

· 心血管影像学 ·

心脏磁共振单次屏气三维容积电影成像在心脏功能评价中的应用

尹刚, 陈秀玉, 崔辰, 范阳, 杨新令, 赵世华

【摘要】 目的:探讨单次屏气三维(3D)平衡式稳态自由进动(bSSFP)心脏电影成像评估心脏功能方面的可行性。**方法:**对 20 例入选的心脏疾病患者进行常规心脏各切面的 2D bSSFP 序列和单次屏气心脏全容积 3D bSSFP 序列的电影成像。采集的 MRI 图像由 2 名经验丰富的放射科医师采用双盲法进行分析。采用四分法对图像的总质量进行等级评分(1 分为最差, 4 分为最优), 然后利用两种序列的图像, 分别测量左心室舒张末容积(EDV)、收缩末容积(ESV)、每搏输出量(SV)、射血分数(EF)、心排量(CO)和心指数(CI)。依据数据的正态性分布情况, 采用配对 t 检验或秩和检验比较两种序列的图像质量评分和心功能各项参数值, 并进行 Pearson 相关分析或 Spearman 相关分析。**结果:**20 例患者均成功完成两种序列的电影成像。3D 序列扫描时间 $[(23.0 \pm 2.7) \text{ s}]$ 明显短于 2D 序列总成像时间 $[(488.8 \pm 27.0) \text{ s}]$, 3D 和 2D 序列的图像质量评分分别为 (2.90 ± 0.31) 和 (3.55 ± 0.60) 分, 差异具有统计学意义($Z=3.357, P=0.001$)。剔除 3 例 2D 或 3D 图像质量较差有可能影响诊断的患者, 对余下的 17 例患者进行心功能评价, 2D 和 3D 序列的心功能参数比较结果显示, EDV($t=2.519, P=0.023$)和 ESV($t=2.804, P=0.013$)在两者间差异具有统计学意义; 而 SV($Z=1.254, P=0.210$)、EF($t=1.728, P=0.103$)、CO($Z=1.250, P=0.211$)和 CI($Z=0.995, P=0.320$)在两者间差异无统计学意义。相关性分析显示 2D 和 3D 序列的 EDV、ESV、SV、EF、CO 和 CI 结果均高度相关(相关系数 r 分别为 0.992、0.995、0.981、0.999、0.985 和 0.965, P 均 <0.01)。**结论:**相对于常规 2D-bSSFP 序列, 单次屏气 3D-bSSFP 序列电影成像的图像质量虽略低, 但在保证左心室功能评估的准确性的同时, 大大节约 CMR 成像的时间成本。

【关键词】 成像, 三维; 全心容积; 单次屏气; 磁共振成像, 电影

【中图分类号】 R445.2; R541 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)02-0156-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.02.010

Use of MRI single breathhold three-dimensional whole heart cine sequence to assess cardiac function

YIN Gang, CHEN Xiu-yu, CUI Chen, et al. Department of Magnetic Resonance Imaging, Fuwai Hospital, State Key Laboratory of Cardiovascular Disease, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility of single breath hold whole heart three dimensional (3D) balanced steady state free precession (bSSFP) cine sequence on cardiac function assessment compared with clinically established two-dimensional (2D) bSSFP cine sequence. **Methods:** 20 patients with cardiac disease were included in this study. Routine cardiac views using 2D bSSFP cine and whole heart volume using single breath hold 3D bSSFP cine sequence were acquired. All MR images were analyzed blindly by two experienced radiologists separately. First, the overall image quality was graded on a four-point scale according to the image. Second, left ventricular end diastole volume (EDV), end systole volume (ESV), stroke volume (SV), ejection fraction (EF), cardiac output (CO), and cardiac index (CI) were measured using the two sequence images separately. **Results:** All patients were successfully scanned. The time of a 3D scan was much shorter than that of a 2D scan [2D vs 3D,

