

ESRとグラニュー糖を利用した放射線量の測定(Ⅰ)

著者名(日)	金子 昌幸, 福田 恵, 佐藤 尚武, 堀川 孝明, 南 誠二
雑誌名	東日本歯学雑誌
巻	18
号	1
ページ	103-107
発行年	1999-06-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1145/00008386/

〔原 著〕

ESRとグラニュー糖を利用した放射線量の測定 (I)

金子 昌幸, 福田 恵, 佐藤 尚武, 堀川 孝明, 南 誠二

北海道医療大学歯学部歯科放射線学講座

(主任: 金子 昌幸教授)

ESR radiation dosimetry using granulated sugar (I)

Masayuki KANEKO, Megumi FUKUDA, Naotake SATOH,
Takaaki HORIKAWA and Seiji MINAMI

Department of Dental Radiology, School of Dentistry,
Health Sciences University of Hokkaido

(Chief: Prof. Masayuki KANEKO)

Abstract

This study evaluated ESR radiation dosimetry using granulated sugar. One gram of granulated sugar was irradiated by X-ray radiation under the conditions: tube voltage, 60kVp; tube current, 3mA; HVL, 0.31mmAl; dose rate, 8Gy/min; and FSD, 7.5cm. After irradiation, the granulated sugar was placed in a quartz sample tube with inner diameter 4.0mm. Then, ESR spectrometry was carried out under the conditions: center field, 336mT; power, 10mW; sweep width, $\pm 5 \times 10$ mT; modulation width, 0.5×0.1 mT; receiver gain, 2×100 ; time constant, 0.1sec; and sweep time, 4min. Detection and measurements were made at doses of 0, 8, 16, 32, 64, 128, and 160Gy. The results showed that the irradiated granulated sugar produced free radicals and the signal intensities were dose dependent without fading. These findings confirm that ESR radiation dosimetry using granulated sugar would enable estimates of radiation therapy doses.

Key words: ESR, radiation dosimetry, granulated sugar, free radical.

緒 言

ある種の物質に放射線照射を行うとその物質の内部で電子移動を生じてフリーラジカルが生成される事になる¹⁻⁶⁾。また、放射線照射によって物質内の結合が切断されてイオンラジカルや中性ラジカルを生じたり、電子や正孔が結晶の欠陥部に捕捉されたりすることも良く知られた事実である^{5,6)}。ESRによる放射線量の測定や放射線の物質に対する影響の検索はこの様な原理を利用したものである。従って、本来、不対電子を有さない安定物質であれば、放射線照射で生じたフリーラジカルを検出することによって線量測定が可能となるはずである。しかし、放射線照射で生じるフリーラジカルの多くは不安定で、経時的な減衰（フェーディング）を伴うものが多いことから、発生したラジカルが可及的に減衰しない物質を選ぶことが必要となる。また、得られるラジカルの発生量が線量と比例関係にあることも必要である^{1,2)}。今回われわれは、本来、不対電子を有さず、ESRシグナルを示さない物質としてのグラニュー糖が放射線治療時の治療線量測定用の線量計として用いられることが可能か否かについて検索したので報告する。

材料と方法

今回の実験に供した材料は市販のグラニュー糖である。まず最初に、放射線照射グラニュー糖がESRシグナルを示すか否かを検索し、もしもESRシグナルを示すならば、線量との間にどのような関係が成り立つかについても検討を加えた。用いた放射線は管電圧60KVp, 管電流3 mA, 半価層0.31mmAl, 線量率8.0Gy/min, 照射距離7.5cmの条件で発生させたX線である。予備実験の線量はグラニュー糖1gに対して160Gyとした。線量の相違によるシグナル強度の変化は8, 16, 32, 64, 96, 128, 160Gyで検

索することとし、無照射群で得られるシグナルの強さを対照とした。ESRによる測定の条件は中心磁場336mT, 出力10mW, 掃引幅 $\pm 5 \times 10$ mT, 変調幅 0.5×0.1 mT, 感度 2×100 , 時定数0.1sec, 掃引時間4 minとし、操作は室温で行った。放射線照射で発生するフリーラジカルの量はESRスペクトル上のMnO \cdot のシグナルとの相対信号強度(RSI)として求めた。また、フェーディングの有無の検索は放射線照射終了後、1, 2, 4, 6, 8, 週目のラジカル量の変化の有無を調べる方法で行った。

結 果

無照射グラニュー糖がESRシグナルを示すか否かについての予備実験で得られたESRスペクトルは、図1-aに示すごとく、標準試料として用いたMnO \cdot の6本線のシグナルが強く認められるのみで、グラニュー糖のシグナルはRSI=0.05 \pm 0.01と、ノイズ程度の値であった(表1-a)。一方、160Gy照射を行ったグラニュー糖では、マンガンの3本目のシグナルピークと4本目のシグナルピークの間強い強度を示すESRシグナルを認めた(図1-b)。グラニュー糖内で発生するラジカル量はRSI=1.07 \pm 0.03(表1-b)であり、対照のラジカル量の20倍以上の値を示した。以上の結果は放射線照射によってグラニュー糖内部でフリーラジカルが発生することを示すものであった。

