

## · 新技术应用 ·

## 电磁导航支气管镜诊断菌阴肺结核三例并文献复习

顾晔 郝晓晖 沈芸 楼海 汪浩 肖和平 沙巍

**【摘要】 目的** 电磁导航支气管镜(ENB)技术是一种诊断肺外周结节的新技术,通过 3 例肺结核患者分析及相关文献复习,探讨 ENB 在菌阴肺结核诊断中的应用价值。**方法** 对 2014 年 7—9 月上海市肺科医院收治的 3 例疑似肺结核的菌阴患者进行 ENB 检查。并收集 Medline 上 2006 年至今、设计科学、入组患者数>10 例、数据齐全的 ENB 临床研究文献共 13 篇,结合文献进行深入研讨。**结果** 本组 3 例患者均是正规抗结核治疗疗效不佳,反复多次痰抗酸杆菌涂片和培养均为阴性,且均为两上肺尖后段病灶,常规气管镜无法抵达。3 例患者经 ENB 引导的刷检和活检均得到了病理学和细菌学确诊,并未出现气胸等不良反应。既往的研究表明,ENB 对于肺部周围病灶具有较高的诊断成功率(59.0%~98.0%)和较高的诊断正确率(59.0%~94.0%),尤其是恶性疾病的诊断正确率可达 60.0%~89.5%;但是对于结核性病变的诊断价值目前缺乏前瞻性的临床研究结果。**结论** 电磁导航支气管镜在不典型肺结核的诊断中将可能具有较好的临床应用前景。

**【关键词】** 结核,肺/诊断; 支气管镜检查

**Electromagnetic navigation bronchoscopy in the diagnosis of sputum-negative pulmonary tuberculosis: 3-case-report and literature review** GU Ye, HAO Xiao-hui, SHEN Yun, LOU Hai, WANG Hao, XIAO He-ping, SHA Wei. Department of Endoscopy, Shanghai Pulmonary Hospital, Tongji University, Shanghai 200433, China  
Corresponding author: SHA Wei, Email: shfksw@126.com

**【Abstract】 Objective** Electromagnetic navigation bronchoscopy (ENB) has been developed as a novel diagnostic tool of peripheral pulmonary nodules. To evaluate the potential value of ENB on diagnosis of sputum-negative pulmonary tuberculosis (PTB), we presented 3 PTB cases who were diagnosed by ENB and then reviewed the relative literatures. **Methods** During July to September in 2014, 3 adults suspected for PTB underwent ENB at Shanghai Pulmonary Hospital. The sputum smear and culture were repeatedly negative before ENB. And then the previous literatures were reviewed by searching Medline. From 2006 till now, 13 papers from clinical trials that were scientifically designed, containing >10 cases and completed data presented. **Results** All of 3 patients had been treated with standardized regimen for at least 4 months and had poor effects. CT showed that the lesions were located in the apicoposterior segment of the upper lobes, beyond the reach of conventional bronchoscopes. After being successfully navigated, the lesion locations were confirmed by peripheral ultrasound and specimens were sampled under X-ray assistant. The diagnosis yielded in all the cases with bacterial or pathologic technique. No procedure-related complications were observed. The results from previous research showed that the diagnose yield and accurate rate for peripheral pulmonary lesions by ENB were as high as 59.0%—98.0% and 59.0%—94.0%, respectively. For malignant lesions, the diagnostic accuracy reached 60.0%—89.5%. However, little data is available about the clinical utilization of this technique in the diagnosis of pulmonary tuberculosis. **Conclusion** The ENB may have good applications in diagnosis of atypical pulmonary tuberculosis.

