

# $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 代谢参数对结直肠癌寡转移行根治性治疗患者预后的预测价值

朱振华<sup>1,2</sup> 赵霞<sup>3</sup> 李秉营<sup>3</sup> 李海文<sup>1,2</sup> 孙虎魁<sup>4</sup>

(1 山东颐养健康集团淄博医院影像科, 山东 淄博 255120; 2 青岛大学医疗集团淄博医院影像科;

3 山东中医药大学附属医院; 4 淄博市中心医院核医学和放射治疗科)

**[摘要]** 目的 探讨 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 代谢参数对结直肠癌寡转移患者根治性治疗后预后的预测价值。方法 回顾性分析 82 例经病理证实且经根治性治疗后的结直肠癌寡转移患者的临床资料, 根据患者随访期间是否发生进展将所有患者分为进展组(49 例)和未进展组(33 例), 收集患者术前 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 代谢参数, 以及患者的临床分期、原发灶位置、分化程度、神经侵犯情况、脉管癌栓情况、术前 CEA 值等临床特征数据。分别采用 Kaplan-Meier 生存分析、Schoenfeld 残差法对分类变量和连续变量进行比例风险假定判断; 根据变量类型及是否满足比例风险假定, 分别采用 log-rank 检验、单因素 Cox 回归分析、Cox 依时协变量回归模型进行单因素分析, 将上述分析中对患者预后具有显著影响的因素纳入含依时协变量 Cox 回归模型进行多因素分析, 并将独立影响因素进行二元 logistic 回归分析, 绘制受试者工作特征(ROC)曲线并分析独立影响因素的预测效能。结果 单因素 Cox 回归分析结果显示, 临床分期( $\chi^2=11.538, P<0.05$ )、术前 MTV 值( $HR=1.023, 95\%CI=1.012\sim 1.034, P<0.05$ )及 TLG 值( $HR=1.002, 95\%CI=1.001\sim 1.003, P<0.05$ )在组间差异具有显著性。Cox 依时协变量回归模型多因素分析结果显示, 临床分期( $HR=2.636, 95\%CI=1.476\sim 4.780, P<0.05$ )、术前 MTV 值( $HR=1.024, 95\%CI=1.013\sim 1.035, P<0.05$ )是结直肠癌寡转移患者根治性治疗后预后的独立影响因素。ROC 曲线分析结果显示, 术前 MTV 值预测结直肠癌寡转移患者根治性治疗后预后最佳阈值为  $13.94\text{ cm}^3$ , AUC 为  $0.738(95\%CI=0.627\sim 0.848, P<0.05)$ , 灵敏度和特异度分别为  $75.8\%$  和  $63.3\%$ 。术前 MTV 值和临床分期联合预测时, AUC 为  $0.801$ , 灵敏度为  $81.6\%$ 。结论 临床分期越晚、术前 MTV 值越高的结直肠癌寡转移患者根治性治疗后的预后越差。

**[关键词]** 结直肠肿瘤; 肿瘤转移; 氟脱氧葡萄糖 F18; 正电子发射断层显像计算机体层摄影术; 预后; 影响因素分析

[中图分类号] R735.34

[文献标志码] A

## Value of $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT metabolic parameters in predicting the prognosis of patients with oligometastatic colorectal cancer after radical treatment

ZHU Zhenhua, ZHAO Xia, LI Bingying, LI Haiwen, SUN Hukui (Department of Radiology, Zibo Hospital of Shandong Yiyang Health Group, Zibo 255120, China)

**[ABSTRACT]** **Objective** To investigate the value of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT metabolic parameters in predicting the prognosis of patients with oligometastatic colorectal cancer (CRC) after radical treatment. **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical data of 82 patients who had pathologically confirmed oligometastatic CRC and underwent radical treatment, and according to the presence or absence of progression during follow-up, they were divided into progression group with 49 patients and non-progression group with 33 patients. Preoperative  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT metabolic parameters were collected from all patients, as well as clinical features including clinical stage, primary tumor location, degree of tumor differentiation, neurovascular invasion, vascular tumor thrombus, and preoperative carcinoembryonic antigen. Kaplan-Meier survival analysis and Schoenfeld residual analysis were used to assess the proportional hazards assumptions of categorical variables and continuous variables. According to the type of variables and the results of proportional hazards assumptions, the log-rank test, univariate Cox regression analysis, and Cox regression model with time-dependent covariates were used to perform the univariate analysis. The factors with a significant impact on prognosis were included in the Cox regression model with time-dependent covariates for multivariate analysis, and a binary logistic regression analysis was performed for independent influencing factors. The receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to analyze the predictive performance of independent influencing factors. **Results** The univariate Cox regression analysis showed that there were significant differences between the two groups in clinical stage ( $\chi^2=11.538, P<0.05$ ), preoperative MTV ( $HR=1.023, 95\%CI=1.012\sim 1.034, P<0.05$ ), and TLG ( $HR=1.002, 95\%CI=1.001\sim 1.003, P<0.05$ ). The multivariate Cox regression analysis with time-dependent covariates showed that clinical stage ( $HR=2.636, 95\%CI=1.476\sim 4.780,$

