

• 实验研究 •

磁共振 FSE-IDEAL 与 IDEAL-IQ 序列在水脂混合模型脂肪定量中的对比研究

刘欢, 王秋霞, 盛晓兰, 戴丽卉, 彭成东, 张菁

【摘要】 目的:比较磁共振 FSE-IDEAL 和 IDEAL-IQ 序列在定量测量水脂混合模型脂肪含量中的准确度和适用范围。**方法:**分别制作浓度范围为 0%~100%、浓度梯度为 10%的水脂溶液和浓度范围为 2%~30%、浓度梯度为 2%的脂肪乳溶液。采用 FSE-IDEAL 和 IDEAL-IQ 序列扫描水脂溶液和脂肪乳溶液模型,将 FSE-IDEAL 和 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际脂肪浓度进行比较。**结果:**①水脂溶液:FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差异无统计学意义($t=1.58, P=0.14$);IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际脂肪浓度差异有统计学意义($t=-40.6, P<0.001$)。FSE-IDEAL、IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际脂肪含量间均呈高度直线相关,相关系数分别为 0.982 和 1。Bland-Altman 散点图分析结果显示 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95%置信区间为(-8.93%, -14.68%),IDEAL-IQ 序列为(-4.76%, 3.46%)。②仅对脂肪浓度 $\leq 70\%$ 的水脂溶液样本进行分析,两种序列的测量值与实际脂肪含量的相关系数均为 1;Bland-Altman 散点图分析结果显示 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95%置信区间为(-1.16%, 0.18%),IDEAL-IQ 序列为(-4.83%, -3.41%)。③脂肪乳溶液:FSE-IDEAL、IDEAL IQ 序列的脂肪测量结果与实际脂肪浓度差异均有统计学意义($t=2.842, P=0.013$; $t=21.363, P<0.001$)。两种成像方法的测量值与实际脂肪含量的相关系数均为 1, Bland-Altman 散点图分析结果显示 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95%置信区间为(-0.196%, -0.093%),IDEAL-IQ 为(-2.076%, -0.990%)。**结论:**IDEAL-IQ 和 FSE-IDEAL 在脂肪定量测量中与实际浓度均为高度直线相关,能满足临床测量脂肪含量的需要,两者各有优势,可根据不同需求合理选择脂肪分析序列。

【关键词】 水脂溶液; 脂肪定量; 磁共振成像; 对比研究

【中图分类号】 R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)05-0442-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.05.001

A comparative study of fat quantification between MR FSE-IDEAL and IDEAL-IQ sequences in water fat mixture model LIU Huan, WANG Qiu-xia, SHENG Xiao-lan, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: To compare the accuracy and application range of FSE-IDEAL and IDEAL-IQ sequences in quantitative evaluation of fat content in water fat mixture model. **Methods:** A water fat mixed solution with a concentration range of 0%~100% and a concentration gradient of 10% and a fat emulsion with a concentration range of 2%~30% and a concentration gradient of 2% were respectively prepared. The samples were scanned with FSE-IDEAL and IDEAL-IQ sequences, respectively. FSE-IDEAL-FaF and IDEAL-IQ-FaF were measured in the two sequences and compared with the actual fat concentration, respectively. **Results:** ① For water-fat solution; there was no statistically significant difference between the whole sample of FSE-IDEAL-FaF and the actual fat concentration ($t=1.58, P=0.14$); there was statistically significant difference between IDEAL-IQ-FaF and the actual fat concentration ($t=-40.6, P<0.001$). Values of these two sequences were highly linearly correlated with the actual fat content (R^2 of 0.982 and 1, respectively). Bland-Altman scatter plots were used to obtain the 95% confidence interval (CI) of the difference between the measured value and the actual val-

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 刘欢(1987-), 女, 湖北武汉人, 初级技师, 主要从事影像技术工作。

