DOI:10.16016/j.1000-5404.2004.18.003
第26卷第18期 第三军医大学学报 Vol. 26, No. 18
2004年9月 ACTA ACADEMIAE MEDICINAE MILITARIS TERTIAE Sep. 2004

文章编号:1000-5404(2004)18-1615-03

论著

某种材料防护贫铀粉尘效果的生物学评价

李 蓉[1],徐 辉[1],艾国平[1],楼淑芬[1],程天民[1],粟永萍[1],马文军[2],杨 林[2],李冠兴[2],郑怀恩[1],黄跃生[1],蒋建新[1]
([1]第三军医大学军事预防医学院全军复合伤研究所,创伤、烧伤与复合伤国家重点实验室,重庆 400038;[2]中国核工业集团总公司,包头 010410)

提 要:目的 对一种材料防护贫铀(depleted uranium, DU)粉尘的效果进行生物学评价。方法 吸入DU粉尘后第1、3天,收集无防护组和有防护组大鼠的血、肺、气管、肾和肝,测定铀含量,计算防护效果。结果 有防护组各组织(体液)铀浓度均明显低于无防护组,防护效果在71.2%~96.1%之间。结论 该种防护材料可阻挡绝大部分DU粉尘进入呼吸道,效果较好。

关键词:贫铀;粉尘;防护材料
中图法分类号:R143;R818 文献标识码:A

Biological evaluation of the effect of a protective cover against inhalation of depleted uranium dust particles

LI Rong[1], XU Hui[1], AI Guo-ping[1], LOU Shu-fen[1], CHENG Tian-min[1], SU Yong-ping[1], MA Wen-jun[2], YANG Lin[2], LI Guan-xing[2], ZHEN Huai-en[1], HUANG Yue-sheng[1], JIANG Jian-xin[1]([1]State Key Laboratory of Trauma, Burns and Combined Injury, Institute of Combined Injury, College of Military Preventive Medicine, Third Military Medical University, Chongqing, 400038; [2]China Nuclear Industry General Corp., Baotou 010410, China)

Abstract: **Objective** To evaluate the biological effect of a kind of protective cover against inhalation of depleted uranium (DU) dust particles. **Methods** At 1 and 3 d after inhalation of DU dust particles, uranium concentrations in the blood, lung, bronchia, kidney, and liver of the rats in the protected group and non-protected group were measured and the efficiency of protection was calculated. **Results** Uranium levels in all tissues and fluids of the rats in the protected group decreased significantly to 71.2%—96.1% as compared with those in non-protected group. **Conclusion** The protective cover is effective to reduce the harm due to inhalation of DU dust particles.

Key words: depleted uranium; dust particle; protective cover

核武器爆炸时产生的放射性落下灰,可经呼吸道吸入,引起放射性物质沉积,故对呼吸道的防护多是采用防毒面具或口罩。贫铀(depleted uranium, DU)弹在穿甲过程中生成的氧化铀气溶胶在空气中弥散,形成高浓度的DU粉尘,据文献[1]报道,粉尘浓度范围在270~2 400 mg/m^3,对机体的作用时间长,但排出缓慢。人员吸入后,大部分粉尘可在肺部沉积下来,或滞留肺部,或转入其它系统,引起其它组织的损伤。滞留肺部的DU,其放射毒性和化学毒性对肺组织是一种刺激,长期作用可能会导致肺部肿瘤形成;也可转移到其它器官沉积,如贫铀对肾小管上皮细胞有一定的毒性作用[2],故对战场上作战人员呼吸道的防护是DU防护中的重点之一。本实验对一种新材料防护DU粉尘的效果进行了生物学评价。

1 材料和方法

1.1 防护材料

正面及内面各有一层特制的保护层尼纶网面,中间层由两层特殊纤维布加工成型。整块呈长方形,长宽根据大鼠笼的大小而定,厚约0.5 cm。

1.2 动物分组

由军事医学科学院动物中心提供。全部选用雌性健康Wistar大鼠35只,6~8周龄,体质量180~220 g,按组饲养在不锈钢大鼠笼中,自由饮水和摄食。设正常对照组(5只);实验组(各15只)分为:①有防护组,将大鼠置于不锈钢大鼠笼中,笼

