

• 腹部影像学 •

比较 MRI-DWI 单双指数模型术前预测肝细胞癌微血管侵犯的 Meta 分析

王飞, 鄢春月, 任安伟, 储松

【摘要】 目的:探讨并比较磁共振单双指数模型参数 ADC 值、D 值、 D^* 值、f 值术前定量预测肝细胞癌(HCC)微血管侵犯(MVI)的价值。**方法:**检索 PubMed、Web of science、Embase、Cochrane Library、中国知网及万方数据库中关于扩散加权成像(DWI)单指数模型 ADC 值及体素内不相干运动(IVIM)双指数模型 D 值、 D^* 值、f 值对 HCC-MVI 诊断效能的研究,时间从建库至 2020 年 11 月 20 日。由 2 位研究人员独立筛选文献、提取资料及质量评价。**结果:**共纳入 23 篇文献(中文 10 篇,英文 13 篇),共 3540 例 HCC(MVI 阳性 1403 例,MVI 阴性 2137 例),不存在发表偏倚($P>0.1$)。MVI 阳性组与 MVI 阴性组的 ADC 值($SMD=-0.70, 95\%CI: -0.94\sim-0.47, P<0.00001$)、D 值($SMD=-1.01, 95\%CI: -1.22\sim-0.79, P<0.00001$)差异有统计学意义,而 D^* 值($SMD=-0.11, 95\%CI: -0.31\sim0.09, P=0.30$)、f 值($SMD=-0.11, 95\%CI: -0.31\sim0.09, P=0.28$)的组间差异无统计学意义。ADC 值及 D 值术前定量预测 HCC-MVI 阳性的合并敏感度分别为 0.73 和 0.83($Z=-1.847, P=0.065$),特异度分别为 0.68 和 0.72($Z=-0.141, P=0.888$),SROC 曲线下面积分别为 0.7617 和 0.8560($Z=-2.456, P=0.014$)。亚组分析结果提示文献类型、MVI 阳性与阴性比例、样本量可能为异质性来源。**结论:**HCC-MVI 阳性的 D 值及 ADC 值明显低于 HCC-MVI 阴性,D 值术前定量预测 HCC-MVI 阳性的效能明显优于 ADC 值,具有更高的敏感度及特异度。

【关键词】 肝细胞癌;微血管侵犯;扩散加权成像;体素内不相干运动;磁共振成像;Meta 分析

【中图分类号】 R735.7; R445.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)05-0594-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.05.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Meta-analysis of comparing MRI-DWI mono- and bi-exponential models for preoperative prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma WANG Fei, YAN Chun-yue, REN An-wei, et al. Department of Medical Imaging, Luzhou People's Hospital, Sichuan 646000, China

【Abstract】 Objective: To investigate and compare the diagnostic efficacy of ADC value, D value, D^* value, f value of magnetic resonance mono- and bi-exponential models for preoperative quantitative prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma (HCC-MVI). **Methods:** The databases of PubMed, Web of science, Embase, Cochrane Library, CNKI and Wanfang were researched from establishment to November 20, 2020. To search for the diagnostic studies of HCC-MVI by using diffusion weighted imaging (DWI) mono-exponential model ADC value or intravoxel incoherent motion (IVIM) bi-exponential model D value, D^* value, and f value. Two researchers independently screened the literature, extracted the data and evaluated the quality. **Results:** Totally 23 up-to-standard literatures (10 in Chinese and 13 in English) were included, including 3540 HCCs (MVI positive: 1403 columns, MVI negative: 2137 columns). There was no publication bias in each study ($P>0.1$). There were statistically significant differences between the groups (MVI positive vs MVI negative) of ADC value ($SMD=-0.70, 95\%CI: -0.94\sim-0.47, P<0.00001$), D value ($SMD=-1.01, 95\%CI: -1.22\sim-0.79, P<0.00001$). While there were no statistically significant differences between the groups of D^* value ($SMD=-0.11, 95\%CI: -0.31\sim0.09, P=0.30$), f value ($SMD=-0.11, 95\%CI: -0.31\sim0.09, P=0.28$). The combined sensitivities of ADC value and D value for MVI positivity were 0.73 and 0.83

作者单位: 646000 四川, 泸州市人民医院医学影像科(王飞, 任安伟, 储松), 妇产科(鄢春月)

作者简介: 王飞(1991-), 男, 四川泸州人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事医学影像诊断工作。

通讯作者: 鄢春月, E-mail: 2581655460@qq.com

($Z = -1.847, P = 0.065$), the specificities were 0.68 and 0.72 ($Z = -0.141, P = 0.888$), and the areas under the SROC curve were 0.7617 and 0.8560 ($Z = -2.456, P = 0.014$). The subgroup analysis identified that the type of literature, the ratio of positive to negative MVI, and sample size might be the source of heterogeneity. **Conclusions:** The D value and ADC value of positive MVI were significantly lower than that of negative MVI, and the diagnostic efficacy of D value for positive MVI was significantly better than that of ADC value, with higher sensitivity and specificity.