通讯作者: 张菁, E-mail: hbelleo@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(81771793、81301192); 湖北省自然科学基金项目(2017CKB900)

ue, respectively; FSE-IDEAL-FaF (-8.93% , -14.68%), and IDEAL-IQ-FaF (-4.76% , 3.46%), respectively. ② For water-fat solution samples (specific to fat concentration $\leq 70\%$): the correlation coefficient of the results from the two sequences and the actual value of fat content of these two was 1. Bland-Altman scatter plots showed the 95% CI of the difference between the value acquired from FSE-IDEAL and IDEAL-IQ sequence and the actual value was (-1.16% , -0.18%) and (-4.83% , -3.41%), respectively. ③ For fat emulsion; FSE-IDEAL-FaF and IDEAL-IQ-FaF were significantly different from the actual fat concentration, respectively ($t=2.842$, $P=0.013$; and $t=21.363$, $P<0.001$; respectively). The correlation coefficient of the value from these two sequences and the actual value of fat content was 1. Bland-Altman scatter plots showed the 95% CI of the difference between the value acquired from FSE-IDEAL and IDEAL-IQ sequence and the actual value was (-0.196% , -0.093%) and (-2.076% , -0.990%), respectively. **Conclusions:** The IDEAL-IQ and FSE-IDEAL are highly linearly correlated with the actual concentration in the fat quantitative measurement, which can meet the needs of the clinical measurement of fat content. Both sequences have their own advantages, and the fat analysis sequence can be selected reasonably according to different clinical demands.

【Key word】 Water-fat solution; Fat quantification; Magnetic resonance imaging; Comparative study

器官和病变的脂肪含量测定、水脂比例分析在科研和临床中的需求已越来越多,而单纯的脂肪抑制技术如 Stir 技术、化学位移选择性脂肪预饱和技术或水激发成像已不能满足此种需要。解决水脂信号的分离不能只从抑制脂肪信号单方面着手,基于此, Dixon 在 1984 年首次提出水脂分离技术^[1], 30 多年来,研究者们相继对原始的基于自旋回波 (spin echo, SE) 序列的两点法 Dixon 技术进行了改良,不但脂肪定量测定精确度逐步提高,而且扫描时间也明显缩短。2005 年 Reeder 等提出了迭代分解水脂回波不对称和最小平方估计 (iterative decomposition of water and fat with echos asymmetric and least-squares estimation, IDEAL) 方法,是改良的三点法 Dixon 技术^[2-4]。采用快速自旋回波序列 (fast spin echo, FSE) 采集 IDEAL 回波是目前最普及的水脂分离技术,然而在腹部成像中,需要多次屏气,运动伪影较多,影响了测量准确度,改良三维抗相梯度回波的基于最小二乘法估计和不对称回波迭代分解水脂成像 (iterative decomposition of water and fat with asymmetry and least-squares estimation-quantitative fat imaging, IDEAL-IQ) 则大大提高了成像速度,一次屏气可实现全肝采集,从而拓展了水脂分离技术在腹部疾病中的应用。本研究采用两种 IDEAL 序列 (FSE-IDEAL 与 IDEAL-IQ) 定量测量水脂模型中脂肪含量的准确性和差异性,旨在为临床脂肪定量方案的实施提供合理化建议。

材料与方法

1. 模型制备

制作含水脂为 $0\% \sim 100\%$ 的脂肪溶液模型^[2] (模

型 1), 具体方法为: ① 将阴性离子表面活性剂十二烷基硫酸钠 15 mmol 与 1 L 去离子水均匀混合, 加入 5 g 角叉菜胶后用磁力搅拌器加热至 50°C , 搅拌融化; ② 配制 100 mL 乳液 (共 11 份), 分别为 1 份纯豉油, 1 份纯水, 9 份梯度浓度乳化液, 乳化液中含 $10 \sim 90$ mL (梯度为 10 mL) 的豉油, 充分混合至分层无颗粒油脂; ③ 用 15 mL 塑料试管密封分装。

制作 $2\% \sim 30\%$ 脂肪乳溶液 (模型 2), 具体方法为: 将 30% 脂肪乳注射液 (含英脱, 利匹特华瑞制药有限公司) 和注射用蒸馏水混合, 配成脂肪含量为 $2\% \sim 30\%$ (梯度为 2%) 的脂肪乳溶液。均匀混合后静置 30 min, 观察无明显气泡后密闭装入 15 mL 塑料试管。

