

Radio Protector (1)

堀 江 重 美

ま え が き

1930年～1954年の間に死亡した82,441人の医者についての調査によると、その中の **radiologist** は、そうでない医者より5.2年も短命に終わっていた。**radiology** の専門家ではないが、放射線にさらされねばならなかった医者は、専門家程ではないにしても、やはり多少短命であった。このような短命の原因は、明に **ionization radiation** にさらされた事であるとされている。¹⁾

戦時中以後、原子力関係の研究が盛んとなるにつれ、それに伴って経験された障害についても、多数の報告がある。²⁾³⁾⁴⁾ この様な障害は、その防除に関連して、材料、設備、装置、操作技術等の面での予想される進歩にも拘らず、原子力の平和利用の発展普及に伴って、今後も増加するものと思われる。**T. C. Evans**⁵⁾ は、「大学に於ける防護手段」と題した論文の中で、障害を防除する最善の方法は、厳しい訓練と、危険から自らを守るための細心の自律自戒である、と云う意味の事をのべている程である。

放射線障害から人々を守るために現在最も広く行なわれている方法は、フィルムバッヂの着用である。このフィルムバッヂは、その人が一日中に受ける放射線量のインジケーターである。人々はこれによって、一日の放射線受容量が許容量を越えない様に注意する事ができ、従って、放射線障害から守られる。

併し、この方法は如何にも消極的である。加之、現代の放射線障害には、このような方法では防ぎ難いものもある。こうして、所謂 **radio protector** への要望が生れてくる。この要望は極めて切実なもので、少くとも国家計画の

中では、原子力の平和利用についての研究と相併行さすべきであると考えられている。

われわれは、放射性降下物と云う厄介な問題に面当している。降下物の人体に及ぼす危険性や、降下量の今後の推移については、人によって見解の相違もあるかも知れないが、孰れにしても、本質的に危険である事は明であり、危険性の問題の中には、未解明で、而もその解明のためには長年月を要するものもあり、更に又、降下量が今後急速に減少するという確実な保証もなく、却って、降下物による直接間接の人体汚染度が、遠からず許容量を超える可能性が予想されるとなると、われわれとしては用心する以外に手はなく、用心のための最大の頼みの綱は、**radio protector** 以外にはなき相である。確実な **radio prosector** がありさえすれば、実験用原子炉設置場所の問題も、あれ程までには関係市民の神経を刺激しないですんだかも知れないのである。

放射性降下物を始めとする放射性物質による障害は、現代の **radiation damage** の重大な特徴であると云っても良いであろう。従来は、放射線そのものによる障害が大部分で、電源を切るとか、室を出るとかの簡単な方法によって、障害の源泉である放射線から解放される事が出来たが、放射性降下物は、呼吸により、直接汚染により、或は飲食物を通じて体内に浸入し、定着し、夫々の半減期に応じて、長期間にわたって放射線を放射し続ける。この様な場合には、放射線そのものによる障害を除去する方法だけでなく、放射性物質を体内に定着滞溜させない方法、体内に定着したものを排出させる方法が必要になる。**radio protector** は、本来は予防薬で、所謂 **radio sickness** の治療薬とは別種のもつとされているが、上記の様な予防兼治療薬は、**protector** として重要な地位を占める事になると思われる。残念乍ら詳細を知る事は未だ出来ないているが、**in view of current trends towards adding chelating agents to food products...**⁶⁾ とあるのは、この種の **protector** の事である。

所謂 **radiation damage** の本態や発現機構は、殆んど全く未解明の様で

あるが、放射線の化学的作用に於て最も重要な役割を果しているのは、酸素の存在下に於ける放射線照射によって、水分子から生成される **free active radicals** であるという考えが、広く流布されている。**radio protector** の作用機構も、まだ不明と云う外ない様であるが、この様な **free active radicals** と結合し、これを反応系から隔離する事によって細胞機能を保護すると云う仮説が、従来最も広く流布されて来た。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ が **radio protector** として有効なのは、その還元性に因る事が一般に認められて居り、この種の **protector** による酸素の奪取は、細胞外の **medium** に於てだけでなく、細胞内部の酸素にまで及ぶ⁷⁾ 事も知られて居るが、この種の **protector** の場合は、酸素を奪取する事によって **free active radicals** の生成を抑止し、ひいては細胞を **radiation damage** から守ると説明する事も出来る。併し、**free active radicals** の捕獲説に対しては、後述する様に、最近有力な反論が提出された。

