

# 内镜颅底外科的发展

张秋航

**【摘要】** 内镜颅底外科起步于 20 世纪 90 年代,近 20 年迅速发展,范围涉及自前颅底至颅颈交界区和颈静脉孔区的各个颅底区域,包括某些颅内外沟通性病变和硬膜内病变,使颅底肿瘤全切除率和颅底重建成功率进一步提高。同时,“双人四手”操作和低温等离子刀技术的应用使内镜手术处理复杂颅底病变成可能;手术导航系统的应用也有助于安全、彻底清除颅底病变。

**【关键词】** 内窥镜; 颅底; 外科手术; 综述

## Advance on endoscopic skull base surgery

ZHANG Qiu-hang

Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery; Skull Base Surgery Center, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China (Email: 13701267977@163.com)

**【Abstract】** Endoscopic skull base surgery started from 1990s, and has undergone fast development in the past 20 years. It has involved various skull base regions from the anterior skull base to the craniovertebral junction (CVJ) and jugular foramen, including intra- and extra-cranial communicating lesions and intradural lesions, and further improved total section rate of skull base neoplasms and success rate of skull base reconstruction. At the moment, the improvement in surgical techniques, like "two-surgeon, four-hand" technique and use of radiofrequency coblation has rendered endoscopic procedures capable of managing complex pathologies. Intraoperative neuronavigation systems contribute to safe and complete removal of skull base tumors.

**【Key words】** Endoscopes; Skull base; Surgical procedures, operative; Review

**Conflicts of interest:** none declared

内镜颅底外科起步于 20 世纪 90 年代,人们从认识该项技术到掌握再到广泛应用于颅底病变的临床治疗仅短短 20 余年,但在这迅速发展的 20 余年间,内镜颅底外科技术不断带来惊喜、不断拓展思路、不断向更广泛的颅底区域延伸。近 10 年是内镜颅底外科医师克服学习曲线后逐渐走向成熟的 10 年,是内镜颅底外科技术得以普及的 10 年,也是内镜颅底外科向颅底所有区域拓展的 10 年。

### 一、内镜颅底外科已经涉及颅底所有区域

由于颅底的解剖学特征,内镜颅底手术开始应用于颅底中线病变的治疗,鞍区是最早采用经鼻内镜手术的颅底区域。1992 年,法国耳鼻咽喉头颈外科医师 Jankowski 等<sup>[1]</sup>首次采用经鼻内镜手术切除垂体瘤;其后,新加坡耳鼻咽喉头颈外科医师 Sethi

等<sup>[2]</sup>(1995 年)、美国耳鼻咽喉头颈外科医师 Carrau 和神经外科医师 Jho<sup>[3]</sup>(1996 年)、意大利神经外科医师 Cappabianca 等<sup>[4]</sup>(1998 年)、中国耳鼻咽喉头颈外科医师张秋航等<sup>[5]</sup>(1998 年)先后开展了经鼻内镜垂体瘤切除术,均是内镜颅底外科的开创性里程碑事件。至 21 世纪初,内镜颅底外科不仅用于视神经减压术和脑脊液鼻漏修补术,而且延伸至鞍内颅咽管瘤、脑膜瘤、颅内囊肿以及鞍区恶性肿瘤的切除<sup>[6-8]</sup>。目前在欧美等发达国家和地区,经鼻内镜颅底手术已经成为垂体瘤的首选治疗方法和主流手术入路。

前颅底是内镜下经鼻入路较易到达的区域,重要解剖结构较少,手术相对安全,因此,继经鼻内镜鞍区手术获得成功后,前颅底成为第二个尝试的颅底区域。2004 年, Jho 和 Ha<sup>[9]</sup>以及 Cook 等<sup>[10]</sup>采用单纯经鼻内镜手术分别切除 2 例前颅底和 3 例鞍结节脑膜瘤,术后均未发生严重并发症。2005 年, Batra 等<sup>[11]</sup>分别对内镜和传统开颅手术治疗颅底肿瘤的

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2019.03.004

作者单位:100053 北京,首都医科大学宣武医院耳鼻咽喉头颈外科 颅底外科中心,Email:13701267977@163.com

结果进行比较,与7例传统颅面联合入路手术患者相比,9例内镜下经鼻入路手术患者手术时间短、失血量少、住院时间短且并发症发生率低,虽然二者生存率和复发率无明显差异,但内镜下经鼻入路具有视野良好、无面部切口、保留局部解剖结构完整等优点,是传统颅底手术所不可比拟的。2006–2012年,张秋航研究团队将内镜下经鼻入路前颅底肿瘤切除术和颅底重建践行为内镜下经鼻入路处理前颅底病变的成熟手术入路和术式,可以治疗包括嗅神经母细胞瘤、脑膜瘤、鳞状细胞癌等所有良性和恶性前颅底肿瘤,并可同期进行前颅底重建、切除前颅底异物和处理炎症性病变<sup>[12-15]</sup>。此外,单纯内镜下经鼻入路还可以用于治疗颅内外沟通性肿瘤。

斜坡作为颅底中线区域,也是继内镜下经鼻鞍区手术获得成功涉及的另一区域。其中,脊索瘤和鼻咽癌为斜坡最常见的肿瘤。尽管大多数临床医师仍认为鼻咽癌对放射治疗敏感,但有文献报道,伴颅底骨质破坏的鼻咽癌单纯放射治疗的5年生存率为30%,而伴脑神经症状者5年生存率仅为7%<sup>[16]</sup>。笔者认为,斜坡肿瘤应以外科手术为主。然而,由于斜坡位置较深,且周围毗邻基底动脉、颈内动脉、基底静脉丛、岩上窦、岩下窦及第Ⅲ~Ⅵ对脑神经等重要解剖结构,故术中显露和切除病灶十分困难,目前该区域病变对神经外科医师仍是挑战。经传统显微外科手术入路切除斜坡肿瘤,因创伤大且术中易损伤重要神经血管,难以达到全切除。随着各种角度硬性内镜的应用和内镜颅底外科技术的进步,其视野良好、可以清晰辨认深部解剖结构、显露和处理病变范围广泛、微创、并发症少以及病死率低等优点不仅克服了上述传统手术入路的不足,且逐渐显示出内镜下经鼻入路处理复杂颅底病变的能力和优越性。1997年,张秋航等<sup>[17]</sup>发表关于斜坡的解剖学研究。2004年,Jho和Ha<sup>[18]</sup>在尸头斜坡解剖学研究的基础上,采用内镜下经鼻入路手术切除4例斜坡肿瘤;2006–2008年,张秋航研究团队又报告9例经鼻内镜斜坡脊索瘤切除术的手术经验<sup>[19-20]</sup>,通过术中内镜下清晰放大的图像、术中导航系统和术后影像学证实肿瘤全切除,笔者认为内镜下经鼻入路可以成为治疗斜坡肿瘤最佳的外科手术方法。