【Key words】 Hepatocellular carcinoma; Microvascular invasion; Diffusion weighted imaging; Intravoxel incoherent motion; Magnetic resonance imaging; Meta-analysis

肝细胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 微血管侵犯 (microvascular invasion, MVI) 指显微镜下侵犯门静脉或肝静脉等终末分支小血管的微转移癌栓或衬覆在脉管腔内的肿瘤细胞巢团^[1-2]。HCC 发生 MVI 的概率为 15.00%~57.10%^[3]。相关研究报道, MVI 是 HCC 病理学上最具特征性的肿瘤恶性生物学行为^[4-7], HCC-MVI 阳性患者的术后复发率亦是 HCC-MVI 阴性患者的 4.4 倍^[8]。因此, 探究一种术前无创性定量预测 HCC-MVI 的检查方法及预测模型, 显得尤为重要。

体素内不相干运动 (intravoxel incoherent motion, IVIM) 双指数模型参数 D 值 (真实扩散系数)、D* 值 (灌注扩散系数)、f 值 (灌注分数) 是基于双指数模型信号衰减, 通过对 b 值的选择, 将单纯水分子的扩散与血流微灌注区分开而得到。近年来, 多项研究表明^[9-31], 磁共振扩散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 单指数模型参数表观扩散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 值及 IVIM 双指数模型参数 (D 值、D* 值、f 值) 可对 HCC-MVI 进行术前预测, 但部分研究在上述参数术前能否鉴别 HCC-MVI 上存在分歧, 在术前预测 HCC-MVI 阳性效能的优劣上观点不一, 各效应指标相差较大, 且样本量较小。因此, 本研究拟通过 Meta 分析及系统评价, 旨在为后续研究及临床决策提供循证医学证据。

材料与方法

1. 文献检索

检索 PubMed、Web of science、Embase、Cochrane Library、中国知网及万方数据库, 时间从建库至 2020 年 11 月 20 日。中文检索“磁共振表观扩散系数”或“体素内不相干运动”或“DWI”或“ADC 值”或“IVIM”和“(“肝细胞癌”或“微血管侵犯”) 和“(“肝癌微血管侵犯”或“肝细胞癌微血管侵犯”)”; 英文检索“diffusion weighted imaging”OR “DWI” OR “apparent diffusion coefficient” OR “intravoxel incoherent motion” OR “IVIM” AND “(“hepatocellular carcinoma” or HCC) and (“microvascular invasion” or “hepatocellu-

lar carcinoma microvascular invasion”)”。并对检索提供的参考文献进行二次检索, 研究目标为人类。

2. 纳入及排除标准

文献纳入标准: ①公开发表的中、英文文献, 内容为 DWI 或 IVIM 术前预测 HCC-MVI 的相关研究; ②以病理为金标准, 总样本 ≥ 30 例; ③能直接提取单指数模型参数 ADC 值或双指数模型参数 D 值、D* 值、f 值术前预测 HCC-MVI 的平均值及标准差或敏感度及特异度, 计算真阳性值 (true positive, TP)、假阳性值 (false positive, FP)、假阴性值 (false negative, FN) 和真阴性值 (true negative, TN)。

文献排除标准: ①重复发表的文献; ②评述、综述或会议。

3. 文献筛选及资料提取

将检索文献导入 NoteExpress 去重后, 由王飞和鄢春月独自严格按照纳入与排除标准提取文献的基本特征及诊断参数, 所得数据相互复核 3 次。

4. 质量评价

由任安伟和储松独自对纳入文献采用诊断试验质量评价工具 (quality assessment of diagnostic accuracy studies-2, QUADAS-2) 量表 14 条标准^[32]按“是”1 分、“不清楚”0 分、“否”-1 分进行 QUADAS 评分, 出现分歧时王飞加入, 三者共同商讨决定, 总分 14 分。

5. 统计学分析

采用 RevMan 5.3 及 Meta-Disc 1.4 软件对连续性数据及诊断性研究进行汇总。采用 Q 检验 P 值及 I^2 评判异质性, $I^2 > 50\%$ 或 $P < 0.05$ 为研究间存在较高异质性, 予随机效应模型合并, 反之则固定效应模型合并。连续性数据以标准化均数差 (standard mean difference, SMD) 为效应指标; 计算诊断性研究纳入文献的 Spearman 相关系数, 集成受试者工作特征 (summary receiver operating characteristic, SROC) 曲线及各效应指标, 计算曲线下面积 (area under curve, AUC)。采用 stata12 软件绘制漏斗图判断发表偏倚, 行敏感性分析及亚组分析探讨异质性来源, 组间行 Mann-Whitney U 检验。