基金项目:全军医学科学技术研究"十五"计划指令性课题(01L061)
Mandatory Scientific Research Project of the "Tenth Five-year Plan" of PLA (01L061)
作者简介:李 蓉(1970-),女,四川省阆中市人,博士,讲师,主要从事辐射防护方面的研究,发表论文10余篇。电话:(023)68752355
通信作者:粟永萍,电话:(023)68752009,E-mail:SuYP2003@yahoo.com.cn
收稿日期:2003-11-08;修回日期:2004-06-24

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

外用大块单层的防护材料包裹严密，接头处不留任何缝隙。②无防护组，笼外不包裹任何防护材料。然后将两组大鼠置于自制的染毒箱中，控制 DU 粉尘瞬时浓度最高达 1 500 mg/m^3，在染毒的30 min 内，粉尘浓度至少维持在 40 mg/m^3 以上，间隔1 h 后，再染毒 1 次。吸入完毕，将大鼠取出，用加入洗涤剂的温水洗消，并用软毛刷轻轻刷洗，直至全部洗净为止。正常对照组大鼠不吸入 DU 粉尘。

1.3 样本收集

吸入后第 1、3 天收集样本，股动脉放血，收集在经肝素抗凝的试管中，在－70 ℃条件下保存。处死大鼠，取出肺、气管、肾和肝。

1.4 铀含量的测定

按文献[3]的方法略加改进

1.4.1 样品的预处理 血液及固体组织用干、湿灰化相结合的方法处理。取血液样本约 3 ml，在电炉上炭化至不冒烟；将肾等固体组织称重后，剪成小块，平铺于烧瓶底，在电炉上炭化(温度 140 ℃左右)。将炭化后的样品放入马弗炉中，450～500 ℃加热 6～8 h，至样品成白色或灰白色，取出冷却至室温。再加入 HNO_3 和 H_2O_2 进行湿灰化，加入 2 ml 16 mol/L HNO_3，电炉上 140 ℃左右加热；再加入 2 ml H_2O_2，加热，一般约经过 10 余次循环后，样品变成白色松散灰状。

1.4.2 分析试液的制备 向预处理过的样品中加入 2 g 过硫酸铵，5 ml 蒸馏水，加热，直至气泡冒尽。加入适量蒸馏水溶解，用 NaOH 和 HNO_3 调节 pH 值至 3～4，在 10 ml 容量瓶中定容。

1.4.3 激光时间分辨发光分析仪测定铀含量

1.4.3.1 样品测量 LT-8812 型激光时间分辨发光分析仪(核工业第三研究院生产)的测量条件是：延迟时间 25 μs，门宽时间 100 μs，累积次数 20×8，仪器灵敏度 6.0。取 4.5 ml 分析试液于石英杯中，测量相对荧光强度读数 N_0；加入 0.5 ml 抗干扰(铀)荧光增强剂(核工业部第三研究院)，搅匀后测量相对荧光强度读数 N_1；计算 N_1-N_0。

1.4.3.2 标准曲线的绘制 每类样品中选 3 份(N_1-N_0)值在 2 000～5 000 左右的分析试液，将 3 份混成 1 份，从中取 4.5 ml 于石英杯中，测量 N0；加入 0.5 ml 荧光增强剂，测量 N_1；再依次加入 50、100、200、500 μl 的 100 ng/ml 标准铀工作液，搅匀后测得相对荧光强度 N_2。计算两次荧光强度之差 N_2-N_1，绘制荧光强度与铀浓度之间的关系曲线。

1.4.3.3 结果计算

$$Cx = A\left\{[(V_b + V_k)N_1]/V_b - N_0\right\} \cdot V_a/V_b \cdot k \cdot 1/R$$

式中，Cx-被测尿样中铀的含量，μg/l；

A-由标准曲线查得或由数学表达式计算得到的一个计数所相当的铀含量，μg/counts；

V_a-分析试液的体积(ml)；

V_b-测量时取分析试液的体积(ml)；

V_k-加入荧光增强剂的体积(ml)；

R-分析方法全程回收率(%)；

K-体积换算系数；

N_1-加入荧光增强剂后的相对荧光强度计数；

N_0-未加入荧光增强剂的相对荧光强度计数。

1.4.3.4 质控方法 每次测量前用石英杯进行本底测量，在一定期间内用已知铀浓度的标准铀工作液进行质量控制测量。用该方法分析铀的最低探测限值是 0.05 ng/ml。血液和尿液的回收率分别是(89±11)%和(95±6)%。