翼腭窝和颞下窝是继斜坡后内镜下经鼻入路手术拓展的颅底区域。经上颌窦入路和经侧方颞

下窝入路是传统到达上颌窦后的手术入路,尽管术野显露较好,但面部、上颌及听力损伤较大,并非处理该区域良性病变的理想手术入路。随着内镜颅底手术范围的不断延伸,内镜下处理翼腭窝和颞下窝病变的可能性已逐渐引起关注。2003年,Alfieri等<sup>[21]</sup>和DelGaudio<sup>[22]</sup>陆续报告了他们经鼻内镜翼腭窝解剖学研究结果。2005和2006年,张秋航等<sup>[23-24]</sup>开展内镜下经鼻入路切除翼腭窝和颞下窝肿瘤的临床研究,并先后于2010和2012年发表内镜下经鼻入路切除颞下窝颅内外沟通性肿瘤的临床研究结果<sup>[25-26]</sup>。目前该入路主要用于切除侵袭翼腭窝和颞下窝的鼻咽血管纤维瘤、神经鞘瘤、脑膜瘤、腺样囊性癌、软骨瘤和软骨肉瘤。

岩尖区的解剖学特征使经鼻内镜手术成为治疗岩尖区病变的新方法。胆脂瘤、胆固醇肉芽肿、脑膜瘤、神经鞘瘤、转移瘤和真菌感染等是常见的岩尖区病变,手术切除是主要治疗方法。但是由于岩尖区位置较深、解剖结构复杂,且处理该区域病变可能损伤颈内动脉岩骨段、海绵窦和第Ⅱ~Ⅵ对脑神经,不仅手术难度大、创伤大,而且并发症发生率高。既往尝试了不同的硬膜内入路(经眶上翼点入路、经眶颧入路等)、硬膜外入路(经迷路入路、经耳蜗入路、经乙状窦后入路、经岩骨下入路)和经鼻蝶入路<sup>[27]</sup>。2006年以前关于岩尖区病变外科手术的报道均针对岩尖区胆脂瘤和胆固醇肉芽肿,仅2001年Samii等<sup>[28]</sup>报告1例经枕下乙状窦后入路切除岩尖区脑膜瘤的个案报道;2004年,Jho和Ha<sup>[18]</sup>通过对经鼻内镜颅后窝解剖学研究,提出内镜下经鼻入路侧方不仅局限于颈内动脉,可显露至卵圆孔和圆孔,亦可到达岩尖区和颈静脉孔区。2006年,张秋航等<sup>[29]</sup>报告其研究团队内镜下经鼻入路切除岩尖区脑膜瘤、脊索瘤、神经鞘瘤、胆脂瘤、真菌感染和鳞状细胞癌的临床疗效。

颈静脉孔区是内镜颅底外科最具挑战的区域之一。颈静脉球瘤(副神经节瘤)、神经鞘瘤、脑膜瘤、转移癌(如软骨肉瘤或鳞状细胞癌)及一些恶性肿瘤是颈静脉孔区最为常见的颅底肿瘤。手术全切除是主要治疗方法,而改善原有的神经功能缺损、不增加新的神经功能障碍、减少术后并发症、不影响外观是目标。目前已开始探讨单纯经鼻内镜颅底手术或联合开放入路处理颈静脉孔区病变。尽管有文献报道可以采用内镜下经鼻入路切除开放入路残留的颈静脉球瘤<sup>[30]</sup>,但该肿瘤并非内镜下

经鼻入路的适应证。2011年,张秋航研究团队尝试采用内镜下经口入路切除舌下神经鞘瘤<sup>[31]</sup>,并于2012年首次发表内镜下经口入路切除颈静脉孔区颅内外沟通性神经鞘瘤的临床疗效<sup>[32-33]</sup>。然而,并非所有颈静脉孔区肿瘤均适用于内镜下经口入路,如颈静脉球瘤和颈静脉孔区恶性肿瘤。这是由于颈静脉球瘤血供丰富,好发于静脉壁和管腔,全切除肿瘤需结扎乙状窦和颈内静脉,而内镜下难以控制肿瘤切除后的静脉出血;颈静脉孔区恶性肿瘤常侵犯颈内动脉岩骨段和颞下窝软组织,单纯内镜下经口或经鼻入路难以达到全切除,目前已有关于内镜辅助开放入路切除颈静脉孔区肿瘤的报道<sup>[34-35]</sup>。

颅颈交界区(CVJ)常见病变为脊索瘤和颅底凹陷。自2002年Alfieri等<sup>[36]</sup>报告其颅颈交界区解剖学研究成果,2005年Kassam等<sup>[37]</sup>开展经鼻内镜手术治疗延髓压迫症以来,该手术入路逐渐被接受。内镜下经鼻入路较传统经口入路创伤小、视野开阔、显露充分;可以降低舌和呼吸道黏膜水肿、鼻音亢进、切口感染等术后并发症风险;术中无需切开软腭或硬腭、无需气管切开。但是该手术入路较传统经口入路到达颅颈交界区的距离远,并且由于术中需切除寰椎前弓和齿状突,需行颈枕后固定和骨性融合以保证颅颈交界区的稳定性。2013年,Zhang等<sup>[38]</sup>在内镜下经口入路切除颅颈交界区脊索瘤的经验基础上,率先开展单纯内镜经口入路切除齿状突以实现颅颈交界区减压,术中仅切除齿状突,保留寰椎前弓,无需进行颈枕后固定和骨性融合,手术效果良好,且未增加感染风险。