線量の相違によるラジカル発生量(RSI)の変化は表2に示すごとく、対照の無照射群ではRSI=0.05 \pm 0.01であったが、線量の増加に従ってラジカル発生量の増加が見られ、160Gy

表1 無照射(対照)群と160Gy照射群で得られた相対信号強度(RSI)

条 件	相対信号強度(RSI)
(a) 無照射(対照)群	0.05 \pm 0.01
(b) 160Gy照射群	1.07 \pm 0.03
	Av \pm SD (n=5)

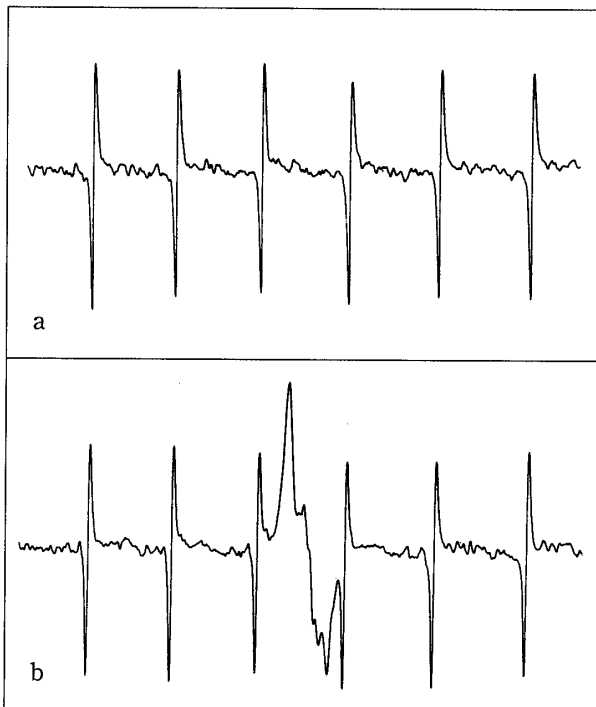


図1 放射線照射グラニュー糖から得られたESRスペクトル
a: 無照射(対照)群 b: 160Gy照射群

表2 線量の相違による発生ラジカル量の変化 (RSI)

線量 (Gy)	相対信号強度 (RSI)
無照射(対照)	0.05±0.01
8	0.12±0.01
16	0.15±0.02
32	0.25±0.02
64	0.48±0.02
96	0.67±0.03
128	0.88±0.03
160	1.07±0.03

Av±SD (n=5)

照射群ではRSI=1.07±0.03を示した。ラジカル発生量と線量の増加によるラジカル発生量は表2ならびに図2のグラフに示すごとく比例関係を示すことが確認された。また、照射終了後の信号強度 (RSI) の変化は表3に示すごとく、8週間にわたりほぼ一定であることから、ラジカルの減衰 (フェーディング) はないものと判定した。

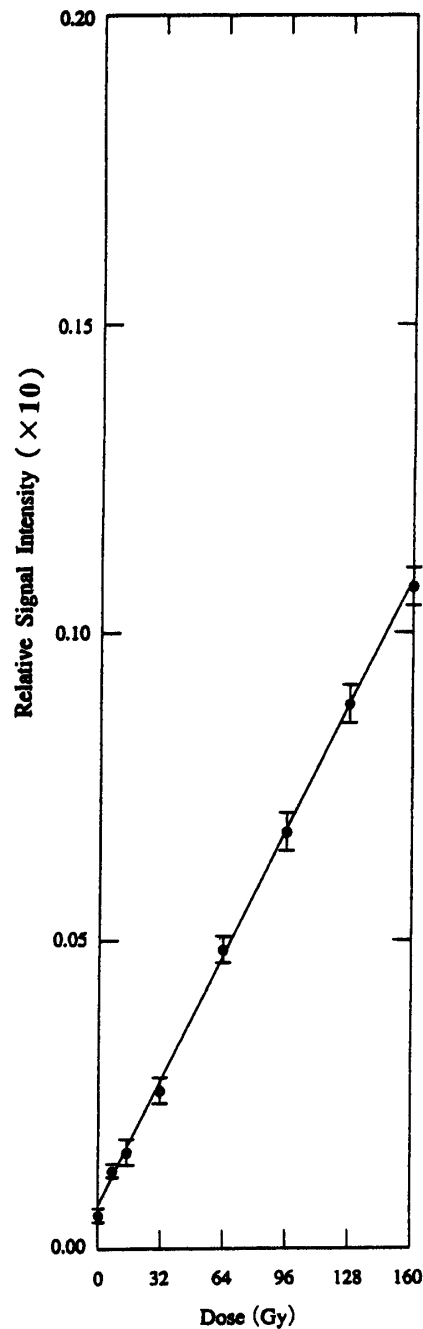


図2 放射線照射グラニュー糖内で発生するラジカル量の線量の相違による変化

表3 160Gy照射後のシグナル強度の変化 (RSI)

