

基于3D区域增长的磁共振水脂分离方法

张晶¹,刁文超²,程军营³,艾雪强⁴,刘鏖水²

1.泰安市中心医院彩超室,山东 泰安 271000; 2.中山大学肿瘤防治中心放疗科,广东 广州 510060; 3.电子科技大学自动化工程学院,四川 成都 611731; 4.广东省第二中医院放射科,广东 广州 510095

【摘要】目的:为提高磁共振水脂分离结果的准确性,提出一种基于3D区域增长的水脂分离方法,使得水脂分离结果更稳定和准确。**方法:**利用相位平滑性假设,引入图像中层与层之间的相似性信息,提高相位估计的准确性,并且在最后通过3D迭代平滑操作,获得最终的相位图,利用最小二乘法得到水脂分离结果。**结果:**采集4名志愿者腹部数据,在与基于2D区域增长方法的对比实验中,本方法能够准确分离出水 and 脂肪,而基于2D区域增长的方法发生了不同程度的水脂分离错误。应用本方法对4组数据共100层进行水脂分离实验,在100层的水脂分离结果中均无分离错误。**结论:**基于3D区域增长算法能明显改善水脂分离结果的准确性,可为临床诊断提供更准确的辅助信息。

【关键词】磁共振成像;3D区域增长法;Dixon技术;水脂分离

【中图分类号】R816.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)10-1013-05

Three-dimensional region growing method-based water-fat separation in magnetic resonance image

ZHANG Jin¹, DIAO Wenchao², CHENG Junying³, AI Xueqiang⁴, LIU Biaoshui²

1. B-Ultrasound Room, Tai'an City Central Hospital, Tai'an 271000, China; 2. Department of Radiotherapy, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China; 3. School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China; 4. Department of Radiology, Guangdong Second Traditional Chinese Medical Hospital, Guangzhou 510095, China

Abstract: Objective To achieve a stable and accurate water-fat separation by a method of water-fat separation based on three-dimensional (3D) region growing method. **Methods** We assumed that the phase was smoothness in the phase map, and used the information of neighborhood pixels in different slices to improve the accuracy of the phase estimation. The final phase map was obtained by 3D iterative smoothing, and the water-fat separation was achieved with the least squares method. **Results** The abdomen data of 4 volunteers were collected. The proposed method obtained an accurate water-fat separation which was better than that obtained with two-dimensional region growing method. Some errors were found in the results obtained with two-dimensional region growing method, however, the proposed method for 4 groups of data (100 slices) didn't produced any errors in final water-fat separation. **Conclusion** The 3D regional growth algorithm improves the accuracy of water-fat separation, providing more accurate information for the clinical diagnosis.

Keywords: magnetic resonance imaging; three-dimensional region growing method; Dixon technique; water-fat separation

前言

由于脂肪组织短 T_1 长 T_2 的特性,导致在磁共振图像中脂肪信号都是高亮信号。高亮的脂肪信号在

磁共振图像中可能会掩盖一些潜在的病变,进而影响临床医生对疾病的诊断,因此在磁共振成像中抑制脂肪信号具有较大的临床意义^[1]。现有的磁共振脂肪抑制技术主要有反转恢复技术^[2]、频率选择饱和技术^[3]、Dixon水脂分离技术^[4]。Dixon水脂分离技术不仅能达到抑制脂肪的效果,同时还能得到脂肪图,为与脂肪相关的疾病提供额外信息^[5],而且相比其他两种技术,其对主磁场的均匀性更不敏感,因此在临床上有很大的应用前景。

Dixon水脂分离技术主要分3大类:单点^[6],两

【收稿日期】2017-05-14

【作者简介】张晶,硕士,主治医师,研究方向:磁共振和超声成像,E-mail: 515377242@qq.com

【通信作者】刘鏖水,硕士,研究方向:磁共振成像技术,E-mail: liubi-aoshui@163.com

点^[7-9]及多点(3点及以上)^[10]。其中两点 Dixon 水脂分离技术由于水脂分离效果好,扫描时间短,从而在临床中有较大的应用。现有的两点 Dixon 水脂分离技术在处理过程中主要利用一个假设条件:因主磁场的不均匀性导致的相位变化是平滑的,即假设相邻像素点之间相位变化是平滑的。因此在基于区域增长算法的两点 Dixon 水脂分离方法中,噪声、伪影或者运动等对其水脂分离结果的影响很大,很容易发生水脂分离错误^[11]。这是因为区域增长算法是根据某种相似性度量准则对某区域内像素点进行分类的方法,当存在噪声或者伪影时,区域增长算法容易发生误差传播和累积,使其性能大大降低,导致像素点归类发生错误,影响相位估计的准确性,从而使得最终的水脂分离结果发生错误。

