

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2019.04.005

CT 灌注成像在兔早期肝硬化诊断中的应用价值研究 *

李安源¹ 高兵红² 张金玲¹ 唐 亮¹ 刘秀娟¹ 纪凤颖¹ 马志文¹ 李 东¹

(1 哈尔滨医科大学附属第一医院 CT 室 黑龙江 哈尔滨 150001; 2 哈尔滨市道里区疾控中心 黑龙江 哈尔滨 150010)

摘要 目的:探讨 CT 灌注成像在兔早期肝硬化诊断中的应用价值。**方法:**将 55 只新西兰大白兔随机分为 2 组,其中实验组 45 只,对照组 10 只。实验组给予皮下注射葡萄籽油稀释的 50% CCL₄, 1 次/4 天,前 4 次剂量为 1.0 mL/kg,第 5 次剂量为 1.35 mL/kg,共注射 20 次。对照组采用同样方法只注射相同剂量的生理盐水。每注射 4 次后分别对实验组兔 7 只和正常对照组兔 2 只做螺旋 CT 灌注扫描,分析灌注参数,同时做相应的病理学观察,将二者进行比较及统计学分析。**结果:**注药 4 次末,兔血清 ALT 及 AST 明显高于注药前,注药 8 次末,兔血清 ALT 及 AST 最高,之后兔血清 ALT 及 AST 轻度减低,注药前后兔血清 ALT 及 AST 的变化有统计学意义($P < 0.05$)。而血清(ALB)水平变化不明显,仅在注药 16 次末后,ALB 水平稍减低,但差异无统计学意义。对照组肝脏灌注参数正常,实验组从注药 4 次开始,HAP 呈上升趋势,但注药 4 次末及注药 8 次末,实验组及对照组之间差异无统计学意义($P > 0.1$),注药 12 次末后二者之间差异有统计学意义($P < 0.05$);而 HPP、HBF 及 HBV 呈下降趋势,MTT 逐渐延长,与对照组的差异均有统计学意义($P < 0.05$)。随兔血清 ALT 及 AST 的升高,HAP 逐渐升高,MTT 逐渐延长,而 HPP、HBF 及 HBV 逐渐减低。实验组肝小叶正常结构破坏,肝实质被纤维组织分割成大小不一、圆形或近圆形结节(假小叶),间隔较窄,炎症轻,结节边界尚整齐;汇管区内门脉小支扩张,壁增厚。对照组肝小叶结构规整,肝板排列有序,汇管区无扩大,其内个别炎细胞浸润,肝小叶内偶见点灶状坏死。**结论:**全肝 CT 灌注功能成像可为早期肝硬化的诊断提供影像学依据,将灌注征象与病理学变化结合有利于肝硬化的早期诊断和治疗。

关键词:兔;肝硬化;灌注;X 线计算机体层摄影术

中图分类号:R-33;R575.5;R814.42 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2019)04-626-05

Application Value of CT Perfusion Imaging for the Early Diagnosis of Liver Cirrhosis in Rabbits*

LI An-yuan¹, GAO Bing-hong², ZHANG Jin-ling¹, TANG Liang¹, LIU Xiu-juan¹, JI Feng-ying¹, MA Zhi-wen¹, LI Dong¹

(1 The First Affiliated Hospital of Harbin Medical University CT Department, Harbin, Heilongjiang, 150001, China;