截至1965年Parkinson<sup>[39]</sup>首次描述经海绵窦外侧壁入路修补颈内动脉海绵窦漏的手术方法后,海绵窦一直被认为是外科手术的禁区。随着显微颅底外科技术的开展,1987-1999年有关海绵窦显微解剖学研究,以及经颅和经鼻蝶入路海绵窦显微外科手术的初步临床结果陆续见诸文献报道<sup>[40-49]</sup>。然而,由于显微镜的筒状视野使经鼻蝶入路的显露范围仅局限于鞍区,不可能获得对海绵窦的直观视觉效果,加之Hardy鼻窥器也限制了手术器械的活动范围,因此,经鼻蝶入路显微外科手术切除侵入海绵窦的垂体瘤仍仅局限于蝶鞍和鞍上病变。随着内镜颅底外科技术在鞍区和岩尖区病变中的应用日臻成熟,并逐渐显示出优势,内镜经鼻入路在海绵窦手术中的应用逐渐成为可能。21世纪初,与内镜颅底手术的相关研究主要包括内镜经鼻入路切

除海绵窦病变的解剖学研究和临床探索,其中绝大多数为解剖学研究<sup>[50-56]</sup>,仅少数与海绵窦内侧壁受累垂体瘤的临床研究有关。早在2001年,Alfieri和Jho<sup>[50]</sup>即已开始对经鼻内镜海绵窦解剖学进行研究;2004年,Jho和Ha<sup>[51]</sup>首次报告3例内镜下经对侧鼻中隔旁和中鼻甲入路切除海绵窦肿瘤;2009年,Doglietto等<sup>[52]</sup>对内镜下经鼻入路与传统显微外科入路到达海绵窦的手术效果进行比较,认为内镜下经鼻入路具有更好的视野和手术器械活动范围。但是长期存在的争议一直影响着经鼻入路的广泛应用,诸如内镜下的海绵窦并非如尸头解剖所见一般清晰,内镜下经鼻入路对海绵窦病变的切除范围十分局限,其能否改善患者预后,以及如何选择适应证、手术疗效与安全性、术中颈内动脉海绵窦段破裂出血风险、手术技术难度等。经过多年的临床实践,时至今日业已证实内镜下经鼻入路手术切除海绵窦病变不仅可能,且疗效优于显微颅底外科手术。2014年,Zhang等<sup>[57]</sup>采用内镜下经鼻入路切除25例海绵窦肿瘤(垂体瘤、脑膜瘤、三叉神经鞘瘤、神经内分泌瘤、软骨肉瘤等);随后Patrona等<sup>[58]</sup>于内镜下经鼻入路切除11例海绵窦恶性肿瘤,病种涉及脊索瘤、软骨肉瘤、血管周围细胞瘤、转移瘤和淋巴瘤;Dhandapani等<sup>[59]</sup>的研究显示,Knosp分级3~4级与术中所见海绵窦侵袭程度具有一致性,而海绵窦侵袭程度与肿瘤全切除率呈负相关;内镜下经鼻入路对此类肿瘤的全切除率明显高于显微外科手术(47%对21%);而且内镜下经鼻入路术中颈内动脉和脑神经损伤发生率仅为0.9%和5%。如今海绵窦脑膜瘤的治疗策略已从过去的开放入路手术转变为内镜下经鼻入路手术,以实现神经减压、病理确诊、最大范围切除肿瘤。

## 二、内镜颅底外科理念的转变

随着对经鼻内镜颅底外科经验的积累,外科医师逐渐认识到内镜颅底外科技术绝不仅仅是一种微侵袭外科技术,更重要的是其可以清晰辨认颅底深部结构,提供灵活的手术操作,从而有利于彻底清除病变,以提高手术精度和安全性。内镜颅底手术的劣势是术者单手操作,不利于术中止血和处理病变。近年来,为了克服上述缺点,富有临床经验的外科医师在处理前颅底、鞍区以及斜坡病变时采取“双人四手(two-surgeon, four-hand)”联合操作方式,而处理翼腭窝和颞下窝病变时则为“双人三手(two-surgeon, three-hand)”操作方式,这就需要术者

与助手的默契配合。术中无需支撑臂固定内镜,便于全方位、立体观察病变和重要解剖结构。

经鼻内镜颅底外科的局限性不断打破。20余年前普遍认为,经鼻内镜手术仅能用于治疗鼻窦炎和鼻息肉;时至今日,内镜下经鼻入路成为鼻腔内翻性乳头状瘤和鼻咽血管纤维瘤的首选治疗方法,并已获得共识。10余年前,斜坡被认为是外科手术的禁区;如今,经鼻内镜手术治疗该区域病变或是最佳选择。15年前,经鼻内镜颅底手术尚不能用于治疗颅内外沟通性肿瘤;然而目前其不仅可以切除某些颅内外沟通性脑膜瘤和三叉神经鞘瘤,甚至可以切除颅底各区域的硬膜内肿瘤。

内镜颅底外科不仅是简单的外科操作技术,更应重视围手术期处理,注重建立成熟的团队,有条件的医院应建立由耳鼻咽喉头颈外科和神经外科医师共同组成的外科团队。

### 三、内镜颅底外科技术的进步

内镜颅底外科的发展伴随外科经验的积累而不断改良和进步。首先,一个有经验的外科团队能够根据术前影像学特别是MRI图像大致判断出病变部位、范围、性质、是否累及颅底硬脑膜,从而评价是否适用经鼻内镜颅底手术。

内镜外科医师术中为了保持良好的视觉效果和清晰的视野,彻底清除病变,避免术区重要神经血管和邻近解剖结构损伤,常采用“双人四手”技术,并尽可能切除颅底骨质以开辟宽敞的手术通道。术者手持内镜位于一侧鼻腔(通常是右侧鼻腔)的9或12点方向,吸引器选择双侧鼻腔的6点方向或另一侧鼻腔的12点方向,其他手术器械可经双侧鼻腔操作。中鼻甲(处理岩斜区病变时需部分切除)和下鼻甲向外侧移位有助于增加操作空间。

