

EYE LENS DOSE MEASUREMENT IN PATIENTS DURING BRAIN ARTERIOVENOUS
MALFORMATION INTERVENTIONAL NEURO-RADIOLOGY PROCEDURE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Medical Imaging

Department of Radiology

Faculty of Medicine

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

การวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยในการวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฉายาเวชศาสตร์ ภาควิชารังสีวิทยา

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศลิน ฐานะ : การวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยในการวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม. (EYE LENS DOSE MEASUREMENT IN PATIENTS DURING BRAIN ARTERIOVENOUS MALFORMATION INTERVENTIONAL NEURO-RADIOLOGY PROCEDURE) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อัญชลี กฤษณจินดา

การรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็มด้วยวิธีทางรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษาเป็นการตรวจรักษาที่ซับซ้อนสามารถทำให้เลนส์ตาของผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีสูงและเกินเกณฑ์ปริมาณรังสีจำกัดซึ่งกำหนดในปี ค.ศ.2012 โดยองค์การป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ อันอาจทำให้เกิดเลนส์ตาขุ่นและต่อกระจกได้ วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ วัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาผู้ป่วยจากการตรวจรักษาด้วยวิธีนี้ ที่หน่วยรังสีหลอดเลือดและรังสีร่วมรักษา ฝ่ายรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย โดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดโอเอสแอล (OSL) และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วย

อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดโอเอสแอล รุ่นนาโนดอท (nanoDot) ถูกติดแน่นกับแว่นฟิล์มบาง โปร่งแสง ตรงบริเวณเปลือกตาผู้ป่วย การตรวจรักษานี้ใช้เครื่องเอกซเรย์ระบบฟลูออโรสโคป ผลิตภัณฑ์ฟิลิปส์ รุ่นออคูรา คลลิตี้ เอกซเปอร์ เอฟดี 20/15 ระบบสองระนาบ และเก็บข้อมูลที่ใช้และสัมพันธ์กับเครื่องเอกซเรย์ ขนาดและตำแหน่งของรอยโรค รวมถึงประสบการณ์ของรังสีแพทย์สาขารังสีหลอดเลือดระบบประสาท เพื่อนำมาศึกษาความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วย

ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม 32 รายประกอบด้วย 15 รายเข้ารับหัตถการเพื่อรักษา และ 17 รายเพื่อวินิจฉัย ผลการศึกษาพบว่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่เลนส์ตาข้างซ้ายและข้างขวาของผู้ป่วยมีค่า 65.14 (17.88 – 111.70) และ 29.62 (11.63 – 56.81) มิลลิเกรย์ ค่าแคพมิเตอร์ที่หลอดเลือดเอกซเรย์ได้เพียงและด้านข้างมีค่า 112.05 (41.62 – 305.44) และ 57.42 (19.73 – 102.99) เกรย์ตารางเซนติเมตร ค่าปริมาณรังสีในอากาศของหลอดเลือดทั้งสองหลอดเลือดมีค่า 1.80 (0.50 – 5.17) และ 1.26 (0.38 – 2.98) เกรย์ตามลำดับ เวลารวมเฉลี่ยในการเอกซเรย์เท่ากับ 77.15 (26.52 – 186.56) นาที การศึกษานี้พบว่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดได้ที่เลนส์ตาข้างซ้ายสูงกว่าข้างขวา และพบว่า ค่าแคพมิเตอร์ค่าปริมาณรังสีในอากาศและเวลารวมเฉลี่ยในการเอกซเรย์มีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่เลนส์ตา โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.60, 0.58 และ 0.44 ตามลำดับ การกำหนดขอบเขตลำรังสี อัตราเร็วของการถ่ายภาพ มุมและการหมุนของหลอดเลือดเอกซเรย์ ประสบการณ์ของผู้ทำหัตถการและดัชนีความยากมีผลต่อปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วย

ปริมาณรังสีเฉลี่ยที่เลนส์ตาผู้ป่วยได้รับจากการตรวจรักษาหนึ่งครั้งน้อยกว่า 0.5 เกรย์ ที่ทำให้เลนส์ตาขุ่นและเป็นต่อกระจกได้มีผลจาก การตระหนักถึงการจำกัดบริเวณถ่ายภาพรังสี การลดอัตราเร็วการถ่ายภาพ การปรับลดระยะจากอุปกรณ์รับภาพถึงผู้ป่วย โดยเฉพาะในรายที่ได้รับการตรวจรักษามากกว่าหนึ่งครั้ง

สาขาวิชา ฉายาเวชศาสตร์
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6074078930 : MAJOR MEDICAL IMAGING

KEYWORD: EYE LENS DOSE, BRAIN ARTERIOVENOUS MALFORMATION, INTERVENTIONAL
NEURORADIOLOGY, OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE DOSIMETER

Rasalin Thana : EYE LENS DOSE MEASUREMENT IN PATIENTS DURING BRAIN ARTERIOVENOUS
MALFORMATION INTERVENTIONAL NEURO-RADIOLOGY PROCEDURE. Advisor: Assoc. Prof. ANCHALI
KRISANACHINDA, Ph.D.

Brain arteriovenous malformation (AVM) interventional neuroradiology (INR) is a complicated procedure which the patients may receive the high radiation dose exceeding the threshold level for detectable eye lens opacities and cataracts (ICRP, 2012). The objectives of this study are to measure the patient eye lens dose using optically stimulated luminescence dosimeter, OSLD, during AVM INR procedure at Interventional Radiology Unit, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital (KCMH) and to study the factors affecting the patient eye lens dose.

NanoDot OSLDs were attached on the transparent radiation thin film eyewear and closed to the patient eyelids during the procedure. Philips Allura Clarity Xper FD20/15 biplane system has been used and parameters related to acquisition protocol were recorded. The size and site of brain AVM lesion and experience of interventional neuroradiologists were included.

32 AVM INR patients include 15 therapeutic and 17 diagnostic procedures were studied from August to December 2018. The results show that: therapeutic procedure, the average and range of patient left and right eye lens doses were 65.14 (17.88 – 111.70) and 29.62 (11.63 – 56.81) mGy, KAP at PA and lateral X-ray tubes were 112.05 (41.62 – 305.44) and 57.42 (19.73 – 102.99) Gy cm^2 , AK at PA and lateral tubes were 1.80 (0.50 – 5.17) and 1.26 (0.38 – 2.98) Gy, and the exposure time was 77.15 (26.52 – 186.56) minutes. The average left eye lens dose was higher than the right eye. KAP, AK and total exposure time were correlated to patient eye lens dose by $r = 0.60, 0.58, 0.44$. The beam collimation, frame rate, angular and rotation of X-ray tube, the experience of specialist and complexity index of the procedure influence the patient eye lens dose.

The average patient eye lens dose in a single procedure was less than 0.5 Gy, the threshold dose level of eye lens opacities and cataracts. The collimated irradiation area, reduce frame rate, speed and the short distance from flat panel detector to patient have been commonly selected, especially in patients with multiple procedures.

Field of Study: Medical Imaging

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

ACKNOWLEDGEMENTS

First and foremost, I would like to express my sincere gratitude to my advisor, Associate Professor Anchali Krisanachinda, Ph.D., Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, for her continuous support of my M.Sc. study and research, with her patience, motivation, supervision dedication and her invaluable experience. Her guidance helps me in all the time of research and writing of this thesis. I could not have imagined having a better advisor and mentor for my M.Sc. study.

Besides my advisor, I would like to thank my thesis committee: Assistant Professor Jarturon Tantiwatana, MD., Chairman of Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University and Chairman of my thesis committee, Associate Professor Kosuke Matsubara, Ph.D., Kanazawa University, Japan, Professor Franco Milano, Ph.D., University of Florence, Italy, external examiner of thesis defense for their encouragement and constructive comments.

My sincere thanks also go to Associate Professor Sivalee Suriyapee, Chief Physicist at Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, my teacher, for her advice and insightful comments in the research.

I would like to thank Ms. Petcharleeya Suwanpradit sincerely, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital who dedicated teaching, helpful suggestion and contribution in the QC part.

I express my special thanks to the interventional radiology staff, Ms. Romrangsri Wongsung, Mr. Watanyu Taksima, and clinical staff for their assistance conducting data.

I am thankful to all the lecturers, medical physicists, and staff at Medical Imaging program, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University for their suggestion and teaching knowledge during M.Sc. study.

I thank my colleagues of Medical Imaging for their academic support and friendly environment for all the fun we have had in two years. Completing this work would have been even more difficult were it not for the support and friendship provided by them.

Last but not least, I am pleased to express my profound family: my parents, sisters, niece and nephew for their love, supporting and encouragement through my life. Without their precious support, it would not be accomplished. This thesis is dedicated to my lovely family.

Rasalin Thana

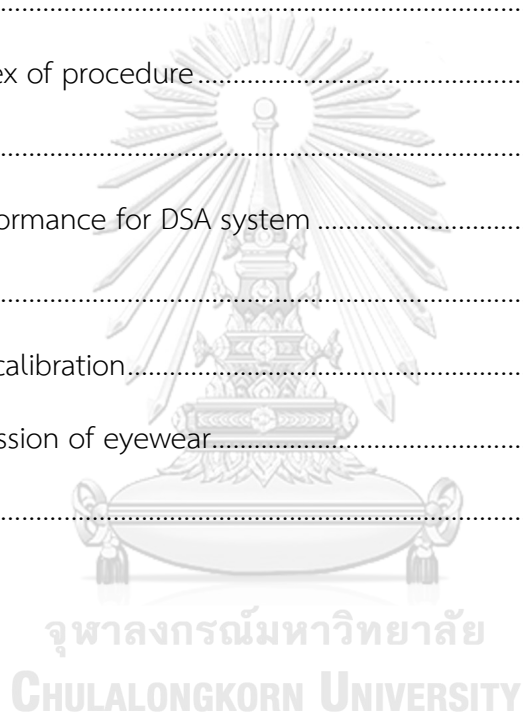
TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT (THAI).....	iv
ABSTRACT (ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
TABLE OF CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xi
LIST OF FIGURES.....	xiii
LIST OF ABBREVIATIONS.....	xv
CHAPTER I INTRODUCTION.....	1
1.1 Background and Rationale.....	1
1.2 Research objectives.....	2
CHAPTER II LITERATURE REVIEW.....	3
2.1 Theory.....	3
2.1.1 Air KERMA (AK).....	3
2.1.2 Kerma-Area Product (KAP).....	3
2.1.3 Optically Stimulated Luminescence dosimeter (OSLD).....	4
2.1.4 Radiation-induced cataracts.....	5
2.1.5 ICRP recommendations of the threshold dose for detectable eye lens opacities and cataracts.....	5
2.1.6 Interventional Neuroradiology (INR) procedure.....	6
2.1.7 Digital Subtraction Angiography (DSA) system.....	6
2.1.8 Brain Arteriovenous Malformation (AVM).....	7

2.2 Review of related literature	9
CHAPTER III RESEARCH METHODOLOGY	12
3.1 Research design	12
3.2 Conceptual framework.....	12
3.3 Research design model.....	13
3.4 Research questions.....	13
3.5 Research objectives	14
3.6 Sample	14
3.6.1 Target population	14
3.6.2 Sample population.....	14
3.7 Eligible criteria.....	14
3.7.1 Inclusion criteria	14
3.7.2 Exclusion criteria	14
3.8 Sample size determination	15
3.9 Materials.....	15
3.9.1 Quality control materials	15
3.9.2 Research equipment	17
3.10 Methods.....	20
3.10.1 QC digital flat panel R/F system.....	20
3.10.2 Calibration dosimeters.....	21
3.10.3 Patient eye lens dose measurement	21
3.10.4 Patient consent.....	21
3.10.5 Record the patient data	21
3.10.6 Read out patient eye lens doses	22

3.10.7 The relationship between patient eye lens doses and exposure parameters.....	22
3.11 Variables measurement.....	22
3.12 Statistical analysis.....	22
3.13 Data analysis.....	22
3.14 Outcomes.....	23
3.15 Expected benefits.....	23
3.16 Limitation.....	23
3.17 Ethical consideration.....	23
CHAPTER IV RESULTS.....	25
4.1 Quality control of the radiographic/fluoroscopic biplane systems.....	25
4.2 OSL Dosimeter calibration.....	25
4.3 Patient data collection.....	25
4.4 Exposure and other related parameters.....	27
4.5 Dosimetric parameters.....	30
4.6 Patient eye lens dose measurement.....	33
4.7 The Complexity index.....	35
4.8 Relation between the patient eye lens doses with related parameters.....	35
CHAPTER V DISCUSSION AND CONCLUSION.....	39
5.1 Patient eye lens dose.....	39
5.2 Comparison of the eye lens dose to other studies.....	40
5.3 The factors affected the eye lens dose.....	40
5.4 Conclusion.....	41
REFERENCES.....	43

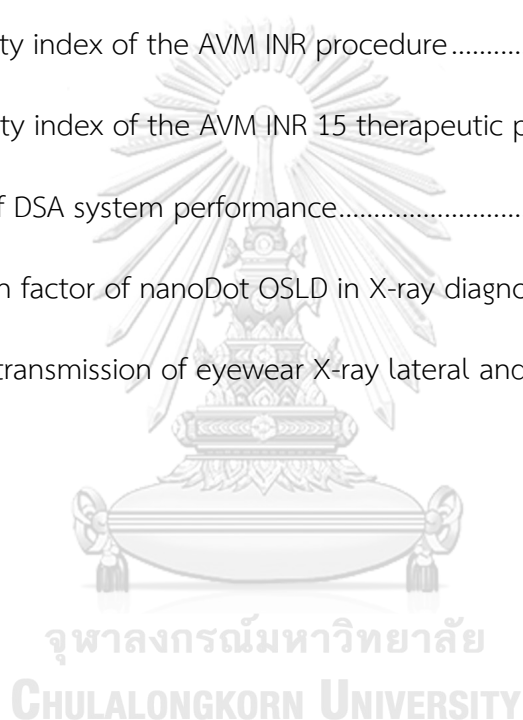
APPENDIX A	45
Case record form	45
APPENDIX B	48
Patient Information Sheet	48
APPENDIX C	56
Consent form	56
APPENDIX D	58
Complexity index of procedure	58
APPENDIX E	59
Equipment performance for DSA system	59
APPENDIX F	65
nanoDot OSLD calibration	65
Percent transmission of eyewear	67
VITA	68



