

抱水クロラル・インジゴカルミン水溶液に 対する放射線の作用

(昭和47年8月21日受付)

名古屋市立大学医学部放射線医学教室 (主任: 佐久間貞行教授)

藤 田 勝 三 宮 田 伸 樹

On the Action of Radiation upon the Aqueous Solution of Chloral Hydrate and Indigo Carmine

by

Shozo Fujita and Nobuki Miyata

Department of Radiology, Nagoya City University Medical School

(Director: Prof. Sadayuki Sakuma)

Research Code No.: 299

Key Words: Aqueous solution, Chloral hydrate, Indigo carmine

In this paper we deal with the decolorization of the aqueous solution of chloral hydrate and indigo carmine by irradiation.

Chloral hydrate has been already used as a chemical dosimeter, but is not satisfactory on the point of sensitivity. Therefore, we examined the aqueous solution of chloral hydrate and indigo carmine. The solution consists of only two reagents. So, the preparing is not only easy but also the method of measurement is facile.

Dose was estimated at the difference between absorbancy before and after irradiation. Results were as follows:

- 1) The optimal concentrations of chloral hydrate and indigo carmine are 1.0 M and 4×10^{-5} M, respectively.
- 2) The reaction is not affected with temperature at 3 to 60°C in case of 200 R irradiation.
- 3) There is no dose rate dependency measuring the same intervals from the start of irradiation.
- 4) Energy dependency is noticed. The lower the energy is, the higher is the sensitivity.

I 緒 言

試料調製と測定操作が簡単で、感度の高い化学線量計があれば応用範囲は広い。抱水クロラルは既に化学線量計の材料として用いられている

が¹⁾、放射線治療領域における線量測定には操作法と感度の点で充分でない。それで、インジゴカルミンを加えて用いた抱水クロラル・インジゴカルミン水溶液に対する放射線の反応特性を調

べ、化学線量計に応用できるかを検討した。

II 実験材料及び方法

試薬は抱水クロラル（片山化学1級）とインジゴカルミン（メルク）である。溶媒は水道水（名古屋市営）をイオン交換（オルガノカートリッジF-3）し、1回蒸溜した。予備実験で、加える染料は11種類の中から吸光度測定が簡単であり、水に容易に溶解し、反応が鋭敏であるという理由でインジゴカルミンを選んだ。また、抱水クロラルについては特級試薬は1級試薬に比べて感度は良いが、非照射試料を貯えておくに褪色し安定性が悪かつたので1級試薬を用いた。

本実験では抱水クロラル及びインジゴカルミンの至適濃度、線量率及び線質依存性、照射後の吸光度変化、温度による影響、再現性について調べた。

試料約8 ml を内径15mm、肉厚1mmのガラス製試験管（栓なし）に入れた。その前面に厚さ4mmのアクリル板を密着して置き⁶⁰C γ線を照射した。ことわりのない場合は線量率が70R/min、照射野の大きさは10cm×10cmである。コバルト照射装置は島津製RTG-1型（1100Ci）である。線質依存性は日立製深部治療装置RT-30R-Bを用いて調べた。照射線量はラドコンI型（Model 575）の値を基準にした。吸光度測定は日立分光光度計101型（セル：10×10×40mm³）を用いて行なつた。測定波長は615nmとした。照射室及び測定室の気温は23～27°Cの範囲であつた。

III 実験結果

1) 抱水クロラルの適した濃度

インジゴカルミンの濃度を $3 \times 10^{-5} \text{M}$ と一定にして抱水クロラルの濃度を0から1.0Mまで変えて照射線量と吸光度の関係を求めた。いずれの濃度についても実験した0から600Rまでの間では直線性を示した（Fig. 1）。抱水クロラルの濃度1.0Mの同じ時調製した溶液で600R照射を6回繰返し実験したときのバラツキは標準偏差で1%であつた。また、抱水クロラルの濃度と放射線に対する感度の間にはFig. 2のような関係があつた。抱水クロラルを加えないものが最も感

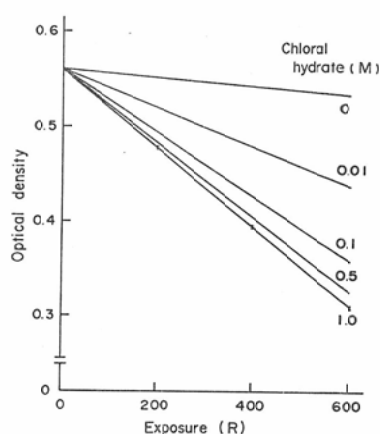


Fig. 1. Decolorizations after gamma ray irradiation for various concentrations of chloral hydrate under constant concentration of indigo carmine of $3 \times 10^{-5} \text{M}$.

