

乳腺 MRI 检查 DWI、DCE-MRI 定量参数与 乳腺癌分子亚型及 Ki-67 表达的关系

刘磊,徐慧慧,王佳,李秀平,郝永欣

(河北中石油中心医院影像科,河北廊坊 065000)

[摘要] 目的 探讨乳腺核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)、动态增强磁共振(dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)定量参数与乳腺癌分子亚型及雌激素受体(estrogen receptor, ER)、孕激素受体(progesterone receptor, PR)、人类表皮生长因子(human epidermal-growth-factor receptor 2, HER-2)、Ki-67 表达的关系。方法 选取乳腺癌患者 116 例,所有患者给予 DWI、DCE-MRI 检查,分析不同乳腺癌分子亚型、以及 ER、PR、HER-2、Ki-67 表达组织表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值、容积转移常数(volumetric transfer constants, K^{trans})、反向速率常数(reverse rate constants, K_{ep})等差异。结果 临床分期 III~IV 期患者 ADC 值为 $(0.92 \pm 0.23) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,明显低于 I~II 期患者($P < 0.05$),而 K^{trans} 为 $(1.47 \pm 0.22) \text{ min}^{-1}$,明显高于 I~II 期患者($P < 0.05$)。三阴性患者 ADC 值为 $(0.87 \pm 0.19) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,明显低于 Luminal A 型、Luminal B 型和 Her-2 型($P < 0.05$);三阴性 K^{trans} 为 $(1.94 \pm 0.28) \text{ min}^{-1}$,明显高于 Luminal A 型、Luminal B 型和 Her-2 型($P < 0.05$);三阴性 K_{ep} 为 $(1.76 \pm 0.21) \text{ min}^{-1}$,明显高于 Luminal A 型和 Luminal B 型($P < 0.05$);ER 阴性表达组织 ADC 值为 $(0.96 \pm 0.21) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,明显低于 ER 阳性表达组织($P < 0.05$);Ki-67 高表达组织 ADC 值为 $(0.99 \pm 0.19) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,明显低于 Ki-67 低表达组织($P < 0.05$);ER 阴性表达组织 K^{trans} 和 K_{ep} 分别为 $(1.41 \pm 0.26) \text{ min}^{-1}$ 和 $(1.63 \pm 0.26) \text{ min}^{-1}$,明显高于 ER 阳性表达组织($P < 0.05$);PR 阴性表达组织 K^{trans} 和 K_{ep} 分别为 $(1.53 \pm 0.27) \text{ min}^{-1}$ 和 $(1.68 \pm 0.25) \text{ min}^{-1}$,明显高于 PR 阳性表达组织($P < 0.05$);Ki-67 高表达组织 K^{trans} 为 $(1.30 \pm 0.22) \text{ min}^{-1}$,明显高于 Ki-67 低表达组织($P < 0.05$);不同 HER-2 表达组织 ADC 值及 DEC-MRI 定量参数比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论 DWI 及 DCE-MRI 定量参数与乳腺癌分子亚型、ER、PR 及 Ki-67 表达存在相关性,而与 Her-2 表达无明显相关性,值得进一步研究。

[关键词] 乳腺肿瘤;磁共振成像;诊断 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.07.007

[中图分类号] R737.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)07-0779-06

Relationship between DWI, DCE-MRI quantitative parameters of breast MRI and molecular subtypes and Ki-67 expression in breast cancer

LIU Lei, XU Hui-hui, WANG Jia, LI Xiu-ping, HAO Yong-xin

(Department of Imaging, Hebei Petro China Central Hospital, Langfang 065000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the relationship of diffusion weighted imaging (DWI) and dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) quantitative parameters with molecular subtypes of breast cancer, estrogen receptor (ER), progesterone receptor (PR), human epidermal growth factor receptor 2 (HER-2), and Ki-67 expression. **Methods** In total, 116 patients with breast cancer were selected, and all patients received DWI DCE-MRI examination. Different molecular subtypes of breast cancer were analyzed, and differences in ER, PR, HER-2, Ki-67 expression tissue apparent diffusion coefficient (ADC) values, volumetric

