

# A lineáris energiatranszfer és a relatív biológiai hatás

# Lineáris energia transzfer

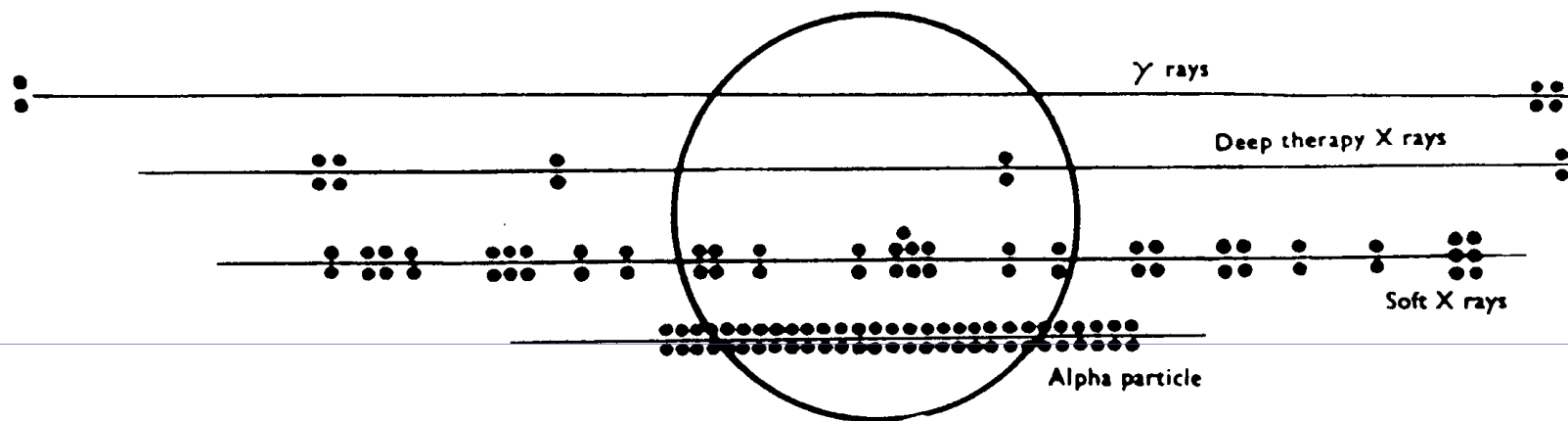
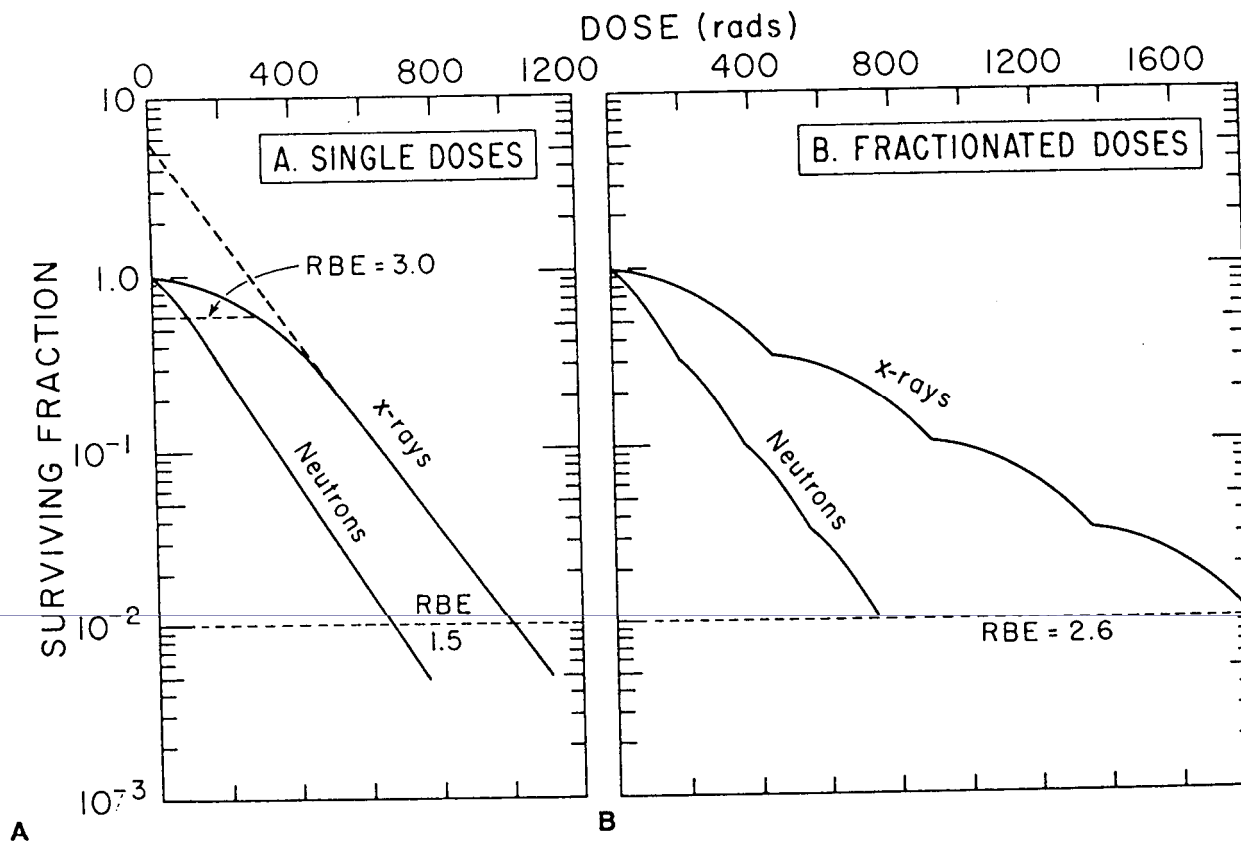


