

## 铀的毒性研究进展

邓冰<sup>1,2</sup>, 刘宁<sup>1</sup>, 王和义<sup>2</sup>, 蒋树斌<sup>2</sup>

中图分类号: R146 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2010)01-0113-03

铀为锕系元素, 地壳中含量为  $3\text{ mg/kg}$ 。天然铀由  $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  三种同位素组成, 丰度分别为  $0.0058\%$ 、 $0.714\%$ 、 $99.274\%$ 。铀系有多种同位素, 除  $^{232}\text{U}$ 、 $^{233}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  为长半衰期  $\alpha$  辐射体外, 其他均为短半衰期的  $\alpha$  或  $\beta$  辐射体, 有些伴有  $\gamma$  射线。尽管含量极低, 但是  $^{234}\text{U}$  的放射性比活度远高于  $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$ , 是天然铀  $\alpha$  辐射的主要来源。

现在, 世界上多数核电站“燃烧”的是从天然铀中提取的  $^{235}\text{U}$ 。它是自然存在的易裂变核素。提取  $^{235}\text{U}$  后,  $^{235}\text{U}$  含量仅为  $0.2\% \sim 0.3\%$  的铀叫贫铀。贫铀放射性强度约为天然铀的  $60\%$ 。由于金属贫铀密度大 ( $19.05\text{ g/cm}^3$ , 相当于普通钢的  $2.5$  倍, 铅的  $1.7$  倍), 使其已广泛应用于工业和医用 X 射线和伽玛辐射的屏蔽材料、飞机平衡控制和减震、机械压舱和配重、陀螺仪和其他电子机械的配重、赛艇的龙骨、惯性飞船、放射药剂及放射性同位素和用过的核燃料棒运输集装箱的屏蔽材料; 又因为金属贫铀硬度高、韧性好、不易断裂, 抗张度强 ( $4\,500\text{ kgf/cm}^2 \sim 6\,000\text{ kgf/cm}^2$ ), 使得金属贫铀还用于制作石油井的转头和高性能陀螺转子; 此外, 贫铀还用于中子探测器、化学催化剂、X 射线球管、鲜艳色彩的玻璃和陶瓷等多个领域。铀具有重金属毒性, 按照国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的分类, 将放射性毒性分为四级。 $^{234}\text{U}$  极毒、 $^{236}\text{U}$  高毒、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$  和天然铀为中毒。同时, 铀与生物分子有高亲和力, 食入或吸入的铀会引起有害的健康效应。与放射效应相比, 其化学效应通常是主要的, 内污染导致损伤的主要原因是化学毒性<sup>[1]</sup>。

## 1 铀的毒性

铀的人体毒性来自两个方面, 即化学毒性和放射性毒性。一般来说, 铀的化学毒性主要基于其重金属毒性, 肾是主要的受损器官。铀的放射毒性主要是指铀放射性对所沉积组织器官的内照射损伤, 肺是主要受损的器官, 严重时能导致肺癌。在放射性物质的毒性分类中  $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$  属于中毒性核素<sup>[2]</sup>, 使人体中毒后会出现耐受现象<sup>[3]</sup>, 从而对机体产生长期的影响。长期接受超容许水平的低剂量照射时, 可能发生晚期效应诱发肿瘤。

1.1 铀的化学毒性 铀与铅、镉一样, 是重金属, 具有重金属离子毒性。铀的溶解性与其化合物形式以及溶剂性质有关。人体的内环境  $80\%$  以上都是液体, 几乎所有的铀都能被体液缓慢溶解 (如三种难溶性氧化物  $\text{UO}_3$ 、 $\text{UO}_2$ 、 $\text{U}_3\text{O}_8$  可分别在数天和数年内溶解), 形成铀酰离子。铀酰离子能与生物分子发生作用, 造成人体组织功能受损。主要的毒性是造成肾小球细胞坏死和肾小管管壁萎缩, 导致肾过滤血液杂质的功能下降。进入血液的铀酰离子  $90\%$  以上都可以在  $24 \sim 28\text{ h}$  内经肾随尿排出, 其余  $10\%$  的铀将留在体内, 最终沉积于骨、肺、肝、肾、脂肪和肌肉中。体内的铀还能导致多种健康危害, 主要包括呼吸疾病、皮肤疾病、神经功能紊乱、染色体损伤、免疫功能下降、遗传毒

