

意外吸入核素的促排现状概述

陈文 宋宏涛 魏洪源 杨玉青 罗顺忠

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所 绵阳 621900)

摘要 核辐射危害不仅表现在体外辐射源的直接照射,更严重的危害表现在放射性物质经呼吸道、消化道或皮肤进入体内,给人体造成内照射。防治内照射的根本措施,主要通过减少放射性核素的吸收,加速它的排除,即寻找低毒、高效的放射性核素阻吸剂或促排剂。本文概述了目前用于放射性核素促排措施,以及实验室研究的几大类促排剂,如无机盐、胶体、中药、有机螯合剂等,以全面概述核素促排剂,为研制新型有效核素促排剂提供一些思路。

关键词 核技术,放射性核素,促排

中图分类号 R14, O615

目前,许多国家已经具备了生产核武器的能力,全世界有多达100多个恐怖组织具有研制核武器的可能性,至少有能力制造放射性扩散装置(RDD,俗称“脏弹”)。据统计,全球发生的放射性以及核恐怖活动增加迅速,其中多为实际发生的事件^[1],未来战争的基本模式将可能是核威胁下的高科技局部战争。我国作为核大国,尤其不能轻视核恐怖事件造成的核辐射损伤防护。与核武器相关的恐怖袭击、反应堆核泄漏以及核燃料生产和后处理过程,均会给人类带来核辐射危害。

随着核技术的发展,放射性物质被广泛应用于各行各业,甚至涉及人们的日常生活,如核发电反应堆、核医学、放射治疗和同位素药物、核农业以及相关科研和教学等^[2]。伴随着放射性物质的广泛应用,发生核辐射事故的几率也逐渐增大。

1 核辐射损伤防护的重要性

为了有效地应对并及时控制核与放射突发事件,防止事态扩散,减轻事故后果,保障广大人民群众的生命与健康,维护社会稳定和经济发展,必须做好放射突发事件的核辐射损伤防护工作。

核辐射危害不仅仅表现在来自体外辐射源的直接照射,更严重的危害表现在放射性物质经呼吸道、消化道或皮肤进入体内,给人员造成的内照射^[3],内照射不仅会造成人体的直接伤害,并会使受照射的生殖细胞出现遗传因子突变,发生遗传缺陷,还

极可能导致辐照组织诱发癌变,威胁人类的生存和发展。

在以往的内照射医学防护实践中,对体内污染者所用的医学处理措施主要有两种:其一是应用有关药物,通过竞争减少放射性核素在体内的吸收,或加速体内沉积的核素快速排出;其二是用局部清洗、灌洗或手术的方法,除去沉积于某身体部位的核素^[4-6]。但核辐射事故一旦发生,实际情况往往涉及的地域广、人员多、伤情复杂。很显然第二种措施很难满足要求,通过减少吸收和加速放射性核素的排除就成为最有效的措施,寻找低毒、高效的核素阻吸剂或促排剂是最佳选择。

世界各国都十分重视对核辐射损伤的防护研究,辐射防护制剂现存的主要问题是防护效价低、毒副作用大,而且主要是针对 γ 射线所致的辐射损伤,对 α 中子照射和 γ 射线所致的复合辐射损伤的防护效果很差。同时现有核素促排剂,服用后容易造成机体内酸碱平衡紊乱,出现低钾血症、碱中毒等,无法满足临床需求。

2 放射性核素促排制剂概述

放射性核素促排制剂自20世纪50年代问世以来,已取得了一定的进展,如羧氨酸类(EDTA、DTPA等)已应用于临床^[7]。实验资料表明,吸入铀、钚的硝酸盐后,口服DTPA锌盐是面前比较有效的促排方法^[8],但排铀效果不够满意,且长期使

国防基础科研计划(B1520110007)、中国工程物理研究院核物理与化学研究所科技创新基金(2009CX02)资助

第一作者:陈文,女,1983年1月出生,2008年于厦门大学获得硕士学位,主要从事同位素技术应用相关研究

Email: chenwen0126@163.com

通讯作者:宋宏涛, Email: yinyishushengsht@163.com

收稿日期:初稿 2011-03-31, 修回 2011-11-28

用会产生一定毒副作用。有学者则认为3,4,3-LIHOPO是钷和镅最有效的促排配基,其促排效果显著优于DTPA^[9]。

2007年,美国国防部的Jarrett等^[10],对美国应对辐射损伤的医疗现状进行评述时指出,需要关注优先级别的研究:“Top priority”、“High priority”、“Medium priority”、“Low priority”。其中,在“Top priority”包含的六个事项中排在前两位的依次是“Radioprotectors for use prior to exposure (事前防护制剂)”、“Therapeutic agents for post-exposure treatment (事后治疗制剂)”。

