

Đặc điểm cơ bản của máy đo khảo sát mới — Về đo liều phân tán trong không gian —

Yuto OMORI¹⁾
Fumika YAMADA²⁾

Shoko ISHIZAWA²⁾
Yuki MURABAYASHI¹⁾

Wakana KAWAGUCHI²⁾
Yohei INABA^{1,3)}

Shusei MAKI¹⁾
Koichi Chida^{1,3)*}

1) Khoa X quang, Trường Y khoa Đại học Tohoku

2) Trường Y Đại học Tohoku, Khoa Khoa học Sức khỏe

3) Đại học Tohoku, Viện nghiên cứu quốc tế về khoa học thiên tai, Khoa Y học thiên tai, Khoa X quang thiên tai

Ngày nhận giấy: 21/09/2021, ngày nhận giấy: 01/11/2021

Đặc điểm cơ bản của máy đo khảo sát đa năng —Đo bức xạ tán xạ—

**Yuto OMORI¹⁾, Shoko ISHIZAWA²⁾, Wakana KAWAGUCHI²⁾, Shusei MAKI¹⁾,
Fumika YAMADA²⁾, Yuki MURABAYASHI¹⁾, Yohei INABA^{1,3)}, Koichi CHIDA^{1,3)*}**

1) Department of Radiological Examination and Technology, Tohoku University Graduate School of Medicine

2) Tohoku University School of Medicine, Health Sciences

3) Disaster Medical Radiology, Division of Disaster Medical Science, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

Sự tiếp xúc của người lao động trong ngành y đa khoa chủ yếu là tiếp xúc với tia X do tia tán xạ từ đối tượng. Vì vậy, việc đo bức xạ tán xạ như vậy là cần thiết để xác nhận tình trạng phơi nhiễm và bảo vệ bức xạ. Mới đây, máy đo khảo sát đa năng mới RaySafe 452 đã được Unfors RaySafe cho ra mắt. Tuy nhiên, không có báo cáo chi tiết nào về hiệu suất, bao gồm độ tái lập và sự phụ thuộc góc của máy đo khảo sát RaySafe 452. Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá hiệu suất của máy đo khảo sát RaySafe 452. Các thí nghiệm đã được tiến hành để so sánh hiệu suất của máy đo khảo sát RaySafe 452 với máy đo khảo sát buồng ion hóa. Kết quả cho thấy hiệu suất cơ bản của máy đo khảo sát RaySafe 452 ở mức tốt so với máy đo khảo sát buồng ion hóa đã hiệu chuẩn.

Từ khóa: bức xạ tán xạ, bảo vệ bức xạ, phơi nhiễm nghề nghiệp

[doi:10.11269/jjrs.21.2]

1. Giới thiệu

Vào tháng 4 năm 2011, ICRP đã công bố trong Tuyên bố Seoul của mình rằng giới hạn liều tương đương đối với thấu kính của mắt đối với phơi nhiễm nghề nghiệp trong các tình huống phơi nhiễm theo kế hoạch là 20 mSv/năm tính trung bình trong 5 năm và không được vượt quá giới hạn 50 mSv trong một năm bất kỳ. Để giải quyết vấn đề này, giới hạn liều lượng mới sẽ được áp dụng tại Nhật Bản từ ngày 1 tháng 4 năm 2021. Theo báo cáo của Nhóm nghiên cứu của Bộ Y tế, Lao động và Phúc lợi về việc xem xét giới hạn phơi nhiễm bức xạ đối với thấu kính tinh thể của mắt¹⁾, mức độ phơi nhiễm của nhân viên y tế nói chung chủ yếu là phơi nhiễm tia X do bức xạ tán xạ từ chủ đề²⁻¹²⁾. Do đó, việc đo bức xạ phân tán trong không gian như vậy là cần thiết để xác nhận trạng thái phơi nhiễm và bảo vệ bức xạ¹³⁻¹⁶⁾. Để thực hiện đánh giá liều chính xác, việc kiểm soát độ chính xác của dụng cụ đo là cực kỳ quan trọng¹⁷⁻²⁰⁾.

Máy đo khảo sát kết hợp (RaySafe452) mới được Unfors RaySafe phát hành trên toàn thế giới (các đặc điểm cơ bản của máy đo khảo sát này được liệt kê trong thông số kỹ thuật), nhưng việc đánh giá hiệu suất của người dùng vẫn chưa được tiến hành. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi đã nghiên cứu xem liệu RaySafe452 có hữu ích trong việc đo liều phân tán trong không gian trong IVR và các thiết bị khác hay không bằng cách so sánh nó với một thiết bị đo đã được hiệu chuẩn.

