

TADEUSZ RUDNICKI

WZGLĘDNA SKUTECZNOŚĆ BIOLOGICZNA PROMIENI β FOSFORU 32

I. PORÓWNANIE BIOLOGICZNEGO DZIAŁANIA PROMIENI β P^{32} I PROMIENI X NA JAJECZKA *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Z Zakładu Fizyki Lekarskiej A. M. w Poznaniu

Wszystkie odczyny biologiczne w tkankach żywych poddanych działaniu promieni jonizujących są spowodowane jonizacją. Nasilenie odczynu popromiennego zależy od wydajności czynnika jonizującego; miarą tej wydajności jest jonizacja właściwa wyrażająca się liczbą par jonów na jednostkę drogi cząstki jonizującej.

Różnice w jonizacji właściwej są wśród wielu różnych czynników fizycznych i biologicznych najważniejszą przyczyną wybitnych niekiedy różnic ilościowych w odczynach biologicznych. Fakt ten nasunął konieczność stworzenia miary porównawczej pozwalającej w wygodny i prosty sposób porównywać ze sobą ilościowo odczyny popromienne po zadziałaniu jednakowych dawek różnych rodzajów promieniowań jonizujących. Ma to znaczenie nie tylko teoretyczne, ale i praktyczne w przypadku konieczności zastąpienia jednego rodzaju promieniowania innym, np. w radioterapii skórnej promieni X, promieniami β jednego ze sztucznych izotopów promieniotwórczych.

Próba stworzenia takiej miary jest jednostka względna zwana względną skutecznością biologiczną (WSB). Jednostkę tę wprowadził *Quastler* określając nią stosunek dawki promieniowania rentgenowskiego (D_x) do dawki badanego promieniowania (D), powodujących analogiczne odczyny biologiczne.

$$\eta = \frac{D_x}{D} \quad [1]$$

Współczynnik η *Quastler* nazwał współczynnikiem skuteczności.

Aby uniknąć różnic w interpretacji wartości liczbowej współczynnika η *Quastler* proponował jako wzorzec promieniowania promienie X o energii odpowiadającej napięciu anodowemu 200 kV. Nieco później *Cohen* zapro-

ponował jako źródło wzorcowe o wartości $\eta=1$ promienie γ radu filtrowane przez 0,5 mm Pt.

Jak wynika z obfitego piśmiennictwa, którego zestawienie można znaleźć w podręczniku *Bacq'a* i *Alexander'a* biologiczne działanie różnych typów promieniowań porównywano z działaniem promieni rentgenowskich w zakresie od 50—200 kV. Postępowanie takie, jakkolwiek utrudniające w pewnym stopniu porównywanie ze sobą wyników różnych badań, jest usprawiedliwione z dwóch względów: 1) jak wynika z prac *Gray'a* oraz *Cormack'a* i *Johns'a* różnice w jonizacji właściwej promieni rentgenowskich w zakresie 25—200 kV są niewielkie i nie przekraczają $\pm 10\%$; 2) wydaje się słusznym dla celów praktyki porównywanie działania biologicznego badanego promieniowania z takim promieniowaniem rentgenowskim, które może być tym promieniowaniem zastąpione, np. promienie γ kobaltu-60 lub promieniowanie elektronowe w zakresie wielu MeV z twardym promieniowaniem rentgenowskim, a promieniowanie β sztucznych izotopów promieniotwórczych z miękkim promieniowaniem X.

Uzależnianie ilościowych różnic w odczynach biologicznych wyłącznie od liczby par jonów wzdłuż jednostki drogi cząstki jonizującej nie daje należytego wyobrażenia o wielkości pochłoniętej przy tym energii. W związku z tym wprowadzono tzw. liniowy współczynnik ubytku energii wyrażający się w elektronowoltach na jednostkę długości, równy w przybliżeniu iloczynowi jonizacji właściwej i energii jonizacji.

Zależność pomiędzy skutecznością biologiczną promieniowania, a liniowym ubytkiem energii nie jest proporcjonalna. Wykazał to *Zirkle*; promienie X 200 kV wykazują skuteczność biologiczną 1,4 razy większą niż promienie X 24 MeV, podczas gdy liniowy ubytek energii wyzwolonych przez nie wtórnych elektronów jest 10 razy większy.

Znaczenie liniowego ubytku energii dla ilościowych różnic w przebiegu odczynu popromiennego wynika jasno z porównania skuteczności biologicznej promieni X 23 MeV i promieni β fosforu 32 względem promieni X 200 kV, badanej za pomocą odczynu skór nego u szczura. WSB promieni X 23 MeV wynosi w przybliżeniu 0,56 (*Haas, Harvey, Laughlin*). Tę samą w przybliżeniu wartość WSB przyjmuje się dla promieni β fosforu 32. Fakt ten znajduje uzasadnienie w tym, że liniowy ubytek energii wtórnych elektronów promieni X 23 MeV i promieni β fosforu 32 niewiele się między sobą różnią. Tłumaczy to brak wyraźniejszych różnic w działaniu biologicznym obu promieniowań i jest przekonującym dowodem zależności między nasileniem odczynu popromiennego a liniowym ubytkiem energii.