2. 扫描方案

FSE-IDEAL 与 IDEAL-IQ 序列的图像采集均采用 GE 3.0T MR 扫描仪 (Discovery 750), 射频发射与接收线圈采用 32 通道头部线圈。FSE-IDEAL 序列扫描参数: TR 2200 ms, TE 71.6 ms, 视野 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$, 矩阵 256×224 , 层厚 3 mm, 层间距 0.6 mm, 激励次数 6, 翻转角 111° , 扫描时间 172 s; IDEAL-IQ 序列扫描参数: TR 9.7 ms, TE 4.5 ms, 视野 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$, 矩阵 256×224 , 层厚 3 mm, 层间距 0 mm, 激励次数 1, 翻转角 5° , 扫描时间 78 s。

将装有脂肪溶液和脂肪乳的塑料试管架水平置于线圈正中心, 并与线圈中心轴线平行。先行常规三平面及冠状面稳态采集快速成像序列定位像, 再采集轴面 FSE-IDEAL 及 IDEAL-IQ 序列信号, 为保证数据的稳定性和可靠性, 扫描序列均重复采集一次。

3. 数据处理

由 2 位具有 3 年以上工作经验的放射科技师和医

师协商放置 ROI 并进行数据测量。数据处理具体步骤如下:①原始图像传送至 GE AW4.6 工作站,采用 Viewer 窗观察测量;②选择 FSE-IDEAL 序列的脂像和同相位两组图像,在模型底部、中部、顶部分别测量不同浓度模型的信号强度(ROI 面积 $>4\text{ cm}^2$);③按照公式脂肪分数=脂像信号强度/同相位信号强度,计算得到脂肪定量评估值;以同样方法在底部、中部、顶部分别再选 3 个层面进行测量,记录数据,取平均值为最终测量结果;④选中 IDEAL-IQ 序列中的 FraF 图像,后处理软件自动计算出脂肪分数,以和 FSE-IDEAL 序列相同的方法测量脂肪分数;⑤一个月后,按上述方法再次测量 IDEAL 和 IDEAL-IQ 序列脂肪分数,最终所得 IDEAL 和 IDEAL-IQ 序列脂肪分数分别为两次测量的平均值。

4. 统计学分析

采用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析。测量数据均符合正态分布,以均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示;采用配对样本 t 检验比较两种序列脂肪分数测量值与实际脂肪浓度的差异;采用线性回归方法分析两种序列脂肪分数测量值与实际脂肪浓度的关系;采用线性回归方法分析测量脂肪分数与实际脂肪分数间的线性关系。采用 Bland-Altman 散点图检验两种序列脂肪分数测量值与实际脂肪浓度的一致性;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 水脂溶液

两种序列脂肪分数测量值与实际脂肪浓度见表 1;FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差异无统计学意义($t=1.58, P=0.14$);IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际脂肪浓度差异有统计学意义($t=-40.6, P<0.001$)。FSE-IDEAL、IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度间均呈线性关系,回归方程分别为 $Y=0.86X+4.139$ ($R^2=0.982, P<0.001$), $Y=0.998X+4.233$ ($R^2=1, P<0.001$, 图 1, 表 2);仅保留 0~70% 浓度的溶液数据再次分析结果显示, FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度吻合度及线性拟合度增高,回归方程为 $Y=1.002X+0.411$ ($R^2=1, P<0.001$), IDEAL-IQ 的回归方程大致同前, $Y=0.996X+4.268$ ($R^2=1, P<0.001$, 图 2, 表 3)。Bland-Altman 分析结果显示 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95% 置信区间为 (-8.93%, -14.68%), IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95% 置信区间为 (-4.76%, 3.46%, 图 3)。当脂肪浓度为 0~70% 区间时, FSE-I-DEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95%

置信区间为 (-1.16%, 0.18%), IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95% CI 置信区间为 (-4.83%, -3.41%, 图 4)。

