

三维电解剖标测及磁导航系统在儿童快速性心律失常射频消融治疗中的应用

钱啍娇 吴近近 李 奋

【摘要】 经导管射频消融已成为治疗小儿快速性心律失常的重要手段。传统的消融手术是在 X 线透视引导下进行的,但是 X 线透视会对人体产生一定的辐射损伤,且儿童对辐射的敏感性较成人更高,因此,如何减少儿童心律失常患者消融手术过程中 X 线透视量已成为研究的热点。目前除了传统 X 线透视方法外,具有零辐射特点的心内标测及磁导航系统已经开始应用于儿科临床,其中应用较多的是 CARTO 系统、EnSiteNavX 系统、非接触标测系统及磁导航系统。临床研究表明,上述三维电解剖标测、磁导航系统的应用能显著减少消融手术过程中 X 线透视的时间,提高复杂及特殊类型心律失常的手术成功率,减少术后复发率及严重并发症的发生率,因而在儿科领域有广阔的应用前景。

【关键词】 儿童心律失常;消融治疗;三维标测系统;磁导航系统

doi:10.3969/j.issn.1673-6583.2015.03.004

上世纪 80 年代末,经导管射频消融 (radiofrequency catheter ablation, RFCA) 开始应用于临床,并逐渐成为治疗心律失常的主要方法之一^[1]。尽管 RFCA 在儿童心律失常治疗中的应用开展相对较晚,但多项多中心研究表明,即使对于年龄较小的儿童,RFCA 的成功率及并发症发生率均与成人患者相似^[2]。

常规的 RFCA 是在 X 线引导下,确定导管位置并指导导管移动方向,X 线辐射对患者及术者都会产生不良影响^[3],如皮肤及眼的损伤、脱发、肿瘤及基因缺陷等。肿瘤的发生率与接受辐射的年龄高度相关,儿童受到辐射后比成人更易发生肿瘤,且对辐射的敏感度也随年龄的减小而增加。儿童的剩余生存时间更长,因此有更长的肿瘤发生及基因损伤表达时间^[4-6]。因此,在儿童心律失常患者中开展 RFCA,更应谨慎使用 X 线。此外,儿童房性、室性心律失常以及某些特殊部位心律失常机制复杂,消融点位置危险,通过 X 线引导下的二维标测消融

成功率较低,复发率及并发症的发生率较高,曝光时间较长,因而限制了该技术的应用。

随着新型心内标测及磁导航系统的问世,通过非 X 线透视途径辅助心内导管介入及电解剖标测,三维重建患者心脏结构及电传导激动顺序,使得零辐射消融治疗儿童室上性心律失常以及复杂、特殊类型心律失常成为可能。本文主要介绍上述系统在儿科领域的应用进展。

1 三维电解剖标测系统

在过去 10 余年,三维电解剖标测系统 (three-dimensional electroanatomical mapping, EAM) 技术逐渐成为临床中较为常用的零辐射系统。它们的共同特征包括:零辐射心内导航、三维重建、实时导管跟踪、兴趣目标标记、激动顺序、电压振幅重建等^[7]。

1.1 CARTO 系统 (Biosense Webster Inc., Diamond Bar, CA, USA)

CARTO 系统是利用电磁场原理精确探测消融导管的位置及方向,并同时记录该位置的电信号,从而获得导管在心腔内不同位置时的信息,并重建各心腔的电解剖图谱。其基本原理是:通过 1 个固定的位置底盘 (locator pad) 产生 3 个微弱磁场,而特制的标测及消融导管的顶端亦带有磁性物质,通过 3 个微弱磁场对磁性物质的不同感知,综合计算得出导管的即刻精确位置,从而代替了

基金项目:国家自然科学基金青年项目 (81300138);上海市科委国际合作项目 (13430721700)