Figure 9.1. Separation of ion clusters in relation to the size of a biological target. (Reproduced from Gray, 1946, *Br. Med. Bull.*, by permission of the author.)

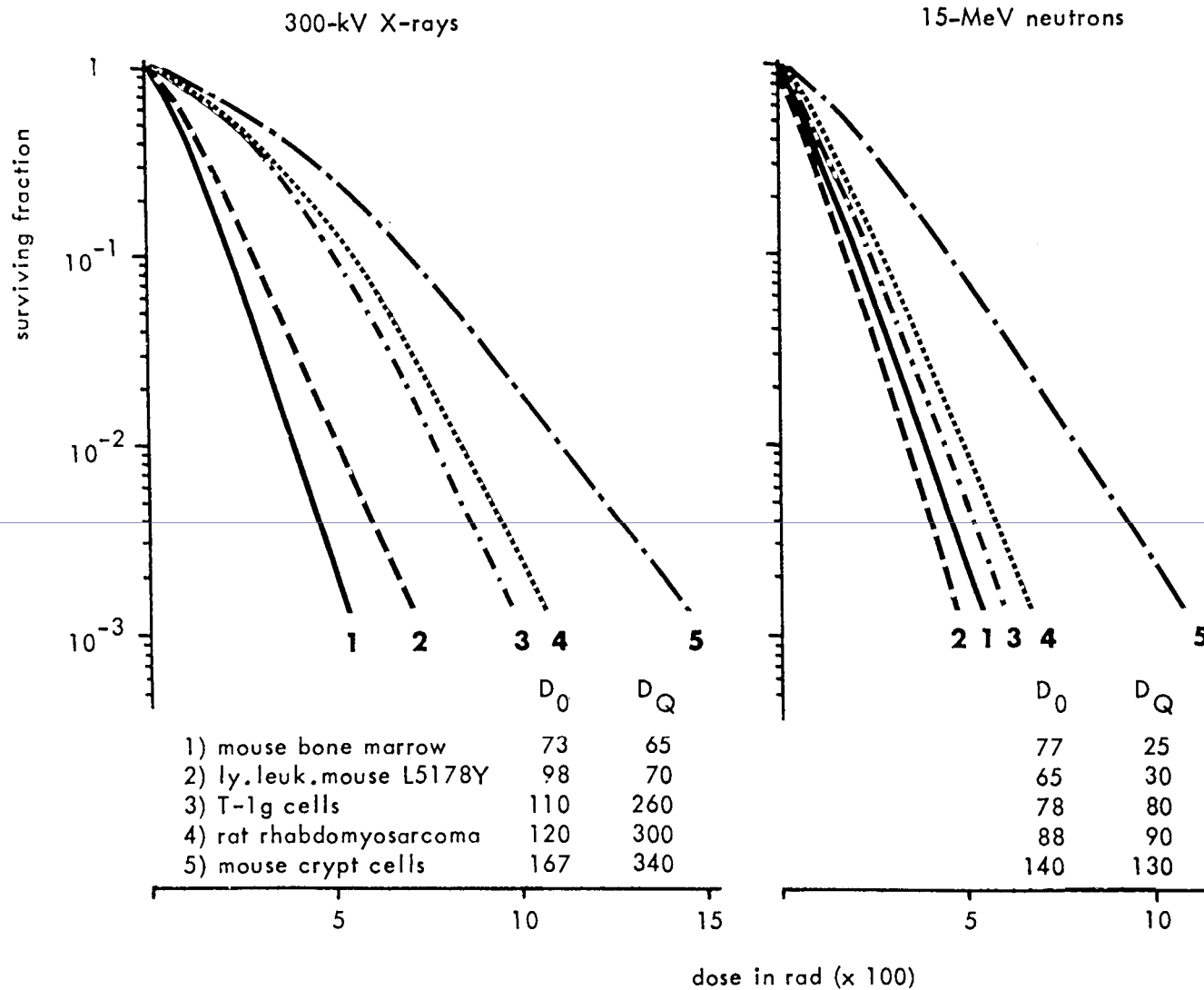
- Lineáris energia transfer (LET)  
az egységnyi úthosszon leadott energia ( $\text{keV}/\mu\text{m}$ )