**【Key words】** Tuberculosis, pulmonary/diagnosis; Bronchoscopy

组织病理学是确诊肺结核的重要手段<sup>[1]</sup>,尤其是菌阴且不典型的肺结核。活检标本可以通过气管镜活检或者 CT 引导下经皮肺穿刺获得,但当病灶位于肺野周边时,尤其是肺尖部位的孤立性病灶、微小结节或者两肺多发结节等,使用传统介入手段获取组织病理学存在一定的困难。电磁导

航支气管镜(electromagnetic navigation bronchoscopy, ENB)技术集螺旋 CT 仿真支气管镜与传统可弯曲支气管镜的优点于一身,可进行实时引导定位,准确到达常规支气管镜技术无法到达的肺外周病灶并获取标本行病理检查,在肺内结节、肺内淋巴结肿大等疾病的诊断上有着重要的意义。其活检确诊率优于通过支气管内超声等非实时引导的经支气管针吸活检术<sup>[2]</sup>。上海市肺科医院首次在亚太地区将 ENB 技术应用于临床,笔者通过对 3 例疑似肺结核的菌阴患者进行 ENB 活检,探讨 ENB 技术在肺结核诊断中的价值,并对国外相关文献进行复习。

doi: 10.3969/j.issn.1000-6621.2014.12.017

作者单位:200433 同济大学附属上海市肺科医院内窥镜室(顾晔、汪浩),结核病临床研究中心 上海市结核病(肺)重点实验室(郝晓晖、沈芸、楼海、肖和平、沙巍)

通信作者:沙巍,Email:shfksw@126.com

## 设备与方法

1. 检查设备:电磁导航系统(美国 SuperDimension 公司生产),其中包括 5 个部分:(1)带有 inReach 软件的笔记本电脑;(2)电磁定位板;(3)电磁导管;(4)操作管道;(5)电磁导航仪。

电子支气管镜系统使用 CLV-260SL 型氙灯光源(日本 Olympus 公司生产),CLV-260SL 型图像处理装置(日本 Olympus 公司生产);操作使用 BF-1T260 型可弯曲支气管镜(日本 Olympus 公司生产),进行外周超声操作使用 EU-ME1 内镜超声系统(日本 Olympus 公司生产)及腔内超声探头 UM-S30-20R(日本 Olympus 公司生产)。

2. 检查方法:(1)术前进行胸部高分辨率 CT 检查,并刻录影像资料光盘,格式符合医学数字成像和通信标准(digital imaging and communications in medicine, DICOM)。通过带有 inReach 软件的笔记本电脑对患者的支气管进行重建、注册及规划路径。(2)操作前使患者仰卧在检查床上,胸部置于电磁定位板上方的区域,在患者前胸以胸骨柄为顶点,贴上 3 个磁极,形成 1 个等腰三角形。(3)操作时先使用电子支气管镜对患者的双侧支气管进行常规检查,然后将导管插入并连接于操作管道中,将操作管道通过支气管镜钳道插入气管内,使用导管前段感应器进行注册。(4)注册完成后,将支气管镜置于病灶相关段口,操纵导管在实时导航下进入病灶部位。固定操作管道,将导管退出,使用外周超声探头再次确认是否已到达病灶部位。(5)退出超声探头,使用穿刺针、活检钳、刷检钳通过操作导管在 X 线透视监视下进行组织样本的获取。全部完成后,确认管腔内无出血,即退出操作管道及支气管镜,宣告操作结束。

3. 病理学检查及诊断认定:所有刷检及针吸穿刺后标本送检验科,做抗酸染色涂片和抗酸杆菌固体培养,以及 Bactec 960 培养及液基细胞学检查;所有活检标本通过福尔马林固定后,用石蜡包埋、HE 染色后再进行病理组织学检查。

4. 文献复习:通过检索 Medline,使用检索词:“Electromagnetic navigation bronchoscopy”和“diagnosis”,检索自 2006 年至今的文献,共入选能查到全文、设计合理、入组患者 >10 例、数据资料完整的临床研究论文共 13 篇。

## 临床资料

**例 1** 患者,男,29 岁。因咳嗽、咯痰 2 周伴少量痰血于 2014 年 7 月 15 日入院。患者在入院前 2 周无明显诱因出现咳嗽、咯痰 2 周,无明显发热、胸痛、乏力和盗汗。胸部 CT 检查显示左上肺大片不规则高密度阴影。正电子发射计算机断层摄影(PET)-CT 提示左肺尖大片高代谢阴影,肺癌不能排除。患者在 2013 年 1 月在外院诊断为肺结核,正规抗结核治疗后 3 个月病灶吸收不明显,曾于 2013 年 4 月入上海市肺科医院;胸部 CT 检查显示左上肺片状高密度阴影,右上、下肺野斑片状阴影(图 1);结核分枝杆菌感染 T 细胞酶联免疫斑点法(T-SPOT, TB)检测阳性,痰抗酸染色及痰

