

电 离 辐 射 对 神 經 系 統 的 影 响

电离辐射对神经系統的影响

电离辐射对神经系统的影响

〔苏联〕 A. B. 列别金斯基 著
З. H. 娜希里尼兹卡娅
郭兆贵 李云霞 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

放射生物学是现代蓬勃发展起来的学科之一，关于神經系統对电离輻射作用的反应这部分知識，更是为人們所特別重視的問題。本书在实验性研究的范畴內，就輻射对神經系統的影响問題收集了大量的事实材料，并作出初步概括和理論探討。

本书不仅对放射生物学家有参考价值，而且也具有重要的生理學意义，可使我們从一个特殊的方面去解决神經系統生理學的某些爭論問題。

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА НЕРВНУЮ СИСТЕМУ

А. В. Лебединский, З. Н. Нахильницкая

Атомиздат, Москва 1960

电离輻射对神經系統的影响

郭兆貴 李云霞 譯

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印张 5 排版字数 131,000

1963 年 6 月第 1 版 1963 年 6 月第 1 次印刷 印数 1—3,000

統一书号 14119·1106 定价(十四) 0.88 元

目 录

引 言	1
第一章 电离辐射对分析器的影响	6
第一节 视觉分析器	6
视网膜	6
角膜	15
睫状体	17
房液	18
眼内压	18
晶体	20
第二节 听觉分析器	25
第三节 皮肤分析器	26
第四节 味觉分析器	29
第五节 嗅觉分析器	29
第六节 前庭分析器	29
第七节 内感受性分析器	31
第八节 疼痛反应	37
第二章 电离辐射对神经系统的影响	38
第一节 周围神经系统	38
第二节 中枢神经系统	44
脊髓	44
延脑	58
小脑	61
第三节 植物性神经系统	64
植物性机能的皮层调节状态	65
全身照射时植物性神经系统的机能状态	67
局部照射时植物性神经系统的机能状态	74

第四节 电离辐射对大脑皮层的影响	77
伦琴射线照射时的条件反射活动	79
放射性物质进入体内时的条件反射活动	95
利用脑电图法以判断大脑皮层机能状态的改变	99
高级神经活动类型在中枢神经系统机能状态改变中的作用	106
大脑皮层原来的机能状态在高级神经活动改变中的作用	111
重复照射时高级神经活动的改变	112
第五节 中枢神经系统内形态学改变的简要综述	117
第六节 大脑皮层机能改变的起因	120
第七节 电离辐射对胚胎及幼年动物神经系统的 影响	129
第八节 在电离辐射作用影响下血脑屏障通透性 的改变	135
第九节 脑血循环及颅内压	137
第十节 中枢神经系统内变化的本质	139
第十一节 在电离辐射影响下营养过程的障碍	150
结 论	156

引 言

关于电离辐射对神经系统的影响问题，当时曾经是放射生物学历史上一段戏剧性的插曲。

可以毫不夸张地说，伦琴射线对神经系统作用效应的发现，曾经给上一世纪末年及本世纪初的新兴科学一些充实了内容。及至放射生物学达到了极盛时期，这些发现就逐渐失去其实际地位而被遗忘了。而且与已经获得的材料相反，提出了神经系统对电离辐射不敏感的概念。直到近几年来，主要是由于苏联研究者的工作，关于神经系统参与机体对电离辐射的反应的概念，才在科学上占据了应有的地位，对这一发现的意义，绝不容许低估。它首先使我们得以对完整机体应答辐射作用所发生的反应的机制进行了分析。在关于神经系统参与这些反应的实验材料的基础上，有可能利用现代生理学的理论概念来解决放射生物学的问题，也就有可能认识这些反应的一系列具体机制。

回顾过去，现在不难理解科学史中有这段插曲的原因。其中主要原因是，证明中枢神经系统在电离辐射方面具有活动性的初步事实，是在研究机能变化的情况下获得的，而同时关于神经系统不敏感性的论点，却是根据神经系统对电离辐射作用的形态学反应的研究而得出的。应用研究机能方面的各种方法就可以解决各家观点中的矛盾，尤其是可以利用现代的、细致而准确的方法，首先是条件反射法。电生理分析操作的应用也起着重要的作用。