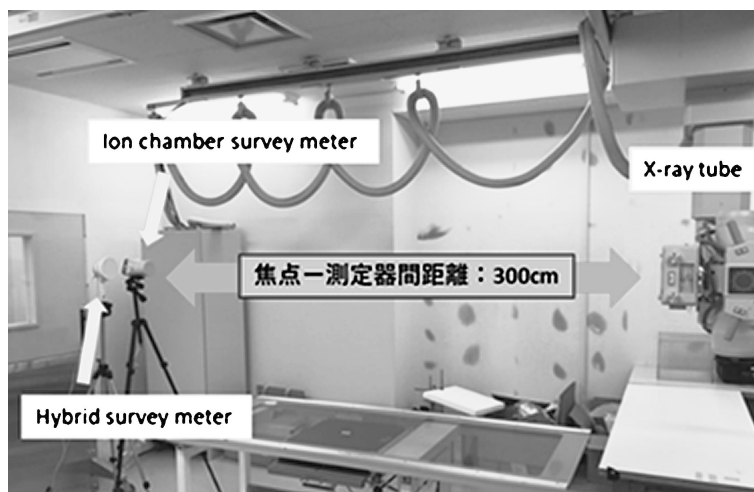
2. Phương pháp

Máy đo khảo sát đa năng được sử dụng trong nghiên cứu này được gọi là thiết bị đo đa năng vì nó được trang bị ống GM và máy dò bán dẫn. Khi gắn nắp màu vàng vào có thể đo được liều tương đương xung quanh, khi tháo nắp ra thì nó có chức năng như một ống GM.

*〒980-8575 Seiryō-cho, Aoba-ku, Sendai, tỉnh Miyagi 2-1



Hình 1 Các loại nắp máy đo khảo sát RaySafe452



Hình 2 Sơ đồ đo

Hình 1 hiển thị kết quả khi bật và tắt thiết bị. Các ưu điểm khác bao gồm: kết quả đo có thể được lưu trữ trong thiết bị chính (4000 lần), dữ liệu đo có thể được phân tích bằng cách kết nối thiết bị chính với PC và theo thời gian thực. suất liều/liều tích lũy - Máy khảo sát loại buồng ion hóa thường được sử dụng để đo tia X tán xạ vì chúng có thể hiển thị cùng lúc kết quả đo năng lượng trung bình và suất liều cực đại(22-25)Vì vậy, chúng tôi quyết định so sánh độ chính xác đo tương đương liều 1 cm đối với tia X tán xạ trong không gian với độ chính xác của máy đo khảo sát buồng ion hóa.

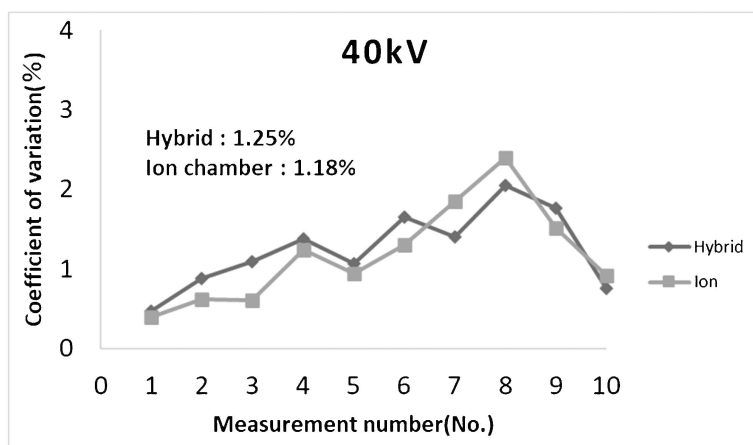
2.1 Sử dụng máy đo

Máy đo khảo sát có hiệu suất được đánh giá trong nghiên cứu này là máy đo khảo sát kết hợp RaySafe452 (Unfors RaySafe). Máy đo khảo sát buồng ion hóa ICS-323C (Hitachi Aloka Medical) đã được sử dụng để so sánh. Độ tuyến tính của liều được xác định bằng thiết bị X-quang chẩn đoán DHF-115HII (Hitachi Medical).

Để xác định sự phụ thuộc, hệ thống chụp động mạch X-quang C-arm, Infinix Celevel-1 INFX-8000F (Toshiba Medical Systems), đã được sử dụng.

