

三维 MRI 结合仿真内窥镜技术在胎儿面部成像中的应用价值

汪春红, 李小宝, 眭贺, 包雨微, 李茜, 庞颖, 孙子燕

【摘要】 目的:探讨胎儿三维 MRI 结合仿真内窥镜重组(MRVE)技术在显示胎儿面部结构和畸形中的应用价值。**方法:**回顾性对 87 例胎儿的三维 MRI 数据采用半自动阈值 MRVE 技术进行图像后处理。胎儿 MRI 检查序列包括 SSFSE 和三维稳态进动快速成像(3D FIESTA)。应用 Bland-Altman 分析法对两位医师(A 和 B)在胎儿面部结构的图像重建中选择阈值的一致性进行比较。将超声、二维 MRI 和三维 MRI MRVE 的诊断结果与随访结果进行对比分析,并采用 ROC 曲线分析 3 种方法的诊断效能。**结果:**3D-FIESTA 图像上,羊水呈高信号,胎儿面部软组织、子宫壁和胎盘呈中等信号,组织对比度良好。两位医师确定的测量阈值分别为 797.7 ± 12.6 (95% 置信区间为 795.0~800.4) 和 796.9 ± 11.4 (95% 置信区间为 794.4~799.3),一致性好 ($P < 0.05$)。MRVE 可以从不同角度直观显示胎儿的面部结构。二维 MRI、US 和 MRVE 诊断胎儿面部异常的 ROC 曲线下面积(AUC)分别为 0.891 (95% 置信区间为 0.813~0.968)、0.930 (95% 置信区间为 0.861~0.999) 和 0.935 (95% 置信区间为 0.866~1.000),差异有统计学意义 ($P < 0.05$),以 MRVE 的诊断效能最高。**结论:**三维 MRI 仿真内窥镜处理技术在显示胎儿面部结构和畸形方面具有较高的应用价值。

【关键词】 胎儿; 畸形; 先天性疾病; 磁共振成像; 仿真内窥镜

【中图分类号】 R445.2; R715.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)12-1330-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.12.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of three dimensional MR virtual endoscopy reconstruction in displaying fetal face WANG Chun-hong, LI Xiao-bao, GUI He, et al. Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Guiyang Medical College, Guiyang 550004, China

【Abstract】 Objective: To investigate the ability of 3D MRI combined with 3D surface-rendered magnetic resonance virtual endoscopy (MRVE) technique in visualization of the normal and abnormal fetal face. **Methods:** 87 pregnant women were included in the study. Single-shot fast spin-echo sequence (SSFSE) and fast image employing steady-state acquisition (FIESTA) sequence was used for 2D and 3D MRI scanning respectively. Bland-Altman analysis was used to compare the consistence of the threshold value selected in reconstruction the fetal face between doctor A and B. According to the follow-up results ("gold standard"), The diagnostic results from 2D-MRI, US and MRVE images were compared, and receiver operation characteristic (ROC) curve was used to analyze the diagnostic efficacy. **Results:** On 3D-FIESTA images, the amniotic fluid presented as strikingly higher signal intensity than the fetal facial soft tissue, uterine wall and placenta, thus the tissue contrast was high. The mean threshold value in virtual endoscopy reconstruction was 797.7 ± 12.6 (95% CI: 795.0~800.4) for doctor A and 796.9 ± 11.4 (95% CI: 794.4~799.3) for doctor B. The area under ROC curve (AUC) of 2D-MRI, US and MRVE in diagnosing abnormality of fetal face was 0.891 (95% CI: 0.813~0.968), 0.930 (95% CI: 0.861~0.999) and 0.935 (95% CI: 0.866~1.000), respectively, there was statistically significant difference ($P < 0.05$), the diagnostic efficacy of MRVE was the largest. **Conclusion:** 3D MRI with MRVE technique can clearly display the structure of fetal face, and has great value in diagnosing the abnormality of fetal face.