术中切除颅底骨质可以使用高速电钻、髓核咬钳和蝶窦咬钳,切除斜坡骨质和开放斜坡旁、破裂孔和颈内动脉岩骨段,为了避免损伤颈内动脉和减少出血必须使用高速电钻。开放双侧蝶窦前壁并切除鼻中隔后部,磨除相应骨质即可清晰显露视神经、颈内动脉、鞍底和上斜坡凹陷等重要解剖结构,并经双侧鼻腔处理累及上述结构的病变。累及侧颅底的病变常需使用高速电钻切除侧颅底骨质以开放圆孔、卵圆孔、舌下神经管和颈静脉孔,从而达到全切除肿瘤的目的。

术中出血仍是困扰内镜颅底外科医师的难题之一。对于血运丰富的病变,例如鼻咽血管纤维瘤

等,术前可以通过数字减影血管造影术(DSA)选择性栓塞供血动脉;鼻腔操作前可以肾上腺素棉片充分收缩鼻腔内毛细血管5~10分钟,从而减少黏膜出血。术中如需修补额窦后壁,应先游离或阻断筛前动脉;切除巨大垂体瘤和岩斜区病变时,应阻断蝶腭动脉;颅内动脉出血经干纱条压迫止血后再以电凝止血。海绵窦间窦和海绵窦出血以明胶海绵或止血纱条压迫止血;切开硬脑膜处理颅内病变时,彻底分离包绕或粘连的颅内血管后再切除肿瘤,避免损伤血管。术中难以预料的出血,需及时清除,尽快显露视野,寻找出血点并及时压迫止血,电凝止血离不开“双人四手”或“双人三手”技术,双人的良好配合对于减少和控制内镜手术中出血至关重要。

经鼻内镜颅底手术后的颅底重建包括颅骨重建和硬脑膜重建。对于硬脑膜完整者,一般无需重建颅底骨性缺损;前颅底大范围骨质缺损伴硬脑膜缺损者,可在软组织重建的同时,于内镜下经鼻入路以钛网重建颅底骨性结构;术中出现颈内动脉裸露时,应覆盖移植物(如肌肉组织、筋膜、人工硬膜)加以保护;鞍区和斜坡区骨质缺损无需骨性结构重建,仅通过内镜下经鼻入路软组织重建即可,即对硬脑膜缺损进行可靠修补。带蒂鼻中隔黏膜瓣可以有效防止术后脑脊液鼻漏的发生。

### 四、内镜器械和设备的进步

大多数医疗机构单位和临床医师易忽视作为开展内镜颅底外科基本条件的手术室配备和手术器械。有条件的医疗机构单位应建立一体化内镜手术室,配备足够的手术人员,提供满足内镜颅底外科必需的手术系统,包括高清摄像系统、300 W 氙灯光源、高分辨力显示器、内镜系统、手术器械、动力系统。

1. 内镜系统 内镜手术通过天然通道、锁孔和狭小孔隙即可精确到达并处理目标区域病变。内镜系统包括硬性内镜、摄像和成像系统、光源,每部分性能、设备连接方式、输出接口、传输距离均可影响图像分辨力,进而影响术者观察视野的清晰度。硬性内镜的优点是采用冷光源,导光纤纤维照明,亮度和清晰度高;视角较大且变化灵活,全方位观察术腔,既可显示全景又可显示局部细节;分辨力较高,无焦距限制,可清晰观察远近结构;局部放大。HOPKINS 硬性内镜于20世纪60年代由英国物理学家 Harold Hopkins 教授发明,经过数十年的进步与

完善,不同长度、直径和角度的内镜相继问世,目前用于经鼻内镜颅底手术的是直径4 mm、长度18或30 mm的硬性内镜。对于绝大部分颅底手术,长度为18 cm的内镜即可满足需要;当脑深部结构需精细操作时,可以内镜固定支撑臂固定内镜进行双手操作,此时宜选用长度为30 cm的内镜。0°内镜是最常用于术中观察和操作的硬性内镜,其视野是“正视”下视野,可直线观察操作;30°、70°和90°内镜可观察不同视野下的颅内结构,常用于观察病变切除后的术腔角落。

2. 手术器械 既往显微颅底外科所用的显微镜,其直线向前的筒状视野易被术者手或器械遮挡,故制成“步枪”状,但此类器械阻挡内镜颅底手术的视野,亦不便在狭窄的通道中转动,故经鼻内镜颅底外科的手术器械多为“手枪”状或直杆式,长度为15~18 cm。

3. 动力系统 包括高速电钻和自动冲水系统。高速电钻具备高速、带喷水功能、操作便利等优点,手柄长度125~145 mm,转速逾80 000转/min,并配有不同规格的钻头。由于切割钻的选择受限,术中较多应用磨钻,尤其是骨质出血,高速磨钻具有较好的止血作用。目前临床常用直径为2、3.50和5~6 mm的磨钻钻头。但于内镜外的冲水鞘可以增加内镜直径,且不能满足术腔冲洗的要求,对于需持镜进行长时间操作的术者,可依靠助手以20 ml注射器向鼻腔注射生理盐水冲洗镜头和术腔。

4. 手术导航系统 外科医师主要根据患者术前的影像学资料和病变周围解剖关系制定手术方案,不甚精确,手术路径往往较宽,需术中探查病变及其周围解剖结构。自1986年Roberts等首次将无框架立体导航技术应用于临床以来,手术导航系统即广泛应用于耳鼻咽喉头颈外科、神经外科和骨科等手术中。该系统可以准确定位手术部位及其周围解剖结构,明确目标位置与手术部位的关系,制定最佳手术路径,了解手术路径上的重要解剖结构及如何避免损伤。凡存在以下情况者,均应考虑应用手术导航系统:病变与手术路径位于同一颅底区域,解剖结构较少或较复杂,或解剖标记被病变或前次手术破坏;病变或手术入路接近生命中枢;影像学可见病变,但术中难以与正常组织区分;手术入路不会明显移动。手术导航系统主要适用于骨性架构尚存的区域,无明显软组织移位和脑组织漂移,主要包括视神经管减压、经鼻入路鞍区病变切