[收稿日期]2023-06-09

[基金项目]廊坊市科学技术研究与发展计划项目(2022013124)

[作者简介]刘磊(1988-),女,河北廊坊人,河北中石油中心医

院主治医师,医学硕士,从事影像医学与核医学诊断研究。

transfer constants (K^{trans}), and reverse rate constants (K_{ep}) were analyzed. **Results** The ADC value of patients with clinical stage III – IV was $(0.92 \pm 0.23) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, which was significantly lower than that of patients with stage I – II breast cancer ($P < 0.05$), while K^{trans} was $(1.47 \pm 0.22) \text{ min}^{-1}$, which was significantly higher than that of patients with stage I – II breast cancer ($P < 0.05$). The ADC value of patients with triple negative type was $(0.87 \pm 0.19) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, which was significantly lower than that of Luminal A type, Luminal B type and Her-2 type ($P < 0.05$). The K^{trans} of the triple negative type was $(1.94 \pm 0.28) \text{ min}^{-1}$, which was significantly higher than that of the Luminal A type, Luminal B type and Her-2 type ($P < 0.05$). The K_{ep} of triple negative type was $(1.76 \pm 0.21) \text{ min}^{-1}$, which was significantly higher than Luminal A type and Luminal B type ($P < 0.05$). The ADC value of ER negative expression tissue was $(0.96 \pm 0.21) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, which was significantly lower than that of ER positive expression tissue ($P < 0.05$). The ADC value of Ki-67 high expression tissue was $(0.99 \pm 0.19) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, which was significantly lower than that of Ki-67 low expression tissue ($P < 0.05$). The K^{trans} and K_{ep} values of ER negative expression tissues were $(1.41 \pm 0.26) \text{ min}^{-1}$ and $(1.63 \pm 0.26) \text{ min}^{-1}$, respectively, which were significantly higher than those of ER positive expression tissues ($P < 0.05$). The K^{trans} and K_{ep} values of PR negative expression tissues were $(1.53 \pm 0.27) \text{ min}^{-1}$ and $(1.68 \pm 0.25) \text{ min}^{-1}$, respectively, which were significantly higher than those of PR positive expression tissues ($P < 0.05$). The K^{trans} of Ki-67 high expression tissue was $(1.30 \pm 0.22) \text{ min}^{-1}$, which was significantly higher than that of Ki-67 low expression tissue ($P < 0.05$). There was no significant difference in ADC values and DEC-MRI quantitative parameters among different HER-2 expression tissues ($P > 0.05$). **Conclusion** DWI and DCE-MRI quantitative parameters are correlated with molecular subtypes, ER, PR and Ki-67 expression of breast cancer, but are not significantly correlated with Her-2 expression, which is worthy of further study.

[Key words] breast neoplasms; magnetic resonance imaging; diagnosis

乳腺癌是女性常见的恶性肿瘤,该病的发病机制复杂,与多种因素有关^[1-2]。据美国癌症协会不完全统计,乳腺癌发生有年轻化趋势,严重危害女性的身心健康^[3]。乳腺癌根据雌激素受体(estrogen receptor, ER)、孕激素受体(progesterone receptor, PR)、人类表皮生长因子(human epidermal-growth-factor receptor 2, HER-2)表达和 Ki-67 表达高低(低表达 $< 20\%$ 、高表达 $\geq 20\%$)分为 Luminal A 型、Luminal B 型、HER2 过表达型、三阴(triple negative, TN)型 4 种分子亚型。这种分子分型旨在为患者制定个体化治疗方案,评估治疗效果及预后^[4-5]。影像学检查常用于诊断乳腺癌,目前已经从单纯的解剖学方向进展到功能影像学,有望在分子水平上对乳腺癌进行早期诊断。ER、PR、HER-2、Ki-67 等指标均可以对恶性肿瘤的诊断、生物学行为与预后作出判断^[6-8]。本研究探讨乳腺癌患者扩散加权成像(diffusion-weighted image, DWI)和动态增强磁共振(dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)定量参数

