

超声导航技术辅助经皮穿刺胆管置管引流术治疗

黄毅斌¹, 端学军¹, 胡萍香¹, 吴剑², 朱玉峰¹

1. 深圳市中医院超声科, 广东 深圳 518033; 2. 清华大学深圳国际研究生院生物医学工程研究所, 广东 深圳 518055

【摘要】目的:探讨超声导航技术辅助经皮穿刺胆管置管引流术治疗的临床效果。**方法:**选择收治的60例恶性梗阻性黄疸患者, 划分为30例/组, 两组均行经皮穿刺胆管置管引流术, 对照组采取X线辅助, 观察组采取超声导航技术辅助, 比较两组的穿刺成功率、穿刺时间、穿刺次数、生命体征指标、疼痛评分、舒适度评分、并发症发生率、胆汁引流量、肝功能指标。**结果:**(1)统计首次穿刺和首次二次穿刺的成功率, 观察组均较对照组高($P<0.05$);(2)统计单次穿刺和总穿刺时间, 观察组均较对照组短($P<0.05$), 其穿刺次数, 观察组也较对照组少($P<0.05$);(3)对照组穿刺前与穿刺后的心率、血压等生命体征指标均发生明显改变($P<0.05$), 而观察组穿刺前与穿刺后的生命体征指标均未发生明显改变($P>0.05$);(4)穿刺时及穿刺后, 观察组的疼痛评分均较对照组更低($P<0.05$), 其舒适度评分均较对照组更高($P<0.05$);(5)并发症总发生率分别为0% (观察组)、13.33% (对照组), 观察组较对照组更低($P<0.05$);(6)术后第1天、第2天、第3天, 观察组与对照组的胆汁引流量比较, 差异无统计学意义($P>0.05$);(7)组内AST、ALT、TBIL等肝功能指标比较, 两组手术后均较术前降低($P<0.05$)。**结论:**利用超声导航技术, 完成经皮穿刺胆管置管引流术的实施, 实现对恶性梗阻性黄疸患者的胆汁予以充分引流, 改善肝功能, 还可提高穿刺成功率, 减少穿刺耗时和次数, 减轻穿刺疼痛感, 减少并发症的发生。

【关键词】恶性梗阻性黄疸; 经皮穿刺胆管置管引流术; 超声; 胆汁引流量; 肝功能

【中图分类号】R657.4; R319

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)01-0054-05

Therapeutic effect of percutaneous transhepatic biliary drainage combined with ultrasound-based navigation technique

HUANG Yibin¹, DUAN Xuejun¹, HU Pingxiang¹, WU Jian², ZHU Yufeng¹

1. Department of Ultrasound, Shenzhen Chinese Traditional Medical Hospital, Shenzhen 518033, China; 2. Institute of Biomedical Engineering, Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China

Abstract: Objective To study the therapeutic effect of percutaneous transhepatic biliary drainage assisted by ultrasound-based navigation technique. **Methods** Sixty patients with malignant obstructive jaundice were divided into two groups, with 30 patients in each group. The patients in both groups were treated with percutaneous transhepatic biliary drainage. The treatment in control group was guided by X-ray, and that in observation group were assisted by ultrasound-based navigation technique. The success rate of puncture, puncture time, puncture times, vital signs, pain score, comfort score, incidence of complications, volume of biliary drainage and liver function indexes were compared between two groups. **Results** (1) The success rates of the first-puncture and the first second-puncture in observation group were higher than those in control group ($P<0.05$). (2) Compared with those in control group, the time required for single puncture and the total puncture in observation group were shorter ($P<0.05$), and the puncture times in observation group had lessened ($P<0.05$). (3) The vital signs such as heart rate and blood pressure in control group were significantly changed before and after puncture ($P<0.05$), but there was no significant change in the vital signs in observation group before and after puncture ($P>0.05$). (4) Compared with control group, observation group had lower pain score ($P<0.05$) and higher comfort score ($P<0.05$). (5) The overall incidence of complications in observation group was lower than that in control group (0% vs 13.33%, $P<0.05$). (6) No significant difference was found in the volume of biliary drainage between observation group and control group on the 1st, 2nd and 3rd day after operation ($P>0.05$). (7) The liver function indexes such as AST, ALT, TBIL in the two groups were decreased after operation ($P<0.05$). **Conclusion** Percutaneous transhepatic biliary drainage combined with ultrasound-based navigation technique can not only fully drain bile in patients with malignant obstructive jaundice, but also improve liver