从现代放射生物学观点看来，关于神经组织的放射敏感性问题也已占应有地位。神经组织的稳定结构——神经元——实际上是有放射耐受性的；同时，极其重要的结构——突触装置——则对辐射作用表现了高度的敏感性。但是，近年来这种关于神经元相对不敏感性的假设的意义已大为缩小；原来，在其发展中已经固定

了的神經系統的各个結構是具有放射敏感性的，而正在发育中的神經元却对电离輻射的作用有更高的敏感性。

Д. Г. Шеффер(1936)获得的材料业已包含了这个事实，該材料表明，幼小动物的脑具有比較高的放射敏感性。在用蝗虫成神經細胞組織培养的实验中，确証了这个事实；該实验发现在伦琴射綫的影响下，成神經細胞的分化作用受到抑制。最后，这个原理在以輻射作用于正处在神經系統分化和发生的发育阶段的胚胎試驗中，也得到了証实。当剂量只不过是25伦时(兔实验)，常常就明显地出现神經系統发育的障碍，即神經組織发生显明而巨大的損害。

由此，再度揭露了神經系統对輻射作用的原发敏感性。此外，在电离輻射的影响下，体内出现了一系列的变化，而神經系統对这些变化是极其敏感的。这就是血管壁的障碍、脑血液循环及淋巴循环的障碍、顱內压的变化、大量內受納器的刺激，及其他許多继发地对神經系統产生强烈影响的因素。

精細地研究了神經系統参与輻射反应过程之后，我們发见这些过程的幅度异常宽广；在使用小剂量时，这些过程不很明显，并且迅速消逝，因之必須应用精細的研究方法才能发现它們。当剂量大大超过致死量时，研究者发现，在神經死亡的现象中，这些过程是所有其他过程中最主要的；从神經的发生上看，神經死亡乃是难免的。

电离輻射对中枢神經系統影响的最早实验性研究是И. Р. Тарханов (1896) 完成的。他在伦琴射綫对中枢神經系統影响方面所作的研究工作，具有极其重大的意义。这些工作对他來說并不是偶然的事情：作为謝巧諾夫的学生，Тарханов 卓越地提出了那时生物学中的生物物理学方向。对这位研究者來說，選擇这样的研究工作方法乃是合乎情理的。物理因素——光——对中枢神經系統状态的最早研究工作之一是他的同代人 Н. Е. 維金斯基完成的。維金斯基所应用的生理学对象，后来也为 Тарханов 所采用。

Тарханов 的实验可以归納如下：在研究伦琴射綫对青蛙及蝇类天然运动性活动的影响时，他发现在照射时动物活动受到了限



图1 И. Р. Тарханов

制。此后,他进行了研究照射对蛙酸反射影响的一些实验,发现了反射时间的延长。其次,用铅遮挡动物后(除一只脚爪外),没有发现受照射的和未受照射的脚反射时有任何差异,照射后反射时与照射前相同。Тарханов 据此得出结论:他所观察到的反射时的延长,决定于伦琴射线对中枢神经系统的作用。Тарханов 在继续研究伦琴射线对中枢神经系统抑制性作用的现象时,发现照射青蛙可以制止士的宁痉挛的发生。这个发现后来为 Д. А. Лапицкий (1935) 所证实。Тарханов 这些初步工作,不久后为许多研究者所继续,其中主要是 Е. С. Лондон(1903, 1904)。这位具有广泛专业素

养、对新事物敏感天赋的学者，献身于这项研究工作，正表明这一问题在科学上的特殊重要性。下述事实也说明这一点，即卓越的神經病学家 В. М. Бехтерев 为了这项研究工作敞开了自己实验室的大门；在他的领导下，他的助手 М. О. Жуковский (1903) 完成了自己的工作。

Лондон 用镭 (20 毫克) 辐射作用于小鼠头部，发现在照射后 1~3 昼夜内，发生一系列明显的中枢神经系统受损害的指征。首先出现萎靡征象，对机械性刺激的反射减弱，此后前肢开始瘫痪。Лондон 利用組織学技术研究动物中枢神经系统时，发现了大脑皮层内明显的变化。

