

外照射急性放射病临床救治专家共识

外照射急性放射病（acute radiation sickness, ARS），也称为急性放射综合征（acute radiation syndrome, ARS），是全身或大部分身体受到急性或亚急性大剂量（一般超过 1 Gy）电离辐射照射引发的一系列涉及造血、胃肠道、皮肤及心血管和中枢神经系统等组织系统反应的现象，临床表现具有剂量依赖性^[1-4]。我国现行《职业性外照射急性放射病诊断（GBZ 104-2017）》^[2]略有不同，将急性放射病分为“三型四度”，主要是按照受照剂量由低到高的顺序以及临床综合征中的主导的受累器官系统的不同，把 ARS 分为骨髓型（1~10 Gy）、肠型（轻度 10~20 Gy，重度 20~50 Gy）和脑型（>50 Gy），其中骨髓型又分成轻度（1~2 Gy）、中度（2~4 Gy）、重度（4~6 Gy）和极重度（6~10 Gy）。急性放射病的临床病程通常包括初期（或前驱期，受照后 0~2 d）、假愈期（或潜伏期，前驱期的症状体征改善的短暂时期，受照后 2~20 d）、极期（临床症状体征明显的阶段，受照后 21~60 d，也称发病期）和恢复期或死亡。因全身受到辐射剂量不同以及组织器官辐射敏感性不同，造血、皮肤、胃肠道和中枢神经系统综合征，可以单独或组合发生^[3]。全身受照剂量达到 5~6 Gy 的骨髓型 ARS 患者会有肠黏膜隐窝上皮受损，伴随明显呕吐、腹泻、腹痛等“肠型”表现；“肠型”ARS 处于极期的患者同时具有“骨髓型”的全血细胞减少和骨髓造血功能衰竭的临床特点。全身受照剂量达到 15~16 Gy 的“肠型”ARS 患者，除因肠黏膜大部分坏死脱落导致血水样便、腹痛、严重腹泻等消化道症状突出表现外，同时中枢神经系统综合征已十分明显。同时，全身受照剂量越大，疾病进展速度越快，死亡率也越高。没有实施有效的临床救治时，病死率 2 Gy 为 5%，4 Gy 为 50%，6 Gy 以上则为 100%；剂量超过 10 Gy，60 d 内死亡概率为 100%。在没有积极救治的情况下，受照后 60 d 内的半数致死剂量（LD₅₀）为 3.5~4.0 Gy；在造血刺激因子、抗感染及静脉营养输注等充分救治的情况下，LD₅₀可增加到 5.0~6.0 Gy^[4]。实施有效的临床救治，死亡率会大大降低，ARS 尽早诊断和及时精准治疗是救治的关键。

急性放射病多见于辐照中心等严重辐射事故、核事故和核武器爆炸等核辐射突发事件。根据《中国辐射水平》^[5]中的数据，1949—2007 年，我国发生多起辐射事故，致 90 人患 ARS，死亡 25 人。近年来，随着放射工作单位加强落实有关法规标准的各项防护管理要求，辐射事故特别是严重辐射事故得到了有效控制，目前辐射事故以局部照射损伤为主，多见于工业探伤等行业。我国现有 10 万余家放射工作单位，近 100 万放射工作人员，也是全世界运行、在建和核准核电机组最多的国家。“十一五”期间建设了 2 个国家和 15 个省级核辐射救治基地；“十三五”期间启动了核辐射紧急医学救援基地建设项目，建设 4 个国家级基地和 4 个省级基地；“十四五”期间启动了国家紧急医学救援基地项目。ARS 诊断与救治能力是我国核辐射事故卫生救援和医疗应急的关键核心能力之一。

我国现行的《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017）^[4]和《外照射急性放射病护理规范》（GBZ 217-2009）^[6]明确了救治原则，实际工作中亟需指导临床医务人员开展辐射应急救治工作的具体技

DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20241209-00468

收稿日期 2024-06-25 本文编辑 郭鲜花

引用本文：梁莉, 袁龙, 余长林, 等. 外照射急性放射病临床救治专家共识[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2025, 45(9): - . DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20241209-00468.

Liang L, Yuan L, Yu CL, et al. Expert consensus on clinical treatment of acute radiation syndrome from external irradiation [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2025, 45(9): - . DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20241209-00468.

术方案。为提高医护人员对 ARS 的认识及救治水平，国家卫生健康委医疗应急工作辐射救治专家组组织相关领域专家结合我国国情及国际原子能机构（International Atomic Energy Agency, IAEA）、世界卫生组织（World Health Organization, WHO）指南、国内外重要文献和诊疗规范等认可的证据分级标准^[1,3]，对 ARS 关键临床问题证据进行总结，形成本共识。

一、总则

1. 治疗目标：促进造血功能尽早恢复，积极进行临床全面管理，减少患者痛苦，提高患者生活质量，加快患者康复，提高治愈率或延长生存时间。

2. 基本治疗原则：根据受照剂量及具体临床特点，按照“狠抓早期、主攻促造血、注重极期、中西医结合、综合对症支持，营养康复心理”的总体原则，有针对性地进行分级诊疗。

3. 治疗要点：尽早使用辐射损伤防治药物、改善微循环，早期有针对性地对症支持治疗、消除潜在的感染病灶及预防感染；把加速促进造血功能恢复放在治疗首位；采取中西医综合救治措施；注重极期，控制病情进展，积极预防和治疗极期并发症，纠正代谢紊乱，维持体内环境相对稳定；康复期以营养支持治疗为主，逐渐增加体能训练及心理帮助。

4. 治疗模式：尽管目前国内外 ARS 的分类诊断体系主要涉及造血、胃肠道、皮肤、中枢神经系统，但是由于核与辐射损伤是全身多系统的广泛损伤。全身吸收剂量 >8 Gy 的患者，终末期往往并发多器官功能衰竭，因此，建立多学科协作小组才能更好完成救治任务。关于 ARS 的治疗，通过早期全面筛查和评估、宜尽早介入，积极进行相关治疗以减轻症状，并关注患者的心理和精神方面变化；对患者的临床症状体征以及每一种治疗的疗效，需要动态评估，并及时调整治疗策略，使患者早日康复或减少痛苦。因此，整个治疗过程符合 E-warm 治疗模型^[7]，即 E（early）：早期介入；W（whole）：综合治疗应贯穿治疗全过程；A（assessment）：评估患者的状况、整体需求；R（reevaluation）：动态评估，根据临床反馈持续改善干预策略；M（management）：多学科联合治疗组综合管理。

【推荐建议】治疗的目的是提高患者治愈率，提高生活质量，延长大剂量受照者的生存时间。推荐采用“E-warm 模型”开展治疗。患者在早期筛查评估后即可开始接受综合治疗，将评估贯穿治疗全程。

二、治疗前准备

1. 创建多学科协作组

目标设定：确定目标应由诊治小组成员共同商定，并达成共识。有大量伤员的情况下，全身吸收剂量 1 Gy 以下的受照者可以门诊随访观察；2 Gy 以下的患者死亡率极低，可以在普通病房接受治疗；2~4 Gy 的患者收住血液肿瘤病房；4 Gy 以上的患者需要在住层流病房进行治疗；6 Gy 以下的患者经过全力救治，大约 90% 的患者最终可以生存；吸收剂量 >8 Gy 患者生存率极低。因此，治疗策略应随患者估算剂量改变而更新目标，同时要综合考虑烧伤、冲击伤、创伤（钝器伤、锐器伤、贯通伤）等复合伤，患者体能状态、重要脏器功能、伴随疾病等具体情况，并纳入目标制定的考量因素，多学科协作小组成员共享决策。