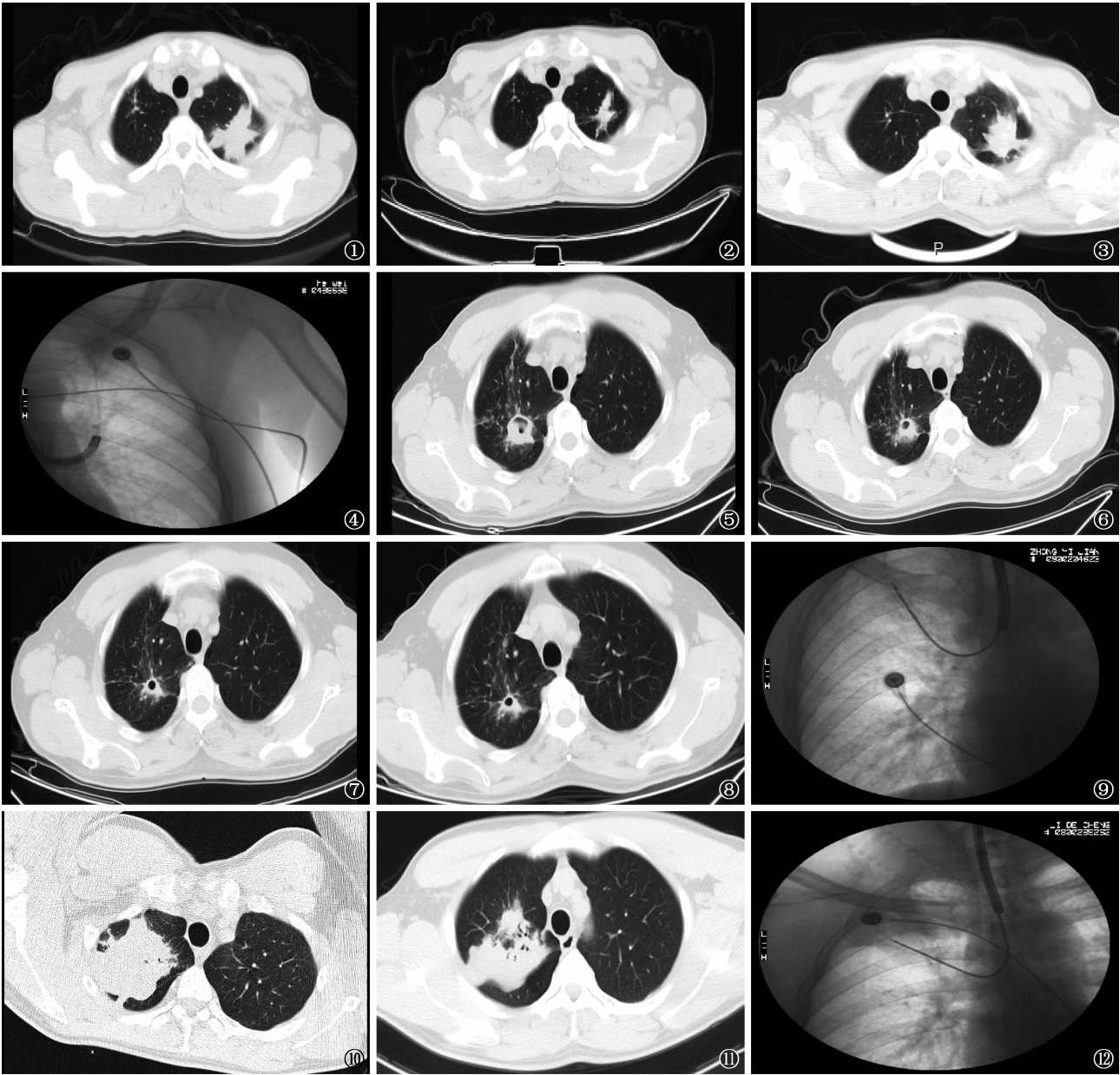
抗酸培养均阴性;气管镜检查见支气管黏膜无异常,刷检抗酸涂片阴性,灌洗液分枝杆菌培养阴性。2013 年 4 月 20 日行 CT 引导下左上肺穿刺术,穿刺所取标本抗酸涂片阴性;病理细胞学检查未见肿瘤细胞。临床诊断为:继发性肺结核(左上肺,右上、下肺)、涂阴、进展期、初治。给予 2HREZ/10HER 抗结核治疗至 2014 年 4 月,胸部 CT 检查显示病灶逐渐吸收好转(图 2),随即停药。停药 3 个月后复查胸部 CT 见病灶明显增多(图 3)而再次收治入上海市肺科医院,入院后体格检查无特殊异常。