2 Harbin Dao Li Disease Control Center, Harbin, Heilongjiang, 150010, China)

ABSTRACT Objective: To explore the value of CT perfusion imaging in the early diagnosis of liver cirrhosis in rabbits. **Methods:** Fifty-five New Zealand white rabbits were randomly divided into two groups, 45 were in the experimental group and 10 were in the normal control group. The experimental group was given subcutaneous injection of 50% CCL₄ diluted with grape seed oil, 1 dose /4 days, the previous 4 doses were 1.0 mL/kg, the fifth dose was 1.35 mL/kg, with 20 injections. The control group received the same dose of saline in the same way. After each injection of 4 times, spiral CT perfusion scan was performed on 7 rabbits of the experimental group and 2 rabbits of the normal control group, and perfusion parameters were analyzed. Meanwhile, corresponding pathological observations were made and the two were compared and statistically analyzed. **Results:** At the end of 4 times of drug injection, the serum ALT and AST of rabbits were significantly higher than before and at the end of 8 times of drug injection, and the serum ALT and AST were the highest in rabbits. After that, the serum ALT and AST were slightly decreased, and the changes of serum ALT and AST of rabbits before and after drug injection were statistically significant ($P < 0.05$). However, the serum (ALB) level did not change significantly, and only decreased slightly after 16 times of drug injection, but the difference was not statistically significant. Liver perfusion parameters were normal in the control group, and HAP was on the rise in the experimental group from 4 times of drug injection, but the difference between the experimental group and the control group was not statistically significant ($P > 0.1$), and the difference was statistically significant after 12 times of drug injection ($P < 0.05$). However, HPP, HBF and HBV showed a downward trend, and MTT was gradually extended, with statistically significant differences from the control group ($P < 0.05$). With the increase of ALT and AST, HAP gradually increased, MTT gradually lengthened, and HPP, HBF and HBV gradually decreased. The normal structure of hepatic lobule was damaged in the experimental group, and the hepatic parenchyma was divided into round or nearly circular nodules (false lobules) by fibrous tissue in the liver parenchyma. The inner portal vein of the manifold area expanded and the wall thickened. In the control group, the hepatic lobule structure was orderly, the hepatic plate was arranged in an orderly way, and there was no expansion of the sink area. **Conclusion:** Whole liver CT

* 基金项目:黑龙江省自然科学基金项目(D201187)

作者简介:李安源(1970-),男,副主任医师,研究方向:腹部影像诊断,E-mail:13936196924@163.com

(收稿日期:2018-09-29 接受日期:2018-10-30)

perfusion imaging can provide imaging basis for the diagnosis of early liver cirrhosis, and the combination of perfusion signs and pathological changes is helpful for the early diagnosis and treatment of liver cirrhosis.

Key words: Rabbit; Cirrhosis of the liver; Perfusion; X - ray computed tomography

Chinese Library Classification(CLC): R-33; R575.5; R814.42 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2019)04-626-05

前言

肝硬化是一种临床上常见的消化系统疾病,严重威胁人类的健康,需要外科手术的病肝多存在不同程度的肝硬化。多层螺旋 CT 灌注成像不仅可用于探讨肝硬化的发病机制,也可以为研究者提供更多的影像信息,为早期诊断肝硬化和及时制定有效的治疗手段奠定了基础。64 排螺旋 CT 以前的 CT 灌注研究只能对选定层面的信息进行分析,不能获得全肝的灌注信息。本研究采用的 GE 公司动态 500 排 CT 进行灌注成像研究,可以得到全肝的灌注信息,我们将兔肝硬化模型的 CT 灌注成像结果与病理学检查进行对比,分析了二者的相关性,旨在明确动态 500 排 CT 灌注成像在早期肝硬化诊断中的应用价值,结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 实验动物

55 只新西兰大白兔,雌雄不限,体质量 3.0~3.4 kg。笼养适应 10 天后随机分为 2 组,其中实验组 45 只,对照组 10 只。实验组颈后皮下注射葡萄籽油稀释的 50% CCL₄,1 次/4 天,前 4 次剂量为 1.0 mL/kg,第 5 次剂量为 1.35 mL/kg,共注射 20 次。对照组采用同样方法,只注射相同体积的生理盐水。

1.2 兔肝硬化模型灌注

在注药前及注药 4 次后开始,每注射 4 次后分别对实验组兔 7 只和对照组兔 2 只做 CT 灌注扫描,所用 CT 机型为 GE 公司动态 500 排宝石能谱 CT。检查前禁食 12 h,肌注速眠新(0.15 mL/kg)后,于兔耳缘静脉插入静脉留置针,将兔仰卧位固定在木板上,先平扫,选择包括腹主动脉、门脉主干或分支最大