国内从事促排药物研究的单位有复旦大学上海放射医学研究所、中国辐射防护研究院、中国科学院上海药物研究所等,他们主要集中于CAM类螯合剂衍生物的研究^[1,7-11]。

3 核素促排制剂的主要类型

目前为止,用于放射性核素促排处理使用的试剂主要有无机盐、胶体、中药、有机螯合剂等几大类。

3.1 无机盐类

3.1.1 碳酸氢钠 在众多排铀化合物中碳酸氢钠效果最好,至今临床上用来治疗铀中毒的基本方法依然是注射1.4%的NaHCO₃溶液250 mL,但选用碳酸氢钠也有一定的副作用,如碱化尿液,可能会引起机体酸碱平衡紊乱,出现低钾血症或者碱中毒。

3.1.2 硫酸钡 硫酸钡多用于锶、镭等溶解性大的核素促排。当这类核素进入生物体后,应立即给与沉淀剂,如硫酸钡等,使之形成不溶的硫酸盐沉淀下来,并使用别的方法排出。

3.1.3 无机碘化物 碘化钾或碘化镁可以阻断放射性碘在甲状腺的吸收。碘化钾已被列入国家法规,用来促排早期混合裂变产物的主要成分-放射性碘。对可能摄入放射性碘者,可预先服碘化钾或碘化镁100 mg进行预防。

3.1.4 亚铁氰化铁 亚铁氰化铁,即普鲁士兰(PB),是体内铯最佳阻断吸收剂和加速排出药物。口服后肠道不吸收,在肠道内能选择地与摄入的或者是由肠道腺体分泌出来的铯相结合,形成稳定的亚铁氰化铯盐,经由粪便排出。主要用于意外和大量吸入的放射性铯,或者长时间居住和工作于放射性铯污染环境。动物实验确认,PB对铯中毒后早晚期促排都有效,其促排效果随剂量加大而增加,但随给药时间的延迟而下降。铯中毒10 d后给予PB仍能明显地加速其排出量,使生物半排期缩短。患

者服药期间未观察到不良反应,体内天然钾含量、钾代谢无明显影响。PB对体内铯的促排基本上无“抗药性”,无论用药时间长短,只要用药铯在粪便中排出量就会增高。因此PB用于铯的长期促排、以连续用药为好。同时,研究发现口服氯化钾有利铯的加速排出。

3.1.5 氯化铵 氯化铵造成代谢性酸中毒,通过使骨质分解代谢达到排锶,所以沉积在骨骼中的锶通常采用脱钙疗法,可服氯化铵。

3.1.6 无机盐凝胶 氢氧化铝与磷酸铝、硫酸钡、磷酸二钙、磷酸铝和氢氧化铝是国外用作放射性锶的阻断吸收药物。氢氧化铝凝胶具有较高的阻断吸收效果,以不同药物剂量,提前或延缓半小时给药,在预防性给药的措施中,发现氢氧化铝凝胶的阻断吸收疗效优于磷酸铝。锶、钡、镭等二价放射性核素可用硫酸钡、磷酸二钙、氢氧化铝凝胶等沉淀剂,或用吸附剂活性炭处理^[12-14]。

3.2 胶体清除剂

胶体清除法源于Schubert等^[15]的发现,锆盐或聚磷酸钠盐在生理条件下会水解成胶状氢氧化物和磷酸盐,使钷、钷等共沉淀或通过吸附而去除。锆盐的毒性小,易从体内除去,用于体内除钷有一定效果;聚磷酸钠与钷能形成和锆盐性质相似的胶体,使骨中钷量减少三分之一,但胶体会在肝中积聚。所以胶体清除剂只能除去循环系统的钷,不能去除组织内的钷。胶粒大小可直接影响促排效果,而且某些清除剂如聚磷酸钠盐还具有一定的生物毒性,这些缺陷在一定程度上限制了胶体清除剂疗法的发展^[16]。