多学科协作组的构成及职责：①专家组：包括放射病科、血液病科、皮肤科或创伤/烧伤科、呼吸危重症、消化科、心血管内科、神经内科、生物及物理剂量评估组、心理咨询部门。②救治团队：包括临床医生、护士、药师、心理咨询师、生物及物理剂量评估专家、康复师等主要成员，主要职责见表 1。

表 1 多学科协作救治团队主要成员的重要职责

Table 1 The important responsibilities of the main members of the multidisciplinary collaboration treatment group

成员	主要职责
临床医生（多学科）	评估患者病情，并根据病情及时制定和调整治疗方案，参与决定是否终止治疗等
临床护士（多学科）	对患者和家属进行宣教，提供专科护理，所属社区患者的随访，提供居家服务指导等
药师	提出合理用药建议，对非注册药品进行临床应用管理、研制自制药品以及提供用药咨询等
心理咨询师	为患者及家属提供精神需求的服务，进行评估和干预，同时负责团队成员的精神照护等
生物及物理剂量评估专家	提供辐射剂量估算（生物剂量、物理剂量）
康复师	提供按摩、放松疗法、中医药治疗、功能锻炼等康复服务等

2. 治疗前的综合评估：

询问和调查受照射场景及具体经过，症状和体征出现的时间、先后顺序、频次、程度等，进行全面的体格检查，尽早进行实验室及其他辅助检查。及早进行生物剂量及物理剂量的初步估算。对资料数据综合分析，尽早做出 ARS 的分型分度分期诊断。明确需要进行紧急管理的症状（对发热、疼痛、呼吸困难、恶心、呕吐、腹泻、厌食、恶病质等进行筛查）。明确需要早期治疗的措施（如尽早使用抗放药、72 h 内改善微循环、处理潜在的感染灶、预防感染、脏器功能评价与保护等）。了解患者、家属的目标、期望、优先事项等。评估是否转专科医院进一步救治。

【推荐建议】开始进行治疗之前，建立多学科诊治小组，尽快完成对患者综合评估，并共同制定个体化的治疗目标，并在开始治疗后，根据病情变化及时调整治疗策略。

三、受照剂量估算

ARS 患者受到的辐射剂量与组织器官损伤程度密切相关，与死亡率成正相关。接受 ≤ 1 Gy 剂量的个体通常症状轻微，不会因受到核与辐射导致死亡；但接受全身照射剂量超过 10 Gy 的人员生存时间不会超过 6 个月^[2]。因此，早期估算核与辐射患者的受照剂量，成为预测放射损伤程度、指导早期干预治疗的关键。临床医生应采用尽可能多的方法来估算受照剂量。早期剂量估算方法包括：①初步剂量，依据 ARS 相对特异的早期临床症状、体征和受照后 48 h 内外周血淋巴细胞绝对值进行估算。②生物剂量。③物理剂量。

1. 早期快速剂量估算：从既往辐射事故患者临床表现来看，全身受照剂量在 1~2 Gy 时，胃肠道症状和血液学变化是完全可逆的；全身受照剂量达到 2 Gy 以上时，开始出现造血综合征；当达到 3~4 Gy 时，多器官系统的症状会发生显著重叠；在高剂量（6~7 Gy）下，会出现与高死亡率相关的中枢神经系统症状^[1]。

首次呕吐出现的时间及严重程度与受照剂量呈良好的相关性，可以实时快速地进行初步估算受照剂量，见表 2。优点是不需要复杂或稀缺的医疗设备或技术，但较高的假阳性率和假阴性率也是不容忽视的。

根据外周血淋巴细胞计数进行辐射剂量估算同样具有优势。持续监测外周血淋巴细胞计数下降程度，能可靠预测大致的全身累积辐射剂量^[2-4]。伤员受照后 24~48 h 的外周血淋巴细胞计数与全身受照剂量相关性列于表 2。受照后 24 h 淋巴细胞计数是独立预后因素，当淋巴细胞计数<10%正常值时，无论是否进行临床救治，死亡率均高达 100%^[3]。因此，监测外周血淋巴细胞绝对计数尤为重要，受照 48 h 内每 6~8 h 查 1 次；48 h 以后每 12 h 查 1 次，至少连续检查 5 d，计算外周血淋巴细胞计数下降率，评估辐射损伤程度，及时调整治疗策略。

表 2 伤员首次出现呕吐的时间和外周血淋巴细胞绝对值与全身受照剂量的相关性^[2,8]
Table 2 The correlation between vomiting onset time, absolute value of peripheral blood lymphocytes, and systemic radiation dose^[2,8]

受照后呕吐首现时间	受照后 24~48 h 淋巴细胞绝对数最低值 ($\times 10^9/L$)	估算剂量范围 (Gy)	受照后呕吐发生概率 (%)	ARS 严重程度
无呕吐	>1.2	<1	—	—
≥ 2 h	1.2~0.9	1~2	10~50	轻度
1~2 h	0.9~0.6	2~4	70~90	中度
30 min~1 h	0.6~0.3	4~6	100	重度
10 min~30 min	<0.3	6~8	100	极重度
<10 min	<0.3	>8	100	致死性

注：“—”为无数据。ARS. 外照射急性放射病。

全身剂量评估是一个挑战，尤其是在存在多人伤亡的情况下，医疗资源紧缺，需要快速便捷的评估以便及时指导临床治疗；但准确的生物剂量估算需要进行细胞遗传学分析综合判断。

2. 生物剂量估算：主要采用细胞遗传学方法。目前通过外周血淋巴细胞染色体非稳定畸变（双着丝粒+环染色体，dic+r）估算全身受照剂量仍然是评估辐射损伤程度的金标准^[8-9]，对确定诊断起到至关重要的作用。但需要专业人员进行检测分析，且最快也需要至少 48 h 后才能得到结果。需要注意，当全身受照剂量>5 Gy 时，因骨髓耗竭和淋巴细胞严重受损而难以培养，可考虑采用早熟染色体凝集、电子自旋共振、骨髓培养等生物物理剂量方法估计受照剂量。非稳定性染色体畸变会随照后时间的推移而逐渐减少，应在事故发生后 48~52 h 内采集血样，如果采样时间较晚，可能需要进行时间校正^[9]。现在有计算机辅助系统协助分析染色体畸变，显著提高了分析速度。

3. 物理剂量估算：核与辐射事故伤员物理剂量现场模拟方法通常采用组织等效拟人体模进行估算。在事故辐射场所，通过模拟测量事故辐射场的照射剂量率分布，使用组织等效拟人体模对受照人员进行剂量模拟测量。这种方法可以得到受照人员的器官和组织剂量，以及全身平均剂量和造血干细胞存活计权等效剂量。其他方法还有使用仿真模型和热释光剂量计（thermoluminescent dosimetry, TLD），在原辐射场下，将 TLD 布放在仿真人体模型的重要器官（如心脏、肾脏和肝脏等）内，模拟辐照场所人员受照情况，得出事故受照人员器官的剂量，并与蒙特卡罗模拟估算的器官剂量进行比较。还可以采用组织-空气比的方法进行剂量估算。

如果辐射事故有现场录像，可依据录像还原事故现场受照路径和各关键位置的剂量率、持续时间、体位、朝向等数据，此时物理剂量现场模拟较为准确；如果仅仅依靠对受照经过回忆描述，其结果往往仅能作为参考。

【推荐建议】根据受照人员首次出现呕吐时间及外周血淋巴细胞计数下降程度可以早期初步估算受照人员的剂量，对指导临床救治决策至关重要；在事故发生后尽早留取外周血进行淋巴细胞非稳定畸变遗传学分析。