W ostatnim czasie utrwalił się pogląd (*Seeman*) i (*Gärtner*), że różnice ilościowe w odczynach popromiennych mogą wystąpić nawet wówczas, gdy w jednostce objętości tkanki zostaną pochłonięte identyczne ilości energii. Odczyn biologiczny w takim przypadku może zależeć nie tylko od

ilości pochłoniętej energii, lecz także od dróg jej rozprzestrzeniania się w tej objętości. Ten punkt widzenia znajduje uzasadnienie na gruncie założeń pośredniej teorii działania promieni jonizujących. Zgodnie z tą teorią zmiany biologiczne odpowiedzialne za efekt popromienny nie muszą wystąpić w miejscu absorpcji energii; efekt absorpcji energii może być przenoszony na dalsze odległości. Czynnikiem odpowiedzialnym za to są produkty radiolizy wody — rodniki — układające się koncentrycznie wzdłuż toru cząstki jonizującej i działające w przestrzeni kształtu walca, którego oś stanowi tor cząstki.

Promień tego walca zależy od prędkości dyfuzji rodników i średniego czasu ich rekombinacji. Średni czas rekombinacji rodników wytworzonych przez promienie α i inne promienie gęsto jonizujące (o gęstości jonizacji powyżej 200 jon/ μ) jest bardzo krótki w związku z czym zasięg dyfuzji jest nieznaczący. Dlatego działanie biologiczne cząstek α , szczególnie w środowiskach obfitujących w wodę ogranicza się tylko do bezpośredniego sąsiedztwa ich śladów.

Dla promieni cechujących się małą gęstością jonizacji stosunki przedstawiają się inaczej. Liczba rekombinacji rodników w jednostce czasu jest mniejsza, gdyż mniejsza jest ich koncentracja i układ przestrzenny rodników jest bardziej jednorodny. Dzięki temu zasięg dyfuzji jest stosunkowo duży. Rozprzestrzenianie energii w napromienianej objętości wybitnie może się różnić od tego jakie ma miejsce po napromienianiu promieniami o dużej gęstości jonizacji. Mimo, że ilość pochłoniętej energii w danej objętości jest ta sama, różne dawki pochłonięte w poszczególnych elementach rozpatrywanej objętości mogą być przyczyną niejednakowych odczynów biologicznych ze strony tej objętości jako całości.

Obok gęstości jonizacji oraz czynników bezpośrednio lub pośrednio z nią związanych WSB zależy od natężenia promieniowania oraz od mocy dawki.

W zakresie konwencjonalnego promieniowania X pierwotne procesy radiochemiczne nie wykazują wyraźnej zależności od natężenia promieniowania, gdyż odległości między torami wtórnych elektronów są zawsze większe niż odległości między poszczególnymi aktami jonizacji. Przy bardzo dużych natężeniach sytuacja ulega zmianie. W generatorach dających impulsową emisję elektronów albo promieni X, energia elektronów jest zwykle rzędu kilku MeV, w związku z czym jonizacja właściwa jest nieduża. Oprócz tego, dzięki dużemu natężeniu promieniowania koncentracja rodników w jednostce objętości jest dostatecznie duża, ażeby doszły do głosu procesy rekombinacyjne sprawiające, że skuteczność biologiczna promieniowań o dużym natężeniu jest względnie niższa niż tegoż promieniowania o małym natężeniu [5]. Nie jest to jednak regułą — istnieje szereg sprzecznych ze sobą spostrzeżeń. To samo dotyczy wpływu mocy dawki

na WSB. Np. wiadomo, że WSB prędkich neutronów w porównaniu z promieniami X lub γ zmniejsza się ze wzrostem dawki [20]. Z drugiej strony wiadomo, że współczynnik wydajności przyjmuje bardzo małe wartości przy małych mocach dawki i przy małych dawkach w warunkach długotrwałego napromieniania. Zagadnienie zatem jest nierozwiązane i w ogóle skomplikowane.

Źródłem złożoności tego zagadnienia jest to, że żywa tkanka jest układem dynamicznym, pozostającym w ustawicznej przebudowie i cechującym się żywą przemianą materii i zdolnością indukowania całego wachlarza odczynów naprawczych zmierzających do usunięcia lub zmniejszenia uszkodzeń popromiennych. Stan fizjologiczny i fizykochemiczny obiektu w momencie napromieniania i po napromienianiu odgrywa wybitną rolę w przebiegu odczynów popromiennych. Z tego względu rozpatrywanie zagadnienia WSB z punktu widzenia samych tylko fizycznych czynników jest niewystarczające.

Równie duże znaczenie mają różne czynniki biologiczne i środowiskowe. Wśród nich na pierwszym miejscu należy wymienić niewątpliwie wpływ tlenu i obecności wody. Obecność tlenu w napromienianych środowiskach wodnych zmienia rodzaj wolnych rodników powstających podczas jonizacji wody, prowadząc do reakcji popromiennych wybitnie różniących się od odczynów w środowisku ubogim lub pozbawionym tlenu. Wpływ tlenu zaznacza się niezależnie od rodzaju obiektu biologicznego i badanego odczynu, przy czym jest on znacznie wyraźniejszy w odniesieniu do promieni X i γ , aniżeli promieni cechujących się dużą gęstością jonizacji.