性和生殖发育障碍等, 严重的甚至发生远后效应。

1.2 铀的放射毒性 铀的衰变伴随着  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  三种类型射线。此外,  $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  及其衰变子体大都具有放射性。因此, 铀对周围环境形成的照射时间长, 危害大。

辐射对人体的照射影响可分为内照射和外照射两种。放射性核素的内照射损害极强, 其致癌作用比致癌性重金属铅和镍还要强, 内照射危害主要来自铀放出的  $\alpha$  射线。铀是高传能线密度 ( $\text{LET} > 3.5\text{ keV}/\mu\text{m}$ ) 的  $\alpha$  辐射体,  $\alpha$  粒子电离密度很大, 在  $1\mu\text{m}$  的机体组织内可产生  $3\,700 \sim 4\,500$  对离子, 致伤集中。 $\alpha$  射线生物效应 (RBE) 值最大,  $\beta$  射线次之,  $\gamma$  射线最小<sup>[4]</sup>。生物体 (主要是人、动物和植物) 吸收核辐射的能量后, 会使细胞内物质的分子和原子发生电离和激发, 进而导致体内高分子物质 (如蛋白质和核酸等) 分子键断裂。近年来, 不仅发现了单个  $\alpha$  粒子照射细胞核诱变及突变的直接证据, 还发现  $\alpha$  粒子射入细胞质后可引发细胞基因突变, 该突变会由成活的细胞遗传给子孙后代<sup>[5]</sup>。此外,  $\alpha$  射线对 DNA 的损伤较重, 较大分子量的 DNA 链在  $\alpha$  射线的照射下断裂, 导致限制性内切酶活化, 从而引起 DNA 在核小体间的断裂;  $\alpha$  射线还可以打断细胞的 DNA 脱氧核糖核酸分子链, 使基因发生变异从而产生遗传病; 巨噬细胞吞噬的贫铀量随时间延长而增加, 细胞出现多形性改变、DNA 碎裂等细胞凋亡的表现<sup>[6]</sup>。辐射还会使生物体内水分子形成自由基, 导致内源性自由基的产生和清除失衡, 使附近的细胞变性甚至死亡<sup>[7]</sup>, 直至引起物质代谢和能量代谢障碍, 引起整个机体发生一系列病变。总之, 内照射使细胞凋亡机制活化, 无法修复的细胞将通过凋亡途径死亡。

铀除  $\alpha$  辐射, 还能释放少量的  $\beta$  粒子, 接触时可能的受照率为  $2.0\text{ mGy/h}$  会造成皮肤损伤。因此, 铀的外照射危害主要来自衰变中辐射的  $\beta$  与  $\gamma$  射线对皮肤的照射。

目前, 有关铀的人体放射生物效应研究已有一定报道, 研究表明铀可诱发肺、骨和肾的恶性肿瘤; 此外, 常见的还有白血病、睾丸肿瘤、肾上腺髓质肿瘤和垂体瘤<sup>[8]</sup>, 但低剂量的辐射效应研究尚不系统<sup>[9]</sup>。

1.3 铀的毒理 铀的毒性与其进入人体的化合物的形式、价态、进入途径有密切关系。铀化合物中, 铀通常为四价和六价。大多数四价化合物不溶于水, 水溶液中的铀大多以六价的  $\text{UO}_2^{2+}$  形式存在<sup>[10-11]</sup>。不同价态的铀在体内的分布是不同的。四价铀在水溶液中形成不溶性氢氧化物, 从而在体内发生水解形成胶体, 大部分分布于肝脏内; 六价铀化合物在体内与血液重碳酸盐及蛋白质形成两种络合离子, 主要分布于肾和骨骼中。四价铀主要通过肠排除, 而六价铀以肾泄为主。