四、诊断

1. 诊断原则：参照文献 [2]，依据受照史、受照剂量（现场个人受照剂量调查、生物剂量检测）、临床表现和实验室相关检查检验结果，进行综合分析判断；作出 ARS 的分型分度分期诊断。

2. 分型：外照射急性放射病根据受到辐射的剂量，分为骨髓型、肠型和脑型 3 种类型。

（1）骨髓型 ARS：1 次或短时间（数日）内分次受到总剂量为 1~10 Gy 的全身均匀或比较均匀的电离辐射照射。分为轻度、中度、重度和极重度 4 种，早期可以根据临床表现做出初步诊断（表 4）。

表 4 骨髓型急性放射病临床诊断依据 [2]

Table 4 Clinical diagnostic basis for bone marrow form of acute radiation sickness [2]

临床征象	轻度	中度	重度	极重度
初期	—	+	++	+++
呕吐				
腹泻	—	—	—~+	+~++
极期				
口咽炎	—	+	++	++~+++
体温 (°C)	<38	38~39	>39	>39
脱发	—	+~++	+++	+~+++
出血	—	+~++	+++	+~+++
柏油便	—	—	++	+++
腹泻	—	—	++	+++
拒食	—	—	—~+	+
衰竭	—	—	++	+++
白细胞数最低值($\times 10^9/L$)	>2.0	1.0~2.0	0.2~1.0	<0.2
极期开始出现时间(d)	不明显	20~30	15~25	<10

注：“—”为不出现该临床征象。“+”“++”“+++”分别为出现该临床征象为轻度、中度和重度

（2）肠型 ARS：1 次或短时间（数日）内分次接受总剂量 10~50 Gy 的全身均匀或比较均匀的电离辐射外照射，以胃肠道损伤为基本病理生理特征，以频繁呕吐、严重腹泻、水电解质代谢紊乱、因脱水导致血液浓缩引起受照后 2~5 d 血红蛋白升高为主要临床表现，是病程经过初期、假愈期和极期 3 个阶段的急性放射病。轻度肠型 ARS 受照射剂量是 10~20 Gy，受照射后 1 h 内出现严重恶心、呕吐；1~3 d

内出现腹泻稀便、血水便；持续 3~6 d；假愈期后上述症状加重出现极期，可伴有水样便或血水便及发热。重度肠型 ARS 受照射剂量 20~50 Gy，受照射后 1 d 内出现频繁呕吐、难以忍受的腹痛、严重血水便、脱水、低体温，继之剧烈呕吐胆汁样或咖啡样物，严重者于第 2 周出现肠黏膜脱落伴墨绿色大便、大便失禁和高热，甚至肠梗阻、节段性肠坏死，终末期多出现多器官衰竭。

(3) 脑型急性放射病：1 次或短时间（数日）内接受 >50 Gy 的全身均匀或比较均匀的电离辐射照射，病程 2 d 左右，分成初期和极期两个阶段，受照射后出现站立不稳、步态蹒跚等共济失调现象，定向力和判断力障碍，肢体或眼球震颤，强直抽搐，角弓反张等征象。受照剂量 >100 Gy 时，出现意识障碍，瞳孔散大，大小便失禁，休克，昏迷，数小时死亡。

【推荐建议】根据受照剂量进行分型、分度诊断。

五、治疗

1. 大规模事故处理要点：大规模核与辐射事故由于涉及伤员多，事故发生后 48 h 内的救治是关键，但细胞遗传学生物剂量难以获得，因此应根据事故受照者症状出现时间、虚弱的严重程度、恶心的强度、每 24 h 呕吐的频率、腹泻的严重程度和频率或每 24 h 大便次数，腹痛是否存在，头痛的强度，体温高低，血压以及暂时失去意识的发生情况等临床表现，综合判断伤情或评分，并决定初步治疗方案（表 5）^[10-11]。

表 5 大规模核与辐射事故发生 48 h 内受照者的首次评分^[10-11]

Table 5 Primary scoring at first 48 h after a large-scale nuclear and radiation accident^[10-11]

征 象	评分 1	评分 2	评分 3
从停止受照射到症状出现的时间间隔	<12 h	<5 h	<30 min
皮肤红斑	-	+/-	+++; <3 h
乏力	+	++	+++
恶心	+	+++	++++
每 24 h 呕吐次数	最多 1 次	1~10 次	10 次以上，顽固性
腹泻/每 24 h 大便次数	最多 2~3 次，成形	2~9 次，软便/稀便	10 次以上，水样便
腹痛	轻微	严重	剧烈
头痛	0	++	痛苦；颅内高压表现
体温(°C)	<38	38~40	>40
血压	正常	正常，可能一过性降低	收缩压低于 80 mmHg
短暂性意识丧失	0	0	+ / 昏迷
外周血淋巴细胞计数 (个/L)			
24 h	>1.5×10 ⁹	<1.5×10 ⁹	<0.5×10 ⁹
48 h	>1.5×10 ⁹	<1.5×10 ⁹	<0.1×10 ⁹

注：“-”为不出现该临床征象。“+”“++”“+++”分别为出现该临床征象为轻度、中度和重度

评分为 1 分的患者可以在门诊随访，每天检查血细胞计数，持续 6 d，然后 1 次/周，持续 2 个月。

评分为 2 分的患者是需要积极救治才能生存的患者。应尽早使用粒细胞集落刺激因子(*granulocyte colony-stimulating factor, G-CSF*)等细胞因子治疗,至少治疗 14 d,并积极进行针对胃肠道损伤的治疗。如果骨髓抑制严重,在层流病房进行治疗。

评分为 3 分的患者预计会发生多器官衰竭,生存的希望少。尽早给予细胞因子治疗,同时给予姑息对症支持治疗。治疗的第 1 周需要根据实验室或临床情况重新评估,明确经过积极救治是否有存活可能。如果出现不可逆器官损伤/功能障碍的症状,给予对症支持治疗。

2. 主要治疗措施

(1) 促骨髓造血恢复措施:骨髓中的造血干/祖细胞具有较高辐射敏感性,2 Gy 以上的辐射可导致中性粒细胞减少、血小板减少和贫血。在没有任何治疗的情况下,骨髓功能恢复是个缓慢的过程,受照者死于感染和出血的风险随受照剂量增加而增高^[12]。在大多数辐射事故中,均匀照射是相对的,不均匀是绝对的,部分骨髓有可能幸免受照,对于这些受照者给予促造血生长因子的治疗可以刺激其残存的造血机能,加速骨髓功能的恢复。在以往几起辐射事故受照者中应用了造血因子的治疗,有效地减少中性粒细胞和血小板减少的持续时间和严重程度,并提高生存率^[12-13]。

(2) 促进白细胞恢复:对于单纯全身外照射剂量达到 2 Gy 以上,尤其是 12 岁以下的儿童或 60 岁以上的老年人以及合并创伤或烧伤等放射复合伤时,要加速中性粒细胞的恢复。受照后 24 h 内尽早使用细胞因子促白细胞恢复^[14-17],如应用重组人粒细胞集落刺激因子(*recombinant human granulocyte-colony stimulating factor, rhG-CSF*),直到连续 3 d 中性粒细胞计数 $>1.0 \times 10^9 / L$ 或者单次 $>10.0 \times 10^9 / L$;连续 2 ~ 3 周中性粒细胞仍然不恢复,则考虑异基因造血干细胞移植;*rhG-CSF* 的推荐剂量为成人 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、婴儿及儿童 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$,皮下注射,1 次/d。聚乙二醇化 G-CSF (*pegylated human granulocyte colony-stimulating factor, PEG-G-CSF*) 推荐剂量 6 mg/次,皮下注射,1 次/周,连续两周。粒细胞-巨噬细胞集落刺激因子(*granulocyte-macrophage colony stimulating factor, GM-CSF*),推荐剂量 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 或者 250 $\mu\text{g}/\text{m}^2$,皮下注射,1 次/d。对于细胞因子使用推荐以 *rhG-CSF* 为基础,可联合使用 *PEG-G-CSF* 或 *GM-CSF*。