结 果

1.纳入研究的基本特征

按照文献纳入及排除标准(图 1)最终纳入 23 篇文献^[9-31],研究 ADC 值共 2301 例 HCC(MVI 阳性 911 例,MVI 阴性 1390 例),D 值共 413 例 HCC(MVI 阳性 164 例,MVI 阴性 249 例),D* 值共 413 例 HCC(MVI 阳性 164 例,MVI 阴性 249 例),f 值共 413 例 HCC(MVI 阳性 164 例,MVI 阴性 249 例),纳入研究的基本特征及质量评价见表 1,诊断性研究的部分参数见表 2。

2.Meta 分析结果

单指数模型参数:23 项研究(n=2301)报道 ADC 值术前定量预测 HCC-MVI,存在明显异质性($I^2=83\%$),予随机效应模型合并,组间差异有统计学意义($SMD=-0.70,95\%CI:-0.94\sim-0.47,P<0.00001$,图 2a)。

双指数模型参数:7 项研究(n=413)分别报道了 D 值、D* 值、f 值术前定量预测 HCC-MVI,均无异质性($I^2=0\%$),予固定效应模型合并。D 值($SMD=-1.01,95\%CI:-1.22\sim-0.79,P<0.00001$,图 2b)的组间差异有统计学意义,而 D* 值($SMD=-0.11,95\%CI:-0.31\sim0.09,P=0.30$,图 2c)、f 值($SMD=-0.11,95\%CI:-0.31\sim0.09,P=0.28$,图 2d)的组间差异无统计学意义。

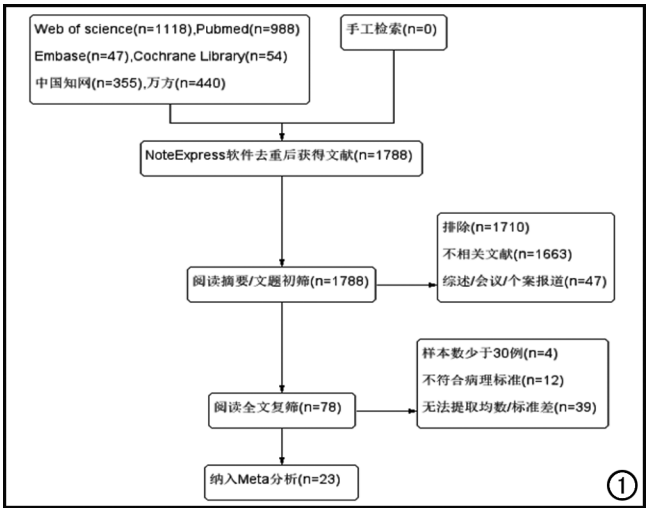


图 1 文献筛选流程图。

3.ADC 值及 D 值术前预测 HCC-MVI 阳性的效能

根据 Spearman 相关系数,ADC 值涉及 13 项研究($r=0.482,P=0.095$),D 值涉及 6 项研究($r=0.771,P=0.072$),均提示不存在阈值效应。合并及比较 ADC 值、D 值术前定量预测 HCC-MVI 阳性的效应指标(表 3),SROC 曲线见图 3a、3b。