3.3 中药

口服中药鸡内金水煎液可使尿锶排出量比对照组高3倍,使骨中锶蓄积量降低54%~75%。在放射性锶中毒前、后24 h给予鸡内金都有明显疗效,以提前1 h给药疗效最高,尿锶排出比对照组高518倍。鸡内金排锶效果稳定,同时服用低剂量S186可提高排锶效果。甘草、土茯苓等对放射性锶也具有较好的促排效果^[12]。

3.4 有机螯合剂

迄今为止,研究的绝大多数促排制剂均属于此类,如已用于临床的DTPA、用于从生物体内促排铀的螯合剂—柠檬酸钠^[17]。它包括了巯基化合物(如可从有机体内排出汞、铝、钷、镅、锑、铅、铋等金属的2,3-二巯基丙醇等)^[18]、生物螯合剂(如

用于铜、钋、钨、镭促排的抗坏血酸、烟酸、吡啶甲酸、红酵母酸、新曲霉酸、万古霉素、羟基四环素、褐藻酸盐等)^[19]、超分子及分子印迹技术(如可作为铀促排化合物的杯六、杯八芳烃,水溶性印迹交联壳聚糖)^[11,20]、氨酸螯合剂(如可用于促排钷、钷的促排灵-DTPA)、磷酸类螯合剂、邻苯二酚类螯合剂(即CAM类)、羟基吡啶酮类螯合剂(即HOPO类)。其中,近些年来研究较多的为磷酸类、CAM类、HOPO类,研究表明处于实验室研究阶段的某些CAM类或HOPO类螯合剂已表现出很好的排铀和排钷特性。

3.4.1 磷酸类螯合剂 磷酸类螯合剂由于其特殊的分子结构特点,具有较强的螯合能力,主要用作为铀的促排化合物^[21]。氨基磷酸类是一种非常看好的螯合剂^[22]。一端连接有酚类或亲酯性基团的亚氨基二乙酸的磷酸类类似物,兼具了酚类和磷酸类、亚氨基二乙酸类的优点,具有更多的配位电子,螯合力更强;动物实验也表明,其均有明显的排铀效果^[23-26]。1-羟基-1,1-二磷酸乙烷(EHBP,见图1)为目前发现的效果最好的羟基磷酸类铀促排化合物,但发现促排效果与服用时间有很大的关系,如EHBP在中毒24 h内给药有效,60 d内存活率仍然保持在100%,但48 h后给药即无效^[20]。有机磷酸型螯合剂-S186(phosphicine,见图1)为目前排铀疗效最高的一种^[14]。