2.2 Độ tái lập

Để đánh giá độ tái lập của các phép đo lặp lại trong cùng điều kiện, tia X trực tiếp do thiết bị tia X tạo ra được đo đồng thời bằng máy đo khảo sát buồng ion hóa và máy đo khảo sát đa năng. Hình 2 thể hiện sơ đồ bố trí đo. Khoảng cách giữa tiêu điểm của ống tia X và máy dò là 300 cm, khoảng cách giữa hai thiết bị đo là 15 cm và trường chiếu xạ dài 50 cm x rộng 60 cm. Ngoài ra, nhằm giảm ảnh hưởng của tia X. bức xạ tán xạ từ các bức tường của phòng thí nghiệm, cả hai dụng cụ đo đều được đặt cách tường ít nhất 1 m và điều kiện chiếu xạ là soi huỳnh quang liên tục và dòng điện trong ống được thực hiện trong 1 phút ở 0,1 mA và điện áp ống 40, 60, và 80 kV, và tốc độ tương đương liều 1 cm được đo khi đầu ra tia X ổn định Ở mỗi điện áp ống, các phép đo được thực hiện 10 lần trong khoảng thời gian 1 phút và mỗi lần dao động.



Hình 3. Độ tái lập đối với điện áp ống 40 kV. Giá trị trung bình của CV đo được là 1,25% đối với máy đo khảo sát đa năng; 1,18% đối với máy đo khảo sát buồng ion.

Hệ số (giá trị thu được bằng cách chia độ lệch chuẩn cho giá trị trung bình số học) đã được tính toán. Điều này được lặp lại tổng cộng 10 lần để đánh giá độ tái lập.

2.3 Sự phụ thuộc vào năng lượng (điện áp ống)

Việc bố trí phép đo tương tự như đối với độ tái lập. Các điều kiện chiếu xạ là soi huỳnh quang liên tục, với dòng điện trong ống 0,1 mA và điện áp ống thay đổi từ 40 kV đến 110 kV với mức tăng 10 kV được thực hiện trong 1 phút và đo tốc độ tương đương liều 1 cm khi chụp X-quang. đầu ra ổn định. Sự phụ thuộc năng lượng được đánh giá bằng tỷ lệ giữa giá trị trung bình của máy đo khảo sát đa năng với giá trị trung bình của máy đo khảo sát loại buồng ion hóa, được đo ba lần ở mỗi điện áp ống và xác định được giá trị trung bình.

2.4 Sự phụ thuộc vào liều lượng

Việc bố trí phép đo tương tự như đối với độ tái lập. Điều kiện chiếu xạ là soi huỳnh quang liên tục, dòng điện trong ống 0,1, 0,3, 0,6, 0,8, 1,0, 1,5, 2,0 mA, điện áp ống 60, 80kV, soi huỳnh quang trong 1 phút, liều 1cm với đầu ra tia X ổn định. các liều được sắp xếp theo thứ tự giảm dần của suất liều. Các phép đo được thực hiện ba lần ở mỗi điện áp ống và giá trị trung bình được tính cho mỗi điện áp ống.

2.5 Độ tuyến tính của liều

Vật thể là một bóng ma acrylic (30 cm x 30 cm x 20 cm), đo lượng bức xạ tán xạ theo hướng 90° được tạo ra khi tia X được chiếu lên bóng ma acrylic và khoảng cách giữa ống tia X Tiêu điểm và bề mặt bóng ma acrylic là Máy đo khảo sát đa năng với 85 cm, trường chiếu xạ 30 cm x 30 cm, khoảng cách giữa tâm bóng ma acrylic và dụng cụ đo 300 cm, khoảng cách giữa cả hai dụng cụ đo 15 cm, điều kiện chiếu xạ liên tục phương pháp soi huỳnh quang với điện áp ống 70 kV và dòng điện ống 1 mA. Liều tích hợp (tương đương liều 1cm) được đo liên tục bằng cả máy đo khảo sát loại buồng ion hóa và giá trị được ghi lại mỗi giây và phép đo được thực hiện trong 300 giây. Việc này được thực hiện tổng cộng ba lần và giá trị trung bình của liều tích lũy được tính mỗi giây cho mỗi dữ liệu

Mặt khác, chúng tôi thực hiện phép tính gần đúng tuyến tính bằng phương pháp bình phương tối thiểu và tính hệ số xác định R2.

