

• 腹部影像学 •

T₁-mapping 定量分析肾移植术后早期不同功能移植肾皮质 T₁ 值差异的价值

任涛, 陈丽华, 谢双双, 王振, 付迎欣, 沈文

【摘要】 目的:探讨 T₁-mapping 定量分析技术评估肾移植术后早期肾功能的价值。**方法:**将 76 例异体肾移植术后 2~4 周的患者及 26 例健康志愿者(对照组)纳入研究,根据肾小球滤过率(eGFR)将患者组分为 3 组:A 组为移植肾功能良好组(n=44);B 组为移植肾功能轻中度受损组(n=19);C 组为移植肾功能重度受损组(n=13)。所有受试者均行常规序列和斜矢状面改良 Look-Locker 反转恢复(MOLLI)序列 MRI 检查,测量肾脏皮髓质的 T₁ 值。比较各组内及各组间肾脏皮髓质 T₁ 值的差异,分析移植肾皮质、髓质 T₁ 值与 eGFR 间的相关性,采用 ROC 曲线分析 T₁ 值对不同功能移植肾的鉴别诊断价值。**结果:**各组内肾皮质的 T₁ 值均明显小于肾髓质($P<0.001$)。A、B、C 和对照组中肾皮质的 T₁ 值分别为(1511.95±111.31)、(1663.22±66.81)、(1719.09±74.47)和(1748.88±62.72)ms,除 B 组与 C 组间的差异无统计学意义($P=0.05$)外,其余各组间的差异均有统计学意义($P<0.05$)。A 组肾髓质的 T₁ 值[(2009.65±97.83)ms]大于对照组[(1946.91±51.43)ms],差异有统计学意义($P=0.004$),其余各组间肾髓质 T₁ 值的差异无统计学意义($P>0.05$)。移植肾皮质的 T₁ 值与 eGFR 呈负相关($r=-0.45, P<0.01$)。肾皮质 T₁ 值鉴别移植肾功能良好与移植肾功能受损(包括轻中度与重度受损)时曲线下面积(AUC)为 0.75,诊断灵敏度及特异度分别为 88.6% 及 83.1%。**结论:**T₁-mapping 定量分析技术对评估肾移植术后早期肾功能具有一定价值,有望成为临床上无创监测移植肾功能的方法。

【关键词】 肾移植; 肾功能; 磁共振成像; T₁ 值; 诊断效能

【中图分类号】 R445.2; R692.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)12-1277-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.12.015

Value of T₁ mapping to quantitative analyze the difference of T₁ values in different renal allografts function early after kidney transplantation REN Tao, CHEN Li-hua, XIE Shuang-shuang, et al. Department of Radiology, the First Central Hospital of Tianjing, Tianjing 300192, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of T₁ mapping to quantitative analyze the difference of T₁-values in different renal allografts function early after kidney transplantation. **Methods:** In this prospective study, 76 renal allograft recipients 2 to 4 weeks after kidney transplantation and 26 age-matched volunteers were included. Recipients were divided into three groups according to the estimated glomerular filtration rate (eGFR): group A (n=44), recipients with good allograft function ($\text{eGFR} \geq 60 \text{ mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$); group B (n=19), recipients with mild to moderate impaired allograft function ($30 \leq \text{eGFR} < 60 \text{ mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$); group C (n=13), recipients with severe impaired allograft function [$\text{eGFR} < 30 \text{ mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$]. At the same time, healthy volunteers (n=26) were selected as the control group. All subjects underwent conventional MRI and modified Look-Locker inversion recovery sequence (MOLLI) MRI which was performed in the oblique-sagittal plane. Renal cortical and medullary T₁-values were measured. Difference of cortical and medullary T₁-values within the group or among four groups were compared. Correlation of cortical and medullary T₁-values with eGFR was evaluated. The diagnostic efficacy of using T₁-mapping to discriminate different renal function was assessed. **Results:** The cortical T₁-values were significantly lower than the medullary T₁-values in each group ($P<0.001$ for all). Cortical T₁-value was (1511.95±111.31), (1663.22±66.81), (1719.09±74.47) and (1748.88±62.72)ms for four groups respectively, it was significantly different between each other except group B and C ($P<0.05$). Medullary T₁-value was (2009.65±97.83)ms in group A, they were larger than that in control group which was (1946.91±51.43)ms ($P=0.004$). There was no statistically significant difference in medullary T₁-values between other groups ($P>0.05$). Cortical T₁-values exhibited a negative correlation with renal function as determined by eGFR for recipients ($r=-0.45, P<0.01$). Mean cortical T₁ values showed a high area under the ROC curve (AUC=0.75) to discriminate renal allografts with good and impaired (including mild to moderate impaired and severe impaired) function, with a sensitivity of 88.6% and a specificity of 83.1%. **Conclusion:** T₁-mapping provide valuable information to analyze the difference of cortical T₁-values in different renal allografts