LIST OF TABLES

Table 2.1 Threshold radiation dose for detectable eye lens opacities and cataracts (ICRP)	5
Table 2.2 Spetzler Martin scale	9
Table 2.3 Five therapeutic dosimetric data of left eye doses greater than 0.5 Gy.....	10
Table 3.1 Radcal Accu-gold Digitizers module, AGMS-D+ model.....	16
Table 4.1 Summary of 32 patient data.....	26
Table 4.2 Data of 15 patients who underwent AVM INR therapeutic procedure.	26
Table 4.3 Data of 17 patients who underwent AVM INR diagnostic procedure.....	26
Table 4.4 Average, Standard deviation (SD) and range of min – max values of exposure parameters from PA and lateral X-ray tubes (Therapeutic).....	28
Table 4.5 Average, Standard deviation (SD) and range of min - max values of exposure parameters from PA and lateral X-ray tubes (Diagnostic)	28
Table 4.6 Cumulative of dosimetric and exposure data for each therapeutic procedure.....	30
Table 4.7 Cumulative of dosimetric and exposure data for each diagnostic procedure	31
Table 4.8 Average, Standard deviation (SD) and range of exposure parameters for therapeutic procedure.....	32
Table 4.9 Average, Standard deviation (SD) and range of exposure parameters for diagnostic procedure	32
Table 4.10 Patient eye lens doses of therapeutic and diagnostic procedures	33
Table 4.11 Correlation, r, of eye lens dose and related parameters (Therapeutic)....	35

Table 4.12 Correlation, r , of eye lens dose and related parameters (Diagnostic)	35
Table 4.13 Patient eye lens dose and parameter correlations	36
Table 5.1 Comparison of average and maximum eye lens dose with other studies (Therapeutic).....	40
Table i Clinical data collection sheet for AVM INR procedure.....	45
Table ii Data collection sheet of nanoDot OSLD positioning for AVM INR procedure	46
Table iii Complexity index of the AVM INR procedure	47
Table iv Complexity index of the AVM INR 15 therapeutic procedures	58
Table v Reports of DSA system performance.....	59
Table vi Correction factor of nanoDot OSLD in X-ray diagnostic range	66
Table vii Percent transmission of eyewear X-ray lateral and PA tubes	67



LIST OF FIGURES

Figure 2.1 IEC and FDA Air KERMA at the reference point (IRP)	3
Figure 2.2 Schematic diagram illustration process of OSL	4
Figure 2.3 nanoDot OSLDs (arrowhead is a sensitivity area ($Al_2O_3: C$)	5
Figure 2.4 Cerebral angiography images, DSA technique.	6
Figure 2.5 Brain AVM diagram.....	7
Figure 2.6 MRI (A, B) and MRA (C, D) images of brain AVM lesions.....	8
Figure 2.7 Cerebral angiographic AP and lateral views with AVM lesion (arrowheads). 8	
Figure 3.1 Overview of the research design model.....	12
Figure 3.2 Research design model of patient eye lens dose measurement.....	13
Figure 3.3 Solid state dosimeter (AGMS-D+ model), Radcal manufacturer.....	15
Figure 3.4 Copper plate.....	16
Figure 3.5 The CIRS 903 R/F QA phantom (CIRS Inc., Virginia, USA)	17
Figure 3.6 Digital R/F biplane system (Philips Allura Clarity Xper FD20/15).....	17
Figure 3.7 KAP meter	18
Figure 3.8 nanoDot OSL dosimeters ($Al_2O_3: C$)	18
Figure 3.9 microStar OSLD reader	19
Figure 3.10 Anthropomorphic CT head phantom.....	19
Figure 3.11 Eye mask (M.E. MEDITIK Co., Ltd., Thailand)	20
Figure 3.12 nanoDot dosimeters were taped on the eye mask.	21

Figure 4.1 Acquisition procedures in percentage, IR Unit, KCMH (Aug – Dec 2018).....	29
Figure 4.2 Average patients eye lens dose during therapeutic AVM INR procedure ...	34
Figure 4.3 Average patients eye lens dose during diagnostic AVM INR procedure	34
Figure 4.4 The measured right eye lens dose and AK values correlation	37
Figure 4.5 The measured left eye lens dose and KAP values correlation.....	37
Figure 4.6 The measured right eye lens dose and KAP values correlation.....	37
Figure 4.7 The measured left eye lens dose and AK values correlation.....	38
Figure 4.8 Both eye lens dose and total exposure time correlation.....	38
Figure 5.1 AVM lesion size of patient number 5	39
Figure i The nanoDot OSLDs were exposed at SSD 100 cm.....	65
Figure ii Percent transmission of eyewear X-ray PA and lateral tubes sitting.....	67

LIST OF ABBREVIATIONS

ABC	Automatic Brightness Control	IR	Interventional Radiology
ACR	American College of Radiology	IRP	Interventional Reference Point
ADRC	Automatic Dose Rate Control	KAP	Kerma-Area Product
AK	Air KERMA	kVp	Kilovoltage Peak
Al ₂ O ₃ : C	Aluminum Oxide doped with Carbon	mAs	MilliAmpere-Second
		mGy	MilliGray
AP	Anteroposterior	OSL	Optically Stimulated Luminescence
AVM	Arteriovenous Malformation	OSLD	Optically Stimulated Luminescence Dosimeter
CBCT	Cone Beam Computed Tomography	PACS	Picture Archiving Communication System
DSA	Digital Subtraction Angiography	pps	Pulse per second
FDA	Food and Drug Administration	PSC	Posterior Subcapsular Cataract
FOV	Field Of View	QA	Quality Assurance
FPD	Flat Panel Detector	QC	Quality Control
fps	Frame per second	r	Correlation coefficient
Gy	Gray	R/F	Radiographic/Fluoroscopic
Gy ^{cm} ²	Gray-centimeters square	s	Second
HVL	Half Value Layer	SD	Standard Deviation
IAEA	International Atomic Energy Agency	SID	Source to Image receptor Distance
ICRP	International Commission on Radiological Protection	SN	Serial Number
IEC	International Electrotechnical Commission	SSD	Source to Skin Distance
INR	Interventional Neuroradiology	TLD	Thermoluminescence Dosimeter
		Z _{eff}	Effective atomic number

CHAPTER I

INTRODUCTION

1.1 Background and Rationale

The medical imaging is the techniques for generating internal organs structural and functional images of the human body. The Interventional Radiology (IR) has been developed and comprised of treatment, diagnosis, and follow up of the disease (1). In the 1980s, the interventional neuroradiology, INR, was initially developed by neuroradiologists and neurosurgeons(2). It is an endovascular treatment using fluoroscopic images to guide vascular catheter inserted, guided wires, and other tiny medical devices to reach the lesions or vessel segments. Johnston et al. (2000) revealed that INR procedure was a low risk cerebral therapeutic procedure in comparison to surgery (1). Kaufman J.A. et al. (2010) and Lu K et al. (2014), also reported that INR procedures provided vascular anatomical, offered minimally invasive procedure by a percutaneous approaching as a small incision required, and spent shorten hospital stay(3, 4).

According to numerous advantages of INR, current advancement of medical devices such as vascular catheterization devices, embolic materials and also the evolution of medical imaging modality lead INR procedures to be used increasingly and apply into cerebrovascular treatment options. Consequently, INR procedures become an essential part and increase the opportunities to diagnose and effectively treat complicated systems of cerebrovascular disease which increase the number of survival rates(5).

Brian arteriovenous malformation, brain AVM, is one of cerebrovascular disease which is a congenital disease caused by abnormal cerebral vascular growth. Brain AVM is the tangle blood vessel circuit which directly connects arteries and veins without capillaries in between, bypassing through brain tissue. Consequently, these short circuits cause cerebral hemodynamic disorder, fragile and can be easily ruptured inducing a variety of clinical symptoms, especially brain stroke.

There are three options of brain AVM treatment including the endovascular embolization using INR procedures, radiosurgery, and surgery which the main goal of treatment is to prevent hemorrhage. For diagnosis, patients are generally sent to the interventional radiology unit for investigation by undergoing cerebral angiography. During INR therapeutic procedure, interventional neuroradiologist positions the catheters into feeding blood vessels of brain AVM and injects embolic agents to occlude and reduce blood flow of abnormal vessels preventing the rupture which causes of life-threatening. Although the methods have been developed to assess brain AVM treatment safety, treatment issues are complicated and

depend on various factors such as location and size of AVM, bleeding risk, patient age and medical conditions.

In 1991, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 60 recommended the threshold dose for vision-impairing cataracts at 5 Gy for acute exposures and more than 8 Gy for highly fractionated exposures and further information. ICRP Publication 103 (2007) recommended that the eye lens is more sensitive than previously assumption based on the studies of children treated for hemangioma (Hall P et al.,1999) and reviewing the atomic-bomb (A-bomb) survivor data (Nakashima E et al.,2000 & 2006)(6-8).

In 2012, ICRP Publication 118 recommended the new threshold of absorbed dose inducing eye lens opacities and cataracts at 0.5 Gy(9). The reduction of threshold eye lens dose became importance in IR procedures, particularly, patients who underwent INR procedure which received X-ray beams to eye lens.

Although INR procedure involved in brain AVM treatments and has been beneficial to patients, brain AVM INR is a complicated procedure and prolonged exposure time which patients may receive the scattered radiation at a high level and increase risks of eye lens opacities and cataract formations. Therefore, the eye lens radiation dose in the patient underwent AVM INR procedure should be measured.

1.2 Research objectives

- 1) To measure the patient eye lens doses during brain AVM INR procedures and compare to the threshold absorbed dose inducing eye lens opacities and cataracts.
- 2) To investigate the factors affecting to patient eye lens dose in AVM INR procedures.

CHAPTER II

LITERATURE REVIEW

2.1 Theory

Radiation quantity

2.1.1 Air KERMA (AK)

Air KERMA (AK) was first introduced by the International Electro-technical Commission (IEC) in 2000 and adopted by US Food and Drug Administration, FDA performance standard as a part of medical X-ray fluoroscopy systems (10).

AK is an indicator of total patient skin dose of the clinical process where the X-ray beam enters the body. AK is displayed in real time on system monitors during performed the procedures.

AK is used to measure at the point on isocenter of fluoroscope (C-arm) which is called the Interventional Reference Point (IRP). IRP lied on the central axis of the X-ray beam at 15 cm from the isocenter towards the X-ray tube (IEC, 2000) as shown in Figure 2.1(10).

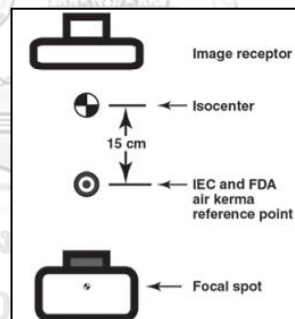


Figure 2.1 IEC and FDA Air KERMA at the reference point (IRP)

2.1.2 Kerma-Area Product (KAP)

Kerma-Area Product (KAP) is defined as the integral of AK over the area of X-ray beam (field size) in a plane perpendicular to the beam axis. KAP measures in the unit of Gycm^2 .

As the distance from focal spot to the plane of interest increases, the radiation dose decreases according to the inverse square law but the planar area increases. KAP values will not vary with the distance from the tube focus. KAP detectors consist of ionization chambers, equipped at the collimator of X-ray tube and transparent to radiation.

Radiation Dosimeter

2.1.3 Optically Stimulated Luminescence dosimeter (OSLD)

OSL dosimeter is made of aluminum oxide crystal doped with carbon ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) which is a vital role in creating an imperfection of crystal as an electron trap or hole. The basis of detection of ionizing radiation using OSL is illustrated in Figure 2.2(11), when the crystals of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ is irradiated, the energy is deposited and given some electrons in valance band excited and moved to the conduction band. The holes at valance band are created and those electrons are trapped and the exposure energy is stored. The energy stored in dosimeter can be read by the light stimulation. The intensity of the luminescence depends on the dose absorbed and the stimulation light.

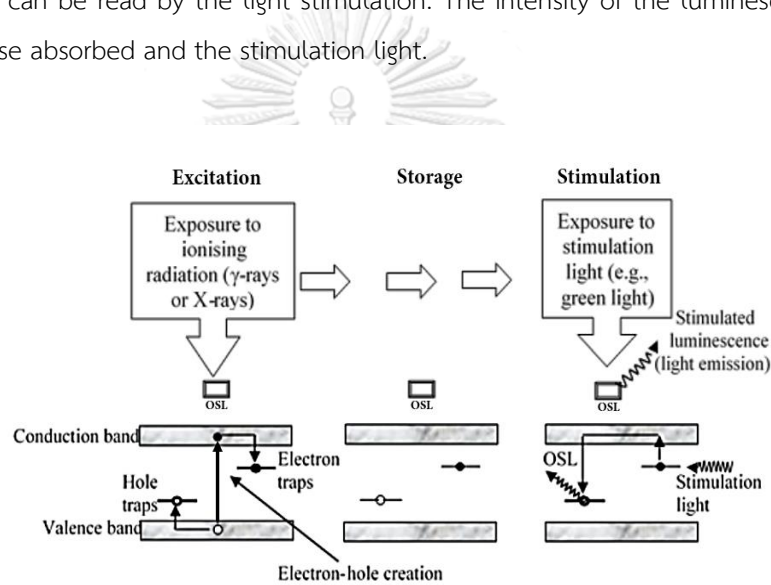


Figure 2.2 Schematic diagram illustration process of OSL

nanoDot OSL dosimeter

Nowadays, OSLD is commercially available by Landauer, Inc. (Glenwood, IL, USA) and widely used in the various applicable studies including environmental, personnel dosimeter and also used for patients dose measurements in both therapy and diagnostic (11) (12).

The OSLD model nanoDot ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) is a tissue equivalent (effective atomic number = 11.28). The small sensitive round disk is 5 mm diameter with 0.2 mm thickness sealed in thin polyester and encased in a light-tight plastic of 10 x 10 mm with 2 mm thickness as shown in Figure 2.3.

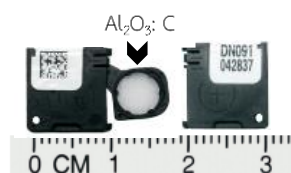


Figure 2.3 nanoDot OSLDs (arrowhead is a sensitivity area ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{: C}$))

Radiation Effect

2.1.4 Radiation-induced cataracts

The lens of the eye has long been considered as a highly radiosensitive tissue, and recently, research has suggested that the radiosensitivity is higher than previously thought. ICRP (2007) has classified radiation cataracts as tissue reaction(6).

Classified cataracts according to the opacity location of anatomical into nuclear, cortical and posterior subcapsular (PSC) or mixed types. Most of the cataracts are associated with aging. However, there are many of etiologic factors including gender, steroid hormones, nicotine, medications, diabetes, trauma, and exposure to ionizing and nonionizing radiation (Michael and Born, 2011).