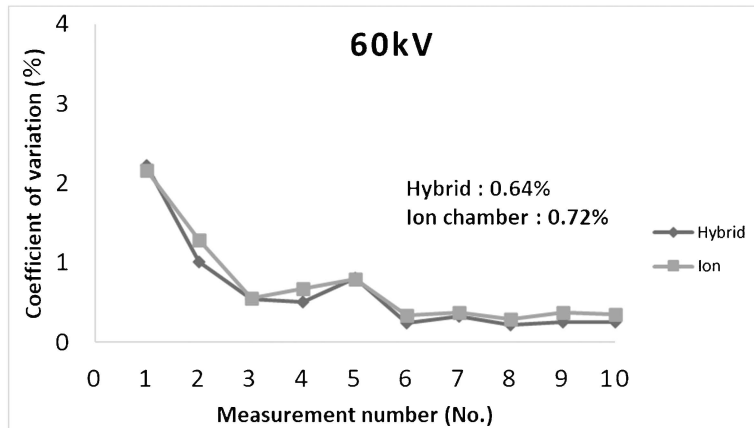
2.6 Sự phụ thuộc vào hướng

Một tấm xốp được đặt trên bề của thiết bị chụp mạch và máy đo khảo sát đa năng được đặt lên trên sao cho tâm của bộ phận phát hiện trùng với tâm điểm của thiết bị. Góc của cánh tay chữ C được điều chỉnh từ 0 ° đến 90° (với bước tăng 10°). Ngoài ra, các phép đo được thực hiện bằng cách thay đổi góc thành 120°, 150° và 180°. Hướng ngang được đo bằng máy đo khảo sát kết hợp với thiết bị phát hiện được lắp đặt trong cùng một hướng khi trục đẳng tâm và cánh tay C được xoay. Hướng thẳng đứng được đo bằng cảm biến kết hợp. Cánh tay C được xoay với phần phát hiện máy đo khảo sát đầu được định hướng theo chiều ngang ở góc 90° so với trục tâm điểm. Các điều kiện chiếu xạ là soi huỳnh quang liên tục với điện áp ống 50 kV và dòng điện ống 1 mA được thực hiện trong 30 giây và đo tốc độ tương đương liều 1 cm khi đầu ra tia X ổn định. Điều này đã được thực hiện tổng cộng hai lần.

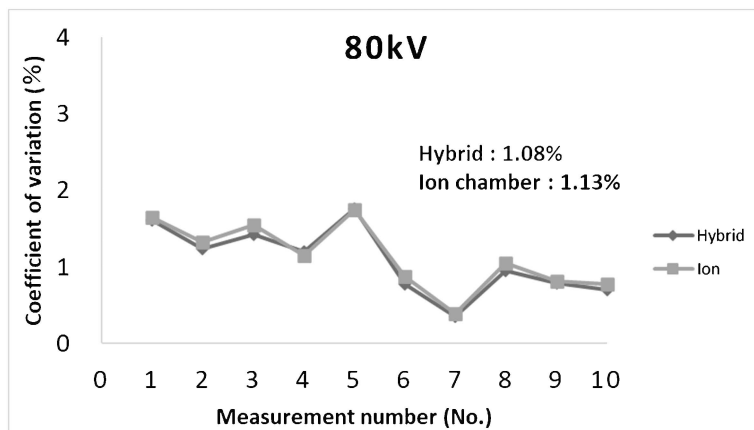
3. Kết quả

3.1 Độ tái lập

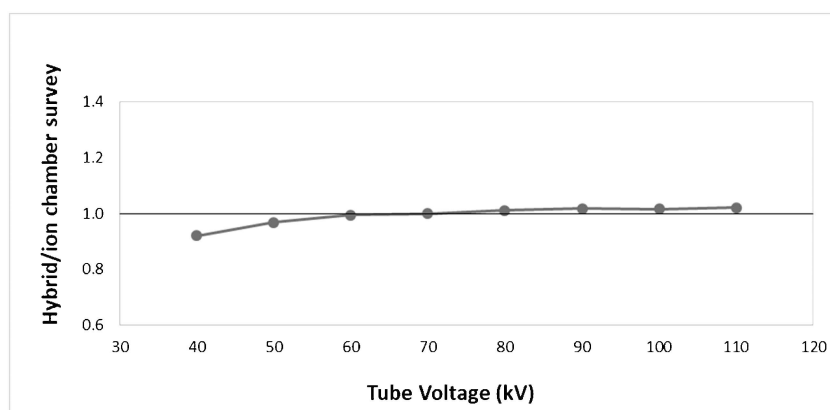
Đồ thị ở điện áp ống từ 40 đến 80 kV được thể hiện trong Hình 3 đến Hình 5. Giá trị trung bình của hệ số biến thiên là 1,25%, 0,64% và 1,08% đối với máy đo khảo sát đa năng và 1,18%, 0,72% và 1,13% đối với máy đo khảo sát buồng ion ở 40 kV, 60 kV và tương ứng là 80 kV. Có thể nói độ tái lập gần như giống nhau ở mỗi điện áp ống. Các giá trị trung bình là 1,04, 4,28 và 9,01 (mSv/h) đối với máy đo khảo sát đa năng và 1,12, 4,24 và 8,76 (mSv/h) đối với máy đo khảo sát loại buồng ion hóa ở 40 kV, 60 kV và 80 kV tương ứng. Hơn nữa, do sự thay đổi hệ số biến thiên gần như giống nhau đối với cả hai máy đo khảo sát, nên có vẻ như sự thay đổi là do đầu ra của ống tia X.