WSB różnych typów promieniowań może też zależeć w znacznym stopniu od temperatury otoczenia w momencie napromieniania, co związane jest prawdopodobnie z nasileniem procesów przemiany materii w napromienianym obiekcie i w związku z tym z wahaniami wrażliwości obiektu na działanie promieni jonizujących. Na ogół promienie jonizujące wykazują większą skuteczność w temperaturach wyższych. Wyjątek stanowią szybkie neutrony, które w niskich temperaturach są 30—40% skuteczniejsze niż w temperaturze pokojowej [20].

Wrażliwość obiektu biologicznego na napromienianie, a tym samym skuteczność działania danego promieniowania jest uwarunkowana stanem fizjologicznym obiektu w momencie napromieniania i po napromienianiu. Z tego powodu na WSB mogą mieć wpływ takie czynniki jak aktualny stan odżywienia, w szczególności stany głodowe ustroju lub komórki oraz wiek ustroju, co wiąże się również z kwestią niejednakowej radioczułości.

Mnogość czynników fizycznych, biologicznych i środowiskowych, warunkujących nasilenie i przebieg odczynów popromiennych sprawia, że WSB najczęściej zmienia się w zależności od wybranego obiektu, a nawet jest różna w zależności od rozpatrywanego odczynu u tego samego obiektu.

Np. WSB neutronów względem promieni X u muchy owocówki jest różna w zależności od wybranego testu [1]:

| test | n : X |
|----------------------------------|---------|
| mutacje letalne związane z płcią | 0,6 : 1 |
| „ „ dominujące | 2,0 : 1 |
| „ „ po małych dawkach | 73 : 1 |
| „ „ po dużych dawkach | 48 : 1 |

Wobec dużej zależności WSB od szeregu czynników biologicznych i środowiskowych zachodzi konieczność badania jej przy ścisłym zachowaniu zawsze tych samych warunków doświadczenia.

WSB PROMIENI β FOSFORU 32

Fosfor 32 jest ze względu na swe własności fizyczne izotopem, który w radioterapii z powodzeniem może zastąpić promienie rentgenowskie w zakresie 15—100 kV, wykazuje przy tym zalety, które w szeregu przypadków pozwalają uzyskać lepsze wyniki lecznicze niż przy użyciu konwencjonalnego promieniowania X.

Praktyczne zastosowanie fosforu 32 w leczeniu wymaga ustalenia norm dawkowania energii, do czego warunkiem koniecznym jest znajomość WSB promieni β tego izotopu.

Badania doświadczalne WSB promieni β fosforu 32 są nieliczne. *Stapleton* i *Zirkle* porównywali działanie biologiczne promieni β P³² z działaniem promieni γ Ta¹⁸¹ na jajeczka *Drosophila melanogaster* i nie stwierdzili wyraźniejszej różnicy. Na takim samym materiale biologicznym *Zirkle*, porównując działanie promieni β P³² i promieni X 200 kV stwierdził mniejszą skuteczność biologiczną promieni β ; współczynnik skuteczności równał się 0,64. *Seeman* i współprac., posługując się odczynem popromiennym skóry u królika uzyskali współczynnik skuteczności nieco mniejszy niż 0,5, przy czym porównywali działanie promieni β P³² z działaniem promieni X 120 kV i 200 kV. Podobnie *Kirby-Smith* i *Daniels*, badając częstość występowania aberacji chromosomów w pyłkach *Tradescantia* stwierdzili, że WSB promieni β P³² wynosi 0,5 w stosunku do promieni X 60 kV.

Ze względu na ubogi materiał doświadczalny oraz rozbieżności w ocenie wartości liczbowej współczynnika skuteczności uznaliśmy za celowe przebadanie WSB promieni β P³² na kilku obiektach biologicznych.

DANE ODNOŚNIE NAPROMIENIANIA I DAWKOWANIA

Badania przeprowadzono przy użyciu:

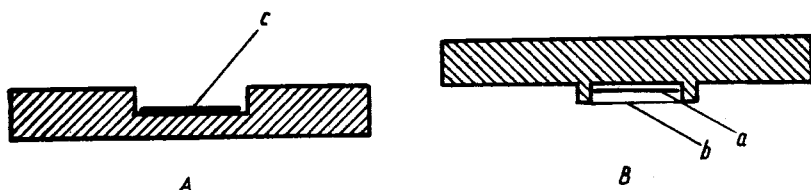
1) promieni X 70 kV, 3 mA, filtr 1 mm Al; moc dawki mierzona w powietrzu wynosiła 55 r/min., przy odległości obiektu od ogniska — 21 cm). Pomiary dawek wykonano przy pomocy dawkomierza Victoreen. Porównywaliśmy działanie promieni β z promieniowaniem rentgenowskim 70 kV, gdyż uważamy, że chcąc stosować fosfor 32 do napromieniania zmian chorobowych skóry powinno się porównywać jego działanie z promieniowaniem mającym zastosowanie w skórnej radioterapii.