2.1.5 ICRP recommendations of the threshold dose for detectable eye lens opacities and cataracts

According to the ICRP Publication 103 (2007) revealed the early and late effects of radiation in normal tissues and organs including the lens of the eye and suggested that the eye lens may be more radiosensitive than previous reports (6). Afterward, ICRP Publication 118 (2012) recommended the new threshold dose for detectable eye lens opacities and cataracts was reduced from 5 Gy (13) to 0.5 Gy (9) as shown in Table 2.1.

Table 2.1 Threshold radiation dose for detectable eye lens opacities and cataracts (ICRP)

Threshold dose	ICRP PUB 60 (1991)	ICRP PUB 118 (2012)
Detectable opacities		
- Acute exposure	0.5 - 2 Gy	0.5 Gy
- Chronic exposure	5 Gy	0.5 Gy
Cataracts		
- Acute exposure	5 Gy	0.5 Gy
- Chronic exposure	> 8 Gy	0.5 Gy

2.1.6 Interventional Neuroradiology (INR) procedure

INR is an endovascular surgery which is useful for diagnostic and real-time treatment with minimally invasive treatment options for various neurovascular conditions such as intracranial aneurysm, acute ischemic stroke, arteriovenous fistula (AVF) and arteriovenous malformation (AVM), etc.

When neuroradiologists access the blood vessels, most commonly through the femoral artery or vein to look at arterial and venous systems of guide wires, catheters and contrast agent have been used to highlight the blood vessels making them visible on the X-ray images. The images are usually taken using digital subtraction angiography (DSA) technique of 2-3 frames per second which can see the vessel filled with a contrast agent and allows the interventional radiologist to evaluate the flow, stenosis or occluded of the blood vessel which can cause the inhibiting the flow of blood and pain.

2.1.7 Digital Subtraction Angiography (DSA) system

Digital subtraction angiography (DSA) was introduced in the 1980s (Huntley DJ et al., 1985) as a method of intravenous injection contrast image of the arterial system (14, 15). DSA is a fluoroscopy technique used in interventional radiology (IR) to clarify blood vessels visualization and has become an imaging standard for evaluation of the vascular anatomy.

DSA process is the subtraction of a pre-contrast mask image including a distracting background of the anatomical structure with a post-contrast image obtaining contrast material-filled vessels at the same location resulting the contrast material-filled vessels image only which removes anatomical noise and increases contrast in the blood vessels. The series of subtracted frames can be reviewed in cine mode.

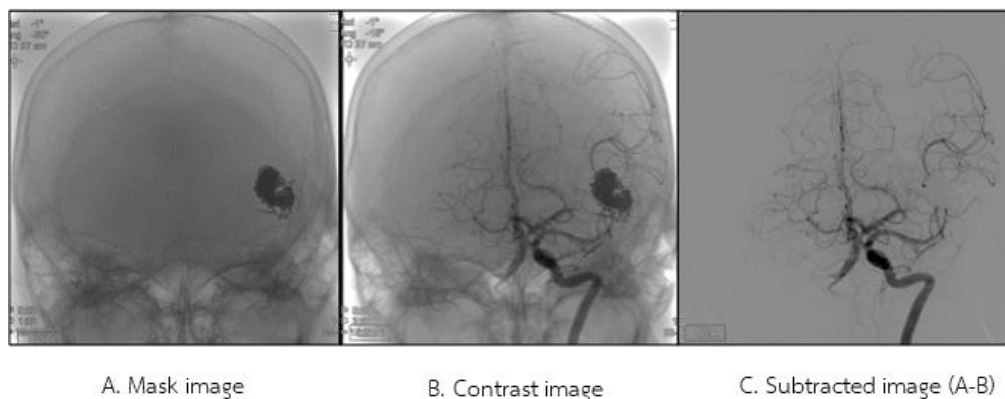


Figure 2.4 Cerebral angiography images, DSA technique.

The significant benefit of digital subtraction angiography is the ability to reprocess the image after the study is performed such as contrast and brightness of the image can be manipulated, or a new mask can be chosen to help improve the quality of the image.

2.1.8 Brain Arteriovenous Malformation (AVM)

Brain Arteriovenous Malformation (AVM) is an anomaly development of vascular system, consisting of tangles of fragile blood vessels formed (called nidus) which directly connected the feeding arteries to venous drainage network without interposed capillary system as shown in Figure 2.5. These arteries lack the normal muscular layer, and the draining veins often appear dilated due to the shunted high-velocity arterial blood flow entering through the fistulae. AVM cause is unknown. There is no gender preference and clinical presentation most commonly occurs in young adults and some cases AVM can form later in a lifetime. AVM can be occurred at any part in the body and can also be the multiple lesions in a single patient.

However, brain AVM is more specifically concerned because of the inherent high risk of bleeding that can cause the neurological damage which lead to cerebral hemodynamic disorder and neurologic problems such as headache, seizures, muscle weakness or paralysis, dizziness, visual disturbances, abnormal sensations (numbness) and mental confusion (dementia).

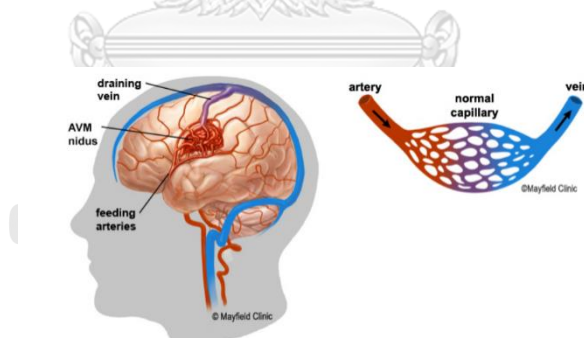
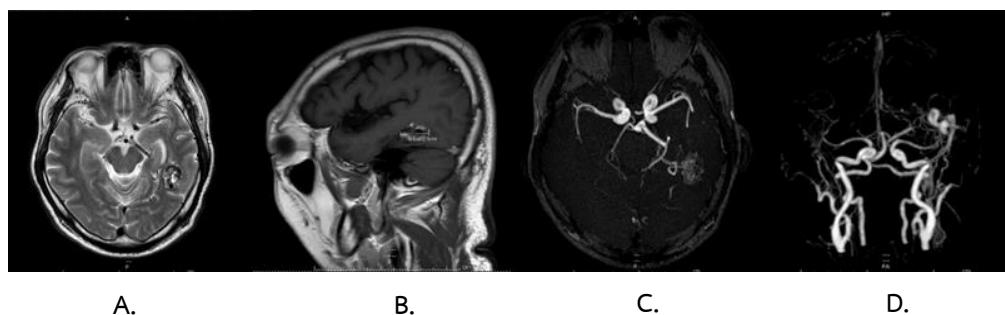


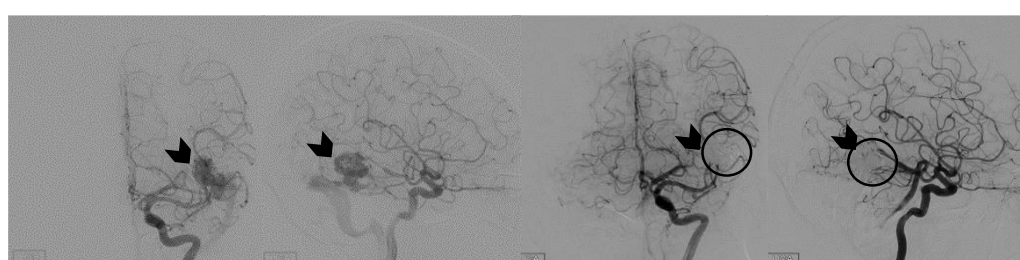
Figure 2.5 Brain AVM diagram

Brain AVM evaluations such as CT, MRI, MRA and particularly cerebral contrast angiography of 4 vessels are generally the gold standard for the diagnosis and treatment planning. The contrast transit time relates to the blood flow of the lesion, can provide the critical information for endovascular treatment planning.



A. B. C. D.

Figure 2.6 MRI (A, B) and MRA (C, D) images of brain AVM lesions.



A. AP view B. Lateral view C. AP view D. Lateral view

Figure 2.7 Cerebral angiographic AP and lateral views with AVM lesion (arrowheads)

Figure 2.7 shows cerebral angiography images, 2.7A and 2.7B display pre embolization treatment, 2.7C and 2.7D display post embolization treatment of brain AVM.

Spetzler-Martin Grade (SMG) scale is commonly employed for assessment of the risk of surgical morbidity and mortality with brain AVM. It is a composite score of nidus size, eloquence of adjacent brain (1 point for lesions located in brainstem, cerebellar peduncles, thalamus, hypothalamus, or language, sensorimotor, or primary visual cortex), and venous drainage (1 point if any or all of venous drainage is via deep veins such as basal veins, internal cerebral veins, or precentral cerebellar veins) (16). The higher the score, the higher the associated surgical morbidity and mortality risk as shown in Table 2.2.

Invasive treatments consist of embolization, radiation treatment or surgical excision. In many cases, embolization by Interventional neuroradiology (INR) is used to decrease the blood supply and the blood flow to AVM nidus to make it safe for a more definitive treatment such as surgical excision or radiation treatment. The multidisciplinary teams of physicians including a neurointerventionalist, neuroradiologist, neurosurgeon, and stroke neurologist carefully review this data to propose the best plan.

Table 2.2 Spetzler Martin scale

For evaluating risk of neurological deterioration following surgery for arteriovenous malformation (AVM) resection.

Characteristics	Points assigned
Size of AVM	
Small (<3 cm)	1
Medium (3–6 cm)	2
Large (>6 cm)	3
Location	
Non-eloquent site	0
Eloquent site	1
Direction of venous drainage	
Superficial	0
Deep (any)	1

Grade = (size) + (eloquence) + (venous drainage)

Higher grades are associated with greater surgical morbidity and mortality(16).

2.2 Review of related literature

2.2.1 Safari MJ et al. (2015) measured the patient eye lens dose during neuro-interventional procedures using Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) dosimeters on 35 patients who underwent 19 cerebral angiography diagnostic, 8 cerebral aneurysms embolization treatments, and 8 cerebral AVM embolization treatments from March 2013 to March 2014 at the University of Malaya Medical Center (UMMC). The same interventional neuroradiologist and radiographer team operated the neurointerventional procedures by using an Allura Xper FD20/20 biplane system (Philips Healthcare, Best, The Netherlands). Results, the maximum eye lens dose of 1492 mGy was found at the left eye for an AVM case by the average left eye lens dose was 308 mGy. Among 35 patients, the left eye lens dose of 8 patients received higher dose than the threshold absorbed dose for inducing cataracts (17).

2.2.2 Sánchez R.M. et al. (2016) investigated the radiation doses delivered to patient eyes during interventional neuroradiology procedures using OSL dosimeters carried out on 5 cerebral angiography diagnostic and 31 therapeutic procedures at the Hospital Clínico San Carlos in Madrid, Spain. They reported that the left eye, located toward the lateral C-arm

X-ray tube, received a 4.5 times greater dose than the right one. The average dose during embolization of the left eye was 303 mGy with a maximum of 2080 mGy in a single procedure. The patient received maximum eye dose from 6 embolization procedures to treat his high-volume AVM. Thus, the eye dose could be 2-fold. Furthermore, they found 16% of the embolization procedures resulted in eye doses greater than 0.5 Gy as shown in Table 2.3.

The cone beam CT (CBCT) acquisition contribution to eye lens doses was also investigated on the anthropomorphic phantom's eyes. The doses were 10 mGy in the CBCT low-dose mode, and 20 mGy for the high-resolution mode corresponding to 3% to 6% of the average left eye dose for a therapeutic procedure and 15% to 30% for cerebral angiography. The factors modify the eye doses are the KAP, the lesion localization, and collimating the lateral x-ray beam (18).

Table 2.3 Five therapeutic dosimetric data of left eye doses greater than 0.5 Gy.

Procedure	KAP (Gycm ²)	Exposure time (sec)	Number of Images	Air KERMA (mGy)		Eye lens dose (mGy)	
				PA tube	Lateral tube	Left	Right
				AVM	227	1407	1283
Aneurysm	271	2412	1020	1978	880	614	58
Aneurysm	214	1956	2412	2314	714	936	118
AVM	466	5254	979	3801	1711	2080	129
AVM	423	1801	1801	2220	724	911	173

Note: Air KERMA at the patient entrance reference point of frontal and lateral C-arms X-ray

2.2.3 Safari MJ et al. (2017) investigated the effects of routine exposure parameters on patient dose during neurointerventional radiology procedures using *MOSkin* detector. They reported that DSA imaging technique was a significant contributor to patient dose (80.9%) and the occipital region of the brain received high dose mainly from the frontal tube regularly located under the couch (73.7% of the total KAP). Rotating the frontal tube away from under the couch, the radiation dose to the occipital reduced by 40% and using the magnification modes increased radiation dose by 94%. Changing the image receptor to the phantom surface distance (10-40 cm) doubled the radiation dose to patient skin at the occipital region (19).

According to literature review, the eye lens dose in patient underwent AVM INR procedure should be measured because of the complicated procedure and prolonged exposure time. There is no report on this investigation using OSLD as an eye lens dosimeter earlier at KCMH, Thailand. The opportunity that the patients received eye lens dose over the threshold level of cataract and eye lens opacity is high according to the revised dose limit and threshold level of eye lens (ICRP, 2012).



CHAPTER III RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Research design

This study is a descriptive observational design in a cross-sectional prospective type.

