓根皮质^[7]。国外学者报道在—项研究中共置入

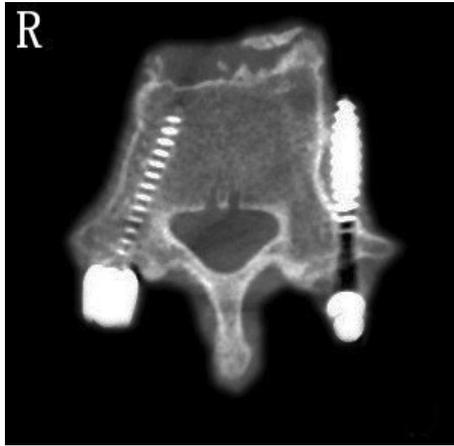


图 5 女性脊柱标本, L₃ 节段, 左侧螺钉穿破椎体外侧壁, Heary III 级
Fig.5 Female spine specimen, L₃ segment, the left screw penetrated the lateral wall of the vertebral body, with Heary of grade III

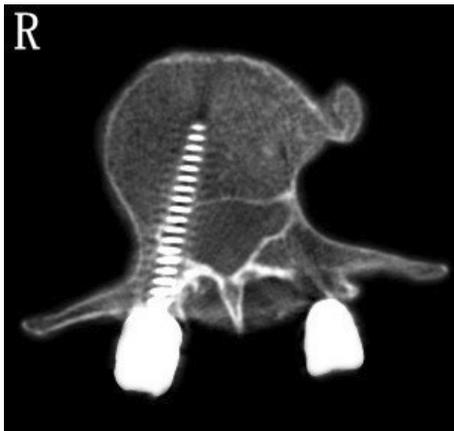


图 6 女性脊柱标本, L₁ 节段, 右侧螺钉穿破椎弓根内侧壁, Heary IV 级
Fig.6 Female spine specimen, L₁ segment, right screw penetrated the medial cortical of pedicle, with Heary of grade IV



图 7 男性脊柱标本, T₁₀ 节段, 右侧螺钉穿破椎弓根并损伤脊髓, Heary V 级
Fig.7 Male spine specimen, T₁₀ segment, the right screw penetrated pedicle and damaged spinal cord, with Heary of grade V

279 枚胸椎椎弓根螺钉, 术后采用 CT 扫描发现椎弓根内侧壁穿透率 14%, 外侧壁穿透率 68%^[8]。(2) 胸椎椎弓根皮质与硬脊膜紧紧相邻, 无明显储备间隙, 内侧破壁时, 如超出 2 mm 就有可能造成神经组织的损伤。因此椎弓根螺钉穿破皮质时, 极易损伤周围脊髓或神经根^[9]。(3) 胸椎周围毗邻许多重要组织器官, 如肺和主动脉等, 螺钉置入不良时, 亦有可能造成严重的并发症。(4) 脊柱胸段跨度较长, 不同节段的胸椎解剖学结构也有一定的差异。Kim 等^[10]指出胸椎椎弓根的理想进钉点随胸椎节段而变动, 使得置钉更加困难。

在腰椎节段, 因应力和活动度较大等原因, 腰椎的退行性疾病往往较胸椎更为常见。临床中腰椎管狭窄症、腰椎滑脱症和退行性侧弯等患者往往存在椎体的旋转、椎弓根畸形和关节突肥大增生等, 这些都给腰椎椎弓根螺钉的置入造成困难和更大的风险。因此, 椎弓根螺钉置入技术仍然是脊柱外科亟待解决的难点。

3.2 传统徒手椎弓根螺钉置入技术的缺点

徒手螺钉置入法的关键是进钉位点的识别和方向的控制。这需要术者丰富的手术经验和良好的置钉手感。置钉时, 术者用丝锥沿术前规划的方向钻入椎弓根, 通过感受钻入时的阻力调整攻丝的方向。此操作完全凭手感进行, 依赖术者的操作经验, 力量大小和方向很难掌握, 且术中体位变化或关节突、横突退变等因素均会影响进钉位点和置钉方向, 如方向有偏差时, 不锈钢材质的丝锥极易沿术者攻丝的方向穿破椎弓根, 导致钉道松动、置钉失败和脊髓、神经根的损伤, 有国外学者报道徒手胸椎椎弓根螺钉的相关并发症为 5.1%~31.0%^[11]。由此可见, 徒手置钉技术可靠性及可重复性均较差。本研究中, 对照组 Heary I 级置钉率为 71.29%, 也就是说约 29% 的螺钉出现了不同程度的椎弓根穿破, 进一步验证了采用传统丝锥徒手置钉法的缺陷。

3.3 新型丝锥的优点与不足

Cagli 等^[12]报道椎弓根内松质骨厚度约为皮质骨的 1.8 倍, 皮质骨虽然厚度不及松质骨, 但骨密度和力学强度远大于后者。新型自导向丝锥的设计充分利用了这一解剖特点。本研究中, 实验组的 Heary I 级置钉率 (84.31%) 和 Heary I + II 级置钉率 (94.12%), 均优于对照组的 71.29% 和 83.17%, 分析其主要原因如下: 实验组中新型丝锥借助了上述皮质骨和松质骨的力学差异, 通过钝球型的螺纹尖端和弹性结构的设计, 实现自导向功能。当术者攻丝方向错误时, 丝锥螺纹尖端遇到椎弓根皮质骨, 势必会产生侧向的应力, 使弹性结构弯曲, 并向骨质较疏松