(3) 促进血小板恢复:重组人血小板生成素(*Recombinant Human Thrombopoietin, rhTPO*)推荐剂量 300 U/kg,皮下注射,1 次/d,直到血小板计数恢复至 $100 \times 10^9 / L$ 以上^[14-16]。重组人白介素-11(*Recombinant Human Interleukin-11, rhIL-11*)推荐剂量为 25 ~ 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$,皮下注射,1 次/d^[16-18]。血小板生成素受体激动剂(*Thrombopoietin receptor agonist, TPO-RA*)包括:罗米司亭(*romiplostim*)、阿伐曲泊帕(*avatrombopag*)、艾曲泊帕(*eltrombopag*)和海曲泊帕(*hetrombopag*)。罗米司亭,推荐剂量为 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$,单次皮下注射。海曲泊帕乙醇胺片,起始剂量为 2.5mg,空腹口服,1 次/d,直至血小板达到并维持 $\geq 50 \times 10^9 / L$ 的最低剂量,最大剂量为 15 mg/d。艾曲泊帕乙醇胺片,起始剂量为 25 mg,口服,1 次/d,最大剂量不得超过 75mg/d。马来酸阿伐曲泊帕片,推荐剂量为 40 ~ 60 mg,与食物同时口服,1 次/d,连续口服 5d。

(4) 促进红细胞恢复:与髓系细胞和血小板的寿命($<10 \text{ d}$)相比,红细胞的寿命长达 120 d,因此 ARS 早期不需要输注红细胞,贫血可能发生在 24 周之后,由于轻度贫血不是致命的,不推荐使用促红细胞生成素(*erythropoietin, EPO*),中重度贫血,可以应用 EPO,同时需要补充铁剂;在血红蛋白大于

12g/L, 红细胞压积 $\geq 36\%$ 时, 停用 EPO; 有条件的单位可监测 EPO 浓度, 据此调整 EPO 的剂量和用药时间, EPO 推荐剂量每天 100~150 U/kg, 皮下注射, 2~3 次/w^[18-19]。

(5) 血液制品应用: 对受照者应采用成分输血, 且使用有白细胞过滤器的输血器, 除非患者全身受照剂量 >1 Gy, 否则血液制品输注前应经过 25 Gy 的辐照。输注红细胞指征为血红蛋白 <70 g/L; 当血红蛋白在 70~100 g/L 时, 宜根据患者的年龄、出血量、出血速度、心肺功能以及有无缺氧症状等因素综合判断是否输注。预防性的血小板输注指征为血小板 10×10^9 /L 及以下, 如伴有出血、发热、使用抗凝剂或有侵入性操作的情况下, 血小板的输注应为 20×10^9 /L 及以下, 如果需要进行外科手术, 则术前血小板应 $\geq 50\times 10^9$ /L^[14,19]。

(6) 造血干细胞移植 (hematopoietic stem cell transplantation, HCT): 核与辐射事故通常是不均匀照射, 可能存在未照射的骨髓, 通过细胞因子的治疗, 可以恢复骨髓造血功能。辐射事故受害者医学处理方案 (Medical treatment protocols for radiation accident victims, METREPOL)^[20] 明确规定, 不对具有内源性造血恢复潜力的辐射事故受害者进行同种异基因造血干细胞移植 (Allogeneic hematopoietic stem cell transplantation, allo-HCT)。Allo-HCT 不是紧急的, 避免移植物抗宿主病发生至关重要。另外, 辐射所致骨髓衰竭的患者伴随其他损伤 (如烧伤或外伤) 会使 allo-HCT 变得非常复杂。因此, 需要评估 ARS 患者内源性造血恢复能力及 allo-HCT 的可行性^[10,21]。

虽然, 只有一小部分患者可能从 HCT 中获益 (即接受 allo-HCT 的患者剂量为 7~12 Gy, 能够接受自体或同卵双胞胎或同基因 HCT 的患者剂量是 4 Gy 以上剂量), 但对初步估计受照剂量 7 Gy 以上患者, 应尽早采集供受者人类白细胞抗原 (human leukocyte antigen, HLA) 分型样本, 并尽早开始寻找潜在的供体。如果造血细胞因子持续治疗超过 14 d, 仍有严重的骨髓再生障碍存在, 则可能需要 allo-HCT。移植适应证是在造血细胞因子持续治疗的情况下, 骨髓增生障碍持续 14~21 d、无残留造血和无不可逆的器官损伤。移植物类型包括外周血造血干细胞、骨髓和脐带血。供体优先级顺序为同卵双胞胎、HLA 全相合同胞、9/10 或 7/8 HLA 相合的亲缘供者、9/10 HLA 相合的无关供体、至少 4/6 HLA 相合的脐带血。建议造血干细胞最小输注剂量为外周血 CD₃₄₊ 细胞数 2 胞数脐⁶ /kg, 骨髓有核细胞数为 2 髓有核⁸ /kg, 脐带血有核细胞数为 3 带血有⁷ /kg; 推荐含氟达拉滨和抗胸腺细胞球蛋白的非清髓预处理方案, 不包含甲氨蝶呤。

【推荐建议】 在疑似或确认 >2 Gy 的受照剂量后, 尽早应用促粒细胞生长因子及促血小板增生药物; 促红素可以减少输血; 在造血细胞因子治疗至少 2 周无效且无不可逆器官损伤的情况下, 可以考虑造血干细胞移植。

3. 胃肠道损伤的处理

(1) 控制呕吐: 一般来说, 伤员首次呕吐出现的时间与辐射剂量呈负相关, 而严重程度与剂量直接相关^[4]。止吐药物首选 5-羟色胺受体拮抗剂 (如昂丹司琼、格拉司琼、帕洛诺司琼等)^[15, 22-23], 约 50% 患者可充分控制恶心和呕吐, 在此基础上加用糖皮质激素 (地塞米松) 或 P 物质拮抗剂 (阿瑞匹坦), 可以进一步控制呕吐; 值得注意的是, 在留取外周血进行生物剂量检测之前, 不可以用糖皮质激素治疗。止吐药口服与静脉注射药疗效一致, 呕吐停止后可以停药。①昂丹司琼的成人静脉注射剂量为每次 8 mg 或 0.15 mg/kg, 1~2 次/d; 口服剂量为每次 8 mg, 1~2 次/d。4~11 岁儿童口服剂量为每 8 小时 4 mg,

12岁及以上青少年每8小时8 mg。②格拉司琼，成人静脉注射剂量每次3 mg，1次/d。③帕洛诺司琼，成人静脉注射剂量每次0.25 mg，口服剂量每次0.5 mg，如果需要可以3 d后再次给药。④奈妥匹坦帕洛诺司琼（每粒0.3 g/0.5 mg），成人口服剂量每次1粒，如果需要可以3 d后再次给药。