Е. С. Лондон (1904) 随后的实验是试图利用镭制剂放在枕部附近以作用于枕叶来引起人的大脑皮层的兴奋。

在此之前数年 Edison (1896) 曾提到过，将手置于辐射源与眼之间，当闭上眼睛甚至将眼睛包扎起来时，能够看到手的活动。稍后，在没有晶体的检查者身上也描写过同样的现象 (O. Glasser, 1931)。这种视觉感受不仅可以解释为辐射对视网膜的直接作用，也可以用激发了眼介质的荧光现象来解释。Лондон 的实验排除了第二种可能性；实验的阳性结果似乎是说明了 γ -量子对可兴奋结构的直接作用。不管所获得的结果如何，而 Лондон 的旨趣原是试图发现辐射的兴奋作用的。

М. О. Жуковский (1903) 曾采用 В. М. Бехтерев 实验室所改良的方法测量狗大脑皮层的兴奋性。暴露大脑皮层表面后，Жуковский 将 10~15 毫克的镭制剂移近皮层表面，此时观察到大脑皮层兴奋性短时增高及随后的兴奋性下降现象。

С. В. Гольдберг (1904) 通过环钻孔照射狗的大脑皮层，发现照射后经过数天狗产生痉挛现象，以及某些瘫痪的表现。M. I. Danysz (1903) 的工作是在豚鼠和 1~4 个月的幼鼠身上进行的。在动物头颅皮肤或在脊柱部位的背部皮肤下引入含有 10 毫克镭盐的毛细管，由于照射的结果，小鼠发生瘫痪现象，瘫痪转为痉挛发作，后者导致动物死亡。在豚鼠身上也观察到类似的现象。

比較用不同年齡動物所獲得的實驗結果證明，幼年及較成熟的動物之間有着重大的差異，例如，年齡為1個月的小鼠在照射開始後經過3小時即已發生運動機能的障礙，出現癱瘓的徵象，7~8小時後痙攣發作，12~18小時後動物死亡。而在同樣實驗條件下，年齡為3~4個月的動物，則經過3~4晝夜才死亡。1歲及年齡更大的小鼠其生命延續時間更長。

由此可見，早在本世紀初年，許多研究工作者就已獲得了說明中樞神經系統的放射敏感性的事實。在評價電離輻射對中樞神經系統的作用後果時，可以得出如下結論：神經組織的基本特性——興奮性——明顯的發生改變，其次，因為中樞神經系統機能狀態改變而導致機體產生的某種後果也甚明顯。從事放射生物學研究的各創始者的實驗就曾證明動物運動機能發生障礙。

Д. Г. Шеффер 的著作是關於電離輻射對神經系統影響的早期專著之一，該書總結了涉及這個問題的研究工作，並報導了作者本人的實驗結果。該書記載了受照射動物出現無力、活動限制、共濟失調步態和食物興奮性降低現象，這些現象都是在倫琴射綫作用後經過數天發生的。Д. Г. Шеффер 曾着重指出：這些現象幼年動物比成年動物發生得早，並且其經過情況也較為嚴重。

在中樞神經系統尤其是其高級部位的生理學範圍內應用現代研究方法，是探索電離輻射對中樞神經系統影響的研究工作中最重要的发展階段。這不但能夠詳細而準確地研究電離輻射影響下中樞神經系統機能狀態的變化，而且能夠闡明其生理學本質。在這方面傑出的功績應屬於 М. И. Неме́нов，他引起了巴甫洛夫及其學生對這個問題的注意，並且首先採用條件反射的方法來測定電離輻射對大腦皮層作用的後果（М. И. Неме́нов, П. С. Купалов 等）。

從這些研究過程中所積累起來的材料相當豐富，單是這一點就需要及時地將積累的實驗材料加以系統化。研究神經系統對輻射作用的反應問題甚為必要，已理所當然地成為當前放射生物學家注意的中心。