3.2 Conceptual framework

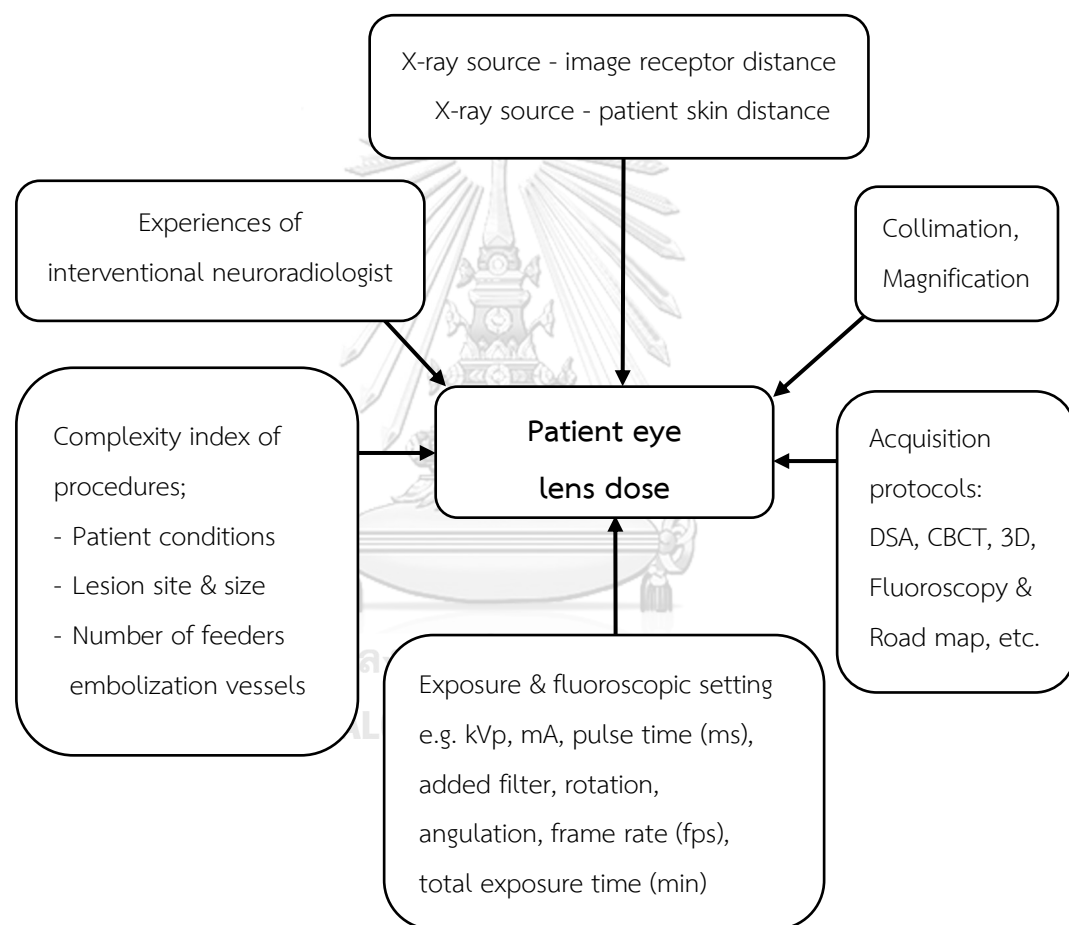


Figure 3.1 Overview of the research design model

3.3 Research design model

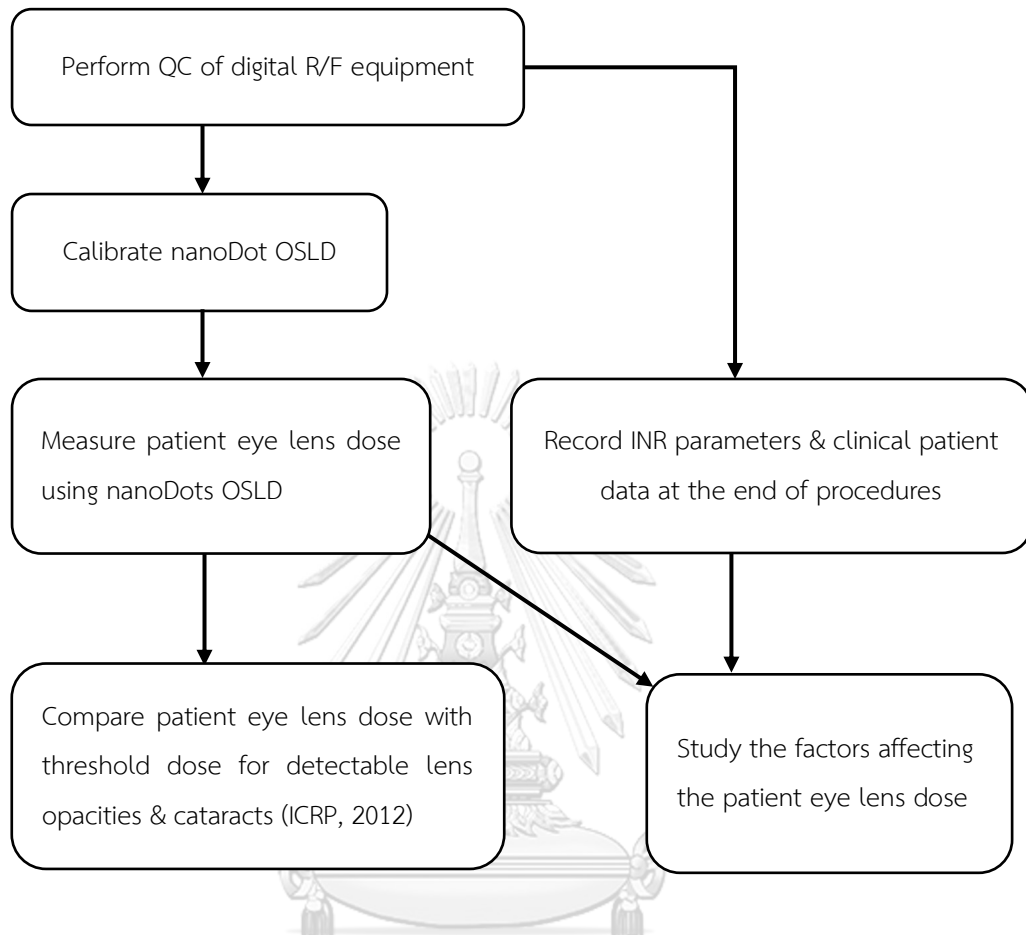


Figure 3.2 Research design model of patient eye lens dose measurement

3.4 Research questions

3.4.1 Primary research question

What are the patient eye lens doses during the brain AVM INR procedure using nanoDot OSL dosimeter?

3.4.2 Secondary research question

What are the factors affecting patient eye lens dose during the brain AVM INR procedure?

3.5 Research objectives

3.5.1 Primary objective

To measure the patient eye lens dose during brain AVM INR procedures using nanoDot OSL dosimeters.

3.5.2 Secondary objective

To investigate the factors affecting the patient eye lens dose during brain AVM INR procedures.

3.6 Sample

3.6.1 Target population

This prospective cross-sectional study conducted among the brain AVM patients who underwent INR procedure at IR unit, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital (KCMH) from August to December 2018, consecutively.

3.6.2 Sample population

This research was prospective cross-sectional study. The data was collected from the brain AVM patients who underwent INR procedure at IR unit, Department of Radiology, KCMH.

3.7 Eligible criteria

3.7.1 Inclusion criteria

The brain AVM patients at the age over 18 years old who underwent INR procedure at IR unit, Department of Radiology, KCMH from August to December 2018, consecutively.

3.7.2 Exclusion criteria

- Patient who is less than 18 years old.
- Emergency case
- Unconscious patient

3.8 Sample size determination

The sample population was independent prospective data; thus, the sample size was determined as a following formula.

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2 \sigma^2}{(\mu - \mu_0)^2}$$

$$n = \frac{(1.96 + 0.84)^2 (0.4)^2}{(0.3 - 0.5)^2} = 31.36$$

Define;	n	= Sample size
	$Z_{\alpha/2}$	= At 95% Confidence Interval ($\alpha = 0.05$) (1.96)
	$Z_{1-\beta}$	= Type II error (0.84)
	σ^2	= Variance of data (SD=0.4 Gy) *
	$\mu - \mu_0$	= Minimal clinical difference
	μ	= Prior Literature review (0.3) *
	μ_0	= Threshold dose to produce the cataract (0.5 Gy) (ICRP, 2012)
	*	= Sanchez et al., 2016 (18)

Therefore, the sample size (N) for 95% confidence interval is 32 patients.

3.9 Materials

3.9.1 Quality control materials

3.9.1.1 Reference dosimeter

A Solid-State dosimeter for diagnostic radiology manufactured by Radcal model Accu-gold (AGMS-D+) (Figure 3.3) was used for exposure and fluoroscopy measurements of dose, dose rate, time, tube voltage (kVp), half value layer (HVL) and beam filtration. The Radcal Accu-gold Digitizers module is shown in Table 3.1.



Figure 3.3 Solid state dosimeter (AGMS-D+ model), Radcal manufacturer

Table 3.1 Radcal Accu-gold Digitizers module, AGMS-D+ model

Solid State and Ion chamber sensors	Purposes and details
Simultaneous measurements	Up to 16 user selectable parameters viewable from each measurement
Customizable view screens	Create data display profile either before or after the exposure
Plug and Play sensors	Truly Interchangeable Accu-Gold+ Multisensor with other Rapid-Gold+ and Accu-Gold+ meters
Real-time waveforms	Real-time simultaneous dose rate, kVp, and mA waveforms
Data recall	Entire measurement sessions can recalled and added to at any time
Matrix display	Use Matrix display to view measurement results from the control room
Auxiliary port	Provision for future sensors
Scope type waveform analysis	Analyze kVp, dose, and mA waveform measurement values in detail
Export data	Export data to Excel, user templates or clipboard

3.9.1.2 Copper plate

Four plates of 0.5 mm thick and two plates of 1 mm thick copper represent the patient to drive tube voltage (kVp) during the QC of fluoroscopic system (Figure 3.4).



Figure 3.4 Copper plate

3.9.1.3 CIRS QA phantom model 903

The ACR accreditation Radiography/Fluoroscopy QA phantom (CIRS Inc., USA model 903) is made of polymethyl methacrylate (PMMA) with significantly greater durability. CIRS phantom of 25.4 cm wide, 25.4 cm long, and 20.7 cm high consists of

three attenuation plates, one test object plate and a detachable stand for reproducible setup. Test objects include optical density, high-resolution copper mesh targets from 12 – 80 lines per inch and two separate low and high contrast-detail test objects (Figure 3.5).



Figure 3.5 The CIRS 903 R/F QA phantom (CIRS Inc., Virginia, USA)

3.9.2 Research equipment

3.9.2.1 Digital Radiographic-Fluoroscopic system

INR procedures were performed using a digital biplane system manufacturer Philips model Allura Clarity Xper FD20/15 (Philips Healthcare, Best, The Netherlands) installed at IR unit, KCMH in 2015 (Figure 3.6). The system comprises KAP meters equipped at both X-ray tubes.



Figure 3.6 Digital R/F biplane system (Philips Allura Clarity Xper FD20/15)

This system consists of

- Biplane C-arms X-ray tubes, X-ray tube for lateral plane mounted at the ceiling (focal spots are 0.5/0.8 mm) and frontal plane mounted on the floor (focal spots are 0.4/0.7 mm).
- Physical detector size of digital flat panel detector (FPD) are 50 cm diagonal (frontal detector) and 39.2 cm X 33.8 cm X 8.4 mm (lateral detector).

- Different electronic rectangular field of views (FOV), which change the sensitive image detector area from 15 cm to 48 cm.
- Tube voltage varies between 40 and 125 kVp, controlled by an automatic dose rate control (ADRC) system.
- Frame rate ranges for vascular procedures are 0.5, 2, 3, 4, and 6 frames per second.
- Pulse rate range is 3.75, 7.5, 15 and 30 pulses per second.
- Different filtrations are 0, 0.2, 0.5, and 1.0 mm copper equivalent, which are specified to different types of exposures.

At the end of procedure, the data presented on the operator console area including, acquisition protocols, rotation and angulation of X-ray tube, SID, kVp, mAs, the total number of images, total exposure time, KAP and AK values.

3.9.2.2 Kerma-Area Product meter (KAP) (Gycm^2)

In this study, the KAP meters are installed on the collimator of both X-ray tubes as shown in Figure 3.7.



Figure 3.7 KAP meter

3.9.2.3 Optically Stimulated Luminescent (OSL) dosimeter

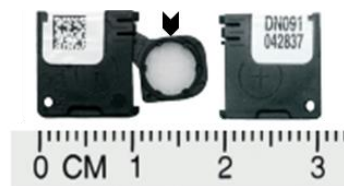


Figure 3.8 nanoDot OSL dosimeters ($\text{Al}_2\text{O}_3: \text{C}$)

OSL dosimeters model nanoDot, Nagase Landauer, Co., Ltd. (Japan) were used in this study. nanoDot OSL material is encased in a plastic light-tight casing of 10×10 mm with 2 mm thickness as shown in Figure 3.8.

The sensitive material was made of aluminum oxide doped with carbon ($\text{Al}_2\text{O}_3: \text{C}$), ($Z_{\text{eff}} = 11.28$). The active region (arrowhead) is a 5 mm diameter disk approximately, 0.2 mm thick, thin polyester films on either side, which used for binding and put the total disk thickness 0.3 mm.

3.9.2.4 OSL dosimeter reader



Figure 3.9 microStar OSLD reader

The exposed nanoDot OSLD were read by a microStar reader (Nagase Landauer, Co., Ltd., Japan) as shown in Figure 3.9. It is operated in continuous wave mode. The reader functions stimulating the dosimeter with the green light from laser, light emitting diode (LED). The luminescent light is detected with a photomultiplier tube (PMT) and the counts are recorded. The supplier has provided the reader system calibration.

3.9.2.5 The anthropomorphic head phantom (RS-250)



Figure 3.10 Anthropomorphic CT head phantom

The anthropomorphic CT head phantom model RS-250 (Radiology Support Devices, RSD) made of tissue-equivalent materials, are used to stimulate adult patients. It is a molded around skull and polycarbonate base dimensioned, using for checking physical parameters and realistic systems (Figure3.10). In this study, the anthropometric CT head phantom model RS-250 was used to verify the transmission of eye mask.

3.9.2.6 Eyes mask



Figure 3.11 Eye mask (M.E. MEDITIK Co., Ltd., Thailand)

The eye mask is made from polycarbonate and manufactured by M.E. MEDITIK Co., Ltd. (Thailand), requiring eye protection from the liquid (Figure 3.11). In this study, the patient was instructed to wear the eye mask which taped the nanoDot OSL dosimeters on.

3.9.2.7 Patients

Thirty-two brain AVM patients who underwent INR procedure at IR unit, KCMH between August to December 2018, which informed consent was obtained prior the procedure.

15 therapeutic procedures (9 male, 6 female) in average age 38 (22-68) years old and 17 diagnostic procedures (6 male, 11 female) in average age 34.76 (18 - 81) years old.

3.10 Methods

3.10.1 QC digital flat panel R/F system

Perform QC digital Flat panel R/F system test according to AAPM Report no. 58 (13) of

- Dose assessment
- Maximum dose rate assessment
- Table attenuation
- Automatic brightness control test
- Half-value layer (HVL)

- Image quality assessment
- Image size assessment

3.10.2 Calibration dosimeters

Calibrate nanoDot OSLD at diagnostic kVp range (70, 80 and 120) and KAP meters with standard calibrated ionization chamber according to IAEA recommendation.

3.10.3 Patient eye lens dose measurement

- 1.) Six nanoDot dosimeters were taped on the eye mask (three nanoDots for each eye) as shown in Figure 3.12.
- 2.) The eye mask was fixed at the patient eye lens level during INR procedure. At the end of the procedure, the eye mask with taped nanoDot OSL dosimeters was removed. In this study, patient eye lens doses were measured in a single procedure.