Hình 4 Độ tái lập đối với điện áp ống 60 kV Giá trị trung bình của CV đo được là 0,64%, đối với máy đo khảo sát đa năng; 0,72%, máy đo khảo sát buồng forion.



Hình 5 Độ tái lập đối với điện áp ống 80 kV Giá trị trung bình của CV đo được là 1,08%, đối với máy đo khảo sát đa năng; 1,13%, máy đo khảo sát buồng forion.

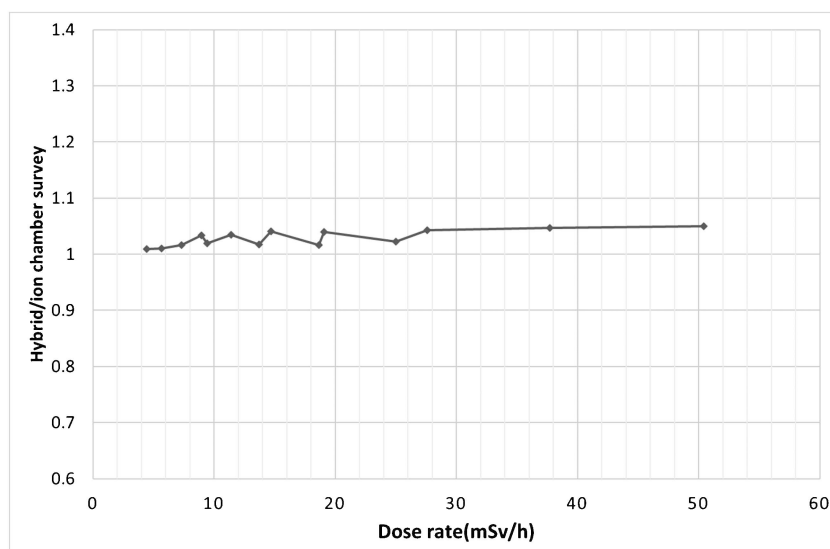


Hình 6 Sự phụ thuộc năng lượng của máy đo khảo sát đa năng dựa trên điện áp ống 70 kV.

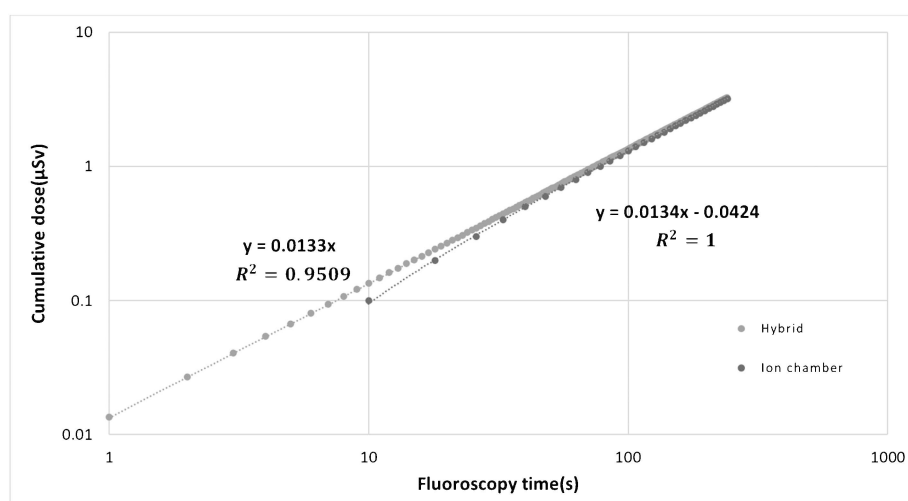
3.2 Sự phụ thuộc vào năng lượng (điện áp ống)

Hình 6 cho thấy sự phụ thuộc năng lượng của máy đo khảo sát đa năng khi sử dụng máy đo khảo sát buồng ion hóa làm tài liệu tham khảo.

Tuy nhiên, khi điện áp ống giảm thì giá trị của máy đo khảo sát đa năng giảm tương đối nhưng giá trị đo được của máy đo khảo sát đa năng so với máy đo khảo sát buồng ion hóa



Hình 7 Sự phụ thuộc liều lượng của máy đo khảo sát đa năng. Trục dọc là tỷ lệ của tỷ lệ liều đo được (Máy đo khảo sát đa năng/máy đo khảo sát buồng ion). Trục hoành là suất liều được đo bằng máy đo khảo sát buồng ion.



Hình 8 Độ tuyến tính của liều của máy đo khảo sát đa năng và máy đo khảo sát buồng ion.