作者单位: 100037 中国医学科学院阜外医院磁共振影像科(尹刚、陈秀玉、崔辰、杨新令、赵世华); 通用电气医疗系统(中国)有限公司(范阳)

作者简介: 尹刚(1985—), 男, 湖南人, 医学影像工程师, 主要从事心血管磁共振成像技术工作。

通讯作者: 赵世华, E-mail: cjrzhaojihua2009@163.com

基金项目: 国家自然科学基金重点国际合作项目(81620108015); 北京市科委基金项目(Z161100000516110)

(488.8 ± 27.0)s vs (23.0 ± 2.7)s]. The overall image quality score of 3D was slightly lower than that of 2D (2D vs 3D, 3.55 ± 0.6 vs 2.90 ± 0.31 ; $Z = 3.357$, $P = 0.001$). Three of the 20 patients were excluded from the cardiac functional analysis due to poor image quality. There was no significant difference in functional parameters between the two sequences except that 3D sequence slightly overestimated EDV and ESV (2D vs 3D, EDV, 169.66 ± 69.53 vs 175.41 ± 72.86 , $t = 2.519$, $P = 0.023$; ESV, 109.99 ± 69.78 vs 114.03 ± 72.32 , $t = 2.804$, $P = 0.013$; SV, 59.67 ± 15.46 vs 61.38 ± 18.30 , $Z = 1.254$, $P = 0.210$; EF, 40.33 ± 15.15 vs 40.04 ± 15.26 , $t = 1.728$, $P = 0.103$; CO, 4.35 ± 1.24 vs 4.49 ± 1.55 , $Z = 1.250$, $P = 0.211$; CI, 2.51 ± 0.56 vs 2.58 ± 0.73 , $Z = 0.995$, $P = 0.320$). The functional parameter acquired by 3D sequence was highly correlated with that of 2D (EDV, 0.992; ESV, 0.995; SV, 0.981; EF, 0.999; CO, 0.985; CI, 0.965). **Conclusion:** Despite the slightly compromised image quality, single breath hold whole heart 3D bSSFP cine had a higher scan speed, with acceptable accuracy in functional parameter assessment.

【Key words】 Imaging, three-Dimensional; Whole heart volume; Single breath hold; Magnetic resonance imaging, cine

心脏功能特别是左心室功能的评价是心脏疾病诊断与治疗中的关键。相对于其他影像学检查方法,心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)能准确提供心脏结构和功能的多维信息,且其计算心脏容积不依赖于任何几何模型的假设,被认为是评价心功能的金标准^[1,2]。由于其无创、无辐射的优点,CMR 在临床上得到广泛应用。配合心电门控的二维(2D)平衡式稳态自由进动(balanced steady-state free precession, bSSFP)序列采用超短 TR 和 TE,较大翻转角,一次屏气采集一个心脏层面对应心动周期内不同时相的图像(即动态电影)。该序列单次成像速度快,血池心肌对比强,已成为现今 CMR 评价心脏舒缩功能的常规序列^[3,4]。然而,该序列需要患者配合多次屏气以获得从心尖到心底的多个 2D 切面电影图像,总耗时较长,且每次屏气状态的不一致也增加了成像难度。最近,Jeong 等^[5]学者发明了一种快速的三维(3D) bSSFP 单次屏气全心脏容积成像序列,基于高并行采集加速因子的 kat-ARC 加速技术,配合 bSSFP 采集,能够在一次屏气时间内进行 3D 全心数据采集。本研究旨在探讨 3D bSSFP 序列评估左心室功能的可行性和实用性。

材料与方法

1. 研究对象

搜集 2016 年 11 月—2017 年 1 月来我院进行 CMR 检查的患者,纳入标准:符合 CMR 检查要求。排除标准:检查时心律不齐,训练时不能屏气 15s 以上。最终纳入本研究的患者 20 例,其中男 10 例,女 10 例;年龄 26~70 岁,平均(47 ± 14)岁;冠心病 3 例,扩张型心肌病 6 例,肥厚型心肌病和肺动脉高压各 2 例,缩窄性心包炎、心房占位、心肌炎、左室致密化不