除、岩尖区和海绵窦病变切除、斜坡区病变切除、颞下窝病变切除、颈静脉孔区耳病变切除、内耳道和脑桥小脑三角肿瘤切除、颅颈交界区病变切除等。但是由于手术导航系统可能存在定位误差、软组织漂移等影响,不能过度依赖,需依靠术者的经验加以弥补。

5. 低温等离子射频消融术系统 该系统在外科手术中已应用多年,兼具消融和凝血双重优势,其优势在于微创性良好,对消融边界的正常组织损伤极其轻微,因此成为提高颅底肿瘤切除率、改善手术疗效、降低手术风险的重要手段并广泛应用于临床。张秋航研究团队尝试将低温等离子射频消融术应用于内镜颅底手术并取得良好效果<sup>[60]</sup>。经鼻内镜颅底手术中应用该系统可以:(1)保持术野清晰和解剖标记清晰。(2)处理鼻腔和鼻黏膜时出血少,甚至无出血,如前颅底和鞍区手术。(3)切除软组织时可以有效控制出血,甚至无出血,如侧颅底和颈静脉孔区手术中处理翼内外肌、咬肌、头长肌、颈长肌,分离神经血管,切除脂肪组织等。(4)处理肌筋膜和颅颈交界区韧带,切除二次手术瘢痕,处理软骨(如鼻咽部、斜坡和咽鼓管手术)等。(5)切除质地较硬的肿瘤。通常采用脉冲消融方式,单脉冲时间控制在10秒内,尽量避免连续切割和电凝。其缺点是易损伤神经血管,术者需熟悉颅底解剖结构,术中应边分离边操作,刀头应背离血管和神经,且保持5 mm以上的安全距离。

6. 三维内镜系统 三维内镜具有改善立体视觉、加深对视野深度感知等优点,其手术疗效与普通内镜系统无明显差异<sup>[61-62]</sup>,而且可以缩短术者的学习曲线。但是部分术者佩戴三维眼镜有不平衡的感觉,镜头轻微的血污即可导致色彩平衡不佳和术野模糊。目前可弯曲的三维内镜系统开始应用于实验室中。

7. 机器人技术 机器人内镜颅底手术尚处于实验室阶段,经口机器人内镜垂体手术有望应用于临床<sup>[63-64]</sup>。Carrau等<sup>[65]</sup>联合应用经鼻内镜手术和经口机器人内镜手术切除颅底恶性肿瘤,疗效满意。

## 五、结语

内镜颅底外科经过20余年的发展,涉及范围自额窦后壁至枢椎,自中线结构至颈静脉孔,给外科医师带来更加广阔的操作领域和丰富的想象空间。然而必须清楚地认识到,随着内镜颅底外科技术的进步,其自身的微侵袭性逐渐转变为侵袭性,

主要表现为对12对脑神经、颈内动脉、下丘脑、脑干和颅内血管的侵袭,特别是处理颅底中线病变和硬膜内病变时。这就要求每一位拟从事内镜颅底外科的临床医师,须在原有显微颅底外科和内镜颅底外科技术的基础上,经扎实的解剖学培训和学习,熟悉内镜颅底解剖标记和神经血管走行,掌握颅底影像学诊断技术和处理颅底病变的外科手术技巧,参照内镜颅底手术分级循序渐进,不断丰富围手术期处理经验;同时,必须清醒地认识到内镜颅底外科存在风险大且学习时间长学习曲线,切不可掉以轻心。

内镜颅底外科正值青年期,随着新技术的不断涌现和与其他学科的融合,必定走向更加成熟的壮年。经鼻内镜颅底外科仅是内镜颅底外科的一部分,亦仅是颅底外科的一部分,需要与显微外科以及内镜其他入路、锁孔技术等协同互补,最优化处理颅底病变。颅底外科作为一个交叉学科,耳鼻咽喉头颈外科、神经外科、眼科、病理科、肿瘤放疗科、肿瘤内科等多学科的合作必将是其发展趋势。