与乳腺癌分子亚型及 ER、PR、HER-2、Ki-67 表达的相关性,旨在为乳腺癌的诊断、预后评估等方面提供依据。报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2021 年 1 月—2023 年 1 月在我院治疗的乳腺癌患者 116 例,年龄 33~67 岁,平均 (46.63 ± 9.92) 岁;分子亚型:Luminal A 型患者 35 例,Luminal B 型患者 31 例,Her-2 型患者 28 例,三阴型患者 22 例。纳入标准:①病理证实为浸润性乳腺癌;②女性患者;③在我院接受 MRI 检查,且检查前未行相关抗肿瘤治疗;④患者及家属知情同意。排除标准:①病灶无法勾画感兴趣区域(region of interest, ROI);②既往有乳腺手术史;③合并有其他恶性肿瘤。

本研究经医院伦理委员审批通过(KYLL-2022-28)。

1.2 影像检查 采用西门子 Verio3.0T 超导磁共振扫描仪,16 通道乳房相控线圈,进行常规 MRI 平

扫、DWI、DCE-MRI 成像。DWI 采用单次激发自旋回波平面成像序列,重复时间(time of repeatation, TR) 7 000 ms,回波时间(time of echo, TE) 70 ms,层厚 4.0 mm,间隔 1.0 mm,视野 34,激励次数 6 次,b 值分别取 0、1 000 s/mm²。计算其表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)。

DCE-MRI 采用 Dixon-Vibe 序列,扫描参数: TR 5 ms, TE 2 ms,层厚 1.2 mm,无间隔扫描,矩阵 320×320,视场角(field of view, FOV) 340 mm×340 mm,激励次数(number of excitation, NEX) 0.7。注射对比剂后连续扫描 8 期,动态增强总时间 5 min 12 s^[9]。避开坏死区域、囊性病变等勾画受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC),将病灶强化最明显区域作为 ROI,对所选 ROI 的 DCE-MRI 定量参数进行计算:①容量转移常数(volumetric transfer constants, K^{trans}):对比剂从血管内扩散到血管外的速度常数;②速率常数(reverse rate constants, K_{ep}):对比剂从组织间隙内部重新回到血管内的速度常数;③血管外细胞间隙容积比(extracellular gap volume ratio, V_e):血管

外细胞外间隙占整个体素的容积比。

1.3 免疫组织化学染色 采集患者病灶组织标本,进行免疫组织化学检查,记录各个指标表达情况。Ki-67、ER、PR 均以 ≥10% 为阳性, <10% 为阴性。HER-2 以 + 或 - 为阴性, +++ 为阳性,位于二者之间的进一步 Fish 检验,以明确 HER-2 的性质^[10]。

1.4 统计学方法 应用 SPSS 22.0 统计软件分析数据。计量资料比较采用两独立样本 *t* 检验、单因素方差分析和 SNK-*q* 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 不同临床病理特征患者 ADC 值及 DEC-MRI 定量参数比较 不同年龄、病理类型、病灶直径患者 ADC 值及 DEC-MRI 定量参数比较差异无统计学意义(*P* > 0.05);临床分期 III ~ IV 期患者 ADC 值明显低于 I ~ II 期患者, K^{trans} 明显高于 I ~ II 期患者,差异有统计学意义(*P* < 0.05)。见表 1。

表 1 不同临床病理特征患者 ADC 值及 DEC-MRI 定量参数比较

Table 1 Comparison of ADC values and DEC-MRI quantitative parameters in patients with different clinical and pathological characteristics