表 1 水脂溶液中 2 种序列的脂肪分数测量值

实际脂肪浓度	FSE-IDEAL(%)	IDEAL-IQ(%)
0%	0.4 $\pm$ 0.02	3.7 $\pm$ 0.1
10%	10.2 $\pm$ 0.1	14.3 $\pm$ 0.1
20%	20.3 $\pm$ 0.1	24.4 $\pm$ 0.1
30%	30.5 $\pm$ 0.1	34.5 $\pm$ 0.1
40%	41.3 $\pm$ 0.1	44.4 $\pm$ 0.1
50%	50.6 $\pm$ 0.2	54.2 $\pm$ 0.2
60%	60.3 $\pm$ 0.1	64.0 $\pm$ 0.2
70%	70.4 $\pm$ 0.2	73.5 $\pm$ 0.2
80%	72.5 $\pm$ 0.2	84.2 $\pm$ 0.2
90%	76.6 $\pm$ 0.2	94.3 $\pm$ 0.2
100%	85.3 $\pm$ 0.1	103.7 $\pm$ 0.2

表 2 水脂溶液中线性模型汇总和参数估计值

序列	R ²	F	Sig	常数	b1
FSE-IDEAL	0.982	500.832	<0.001	4.139	0.86
IDEAL-IQ	1.000	95348.146	<0.001	4.233	0.998

表 3 0~70%水脂溶液中线性模型汇总和参数估计值

序列	R ²	F	Sig	常数	b1
FSE-IDEAL	1.000	32244.878	<0.001	0.411	1.002
IDEAL-IQ	1.000	29396.717	<0.001	4.268	0.996

2. 脂肪乳溶液

两种序列脂肪分数测量值与实际脂肪浓度见表 4;FSE-IDEAL、IDEAL IQ 序列的脂肪测量结果与实际脂肪浓度差异均有统计学意义($t=2.842, P=0.013$; $t=21.363, P<0.001$);与实际浓度间均呈线性关系,回归方程分别为 $Y=1.004X-0.1$ ($R^2=1, P<0.001$), $Y=1.024X+1.159$ ($R^2=1, P<0.001$, 图 5、表 5)。Bland-Altman 分析结果显示 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95% 置信区间为 (-0.196%, -0.093%), IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度差值的 95% 置信区间为 (-2.076%, -0.990%, 图 6)。

表 4 脂肪乳溶液中 2 种序列的脂肪分数测量值

实际脂肪浓度	FSE-IDEAL(%)	IDEAL-IQ(%)
2%	2.0 $\pm$ 0.1	3.3 $\pm$ 0.1
4%	4.0 $\pm$ 0.1	5.3 $\pm$ 0.1
6%	6.1 $\pm$ 0.1	7.3 $\pm$ 0.1
8%	8.0 $\pm$ 0.1	9.2 $\pm$ 0.1
10%	10.1 $\pm$ 0.1	11.5 $\pm$ 0.2
12%	12.0 $\pm$ 0.0	13.5 $\pm$ 0.1
14%	14.0 $\pm$ 0.0	15.6 $\pm$ 0.2
16%	16.0 $\pm$ 0.0	17.5 $\pm$ 0.2
18%	18.0 $\pm$ 0.1	19.3 $\pm$ 0.1
20%	20.1 $\pm$ 0.0	21.3 $\pm$ 0.1
22%	22.0 $\pm$ 0.1	23.5 $\pm$ 0.3
24%	24.0 $\pm$ 0.1	25.9 $\pm$ 0.3
26%	26.0 $\pm$ 0.1	28.1 $\pm$ 0.3
28%	28.1 $\pm$ 0.1	29.9 $\pm$ 0.2
30%	30.3 $\pm$ 0.2	31.8 $\pm$ 0.4