针对这个问题,为提高最终水脂分离结果的准确性,本文针对区域增长算法进行部分改进。在最开始的2D区域增长中,只考虑了相同层面内像素点相位的平滑性,而忽视了图像中层与层之间的信息。在实际中,由于同一组织器官可能处于不同的层面中,所以层与层之间像素点的相位变化也应该具有平滑性。同时,引入迭代平滑操作^[12],使最终的相位估计结果更加稳定和准确,进而得到准确的水脂分离结果。本文通过与基于2D区域增长水脂分离方法的水脂分离对比实验和大量真实数据的水脂分离实验,验证了3D区域增长算法在两点 Dixon 水脂分离技术上的优势,实验结果表明基于3D区域增长算法的两点 Dixon 水脂分离技术得到的水脂分离结果更加准确和稳定。

1 方法

1.1 两点 Dixon 水脂分离方法基本原理

由于氢质子在脂肪和水中所处的分子环境有所不同,导致其在相同环境下受到的局部场强不同,从而使得脂肪和水的核磁共振频率不同,这个效应被称为化学位移效应^[13]。化学位移效应是 Dixon 水脂分离方法的理论基础。在两点 Dixon 水脂分离方法中,一般通过调节回波 TE 时间,使得水脂磁化矢量的夹角 θ 在两个回波中有所不同,然后经过一系列后处理分离出水和脂肪。信号模型如图 1。

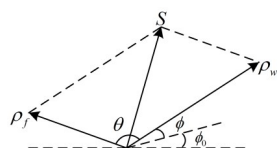


图1 信号模型

Fig.1 Signal model

图中 S 表示采集的信号,即水脂信号的矢量和, θ 表示水脂磁化矢量的夹角, ϕ_0 表示系统相位误差, ϕ 表示场的不均匀性导致的相位误差。

两点 Dixon 水脂分离技术数学模型^[8]如下:

$$S_1 = (\rho_w + \delta_1 \rho_f e^{i\theta_1}) P_1 \quad (1)$$

$$S_2 = (\rho_w + \delta_2 \rho_f e^{i\theta_2}) P_1 P \quad (2)$$

式中, S_1 和 S_2 分别表示两个回波时间采集的图像信号, ρ_w 和 ρ_f 表示水信号和脂肪信号的幅值。 (δ_1, δ_2) 和 (θ_1, θ_2) 分别代表在回波时间 TE_1 和 TE_2 下对应的幅度衰减因子和相位夹角^[14],其中 TE 代表回波时间。 P_1 代表系统的相位误差向量 $e^{i\phi_0}$, P 代表第 2 个回波相对第 1 个回波累积的额外相位差向量 $e^{i\phi}$ 。

在等式(1)和(2)中,如果要求出水信号和脂肪信号,需要先求出相位差向量 P 。等式(1)和(2)经过一系列复杂的数学公式求解,可以构建两个向量,分别为 A 和 B ,而 A 和 B 中有一个正确的向量与向量 P 同方向,即找出的正确向量就是相位差向量 P 。因此需要利用相位平滑的假设条件,找出正确的向量,而本文正是利用三维区域增长算法确定 P 的正确解,向量 A 和 B 的求解过程参考文献[15]。

1.2 基于3D区域增长的两点 Dixon 磁共振水脂分离方法

通过上节求得 P 的可能解后,本文利用改进的3D区域增长算法,利用 P 的相位变化是平滑的假设,确定出 P 的正确解。

3D区域增长算法主要步骤如下:

在开始之前,预先定义36个空像素栈:其中 0° 到 40° 以 2° 为步长划分为20个像素栈; 40° 到 60° 以 5° 为步长划分为4个像素栈; 60° 到 180° 以 10° 为步长划分为12个像素栈。像素栈的优先级从1到36依次下降,优先级高的像素栈优先访问。像素点的堆栈标准如下:

$$\psi_1 = A * \text{conj}(P_s) \quad (3)$$

$$\psi_2 = B * \text{conj}(P_s) \quad (4)$$

式中, A 和 B 代表误差向量 P 的两个可能解。 P_s 代表以当前像素点为中心的3D块内已经确定的像素点的向量矢量和。3D块的大小为 $5 \times 5 \times 3$ (块的大小由经验值确定), conj 表示对向量求共轭。等式(3)和(4)决定像素点堆入哪个像素栈,像素点出栈规则遵循先进先出的原则。

