การเปรียบเทียบคุณภาพของฟิล์ม ห้าบริษัทโดยวิธีวัดสภาพไวแสง

สุธี นัดพบสุข, วท.บ.(รังสีเทคนิค)*

บทคัดย่อ

การถ่ายภาพทางรังสีเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับช่วยเสริมการวินิจฉัยในทางการแพทย์ ปัจจุบันมีหลายบริษัทที่ผลิตฟิล์มเอกซเรย์ออกมาจำหน่าย แม้ว่าฟิล์มเอกซเรย์จะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน แต่เมื่อนำมาใช้บันทึกภาพ กลับได้ภาพที่มีคุณภาพแตกต่างกัน **วัตถุประสงค์:** เพื่อทดสอบคุณภาพของฟิล์ม เพื่อประกอบการเลือกซื้อฟิล์ม ด้วยวิธีวัดสภาพไวแสง **วิธีการทดสอบ:** ทดสอบคุณภาพของฟิล์มเอกซเรย์ ห้าบริษัท (Kodak Fuji Agfa Konica และ CEA) ขนาด 14 x17 นิ้ว จำนวนบริษัทละ 10 แผ่นในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา โดยเครื่องวัดสภาพไวแสงของบริษัท X-Rite รุ่น 396 **ผลการศึกษา:** ฟิล์มเอกซเรย์ Fuji มีคุณสมบัติค่าความมัวพื้นฐานต่ำสุด ค่าละติจูดกว้างสุด ค่าความชันเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อัตราความเร็วสัมพัทธ์ใกล้เคียงกับบริษัทอื่น ความสามารถในการบันทึกค่าความทึบแสงสูงสุดและอันดับรองได้แก่ ฟิล์ม CEA **สรุป:** สภาพไวแสงของฟิล์มเอกซเรย์ห้าบริษัทในห้องมืดที่มีการควบคุมคุณภาพในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดได้แก่ ฟิล์ม Fuji

Abstract: Comparison of the X-ray Film Quality from Five Manufacturers Using Sensitometry.

Suthi Nudphopsuk, B.Sc. (Radiological Technology)

Department of Radiology, Maharat Nakhon Ratchasima Hospital.

Nakhon Ratch Med Bull 2006; 30: S21-30.

* กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 30000

Introduction: Radiography is important for the diagnosis. There are many radiographic film manufacturers. Although basic structure of films from different manufacturers is similar, the radiographic image quality may be different. The author was interested in studying the quality of films from manufacturers in order to help purchase the good quality films. **Objective:** To test the quality of the radiographic films from the different manufacturers. **Materials and Methods:** Radiographic films from five manufacturers (Kodak Fuji Agfa Konica and CEA), size 14x17 inches, 10 films per manufactures, were tested by using sensitometry (X-Rite company, model 396). **Results:** Fuji x-ray films revealed lowest base and fog and highest radiographic density. But its relative speed and average gradient was inferior to the other films. However the sharpness of the radiographic image using Fuji film was very good. The study also showed that the quality of CEA x-ray films came next to Fuji x-ray films. **Conclusion:** X-ray film quality from Five manufacturers, using sensitometry in Maharat Nakhon Ratchasima Hospital, had good quality and conformed to the standard. However, Fuji x-ray films revealed the most suitable quality.

ภูมิหลัง

การถ่ายภาพทางรังสีเป็นสิ่งจำเป็น ในการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ปัจจุบันมีฟิล์มเอกซเรย์จากหลากหลายบริษัท แม้ว่าฟิล์มเอกซเรย์จะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน แต่เมื่อนำมาใช้ในการบันทึกภาพปรากฏว่าได้ภาพที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพการผลิตของฟิล์มนั้นๆ การวินิจฉัยฟิล์มของรังสีแพทย์ต้องใช้ฟิล์มที่มีคุณภาพเพื่อให้ได้ภาพรังสีคมชัด ช่วยในการวินิจฉัยโรค ของผู้ป่วย วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณภาพของฟิล์มเอกซเรย์ เพื่อประกอบในการเลือกซื้อฟิล์มที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน

วัสดุและวิธีการศึกษา

เป็นการศึกษาทดลองด้วยวิธีวัดสภาพไวแสงของฟิล์มด้วยมาตรไวแสง (Sensitometry) ของฟิล์มเอกซเรย์ ห้า บริษัทที่นำมาเสนอขายต่อโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ขนาด 14 x17 นิ้ว มีสภาพไวต่อแสงสีเขียว จำนวนบริษัทละ 10 แผ่น โดยมีวัสดุอุปกรณ์ประกอบไปด้วย มาตรทึบแสง (Densitometer) นิวเคลียร์แอสโซซิเอท รุ่น เอ็น-คิว 301 เอกซ์ มาตรไวแสง (Sensitometer) บริษัท X-Rite รุ่น 396 เครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ Konica รุ่น SRX-701 น้ำยาล้างฟิล์มอัตโนมัติ Kodak มาตรวัดอุณหภูมิชนิดดิจิทัล