**TABLE 7.1. Typical Linear Energy Transfer Values**

Radiation	Linear Energy Transfer, KeV/ $\mu$ m	
Cobalt-60 $\gamma$ -rays	0.2	
250-kV x-rays	2.0	
10-MeV protons	4.7	
150-MeV protons	0.5	
	Track Avg.	Energy Avg.
14-MeV neutrons	12	100
2.5-MeV $\alpha$ -particles	166	
2-GeV Fe ions	1,000	

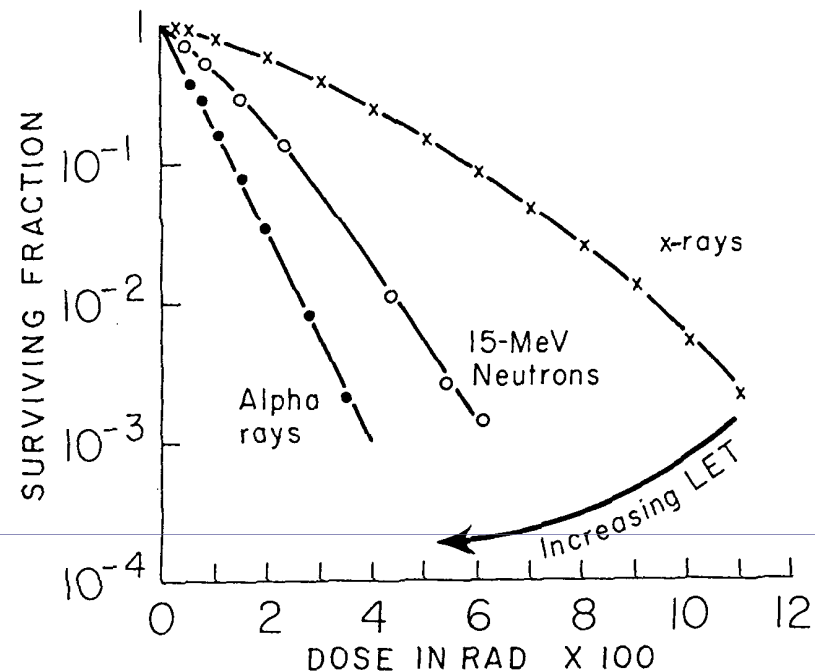


**Figure 7.3.** Typical survival curves for mammalian cells exposed to x-rays and fast neutrons. **A:** Single doses. The survival curve for x-rays has a large initial shoulder; for fast neutrons the initial shoulder is smaller and the final slope steeper. Because the survival curves have different shapes, the relative biologic effectiveness (RBE) does not have a unique value but varies with dose, getting larger as the size of the dose is reduced. **B:** Fractionated doses. The effect of giving doses of x-rays or fast neutrons in four equal fractions to produce the same level of survival as in **A**. The shoulder of the survival curves is reexpressed after each dose fraction; the fact that the shoulder is larger for x-rays than for neutrons results in an enlarged RBE for fractionated treatments.



**Figure 7.4.** Survival curves for various types of clonogenic mammalian cells irradiated with 300-kV x-rays or 15-MeV  $d^+ \rightarrow T$  neutrons: curve 1, mouse hematopoietic stem cells; curve 2, mouse lymphocytic leukemia cells L5178Y; curve 3, T1 cultured cells of human kidney origin; curve 4, rat rhab-