全、频发室性早搏、偶发房性早搏及高血压患者各 1 例。

2. 检查方法

所有患者均知情同意。采用 3.0T MR 扫描仪(通用电气医疗集团,美国,Discovery MR 750),最大梯度场强 50 mT/m,最大梯度切换率 200 mT/m/ms。采用 8 通道表面相控阵心脏专用线圈。患者仰卧位,从左前胸引出四根电极导线连接心电门控,呼气末屏气下扫描。先对患者行常规心脏 MR 检查,其中包括多层面的 2D bSSFP 序列心脏电影成像,其扫描层面包括左心两腔(Left 2 chamber heart, L2CH)、四腔心(4 chamber heart, 4CH)、三腔心(3 chamber heart, 3CH)、左室流出道(left ventricular outflow tract, LVOT)、右心两腔(right 2 chamber heart, R2CH)和右室流出道(right ventricular outflow tract, RVOT)六个长轴切面及从二尖瓣口到心尖覆盖整个左室的等间距相互平行的八个短轴(SA)切面。基本参数:FOV 320 mm × 320 mm,图像矩阵 192 × 224,层厚 8 mm, ZIP512 重建像素大小 0.63 mm × 0.63 mm × 8 mm, TR 3.3 ms, TE 1.7 ms,翻转角 50°,并行采集加速因子 2,依据心率快慢设置分段填充 K 空间线数目 14~18,时间分辨率 46~60 ms,重建时相数 25,采集带宽 125 Hz。随后进行 3D 单次屏气全心脏容积电影成像。3D bSSFP 序列的扫描参数:FOV 380 mm × 247 mm,矩阵 192 × 125,层厚 4 mm, ZIP2 重建像素大小 1.5 mm × 1.5 mm × 2 mm, TR 3.2 ms, TE 1.3 ms,翻转角 50°,kat-ARC 并行采集加速倍数 8,依据心率快慢设置分段填充 K 空间线数目 20~24,时间分辨率 64~77 ms,重建时相数 25,采集带宽 125 Hz。为了最大程度的减小磁敏感性伪影,每个序列扫描前都施加 B0 局部匀场。

3. 图像分析

数据重建和定量分析均采用 CVI42(Circle Cardiovascular Imaging Inc, Calgary, Canada)医学影像后处理软件。三维数据按照二维图像的方向和层厚重建出对应的六个长轴切面及从二尖瓣口到心尖覆盖整个左室的零间隔相互平行的若干(8~12个)短轴切面。所有 2D 和 3D 序列数据都匿名处理并随机顺序分配,由两名由经验的影像医师独立进行定性定量评价。

由于并行采集造成图像噪声分布不均匀,采集时间差异巨大,本文不分析、比较 2D 与 3D 图像的信号噪声比。对每个患者各层面二维电影和重建后的三维电影进行图像质量的总体评分,依据血池心肌对比度、伪影程度对诊断可靠性的影响划分为 4 个等级:很差,无法用于诊断为 1 分;一般,血池心肌对比较差或伪影较重可能影响诊断为 2 分;良好,血池心肌对比比较好、有伪影但不影响诊断为 3 分;优秀,血池心肌对比比较好且无伪影为 4 分^[6]。

4. 心功能定量分析

运用 CVI42 软件,用二维和重建后三维短轴层面图像计算心功能参数。观察确定基底部和心尖部层面,选择舒张末期(ED)和收缩末期(ES)。手动描记心内膜和心外膜,依据辛普森法则(Simpson's rule)^[7]计算心室容积,得到左室的一系列形态和功能参数,包括舒张末容积(EDV)、收缩末容积(ESV)、每搏输出量(SV)、射血分数(EF)、心排量(CO)和心指数(CI)。心内膜和心外膜间的容积与心肌密度($1.05\text{g}/\text{cm}^2$)相乘即转化为心肌质量。CO 与体表面积(BSA)相除即得到 CI。

5. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 统计学软件进行统计学分析,检验水准 $\alpha=0.05$ 。所有定量参数(图像质量评分,2D 与 3D 心功能参数)的比较中,若配对差值呈正态性分布,用配对 t 检验;若呈非正态性分布,则用秩和检验(Wilcoxon)。心功能结果相关性分析中,若呈正态性分布,用 Pearson 相关分析;若呈非正态性分布,则用 Spearman 相关分析。

结 果

1. 检查时间及图像总体质量

20 例患者均成功完成 2D 和 3D bSSFP 电影成像。2D 图像的总成像时间为(488.8 ± 27.0) s,其中包含匀场预扫描时间(10 s)、采集前后屏气口令时间(10 s)、序列采集时间(8~12 s)、前后两次屏气患者休息停顿时间(5 s)。3D 图像的序列采集时间为(23.0 ± 2.7) s。

20 例患者的 2D 图像质量评分[(3.55 ± 0.60)分]

和 3D 图像质量评分[(2.90 ± 0.31)分]具有统计学差异($Z=-3.357, P=0.001$)。20 例患者中,1 例的 2D 图像质量评分为 2 分,2 例的 3D 图像质量评分为 2 分,由于有可能影响诊断,故此 3 例不进行后续心功能定量分析。剩余 17 例患者的 2D 和 3D 图像质量评分均 ≥ 3 分,均满足诊断需求(图 1~14)。

2. 心功能定量分析

对 17 例患者进行心功能定量分析,2D 和 3D 序列的心功能参数比较见表 1,其中 SV、EF、CO、CI 在两者间的差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。2D 和 3D 序列的心功能参数的相关性分析见表 2,结果显示 2D 和 3D 序列的 6 项心功能参数均高度相关(P 均 <0.01)。

表 1 2D 和 3D 序列的心功能参数比较

	2D 序列	3D 序列	t/Z 值	P 值
EDV(mL)	169.66 ± 69.53	175.41 ± 72.86	-2.519	0.023
ESV(mL)	109.99 ± 69.78	114.03 ± 72.32	-2.804	0.013
SV(mL)	59.67 ± 15.46	61.38 ± 18.30	1.254*	0.210
EF(%)	40.33 ± 15.15	40.04 ± 15.26	1.728	0.103
CO(L/min)	4.35 ± 1.24	4.49 ± 1.55	1.250*	0.211
CI(L/min/m ²)	2.51 ± 0.56	2.58 ± 0.73	0.995*	0.320

注:* 由于正态性检验结果显示配对差值呈非正态性分布,故采用秩和检验。

表 2 2D 和 3D 序列心功能定量结果的相关性分析

	r 值	P 值
EDV(mL)	0.992	<0.01
ESV(mL)	0.995*	<0.01
SV(mL)	0.981	<0.01
EF(%)	0.999	<0.01
CO(L/min)	0.985*	<0.01
CI(L/min/m ²)	0.965*	<0.01

注:* 由于正态性检验结果显示呈非正态性分布,故采用 Spearman 相关分析。

讨 论

本文以传统 2D bSSFP 序列作参考,结果显示单次屏气 3D bSSFP 序列能够准确评价左心室的 EF、SV、CO 和 CI,且其所有容积测量结果均与 2D 序列所测结果具有良好的相关性。单次屏气 3D bSSFP 序列可得到心脏全容积电影数据,相比传统 2D 序列显著降低了时间成本。

