



Title	線「エネルギー」ニヨル生體組織ノ致死量ニ就テ
Author(s)	石川, 數雄
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1942, 3(3), p. 243-247
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18369
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

線「エネルギー」ニヨル生體組織ノ 致死量ニ就テ

(本論文要旨ハ第2回日本醫學放射線學會ノ席上ニ於テ講演ス)

九州帝國大學醫學部放射線治療學教室

助教授 醫學博士 石川數雄

Über die Letaldosis der Strahlenenergie beim Gewebe.

Von

a. o. Prof. Dr. K. Ishikawa.

Aus dem Institut für Strahlentherapie (Direktor: Prof. Dr. Y. Nakashima)
der Kaiserl. Kyusyu-Universität zu Hukuoka, Japan.

Ebenso wie bei chemischer Energie in der Pharmakologie, kann man auch bei physikalischer Energie, z. B. bei Wärme oder Bestrahlung, von einer Letaldosis sprechen. Die Frage, welche Menge Energie bei Bestrahlung nötig ist, um das Gewebe auf einmal abzutöten, ist als Grundproblem bei der Dosierung in der Strahlentherapie sehr interessant.

Da die biologische Wirkung bei Bestrahlung von der im Gewebe absorbierten Energie abhängig ist, kann man, wenn man die im Gewebe gebildete Energie in absoluten Einheiten berechnet, die Dosierung von Korpuskularstrahlung (Alpha-Strahlung) einheitlich mit elektromagnetischer Strahlung vergleichen.

Verf. hat schon mit früheren Arbeiten (Nr. 1 und 3) über die Letaldosis mit Alpha-Strahlung berichtet, bei Bestrahlung sehr dünner Gewebeschnitte der Jensen-Rattensarkome, deren durchschnittliche Stärke etwa der doppelten Reichweite von Alpha-Strahlen im Gewebe entsprach. Man muss berücksichtigen, dass es sich bei diesen Versuchen unter den von uns gewählten Bedingungen während der ganzen Beobachtung um ein und denselben Komplex handelt, d. h. die Reaktion muss nach der Bestrahlung eine bestimmte Zeit beobachtet werden. Verf. hat den Stoffwechsel des bestrahlten Gewebes 4 Stunden nach der Bestrahlung beobachtet und konnte folgendes feststellen:

Die maximale Wirkung der Alpha-Strahlung zeigte, dass 4×10^5 mst/cm³ Menge Radon nötig war. Mit der Zerfallskonstanten $\lambda = 0.00755/h^{-1}$ kann man die Gesamt-Alpha-Strahlenzahl berechnen, die während des oben genannten Zeitraums von 4 Stunden ausgelöst wird, also $D = N_0 \lambda t = 7.85 \cdot 10^{10}/cm^3$. Wenn die Alpha-Strahlen

total absorbiert werden, bilden sich 1.55×10^5 Jonenpaare; deshalb entspricht die gesamte Alpha-Strahlenzahl $1.22 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ Jonenpaaren. Zum Versuch wurden 5 mg Gewebe gebraucht. Die absolute Energiemenge, die in diesem Gewebe von diesen Jonenpaaren absorbiert ist, beträgt 3.15×10^3 Erg.

Mit diesen Zahlen als Grundlage hat Verf. folgende Berechnungen bei Röntgenstrahlenenergie berechnet:

$$1 \text{ r} = 83 \text{ Erg/g} \quad \text{oder } 0.083 \text{ Erg/mg}$$

$$1 \text{ mg Trockengewebe} = 5 \text{ mg Frischgewebe}$$

$$5 \text{ mg} \dots \dots 0.083 \times 5 = 0.415 \text{ Erg/Ganze Gewebe}$$

$$D = \frac{3150}{0.415} = 7500 \text{ (r)/(5 mg) in 4 Stdn.}$$

Beispielsweise hat Verf. diese Röntgendosis im Gewebe weiter als Oberflächendosis (I_0) berechnet, bei sehr dünnem Gewebe (0.01 cm) mit weichen Strahlen (mittlere Wellenlänge = 0.68 Å und Abschwächungskoeffizient = 0.8).

$$I = I_0 e^{-\mu d} = I_0 (0.992)$$

$$D_0 = I_0 - I = I_0 (0.008)$$

$$I_0 = \frac{7500}{0.008} = 940000 \text{ r in 4 Stdn.}$$

Das bedeutet also, dass man, um 5 mg Gewebe 7500 r als Gewebsdosis zu geben, das Gewebe mit 940000 r oben genannter Art Röntgenstrahlen als Einfallsdosis in 4 Stunden bestrahlen muss, also sind 4 Stunden lang 2900 r/Min. als Dosisleistung nötig.