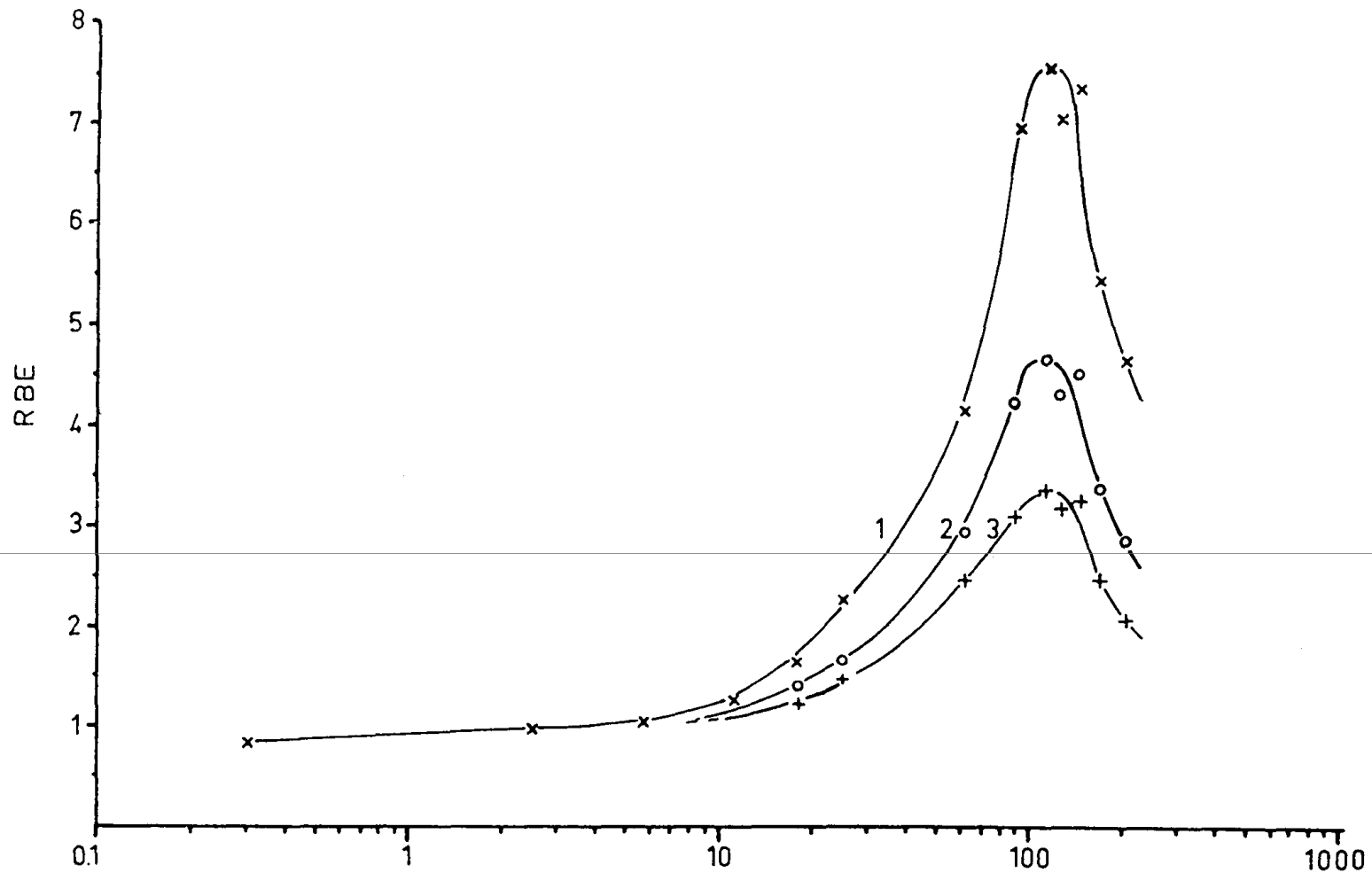
# A relatív biológiai hatás



**Figure 7.5.** Survival curves for cultured cells of human origin exposed to 250-kVp x-rays, 15-MeV neutrons, and 4-MeV  $\alpha$ -particles. As the linear energy transfer of the radiation increases, the slope of the survival curves gets steeper and the size of the initial shoulder gets smaller. (Adapted from Broerse JJ, Barendsen GW, van Kersen GR: *Int J Radiat Biol* 13:559–572, 1967; and Barendsen GW: *Curr Top Radiat Res Q* 4: 293-356, 1968, with permission.)