由于病灶位于左上叶,考虑患者 1 年前曾行 CT 引导下肺穿刺但未有明确的病理诊断,故建议患者进行 ENB 活检。患者于 2014 年 7 月 18 日行全麻下 ENB 检查,支气管镜未见明显异常,使用电磁导航进入左上叶尖段 B1a 处,导向鞘引导的超声内镜(EBUS-GS)检测确认后,在 X 线监测下(图 4)进行针吸活检、活检钳活检、刷检,标本送检进行脱落细胞检查、结核分枝杆菌培养和液基细胞学检查,操作时间 100 min,导航时间 45 min。术后病理检查结果提示左肺尖病灶为坏死性肉芽肿,免疫组织化学检查提示抗酸染色阳性。

**例 2** 患者,男,40 岁。抗结核药物治疗 15 个月效果欠佳,于 2014 年 9 月 9 日收治入上海市肺科医院。患者 2013 年 6 月体检时发现右肺阴影,来我院门诊查痰抗酸染色阳性,培养显示结核分枝杆菌生长,对一线抗结核药物均敏感。胸部 CT 检查显示右上肺片状阴影伴空洞(图 5),诊断为继发性肺结核(右上肺伴空洞)、涂阳、进展期、初治,予以 3HREZ/12HRE 进行治疗,抗结核药物治疗后 8 个月病灶明显吸收好转(图 6,7),其后病灶变化不大。2014 年 9 月 2 日胸部 CT 复查,提示右肺上叶及右中叶结核灶并且仍伴有空洞(图 8);痰涂片及培养均阴性。为进一步判定肺结核是否具有活动性予以住院治疗,入院后体格检查无特殊异常。

患者于 2014 年 9 月 9 日行 ENB 检查,支气管镜未见明显异常,分泌物少,导航进入右上叶 B2a 病灶空洞内,EBUS-GS 确认后,在 X 线监测下(图 9)进行活检、刷检、灌洗,并局部注入异烟肼 0.3 g;操作时间 30 min,导航时间 7 min。术后病理检查:右上叶病变见上皮细胞及坏死物,刷检抗酸涂片阳性;最终诊断:继发性肺结核[上中 O/(一)]、涂阳、进展期、复治。

**例 3** 患者,男,38 岁。体检发现右肺阴影 4 个月余,咳嗽 1 个月。于 2014 年 9 月 6 日入院。患者于 2014 年 5 月体检发现右肺阴影,于当地医院就诊,诊断为肺结核;5 月 14 日起给予 HREZ 抗结核治疗。7 月 25 日出现咯血,曾在我院住院治疗,胸部 CT 检查显示右上肺团块状阴影(图 10);T-SPOT, TB 检测阳性;CT 定位下经皮肺穿刺活检,显示为少量炎细胞;痰和穿刺物抗酸染色阴性,培养阴性;临床诊断为右肺结核可能,维持 HREZ 诊断性抗结核治疗(其中 H 和 R 使用静脉滴注)。1 个月后胸部 CT 复查,显示病灶无明显吸收(图 11)。为进一步明确诊断,患者于 2014 年 9 月 12 日在全麻下行 ENB 检查,支气管镜见双侧黏膜光整,未见新生