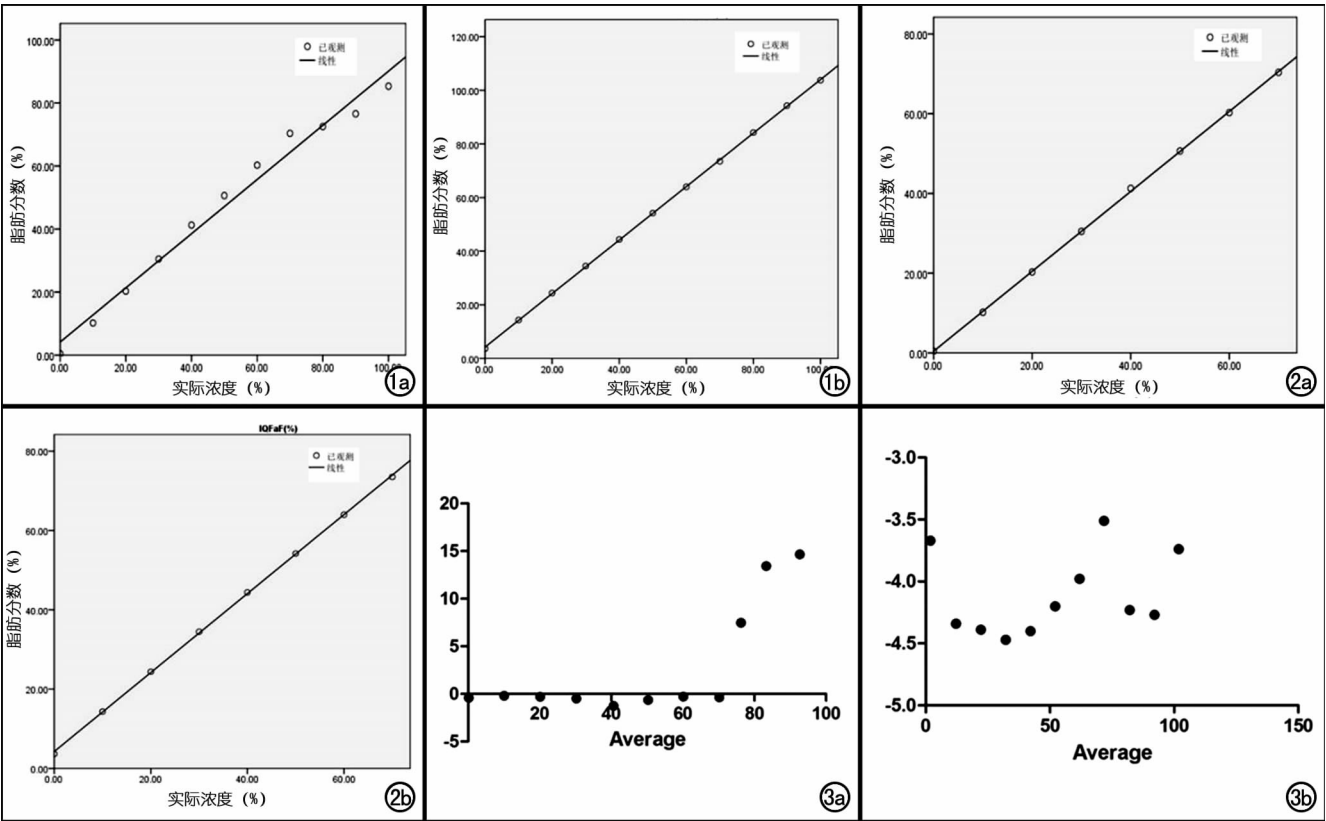


图 1 a) 水脂溶液中 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度间呈线性关系; b) 水脂溶液中 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度间呈线性关系。 图 2 a) 0~70% 水脂溶液中 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度间呈线性关系; b) 0~70% 水脂溶液中 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度间呈线性关系。 图 3 Bland-Altman 散点图。横坐标为测量脂肪分数与实际脂肪分数均值, 纵坐标为测量脂肪分数与实际脂肪分数差值。a) 水脂溶液中 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度的 Bland-Altman 分析结果; b) 水脂溶液中 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度的 Bland-Altman 分析结果。

表 5 脂肪乳溶液中线性模型汇总和参数估计值					
序列	R ²	F	Sig	常数	b1
FSE-IDEAL	1.000	259198.102	<0.001	-0.10	1.004
IDEAL-IQ	1.000	33070.076	<0.001	1.159	1.024

讨 论

1. FSE-IDEAL 及 IDEAL-IQ 序列定量测量水-脂混合溶液中脂肪含量的准确性

本研究采用了两种水脂溶液模型, 一种为含油体积在 0~100%、梯度为 10% 的植物油-水模型, 一种为脂肪乳配制的脂肪含量在 0~0.30 g/mL、梯度为 0.02 g/mL 的水-脂混合液。本研究结果显示 FSE-IDEAL 在低浓度的脂肪乳水脂模型和浓度范围为 0~70% 的植物油-水模型中测得的脂肪分数与实际脂肪含量间呈完全直线相关, 且与实际含量差值的 95% 置信区间小于 IDEAL-IQ; 当脂肪浓度高于 70% 时, FSE-IDEAL 序列的脂肪定量分析结果明显低于实际值, 即出现溢出现象。分析其主要原因在于 FSE-IDEAL 采用大激发角会导致 T₁ 效应加重, 造成定量评估