利益冲突 无

#### 参 考 文 献

- [1] Jankowski R, Auque J, Simon C, Marchal JC, Hepner H, Wayoff M. Endoscopic pituitary tumor surgery [J]. *Laryngoscope*, 1992, 102:198-202.
- [2] Sethi DS, Stanley RE, Pillay PK. Endoscopic anatomy of the sphenoid sinus and sella turcica[J]. *J Laryngol Otol*, 1995, 109:951-955.
- [3] Carrau RL, Jho HD, Ko Y. Transnasal - transsphenoidal endoscopic surgery of the pituitary gland [J]. *Laryngoscope*, 1996, 106:914-918.
- [4] Cappabianca P, Alfieri A, de Divitiis E. Endoscopic endonasal transsphenoidal approach to the sella: towards functional endoscopic pituitary surgery (FEPS) [J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 1998, 41:66-73.
- [5] Zhang QH, Yang ZQ, Bu GX, Li SX. Endoscopic transsphenoidal approach in surgical treatment of pituitary adenomas[J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi*, 1998, 33:97-99.[张秋航, 杨占泉, 卜国铨, 李士新. 经鼻内窥镜垂体腺瘤切除术[J]. *中华耳鼻咽喉科杂志*, 1998, 33:97-99.]
- [6] Zhang QH, Ni ZL, Sun HT, Zhang JM. Endoscopic intrasellar tumor surgery[J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi*, 2002, 37:363-365.[张秋航, 倪志立, 孙河太, 张健梅. 经鼻内窥镜鞍内肿瘤切除术[J]. *中华耳鼻咽喉科杂志*, 2002, 37:363-365.]
- [7] Xu G, Li Y, Xie MQ, Wen WP, Shi JB, Chen HX, Lü JT, Zhang GH, Liu X, Xu R. Exploration of transnasal endoscopic cranial base approach[J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi*, 2002, 37:443-446.[许庚, 李源, 谢民强, 文卫平, 史剑波, 陈合新, 吕剑霆, 张革化, 刘贤, 徐睿. 经鼻内窥镜颅底进路手术的探索[J]. *中华耳鼻咽喉科杂志*, 2002, 37:443-446.]
- [8] Zhang QH, Lv H, Chen G, Guo H. Endoscopic endonasal removal of pituitary adenomas with paraclival internal carotid artery invasion [J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2010, 72:28-37.
- [9] Jho HD, Ha HG. Endoscopic endonasal skull base surgery. Part 1: the middle anterior fossa skull base [J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2004, 47:1-8.
- [10] Cook SW, Smith Z, Kelly DF. Endonasal transsphenoidal removal of tuberculum sellae meningiomas: technical note [J]. *Neurosurgery*, 2004, 55:239-246.
- [11] Batra PS, Citardi MJ, Worley S, Lee J, Lanza DC. Resection of anterior skull base tumors: comparison of combined traditional and endoscopic techniques [J]. *Am J Rhinol*, 2005, 19:521-528.
- [12] Kong F, Zhang QH, Yan B. Endoscopic endonasal resection of anterior skull base tumors [J]. *Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2006, 11:443-445.[孔锋, 张秋航, 严波. 内镜经鼻前颅底肿瘤的外科治疗 [J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2006, 11:443-445.]
- [13] Zhang QH, Yan B, Li CQ, Lü HL, Kong F. Endoscopic transnasal reconstruction of skull base defects with titanium mesh [J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*, 2007, 42:324-327.[张秋航, 严波, 李长青, 吕海丽, 孔锋. 内镜经鼻入路前颅底重建 [J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2007, 42:324-327.]
- [14] Zhang QH, Feng YJ, Kong F, Chen G, Guo HC. Clinical observation of non-ossseous reconstruction for bony defects of anterior cranial fossa [J]. *Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2010, 15:388-391.[张秋航, 冯燕军, 孔锋, 陈革, 郭宏川. 颅前窝底骨质缺损无骨性重建的临床观察 [J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2010, 15:388-391.]
- [15] Zhang Q, Wang Z, Guo H, Kong F, Chen G, Bao Y, Ling F. Resection of anterior cranial base meningiomas with intra- and extracranial involvement via a purely endoscopic endonasal approach [J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2012, 74:199-207.
- [16] Hu YH, Lu TX, Mai WY, Han F, Huang Y, Liu H, Zhang EP. Important prognostic factors in patients with skull base erosion from nasopharyngeal carcinoma after radiotherapy [J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi*, 2001, 36:463-467.[胡永红, 卢泰祥, 麦伟源, 韩非, 黄莹, 刘慧, 张恩黑. 鼻咽癌颅底骨质破坏放射治疗后预后因素分析 [J]. *中华耳鼻咽喉科杂志*, 2001, 36:463-467.]
- [17] Zhang QH, Li GY, Yang ZQ, Bu GX. Applied anatomy of lateral skull base clivus region [J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi*, 1997, 32:317.[张秋航, 李光宇, 杨占泉, 卜国铨. 颅底斜坡区外面观的应用解剖 [J]. *中华耳鼻咽喉科杂志*, 1997, 32:317.]
- [18] Jho HD, Ha HG. Endoscopic endonasal skull base surgery. Part 3: the clivus and posterior fossa [J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2004, 47:16-23.
- [19] Zhang QH, Kong F, Yan B, Ni ZL. Endoscopic endonasal surgery for clival chordoma and chordosarcoma [J]. *Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2006, 11:438-440.[张秋航, 孔锋, 严波, 倪志立. 经鼻内窥镜斜坡脊索瘤和脊索肉瘤的外科治疗 [J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2006, 11:438-440.]
- [20] Zhang Q, Kong F, Yan B, Ni Z, Liu H. Endoscopic endonasal surgery for clival chordoma and chordosarcoma [J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2008, 70:124-129.
- [21] Alfieri A, Jho HD, Schettino R, Tschabitscher M. Endoscopic endonasal approach to the pterygopalatine fossa: anatomic study [J]. *Neurosurgery*, 2003, 52:374-380.
- [22] DelGaudio JM. Endoscopic transnasal approach to the pterygopalatine fossa [J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2003, 129:441-446.
- [23] Zhang QH, Liu HS, Kong F. Endoscopic endonasal surgery for tumors of petroclival region and infratemporal fossa [J]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*, 2005, 40:488-492.[张秋