**图 1** 例 1。2013 年 4 月(抗结核治疗前)胸部 CT 检查,显示左上肺大片不规则高密度阴影 **图 2** 例 1。2014 年 4 月(抗结核治疗 12 个月停药时)胸部 CT 检查,显示左上肺病灶明显吸收好转,呈纤维硬结灶 **图 3** 例 1。2014 年 7 月(停药 3 个月后)胸部 CT 检查显示病灶明显增大 **图 4** 例 1。2014 年 7 月 ENB 术中 X 线监测,见活检钳位于病灶中 **图 5** 例 2。2013 年 6 月(抗结核治疗前)胸部 CT 检查,显示右上肺结节伴空洞影 **图 6** 例 2。2013 年 12 月(抗结核治疗 6 个月)胸部 CT 检查,显示右上肺病灶有吸收好转 **图 7** 例 2。2014 年 6 月(抗结核治疗 12 个月)胸部 CT 检查,显示右上肺病灶较前略吸收 **图 8** 例 2。2014 年 9 月(抗结核治疗 15 个月)胸部 CT 检查,显示右上肺空洞仍未闭合 **图 9** 例 2。导航中 X 线影像,见活检钳位于病灶中 **图 10** 例 3。2014 年 7 月胸部 CT 检查,显示右上肺大片高密度阴影 **图 11** 例 3。2014 年 9 月胸部 CT 检查,显示右上肺病灶吸收不明显 **图 12** 例 3。导航中 X 线影像,见活检钳位于病灶中

物,未见出血,分泌物少;导航进入右侧 B2 病灶部位,EBUS-GS 确认病灶位置,在 X 线监测下(图 12)进行灌洗、活检、针吸、刷检找脱落细胞,以及结核分枝杆菌涂片、培养和液基细胞学检查。术后病理检查提示右上叶肉芽肿性病变;特殊染色结果:抗酸染色阴性;网状纤维(reticular fiber)染色阳性;过碘酸希夫染色(PAS)阴性;六氨银染色阴性。分子病理学检查结果:结核分枝杆菌基因测序:其中 *RV0577* 基因、*IS6110* 基因检测均为阳性,提示标本内含有结核分枝杆菌基因

序列。

### 相关文献复习

搜集 2006 年至今的能查阅全文、设计合理、入组患者 >10 例、患者数据完整的 13 篇 ENB 临床研究论文,其中的患者例数、病灶大小,诊断成功率和正确率,恶性疾病的诊断正确率见表 1 所示。

从表 1 可见,大多数的 ENB 临床研究为前瞻性研究,患

表 1 既往有关 ENB 技术临床应用论文中的相关数据及研究结果

| 第一作者及研究时间                          | 研究类型 | 患者例数 | 病灶直径 (mm) | 诊断成功率 (%) | 诊断正确率 (%) | 恶性疾病例数 | 恶性疾病诊断正确率 (%) |
|------------------------------------|------|------|-----------|-----------|-----------|--------|---------------|
| Gildea 等, 2006 <sup>[3]</sup>      | 前瞻性  | 56   | 22. 8     | 74. 0     | 61. 1     | 43     | 75. 9         |
| Schwarz 等, 2006 <sup>[4]</sup>     | 前瞻性  | 13   | 33. 5     | 69. 2     | 75. 0     | 12     | 75. 0         |
| Eberhardt 等, 2007 <sup>[5]</sup>   | 前瞻性  | 39   | 28        | 59. 0     | 59. 0     | 26     | 66. 7         |
| Eberhardt 等, 2007 <sup>[6]</sup>   | 前瞻性  | 89   | 24        | 67. 0     | 68. 5     | 70     | 60. 0         |
| Makris 等, 2007 <sup>[7]</sup>      | 前瞻性  | 40   | 23. 5     | 62. 5     | 64. 1     | 26     | 66. 7         |
| Bertoletti 等, 2009 <sup>[8]</sup>  | 前瞻性  | 54   | 31. 2     | 61. 1     | 80. 8     | 42     | 80. 8         |
| Lamprecht 等, 2009 <sup>[9]</sup>   | 回顾性  | 13   | 30        | 76. 9     | 76. 9     | 9      | 66. 7         |
| Seijo 等, 2010 <sup>[10]</sup>      | 前瞻性  | 51   | 25        | 66. 7     | 66. 7     | 34     | 76. 4         |
| Mahajan 等, 2011 <sup>[11]</sup>    | 回顾性  | 48   | 20        | 77. 1     | 77. 1     | 29     | 62. 1         |
| Lamprecht 等, 2012 <sup>[12]</sup>  | 前瞻性  | 112  | 27. 1     | 83. 9     | 93. 1     | 95     | 84. 8         |
| Pearlstein 等, 2012 <sup>[13]</sup> | 回顾性  | 101  | 28        | 66. 3     | 73. 3     | 67     | 85. 1         |
| Karnak 等, 2013 <sup>[14]</sup>     | 前瞻性  | 76   | 23. 1     | 91. 4     | 89. 5     | 43     | 89. 5         |
| Loo 等, 2014 <sup>[15]</sup>        | 前瞻性  | 40   | 26        | 98. 0     | 94. 0     | 15     | 80. 0         |