作者单位:200127 上海交通大学医学院附属儿童医学中心心内科

通信作者:李 奋, Email: lifen_88@aliyun.com

X 线透视图像显示导管位置的功能,减少了 X 线曝光量。最新的 CARTO 3 系统可通过磁电双定位技术,实现对导管的精确定位,并实时显示所有导管的位置。

1.2 EnSiteNavX 系统 (St. Jude Medical, St. Paul, MN, USA)

NavX 系统是利用电场原理来感知导管位置并实时显示所有导管,从而代替 X 线透视。它与 CARTO 系统的区别在于:NavX 系统是利用贴于体表的 3 对电极产生电场,当标测或消融导管进入电场后,与参考电极间产生阻抗,通过阻抗的大小即可推断出导管的位置。NavX 系统最多能感知 64 个电极的位置并同时显示,故能实时显示所有心腔内导管,且无需特制的标测或消融导管,为手术过程中导管的应用提供更多选择。

1.3 EnSiteMultielectrode Array(3000) 系统 (St. Jude Medical, St. Paul, MN, USA)

Array 系统属于非接触性三维标测系统,是通过 1 个带有 64 个电极的网状球形导管置入心腔,在一搏心跳后记录心内膜远场电位,经计算机处理后可同时构建某一心腔 3 360 个位点的虚拟电图投射于三维解剖结构上,可直观显示激动传导顺序及解

剖图。Array 系统具有一搏标测、直观显示的优点,可标测血流动力学不稳定或无法持续发作的心律失常,但 Array 系统也有不可忽视的缺陷:(1)显示的电位为虚拟电位,而非真实电位;(2)球形导管撑开具有一定体积,应用该系统的患儿年龄须 > 10 岁;(3)仅适用于右心系统消融,球形导管尚难以安全穿过房间隔或跨主动脉瓣,进入左心系统。

2 三维电解剖标测系统在儿童快速性心律失常消融治疗中的应用

与传统二维方法相比,三维电解剖标测系统在儿童各类快速性心律失常(室上性心动过速、室性心律失常、房性心律失常等)消融治疗中的应用具有明显的优势。

2.1 室上性心动过速(SVT)

最常见的 SVT 为房室结折返性心动过速 (AVNRT)以及房室折返性心动过速 (AVRT),也包括预激综合征。目前传统的二维方法射频消融在儿童室上性心动过速消融治疗中的疗效已得到广泛的肯定。李小梅等^[8]收集了国内 8 个心脏中心接受心内电生理检查及 RFCA 的患儿资料,其中 AVRT 患儿 1 580 例,AVNRT 患儿 740 例,结果显示,首次消融成功率分别达到 97.7%及 99.3%。

表 1 三维标测系统在儿童室上性心律失常消融治疗中的应用

作者	n/例	年龄/岁	心律失常	操作系统	手术时间	辐射时间或剂量	即时成功率	复发率
Pass 等 ^[9]	42 对 33	13.8 ± 3.6	SVT	2D 对 CARTO	125.7 min 对 131.4 min (P=0.36)	93.8 mGy 对 13.1 mGy (P<0.001)	95%对 100%	(1/42) 对(1/33)
Spar 等 ^[10]	117 对 26	(3.3~20.8)对 (10.3~18.9)	SVT	2D 对 CARTO	3.5 h 对 3.6 h (P 值无意义)	18.3 min 对 9.9 min (P<0.001)	(114/117) 对(26/26)	-
Kwong 等 ^[11]	70 对 318	12.2 ± 3.7	AVNRT 旁道	2D 对 NavX	210.1 min 对 222.8 min (P=0.13)	26.4 min 对 23.8 min (P=0.095)	(67/70)对 (305/318)	-
Smith 等 ^[12]	30 对 30	12.3 对 12.9	AVNRT 旁道	2D 对 NavX	3.17 h 对 3.27 h 21.37 min 对 1.05 min (P<0.001)	-	(29/30)对 (30/30)	(3/30) 对(4/30)
Papagiannis 等 ^[13]	40 对 40	10.9 对 12.1 (P=0.098)	AVNRT 旁道	2D 对 NavX	218 min 对 170 min (P<0.000 1)	24.9 min 对 10.4 min (P<0.000 1)	(40/40)对 (38/40)	(6/40) 对(2/40)
Papagiannis 等 ^[14]	76 对 116	11.34 对 10.91 (P=0.334)	旁道	2D 对 NavX	242.45 min 对 177.06 min (P<0.001)	39.77 min 对 8.27 min (P<0.001)	(74/76)对 (112/116)	17% 对 12.1%
Miyake 等 ^[15]	37 对 37	14.7 (8.6~22.3)	SVT	2D 对 NavX	180 min 对 211 min (P=0.005)	18.3 min 对 7.5 min (P<0.001)	(35/37)对 (37/37)	-