【Key words】 Fetus; Abnormality; Congenital diseases; Magnetic resonance imaging; Virtual

作者单位: 550004 贵阳, 贵阳医学院附属医院影像科(汪春红, 李小宝, 眭贺); 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科(包雨微, 李茜, 庞颖, 孙子燕)

作者简介: 汪春红(1978—), 女, 湖北洪湖人, 硕士, 副主任技师, 主要从事 MRI 技术工作。

通讯作者: 孙子燕, E-mail: sunzy@tjh. tjmu. edu. cn

endoscopy

胎儿颜面部畸形是一种体表畸形,如能在产前准确诊断,对患儿及其家庭具有重要的意义。2D 和 3D 超声一直作为产前诊断的首选方法,但是具有一定的局限性,如软组织分辨率低、易受胎儿体位的影响等^[1-2]。近几年来胎儿 MRI 在国内已逐渐广泛应用,但大多数研究中采用的是二维 MRI 技术。随着 MR 并行采集技术和多通道线圈的使用,胎儿三维 MRI 以及三维后处理技术正逐步取代传统的多平面二维 MRI^[3-4]。MR 仿真内窥镜技术(magnetic resonance virtual endoscopy, MRVE)是以三维 MRI 影像数据为资源数据,以模拟光学内窥镜方式获得腔道内三维或动态三维解剖的一种后处理方法。目前 MRVE 作为一种无创性检查方法,几乎可应用于人体所有腔道器官的检查,如脑动脉瘤、胰胆管、结肠和侧脑室等^[5-9],但其在宫内胎儿方面的应用国内外目前文献报道较少^[10]。本研究中采用三维 MRI 联合 MRVE 后处理技术对 87 例正常或异常胎儿面部结构进行评价,旨在探讨这项技术的临床应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

搜集在本院行产前超声检查且疑有胎儿先天畸形的 87 例孕妇的 MRI 检查资料,年龄 19~42 岁,平均 27.2 岁;孕周 19~36 周,平均 28.5 周。经产后随访证实,共 26 例患儿有面部畸形。所有胎儿检查均得到孕妇及家属的知情同意,并签署知情同意书。

2. 超声检查方法

二维及三维超声检查使用 Siemens Sequoia 521 型彩色超声多普勒诊断系统,启动胎儿保护键,二维超声发射能量小于 100 mW/cm²,探头频率为 3.5~5.0 MHz。87 例胎儿在超声检查怀疑有异常后,在同一天内由一位超声诊断主任医师进行复查并确认诊断,并建议进行 MRI 检查。

3. MRI 扫描方法

MRI 检查使用 GE Signa 1.5T 超导型 MR 仪,检查前先做好解释工作,消除孕妇的紧张情绪,未使用镇静剂及腹带。孕妇取仰卧位,平静呼吸,采用 8 通道相控阵体部线圈(Torso 线圈),在对孕妇腹部进行三个平面的定位像扫描后,先采用单次激发快速自旋回波序列(single shot fast spin echo, SSFSE)进行胎儿颅脑和胸腹部的横轴面、冠状面和矢状面扫描,扫描参数:TR 2100 ms, TE 90 ms, 矩阵 224×224, 视野 44 cm×44 cm, 激励次数 0.5, 带宽 62.5 kHz。层厚及层距根据胎儿的孕周和大小来决定。

胎儿三维成像使用三维稳态进动快速成像(three dimensional fast image employing steady-state acquisition, 3D-FIESTA)序列,并使用阵列空间敏感性编码技术(array spatial sensitivity encoding technique, ASSET)技术(即并行采集技术,加速因子为 2)和零填充内插处理技术(zero-fill interpolation processing, ZIP),扫描参数:TR 3.0 ms, TE 1.4 ms, 矩阵 224×224, 视野 36 cm×36 cm~40 cm×40 cm, 激励次数 0.5, 带宽 62.5 kHz, 翻转角 55°。3D-MRI 平均扫描时间为 14.5 s。