## 2 铀对人体的影响

相对于人的寿命而言, 铀的半衰期很长, 其危害可以说是永久性的。铀释放的  $\alpha$  射线能量高达  $4\text{ MeV}$  可直接作用于细胞, 对 DNA 造成损伤, 引发白血病和其他恶性疾病。通过呼吸进入人体的氧化铀气溶胶大部分难溶于肺液, 因而沉积在肺部。其中  $80\%$  通过支气管黏液机理被滤清后进入胃肠, 然后被排出体外, 仅有少量进入血液; 未被滤清的  $20\%$  的铀最终进入淋巴结与肾。因此, 在人体代谢晚期肺内沉积的铀进入肾脏

中,使肾铀的沉积量升高。如果吸入的氧化铀气溶胶剂量较高,将造成严重的肺损伤,甚至导致肺癌。

进入人体的铀离子,易与体内有机酸和无机酸形成络合物。食入体内的铀化物在胃内呈铀酰离子形式,在酸性条件下不易形成碳酸铀络合物,因此铀在胃内很难吸收。一般可溶性铀化合物的吸收率约为 3%~6%,而溶解性小的铀化合物仅为 0.02%~0.3%。铀进入血液循环后,迅速分布到各组织器官,特别是肾、骨骼、肝和脾。最终骨骼中的铀占总体负荷量 90%以上。肺内可溶性的铀逐渐转移沉积到骨中。濒临死亡大鼠的软骨内骨和膜状骨中放射性核素的浓度可随肺铀浓度的短暂改变而大幅变化,表示在终止放射性矿尘吸入后,肺仍是骨骼放射性核素的重要来源。此外,铀还具有生殖毒性、发育毒性、免疫毒性以及致突、致畸、致癌作用。

**2.1 铀对呼吸系统的影响** 铀氧化物及铀尘埃极易形成气溶胶。吸入气溶胶颗粒后,辐射暴露最显著的器官是肺和与之相关的淋巴结,但淋巴系统出现癌症的概率要比患肺小得多,特别是胸部淋巴结具有抗辐射能力<sup>[12]</sup>。铀矿尘中的铀含量约为 10%,能促进  $\text{SO}_2$  致肺纤维化的作用,并使肺泡巨噬细胞 (AM)耗氧量降低,吞噬功能受抑制,细胞变性死亡,较纯  $\text{SO}_2$  引起的影响更严重。

铀对呼吸道的影响主要取决于吸入铀气溶胶的颗粒大小、溶解度和含铀剂量。研究表明,在一定剂量范围内吸入的铀矿尘,引起肺部发生恶性肿瘤的危险性与剂量无直接关系,而与剂量率成正比<sup>[13]</sup>;低剂量外照射时,患肺癌危险性大小由剂量率而不是累积剂量决定<sup>[14]</sup>。

肺组织病理学研究表明,吸入铀的气溶胶颗粒后主要造成:肺实质淋巴细胞浸润、严重支气管炎、肺出血、肺脓肿以及肺囊泡、肺大泡样病变。

**2.2 铀对肾的影响** 肾是染铀初期机体铀浓度最高的器官,铀的肾脏毒性反应剧烈而典型。铀对肾脏的损伤机理是:在肾脏中  $\text{UO}_2^{2+}$  首先被最邻近的肾小管中的细胞吸收,随后与细胞内含有高浓度磷酸酶的溶酶体结合。在溶酶体内形成磷酸铀晶体,随着磷酸铀晶体的生长,溶酶体及其所在的细胞被破坏。随后,磷酸铀的微晶被释放至肾小管腔内,由尿液排泄。另外,铀对活细胞的毒性在于阻碍碳水化合物化合物的新陈代谢,尤其是阻碍酶体系的新陈代谢。值得注意的是,较低浓度的  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  和二水合醋酸铀酰 (UAD) 共同作用即可引起肾近曲小管的坏死,这也是最常见的组织损伤,因为  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  和 UAD 具有协同作用,所以两者同时作用会加重对肾组织的损伤<sup>[15]</sup>。

几天内肾脏中的浓度超过  $50\mu\text{g/g}$  肾,铀将导致肾衰竭;而在短期内急性摄入而致肾脏中浓度超过  $1\mu\text{g/g}$  肾,将导致轻微的肾功能紊乱。铀可诱导肾小球及膜系上皮细胞挛缩,挛缩呈剂量一时间依赖性,伴有细胞骨架的解体,其细胞毒性可能与肾血液动力学的严重改变有关<sup>[16]</sup>。