4.敏感性分析

ADC 值的连续性数据研究存在明显异质性,逐一排除每一项研究后,敏感性分析结果为-0.58(95%

表 1 纳入研究的基本特征及质量评价

第一作者	发表年份	研究类型	年龄(岁)	盲法	样本(男/女)	仪器类型(T)	b 值数/最大 b 值(s/mm ²)	MVI(+/-)	QUADAS 评分
Suh YJ ^[9]	2012	回顾性	56.0	是	65(54/11)	Siemens3.0	3/800	31/36	14
Xu P ^[10]	2014	回顾性	53.2	是	92(80/12)	Siemens1.5	2/500	39/70	14
Okamura S ^[11]	2016	回顾性	67.0	是	75(54/21)	Siemens1.5	2/1000	33/42	13
Huang YQ ^[12]	2016	回顾性	53.4	是	51(44/7)	Siemens1.5	2/500	26/25	12
张坤 ^[13]	2017	回顾性	54.0	不清楚	321(279/42)	GE1.5	1/800	67/254	10
Zhao J ^[14]	2017	回顾性	59.0	是	318(258/60)	GE1.5	2/800	211/107	13
Lee S ^[15]	2017	回顾性	54.8	是	197(162/35)	Philips3.0	3/800	105/38	14
周华 ^[16]	2018	回顾性	50.2	是	133(84/49)	Siemens3.0	2/800	36/97	13
Li H ^[17]	2018	前瞻性	51.5	是	41(38/3)	Philips3.0	10/1000	21/20	14
白婷婷 ^[18]	2018	回顾性	57.4	是	40(33/7)	Siemens3.0	10/1200	18/22	13
王玉涛 ^[19]	2018	回顾性	50.0	是	43(36/7)	GE1.5	2/600	12/31	13
Zhao W ^[20]	2018	回顾性	50.6	是	51(43/8)	GE3.0	16/1000	18/33	13
李宏翔 ^[21]	2018	前瞻性	51.0	是	31(29/2)	Philips3.0	9/1000	18/16	13
Cao L ^[22]	2019	回顾性	49.2	是	74(62/12)	Siemens3.0	5/2100	38/36	14
张倩 ^[23]	2019	回顾性	51.1	不清楚	66(57/9)	Siemens1.5	2/700	38/28	10
Wei Y ^[24]	2019	前瞻性	51.9	是	115(78/37)	GE3.0	13/1200	55/80	14
胡艳 ^[25]	2019	回顾性	49.4	是	40(33/7)	Philips3.0	2/800	17/23	13
Chuang YH ^[26]	2019	回顾性	55.6	是	97(65/32)	GE1.5	2/400	18/97	14
Wang WT ^[27]	2019	回顾性	53.0	是	84(72/12)	Siemens1.5	6/2000	40/52	14
Kim JG ^[28]	2019	回顾性	57.0	是	143(105/38)	Philips3.0	3/800	69/74	13
李旭辉 ^[29]	2020	回顾性	50.3	是	84(65/19)	GE1.5	2/700	31/53	12
张添源 ^[30]	2020	回顾性	54.7	是	50(41/9)	Philips3.0	8/1000	13/37	14
张跃 ^[31]	2020	回顾性	51.8	是	59(36/23)	Siemens3.0	10/800	21/41	14

注:MVI(+/-)示 HCCMVI(阳性/阴性)。

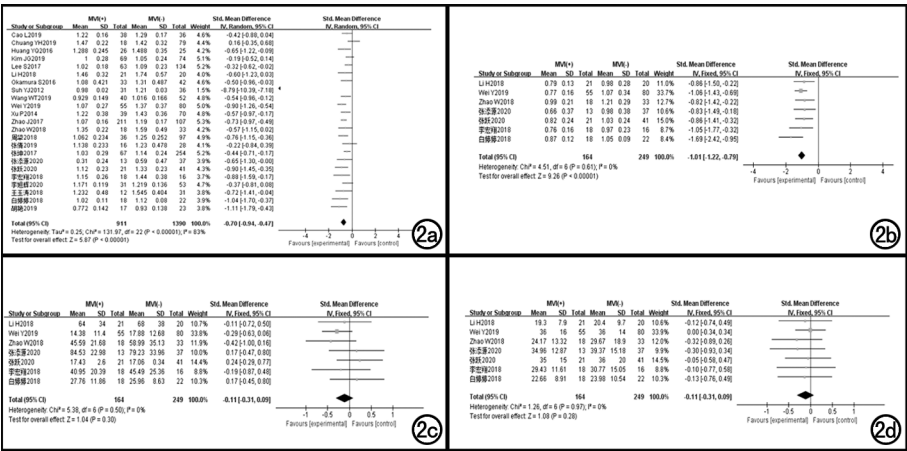


图 2 a) ADC 值术前鉴别 HCC 是否 MVI 的森林图; b) D 值术前鉴别 HCC 是否 MVI 的森林图; c) D* 值术前鉴别 HCC 是否 MVI 的森林图; d) f 值术前鉴别 HCC 是否 MVI 的森林图。

表 2 术前预测 HCC-MVI 阳性的诊断参数

第一作者/ 指标	敏感度 (%)	特异度 (%)	AUC	TP	FP	FN	TN
李宏翔 ^[21]							
②	83.3	62.5	0.733	15	6	3	10
①	94.4	56.2	0.762	17	7	1	9
Wei Y ^[24]							
②	70.9	65	0.746	39	28	16	52
①	78.2	75	0.815	43	20	12	60
Li H ^[17]							
②	76.2	65	0.72	16	7	5	13
①	81	85	0.874	17	3	4	17
Zhao W ^[20]							
②	60.6	88.9	0.670	11	4	7	29
①	66.7	88.9	0.753	12	4	6	29
张跃 ^[31]							
②	58.6	74.1	0.685	12	11	9	30
①	91.4	59.6	0.774	19	17	2	24
白婷婷 ^[18]							
①	100	63.6	0.864	18	8	0	14
Suh YJ ^[9]							
②	93.5	72.2	0.898	29	10	2	26
张坤 ^[13]							
②	55.22	71.65	0.639	37	72	30	182
胡艳 ^[25]							
②	76.47	82.6	0.806	13	4	4	19
Xu P ^[10]							
②	66.7	78.6	0.711	26	15	13	55
周华 ^[16]							
②	69.4	67	0.705	25	32	11	65
Zhao J ^[14]							
②	79.15	50.47	0.69	167	53	44	54
Okamura S ^[11]							
②	75.8	77.5	0.772	25	9	8	33
张添源 ^[30]							
②	84.6	45.9	0.681	11	20	2	17