4. 图像后处理

将扫描的原始数据传输至 GE ADW 4.2 工作站,使用 Navigator 3.0 软件进行三维图像后处理。MRVE 的后处理操作分别由两位医师(分别有 10 年和 8 年放射诊断工作经验)独立完成。首先将原始图像叠加,产生一个由四帧图像组成的多平面重组图像的界面,从而可以在垂直相交的三个平面上同时观察到内窥镜的方位点和投射角度。本研究采用半自动阈值方法,即在原始采集图像上选择胎儿体表软组织与羊水的分界区,手工勾画一个圆形兴趣区(图 1),获取 ROI 内所有体素的信号强度的组方图。仿真内窥镜阈值定为羊水体素中的最小信号强度值。在 navigator 界面中选择相应的阈值后,即可获得胎儿面部及子宫内壁和胎盘的立体图像。

胎儿面部正常结构和畸形的诊断由两位儿科放射诊断副主任医师以上年资的医师独立观察 2D-MRI、3D-MRI 的原始图像结合 MRVE 作出诊断,诊断不一致时经协商达成一致意见。

5. 统计学处理

使用 GraphPad Prism 5 和 SPSS 13.0 软件进行统计学分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。使用 Bland-Altman 图对两位医师进行仿真内窥镜成像时选取的阈值进行一致性分析。使用 ROC 曲线分析超声、二维 MRI 和 MRVE 图像对胎儿面部畸形的诊断效能。将两位医师基于超声和 MRI 对胎儿面部形态和结构的诊断结果划分为 5 个等级:0 分,肯定为正常结构;1 分,可能是正常结构;2 分,不确定;3 分,可能有畸形;4 分,肯定有畸形或异常病变。后 4 个等级为诊断节点,第一个为阴性诊断结果。采用四格表卡方检验,计算诊断的敏感度和特异度,并绘制受试者工作特征(receiver operation characteristic, ROC)曲线,计算 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC),当 $AUC>0.9$ 时提示诊断准确性较高,当 AUC 为 0.7~0.9 时提示诊断准确性中等,当 $AUC<0.7$ 时提示诊

断准确度较低,当 AUC 接近 0.5 时则认为该诊断无临床意义^[11]。

结 果

FIESTA 序列原始图像上,羊水呈高信号,胎儿面部、子宫壁和胎盘软组织呈中等信号,对比良好(图 1)。胎儿面部结构仿真内窥镜重建的信号强度阈值选择:医师 A 为 764~816,均值为 797.7 ± 12.6 ,95% 置信区间为 795.0~800.4;医师 B 为 761~819,均值为 796.9 ± 11.4 ,95% 置信区间为 794.4~799.3。Bland-Altman 分析图显示两位医师测量阈值的差值平均为 0.885,一致性界限 95% 置信区间为 -15.165~16.935(图 2)。

随访结果显示共 26 例患儿有 28 处面部畸形或异常病变,胎儿双侧唇裂、牙槽弓裂 3 例,单侧唇裂 14 例、颌面部肿块 3 例(畸胎瘤 1 例,寄生胎 2 例)、面部赘生物 1 例、小颌畸形 6 例、喙鼻畸形 1 例,其中 2 例为多发畸形。MRVE 技术可以多角度显示胎儿面部的解剖学特征(图 3),对胎儿面部畸形如唇腭裂等显示清晰,两位医师的诊断较明确(图 4)。

超声、二维 MRI 和 MRVE 对胎儿颅面部结构的诊断结果见表 1。

表 1 三种图像对胎儿面部结构的诊断结果 (例)

检 查 方 法	阅片结果				
	肯定 正常 (0 分)	可能 正常 (1 分)	不 确 定 (2 分)	可能 畸形 (3 分)	肯定 畸形 (4 分)
US	59	3	3	4	18
二维 MRI	53	5	9	10	10
MRVE	56	1	5	4	21

三者间的差异有统计学意义($\chi^2 = 4.13, P < 0.05$)。三种方法诊断胎儿颅面部结构的 ROC 曲线见(图 5),AUC 值分别为 0.891(95% 置信区间为