$P<0.05$ ) and preoperative MTV ( $HR=1.024, 95\%CI=1.013\sim 1.035, P<0.05$ ) were independent influencing factors for the prognosis of patients with oligometastatic CRC after radical treatment. The ROC curve analysis showed that preoperative MTV had

[收稿日期] 2024-11-29; [修订日期] 2025-02-08

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金项目(81601535);

青岛大学医疗集团科研项目(YLJT20242008)

[通信作者] 李海文, Email:285296486@qq.com

an optimal cut-off value of 13.94  $\text{cm}^3$  in predicting the prognosis of patients with oligometastatic CRC after radical treatment, with an area under the ROC curve (AUC) of 0.738 (95% CI = 0.627–0.848,  $P < 0.05$ ), a sensitivity of 75.8%, and a specificity of 63.3%. The combination of clinical stage and preoperative MTV had an AUC of 0.801 and a sensitivity of 81.6%. **Conclusion** An advanced clinical stage and a high preoperative MTV value are associated with a poorer prognosis in patients with oligometastatic CRC after radical treatment.

**[KEY WORDS]** Colorectal neoplasms; Neoplasm metastasis; Fluorodeoxyglucose F18; Positron emission tomography computed tomography; Prognosis; Root cause analysis

结直肠癌是我国目前较常见的消化道恶性肿瘤,近年来发病率不断上升<sup>[1]</sup>。结直肠癌患者往往在确诊时已发生转移,其中约有 11% 处于寡转移状态<sup>[2-3]</sup>。研究表明,越来越多处于寡转移状态的患者经过手术、射频消融或立体定位放射治疗等根治性治疗后,可以长期处于无进展生存状态<sup>[4]</sup>。原发灶位置、临床分期、癌胚抗原(CEA)等多项临床指标对结直肠癌患者预后有一定的预测价值<sup>[5-12]</sup>,但对于结直肠癌寡转移患者根治性治疗后预后的预测指标及其预测价值,目前研究较少。有研究表明,循环肿瘤 DNA(ctDNA)检测技术可以预测结直肠癌寡转移患者预后<sup>[13-14]</sup>,但受限于灵敏度较低以及成本较高等因素,该技术目前的应用不甚广泛。本研究结合<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 代谢参数和部分临床病理特征,对影响结直肠癌寡转移根治性治疗后患者预后的危险因素进行分析,旨在为临床制定个体化的治疗方案提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究资料

选取 2017 年 1 月 1 日—2023 年 5 月 31 日于淄博市中心医院确诊结直肠癌寡转移并经根治性治疗的患者 82 例。患者纳入标准:①符合结直肠癌寡转移的诊断标准<sup>[15]</sup>者;②原发灶治疗方式为开腹或腹腔镜根治切除术,转移灶治疗方式为开腹或腹腔镜根治切除术,或根治性射频消融治疗,并在治疗后达到无疾病状态者;③术前 2 周内进行过 PET/CT 检查者。收集上述患者的年龄、性别及肿瘤临床分期、原发灶位置、分化程度、有无神经侵犯、有无脉管癌栓及术前 CEA 值等相关临床资料。其中,原发灶位置的左、右半结肠定义为盲肠至横结肠右 2/3 段为右半结肠,横结肠左 1/3 段至直乙状结肠为左半结肠。

收集所有患者术前<sup>18</sup>F-FDG PET/CT(美国 GE Discovery VCT 型 PET/CT 仪)影像,使用 AW4.4 工作站对结直肠局部代谢增高灶进行勾画。以最大标准摄取值(SUV<sub>max</sub>)的 40% 作为阈值,勾画感兴趣