以上の様な理由から、**radio protector** の研究に当っては、理論的に物質を予想する事が出来ない。従来⁸⁾の報告で、雑多な物質が雑然と研究されているのはこのためである。

radio protector の研究方法としては、特定の **radiation injury** を採上げて、これに対する効果を吟味したものもあるが、多くは、**protector** 投与と致死量照射とを併施したのち、一定期間一例えば30日間一内の死亡数の変化を効力判定の基準にしている。従って、30日以内の死から救われた動物が、その後どの様な生命経過を辿るか、**protector** の効果が単に一時的な延命に過ぎないのか、それとも長期的、根本的なものであるかと云う事が問題になる。この様な長期観察の結果も、すでに若干報告されている。それによると、成功であった **protector** の効果は、多くは根本的と云える様で、**acute syndrome** の遅発、再発による死亡は、殆んど全くない様である。併し、悪性腫瘍等の様に、長期間の後に発病して慢性的な経過を辿る病気には、問題が残されている事が明である。又、遺伝子に於ける **radiation damage** に対しては、今日までの所、まだ見るべき成果はあげられていない様で

ある。

Bacq⁸⁾ は、大規模に使用されるために必要な **radio protector** の条件を、次の様に列挙している。

1. 注射によってだけでなく、摂取によっても有効である事
2. 他の予防法又は治療法の邪魔にならない事
3. 放射線の遺伝的障害に対しても有効である事
4. 毒性が出来るだけ少ない事
5. 合成が容易で安定である事

本稿では1955年の原子力平和利用国際会議議事録第十一巻; **Nuclear Science Abstracts**(1956, 1957)の外, **J. Biol. Chem.**; **Arch. Biochem. Biophys.**; **Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.**; **J. Bact.**; **Radiology**; **Nature** 等を中心として文献を集め、その概要を紹介する事にした。

I 還元性物質

酸素の分圧の高い状態下では、生細胞のX線感受性が強い事が、早くから知られている。筆者も、紫外線照射による青黴の変異株育成に当って、酸化型の **medium** の中では、普通の **medium** 中でよりも、著しく異った変異株の生じ易い事を経験した。

これとは逆に、**radio protector** として有効なものの中には、その効力をその還元性に帰せられているものがある。その代表的なものが $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ である。

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ は、**E. coli** の **radio protector** として特に有効である。この物質は、菌浮遊液中の酸素を奪取するだけでなく、菌体内の酸素をも奪取するか、又はこれを菌に利用不能の形に変える力を持っている。その作用は、窒素による酸素の置換よりも有効である。

或る物質が菌体によって代謝される際に、菌体内外の酸素を消費する事によって嫌気的条件を作り出す事が出来るならば、その物質は、**radio protector** として役立つ可能性を持っている訳である。

II Cysteine, Glutathione

cysteine は mice,⁵⁾⁷⁾ rat⁹⁾ の radiation damage の防護に有効である事が知られているが、その効力は比較的弱いともいわれている。⁸⁾ これらは、全身照射を行ない、且 survival rate を指標としての研究結果であるが、Hoffman¹⁰⁾ は、cysteine が rat の尾の紅斑の protection に著効を示す事を観察した。glutathione も mice¹¹⁾ その他に有効な事が知られている。glutathione は又、眼の radiation damage の protector としても有効であるが、特に網膜、lens capsule、及び虹彩に於て著しい¹²⁾とも報告されている。Patt¹⁷⁾ は、cysteine の持つ3つの group 中、carboxyl group は、radiation protection との関連に於ては重要でなく、NH₂ group は、cysteine に細胞透過性を与える点で重要であり、SH group は、reducing group であり、生物学的に活性であり、有害遊離基の acceptor となる等の点で最も重要であると考えた。Langendorff¹³⁾ も、cysteine の protective effect をその SH group に帰している。これ等の関係については Bacq¹⁴⁾ も報告している。

protector の作用が、initial radiation damage を抑制するものであるか、又は、損傷された組織の再生を促進するものであるかは問題であるが、cysteine の場合は前者であるとされている。¹⁵⁾ 併し Hartweg¹⁶⁾ によると、cysteine は、rat の bone marrow の primary radiation damage には protective effect を示さないが、cysteine 処置を受けた rat は、radiation damage からの再生が迅速且強力であり、この効果の原因は、high protection center の protection にある様であると述べた。

glutathione は、砒素入り粉乳事件の際、被害乳児の治療に卓効を示したと伝えられたが、体内に沈着した放射性物質に対して同様の卓効を期待する人もある。併し調査した範囲の文献では、その様な報告はまだ見当らなかった。