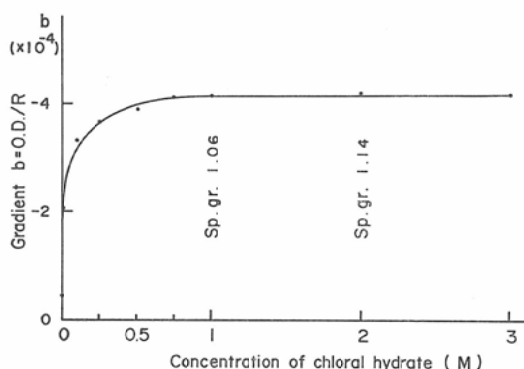


Fig. 2. The relationship between various concentrations of chloral hydrate and gradient. The curve becomes plateau above 1 M. Specific gravity of the solution with the concentration of chloral hydrate of 1.0 M is 1.06.

度が低く、抱水クロラル1M近くまでは濃度には感度の増加につれ感度が高くなるが、それ以上の濃度には感度の上昇は認められなかつた。尚、試料の比重は抱水クロラルの濃度1.0Mのとき1.06、2.0Mのとき1.14である。人体ファントムについて容積線量、吸収線量を測定するには比重は1に近いものが望ましい。よつて、抱水クロラルの適正濃度は1.0Mとした。

2) インジゴカルミンの適した濃度

インジゴカルミンの濃度を2—, 3—, 4—,

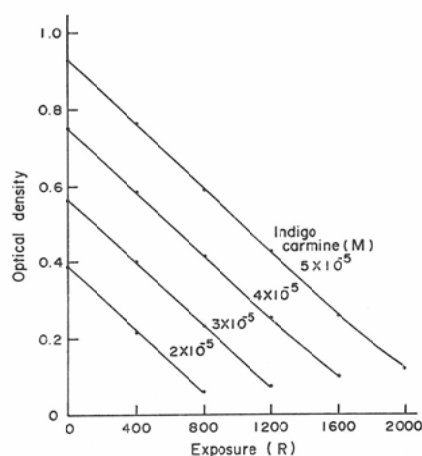


Fig. 3. Decolorizations after gamma ray irradiation for various concentrations of indigo carmine under constant concentration of chloral hydrate of 1.0 M. There is no difference of sensitivity for concentration of indigo carmine.

$5 \times 10^{-5} \text{M}$ と変えて 400 R 間隔で 2000 R まで照射した。いずれの濃度についても直線部分の勾配は等しく、インジゴカルミンの濃度によつて感度に差を生じなかった。しかし、使用した分光光度計の精度は吸光度 0.2～0.7 の間で測定すると良いので、この間で線量の測定範囲の広い濃度 $4 \times 10^{-5} \text{M}$ を選んだ (Fig. 3)。

3) 線量率依存性

線量率 10 R/min と 70 R/min で 600 R 照射した。照射 2 分後に測定した場合には 10 R/min の方が 70 R/min に比べて約 10% 高い値を示した。しかし、照射開始から吸光度測定までの間隔を等しく 62 分で測定した場合には両者の値の差はバラツキの範囲内であり、このように測定時間を選べば線量率依存性は認めなかった。

4) 線質依存性

使用した線質は ^{60}Co γ 線のほかは次のような実効エネルギーの X 線である。48 keV (管電圧 125 kV, フィルター 3.0 mm Al, 半価層 0.26 mm Cu), 81 keV (200 kV, 0.5 mm Cu + 1.0 mm Al, 1.03 mm Cu), 108 keV (250 kV, 1.0 mm Cu + 1.0 mm Al, 2.05 mm Cu) 及び 134 keV (280 kV, 2.0 mm Cu

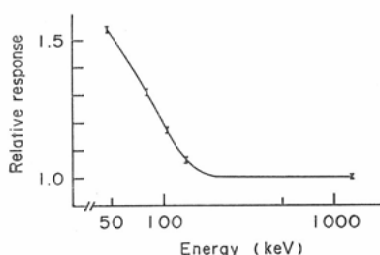


Fig. 4. Energy dependency in case of 600 R irradiation. Normalized to the absorbancy change at ^{60}Co gamma ray irradiation.