作者单位: 300192 天津, 天津市第一中心医院放射科(任涛、陈丽华、谢双双、沈文), 器官移植中心(王振、付迎欣); 300041 天津, 天津市环湖医院 CT 室(任涛)

作者简介: 任涛(1989—), 女, 山西大同人, 硕士, 住院医师, 主要从事腹盆部和中枢神经影像诊断工作。

通讯作者: 沈文, E-mail: shenwen66happy@163.com

基金项目: 2016 年天津市自然科学基金资助项目(16JCYBJC27300)

function early after transplantation. It could be a useful method for evaluating renal function noninvasively.

【Key words】 Kidney transplantation; Renal funtion; Magnetic resonance imaging; T₁ value; Diagnostic efficacy

肾脏皮质和髓质的含水量不同,且同一组织在不同病理状态含水量亦不同^[1],相应地依赖于水含量的组织弛豫时间也存在差异^[2],并且组织的纵向弛豫时间(T₁值)的变化要早于横向弛豫时间(T₂值)的变化^[3-4],此外,肾脏 T₁ 值的变化可能会影响依赖于 T₁ 值的功能磁共振成像(如动脉自旋标记成像)测量结果的准确性^[2]。因此,定量测量个体化的肾脏 T₁ 值对了解肾脏疾病的程度有重要意义。肾移植是终末期肾病患者的最有效治疗方法,对术后移植肾的纵向弛豫时间是否有变化以及变化情况目前尚处于初步研究阶段^[5],在其临床应用价值有待进一步证实。因此,笔者通过对 26 例健康志愿者及 76 例肾移植术后 2~4 周的患者行改良 Look-Locker 翻转回复(modified Look-Locker inversion recovery, MOLLI)序列 MRI 检查,旨在探讨 T₁-mapping 评估肾移植术后早期肾功能的价值。

材料与方 法

1. 研究对象

本研究经医院伦理委员会批准,所有受试者检查前签署了知情同意书。

前瞻性搜集 2014 年 5 月—2015 年 12 月于我院行异体肾移植术患者的病例资料。纳入标准:①术后 2~4 周;②术后常规采用他克莫司(或环孢素 A)+吗替麦考酚酯+泼尼松的三联免疫抑制方案进行抗排异反应治疗;③无 MRI 检查禁忌证。排除标准:①接受胰肾联合移植患者;②接受小儿双肾移植患者;③MRI 检查前多普勒超声检查发现移植肾有肾盂积水的患者。此外,同期搜集符合条件的成年健康志愿者作为正常对照组,纳入标准:既往无肾病、高血压和糖尿病等病史,近 1 年内血肌酐(serum creatinine, SCr)检测及尿常规检查无明显异常。最终共纳入 102 例受试者:肾移植患者 76 例,男 55 例,女 21 例,年龄 16~57 岁,平均(35.5±10.3)岁;健康志愿者 26 例,男 16 例,

女 10 例,年龄 24~59 岁,平均(37.5±13.5)岁。

记录所有受试患者行 MRI 检查当天的 SCr 值(单位:mg/dL),根据简化肾脏病膳食改善公式(modification of diet in renal disease, MDRD)估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)^[6]:

eGFR(男性)=186×(SCr)^{-1.154}×(年龄)^{-0.203} (1)

eGFR(女性)=186×(SCr)^{-1.154}×(年龄)^{-0.203}×0.742 (2)

参照慢性肾脏疾病分期方法^[7],依据 eGFR 将移植肾患者分为 3 组:A 组 44 例,为移植肾功能良好组[eGFR≥60mL/(min·1.73m²)];B 组 19 例,为移植肾功能轻中度受损组[30≤eGFR<60mL/(min·1.73m²)];C 组 13 例,移植肾功能重度受损组[eGFR<30mL/(min·1.73m²)]。受试者的基本临床资料见表 1。