者中恶性疾病占多数。所有研究的诊断成功率在 59.0%~98.0%之间,并有较满意的诊断正确率,在 59.0%~94.0%之间;恶性疾病的诊断正确率在 60.0%~89.5%之间,最高者可达 89.5%。诊断的成功率和正确率逐年增高。

讨 论

一、ENB 技术的临床前应用

ENB 的研发可追溯到 20 世纪,它在导管前端设置了传感器,如放置在患者胸部的 3 个磁极和身下的电磁定位板发射信号,如同在患者肺部的 GPS 导航系统,通过将设备引导至可疑部位进行活检。1998 年美国 Solomon 等<sup>[16]</sup>通过之前的 CT 三维重建导航对 8 只猪行支气管镜下经支气管镜吸活检,结果显示:实时支气管定位技术与三维 CT 成像结合,经支气管壁针吸活检后能够成功获得可视范围外的支气管腔外病变标本。2003 年 Schwarz 等<sup>[17]</sup>进一步在 4 只猪身上进行了 ENB 的实用性、准确性和安全性评价,结果表明 ENB 有助于支气管镜到达肺外周病变并取活检,无气胸、出血等不良反应发生。

二、ENB 技术的临床应用

自 2005 年 ENB 技术在美国首次应用于临床后,对肺外周小结节的定位诊断出现了新的突破<sup>[18]</sup>,该系统的发明旨在对早期肺癌的诊断。2006 年 Gildea 等<sup>[3]</sup>的研究就表明,ENB 对肺恶性结节的诊断率达到 74.4%。在 Eberhardt 等<sup>[5]</sup>的研究表明,导航诊断率与注册时间、导航时间、病灶大小、病灶位置均无关。为了获取更多的组织标本,联合使用穿刺针、活检钳、刷检钳是有效的方法<sup>[19]</sup>。迄今为止,采用 ENB 技术的临床研究病例已近 1000 例,相对于传统气管镜,ENB 无论对于周围肺野、纵隔病灶及淋巴结病变具有较高的准确率,尤其是病变位于周围肺野而气管镜无法到达的部位<sup>[20]</sup>。从笔者对既往文献的复习结果亦可发现(表 1),目

前对 ENB 的应用多为直径在 2 cm 以上的病灶,操作成功率在 65%以上,而且随着临床医生操作经验的增加和熟练程度的提高,操作成功率亦在逐年增高。在成功取得活检标本的患者中,确诊率亦显著高于非实时定位系统<sup>[21]</sup>。

此外,ENB 的最大优势为安全。由于活检时未达到胸膜,气胸的发生率较经皮肺穿刺低;同时,也避免了 CT 引导下经皮肺穿刺时 X 线辐射对患者的影响<sup>[22]</sup>。此外,降低了患者因为诊断不明确而进行手术活检的风险,尤其对老年体弱患者可以用最小的创伤来获取病理和细菌学标本,从而明确诊断<sup>[11]</sup>。

三、ENB 技术的临床应用进展

随着介入技术的发展,ENB 与其他气管镜下的新技术相结合,可以进一步增加诊断的阳性率和准确率。Chee 等<sup>[23]</sup>对 60 例周围性病变的患者,根据支气管镜检查随机分为两组:单独应用周围性 EBUS 组(pEBUS)和二者联合应用组;结果表明,通过 pEBUS 定位成功率 75%,而联合 ENB 后定位成功率增加到 93%。pEBUS 的确诊率为 43%,联合 ENB 后确诊率增加至 50%。此外,新开展的现场病理诊断(rapid on-site cytopathologic evaluation, ROSE)的使用能明显提升诊断阳性率和准确率<sup>[12,14]</sup>。