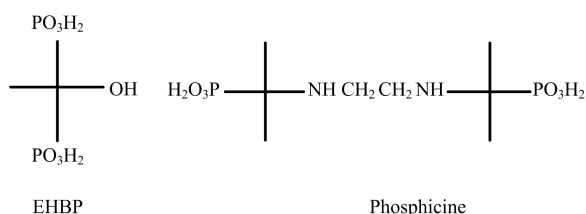


Fig.1 Phosphonic acid chelants

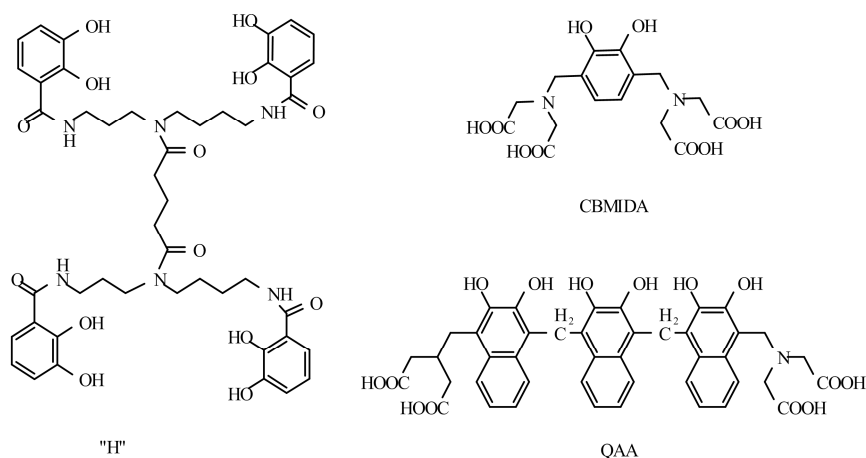


Fig.2 New type of CAM chelants

3.4.2 邻苯二酚类螯合剂 很多邻苯二酚类含铁细胞,包括肠菌素,都在血清中与清蛋白(白蛋白)键合^[27]。但是,邻苯二酚为弱酸性,极大制约了该类配体用于促排。通过增加两个磺酸基的钛铁试剂,(Tiron)对铀中毒有预防作用,由于增强了酸性和螯合能力,效果明显优于DTPA。黄酮化合物也具有铀促排制剂的潜能^[28,29]。喹胺酸(Quinamidic acid, QA, 又称811)是一种多氨基结构邻苯二酚螯合剂,毒性小、副作用小,对钷、钷、钷、钷等放射性核素和铅、汞等重金属中毒都有显著的促排作用。由于亚氨基二乙酸也具有强的螯合能力,结合邻苯二酚和亚氨基二乙酸的优点,合成了CBMIDA(邻苯二酚-3,6-二甲基亚氨基二乙酸)、QAA(见图2)等一系列化合物,动物实验表明促排效果优于喹胺酸、DTPA、NaHCO₃等。将羧基邻苯二酚(CAM(C))和磺酸基邻苯二酚(CAM(S))与精脒、叔胺等连接在一起形成邻苯二酚类胺羧酰胺螯合剂也有明显的排铀效果,单取代及对称双酰胺化合物均有较好的排铀效果^[10,30],此类螯合剂适合于封闭四价铜系金属离子,如“H”型螯合剂(见图2)对钷亲和力强,在生物和环境去污及核燃料后处理中有应用前景。

3.4.3 羟基吡啶酮类螯合剂 羟基吡啶酮(Hydroxypyridinone, HOPO)类螯合剂,以其特殊的分子结构、高度的选择性、较强的络合能力以及显著的生理活性,成为促排领域的一大研究热点^[23,25,31]。但是,简单的双齿配体作为螯合剂时具有很大的局限性^[32,33]。为了进一步提高HOPO类螯合剂的促排能力,研究者根据组合设计理念,合成了混合配体,将其与毒性小的精脒(3,4,3-LI(X))、叔胺(TREN-X)等结合(见图3),排铀能力明显,而将其与去铁敏、

各种维生素结合或者将 Me-3,2-HOPO 引入多齿 1,2-HOPO 中具有更好的排钚效果^[34]。

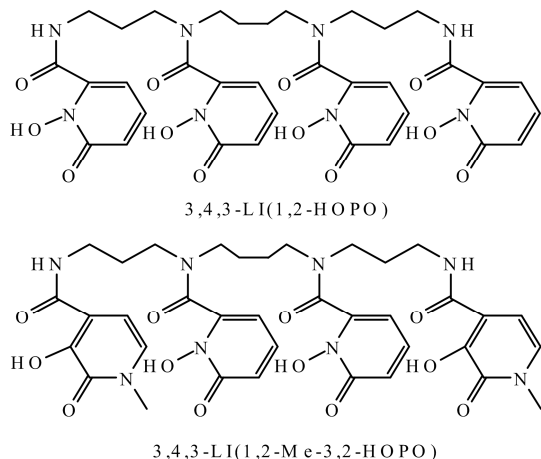


Fig.3 Mix ligand HOPO chelants

HOPO 类化合物用于促排重金属具有很好的应用有价值, 相关研究仍在不断深入。这类化合物不仅可以解决铀中毒带来的健康危害, 还可为镉、铜系元素的解毒提供有益借鉴。对这类化合物的更深入研究主要关注其生物毒性和促排活性的相互关系, 以合成出高效低毒的 HOPO 类化合物, 结合水溶性的高低来筛选适合于口服的广谱促排药物。在合成路线上, 可通过如微波催化法等新的实验手段, 实现其低价高量生产, 臻于“绿色合成”, 减少环境污染^[35,36]。