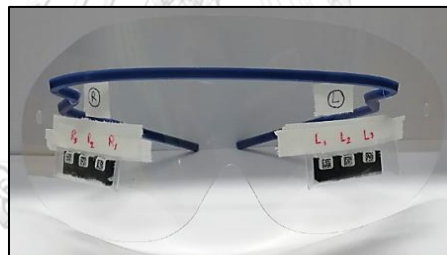


Figure 3.12 nanoDot dosimeters were taped on the eye mask.

3.10.4 Patient consent

Patient consent forms were obtained as shown in Appendix C.

3.10.5 Record the patient data

The data consists of age, gender, lesion size and location, exposure and fluoroscopic setting such as kVp, mAs, pulse time (ms), SID, added filter, rotation, angulation, frame rate (fps), total exposure time, acquisition protocol, KAP values (Gycm^2) and AK values (Gy) on the case record form and the complexity index of procedure verified by interventional neuroradiologists (Appendix D) at the end of the procedure.

3.10.6 Read out patient eye lens doses

Exposed nanoDot OSLD which represented patient eye lens doses were read by using a microStar OSLD reader.

3.10.7 The relationship between patient eye lens doses and exposure parameters

Determine the relationship between patient eye lens dose and exposure parameters including KAP values, AK values, exposure time, number of images, and complexity index of the procedure.

3.11 Variables measurement

Measure independent and dependent variables as following

3.11.1 Independent variables

Exposure and fluoroscopic settings, acquisition protocols, size and location of lesions, interventional neuroradiologist experiences and complexity index of the procedure.

3.11.2 Dependent variables

Patient eye lens doses (mGy), KAP (Gycm^2) and AK (Gy),

3.12 Statistical analysis

3.12.1 This study is descriptive statistics

For continuous data to determine as following

- Average
- Standard deviation (SD)
- Minimum-maximum range

3.12.2 Regression correlation test was conducted by Pearson's correlation analysis to determine relationships between the measured patient eye lens dose and KAP, AK, exposure time and the number of images and p value of 0.05 was regarded as significant (statistical package SPSS, Version 22, IBM, Armonk, New York, USA).

3.13 Data analysis

Data was reported as average, standard deviation (SD) and range (min-max) presenting in the form of table and charts.

3.14 Outcomes

Average patient eye lens doses underwent AVM INR procedure in a single procedure at IR unit, KCMH.

3.15 Expected benefits

- Average patient eye lens doses during AVM INR procedure in a single procedure.
- Factors affecting to the patient eye lens dose undergoing AVM INR procedures.

These results would be beneficial to patients, interventional neuroradiologists and specialists in order to justify requesting the examination or further investigation and being aware of the threshold absorbed dose for detectable eye lens opacities and cataracts at 0.5 Gy.

3.16 Limitation

No limitation is in this study.

3.17 Ethical consideration

This study was performed in patients exposed by digital radiography-fluoroscopic system. The patient eye lens doses were measured by using nanoDot OSL dosimeters and patient data was collected from PACS. The research proposal was submitted to the Ethic Committee Faculty of Medicine Chulalongkorn University.

The consent form was given to the patient prior to conduct the study while the information presented enable the participant to voluntarily decide whether or not participate as research subjects. The participants were informed about procedures undertaken, potential risks and benefits of this study. The participants were able to ask any questions they may have about this research. The principal investigator was available to answer any queries until the participants have clear and thorough understanding of the subject. The participants can decide whether they want to participate or not.

Add Belmont

- **Respect for persons**

Respect for free and informed consent: The patient who participated in this research made an informed decision about whether or not to enroll in a study or to continue participation after obtaining the sufficient information.

Respect for confidential: The patient data was used for clinical objective only and concealed to the public. The patient name was not appeared in any oral or written reports resulting from the reports the research according to the ethics.

- **Beneficence**

The patient who participated in this research did not receive any rewards for being the participant but the research data can be used to evaluate other patient eye lens dose undergoing AVM INR procedure and further research.

- **Justice**

Selection of subjects for this research had been obvious, inclusion and exclusion criteria, unbiased.



CHAPTER IV

RESULTS

4.1 Quality control of the radiographic/fluoroscopic biplane systems

The quality control test of the R/F system was performed by following AAPM protocol including the electromechanical component tests, dose assessment, maximum dose rate, table attenuation, automatic brightness control (ABC), half value layer (HVL), image quality and image size assessment. The results are shown in Appendix E.

4.2 OSL Dosimeter calibration

The nanoDot OSL dosimeter has been calibrated for the energy dependency under IAEA standard (TRS 457) in free air geometry. The detectors were characterized for 70, 80 and 120 kVp photon beam perpendicular to dosimeters at 1 mGy. Results are shown in Appendix F.

4.3 Patient data collection

The measurement of patient eye lens dose was carried out on 32 patients, comprising 15 therapeutic procedures (9 male, 6 female) in average age 38 (22-68) years old and 17 diagnostic procedures (7 male, 10 female) in average age 36 (18-81) years old, who underwent INR procedures between August to December 2018. Patient data such as gender, age, location and size of the lesion were collected as shown in Table 4.1, 4.2 and 4.3.

Prior to eye lens dose measurements, all patients completed the consent form. Five specialists operated AVM INR procedures in this study were one interventional neuroradiologist, one neurosurgeon and three fellows with the experiences at 20, 5, 2.5, 1.5 years and 2 months (average 5.8 ± 8.12 years), respectively.

Table 4.1 Summary of 32 patient data

	No. of procedure	Male	Female	Average age \pm SD (Y)	min-max (Y)
Therapeutic	15	9	6	38 \pm 14.4	22 - 68
Diagnostic	17	7	10	36 \pm 19.3	18-81

Table 4.2 Data of 15 patients who underwent AVM INR therapeutic procedure.

Patient No.	Gender (M/F)	Age (Y)	Lesion size (cm)	Lesion site (Region)
1	F	22	4.5 x 3.7 x 5.0	Lt. choroidal/thalamic
2	F	23	2.3 x 3.2 x 1.9	Lt. PTO
3	M	33	12.3 x 7.5 x 4.5	Rt. temporo-occipital
4	F	36	2.5 x 2.7 x 2.1	Rt. temporo-parietal
5	M	24	6.3 x 8.5 x 11.5	Rt. parieto-occipital
6	M	27	2.5 x 2.4 x 2.1	Lt. parieto-occipital
7	F	42	3.7 x 4.8 x 5.7	Rt. frontal
8	M	46	Extensively	Rt. CC-DAVF
9	M	31	-	Rt. petrous DAVF
10	M	27	1.5 x 1.8 x 1.1	Lt. parieto-occipital
11	M	43	5.1 x 5.5 x 4.6	Rt. fronto-parietal/callosal
12	F	36	2.7 x 1.4 x 2.4	Rt. cingulate
13	F	63	5.1 x 4.7 x 5.2	Lt. parieto-occipital
14	M	68	-	Lt. transverse-sigmoid
15	M	54	2.2 x 1.9 x 1.6	Lt. posterior temporal

Note; PTO = Parietal-temporal-occipital region, TPO = Temporo-Parieto-Occipital region

Lt. = Left, Rt. = Right (August – December 2018, IR unit, KCMH)

Table 4.3 Data of 17 patients who underwent AVM INR diagnostic procedure.

Patient No.	Gender (M/F)	Age (Y)	Lesion size (cm)	Lesion site (Region)
1	F	18	1.2 x 1.3 x 0.9	Lt. parasagittal
2	F	47	-	-
3	M	26	2.2 x 1.8 x 1.0	Rt. parieto-occipital (*)
4	F	26	-	-
5	M	34	-	-
6	M	23	-	-
7	F	14	-	Lt. parasagittal
8	M	48	-	- (**)
9	M	15	-	-
10	M	22	-	-
11	M	28	-	Lt. parieto-occipital
12	M	20	4.2 x 3.7 x 3.0	Lt. medial temporal
13	F	49	-	-
14	F	44	-	-
15	F	57	-	-
16	M	81	-	-
17	M	67	-	-

Note; * = Plan surgery, ** = found 2 aneurysms Lt. = Left, Rt. = Right
(August – December 2018, IR unit, KCMH)

4.4 Exposure and other related parameters

The exposure parameters such as kVp, mAs, pulse and frame rates, SID, angulation, and rotation of X-ray tube and acquisition mode during INR procedures had been recorded and displayed in Table 4.4 and 4.5.

Table 4.4 Average, Standard deviation (SD) and range of min – max values of exposure parameters from PA and lateral X-ray tubes (Therapeutic)

Therapeutic	PA tube		Lateral tube	
	Average \pm SD	min - max	Average \pm SD	min - max
kVp	82 \pm 4.24	77 - 90	78 \pm 2.26	77 - 82
mAs	23 \pm 15.67	13 - 47	23 \pm 7.01	13 - 50
Pulse rate (pps)	12.5	12.5	12.5	12.5
Frame rate (fps)	3	2 - 4	3	2 - 3
Acquisition mode	Cerebral 3 fps 50 % (Normal)		Cerebral 3 fps 50 % (Normal)	
FOV (inch)	11" - 19"		11" - 15"	
SID (cm)	103 \pm 2.73	99 - 109	105 \pm 2.36	99 - 107
Filter	0.4 mm Cu + 1.0mm Al		0.4 mm Cu + 1.0mm Al	
Angular (°)	13 \pm 11	0 - 49	2 \pm 5	0 - 15
Rotation (°)	11 \pm 3	0 - 13	86 \pm 27	45 - 90

Table 4.5 Average, Standard deviation (SD) and range of min - max values of exposure parameters from PA and lateral X-ray tubes (Diagnostic)

Diagnostic	PA tube		Lateral tube	
	Average \pm SD	min - max	Average \pm SD	min - max
kVp	78 \pm 2.39	76 - 86	78 \pm 2.26	77 - 82
mAs	17 \pm 15.67	13 - 48	23 \pm 7.06	13 - 47
Pulse rate (pps)	12.5	12.5	12.5	12.5
Frame rate (fps)	3	-	3	-
Acquisition mode	Cerebral 3 fps 50 % (Normal)		Cerebral 3 fps 50 % (Normal)	
FOV (inch)	11" -19"		11" -15"	
SID (cm)	103 \pm 3.18	97 - 109	101 \pm 5.44	81 - 105
Filter	0.4 mm Cu + 1.0mm Al		0.4 mm Cu + 1.0mm Al	
Angular (°)	8 \pm 14	0 - 42	8 \pm 5	0 - 18
Rotation (°)	11 \pm 9	0 - 21	86 \pm 27	54 - 90

- The specialists who operated AVM INR procedures in this study were the same interventional neuroradiologists and radiographers. This team mostly used DSA acquisition at normal mode called Cerebral 3 fps 50 % (Normal) of Philips biplane systems setting by the average tube voltage is about 78 kVp for both diagnostic and therapeutic procedures.

By Cerebral 3 fps 50 % (Normal) acquisition mode (Philips healthcare) consisted of three phases;

- First phase setting: Image speed is 3 frame per second during 4 second.
 - Second phase setting: Image speed is 1 frame per second during 8 second.
 - Third phase setting: Image speed is 0.5 frame per second by consecutively.
- Some of INR procedures, the operator used Cone Beam CT (CBCT) acquisition mode which the tube voltage set up is 120 kVp and image speed is 30 to 60 frame per second depending on pathological of AVM lesion. CBCT acquisition, the X –ray PA tube is rotated from -105° to 105° to acquire the images for reconstruction into 3D image or CBCT images and SID is 120 cm.

The percentage of acquisition modes using in AVM INR procedure from August to December 2018 at IR unit (KCMH) is displayed in Figure 4.1.

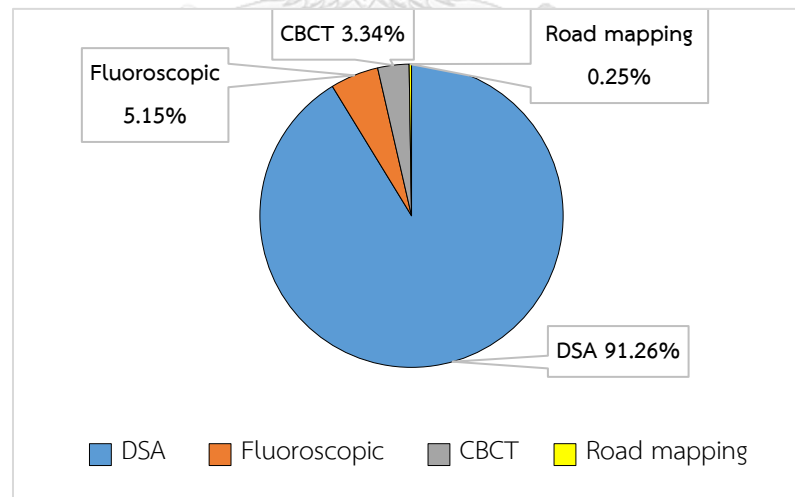


Figure 4.1 Acquisition procedures in percentage, IR unit, KCMH (Aug – Dec 2018)

4.5 Dosimetric parameters

The dosimetric parameters such as KAP (Gycm²), AK (Gy), exposure time (min), and number of images on therapeutic and diagnostic procedures are shown in Table 4.6, 4.7, 4.8 and 4.9, respectively.