区,获得 SUV<sub>max</sub> 值、肿瘤代谢体积(MTV)、平均标准摄取值(SUV<sub>mean</sub>),并以此计算肿瘤糖酵解总量(TLG),计算公式:TLG = SUV<sub>mean</sub> × MTV。

随访于 2017 年 1 月 21 日开始,截止到 2024 年 5 月 31 日。收集所有患者随访期间的生存状态、肿瘤进展等情况。无进展生存期为手术后至患者死亡或者肿瘤进展或最后一次随访时间;肿瘤进展为随访期间患者影像、肠镜检查显示有肿瘤复发或肿瘤转移。根据患者根治性治疗进展情况分为进展组 49 例,未进展组 33 例。

### 1.2 统计学处理

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析。符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验。不符合正态分布的计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示,组间比较采用 Mann-Whitney  $U$  检验。计数资料采用例(率)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法。对两组患者的性别及肿瘤临床分期、原发灶位置、分化程度、是否神经侵犯及是否脉管侵犯等分类变量采用 Kaplan-Meier 生存分析进行比例风险(PH)假定判断;对年龄、术前 CEA 值、术前 SUV<sub>max</sub> 值、MTV 值及 TLG 值等连续变量采用 Schoenfeld 残差法进行 PH 假定判断。根据变量类型以及是否满足 PH 假定,分别采用 log-rank 检验、单因素 Cox 回归分析、Cox 依时协变量回归模型进行单因素分析,并将单因素分析结果中具有统计学意义的数据纳入 Cox 依时协变量回归模型进行多因素分析。将 Cox 依时协变量回归模型多因素分析结果中的独立影响因素纳入二元 logistic 回归模型,并获得联合预测概率,而后将其与各独立影响因素数据一同纳入受试者工作特征(ROC)分析,绘制 ROC 曲线,计算最佳阈值,并获得曲线下面积(AUC)。以  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者的一般资料和代谢参数比较

本研究共纳入结直肠癌寡转移根治性治疗后患

者 82 例,年龄 42~85 岁,平均(62.84±11.96)岁,中位随访时间 19(10,36)个月。两组患者肿瘤临床分期差异有显著性( $\chi^2=7.676, P<0.05$ ),两组患者的性别、年龄、原发灶位置、分化程度、神经侵犯情况、

脉管侵犯情况比较差异无显著性( $P>0.05$ )。两组患者的术前 CEA 值、MTV 值、TLG 值差异有显著性( $Z=-4.128\sim-3.310, P<0.05$ ),术前 SUV<sub>max</sub> 值差异无显著性( $P>0.05$ )。见表 1。

表 1 两组患者一般临床资料、代谢参数比较

| 指标/参数   | 未进展组(n=33)           | 进展组(n=49)             | $\chi^2/t/Z$ | P      |
|---|----------------------|-----------------------|--------------|--------|
| 男/女(例)  | 18/15                | 22/27                 | 0.735        | 0.391  |
| 年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )  | 62.70±12.69          | 62.90±11.56           | 0.089        | 0.929  |
| 临床分期Ⅲ期/Ⅳ期(例)  | 25/8                 | 22/27                 | 7.676        | 0.006  |
| 原发灶位置左半/右半(例)   | 32/1                 | 40/9                  | 4.332        | 0.037  |
| 低分化/中高分化(例)   | 6/27                 | 12/37                 | 0.458        | 0.499  |
| 神经侵犯有/无(例)  | 17/16                | 30/19                 | 0.760        | 0.383  |
| 脉管侵犯有/无(例)  | 19/14                | 24/25                 | 0.584        | 0.445  |
| 术前 CEA 值[ $\rho/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}, M(P_{25}, P_{75})$ ] | 11.91(1.78, 9.82)    | 37.93(5.11, 19.64)    | -3.310       | 0.001  |
| 术前 SUV <sub>max</sub> 值[ $M(P_{25}, P_{75})$ ]                      | 13.66(10.00, 15.15)  | 14.72(10.10, 18.80)   | -0.827       | 0.408  |
| 术前 MTV 值[ $\text{V}/\text{cm}^3, M(P_{25}, P_{75})$ ]               | 11.41(7.09, 14.33)   | 26.18(12.13, 27.97)   | -4.128       | <0.001 |
| 术前 TLG 值[ $\text{g}\cdot\text{cm}^3, M(P_{25}, P_{75})$ ]           | 89.67(41.03, 113.69) | 224.00(86.37, 264.39) | -3.721       | <0.001 |