4 结论

放射突发事件的情况复杂, 快速确定造成污染的放射性核素种类目前还有一定的难度。根据美国洛斯·阿拉莫斯实验室网站上的报道, 发生放射性突发事件时, 确定样品中放射性核素的种类, 最快也需 6 h。如在鉴定出明确的核素种类后, 再使用相应的促排药, 此时已错过了用药的最佳时间, 促排效果大大下降。如能找到对多种核素有效的广谱促排药, 在事件发生后快速给予, 可显著提高促排效果, 降低放射性核素在人体的蓄积; 同时又能药物的解决肠道吸收效率和毒副反应问题。目前国内外对促排剂的研究, 大多停留在药物设计、合成, 以及药效学的评价上, 研究的深度还不够, 对广谱促排剂的研究将迫在眉睫。

致谢 感谢原中国工程物理研究院机关楚士晋研究员在项目设计过程中给与的有益指导, 感谢西南科技大学材料学院彭汝芳教授在项目编制过程中给与的友谊讨论。

参考文献

- 1 于水, 郭力生. 核恐怖事件与医学应急处理[J]. 中国辐射卫生, 2003, 12(2): 115-117
YU Shui, GUO Lisheng. Nuclear terror events and medical emergency treatment[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2003, 12(2): 115-117
- 2 陈渝, 万久庆, 张青. 放射治疗中存在的潜在照射风险分析与应对[J]. 医疗卫生装备, 2005, 26(2): 43-44
CHEN Yu, WAN Jiuqing, ZHANG Qing. Analysis and answer to the potential danger of radiation in radiotherapy[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2005, 26(2): 43-44
- 3 刘长安, 陈尔东, 刘英. 核辐射突发事件的伤员分类[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2006, 1(2-3): 81-87
LIU Changan, CHEN Erdong, LIU Ying. Triage of injured persons in case of a clear or radiological emergency[J]. China Journal of Emergency and Disaster Medicine, 2006, 1(2-3): 81-87
- 4 孙军, 刘英. 核或放射医学应急响应[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2006, 26(3): 303-306
SUN Jun, LIU Ying. Emergency response to nuclear or radiation medicine[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2006, 26(3): 303-306
- 5 刘英. 核与放射突发事件的医学应急准备与响应[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24(5): 474-476
LIU Ying. Medicine preparedness and response to nuclear and radiation emergency events[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2004, 24(5): 474-476
- 6 龚诒芬, 朱茂祥. 关于放射性核素体内污染的医学干预水平[J]. 辐射防护, 2000, 20(4): 250-253
GONG Yifen, ZHU Maoxiang. On the medical intervention levels after internal contamination with radionuclides[J]. Radiation Protection, 2000, 20(4): 250-253
- 7 李蓉, 粟永萍, 徐辉. 促排剂的研究进展及在放射性突发事件中的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005, 25(5): 488-491
LI Rong, SU Yongping, XU Hui. The research progress of decorporation and its application in radioactive emergency events[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2005, 25(5): 488-491
- 8 杨照华, 孙梅贞, 倪震黎, 等. 双分子取代苯酚类螯合剂的合成及对放射性钍的促排效果研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1997, 17(3): 178-181
YANG Zhaohua, SUN Meizhen, NI Zhenli, et al.