Table 4.6 Cumulative of dosimetric and exposure data for each therapeutic procedure

Therapeutic Patient no.	KAP (Gycm ²)		AK (Gy)		Exposure time (min)	No. of Images
	PA tube	Lateral tube	PA tube	Lateral tube		
1	157.50	83.52	1.98	1.20	61.08	2850
2	41.62	19.73	0.50	0.38	32.52	1494
3	167.56	66.78	2.52	1.31	83.36	2618
4	53.64	34.95	0.69	0.58	26.52	602
5	305.44	102.39	5.17	2.98	175.04	960
6	71.82	37.33	1.28	0.81	50.31	538
7	66.89	30.09	1.44	0.91	68.19	2568
8	88.54	47.68	1.01	0.73	40.03	599
9	104.68	78.35	1.74	1.27	71.55	3523
10	62.82	43.04	2.36	2.15	186.56	1633
11	160.93	47.86	1.54	1.26	74.04	1716
12	92.53	60.10	1.64	1.40	52.54	1696
13	174.61	102.99	3.14	2.35	116.50	2254
14	63.86	49.03	0.91	0.68	58.58	920
15	68.31	57.45	1.11	0.88	60.36	520
Average ± SD	112.05±69.96	57.42 ± 25.15	1.80 ± 1.17	1.26 ± 0.72	77.15 ± 47.36	1,633 ± 958

Table 4.7 Cumulative of dosimetric and exposure data for each diagnostic procedure

Diagnostic Patient no.	KAP (Gycm ²)		AK (Gy)		Exposure time (min)	No. of Images
	PA tube	Lateral tube	PA tube	Lateral tube		
1	21.49	16.63	0.15	0.09	2.52	184
2	23.04	14.99	0.18	0.11	4.43	168
3	35.02	20.48	0.26	0.12	5.02	210
4	20.97	12.76	0.17	0.07	3.59	132
5	21.03	9.38	0.15	0.09	3.26	128
6	16.38	16.13	0.13	0.10	7.26	174
7	13.80	13.50	0.10	0.08	4.18	122
8	35.30	16.56	0.27	0.10	7.21	324
9	16.47	9.44	0.13	0.06	6.01	174
10	15.79	11.10	0.11	0.08	3.08	168
11	26.83	17.33	0.22	0.11	6.54	174
12	23.61	13.00	0.19	0.08	4.54	154
13	30.51	18.88	0.23	0.12	7.07	254
14	30.17	23.47	0.22	0.15	5.28	289
15	38.77	20.81	0.33	0.13	11.2	520
16	53.18	23.24	0.44	0.18	23.29	338
17	18.99	8.59	0.18	0.07	6.14	298
Average ± SD	25.96 ± 10.24	15.66 ± 4.70	0.20 ± 0.08	0.10 ± 0.03	6.51 ± 4.81	224 ± 103

- The average Kerma-Area Product (KAP) at both X-ray tubes, for therapeutic procedure, KAP values, were 112.05 ± 69.96 Gycm², in the range of 41.62 – 305.44 Gycm² at PA tube and 57.42 ± 25.15 Gycm², in the range of 19.73 – 102.99 Gycm² at lateral tube, while, for diagnostic procedure, the average KAP values were 25.96 ± 10.24 Gycm² in the range of 13.80 - 53.18 Gycm² at PA tube, and 15.66 ± 4.70 Gycm² in the range of 8.59 – 23.47 Gycm² at lateral tube, respectively.

- The average of Air KERMA (AK) of both X-ray tubes, for therapeutic procedure, AK values, were 1.80 ± 1.17 Gy, in the range of 0.50 – 5.17 Gy at PA tube and 1.26 ± 0.72 Gy, in the range of 0.38 – 2.98 Gy at lateral tube, while, for diagnostic procedure, AK values were 0.20 ± 0.08 Gy, in the range of 0.10 – 0.44 Gy at PA tube, and 0.10 ± 0.03 Gy, in the range of 0.06 – 0.18 Gy at lateral tube, respectively.

- The average exposure time, for therapeutic procedure was 77.15 ± 47.36 minutes with the range of 26.52 – 186.56 minutes while for diagnostic procedure was 6.51 ± 4.81 minutes in the range of 2.52 – 23.29 minutes.
- The average number of images was $1,633 \pm 957.85$ with the range of 520 – 3,523 images, and 224 ± 103 with the range of 122 – 520 images, for therapeutic and diagnostic procedures, respectively.

Table 4.8 Average, Standard deviation (SD) and range of exposure parameters for therapeutic procedure including KAP (Gycm^2), AK (Gy), exposure time (min) and the number of images.

Parameters		Average \pm SD	min -max
KAP (Gycm^2)	PA	112.05 ± 69.96	41.62 – 305.44
	Lateral	57.42 ± 25.15	19.73 – 102.99
AK (Gy)	PA	1.80 ± 1.17	0.50 – 5.17
	Lateral	1.26 ± 0.72	0.38 – 2.98
Exposure time (min)		77.15 ± 47.36	26.52 – 186.56
Number of images		$1,633 \pm 958$	520 – 3,523

Table 4.9 Average, Standard deviation (SD) and range of exposure parameters for diagnostic procedure including KAP (Gycm^2), AK (Gy), exposure time (min) and the number of images.

Parameters		Average \pm SD	min - max
KAP (Gycm^2)	PA	25.96 ± 10.24	13.80 - 53.18
	Lateral	15.66 ± 4.70	8.59 - 23.47
AK (Gy)	PA	0.20 ± 0.08	0.10 - 0.44
	Lateral	0.10 ± 0.03	0.06 - 0.18
Exposure time (min)		6.51 ± 4.81	2.52 - 23.29
Number of images		224 ± 103	122 - 520

4.6 Patient eye lens dose measurement

Table 4.10 Patient eye lens doses of therapeutic and diagnostic procedures

Therapeutic procedure			Diagnostic procedure		
Patient no.	Lt. eye lens dose (mGy)	Rt. eye lens dose (mGy)	Patient no.	Lt. eye lens dose (mGy)	Rt. eye lens dose (mGy)
1	110.35	50.31	1	65.89	9.85
2	60.13	18.14	2	54.99	14.46
3	33.85	27.96	3	25.45	12.17
4	17.88	11.63	4	32.53	8.63
5	111.70	56.81	5	40.04	6.67
6	57.43	15.14	6	55.32	21.29
7	63.25	29.03	7	12.88	9.95
8	24.93	22.78	8	57.22	16.06
9	67.67	36.46	9	42.25	15.02
10	59.26	40.47	10	31.55	8.21
11	80.94	33.14	11	36.66	7.49
12	81.79	22.55	12	22.25	5.29
13	77.72	40.52	13	25.03	11.61
14	53.29	17.95	14	16.24	10.52
15	76.96	21.43	15	42.69	22.70
-	-	-	16	29.02	19.78
-	-	-	17	6.26	3.83
Average ± SD	65.14 ± 26.19	29.62 ± 13.18	Average ± SD	35.07 ± 16.72	11.97 ± 5.54
min - max	17.88 - 111.70	11.63 - 56.81	min - max	6.26 - 65.89	3.83 - 22.70

- Therapeutic procedure, the average left eye lens doses was 65.14 ± 26.91 mGy in the range of 17.88 – 111.70 mGy and 26.62 ± 13.18 mGy in the range of 11.63 ± 56.81 mGy at the right.
- Diagnostic procedure, the average patient eye lens dose were 35.07 ± 16.72 in the range of 6.26 – 65.89 mGy at the left and 11.97 ± 5.54 in the range of 3.83 – 22.70 mGy at the right.

Average patient eye lens dose (mGy) and standard deviation of both procedures measured by nanoDot OSLD are shown in Figure 4.2 and 4.3.

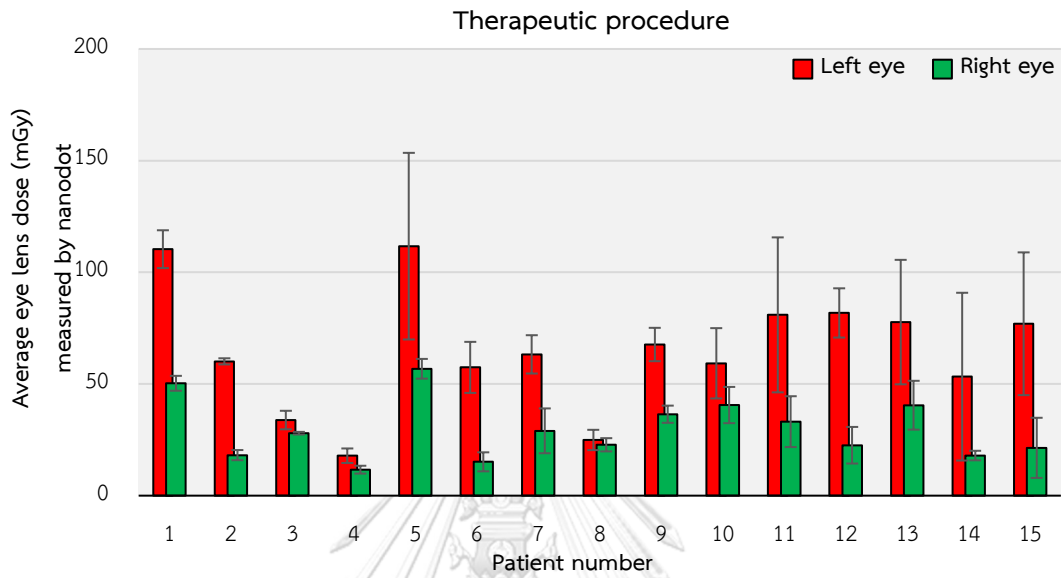


Figure 4.2 Average patients eye lens dose during therapeutic AVM INR procedure

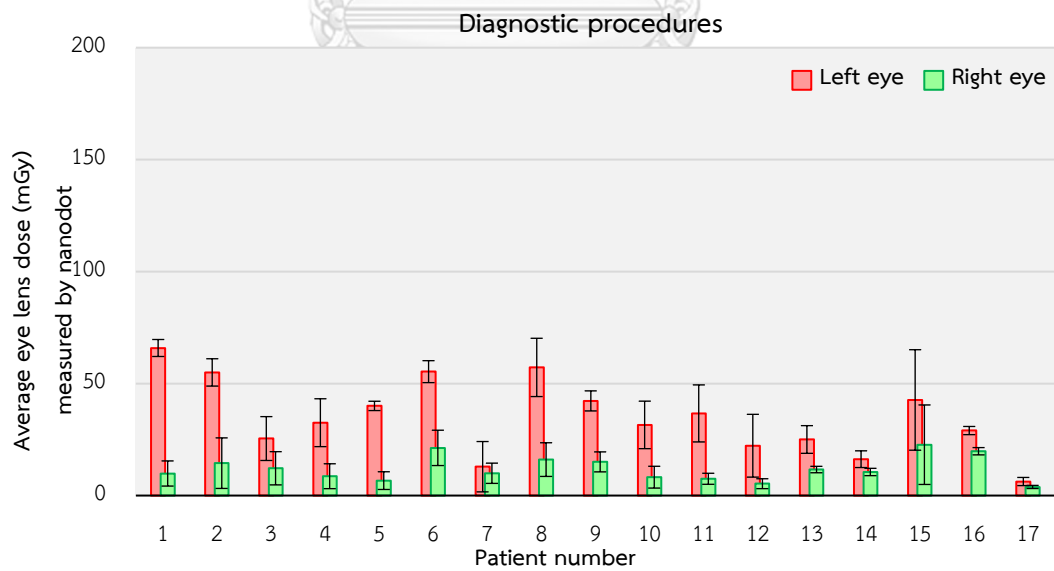


Figure 4.3 Average patients eye lens dose during diagnostic AVM INR procedure

4.7 The Complexity index

The complexity index of procedure for 32 procedures was verified by the interventional neuroradiologist. The data of complexity index was shown in Appendix D.

4.8 Relation between the patient eye lens doses with related parameters

The correlation, r , between patient eye lens dose (mGy) for each eye with KAP (Gycm^2), AK (Gy) for each tube, exposure time, number of images are displayed in Table 4.11 and 4.12.

Table 4.11 Correlation, r , of eye lens dose and related parameters (Therapeutic)

Therapeutic	Left eye lens dose		Right eye lens dose	
	r	p-value	r	p-value
$KAP_{PA} (\text{Gycm}^2)$	0.52	0.0370	0.77	0.0005
$KAP_{Lat} (\text{Gycm}^2)$	0.61	0.0117	0.75	0.0009
$AK_{PA} (\text{Gy})$	0.54	0.0318	0.82	0.0001
$AK_{Lat} (\text{Gy})$	0.58	0.0179	0.81	0.0001
Exposure time (min)	0.44	0.0862	0.74	0.0010
Number of Images	0.30	0.2510	0.48	0.0571

Note; KAP_{PA} = Kerma-Area Product at X-ray PA tube, KAP_{Lat} = Kerma-Area Product at X-ray lateral tube

AK_{PA} = Air KERMA at X-ray PA tube, AK_{Lat} = Air KERMA at X-ray lateral tube (significant p-value < 0.05)

Table 4.12 Correlation, r , of eye lens dose and related parameters (Diagnostic)

Diagnostic	Left eye lens dose		Right eye lens dose	
	r	p-value	r	p-value
$KAP_{PA} (\text{Gycm}^2)$	0.19	0.4698	0.37	0.1442
$KAP_{Lat} (\text{Gycm}^2)$	0.32	0.2078	0.24	0.3586
$AK_{PA} (\text{Gy})$	0.22	0.3941	0.29	0.2585
$AK_{Lat} (\text{Gy})$	0.32	0.2127	0.19	0.4550
Exposure time (min)	0.20	0.4376	0.47	0.0598
Number of Images	0.02	0.9331	0.64	0.0054

Note; KAP_{PA} = Kerma-Area Product at X-ray PA tube, KAP_{Lat} = Kerma-Area Product at X-ray lateral tube

AK_{PA} = Air KERMA at X-ray PA tube, AK_{Lat} = Air KERMA at X-ray lateral tube (significant p-value < 0.05)

The relation of eye lens dose and other related parameters are focused on therapeutic of AVM INR procedure, the scatter plots between patient eye lens dose and related parameters were created as shown in Table 4.13 and scatter plotted graphs in Figure 4.4 – 4.8.

Table 4.13 Patient eye lens dose and parameter correlations

Parameter	Correlation	
	Left eye lens dose	Right eye lens dose
AK_{PA} (Gy)	Moderate	Very strong
AK_{Lat} (Gy)	Moderate	Very strong
KAP_{PA} (Gy.cm ²)	Moderate	Strong
KAP_{Lat} (Gy.cm ²)	Strong	Strong
Exposure time (min)	Moderate	Strong
Number of Images	Weak	Moderate

Note; KAP_{PA} = Kerma-Area Product at X-ray PA tube, KAP_{Lat} = Kerma-Area Product at X-ray lateral tube
 AK_{PA} = Air KERMA at X-ray PA tube, AK_{Lat} = Air KERMA at X-ray lateral tube

- **The very strong correlation** between right eye lens dose and AK of PA and lateral X-ray tubes by r equal 0.82 and 0.81, respectively (Figure 4.4A and 4.4B).
- **The strong correlation** obtained
 - 1) Left eye lens dose and KAP_{Lat} by $r = 0.61$ (Figure 4.5B).
 - 2) Right eye lens dose and KAP of PA and lateral tubes by $r = 0.77$ and 0.75 (Figure 4.6A and 4.6B)
 - 3) Right eye lens dose and exposure time by $r = 0.74$ (Figure 4.8B)
- **The moderate correlation** obtained
 - 1) Left eye lens dose and KAP_{PA} by $r = 0.52$ (Figure 4.5A)
 - 2) Left eye lens dose and AK of PA and lateral tubes by $r = 0.54$ and 0.58 (Figure 4.7A and 4.7B)
 - 3) Left eye lens dose and exposure time by $r = 0.44$ (Figure 4.8A)
 - 4) Right eye lens dose and number of images by $r = 0.48$.
- **The weak correlation** between left eye lens dose and number of images by $r = 0.30$.