（2）控制腹泻：胃肠道综合征常发生在全身吸收剂量 >5 Gy时，肠道上皮层破坏导致黏膜屏障崩溃，从而导致严重分泌性腹泻、脱水和电解质失衡^[3]。即使在较低剂量时，也会引起肠道的毒副作用，主要是由于放射性损伤会导致肠道菌群易位（细菌通过受损的肠道黏膜屏障进入血液）及免疫力严重受损所致^[3]。因此，无论辐射剂量如何，肠道细菌引起的脓毒症是潜在的死亡原因。在治疗上应首选对革兰氏阴性和革兰氏阳性菌均有抑制作用的抗菌药物，同时针对腹泻症状应给予对症治疗。

腹泻可通过盐酸洛哌丁胺和地芬诺酯-阿托品等常见止泻药物来控制。经评估，洛哌丁胺因其具有更佳疗效和更优安全性被确定为首选治疗药物^[15]。洛哌丁胺的用法，成人初始口服剂量4 mg，随后在每次稀便后，口服2 mg，最大剂量为16 mg/d，维持口服剂量通常为4~8 mg/d，单次或分次口服均可^[15]。

（3）选择性消化道去污：辐射导致胃肠道屏障功能受损，肠道内细菌及其毒素可以通过受损的胃肠屏障入血液，诱发发生感染和败血症，免疫功能抑制和血细胞减少进一步加重感染。选择性肠道去污旨在改善中性粒细胞减少患者的支持性治疗，“选择性”抗菌药物暴露可防止受照后的致命菌血症发生^[24]，但如果不同时使用静脉抗菌药物，则不建议进行肠道去污^[1,3]。对于肠道细菌过度繁殖者，肠内营养联合周期性的抗菌药物肠道去污治疗，可改善其肠道菌群结构紊乱。首选可吸收性差的抗菌药物，如氨基糖苷类药物和利福昔明，与甲硝唑和四环素交替使用，可限制细菌的耐药性。抗菌药物应按轮换方案给药，无论何种类型，治疗持续时间通常为7~10d，每月最多使用两周，随后进入不同持续时间的无抗菌药物期^[25]。肠道菌群移植治疗已经在肠道功能障碍疾病中逐渐得到证实，辐射所致胃肠道损伤中的应用正在研究中。

【推荐建议】针对呕吐，建议首选5-羟色胺受体拮抗剂（如昂丹司琼、格拉司琼、帕洛诺司琼等）治疗，必要时加用类固醇（地塞米松）和/或P物质拮抗剂（阿瑞匹坦）；针对腹泻，建议应用氟喹诺酮类药物，腹泻严重可以考虑应用洛哌丁胺；在全身抗菌素治疗下，可以进行选择性肠道去污治疗。

4. 感染治疗

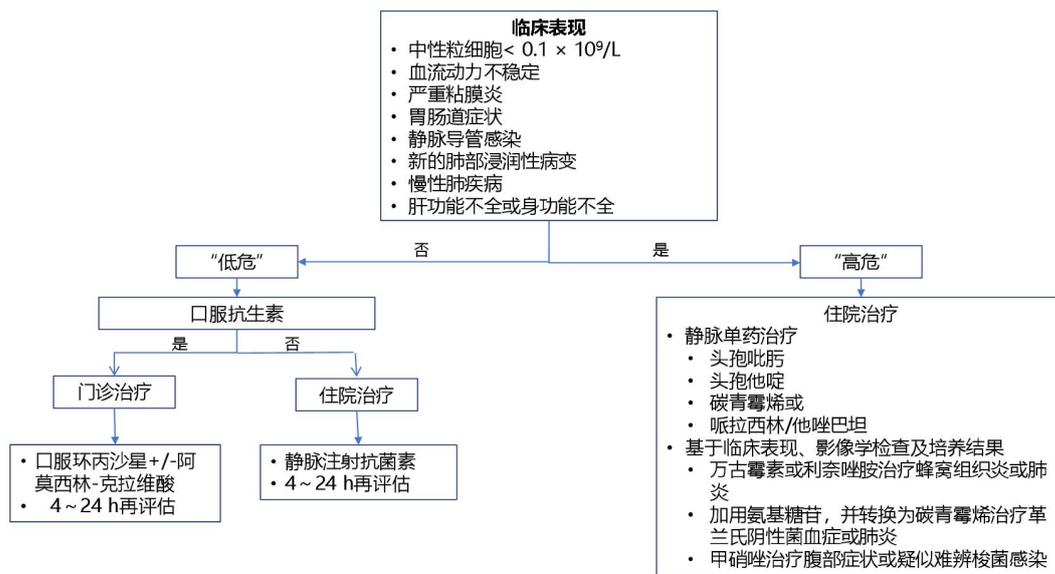
电离辐射会损害重要器官并抑制免疫功能。受到大剂量照射的个体，出现中性粒细胞和淋巴细胞减少性免疫抑制，暴露后30 d内常出现广泛的细菌、真菌和病毒感染，导致败血症，显著增加死亡风险^[26]。辐射能导致骨髓、肠隐窝和皮肤基底的干细胞受到损害，使先天免疫、血流动力学和组织氧合变化更加复杂。在中性粒细胞减少期间预防和治疗感染是一个基本的治疗原则，及时控制感染是ARS患者治疗成功的重要因素。

（1）预防及治疗感染的环境要求：如果患者的全身受照剂量超过2~3 Gy，应在专用隔离病房接受治疗，遵守无菌原则，预防交叉感染；对于骨髓抑制严重者，需要在层流病房接受治疗。

（2）预防性应用抗菌药物时机及药物选择：出现下列情况可以给予预防性抗菌治疗^[27]：①体温 ≥ 38.0 °C伴中性粒细胞减少（ $<0.5 \times 10^9/L$ ）。②有发热等感染症状、体征，无论是否伴有中性粒细胞减少。预防性抗菌药物应选用覆盖革兰氏阳性链球菌、葡萄球菌、革兰氏阴性菌、假单胞菌和肠杆菌科的广谱抗菌药物，例如氟喹诺酮和阿莫西林/克拉维酸。

(3) 根据病情危险程度选择给药方式及调整用药：在预计中性粒细胞缺乏时间 ≤ 7 d，无并发症，肝肾功能正常或损害较轻并且稳定时，可以考虑门诊治疗，但要密切观察临床变化，至少每 24 h 查 1 次血常规，持续 3 d。出现以下任意一项情况需要住院治疗^[1,26-27]，①预计严重中性粒细胞缺乏 ($< 0.1 \times 10^9/L$) 持续 > 7 d，②有以下任一种临床并发症（包括但不限于），血流动力学不稳定、口腔或胃肠道黏膜炎以及吞咽困难、胃肠道症状（腹痛、恶心呕吐和腹泻）、新发的神经系统改变或精神症状、血管内导管感染（尤其是导管腔道感染）、新发的肺部炎症或低氧血症或有潜在的慢性肺部疾病。③肝功能不全（转氨酶水平 > 5 倍正常上限）或肾功能不全（肌酐清除率 < 30 ml/min）。④合并免疫功能缺陷疾病。

初始经验性使用抗菌药物，如果出现病情加重，如血流动力学不稳定，宜及时调整抗菌药物，见图 1。对于明确病原菌的患者，可根据所识别细菌和药敏结果采用窄谱抗菌药物治疗，检出细菌如属于耐药菌，应根据病原体及其药敏结果选择针对性抗菌药物，有条件的医院可行耐药表型、耐药基因检测。一般推荐联合抗菌药物治疗耐药菌感染^[27]。



注：ANC，absolute neutrophil count，中性粒细胞计数

图 1 急性放射综合征相关感染的处理^[1]