2) promieni β P^{32} ; stosowano aplikatory suche uzyskane po odparowaniu soli Na_2HPO_4 . Moc dawki 50—60 rep/min.

Problem dawkowania promieni β jest skomplikowany. Moc dawki obliczyliśmy teoretycznie sposobem obowiązującym w ośrodkach radioizotopowych w ZSRR [18]. Posługiwaliśmy się wzorem:

$$P = 18 \sigma n k \text{ rep. min.}$$

gdzie: σ oznacza aktywność powierzchniową aplikatora; n — wielkość wynikająca z teorii, określająca stosunek zasięgu maksymalnego cząstek β do efektywnej drogi



Ryc. 1. A — miseczka. B — aplikator. Aplikator promieni β . a — źródło promieniowania; b — warstwa pokrywająca (celofan); c — jajeczka.

Fig. 1. A — plate. B — irradiating device. Irradiating device; a — source of rays; b — cover (cellophane); c — eggs.

właściwej maksymalnej liczbie cząstek β w danym widmie promieniowania. Dla aplikatorów fosforowych $n = 1$; k — poprawka na absorpcję i samoabsorpcję. Wartości k są stabilizowane w zależności od gęstości powierzchniowej warstwy radioaktywnej i grubości warstwy pokrywającej użytej do zamknięcia aplikatora (celofan).

Jajeczka napromieniano w specjalnie przygotowanych miseczkach z pleksiglasu (ryc. 1A) wysłanych bibułą filtracyjną. Aplikator promieni β (ryc. 1B) wykonany był również z pleksiglasu, przy czym jego wymiary i kształt były dostosowane do wymiarów i kształtu miseczki. Podczas napromieniania odległość źródła promieniowania od napromienianych jajeczek wynosiła 1—2 mm. Ponieważ odległość ta jest znikomo mała w porównaniu z zasięgiem cząstek β P^{32} w powietrzu, przeto pochłaniania w tak cienkiej warstwie można było nie brać pod uwagę.

Identyczne miseczki służyły do napromieniania promieniami X.

PORÓWNANIE BIOLOGICZNEGO DZIAŁANIA PROMIENI X I β FOSFORU 32 NA JAJECZKA MUCHY OWOCÓWKI

Jajeczka muchy owocówki (*Drosophila melanogaster*) stanowią klasyczny obiekt badań radiobiologicznych, nadający się szczególnie do badań porównawczych. Jest to obiekt mały (długość 0,5 mm), o dużej wraz-

liwości na wszelkiego rodzaju promieniowanie, odznaczający się dużą cząsową jednorodnością i dający się gromadzić w dużej ilości. Ilościowe badania biologiczne na jajeczkach *Dr. m.* wprowadził po raz pierwszy *Packard* w 1926 r. Badacz ten posługiwał się jajeczkami w wieku 0—3 godz. i stwierdził niezależność odczynu popromiennego od długości fali użytego promieniowania (w zakresie 0,22—0,68 Å), w związku z czym proponował użycie jajeczek *Dr. m.* do dawkowania biologicznego promieni jonizujących. W 1954 r. *Glocker* po raz drugi wystąpił z podobną propozycją [10]. Opracowana przez *Packarda* metoda badań ilościowych polegała na zbieraniu jajeczek przez dwie godziny w związku z czym odchylenia wieku jajeczek w jednym zbiorze wynosiły ± 1 godz. Jak się okazało w toku badań nad biologią *Dr. m.* zbiór jajeczek o tak dużych odchyleniach wieku nie przedstawia zbioru biologicznie jednorodnego.

Jajeczko *Dr. m.* jest embrionem, który w ciągu 22 godz. przekształca się w żywą, zdolną do samodzielnego życia, larwę. Jest ono zatem organizmem pozostającym w stanie intensywnego rozwoju co sprawia, że wrażliwość jego na napromienianie zmienia się z godziny na godzinę, a nawet w ciągu niewielu minut. Z tego względu *Fritz-Niggli* [7] zapoczątkowała w 1955 r. zbieranie jajeczek do badań radiobiologicznych tylko przez 30 min. dzięki czemu odchylenia wieku nie przekraczają ± 15 min.

METODYKA

Do kilku dużych naczyń szklanych zawierających kilka tysięcy osobników muchy owocówki wkładano małe płytki *Petriego* z pożywką składającą się z agaru, cukru, drożdży i mąki żytniej z odrobiną węgla zwierzęcego, powodującego intensywne czarne zabarwienie pożywki, ułatwiające zbieranie jajeczek. Powierzchnię pożywki zwilżano sokiem z fermentujących owoców. W ciągu 30 min. na powierzchni pożywki samice składały 80—200 jajeczek. Jajeczka przenoszono wilgotnym pędzelkiem na krążki czarnej bibuły filtracyjnej o średnicy 1 cm. Na krążku takim znajdowało się zwykle 80—100 jajeczek. Krążki z jajeczkami umieszczano w cieplarni w temperaturze 25°C przy zachowaniu możliwie stałej wilgotności powietrza.