组织病理学研究表明铀的肾脏毒性可导致:部分皮质肾小管、部分肾乳头小管明显扩张;皮质、髓质及(或)乳头肾小管中含有蛋白液体(即透明管型);间质有明显的慢性炎细胞浸润及(或)纤维组织增生;肾皮质、髓质以及肾盂黏膜下出血。肾组织中存在含吞噬铁血黄素的细胞围绕肾小管;晚期肾乳头小管呈现上皮异常增生的迹象。

**2.3 铀对骨骼的影响** 铀沉积的主要部位是骨骼,沉积的机理是铀与骨骼的无机相相互作用。钙和磷的放射性同位素示踪试验表明,沉积在骨骼无机相表面的每个  $\text{UO}_2^{2+}$  使骨骼无机相表面不再有两个钙离子可以与溶液中的钙离子发生交换,也不再有两个磷酸根离子与溶液中的磷酸根离子发生交换。推测认为:每个  $\text{UO}_2^{2+}$  与在骨骼无机相表面两个相邻的磷酸根离子螯合,可使原来与磷酸根离子缔合的两个钙离子从骨骼无机相表面释出来。铀沉积在骨表面可引发骨癌、骨肉瘤等。

**2.4 铀对中枢神经系统的影响** 铀可在脑海马中聚集,较长时间暴露在铀中,会导致神经系统受损,引起人的行为异常<sup>[17]</sup>。研究表明摄入铀后可导致运动原皮质、前庭皮质、中脑和小脑蚓体中的铀浓度显著增高,并使海马的电生理参数发生变化。

内照射对脑发育的影响有:引起神经元或神经胶质细胞在有丝分裂及其分裂后未成熟时死亡,或直接杀死两者的前体细胞;破坏细胞迁移,或杀死负责引导神经元迁移的神经胶质细胞;引起神经元连接发育障碍,损伤神经元连接能力;引起树突分枝定向障碍,或单个大脑皮层神经元树突及树突棘数量减少加速脑发育细胞凋亡。

**2.5 铀对免疫、造血和生殖系统的影响** 摄入体内的铀由于对淋巴结和红骨髓的  $\alpha$  辐射而造成免疫系统的损害。研究表明,摄入体内的铀在淋巴结中含量较高并使血液中的嗜伊红细胞数量增加,而这就意味着生物体处于变态反应并受到寄生感染<sup>[18]</sup>。成熟的淋巴细胞是对辐射最敏感的细胞<sup>[19]</sup>,B 淋巴细胞比 T 淋巴细胞对辐射更敏感,超微结构被破坏的发生率也更高。当  $^{235}\text{U}$  被淋巴细胞吞噬后,在细胞内以吞噬小泡的形式弥散于胞浆和细胞核内。

急性铀中毒时白细胞 (WBC) 急剧增多,随后总数下降,嗜中性粒细胞相对增多,淋巴细胞相对减少。慢性铀中毒后外周血血红蛋白 (Hb) 及红细胞数减少, WBC 增多,以嗜中性粒细胞和嗜酸性粒细胞增多为主,长期持续作用可诱发白血病。

体内铀浓度的升高和生殖荷尔蒙泌乳激素的升高在统计上显著相关。由于雄性生殖细胞增殖旺盛,发育连续性好,因此铀在睾丸组织中滞留可持续发挥作用,使得某阶段的损伤效应在下一阶段能继续体现。睾丸内注射铀可诱发不同发育阶段生殖细胞畸变,畸变率随内污染时间延长而增高,精原细胞染色体出现多倍体、断片和裂隙,初级精母细胞染色体出现断片、单价体和多价体,精子则出现 DNA 断裂和精子畸形<sup>[5]</sup>。