四、ENB 技术在结核病诊断中的应用前景

因缺乏诊断“金标准”,菌阴肺结核是结核病诊治中的难点,一般依赖于患者的影像学、结核抗体、PPD 等指标<sup>[24]</sup>,亦可进行侵入性检查如支气管镜、经皮肺穿刺技术等增加结核分枝杆菌的检出阳性率<sup>[25-27]</sup>,近年来  $\gamma$ -干扰素释放试验和快速分子检测方法的临床应用也给肺结核的诊断带来了飞跃。诊断性抗结核治疗在菌阴结核病诊治过程中具有重要的地位而被广泛采用。但如果上述手段均无法取得令人满意的诊断效果,尤其是诊断性抗结核疗效不佳时,迫切需要组织病理学技术协助确诊。

目前,国外对 ENB 的临床研究侧重于恶性疾病,也已证实诊断恶性结节的过程中 ENB 有着较明显的优势,对于良性疾病其应用价值需要进一步观察。本组 3 例患者均是经正规抗结核治疗疗效不佳,反复多次痰抗酸杆菌涂片和培养均为阴性。例 1 和例 3 曾进行过 CT 引导下经皮肺穿刺检查未能确诊;在 ENB 术前,根据其胸部影像学表现和肺穿刺的结果,恶性疾病的可能性较小,但是需进一步确定慢性感染的病因;例 2 患者行 ENB 的目的是为了明确其结核病的活动性,是否存在继发耐药而导致空洞不闭合。3 例患者均为两上肺尖后段病灶,常规气管镜无法抵达,再次行经皮肺穿刺获得组织学的风险或难度较大,且阳性率低。经 ENB 引导的刷检和活检均得到了病理学和细菌学的确诊,均得到了成功与正确的诊断,且未出现气胸等不良反应,说明该技术在难治性结核病或者不典型结核病的诊断中可能具有较好的应用前景。

ENB 的实用性现在已得到证实,但其高昂的仪器及耗材价格使其应用受到限制。操作过程中患者的咳嗽反射、呼吸幅度会影响导航术的时间及成功率。对于如何更高效地诊断良性疾病,如感染性疾病的诊断或许是将来的研究方向。ENB 在国内的开展使得原本一些疑难的良性疾病诊断可以避免使用胸腔镜等创伤较大、价格更昂贵的外科方法进行活检。其在结核病诊治中的价值需进一步研究证实。