注:①为 D 值,②为 ADC 值。

CI: -0.67~-0.49, 图 4), 提示各研究结果稳定。

5.亚组分析

表 3 术前定量预测 HCC-MVI 阳性的效应指标

合并效应量	ADC 值	D 值	ADC 值与 D 值	
			Z	P
敏感度(95%CI)	0.73(0.70~0.77) [#]	0.83(0.77~0.89) [#]	-1.847	0.065
特异度(95%CI)	0.68(0.65~0.71) [#]	0.72(0.66~0.78) [#]	-0.141	0.888
阳性似然比(95%CI)	2.12(1.89~2.38) ^{&}	2.96(2.36~3.71) ^{&}		
阴性似然比(95%CI)	0.43(0.37~0.50) ^{&}	0.24(0.17~0.34) ^{&}		
诊断比值比(95%CI)	5.16(4.12~6.46) ^{&}	15.08(8.75~25.99) ^{&}	-7.854	0.000
AUC	0.7617	0.8560	-2.456	0.014

注: & 固定效应模型, # 随机效应模型。

表 4 诊断性研究的亚组分析

项目	文献数	合并敏感度 (95%CI)	I ²	Z	P	合并特异度 (95%CI)	I ²	Z	P
ADC 值:	13								
MVI(+/-)比				-2.155	0.031			-1.388	0.165
≥0.6	7	0.79(0.74,0.83)	21.6%			0.64(0.58,0.69)	65.5%		
<0.6	6	0.63(0.56,0.70)	15.2%			0.71(0.67,0.75)	72.9%		
研究类型				-0.595	0.552			-1.620	0.105
前瞻性	2	0.74(0.62,0.84)	13.9%			0.65(0.54,0.74)	0%		
回顾性	11	0.73(0.69,0.77)	65.0%			0.69(0.65,0.72)	74.9%		
机型大小				-0.776	0.438			-0.387	0.698
3.0T	9	0.74(0.68,0.80)	45.7%			0.68(0.63,0.73)	57.3%		
1.5T	4	0.73(0.68,0.77)	79.8%			0.68(0.64,0.73)	86.3%		
b 值数≥10				-1.396	0.163			-0.465	0.642
Yes	4	0.68(0.58,0.76)	0%			0.71(0.64,0.78)	58.1%		
No	9	0.75(0.71,0.79)	68.1%			0.68(0.64,0.71)	75.4%		
最大 b 值 1000				-1.030	0.303			-0.441	0.659
Yes	5	0.76(0.66,0.84)	0%			0.69(0.61,0.76)	76.9%		
No	8	0.73(0.69,0.77)	73.4%			0.68(0.65,0.72)	69.9%		
D 值:	6								
研究类型				-0.001	0.999			-0.926	0.355
前瞻性	2	0.82(0.71,0.90)	66.3%			0.72(0.62,0.81)	53.9%		
回顾性	4	0.85(0.75,0.92)	71.2%			0.72(0.63,0.80)	72.4%		
最大 b 值 1000				-0.655	0.513			-0.655	0.513
Yes	3	0.81(0.68,0.90)	58.6%			0.80(0.68,0.88)	68.7%		
No	3	0.85(0.76,0.92)	75.6%			0.69(0.60,0.76)	45.5%		
文献类型				-1.964	0.05			-1.964	0.05
中文	3	0.95(0.85,0.99)	22.3%			0.59(0.48,0.70)	0%		
英文	3	0.77(0.67,0.85)	0%			0.80(0.72,0.86)	32.2%		
样本量				-1.852	0.064			-1.389	0.165
>40	4	0.79(0.71,0.86)	15.1%			0.75(0.68,0.81)	69.7%		
≤40	2	0.97(0.85,1)	29.3%			0.61(0.43,0.76)	0%		