(1)确定种子点。在3D图像数据中,选取中间一层,因为中间一层一般认为图像质量比两端的要好。从该层已经计算好的向量图 A 中选取一个全局

梯度最小的点作为初始种子点。然后对初始种子点赋值为A,并把种子点放入优先级最高的像素栈中。全局梯度计算公式如下:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

G_x 和 G_y 分别表示场向量图A在X方向和Y方向上的相位梯度。

(2)像素点堆栈。访问当前弹出像素点(第一次为种子点)周围的像素点,分别为当前层面上的四邻域像素点以及前后层面上相邻的像素点。随后利用等式(3)和(4)计算出向量夹角值,取较小的那个作为当前被访问像素点堆栈标准,即其值为多少,则放进前面按值分好的像素栈中。已访问的像素点将不会再被访问。

(3)像素点出栈及像素点值的确定。从优先级最高的非空像素栈中弹出1个像素点,利用等式(3)和(4)确定弹出像素点的正确值。已确定的像素点在后续处理中不再被访问。

随后重复步骤(2)和步骤(3),直至3D图像数据中的所有像素点的值被确定后,停止区域增长算法。在步骤(2)中,堆栈规则为取 ψ_1 、 ψ_2 中较小的值,按其值大小放入对应的像素栈中,例如 $\psi_1 = 2^\circ$, $\psi_2 = 20^\circ$, 则取 ψ_1 为标准,放入预先设定为 2° 的像素栈中。步骤(3)中当前弹出像素点值的确定,利用等式(3)和(4),计算当前像素点 ψ_1 、 ψ_2 的值,如果 ψ_2 大于 ψ_1 , 则该位置像素点的向量值确定为向量A,反之确定为向量B。

磁共振图像水脂分离过程如下:

首先对3D图像数据根据1.1节的公式求出每个像素点的可能值,即3D向量数据A和B。随即运用上述区域增长算法,求得3D场向量图P。为降低误差累积导致的相位估计错误,提高水脂分离的准确性,再对P做迭代平滑操作,得到校正后的3D场向量图P。

迭代平滑操作如下:用3D均值滤波对场向量图P进行平滑操作,平滑窗的大小为 $11 \times 11 \times 5$ 。平滑后得到的场向量图为 P' , 然后对 P' 进行校正。校正过程为:用向量 $P'(x, y, z)$ 分别与向量 $A(x, y, z)$ 、 $B(x, y, z)$ 求夹角,得到两个夹角值 φ_1 和 φ_2 , 如果 φ_1 小于 φ_2 , 则 $P'(x, y, z)$ 处的值校正为 $A(x, y, z)$, 反之校正为 $B(x, y, z)$ 。如果 φ_1 和 φ_2 的值相等, 则 $P'(x, y, z)$ 的值保持不变, 其中 (x, y, z) 为图像数据的坐标。重复平滑和校正操作20次(经验值)得到校正后的场向量图P, 随后把P代回等式(1)和(2), 利用最小二乘法, 解出水信号和脂肪信号, 即达到水脂分离的目的。