面积层面,然后进行全肝灌注灌注扫描。测定硬化肝脏组织的全部的灌注参数 HBV(肝血容量)、HBF(肝血流量)、MTT(平均通过时间)和 PS(表面通透性)、HAP(肝动脉灌注量)、HAPI(肝动脉灌注指数)、HPP(门静脉灌注量)、HPPI(肝门静脉灌注指数)的变化,全面分析肝硬化兔灌注参数的差异以及参数间的相关性。

1.3 检验指标的动态观察

用注药前及注药 4 次后开始每周静脉取血,分别检测血中谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、白蛋白(ALB)、总胆红素(TBIL)等。

1.4 病理学检查

肝硬化兔缺血模型 CT 灌注扫描后的立即将兔处死,取肝脏实质做病理学检查,包括大体肉眼变化和石蜡切片 HE 染色。

1.5 统计学分析

采用 SPSS10.5 统计学软件进行数据分析,数据以均数±标准差形式表示。以 P<0.05 认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 实验兔的发病情况

实验组 45 只中,实验过程中死亡 10 只,其中 5 只死于实验的前 2 周,对照组无死亡。

2.2 实验兔肝功能的变化情况

注药 4 次末,兔血清 ALT 及 AST 明显高于注药前,注药 8 次末,兔血清 ALT 及 AST 最高,之后兔血清 ALT 及 AST 轻度减低,注药前后血清 ALT 及 AST 的变化有统计学意义(P<0.05)。而血清 ALB 水平变化不明显,仅在注药 16 次末后,ALB 水平稍减低,但差异无统计学意义(P>0.1)。注药后血清 TBIL 水平呈升高趋势,与对照组之间差异具有统计学意义(P<0.05)。

表 1 实验兔肝功能的变化情况

Table 1 Changes of liver function in experimental rabbits

The test items	Drug use before	Note medicine 4 times			Note medicine 8 times			Note medicine 12 times			Note medicine 16 times			Note medicine 20 times		
		$\bar{X} \pm$ SD	t	P	$\bar{X} \pm$ SD	t	P	$\bar{X} \pm$ SD	t	P	$\bar{X} \pm$ SD	t	P	$\bar{X} \pm$ SD	t	P
ALT*	33±5.6	113±6.7	38.058	<0.05	144±7.1	51.887	<0.05	125±6.3	44.521	<0.05	103±5.7	34.722	<0.05	117±6.4	40.478	<0.05
			3			9			9			1			8	
AST*	22±3.7	102±5.7	52.781	<0.05	131±6.2	69.393	<0.05	127±5.4	70.756	<0.05	109±5.3	59.038	<0.05	112±4.7	63.637	<0.05
			6			2			5			1			3	
ALB*	28±2.3	29±2.5	1.1888	>0.1	28±2.6	0	>0.1	29±2.2	1.2241	>0.1	26±3.5	2.1332	>0.1	27±2.7	1.1646	>0.1
									7							
TBIL*	7±1.5	9±2.5	3.1484	<0.05	9±2.6	3.0929	<0.05	10±2.3	4.8915	<0.05	11±2.5	6.2965	<0.05	12±2.7	7.5959	<0.05

注:(ALT)、AST 单位为 U/L,(ALB)单位为 g/L、TBIL 单位为 $\mu\text{mol/L}$ 。

Note: (ALT) and AST are U/L, (ALB) are g/L and TBIL are μmol .

*注药 4 次末,兔血清 ALT、AST、TBIL 水平呈升高趋势,与对照组之间差异具有统计学意义(P<0.05)。

*At the end of 4 times of drug injection, the serum levels of ALT, AST and TBIL in rabbits were increased, and the difference between the two groups was statistically significant (P<0.05).

