

Title	マウスにおける速中性子照射のRBEと分割照射による回復率
Author(s)	吉永, 春馬; 佐々木, 弘; 長, 哲二
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1969, 29(2), p. 181-184
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14895
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

マウスにおける速中性子照射の RBE と 分割照射による回復率

九州大学医学部放射線基礎医学教室

吉永 春馬 佐々木 弘 長 哲二

(昭和43年9月28日受付)

Relative Biological Effectiveness and Recovery Rate in Mice Exposed to Fast Neutrons

By

Haruma Yoshinaga, Hiroshi Sasaki and Tetsuji Cho

Department of Experimental Radiology

Faculty of Medicine, Kyushu University, Fukuoka, Japan

The relative biological effectiveness of fast neutrons and recovery rate from lethal damage in CF#1 female mice exposed to 14.1 MeV neutrons were subjects of this study.

The animals were 10 weeks old, with a mean weight of 23 ± 3 gm, at the time of irradiation. The neutron beam was obtained by T(d, n) reaction.

RBE of the fast neutrons to 180 kVp X-rays (HVL 1.03 mm Cu) was found to be 1.22 for an LD_{50/30} incurred by a single whole body exposure. For dose-fractionation, mice were irradiated with paired equal doses of fast neutrons at a 3-day interval. The recovery rate at this interval was 44.3% for an LD_{50/30}.

緒 言

細胞水準での速中性子線の生物学的効果比は、ガンマー線やX線等の電磁波性放射線を基準にすると一般に1.5以上の大きな値となつて、高LET放射線の特徴を示している。又培養細胞に速中性子線を照射したときの生存曲線の低線量域での肩は、X線ほど明瞭ではなくて、低線量域からほぼ単一的な形を示すのが普通である。これらの現象は、速中性子照射における線量率依存性が小さいか、あつてもあまり大きくないことを期待させる。

しかし哺乳動物個体水準での全身照射の影響からの回復においては、個体を構成する多くの器官のそれぞれの損傷が修復され更新され、あるいは代償作用ということもあつて、高LETの特徴は

大いに失われる。

もし細胞水準での速中性子線の効果が電磁波性放射線のそれに比して大きいにもかかわらず、全身的な作用ではそれ程変らないような回復が存在するとすれば、このことは放射線の生物作用の機構を解析するための有力な手がかりであり、又中性子線障害の一つの特徴として指摘しうるであろう。

材料と方法

1. 動物

九州大学純系動物飼育室から約5週令で入手したCF#1雌性マウスを、空調下に10週令まで飼育し、体重 23 ± 3 gの条件に合うものを実験に供した。

2. X線照射条件

全波平滑整流回路（島津製作所製信愛号）180 kVp, 15mA, フィルター Cu 0.5mm+Al 0.5mm, HVL 1.03mmCu. 焦点と動物中心の距離は80 cm, 線量率23.5 rad/min, R-rad 換算係数は0.95を採用。線量は硫酸鉄線量計で校正した島津製作所製 DOSE READER で測定した。動物はドーナツ型のアクリライト製ケージに入れて、モータードライブのターンテーブルにのせ、1分に2回の速さで回転した。このケージは20匹の同時照射が可能である。

3. 中性子線照射条件

重陽子加速の Cockcroft-Walton 型中性子発生装置（東芝電気製 NT-200-3形）を用いて T(d, n) He 反応によつて14.1MeV の中性子を発生させてこれを用いた。重陽子加速電圧は 100 kV から 150kV の間、重陽子流は 1 mA から 2 mA の間で運転し、必要とする一定の線量率を保つようにこれらの条件を加減した。

マウス照射装置は、重陽子ビームに直角な面でターゲットの周囲を回転するアクリライト製の回転ドラムを作り、マウスが1匹ずつ入る円筒ケースにマウスを入れてこのドラムに固定して、ドラムは毎分1回回転するようになっている。

中性子の線束は、シリコン半導体アルファ検出器（東芝製 P形シリコン M8811A-50, 3 mm²）で測定した。

マウスの体中心における線量率は10rad/min に保つた。線束密度と吸収線量の換算は 6.7×10^{-9} rad/n/cm² を用いた。マウス体中心から線源中心までは 8.3cmを採用したので、ターゲットにおける中性子発生率は 2.2×10^{10} n/sec/4 π である。

4. 実験手続と観察

X線全身1回照射は、80匹を4群に分けて 500 rad から25rad きざみの4段階の線量を与えた。

中性子全身1回照射は 168匹を6種の線量群に分けた。

中性子全身照射の2回分割照射は、249匹を 520rad から 64rad まで20rad きざみの7線量群に分け、所定の線量の半量を10週令のマウスに先ず照射し、3日後に残りの半量を照射した。第2回目の照射日を照射終了日とした。1回目と2