ขั้นตอนการทดลองทำในห้องมืดที่มีการควบคุมคุณภาพในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ซึ่งห้องมืดที่ใช้ในการทดสอบนั้น ไม่พบแสงสว่างจากภายนอกห้องมืดผ่านเข้ามาได้ ปริมาณรังสีรั่วไหลในห้องมืดน้อยกว่า 0.02 มิลลิเรินเกนต์ต่อชั่วโมง แสงปลอดภัยในห้องมืด (safe light) ได้มาตรฐานที่เวลา 2 นาที โดยมีความแตกต่างของความทึบแสงส่วนที่สัมผัสแสงปลอดภัยและส่วนที่ไม่สัมผัสแสงปลอดภัย มีค่าไม่เกิน 0.05[1]

ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพของฟิล์มเอกซเรย์โดยวิธีวัดสภาพไวแสงดังนี้

1. นำฟิล์มเอกซเรย์ทั้ง ห้าบริษัทมารับแสงกับมาตรไวแสง โดยเลือกใช้ที่ผลิตแสงสีเขียว[2] เนื่องจากเป็นฟิล์มที่เคลือบอิมัลชันทั้ง 2 ด้าน[3] จึงให้ได้รับแสงทั้ง 2 ด้านของฟิล์ม (ฟิล์มทดลอง บริษัทละ 10 แผ่น) รับแสงระยะเวลาใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มแผ่นที่ 1 รับแสงจากมาตรไวแสง (ด้านหน้าและด้านหลัง) เมื่อทำเสร็จแล้วก็นำฟิล์มแผ่นที่ 2 มารับแสงจากมาตรไวแสง ทั้งสองด้าน

จนครบ 10 แผ่นใช้เวลาบริษัทละ 5 นาที

2. นำฟิล์มไปล้าง สอดด้านที่เป็นขั้นที่ 1 เข้าก่อน วางฟิล์มชิดด้านใดด้านหนึ่งเหมือนกันทุกครั้ง ฟิล์มที่ได้จากการรับแสงด้วยมาตรไวแสง จะได้แถบความทึบแสง 2 แถบต่อ 1 แผ่น (ด้านหน้าและด้านหลัง) ใน 1 แถบจะมีค่าความทึบแสงเป็นขั้น ๆ จำนวน 21 ขั้น[2] โดยขั้นที่ 1 เป็นค่าความทึบแสงต่ำสุด จนถึงขั้นที่21 เป็นค่าความทึบแสงสูงสุด

3. นำฟิล์มเอกซเรย์ที่ปรากฏเป็นแถบความทึบแสงทั้ง 21 ขั้น มาวัดค่าความทึบแสง ด้วยมาตรทึบแสง โดยสอดแถบความทึบแสงขั้นที่ 1 เข้าไปในเครื่องวัดตรงกับหัวอ่านแล้วกดหัวอ่าน ค่าก็จะปรากฏ ทำจนครบทั้ง 21 ขั้นและทำทั้ง 2 แถบ (ฟิล์ม 1 แผ่นมี 2 แถบ คือด้านหน้าและด้านหลัง) รวมฟิล์มทดลองที่ต้องทำ บริษัทละ 10 แผ่น แล้วนำค่าความทึบแสงที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยความทึบแสงในแต่ละขั้น ดังตารางที่ 1

4. ค่าความทึบแสงเฉลี่ยของฟิล์มแต่ละบริษัท ไปเขียนเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของฟิล์มโดยให้แกน X แทนค่าลอกการิทึมของปริมาณรังสีสัมพัทธ์ แนวแกน Y แทนค่าความทึบแสงเฉลี่ย[4] จากกราฟสามารถคำนวณได้ค่าความมัวพื้นฐาน อัตราเร็วสัมพัทธ์ ความชันเฉลี่ย ความทึบแสงสูงสุดและละติจูด

ตารางที่ 1 ค่าความทึบแสงเฉลี่ยของฟิล์มที่วัดจากมาตรความทึบแสง

ลำดับขั้น	ความทึบแสง				
	ฟิล์ม KODAK	ฟิล์ม FUJI	ฟิล์ม AGFA	ฟิล์ม KONICA	ฟิล์ม CEA
1	0.239	0.199	0.243	0.246	0.219
2	0.241	0.204	0.250	0.251	0.226
3	0.244	0.210	0.252	0.260	0.230
4	0.255	0.223	0.263	0.279	0.242
5	0.271	0.251	0.287	0.309	0.268
6	0.311	0.301	0.331	0.371	0.315
7	0.420	0.423	0.428	0.516	0.422
8	0.646	0.646	0.611	0.787	0.620
9	1.022	0.995	0.906	1.211	0.926
10	1.470	1.419	1.295	1.718	1.315
11	1.951	1.922	1.769	2.255	1.776
12	2.351	2.418	2.260	2.711	2.243
13	2.624	2.821	2.656	3.015	2.621
14	2.818	3.139	2.969	3.220	2.920
15	2.931	3.336	3.178	3.331	3.122
16	2.998	3.441	3.306	3.388	3.250
17	3.040	3.491	3.393	3.423	3.338
18	3.068	3.517	3.459	3.450	3.410
19	3.081	3.529	3.617	3.464	3.473
20	3.095	3.545	3.567	3.486	3.533
21	3.103	3.539	3.598	3.498	3.579

สูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราเร็วสัมพัทธ์ ความชันเฉลี่ย และละติจูด[4] ดังนี้

อัตราเร็วสัมพัทธ : $\frac{D1-D2}{Log\,E2-log\,E1}$

ความชันเฉลี่ย : $\frac{1}{E}$

ละติจูด : $log\,E2-log\,E1$

5. ความมัวพื้นฐาน ฟิล์มทุกชนิดถึงแม้ว่าจะยังไม่เคยได้รับการถ่ายภาพมาก่อน ก็จะมีความทึบแสงอยู่บ้างเล็กน้อยความทึบแสงที่เกิดจากแกนฟิล์ม มีค่าประมาณ 0.05 ส่วนความทึบแสงที่เกิดจากความมัว มีค่าระหว่าง 0.05-0.15 ดังนั้นค่าความมัวพื้นฐาน ควรมีค่าความทึบแสงของฟิล์มไม่เกิน 0.2[5]

6. ค่าความชันเฉลี่ย หมายถึง ค่าความเฉลี่ยของเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม ตรงบริเวณที่เป็นเส้นตรงช่วงความทึบแสงที่เป็นเส้นตรงที่นำมาคำนวณ จะเลือกใช้ช่วงที่ความทึบแสง 0.25-2.0 เหนือความมัวพื้นฐาน[5]

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบคุณภาพของฟิล์มเอกซเรย์โดยวิธีวัดสภาพไวแสงที่เวลา 25 นาที ด้วยมาตรทึบแสง ตามค่าความทึบแสงของฟิล์มเอกซเรย์ทั้ง ห้า บริษัท ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำมาสร้างเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของฟิล์มต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1-5

คุณลักษณะของฟิล์มทั้ง ห้า บริษัทเป็นดังนี้

1. ค่าความมัวพื้นฐาน: ฟิล์มทุกบริษัทมีค่าความมัวพื้นฐานอยู่ในเกณฑ์ปกติ ฟิล์ม Fuji มีค่าความมัวพื้นฐานต่ำสุด ฟิล์ม CEA มีค่ารองลงมา และฟิล์ม Konica มีค่าสูงสุด

2. อัตราเร็วสัมพัทธ์: ฟิล์ม Konica มีค่าอัตราเร็วสัมพัทธ์ สูงสุด ฟิล์ม Kodak Fuji Agfa และ CEA มีค่ารองลงมาเท่ากัน

3. ค่าความชันเฉลี่ย: ฟิล์มทุกบริษัทมีค่าความชันเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปกติ

4. ความทึบแสงสูงสุด: ฟิล์ม Fuji Agfa และ CEA มีค่าความทึบแสงสูงสุด ส่วนฟิล์ม Kodak มีค่าต่ำสุด

5. ค่าละติจูด: ฟิล์ม Kodak Fuji และ Agfa มีค่าละติจูดกว้างสุด ส่วนฟิล์ม Konica มีค่าละติจูดต่ำสุด