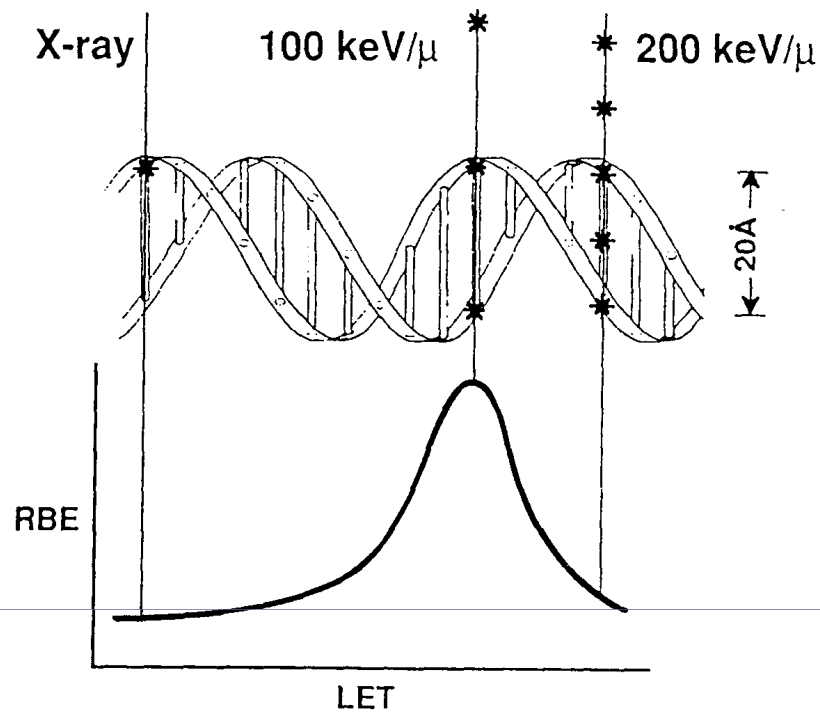
# Relatív biológiai hatás (RBE)

Egy adott sugárzás biológiai hatása a 250kV rtg sugárzáshoz viszonyítva



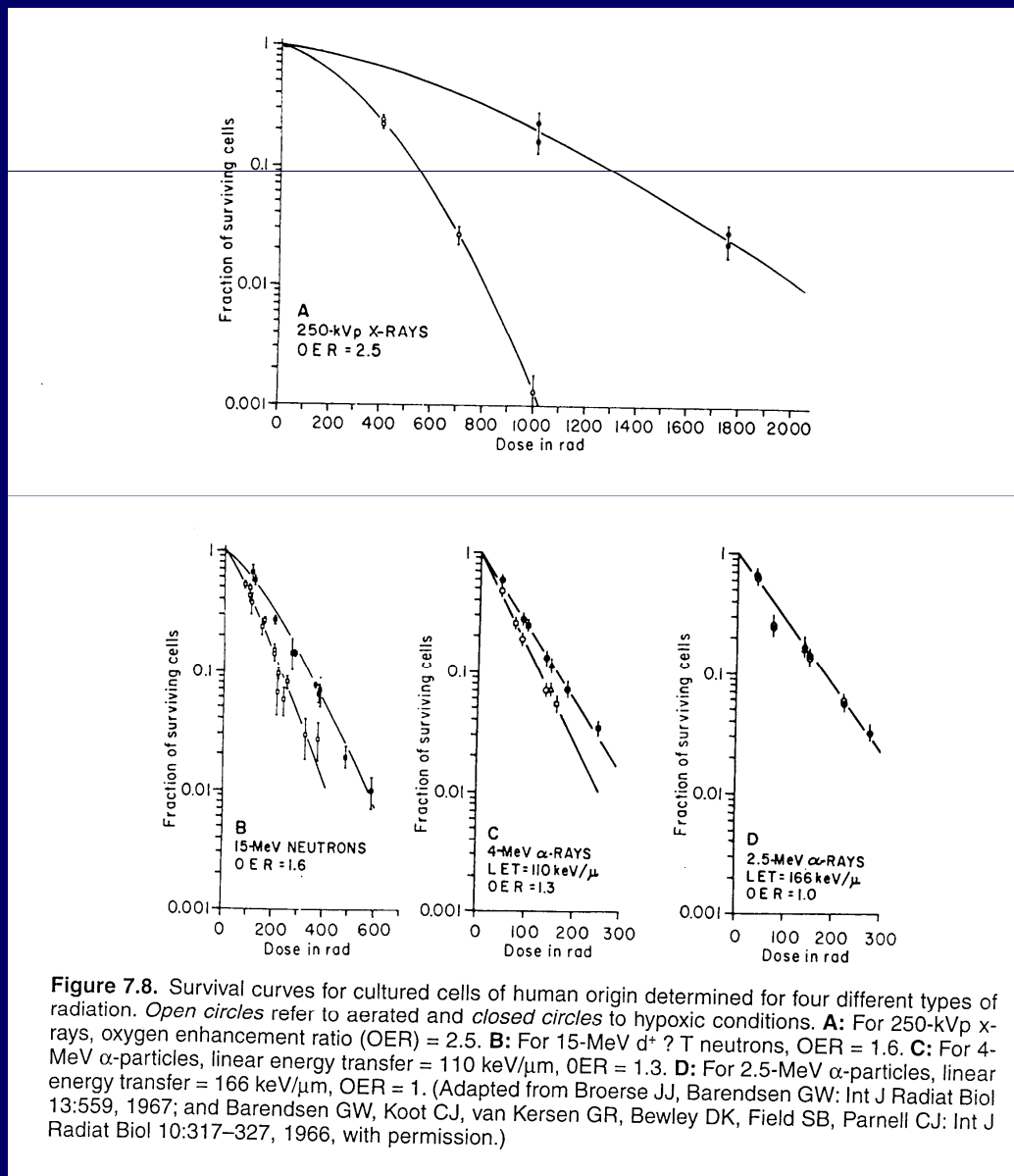
**Figure 7.6.** Variation of relative biologic effectiveness (RBE) with linear energy transfer (LET) for survival of mammalian cells of human origin. The RBE rises to a maximum at an LET of about 100 keV/μm and subsequently falls for higher values of LET. Curves 1, 2, and 3 refer to cell-survival levels of 0.8, 0.1, and 0.01, respectively, illustrating that the absolute value of the RBE is not unique but depends on the level of biologic damage and, therefore, on the dose level. (From Barendsen GW: *Curr Top Radiat Res Q* 4:293–356, 1968, with permission.)