【收稿日期】2019-07-11

【基金项目】国家自然科学基金(81427803); 广东省科技计划项目(2017B020210003); 深圳市基础研究项目(JCY20140408153331811); 深圳市基础研究(学科布局)资助项目(JCYJ20160428182053361)

【作者简介】黄毅斌, 副主任医师, 研究方向: 介入超声, E-mail: huangyb2004@126.com

functions, increase the success rate of puncture, reduce puncture time and puncture times, relieve puncture pain, and reduce the incidence of complications.

Keywords: malignant obstructive jaundice; percutaneous transhepatic biliary drainage; ultrasound; volume of biliary drainage; liver function

前言

恶性梗阻性黄疸主要是指由胰头癌、肝门转移癌、胆管癌等恶性肿瘤引发的胆道狭窄病变^[1],临床多采取经皮穿刺胆管置管引流术治疗该疾病,该治疗手段属于介入治疗手段,可在一定程度上缓解黄疸症状^[2-3]。而近年来,超声导航技术被逐渐应用于经皮穿刺胆管置管引流术中,本研究为探讨超声导航技术辅助经皮穿刺胆管置管引流术治疗的临床效果,针对 60 例恶性梗阻性黄疸患者开展研究。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择深圳市中医院 2016 年 1 月~2018 年 12 月期间收治的 60 例恶性梗阻性黄疸患者开展前瞻性研究,分组方法为随机数字表法,随机划分为 30 例/组,对照组的年龄为 21~82 岁,平均(51.67±17.35)岁,其中男 21 例,女 9 例;观察组的年龄为 20~83 岁,平均(51.95±17.58)岁,其中男 22 例,女 8 例。两组患者的一般资料对比无统计学差异($P>0.05$)。本研究经医学伦理学委员会审批,患者均符合纳入与排除标准,纳入标准为:(1)通过临床综合诊断为恶性梗阻性黄疸患者;(2)具备实施经皮穿刺胆管置管引流术指征;(3)研究知情同意。排除标准:(1)存在意识障碍、精神障碍、认知障碍而无法配合研究;(2)合并严重感染;(3)同时参与其他临床医学试验。

1.2 方法

两组均行经皮穿刺胆管置管引流术,均由同一组医师负责操作。(1)对照组采取 X 线辅助,对患者胸腹部进行 X 线摄影,根据胸腹部 X 片,明确穿刺点和穿刺针进针方向,采用穿刺针进行肝内胆管穿刺,先置入导丝,再将引流管通过导丝置入胆管内,固定好引流管,缓慢抽吸胆汁。(2)观察组的治疗方法采用超声导航技术辅助,超声设备采用 Philips EPIQ5 配备 C5-1 凸阵探头。采用凸阵探头对患者胸腹部进行扫查,采集超声图像,传送至图像采集卡(DVI2 USB3.0, Epiphan),再利用光学跟踪系统的定位跟踪器采集超声探头与穿刺针的位置信息,采用 PLUS 软件封装超声数据和位置信息,利用 OpenIGTLinkIF 软件将数据发送到导航控制中心 3D Slicer 数据平台,

对穿刺点进行确定,采用利多卡因对穿刺点进行局部麻醉,在超声导航技术引导下将穿刺针刺入肝内胆管,对穿刺针进针方向予以实时校准,抵达目标部位后,置入导丝,退出穿刺针,沿导丝置入引流管,拔出导丝,固定好引流管,缓慢抽吸胆汁。

1.3 观察指标

通过以下 9 组指标进行评价:(1)穿刺的成功率,包含首次穿刺成功率和首二次穿刺成功率;(2)穿刺的时间,分别为单次穿刺时间、总穿刺时间;(3)穿刺次数;(4)生命体征指标,包括心率、平均动脉压;(5)疼痛评分,评估工具为数字疼痛评分法(NRS),总分 0~10 分,得分随着疼痛感的加重而增高^[4],于穿刺时、穿刺后 10 min 评估;(6)舒适度评分,评估工具为一般舒适度状况量表(GCQ),总分 28~112 分,得分随着舒适度的增高而增高^[5],于穿刺时、穿刺后 10 min 评估;(7)并发症发生率;(8)胆汁引流量,分别于术后第 1 天、第 2 天、第 3 天测量;(9)肝功能指标,包括谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、总胆红素(TBIL)。