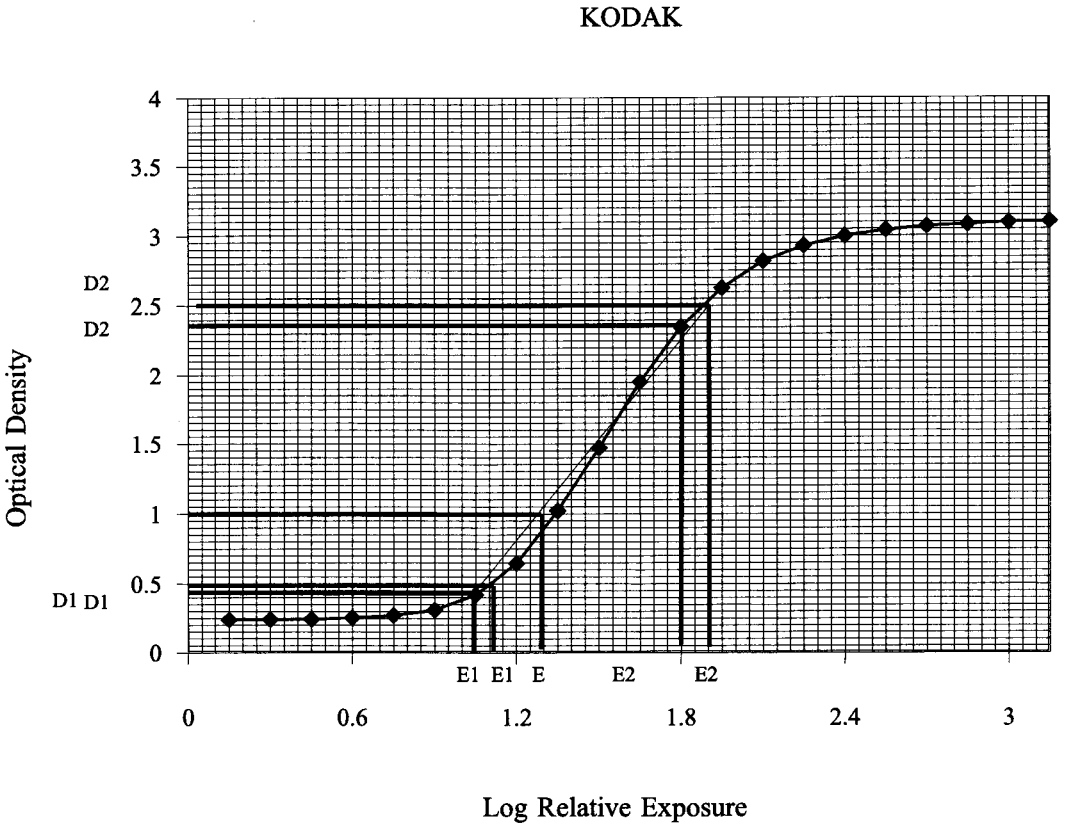
วิจารณ์

ข้อมูลที่ได้จากเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของฟิล์ม ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบคุณภาพของฟิล์ม พบว่าฟิล์มทุกบริษัทมีค่าความมัวพื้นฐานอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหมด โดยฟิล์ม Fuji มีค่าความมัวพื้นฐานต่ำสุด ฟิล์ม CEA มีค่ารองลงมา และฟิล์ม Konica มีค่าสูงสุด ในการพิจารณาค่าความมัวพื้นฐาน ควรเลือกฟิล์มที่มีค่าความมัวพื้นฐานต่ำ เพราะเมื่อนำไปบันทึกภาพจะทำให้ภาพมีความคมชัด ส่วนอัตราเร็วสัมพัทธ์นั้นพบว่าฟิล์ม Konica มีค่าอัตราเร็วสัมพัทธ์ สูงสุด ฟิล์ม Kodak Fuji Agfa และ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มเอกซเรย์

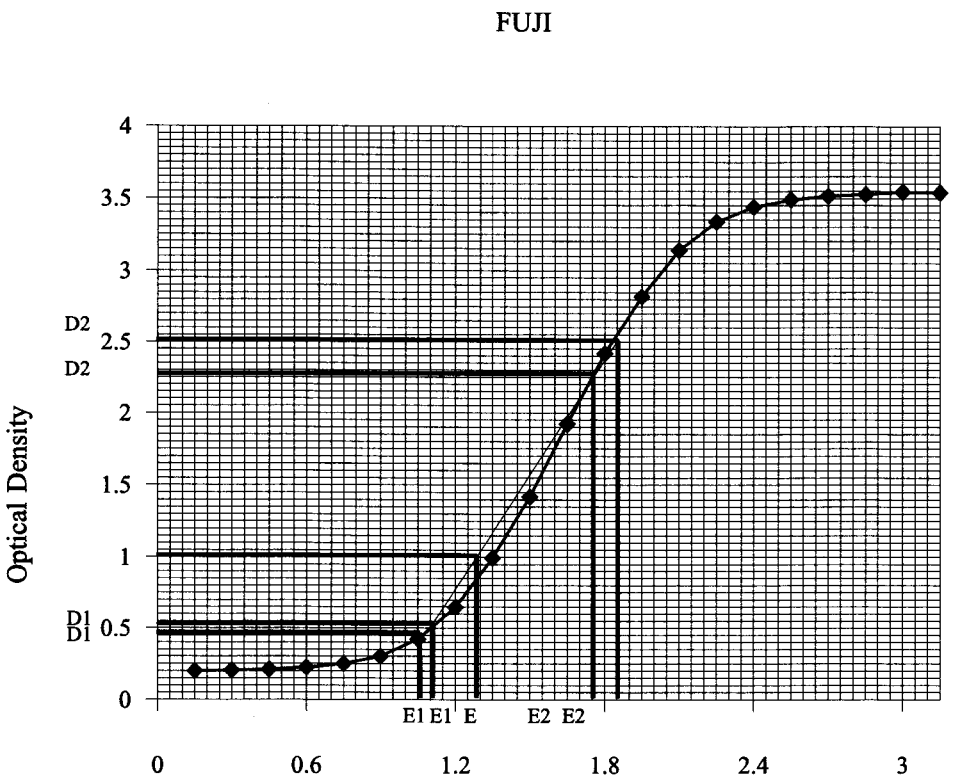
ฟิล์มยี่ห้อ	ความมัวพื้นฐาน	อัตราเร็วสัมพัทธ์	ความชันเฉลี่ย	ความทึบแสงสูงสุด	ละติจูด
Kodak	0.24	(2) 76	2.7	3.1	(1) 0.80
Fuji	(1) 0.20	(2) 76	2.5	(1) 3.6	(1) 0.80
Agfa	0.24	(2) 76	2.5	(1) 3.6	(1) 0.80
Konica	0.25	(1) 83	2.9	3.5	0.70
CEA	(2) 0.22	(2) 76	2.3	(1) 3.6	(2) 0.75

