

編 号: (65)052

內 部

出国参观考察报告

捷克斯洛伐克放射医学概况

中国科学技术情报研究所

一九六五年八月

说 明

我有关部门曾派李振平、王鹤滨、陆如山、周 前等同志于1965年6月赴捷克斯洛伐克共和国对放射医学进行考察。上述同志归国后，将考察材料整理成专题报告，现印发有关单位参考。

目 录

I. 放射病部分	(1)
II. 放射生物学	(4)
III. 放射卫生	(12)
IV. 同位素临床应用	(17)

赴捷放射医学考察报告

I、放射病部分、

捷克对电离辐射损伤的研究工作，看来可分为四个方面，在四个系统中进行。

电离辐射损伤机制的研究——科学院属生物物理研究所；

职业性电离辐射损伤的研究——卫生部属放射卫生研究所；

对电离辐射损伤系统性的研究（机制、指征、预防、治疗）——文教部属查理士大学的生物物理所、医学系等有关单位；

针对原子战争进行的以急性放射损伤的实验治疗为主的研究工作——军事医学科学院的放射卫生所及其他有关单位。

(一)有关电离辐射损伤机制的研究，主要在布尔诺(Brno)生物物理研究所进行，该所一般生物物理研究室对电离辐射敏感性的研究，具有一定的实际意义（见放射生物部分），病理生理研究室在研究电离辐射对肝脏的影响中，认为肝脏是电离辐射敏感器官之一，并揭示出电离辐射引起肝脂肪变性与贫血有密切关系，理论上推测，贫血导致肝实质细胞缺氧，由此胞体发生膨胀，结果压迫小动脉管，使供氧进一步缺乏，恶性循环的结果，肝实质细胞萎缩，发生肝脂肪浸润。

(二)职业性的电离辐射损伤，主要由卫生部所属的布拉格放射卫生

研究所担任，該所目前主要集中力量研究54例銀90和鐳226內污染事故，已观察了6—7年，认为主要的客观的临床指征变化，是骨髓细胞染色体的畸变。

对鉛矿工人（只見到60年的一分文献摘要）的检查中，所見某些損害，尚不能确定由鉛引起或由粉尘引起。

关于氡气的影响，該所保健物理室进行了理論上的計算，认为氡气的子代能量对支气管的作用，比氡气本身高一千倍。

慢性长期小剂量电离辐射影响方面，目前已完成X—綫体查时，被檢者所接受的全身和性腺剂量的調查，已开始进行居民剂量的調查，畸形儿的調查，关于长期小剂量电离辐射的危害性，正着手进行，尚无結論。

(三)系統的对急性电离辐射损伤的研究，主要由文教部领导的查理士大学的生物物理研究所（布拉格）及赫腊德次—克拉洛佛（Hradec-Kralove）分校医学系进行，系統性的研究血液细胞学的变化，強調了淋巴细胞的变化具有电离辐射损伤程度的指征和预后指征的意义，此外还进行了血液循环系統的变化，腎功能的变化，神經系統的变化，细胞通透性的变化，以及急性电离辐射损伤的預防、治疗等研究工作，但这个部門的上述研究工作，未向我考查組介紹。

(四)針对着核战争所进行的急性电离辐射损伤的實驗治疗工作，主要由軍事医学科学院放射生物和医师进修研究所进行（Vojensky

lékořský význmnýa doskđoucu ; Hradu Krauve), 并与查理士大学布拉格生物物理研究所和查理士大学赫腊德次一克拉洛佛分校医学系进行协作。

1. 急性电离辐射损伤时, 药物作用和机体药物代谢的研究 (查理士大学赫拉代斯, 柯拉罗娃分校医学系、药理教研室担任) 这部分工作, 可以看做是急性放射病实验治疗的基础研究。急性电离辐射损伤时, 麻醉药物 (Thiopental Sodium) 和镇静止痛剂 (Dolantin) 作用时间延长, 中枢神经兴奋剂 (Cardiasol) 作用降低。青霉素在血液中消失很快, 链霉素在血液中的浓度则较对照组稍高, 后二者的变化, 可能与药物在血液中的离子状态有关, 呈阴离子的药物易于从血液中消失, 而成阳离子状态的药物则易保持在血行中, Cardiasol 的作用降低可能与血脑屏障的破坏有关。