Chênh lệch nhỏ hơn $\pm 5\%$ giữa 50 kV và 110 kV, dựa trên điện áp ống 70 kV.

3.3 Sự phụ thuộc vào suất liều

Hình 7 cho thấy kết quả của sự phụ thuộc vào suất liều. Trong biểu đồ, trục hoành là liều lượng mỗi giờ và trục tung là giá trị của máy đo khảo sát đa năng chia cho giá trị của máy đo khảo sát loại buồng ion hóa. Biểu đồ hiển thị giá trị của máy đo khảo sát đa năng so với máy đo khảo sát loại buồng ion hóa ở khoảng 4,4 đến 50,4 mSv/h. Sự chênh lệch về giá trị đo được nhỏ hơn $\pm 2\%$.

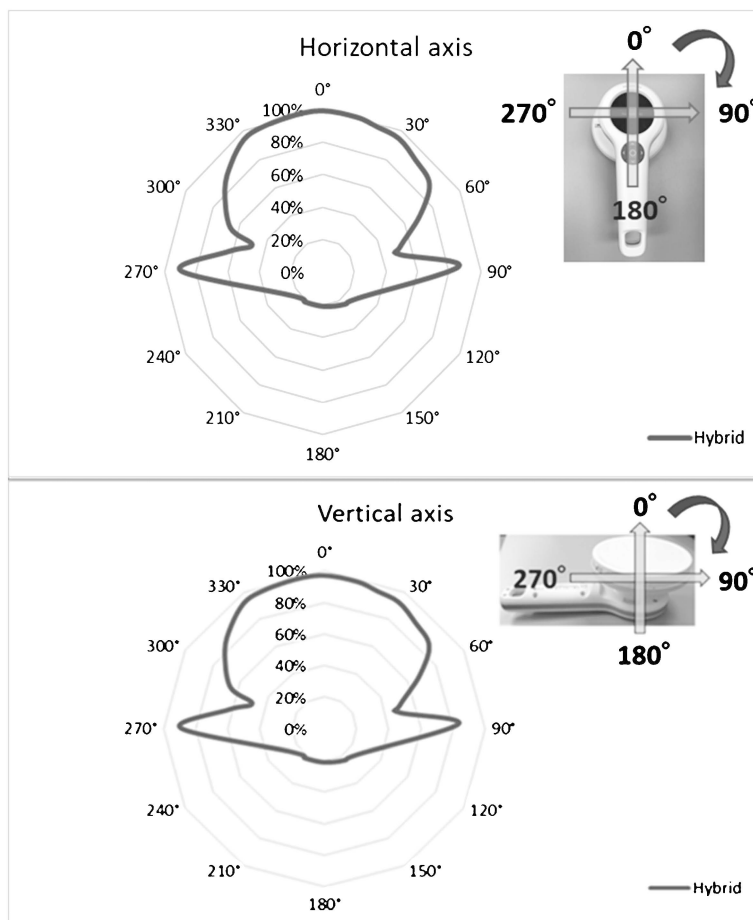
3.4 Tuyến tính liều

Hình 8 cho thấy kết quả tuyến tính của liều.

Hệ số xác định R2 của máy đo khảo sát đa năng là 0,9509 và hệ số xác định R2 của máy đo khảo sát buồng ion là 1 và độ tuyến tính của liều gần như giống nhau. Tuy nhiên, giới hạn dưới để đo liều tích lũy là 0,1 mSv đối với máy đo khảo sát buồng ion hóa, trong khi máy đo khảo sát đa năng có thể đo tới giới hạn dưới 0,013 mSv.

3.5 Sự phụ thuộc vào hướng

Hình 9 cho thấy kết quả của sự phụ thuộc vào hướng. Hướng tới từ mặt trước của bề mặt phát hiện là 0° . Theo hướng ngang, máy đo khảo sát kết hợp có độ nhạy hơn 95% từ 0° đến 30° và 330° đến 360° (0°), và 60° từ 0° đến 60° và 300° đến 360° (0°). Nó có độ nhạy lớn hơn.



Hình 9 Sự phụ thuộc góc của máy đo khảo sát đa năng.

Người ta cũng xác nhận rằng độ nhạy là trên 90% ở 90° và 270°. Độ nhạy thấp ở các góc độ khác. Máy đo khảo sát loại buồng ion hóa có độ nhạy từ trước ra sau, theo dữ liệu danh mục (26). Theo hướng thẳng đứng, máy đo khảo sát kết hợp có độ nhạy hơn 95% từ 0° đến 30° và 330° đến 360° (0°) và 60% từ 0° đến 60° và từ 300° đến 360° (0°). Nó có độ nhạy lớn hơn. Người ta cũng xác nhận rằng độ nhạy xấp xỉ 85% ở 90° và khoảng 90% ở 270°. Độ nhạy thấp ở các góc độ khác.