2. 检查方法

使用 Siemens Magnetom Trio Tim 3.0T 磁共振扫描仪,最大梯度场强 40 mT/m,最大梯度转换率 200 mT/(m·s),8 通道体部相控矩阵线圈。所有受试者在 MRI 检查前 2 h 禁食、禁水。受试者仰卧于检查床上、自然呼吸。26 例健康志愿者及 76 例肾移植患者分别行双侧肾脏和移植肾的常规 MRI 及 MOLLI 序列扫描。常规 MRI 包括压脂序列横轴面 T₁WI 及冠状面 T₂WI。MOLLI 序列沿肾脏最大长轴方向采用斜矢状面进行扫描,主要参数:TE 1.03 ms, TR 314.54 ms, TI 219 ms, 翻转角 35°, 体素大小 2.3 mm×2.3 mm×5.0 mm,视野 300 mm×300 mm, 层厚 5.0 mm,重复次数 1,单次屏气采集,扫描时间约 8 s。

3. 图像分析

将 T₁-mapping 图像传送至 Siemens Syngo 工作站进行图像处理。由 2 位分别具有 7 年和 3 年腹部影像诊断经验的反射科医师分别对数据进行盲法测量。分别在肾脏的上、中、下极处于皮质(图 1a)和髓质(图 1b)内勾画 6~10 个圆形感兴趣区(region of interest, ROI),ROI 面积尽可能大,ROI 面积在皮质为 4~15 mm²、髓质为 5~25 mm²。取其中 1 位医师测得的

表 1 受试者的基本临床资料

指标	对照组	A 组	B 组	C 组	t/χ ² 值	P 值
性别(男/女)	16/10	32/12	14/5	9/4	1.153 ^a	0.764
年龄(岁)	37.5±13.5	36.1±11.5	35.1±9.3	34.3±8.4	0.287	0.835
术后时间(d)	—	18.7±1.7	18.9±1.5	19.2±1.1	0.763	0.470
移植肾类型	—				4.876 ^a	0.087
亲体肾		15	3	1		
尸体肾		29	16	12		
eGFR [#]	—	81.8±14.0 [*]	47.6±6.8 [*]	14.3±7.5 [*]	187.625	<0.001

注:^a为 χ² 值;^{*} 三组间两两比较,差异均有统计学意义(P<0.05);[#] 单位为 mL/(min·1.73m²)。

T₁ 值的平均值作为最终值进行分析比较。

4. 统计方法

使用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 的形式表示。先对各组肾脏皮髓质的 T₁ 值进行正态分布检验,经证实数据满足正态分布后,采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)分析两位医师测量的皮质和髓质 T₁ 值的一致性,ICC ≥ 0.75 为一致性好,0.40 $\leq$ ICC <0.75 为一致性中等,ICC <0.40 为一致性差。对照组取左肾数据进行下一步分析^[8]。采用两独立样本 *t* 检验比较各组内皮髓质间 T₁ 值的差异;采用单因素方差分析比较不同组别间皮质、髓质 T₁ 值的差异,两两比较采用 Bonferroni 法。采用 Pearson 相关分析研究移植肾皮质、髓质 T₁ 值与 eGFR 的相关性。采用受试者工作特性曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析 T₁ 值对不同功能移植肾的鉴别诊断价值,确定最佳诊断阈值。*P* <0.05 为差异有统计学意义。

结 果

两位医师测量的肾脏皮质和髓质的 T₁ 值及一致性分析结果见表 2。各组中两位医师对皮质和髓质 T₁ 值测量结果的一致性均非常高,ICC >0.81 。

表 2 两位医师测量的肾脏皮质、髓质 T₁ 值及一致性分析

部位	T ₁ 值(ms)		CC(95% CI)
	医师 1	医师 2	
对照组			
皮质	1511.95 $\pm$ 111.31	1549.62 $\pm$ 95.15	0.82(0.46~0.91)
髓质	1946.91 $\pm$ 51.43	1922.18 $\pm$ 63.91	0.91(0.74~0.96)
A 组			
皮质	1663.22 $\pm$ 66.81	1700.31 $\pm$ 73.14	0.81(0.72~0.88)
髓质	2009.65 $\pm$ 97.83	1973.51 $\pm$ 95.46	0.83(0.69~0.91)
B 组			
皮质	1719.09 $\pm$ 74.47	1734.32 $\pm$ 85.23	0.89(0.76~0.97)
髓质	1992.24 $\pm$ 97.08	1952.68 $\pm$ 103.94	0.87(0.54~0.94)
C 组			
皮质	1748.88 $\pm$ 62.72	1801.33 $\pm$ 73.14	0.88(0.72~0.93)
髓质	2027.21 $\pm$ 89.39	1961.11 $\pm$ 105.46	0.88(0.57~0.94)