1.4 统计学方法

应用 SPSS 19.0 统计软件对实验数据进行分析,计量资料用均数±标准差表示,进行 χ^2 、 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 穿刺成功率比较

首次穿刺成功率和首二次穿刺成功率,观察组均较对照组高($P<0.05$),如表 1 所示。

表 1 穿刺成功率比较[例(%)]
Tab.1 Comparison of successful rate of puncture [cases(%)]

组别	首次穿刺成功率	首二次穿刺成功率
对照组($n=30$)	18(60.00)	26(86.67)
观察组($n=30$)	25(83.33)*	30(100.00)*

*表示组间比较, $P<0.05$

2.2 穿刺时间及次数比较

单次穿刺时间和总穿刺时间,观察组均较对照组少($P<0.05$),其穿刺次数较对照组减少($P<0.05$),如表 2 所示。

表 2 穿刺时间及次数比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of puncture time and puncture times
(Mean±SD)

组别	单次穿刺时间/s	总穿刺时间/s	穿刺次数/次
对照组(<i>n</i> =30)	72.41±12.97	156.75±41.89	2.06±0.82
观察组(<i>n</i> =30)	59.85±8.31*	107.14±35.37*	1.17±0.54*

*表示组间比较, $P<0.05$

2.3 生命体征指标比较

比较穿刺前、后的心率、血压等生命体征指标,对照组中均发生明显改变($P<0.05$),而观察组均未发生明显改变($P>0.05$),如表 3 所示。

表 3 生命体征指标比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.3 Comparison of vital signs (Mean±SD)

组别	时间	心率/次·min ⁻¹	动脉压/mmHg
对照组(<i>n</i> =30)	穿刺前	73.24±2.58	96.42±6.83
	穿刺后	76.98±3.72 [#]	103.57±7.91 [#]
观察组(<i>n</i> =30)	穿刺前	73.17±2.25	96.11±6.54
	穿刺后	73.79±2.46*	96.75±6.76*

#表示组内比较,*表示组间比较, $P<0.05$

2.4 疼痛及舒适度评分比较

穿刺时及穿刺后,观察组的疼痛评分均较对照组更低($P<0.05$),其舒适度评分均较对照组更高($P<0.05$),如表 4 所示。

表 4 疼痛及舒适度评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

Tab.4 Comparison of pain scores and comfort scores (scores,
Mean±SD)

组别	疼痛评分		舒适度评分	
	穿刺时	穿刺后	穿刺时	穿刺后
对照组 (<i>n</i> =30)	2.46±0.95	2.19±0.84	80.46±7.82	84.58±8.93
观察组 (<i>n</i> =30)	1.53±0.71*	1.28±0.60*	91.25±9.64*	97.31±11.37*

*表示组间比较, $P<0.05$

2.5 并发症发生率比较

观察组和对照组的并发症总发生率分别为 0%和 13.33%,观察组较对照组更低($P<0.05$),如表 5 所示。

2.6 术后胆汁引流量比较

术后第 1 天、第 2 天、第 3 天,观察组与对照组的胆汁引流量比较,差异无统计学意义($P>0.05$),如表 6 所示。

表 5 并发症发生率比较[例(%)]

Tab.5 Comparison of the incidence of complications [cases(%)]

组别	胆道感染	胆道出血	总发生率
对照组(<i>n</i> =30)	2(6.67)	2(6.67)	4(13.33)
观察组(<i>n</i> =30)	0(0)	0(0)	0(0)*

*表示组间比较, $P<0.05$

表 6 术后胆汁引流量比较(mL, $\bar{x} \pm s$)

Tab.6 Comparison of volume of postoperative biliary drainage
(mL, Mean±SD)

组别	胆汁引流量		
	术后第 1 天	术后第 2 天	术后第 3 天
对照组(<i>n</i> =30)	315.43±41.87	283.94±30.64	250.37±28.53
观察组(<i>n</i> =30)	316.32±39.21	284.71±31.25	251.24±27.09