0.813~0.968)、0.930(95% 置信区间为 0.861~0.999)和 0.935,95% 置信区间为 0.866~1.000,超声和 MRVE 对显示胎儿面部结构的准确性较高。

讨 论

获取清晰的胎儿三维 MRVE 图像的前提是图像采集过程中保持胎儿体表结构的空间连贯性,无胎动的影响。因此需要使用快速 3D 序列来缩短图像采集时间,达到“冻结”胎动的目的。3D-FIESTA 序列是一种快速稳态采集技术,能产生高信噪比的图像。该脉冲序列利用稳态梯度在每个 TR 间期内使横向磁化重聚。TR 时间短,信号强度与 TR 无关而与 T_2/T_1 有关^[12]。因此,该序列脉冲能增强 T_2/T_1 值高的组织(如羊水)的自旋时间,同时抑制 T_2/T_1 值低的组织(如胎儿体表软组织和胎盘)的信号,其成像效果就是使羊水显示为高亮信号,而胎儿体表和胎盘显示为中等信号,从而使羊水、胎儿体表软组织和胎盘之间形成显著的信号差异,提高了图像的对比度,保证所形成的三维图像边缘清晰锐利。笔者所采用的 3D-FIESTA 技术结合了并行采集技术(ASSET),使采图像集时间较短($<20s$),孕妇仅需憋气 1 次即可完成全部容积数据的采集,受胎动影响较小,并有较高的组织对比度和信号噪声比,从而能获得满意的 MRVE 图像。

本研究显示,在羊水充足的情况下,3D FIESTA 序列重组的 MRVE 图像可清晰直观地显示胎儿头面部的结构等,不受面部复杂结构及曲率变化的影响,获得类似于“胎儿照片”的整体印象观,可以把感兴趣区尤其是复杂的体表畸形旋转到最佳观察角度,不需采集标准的胎儿矢状面、冠状面和横轴面图像,减少扫描时间,从而减少胎动对图像的干扰。MRVE 是一种最早应用于血管成像的数据处理方法,主要技术原理是设置模拟光源(仿真成像)观察高、低信号分界处偏高

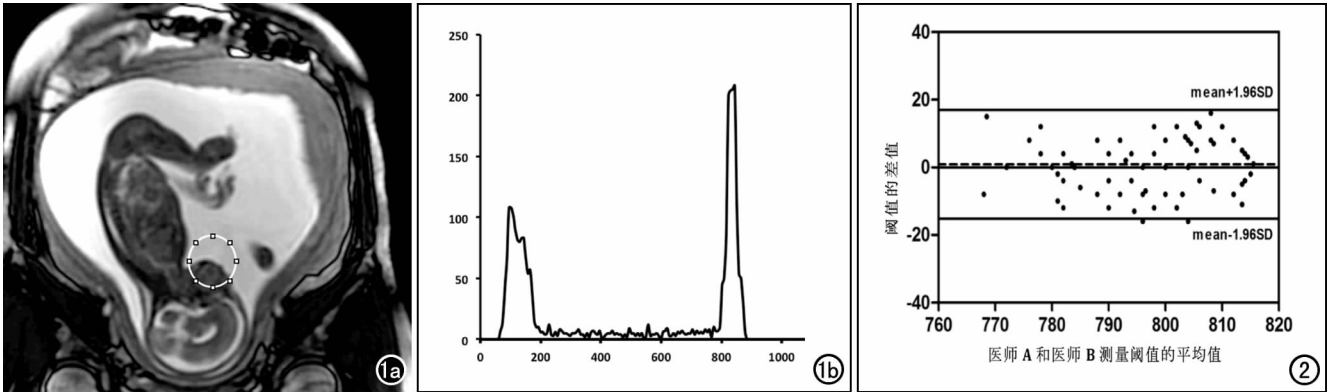


图 1 MR 仿真内窥镜半自动阈值测量。a) 在 3D-FIESTA 图像上,在胎儿面部与羊水的交界区勾画圆形 ROI; b) ROI 内信号强度的组方图,阈值定义为羊水信号强度的最小值(虚线所示)。图 2 两位医师测量阈值的 Bland-Altman 分析图。两者间测量阈值的平均差值为 0.885,差值的一致性界限 95% 置信区间为 -15.165~16.935,两者的测量差值大部分位于一致性区间内($\text{mean} \pm 1.96SD$)。