不同组别肾脏 T₁-mapping 伪彩图对比显示,各组髓质 T₁ 值均明显高于皮质(图 2)。不同组别内皮髓质的 T₁ 值及统计分析结果见表 3。各组内肾脏皮质与髓质间 T₁ 值的差异均有显著统计学意义(*P* <0.001)。

不同组别间肾脏皮质、髓质 T₁ 值的对比见图 3。四组间肾皮质 T₁ 值的差异具有统计学意义(*F* $=36.225, P<0.001$)。进一步两两比较的结果显示,三个移植肾组肾皮质的 T₁ 值均显著大于对照组,差异均有统计学意义(*P* <0.001);A 组的肾皮质 T₁ 值明显小于 B、C 组(*P* <0.05),而 B 组与 C 组间的差异无统计学意义(*P* >0.05)。四组间肾髓质 T₁ 值的差异具有统计学意义(*F* $=3.632, P=0.016$);进一步两两

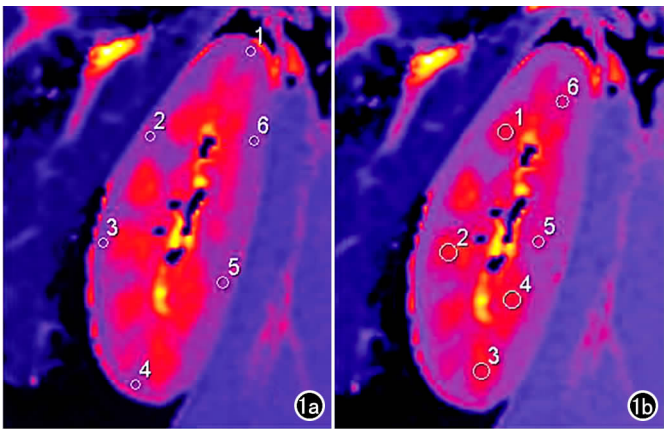


图 1 肾脏兴趣区(ROI)选取方法。a) 肾脏的上、中、下极处分别于肾皮质内勾画多个圆形 ROI; b) 在肾脏的上、中、下极处于肾髓质内勾画数个圆形 ROI。

比较结果显示,B 组肾髓质的 T₁ 值明显大于对照组(*P* $=0.007$),B、C 两组的髓质 T₁ 值亦大于对照组小(*P* 分别为 0.039、0.047),而 A、B 和 C 组间髓质 T₁ 值的差异无统计学意义(*P* 均 >0.05)。

移植肾的皮质、髓质 T₁ 值与 eGFR 的相关性分析结果显示(图 4),皮质 T₁ 值与 eGFR 呈负相关(*r* $=-0.45, P<0.01$),而髓质 T₁ 值与 eGFR 的相关性无统计学意义(*r* $=0.04, P=0.74$)。皮质 T₁ 值鉴别移植肾功能良好与移植肾功能受损(包括轻中度与重度受损)时的曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.75(95% 置信区间 0.64~0.85),最佳诊断阈值为 1732.57ms,诊断敏感度和特异度分别为 88.6% 和 83.1%。

表 3 不同组别肾脏皮、髓质间 T₁ 值对比

组别	皮质 T ₁ 值(ms)	髓质 T ₁ 值(ms)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
对照组	1511.95 $\pm$ 111.31	1946.91 $\pm$ 51.43	-20.19	<0.001
A 组	1663.22 $\pm$ 66.81	2009.65 $\pm$ 97.83	-21.29	<0.001
B 组	1719.09 $\pm$ 74.47	1992.24 $\pm$ 97.08	-10.66	<0.001
C 组	1748.88 $\pm$ 62.72	2027.21 $\pm$ 89.39	-10.27	<0.001