传统 2D bSSFP 序列是目前 CMR 评价心功能的主要序列,其扫描时间相对较长,为保证足够的时间空间分辨率,一般一次屏气只能扫描一层,为了全方位、多角度地呈现心脏结构和功能,需要患者反复屏气配合,进行多层面成像;同时,为满足诊断需求,常规需要 4~6 个长轴位和 8~10 个短轴位。对于耐受能力差、不能反复屏气配合的患者,临床需要一种能在自由呼吸下扫描或能减少屏气次数的成像模式。自由呼吸下扫描需要同步呼吸运动和心脏自身的周期运动,常采用呼吸门控或膈肌导航,这样会增加成像难度和时间。

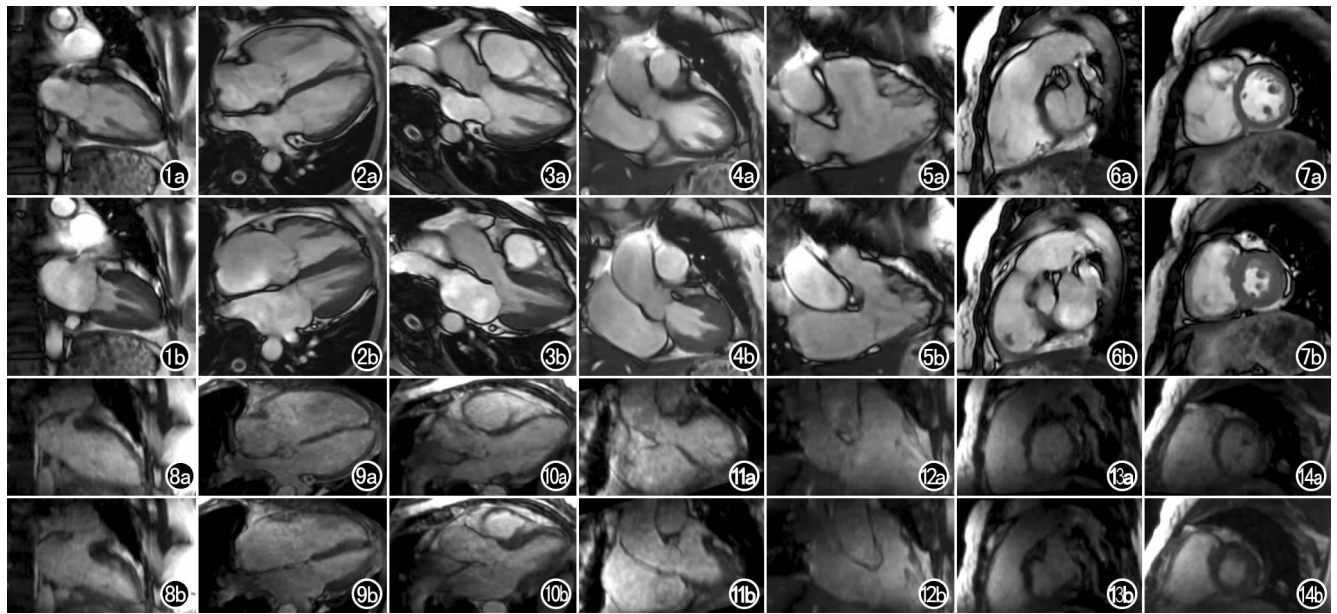


图 1~14 女, 54 岁, 肺动脉高压患者。1~7 图分别为 2D bSSFP 序列扫描所得 L2CH、4CH、3CH、LVOT、R2CH、RVOT、SA 层面舒张末期(a)和收缩末期(b)图像; 8~14 图分别为 3D bSSFP 序列对应层面和期相的图像。2D 成像需要患者配合 7 次屏气, 而 3D 成像只需 1 次屏气, 后续能任意方位重建。对于 2D 定位有难度的层面, 各向同性的 3D 数据可以任意重建, 如 R2CH 和 RVOT 层面, 3D 图像呈现三尖瓣、右室流出道时的方向角度要优于对应的 2D 图像。

单次屏气 3D bSSFP 序列采集时间短(本研究中, 全心覆盖采集的最短时间 18 s, 平均 23 s), 对于屏气能力良好的患者, 一次屏气就能实现心脏全容积的电影成像, 成像效率大大提高。