Figure 1 Management of infection due to acute radiation syndrome^[1]

发热患者给予充分抗菌药物治疗无效时，需考虑真菌、病毒和其他病原菌感染的可能。预防性抗真菌治疗可以选择氟康唑，研究显示氟康唑可降低化疗诱发的中性粒细胞减少症患者的死亡率^[20,28]。氟康唑治疗无效的患者可以应用伏立康唑、泊沙康唑、艾沙康唑及伊曲康唑等药物^[20,29]。对于既往有单纯疱疹病毒（Herpes simplex virus, HSV）感染病史，或者 HSV（I 或 II 型）血清学阳性的患者，建议使用伐昔洛韦或阿昔洛韦进行预防性抗病毒治疗^[30]。巨细胞病毒（cytomegalovirus, CMV）血清学阳性的患者应接受治疗使用更昔洛韦或伐昔洛韦治疗，且应仅接受治疗 CMV 阴性或去白细胞的血液制品输注。免疫抑制剂会增加病毒再激活的风险。

【推荐建议】受到辐射剂量高于 2 Gy 的伤员，需要在无菌环境中进行治疗；给予预防性抗菌治疗的时机为：体温 ≥ 38.0 °C伴中性粒细胞减少（ $< 0.5 \times 10^9$ /L）、或无论是否伴有中性粒细胞减少且发热伴随感染症状的体征。制定合理的经验初治抗菌药物治疗方案，及时进行综合评估，调整抗菌药物应用；充分抗细菌药治疗无效时，预防性应用抗真菌和/或抗病毒的治疗。

5. 对症支持治疗：首先，保持伤员皮肤和黏膜清洁、保持口腔卫生。出现发热、疼痛、恶心呕吐等症状时，给予及时对症处理。纠正水、电解质及酸碱平衡失调，改善微循环障碍和自主神经系统功能紊乱。对于出现严重烧伤、低血容量、低血压和/或休克的患者，要密切监测液体出入量，可以通过测量中心静脉压和混合静脉血氧饱和度进行监测，并补充液体、电解质和血液制品^[3]。营养支持治疗要按不同病情加以调整饮食的质和量。食欲正常时，给予高热量、高蛋白、高维生素和易消化的食物。肠内营养支持优于肠外营养支持，但合并有机性肠梗阻或胃肠道黏膜弥漫性出血的患者需要肠外支持。

【推荐建议】保持患者清洁，及时给予对症支持治疗，保证足够的营养，维持水电平衡。

6. 多器官功能保护：辐射诱发的多器官功能障碍/衰竭是指随着时间的推移出现 ≥ 2 个器官/系统出现进行性功能障碍，这是一种病理生理过程，而不是一种独特的临床综合征。衰竭器官的数量越多，死亡率就越高。即使在幸存者中，多器官衰竭也会对长期生活质量产生负面影响^[3,31]。并发多器官功能障碍/衰竭的 ARS 患者需要在重症监护病房接受治疗，最佳医疗管理是多学科团队协同救治。

（1）肺功能损伤及防护：肺对辐射暴露的反应呈时间依赖性。急性渗出期常发生在受照后 1~3 个月。急性期放射性肺炎通常对皮质类固醇治疗有效，其可以限制炎症进展，最大限度地减少肺纤维化的严重程度。在持续性急性呼吸窘迫综合征的治疗中，推荐俯卧位、高呼气末正压/低潮气量模式辅助呼吸，氧饱和度应达到 90% 以上^[3,32]。

（2）肾功能损伤及防护：肾脏的辐射暴露剂量在 5~10 Gy 可能发生放射性肾病，常发生于骨髓移植前临床预处理导致的肾损伤。肾损伤在急性高剂量辐射暴露后一段时间内出现，初始损伤肾小球损害功能，随后是肾小管损伤，发展非常缓慢，临床上表现为蛋白尿、高血压和无法浓缩尿液。放射性肾病的临床治疗包括注意控制血压和使用血管紧张素转换酶抑制剂或血管紧张素受体阻滞剂。研究表明，通过用血管紧张素转换酶抑制剂或血管紧张素 II 受体拮抗剂进行预防，降低了慢性肾功能衰竭的发生率^[32-34]。

（3）眼睛损伤及防护：眼睛受到高剂量急性辐射暴露，会出现神经病变、视网膜病变和严重的眼干燥症及视力明显下降。大多数严重眼干燥症出现在暴露后 1 个月内，而角膜混浊和血管形成通常在暴露后 9~10 个月出现。应用人工泪液、润滑软膏及外用类固醇控制严重眼干燥症的症状；而角膜溃疡则用局部和/或全身性抗菌药物治疗；球后酒精注射液可用于治疗未感染的眼痛^[32]。

（4）预防应激性溃疡：危重患者应给予组胺 H₂ 阻滞剂或质子泵抑制剂以防止上消化道出血，应权衡预防上消化道出血的益处与胃 pH 值升高对呼吸机相关性肺炎发生的潜在影响^[3]。

（5）血糖控制：血糖控制对 ICU 受照患者的康复起着关键作用。高血糖可能导致免疫功能低下、感染风险增加、创伤刺激反应增加等。因此，保持患者血糖水平在合理范围内，对于加速伤口愈合、防止感染、降低并发症的发生率至关重要。中国危重症患者血糖管理共识^[35]指出，脓毒症患者血糖控制在 11.1~3.9 mmol/L，死亡风险明显下降。动态观察血糖变化，对于新入院的危重症患者或接受持续胰岛素

输注的重症患者，血糖监测间隔不应超过 1 h，直至血糖水平和胰岛素注射速率稳定。当血糖水平和胰岛素注射率稳定后，增加间隔时间到 2~4 h。如果发生低血糖事件，应每 15 min 监测 1 次，直至血糖水平稳定^[35]。

【推荐建议】 并发多器官功能障碍/衰竭的 ARS 患者需要在重症监护病房接受治疗，多学科团队协同救治，减少多脏器功能障碍的程度。

7. 中医药治疗：

方法主要包括中药、针灸、拔罐、按摩、药浴等，以达到改善疾病的目的。柯吴晔等^[36]综述了单味中药在防治核辐射伤害方面的作用，在动物实验中看到了一定疗效。王玉等^[37]总结了中药在防治放射性损伤的作用，补益类中药通过激活机体免疫功能，既可以提高肺部组织对辐照的耐受力，减轻放射性肺损伤的发生，又可清除氧自由基，减少辐照所致的过氧化损伤，降低辐射相关的不良反应，在肺癌辐射治疗中起到关键作用。朱龙等^[38]总结了中药治疗放射性肠炎的疗效，发现中医中药可以长期有效缓解患者症状。针灸对放疗后引起的口干症及干燥综合征具有明显的治疗作用^[39]。在恢复期可以通过按摩的方式，促进血液的循环，在一定程度上也能够缓解核与辐射给身体带来的不适。

【推荐建议】 不同阶段施治辨证，给予中医药治疗，对于可以辅助辐射损伤救治。

8. 心理干预：

核与辐射事故可直接或间接对生命或财产造成危害，甚至威胁生命，其导致的心理效应不仅有即刻影响（急性应激），还有迟发持续的影响（创伤后应激障碍）。事故早期受到影响的人员会产生焦虑、恐慌、痛苦等心理症状，如果没有得到及时地缓解，会导致产生恐惧反应，降低控制情感能力，痛苦记忆多次再现，反复重现创伤体验、持续性警觉性升高或持续回避等；会呈现焦虑抑郁状态，出现抵触情绪，可严重干扰治疗的顺利进行^[40]。