注:2D 表示仅用 X 线

三维电解剖标测系统在儿童室上性心动过速消融治疗的应用也已逐步开展。Miyake 等^[15]进行了关于 NavX 系统在儿童室上性心动过速消融中应用的前瞻性随机对照研究,对照组 37 例患儿(平均年龄 14.6 岁)接受传统的消融手术,仅依赖 X 线透视辅助定位,实验组 37 例患儿(平均年龄 14.7 岁)接受心内超声及三维电解剖标测(EnSiteNavX)系统辅助完成消融手术。结果表明,与对照组相比,实验组 X 线透视时间及辐射剂量均降低近 60% ($P < 0.001$),实验组中 35 例患儿及对照组 37 例患儿均取得手术即时成功,两组的不良事件发生率无明显差异(实验组 6 例,对照组 8 例)。

多项关于三维标测系统与传统二维方法在儿童室上性心动过速 RFCA 中的对照研究显示,与传统二维手术方法相比,三维标测系统中 X

线曝光时间明显缩短。Smith 等^[12]对 AVNRT 患儿使用三维标测系统手术成功达到零辐射。使用三维标测系统并未影响 RFCA 治疗室上性心动过速的成功率。然而,关于这 2 种标测方法对手术时间的影响尚存在争议。部分学者认为,三维系统会延长手术时间,而其余则认为两者无明显差异。研究显示,传统方法与三维标测方法 RFCA 后复发率总体上无明显差异,三维标测方法术后复发率甚至有所下降。Papagiannis 等^[13]研究表明,传统方法的复发率为 6/40,而应用 NavX 系统的复发率为 2/40(见表 1)。使用三维电解剖标测系统治疗儿童室上性心动过速可以明显缩短手术 X 线曝光时间,甚至达到零辐射,可减少患儿及术者 X 线辐射相关不良反应,且不影响手术成功率及术后复发率。

表 2 三维标测系统在儿童房性、室性心律失常消融治疗中的应用

作者	n/例	年龄/岁	心律失常	操作系统	手术时间/min	辐射时间	即时成功率	复发率
Cummings 等 ^[16]	11 对 16	(1.4~11.8) 对(2.7~17)	AT	2D 对 CARTO	232 对 268 ($P = 0.11$)	47 min 对 40 min ($P = 0.18$)	(10/13)对(18/18) ($P = 0.03$)	(7/13)对(2/18) ($P = 0.01$)
Von 等 ^[17]	5	15.2 (10~20)	VT,PVC	NavX	168 (95~270)	35 s (0~1.9 min)	5/5	0
Ozyilmaz 等 ^[18]	17	13.2 ± 2.4	VT	NavX	169.3 ± 43.2	(8 ± 10.8) min (6 例为 0 min)	14/17	3/14
Schneider 等 ^[19]	20	14.4 (4.8~20.9)	VT	EnSite 3000	302.4 ± 121.6	(20.7 ± 8.6) min	16/18	3/18