讨 论

T₁ 弛豫时间是人体组织的一个本征物理量,精确地测量 T₁ 值是 MRI 定量分析的基础。传统测量 T₁ 值的 T₁ mapping 技术多采用多个反转时间(inversion time, TI)的反转恢复自旋回波(inversion recovery-spin echo, IR-SE)序列^[5]。而本研究中的 MOLLI 序列是在 180°反转脉冲后的固定时相施加 90°激励脉冲,使用心电图控连续采集数据的一项新技术,具有扫描时间短、可重复性高以及测量更加精确的优点^[9-10],目前已在心肌梗死、心肌炎和心肌纤维化等心脏疾病的评估中广泛应用^[11-12],在健康成人肾脏 T₁ 值的评估中也得到初步应用^[2]。肾移植术后早期肾功能的好坏直接影响着患者的短期和长期存活率^[13-14],而 T₁

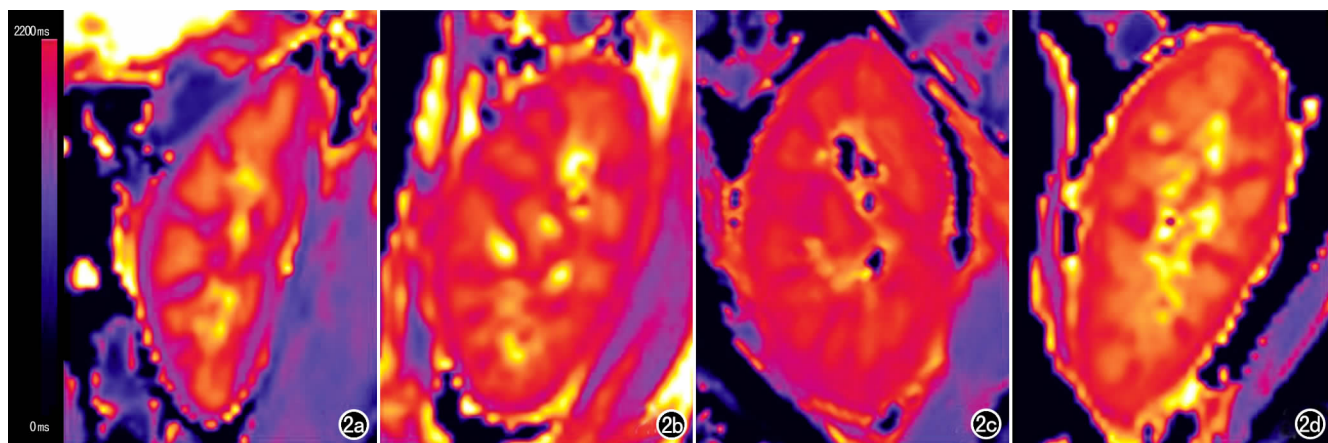


图 2 肾脏 T_1 -mapping 伪彩图,显示各组中肾髓质的 T_1 值均高于肾皮质。a)对照组; b)移植肾功能良好组; c)移植肾功能轻中度受损组; d) 移植肾功能重度受损患组。

值对于反映肾脏疾病的程度有重要意义。本研究中笔者应用基于 MOLLI 技术的 T_1 -mapping 分析健康志愿者及不同功能移植肾实质的 T_1 值,得出其对早期不同功能移植肾皮质 T_1 值差异的评估具有一定价值。

各组内肾脏皮髓质间 T_1 值的对比结果显示,所有组别中髓质的 T_1 值均明显大于皮质 ($P < 0.001$)。分析原因可能为肾脏髓质内含水量较皮质丰富,使组织内 T_1 值较长,这与肾脏的解剖结构及生理特点相一致。本研究中健康对照组肾皮质 T_1 值的测量结果与 Gillis 等^[2]应用 MOLLI 技术在 3.0T MR 上的测量结果相似,而移植肾皮、髓质 T_1 值的测量结果较其他研究者的测量值偏高^[1,5,15],分析原因可能与不同的成像设备、成像序列以及扫描参数有关。另外,本研究选择的均为肾移植术后 2~4 周的患者,移植肾所处的临床环境较为一致,因此,所得结果更具可比性。