注:CI;可信区间,MVI(+/-);微血管侵犯(阳性/阴性)。

不同的研究者勾画不同范围的感兴趣区,所得 ADC 值亦有不同;③部分研究未指定明确的纳排标准及盲法,导致研究设计不统一,加上部分研究在比较差异时所用的统计学方法亦有不同,造成了差异。本研究结果显示双指数模型参数 D 值术前鉴别 HCC 是否合并 MVI 的组间差异有统计学意义($P<0.00001$),表明 HCC-MVI 阳性的 D 值明显低于 HCC-MVI 阴性。上述 ADC 值和 D 值术前预测 HCC-MVI 的 SMD 及 95%可信区间虽然较窄,但明显远离 0 参考线,表明两者对 HCC 是否合并 MVI 的鉴别价值较高。D* 值、f

值为双指数模型的微循环血流灌注参数,本研究结果显示 D* 值、f 值术前鉴别 HCC 是否合并 MVI 差异无统计学意义($P>0.1$),分析原因可能为:①D* 值主要与微循环血流速度有关,这可能导致主观动态下测值不准,加上 D* 值容易受机器信号及噪声变化的影响,使得所测 D* 值更不能如实反映癌灶的真实值;②f 值为微循环血流灌注分数,微循环血流时刻处于动态,可重复性较差。

ADC 值、D 值术前定量预测 HCC-MVI 阳性效能的优劣,目前尚不统一。张添源^[30]研究认为 ADC 值

的敏感度高于 D 值,而 Li 等^[17]研究认为 ADC 值的敏感度要低于 D 值;张跃^[31]、李宏翔等^[21]研究认为 ADC 值的特异度要高于 D 值,而 Zhao 等^[20]研究则认为两者的特异度相当。本研究结果显示 D 值术前预测 HCC-MVI 阳性的合并敏感度及特异度均高于 ADC 值,这与 Wei 等^[24]的研究结果相似;相比 ADC 值,D 值术前预测 HCC-MVI 阳性的 AUC 更大,且