## 2.2 数据 PH 假定判断

Kaplan-Meier 生存分析的 PH 假定判断结果显示,临床分期满足 PH 假定,性别、原发灶位置、分化程度、是否神经侵犯及是否脉管侵犯不满足 PH 假定,年龄不满足 PH 假定( $r=-0.310, P<0.05$ ),术前 CEA 值、术前 SUV<sub>max</sub> 值、MTV 值以及 TLG 值均满足 PH 假定( $r=0.135, 0.190, 0.193, 0.115, P>0.05$ )。

## 2.3 Log-rank 检验及单因素 Cox 回归分析结果

Log-rank 检验单因素生存分析结果显示,临床分期对结直肠癌寡转移患者根治性治疗后的预后有明显影响( $\chi^2=11.538, P<0.05$ ),Ⅳ期患者预后明显差于Ⅲ期患者。含依时协变量 Cox 回归模型以及单因素 Cox 回归模型分析结果显示,术前 MTV 值及 TLG 值对患者预后有明显影响( $B=0.023, 0.002, P<0.05$ )。见表 2。

表 2 单因素 Cox 回归分析结果

| 变量                       | B      | SE(B) | Wald $\chi^2$ | HR    | 95%CI        | P      |
|--------------------------|--------|-------|---------------|-------|--------------|--------|
| 性别                       | 1.336  | 1.250 | 1.142         | 3.804 | 0.328~44.080 | 0.285  |
| 年龄                       | -0.068 | 0.035 | 3.720         | 0.934 | 0.872~1.001  | 0.054  |
| 原发灶位置                    | 0.826  | 1.597 | 0.267         | 2.284 | 0.100~52.220 | 0.605  |
| 分化程度                     | -1.803 | 1.147 | 2.471         | 0.165 | 0.017~1.560  | 0.116  |
| 神经侵犯                     | -1.393 | 1.074 | 1.683         | 0.248 | 0.030~2.037  | 0.195  |
| 脉管癌栓                     | -0.654 | 1.019 | 0.412         | 0.520 | 0.071~3.830  | 0.521  |
| 术前 CEA 值*                | 0.002  | 0.001 | 1.420         | 1.002 | 0.999~1.004  | 0.233  |
| 术前 SUV <sub>max</sub> 值* | 0.017  | 0.021 | 0.647         | 1.017 | 0.976~1.059  | 0.421  |
| 术前 MTV 值*                | 0.023  | 0.005 | 18.020        | 1.023 | 1.012~1.034  | <0.001 |
| 术前 TLG 值*                | 0.002  | 0.001 | 11.794        | 1.002 | 1.001~1.003  | 0.001  |

注:“\*”采用单因素 Cox 回归模型分析,其余采用含依时协变量 Cox 回归模型分析

## 2.4 含依时协变量 Cox 多因素回归分析结果

将对患者预后有明显性影响的因素(肿瘤临床分期、术前 MTV 值及 TLG 值)纳入含依时协变量 Cox 回归模型进行多因素分析(回归方法为向前;条件),结果显示,临床分期、术前 MTV 值是患者预后的独立影响因素( $P<0.05$ )。见表 3。

表 3 含依时协变量 Cox 多因素回归分析结果

| 变量       | B     | SE(B) | Wald $\chi^2$ | HR    | 95%CI       | P      |
|----------|-------|-------|---------------|-------|-------------|--------|
| 临床分期     | 0.969 | 0.296 | 10.726        | 2.636 | 1.476~4.780 | 0.001  |
| 术前 MTV 值 | 0.024 | 0.006 | 18.353        | 1.024 | 1.013~1.035 | <0.001 |

## 2.5 临床分期、术前 MTV 值以及两者联合的二元 logistic 回归和 ROC 曲线分析结果

对临床分期、术前 MTV 值及两者联合进行二元 logistic 回归分析并绘制 ROC 曲线,结果显示术前 MTV 值预测患者预后的最佳阈值为 13.94 cm<sup>3</sup>, AUC 为 0.738(95%CI=0.627~0.848,  $P<0.05$ ),灵敏度和特异度分别为 75.8%和 63.3%;临床分期预测患者预后的 AUC 为 0.654(95%CI=0.534~0.775,  $P<0.05$ ),灵敏度和特异度分别为 55.1%和 75.8%;术前 MTV 值和临床分期联合预测患者预后的 AUC 为 0.801(95%CI=0.706~0.896,  $P<0.05$ ),灵敏度和特异度分别为 81.6%和 69.7%。见图 1。