(Autoreferat.)

生體組織ヲ化學的「エネルギー」即チ毒物ヲ以テ致死セシム際ニ所謂致死量ガ考ヘラレル如ク。物理的「エネルギー」例ヘバ熱又ハ放射線「エネルギー」ニヨリテ之ヲ致死セシメ得ル致死量ガ考ヘラレル。放射線「エネルギー」ノミヲ以テ生體組織ヲ致死セシム場合何程ノ「エネルギー」ヲ要スルカト言フ問題ハ放射線治療學上特ニ放射線配量ノ根本問題トシテ極メテ興味ガアル。

生體組織ノ放射ニヨリ生物學的作用ヲ惹起セシムモノハ組織ニ吸收サレタ線「エネルギー」デアル。而シテ物質線モ電磁波線モソレガ組織内ニ吸收サレル場合、之レニ依ツテ生ズル二次電子ヲ介シテ吸收セラレタル「エネルギー」量ヲ全ク一元的ニ取扱ヒ得ルガ故ニ致死量決定ノ場合ニ於テモ前者ヲ以テ行ヒタル實驗成績ヨリ後者ノ場合ヲ計算ニヨツテ算出シ得ルモノデアル。余ハ曩ニ實驗的ニ「ラドン」ノ α 線ヲ以テ Jensen 家鼠肉腫ノ組織片ヲ致死セシムニ要スル線量ヲ決定シタ。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

α 線ノ組織内透過距離ノ約 2 倍以内ノ厚サノ薄キ組織片 (100—140「ミクロ」) テ用フレバ、組織片ノ兩面ヨリ放射スルコトニヨツテ全組織ハ略ボ均等ニ α 線ヲ以テ放射スル事ガ出來ル。斯カル方法ニヨツテ放射後 4 時間内ニ於テソノ組織ノ物質代謝ヲ最モ強ク低下セシム線「エネルギー」ノ最小量トシテ 4.10^5 mSt/cm^3 ノ濃度ノ「ラドン」Rn ヲ含有スル「リングル」氏液ヲ用

フレバヨイコトヲ知ツタ。

右放射量ヲ R_n ノ變脱常數 (Zerfallskonstante) $\lambda = 0.00755/h^{-1}$ ヨリ右時間内ニ放射サレタ α 線ノ數ヲ計算シテミルト。

$$D = N_0 \lambda t 7.85 = 10^{10}/\text{cm}^3$$

トナル。

R_n ノ α 線ハソノ「エネルギー」カ總ベテ均等デアルト見做シ得ルモノデ且ツ1個ノ α 線ガ完全ニ吸收サレタ際ニ發生スル「イオン」對ハ 1.55×10^5 個デアルカラ前記ノ全 α 線ヲソノ「イオン」對ニ換算スレバ

$$1.22 \times 10^{16}/\text{cm}^3$$

トナル。余ガ使用シタ組織片ハ平均5mg程度ノ新鮮ナル生活セル組織片デアリ。ソノ乾燥重量ハ約1mgニ相當スルモノデアル。全組織5mgニ對シテ完全ニ吸收サレタト考ヘラレル α 線ノ「エネルギー」ヲ絶対量ヲ以テ計算スレバ

$$5.15 \times 10^8 \text{Erg}$$

トナル。

右ノ數値ハ既ニ著者ガ昭和13年ノ第10回日本醫學會總會第32分科會宿題報告トシテ發表シタモノデアルガ⁽²⁾⁽³⁾右ハ物質線特ニ α 線ノ如ク莫大ナ「エネルギー」ヲ以テ而カモソノ特別ナル方法ニ依リ液體空氣ヲ以テ R_n ヲ液化シ以テ極メテ高濃度ナル R_n 「リングル」液ヲ得テ始メテ到達シ得タ實驗結果デアル。