2.3 CT 灌注扫描情况

对照组肝脏灌注参数正常, 实验组从注药 4 次开始, HAP 呈上升趋势, 但注药 4 次末及注药 8 次末, 实验组及对照组之

间差异无统计学意义 ($P > 0.1$), 注药 12 次末后二者之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 而 HPP、HBF 及 HBV 呈下降趋势, MTT 逐渐延长, 与对照组的差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。

表 2 实验兔 CT 灌注参数的变化
Table 2 Changes of CT perfusion parameters in experimental rabbits

	Con- trol grou p	Note medicine 4 times			Con- trol grou p	Note medicine 8 times			Con- trol grou p	Note medicine 12 times			Con- trol grou p	Note medicine 16 times			Con- trol grou p	Note medicine 20 times		
		X±	t	P		X±	t	P		X±	t	P		X±	t	P		X±	t	P
		SD				SD				SD				SD				SD		
HAP	0.15	0.16			0.14	0.16			0.15	0.19			0.15	0.21			0.15	0.26		
	3±	2±	1.08	>0.1	9±	7±	1.76	>0.1	1±	2±	2.89	<0.	2±	2±	3.95	<0.	4±	2±	10.3	<0.
	0.01	0.03	30		0.01	0.05	50		0.01	0.07	33	05*	0.01	0.08	06	05	0.01	0.05	350	05
	6	9			2	6			5	9			2	7			4	6		
HPP	1.15	1.10			1.15	1.05			1.15	0.95			1.15	0.87			1.15	0.73		
	6±	2±	2.38	<0.	5±	6±	2.76	<0.	7±	6±	3.68	<0.	4±	4±	4.82	<0.	3±	2±	9.07	<0.
	0.01	0.13	60	05	0.00	0.21	26	05	0.01	0.32	40	05	0.02	0.34	28	05	0.01	0.27	97	05
	2	2			9	2			2	2			2	1			9	2		
HBF	1.18	1.10		<0.	1.20	1.08		<0.	1.19	1.01			1.17	0.97			1.17	0.78		
	7±	9±	2.79	05	7±	7±	2.96	05	7±	7±	5.45	<0.	7±	6±	3.45	<0.	3±	6±	4.25	<0.
	0.05	0.13	60		0.03	0.23	30		0.04	0.17	82	05	0.05	0.33	10	05	0.04	0.53	52	05
	3	2			2	2			5	6			3	0			3	2		
HBV	0.25	0.19			0.24	0.18			0.24	0.17			0.23	0.15			0.24	0.14		
	4±	8±	3.87	<0.	3±	5±	3.47	<0.	2±	1±	3.79	<0.	6±	8±	4.17	<0.	1±	9±	5.06	<0.
	0.03	0.05	43	05	0.04	0.04	39	05	0.05	0.04	81	05	0.05	0.03	764	05	0.04	0.05	67	05
	5	5			7	5			4	5			6	5			9	6		
MTT	7.35	8.85			7.31	10.7			7.29	13.1			7.41	17.4			7.53	19.5		
	4±	4±	7.48	<0.	2±	54±	19.1	<0.	8±	36±	27.6	<0.	3±	38±	36.3	<0.	6±	23±	28.4	<0.
	0.52	0.67	59	05	0.47	0.59	62	05	0.38	1.02	35	05	0.63	1.12	092	05	0.65	2.17	372	05
	2	2			1	4			3	4			2	7			4	3		

注: HAP、HPP、HBF 的单位为 mL/(min·100 mL), HBV 的单位为 mL/g, MTT 的单位为 s。

Note: HAP, HPP and HBF are in mL/(min·100 mL), the unit of HBV is mL/g, the unit of MTT is s.

* 注药 12 次末后 HAP 升高与对照组之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 而 HPP、HBF 及 HBV 呈下降趋势, MTT 逐渐延长, 与对照组的差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。

*The difference between the 12 times of apoplexy and the control group was statistically significant ($P < 0.05$). However, HPP, HBF and HBV showed a downward trend, and MTT was gradually extended, with statistically significant differences from the control group ($P < 0.05$).

结合表 1 及表 2 可以看出, 随兔血清 ALT 及 AST 的升高, HAP 逐渐升高, MTT 逐渐延长, 而 HPP、HBF 及 HBV 逐渐减低。

2.4 病理学检查情况

实验组肝小叶正常结构破坏, 肝实质被纤维组织分割成大小不一、圆形或近圆形结节(假小叶), 间隔较窄, 炎症轻, 结节边界尚整齐; 汇管区内门脉小支扩张, 壁增厚。对照组肝小叶结构规整, 肝板排列有序, 汇管区无扩大, 其内个别炎细胞浸润, 肝小叶内偶见点灶状坏死。