**2.6 铀对胚胎和发育器官的影响** 机体生长发育过程中,胚胎器官发生期的细胞处于高度分化、增殖和迁移的最活跃时期,生长发育过程中,铀中毒可导致生殖能力下降,出现畸胎,妊娠期各时段接受辐照都会使后代发育欠佳<sup>[20]</sup>。低浓度的硝酸铀酰即可引起胚胎发育迟缓,使囊胚细胞增殖能力降低。将囊胚细胞从含有硝酸铀酰的培养皿中移出后,铀的细胞毒性作用仍有增加,说明子体出生后仍受母体的影响<sup>[21]</sup>。通过组织学和形态学观察发现短期高剂量铀中毒的试验组硬脑膜骨化和骨的生长减慢,牙齿萌出的过程包括骨的形成延迟,这可能与铀对靶细胞的作用有关<sup>[22]</sup>。

### 3 铀促排化合物的研究

对铀的医学防护,目前认为最有效的措施是人体内铀的促排。 $\text{UO}_2^{2+}$  能与体内多种无机和有机的配体形成螯合物<sup>[23]</sup>,解决铀中毒的最好办法就是使用螯合剂,螯合剂与铀形成稳定螯合物,与体内的配体竞争,最终由尿液、粪便等排出体外,这也是目前促排研究最主要的方向<sup>[24]</sup>。在选择铀促排化合物的时候,不仅要考虑螯合配体与铀离子的配位能力,还要考虑螯合配体与其它金属离子如:  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等的配位能力。此外,还希望这种螯合剂所生成的螯合物具有水溶性、扩散性、低毒性以及不被代谢等特点。由于螯合试剂可能以某种方式改变铀在各器官的分布,使得螯合剂的选择更加复杂。

从 19 世纪 40 年代开始,人们开始研究铀促排化合物,柠檬酸钠是可供考证的研究最早的排铀化合物<sup>[25]</sup>。在四五十年代,碳酸氢钠、柠檬酸钠、苹果酸钠、乳酸钠、富马酸钠以及琥珀酸钠等小分子弱酸盐得到了大量关注。研究结果表明,碳酸氢钠具有较理想的促排效果。直到现在,碳酸氢钠溶液仍然是临床上用来治疗铀中毒的基本方法。此后,又研究了羟基天冬氨

酸盐离子、喹胺酸钠、多磷酸钙、乙二胺四乙酸(EDTA)、二乙烯三胺五乙酸(DTPA)等物质的促排效果。目前,铀促排化合物的研究主要还是从仿生学的角度着手。研究发现  $U(VI)$  与  $Fe(III)$  的配位有很大的相似性<sup>[26-27]</sup>,在仿生化学的研究中设计合成铜系元素的螯合剂都是基于含铁细胞。含铁细胞中金属的螯合单元一般是邻苯二酚或异羟肟酸,基于这两类物质结构基础研制的化合物有  $Ti(ox)$ (钛铁试剂)、喹胺酸(即 811 螯合羧酚)、7601(CBMIDA-PCDMA 双酚胺酸)、H73-10 8102(CAB-MIDA)和膦酸类螯合剂<sup>[28-30]</sup>。这些化合物都有一定的促排效果,但存在毒副作用和促排不彻底等缺点。法国居里研究所对 20 多种衍生的膦酸类络合物促排铀的效果进行了系统的比较,效果最好的是二亚丙基三胺五亚甲基膦酸,促排 4 天后,大鼠肾和整体铀水平分别仅为对照的 9% 和 41%。其他一些支持疗法,如营养、促进肾功能恢复、纠正体内电解质和酸碱平衡等,对铀的急性肾损伤也有很好的效果。

#### 4 研究展望

核技术的广泛应用,使得作为主要材料的铀的人体危害不容忽视。研究铀及超铀元素的毒理及生物效应意义及其重要。虽然铀的毒性已经得到了广泛关注并已进行了数十年的研究,但铀的毒性研究仍将是较长时间内核环境工作者关注的课题。笔者认为,以下几个方面尤为值得关注。

4.1 基于分子生物学水平的铀致突变致癌效应的研究 目前对铀致突变致癌效应的研究大部分停留在个体的整体水平上,从分子生物学的角度进行研究还处于起步阶段<sup>[31-32]</sup>。基于分子生物学水平的铀致突变致癌效应研究,可确定贫铀的损伤性质和机理,还有助于确定铀的远期生物效应。