注:2D 表示仅用 X 线

2.2 房性、室性心律失常

儿童需行消融治疗的房性心律失常主要为房性心动过速(AT)及心房扑动,而室性心律失常主要为室性早搏(PVC)及室性心动过速(VT),其发生机制比 AVRT 及 AVNRT 更为复杂。通过体表心电图及常规二维心内电生理检查仅能判断心律失常基质(substrate)大致位置,而通过 X 线透视指导消融导管在心室腔内标测准确的消融靶点较为困难,故通过二维方法 RFCA 治疗房性或室性心律失常的成功率较低、复发率较高、手术 X 线曝光时间较长。Von 等^[17]进行的一项关于非三维标测方法 RFCA 治疗儿童室性心动过速的多中心研究表明,95 例患儿平均术中 X 线曝光时间长达 32.2 min。

使用三维标测系统可以通过三维电解剖重建,明确异常心律的激动顺序或折返途径,找到异位起

源点的准确位置,无需 X 线透视指导即可将消融导管置于相应位置,并且具有记忆功能,导管的再到达较二维方法更精确,可使消融治疗效果更好。

Schneider 等^[19]对非接触性标测系统(EnSite 3000)在儿童特发性室性心动过速消融治疗中的应用进行了研究,结果 20 例患儿中,1 例因球囊导管过大无法在心腔中打开,1 例异位起源点靠近冠状动脉,消融过程引起冠状动脉痉挛而终止,其余 18 例手术均获得成功,X 线曝光时间为 20.7 min,无严重并发症发生,仅 3 例在平均 2.3 年的随访中复发。由于非接触性标测系统具有一搏标测功能,虽然部分患儿术中早搏较少,或室性心动过速无法持续,但通过该系统仍然可以准确标测异位起搏点或折返途径。而传统二维方法消融儿童室性心动过速的即刻成功率仅为 60%,复发率高达 34%^[20]。

表 2 列举了关于 CARTO 系统及 EnSiteNavX 系统在儿童房性、室性心律失常中应用的研究,结果显示,手术的即时成功率均 $>80\%$,复发率均低于传统二维方法。其中, Cummings 等^[17]进行的对照性研究显示,二维方法消融治疗儿童房性心动过速的复发率为 54% ,而三维方法仅 11% ($P = 0.01$),但两者 X 线曝光时间无明显差异。因此,使用三维标测系统消融房性、室性心动过速的优势在于可以明显提高手术成功率,减少复发率,但是否能减少 X 线曝光时间尚存在争议。

3 远程磁导航系统在儿童快速性心律失常消融治疗中的应用

磁导航系统 (magnetic navigation system, MNS) 不属于心内标测系统,它是辅助远程控制磁性物体移动的操作系统。其原理是:在操作台的两侧放置 2 个半球体磁体产生 1 个可控磁场,通过计算机程序指令,变换胸廓两侧的磁体相对位置,计算并改变包绕心脏球形磁场的综合向量,预设和调整体内磁性导管的弯曲、旋转和进退方向,实现对介入器械的遥控操作^[21]。目前通常将磁导航系统与 CARTO 系统联合应用 (CARTO-RMT),或将术前的计算机断层扫描 (CT) 或磁共振心脏三维重建图像加载于磁导航软件中,从而更精确地控制导管的移动。磁导航系统磁性导管前端较为柔软,可减少对心内膜的刺激,并降低穿透心壁的可能,导管移动的准确性较高,最高能以 1° 的精度偏转,以 1 mm 的精度进退,且与组织的贴靠良好^[7]。

自 2002 年磁导航系统问世以来,该系统在成人各类心律失常消融中已有较多应用^[22]。已证实磁导航系统在心房颤动治疗中应用能明显提高手术即刻成功率,可提高合并结构性心脏病的房性、室性心动过速的长期手术成功率。并且由于术者远程操作, MNS 的使用可明显减少术者的 X 线曝光时间,但对患者的 X 线曝光时间的影响还有待更多的研究。