肾皮质 T_1 值在不同组别间的对比结果显示,移植肾功能良好组的皮质 T_1 值明显大于健康对照组,该结果与 Huang 等^[5]的研究结果一致,分析原因可能为功能良好的移植肾由于其去神经支配,肾动脉(尤其

是入球小动脉和出球小动脉)不受交感神经调节,使得移植肾皮质的水含量增多^[16]。此外,移植肾功能受损组(包括轻中度和重度受损)的皮质 T_1 值明显大于移植肾功能良好组,可能原因为功能受损时肾间质内多有水肿、炎性细胞浸润、变性坏死等病理改变,使细胞内以及间质内水分子含量增高,从而使组织内的 T_1 值升高。本研究中的相关性分析结果显示,移植肾皮质的 T_1 值与 eGFR 呈负相关,说明随着移植肾功能的减低,移植肾皮质 T_1 值增高,表明皮质 T_1 值能够评估移植早期肾脏的功能。

本研究中肾髓质 T_1 值在不同组别间的对比结果显示,移植肾功能良好组髓质 T_1 值明显大于健康对照组,此结果与 Huang 等^[5]的研究结果基本一致。笔者认为出现这种表现的原因可能为功能良好的移植肾由于其去神经支配,肾小管的重吸收不受交感神经末梢释放的去甲肾上腺素调控,使髓质的含水量增多。然而,移植肾功能受损(包括轻中度和重度受损)组髓质 T_1 值与移植肾功能良好组比较,差异无统计学意义。这一结果与 Huang 等^[5]的研究结果不一致,笔者

分析原因可能为本研究中髓质 T_1 值的测量结果均较高,对其轻微变化不敏感;另一方面,由于肾小管和集合管的特殊结构,使髓质呈现基底位于皮髓质交界,尖端指向肾门的锥形形态,功能受损时,皮髓质分界欠清,ROI 放置的位置也有可能引起测量的误差,从而影响统计分析结果,具体原因有待进一步研究。

本研究结果显示,皮质 T_1 值鉴别移植肾功能良好组与移植肾功能受损组(包括轻中度与重度受损)的 ROC 曲线下面积为 0.75,表明皮质 T_1 值可为早期不同功能移植肾的鉴别诊断提供有价

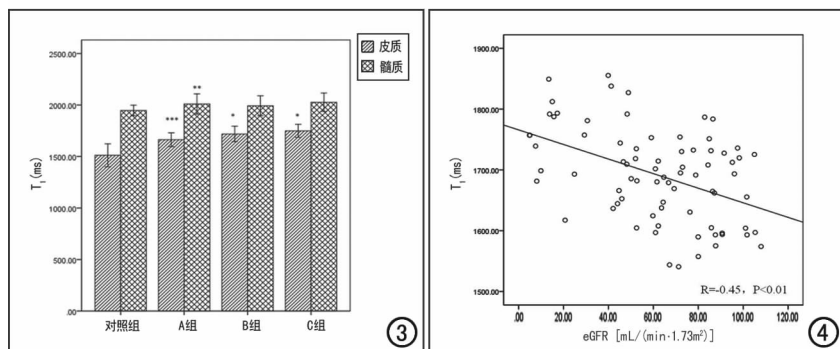
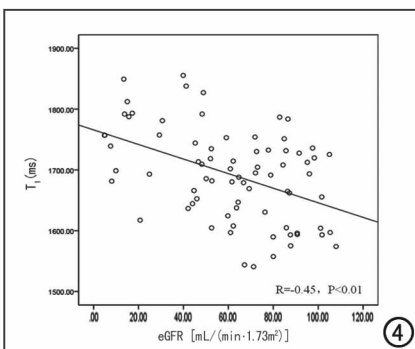


图 3 不同组别肾脏间皮质、髓质 T_1 值对比的直方图。肾功能受损组(A、B、C组)的肾皮质和髓质 T_1 值均大于对照组。图 4 移植肾皮质 T_1 值与 eGFR 的相关性曲线,显示肾皮质的 T_1 值与 eGFR 呈负相关。



值的信息。

本研究的局限性:第一,对移植肾功能的评价,没有采用实际测量的肾小球滤过率作为标准,而将能在一定程度上反映肾功能的根据患者的 SCr、年龄和性别计算的 eGFR 作为参考标准^[17-18];第二,本研究未能获得受试者的病理结果,不能对不同病理类型的肾脏组织的 T_1 值变化情况进行评估。在今后的研究中,将进一步分析不同病理类型的肾脏疾病的 T_1 值情况。