斯カル濃度ヲ用ヒテモ組織片ヲ致死セシムルニ約4時間ヲ要シテキル。故ニコノ場合ノ線「エネルギー」ハ吾人が日常使用スルモノト比較シテ極メテ大量ナルモノデアル。現今吾人が使用シテキル電磁波特ニ「レ」線發生裝置ノ程度デカ、ル短時間内ニ右ノ如キ大量ヲ放射セムニハ尙幾多ノ困難ナ問題ヲ伴フモノデアルガ如何程ノ「レ」線量ニヨリ一時放射ヲ以テ生體組織ヲ致死セシメ得ルカ特ニ余ノ實驗ニ用ヒタ惡性腫瘍ヲ致死セシメ得ルカト言フ問題ニ關聯シテ右線「エネルギー」ヲ「レ」線量ニ換算シテミタノデアル。(第1表參照)

1r ノ線量ガ完全ニ吸收サレタ場合ニ

$$1v = 83 \text{Erg/g}$$

トナル。故ニ

$$3.15 \times 10^8 \text{Erg} \approx 7500 \text{r} \text{ノ組織量 (Gewebssdosis)} = \text{相當スル。}$$

若シ「レ」線ノ平均波長ヲ 0.63\AA E 程度ノ超軟線ヲ使用シタストレバ。ソノ線ノ組織ニ對スル減弱係數ハ $\mu = 0.8$ トナル。余ノ場合ノ如ク組織片ノ厚サ(d)ヲ極メテ小サクシタモノニ於テハ表面量(I_0)ノ計算ニ於テ

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

$$I = I_0 (1 - \mu d)$$

第 1 表

$1 \text{ r} = 83 \text{Erg/g}$	od. $0,083 \text{Erg/mg}$
$1 \text{mg Trockengew.} = 5 \text{mg Frischgew.}$	
$5 \text{mg} \cdots 0,083 \times 5 = 0,415 \text{Erg/Ganze Gewebe}$	
$D = \frac{3150}{0,415} = 7500 (\text{r}) / (5 \text{mg})$	in 4 Std.
$\downarrow I_0$	$D = I_0 - I$
$\downarrow I$	$d = 0,1 \text{mm}$
	(0,01cm)
(Weiche Strahlen)	(Harte Strahlen)
$\lambda = 0,63 \text{\AA} (19,6 \text{KV.})$	$\lambda = 0,07 \text{\AA} (180 \text{KV.})$
$\frac{\mu}{S} = 2,5^3 + 0,18$	
$\mu = 0,8$	$\mu = 0,181$
$I = I_0 e^{-\mu d} = I_0 (1 - \mu d + \frac{\mu^2 d^2}{2!} - \frac{\mu^3 d^3}{3!} + \dots)$	
$= I_0 (1 - \mu d)$	
$= I_0 (1 - 0,008)$	
$= I_0 (0,992)$	
$D = I_0 - I = I_0 (0,008)$	
$I_0 = \frac{7500}{0,008} = 940000 \text{r in 4 Std.} 450000 \text{r in 4 Std.}$	
$I_0/\text{Min} = 3900 \text{ r / Min}$	17300 r / Min.

ノ如ク取扱ヒ得ルガ故ニ

$I_0 = 940000 \text{r}$

即ナ右ノ表面量ヲ 4 時間内ニ放射スル爲メニハ 1 分間 3900r ヲ出ス條件ヲ以テ 4 時間連續ニ放射シナケレバナラヌコトニナル。更ニ硬線ヲ使用スレバ例ヘバ 平均波長 0.07\AA 程度ノ線ヲ用ヒタスレバ、組織ノ吸收率小ナルガ故ニ 1 分間 17300r ヲ 4 時間連續ニ放射セネバナラナクナル。共ニ極メテ大量デアル。從來放射線量トニヨル生物學的反應トノ量的關係ヲ検シタ實驗ニ於テ放射後長時間ヲ經過シテソノ影響ヲ測定シテキルガ。斯カル實驗デハ反應ヲ現ハス細胞ハ必ズシモ放射サレタ同一細胞デハナイ。Albert-Fischerニヨレバ腫瘍細胞ノ生命ハ極メテ短ク各瞬間ニ細胞ハ新シク補給サレルカラ吾人ガ放射ノ直接影響ト考ヘテキル場合