通过访谈或量表评估的方法了解当事人的情绪、情感状态、行为能力和认知状态，对高危人员进行筛查^[40]。针对不同的心理问题给予分层干预。面向普通受灾人群，心理干预以团体辅导为主，目标是促进心理健康和内心的安全感；针对高危人群，心理干预以团体辅导结合短程聚焦式个体治疗，目标是预防和减少发生心理障碍的危险性；对已经出现心理障碍的个体，进行系统的个体治疗，目标是防止精神症状影响下出现的危险状况，保护人身安全，缓解病情与改善预后。

【推荐建议】 注重筛选高危人员，通过分层干预减少急性期的心理应激程度和创伤后应激障碍的发生率。

六、医疗随访

对 ARS 存活的患者应进行终身医学随访，重点关注眼晶状体、甲状腺、骨髓、性腺等辐射敏感组织器官。

1. 随访时间：根据患者个人特征、伤情程度以及出现的并发症制定随访时间。患者康复后第 1 年，每半年复查 1 次；第 2~3 年，轻、中度骨髓型放射病患者每年检查 1 次，重度以上骨髓型放射病患者每

半年检查 1 次；第 4~10 年，可每年检查 1 次；10 年后，轻、中、重度骨髓型放射病患者每 2~3 年检查 1 次^[41]。

2. 随访内容

(1) 询问康复后的情况：了解并记录康复时留有的症状有无变化，有无新出现的不适。需了解新出现的不适症状处置的情况、疗效如何以及生育情况，女性需了解月经情况。

(2) 体格检查：内科、外科、眼科及皮肤科检查。

(3) 常规辅助检查：血、尿、便常规及便潜血检查；心肝肾功能、空腹血糖检查和甲状腺功能检查；心电图、B 超（甲状腺、乳腺、肝、胆、胰）、胸部 X 射线或低剂量 CT 检查等。

(4) 特殊辅助检查：①眼晶状体检查，在眼压正常的情况下，用短效散瞳药滴眼，使双侧瞳孔充分散大，用裂隙灯显微镜依次检查角膜、前房、虹膜和晶状体，如果出现异常，在检查表上记录病变特征，如有混浊，需在眼晶状体晶体环面及正面图上标示出来。②细胞遗传学检查，第 1 年中应检测染色体非稳定性畸变和稳定性畸变，在之后的随访中采用稳定性畸变分析。③精液检查，如果男性伤员在急性期发现精子异常，需要进行随访检查。④肿瘤筛查，肿瘤标志物检测；如果便潜血为阳性，进一步肠镜检查。

【推荐建议】根据患者个人特征、伤情程度以及出现的并发症制定随访时间和内容，重点关注眼晶状体、甲状腺、骨髓、性腺等辐射敏感组织器官。

七、总结

本共识总结我国近年来急性放射病救治经验，结合 2023 年 WHO 提出的药物合理应用等国际组织文件，涵盖了外照射急性放射病救治中的全部环节，首要的是基于临床症状、生物剂量和物理剂量估算基础上临床诊断与分型分度，详细列出了促进血恢复、胃肠道损伤处理、感染处理、对症支持治疗、多器官功能保护的临床治疗措施和注意事项，提供了中医药治疗、心理干预以及医疗随访的原则，突出强调各临床学科团队协作的重要性，推荐给各有关救治基地在临床救治中的应用参考。本共识的形成有利于形成外照射急性放射病临床救治的规范化应用和管理。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 梁莉负责撰写论文；袁龙负责组织研究和论文修改；余长林负责查阅文献、指导论文修改；刘青杰、刘英、雷翠萍、曹宝山参与救治总则与准备内容的讨论与修改；刘玉龙、王进、黄伟旭参与受照剂量内容的讨论与修改；陈惠芳、张照辉、王墨培参与诊断、事故处理内容的讨论与修改；杨文峰、肖宇、陈雅玫参与治疗内容的讨论与修改；付照明、孙全富负责论文修改

参考文献

- [1] Dainiak N, Albanese J. Medical management of acute radiation syndrome[J]. J Radiol Prot, 2022, 42, (3). 031002. DOI: 10.1088/1361-6498/ac7d18.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 104-2017 职业性外照射急性放射病诊断 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 104-2017 Diagnosis of acute radiation sickness from occupational external exposure [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

- [3] Dainiak N, Gent RN, Carr Z, et al. Literature review and global consensus on management of acute radiation syndrome affecting nonhematopoietic organ systems[J]. *Disaster Med Public Health Prep*, 2011,5(3):183-201. DOI: 10.1001/dmp.2011.73.
- [4] Christensen DM, Iddins CJ, Parrillo SJ, et al. Management of ionizing radiation injuries and illnesses, part 4: acute radiation syndrome[J]. *J Am Osteopath Assoc*, 2014,114(9):702-711. DOI: 10.7556/jaoa.2014.138.
- [5] 潘自强,刘森林等. 中国辐射水平[M]. 原子能出版社, 2010.
Pan Ziqiang, Liu Senlin, et al. Radiation Levels in China [M]. Atomic Energy Press, 2010.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ 217-2009 外照射急性放射病护理规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ 217-2009 Specification of nurse for acute radiation sickness from external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [7] 陈梦婷, 余慧娟, 杨列军, 等. 基于 WARM 模型的早期跨学科姑息疗法对非小细胞肺癌的疗效评价[J]. *中华医学杂志*, 2021,101(45):3736-3741. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210607-01298.
Chen MT, Yu HJ, Yang LJ, et al. Efficacy of early interdisciplinary palliative care based on WARM model in non-small-cell lung cancer[J]. *Natl Med J China*, 2021,101(45):3736-3741. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210607-01298.
- [8] International Atomic Energy Agency. Medical management of radiation injuries. Safety reports series No. 101[R]. Vienna: IAEA, 2020.
- [9] Gnanasekaran TS. Cytogenetic biological dosimetry assays: recent developments and updates[J]. *Radiat Oncol J*, 2021,39(3):159-166. DOI: 10.3857/roj.2021.00339.
- [10] López M, Martín M. Medical management of the acute radiation syndrome[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2011,16(4):138-146. DOI: 10.1016/j.rpor.2011.05.001.
- [11] Nair V, Karan DN, Makhani CS. Guidelines for medical management of nuclear/radiation emergencies[J]. *Med J Armed Forces India*, 2017,73(4):388-393. DOI: 10.1016/j.mjafi.2017.09.015.
- [12] Singh VK, Seed TM. A review of radiation countermeasures focusing on injury-specific medicinals and regulatory approval status: part I. Radiation sub-syndromes, animal models and FDA-approved countermeasures[J]. *Int J Radiat Biol*, 2017,93(9):851-869. DOI: 10.1080/09553002.2017.1332438.
- [13] Singh VK, Newman VL, Seed TM. Colony-stimulating factors for the treatment of the hematopoietic component of the acute radiation syndrome (H-ARS): a review[J]. *Cytokine*, 2015,71(1):22-37. DOI: 10.1016/j.cyto.2014.08.003.
- [14] 全军辐射医学专业委员会, 全军血液学专业委员会. 核辐射损伤造血重建策略专家共识[J]. *第三军医大学学报*, 2021,43(2):175-182. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202011015.
Medicine PCoMR, Hematology PCoM. Expert consensus on hematopoietic reconstruction strategies for radiation injury[J]. *J Third Mil Med Univ*, 2021,43(2):175-182. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202011015.
- [15] National stockpiles for radiological and nuclear emergencies: policy advice[R]. Geneva: World Health Organization, 2023.
- [16] 中华人民共和国卫生部. WS/T 378-2013 造血刺激因子在外照射急性放射病治疗中的应用指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013

Ministry of Health, PRC. Application specification of hematopoietic stimulating factor on the treatment of acute radiation sickness[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

[17] Singh VK, Seed TM. The safety and efficacy of interleukin 11 for radiation injury[J]. Expert Opin Drug Saf, 2023, 22(2):105-109. DOI: 10.1080/14740338.2023.2185604.