Napromienialiśmy jajeczka w wieku 1 i 3 godz. z odchyleniem ± 15 min. Jajeczka takie przedstawiają względnie różne obiekty biologiczne; 1-godzinne są bardzo wrażliwe na działanie promieni jonizujących, 3-godzinne natomiast względnie odporne [16], [6, 8]. W ten sposób chcieliśmy uzyskać możliwie szeroki wgląd w badany odczyn popromienny.

Może się zdarzyć, szczególnie przy niedostatecznym żywieniu, że samice *Dr. m.* zatrzymują przez pewien czas zapłodnione jajeczka w drogach rodnych. Takie późno złożone jajeczka psują jednorodność czasową całego zbioru, w związku z czym nie powinny być one brane pod uwagę. Wyodrębniano je ze zbioru drogą liczenia wykluć jajeczek po upływie 18 godz. od momentu rozpoczęcia ich składania.

Ostateczne liczenie niewykluć jajeczek przeprowadzano 48 godz. po rozpoczęciu ich składania. Liczono przy pomocy specjalnie przystosowanego mikroskopu z górnym oświetleniem, przy 25-krotnym powiększeniu.

Z każdym napromienianym zbiorem jajeczek przygotowywano w identycznych warunkach zbiór kontrolny, nienapromieniany, składający się ze 100—200 jajeczek, pozwalający na określenie samoistnej śmiertelności jajeczek, którą odliczano od śmiertelności popromiennej. Samoistna śmiertelność wahająca się wyraźnie w zależności od wielu czynników środowiskowych, kształtowała się na poziomie 5—12%.

Tabela 1. Wyniki napromieniowania jajeczek *Dr. m.* w wieku $3 \pm 1,4$ h, promieniami X w dawce 1400 r.

Table 1. Results of irradiation of *Dr. melanogaster* eggs $3 \pm 1,4$ hrs. old with X-rays in 1400 r. doses.

| L.p. | Liczebność zbioru 1) | N | N_x | x | $x - \bar{x}$ | $(x - \bar{x})^2$ |
|------|----------------------|-----|-------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 127 | 106 | 51 | 48,1 | -12,9 | 166,4 |
| 2 | 90 | 67 | 52 | 77,6 | 16,6 | 275,5 |
| 3 | 125 | 106 | 80 | 75,4 | 14,4 | 207,3 |
| 4 | 110 | 92 | 45 | 48,8 | -12,2 | 148,8 |
| 5 | 120 | 103 | 38 | 36,8 | -24,2 | 585,5 |
| 6 | 120 | 105 | 80 | 76,1 | 15,1 | 228,0 |
| 7 | 100 | 86 | 65 | 75,9 | 5,2 | 27,0 |
| 8 | 90 | 75 | 31 | 41,3 | -19,7 | 378,0 |
| 9 | 120 | 105 | 86 | 81,9 | 20,9 | 436,8 |
| 10 | 100 | 70 | 41 | 58,5 | - 2,5 | 6,3 |
| | | | | 610,7 | $\Sigma = 2459,7$ | |
| n=10 | | | | $\bar{x} = 61,0\%$ | $\sigma = 15,6$ | |

N — liczba jajeczek stanowiących podstawę obliczenia, po odliczeniu samoistnej śmiertelności i jajeczek późno złożonych.

N_x — śmiertelność popromienna.

x — śmiertelność pojedynczego zbioru w procentach.

\bar{x} — procentowa śmiertelność całej próby.

σ — odchylenie standartowe.

N — the number of eggs used for the calculations after discounting spontaneous deaths and late-deposited eggs.

N_x — postirradiation mortality; x — mortality within a single crop in per cent.

\bar{x} — mortality within the entire sample in per cent.;

σ — standart deviation.

Crop numerosness 1).

Ogółem przebadano około 40 000 jajeczek po 1000—1200 sztuk dla każdej dawki promieni. Napromieniano w dawkach wzrastających w zależności od wieku:

wiek 1 godz. ± 15 min.: 25, 100, 200, 300, 400, 500, 600 r (rep).

wiek 3 godz. ± 15 min.: 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 r (rep).

Celem porównania działania biologicznego promieni X 70 kV i promieni β P^{32} wykonano dla zbiorów w zależności od wieku krzywe skuteczności dawki, przedstawia-

jące śmiertelność jajeczek jako funkcję dawki, po czym metodą graficzną określano dawkę LD₅₀.

Obliczono średnią śmiertelność (\bar{x}) jajeczek dla poszczególnych dawek i wyrażano ją w procentach ogólnej liczebności próby (n), która dla poszczególnych dawek obejmowała 10—12 zbiorów zawierających przeciętnie po 100 jajeczek.

Dokonano analizę statystyczną znamienności uzyskanych wyników.