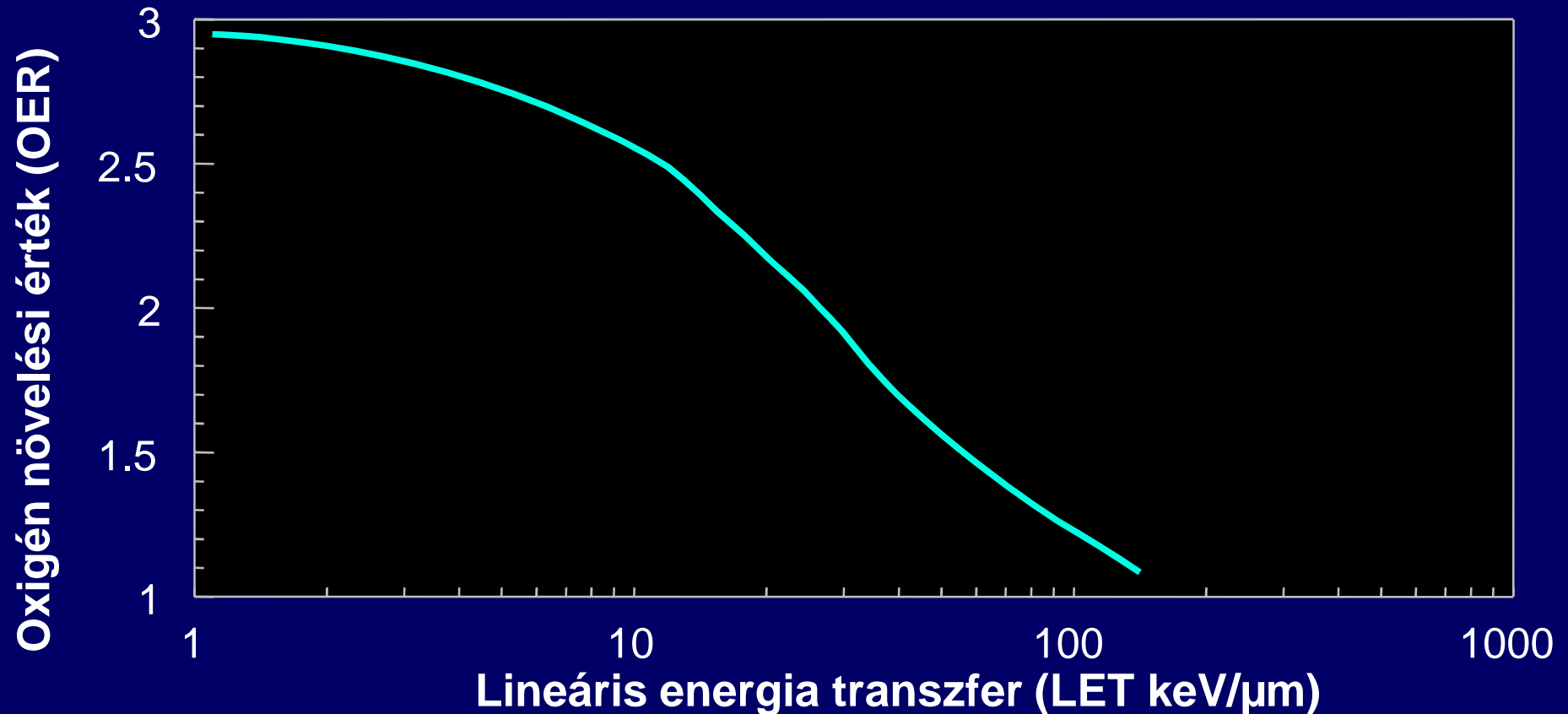


**Figure 7.7.** Diagram illustrating why radiation with a linear energy transfer of  $100 \text{ keV}/\mu\text{m}$  has the greatest relative biologic effectiveness for cell killing, mutagenesis, or oncogenic transformation. For this transfer, the average separation between ionizing events coincides with the diameter of the DNA double helix (*i.e.*, about  $20 \text{ \AA}$  or  $2 \text{ nm}$ ). Radiation of this quality is most likely to produce a double-strand break from one track for a given absorbed dose.

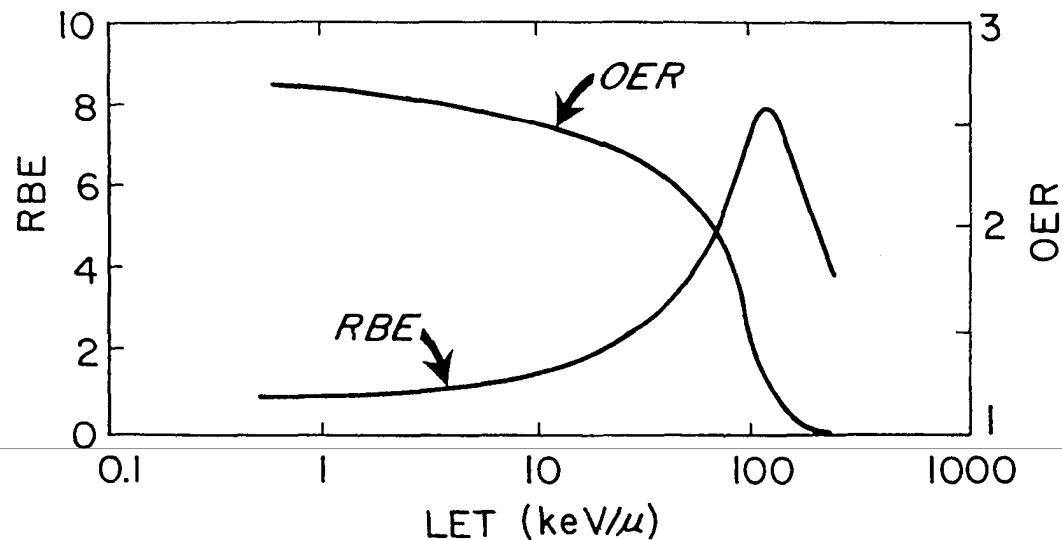
# Oxigén-hatás és LET



# Oxigén növelési érték (OER) és a sugár kvalitás



Az oxigén növelési érték kb. 3 az rtg sugárzásra, de csökken a növekvő LET-el, így az oxigén jelenléte nem befolyásolja pl. a neutron sugárzás biológiai hatását.



**Figure 7.10.** Variation of the oxygen enhancement ratio and the relative biologic effectiveness as a function of the linear energy transfer of the radiation involved. The data were obtained by using T1 kidney cells of human origin, irradiated with various naturally occurring  $\alpha$ -particles or with deuterons accelerated in the Hammersmith cyclotron. Note that the rapid increase of relative biologic effectiveness and the rapid fall of the oxygen enhancement ratio occur at about the same linear energy transfer, 100 keV/ $\mu$ m. (Redrawn from Barendsen GW: In: Proceedings of the Conference on Particle Accelerators in Radiation Therapy, pp 120–125. LA-5180-C. US Atomic Energy Commission, Technical Information Center, 1972, with permission.)

## Melyek a legfontosabb dóziszfogalmak és dózisegységek?

**Elnyelt (abszorbeált) dózis.** A besugárzott anyag egységnyi tömegében elnyelt energia. Jele: D. Egysége a gray (ejtsd: „gréj”) (Gy).  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ . (Régi egysége a rad.  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ .)

**Dózisteljesítmény.** Az ionizáló sugárzás időegységre jutó dózisa. Jele: D. Egysége: Gy/s, levegőben: nGy/h,  $1 \text{ nGy (nano Gy)} = 10^{-9} \text{ Gy}$ . [Régi egysége: a R/h (röntgen/óra).]  $1 \mu\text{R/h (mikro R)} = 8,7 \text{ nGy/h}$ .