[18] Dainiak N, Gent RN, Carr Z, et al. First global consensus for evidence-based management of the hematopoietic syndrome resulting from exposure to ionizing radiation[J]. Disaster Med Public Health Prep, 2011, 5(3):202-212. DOI: 10.1001/dmp.2011.68.

[19] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. WS/T 796—2022 围手术期患者血液管理指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 796 — 2022 Guideline for perioperative patient blood management [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

[20] Gorin NC, Fliedner TM, Gourmelon P, et al. Consensus conference on European preparedness for haematological and other medical management of mass radiation accidents[J]. Ann Hematol, 2006, 85(10):671-679. DOI: 10.1007/s00277-006-0153-x.

[21] 乔建辉, 余长林, 罗卫东, 等. 一例极重度骨髓型急性放射病的临床救治[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(1):6-10. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2007.01.002.

Qiao JH, Yu CL, Luo WD, et al. Clinical report of an extremely severe bone marrow form of acute radiation sickness[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2007, 27(1):6-10. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2007.01.002.

[22] Feyer P, Jahn F, Jordan K. Prophylactic management of radiation-induced nausea and vomiting[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015:893013. DOI: 10.1155/2015/893013.

[23] Alden-Bennett V, Ball B, Nightingale H, et al. Radiation-induced nausea and vomiting: a clinical audit of prophylactic antiemetic use[J]. J Radiother Pract, 2022, 21(4): 462-465. DOI:10.1017/S1460396921000133.

[24] Hurley JC. Selective digestive decontamination-Con[J]. Intensive Care Med, 2023, 49(8):982-983. DOI: 10.1007/s00134-023-07146-0.

[25] 中华医学会肠外肠内营养学分会. 成人胃肠功能障碍患者医学营养治疗指南(2025版)[J]. 中华医学杂志, 2025, 105(01):21-47. DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20240815-01881.

Chinese Society of Parenteral and Enteral Nutrition. Guideline for medical nutritional treatment of adult patients with gastrointestinal dysfunction (2025 edition). Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2025, 105(1):21-47. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20240815-01881.

[26] Dainiak N. Medical management of acute radiation syndrome and associated infections in a high-casualty incident[J]. J Radiat Res, 2018, 59(suppl-2): ii54-ii64. DOI: 10.1093/jrr/rry004.

[27] 中华医学会血液学分会, 中国医师协会血液科医师分会. 中国中性粒细胞缺乏伴发热患者抗菌药物临床应用指南(2020年版)[J]. 中华血液学杂志, 2020, 41(12):969-978. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2727.2020.12.001.

Chinese Society of Hematology, Chinese Medical Association; Chinese Medical Doctor Association, Hematology Branch. Chinese guidelines for the clinical application of antibacterial drugs for agranulocytosis with fever (2020)[J]. Chin J Hemat, 2020, 41(12):969-978. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2727.2020.12.001.

[28] Cornely OA, Maertens J, Winston DJ, et al. Posaconazole vs. fluconazole or itraconazole prophylaxis in patients with neutropenia[J]. N Engl J Med, 2007, 356(4):348-359. DOI: 10.1056/NEJMoa061094.

- [29] Hoenigl M, Salmanton-García J, Walsh TJ, et al. Global guideline for the diagnosis and management of rare mould infections: an initiative of the European Confederation of Medical Mycology in cooperation with the International Society for Human and Animal Mycology and the American Society for Microbiology[J]. *Lancet Infect Dis*, 2021,21(8):e246-e257. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30784-2.
- [30] Waselenko JK, MacVittie TJ, Blakely WF, et al. Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group[J]. *Ann Intern Med*, 2004,140(12):1037-1051. DOI: 10.7326/0003-4819-140-12-200406150-00015.
- [31] Tanigawa K. Case review of severe acute radiation syndrome from whole body exposure: concepts of radiation-induced multi-organ dysfunction and failure[J]. *J Radiat Res*, 2021,62(Supplement_1):i15-i20. DOI: 10.1093/jrr/rraa121.
- [32] Singh VK, Seed TM. Pharmacological management of ionizing radiation injuries: current and prospective agents and targeted organ systems[J]. *Expert Opin Pharmacother*, 2020,21(3):317-337. DOI: 10.1080/14656566.2019.1702968.
- [33] Baradaran-Ghahfarokhi M. Radiation-induced kidney injury[J]. *J Renal Inj Prev*, 2012,1(2):49-50. DOI: 10.12861/jrip.2012.17.
- [34] Gasperetti T, Frei A, Prasad Sharma G, et al. Delayed renal injury in survivors of hematologic acute radiation syndrome[J]. *Int J Radiat Biol*, 2023,99(7):1130-1138. DOI: 10.1080/09553002.2023.2170491.
- [35] Wu Z, Liu J, Zhang D, et al. Expert consensus on the glycemic management of critically ill patients[J]. *J Intensive Med*, 2022,2(3):131-145. DOI: 10.1016/j.jointm.2022.06.001.
- [36] 柯吴晔, 谢文华, 柯吴坚. 单味中药防治核辐射损伤研究概况[J]. *中医杂志*, 2012, 53(23): 2052-2056.
Ke WY, Xie WH, Ke WJ. Overview of research on the prevention and treatment of nuclear radiation damage with single traditional Chinese medicine[J]. *J Tradit Chin Med*, 2012,53(23): 2052-2056.
- [37] 王玉, 张露, 汤磊磊, 等. 中医药调控肺癌辐射治疗作用机制研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2024, 30(8): 253-261. DOI: 10.13422/j.cnki.syfjx.20231128.
Wang Y, Zhang L, Tang LL, et al. Regulatory mechanism of radiation therapy for lung cancer with traditional Chinese medicine: A review[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2024,30(8):253-261. DOI: 10.13422/j.cnki.syfjx.20231128.
- [38] 朱龙, 王辉. 中西医治疗放射性肠炎研究进展[J]. *亚太传统医药*, 2017,13(2):46-48. DOI: 10.11954/ytctyy.201702018.
Long Z, Hui W. Research progress on the treatment of radiation enteritis with Chinese and Western medicine[J]. *Asia-Pacific Tradit Med*, 2017,13(2):46-48. DOI: 10.11954/ytctyy.201702018.
- [39] 郑婉君, 吕明惠, 武鑫, 等. 中西医治疗放射性脑损伤研究进展[J]. *亚太传统医药*, 2016,12(15):88-90. DOI: 10.11954/ytctyy.201615037.
Zheng WJ, Lyu MH, Wu X, et al. Research progress of radiation induced brain injury by western and Chinese medicine[J]. *Asia-Pacific Trad Med*, 2016,12(15):88-90. DOI: 10.11954/ytctyy.201615037.
- [40] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ/T 262-2014 核和辐射突发事件心理救助导则 [S]. 北京: 卫生标准出版社, 2014.
The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ/T 262-2014 Guidelines of psychological assistance after nuclear and radiological emergency [S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

[41] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ/T 163-2017 职业性外照射急性放射病的远期效应医学随访规范 [s]. 北京: 卫生标准出版社 2017.

The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ/T 163-2017 Occupational medical follow up specifications for late effect of acute radiation syndrome after external exposure [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.