($\bar{x} \pm s$)

| 临床病理特征 | 例数 | ADC 值($\times 10^{-3}$ mm ² /s) | K ^{trans} (min ⁻¹) | K _{ep} (min ⁻¹) | V _e |
|------------|----|---|---|--------------------------------------|----------------|
| 年龄 | | | | | |
| <45 岁 | 54 | 1.05±0.23 | 1.17±0.22 | 1.36±0.29 | 0.84±0.19 |
| ≥45 岁 | 62 | 1.07±0.20 | 1.23±0.20 | 1.43±0.26 | 0.82±0.17 |
| <i>t</i> 值 | | 0.501 | 1.538 | 1.371 | 0.598 |
| <i>P</i> 值 | | 0.617 | 0.127 | 0.173 | 0.551 |
| 病理类型 | | | | | |
| 浸润性导管癌 | 72 | 1.04±0.25 | 1.22±0.21 | 1.38±0.27 | 0.85±0.20 |
| 浸润性小叶癌 | 44 | 1.09±0.22 | 1.17±0.19 | 1.43±0.22 | 0.80±0.19 |
| <i>t</i> 值 | | 1.093 | 1.289 | 1.036 | 1.331 |
| <i>P</i> 值 | | 0.277 | 0.200 | 0.303 | 0.186 |
| 病灶直径 | | | | | |
| <2 cm | 63 | 1.04±0.23 | 1.21±0.20 | 1.41±0.27 | 0.82±0.18 |
| ≥2 cm | 53 | 1.08±0.24 | 1.19±0.22 | 1.39±0.25 | 0.84±0.17 |
| <i>t</i> 值 | | 0.915 | 0.513 | 0.411 | 0.611 |
| <i>P</i> 值 | | 0.362 | 0.609 | 0.682 | 0.542 |
| 临床分期 | | | | | |
| I ~ II | 82 | 1.12±0.22 | 1.09±0.19 | 1.38±0.25 | 0.82±0.19 |
| III ~ IV | 34 | 0.92±0.23 | 1.47±0.22 | 1.45±0.27 | 0.85±0.22 |
| <i>t</i> 值 | | 4.398 | 9.355 | 1.341 | 0.739 |
| <i>P</i> 值 | | <0.001 | <0.001 | 0.183 | 0.462 |

2.2 不同分子亚型患者 ADC 值及 DEC-MRI 定量参数比较 三阴型患者 ADC 值明显低于 Luminal A 型、Luminal B 型和 Her-2 型, K^{trans} 明显高于 Luminal A 型、Luminal B 型和 Her-2 型, K_{ep} 明显高于 Luminal A 型和 Luminal B 型, Her-2 型患者

K^{trans} 和 K_{ep} 明显高于 Luminal A 型、Luminal B 型, Luminal B 型 K^{trans} 明显高于 Luminal A 型, 差异有统计学意义(*P* < 0.05)。见表 2。部分患者图像见图 1、2。

2.3 不同 ER, PR, HER-2, Ki-67 表达组织 ADC 值

及 DEC-MRI 定量参数比较 ER 阴性表达组织 ADC 值明显低于 ER 阳性表达组织, K^{trans} 和 K_{ep} 明显高于 ER 阳性表达组织; PR 阴性表达组织 K^{trans} 和 K_{ep} 明显高于 PR 阳性表达组织; Ki-67 高表达组织 ADC 值明显低于 Ki-67 低表达组织, K^{trans} 明显

高于 Ki-67 低表达组织, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 不同 HER-2 表达组织 ADC 值、DEC-MRI 定量参数比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 3。

表 2 不同分子亚型患者 ADC 值及 DEC-MRI 定量参数比较

Table 2 Comparison of ADC values and DEC-MRI quantitative parameters among patients with different molecular subtypes

| 组别 | 例数 | ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) | $K^{trans} (\text{min}^{-1})$ | $K_{ep} (\text{min}^{-1})$ | Ve |
|-------------|----|---|-------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Luminal A 型 | 35 | 1.13 \pm 0.22 | 0.76 \pm 0.14 | 1.12 \pm 0.16 | 0.82 \pm 0.14 |
| Luminal B 型 | 31 | 1.11 \pm 0.20 | 0.91 \pm 0.2 * | 1.20 \pm 0.14 | 0.84 \pm 0.15 |
| Her-2 型 | 28 | 1.07 \pm 0.21 | 1.49 \pm 0.33 * # | 1.69 \pm 0.22 * # | 0.85 \pm 0.16 |
| 三阴性 | 22 | 0.87 \pm 0.19 * # Δ | 1.94 \pm 0.28 * # Δ | 1.76 \pm 0.21 * # | 0.81 \pm 0.15 |
| F 值 | | 8.144 | 135.031 | 92.946 | 0.396 |
| P 值 | | 0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.756 |