## 3 讨论

<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 是一种将解剖影像学与分子影像学相融合的检查手段<sup>[16-17]</sup>,不但可以显示肿

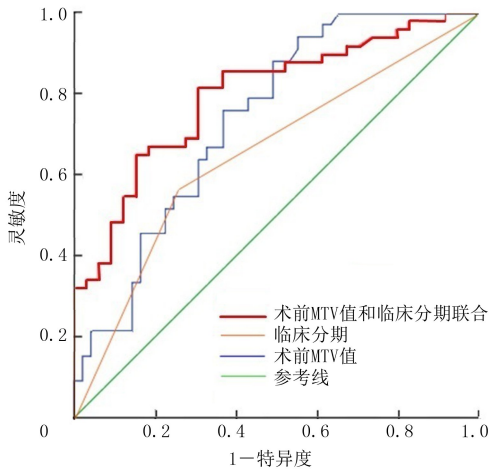


图1 临床分期、术前 MTV 值以及两者联合预测结直肠癌寡转移患者预后的 ROC 曲线

瘤的发病部位及形态学特点,还可以检测肿瘤细胞的代谢活性。多项研究表明通过<sup>18</sup>F-FDG PET/CT获得的SUV<sub>max</sub>值、MTV值及TLG值等代谢参数可反映肿瘤的恶性程度及患者预后情况<sup>[18-21]</sup>。

本研究结果显示,两组患者的肿瘤临床分期、原发灶位置、术前CEA值、MTV值及TLG值比较均有显著差异,与以往相关研究结果一致<sup>[22-26]</sup>。生存分析、单因素Cox回归分析结果显示,肿瘤临床分期、术前MTV值及TLG值对结直肠癌寡转移患者根治性治疗后的预后显著影响。行含依时协变量Cox多因素回归分析做进一步验证,结果显示临床分期和术前MTV值均为患者预后的独立影响因素。临床分期表示肿瘤侵犯范围以及扩散转移的程度,本研究进展组当中临床分期Ⅳ期患者所占的比例(27/49)明显高于未进展组(8/33),说明分期越晚,预后越差。MTV值可量化肿瘤代谢活性,反映肿瘤的增殖情况,本研究中进展组术前MTV值显著高于未进展组。此外,TLG值虽在单因素Cox回归分析中对患者预后显著影响,但经含依时协变量Cox多因素分析后发现TLG值并非独立影响因素,这可能与MTV值和TLG值的共线性有关。

本研究ROC曲线的分析结果显示,结直肠癌寡转移患者的术前MTV值的阈值为13.94 cm<sup>3</sup>,AUC为0.738,灵敏度为75.8%,表明术前MTV值对患者预后的预测效能较高。MOLLA等<sup>[27]</sup>在肺癌寡转移相关研究中曾提出,多参数联合可显著提高对患者预后的预测效能。本研究将术前MTV值与肿瘤临床分期进行联合预测,结果显示其预测效能较术前MTV值的单独预测有了提升,AUC达0.801,灵敏度提升至81.6%。上述结果说明联合模