2.7 肝功能指标比较

组内 AST、ALT、TBIL 等肝功能指标比较,两组手术后均较手术前降低($P<0.05$);组间各项肝功能指标比较,手术前、手术后组间均无统计学差异($P>0.05$),如表 7 所示。

表 7 肝功能指标比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.7 Comparison of liver function indexes (Mean±SD)

组别	时间	ALT/U·L ⁻¹	AST/U·L ⁻¹	TBIL/μmol·L ⁻¹
对照组 (<i>n</i> =30)	手术前	69.35±25.42	66.23±23.24	25.93±6.38
	手术后	40.45±18.31 [#]	39.92±15.67 [#]	17.54±4.87 [#]
观察组 (<i>n</i> =30)	手术前	69.02±26.59	65.89±23.07	25.54±6.42
	手术后	39.64±18.27 [#]	38.41±15.86 [#]	17.08±4.96 [#]

#表示组内比较, $P<0.05$

3 讨论

恶性梗阻性黄疸是一种由恶性肿瘤(如胆管癌、胰头癌等)引发的胆道梗阻性病变,表现为胆汁淤积、皮肤黄染,呈进行性加重状态,易累及患者心血管系统、神经系统、泌尿系统,引起多个器官及系统功能障碍^[6-8],因此临床上需要对恶性梗阻性黄疸患者实施积极治疗。

由于临床上大部分恶性肿瘤所致的梗阻性黄疸患者发现时往往肿瘤体积较大或已转移,再加上严重的肝功能损害,往往失去外科手术时机。针对这类患者临床上主张实施介入治疗。经皮穿刺胆管置管引流术是一种对恶性梗阻性黄疸姑息性治疗的重

要有效方法,主要是指经皮经肝穿刺胆管,后置入导丝,再将引流管通过导丝置入胆管内,缓慢抽吸胆道内淤积的胆汁,以实现解除胆道内胆汁淤积状态的效果^[9-11]。以往,临床实施经皮穿刺胆管置管引流术主要有X线、CT和超声引导,X线、CT对医师和患者均存在辐射,术中实时性差,且X线仅能提供平面图像,而且受到患者胸腹壁脂肪层的影响,穿刺针头位置不容易确定,导致穿刺准确性不高,存在血管受损风险。超声仅靠单一二维切面引导完成精准穿刺在技术层面上也较为困难,有较高的操作者依赖性^[12]。近年来,超声导航技术被逐渐应用于经皮穿刺胆管置管引流术中,超声导航主要是通过超声凸阵探头扫描胸腹部,以获取清晰超声图像,相比于X片,超声导航技术将超声图像、穿刺针针尖统一到同一坐标系中,明确探头定位坐标系与超声图像坐标系之间的转换关系,提高穿刺定位的精确度,且超声导航技术具有实时性,可实时显示穿刺针并及时根据需要进行调整穿刺方位、角度,避免穿刺针损伤血管,提高穿刺准确率,将引流管妥善置入肝内胆管,确保患者胆管引流顺利^[13-15]。

本研究结果显示:(1)相比对照组,观察组的首次穿刺成功率、首二次穿刺成功率均更高,观察组的单次穿刺时间、总穿刺时间均较对照组缩短,其穿刺次数较对照组减少,说明超声导航技术能够发挥精准的定位功能,减少穿刺次数,提高恶性梗阻性黄疸患者经皮穿刺置管的效率和成功率;(2)观察组穿刺前与穿刺后的生命体征指标均未发生明显改变,其疼痛评分、并发症发生率均较对照组更低,其舒适度评分较对照组更高,说明超声导航技术可减轻经皮穿刺胆管置管引流术给患者带来的疼痛感,提高其舒适度,减少并发症发生,这主要是因为超声引导下可实时、清晰地显示穿刺针,进而及时调整进针方向和深度,避免损伤血管及神经,从而减轻患者因经皮穿刺而出现的疼痛反应以及减轻穿刺对患者机体造成的影响,降低其并发症风险;(3)两组术后第1天、第2天、第3天的胆汁引流量比较无统计学差异,且其肝功能指标均较治疗前改善,说明超声导航技术辅助经皮穿刺胆管置管引流术的胆汁引流效果良好,可改善肝功能。