4. Thảo luận

Nghiên cứu này là nghiên cứu đầu tiên trên thế giới đánh giá hiệu suất của các máy đo khảo sát kết hợp về phía người dùng. Trước đây, phòng thí nghiệm của chúng tôi đã đánh giá hiệu suất của RaySafe X2, được Unfors RaySafe phát hành ở Thụy Điển vào năm 2014, trong một nghiên cứu của Ishii (et al. 27-29). Trong quá trình đánh giá, chúng tôi đã sử dụng máy đo khảo sát buồng ion hóa làm đối tượng so sánh, như trong thí nghiệm hiện tại. Bảng 1 cho thấy các đặc điểm cơ bản của máy đo khảo sát đa năng so với máy đo khảo sát buồng ion.

Bảng 1 Đặc điểm của máy đo khảo sát đa năng và máy đo khảo sát buồng ion.

	Máy đo khảo sát đa năng (RaySafe452)	Máy đo khảo sát buồng ion
Khả năng tái lập	Tương đương nhau	
Sự phụ thuộc năng lượng	Tương đương nhau	
Sự phụ thuộc vào liều lượng	Tương đương nhau	
Tuyến tính liều	Tương đương nhau	
Độ nhạy	◎	○
Sự phụ thuộc góc	○	◎
	Bằng nhau ở mặt trước của cảm biến (> 95% trong phạm vi ±30°, 90°, 270°)	

Về độ tái lập, giá trị trung bình của hệ số biến thiên gần như giống nhau đối với từng điện áp ống, nên có thể nói độ tái lập của máy đo khảo sát đa năng và máy đo khảo sát loại buồng ion hóa gần như giống nhau. Hơn nữa, khi so sánh các giá trị đo được của máy đo khảo sát đa năng và máy đo khảo sát loại buồng ion hóa, chúng gần như giống nhau nên độ chính xác của phép đo là tốt.

Về sự phụ thuộc năng lượng, điện áp ống càng thấp thì giá trị của máy đo khảo sát đa năng tương đối càng thấp. Tuy nhiên, giá sử tỷ số giữa các giá trị đo được khi điện áp ống là 70 kV là 1 thì chênh lệch giữa 50 kV và 110 kV nhỏ hơn $\pm 5\%$ là tương đối tốt.

Về sự phụ thuộc của suất liều, sự chênh lệch giá trị đo được của máy đo khảo sát đa năng và máy đo khảo sát buồng ion nhỏ hơn $\pm 2\%$ từ khoảng 4,4 mSv/h đến khoảng 50,4 mSv/h nên có thể nói rằng sự phụ thuộc vào liều lượng là nhỏ. Liều lượng tuyến tính là tốt. Hơn nữa, về độ nhạy trong phạm vi liều thấp, máy đo khảo sát đa năng có thể phát hiện từ khoảng 0,013 μ Sv và có độ nhạy cao hơn máy đo khảo sát buồng ion hóa. Điều này cho thấy khả năng thực hiện phép đo ở những khu vực có liều lượng thấp, chẳng hạn như phía sau tấm bảo vệ trong phòng khám tia X.

Về sự phụ thuộc vào hướng, phía trước máy dò, máy đo khảo sát đa năng và máy đo khảo sát buồng ion có cùng độ nhạy; cả hướng ngang và hướng dọc là 90° và 270° , do đó độ nhạy cao hơn so với khu vực xung quanh. , người ta coi rằng độ nhạy của cảm biến dò không chỉ ở hướng trước mà còn ở hướng bên.

Từ những điều trên, có thể nói rằng máy đo khảo sát đa năng rất hữu ích để đo liều rò rỉ và bức xạ phân tán trong không gian trong phòng khám IVR, v.v.

5. Kết luận

Chúng tôi đã đánh giá hiệu suất cơ bản của máy đo khảo sát kết hợp (RaySafe452) về liều lượng phân tán trong không gian. So với máy đo khảo sát loại buồng ion hóa, độ tái lập, sự phụ thuộc năng lượng, sự phụ thuộc tốc độ liều và độ tuyến tính của liều nói chung là như nhau, máy đo khảo sát đa năng có độ nhạy tốt hơn và máy đo khảo sát loại buồng ion hóa có sự phụ thuộc định hướng tốt hơn. Do đó, chúng tôi tin rằng máy đo khảo sát đa năng rất hữu ích để đo liều bức xạ phân tán trong không gian trong phòng khám tia X, v.v.

6. Lời cảm ơn

Chúng tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất đến các thành viên của Khoa X quang của Bệnh viện Sendai Kosei và Mime Endo và Kazuki Otomo của Trường Y khoa Đại học Tohoku vì sự hợp tác của họ trong các thí nghiệm.