Średnie odchylenie kwadratowe (standartowe) — σ będące miarą rozrzutu statystycznego obliczano wg wzoru:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}} \quad [3]$$

gdzie: \bar{x} — średnia śmiertelność próby w procentach;

x — procentowa śmiertelność pojedynczego zbioru;

n — liczebność próby; równa liczbie zbiorów.

Tab. 1 podaje sposób obliczania danych wzoru [3] na przykładzie próby składającej się z jajeczek w wieku 3 godz. \pm 15 min. napromienianych promieniami X w dawce 1400 r.

Ze względu na to, że wartości średnie w próbach napromienianych identycznymi dawkami obu użytych rodzajów promieni niewiele się między sobą różniły, na ogół

Tabela 2. Zestawienie wyników napromieniania jajeczek *Drosophila melanogaster* w wieku 3 godz. \pm 15 min. *)

Table 2. Results of irradiation of *Drosophila melanogaster* eggs, 3 \pm 1/4 hrs. old. *)

| Dawka w r. (rep) 1) | promienie X 70kV 2) | | | | promienie β P-32 2) | | | | d | σ_d | t | t ₁ | k |
|---------------------------|---------------------|---------------|-----------------------|------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|------|------------|-----|----------------|----|
| | n_x | $\bar{x}_x\%$ | $\sum(x-\bar{x})_x^2$ | σ_x | n_β | $\bar{x}_\beta\%$ | $\sum(x-\bar{x})_\beta^2$ | σ_β | | | | | |
| 600 | 11 | 14,9 | 876,0 | 8,9 | 12 | 11,5 | 688,9 | 7,6 | 3,4 | 8,6 | 0,9 | 2,5 | 21 |
| 800 | 10 | 22,4 | 783,9 | 8,8 | 11 | 21,0 | 1148,9 | 10,2 | 1,4 | 10,1 | 0,3 | 2,5 | 19 |
| 1000 | 10 | 31,7 | 2646,6 | 16,3 | 9 | 26,5 | 2094,9 | 15,2 | 5,2 | 16,7 | 0,6 | 2,5 | 17 |
| 1200 | 10 | 51,8 | 2636,3 | 16,2 | 12 | 40,6 | 5823,9 | 22,0 | 11,2 | 20,6 | 1,4 | 2,5 | 20 |
| 1400 | 10 | 61,0 | 2459,7 | 15,6 | 10 | 50,0 | 2195,2 | 14,8 | 11,0 | 16,4 | 1,4 | 2,5 | 18 |
| 1600 | 10 | 66,2 | 1173,8 | 10,8 | 10 | 62,8 | 3124,9 | 17,7 | 3,4 | 15,4 | 0,5 | 2,5 | 18 |

x) Objasnienia w tekście.

x) Explanations in the text.

Dose 1); Rays 2).

nie przekraczały odchylenia standartowego — konieczne było przeprowadzenie oceny istotności różnicy między wartościami średnich śmiertelności (x_x i x_β).

Aby przekonać się czy średnia \bar{x}_x różni się istotnie od średniej \bar{x}_β obliczaliśmy najpierw odchylenie standartowe σ_d w rozkładzie różnicy $d = \bar{x}_x - \bar{x}_\beta$ dzieląc sumę kwadratów odchyień od średnich w poszczególnych próbach przez liczbę stopni swobody $k = (n_x - 1) + (n_\beta - 1) = n_x + n_\beta - 2$, gdzie n_x i n_β oznaczają liczebności prób.

$$\sigma_d = \pm \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})_x^2 + \sum(x-\bar{x})_\beta^2}{n_x + n_\beta - 2}} \quad [4]$$

Następnie wykonaliśmy test „t” porównując uzyskane wartości t z wartościami t_1 z tablic [24]. Przyjeliśmy współczynnik ufności $\alpha = 0,02$.

$$t = \sqrt{\frac{n_x \cdot n_\beta (n_x + n_\beta - 1)}{n_x + n_\beta}} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2_x + \Sigma(x - \bar{x})^2_\beta}} \quad [5]$$

dla $t > t_1$ badane populacje, z których pochodzą próby różnią się pod względem średniej wartości badanej cechy.

dla $t \leq t_1$ różnice są nieistotne.