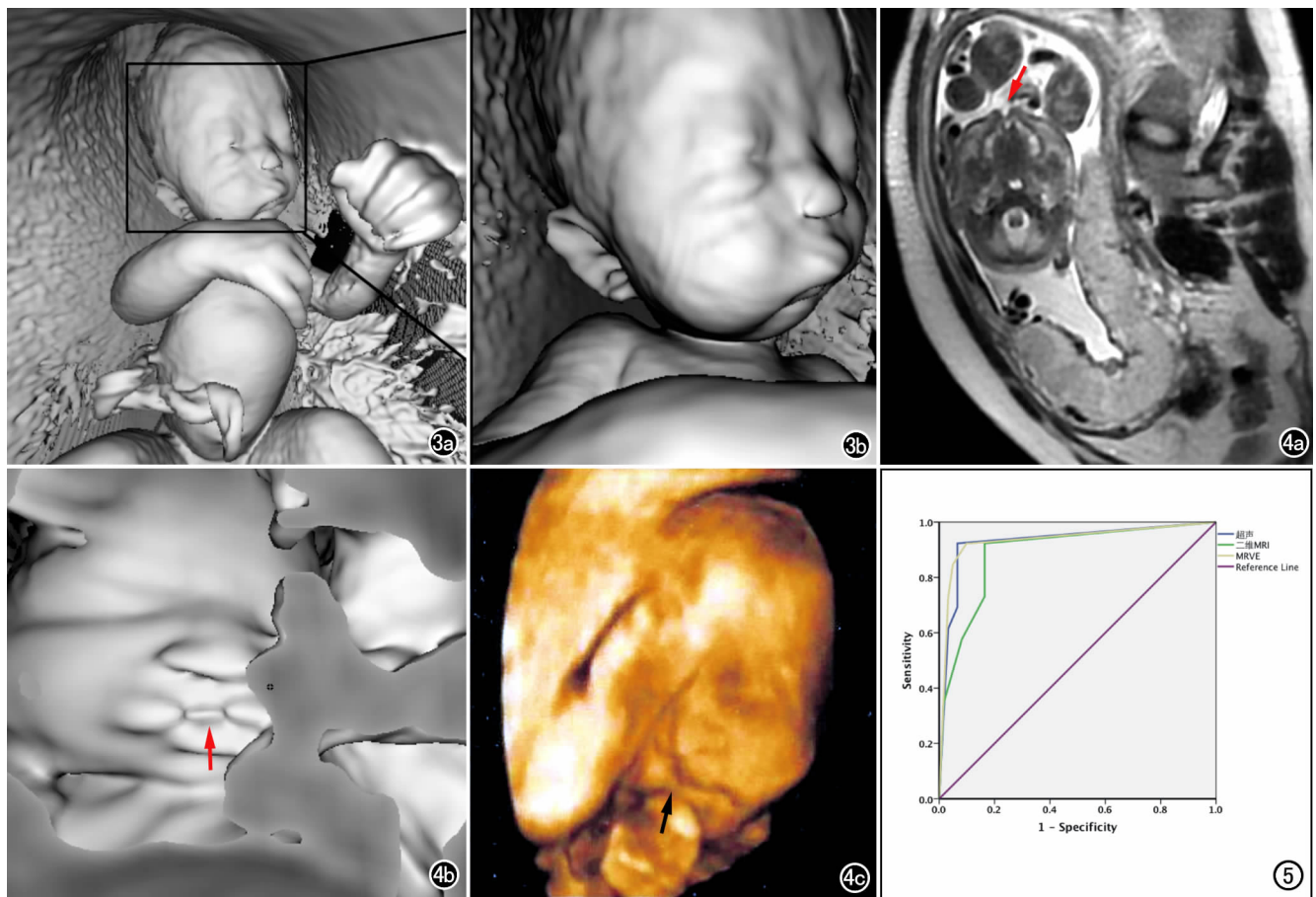


图 3 正常胎儿面部。a)MRVE 清晰显示胎儿面部形态;b)为图 a 的局部放大图。图 4 胎儿唇裂,超声和 MRI 均显示胎儿上唇裂隙样改变(箭)。a) 3D US; b) 2D MRI; c) MRVE 图像。图 5 2D-MRI、超声和 MRVE 图像诊断胎儿面部异常的 ROC 曲线,AUC 值分别为 0.891、0.930 和 0.935,以 MRVE 图像的诊断效能最大。

信号区侧边缘形态,从不同的方向和角度对前方的结构进行图像重建。每一帧图像相当于通过一个四棱锥体视野观察到的景象,观察点相当于四棱锥体的顶点,四棱锥体的底即为视窗面积,视角可以在 $30^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 内进行调整,视野的方向则可在三维空间自由旋转。

胎儿 MRVE 技术的应用也存在一些不足之处。首先,清晰的 MRVE 图像的获取需要胎儿体表周围有一定量的羊水衬托,而羊水量过多、胎儿运动幅度较大时,易导致明显的运动伪影;其次 MRVE 是一种后处理技术,受到操作者技术的限制,不同的视角和阈值的选择都会影响到图像的质量。胎儿面部畸形最常见的是唇裂,而唇裂往往合并有更严重的腭裂畸形,超声和二维 MRI 均能有效地显示这两种畸形,而 MRVE 无法显示腭裂,因此,MRVE 诊断腭裂的价值有限。

综上所述,利用快速 3D-FIESTA 采集的高分辨率三维图像,结合 MRVE 重建图像,可以多角度观察胎儿面部结构,能三维立体的显示胎儿面部的空间关系,对于显示胎儿面部的正常结构和畸形有重要价值,可以为临床产科手术或产后手术提供重要信息,有广

阔的临床应用空间。

参考文献:

- [1] Merz E, Abramovic J, Baba K, et al. 3D imaging of the fetal face—recommendations from the International 3D focus group[J]. *Ultraschall Med*, 33(2):175-182.
- [2] 李胜利. 胎儿畸形产前超声诊断学[M]. 北京:人民军医出版社, 2006:418-420.
- [3] 孙子燕,夏黎明,庞颖,等. 胎儿三维磁共振成像技术的初步应用[J]. *放射学实践*, 2011, 25(9):996-999.