III Cysteamine, Cystamine

cysteamine (β -mercaptoethylamine) 及び cystamine は最も有効な protector の一つとされて居り、又最も良く研究されている。cysteamine は、X線照射に当って、mice,¹⁷⁾ rat,¹⁸⁾ E. coli 等に protective effect を示す。cysteine より5倍位有効であるが、これより毒性が強く、不安定で酸化され易く、窒素ガス中で保存されねばならぬ。

cysteamine の disulfide である cystamine は、cysteamine と同様に有効であるばかりでなく、これより安定で、合成が容易で、且毒性が少い。mice の外 rat にも有効である。

cysteamine の NH_2 group は、活性の大部分に関係がある。SH group も活性に関係があるが、thiuronium derivative は cysteamine と同様に有効で、而も毒性が少い。carbon skeleton のC数を一ケ以上ふやすと、activity が減少する。¹⁹⁾

cysteamine, cystamine は、他の種々の chemical protector と同様、照射前に投与する時（或は照射中に体中に存在する様にする時）有効で、照射後に与えても無効である。cysteamine, cystamine は、種々の器官に集積されるが、集積量は器官によって異り、sexual gland には集積されない。個々の器官に於ける集積量とX線に対する耐性強化作用との間に、比例関係があるか否かについては、今の所、肯定に対しても否定に対しても、直接的で而も確実な証明はないが、睪丸の radiation damage からの回復が、protector の投与を受けたものも、control 群のもの以上に速くではなかった事実、100% lethal dose の照射を受けた mice 又は rat が、遺伝的障害に対する protection を受けて居らず、且不妊症にかかっている事実（但し、照射前20分に pregnant mice に cysteamine を与えると、母体だけでなく、fetal mouse にも protective effect を示した。）²⁰⁾等から、protector はやはり、それが集積された器官の sensitivity threshold を高めると考えるべきであろう。

cysteamine, cystamine が充分効果を發揮するためには、所謂 **recovery factor—spleen, bone marrow** 等の中に存在する一の共働が必要である。**protector** による前処理と、**recovery factor** による後処理とを組合せた時、最大の効果が得られる。²¹⁾

MEA (mercaptoethyl amine) は、**intestine** に対して強い **protective action** を示す。MEA を与えたものは、**digestive tract** 全体を **shield** したものと同様の解剖所見を呈し、²¹⁾²²⁾ 初期の **drop period** に於ける体重低下が少くなる。

MEA は造血機能にも保護作用を示す。²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾

cysteamine, cystamine の **protective action**、及び、**recovery factor** によるその **promotion** の **mechanism** については 種々の説が発表されているが、確実な事はまだ不明と云う外ない様である。

従来最も広く流布されて来た仮説は、**radio protector** が、**radiation** によって水分子から形成される **active radicals** を捕獲して不活性にすると云う考えであるが、²⁷⁾⁷⁾²⁵⁾ Eldjarn et al²⁸⁾ は、cysteamine 又は cystamine が **biological medium** 中にある場合、**free active radicals** を不活性化する能力は、その **in vivo** に於ける **protective ability** を説明するには低すぎる。即ち、**active radicals** の不活性化は、**protective action** の一部ではあり得ても全部ではないと、この仮説を否定した。又、**radiation** による急性症候群が、**spleen, bone marrow** 等の若干の器官に特に強く現れる事実に着目して、**cysteamine, cystamine** の器官別集積状況を定量的に調べた結果、選択的集積の事実を認めはしたが、その量から見て、**protective effect** には重要な関係はないと判断した。

in vitro では、cysteamine, cystamine は、蛋白質及びそれより簡単な物質の **SH group** と著量の **mixed disulfide** を形成する²⁸⁾が、**in vivo** でも同様の事が認められる。(cysteamine は先づ酸化されて cystamine となり、このものが **protein** と結合する)。即ち、**mice** に与えた cystamine 又は cysteamine は、種々の細胞成分と反応する²⁹⁾が、この様な結合は、大部分