($\bar{x} \pm s$)

* P 值<0.05 与 Luminal A 型比较 # P 值<0.05 与 Luminal B 型比较 Δ P 值<0.05 与 Her-2 型比较(SNK-q 检验)

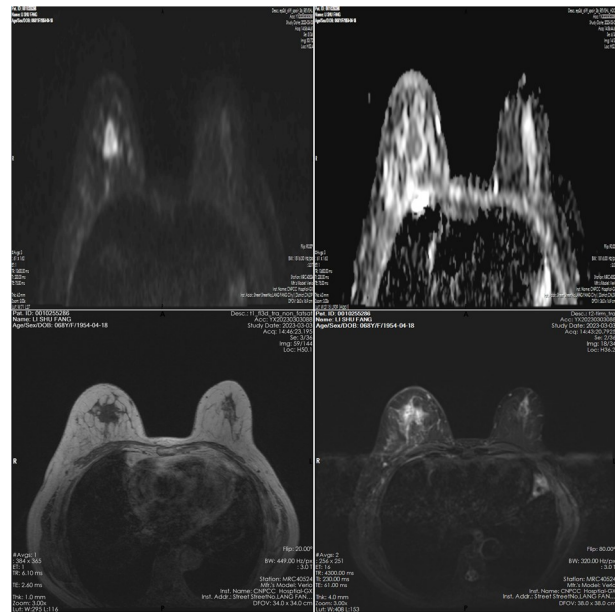


图 1 Her-2 型乳腺癌 MRI 图像

A. DWI 图示病灶呈高信号表现; B. ADC 图示病灶呈低值扩散受限表现; C. T1WI 图示病灶呈不规则低信号表现; D. FS-T2WI 图示病灶呈不规则混杂高信号表现

Figure 1 MRI image of Her-2 breast cancer

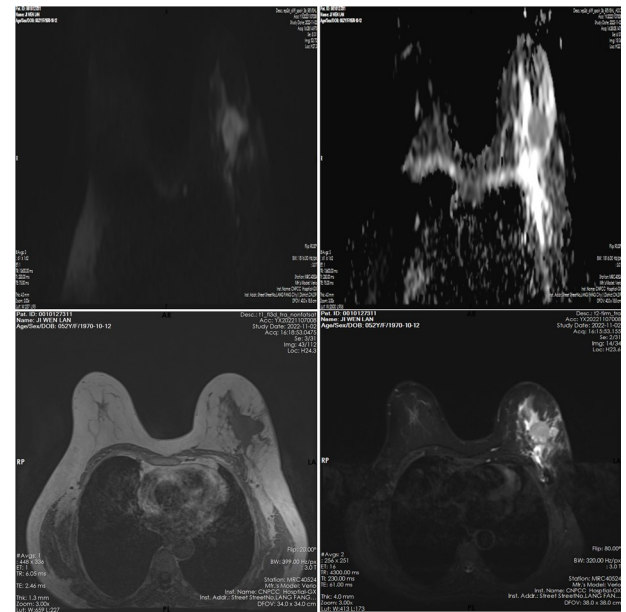


图 2 三阴性乳腺癌患者 MRI 图像

A. DWI 图示病灶呈高信号表现; B. ADC 图示病灶呈低值扩散受限表现; C. T1WI 图示病灶呈不规则低信号表现; D. FS-T2WI 图示病灶呈不规则等高信号表现

Figure 2 MRI image of a patient with triple negative breast cancer

表 3 不同 ER, PR, HER-2, Ki-67 表达组织 ADC 值比较

Table 3 Comparison of ADC values in tissues of patients with different ER, PR, HER-2, Ki-67 expressions

| 因子表达 | 例数 | ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) | $K^{trans} (\text{min}^{-1})$ | $K_{ep} (\text{min}^{-1})$ | Ve |
|-------|----|---|-------------------------------|----------------------------|-----------------|
| ER 表达 | | | | | |
| 阴性 | 56 | 0.96 \pm 0.21 | 1.41 \pm 0.26 | 1.63 \pm 0.26 | 0.82 \pm 0.18 |
| 阳性 | 60 | 1.15 \pm 0.22 | 1.00 \pm 0.24 | 1.19 \pm 0.29 | 0.84 \pm 0.19 |
| t 值 | | 4.751 | 8.832 | 8.582 | 0.581 |
| P 值 | | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.562 |