4.2 贫铀生物效应的研究 可以研究急性和慢性吸入贫铀尘的近期和远期效应,确定吸入亚微米贫铀粒子的吸收剂量模型,探讨吸入难溶性氧化铀致肺癌的危险以及肺部成为贫铀作用的靶器官的可能性。由于贫铀的放射性比活度较低,在肺部沉积同样活性的铀时,贫铀的含量将比天然铀或浓缩铀高得多。在此种情况下,贫铀对肺部损伤的化学毒性作用不容忽视。贫铀辐射损伤与化学毒性复合作用研究,对于阐明贫铀损伤机理以及探寻有效的防护措施具有十分重要的意义。

4.3 铀对人体各组织系统影响的深化研究 铀对肾脏的化学毒性和放射性毒性已有大量研究结果,但在毒性的程度、是否可逆、阈值是多少等问题上尚缺乏统一的认识。此外,铀对神经系统、免疫系统和生殖系统的是否存在确定性效应也还需澄清。

4.4 铀与人体作用的计算机模拟研究 可运用计算机模拟技术,模拟内照射对人体危害的作用机制,并研究与铀元素的化学和辐射损伤密切相关的细胞因子。

4.5 铀在人体内代谢问题的深化研究 铀在人体内的代谢特点既受到铀化学和物理性质影响,又受人体生理病理因素影响。由于,已有的人体观测规模和精度有限,许多代谢机制尚待阐明。

4.6 新型促排化合物的研究 现有的各类促排化合物各有特点,设计合成新型的促排效果更好、毒副作用更小的促排化合物仍将是今后较长时期内的主要研究内容。

4.7 铀研究方法的改进 有关铀毒性的分析研究大多建立在动物实验的基础上,由于各物种之间生物敏感性差异极大,使得研究结果的不确定性增大。同时,流行病学研究的对象所受的影响往往是多方面的,很难将某种症状或疾病与铀必然地联系起来<sup>[33]</sup>,这也成为在研究方法上必须解决的问题。

综上所述,铀的毒理、铀对人体的影响以及铀促排化合物的研究已取得一定的进展。但是,随着核技术的广泛应用,应有针对性地与人类生产、生活密切相关的领域进行深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Kocher DC. Relationship between kidney burden and radiation dose from chronic ingestion of U. Implications for radiation standards for the public J. Health Physics 1989 57: 9-148
- [2] GB871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
- [3] 刘树铮,孙世荃. 铀毒理学[M]. 北京:原子能出版社,1995
- [4] Russell J, Wheldon TE, Stanton P. A Radiation-resistant Variant Derived from a Human Neuroblastoma Cell Line Is Less Prone to Radiation-induced Apoptosis J. Cancer Res 1995 55: 4915-4921
- [5] Rosalie B. Gulf War Veterans and Depleted Uranium [DB/OL]. [http://ccnr.org/du\\_hague.html](http://ccnr.org/du_hague.html) 1999 5
- [6] John F, Kalinich, Ramakrishnan N et al. Depleted uranium-uranium chloride induces apoptosis in mouse J774 macrophages J. Toxicol 2002 179 1-2 105-114
- [7] Pelhmaric, Keyser DQ, Emery C et al. Electrophysiological changes in hippocampal slices isolated from rats embedded with depleted uranium fragments J. Neurotoxic 1999 20: 785-792
- [8] Elizabeth DE. Special Issue: Environment Epidemiologic 2000 151(1): 91-95
- [9] 尚兵,耿秀生. 浅谈贫铀弹对环境的污染和人体的危害[J]. 中国预防医学杂志, 2004, 2(3): 228
- [10] Durbin PW, Kulgren B, Xu J et al. New Agents for in Vivo Chelation of Uranium(VI): Efficacy and Toxicity in Mice of Multidentate Catecholates and Hydroxypropyridinonate Ligands J. Health Phys 1997 72(6): 865-879
- [11] Henge-Napoli MH, Archimbaud M, Ansohoro E et al. Efficacy of 3,4,3-LiHOPO for Reducing the Retention of Uranium in Rat after Acute Administration J. Int J Radiat Biol 1995 68(4): 389-393
- [12] 丁志斌,罗凌江. 贫铀武器对人体健康和环境危害的研究进展[J]. 职业卫生与应急救援 2002 20(3): 151
- [13] Mitchell RE, Jackson JS, Heimiller B. Inhaled Uranium Ore Dust and Lung Cancer Risk in Rats J. Health Phys 1999 76(2): 145-155
- [14] Monchaux G, Morlier JP. Influence of exposure rate on radon-induced lung cancer in rats J. J Radio Protection 2002 22(3A): 81-87
- [15] Sanchez DJ, Monsemet B, Albina ML et al. Nephrotoxicity of simultaneous exposure to mercury and uranium in comparison to individual effects of these metals in rats J. Biology Trace Element Research 2001 84 1-3 139-154
- [16] El Azou B, Henge-Napoli MH, Minarol L. Effects of cadmium and uranium on some in vitro renal targets J. Cell Biology Toxicology 2002 18 5: 329-340
- [17] Hahn FF, Guimette RA, Hover MD. Toxicity of depleted uranium fragments in Wistar rats J. Health Physics 2000 6: 129
- [18] Hahn FF, Guimette RA, Hover MD. Toxicity of depleted uranium fragments in Wistar rats J. Health Physics 2000 6: 12
- [19] Durum SK, Gengozian N. The Comparative Radiosensitivity of T and B Lymphocytes J. Int J Radiat Biology 1978 34 1: 1-15
- [20] Domingo JL. Reproductive and developmental toxicity of natural and depleted uranium: A review J. Reprod Toxicol 2001 15 2: 603-609