は蛋白質及び glutathione の様な物質との間で,³⁰⁾ 而もこれ等の物質の SH group との間の mixed disulfide linkage の形成によっている。Kolthoff³¹⁾ も、この mixed disulfide linkage の形成の重要性を明にした。radiation に対する optimal protection の時間、即ち投与後30分間、free form で存在する cysteamine の量は極めて僅かに過ぎず、蛋白質との結合は最大である。この広範な、併し一時的な両者の結合は、当然その protective ability に関係がある。蛋白質との結合度が、cysteamine も cystamine も同程度である事実は、この両者の protective ability が略々同等である事実と関係がないとは考えられない。cysteamine, cystamine 以外の、SH—又は SS—containing protective agents も、同様に反応するものと思われる。

Eldjarn は斯うして、protein-cysteamine (or-cystamine) disulfide linkage が、radio-chemically sensitive target として知られている protein の SH group を protect すると云う Bacq その他³²⁾⁷⁾ の仮説を、実際的に証明し得たと考えた。この様な実験結果から、細胞中で直接 protective に作用するのは、一般に考えられていたのと異って、cysteamine ではなくて cystamine—disulfide form—である。従って、SH group を含む物質の protective ability は、その物質の細胞膜透過性、細胞内での disulfide form への被酸化度、及び protein の SH group に対する親和力によって左右されると考えた。

β -amino ethyl iso-thiuronium (AET) も cysteamine と同様に有効であるが、毒性が強く、解毒剤との併用が必要である。dry state では空気中での酸化に強いが、水溶液ではやや不安定である。Benson et al³³⁾ は、AET は犬には無効である、と発表した。

IV アミン類

Alexander³⁴⁾ は、tyramine 及び tryptamine が mice に対する秀れた protector であると報告した。Langendorff³⁵⁾ も、種々のアミン類について実験した結果、有効なのは tryptamine のみであったと報告した。これらの

物質は, ethylamine group を持っているが SH group を持たない点で注目される。³⁶⁾

Bekum³⁶⁾ は, histamine, l-epinephrine, β -phenyl-ethyl-amine は, mice には有効であるが, 組織を使つての in vitro の試験では無効であると述べた。

V S 化合物

Bekum³⁷⁾ は, 多数の dithiocarbamic acid derivatives について研究した結果, 最も有効なのは NH_4 -dithiocarbamate で, dimethyl dithiocarbamate 及び diethyl dithiocarbamate はこれより稍劣る事を知った。

VI その他

1. 3-amino-1, 2, 4-triazole (AT)

Feinstein³⁸⁾ によると, AT は, 650 γ の X線照射の場合, mice に対して著しい protection を示したが, 750 γ では延命効果しか認められず, 1700 γ では無効であった。Feinstein 等は, radio protector として知られている azide や cyanide³²⁾³⁹⁾ が catalase inhibitor である⁴⁰⁾⁴¹⁾ 事, 及び, AT にも catalase 阻害作用のある⁴²⁾⁴³⁾ 事から, AT の radio protective effect を試験したものである。Friedberg⁴⁴⁾ は, 934 γ 照射の場合, mortality rate には著しい効果を認めなかったが, survival time の延長を認めた。

2. Ganglion blocking drugs

Graul⁴⁵⁾ は, ganglion blocking drug である pendiomide, buscopan, penthonium, tetraethyl ammonium chloride, 及び megaphen について, 急性症候群に対する protective 及び therapeutic effect を試験した結果, protective effect の余り強くない事を知った。Stender⁴⁶⁾ も, rat を用い, megaphen について同様の実験を行ない, 800~1000 γ の全身照

射 (X線) では中等度の延命効果を、600 γ では生存率の向上を認めた。

3. p-amino propiophenone

p-amino propiophenone の投与によって、致死量照射を受けた70匹の rat の中、22匹が6カ月以上生存した。が、これらの生存 rat には、6～16カ月の間に、種々の type の悪性腫瘍が発生した。同一期間中に、非照射 rat には悪性腫瘍の発生を見なかった事実、悪性腫瘍の発生率が、少数の rat の中で極めて高度であった事実、発生した腫瘍の type が、自然の状態では見られる事の稀なものであった事実等から、これ等の悪性腫瘍は全身照射に原因するものであると結論した。⁴⁷⁾ Salerno et al は、⁴⁸⁾ p-amino propiophenone が、cysteine や MEA の protective action を強化すると述べた。

