

OBSERVAȚII PE MARGINEA TEORIEI PUNCTULUI CALD

M. Olariu

Referitor la efectele care apar la interacțiunea radiațiilor nucleare asupra materiei vii, una dintre primele teorii este aceea emisă de *Dessauer* cu privire la absorbția de energie în structura iradiată. Conform acestei teorii absorbția de energie într-o structură relativ mică, cum ar fi de exemplu o singură macromoleculă organică sau o singură formațiune celulară, produce o ridicare locală de temperatură, astfel că structura respectivă apare ca un „punct cald”. După părerea unor autori (1) creșterea de temperatură care apare este suficient de mare pentru ca să inițieze o acțiune distructivă în locul absorbției, acțiune care la nivelul celulei vii ar duce eventual la modificări morfologice sau funcționale demne de luat în considerare.

Pentru a putea discuta asupra limitelor în care sînt valabile afirmațiile făcute, în cele ce urmează vom calcula ordinul de mărime al efectului, în ipoteza că structura iradiată nu schimbă căldură cu mediul exterior în intervalul de timp afectat pentru absorbția dozei respective. Mai precis, vom încerca să stabilim valoarea efectului caloric pentru cazul cromosomilor, acțiunea fiind formațiuni celulare considerate drept foarte radiosensibile (2, 3, 4).

În acest scop luăm spre exemplu cazul unei celule iradiată cu o doză de radiații γ avînd valoarea de 10^4 remi. Vom calcula în primul rînd variația de temperatură pe care o suferă o moleculă de ADN după absorbția acestei doze de radiație (nu facem calculul direct pentru cromosom, deoarece nu cunoaștem cu precizie masa acestuia). În acest scop trebuie să evaluăm energia în ergi primită de molecula de ADN. Aceasta se face ușor pentru că cunoaștem expresia dozei în renu (5):

$$B = \frac{\eta \cdot W}{100 \cdot m} \quad (1)$$

unde η — este coeficientul de eficacitate biologică care pentru radiații γ are valoarea 1;

m — este masa moleculei de ADN în grame;

W — este energia, în ergi, absorbită în molecula de ADN. Din (1) rezultă:

$$W = \frac{100 \cdot B \cdot m}{\eta} \quad (2)$$

După *Dawidson I N* (6) masa atomică a moleculei de ADN are valoarea $A = 5 \cdot 10^6$ unități atomice de masă. Cum $1 \text{ u.a.m.} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$, înseamnă că $m = 5 \cdot 10^6 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} = 8.3 \cdot 10^{-18} \text{ g}$.

Înlocuind în (2) obținem:

$$W = \frac{100 \cdot 10^4 \cdot 8.3 \cdot 10^{-18} \text{ ergi}}{1} = 8.3 \cdot 10^{-12} \text{ ergi} = 8.3 \cdot 10^{-19} \text{ jouli.}$$

Pentru a putea calcula variația de temperatură evaluăm această energie în calorii, ținând cont de echivalentul caloric al lucrului mecanic: $1 \text{ joule} = 0.239 \text{ cal}$.

Găsim:

$$W = 8.3 \cdot 10^{-19} \cdot 0.239 = 2 \cdot 10^{-19} \text{ cal.}$$

Socotind aproximativ căldura specifică la valoarea de 1 cal/g grad , variația de temperatură Δt apărută prin absorbția cantității de căldură W este:

$$\Delta t = \frac{W}{m} = \frac{2 \cdot 10^{-19}}{8.3 \cdot 10^{-18}} = 0.024^\circ \text{C.}$$

Așadar, în ipoteza dată, creșterea de temperatură înregistrată în molecula de ADN este numai de 0.024°C , chiar dacă doza avea valoarea considerabilă de 10.000 remi.

Pentru cazul unui cromosom, al celulei, sau al întregului organism, calculul se poate face la fel și se obține același rezultat (doza fiind definită pe unitate de masă).

Ca urmare a rezultatului, putem afirma că posibilitatea obținerii unei acțiuni destructive datorită creșterii de temperatură este exclusă.