Schwagten 等^[23]对儿童室上性心动过速应用 MNS 与传统手术方法进行了比较研究,结果显示,在年龄 <10 岁组中,手术时间及辐射时间明显减少 (P 值分别为 0.01 、 0.04),而手术成功率无明显差异。Kim 等^[24]对 MNS 在儿童游离壁旁道消融治疗中的应用进行了对比研究,结果显示,与传统手术方法相比, MNS 手术成功率、复发率、手术时间、消融点数量等均无明显变化,但是术中的 X 线透视

时间明显减少, MNS 组平均 14.0 min ,而传统手术组平均 28.1 min ($P < 0.001$),两组均无严重并发症发生。

MNS 在儿童特殊类型心律失常消融中亦有较高的应用价值。Mantziari 等^[25]报道了 1 例应用 MNS 系统辅助定位控制导管移动,并运用射频能量成功消融的 6 岁希氏束旁道患儿。希氏束旁道在传统消融过程中导管定位不够精确、定位后导管控制不稳定,极易损伤希氏束而导致 III 度房室传导阻滞,故目前多采用冷冻消融方法以减少不可逆损伤希氏束的风险。该文指出,由于 MNS 导管操作的精确性、稳定性及磁导航导管的柔软性,射频消融希氏束旁道较传统方法更有优势,手术的 X 线曝光时间仅为 4 min ,且无并发症发生。Pflaumer 等^[26]报道了 1 例应用 MNS 成功 RFCA 治疗的持续性交界区反复性心动过速 (permanent junctional reciprocating tachycardia, PJRT) 7 岁患儿,该研究组指出,应用 MNS 可以指导柔软的导管进入冠状窦进行消融。

虽然 MNS 在儿童快速性心律失常中的应用还有待进一步研究,但是前述研究已初步显示, MNS 在精确指导导管移动、导管稳定性及柔软性等方面具有明显的优势,这对于解决儿童心腔体积小、导管操作风险大等问题有较大帮助,且可以减少术中 X 线透视时间,从而减少 X 线辐射对儿童产生的远期不良反应。

4 结语

综上所述,三维电解剖标测系统以及磁导航系统在儿童快速性心律失常消融治疗中的应用具有明显优势,可以减少术中 X 线透视时间,提高复杂性心律失常手术的成功率,减少复发率,并可减少特殊类型心律失常消融的并发症。然而,由于在儿科的应用例数有限,其长期疗效、安全性及并发症等还有待研究。

参 考 文 献

- [1] Morady F. Radio-frequency ablation as treatment for cardiac arrhythmias[J]. N Engl J Med, 1999, 340(7): 534-544.
- [2] Brugada J, Blom N, Sarquella-Brugada G, et al. Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEPC-Arrhythmia Working Group joint consensus statement[J]. Europace, 2013, 15(9): 1337-1382.
- [3] Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA, et al. ACCF/AHA/

- HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures; a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training [J]. *Circulation*, 2005, 111(4):511-532.
- [4] Hall EJ. Lessons we have learned from our children; cancer risks from diagnostic radiology[J]. *Pediatr Radiol*, 2002, 32(10):700-706.
- [5] Beels L, Bacher K, De Wolf D, et al. gamma-H2AX foci as a biomarker for patient X-ray exposure in pediatric cardiac catheterization: are we underestimating radiation risks? [J]. *Circulation*, 2009, 120(19):1903-1909.
- [6] Bacher K, Bogaert E, Lapere R, et al. Patient-specific dose and radiation risk estimation in pediatric cardiac catheterization[J]. *Circulation*, 2005, 111(1):83-89.
- [7] Young ML. New techniques of mapping and ablation for tachyarrhythmias in children[J]. *Future Cardiol*, 2008, 4(3):321-331.
- [8] 李小梅,李 奋,曾少颖,等. 全国儿童心内电生理检查及射频消融多中心资料分析[J]. *中华心律失常学杂志*, 2014, 18(1):9-16.
- [9] Pass RH, Gates GG, Gellis LA, et al. Reducing patient radiation exposure during paediatric SVT ablations; use of CARTO® 3 in concert with “ALARA” principles profoundly lowers total dose[J]. *Cardiol Young*, 2014, 26:1-6.
- [10] Spar DS, Anderson JB, Lemen L, et al. Consequence of use of lower dose flat plate fluoroscopy in pediatric patients undergoing ablation for supraventricular tachycardia[J]. *Am J Cardiol*, 2013, 112(1):85-89.
- [11] Kwong W, Neilson AL, Chiu CC, et al. The effect of NavX on fluoroscopy times in pediatric catheter ablation[J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2012, 33(1):123-126.
- [12] Smith G, Clark JM. Elimination of fluoroscopy use in a pediatric electrophysiology laboratory utilizing three-dimensional mapping[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2007, 30(4):510-518.
- [13] Papagiannis J, Tsoutsinos A, Kirvassilis G, et al. Nonfluoroscopic catheter navigation for radiofrequency catheter ablation of supraventricular tachycardia in children [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2006, 29(9):971-978.
- [14] Papagiannis J, Avramidis D, Alexopoulos C, et al. Radiofrequency ablation of accessory pathways in children and congenital heart disease patients: impact of a nonfluoroscopic navigation system[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2011, 34(10):1288-1396.
- [15] Miyake CY, Mah DY, Atallah J, et al. Nonfluoroscopic imaging systems reduce radiation exposure in children undergoing ablation of supraventricular tachycardia[J]. *Heart Rhythm*, 2011, 8(4):519-525.
- [16] Cummings RM, Mahle WT, Strieper MJ, et al. Outcomes following electroanatomic mapping and ablation for the treatment of ectopic atrial tachycardia in the pediatric population[J]. *Pediatr Cardiol*, 2008, 29(2):393-397.
- [17] Von Bergen NH, Bansal S, Gingerich J, et al. Nonfluoroscopic and radiation-limited ablation of ventricular arrhythmias in children and young adults; a case series[J]. *Pediatr Cardiol*, 2011, 32(6):743-747.
- [18] Ozyilmaz I, Ergul Y, Akdeniz C, et al. Catheter ablation of idiopathic ventricular tachycardia in children using the EnSite NavX system with/without fluoroscopy[J]. *Cardiol Young*, 2014, 24(5):886-892.
- [19] Schneider HE, Kriebel T, Jung K, et al. Catheter ablation of idiopathic left and right ventricular tachycardias in the pediatric population using noncontact mapping [J]. *Heart Rhythm*, 2010, 7(6):731-739.
- [20] Morwood JG, Triedman JK, Berul CI, et al. Radiofrequency catheter ablation of ventricular tachycardia in children and young adults with congenital heart disease [J]. *Heart Rhythm*, 2004, 1(3):301-308.
- [21] 庞 旸,吴立群. 磁导航系统在心律失常射频消融治疗中的应用[J]. *国际心血管病杂志*, 2011, 38(2):69-71.
- [22] Bradfield J, Tung R, Mandapati R, et al. Catheter ablation utilizing remote magnetic navigation; a review of applications and outcomes[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2012, 35(8):1021-1034.
- [23] Schwagten B, Witsenburg M, De Groot NM, et al. Effect of magnetic navigation system on procedure times and radiation risk in children undergoing catheter ablation [J]. *Am J Cardiol*, 2010, 106(1):69-72.
- [24] Kim JJ, Macicek SL, Decker JA, et al. Magnetic versus manual catheter navigation for ablation of free wall accessory pathways in children [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2012, 5(4):804-808.
- [25] Mantziari L, Rigby M, Till J, et al. Accessory pathway ablation in a 6-year-old girl using remote magnetic navigation as an alternative to cryoablation[J]. *Pediatr Cardiol*, 2013, 34(3):760-763.
- [26] Pflaumer A, Hessling G, Luik A, et al. Remote magnetic catheter mapping and ablation of permanent junctional reciprocating tachycardia in a seven-year-old child [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2007, 18(8):882-885.

(收稿:2014-12-02 修回:2015-01-04)

(本文编辑:孙 雯)