误差; 另外两个重要因素是 B0 场的不均匀性和 T₂^{*} 效应。T₂^{*} 衰减会导致后续采集的回波信号小于先采集的回波信号, 尤其会出现后采集的同相位信号小于反相位信号, 导致错误的负值, 而当脂肪含量增加, B0 场不均匀性程度加重时这种效应会更为明显^[5]。三回波技术不能从根本上消除 T₂^{*} 效应的影响, 必须在技术层面上进一步优化 FSE-IDEAL 成像序列, 校正 T₂^{*} 效应的影响。

IDEAL-IQ 在两种水脂模型中不论脂肪含量的高低, 测量的脂肪分数与实际脂肪含量间均呈完全直线相关, 可以很准确地反映不同脂肪溶液浓度梯度的变化。分析其原因主要有以下几点: IDEAL-IQ 是梯度回波成像, 采用的是小角度激发, 大大降低了 T₁ 效应的影响; 要分离出纯水像和纯脂肪像, 关键在于校正场不均匀造成的相位误差, 采集点数越多且不冗余相位信息越全就越有可能正确分离水脂像。IDEAL-IQ 通过采集 6 个回波信号及迭代线性最小二乘法估算复数域映射, 利用复数域重建来区分水与脂肪并得到 0~100% 的脂肪比, 再利用幅度重建对脂肪比定量进行微