综上所述,恶性梗阻性黄疸患者采用超声导航技术进行经皮穿刺胆管置管引流术治疗,可以提高穿刺成功率,减少穿刺耗时和次数,减轻穿刺疼痛感,减少并发症发生。特别是随着计算机、传感技术快速发展,在对呼吸和运动补偿功能进一步完善后,超声导航技术将在临床中有非常广阔的应用前景^[16-20]。

【参考文献】

- [1] 汤波,张志峰,杨芳,等. 超声引导下PTCD在恶性梗阻性黄疸治疗中的临床价值分析[J]. 医学影像学杂志, 2015, 25(11): 2056-2058. TANG B, ZHANG Z F, YANG F, et al. Analysis of clinical value of ultrasound-guided PTCD in the treatment of malignant obstructive jaundice[J]. Journal of Medical Imaging, 2015, 25(11): 2056-2058.
- [2] 游淑红,洪涛,陶荣,等. 彩色多普勒超声引导下经皮经肝胆管穿刺置管引流术40例分析体会[J]. 东南国防医药, 2015, 17(6): 619-621. YOU S H, HONG T, TAO R, et al. Analysis of 40 cases of percutaneous transhepatic cholangial drainage guided by color Doppler ultrasound[J]. Military Medical Journal of Southeast China, 2015, 17(6): 619-621.
- [3] 王运昌,张周龙,梅文娟,等. 超声引导下经皮经肝胆囊穿刺置管引流治疗老年急性胆囊炎的价值[J]. 中国超声医学杂志, 2017, 33(10): 907-909. WANG Y C, ZHANG Z L, MEI W J, et al. The value of ultrasound-guided percutaneous transhepatic gallbladder drainage in treatment of elderly patients with acute cholecystitis[J]. Chinese Journal of Ultrasound in Medicine, 2017, 33(10): 907-909.
- [4] 李一伟,刘浩润,李为民,等. 超声引导经皮经肝胆囊穿刺置管引流治疗老年急性非结石性胆囊炎的可行性及疗效[J]. 临床消化病杂志, 2015, 27(3): 141-143. LI Y W, LIU H R, LI W M, et al. Experience of ultrasound-guided percutaneous transhepatic gallbladder drainage on treatment of elderly with acute acalculous cholecystitis[J]. Chinese Journal of Clinical Gastroenterology, 2015, 27(3): 141-143.
- [5] 王俊东,刘长珠,邝彩虹,等. 彩超引导下经皮经肝穿刺胆管引流改良术的临床价值[J]. 华夏医学, 2016, 29(1): 60-62. WANG J D, LIU C Z, KUANG C H, et al. Clinical value of bile duct drainage improvement technology guided by color doppler ultrasound percuture[J]. Acta Medicinæ Sinica, 2016, 29(1): 60-62.
- [6] 端学军,黄毅斌,胡萍香,等. 超声导航辅助经皮肝内胆管置管引流治疗阻塞性黄疸的临床应用价值评价[J]. 中国疗养医学, 2017, 26(5): 501-502. DUAN X J, HUANG Y B, HU P X, et al. Clinical application value evaluation on ultrasonic neuronavigation assisted percutaneous transhepatic cholangial drainage (PTCD) in the treatment of obstructive jaundice[J]. Chinese Journal of Convalescent Medicine, 2017, 26(5): 501-502.
- [7] 陈列,朱才义,张植兰,等. 彩色多普勒超声引导下经皮经肝胆道穿刺置管引流的临床应用[J]. 海南医学, 2017, 28(16): 2695-2696. CHEN L, ZHU C Y, ZHANG Z L, et al. Clinical application of color Doppler ultrasound guided percutaneous transhepatic bile duct drainage[J]. Hainan Medical Journal, 2017, 28(16): 2695-2696.
- [8] 宿敬存,赵卫,胡继红,等. 超声在恶性梗阻性黄疸患者经皮肝穿刺胆管引流术中的应用价值[J]. 中国综合临床, 2016, 32(12): 1085-1088. SU J C, ZHAO W, HU J H, et al. Application value of ultrasound guided puncture in percutaneous transhepatic cholangial drainage in patients with malignant obstructive jaundice[J]. China Comprehensive Clinical Medicine, 2016, 32(12): 1085-1088.
- [9] 刘宇亭,金震东,李兆中,等. 内镜超声引导下胆管引流的研究进展[J]. 中华消化内镜杂志, 2015, 32(4): 270-272. LIU Y T, JIN Z D, LI Z S, et al. Research progress of bile duct drainage under the guidance of endoscopic ultrasound[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2015, 32(4): 270-272.
- [10] 吴宇,余小倩,胡慧勇,等. 梗阻性黄疸术前行超声引导下经皮经肝穿刺胆管引流前后组织弥散定量分析[J]. 河北医药, 2017, 39(13): 1925-1929.