心脏处于人体中特定的轴向, 导致传统 2D 成像定位困难, 这也是 CMR 检查难以普及的原因之一, 特别是某些细小结构, 如主动脉冠状窦口, 随着心脏自身周期运动不断变换位置, 2D 定位时尤其困难。3D bSSFP 序列容积成像定位简单, 取横轴面, 上下覆盖整个心脏容积即可。另外, 3D 成像得到的是各向同性的 3D 空间数据, 后续可在工作站进行任意方位、任意层厚的无死角重建, 显示 2D 定位捕捉不到的结构^[8-11]。相比于 2D bSSFP 序列, 3D bSSFP 序列无需担心检查过程中切面的遗漏。

本文 20 例患者的 2D 图像总体质量优于 3D, 是由于单次屏气 3D bSSFP 序列的固有原因造成的。首先, 3D 全心容积采集会降低血液的流入增强效应, 在相对较短的 TR 下, 血液信号更容易被饱和, 从而降低血池和心肌的对比度; 其次, 由于需要加快速度进行单次屏气全心采集, 3D 序列使用很高的并行采集加速因子, 信噪比会有所降低。尽管如此, 剔除 3 例由于屏气配合不好的患者, 余下 17 例患者的 3D 电影图像均能满足诊断要求。

心脏功能评价是心脏检查的重要内容, 诸多疾病的发生、进展及治疗预后都与心脏功能的变化相

关^[1,12]。CMR 能无创在体定量评价心脏功能, 且较其他影像学方法更准确。本研究对比 2D 和 3D bSSFP 序列评价左室收缩功能的定量结果显示, 3D bSSFP 序列能准确评价左室 EF、SV、CO 和 CI。由于 3D 扫描覆盖整个心脏, Z 轴方向空间分辨率高, 连续无间隔, 所以 3D 扫描理论上更有利于心脏容积的测量, 这也有可能是 3D 序列测得的 EDV 和 ESV 结果和 2D 高度相关但较 2D 高的原因, 深层次的原因需要更大的样本量来支撑和验证。

本研究存在的局限性: ①当 2D 和 3D 序列比较结果存在差异时, 缺乏金标准; ②样本量少; ③未对右心功能及心脏的舒张功能进行比较; ④3D 序列一次屏气时间太长(23 s 左右), 部分患者不能耐受。在今后的研究工作中, 可适当增加样本量, 并尝试缩短成像或屏气时间进一步探讨 3D bSSFP 序列评估心脏功能的价值。

参考文献:

- [1] von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Schulz-Menger J. Role of cardiovascular magnetic resonance in the guidelines of the European Society of Cardiology[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2016, 18(1): 6.
- [2] 赵世华. 心脏 CT 和 MRI 如何选择[J]. 放射学实践, 2014, 29(7): 763-765.
- [3] Lei X, Liu H, Han Y, et al. Reference values of cardiac ventricular structure and function by steady-state free-precession MRI at 3.0T in healthy adult chinese volunteers[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45(6): 1684-1692.