(1) เป็นคุณสมบัติของฟิล์มเอกซเรย์ที่ดีลำดับแรก (2) เป็นคุณสมบัติของฟิล์มเอกซเรย์ที่ดีลำดับที่สอง



ภาพที่ 1 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม KODAK

ความชันเฉลี่ย	=	2.69	จาก	$\frac{D2-D1}{\log E2-\log E1}$	=	$\frac{2.24-.49}{1.75-1.05}$	=	$\frac{1.75}{0.65}$
อัตราเร็วสัมพัทธ์	=	76	จาก	$\frac{1}{E}$	=	$\frac{1}{1.3}$		
ละติจูด	=	0.80	log E 2 - log E1		=	1.9-1.1	=	0.80
ความมัวพื้นฐาน	=	0.24	จากกราฟ					
ความทึบแสงสูงสุด	=	3.1	จากกราฟ					



ภาพที่ 2 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม FUJI

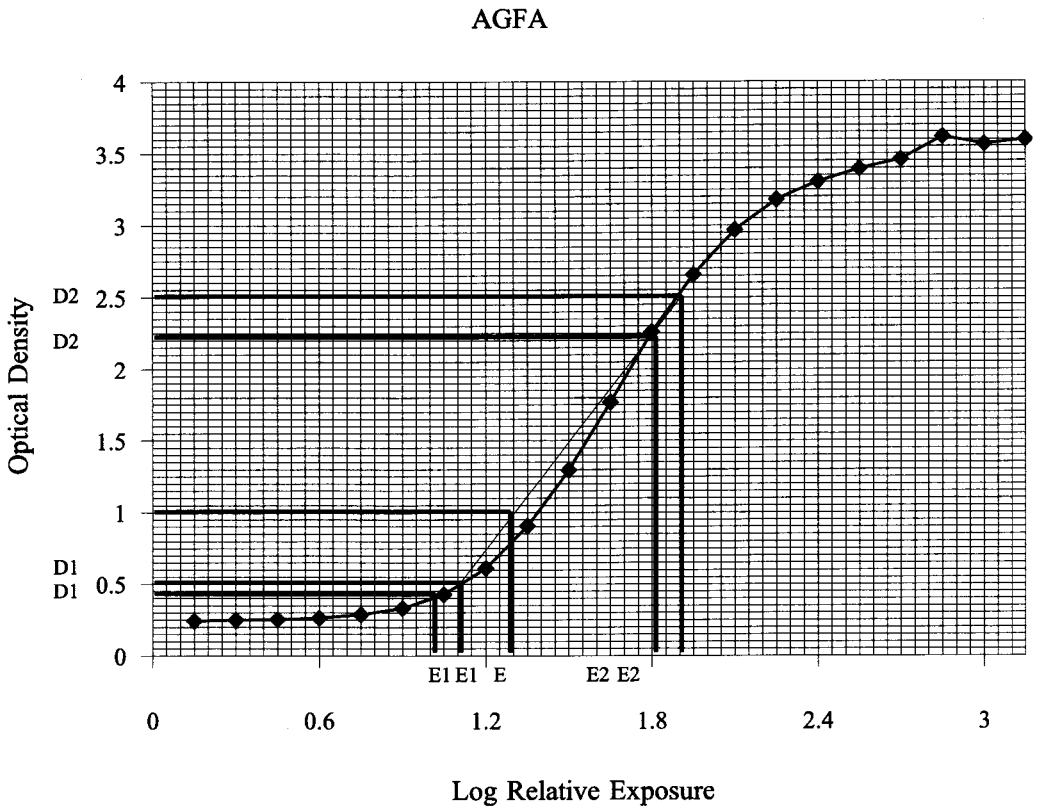
ความชันเฉลี่ย = 2.5 จาก $\frac{D2-D1}{\log E2-\log E1}$ = $\frac{(2.0+.20)-(.25+.20)}{1.75-1}$ = $\frac{1.75}{0.70}$