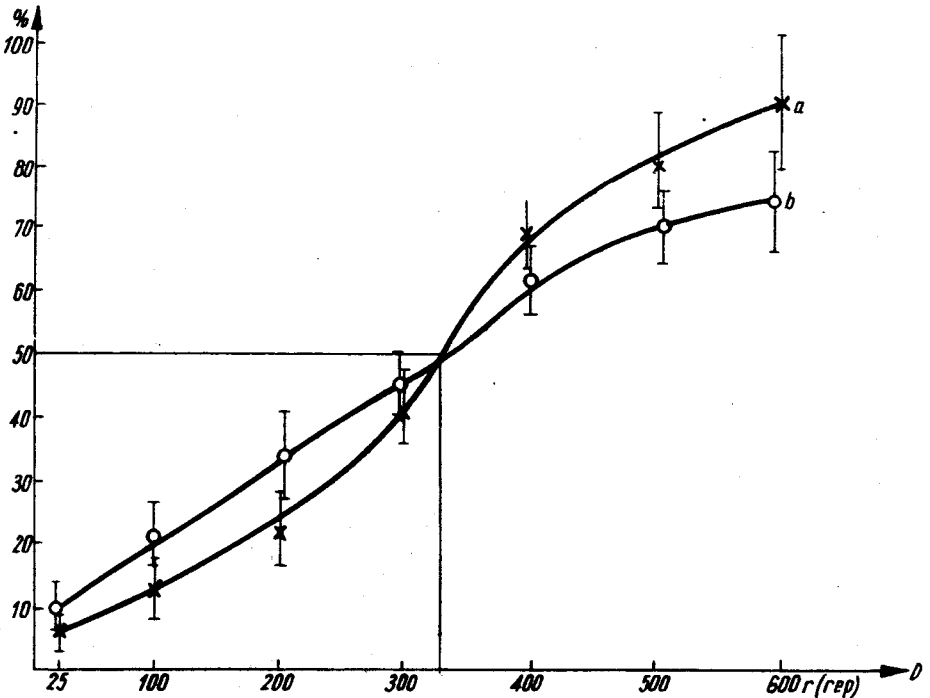
Przykładowe zestawienie materiału liczbowego pomiarów oraz analizy statystycznej podaje tab. 2.

Przykładowe zestawienie materiału liczbowego pomiarów oraz analizy statystycznej podaje tab. 2.

WYNIKI

Krzywe skuteczności dawek przedstawił na rycinach 2 i 3.

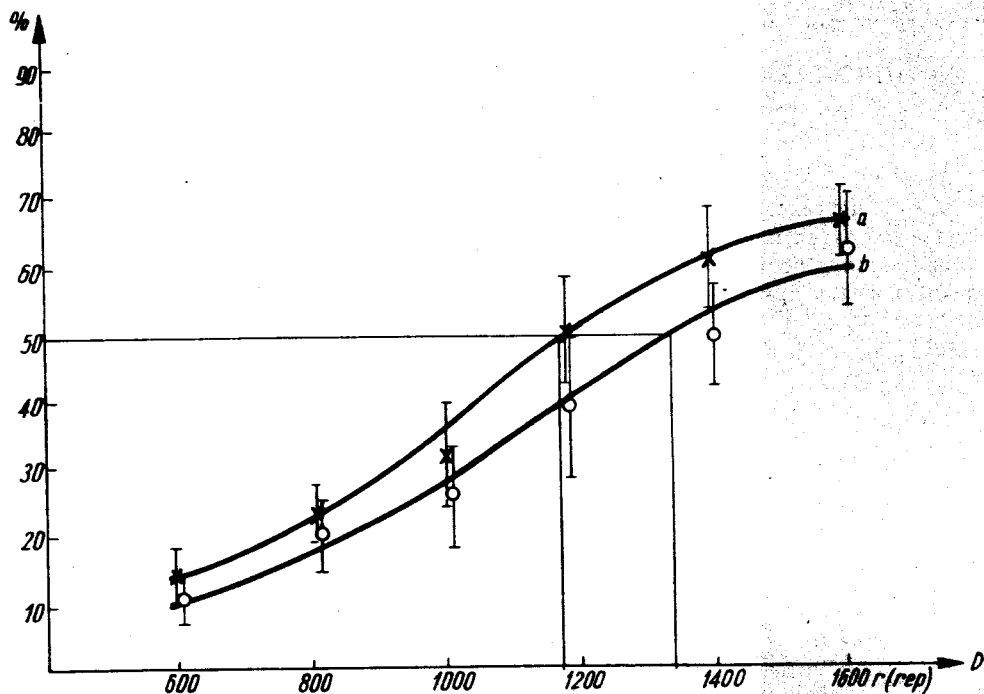
Z rycin wynika wyraźnie zależność badanego odczynu od wieku jajeczek. Jajeczka w wieku 1 godz. ± 15 min. są wrażliwe na działanie promieni



Ryc. 2. Krzywe skuteczności dawek promieni X (a) i βP^{32} (b) śmiertelność jajeczek *Drosophila m.* w wieku 1 godz. ± 15 min. jako funkcja dawki.

Fig. 2. Curves of the efficiency of X — (a) and βP^{32} — rays (b); Mortality of *Drosophila m.* eggs 1 $\pm 1/4$ -hr. old as a function of the dose.

jonizujących; krzywe skuteczności dawek wykazują stromy wzrost, przy czym uzyskano niemal 100-procentową śmiertelność po dużych dawkach. Zwraca uwagę dość duży rozrzut statystyczny wyników. Nie można stwierdzić wyraźniejszych różnic w działaniu biologicznym promieni X i β fosforu 32. Dawki LD_{50} powodujące śmiertelność 50% obiektów wynoszą dla użytych promieni 335 r (rep). Współczynnik skuteczności równa się 1,0.