- Synthesis of bimolecule substituted phenols and their effect on rats for removal of radiothorium[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 1997, **17**(3): 178-181
- 9 封觉, 张康蓉. 新螯合剂 H-73-10 对多种核素促排效果、毒性研究及临床初步观察[J]. 辐射防护通讯, 1998, **18**(3): 6-18
FENG Jue, ZHANG Kangrong. Removal effect, toxicity studies and Clinical preliminary observation of the new chelating agent H-73-10 to many kinds of nuclides[J]. Radiation Protection Bulletin, 1998, **18**(3): 6-18
 - 10 Jarrett D G, Sedlak R G, Dickerson W E, *et al.* Medical treatment of radiation injuries—Current US status[J]. Radiation Measurements, 2007, **42**: 1063-1074
 - 11 张晓菲, 刘河, 刘丽宏, 等. 基于壳聚糖及其衍生物结构的体内铀促排剂的研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2008, **44**(3): 276-280
ZHANG Xiaofei, LIU He, LIU Lihong, *et al.* Uranium chelating agent based on modified chitosan resins[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2008, **44**(3): 276-280
 - 12 孙文娜, 蒋铭敏. 辐射损伤防治药物的研究进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2006, **26**(3): 307-308
SUN Wenna, JIANG Mingmin. The research progress of radiation injury prodrugs[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2006, **26**(3): 307-308
 - 13 孙华君, 晏马成. 放射性核素内污染的治疗药物[J]. 世界临床药物, 2005, **26**(2): 113-116
SUN Huajun, YAN Macheng. Therapeutic drug of Radioactive nuclide pollution in vivo[J]. World Clinical Drugs, 2005, **26**(2): 113-116
 - 14 罗梅初, 陈红红. 放射性核素内污染促排药物研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, **21**(1): 11-14
LUO Meichu, CHEN Honghong. Studies on the decorporation of Radioactive nuclide pollution in vivo[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2000, **21**(1): 11-14
 - 15 Schubert J. Treatment of plutonium poisoning by metal displacement[J]. 1947, **105**: 389-390
 - 16 沈浪涛, 朱道宏. 铜系元素促排螯合剂的进展与展望[J]. 核科学与工程, 1996, **16**(4): 167-173
SHEN Langtao, ZHU Daohong. Progress and perspective of chelating agents for decorporation of actinides[J]. Chinese Journal of Nuclear Science and Engineering, 1996, **16**(4): 167-173
 - 17 程天民, 李蓉, 栗永萍, 等. 贫铀弹伤害及其医学防护[J]. 解放军医学杂志, 2005, **30**(7): 549-551
CHENG Tianmin, LI Rong, SU Yongping, *et al.* Depleted uranium weapon injuries and their medical protection[J]. Med J Chin PLA, 2005, **30**(7): 549-551
 - 18 马东星, 赵金垣, 王超, 等. 新型络合剂对肾镉促排作用及对微量元素影响的观察[J]. 中国工业医学杂志, 1997, **10**(4): 207-210
MA Dongxing, ZHAO Jinyuan, WANG Chao, *et al.* Effects of two new chelating agents on renal excretion of cadmium and on trace elements[J]. Chinese J Ind Med, 1997, **10**(4): 207-210
 - 19 Back D F, Oliveira G M de, Vargas J P, *et al.* Chelation of UO₂²⁺ and ThIV by N,N-bis (pyridoxy-lideneiminato) R (R=n-propyl, diethylamine), new dianionic Schiff bases derived from vitamin B6: Synthesis and structural features of [Th(pyr2pen)₂] (pen=1,3-propylenediamine), [UO₂(pyr2pen) (CH₃OH)] and [UO₂(pyr2dien)] 2H₂O (dien=diethylenetriamine). Searching further modelings for heavy metals damage inhibition in living beings[J]. Journal of Inorganic Biochemistry, 2008, **102**: 666-672
 - 20 吴福丽, 王建营, 延玺, 等. 铀促排化合物的研究进展[J]. 化学进展, 2004, **16**(3): 439-444
WU Fuli, WANG Jianying, YAN Xi, *et al.* Advances in uranium chelating agents[J]. Progress in Chemistry, 2004, **16**(3): 439-444
 - 21 李蓉, 任洞, 冷言冰, 等. 对急性贫铀中毒的促排措施研究[J]. 第三军医大学学报, 2008, **30**(6): 461-464
LI Rong, REN Jiong, LENG Yanbing, *et al.* Comparing the efficacy of several substances for decorporating depleted uranium[J]. Acta Academiae Medicinae Militaris Tertiae, 2008, **30**(6): 461-464
 - 22 陶正琴, 徐新华, 严雪铭, 等. 双酚酰胺丁酸及其类似物对铀的促排和解毒[J]. 中国药理学通报, 1996, **12**(6): 503-505
TAO Zhengqin, XU Xinhua, YAN Xueming, *et al.* Detoxication and mobilization of uranium by catecholomic acid derivative[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 1996, **12**(6): 503-505
 - 23 崔晞, 刘萍, 刘培漫, 等. 1,2-二甲基-3-羟基-4-吡啶酮与维生素 C、美司那协同排铝作用研究[J]. 山东医科大学学报, 1997, **35**(4): 341-343
CUI Xi, LIU Ping, LIU Peiman, *et al.* The effects of 1,2-dimethyl-3-hydroxypyrid-4-one(dhpo) on urinary aluminium excretion in rabbits[J]. Acta Academiae Medicinae Shandong, 1997, **35**(4): 341-343
 - 24 沈浪涛, 邓新荣. 铈促排药物 3,4,3-LI-(1,2-HOPO)的关键中间体合成[A]. 中国原子能科学研究院年报,