อัตราเร็วสัมพัทธ์ = 76 จาก $\frac{1}{E}$ = $\frac{1}{1.30}$

ละติจูด = 0.80 $\log E2-\log E1$ = 1.9-1.1 = 0.80

ความมัวพื้นฐาน = 0.20 จากกราฟ

ความทึบแสงสูงสุด = 3.6 จากกราฟ



ภาพที่ 3 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม AGFA

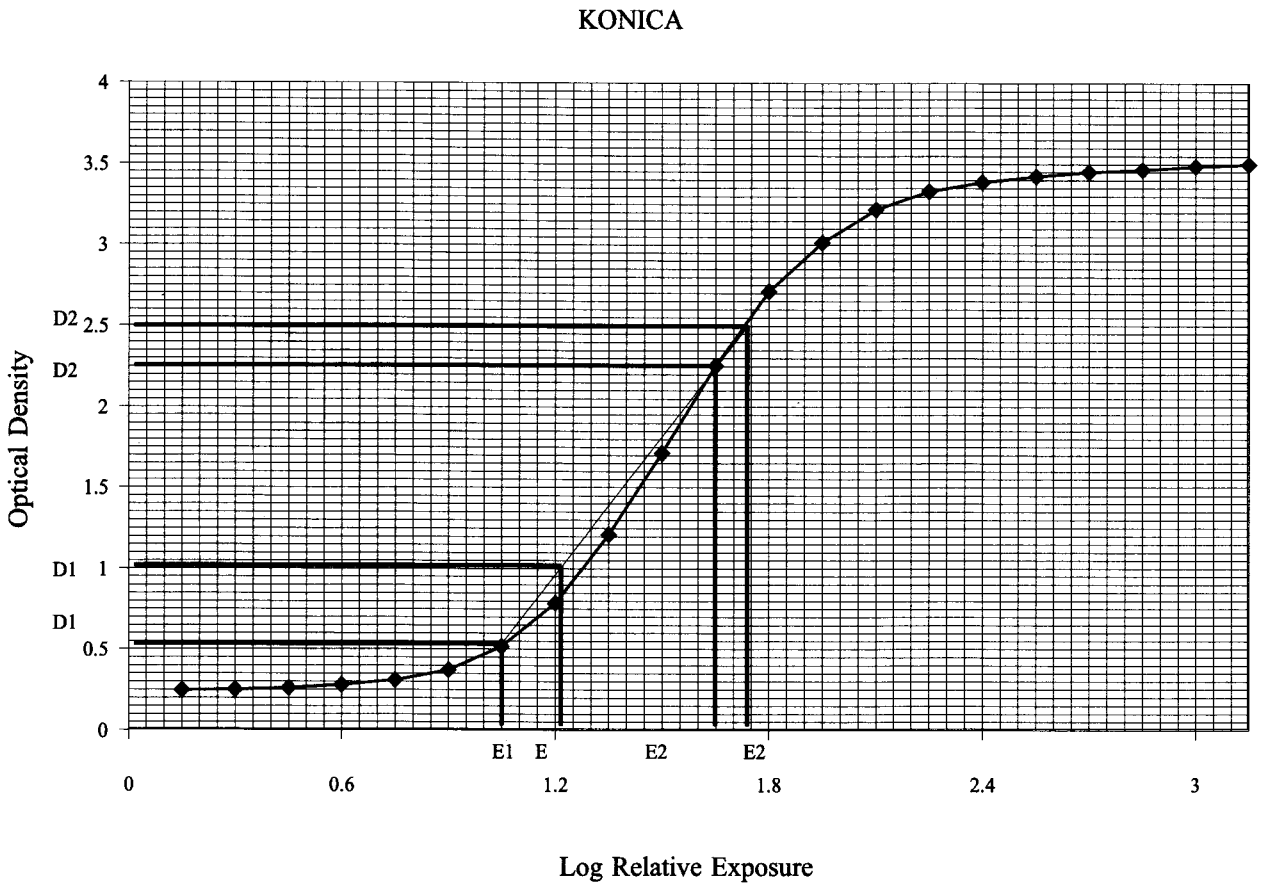
ความชันเฉลี่ย = 2.5 จาก $\frac{D2 - D1}{\log E2 - \log E1} = \frac{(2.0 + .24) - (.25 + .24)}{1.8 - 1.1} = \frac{1.75}{0.7}$