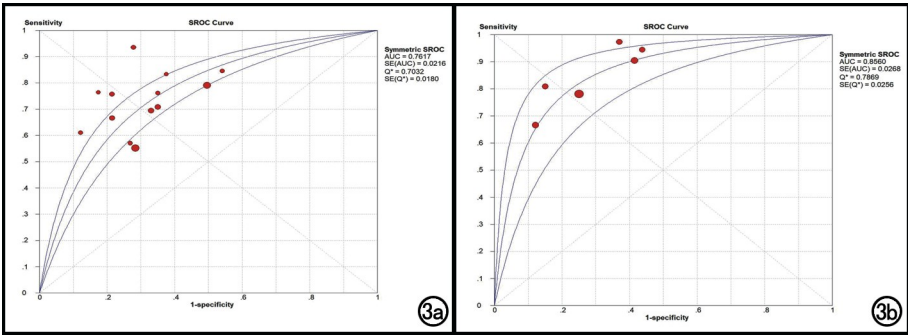


图 3 a) ADC 值术前预测 HCC-MVI 阳性的 SROC 曲线; b) D 值术前预测 HCC-MVI 阳性的 SROC 曲线。

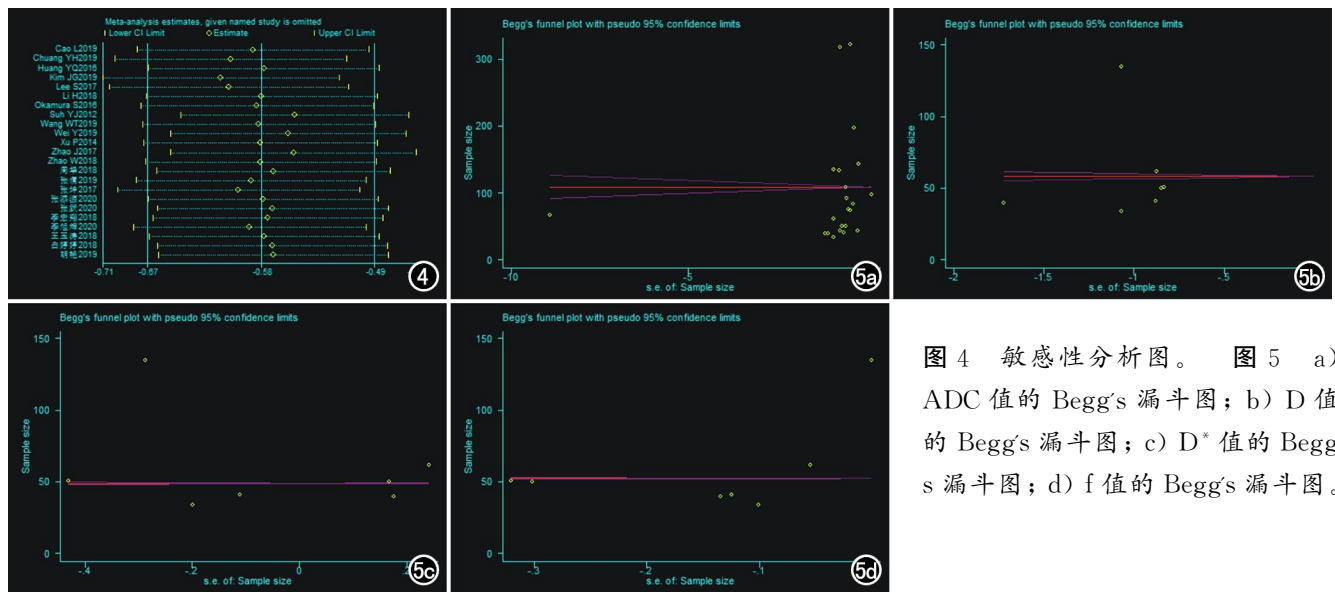


图 4 敏感性分析图。图 5 a) ADC 值的 Begg's 漏斗图; b) D 值的 Begg's 漏斗图; c) D* 值的 Begg's 漏斗图; d) f 值的 Begg's 漏斗图。

差异有统计学意义($Z = -2.456, P = 0.014$),表明 D 值术前定量预测 HCC-MVI 阳性的效能更高、更敏感,分析原因可能是所测 ADC 值忽略了癌灶内仍有微循环灌注的影响,而 D 值通过改变 b 值将组织内单纯水分子的扩散及微循环灌注区分开,使得所测 D 值较 ADC 值更为真实。

本研究具有一定异质性,通过敏感性分析及亚组分析寻找异质性来源。敏感性分析结果显示 ADC 值术前预测 HCC 是否 MVI 的 SMD 及 95% 可信区间均未跨过 1,表明纳入研究结果稳定性好。按 MVI 阳性与阴性比例(≥ 0.6 与 < 0.6)进行分组后,ADC 值合并敏感度异质性 I^2 明显下降,且组间差异有统计学意义($Z = -2.155, P = 0.031$),提示可能为异质性来源;按文献类型(中文与英文)、样本量(> 40 与 ≤ 40)进行分组后,D 值的合并敏感度及特异度异质性 I^2 明显下降,提示可能为异质性来源。本研究存在以下局限:①纳入研究大多为回顾性研究,一定程度上增加了混淆偏倚的风险;②大部分研究来自亚洲,存在一定的地域偏倚。

综上所述,HCC-MVI 阳性的 D 值及 ADC 值明显低于 HCC-MVI 阴性,D 值术前定量预测 HCC-MVI 阳性的效能明显优于 ADC 值,具有更高的敏感度及特异度,D 值可作为一个可靠的术前定量预测 HCC-MVI 的参数。

参考文献:

- [1] 中国抗癌协会肝癌专业委员会,中华医学会肝病学分会肝癌学组,中国抗癌协会病理专业委员会,等.原发性肝癌规范化病理诊断指南(2015 年版)[J].中华肝胆外科杂志,2015,31(6): 833-839.
- [2] 梁梓明,叶林森,唐晖,等.合并微血管侵犯的肝癌肝移植受者的预后评价[J].器官移植,2020,11(3):350-355.
- [3] Rodriguez-Peralvarez M, Luong TV, Andreana L, et al. A system-

- atic review of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma: diagnostic and prognostic variability[J].Ann Surg Oncol,2013,20(1):325-339.
- [4] Pommergaard HC, Rostved AA, Adam R, et al. Vascular invasion and survival after liver transplantation for hepatocellular carcinoma: a study from the European Liver Transplant Registry[J].HPB (Oxford),2018,20(8):768-775.
- [5] 邱艺杰,董怡.影像学术前预测肝细胞肝癌微血管侵犯研究进展[J].中国医学影像技术,2020,36(5):762-766.
- [6] Li X, Huang L, Leng X. Analysis of prognostic factors of more/equal to 10 years of survival for liver cancer patients after liver transplantation[J].J Cancer Res Clin Oncol,2018,144(12):2465-2474.
- [7] Lahan-Martins D, Perales SR, Gallani SK, et al. Microvascular invasion in hepatocellular carcinoma: is it predictable with quantitative computed tomography parameters? [J].Radiol Bras,2019,52(5):287-292.
- [8] Bruix J, Gores GJ, Mazzaferro V. Hepatocellular carcinoma: clinical frontiers and perspectives[J].Gut,2014,63(5):844-855.
- [9] Suh YJ, Kim MJ, Choi JY, et al. Preoperative prediction of the microvascular invasion of hepatocellular carcinoma with diffusion-weighted imaging[J].Liver Transpl,2012,18(10):1171-1178.
- [10] Xu P, Zeng M, Liu K, et al. Microvascular invasion in small hepatocellular carcinoma: is it predictable with preoperative diffusion weighted imaging? [J].J Gastroenterol Hepatol,2014,29(2):330-336.
- [11] Okamura S, Sumie S, Tonan T, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging predicts malignant potential in small hepatocellular carcinoma[J].Dig Liver Dis,2016,48(8):945-952.
- [12] Huang YQ, Liang YH, Yang ZX, et al. Value of MR histogram analyses for prediction of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma[J].Medicine (Baltimore),2016,95(26):e4034.
- [13] 张坤.肝细胞肝癌肿瘤 ADC 值与病理分级及微血管侵犯的相关研究[D].天津:天津医科大学,2017.
- [14] Zhao J, Li X, Zhang K, et al. Prediction of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma with preoperative diffusion-weighted imaging: A comparison of mean and minimum apparent diffusion