的椎弓根中心转弯,继续钻孔完成钉道,纠正了徒手置钉法中术者凭借主观经验来判断矢状角和水平角的偏差,从而减少了椎弓根穿破的可能性,避免了传统丝锥攻丝时的弊端。此外,新型丝锥不改变原有的置钉方法,本研究结果显示两组间置钉时间无明显差异,说明该丝锥具有简单易学、操作简便的特点。该研究结果证明,新型自导向丝锥的使用可提高螺钉置入的准确性和安全性,且不延长置钉时间,具有临床应用的可行性。

虽然新型丝锥具有一定的自导向功能,但置钉前仍要完善影像学检查,并在置钉后验证螺钉位置。该技术不适用于椎弓根骨折或发育异常等情况。此外,本研究均在陈旧性脊柱标本上进行,与临床手术中正常椎体的骨质难免有差异,因此未来还需要新鲜冰冻尸体或临床应用的进一步研究。

综上所述,新型自导向椎弓根丝锥为胸腰椎弓根螺钉的置入提供了一种新的辅助方法,较传统丝锥具有更好的准确性和安全性,相比于成本昂贵、学习曲线较长的计算机导航、3D 打印导航模板或神经电生理监测等方法,该方法具有操作简便,成本低廉,安全可靠的特点,便于在广大基层医院推广,具有良好的临床应用前景。

参考文献

- [1] 闻志靖,高正超,卢腾,等.导航模板辅助脊柱椎弓根内固定术与传统椎弓根内固定术手术效果比较的 Meta 分析[J].中国骨伤,2018,31(11):1069-1076.
WEN ZJ,GAO ZC,LU T,et al. Comparison of the effect of navigation template assisted spinal pedicle fixation and traditional pedicle screw fixation:a Meta-analysis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma,2018,31(11):1069-1076. Chinese with abstract in English.
- [2] 李浩鹏,贺西京,陈君长,等.体感诱发电位监测在青少年脊柱矫形术中的价值[J].中国骨伤,2005,18(3):175-176.
LI HP,HE XJ,CHEN JC,et al. The utilization of SEP detection in the orthopaedics procedures for spinal colume in youngsters[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma,2005,18(3):175-176. Chinese with abstract in English.
- [3] 邢丹,马信龙,宋东辉,等.导航下脊柱椎弓根钉置入与传统置入术临床疗效的 Meta 分析[J].中国骨伤,2012,25(10):825-830.
XING D,MA XL,SONG DH,et al. Clinical efficiency of computer-assisted pedicle screw placement versus conventional method;a meta-analysis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma,2012,25(10):825-830. Chinese with abstract in English.
- [4] 邓强,张彦军,李盛华,等.徒手置入椎弓根螺钉技术临床意义[J].甘肃医药,2014,33(1):31-34.
DENG Q,ZHANG YJ,LI SH,et al. Clinical significance of pedicle screw placement with bare hands[J]. Gan Su Yi Yao,2014,33(1):31-34. Chinese.
- [5] Fennell VS,Palejwala S,Skoch J,et al. Freehand thoracic pedicle screw technique using a uniform entry point and sagittal trajectory for all levels:preliminary clinical experience[J]. J Neurosurg Spine,2014,21(5):778-784.
- [6] Heary RF,Bono CM,Black M. Thoracic pedicle screws:postoperative computerized tomography scanning assessment[J]. J Neurosurgery,2004,100(4 Suppl):325-331.
- [7] 陈家强,周立兵,余明华,等.胸腰椎椎弓根的解剖学测量及其临床意义[J].解剖学研究,2004,26(1):63-65.
CHEN JQ,ZHOU LB,YU MH,et al. Anatomical measurement of the pedicles of thoracolumbar vertebral arch and their clinical significance[J]. Jie Pou Xue Yan Jiu,2004,26(1):63-65. Chinese.
- [8] Helm PA,Teichman R,Hartmann SL,et al. Spinal navigation and imaging:history,trends,and future[J]. IEEE Trans Med Imaging,2015,34(8):1738-1746.
- [9] Karapinar L,Erel N,Ozturk H,et al. Pedicle screw placement with a free hand technique in thoracolumbar spine:is it safe[J]. J Spinal Disord Tech,2008,21(1):63-67.
- [10] Kim YJ,Lenke LG,Bridwell KH,et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine:is it safe[J]. Spine(Phila Pa 1976),2004,29(3):333-342.
- [11] Mason A,Paulsen R,Babuska JM,et al. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems[J]. J Neurosurgery Spine,2014,20(2):196-203.
- [12] Cagli S,Crawford NR,Sonntag VK,et al. Biomechanics of Grade I degenerative lumbar spondylolisthesis. Part 2:Treatment with threaded interbody cages/dowels and pedicle screws[J]. J Neurosurg,2001,94(1):51-60.
(收稿日期:2019-08-16 本文编辑:李宜)