อัตราเร็วสัมพัทธ์ = 76 จาก $\frac{1}{E} = \frac{1}{1.3}$

ละติจูด = 0.80 $\log E2 - \log E1 = 1.9 - 1.1 = 0.80$

ความมัวพื้นฐาน = 0.24 จากกราฟ

ความทึบแสงสูงสุด = 3.6 จากกราฟ



ภาพที่ 4 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม KONICA

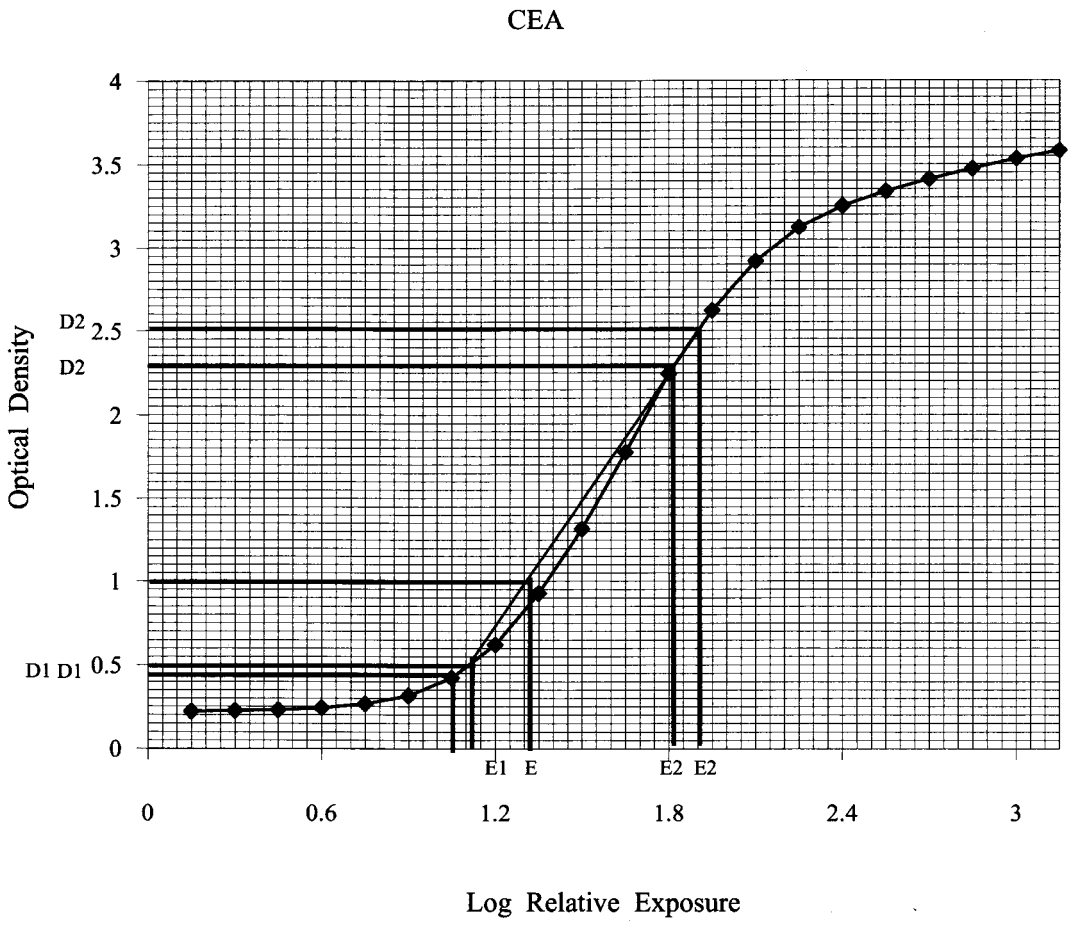
ความชันเฉลี่ย = 2.91 จาก $\frac{D2 - D1}{logE2 - logE1} = \frac{(2.0+.25)-(.25+.25)}{1.56 - 1.05} = \frac{1.75}{0.6}$

อัตราเร็วสัมพัทธ์ = 83 จาก $\frac{1}{E} = \frac{1}{1.2}$

ละติจูด = 0.70 $\log E2 - \log E1 = 1.75-1.05 = 0.70$

ความมัวพื้นฐาน = 0.25 จากกราฟ

ความทึบแสงสูงสุด = 3.5 จากกราฟ



ภาพที่ 5 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์ม CEA

ความชันเฉลี่ย = 2.33 จาก $\frac{D2 - D1}{\log E2 - \log E1} = \frac{(2.0+.22)-(.25+.22)}{1.8 - 1.05} = \frac{1.75}{0.75}$

อัตราเร็วสัมพัทธ์ = 76 จาก $\frac{1}{E} = \frac{1}{1.30}$

ละติจูด = 0.75 $\log E2 - \log E1 = 1.9-1.15 = 0.75$

ความมัวพื้นฐาน = 0.22 จากกราฟ

ความทึบแสงสูงสุด = 3.6 จากกราฟ

CEA มีค่ารองลงมาเท่ากัน ในการพิจารณาค่าอัตราเร็วสัมพัทธ์จะแสดงถึงสภาพไวของฟิล์มต่อปริมาณรังสี ถ้าฟิล์มมีอัตราเร็วสัมพัทธ์สูงแสดงว่าฟิล์มนั้นมีสภาพไวต่อรังสีมาก ในหน่วยงานที่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ควรเลือกฟิล์มที่มีอัตราเร็วสัมพัทธ์สูง เพราะให้ปริมาณรังสีเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดความทึบแสงบนฟิล์มที่อยู่ในช่วงของการใช้งาน