- [4] 孙爱敏, 钟玉敏, 王谦, 等. 双时相 3D SSFP 成像技术在先天性心脏病诊断中的应用初探[J]. 放射学实践, 2014, 29(8): 860-863.
- [5] Jeong D, Schiebler ML, Lai P, et al. Single breath hold 3D cardiac cine MRI using kat-ARC: preliminary results at 1.5T[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2015, 31(4): 851-857.
- [6] Klinke V, Muzzarelli S, Lauriers N, et al. Quality assessment of cardiovascular magnetic resonance in the setting of the European CMR registry: description and validation of standardized criteria[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2013, 15(1): 55.
- [7] Hergan K, Schuster A, Fruhwald J, et al. Comparison of left and right ventricular volume measurement using the Simpson's method and the area length method[J]. Eur J Radiol, 2008, 65(2): 270-278.
- [8] Maffei E, Messalli G, Martini C, et al. Magnetic resonance assessment of left ventricular volumes and mass using a single-breath-hold 3D k-t BLAST cine b-SSFP in comparison with multiple-breath-hold 2D cine b-SSFP[J]. Insights Imaging, 2011, 2(1): 39-45.
- [9] Makowski MR, Wiethoff AJ, Jansen CH, et al. Single breath-hold assessment of cardiac function using an accelerated 3D single breath-hold acquisition technique—comparison of an intravascular and extravascular contrast agent[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2012, 14(1): 53.
- [10] Matsumoto H, Matsuda T, Miyamoto K, et al. Feasibility of free-breathing late gadolinium-enhanced cardiovascular MRI for assessment of myocardial infarction: navigator-gated versus single-shot imaging[J]. Int J Cardiol, 2013, 168(1): 94-99.
- [11] Wech T, Pickl W, Tran-Gia J, et al. Whole-heart cine MRI in a single breath-hold—a compressed sensing accelerated 3D acquisition technique for assessment of cardiac function[J]. Rofo, 2014, 186(1): 37-41.
- [12] 陈秀玉, 赵世华. 心血管磁共振临床应用及进展[J]. 磁共振成像, 2015, 6(2): 86-90.

(收稿日期: 2017-06-14 修回日期: 2017-09-01)

第九届中国肿瘤介入与微创治疗大会(CCIO2018)

由中国抗癌协会肿瘤介入专业委员会、中国医师协会介入医师分会肿瘤介入专业委员会、广东省医师协会介入医师分会、广东省医学会介入医学分会、国际冷冻治疗学会主办, 天津医科大学肿瘤医院、珠海市人民医院、北京大学第一医院、中国医学科学院肿瘤医院、复旦大学附属中山医院承办的“第九届中国肿瘤介入与微创治疗大会 CCIO 2018 暨 18 届中国肿瘤介入大会、第 19 届国际冷冻治疗大会、2018 广东省介入年会”定于 2018 年 3 月 30 日—4 月 1 日在广州举行。

肿瘤介入与微创治疗是近年来发展最为迅速, 从业人员最为广泛的领域。新技术层出不穷、新理念日益更新; 多个学科相互交叉、临床基础相互促进。本次会议的主题是: 技术临床·规范发展·合作提高。重点是: 推动肿瘤介入治疗的学科建设; 推动并落实卫生计生委、中华医学会、中国医师协会有关肿瘤微创与介入治疗技术的规范化管理; 总结相关领域的新知识、新理念、新数据、新经验; 推广肿瘤微创与介入治疗的新技术、新产品; 探讨微创与介入治疗技术在肿瘤多学科治疗中的现状与发展前景; 推动多中心 RCT 临床研究; 展示相关领域基础研究新进展。会议以单病种为中心设置专题讨论, 融合治疗技术、治疗理念、临床经验、基础研究于一体, 对肿瘤微创介入治疗的现状与发展热点进行新一轮的总结与探讨。

会议将邀请国内外从事肿瘤微创介入治疗的知名专家, 还邀请肿瘤流行病学、肿瘤外科、内科、放疗科、影像科、病理科及相关基础等不同学科的专家学者, 以单病种为中心, 就有关领域的前沿知识、新技术、新理念进行精彩讲座, 并邀请不同领域的专家参与讨论、点评。同时第 19 届国际冷冻治疗大会也同期举行, 是国际冷冻学会近十年来的又一次国际盛会。届时来自全球多个国家的肿瘤消融治疗专家同台竞技、交流经验, 同时也为展示我国肿瘤微创介入治疗的实力提供国际舞台。会议鼓励并推荐中青年医师积极参与, 对现有治疗模式提出新观点、新尝试; 鼓励采用视频或录像方式对典型或特殊病例的诊疗进行报告, 并开展专题讨论。

(丁香园)