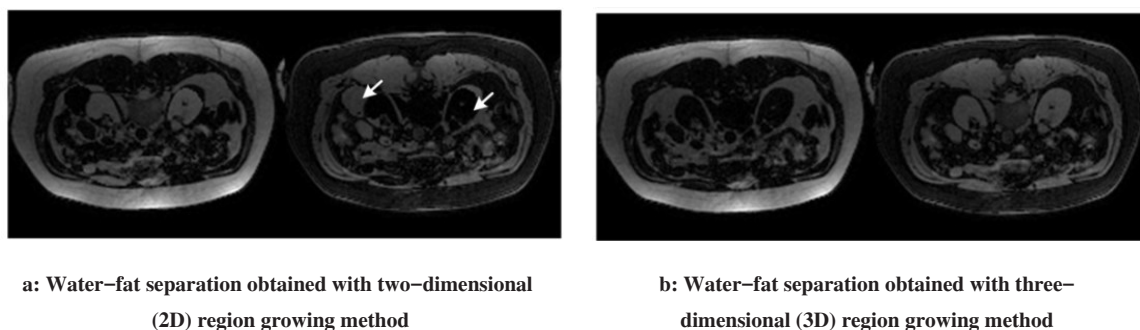
2 结果

2.1 实验数据

实验所用数据采集自飞利浦3T磁共振设备,为4个志愿者的腹部数据。采集序列:GRE序列,回波时间 TE_1/TE_2 : 1.42 ms/3.02 ms, 翻转角: 10° , 采集矩阵 128×104 。实验平台为HP EliteDesk8(intel i7-3.6 GHz), 算法利用Matlab2014编译实现。

2.2 实验结果与分析

为对比本文方法和2D区域增长算法在磁共振图像上水脂分离的效果,对两种方法分别进行了水脂分离实验。实验数据为两名志愿者的腹部数据。图2和图3分别为第1位和第2位志愿者腹部数据水脂分离结果,图2a和图3a为应用2D区域增长的水脂分离结果,图2b和图3b为本文方法的水脂分离结果。图中两个白色箭头所指处有明显的水脂分离错误。图2和图3的左边图像均为脂肪图,右边图像均为水图。在实验中对两组腹部数据,总共50层,利用本文方法进行了水脂分离实验。在50层的水脂分离结果中,本文方法均没有发生明显的水脂分离错误。实验结果说明本文提出的方法比2D区域增长算法的水脂分离效果更好,能够得到准确的水脂分离结果。



Blank arrows indicated different errors of water-fat separation.

图2 志愿者1腹部水脂分离结果

Fig.2 Water-fat separation in abdomen of volunteer 1

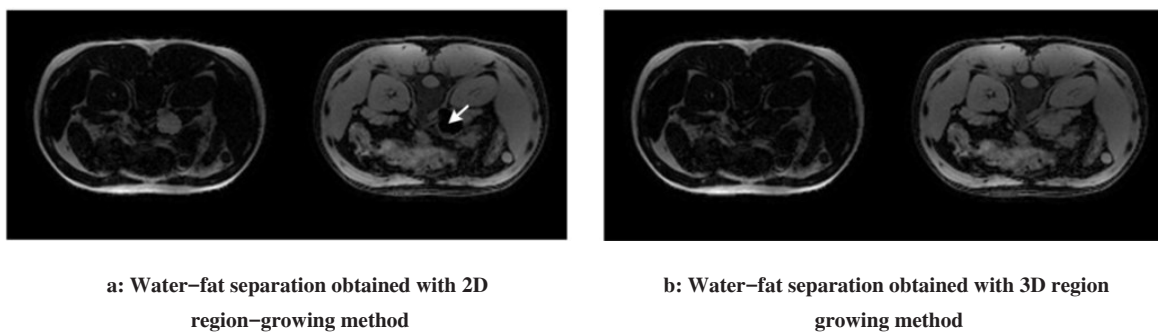
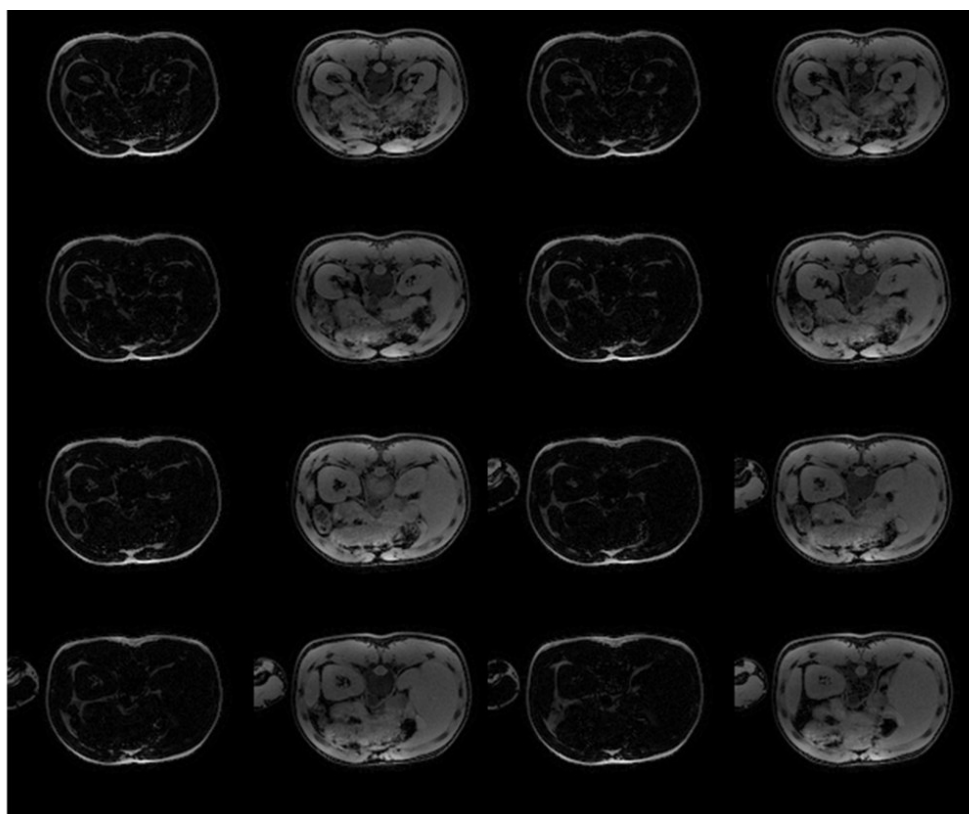