- 航, 刘海生, 孔锋. 经鼻内镜斜坡及颞下窝肿瘤的外科治疗[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2005, 40:488-492.]
- [24] Zhang QH, Yang DZ, Han J. Endoscopic endonasal surgery for tumors in the pterygopalatine fossa[J]. Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2006, 11:441-442.[张秋航, 杨大章, 韩军. 内镜经鼻翼腭窝肿瘤切除术[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2006, 11:441-442.]
- [25] Zhang QH, Guo HC, Kong F, Li MC, Chen G. Endoscopic endonasal surgery of trigeminal schwannoma extending into the infratemporal fossa[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2010, 48:1454-1458.[张秋航, 郭宏川, 孔锋, 李茗初, 陈革. 单纯内镜经鼻入路治疗颞下窝三叉神经鞘瘤[J]. 中华外科杂志, 2010, 48:1454-1458.]
- [26] Zhang QH, Kong F, Chen G, Guo HC, Li MC. Endoscopic endonasal management of trigeminal schwannomas extending into the infratemporal fossa[J]. J Clin Neurosci, 2012, 19:862-865.
- [27] Zhang QH. Endoscopic skull base surgery [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013.[张秋航. 内镜颅底外科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013.]
- [28] Samii M, Rosahl SK, Tatagiba MS. Microsurgical removal of a petrous apex meningioma after stereotactic radiation: technical case report[J]. Neurosurgery, 2001, 49:216-220.
- [29] Zhang QH, Kong F, Yan B, Lü HL. Endoscopic endonasal management of petrous apex lesions[J]. Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2006, 11:435-437.[张秋航, 孔锋, 严波, 吕海丽. 内镜经鼻岩尖病变的外科治疗[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2006, 11:435-437.]
- [30] Zimmer LA, Hirsch BE, Kassam A, Horowitz M, Snyderman CH. Resection of a recurrent paraganglioma via an endoscopic transnasal approach to the jugular fossa [J]. Otol Neurotol, 2006, 27:398-402.
- [31] Zhang Q, Lv H, Wang Z, Guo H, Li M. Endoscopic transoral approach for extracranial hypoglossal schwannoma [J]. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec, 2011, 73:282-286.
- [32] Zhang Q, Kong F, Guo H, Chen G, Liang J, Li M, Ling F. Surgical treatment of dumbbell-shaped hypoglossal schwannoma via a pure endoscopic transoral approach [J]. Acta Neurochir (Wien), 2012, 154:267-275.
- [33] Zhang QH, Guo HC, Wang ZL, Lü HL, Ji W, Kong F, Li MC, Chen G, Liang JT, Bao YH. Surgery for jugular foramen schwannomas via a pure endoscopic transoral approach [J]. Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi, 2012, 47:363-367.[张秋航, 郭宏川, 王振霖, 吕海丽, 姬巍, 孔锋, 李茗初, 陈革, 梁建涛, 鲍遇海. 内镜经口入路颈静脉孔区神经鞘瘤切除术[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2012, 47:363-367.]
- [34] Taniguchi M, Kato A, Taki T, Tsuzuki T, Hashimoto N, Fujimoto Y, Yoshimine T. Endoscope assisted removal of jugular foramen schwannoma: report of 3 cases [J]. Minim Invasive Neurosurg, 2005, 48:365-368.
- [35] Samii M, Alimohamadi M, Gerganov V. Endoscope - assisted retrosigmoid infralabyrinthine approach to jugular foramen tumors[J]. J Neurosurg, 2016, 124:1061-1067.
- [36] Alfieri A, Jho HD, Tschabitscher M. Endoscopic endonasal approach to the ventral cranio - cervical junction: anatomical study[J]. Acta Neurochir (Wien), 2002, 144:219-225.
- [37] Kassam AB, Snyderman C, Gardner P, Carrau R, Spiro R. The expanded endonasal approach: a fully endoscopic transnasal approach and resection of the odontoid process. Technical case report[J]. Neurosurgery, 2005, 57(Suppl 1):E213.
- [38] Zhang QH, Kong F, Yan B, Guo HC, Liu MC, Chen G, Ling F. Transoral endoscopic odontoidectomy to decompress the cervicomedullary junction[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38:E901-906.
- [39] Parkinson D. A surgical approach to the cavernous portion of the carotid artery: anatomical studies and case report [J]. J Neurosurg, 1965, 23:474-483.
- [40] Lesoin F, Jomin M. Direct microsurgical approach to intracavernous tumors[J]. Surg Neurol, 1987, 28:17-22.
- [41] Pernecky A, Knosp E, Matula C. Cavernous sinus surgery: approach through the lateral wall [J]. Acta Neurochir (Wien), 1988, 92(1-4):76-82.
- [42] Rhoton AL Jr, Inoue T. Microsurgical approaches to the cavernous sinus [J]. Clin Neurosurg, 1991, 37:391-439.
- [43] Sekhar LN, Sen CN, Jho HD, Janecka IP. Surgical treatment of intracavernous neoplasms: a four - year experience [J]. Neurosurgery, 1989, 24:18-30.
- [44] van Loveren HR, Keller JT, el-Kalliny M, Scodary DJ, Tew JM Jr. The Dolenc technique for cavernous sinus exploration (cadaveric prosection): technical note [J]. J Neurosurg, 1991, 74:837-844.
- [45] Sepehria A, Samii M, Tatagiba M. Management of intracavernous tumours: an 11 - year experience [J]. Acta Neurochir Suppl (Wien), 1991, 53:122-126.
- [46] el-Kalliny M, van Loveren H, Keller JT, Tew JM Jr. Tumors of the lateral wall of the cavernous sinus [J]. J Neurosurg, 1992, 77:508-514.
- [47] Kawase T, van Loveren H, Keller JT, Tew JM. Meningeal architecture of the cavernous sinus: clinical and surgical implications [J]. Neurosurgery, 1996, 39:527-534.
- [48] Dolenc VV. Transcranial epidural approach to pituitary tumors extending beyond the sella [J]. Neurosurgery, 1997, 41:542-552.
- [49] Dolenc VV. Extradural approach to intracavernous ICA aneurysms [J]. Acta Neurochir Suppl, 1999, 72:99-106.
- [50] Alfieri A, Jho HD. Endoscopic endonasal approaches to the cavernous sinus: surgical approaches [J]. Neurosurgery, 2001, 49:354-362.
- [51] Jho HD, Ha HG. Endoscopic endonasal skull base surgery. Part 2: the cavernous sinus [J]. Minim Invasive Neurosurg, 2004, 47:9-15.
- [52] Doglietto F, Lauretti L, Frank G, Pasquini E, Fernandez E, Tschabitscher M, Maira G. Microscopic and endoscopic extracranial approaches to the cavernous sinus: anatomic study [J]. Neurosurgery, 2009, 64(Suppl 2):413-422.
- [53] Divititiis E, Cappabianca P. Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery [M]. Vienna: Springer - Verlag, 2003: 159-175.
- [54] Cavallo LM, Cappabianca P, Galzio R, Iaconetta G, de Divititiis E, Tschabitscher M. Endoscopic transnasal approach to the cavernous sinus versus transcranial route: anatomic study [J]. Neurosurgery, 2005, 56:379-389.
- [55] Eloy P, Watelet JB, Donckier J, Gustin T, Gaudon IP, Collet S, Rombaux P, Gillard C, Bertrand B. Endoscopic and microscopic parasellar transsphenoidal approach to the sella turcica [J]. Rhinology, 2005, 43:271-276.
- [56] Catapano D, Sloffer CA, Frank G, Pasquini E, D'Angelo VA, Lanzino G. Comparison between the microscope and endoscope in the direct endonasal extended transsphenoidal approach: anatomical study [J]. J Neurosurg, 2006, 104:419-425.
- [57] Zhang QH, Gao HC, Kong F, Gao G, Li JT, Li MC, Bao YH, Ling F. Resection of the intracavernous sinus tumors using a purely endoscopic endonasal approach [J]. J Craniofac Surg, 2014, 25:295-302.
- [58] Patrona A, Patel KS, Bander ED, Mehta A, Tsiouris AJ, Anand VK, Schwartz TH. Endoscopic endonasal surgery for