型整合了肿瘤代谢信息与临床分期两项指标,弥补了单一指标的局限性。

统计参数满足PH假定是Cox回归分析的核心前提之一,本研究在进行单因素Cox回归分析前,首先通过Kaplan-Meier生存分析和Schoenfeld残差法对参数是否满足PH假定进行了判断,将筛选出的PH可能随时间变化的参数采用含依时协变量Cox回归模型进行进一步分析。该模型纳入了时依系数,校正了上述参数对生存情况的影响随时间变化而改变的情况,并进行了PH假定检验,使Cox统计模型的预测结果更加准确,防止了统计推断失效,确保了后续单因素及多因素Cox回归分析结果的可靠性。ctDNA是肿瘤细胞凋亡、坏死之后释放到体液中的双链DNA片段,是一种新兴的肿瘤生物标志物。ctDNA检测技术具有检测早期肿瘤及预测肿瘤患者预后的能力,但是由于ctDNA在患者血液中的含量极少,而且易被降解,半衰期仅有数小时,导致检测灵敏度低,以目前常规的检测手段容易造成漏检<sup>[28]</sup>。使用全基因组测序、基因扩增等技术虽然可以提高检测灵敏度,但成本较高<sup>[29]</sup>。另外,ctDNA技术目前尚处于研究阶段,还缺乏统一的检测方法和检测时间标准<sup>[30]</sup>,使其推广应用受到一定的限制。与ctDNA检测技术相比,本研究将PET/CT代谢参数与肿瘤临床分期联合所构建的预测模型具有技术普及性高、成本可控的优势,更适合基层医院推广应用。本研究也存在一定的不足之处,如样本量较小,在后续研究将加大样本量进行验证;另外本研究还缺少验证集,后续应增加验证集以完善研究设计。

综上所述,肿瘤临床分期越晚、术前MTV值越高的结直肠癌寡转移患者根治性治疗后的预后越差;临床分期与术前MTV值联合预测模型可进一步提高对患者预后的预测效能,可为临床制定个体化治疗策略提供数据参考,建议在临床应用推广。

**伦理批准和知情同意:**本研究涉及的所有试验均已通过山东颐养健康集团淄博医院伦理委员会的审核批准(文件号ZBYILL-LW-2023-039)。所有研究过程均遵照《赫尔辛基宣言》的规定进行。受试对象或其亲属已经签署知情同意书。

**作者声明:**朱振华、赵霞、李秉营参与了研究设计;朱振华、李海文、孙虎魁参与了论文的写作和修改。所有作者均阅读并同意发表该论文,且均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

[1] 郭兰伟,张兴龙,蔡林,等. 全球结直肠癌流行和防控现状[J].