- 2007: 296
- SHEN Langtao, DENG Xinrong. Synthesis of key intermediate of plutonium chelating agent-3,4,3-LI-(1,2-HOPO) [A]. *Annals of science and technology of China Institute of Atomic Energy*, 2007: 296
- 25 Migianu-Griffoni E, Mbemba C, Burgada R, *et al.* Design and synthesis of new polyphosphorylated upper-rim modified calix[4]arenes as potential and selective chelating agents of uranyl ion[J]. *Tetrahedron*, 2009, **65**: 1517-1523
- 26 Gomez-Gaete C, Tsapis N, Silva L, *et al.* Supramolecular organization and release properties of phospholipid-hyaluronan microparticles encapsulating dexamethasone[J]. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2008, **70**: 116-126
- 27 陈红红, 胡昱兴, 王英华, 等. 邻苯二酚羧酸螯合剂对钚内污染延缓给药的效果[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2003, **23**(6): 426-430
- CHEN Honghong, HU Yuxing, WANG Yinghua, *et al.* Protective effects of chelating agents of catechols amino carboxylic acid type on radiation injury induced by radiothorium in mice II. delayed administration[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2003, **23**(6): 426-430
- 28 李蓉, 任洞, 杨峥嵘, 等. 含邻苯二酚基团的黄酮化合物促排急性钚中毒效果的研究[J]. *第一军医大学学报*, 2008, **30**(24): 2251-2253
- LI Rong, REN Jiong, YANG Zhengrong, *et al.* Screening of flavonoids with catechol group for decorporating acute depleted uranium poisoning[J]. *Acta Academiae Medicinae Militaris Tertiae*, 2008, **30**(24): 2251-2253
- 29 陈红红, 胡昱兴, 王英华, 等. 邻苯二酚羧酸螯合剂对放射性钚的促排效果比较[J]. *辐射防护*, 2003, **23**(4): 226-230
- CHEN Honghong, HU Yuxing, WANG Yinghua, *et al.* Evaluation of the efficacy of chelating agent of catechol amino carboxylic acid for removal of radiothorium[J]. *Radiation Protection*, 2003, **23**(4): 226-230
- 30 Sawicki M, Lecercle D, Grillon G, *et al.* Bisphosphonate sequestering agents. Synthesis and preliminary evaluation for in vitro and in vivo uranium(VI) chelation[J]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2008, **43**: 2768-2777
- 31 Henge-Napoli M H, Stradling G N, Taylor D M(Eds). *Decorporation of radionuclides from the human body*[M]. Nuclear Technology Publishing, Ashford, UK, 2000
- 32 Gama S, Gil M, Gano L, *et al.* Combined chelation of bi-functional bis-hydroxypyridinone and mono-hydroxypyridinone: Synthesis, solution and in vivo evaluation[J]. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2009, **103**: 288-298
- 33 Stradling G N. Decorporation of actinides: a review of recent research[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 1998, **271-273**: 72-77
- 34 Ansoborlo E, Amekraz B, Moulin C, *et al.* Review of actinide decorporation with chelating agents[J]. *C. R. Chimie*, 2007, **10**: 1010-1019
- 35 Leydier A, Lecercle D, Pellet-Rostaing S, *et al.* Sequestering agent for uranyl chelation: a new family of CAMS ligands[J]. *Tetrahedron*, 2008, **64**: 6662-6669
- 36 Van Horn J D, Huang H. Uranium(VI) bio-coordination chemistry from biochemical, solution and protein structural data[J]. *Coordination Chemistry Reviews*, 2006, **250**: 765-775

Summarization on the current status of nuclide decorporating inhaled in accident

CHEN Wen SONG Hongtao WEI Hongyuan YANG Yuqing LUO Shunzhong
(Chinese Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

ABSTRACT The internal contamination (inhalation, ingestion or wound) with radionuclide in radioactive accident would introduce a serious health risk to human beings meanwhile exterior irradiation occurs. To reduce the harm of the internal contamination, it should be done with effective chelation therapy or decorporation to reduce deposition in target organs and accelerate excretion of the radio-nuclides. This paper reviews all kinds of compounds used as chelating agents, such as salt, colloid, traditional Chinese medicine and organic chelating agent, etc., which may provide some ideas for the development of a new effective nuclide decorporation.

KEYWORDS Nuclear technology, Radio-nuclides, Decorporation

CLC R14, O615