2. 急性放射病的实验治疗 (军事医学科学院放射生物和医师进修研究所) 目前研究工作, 重点如下。

(1) 急性电离辐射损伤时, 机体血液中抗菌素的浓度。

(2) 急性电离辐射损伤时组织细菌培养, 和细菌对抗菌素的敏感试验。

通过上述两项研究工作, 以提供在核战争时, 受害者什么时候应用抗菌素, 用什么抗菌素, 应用多大剂量, 如何保持抗菌素在血液中的有效浓度的参考资料, 研究工作表明, 急性电离辐射损伤的最早期

不宜应用 抗菌素，而宜于 3 - 4 天后应用。受照射动物表明，血液中青霉素较对照组动物浓度低，且保持有效抗菌浓度的时间短 3 - 4 倍，因此为达到一定效果，必须给较大剂量，并且给药的间隔时间不宜长于 4 小时，链霉素和四环素在血液中的浓度与对照组相近，投药 4 小时后相比较，该药浓度比对照组还高些，氯霉素在血液中的浓度虽然比对照组高，但该药对骨髓机能有较强的抑制作用，因此急性电离辐射时不宜用或慎用。细菌培养表明有的细菌对大多数抗菌素不敏感如假单胞菌属 (*Pseudomonas*) 因此是急性放射病时，感染是对生命危害的最大因素。

(3)骨髓移植，研究者强调，用同种骨髓移植比用自体或同系骨髓移植有较大实际意义；LD 90 - 100 时，骨髓移植效果最好，宿主免疫作用最大受电离辐射抑制时期，大鼠为照后第 24 小时，狗为照后第 3 - 4 天，人可能为受照后 7 - 10 天。二年半的骨髓移植效果的远期观察表明，受体肝、脾中形成红、白系统的造血灶，强有力的支持了骨髓输入效果的细胞作用学说。

(4)急性内污染的促排工作，(未介绍)捷克学者强调核战争时碘 131 的危害(部分内污染工作参考放射生物部分)。

II、放射生物学：

捷克的放射生物学工作大体是在 1954 年以后陆续开始，分散在捷克科学院的各生物研究所、各大学医学系及军队的研究单位等。

1954 年在布尔诺的捷克科学院生物物理所成立后，就成为放射生物

学的重要基地；此外，在布拉格查理士大学生物物理所，考西采大学医学系等处的工作也比较集中。但，有关药物预防及实验治疗的工作，看来，主要是在大学医疗系及军队单位进行较多。就科研工作的范围讲涉及的面很广。今年5月4—7日在布尔诺召开的全捷生物物理学术会议上的有关放射生物学的46篇论文的分类情况如下：

辐射对细胞的影响	9 篇
放射敏感性問題	7 篇
核酸及核酸代謝問題	13 篇
氧效应及过氧化物	3 "
病理生理問題	2 "
有关实验治疗問題	8 "
化学预防	2 "
其 它	2 "

根据会议材料及我們所接触到的工作看，捷克目前在放射生物中的基本研究动向侧重在辐射对细胞的影响，放射敏感性，核酸代謝等几个問題。当然他們在放射病的防治方面也很注意，可是在这次考察中捷方未予介绍。就科研工作进展及論文发表年分看，捷克大致较国际文献晚3—5年。

现就几个方面的研究作一简单介绍。

(一) 电离辐射对细胞的影响:

1. HeLa 巨大细胞的研究——HeLa 细胞经X线照射后不再分裂, 但DNA, RNA 及蛋白质的合成继续进行, 以致形成了“巨大细胞”。细胞体积一般是在照后8天进行观察, 发现200伦琴照射使体积有所增加; 200—900伦琴范围内, 体积增大与剂量成正比; 900—16,000伦琴时, 体积不再增加。防护药使(MEA) 体积增长的程度减少; 放射致敏剂(BUOR) 没有明显效应。照射后细胞不再分裂的原因可能是某些蛋白质或ATP遭到破坏的结果。

2. 辐射对细胞浆的影响——300—500伦琴X线照射后, 大鼠肝匀浆在一定温度中保温几小时就出现了沉淀, 这一反应只在细胞核和线粒体中存在。进一步研究表明, 受照射的线粒体(1)与正常血清蛋白保温也使蛋白出现沉淀; (2)与生理盐水保温后, 盐水中酸性增加, 磷含量也增加; (3)线粒体经Janus green 染色后, 再与盐水保温, 染料向盐水中扩散。线粒体中的这种现象在10伦琴照射后已出现, 并与剂量有一定关系。推论在照射线粒体中可能出现了某种物质, 后再透入了细胞核而使核受到损伤。

3. 细胞分裂的研究——不同X线剂量照射后, 观察了骨髓细胞的分裂指数, 染色体畸变及分裂间期与分裂后期细胞比值。发现小鼠经400—620伦琴照射后, 骨髓细胞的分裂指数减少与剂量增加成

正比，但100—200伦琴时，无此比例。小鼠經10—15伦琴照射后，处于間期的細胞增加其原因可能細胞由間期过渡到后期受到了抑制注入MEA或低温照射，对以上各指标都有保护作用。

从正常帶有再生肝的大鼠中取得血清，注入另一具有再生肝的大鼠，可使后者的肝細胞分裂指数由1—9.4；而将X綫照射过的血清注入則分裂指数仅由1—4，可見血清中可能有放射敏感的分裂因素的存在。

4. 癌細胞对大鼠生长的影响——致死剂量照射过的艾氏腹水癌細胞注入幼年大鼠，見到动物在成长过程中体重，身長均比对照动物小。当癌細胞注入受照大鼠时，其死亡時間比单纯照射动物为早。癌細胞注入后利用宿主中各种合成前体，从而成为阻止动物生长，加速动物死亡的原因。

(二) 电离辐射对核酸代谢的影响

1. 代謝庫中的自由核苷酸含量——测定了大鼠脾、肝、胸腺中的自由核苷酸含量。在肝部分切除后开始再生时，肝中自由核苷酸水平增高，而在手术后不久进行照射，明显地減低了核苷酸的含量。再生肝中所增加的主要是胸腺嘧啶核苷酸，其次是脫氧胞嘧啶核苷酸，肝部分切除后使前者的增加完全消失，后者的增加也受到了部分的抑制。可是，其它脫氧核糖物质照射后反而增加：在照射肝中脫氧胞嘧啶核苷酸增加，在照射再生肝中脫氧尿嘧啶核苷和胸腺嘧啶核苷增加；照

射肝及照射再生肝中脫氧胞嘔啶核苷和脫氧尿嘔啶核苷酸水平增高。可的松注入能引起与照射相似的效应，但程度較輕。

照射后大鼠尿中除脫氧胞嘔啶核苷外，还有甲基脫氧胞嘔啶核苷、脫氧尿嘔啶核苷，胸腺嘔啶核苷的出現，在人尿中脫氧核糖物质含量仅为大鼠的 $1/200$ ，在某些受照射的人尿中无此反应。