+ 1.0 mm Al, 3.04 mm Cu) である。それぞれ、線量率 40 R/min で 600 R 照射し、吸光度の変化量を比較した。結果は ^{60}Co の場合を基準にして Fig. 4 に示した。X 線ではエネルギーが低くなると感度が高くなり 48 keV では ^{60}Co との比が 1.53 ± 0.01 であった。

5) 照射後の吸光度変化

200 R 及び 600 R 照射後の吸光度を 2 分から 60 分まで測定した。時間がたつにつれ吸光度は減少した (Fig. 5)。600 R 照射した試料の吸光度が大きく変化しているが、照射線量に対する吸光度変化の値の比は等しかった。照射後 2 分で測定した値とそれから 10 分後に測定した値には約 2% の差があった。

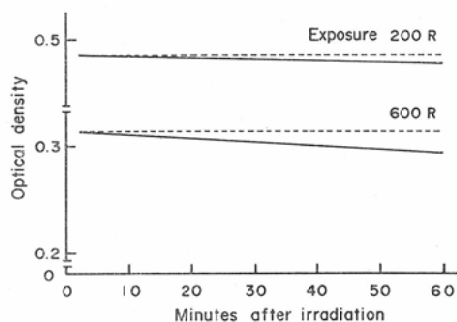


Fig. 5. Change of the absorbancy after 200 R and 600 R irradiations. Dotted lines are horizontal.

6) 温度による影響

試料を入れた試験管 2 本を水槽 (30 cm × 30 cm × 30 cm) に入れ、水槽の水の温度を 3～60℃ の範囲

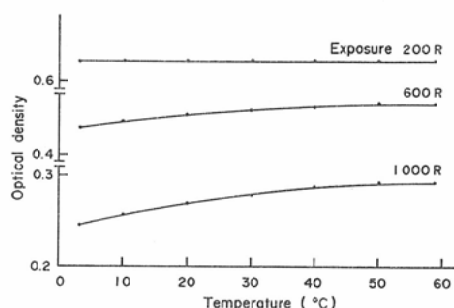


Fig. 6. Temperature dependency of 200 R, 600 R and 1000 R irradiations.

で変えた。試料の1つには温度計を入れ、他方は吸光度測定用とした。水槽の温度分布を均等にするためにスターラーで攪拌しながら照射した。照射線量は200 R、600 R及び1000 Rである。200 Rでは温度による影響を無視してよい。照射線量の多い方が温度の影響をうけ、また、温度が高くなるにつれ感度が低くなることがわかった。しかし、600 R照射の場合でも10~30°Cの範囲で測定すれば変動は5%以内であつた (Fig. 6)。

7) 再現性

同じ容器の試薬でも試料の調製日が異なる6通りのものとロット番号の異なる5本の抱水クロラルで調製した試料に600 R照射した。それらの吸光度の変化はいずれもバラツキが標準偏差として1%以内であつた。

IV 考 按

水溶液の反応系を化学線量計として応用することは次の如き点で意義を有する。第1に、線量計の密度、吸収係数が生体組織とはほぼ等価なものが得られる。第2に、容器を工夫すれば任意の型の線量計を作ることができる。第3に、容積線量の測定が比較的容易である。しかし、反応系の調製が煩雑であつたり、化学変化量の測定がむずかしいものは実用性が乏しい。また、放射線治療に用いる程度の線量で測定が可能でなければならない。このために種々の反応系が論じられてきた。その主な反応には電気伝導度の変化⁴⁾、褪色又は色調変化²⁾⁶⁾、酸化³⁾⁵⁾、着色⁴⁾がある。

我々は試料調製と測定操作が簡単なものをと考

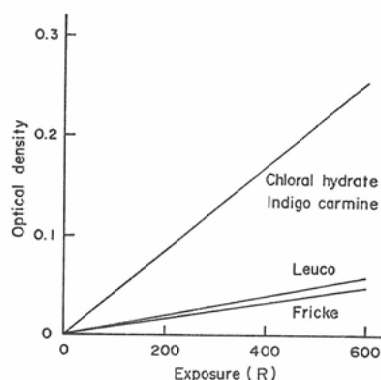


Fig. 7. Comparison of sensitivity of the various chemical dosimeters.

Leuco: Leuco triarylmethane compound⁴⁾

Fricke: Fricke's dosimeter⁵⁾.