($\bar{x} \pm s$)

表3 (续)

| | | | | | |
|------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PR 表达 | | | | | |
| 阴性 | 51 | 1.03±0.22 | 1.53±0.27 | 1.68±0.25 | 0.85±0.16 |
| 阳性 | 65 | 1.08±0.24 | 0.94±0.21 | 1.14±0.23 | 0.81±0.18 |
| <i>t</i> 值 | | 1.155 | 13.242 | 12.079 | 1.247 |
| <i>P</i> 值 | | 0.251 | <0.001 | <0.001 | 0.215 |
| Her-2 表达 | | | | | |
| 阴性 | 78 | 1.07±0.25 | 1.19±0.25 | 1.42±0.24 | 0.84±0.15 |
| 阳性 | 38 | 1.04±0.23 | 1.22±0.26 | 1.36±0.23 | 0.81±0.19 |
| <i>t</i> 值 | | 0.622 | 0.599 | 1.281 | 0.924 |
| <i>P</i> 值 | | 0.535 | 0.551 | 0.203 | 0.357 |
| Ki-67 表达 | | | | | |
| 低表达 | 31 | 1.24±0.21 | 0.92±0.23 | 1.38±0.27 | 0.84±0.17 |
| 高表达 | 85 | 0.99±0.19 | 1.30±0.22 | 1.41±0.28 | 0.83±0.16 |
| <i>t</i> 值 | | 6.096 | 8.133 | 0.515 | 0.293 |
| <i>P</i> 值 | | <0.001 | <0.001 | 0.607 | 0.770 |

3 讨 论

乳腺癌肿瘤细胞源自乳腺导管细胞和腺上皮细胞,伴随着腺上皮的增生,逐渐发展为浸润性肿瘤^[11-12]。同时,乳腺癌对血管高度依赖,它的发生发展以及转移都需要依赖丰富的毛细血管网^[13]。因此,乳腺癌组织的血管内皮细胞因子高度活跃,这也是DWI和DCE-MRI可以检测乳腺癌的病理学基础^[14-15]。这两项影像学检查方法,可以对肿瘤的血管状态进行评价。乳腺的发育生长离不开性激素的调节,ER是雌激素受体,PR为孕激素受体,其具有调控雌、孕激素,并促进乳腺导管发育的作用,因此其水平能够指导乳腺癌的治疗^[16]。

本研究结果显示,不同年龄、病灶直径、病理类型的患者之间,ADC值及DEC-MRI定量参数差异无统计学意义,但是临床分期越高的患者ADC值越低, K^{trans} 越高,差异有统计学意义。DWI是一项临床公认的检查技术,其可以敏感地反映治疗前后乳腺肿瘤细胞功能的变化,使用定量参数进行评估,也可有效地鉴别良恶性肿瘤, K^{trans} 溶剂转移常数可以明确观察乳腺癌新生血管的变化,ADC又称表观扩散系数,是利用运动敏感度来观测水分子的布朗运动,其大小与细胞密度呈正相关,原则上恶性肿瘤细胞越多,ADC指数越高。在乳腺肿瘤内,虽然分期较高的肿瘤血管和细胞数量含量较多,但是生物膜结构的限制和大分子物质如蛋白对水分子的吸收越大,ADC数值反而越小,由此可见, K^{trans} 溶剂转移常数越大,对水分子的吸收越快,ADC也会越小^[17-18]。本研究结果显示,乳腺癌的不同分型ADC指标明显不同。三阴性患者ADC值明显低于Luminal A型、Luminal B型和Her-2型, K^{trans} 明显高于Luminal A型、Luminal B型和Her-2型($P <$