图3 志愿者2腹部水脂分离结果
Fig.3 Water-fat separation in abdomen of volunteer 2

为验证本文提出的方法水脂分离结果的准确性,对采集自另外两名志愿者的腹部数据进行水脂分离实验,两组数据总共50层。图4为第3位志愿者腹部数据水脂分离结果,在实验中所采集的25层图像进行水脂分离实验,所有层面水脂分离结果均正确,无明显分离错误。图4显示的是第6层到第13

层的结果。图5为第4位志愿者腹部数据水脂分离结果,采集层数为25层,在实验中所有层面的水脂分离结果无分离错误,图中显示的是第12层到19层的水脂分离结果。图4和图5中,所显示的8层图像按顺序依次排列,第1和第3列为脂肪图,第2和第4列为水图。

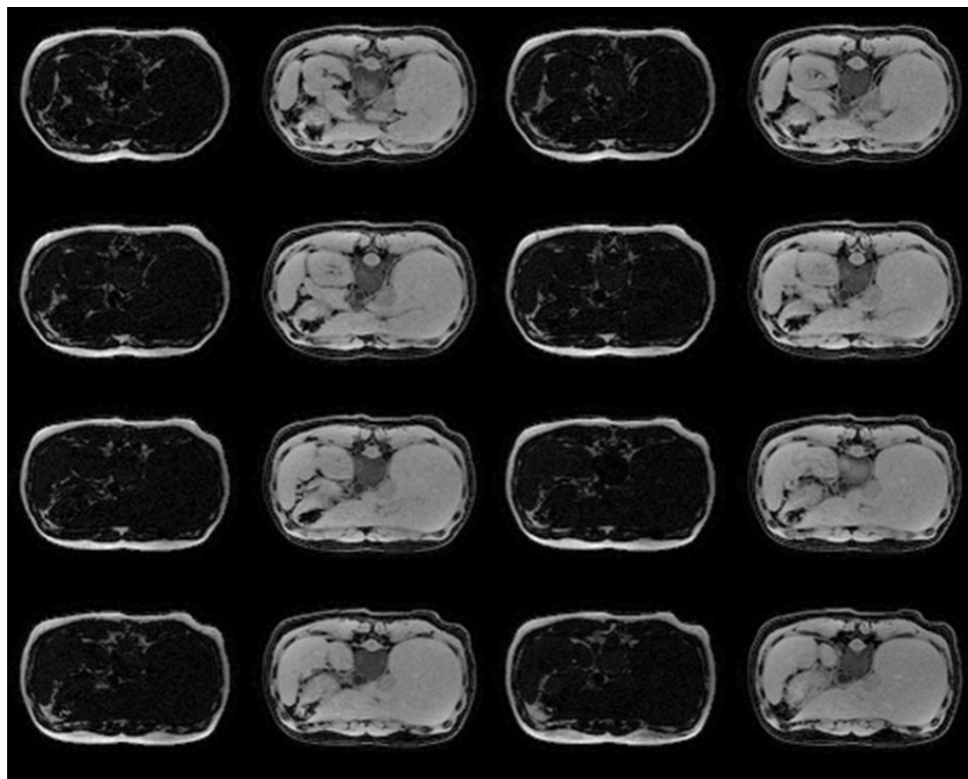


The water-fat separations are from slice 6 to 13; the first column and the third column are fat images, and the second column and the fourth column are water images.