2. 自由嘔啶核苷酸对照射后再生过程的影响——以照射大鼠骨髓細胞分裂指数为指标，发现只有某些脫氧核苷酸有刺激作用，而核糖核苷酸及核苷均无作用。对照射大鼠注入嘔啶脫氧核苷酸可使嘌呤/嘔啶比值迅速恢复正常。在骨髓細胞培养中只有嘔啶脫氧核苷酸能加速照射后網質細胞 DNA 合成；以胸腺嘔啶效果最好，尿嘔啶次之，胞嘔啶較差。三磷酸盐的效果并不比磷酸盐好。这些核酸的作用可能有二：(1) 增加胸腺嘔啶核苷激酶的底物，(2) 对该酶起稳定作用。鳥嘔啶和胞嘔啶衍生物可能变为胸腺嘔啶衍生物而参与了 DNA 合成。

3. 淋巴球中 DNA (脫氧核糖核酸) 的生物学意义——以 H^3 -胸腺嘔啶核苷与淋巴球离体保温，并以放射自摄影的方法测出，自細胞核透出并穿过細胞膜的纖維状徑蹟，长约 $50-100\mu$ 。这种纖維徑迹可能是 DNA 单鏈。实验表明这种 DNA 可以轉移到骨髓細胞，白細胞及肝細胞中去。这种轉移的生物学意义如何？在电离輻射影响下，这种轉移有什么变化，是值得进一步研究的。

(三)放射敏感性的研究:

1. 实验动物尿中钠/钾比值与放射敏感性的关系——动物尿中钠/钾比值在 $0.21 - 0.4$ 者,放射敏感性较低,但照前尿中此比值 < 0.21 或 > 0.4 时,则敏感性较高。其理论依据是尿中钠/钾比值反映了肾上腺皮质功能。

2. 机体或组织氧耗量与放射敏感性的关系——当机体或组织中出现氧耗量最低值时,动物或组织的放射敏感性也最低。

3. 生长速度与放射敏感性关系——在一定年龄范围内,生长速度与电离辐射敏感性成正比。因此,放射敏感性与体重生长曲线相关较密切,与年龄相关较差,如同时考虑上述两个因素时,则得出密切相关曲线。

4. 温度与放射敏感性的关系——试验动物处于 $32 - 34^{\circ}\text{C}$ 时基础代谢最低,理论上讲,这种温度条件,动物对电离辐射最不敏感,也可能对电离辐射损伤的恢复有利。

(四)其它研究:

1. H_2O 中 H^3 参入 DNA 的某些放射化学改变——DNA 在 N_2 或 O_2 环境中进行照射 (2×10^6 拉特 γ 线),并与 H_2O 保温,发现在 N_2 中的参入量大于 O_2 ,这可能是在后一条件下,硷基双

鏈处形成了稳定的过氧化物，此时硷基上的H就不可能和 H^3 进行交换。

H^3 -DNA 經DNA酶及蛇毒磷后双酯酶或 $HClO_4$ 水解后，大部分放射性不在核苷或自由硷基上，说明了DNA受照后产生了DNA分裂产物的可能性是存在的。

2. 紫外綫 (U_v) 照射后胸腺嘧啶双体 ($\hat{T}T$) 的形成——Hela 培养細胞經 U_v 照射后，从細胞中提取DNA，水解DNA，并进行紙层分析，发现 $\hat{T}T$ 的存在。但在酸溶性的小分子部分未发现 $\hat{T}T$ 的出現。可見，一旦 $\hat{T}T$ 形成后就不能从DNA鏈中釋出，这就可能成为細胞变衍的原因了。在射綫影响下 $\hat{T}T$ 发生了那些改变，需要进一步研究。

3. 家兔照射后血清电传导性的研究——家兔經X綫照射后，血清电传导性增加，以照后4小时效应最大，在250—1500伦琴范围内，效应随剂量增加而加大。血清电传导性增加与表面張力，粘度变化无关，与血清中离子浓度变化有关。

(五) 放射毒理学：

1. 口服 $BaSO_4$ 和 $Ca_3(PO_4)_2$ 后对 Sr^{90} 吸收的影响—— Sr^{90} 注入前1小时或注前即刻口服 $BaSO_4$ 对 Sr^{90} 吸收无影响，而 $Ca_3(PO_4)_2$ 可以减少 Sr^{90} 的吸收；口服 Sr^{90} 的即前，口服 $Ca_3(PO_4)_2$ 也可减低 Sr^{90} 的吸收。