- nonadenomatous, nonmeningeal pathology involving the cavernous sinus[J]. J Neurosurg, 2017, 126:880-888.
- [59] Dhandapani S, Singh H, Negm HM, Cohen S, Anand VK, Schwartz TH. Cavernous sinus invasion in pituitary adenomas: systematic review and pooled data Meta-analysis of radiological criteria and comparison of endoscopic and microscopic surgery [J]. World Neurosurg, 2016, 96:36-46.
- [60] Wang ZL, Zhang QH, Li MC, Yan B, Cao LJ, Lü HL, Wei W. Early experience of radiofrequency ablation-assisted resection of skull base tumor through an endoscopic endonasal approach[J]. Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi, 2015, 50: 362-368.[王振霖, 张秋航, 李茗初, 严波, 曹连杰, 吕海丽, 危维. 内镜经鼻低温等离子射频颅底肿瘤切除术的早期经验 [J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2015, 50:362-368.]
- [61] Nassimzadeh A, Muzaffar SJ, Nassimzadeh M, Beech T, Ahmed SK. Three-dimensional hand-to-gland combat: the future of endoscopic surgery [J]? J Neurol Surg Rep, 2015, 76:E200-204.
- [62] Kari E, Oyesiku NM, Dadashev V, Wise SK. Comparison of traditional 2-dimensional endoscopic pituitary surgery with new 3-dimensional endoscopic technology: intraoperative and early postoperative factors[J]. Int Forum Allergy Rhinol, 2012, 2:2-8.
- [63] Amelot A, Trunet S, Degos V, André O, Dionnet A, Cornu P, Hans S, Chauvet D. Anatomical features of skull base and oral cavity: a pilot study to determine the accessibility of the sella by transoral robotic-assisted surgery[J]. Neurosurg Rev, 2015, 38:723-730.
- [64] Chauvet D, Missistrano A, Hivelin M, Carpentier A, Cornu P, Hans S. Transoral robotic - assisted skull base surgery to approach the sella turcica: cadaveric study[J]. Neurosurg Rev, 2014, 37:609-617.
- [65] Carrau RL, Prevedello DM, de Lara D, Durmus K, Ozer E. Combined transoral robotic surgery and endoscopic endonasal approach for the resection of extensive malignancies of the skull base[J]. Head Neck, 2013, 35:E351-358.

(收稿日期:2019-03-09)

## · 小词典 ·

## 中英文对照名词词汇(一)

胞嘧啶-腺嘌呤-鸟嘌呤 cytosine-adenine-guanine(CAG)  
胞嘧啶-腺嘌呤-腺嘌呤 cytosine-adenine-adenine(CAA)  
北美症状性颈动脉内膜切除术试验  
North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial(NASCET)  
不明原因亮点 unidentified bright objects(UBOs)  
齿状核红核苍白球路易体萎缩  
dentatorubral-pallidolusian atrophy(DRPLA)  
齿状核-红核-丘脑纤维束 dentatorubrothalamic tract(DRTT)  
垂体特异转录因子1  
pituitary-specific positive transcription factor 1(PIT1)  
磁共振引导下聚焦超声  
magnetic resonance-guided focused ultrasound(MRgFUS)  
促肾上腺皮质激素 adrenocorticotrophic hormone(ACTH)  
催乳素 prolactin(PRL)  
大脑后动脉 posterior cerebral artery(PCA)  
大脑前动脉 anterior cerebral artery(ACA)  
低密度脂蛋白胆固醇  
low-density lipoprotein cholesterol(LDL-C)  
蝶窦 sphenoidal sinus(SS)  
多发性硬化 multiple sclerosis(MS)  
发作性过度运动诱发性运动障碍  
paroxysmal exercise-induced dyskinesia(PED)  
发作性运动诱发性运动障碍  
paroxysmal kinesigenic dyskinesia(PKD)  
发作性运动障碍 paroxysmal dyskinesia(PxD)  
非运动症状 non-motor symptoms(NMS)  
伽马刀丘脑毁损术 Gamma knife thalamotomy(GKT)  
甘油三酯 triglyceride(TG)

高密度脂蛋白胆固醇  
high-density lipoprotein cholesterol(HDL-C)  
高强度聚焦超声 high-intensity focused ultrasound(HIFU)  
寡克隆区带 oligoclonal bands(OB)  
肌酐 creatinine(Cr)  
基底动脉 basilar artery(BA)  
急性冠脉综合征 acute coronary syndrome(ACS)  
脊髓小脑性共济失调 spinocerebellar ataxia(SCA)  
甲胎蛋白 alpha-fetoprotein(AFP)  
简易智能状态检查量表  
Mini-Mental State Examination(MMSE)  
胶质纤维酸性蛋白 glial fibrillary acidic protein(GFAP)  
经颅多普勒超声 transcranial Doppler ultrasonography(TCD)  
颈动脉内膜切除术 carotid endarterectomy(CEA)  
颈内动脉 internal carotid artery(ICA)  
颈总动脉 common carotid artery(CCA)  
静脉注射免疫球蛋白 intravenous immunoglobulin(IVIg)  
抗癫痫药物 antiepileptic drugs(AEDs)  
抗核抗体 anti-nuclear antibody(ANA)  
扩散加权成像 diffusion-weighted imaging(DWI)  
扩散张量成像 diffusion tensor imaging(DTI)  
朗格汉斯细胞组织细胞增生症  
Langerhans' cell histiocytosis(LCH)  
犁骨 vomer(Vr)  
临床震颤评分 Clinical Rating Scale for Tremor(CRST)  
颅颈交界区 craniovertebral junction(CVJ)  
梅毒螺旋体 Treponema pallidum(TP)  
美国国立卫生研究院 National Institutes of Health(NIH)