- [4] 孙子燕,李茜,庞颖,等. 胎儿唇腭裂进行的二维和三维 MRI 诊断[J]. *临床口腔医学杂志*, 2017, 33(10):603-606.
- [5] Azuma T, Yamaguchi K, Iida T, et al. MR virtual endoscopy for biliary tract and pancreatic duct[J]. *Magn Reson Med Sci*, 2007, 6(4):249-257.
- [6] Incesu L, Aslan K, Polat AV, et al. Intravascular virtual MR endoscopy evaluation of cerebral aneurysms[J]. *Turk Neurosurg*, 24(2):221-227.
- [7] Neri E, Boraschi P, Caramella D, et al. MR virtual endoscopy of the upper urinary tract[J]. *AJR*, 2000, 175(6):1697-1702.
- [8] Nowe V, Michiels JL, Salgado R, et al. High-resolution virtual MR endoscopy of the cerebellopontine angle[J]. *AJR*, 2004, 182(2):379-384.

[9] Song HT, Huh YM, Kim S, et al. The usefulness of virtual MR arthroscopy as an adjunct to conventional MR arthrography in detecting anterior labral lesions of the shoulder[J]. AJR, 2009, 192(4):149-155.

[10] Werner H, Lopes dos Santos JR, Fontes R, et al. Virtual bronchoscopy for evaluating cervical tumors of the fetus[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 41(1):90-94.