回目の時間間隔は72 \pm 2時間におさまつた。

いずれの照射群も照射終了後30日間の経日の死亡数と、30日間の死亡の合計を観察した。

結 果

X線と中性子線の1回全身照射群については第1表に、中性子線2回分割照射群については第2表に、それらの実験の線量、動物数、死亡数および死亡率を示す。

3群の死亡率は第1図に示してある。ただしこの横軸は線量を普通目盛で、縦軸は死亡率の百分

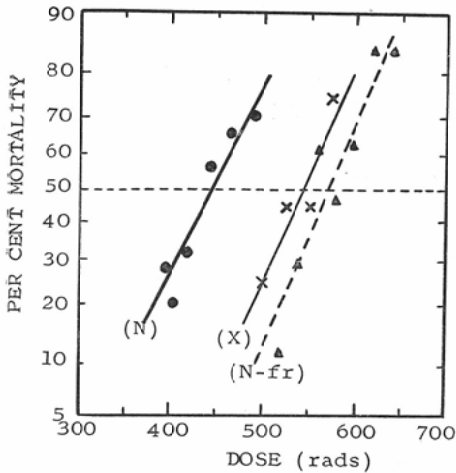
Table 1. Mortality of CF#1 female mice following single exposure to X-rays and fast neutrons.

Dose (rads)	No. of mice	30-day mortality	
		mice	(%)
X-rays (180 kVp, HVL1.03 mm Cu)			
500	20	5	25
525	20	9	45
550	20	9	45
575	20	15	75
Total	80	38	Mean47.5
Neutrons (14.1 MeV)			
394	32	9	28
402	10	2	20
418	32	10	31
442	32	18	56
466	32	21	66
490	30	21	70
Total	168	81	Mean48.2

Table 2. Acute 30-day mortality of CF#1 female mice irradiated with paired equal doses of fast neutrons in a 3-day interval.

Dose (rads)	No. of mice	30-day mortality	
		mice	(%)
260 \times 2	26	3	12
270 \times 2	48	14	29
280 \times 2	40	29	62
290 \times 2	32	15	47
300 \times 2	32	20	63
310 \times 2	32	27	84
320 \times 2	32	27	84
Total	249	135	Mean54.2

Fig. 1. Thirty-day mortality in CF #1 female mice receiving a single whole body exposure of X-rays or fast neutrons, and equal paired doses of fast neutrons in a 3-day interval. (X): single X-ray exposure ($LD_{50/30}=542\pm 9.7$ rads), (N): single 14.1 Mev neutron exposure ($LD_{50/30}=443\pm 7.4$ rads), (N-fr): fractionated 14.1 Mev neutrons exposure ($LD_{50/30}=569\pm 5.4$ rads)



から得られる30日間半数致死線量 $LD_{50/30}$ を次の如く求めた。

X線全身1回照射

$$Y = 0.01529D - 3.2823 \quad \dots (1)$$

$$LD_{50/30} = 542 \pm 9.7 \text{ rad}$$

中性子線全身1回照射

$$Y = 0.01374D - 1.0876 \quad \dots (2)$$

$$LD_{50/30} = 443 \pm 7.4 \text{ rad}$$

中性子線の3日間隔2等分割全身照射

$$Y = 0.01630D - 4.2821 \quad \dots (3)$$

$$LD_{50/30} = 569 \pm 5.4 \text{ rad}$$

上の回帰直線方程式の計算には、各線量群での使用マウスの数に対する重みと、50%からのはずれに関する重みの両者を考慮に入れた。上式の(1)、(2)、(3)は第1図においてそれぞれ(X)、(N)、(N-fr)の直線に相当する。

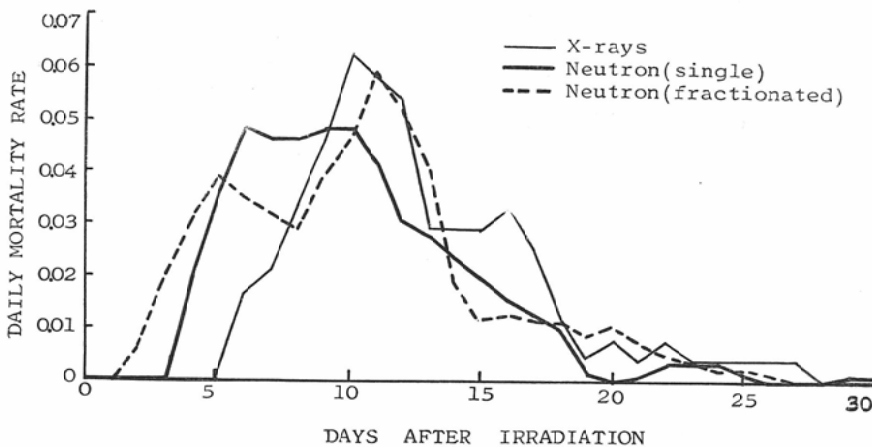
〔RBE〕半価層1.03 mmCuのX線を基準にして、1回全身照射による $LD_{50/30}$ の14.1 MeVのRBEは1.22と得られた。