3 讨论

肝硬化是临床常见的慢性进行性肝病, 由一种或多种病因长期或反复作用形成的弥漫性肝损害, 在我国大多数为肝炎后肝硬化, 少部分为酒精性肝硬化和血吸虫性肝硬化。在各种致

病因子的作用下, 肝细胞将发生弥漫性变性、坏死、纤维组织增生和发生结节状再生, 这些病理变化反复交错进行将导致肝脏变形性、变硬。肝脏假小叶形成及肝细胞结节状再生, 导致门静脉压力增高, 毛细血管排列杂乱, 使肝窦间隙减小, 从而导致肝窦灌注不足^[12]。门静脉灌注量减少, 会导致肝动脉灌注增加^[3]。早期阻断甚至逆转肝硬化已经成为肝硬化治疗中的关键问题。

肝硬化动物模型的建立为早期肝硬化研究的一项重要课题^[4,5]。纪凤颖等^[6]采取初始给予皮下注射花生油稀释的 50% CCL4 1.5 mL/kg 建立兔肝硬化模型, 第二周每次剂量改为 2 mL/kg, 从第三周开始每次剂量改为 2.5 mL/kg, 每周两次, 共 10 周。本实验经过预实验, 发现按以上剂量实验兔死亡率较高, 故将初始剂量调整为 1.0 mL/kg, 同时考虑按 2 次/周计算给药, 间隔时间存在误差, 将注射间隔调整为 1 次/4 天, 前 4 次剂量为 1.0 mL/kg, 第 5 次剂量为 1.35 mL/kg, 总次数为 20

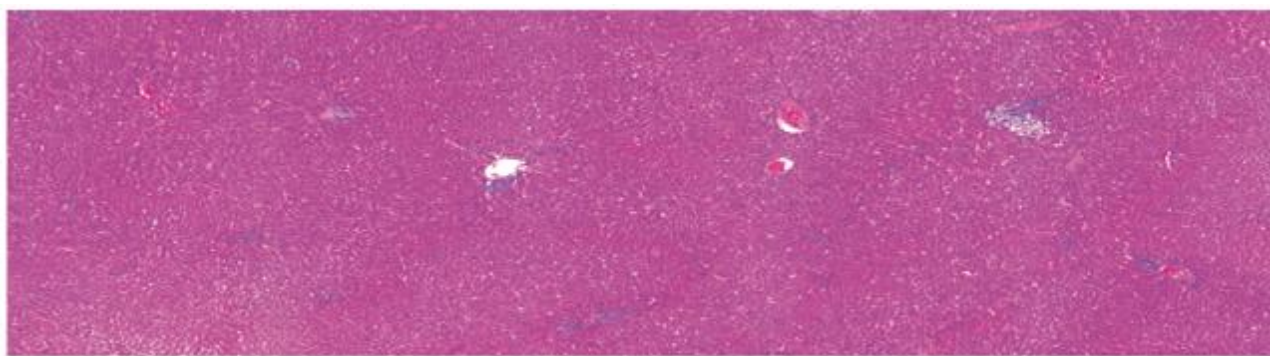


图1 对照组肝小叶结构规整,肝板排列有序,汇管区无扩大,其内个别炎细胞浸润,肝小叶内偶见点灶状坏死

Fig.1 Orderly structure of hepatic lobule, orderly arrangement of hepatic plate, no expansion of manifold area, infiltration of some inflammatory cells, and occasional focal necrosis in hepatic lobule