週数	相対信号強度
直後	1.07±0.03
1	1.12±0.02
2	0.98±0.05
4	1.05±0.03
6	1.10±0.02
8	0.99±0.03

Av±SD (n=5)

考 察

不対電子を持たない安定物質に放射線が照射されると物質内で励起や電離が生じたり、電子移動などによってフリーラジカルが生じることは先に述べた通りである¹⁻⁶⁾。放射線照射で生じるフリーラジカルは減衰が激しいために、それらの半減期が極めて短いのが一般的であり、ESRによる直接的な検出は困難を来すことが多いとされてきた。したがってESRでの線量測定は検出あるいは測定を行う間に減衰（フェーディング）を生じないことが必要となる。これらのことを考慮に入れると、本来不対電子を有するイオンや金属を含んだ物質、あるいは本来フリーラジカルが含まれる物質は未照射の状態でもESRシグナルを示すので、照射効果のみを識別することが困難である。従って、本法による線量測定には不向きと言わざるを得ない。また、金属類も通常はESR吸収を示さないことから、これもまた不適切であるといえる。従って、これらの条件からはずれた無機物質や有機物質を選ぶことが重要となる^{1,2)}。しかし、これらの物質から発生するラジカルも測定時間内にフェーディングを起こす様では線量測定が不可能となるので、ラジカルの減衰を生じない物質を選ぶことが重要となる。

ESRを利用した線量測定については中島^{1,2)}、中島ら⁶⁾等の報告が認められる。中島ら⁶⁾はポリエチレンやルサイトに放射線を照射してそれらの中に発生するラジカル量とESR吸収量の相関を求めて線量測定が可能か否かを計算し、線量とラジカル発生量が、照射を受けた試料の保存状態（特に温度）によって影響を受けるか否かについて検討した。結果はルサイト中のラジカルは温度の上昇によって急速なフェーディングをすると報告している¹⁾。また、照射したルサイトを100°Cで保存したときの減弱も照射終了後35分間で指数関数的に減弱することを

示した。このような減衰を示すことは、長期に渡る積算線量の測定に不向きであることは容易に想像できる。従って、照射終了後の減衰を生じないラジカルが発生する物質が必要となることとなる。我々はその可能性がある物質の1つとして、グラニュー糖を利用したESR線量測定を試みることにして今回の実験を行った。我々の得た結果は、無照射群から160Gy照射群まで、照射線量とラジカル発生量の間で比例的直線関係を示すことが確認された(図2)。このことは、比較的高線量照射を行う放射線治療時に、照射野にグラニュー糖を置くことのみで線量測定が容易に可能となることを示すものであり、利用価値が高いものと言える。また、照射終了後8週間にわたり、フェーディングがほとんど認められないことはグラニュー糖内に発生したラジカルの安定性を示すものであり、積算線量の測定を極めて容易かつ正確に行うことが可能であると言える。これらのことから、グラニュー糖の利用は、長期に渡る分割照射時の線量測定に有用であるものと考えられる。

結 論

今回我々は電子スピン共鳴（ESR）装置とグラニュー糖を利用した線量測定を試み、以下の結果と結論を得た。

1. 放射線照射によってグラニュー糖内にフリーラジカルが発生することが確認された。
2. 放射線照射グラニュー糖中で生成されるフリーラジカル量は線量に対して比例的に増加することが確認された。
3. 放射線照射後の時間の経過による減衰（フェーディング）はほとんど認められないに等しいことが確認された。

以上の結果は、放射線照射を受けたグラニュー糖内部に発生するフリーラジカル量は線量との間で比例関係を示すとともに、フェーディングも長期に渡ってほとんど見られないことを

示すものであり、ESRとグラニュー糖を用いた線量測定が可能であることを示すものでもあった。放射治療時の線量測定、特に、分割照射による積算線量の測定に充分役立つ精度をもつものと考えられた。

文 献

1. 中島敏行：電子スピン共鳴を使った新しい線量評価法：放射線被曝にそなえて。放射線科学 **29**：215-219, 1986.
2. Nakajima T: Possibility of retrospective dosimetry for persons accidentally exposed to ionizing radiation using electron spin resonance of sugar and mother-of-pearl., *British J Radiol*, **62**: 148-153, 1989.
3. Nakajima T: The use of organic substances as emergency dosimeters., *Intern J Appl Radiat Isot*, **33**: 1077-1084, 1982.
4. Nakajima T: External dose to a Japanese tourist from the Chernobyl reactor accident., *Heal Phys*, **53**: 405-407, 1987.
5. Gorbics SG, Attix FH: LiF and CaF₂: Mn thermoluminescent dosimeters in tandem., *Intern J Appl Radiat Isot*, **19**: 81-89, 1968.
6. Nakajima T, Watanabe S: New method for estimating X-ray exposure sustained in radiation accidents: Possibilities of using organic substances as monitor., *J Nul Sci Techn*, **11**: 575-582, 1974.