口服 $BaSO_4$ (加可溶性 $MgSO_4$ 和 Na_2SO_4 后，可减少 Sr^{90} 的吸

收，效果以致毒后 10 分钟给与最好，而致毒后 80 分钟，则效果极差，矿泉水也可减少 Sr 的贮留，而矿泉水加 $BaSO_4$ 的效果更好。

2. 碱族元素与骨组织的关系——利用 HCl 中的溶解度不同，可将骨骼组织分为“不稳定结合部分”(UBF) 及“稳定结合部分”(SPF)，发现 Y^{90} 是在 UBF 部分， Ce^{144} 在骨干总量的增加是 UBF 增加的结果，利用柠檬酸盐可以减少 Ce^{144} 在大鼠骨中的积贮，但只有在 Ce^{144} 注入后 20 分钟注入才有效，而 24 小时以后则无效。在 Ce^{144} 加速排出工作中，发现 DTPA 可以加速 Ce^{144} 在骨中的排出，但在肝、脾中反而有所升高，而 EDTA 可以降低肝、脾中的含量，所以当 DTPA 和 EDTA 合并应用时，可以加速从肝、脾、骨中的排出。单独利用 DTPA、EDTA 或合并应用对 Ru 的排出未见有效。

3. 急性内污染的促排—— Cs^{134} , Sr^{90} , Y^{90} , Ce^{144} , Pu^{239} , Zr^{95} , Nb^{95} , Ba^{140} , La^{140} , Co^{60} , I^{131} , Rh^{86} 动物试验工作，他们认为原子战争时最急需处理的是 I^{131} 。

(六) 在全捷生物物理学术会议上外国学者的发言 (布尔诺, 1965. 5. 4)

1. Bacq. Z. N. (巴克, 比利时) 在“哺乳动物中半胱胺 (MEA) 及其有关物质的药理和生化对放射防护效应的重要性”一文中提到 MEA 的防护作用与“化学休克”有关。MEA 在照前 10 分钟注入最有效。

此时产生了一个“化学休克”，表现在：(1)組織中游离 MEA 含量最高，(2)細胞出現暂时性肿胀現象，綫粒体結構出現暂时性破坏，(3)組織中吸收作用及丙酮酸利用減少。至于“化学休克”的本质有待进一步的研究。

2. Кузнецов А.М (庫津, 苏联) 在“放射损伤发展过程中 Orthochinones 的作用”报告中強調了放射损伤机体中所产生的 Orthochinones 的重要性，他們是从芳香化合物氧化而来(如：酪氨酸，色氨酸，5 羟色胺)。Orthochinones 在細胞浆中产生，透入細胞核，主要影响：(1)抑制 DNA 合成，(2)細胞螢光性增加，(3)使核酸中 A/T 比值改变，(4)核分裂停止，(5)动物体重下降。

3. Alexander P (亚历山大魯, 英国) 在“照射后恢复过程在决定細胞对 X 綫的敏感性中的作用”报告中提到細胞(細菌)的放射敏感性不同，决定于細胞本身恢复过程的放射敏感性。

II、放射卫生、

放射卫生方面的工作主要在布拉格放射卫生所及 Bratislav 劳动卫生所的放射卫生室进行。其中包括放射毒理(見放射生物部分)，輻射剂量及放射性物质測量分析等工作。科学院核子所及 Ruzicka 附設研究所进行废水淨化、职业病、防护措施的研究。各卫生防疫站在建立放射性物质分析方法上也做了一些工作。

(一)放射性废水的净化处理

科学院核子所目前主要研究中低水平含长寿物质废水的净化问题，工作分两个方面：从捷克国产矿石及岩石中筛选天然吸附剂，用以去除放射性废水中 Sr^{90} ， Cs^{137} 等长寿物质的污染；以烧结处理过的硫酸钡吸附含钙废水中微量钡、镭等物质。