# 64层螺旋 CT低剂量扫描在牙齿正畸中的临床应用研究

陈建文<sup>1,2</sup>, 邓太平<sup>2</sup>

中图分类号: R814.42 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2010)01-0116-02

随着人民生活水平和公民审美素质的迅速提高, 牙列不齐对美观的影响已引起人们的高度重视, 要求牙齿矫正者呈逐年上升趋势。以往在牙齿正畸前要摄 X射线平片和曲面断层片, 但上述检查的影像常因有变形、放大、重叠等缺点而不能客观的反映颌骨、牙齿及埋伏牙的情况。近年来, 随着 MSCT技术的飞速发展, 尤其是 64层 MSCT的问世, 其在口腔医学领域的应用越来越广泛, 随之而来的 X射线辐射损伤问题受到重视。CT辐射剂量对人体潜在的危害及剂量管理已经引起了放射防护学家、放射学家、医用物理学家及政府管理者的高度关注, 在 CT检查中如何减少患者的受照剂量正成为国内外学者的研究热点。

## 1 MSCT在牙齿正畸中的应用

埋伏牙是造成恒牙移位和牙列紊乱的重要原因。牙齿正畸前, 除了需要对牙齿位置、牙弓、牙列观察外, 更重要的是观察有无埋伏牙。处理好埋伏牙对正畸的最后效果非常重要, 不同部位和不同生长形式的埋伏牙治疗方法不同。清楚地显示埋伏牙与牙列整体对牙齿正畸医生来说十分重要, 可以指导制定牙齿正畸的最佳方案。

MSCT可将连续断层 CT扫描的信息经计算机处理后重建出牙齿立体形态图像, 清楚显示牙齿相互之间的立体关系。立体显示颌骨内埋伏牙的位置、形态及与邻近牙的空间距离, 对颌骨内阻生牙、多生牙的数目、大小、形态显示更为准确。并可观察埋伏牙位于牙列的唇侧或是腭侧以及其与相邻恒牙胚和牙根的距离或嵌入关系, 还可直观显示埋伏牙与重要解剖结构

(如上颌窦、下颌神经管)的关系, 从而为进一步的治疗设计或手术前入路的选择提供准确的信息。

Ceviklanes LH等<sup>[1]</sup>通过更详尽的研究总结道: 通过 MSCT三维重建可以了解牙根的倾斜度和转矩、阻生牙和多生牙的位置、种植体植入骨的厚度和形态、手术计划时骨切开的位置; 还能了解牙根吸收、发育过度、髁突的异位和形态异常; 对面部左右两侧的形态差异也有诊断价值; 此外, 还可评估软组织和气道的三维关系。对于颅面部三维 CT图像技术在临床实践中的应用潜力和局限性, Chan HJ等<sup>[2]</sup>查阅了大量文献后总结道, 随着持续不断的研究和技术的发展, 颅面部三维 CT图像技术很可能成为未来口腔正畸领域的有用技术。