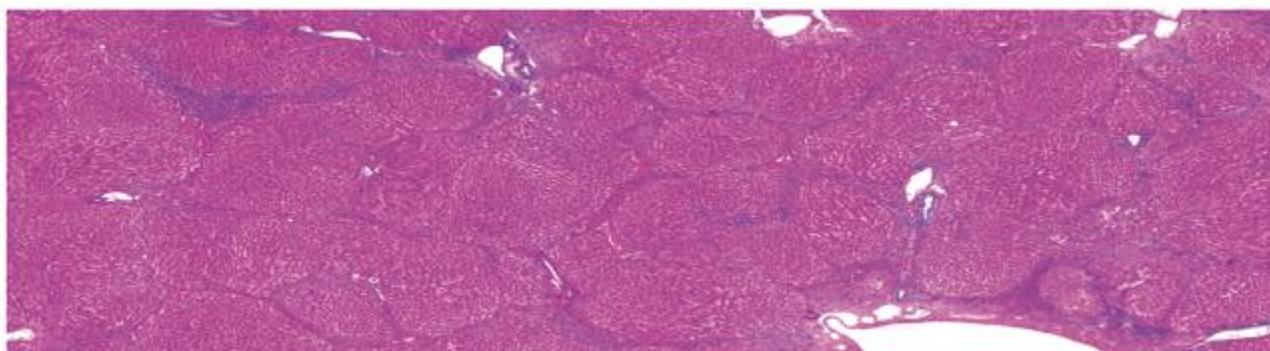


图2 实验组肝小叶正常结构破坏,肝实质被纤维组织分割成大小不一,圆形或近圆形结节(假小叶),间隔较窄,炎症轻,结节边界尚整齐;汇管区内门脉小支扩张,壁增厚。

Fig.2 Normal structure destruction of hepatic lobule, the liver parenchyma is divided into circular or nearly circular nodules (false lobules) by fibrous tissue in different sizes, with narrow space, light inflammation, and neat boundary of nodules. The inner portal vein of the manifold area expanded and the wall thickened.

次。本实验兔前2周死亡较多,与文献报道相似,考虑一方面由于实验者操作不够熟练、注射过深,另一方面由于CCL4中毒引起的急性肝细胞坏死,其释放出的凝血活酶样物质引起血管内皮损害,导致严重出血,因此实验初始CCL4剂量不宜过大。

目前,临床上对肝硬化的诊断仍以肝脏穿刺做病理学检查作为主要诊断手段、也是判断肝硬化程度的“金标准”,但因为其是有创的检查手段,临床应用受到极大限度。随着计算机的发展及其在医学影像学中的引用,医学影像学专家致力于应用CT、MRI、超声、核医学等影像检查方法,探索用无创性的半定量或定量方法,对肝纤维化及肝硬化程度进行评估。有学者^[7]利用磁敏感加权成像评估肝纤维化,认为肝脏/肌肉信号比率与肝纤维化程度呈明显负相关性。螺旋CT机问世前,CT检查只能反映脏器的解剖形态。多层螺旋CT,尤其是64排以后的多层螺旋CT,因为扫描速度快,工作站后处理功能强大,使得CT灌注成像成为一种功能成像范畴^[8],有学者^[9]利用双源CT全肝灌注观察肝脏血流动力学变化。

近年来,有学者^[10-12]采用能谱研究肝纤维化及肝硬化不及灌注成熟,精确度、敏感度及特异度有待进一步提高。有研究者^[13-19]利用门静脉灌注能谱测量肝动脉碘浓度,根据门静脉及脾静脉能谱曲线斜率可进行肝硬化患者的Child-Pugh分级,认为选择合适的诊断阈值,其敏感度及特异度可达60%以上。Masatoshi^[20]等利用肝脏增强CT三维统计模型评估不同肝纤维化肝的形态参数变化,认为其可以通过量化肝形态进行评估肝

纤维化程度。胡菊林^[21]等利用CT增强探讨了肝门区门静脉右支间隙改变与肝纤维化及肝硬化病理学相关性,认为门静脉右支间隙宽度 ≥ 10 mm,诊断早期肝硬化的灵敏度及特异度达88%和71%。