[11] 宋花玲, 贺佳, 虞慧婷, 等. 应用 ROC 曲线下面积对两相关诊断试验进行评价和比较[J]. 第二军医大学学报, 2006, 27(5):562-563.

[12] 龚良庚, 刘元元, 肖新兰, 等. 3D-FIESTA 及 MRVE 在血管压迫性三叉神经痛及面肌痉挛的应用价值[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24(3):350-353.

(收稿日期:2018-11-01)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字,节省篇幅,使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列),以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

- ADC (apparent diffusion coefficient):表观扩散系数
- ALT:丙氨酸转氨酶;AST:天冬氨酸转氨酶
- BF (blood flow):血流量
- BOLD (blood oxygenation level dependent):血氧水平依赖
- BV (blood volume):血容量
- b:扩散梯度因子
- CAG (coronary angiography):冠状动脉造影
- CPR (curve planar reformation):曲面重组
- CR(computed radiography):计算机 X 线摄影术
- CT (computed tomography):计算机体层成像
- CTA (computed tomography angiography):CT 血管成像
- CTPI(CT perfusion imaging):CT 灌注成像
- DICOM (digital imaging and communication in medicine):医学数字成像和传输
- DR(digital radiography):数字化 X 线摄影术
- DSA (digital subtraction angiography):数字减影血管造影
- DWI (diffusion weighted imaging):扩散加权成像
- DTI (diffusion tensor imaging):扩散张量成像
- ECG (electrocardiography):心电图
- EPI (echo planar imaging):回波平面成像
- ERCP(endoscopic retrograde cholangiopancreatography):经内镜逆行胰胆管造影术
- ETL (echo train length):回波链长度
- FLAIR (fluid attenuation inversion recovery):液体衰减反转恢复
- FLASH (fast low angel shot):快速小角度激发
- FOV (field of view):视野
- FSE (fast spin echo):快速自旋回波
- fMRI (functional magnetic resonance imaging):功能磁共振成像
- IR (inversion recovery):反转恢复
- Gd-DTPA:钆喷替酸葡甲胺
- GRE (gradient echo):梯度回波
- HE 染色:苏木素-伊红染色
- HRCT(high resolution CT):高分辨率 CT
- MPR (multi-planar reformation):多平面重组

- MIP (maximum intensity projection):最大密(强)度投影
- MinIP (minimum intensity projection):最小密(强)度投影
- MRA (magnetic resonance angiography):磁共振血管成像
- MRI (magnetic resonance imaging):磁共振成像
- MRS (magnetic resonance spectroscopy):磁共振波谱学
- MRCP(magnetic resonance cholangiopancreatography):磁共振胰胆管成像
- MSCT (multi-slice spiral CT):多层螺旋 CT
- MTT (mean transit time):平均通过时间
- NEX (number of excitation):激励次数
- PACS (picture archiving and communication system):图像存储与传输系统
- PC (phase contrast):相位对比法
- PET (positron emission tomography):正电子发射计算机体层成像
- PS (surface permeability):表面通透性
- ROC 曲线(receiver operating characteristic curve):受试者操作特征曲线
- SPECT (single photon emission computed tomography):单光子发射计算机体层摄影术
- PWI (perfusion weighted imaging):灌注加权成像
- ROI (region of interest):兴趣区
- SE (spin echo):自旋回波
- STIR(short time inversion recovery):短时反转恢复
- TACE(transcatheter arterial chemoembolization):经导管动脉化疗栓塞术
- T₁ WI (T₁ weighted image):T₁ 加权像
- T₂ WI (T₂ weighted image):T₂ 加权像
- TE (time of echo):回波时间
- TI (time of inversion):反转时间
- TR (time of repetition):重复时间
- TOF (time of flight):时间飞跃法
- TSE (turbo spin echo):快速自旋回波
- VR (volume rendering):容积再现
- WHO (World Health Organization):世界卫生组织
- NAA(N-acetylaspartate):N-乙酰天门冬氨酸
- Cho(choline):胆碱
- Cr(creatine):肌酸

(本刊编辑部)