0.05)。Ki-67蛋白与细胞增殖密切相关,通常情况下,乳腺癌肿瘤组织中细胞密度越高,ADC值越低,有研究指出Ki-67的表达在四种类型的乳腺癌区分中是有意义的^[19]。本研究结果与之相一致:Ki-67高表达组织ADC值明显低于Ki-67低表达组织。同时,三阴性以分叶为主,其他三种类型肿块主要是不规则形状。肿瘤边缘的不规则表明其内细胞数量增多,新生血管活跃,引起了肿瘤细胞的放肆生长。而较三阴性相比,Luminal A型、Luminal B型和Her-2型的细胞生长较为活跃,因此其ADC值明显高于三阴性。

本研究结果显示,ER阴性表达组织 K^{trans} 和 K_{ep} 明显高于ER阳性表达组织($P < 0.05$);PR阴性表达组织 K^{trans} 和 K_{ep} 明显高于PR阳性表达组织($P < 0.05$);Ki-67高表达组织 K^{trans} 明显高于Ki-67低表达组织($P < 0.05$)。提示PR和ER表达阴性组织的血管外细胞间隙有较多返流,毛细血管通透性增大。有研究表明,ER可以调节血管内皮因子的生成,抑制血管的过多生成,从而达到抑制肿瘤的目的^[20-21]。因此,ER、PR阴性患者的血流动力学指数较阳性更高, K^{trans} 相对也会变大。这些反映血流动力学的参数提示了ER、PR阴性的肿瘤细胞增殖旺盛,侵袭力强^[22]。本研究结果显示,Ki-67表达程度高者,其 K^{trans} 和 K_{ep} 值也显著增高。分析Ki-67与ADC值的关系发现,二者存在一定的负性相关关系^[23]。Ki-67与细胞增殖密切相关,肿瘤中其表达越高,危险性就越大。 K^{trans} 和 K_{ep} 值越大,血管通透性越高,内皮分化程度越差,恶性程度越高;乳腺癌Ki-67表达水平越高,肿瘤恶性程度及复发可能性也越大^[24-25]。

综上所述,乳腺癌DWI、DCE-MRI定量参数(K^{trans} 、 K_{ep})与生物学预后因子(ER、PR、HER-2、

Ki-67)间存在一定的相关性,有利于指导临床作出决策。

[参考文献]