合デモ放射後反應ヲ測定スル迄ニ相當ノ時間ヲ經過シテキル如キモノデハ實際ハ放射サレタ細胞ハ幾度カ細胞分裂ヲ繰リ返シテ數世代(Generation)ヲ經過シタモノデアルカラ嚴密ナ意味ニ於テハ同一細胞ニ就イテ刺戟ト反應ヲ直接ニ量的ニ觀察シタモノデハナイノデアル。同一細胞ニ對シテ放射後ノ時間的因子(Zeitfaktor)無シデ決定シタ致死量即チ 1 回放射ニヨル放射直後ノ致死量ハ放射後長時間ヲ經テ致死スル場合ノ致死量ニ比シテ極メテ大量ノ放射「エネルギー」ヲ要スルコトハ推定ニ難クナイ所デアル。而カモスカル强度ノ線「エネルギー」ハ現在ノ狀態デハ α 線ノ如ク極メテ大量ノ線「エネルギー」ヲ有スル物質線ニヨツテ得ルニアラザレバ「レ」線等デハ容易ニ得ラレルモノデナイ。余ハ實驗材料トシテ肉腫ノ移植後 10 日乃至 2 週間ノモノヲ使用シ、極メテ薄キ切片ヲ使用スルコトニヨリ非常ニ homogen ナ細胞群ヲ得ルコトガ出來タト考ヘテキル。而シテ斯カル均等ナ細胞群ヲ使用シテワールブルグ氏法ニヨリ組織ノ物質代謝ヲ測定スル時ハ、ソノ測定結果ハ消費シタ酸素量モ分解サレタ糖量モ組織ノ單位質量(1mg 乾燥量)ニ對スルモノトシテ計算サレ得ルガ故ニ細胞 1 個ノ生活「エネルギー」ガ平均的ニ測定サレ、ソノ總和ガ現ハレテオルコトニナル。故ニ線「エネルギー」ヲ均等ニ賦與サレタ個々ノ細胞ガ放射直後ニ如何ナル割合デソノ生活「エネルギー」ヲ低下セシメラレタカト言フ量的關係ヲ

観察スルニ適當ナ方法デアルト考ヘラレルノデアル。反之若シ細胞群ガ homogen デナイ時ハソノ細胞ノ種類ガ相異ナルニ從ヒ。ソノ放射線感受性ハ相異ナルガ故ニ。カヽル量的觀察ニハ適シテキナイノデアル。勿論余ノ場合實驗中組織ヲ リングル 液中ニ生活セシメテキタノデアルガ4時間以内デハソノ生活「エネルギー」ハ殆ンド不變デアツタコトヨリシテ組織ノ線感受性モ殆ンド不變デアツタ考ヘテヨイト思ハレル。而カモ余ノ場合ハ放射直後(4時間後)生體ヨリ切除シタ組織片ニ就イテソノ影響ヲ觀察シタノデアルカラ。コノ反應ハ主トシテ放射ニヨル直接作用ノ現ハレト見做シテ差支ナ。コノ場合間接作用ハ殆ンド問題ニナラナ。放射ノ直接作用ヲ觀察スル目的デハ單細胞動物カ或ハ細胞個々ノモノニ就イテ觀察スルヲ要スル。コノ意味ニ於テモ組織ノ物質代謝測定ハ極メテ好都合ナ方法デアル。

以上ノ如キ諸條件ヲ考慮シタ上デ余ノ條件ニ於テ

腫瘍組織ヲ1回放射ニヨリ主トシテ直接作用ヲ以テ致死セシムルタメニハ1mg乾燥量

(5 mg 新鮮量)ニ對シテ 7500r の組織量(Gewebsdosis)

チ賦與スルヲ要スト決論サレル。之ヲ $0.63 A^{\circ} E$ ($\mu 0.8$) 程度ノ軟線ヲ以テ放射スルトスレバ表面量トシテ 940000r ナ與フル必要ガアルト言フコトニナル。

(恩師中島教授ノ御校閲ヲ深謝ス)

文 獻

- 1) 石川數雄(舊井上)(共著B. Rajewsky): Die Naturwissenschaft 33, 540(1937).
- 2) 石川數雄(舊井上)日本放射線醫學會雜誌, 6卷, 3號, 391頁(昭和13年8月).
- 3) 石川數雄(舊井上) Strahlentherapie, 64, 175(1939)