Ryc. 3. Krzywe skuteczności dawek promieni X (a) i β P^{32} (b) śmiertelność jajeczek *Drosophila m.* w wieku 3 godz. \pm 15 min. jako funkcja dawki.
 Fig. 3. Curves of the efficiency of X — (a) and P^{32} β -rays (b); Mortality of 3 \pm 1/4-hr. old *Drosophila m.* egge as a function of the dosis.

Krzywe skuteczności dawek dla jajeczek w wieku 3 godz. \pm 15 min. wykazują bardziej płaski przebieg w związku z pewną odpornością na działanie promieni jonizujących. Również i w tym przypadku nie stwierdzono wyraźnej różnicy w działaniu biologicznym promieni X i promieni β fosforu 32. Widoczne na rycinie nieznaczne różnice mieszczą się w granicach błędu. Potwierdzono to również statystycznie. Stosując test „t” uzyskano we wszystkich przypadkach wartości t mniejsze od wymaganych dla przedziału o współczynniku ufności $\alpha=0,02$.

Można zatem przyjąć, że w warunkach charakteryzujących przeprowadzone przez nas doświadczenia nie ujawniły się różnice w działaniu biologicznym promieni X 70 kV i promieni β fosforu 32 na jajeczka *Drosophila*

melanogaster, zarówno dla jajeczek w wieku 1 godz. \pm 15 min. jak i w wieku 3 godz. \pm 15 min.

Podobne badania przeprowadzono na korzonkach grochu oraz na komórkach szczytowych kielków bobu. Uzyskane wyniki oraz ich omówienie zostały podane w osobnym doniesieniu.

T. Rudnicki

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕТА ЛУЧЕЙ ФОСФОРА 32

Содержание

Автор исследовал влияние физических и биологических факторов на биологическую эффективность ионизирующих лучей. Автор показывает результаты сопоставительных исследований, имеющих в виду определить биологическое действие рентгеновских лучей 70 кВ и бета лучей P³² на яичко *Drosophila melanogaster* в возрасте $1 \pm \frac{1}{4}$ и $3 \pm \frac{1}{4}$ часов. Разница в биологическом действии обоих примененных видов радиации не обнаружена.

T. Rudnicki

THE RELATIVE BIOLOGICAL EFFECT OF P³² β RADIATION

I. Comparison of P³² β radiation and X-rays as to their biological effects on *Drosophila melanogaster* eggs

Summary

The communication concerns the influence of physical and biological factors on the biological efficiency of ionizing radiation. It gives the results of comparative studies on the biological effects of 70 kV X-rays and P³² β radiation on *Drosophila melanogaster* eggs $1 \pm \frac{1}{4}$ and $3 \pm \frac{1}{4}$ hours old. No differences in biological effects were found between the two types of radiant energy.

PIŚMIENNICTWO

1. Backer E. v. Halle: Science, 1954, 119, 46.
2. Z. Bacq, P. Alexander: Grundlagen der Strahlenbiologie, Stuttgart 1958.
3. L. Cohen: Brit. Journ. Radiol. 1953, 26, 272.
4. A. Cormack, B. Johns: Brit. Journ. Radiol. 1952, 25, 369.
5. W. Dittrich, G. Schubert: Strahlenther 1953, 92, 532.
6. H. Fritz-Niggli: Fortschr. Röntgenstr. 1954, 80, 28.
7. H. Fritz-Niggli: Fortschr. Röntgenstr. 1955, 82, 178.
8. H. Fritz-Niggli: Oncologia 1954, 7, 78.
9. H. Gärtner: Strahlenther 1958, 107, 619.

10. R. Glocker: Strahlenther 1954, 93, 1.
11. L. Gray: Brit. Journ. Radiol. Supplem. 1947, 1.
12. L. Hass, R. Harvey, J. Laughlin: Amer. Journ. Radiol. 1952, 68, 644.
13. J. Hollcroft, E. Lorenz: Amer. Journ. Radiol. 1954, 72, 124.
14. R. Kepp, D. Hoffman, K. Müller, G. Ohlert: Arch. Geschwulstforsch 1954, 6, 311.
15. J. Kirby-Smith, D. Daniels: Genetics 1953, 38, 375.
16. H. Langendorff, K. Somermeyer: Strahlenther 1940, 67, 110.
17. Ch. Packard: Journ. Canc. Res. 1926, 10, 319.
18. Primienjenje radioaktywnowo fosfora dla leczenia kożnych zabołewanij — Moskwa 1955.
19. L. Quastler: Amer. Journ. Radiol. 1950, 62, 566.
20. N. Bora: wg H. Langendorffa: Atomkernenergie 1958, 3, 438.
21. W. Seeman, M. Ter-Pogossian, W. Ittner: Radiology 1955, 65, 260.
22. G. Stapleton, R. Zirkle: wg R. Snyder, W. Kisielewski: Radiology 1950, 54, 743.
23. R. Zirkle: wg Snyder, Kisielewski: Radiology 1950, 54, 743.
24. J. Krupiński, E. Gorzelak: Statystyka w służbie zdrowia, Warszawa 1957.

Otrzymano: 28. V. 1960.

Adres autora: Poznań, ul. Kraszewskiego 4 m. 9.