第一章 电离辐射对分析器的影响

与周围环境中的其他物理因素比较起来,分析器在电离辐射方面是以一个令人意外的角色出现的。它们并不象报告周围环境的光亮状况、化学成分或机械状况的变化那样报告着放射性天然水平的变化。而同时,分析器机能状况的障碍在中枢神经系统受电离辐射作用而发生的那些变化的起因上,却具有重要的作用。从这一观点出发,应当认为分析器的机能障碍具有重要的意义。

来自某些外受纳器尤其是内受纳器方面的讯息 (Информация),在中枢神经系统机能状态发生障碍的起因上,有着重要的作用。在这两种情况下,都是由于冲动进入的结果;而这些冲动是由于在照射作用的影响下,组织发生变化的结果而引起的。

辐射对分析器影响的特点之一是,辐射的作用是既在分析器的中枢部分,也在受纳装置方面实现。不仅如此,在许多情况下,还发现受纳器的辅助性结构的损伤,如眼的光学装置,眼球的血液供应等。

第一节 视觉分析器

在一定剂量的电离辐射作用于视觉器官时,可以发现视觉器官各部分均发生变化。

视 网 膜

在电离辐射影响下,视网膜内出现一系列变化。重要的一类变化涉及到视网膜最重要的机制,即光觉受纳器和包含在杆状细胞外端的光敏物质——视紫质。

视紫质 似乎很早就已证实,视紫质对伦琴射线的作用具有

高度的耐受性,而同样也很早就提出了如下的假定,即应用2~45兆伦的大剂量时(F. Himstedt, 1900)可能使视紫质发生一定的改变。

用剂量为3千伦及300千伦照射视紫质的洋地黄皂甙溶液后,未发现色素有明显的褪色现象。剂量为10及300千伦照射视网膜杆状细胞末端部分的混悬液后,结果相同,同时,也没有发现混悬液的提出液中视紫质浓度有任何明显的下降。用3千伦剂量照射暗适应的蛙眼,未导致视紫质含量降低。当剂量为3千伦照射明适应蛙眼时,也不妨碍在暗处视紫质随后的恢复。

然而,当干燥视紫质受到相当于5000千伦剂量的电子作用时,电离辐射能引起视紫质的褪色作用,如同通常在视紫质漂白过程时所发生的一样,照射后溶液光谱的天蓝色部分的吸收增加。

视紫质对照射作用的耐受性原因是:由于某些不明原因,蛋白质的巯基团(SH)不能受到照射时所形成的那些少量的过氧化物的作用(I. C. Peskin, 1955)。

关于辐射对视紫质的影响问题曾成为L. E. Lipetz (1955)专门研究的课题。他证明了,用能量为190兆电子伏特的氘核(总剂量约为 5×10^5 物理伦琴当量)作用于暗适应蛙视网膜时,未能获得视紫质的褪色现象。在能量为40兆电子伏特的 α -粒子的作用影响下,此时作用于蛙视网膜中央的剂量约为 3×10^9 及 16×10^6 物理伦琴当量,发生了视紫质褪色现象,但同时视网膜也已经发生了显著的改变,而且在照射过程中,视网膜还可能受到加热作用。

应用伦琴射线进行的实验已证明,在剂量约为1000千伦时,暗适应视网膜的颜色才发生显著的变化,所以不能用组织的加热来解释。

很早以前,根据眼睛受镭制剂作用的影响产生光感的实验,推测到在电离辐射对眼的作用影响下,可能发生视网膜的兴奋现象(M. Curie, 1947)。证明伦琴射线作用于眼时发生光感的早期观察之一,是G. Brandes及E. Dorn(1896)所完成的(依Г. Хартридж)。

现在,能够对放射性光幻视(Радиофосфен)进行观察,似乎是

无可爭辯的事实了 (E. C. Лондон, 1904; H. Bornstein, R. Pape 和 I. Zakovsky, 1953; R. Pape 和 I. Zakovsky, 1954, 1955; L. E. Lipetz, 1955; 以及 Ц. М. Авакян 和 В. А. Туманян, 1956)。

不久以前, Л. В. Хуродзе (1955) 曾试图测定不同波长 ($0.01 \sim 1.93 \text{ \AA}$) 的伦琴射线及 γ -射线的力学作用的剂量强度阈值的大小。当伦琴射线作用于双眼视网膜时, 有空間视觉所特有的现象出现。