- coefficient values[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(33): e7754.
- [15] Lee S, Kim SH, Lee JE, et al. Preoperative gadoteric acid-enhanced MRI for predicting microvascular invasion in patients with single hepatocellular carcinoma[J]. *J Hepatol*, 2017, 67(3): 526-534.
- [16] 周华, 陈志坚. 扩散加权成像 ADC 值与肝细胞癌病理学特征及微血管侵犯的相关性研究[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2018, 16(12): 90-93.
- [17] Li H, Zhang J, Zheng Z, et al. Preoperative histogram analysis of intravoxel incoherent motion (IVIM) for predicting microvascular invasion in patients with single hepatocellular carcinoma[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 105(8): 65-71.
- [18] 白婷婷. 钆塞酸二钠增强 MRI 与 IVIM-DWI 在肝细胞癌微血管侵犯诊断中的价值研究[D]. 大连: 大连医科大学, 2018.
- [19] 王玉涛, 张建, 贾宁阳, 等. 磁共振扩散加权成像 ADC 和 eADC 值对肝细胞癌微血管侵犯的预测价值[J]. *中华普通外科杂志*, 2018, 33(11): 907-910.
- [20] Zhao W, Liu W, Liu H, et al. Preoperative prediction of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma with IVIM diffusion weighted MR imaging and Gd-EOB-DTPA-enhanced MR imaging[J]. *PLoS One*, 2018, 13(5): e0197488.
- [21] 李宏翔, 许乙凯, 张静, 等. 体素不相干运动 DWI 预测肝癌微血管侵犯的价值[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(9): 1475-1479.
- [22] Cao L, Chen J, Duan T, et al. Diffusion kurtosis imaging (DKI) of hepatocellular carcinoma: correlation with microvascular invasion and histologic grade[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2019, 9(4): 590-602.
- [23] 张倩, 王燕, 赵新湘. 表观扩散系数与肝细胞癌组织学分级及微血管侵犯的相关性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2019, 38(7): 1234-1238.
- [24] Wei Y, Huang Z, Tang H, et al. IVIM improves preoperative assessment of microvascular invasion in HCC[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(10): 5403-5414.
- [25] 胡艳, 陆笑非, 周铁军, 等. 3.0T MR 扩散加权成像预测肝细胞肝癌分化程度和微血管侵犯的价值[J]. *实用放射学杂志*, 2019, 35(12): 1948-1952.
- [26] Chuang YH, Ou HY, Yu CY, et al. Diffusion-weighted imaging for identifying patients at high risk of tumor recurrence following liver transplantation[J]. *Cancer Imaging*, 2019, 19(1): 74.
- [27] Wang WT, Yang L, Yang ZX, et al. Assessment of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma with diffusion kurtosis imaging[J]. *Radiology*, 2018, 286(2): 571-580.
- [28] Kim JG, Jang KM, Min GS, et al. Questionable correlation of the apparent diffusion coefficient with the histological grade and microvascular invasion in small hepatocellular carcinoma[J]. *Clin Radiol*, 2019, 74(5): 406.e19-406.e27.
- [29] 李旭辉, 易晓雷, 刘志鹏, 等. 磁共振扩散加权成像对肝细胞癌微血管侵犯的诊断价值[J]. *癌症进展*, 2020, 18(18): 1866-1869.
- [30] 张添源. Gd-EOB-DTPA 动态增强 MRI 与 IVIM-DWI 预测肝细胞癌微血管侵犯的临床研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2020.
- [31] 张跃. 基于全肿瘤 DKI 和 IVIM 参数评价肝细胞癌微血管侵犯的临床应用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [32] Whiting PF, Rutjes AW, Westwood ME, et al. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies[J]. *Ann Intern Med*, 2011, 155(8): 529-536.

(收稿日期: 2021-05-26 修回日期: 2021-09-12)