1.5 统计学分析

用铀含量除以每个组织(或体液)的湿重(或体积)，得出单位质量(或体积)的铀浓度(ng/ml 或 ng/g)，再按各时相点计算平均值。大于该组平均值 2 个标准差的数据剔除。经 SPSS11.0 软件进行单因素方差分析。

2 结果

2.1 第 1 天大鼠组织铀含量的比较

见表 1，无防护组和有防护组大鼠组织铀浓度均显著高于正常对照组($P<0.01$)。两组各组织以肺、肾和气管铀含量最高，血液和肝脏较低。有防护组各组织铀浓度均明显低于无防护组($P<0.05$)。用防护效果来评价防护组组织铀浓度下降的程度，以及材料的防 DU 粉尘效果。按下式计算防护效果，结果表明第 1 天的防护效果在 87.4%～91.4%之间。

$$\text{防护效果}(\%) = \frac{\text{无防护组组织铀浓度} - \text{有防护组组织铀浓度}}{\text{无防护组组织铀浓度}} \times 100\%$$

表 1 吸入后第 1 天无防护组和有防护组组织铀浓度比较($\bar{x} \pm s$)

Tab 1 Uranium concentration of some tissues in the protected group and non-protected group at 1 d after inhalation($\bar{x} \pm s$)

Group	n	Lung(ng/g)	Kidney(ng/g)	Branchia(ng/g)	Blood(ng/ml)	Liver(ng/g)
Non-protected group	15	72 885.81±5 234.91	14 756.89±1 024.19	5 942.54±216.04	743.62±23.97	447.92±61.54
Protected group	15	6 267.31±483.94 *#	1 748.54±229.06 *#	519.64±52.47 *#	93.64±12.67 *#	46.47±6.50 *#
Control	15	34.98±9.86	145.32±15.72	21.34±3.65	4.01±1.40	22.14±9.38
Preventation efficiency (%)		91.4	88.1	91.2	87.4	89.6

*: $P<0.01$, *vs* control; #: $P<0.05$, *vs* non-protected

2.2 第 3 天大鼠组织铀含量的比较

见表 2，无防护组和有防护组大鼠组织铀浓度均显著高于正常对照组($P<0.01$)。两组各组织仍以肺、肾和气管铀含量最高，血液和肝脏较低，但较第 1 天的组织铀浓度都稍有上升。有防护组铀浓度均显著低于无防护组($P<0.01$)。防护效果在 71.2%～96.1%之间，且大都在 86%以上。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　第 3 天无防护组和有防护组组织铀浓度比较($\bar{x}\pm s$)

Tab 2　Uranium concentration of some tissues in the protected group and non-protected group at 3 d after inhalation($\bar{x}\pm s$)

Group	n	Lung(ng/g)	Kidney(ng/g)	Bronchia(ng/g)	Blood(ng/ml)	Liver(ng/g)
Non-protected group	15	75 055.43±6 259.03	17 327.02±1 549.39	10 011.63±942.37	1 085.05±63.49	643.25±53.60
Protected group	15	21 550.62±1 036.19 *#	2 447.08±205.02 *#	390.34±23.19 *#	71.60±9.83 *#	54.86±6.71 *#
Control	15	34.98±9.86	145.32±15.72	21.34±3.65	4.01±1.40	22.14±9.38
Preventation efficiency (%)		71.2	85.8	96.1	93.4	91.4

*: $P<0.01$, *vs* control; #: $P<0.05$, *vs* non-protected

3　讨论

DU 弹燃烧产生的粉尘吸入人体后多沉积在肺部, 并可在肺部滞留若干年, 所以寻找适宜的防护用具应用于战时或平时, 应是迫切的问题。尽管 DU 的放射性比活度并不大, 但 DU 粉尘长期沉积在肺部, 发射 α 粒子, 长期刺激肺部组织, 可能引起肿瘤增生, 这与氡及其子体致肺癌的机制相似[4]; 另一个机制就是 DU 具有较高的化学毒性, 也可能形成对肺部的长期刺激作用, 诱发肿瘤增生。英国皇家学会 DU 危害工作组[5]认为吸入难溶性 DU 粉尘可沉积在肺部, 发射 α 粒子损伤周围组织, 引起肺癌, 或者转运到淋巴结, 影响淋巴细胞, 诱发白血病; 这些研究已经公认铀具有引起肾脏损伤及恶性疾病的潜力。