伦琴射线在眼内不折射, 也不引起眼介质发荧光; 因此, 光的感觉(放射性光幻视)产生, 应当是伦琴射线对网膜感光成分的作用。当眼睛处在暗适应的情况下, 这些感光成分直到周围边缘都是对辐射敏感的。

在刺激的持续时间小于 2×10^3 秒的条件下, 伦琴性刺激持续时间的长度与它的阈强度的乘积是一个常数 (R. Pape, 及 I. Zakovsky, 1954)。按照不同作者的测定结果, 引起光幻视 (фосфен) 所必需的照射剂量的阈值略有差异。据 R. R. Newell 及 W. E. Borley (1941) 的测定, 阈值大小为每 1 平方毫米视网膜 $0.5 \sim 1.4$ 伦/分, 据 Pape 及 Zakovsky 测定, 约为 0.5 毫伦。随着暗适应过程中眼的敏感性的升高, 其阈值下降。

Lipetz 所进行的计算证明, 杆状细胞和锥形细胞层此时吸收约 10^4 γ -量子。人的视网膜视紫质所吸收的伦琴射线能量数值与可见光能量数值之间的比例 (两种形式能量均按其阈值计算) 为 85:1 及 1360:1 之间。如果这一比例是正确的话, 那么, 被照射网膜吸收的 γ -量子的阈值便过高了, 因为, 现代的视觉的量子学说认为, 一个 γ -量子能量的可见光就足以引起光感了。

根据 Lipetz 的资料可以推测, 眼睛在电离辐射作用的影响下, 光感现象的产生是由于视紫质分子兴奋的结果, 即由于光化学反应。下述实验结果可作为这一原则上很重要的原理根据。

当伦琴射线以短时接连不断的方式作用于眼时, 记录蛙视网膜单一神经节细胞的电反应发现, 细胞内发生放电现象, 此时可以观察到: (1) 通电效应; (2) 辐射作用的时候出现放电现象及 (3) 断电效应, 也就是说, 可以观察到与可见光作用于视网膜时这一系

統所特有的电反应相同的各个成分。比較视网膜伦琴性反应及光反应的閾值的改变,和它們的潜伏期的长短,以及某些其他方面的比較,可作出肯定的推测,即不同的刺激物作用于同一个系統——视网膜感光成分(图2, 3),这一想法为上面已提到过的事实所証实,即在电离輻射对视网膜作用影响下,視紫质发生褪色的光化学反应。

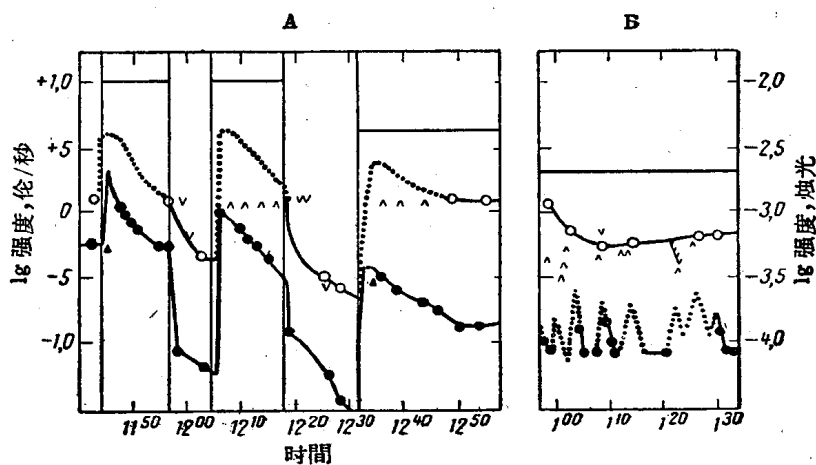


图2 光刺激及伦琴射线作用时,蛙(*Rana catesbiana*)视网膜节细胞断电效应的閾强度。通电效应的刺激时间为5秒,断电效应的刺激时间为10秒(Lipetz)。