〔回復率〕中性子線の1回全身照射の $LD_{50/30}$ が443radで、3日の間隔をおいて照射した等線量2分割照射のそれは569radである。このことは1回目の投与線量の効果とその差だけ回復したのだと考え、1回目の投与線量に対するその回復分の線量の比の百分率を回復率と定義すれば、

率をプロビット目盛でとつてある。

この確率紙の上では、線量と死亡率がほぼ直線関係にあるとして、線量D(rad)と死亡率のプロビットYによって回帰直線方程式を作り、それ

Fig. 2. Daily mortality rates of CF #1 femal mice from single exposure of X-rays and fast neutrons, and fractionated exposure of fast neutrons with equal paired doses in a 3-day interval.



$$569\text{rad} - 443\text{rad} = 126\text{rad}$$

が3日間の回復線量で、従つて回復率は

$$(126\text{rad} \div 284.5\text{rad}) \times 100 (\%) = 44.3\%$$

となる。

〔経日的死亡頻度〕3実験群の経日的死亡頻度を第2図に示す。この曲線は、第1表と第2表に含まれる全線量群を各実験群で総計し、且つ3日間平均法を用いて平滑化して示してある。これら3種の実験群の平均の死亡率と平均生存日数(MST)は、X線照射群47.5%, 12.8日, 中性子1回照射群は48.2%, 10.4日, 中性子2回等分割照射群は54.2%, 10.5日であつた。

考 察

T (d, n) 反応中性子の ddN マウスにおける LD_{50/30} の RBE については、Sawada 等⁶⁾が 200 kVp X線に対して1.14の値を得、Broerse¹⁾も (CBA/Rij×C57BL/Rij) F₁ 雄性マウスを用いて 250kVp X線を基準にして1.12と報告している。LD_{50/30} の値にはかなりの差があるが、RBEとしては良い近似と言える。

T (d, n) 反応による中性子のマウスでの線量率依存性については Broerse¹⁾ がその存在を報告している。分割照射の効果については、分裂中性子⁸⁾、D-Be 中性子²⁾³⁾、H-Be⁴⁾ 中性子等についてマウスを用いてその存在が報告されている。

この実験で得られた間隔3日での回復率44.3%は、岡村等⁵⁾が CF# 1 雄性マウスについて報告した Co-60のガンマー線での47.6%, 190kVp X線での46.4%よりも少し低目ではあるがほぼ近い値である。

中性子照射群の平均生存日数MSTは、1回照射群と2分割照射群がほぼ同じ値であり、経日的

死亡頻度の傾向にも特に著しい差はないようである。しかし Sawada⁷⁾ の報告よりも死亡日が少し前後に拡がっている。

要 約

10週令の雌性CF# 1マウスを用い、T (d, n) 反応による14.1 MeV 中性子線のRBEと分割照射したときの回復率を求めた。

1. 全身1回照射での LD_{50/30} に関するこの中性子線のRBEは、180kVp (HVL 1.03mmCu) のX線を基準にしたとき、1.22であつた。

2. 中性子線を3日の間隔で等線量2回照射を行ない、その初回線量の3日間での回復率を LD_{50/30} で計算して44.3%という値を得た。

この研究の一部は文部省科学研究費の補助によってなされたことを記し謝意を表す。

文 献

- 1) Broerse, J.J.: Effects of energy dissipation by monoenergetic neutrons in mammalian cells and tissues, pp 107—122, Koninklijke van Gorcum & Comp., Netherland 1965.
- 2) Evans, T.C.: Radiology 50 (1948), 811—834.
- 3) Hornsey, S. et al.: Brit. J. Radiol. 38: (1965), 878—880.
- 4) Krebs, J.S. and Brauer, R.W.: Radiation Research 17 (1962), 855—863.
- 5) Okamura, S. et al.: Nipp. Act. Radiol. 28: (1968), 102—112.
- 6) Sawada, S. and Yoshinaga, H.: Nipp. Act. Radiol. 25 (1963), 52—56.
- 7) Sawada, S.: Nipp. Act. Radiol. 25 (1963), 57—65.
- 8) Vogel, Jr., H.H. et al.: Radiation Biology edited by J.H. Martin, p 226, Academic press Inc., New York, 1959.