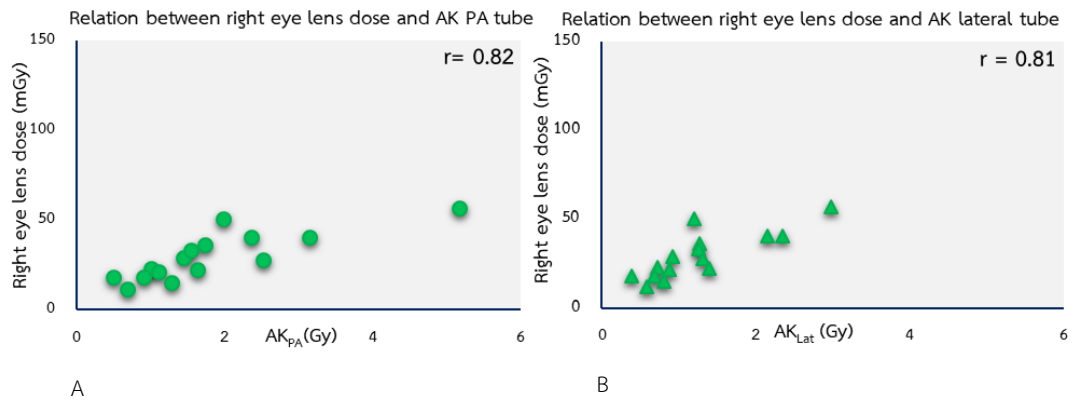


Figure 4.4 The measured right eye lens dose and AK values correlation

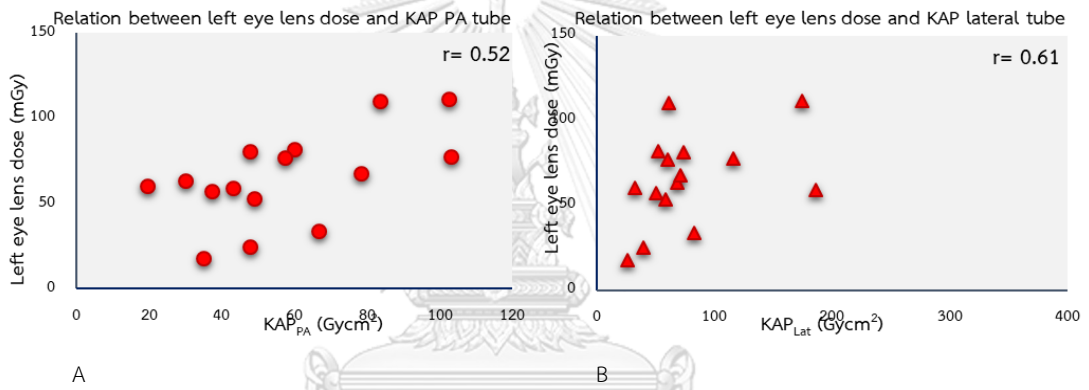


Figure 4.5 The measured left eye lens dose and KAP values correlation

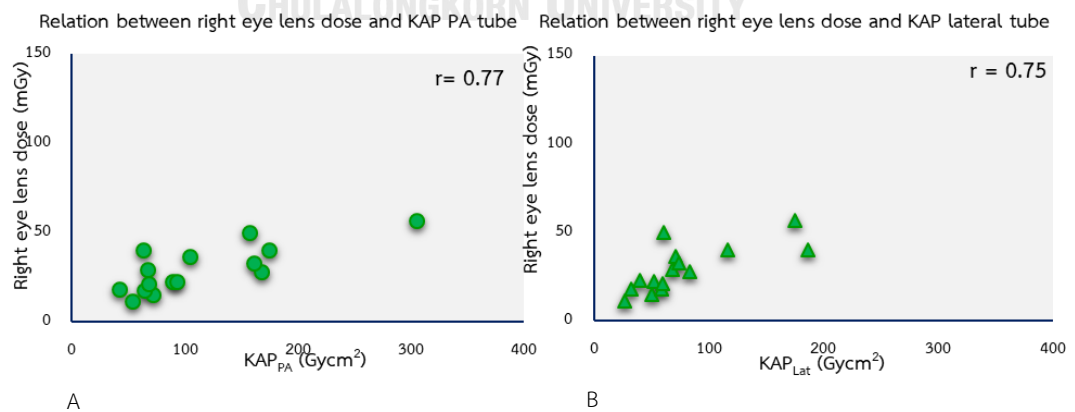


Figure 4.6 The measured right eye lens dose and KAP values correlation

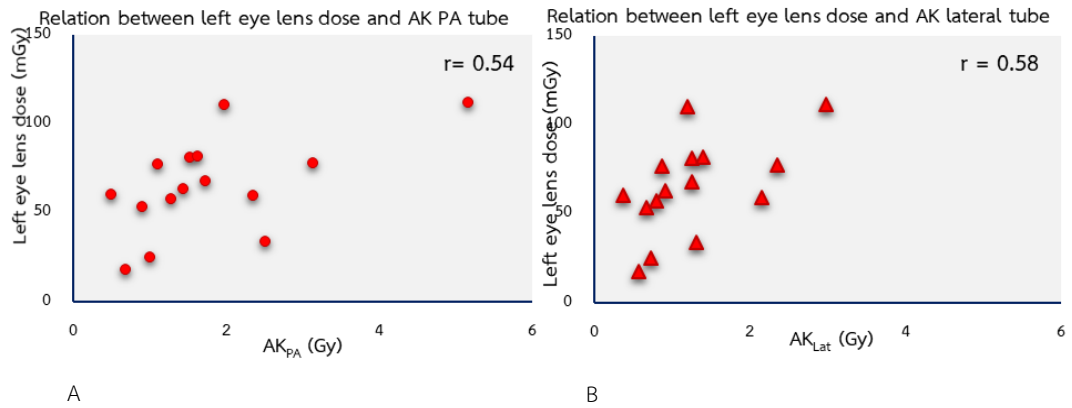


Figure 4.7 The measured left eye lens dose and AK values correlation

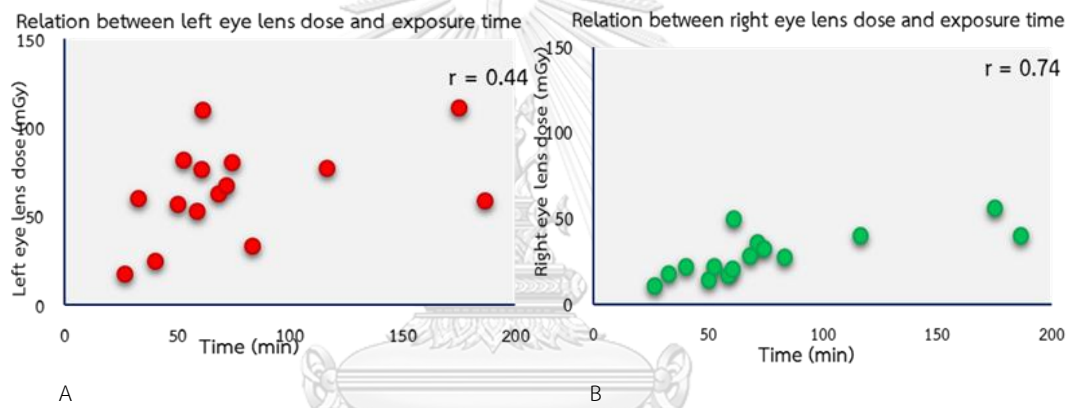


Figure 4.8 Both eye lens dose and total exposure time correlation

CHAPTER V

DISCUSSION AND CONCLUSION

5.1 Patient eye lens dose

The average dose of left eye of the therapeutic procedure was higher than the right eye according to the followings

5.1.1 X-ray lateral tube location

The X-ray lateral tube regularly positions at the left side of patient head at the average SID to the left eye of 67 cm and 72 cm to the right eye. Therefore, photon beams are straight forward to the left eye of patient.

5.1.2 Lesion site

Seven from fifteen of the therapeutic procedure including patient number 1,2, 6 10, 13, 14, and 15, their AVM lesions located at the left of the brain and closed to left eye side which were in the irradiated beam. Therefore, the left eye was more exposed by the X-ray PA tube than the right eye.

5.1.3 Lesion size

The volume of AVM can prolong exposure time and repeat irradiation to the same interest area. Patient number 5 who received the maximum left eye lens dose at 111.70 mGy, the AVM is the largest dimension at 6.3 x 8.5 x 11,5 cm (Figure 5.1).

This case has a largest size of AVM with more complicated procedure. Most exposure parameters were high including the exposure time of 175 minutes and the left eye lens dose of patient received the highest dose of 111.70 mGy.

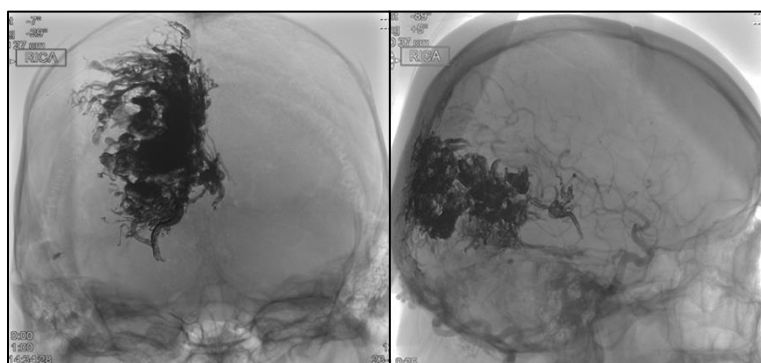


Figure 5.1 AVM lesion size of patient number 5

5.2 Comparison of the eye lens dose to other studies

The average patient eye lens dose of therapeutic procedure in this study is 65.14 mGy for the left eye which is much lower than literature review (17, 18) and also lower than threshold absorbed dose recommendation at 500 mGy (ICRP, 2012) as shown in Table 5.1.

Table 5.1 Comparison of average and maximum eye lens dose with other studies (Therapeutic)

Authors	Year	Detector type	No. of patients	Left eye lens dose (mGy)	
				Average	Maximum
Safari MJ et al.(17)	2015	MOSkin	16	308.4	1,492.0
Sanchez et al.(18)	2016	OSL	31	303.0	2,080.0
This study	2018	nanoDot OSL	15	65.1	111.7

5.3 The factors affected the eye lens dose

5.3.1 Kerma-Area Product (KAP)

The correlation of KAP and left eye lens dose is $r = 0.61$ which is strongly correlated (Table 4.11).

5.3.2 Air KERMA (AK)

The correlation of AK and left eye lens dose is $r = 0.58$ which is moderately correlated (Table 4.11).

5.3.3 Total exposure time

The correlation of exposure time and left eye lens dose is $r = 0.44$.

Factors support the dose reduction in patient eye lens

5.3.4 Beam collimation

The interventional neuroradiologists operating AVM INR procedure is the only single team with lots of skill and well trained to optimize the irradiation dose to the eye lens by collimating the radiation field, thus, the nanoDot OSLD on eyelid would be out of direct beam from X-ray lateral tube. Therefore, the proper collimator to the lesion had been selected result in the dose reduction to the eyes, significantly.

5.3.5 Frame rate and pulse rate

The high frame rates offer high image quality as well as high patient doses. However, some studies evaluated the effect of DSA on patient radiation dose (20, 21). In this study, 3 fps of DSA acquisition mode was mostly used during routine cerebral angiography, and during an embolic agent injection (Onyx-18, Onyx-34, Novel (PHIL, n=8), the interventional neuroradiologists preferred using a fluoroscopic pulse mode resulted in low radiation dose to patient eyes.

The 30 fps was used in CBCT acquisition mode, especially in the case of suspicious hemorrhage or clarify the feeding vessel of AVM. Such a CBCT acquisition mode was rarely selected, as shown in Figure 4.1.

5.3.6 Angulation and rotation of X-ray tubes were significantly varied depending on the clinical circumstances.

5.4 Conclusion

Therapeutic procedure

- The average patient eye lens doses were 65.14 (17.88 – 111.70) mGy at the left and 29.62 (11.63 – 56.81) mGy at the right.
- The average KAP values were 112.05 (41.62 – 305.44) Gy cm^2 at PA tube and 57.42 (19.73 – 102.99) Gy cm^2 at lateral tube.
- The average AK values were 1.80 (0.50 – 5.17) Gy at PA tube and 1.26 (0.38 – 2.98) Gy at lateral tube.
- The average total exposure time was 77.15 (26.52 – 186.56) minutes.

Diagnostic procedure

- The average patient eye lens doses were 35.07 (6.26 – 65.89) mGy at the left and 11.97 (3.83 – 22.70) mGy at the right.
- The average KAP values were 25.96 (13.80 – 53.18) Gy cm^2 at PA tube and 15.66 (8.59 – 23.47) Gy cm^2 at lateral tube.
- The average AK values were 0.20 (0.10 – 0.44) Gy at PA tube and 0.10 (0.06 – 0.18) Gy at lateral tube.
- The average total exposure time was 6.51 (2.52 – 23.29) minutes.

Factors affecting the patient eye lens dose

The factors affecting patient eye lens dose are Kerma-Area Product (KAP), Air KERMA (AK) and total exposure time (min).

The lens of eye is one of the high radiosensitive tissues in the body (22-24). Radiation induced cataracts is latency effect and relating to the threshold absorbed dose for detectable eye lens opacities and cataract which has been revised and significantly decreased by a factor of 10, 0.5 Gy(25). The eye lens dose of patient is more concerned and justified the complications of ionizing radiation, particularly in the young patient who underwent INR procedure.

In order to reduce the patient eye lens dose during INR procedures, various techniques are recommended such as using pulsed mode fluoroscopy exposure, shortening the exposure time, reducing the distance between image receptor and patient, less using magnification mode, proper beam collimation, using last image hold technique, changing C-arm angles and using a low frame rate exposure for decreasing risk of ionizing radiation cataracts, PSC, and reducing the scatter radiation to occupational staff.

The experience of the interventional radiologist is a minor influence factor to the patient eye lens dose, as there is only one team of the leader with the long term of high experience to control the IVNR procedure effectively.