光刺激: ●—閾刺激 ▲—閾下刺激
x-线刺激: ○—閾刺激 △—閾下刺激
V—閾上刺激

照明强度用粗水平线表示,連續的和断續的连接各点的线表示閾值的变化。

本图証明在对明适应之后的恢复期內应用两种刺激时,閾值的变化是同一类型的。

对伦琴射线来说,使視紫质发生褪色作用的剂量与引起视网膜兴奋作用的剂量之比为 $12 \times 10^6:1$; $200 \times 10^6:1$ 及 $100 \times 10^6:1$ 。当应用閾剂量的伦琴射线时,視紫质內吸收 $2 \times 10^{-8} \sim 8 \times 10^{-8}$ 尔格/平方厘米,比光作用于眼时小 0.5~160 倍。这与下述事实相符,即电离輻射比光量子具有更高的能量。但是,在电离輻射影响

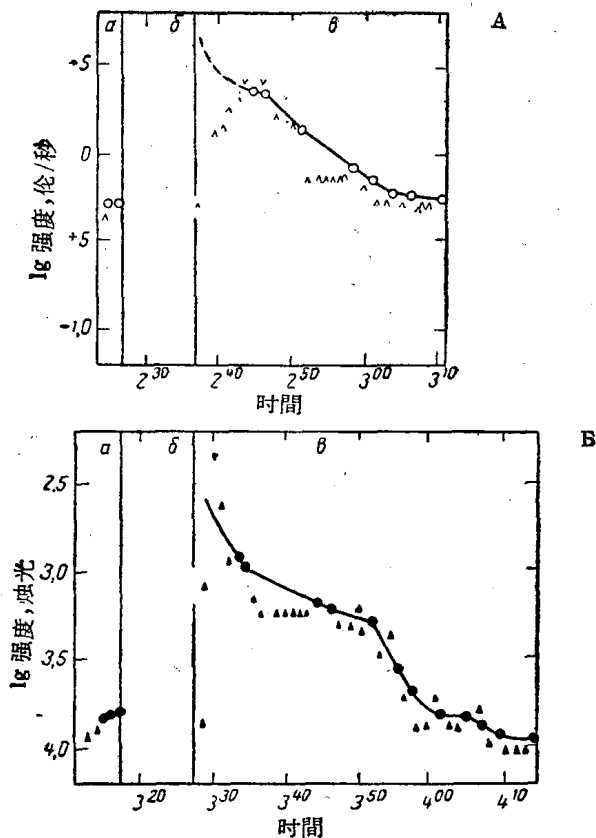


图3 光刺激(B)及伦琴射线作用(A)时,明适应及暗适应对蛙视网膜节细胞断电效应阈值的影响。通电效应刺激时间为5秒,断电—60秒(Lipetz)。

光刺激: ●—阈值 ▲—阈下刺激 ▼—阈上刺激
x-射线刺激: ○—阈值 △—阈下刺激 ▽—阈上刺激
连接各点的连线表示阈的变化, a—预先暗适应; 6—对7.6
烛光明适应10分钟; B—暗适应。

本图说明在应用两种刺激物时阈值的变化是同一类型的。

下,除了视紫质内发生光-化学反应外,对视网膜也还可能其他的兴奋性影响,这就是神经元细胞膜通透性的变化。从这一观点出发就可以解释光与伦琴射线对视网膜的兴奋作用存在的某些差异(参见 Lipetz, 1955)。对在电离辐射影响下所观察到的视网膜电图的变化进行评价时,必须考虑到这点。

最早研究在伦琴射线影响下视网膜的电反应者为 F. Hims-
tedt 及 W. A. Nagel(1902)。他们在记录角膜与眼后极间的电动
势时,观察到在伦琴射线的影响下电动势的波动。此种反应在处于
暗适应情况下的动物身上(其视网膜中杆状细胞占多数)表现得甚
为明显。