从本研究结果可看出, 有防护组与无防护两组均以肺、肾和气管铀含量最高, 血液和肝脏较低。因 DU 弹粉尘中难溶性化合物占主要, 进入体内后, 铀主要滞留在肺和支气管淋巴结中, 被巨噬细胞吞噬, 进入淋巴结中的较多[6]; 吸收入血的量不大, 血铀含量较低, 致肝脏的铀含量也较低。与无防护组相比, 有防护组所有组织的铀含量都显著下降, 下降达 71.3%~96.1%, 且多在 86%以上。说明该种材料有很好的防护效果, 可阻挡绝大部分的 DU 粉尘进入体内; 在大多数场合, 均可使用。

但应注意的是无防护组和有防护组大鼠组织铀含量均显著高于正常对照组, 说明有防护组大鼠组织铀含量仍很高, 不能完全阻挡 DU 粉尘。虽可大大减少, 仍应注意减少在现场的停留时间及同时采用其它防护措施。在实际应用中, 应考虑到 DU 弹击中坚硬目标时, 防护材料可能作为易燃物会燃烧, 所以选择防护材料时, 应注意其防燃性。由于普通布易燃, 在贫铀弹发射的过程中细小弹片多, 一旦被细小弹片击中, 普通布燃烧, 可能使实验动物大量被烧死(实验中曾出现这种情况), 故本研究未选择普通口罩布作为防护材料的对照。

(致谢: 感谢第三军医大学全军复合伤研究所李淑蓉、闫国和、任　和王涛等老师和同事在实验中的帮助。)

参考文献:

[1] 李　蓉, 郭　勇, 粟永萍. 贫铀损伤的生物学研究进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2003, 23(3): 223-226.
[2] 李　蓉, 艾国平, 徐　辉, 等. 贫铀对人肾小管上皮细胞的急性毒性作用[J]. 第三军医大学学报, 2004, 26(3): 185-188.
[3] 王功鹏, 赵　法. 生物和环境样品放化分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987. 48-67.
[4] 夏寿萱. 放射生物学[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 1998. 365-372.
[5] The Royal Society. Working Group on the Health Hazasds of Deplented Uanium M unitions. The health effects of depleted uranium munitions: a summary[J]. J Radiol Prot, 2002, 22(2): 131-139.
[6] 刘树铮, 孙世荃. 铀毒理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1995. 408-425.

(编辑　张　宁)

欢迎订阅《云南中医学院学报》

《云南中医学院学报》系由云南省教育厅主管, 云南中医学院主办的全国中医药优秀期刊, 中国高等医药学院校优秀学报, 全国高校自然科学优秀学报, 中国科技核心期刊, 2004 年荣获中国高校自然科学学报"优秀编辑出版质量奖"。被《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国科学引文数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中国核心期刊遴选数据库》等数 10 种国家权威检索期刊和数据库收录。

本刊主要反映我院及全国中医药科研、医疗、教学等方面的新成果、新信息。突出我省中医药学术特色。辟有: 中医药发展战略、中医基础理论、方药研究、学术论著、实验研究、临床研究、药用植物资源、医史文献、名医经验、针灸推拿、教学研究、综述、考研指南、民族医药、放眼海外、临床报道、云药研究与开发、中医药现代多学科研究等栏目。本刊为季刊, 每季末月 10 日出版, 国内外公开发行。每册定价 5 元, 全年 20 元。邮发代号 64-43, 全国各地邮局均可订阅, 也可随时直接向本编辑部邮购。

地　址: 云南省昆明市关上双桥路 201 号云南中医学院学报编辑部　　邮　编: 650200
电　话: (0871)7150987　　传　真: (0871)7150987　　E-mail: ynzyxyxb@yahoo.com.cn
网　址: http://www.ynzy.chinajournal.net.cn

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net