图4 志愿者3的3D区域增长多层水脂分离结果
Fig.4 3D region growing method-based multi-slice water-fat separation of volunteer 3

3 结论

在本文方法与2D区域增长的水脂分离结果对比试验中,针对来自两名不同志愿者的数据进行了水



The water-fat separations are from slice 12 to 19; the first column and the third column are fat images, and the second column and the fourth column are water images.

图5 志愿者4的3D区域增长多层水脂分离结果

Fig.5 3D region growing method-based multi-slice water-fat separation of volunteer 4

脂分离实验,实验结果表明在解剖结构较复杂、同一层有多种器官处,2D区域增长的水脂分离结果都有错误发生,本文提出的方法能够得到准确的水脂分离结果。针对来自于4名不同志愿者,总共100层的腹部数据,本文提出的方法水脂分离结果均比较准确,没有水脂分离错误发生。在3D解剖结构上,相同器官能够存在于不同的层面中,因此3D数据能够提供更多的可利用信息。应用3D区域增长的过程中,不仅利用了同层面上像素点之间的信息,还充分利用层与层之间的信息,约束相位的估计,有效减少了错误的发生,从而得到准确的水脂分离结果。

【参考文献】

- [1] MA J. Dixon techniques for water and fat imaging[J]. J Magn Reson Imaging, 2008, 28(3): 543-558.
- [2] BYDDER G M, YOUNG I R. MR imaging: clinical use of the inversion recovery sequence[J]. J Comput Assist Tomogr, 1985, 9: 659-675.
- [3] FRAHM J, HAASE A, HANICKE W, et al. Chemical shift selective MR imaging using a whole-body magnet[J]. Radiology, 1985, 156: 441-444.
- [4] DIXON W T. Simple proton spectroscopic imaging[J]. Radiology, 1984, 153: 189-194.
- [5] CHEBROLU V V, HINES C D, YU H, et al. Independent estimation of T_2 for water and fat for improved accuracy of fat quantification[J]. Magn Reson Med, 2010, 63(4): 849-857.
- [6] MA J. A single-point Dixon technique for fat suppressed fast 3D gradient-echo imaging with a flexible echo time[J]. J Magn Reson Imaging, 2008, 27(2): 881-890.
- [7] MA J. Breath-hold water and fat imaging using a dual-echo two-point Dixon technique with an efficient and robust phase-correction algorithm[J]. Magn Reson Med, 2004, 52(2): 415-419.
- [8] MA J, SON J B, HAZLE J D. An improved region growing algorithm for phase correction in MRI [J]. Magn Reson Med, 2016, 76(2): 519-529.
- [9] THOBIAS R, NILS D, OLOF D L, et al. Robust water fat separated dual-echo MRI by phase-sensitive reconstruction[J]. Magn Reson Med, 2017, 78(3): 1208-1216.
- [10] CHENG C, ZOU C, LIANG C, et al. Fat-water separation using a region-growing algorithm with self-feeding phasor estimation[J]. Magn Reson Med, 2017, 77(6): 2390-2401.
- [11] EGGERS H, BÖRNERT P. Chemical shift encoding-based water-fat separation methods[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 40(2): 251-268.
- [12] XIANG Q. Two-point water-fat imaging with partially-opposed-phase (POP) acquisition: an asymmetric dixon method[J]. Magn Reson Med, 2006, 56(3): 572-584.
- [13] HOOD M N, HO V B, SMIRNIOTOPOULOS J G, et al. Chemical shift: the artifact and clinical tool revisited[J]. Radio Graph, 1999, 19: 357-371.
- [14] LIM M. Image-based determination of the fat signal model for Dixon water and fat imaging[C]. Proceedings of the 20th Annual Meeting of ISMRM, Melbourne, Victoria, Australia, 2012: 2483.
- [15] 刘锦水, 张晶, 程军营, 等. 基于多分辨率和区域增长的两点Dixon水脂分离技术[J]. 南方医科大学学报, 2017, 37(2): 245-250.
- LIU B S, ZHANG J, CHENG J Y, et al. A method of two point Dixon imaging that use multiresolution and region-growing[J]. Journal of Southern Medical University, 2017, 37(2): 245-250.

(编辑:黄开颜)