洗淡等<sup>[3]</sup>探讨了螺旋 CT三维重建技术在埋伏牙定位中的合理应用方法。罗小平等<sup>[4]</sup>对疑诊为上颌埋伏牙病例行上颌牙轴位螺旋 CT容积扫描, 应用多层螺旋 CT图像后处理技术作 MPR和三维重建, 获得单纯牙体任意方向的三维立体图像或任意曲面的断层像, 能立体全方位地显示上颌骨埋伏牙的形态、位置、萌出方向及其与周围组织的关系。韩本谊等<sup>[5]</sup>综合探讨了螺旋 CT扫描在正畸中的临床应用价值, 通过 SSD、MP及 MPR等技术提示了三维重建是一种能展示牙齿立体形态影像的新技术, 轴面图像、MP、SSD及 MPR联合应用能明确病变性质, 立体、直观、多方位提供临床医师所需信息, 有利于治疗方案的选择。王铁梅等<sup>[6]</sup>的研究也发现螺旋 CT三维重建技术能清晰显示颌骨埋伏牙形态、唇腭侧位置及与牙列、邻牙的关系, 所以对正畸牵引治疗和颌骨外科手术都具有极为重要的意义和发展前景。

利用三维 CT资料进行三维有限元的研究也是一个热点。张晓惠等<sup>[7]</sup>将一志愿者的螺旋 CT扫描资料, 通过软件 PRO/ENGINEER 2001和 ANSYS 8.0建立颅上颌复合体三维有限元模型, 模型具有较好的力学和几何学相似性, 为临床探索正畸

作者单位: 1 山东省东营市人民医院, 山东 东营 257091; 2 山东省医学科学院放射医学研究所  
作者简介: 陈建文 (1977~), 男, 主治医师, 从事影像诊断及技术工作。  
通讯作者: 邓太平, 男, 研究员, 硕士生导师。

- [21] Kundt M, Ubios AM, Cabrini RL. Effects of uranium poisoning on cultured preimplantation embryos [J]. Biology Trace Element Research 2000 75 1-3: 235-244
- [22] Pujadas BM, Lemlich L, Mandalunis PM, et al. Exposure To Oral Uranyl Nitrate Delays Tooth Eruption and Development [J]. Health Phys 2003 84 2: 163-169
- [23] 郭天亮, 史英霞. 超铀元素络合行为研究进展 [J]. 辐射防护通讯, 2003 23 (4): 16
- [24] Fukuda S. Chelating agents used for plutonium and uranium removal in radiation emergency medicine [J]. Current Medicinal Chemistry 2005 12, (23): 2765-70
- [25] Donnelly GL, Holman RL. The stimulating influence of sodium citrate on cellular regeneration and repair in the kidney injured by uranium nitrate [J]. J Pharmacol Exp Ther 1942 75 11-17
- [26] Domingo JL, Ortega A, Lobet M, et al. Effectiveness of chelation therapy with time after acute uranium intoxication [J]. Fundam Appl Toxicol 1990 14: 88-95
- [27] Domingo JL, Colomina MT, Lobet M, et al. The action of chelating agents in experimental uranium intoxication in mice. Variations with structure and time of administration [J]. Fundam Appl Toxicol 1992 19: 350-35
- [28] 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, 2003 16(3): 438
- [29] Fukuda S. Effects of EH on DU intake and removal by CB-MIDA and EHBP [J]. Health Physics 2007 92 (1): 10-14
- [30] Fukuda S. Toxicity of Uranium and the removal by CBMIDA and EHBP in simulated wounds of rats [J]. Health Physics 2005 (89)(1): 81
- [31] 池翠萍, 王仲文. 贫铀武器对人体健康的影响 [J]. 中华放射医学与防护志, 2002 22(2): 137
- [32] New Scientist. Depleted Uranium Casts Shadow over Peace in Iraq [J]. New Scientist com News letter 2003 4 15
- [33] Bailey MR, Beral V, Clayton BD, et al. The health hazards of depleted uranium munitions—Part I [J]. The Royal Society 2001 5 22

(收稿日期: 2009-08-05)