えて、染料を示標とした褪色反応に着眼した。更に、抱水クロラル・インジゴカルミン系とこれまでに論じられてきた反応系のうち吸光度測定による方法の放射線に対する感度を比較すると Fig. 7 の如くである。

Andrews ら¹⁾の抱水クロラル線量計に比べて抱水クロラル・インジゴカルミン系は幾つかの異なつた特性をもっている。第1に、Andrews らは照射により塩酸が生成するだろうと述べ、測定方法もそれに従つたものである。抱水クロラル・インジゴカルミン系では、抱水クロラルだけに照射して後にインジゴカルミンを加えても褪色は認められず、また、インジゴカルミンに塩酸を注加しても大きな吸光度変化はなかつた。しかし、塩素水を加えると著しく褪色した。これより、抱水クロラル・インジゴカルミン系の反応は塩素が介在することによるものと考えられる。第2に、抱水クロラル・インジゴカルミン系の方が抱水クロラル線量計に比べて放射線に対する感度がよい。抱水クロラル線量計は 10^8 R 単位の線量測定に適するとされている。また、0.5 Mのみが線量と塩酸生成量の間に直線性がないが、抱水クロラル・インジゴカルミン系では抱水クロラルの特定濃度に直線性を失うことがない。第3に、抱水クロラル線量計は温度が高くなるにつれ急激に感度が大きくなるが、抱水ク

ロラル・インジゴカルミン系では気温の変化する範囲内なら実用上問題はない。また、低温の方が感度が高いのは生成物が塩素であると考えながら塩素ガスの水に対する溶解度曲線から抱水クロラル・インジゴカルミン系の温度による影響のあり方が理解できる。

抱水クロラル・インジゴカルミン系の反応を化学線量計として応用する場合の欠点は、照射後に放置しておくで吸光度が減少することである。また、照射後速やかに測定した場合線量率により感度に差がある。この2つの性質から照射後速やかに吸光度測定を行なった方が操作は簡単であるが、線量率による差をなくすためにも、吸光度の時間的变化が少なくなることからも照射開始から吸光度測定までの間隔を一定にする必要がある。

試料中の溶存酸素の影響については、この水溶液に対する超音波の影響とともに別報でのべる。

V 結 語

抱水クロラル・インジゴカルミン系を化学線量計として用いることを考えた。この反応系について性質を検討したところ次の如き結論を得た。

1. 試料の調製が簡単である。

2. 試薬の濃度は抱水クロラルが 1.0M, インジゴカルミンが 4×10^{-5} M が適している。

3. 異なつた日時に調製した試料でも、試薬のロット番号が異なつても、測定値のバラツキは標準偏差として 1% 以内である。

4. 温度による影響は 200～600 R では 10～30 °C の範囲で実用上無視できる。

5. 照射した試料は時間がたつにつれ褪色する。照射後 2 分と 12 分では約 2% の差がある。線量率 10R/min と 70R/min で照射した場合、照射開始から吸光度測定までの間隔を等しく 62 分にして測定した場合には線量率による感度差はない。

6. 線質依存性がある。エネルギーが低くなるにつれ感度が高くなり、48keV では ^{60}Co γ 線との比が 1.53 ± 0.01 である。

本論文の要旨は第41回日本医学放射線学会中部地方会(昭和44年11月30日)、第29回日本医学放射線学会総会(昭和45年3月22日)に於いて発表した。

文 献

- 1) Andrews, H.L. and P.A. Shore: X-ray dose determinations with chloral hydrate. J. Chem. Phys., 18/9 (1950), 1165—1168.
- 2) Clark, G.L. and P.E. Bierstedt: X-ray dosimetry by radiolysis of some organic solutions. Radiat. Res., 2 (1955), 295—305.
- 3) Fricke, H. and S. Morse: The chemical action of roentgen rays on dilute ferrosulphate solutions as a measure of dose. Am. J. Roentgenol., 18 (1927), 430—432.
- 4) 計屋慧実, 竹井 力: 化学線量計に関する研究 第1報 Leuco triarylmethane. 日本医放会誌, 27 8 (1967), 1093—1100.
- 5) 中塚春夫他: 鉄線量計の一変法 (第1報). 日本医放会誌, 27/6 (1967), 667—670.
- 6) Taplin, G.V., C.H. Douglas and B. Sanchez: Colorimetric method for dosimetry of 10—100 R. Nucleonics, 9/2 (1951), 73—77.