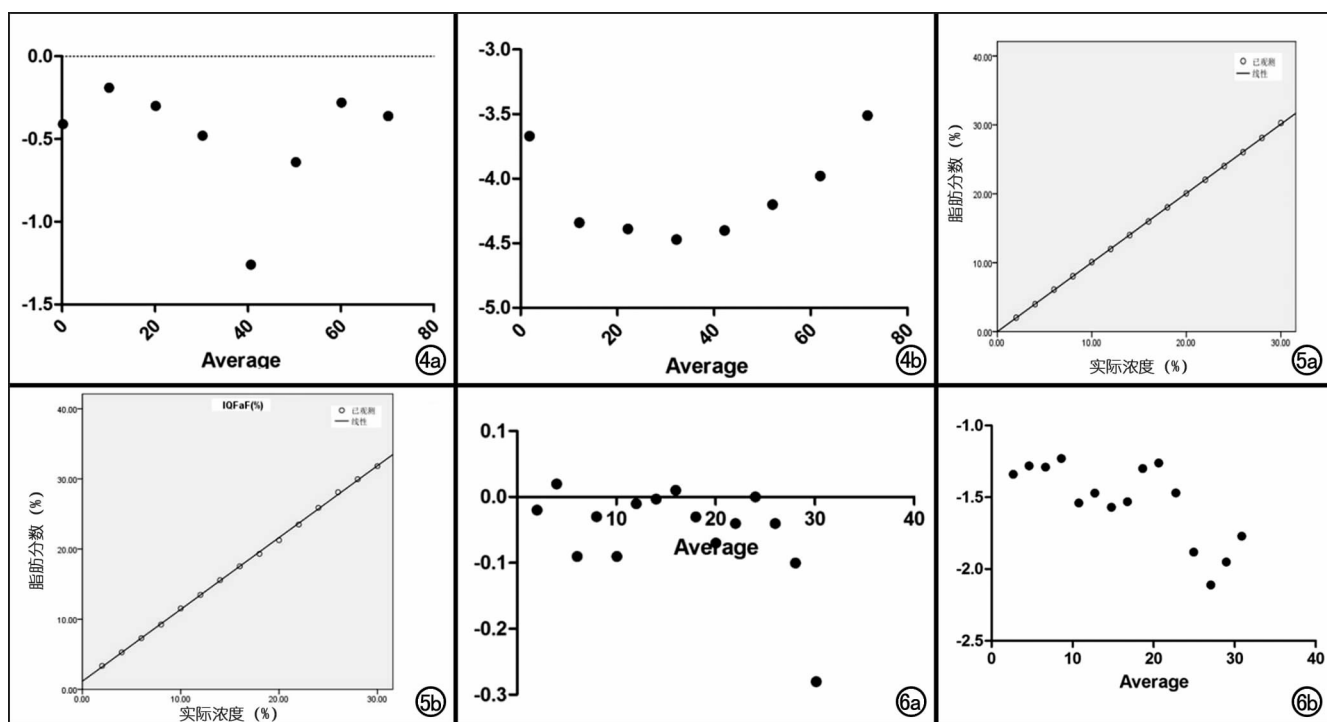


图 4 Bland-Altman 散点图。横坐标为测量脂肪分数与实际脂肪分数均值,纵坐标为测量脂肪分数与实际脂肪分数差值。a) 0~70%水脂溶液中 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度的 Bland-Altman 分析结果;b) 0~70%水脂溶液中 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度的 Bland-Altman 分析结果。

图 5 a) 脂肪乳溶液中 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度间呈线性关系;b) 脂肪乳溶液中 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度间呈线性关系。图 6 Bland-Altman 散点图。横坐标为测量脂肪分数与实际脂肪分数均值,纵坐标为测量脂肪分数与实际脂肪分数差值。a) 脂肪乳溶液中 FSE-IDEAL 序列测得的脂肪分数与实际浓度的 Bland-Altman 分析结果;b) 脂肪乳溶液中 IDEAL-IQ 序列测得的脂肪分数与实际浓度的 Bland-Altman 分析结果。

调并除去相位错误,最后结合这 2 次重构结果,经过 T_2^* 衰减的修正,生成最终的水像、脂像及脂肪比图像,从而彻底消除了 T_2^* 对脂肪定量评估的影响^[6]。

2. 本研究的临床意义及展望

IDEAL-IQ 序列定量评估水-脂模型的准确性及与组织病理学的相关性已被诸多研究成果所证实^[7-11]。Ideal-IQ 序列是 T_1 依赖的、 T_2^* 校正并伴多峰脂肪谱线模型的化学位移水脂分离技术,扫描时间短、成功率高,尤其适合腹部器官的成像;一次采集可生成水像、脂像、脂肪比及弛豫率等六幅图像,在脂肪比及弛豫率图像上放置 ROI 可以直接得到脂肪分数及 $R2^*$ 值而无需进一步计算,具有很高的临床及科研价值。然而 IDEAL-IQ 是 T_1 加权的梯度回波序列,其信噪比低,病灶显示不佳,对炎症、肿瘤性病变的组织结构分析、疗效监测、转归等的临床应用价值有限。此外,IDEAL-IQ 序列对 MRI 设备的软硬件配置有一定要求,目前我院仅 GE 3.0T Discovery 750 MR 扫描仪可行此序列成像,因此仅依赖此序列不利于各级医院 MRI 脂肪定量分析工作的开展。

本研究中采用的第二种水脂分离成像技术是借助 FSE 序列采集的 IDEAL 三点 Dixon 方法,IDEAL 是 2005 年 Reeder 等用克拉姆罗界证明并提出^[4,12],水脂相对相位为 $-\pi/6$ 、 $\pi/2$ 、 $7\pi/6$ 时有最佳噪声特性,其算法主要思想是把区域增长算法和迭代线性最小平方拟合进行场 map 估计和水脂像重建,用低分辨率图像引导区域增长,选择起始种子和像素栈的应用。FSE-IDEAL 序列对硬件设备及软件平台无特殊要求,配备有 1.5T 以上 MRI 设备的医院均可采集,可行 T_1 加权、 T_2 加权、质子密度加权成像。本研究采用了 FSE-IDEAL T_2 WI 序列,此序列在头颈、骨肌系统中应用较多,水像图脂肪抑制均匀,图像信噪比高,有利于病灶的检出及追踪观察。Kaichi 等^[13]最近报道了采用 FSE-IDEAL T_2 WI 序列对比分析甲状腺相关性眼病患者激素冲击治疗前、后眼眶脂肪容积及水分数的变化,联合临床及影像定量分析结果显示,尽管治疗前、后眼眶脂肪容积无显著差异,但 FSE-IDEAL 序列所测的眼眶脂肪水分数则有明显降低,冲击前的水分数值与临床疗效评分显著相关,说明 FSE-IDEAL T_2 WI