**Dózisegyenérték.** Az ionizáló sugárzás egészségkárosító hatásának megítélésére szolgáló, a sugárvédelemben használatos fogalom. Értéke megegyezik egy adott emberi (vagy egyéb élő) szövetben elnyelt dózis és az alkalmazott sugárzás típusától és ionizációs képességétől függő minőségi tényező (Q) szorzatával. Jele: H. Egysége a sievert (Sv) (ejtsd: „szívert”).  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ . (Régi egysége: a rem.  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ .)

**Effektív dózisegyenérték.** A különböző szövetekre vonatkozó közepes dózisegyenértékek és az érintett szövetek sugárérzékenységét tükröző súlyozó tényezők szorzatainak összege. Megegyezik azzal az egészsettdózissal, amely a késői sugárhatások (a daganatos betegségek és öröklődő ártalmak) ugyanakkora kockázatával jár, mint a kapott szöveti dózisok együttesen.

Jele:  $H_E$  – hazánkban jelenleg ez érvényes, illetve az ICRP 1991. évi 60. sz. ajánlásában javasolt új jelölés: E. Egysége: Sv.

**Kollektív dózis.** Ismert létszámú embercsoport összesített sugárdózisa az egész testre (*kollektív effektív dózisegyenérték*), avagy egyes szervekre számítva (*kollektív dózisegyenérték*) egy adott sugárforrástól egy bizonyos időtartam alatt. Egysége: személy · Sv.

## 17.6 A sugárvédelemben szereplő SI-egységek

(Köteles György)

A sugárvédelemben szereplő SI-egységeket az 59. táblázat összesíti. Megjegyzendő, hogy az „expozíció” nem sugárvédelmi egység, de megszokásból még több helyen használják.

59. táblázat. A sugárvédelemben használatos SI-egységek

Expozíció	Röntgen (R), röntgen- vagy gamma-sugarak által a levegőben keletkezett töltés SI-egység: coulomb/kg/C·kg <sup>-1</sup> 1 R = 2,58 · 10 <sup>-4</sup> C·kg <sup>-1</sup> 1 C·kg <sup>-1</sup> = 3,876 R
Kerma	Az anyagban felszabaduló kinetikai energia SI-egység: gray (Gy) 1 gray (Gy) = 100 rad      1 rad = 0,01 Gy
Elyelt dózis	SI-egység: gray (Gy) 1 Gy = 100 rad      1 rad = 0,01 Gy
Egyenérték dózis	SI-egység: sievert (Sv) 1 Sv = 100 rem      1 rem = 0,01 Sv
Radioaktivitás	SI-egység: becquerel (Bq) 1 Bq = 1 radioaktív bomlás percenként 1 Bq = 2,7 · 10 <sup>-11</sup> curie (Ci) 1 Ci = 3,7 · 10 <sup>10</sup> Bq      1 Ci = 37 GBq
További hasznos átszámítások	1 μCi = 37 kBq 1 mCi = 37 MBq 1 Bq = 27 pCi 370 MBq = 10 mCi 1 μSv = 0,1 mrem
SI-egységek előtagjai	10 <sup>-3</sup> milli    m                    10 <sup>3</sup> kilo    k 10 <sup>-6</sup> mikro    μ                    10 <sup>6</sup> mega    M 10 <sup>-9</sup> nano    n                    10 <sup>9</sup> giga    G 10 <sup>-12</sup> piko    p                    10 <sup>12</sup> tera    T

# Összefoglalás

- Az rtg és a gamma sugárzás ritkán ionizáló, az alfa- és a neutron sugárzás gyakran ionizáló
- A LET az egységnyi úthosszon leadott energia ( $\text{keV}/\mu\text{m}$ )
- A relatív biológiai hatás (RBE) azt mutatja meg, hogy egy adott sugárzás biológiai hatása milyen viszonyban van 250 keV rtg hatásával
- Az RBE 100  $\text{keV}/\mu\text{m}$  LET-ig nő, azután csökken
- Az RBE függ
  - Sugárzás típusa (LET)
  - Sugárdózis
  - Frakciószám
  - Dózis teljesítmény
  - Biológiai végpont

- Az oxigén növelési érték (OER)  $\sim 3$  a kis LET értékű sugárzásokra, csökken a LET értékkel
- A sugárzás súlyozó faktora ( $W_R$ ) a LET-től függ, az RBE figyelembevételével adják meg (ICRP) a sugárzás (kis dózisok) károsító hatásaira (daganatkeletkezés, öröklődő hatások)
- Az egyenérték dózis (Sv) az elnyelt dózis (Gy) és a  $W_R$  függvénye