综上所述,磁共振 T_1 -mapping 技术对不同功能早期移植肾皮质 T_1 值的差异评估具有一定价值,有望成为临床上无创评估移植肾功能的一种手段。

参考文献:

- [1] Lee VS, Kaur M, Bokacheva L, et al. What causes diminished corticomedullary differentiation in renal insufficiency[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 25(4): 790-795.
- [2] Gillis KA, McComb C, Foster JE, et al. Inter-study reproducibility of arterial spin labelling magnetic resonance imaging for measurement of renal perfusion in healthy volunteers at 3 Tesla[J]. BMC Nephrol, 2014, 15: 23. DOI: 10.1186/1471-2369-15-23.
- [3] Hueper K, Peperhove M, Rong S, et al. T_1 -mapping for assessment of ischemia-induced acute kidney injury and prediction of chronic kidney disease in mice[J]. Eur Radiol, 2014, 24(9): 2252-2260.
- [4] Hueper K, Rong S, Gutberlet M, et al. T_2 relaxation time and apparent diffusion coefficient for noninvasive assessment of renal pathology after acute kidney injury in mice; comparison with histopathology[J]. Invest Radiol, 2013, 48(12): 834-842.
- [5] Huang Y, Sadowski EA, Artz NS, et al. Measurement and comparison of T_1 relaxation times in native and transplanted kidney cortex and medulla[J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 33(5): 1241-1247.
- [6] 黄智敏, 毛慧娟, 俞香宝, 等. 慢性肾衰竭非透析患者心血管并发症的相关因素分析[J]. 中华肾脏病杂志, 2013, 29(10): 743-747.
- [7] K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification[J]. Am J Kidney Dis, 2002, 39(2 Suppl 1): S1-S266.
- [8] 范文骏, 龙森森, 沈文, 等. Cine-MRI 测量健康成年人肾脏运动幅度[J]. 中国医学影像学杂志, 2013, 21(5): 380-382.
- [9] Messroghli DR, Radjenovic A, Kozierke S, et al. Modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) for high-resolution T_1 mapping of the heart[J]. Magn Reson Med, 2004, 52(1): 141-146.
- [10] Messroghli DR, Plein S, Higgins DM, et al. Human myocardium: single-breath-hold MR T_1 mapping with high spatial resolution——reproducibility study[J]. Radiology, 2006, 238(3): 1004-1012.
- [11] Raman FS, Kawel-Boehm N, Gai N, et al. Modified look-locker inversion recovery T_1 mapping indices: assessment of accuracy and reproducibility between magnetic resonance scanners[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2013, 15: 64. DOI: 10.1186/1532-429X-15-64.
- [12] Nacif MS, Turkbey EB, Gai N, et al. Myocardial T_1 mapping with MRI: comparison of look-locker and MOLLI sequences[J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 34(6): 1367-1373.
- [13] Lodhi SA, Meier-Kriesche HU. Kidney allograft survival; the long and short of it[J]. Nephrol Dial Transplant, 2011, 26(1): 15-17.
- [14] 张龙江, 沈文. 肾移植影像学: 新机遇, 新挑战[J]. 放射学实践, 2015, 30(5): 502-503.
- [15] de Bazelaire CM, Duhamel GD, Rofsky NM, et al. MR imaging relaxation times of abdominal and pelvic tissues measured in vivo at 3.0T: preliminary results[J]. Radiology, 2004, 230(3): 652-659.
- [16] Terrier F, Hricak H, Justich E, et al. The diagnostic value of renal cortex-to-medulla contrast on magnetic resonance images[J]. Eur J Radiol, 1986, 6(2): 121-126.
- [17] Levey AS, Coresh J, Greene T, et al. Using standardized serum creatinine values in the modification of diet in renal disease study equation for estimating glomerular filtration rate[J]. Ann Intern Med, 2006, 145(4): 247-254.
- [18] Stevens LA, Coresh J, Schmid CH, et al. Estimating GFR using serum cystatin C alone and in combination with serum creatinine: a pooled analysis of 3,418 individuals with CKD[J]. Am J Kidney Dis, 2008, 51(3): 395-406.

(收稿日期: 2017-04-23)