- [1] 郭浩东,李海歌,李燕,等.基于动态增强磁共振成像对乳腺癌浸润程度的研究[J].临床放射学杂志,2022,41(2):260-264.
- [2] 唐竹晓,徐丽娜,孙召龙,等.应用 DCE-MRI 联合 DWI 序列评估乳腺癌术前新辅助化疗疗效的可行性研究[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2021,19(7):100-102.
- [3] 王小容,赖宇林,李松辅,等.DCE-MRI 测定药代动力学定量参数、ADC 值、病灶血流 TIC 与乳腺癌患者病理分型及疗效评估的关系分析[J].中国临床医学影像杂志,2021,32(3):175-180.
- [4] Zhong S, Wang F, Wang Z, et al. Multiregional radiomic signatures based on functional parametric maps from DCE-MRI for preoperative identification of estrogen receptor and progesterone receptor status in breast cancer[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022,12(10):2558.
- [5] Ye G, He S, Pan R, et al. Research on DCE-MRI images based on deep transfer learning in breast cancer adjuvant curative effect prediction[J]. *J Healthc Eng*, 2022,2022:4477099.
- [6] 孟优,张帆,刘晨鹭,等.动态增强磁共振半定量参数对乳腺癌人表皮生长因子受体-2 表达的预测价值[J/CD].中华诊断学电子杂志,2021,9(1):40-45.
- [7] 夏淑媛,刘新凯,贾楠,等.乳腺癌的动态增强磁共振成像特征研究[J].大医生,2022,7(19):124-126.
- [8] 马焯,李锋,张双,等.动态增强磁共振成像在乳腺癌诊断中的临床价值及联合 Her-2 和 Ki-67 检测对其预后评估的价值研究[J].中国医学装备,2022,19(3):71-75.
- [9] Guo L, Du S, Gao S, et al. Delta-radiomics based on dynamic contrast-enhanced MRI predicts pathologic complete response in breast cancer patients treated with neoadjuvant chemotherapy[J]. *Cancers (Basel)*, 2022,14(14):3515.
- [10] 王津京,马飞,田朋飞,等.吡咯替尼对携带 HER-2 突变的 HER-2 阴性晚期乳腺癌患者的疗效观察[J].中国肿瘤临床,2023,50(5):244-247.
- [11] 李佳蔚,姜婷婷,汤振伟,等.数字乳腺断层摄影的影像组学对乳腺癌分子分型预测研究[J].肿瘤影像学,2023,32(1):12-19.
- [12] Zhang J, Li L, Zhe XT, et al. The diagnostic performance of machine learning-based radiomics of DCE-MRI in predicting axillary lymph node metastasis in breast cancer: A meta-analysis[J]. *Front Oncol*, 2022,12:799209.
- [13] Thawani R, Gao L, Mohinani A, et al. Quantitative DCE-MRI prediction of breast cancer recurrence following neoadjuvant chemotherapy: a preliminary study[J]. *BMC Med Imaging*, 2022,22(1):182.
- [14] Scaranelo AM. What's Hot in Breast MRI[J]. *Can Assoc Radiol J*, 2022,73(1):125-140.
- [15] Calabrese A, Santucci D, Landi RB, et al. Radiomics MRI for lymph node status prediction in breast cancer patients: the state of art[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2021,147(6):1587-1597.
- [16] Militello C, Rundo L, Dimarco M, et al. 3D DCE-MRI radiomic analysis for malignant lesion prediction in breast cancer patients[J]. *Acad Radiol*, 2022,29(6):830-840.
- [17] Lv T, Wu Y, Wang Y, et al. A hybrid hemodynamic knowledge-powered and feature reconstruction-guided scheme for breast cancer segmentation based on DCE-MRI[J]. *Med Image Anal*, 2022,82:102572.
- [18] Yin XX, Hadjiloucas S, Zhang Y, et al. MRI radiogenomics for intelligent diagnosis of breast tumors and accurate prediction of neoadjuvant chemotherapy responses-a review[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2022,214:106510.
- [19] Szep M, Pintican R, Boca B, et al. Multiparametric MRI features of breast cancer molecular subtypes [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022,58(12):1716.
- [20] Diniz de Paula W. Editorial for " radiomic analysis of pharmacokinetic heterogeneity within tumor based on the unsupervised decomposition of DCE-MRI for predicting histological characteristics of breast cancer" [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2022,55(6):1648-1649.
- [21] Sun R, Meng Z, Hou X, et al. Prediction of breast cancer molecular subtypes using DCE-MRI based on CNNs combined with ensemble learning [J]. *Phys Med Biol*, 2021,66(17):195.
- [22] Ma M, Gan L, Liu Y, et al. Radiomics features based on automatic segmented MRI images: Prognostic biomarkers for triple-negative breast cancer treated with neoadjuvant chemotherapy [J]. *Eur J Radiol*, 2022,146:110095.
- [23] Ya G, Wen F, Xing-Ru L, et al. Difference of DCE-MRI parameters at different time points and their predictive value for axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. *Acad Radiol*, 2022,29(Suppl 1):S79-S86.
- [24] Tang WJ, Kong QC, Cheng ZX, et al. Performance of radiomics models for tumour-infiltrating lymphocyte (TIL) prediction in breast cancer: the role of the dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI phase [J]. *Eur Radiol*, 2022,32(2):864-875.
- [25] Liang X, Chen X, Yang Z, et al. Early prediction of pathological complete response to neoadjuvant chemotherapy combining DCE-MRI and apparent diffusion coefficient values in breast cancer [J]. *BMC Cancer*, 2022,22(1):1250.

(本文编辑:赵丽洁)