

X 射线 FLASH 胸部照射后小鼠远期认知行为与生存表现的纵向评估

崔靛 陆星宇 商航 黄玮睿 周凌宏

南方医科大学生物医学工程学院, 广州 510515

通信作者: 周凌宏, Email: smart@smu.edu.cn

【摘要】 目的 探讨 kV 级 X 射线 FLASH 照射对小鼠胸部照射后远期行为学表现的影响, 并比较其与常规剂量率 (CONV) 照射在行为时序性特征上的差异。**方法** 选择 5 周龄雌性 BALB/c 小鼠, 用随机数表法随机分为 FLASH 组 (平均剂量率 80 Gy/s)、CONV 组 (0.2 Gy/s) 和假照射 (SHAM) 组, 给予 20 Gy 胸部照射。照射后 4、8 和 12 个月, 通过 Y 迷宫实验、旷场实验、新物体识别实验及筑巢实验评估其行为学表现。**结果** 生存分析显示, CONV 组在照射后 12 个月生存率显著低于 SHAM 组 ($\chi^2 = 6.22, P < 0.05$)。纵向行为学结果表明, FLASH 组在旷场实验中的自发探索水平始终高于 CONV 组; 照射后 4 个月, 其中心探索时间显著高于 CONV 组 ($t = 4.29, P < 0.01$), 照射后 12 个月, 其边缘停留时间显著低于 CONV 组 ($t = 4.86, P < 0.01$)。Y 迷宫实验中, FLASH 组的空间记忆能力高于 CONV 组; 照射后 4 个月, FLASH 组的自发交替率显著高于 CONV 组 ($t = 3.31, P < 0.01$), 且 CONV 组的首次选择延迟时间显著长于 FLASH 组 ($t = 2.70, P < 0.05$)。新物体识别实验显示, FLASH 组能改善早期识别能力并实现长期功能保全, 其行为学表现更接近于自然衰老过程; 照射后 4 个月, FLASH 组的识别指数与辨别指数数值显著高于 CONV 组 ($t = 3.87, 4.09, P < 0.01$)。筑巢实验结果表明, 照射后 12 个月, 筑巢 48 h FLASH 组的筑巢评分显著高于 CONV 组 ($t = 5.01, P < 0.01$), 提示其筑巢能力保持更为完整。**结论** 12 个月的观察期内, X 射线 FLASH 照射在生存率、应激相关行为及运动探索等多个维度体现显著优势, 有效缓解了胸部照射诱导的远期行为功能衰退。CONV 照射虽在部分行为指标随月龄增长呈现动态变化, 但仍伴随探索行为减少、生存率下降及本能行为受损等表现。

【关键词】 X 射线; FLASH 照射; 辐射远端效应; 行为学防护; 远期效应

基金项目: 国家自然科学基金 (82272131)

A longitudinal evaluation of long-term cognitive behavior and survival performance of mice after FLASH X-ray chest irradiation

Cui Liang, Lu Xingyu, Shang Hang, Huang Weirui, Zhou Linghong

School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

Corresponding author: Zhou Linghong, Email: smart@smu.edu.cn

【Abstract】 Objective To investigate the effects of ultra-high dose rate (FLASH) chest irradiation with kilovoltage (kV) X-rays on the long-term behavioral performance of mice post-irradiation and to compare the temporal behavioral characteristics between the FLASH and conventional dose rate (CONV) irradiation. **Methods** Five-week-old female BALB/c mice were selected and, using the random number table method, they were randomly divided into three groups: a FLASH group (mean dose rate: 80 Gy/s), a CONV group (0.2 Gy/s), and a SHAM group. Mice in all groups received chest irradiation at a dose of 20 Gy. The behavioral assessment was performed at 4, 8, and 12 months post-irradiation using

DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20250707-00227

收稿日期 2025-07-07 本文编辑 张琳

引用本文: 崔靛, 陆星宇, 商航, 等. X 射线 FLASH 胸部照射后小鼠远期认知行为与生存表现的纵向评估 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2026, 46(2): 183-191. DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20250707-00227.

Cui L, Lu XY, Shang H, et al. A longitudinal evaluation of long-term cognitive behavior and survival performance of mice after FLASH X-ray chest irradiation [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2026, 46(2): 183-191. DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20250707-00227.