肝脏灌注成像可以通过用无创手段定量分析肝脏血流动力学变化,同时提供形态变化和功能改变两方面信息。全肝CT灌注成像弥补了以往CT灌注成像单层灌注的不足,使我们能在形态学变化之前更全面地了解及发现肝脏弥漫性病变,了解病灶的性质与血液动力学变化^[22],可以在组织水平上非侵入性的测量血流量,进而评估正常或病理状态,临床上具有一定的可行性^[23]。CT灌注成像^[24,25]采用GE公司动态500排宝石能谱CT工作站自带的肝脏灌注分析软件对获得的肝脏灌注数据进行后处理,输入血管为腹主动脉,输出血管为门静脉主干或其大分支,测定全肝的灌注参数,包括HBV(肝血容量)、HBF(肝血流量)、MTT(平均通过时间)、PS(表面通透性)、HAP(肝动脉灌注量)、HPP(门静脉灌注量)、HAPI(肝动脉灌注指数)及HPPI(肝门静脉灌注指数)。本实验采用GE公司AW4.5工作站自带的肝脏灌注分析软件,HAP(肝动脉灌注量)HAPI(肝动脉灌注指数)从注药4次后,呈逐渐上升,而HPP(门静脉灌注量)、HPPI(肝门静脉灌注指数)及HBF(肝血流量)呈逐渐下降,这些参数的变化与一些学者^[26,27]的实验结果相一致,说明随着肝脏功能受损程度的逐渐加重,门静脉的灌注量会逐渐减少,这可能由于肝细胞气球样变、肝窦淤血、纤维细胞增生,导致门静脉

血流受阻。

正常肝脏 75% 的血流供应为门静脉，门静脉的灌注减低，使占正常肝脏 25% 肝动脉灌注量增加，以缓解肝脏血流灌注的不足。有学者研究发现门静脉灌注量与凝血酶原之间存在正相关，检测凝血酶原可作为肝实质损害的指标，利用肝脏 CT 灌注参数定量测定肝脏血流变化，将从影像学方面对肝硬化进行早期诊断，并且可以评价肝硬化治疗效果和判断患者的预后。MTT 是指对比剂从肝动脉流入至从肝静脉流出所需的时间，主要反映血液通过毛细血管的时间，本研究中 MTT 随肝硬化的形成逐渐延长，其病理学基础是由于肝纤维化及再生结节的挤压，肝内门静脉与肝静脉分支闭塞，使血液经门静脉流入及经肝静脉流出均受阻碍。理论上，肝硬化晚期，门静脉与肝动脉之间会出现吻合，形成门静脉-肝静脉短路，对比剂通过肝脏的时间将会缩短。因此，肝硬化 CT 灌注参数的变化与病理变化的关系十分复杂，肝硬化不同阶段肝脏 CT 灌注参数的变化是不一样的，这需要大样本的长期观察去证实。

总之，全肝 CT 灌注为功能成像，为研究肝硬化血液动力学变化提供了一种新的方法，对早期肝硬化的诊断提供了影像学依据，将灌注征象与病理变化有机结合，有利于肝硬化的早期诊断，为临床对肝硬化的早期治疗提供更多的信息。

参考文献(References)