ส่วนค่าความชันเฉลี่ยพบว่าฟิล์มทุกบริษัทมีค่าความชันเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปกติ ในการพิจารณาค่าความชันเฉลี่ยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการมองภาพ เช่น ถ้าต้องการเห็นขอบเขตของส่วนต่าง ๆ ของภาพชัดเจน ควรใช้ฟิล์มชนิดความเปรียบต่าง (contrast) สูง แต่ถ้าต้องการภาพที่มีลำดับขั้นของความทึบแสงแตกต่างกันหลายระดับ ควรเลือกใช้ฟิล์มที่มีความเปรียบต่างต่ำ และค่าความทึบแสงสูงสุดนั้นพบว่าฟิล์ม Fuji Agfa และ CEA มีค่าความทึบแสงสูงสุด ส่วนฟิล์ม Kodak มีค่าต่ำสุด ในการพิจารณาค่าความทึบแสงสูงสุด หากมีค่ามากแสดงถึงขนาดผลึกของสารไวแสงที่อยู่บนฟิล์มมีขนาดใหญ่ จะทำให้ค่าอัตราความเร็วสัมพัทธ์ของฟิล์มสูง แต่รายละเอียดของฟิล์มจะลดลง

ค่าละติจูดพบว่าฟิล์ม Kodak Fuji และ Agfa มีค่าละติจูดกว้างสุด ส่วนฟิล์ม Konica มีค่าละติจูดต่ำสุด ในการพิจารณาค่าละติจูด ควรเลือกฟิล์มที่มีค่าละติจูดกว้าง จะทำให้เห็นรายละเอียดได้มาก

ในการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของฟิล์มเอกซเรย์ ห้า บริษัทครั้งนี้พบว่าฟิล์มทุกบริษัท อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อพิจารณาถึงประโยชน์ที่ได้รับกับผู้ป่วยและหน่วยงาน จึงควรเลือกฟิล์มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงค่ามาตรฐานให้มากที่สุด และจากการศึกษาครั้งนี้ฟิล์มเอกซเรย์ Fuji มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดเนื่องจากค่าความมัวพื้นฐานต่ำสุด ค่าละติจูดกว้างสุด ค่าความทึบแสงสูงสุดและค่าอัตราเร็วสัมพัทธ์สูงรองลงมา

สรุป

การศึกษาทดลองด้วยวิธีวัดสภาพไวแสงของฟิล์มเอกซเรย์ 5 บริษัท ขนาด 14 x17 นิ้วด้วยมาตรไวแสงในห้องมืดที่มีการควบคุมคุณภาพในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา พบว่าฟิล์มทุกบริษัท อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดได้แก่ ฟิล์ม Fuji

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณขวัญฤดี นาครัตย์ ที่ให้คำแนะนำด้านวิเคราะห์ข้อมูลและบริษัทไทยจีแอล จำกัด ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์มาตรไวแสงสำหรับใช้ทดสอบฟิล์มทั้ง 5 บริษัท รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. NCRP Report No. 99. 1988. Quality assurance for diagnostic imaging equipment. National Council on Radiation Protection and Measurement. Maryland: Bethesda; 1988. p.44-60.
2. การควบคุมคุณภาพของขบวนการล้างฟิล์มเอกซเรย์.ใน: จิตต์ชัย สุริยะไชยากร, มานัส มงคลสุข, มาลินี ธนารุณ, เชาวลิต วงษ์เอก, บรรณาธิการ. การควบคุมคุณภาพของภาพเอกซเรย์. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร: พี. เอ.เลิฟวิ่ง; 2538. หน้า 27-64.
3. ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเอกซเรย์ และการล้างฟิล์ม. ใน: กฤตยา มนุญปิจุ, บรรณาธิการ เอกซเรย์ฟิสิกส์. นครราชสีมา: ตราเสือการพิมพ์; 2537. หน้า 134-45.
4. คุณสมบัติของฟิล์มเอกซเรย์ในการบันทึกภาพ.ใน : ประดิษฐ์ รัตนพานิช, กฤตยา มนุญปิจุ, สุธี นัดพบสุข, บรรณาธิการ. เอกซเรย์ฟิสิกส์และการถ่ายภาพรังสี. นครราชสีมา: ตราเสือการพิมพ์; 2524. หน้า 146-62.
5. Radiographic quality. In: Bushong Sc, editor. Radiologic Science for Technologist Physics, Biology, and Protection. 7th ed. St. Louis; Mosby; 2001. p.253-63.