序列能有效预测和判断甲状腺相关性眼病的疗效和转归。本研究结果也证明当脂肪浓度小于 70% 时, FSE-IDEAL T_2 WI 序列所测的脂肪浓度不仅与实际值呈完全直线相关, 而且与实际值的偏差程度小于 IDEAL-IQ 序列。因此, FSE-IDEAL T_2 WI 序列不仅可作为病变显示序列, 还可以测量脂肪含量在 70% 以下组织的脂肪分数及水分数, 一次成像即可获得病灶的形态学及组织病理学信息, 临床应用价值较高。本研究还提示, 不同的水脂分离序列技术原理不同, 因此所测同样样本的脂肪含量及水含量也会有显著差异, 因此笔者建议, 对于追踪复查的病例, 所用水脂分离序列要尽量保持前后一致, 测量值才有比较价值。

3. 本研究的局限性

本研究有以下局限性: ①脂肪溶液或脂肪乳的脂肪分数并非与配制浓度完全一致, 可因混合不均或溶液浓度变化导致 PH 值改变, 脂肪颗粒不稳定析出, 因此相对于中低浓度, 高浓度脂肪溶液自身误差较大, 会影响检测结果; ②模型与活体组织不同, 会存在细胞内外其他成分的干扰, 还需动物实验及病理学对照进一步证实本研究的结论。

参考文献:

[1] Dixon WT. Simple proton spectroscopic imaging[J]. Radiology, 1984, 153(1):189-194.

[2] Pineda AR, Reeder SB, Wen Z, et al. Cramer-rao bounds for three-point decomposition of water and fat. Magnetic resonance in medicine[J]. Magn Reson Med, 2005, 54(3):625-635.

[3] Reeder SB, Pineda AR, Wen Z, et al. Iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL): application with fast spin-echo imaging[J]. Magn Re-

son Med, 2005, 54(3):636-644.

[4] Yu H, Reeder SB, Shimakawa A, et al. Field map estimation with a region growing scheme for iterative 3-point water-fat decomposition[J]. Magn Reson Med, 2005, 54(4):1032-1039.

[5] Ma J. Dixon techniques for water and fat imaging[J]. J Magn Reson Imaging, 2008, 28(3):543-548.

[6] Yu H, McKenzie CA, Shimakawa A, et al. Multiecho reconstruction for simultaneous water-fat decomposition and T_2^* estimation[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 26(4):1153-1161.

[7] 胡磊, 查云飞, 林苑, 等. IDEAL_IQ 定量评价免糖尿病模型椎体骨髓脂肪含量的可行性研究[J]. 磁共振成像, 2015, 6(12):941-946.

[8] 林苑, 查云飞, 邢栋, 等. 钆剂对 MRIDEAL_IQ 骨髓脂肪定量影响的实验研究[J]. 磁共振成像, 2016, 7(11):856-860.

[9] 陈晓, 孟晓岩, 李晓娟, 等. 采用基于最小二乘法估计和不对称回波迭代分解水和脂肪成像序列定量评估水-脂模型中脂肪含量的可行性和准确性[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(9):704-707.

[10] 陈晓, 罗馨, 雷红, 等. 磁共振 IDEAL-IQ 序列评价“接力赛”电针法对腹型肥胖女性肝脏脂肪含量的影响[J]. 放射学实践, 2017, 32(5):471-474.

[11] Hines CD, Yu H, Shimakawa A, et al. T_1 independent, T_2^* corrected MRI with accurate spectral modeling for quantification of fat: validation in a fat-water-SPIO phantom[J]. J Magn Reson Imaging, 2009, 30(5):1215-1222.

[12] Reeder SB, Wen Z, Yu H, et al. Multicoil Dixon chemical species separation with an iterative least-squares estimation method[J]. Magn Reson Med, 2004, 51(1):35-45.

[13] Kaichi Y, Tanitame K, Itakura H, et al. Orbital fat volumetry and water fraction measurements using T_2 -weighted FSE-IDEAL imaging in patients with thyroid-associated orbitopathy[J]. AJNR, 2016. DOI:10.3174/ajnr.A4859.

(收稿日期:2017-09-21 修回日期:2018-02-02)