■ 文 献

- 1)厚生労働省：眼の水晶体被ばく限度の見直し等に関する検討会 報告書。
- 2)Haga Y et al: Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Scientific Reports 7(1), 569, (2017).
- 3)Chida K et al: Occupational dose in interventional radiology procedures, American Journal of Roentgenology, 200(1), 138-141, (2013).
- 4)Ishii H et al: Performance of the DOSIRIS™ eye lens dosimeter, Journal of Radiological Protection 39(3), 19-26, (2019).
- 5)Kato M et al: OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE OF THE EYE IN NEUROVASCULAR INTERVENTIONAL PHYSICIAN, Radiation Protection Dosimetry 185(2), 151-156(2019).
- 6)Kato M et al: New real-time patient radiation dosimeter for use in radiofrequency catheter ablation, Journal of Radiation Research 60(2), 215-220 (2019).
- 7)Morishima Y et al: Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures, Journal of Radiation Research 59(2), 225-232 (2018).
- 8)遠藤美芽ほか：心臓 IVR 手技における0.75 mmPb 当量防護眼鏡の遮蔽効果に関する臨床的検討, 臨床放射線65(1), 71-75 (2020).
- 9)本田崇文ほか：IVR-CT 装置による CT 透視時の空間散乱線分布に関する基礎検討, 臨床放射線62(8), 1099-1104 (2017).
- 10)Inaba Y et al: Occupational radiation dose to eye lenses in CT-guided interventions using MDCT-fluoroscopy, Diagnostics, 11(4), 646(2021).
- 11)Endo M et al: Evaluation of novel X-ray Protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 62(3), 414-419(2021).
- 12)山田歩実ほか：心臓カテーテルインターベンションに携わる看護師の水晶体被ばく—水晶体線量の左右差に関する比較評価—, 日本放射線安全管理学会誌20(2), 52-60(2021).
- 13)稲葉洋平ほか：心血管 IVR 用 X 線装置の空間散乱 X 線量の装置間比較, 東北大学医学部保健学科紀要18, 45-51 (2009).
- 14)Chida, K et al: Clarifying and visualizing sources of staff-received scattered radiation in interventional procedures, AJR Am J Roentgenol 197(5), W900-903(2011).
- 15)Chida, K et al: physician -received scatter radiation with angiography systems used for interventional radiology comparison among many X-ray systems, Radiat Prot Dosimetry 142(4), 410-416(2012).
- 16)森島貴顕ほか：空間線量測定用新型サーベイメータの線量評価, 臨床放射線65: 1327-1333(2020).
- 17)Chida, k et al: Examination of the long-term stability of radiation survey meters and electronic pocket dosimeters, Radiat Prot Dosimetry 129(4), 431-434(2008).
- 18)Inaba, Y et al: Fundamental study of a real-time occupational dosimetry system for interventional radiology staff, J. Radial. Prot. 34, N65-N71(2014).

- 19) 稲葉洋平ほか：冠動脈インターベンションにおける新型リアルタイム術者線量計システムの有用性，心臓47(6)，679-686(2015)。
- 20) 佐藤文貴ほか：リアルタイム型 MOSFET 線量計の基本特性評価．東北大学医学部保健学科紀要26(1)，57-65(2017)。
- 21) Unfors RaySafe: RAYSAFE452 Users Manual.
- 22) 山田勝彦，野原弘基：診療放射線技術体系—専門技術学会系13放射線計測学．通商産業研究所 東京，305-308(1981)。
- 23) 日本放射線技術学会：臨床放射線技術実験ハンドブック(下巻)，通商産業研究所，東京，478-482(1996)。
- 24) 日本画像医療システム工業会：X線診療室の管理区域漏洩線量測定マニュアル，日本画像医療システム工業会規格(JESRA) 2-3, 15-16(2016)。
- 25) 田中仁，山田勝彦，安部真治，小田敍弘：新・医用放射線技術学実験(基礎編)，第3版，共立出版，東京，215-219(2016)。
- 26) 日立アロカメディカル：電離箱式サーベイメータ ICS-323C 取扱説明書。
- 27) 石井浩生ほか：新型半導体式サーベイメータの基本特性に関する検討，日本放射線安全管理学会誌17(1)，2-8(2017)。
- 28) 石井浩生ほか：二種類の異なる半導体式サーベイセンサの基本特性比較，東北大学医学部保健学科紀要27(1)，43-50(2018)。
- 29) 薩來康ほか：半導体式サーベイメータの散乱 X 線平均エネルギー測定精度の基礎検討，日本放射線安全管理学会誌17(2)，114-120(2018)。