- [1] Liu Jin-xia, Cheng Xin-guo, Zheng Rong, et al. Truncated Active Human MatrixMetalloproteinase-8 Delivered by a Chimeric Adenovirus-Hepatitis B Virus Vector Ameliorates Rat Liver Cirrhosis [J]. Journal List, 2013, 8(1): e53392
- [2] Forner A, Llovet JM, Bruix J. Hepatocellular carcinoma [J]. The Lancet, 2012, 379(9822): 1245
- [3] TK Tajima, T Kuroiwa, K Yoshimitsu, et al. Sequential hemodynamic change in hepatocellular carcinoma and dysplastic nodules: CT angiography and pathologic correlation[J]. AJR, 2002, 178(4): 885
- [4] 赵雪珂, 纪凤颖, 赵旭, 等. CT 全肝灌注的临床应用及进展[J]. 现代生物医学进展, 2016, 16(5): 956-957
- [5] 赵旭, 纪凤颖, 常燃, 等. 肝 CT 灌注成像技术在肝脏肿瘤应用现状、存在的问题及展望[J]. 现代生物医学进展, 2018, 18(4): 207-210
- [6] 纪凤颖, 徐克, 范金玉. 兔早期肝硬化形成中 CT 灌注成像的实验研究[J]. 中国医学影像技术, 2007, 23(5): 645-648
- [7] Balassy C, Feier D, Peck-Radosavljevic M, et al. Susceptibility-weighted MR imaging in the grading of fibrosis: a feasibility study[J]. Radiology, 2014, 270(1): 149-158
- [8] Sheiman R G, Sitek A. CT perfusion imaging: know its assumptions and limitations[J]. Radiology, 2008, 246(2): 649. 23
- [9] Zhai Ya-nan, Li Lei, Yin Liang, et al. Role of dual-source CT low-dose whole liver perfusion imaging in evaluating liver blood perfusion after transjugular intrahepatic portosystemic shunt in cirrhotic patients with portal hypertension [J]. Clin Hepatol, 2016, 32(10): 1894
- [10] de Cecco CN, Muscogiuri G, Schoepf U, et al. Virtual unenhanced imaging of the liver with third-generation dual-source dual-energy CT and advanced modeled iterative reconstruction [J]. Eur J Radiol, 2016, 85(7): 1257-1264
- [11] Su L, Dong J, Sun Q, et al. Spectral CT imaging in patients with Budd-Chiari syndrome: investigation of imaging quality[J]. Ceil Biophys, 2014, 70(2): 1043-1049
- [12] Lamb P, Sahani DV, Fuentes-Orrego JM. Stratification of patients with liver fibrosis using dual-energy CT [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2015, 34(3): 807-815
- [13] Ascenti G, Sofia C, Mazziotti S, et al. Dual-energy CT with iodine quantification in distinguishing neoplastic Clin Radiol, 2016, 71(9): 938-1-9
- [14] 王芳, 沈加林, 华静, 等. 能谱 CT 评估肝硬化食管静脉曲张程度的价值研究[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(2): 208-212
- [15] 严福华. 肝硬化门静脉高压 CT 和磁共振成像的表现及研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2016, 32(6): 1079-1082
- [16] 陈俊华. 多排螺旋 CT 灌注成像在肝纤维化和肝硬化诊断中的应用研究[J]. 中国中西医结合消化杂志, 2017, 27(2): 21-24
- [17] 王伟, 谢石穿. 多排螺旋 CT 灌注成像对肝炎、肝纤维化和早期肝硬化诊断的临床价值分析 [J]. 现代医用影像学, 2017, 24(6): 152-154
- [18] 吕增禄. 64 排螺旋 CT 灌注成像在肝脏疾病中的应用[J]. 影像研究与医学应用, 2018, 10(5): 104-106
- [19] 江帆, 邓克学, 赵娜, 等. 能谱 CT 成像应用于肝纤维化 Child-Pugh 分级[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2015, 21(1): 48-52
- [20] Masatoshi H, Toshiyuki O, Keisuke H, et al. Quantitative imaging: quantification of liver shape on CT using the statistical shape model to evaluate hepatic fibrosis[J]. Acad Radiol, 2015, 22(3): 303-309
- [21] 胡菊林, 戴小平, 周建波, 等. CT 评价门静脉右支前间隙改变及与肝纤维化病理学分期的关系 [J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 11(2): 674-677
- [22] CS Ng, BP Hobbe, AG Chandler, et al. Metastases to the Liver from Neuroendocrine Tumors: Effect of Duration of Scan Acquisition on CT Perfusion Values [J]. Radiology, 2013, 269(3): 758-767
- [23] TSUSHIMA Y, ENDO K. Portal perfusion measurement on dynamic CT in patients with liver cirrhosis[J]. Am J Roentgenol, 2005, 185(3): 813
- [24] 王彩红, 苏丹柯, 刘剑仑, 等. 多层螺旋 CT 灌注对肝癌病人肝硬化分级及肝储备功能评价的研究 [J]. 实用放射学杂志, 2008, 24(2): 1997-200
- [25] 汤秋月, 向述天, 张洪, 等. 320 排容积 CT 灌注成像对原发性肝癌肝储备功能评价的研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2017, 15(5): 92-95
- [26] 靳秀丽, 杨汉丰, 蒋世明. CT 灌注成像技术对犬肝纤维化模型的实验研究[J]. 川北医学院学报, 2011, 26(5): 381-385
- [27] 吴国华, 殷允娟, 侯海燕, 等. 256 层 CT 一站式检查评估肝硬化患者肝脏储备功能 [J]. 南京医科大学学报: 自然科学版, 2015, 35(3): 417-420