Calculul de mai sus a fost făcut pe considerente de ordin macroscopic, ținându-se cont de relația clasică dintre doză și energie. Să încercăm să rezolvăm acum aceeași problemă trecând la scara microscopică. În acest caz va trebui să admitem că ridicarea de temperatură apare în urma unui proces direct de ciocnire între un foton de energie $h\nu$ și molecula de ADN considerată de noi. Să admitem că fotonii ν cu care iradiem celula au o energie $h\nu = 1 \text{ Mev}$. În ipoteza că prin ciocnire fotonul transmite moleculei întreaga lui energie și ținând cont de faptul că $1 \text{ Mev} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ jouli}$, rezultă că în urma acestui proces se dezvoltă o cantitate de căldură.

$$Q = 1.6 \cdot 10^{-13} \cdot 0.24 = 0.384 \cdot 10^{-13} \text{ cal.}$$

Ținând seama de masa moleculei de ADN, găsim pentru variația de temperatură valoarea considerabilă de $4.5 \cdot 10^{30}^\circ \text{C}$. Remarcăm aici faptul că aceasta este valoarea maximă de energie care se poate degaja în urma procesului de ciocnire. Nu este exclus ca fotonul să sufere un efect Compton și în acest caz se dezvoltă o temperatură locală mai mică. Oricum, rezultatul găsit sugerează apariția unor „puncte calde”, precis localizate în spațiu, în punctul de interacțiune a fotonului cu microstructura respectivă.

Diferența dintre cele două rezultate se datorește faptului că în primul caz am făcut un calcul bazat pe considerente macroscopice, iar în al doilea ne-am situat la scara microscopică. Rezultatele, deși sînt în aparență contradictorii, ambele ne dau informații prețioase, ele completîndu-se reciproc. Pentru a pune în evidență acest lucru să analizăm anumite rezultate experimentale. Astfel, se cunoaște că studiul soluțiilor de ADN arată că sub acțiunea unei doze de radiații de 10^4 remi, viscozitatea soluției se reduce la jumătate (1). Deși nu se cunoaște cu precizie relația dintre greutatea moleculară și viscozitate, în primă aproximație putem admite că reducerea la jumătate a viscozității solicită și o înjumătățire a greutății moleculare. Deci, doza de 10^4 remi va produce în medie o rupere nucleotidică în

fiecare moleculă de ADN (altfel nu s-ar putea explica reducerea la jumătate a viscozității). Cum în fiecare cromosom există 10^5 molecule de ADN (1.7) rezultă că doza considerată de noi, va produce 10^5 fragmentări, ceea ce înseamnă că unei singure fragmentări cromosomice îi revin 0.1 remi.

Comparând acum cele două rezultate găsite anterior prin calcul, cu aceste date experimentale, putem afirma în concluzie că așa numitele „puncte calde” au ca efect ruperea legăturii chimice și nicidecum ele nu „trăiesc” în timp pentru ca să poată transmite căldură sistemului, pentru ca să ridice temperatura formațiunii respective. Faptul că doza de 0,1 remi este suficientă pentru ruperea unui cromosom, înseamnă că punctele calde pot să apară chiar la un număr foarte mic de fotoni, putându-se stabili pentru ele o anumită probabilitate de apariție.

Cit privește calculul clasic, acesta ne dă o informație reală despre variația de temperatură, care apare într-un sistem, prin iradiere. Această ridicare de temperatură este însă atât de mică, încât este foarte puțin probabil că ea să atragă după sine anumite modificări morfologice sau funcționale în celula vie iradiată. La doze mult mai mici decât cea considerată de noi apar alte efecte (1, 2, 7, 8, 9), care duc la lezarea macromoleculii sau a formațiunii celulare respective.

Sosit la redacție: 18 februarie 1967.

Bibliografie

1. HOWARD L. ANDREWS: Radiation Biophysics, Englewood Cliffo, New-Jersey, 1961;
2. HARRIS R.I.C.: The initial effects of the ionizing radiation in cells, Academic Press, London, 1961;
3. ALEXANDER P., BACQ Z. M.: The nature of the initial radiation damage at the subcellular level. Symp. held in Moscow, Oct. 1960;
4. IONESCU SILVIA: Curs de utilizare a radio-izotopilor I.F.A. București;
5. ONCESCU M.: Fizica protecției contra radiațiilor, Ed. Acad. R.P.R., 1964;
6. DAVIDSON I. N.: The Biochemistry of the nucleic acid, Mathuen, London, 1954;
7. MAURICE ERRERA The cell vol. I, Academic Press, New-York and London 1959;
8. BACQ Z. M., ALEXANDER P.: Fundamentals of radiobiology, Butterworth London, 1955;
9. TAYLOR B.I.P.: Greeustein and A.E. HOLLANDER: Arch. Biochem. and Biophys. (1948). 16, 19.