- 中华肿瘤杂志, 2024, 46(1):57-65.
- [2] ZUCHELLI G, MORETTO R, ROSSINI D, et al. Oligo-metastatic colorectal cancer: Prognostic implications of tumor load, role of locoregional treatments, and of first-line therapy intensification: A pooled analysis of TRIBE and TRIBE2 studies by GONO[J]. *J Clin Oncol*, 2020, 38(4\_suppl):12.
- [3] VAN CUTSEM E, CERVANTES A, ADAM R, et al. ESMO consensus guidelines for the management of patients with metastatic colorectal cancer[J]. *Ann Oncol*, 2016, 27(8):1386-1422.
- [4] GALLAGHER D J, KEMENY N. Metastatic colorectal cancer: From improved survival to potential cure[J]. *Oncology*, 2010, 78(3-4):237-248.
- [5] FOLPRECHT G, GRUENBERGER T, BECHSTEIN W O, et al. Tumour response and secondary resectability of colorectal liver metastases following neoadjuvant chemotherapy with cetuximab: The CELIM randomised phase 2 trial[J]. *Lancet Oncol*, 2010, 11(1):38-47.
- [6] VAN CUTSEM E, KÖHNE C H, HITRE E, et al. Cetuximab and chemotherapy as initial treatment for metastatic colorectal cancer[J]. *N Engl J Med*, 2009, 360(14):1408-1417.
- [7] YE L C, LIU T S, REN L, et al. Randomized controlled trial of cetuximab plus chemotherapy for patients with KRAS wild-type unresectable colorectal liver-limited metastases[J]. *J Clin Oncol*, 2013, 31(16):1931-1938.
- [8] GUINNEY J, DIENSTMANN R, WANG X, et al. The consensus molecular subtypes of colorectal cancer[J]. *Nat Med*, 2015, 21(11):1350-1356.
- [9] MEGUID R A, SLIDELL M B, WOLFGANG C L, et al. Is there a difference in survival between right-versus left-sided colon cancers? [J]. *Ann Surg Oncol*, 2008, 15(9):2388-2394.
- [10] LIN J K, LIN C C, YANG S H, et al. Early postoperative CEA level is a better prognostic indicator than is preoperative CEA level in predicting prognosis of patients with curable colorectal cancer[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2011, 26(9):1135-1141.
- [11] 杨含腾, 罗长江, 杜鹏, 等. 糖类抗原 125、癌胚抗原表达对 T4 期结直肠癌术后患者预后的影响及其临床意义[J]. *中华实验外科杂志*, 2019, 36(8):1466-1468.
- [12] LOCKER G Y, HAMILTON S, HARRIS J, et al. ASCO 2006 update of recommendations for the use of tumor markers in gastrointestinal cancer[J]. *J Clin Oncol*, 2006, 24(33):5313-5327.
- [13] LOUPAKIS F, SHARMA S, DEROUAZI M, et al. Detection of molecular residual disease using personalized circulating tumor DNA assay in patients with colorectal cancer undergoing resection of metastases[J]. *JCO Precis Oncol*, 2021, 5:PO.21.00101.
- [14] OSUMI H, SHINOZAKI E, YAMAGUCHI K, et al. Clinical utility of circulating tumor DNA for colorectal cancer [J]. *Cancer Sci*, 2019, 110(4):1148-1155.
- [15] 国家卫生健康委员会医政司, 中华医学会肿瘤学分会, 顾晋, 等. 国家卫健委中国结直肠癌诊疗规范(2023 版)[J]. *中国实用外科杂志*, 2023, 43(6):602-630.
- [16] 赵海敏, 朱建国. PET/CT 检查临床应用及辐射防护的现状与进展[J]. *中国辐射卫生*, 2007, 16(3):369-371.
- [17] 黄家晖, 顾莹莹, 沈楠, 等. PET/CT 在食管癌中的应用进展[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(6):876-880.
- [18] OGAWA S, ITABASHI M, KONDO C, et al. Prognostic value of total lesion glycolysis measured by 18F-FDG-PET/CT in patients with colorectal cancer[J]. *Anticancer Res*, 2015, 35(6):3495-3500.
- [19] 丁重阳, 李天女, 孙晋. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 代谢参数与结直肠癌临床病理特征的关系[J]. *临床肿瘤学杂志*, 2017, 22(1):53-57.
- [20] LV Y, WANG X, LIANG L R, et al. SUV<sub>max</sub> and metabolic tumor volume: Surrogate image biomarkers of KRAS mutation status in colorectal cancer[J]. *Onco Targets Ther*, 2019, 12:2115-2121.
- [21] SHI D B, CAI G X, PENG J J, et al. The preoperative SUV<sub>max</sub> for (18)F-FDG uptake predicts survival in patients with colorectal cancer[J]. *BMC Cancer*, 2015, 15:991.
- [22] 程晨, 吴云桦, 徐正水, 等. II~III 期结肠癌根治术后复发危险因素分析及其列线图预测模型的应用价值[J]. *中华消化外科杂志*, 2021, 20(3):331-338.
- [23] 李昂, 谭震, 傅传刚, 等. 结直肠癌根治术后 5 年内骨转移的危险因素分析[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2017, 20(1):58-61.
- [24] 刘俊松, 李志龙, 史岚平, 等. CEA 在结肠癌伴同时性肝和(或)肺转移患者中的预后意义及 normogram 图的建立: 基于 SEER 数据库的研究[J]. *中国医师杂志*, 2023, 25(9):1363-1368.
- [25] 王晓燕, 彭贵娟, 张祥松, 等. 基于 18 氟-脱氧葡萄糖正电子发射计算机断层成像术的最大标准化摄取值和放射线基线比值与结直肠癌术后预后的关系[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2015(3):232-237.
- [26] NEGREROS-OSUNA A A, PARAKH A, CORCORAN R B, et al. Radiomics texture features in advanced colorectal cancer: Correlation with BRAF mutation and 5-year overall survival [J]. *Radiol Imaging Cancer*, 2020, 2(5):e190084.
- [27] MOLLA M, FERNANDEZ-PLANA J, ALBIOL S, et al. Limited liver or lung colorectal cancer metastases. systemic treatment, surgery, ablation or SBRT[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(10):2131.
- [28] CHENG Y C, CHANG K W, PAN J H, et al. Cold atmospheric plasma jet irradiation decreases the survival and the expression of oncogenic miRNAs of oral carcinoma cells[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(23):16662.
- [29] DE MIRANDA F S, BARAUNA V G, DOS SANTOS L, et al. Properties and application of cell-free DNA as a clinical biomarker[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(17):9110.
- [30] 黄德智, 张曦, 饶军. 循环肿瘤 DNA 在淋巴瘤中的进展和应用[J]. *中华血液学杂志*, 2024, 45(9):878-882.