4. cortisone

Braun⁴⁹⁾は、cortisone は被照射 rat の survival rate に全然影響を与えないと述べたが、Marz et al⁵⁰⁾は、rat に 100mg の cortisone を与えると Cs の排泄が増加するが、50mg では却って減少すると報告した。

Suchowsky⁵¹⁾は、desoxycorticosterone acetate を全身照射直後、又は1時間前に rat に与えると、suprarenal gland の cortex に於ける dehydrogenase 活性を protect し、その分泌機能を protect する事、desoxycorticosterone enanthate を全身照射の5日前に与えても、同様の効果のある事を認めた。

5. morphine, N-allylnormorphine

Andrews⁵²⁾は、X線照射前の morphine 又は nalorphine の単独投与は、28日間の死亡数を著しく減少させると報告した。

6. polyvinyl-pyrrolidone

Parr et al⁵³⁾は、periston "N" の様な低分子量の polyvinyl-pyrrolidone が、mice の postirradiation syndrome に好結果をもたらす事を知った。その効果は軽微ではあったが、この物質の radiation produced toxin に対する wash out 効果を信じさせるに足るものであった。高分子量のもの

のには効果がなかった。

7. Na-diphenylhydantoin (Dilantin R)

Laird⁵⁴⁾によると, dilantin R は, mice に於ける hyperacute radiation syndrome に対して有効であった。

8. azulon

Barth⁵⁵⁾ は, azulon がX線による skin injury の予防に有効であると報告した。

9. carbohydrate

種々の hexose 及び pentose は, rat 及び mice の x-ray sensibility に無影響であるが, pyruvate, oxy-butyrate, 及び keto-glutarate は抵抗力を増大させる。⁵⁶⁾

References.

- 1) S. Warren : J. Am. Med. Assoc., 162, 464—8 (1956).
- 2) J. F. Loutit : Brit. J. Radiol., 28, 647—50 (1955).
- 3) S. B. Osborn : Ibid, 28, 650—4 (1955).
- 4) E. A. Hathway and A. J. Finkel : Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955, Vol. 11, p. 362.
- 5) T. C. Evans : Radiology, 65, 875—83 (1955).
- 6) J. N. Stannard and H. Haydon : Nucl. Sci. Abst., 10, 412 (1956).
- 7) H. M. Patt : Physiol. Rev., 33, 35—76 (1953).
- 8) Z. M. Bacq : Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955, Vol., 11, p. 332.
- 9) H. M. Patt, B. E. Tyree, R. L. Straube and D. E. Smith : Sci., 110, 213 (1949).
- 10) D. Hoffman : Strahlentherapie, 96, 396—402 (1955).
- 11) W. H. Chapman, C. R. Sipe, D. C. Eltzholtz, E. P. Cronkite and F. W. Chambers : Radiology, 55, 865 (1950).
- 12) A. A. Swanson, H. W. Rose and J. I. Taube : Arch. Ophthalmol. (Chicago), 57, 832—9 (1957).