选择天然吸附剂，应注意三个因素：选择性吸附能力，吸附容积，吸附剂的物理状态。在筛选几百种天然吸附剂的过程中，他们发现原生矿石不如次生矿石好。在各种硅酸盐矿石中以凝灰石等火成岩吸附性能较好，特别是对 Cs^{137} 。

对 Sr^{90} 的吸附，选用硫酸钡与硫酸钙在 $1000^{\circ}C$ 以上高温下烧结后再结晶，对含 Ca^{++} 溶液可吸附 Sr^{90} ，对 Ra 更好。硫酸钡对 Sr^{90} 的吸附作用，已应用于减少动物机体对 Sr^{90} 的吸收方面的实验工作。

对于 Ru^{106} 、 I^{131} 可以先还原，再处理。含盐量不超过 0.3 M 时认为影响不大，可用硅酸盐；如 $Na^{+} > 10^{-2} M$ 则不合用。含有机酸的废水可不进行无机化，动物性废水要经过曝气池、生物滤膜分解、无机化后再处理。铀矿水要考虑铀的化合物成分，还要考虑 Ra、Po、Pb 等各铀系物质的含量，因此未经处理不能直接排入河流。布拉格 Vltava 河排放标准为： $\beta < 3 \times 10^{-10} C/L$ （其中 $Sr^{90} < 10\%$ 一昼夜的绝对量 $< 90 \mu C$ ，反应堆第一回路水按苏联设计进行常规处

理：正常情况下每三周經過一次滤膜（用 Zerolite, Allsion，兩

年換一次滤膜。处理过的水循环使用。电渗析法与滤膜合用較好，用于核潜艇。但含盐量 $< 10^{-3} M$ 时不值得，因耗电量太大。

（二）輻射剂量方面：

核子所 Behouneh 院士领导的輻射剂量研究室研究绝对标准化的工作（对已知浓度的放化純的同位素，或强的已知能譜成分的同質性輻射束），也测量小量或低浓度的未知的放射性同位素，低剂量率不同种类的輻射或不同質大梯度的輻射坊等。此外还研究居民生活环境的放射性以及高剂量测量方法等。

放射卫生所的保健物理室研究氦的肺組織吸收剂量等工作。全片計数装置正在建立中。

（三）放射化学方面：

（1） Sr^{90} 的测定是沿用文献中的方法：硝酸法， $\beta\gamma$ 测定法，硫酸盐法。最近捷克骨中 Sr^{90} 平均含量：老年人 $1.54 PC/g.Ca$ 小儿（包括死产） $6.1 PC/g.Ca$ 。今年开始測牛奶中的 Sr^{90} 。

（2）鈾、鈾、鈾、碘大都根据文献方法。

（3）目前正在利用层析法建立生物样品中 Cr^{51} ， Mn^{54} ， Ca^6 ， Fe^{59} 的测定方法。

（4）鐳测定法：射气法

原理为将有罐内污染的病人的呼气在低温下以硅胶吸附，然后加温硅胶，将吸附之氡释出，在电离室中测定。装置见附图。吸气用本底很低的老空气。吸气先经冷凝管及放有干冰（ -90°C ）的玻璃容器，去除水分；然后通过 $\text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 及 P_2O_5 以去除 CO_2 及微量水分。再将仅有氮，氧，少量 O_2 的呼气通入包以液氮（ -198°C ）的硅胶管中（不锈钢管含75毫升硅胶）。吸附氡的硅胶并温至室温， N_2 ， O_2 逸出，通至射气仪（Cr1-M）在水浴中加热到 60°C ，20分钟，硅胶中氡排至电离室（先以油泵形成负压）。射气仪以标准镭源标定。（ 1×10^{-9} 克 Ra 标准源，由 IAEA 供给）全部测定约需4小时。