Б. П. Калашников (1955, 1956) 在研究 Co^{60} γ -射线作用于兔
眼时,观察了网膜电图的变化,并确定了照射剂量 2500~3000 伦
时,网膜电图有明显的改变。这些变化表现为开始时网膜电图各成
分略为加强,随后(第 14~18 昼夜)网膜电图各波降低。当剂量为
4~6 千伦时,照射后第 2~4 昼夜网膜电图就已经发生显著的降
低;在剂量为 8~10 千伦照射的情况下,发生迅速和不可恢复的网
膜电反应的消失现象。当用与伦琴射线同样剂量强度的 Co^{60} γ -
射线照射时,后者对视网膜电图的效应较不明显(Б. П. Калашников,
1957)。

А. Б. Цыпин (1956) 也曾进行过关于在电离辐射影响下网膜
电图变化的类似研究。当照射剂量为 1000 伦时,在作用的头几分
钟内兔视网膜电图的“b”波降低,随后恢复(虽然不是完全的恢
复)(30~60 分钟),以及“C”波变平坦,该“C”波在许多情况下为负
波。

V. Elenius 及 E. Sysimetsa (1957) 研究了伦琴射线作用时
人眼视网膜内的电现象。观察是在一些老年性内障及结核性虹膜
睫状体炎的病人身上进行的。测量工作是在暗适应的条件下进行
的,此时当用光刺激时记录视网膜电图。比较在伦琴射线及光刺
激时所获得的视网膜电图表明,这两种情况下的潜伏期相同,“b”
波增长时间也一致,视网膜电图发生变化的阈剂量在不同的人为
0.5~0.85 伦。

近来有不少关于将放射性同位素加在视网膜上时视网膜电图
发生变化的实验材料。Г. Г. Демирчоглян, Г. Т. Адунц 及 Ц. М.
Авакян (1957) 的实验业已证实,给暴露的离体蛙眼加入一滴 P^{32}
($\text{Na}_2 \text{HP}^{32}\text{O}_4$) 就可以引起视网膜机能特性的明显改变,此种改变

可从网膜电图反映出来。在加入辐射物之后,經 10~15 分钟,眼对照明的电反应完全消失。

給家兔靜脉注射放射性为 1.7×10^{-6} 及 4×10^{-7} 居里/克的放射性同位素 P^{32} 总是先引起視网膜电图抑制,經過 4~7 昼夜又显著增强,然后視网膜电图变为正常;进而視网膜电活动再一次加强,視网膜电图又再一次正常起来。

指出这点是重要的,即視网膜电图的变化比可能观察到的周围血象的变动出现得早 (Г. Г. Демирчоглян 及 Р. И. Погосян, 1957)。

不久以前,Демирчоглян 曾报导了将放射性 Sr^{90} 的溶液(0.06 毫升,放射性为 10^{-4} 微居里/毫升)注入蛙眼球时視网膜电图的变化。紧接在注入之后,在“b”波降低的同时,出现“a”及“d”波的加强。数分钟后,視网膜电图各个成分的电位均减低。 Sr^{90} 的初期效应特点与光照暗适应眼时所观察到的现象相似。对这些实验結果进行最后的評價須謹慎,問題在于,作为放射性物质溶媒的試剂,加到視网膜时,它本身就可以引起視网膜电图的变化,如同在放射性同位素影响下所发生的变化一样。

Н. М. Трунова 研究了将最小量的放射性物质直接放在視网膜表面时視网膜电图的变化。但是将一滴含有放射性 0.015 及 0.7 微居里的 Sr^{90} 滴在眼上时,視网膜电图并不改变。当我們將金属 Y^{90} (照射网膜的剂量相当于 20~250 微居里的放射性)直接接触巩膜时,也沒有观察到視网膜电图的变化。

在电离辐射作用影响下所发生的視网膜电图的变化可能在后来回复原状。用剂量 1000~1500 伦照射兔眼,經過 1 个半月,視网膜发生电反应的潜伏期恢复至原有数值;但是“b”波的电位仍然較低,而且其基底部略加宽。經過 2 个月后就看不出視网膜电图有明显的变化 (В. М. Абдулаева, 1957)。

在評述电离辐射影响下所发生的网膜电图变化的起因时,必須考虑到网膜中所出现的障碍,尤其是杆状及錐形細胞层內的障碍。当对家兔作全身照射,如腹部、头部及单只照射眼睛时,若剂