## 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国卫生部疾病预防控制局,中华人民共和国卫生部医政司,中国疾病预防控制中心. 中国结核病防治规划实施工作指南(2008 年版). 北京:中国协和医科大学出版社,2009.
- [2] Gould MK, Fletcher J, Iannettoni MD, et al. Evaluation of patients with pulmonary nodules: when is it lung cancer?: ACCP evidence-based clinical practice guidelines (2nd edition). *Chest*, 2007, 132(3 Suppl): S108-130.
- [3] Gildea TR, Mazzone PJ, Karnak D, et al. Electromagnetic navigation diagnostic bronchoscopy: a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med*, 2006, 174(9): 982-989.
- [4] Schwarz Y, Greif J, Becker HD, et al. Real-time electromagnetic navigation bronchoscopy to peripheral lung lesions using overlaid CT images: the first human study. *Chest*, 2006, 129(4): 988-994.
- [5] Eberhardt R, Anantham D, Herth F, et al. Electromagnetic navigation diagnostic bronchoscopy in peripheral lung lesions. *Chest*, 2007, 131(6): 1800-1805.
- [6] Eberhardt R, Anantham D, Ernst A, et al. Multimodality bronchoscopic diagnosis of peripheral lung lesions: a randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med*, 2007, 176(1): 36-41.
- [7] Makris D, Scherpereel A, Leroy S, et al. Electromagnetic navigation diagnostic bronchoscopy for small peripheral lung lesions. *Eur Respir J*, 2007, 29(6): 1187-1192.
- [8] Bertoletti L, Robert A, Cottier M, et al. Accuracy and feasibility of electromagnetic navigated bronchoscopy under nitrous oxide sedation for pulmonary peripheral opacities: an outpatient study. *Respiration*, 2009, 78(3): 293-300.
- [9] Lamprecht B, Porsch P, Pirich C, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy in combination with PET-CT and rapid on-site cytopathologic examination for diagnosis of peripheral lung lesions. *Lung*, 2009, 187(1): 55-59.
- [10] Seijo LM, de Torres JP, Lozano MD, et al. Diagnostic yield of electromagnetic navigation bronchoscopy is highly dependent on the presence of a Bronchus sign on CT imaging: results from a prospective study. *Chest*, 2010, 138(6): 1316-1321.
- [11] Mahajan AK, Patel S, Hogarth DK, et al. Electromagnetic navigational bronchoscopy: an effective and safe approach to diagnose peripheral lung lesions unreachable by conventional bronchoscopy in high-risk patients. *J Bronchology Interv Pulmonol*, 2011, 18(2): 133-137.
- [12] Lamprecht B, Porsch P, Wegleitner B, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy (ENB): Increasing diagnostic yield. *Respir Med*, 2012, 106(5): 710-715.
- [13] Pearlstein DP, Quinn CC, Burtis CC, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy performed by thoracic surgeons: one center's early success. *Ann Thorac Surg*, 2012, 93(3): 944-949.
- [14] Karnak D, Ciledag A, Ceyhan K, et al. Rapid on-site evaluation and low registration error enhance the success of electromagnetic navigation bronchoscopy. *Ann Thorac Med*, 2013, 8(1): 28-32.
- [15] Loo FL, Halligan AM, Port JL, et al. The emerging technique of electromagnetic navigation bronchoscopy-guided fine-needle aspiration of peripheral lung lesions: promising results in 50 lesions. *Cancer Cytopathol*, 2014, 122(3): 191-199.
- [16] Solomon SB, White P Jr, Acker DE, et al. Real-time bronchoscope tip localization enables three-dimensional CT image guidance for transbronchial needle aspiration in swine. *Chest*, 1998, 114(5): 1405-1410.
- [17] Schwarz Y, Mehta AC, Ernst A, et al. Electromagnetic navigation during flexible bronchoscopy. *Respiration*, 2003, 70(5): 516-522.
- [18] 陈愉, 李时悦. 电磁导航支气管镜临床应用新进展. *中华结核和呼吸杂志*, 2013, 36(1): 6-8.
- [19] Eberhardt R, Morgan RK, Ernst A, et al. Comparison of suction catheter versus forceps biopsy for sampling of solitary pulmonary nodules guided by electromagnetic navigational bronchoscopy. *Respiration*, 2010, 79(1): 54-60.
- [20] Port J, Harrison S. Electromagnetic navigational bronchoscopy. *Semin Intervent Radiol*, 2013, 30(2): 128-132.
- [21] Leong S, Ju H, Marshall H, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy: A descriptive analysis. *J Thorac Dis*, 2012, 4(2): 173-185.
- [22] 徐志强, 王茂筠, 梁宗安. 电磁导航支气管镜临床应用及展望. *重庆医学*, 2013, 42(12): 1421-1423.
- [23] Chee A, Stather DR, Maceachern P, et al. Diagnostic utility of peripheral endobronchial ultrasound with electromagnetic navigation bronchoscopy in peripheral lung nodules. *Respirology*, 2013, 18(5): 784-789.
- [24] 中华医学会结核病分会. 肺结核诊断和治疗指南. *中华结核和呼吸杂志*, 2001, 24(2): 70-74.
- [25] Soto A, Acurio V, Solari L, et al. Incremental yield of bronchial washing for diagnosing smear-negative pulmonary tuberculosis. *Rev Saude Publica*, 2013, 47(4): 813-816.
- [26] Yoo H, Song JU, Koh WJ, et al. Additional role of second washing specimen obtained during single bronchoscopy session in diagnosis of pulmonary tuberculosis. *BMC Infect Dis*, 2013, 13: 404.
- [27] 孟家晓, 王建华, 李品林, 等. 经皮肺穿刺活检+组织培养在菌阴肺结核诊断中的价值. *当代医学*, 2011, 17(14): 60-62.

(收稿日期: 2014-10-18)

(本文编辑: 薛爱华)