- 13) H. Langendorff, R. Koch and U. Hagen : *Strahlentherapie*, 100, 137—41 (1955).
- 14) Z. M. Bacq and A. Herve : *Bull. Acad. Roy. Med. Belg.*, 6/17, 13 (1952).
- 15) H. M. Patt, S. H. Mayer, R. L. Straube and E. M. Jackson : *J. Cell and Comp. Physiol.*, 42, 327 (1953).
- 16) H. Hartweg : *Strahlentherapie*, 100, 259—68 (1956).
- 17) Z. M. Bacq, A. Herve, J. Lecomte, P. Fischer and J. Blairer : *Arch. Int. Physiol.*, 59, 442 (1951).
- 18) G. Lambert, J. Maisin and M. Mandart : *C. R. Soc. Biol. (Paris)*, 146, 1434 (1952).
- 19) D. G. Doherty and W. J. Burnet, Jr. : *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, in press.
- 20) R. Rugh and H. Clugston : *Sci.*, 123, 28—9 (1956).
- 21) J. Maisin, H. Maisin and A. Dunjic : 2nd Radiology Symposium, Liege 1954 : Butterworth's Scientific Publications, London, 154 (1955).
- 22) J. Maisin, H. Maisin and A. Dunjic : *C. R. Soc. Biol. (Paris)*, 148, 1293 (1954).
- 23) J. van Lancker and J. Maisin : *C. R. Soc. Biol. (Paris)*, 147, 2057 (1953).
- 24) H. Betz and L. Fruhling : *C. R. Soc. Biol. (Paris)*, 144, 1013 (1950).
- 25) E. P. Cronkite, G. Brecher and W. H. Chapman : *Proc. Soc. Exptl. Biol. N. Y.*, 76, 396 (1951).
- 26) R. L. Rosenthal, L. Goldschmidt and B. I. Pickerling : *Am. J. Physiol.*, 166, 15 (1951).
- 27) Z. M. Bacq and P. Alexander : *Fundamentals of Radiology*, London (1955).
- 28) L. Eldjarn, A. Pihl and B. Shapier : *Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Geneva, 1955, Vol. 11, p. 335.
- 29) L. Eldjarn and O. Nygaard : *Arch. Internat. de Physiol.*, 62, Fasc. 4, 476—86 (1954).
- 30) L. Eldjarn and A. Pihl : *J. Biol. Chem.*, 223, 341—52 (1956).
- 31) J. M. Kolthoff, W. Stricks and R. C. Kapoor : *J. Am. Chem. Soc.*, 77, 4733 (1955).
- 32) Z. M. Bacq and A. Herve : *Brit. J. Radiol.*, 24, 617—21 (1951).

- 33) R. E. Benson, S. Michaelson and J. W. Hawland : Nucl. Sci. Abst., 10, 786 (1956).
- 34) P. Alexander, Z. M. Bacq, S. F. Cousens, M. Fox, A. Herve and J. Lazar : Radiation Res., 2, 392—413 (1955).
- 35) H. Langendorff and R. Koch : Strahlentherapie, 98, 245—54 (1955).
- 36) D. W. van Bekkum and J. A. Cohen : Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955, Vol. 11, p. 330.
- 37) D. W. Bekkum : to be published.
- 38) R. N. Feinstein and S. Berliner : Sci., 125, 936 (1957).
- 39) Z. M. Bacq et al. : Sci., 111, 356 (1950).
- 40) H. Blaschko : Biochem. J. (London), 29, 2303 (1935) ; P. Rona, A. Fiegel, W. Nakahara ; Biochem. Z., 160, 272 (1925).
- 41) R. N. Feinstein : unpublished data.
- 42) W. G. Heim, D. Appleman and H. T. Pyform : Sci., 122, 693 (1955).
- 43) R. N. Feinstein, S. Berliner, F. O. Green : in preparation.
- 44) W. Friedberg : Proc. Soc. Exptl. Biol. Med., 93, 52 (1956).
- 45) E. H. Graul : Strahlentherapie, 100, 142—52 (1956).
- 46) H. S. Stender and Th. Hornykiewytsch : Ibid, 96, 453—7 (1955).
- 47) J. Brecher, E. P. Cronkite and J. H. Peers : Nucl. Sci. Abst., 10, 143 (1956).
- 48) P. R. Salerno, E. Uyeki and H. L. Friedel : Ibid, 10, 143 (1956).
- 49) R. F. Brown : Am. J. Roentogenol. Radium Therapy Nucl. Med., 75, 796—806 (1956).
- 50) F. Marz, M Le Noir, J. Pinajian and H. Patrick : Arch. Biochem. Biophys., 63, 73—6 (1956).
- 51) G. Suchwsky : Strahlentherapie 99, 577—82 (1956).
- 52) H. L. Andrews and E. J. Liliégren : Am. J. Physiol., 183, 322—4 (1955).
- 53) W. Parr, J. Kereiakes and A. Krebs : Nucl. Sci. Abst., 10, 566 (1956).
- 54) R. D. Laird and R. L. Fonner : Ibid, 11, 866 (1957).
- 55) G. Barth and V. Neff : Strahlentherapie, 101, 436—41 (1956).
- 56) H. Langendorff, R. Koch, W. Hagen and H. Scharnbeck : Ibid, 99, 121—8 (1956).