- WU Y, YU X Q, HU H Y, et al. Evaluation of hepatic fibrosis status of patients with obstructive jaundice before and after PTCD by means of ultrasonic elastography quantitative analysis[J]. Hebei Medical Journal, 2017, 39(13): 1925-1929.
- [11] 王晟, 孙思予, 刘香, 等. 内镜超声引导下胆道穿刺引流技术的应用[J]. 中华消化内镜杂志, 2015, 32(6): 378-381.
- WANG S, SUN S Y, LIU X, et al. Application of endoscopic ultrasound-guided biliary puncture and drainage [J]. Chinese Journal of Gastroenterology, 2015, 32(6): 378-381.
- [12] 李驰, 吴刚. 超声引导下经皮经肝胆囊穿刺置管引流术治疗老年急性结石性胆囊炎的疗效[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(4): 891-892.
- LI C, WU G. Efficacy of ultrasound-guided percutaneous transhepatic gallbladder puncture and drainage for the treatment of acute calculus cholecystitis in the elderly[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2016, 36(4): 891-892.
- [13] 于德江, 任为正, 岳振宇, 等. 超声引导下经皮肝内胆管穿刺置管引流479例分析[J]. 中华肝胆外科杂志, 2018, 24(2): 83-86.
- YU D J, REN W Z, YUE Z Y, et al. Analysis of 479 cases of percutaneous transhepatic bile duct puncture and drainage under ultrasound guidance[J]. Chinese Journal of Hepatobiliary Surgery, 2018, 24(2): 83-86.
- [14] 伍隽华, 阮健秋, 邝乃乐, 等. 超声引导下经皮经肝胆囊穿刺置管引流联合腹腔镜胆囊切除术治疗急性结石梗阻性胆囊炎[J]. 肝胆胰外科杂志, 2016, 28(6): 489-491.
- WU J H, RUAN J Q, KUANG N L, et al. Ultrasound-guided percutaneous transhepatic gallbladder puncture and drainage combined with laparoscopic cholecystectomy for acute stone obstructive cholecystitis [J]. Journal of Hepatopancreatobiliary Surgery, 2016, 28(6): 489-491.
- [15] 钱飞, 徐欣, 冯軻, 等. 超声引导下经皮经肝胆囊穿刺置管引流治疗老年急性梗阻性胆管炎的临床价值[J]. 现代消化及介入诊疗, 2016, 21(6): 856-858.
- QIAN F, XU X, FENG K, et al. Clinical value of ultrasound-guided percutaneous transhepatic gallbladder puncture and drainage for elderly patients with acute obstructive cholecystitis [J]. Modern Digestion & Intervention, 2016, 21(6): 856-858.
- [16] 吕留帅, 王广志, 黄毅斌, 等. 虚拟现实显示系统在超声引导穿刺手术中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(8): 810-813.
- LÜ L S, WANG G Z, HUANG Y B, et al. Application of virtual reality display system in ultrasound-guided puncture surgery [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(8): 810-813.
- [17] JIANG G, LUO M, BAI K, et al. A precise positioning method for a puncture robot based on a PSO-optimized BP neural network algorithm [J]. Appl Sci, 2017, 7(10): 969.
- [18] CLEARY K, PETERS T M. Image-guided interventions: technology review and clinical applications[J]. Annu Rev Biomed Eng, 2010, 12: 119-142.
- [19] LASSO A, HEFFTER T, PINTER C, et al. PLUS: an open-source toolkit for developing ultrasound-guided intervention systems[C]// 4th Image Guided Therapy Workshop. 2011: 103.
- [20] PAGOULATOS N, HAYNOR D R, KIM Y. A fast calibration method for 3-D tracking of ultrasound images using a spatial localizer[J]. Ultrasound Med Biol, 2001, 27(9): 1219-1229.

(编辑:陈丽霞)