REFERENCES

1. Johnston SC, Wilson CB, Halbach WW, Higashida RT, Dowd CF, McDermott MW, et al. Endovascular and surgical treatment of unruptured cerebral aneurysms: comparison of risks. *Annals of neurology*. 2000;48(1):11-9.
2. Liu AY. Update on interventional neuroradiology. *The Permanente journal*. 2006;10(1):42-6.
3. Kaufman JA, Reekers JA, Burnes JP, Al-Kutoubi A, Lewis CA, Hardy BW, et al. Global statement defining interventional radiology. *Journal of vascular and interventional radiology : JVIR*. 2010;21(8):1147-9.
4. Lu K, He T, Xu S, Valdivia y Alvarado M, Xue Z. Multimodality Image-Guided Lung Intervention Systems 2014. 161-86 p.
5. Vinuela F, Duckwiler G, Jahan R, Murayama Y. Therapeutic management of cerebral arteriovenous malformations. Present role of interventional neuroradiology. *Interventional neuroradiology : journal of peritherapeutic neuroradiology, surgical procedures and related neurosciences*. 2005;11(Suppl 1):13-29.
6. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4):1-332.
7. Hall P, Granath F, Lundell M, Olsson K, Holm LE. Lenticular opacities in individuals exposed to ionizing radiation in infancy. *Radiation research*. 1999;152(2):190-5.
8. Nakashima E, Neriishi K, Minamoto A. A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000-2002: a threshold analysis. *Health physics*. 2006;90(2):154-60.
9. International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs – threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. *Ann ICRP [Internet]* 2012 [cited 2018 Mar 27];41(1/2). Available from: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>.
10. Mahesh M. NCRP 168: its significance to fluoroscopically guided interventional procedures. *Journal of the American College of Radiology : JACR*. 2013;10(7):551-2.
11. Yusuf M, Abdulrahman Kinsara A. Organ Dose Measurement Using Optically Stimulated Luminescence Detector (OSLD) During CT Examination 2017.
12. Sarigul N. Evaluation of NanoDot Optically Stimulated Luminescence Dosimeter for Cone-shaped Small Field Dosimetry of CyberKnife Stereotactic Radiosurgery Unit: A Monte Carlo Simulation and Dosimetric Verification Study 2019.
13. Harding K. ICRP 60 and future legislation. *Nucl Med Commun*. 1991;12(9):753-5.
14. Huntley DJ, Godfrey-Smith DI, Thewalt MLW. Optical dating of sediments. *Nature*.

1985;313(5998):105-7.

15. Ovitt TW, Newell JD, 2nd. Digital subtraction angiography: technology, equipment, and techniques. *Radiologic clinics of North America*. 1985;23(2):177-84.
16. Spetzler RF, Martin NA. A proposed grading system for arteriovenous malformations. *Journal of neurosurgery*. 1986;65(4):476-83.
17. Safari MJ, Wong JHD, Kadir KAA, Thorpe NK, Cutajar DL, Petasecca M, et al. Real-time eye lens dose monitoring during cerebral angiography procedures. *European Radiology*. 2016;26(1):79-86.
18. Sanchez RM, Vano E, Fernandez JM, Rosati S, Lopez-Ibor L. Radiation Doses in Patient Eye Lenses during Interventional Neuroradiology Procedures. *AJNR American journal of neuroradiology*. 2016;37(3):402-7.
19. Safari MJ, Wong JHD, Jong WL, Thorpe N, Cutajar D, Rosenfeld A, et al. Influence of exposure and geometric parameters on absorbed doses associated with common neuro-interventional procedures. *Physica medica : PM : an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology : official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)*. 2017;35:66-72.
20. Casselden PA. Ocular lens dose in cerebral vascular imaging. *The British journal of radiology*. 1988;61(723):202-4.
21. Mustafa AA, Janeczek J. Organ doses from cardiac and carotid digital subtraction angiography. *The British journal of radiology*. 1989;62(741):838-42.
22. Rehani MM, Vano E, Ciraj-Bjelac O, Kleiman NJ. Radiation and cataract. *Radiation protection dosimetry*. 2011;147(1-2):300-4.
23. Brown NP. The lens is more sensitive to radiation than we had believed. *The British journal of ophthalmology*. 1997;81(4):257.
24. Ainsbury EA, Barnard S, Bright S, Dalke C, Jarrin M, Kunze S, et al. Ionizing radiation induced cataracts: Recent biological and mechanistic developments and perspectives for future research. *Mutation research*. 2016;770(Pt B):238-61.
25. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, Macvittie TJ, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs--threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Annals of the ICRP*. 2012;41(1-2):1-322.
26. A Perks C, Yahnke C, Million M. Medical dosimetry using Optically Stimulated Luminescence dots and microStar® readers2019.

APPENDIX A

Case record form

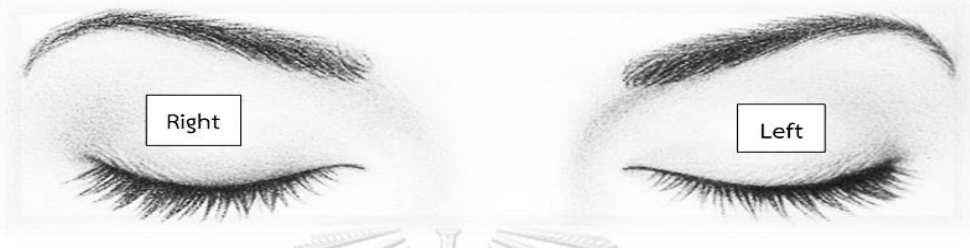
Table i Clinical data collection sheet for AVM INR procedure

Procedure Date:		<input type="radio"/> Diagnostic <input type="radio"/> Therapeutic procedure	
Patient study number:		Gender (M/F):	Age (Y):
Cumulative KAP _{PA} (Gycm ²):		Cumulative KAP _{Lat} (Gycm ²):	
Cumulative AK _{PA} (Gy):		Cumulative AK _{Lat} (Gy):	
Acquisition mode:		Number of images:	
kVp:	mAs:	FOV (inch):	
Frame rate: (fps)	Pulse rate: (pps)	Added filter (mm):	
SID (cm):		Exposure time (min):	
Angular (°):		Rotation (°):	
Lesion location:		Lesion size (cm):	
Procedure performed by		Experience of INR (Y):	

Note; KAP_{PA} = KAP at X-ray at PA tube, KAP_{Lat} = KAP at X-ray at X-ray lateral tube

SID = X-ray source to image receptor distance, Y = Years

Table ii Data collection sheet of nanoDot OSLD positioning for AVM INR procedure

Procedure date:		<input type="radio"/> Diagnostic <input type="radio"/> Therapeutic procedure				
Patient study number:						
Gender (M/F):			Age (Y):			
						
nanoDot OSLD positioning						
R1	R2	R3		L1	L2	L3
SN:	SN:	SN:		SN:	SN:	SN:
Controlled nanoDot OSLD SN:						

Note; SN: Serial number

Table iii Complexity index of the AVM INR procedure

Procedure date:		
Patient study number:		
Gender (M/F):		Age (Y):
AVM lesion location	<input type="radio"/> Right brain <input type="radio"/> Left brain <input type="radio"/> Supratentorial region <input type="radio"/> Infratentorial region <input type="radio"/> Other	
AVM lesion size (cm)	<input type="radio"/> Small < 3 cm <input type="radio"/> Medium 3- 6 cm <input type="radio"/> Large > 6 cm <input type="radio"/> Other	
Entrance routes	<input type="radio"/> Transarterial <input type="radio"/> Transvenous <input type="radio"/> Both	
Number of feeder embolization:		
Embolic Agents:		
Operator experiences in INR procedure (Y):	<input type="radio"/> Interventional neuroradiologist	<input type="radio"/> Assistant

APPENDIX B

Patient Information Sheet

เอกสารชี้แจงข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม

ผู้วิจัยหลัก

ชื่อ นางสาว รัชลิน ฐานะ
 ที่อยู่สถานศึกษา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 1873 ถนนพระราม 4 แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
 เบอร์โทรศัพท์สถานศึกษา 02-2564417-8
 เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ 24 ชั่วโมง 086-3774518

ผู้วิจัยร่วม

ชื่อ รศ. ดร. อัญชลี กฤษณจินดา
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ที่อยู่ทำงาน ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 1873 ถนนพระราม 4 แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
 เบอร์โทรศัพท์ทำงาน 02-2564417-8
 เบอร์โทรศัพท์ 081-6305890

แหล่งเงินทุนสนับสนุนการวิจัย ไม่มี

เรียนผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม (AVM : Arteriovenous malformation) โดยวิธีทางรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษา(Intervention neuroradiology: INR) ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมใน

การศึกษาวินิจฉัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อีกครั้งก่อน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการศึกษาวินิจฉัยในครั้งนี้ และโปรดทราบว่าโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยได้รับ ไม่ใช่การรักษาโรคแต่อย่างใด หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ ท่านสามารถซักถามจากผู้ทำวิจัย ซึ่งจะเป็นผู้ตอบคำถามและให้ความเข้าใจแก่ท่านได้ ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยจากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ หากท่านตัดสินใจแล้วว่า จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

หลักการและเหตุผล

ผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม (AVM) ด้วยวิธีทางรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษา (INR) ซึ่งเป็นการตรวจรักษาที่ซับซ้อน และต้องใช้เครื่องเอกซเรย์ชนิดต่อเนื่องฟลูออโรสโคปี (Fluoroscopy) ในการนำทางระหว่างทำหัตถการ จึงมีความเสี่ยงที่เลนส์ตาของผู้ป่วยจะได้รับปริมาณรังสีในระดับสูง ดังนั้นการวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยจากการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีนี้ จึงควรประเมินและศึกษาอย่างยั้งว่าปริมาณรังสีที่ได้รับมีค่าเป็นเท่าใดและอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้หรือไม่

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

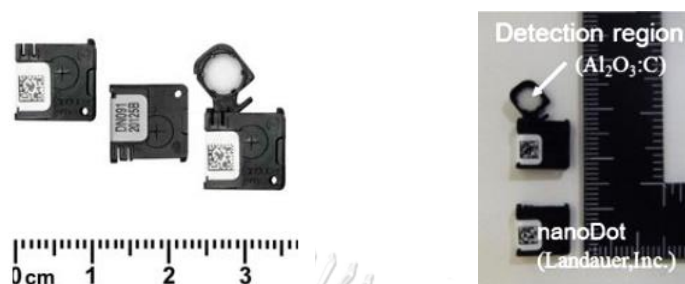
เพื่อวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม (AVM) จากการรับการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษา ที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ว่าได้รับปริมาณรังสีเป็นโดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (OSL dosimeter) แบบนาโนดอท (nanodot) และศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยได้รับ จากการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีนี้

วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เมื่อท่านให้ความยินยอมเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครในโครงการวิจัยนี้ ผู้ทำวิจัยจะทำการเก็บข้อมูลปริมาณรังสีซึ่งวัดได้จาก

1. อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (OSL dosimeter) แบบนาโนดอท (nanoDot) มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็ก กว้าง 10 มม. ยาว 10 มม. หนา 1 มม. แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งทำจากผลึกสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์กับคาร์บอน ($Al_2O_3: C$) โดยมีคุณสมบัติเมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแล้ว จะสะสมพลังงานเอาไว้โดยการเปลี่ยนระดับพลังของอิเล็กตรอน เมื่อมีการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวความเข้มที่เหมาะสม ผลึกจะคายพลังงานที่ได้รับมาส่วนหนึ่งในรูปของแสงสีน้ำเงิน ปริมาณแสงสีน้ำเงินที่ปล่อยออกมานั้นจะแปรตามปริมาณรังสีที่ได้รับ โดยผู้ทำวิจัยจะติดแผ่นวัดปริมาณรังสีชนิดนี้บนแผ่นฟิล์มพลาสติกของแว่นตาค้นสารคัดหลังและสารเคมีที่ใช้ในทางการแพทย์ แสดงดังภาพที่ 2 และสวมให้กับอาสาสมัครก่อนที่รังสีแพทย์เริ่มทำหัตถการ

แสดงดังภาพที่ 3 เพื่อวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของอาสาสมัครจากการวินิจฉัยและรักษาและจะถอดออกเมื่อสิ้นสุดหัตถการ ระยะเวลาที่อาสาสมัครอยู่ร่วมในโครงการวิจัย คือระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษาในหนึ่งครั้ง อาจใช้เวลาประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง

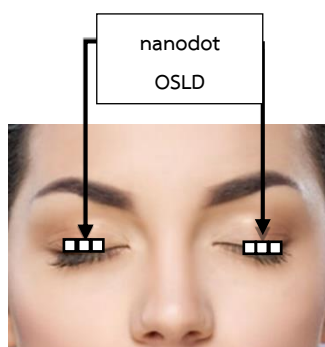


ภาพที่ 1 แสดงแผ่นวัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (OSL dosimeter) แบบนาโนดอท (nanodot)



ภาพที่ 2 แสดงการติดแผ่นวัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (OSL dosimeter) แบบนาโนดอท (nanodot) บนแผ่นฟิล์มพลาสติกแว่นตากันสารคัดหลังและสารเคมีที่ใช้ในทางการแพทย์

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งแผ่นวัดปริมาณรังสีเมื่ออาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยสวมแว่นตา



ภาพที่ 4 แสดงเครื่องแดพมิเตอร์ (KAP meter)



ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งเครื่องแดพมิเตอร์ (KAP meter) ที่ติดตั้งตลอดเอกซเรย์ (ลูกศร)

Run no.	no. of Images	Procedure	Table	Collimator	Filter	KV	mA	SS	APR	AK [mGy/cr]
1	44	Cerebral 3fps 50%	Fr	3	78	11			4416	29.53
2	46	Cerebral 3fps 50%	Fr	3	78	5			2926	34.71
3	44	Cerebral 3fps 50%	Fr	3	78	10			4388	26.68
			La	3	78	5			2811	15.12
			Fr	3	78	6			2877	15.98
			La	3	78	5			3264	17.71

ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างค่าปริมาณรังสีที่วัดได้จากเครื่องแดพมิเตอร์ (KAP meter) (ลูกศร) ที่จอแสดงผลคอมพิวเตอร์ห้องควบคุมเครื่องเอกซเรย์

2. แดพมิเตอร์ (KAP meter) แสดงดังภาพที่ 4 เป็นเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดไอออนไนเซชัน (Ionization chamber) อุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่ด้านหน้าหลอดเอกซเรย์ แสดงดังภาพที่ 5 ใช้วัดปริมาณรังสีที่ออกจากหลอดเอกซเรย์โดยตรงโดยปริมาณรังสีที่วัดได้จะแสดงที่จอแสดงผลของคอมพิวเตอร์บริเวณพื้นที่ควบคุมการทำงานเครื่องเอกซเรย์ แสดงดังภาพที่ 6 โดยอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีทั้งสองชนิดนี้จะไม่รบกวนผู้ป่วยซึ่งเป็นอาสาสมัครในโครงการวิจัยในขณะรับ การตรวจวินิจฉัยและรักษา รวมทั้งไม่เป็นอุปสรรคต่อเจ้าหน้าที่ในขณะปฏิบัติงาน

ประชากรที่ศึกษา

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วย จำนวน 32 คน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2561 โดยอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย จะต้องเป็นผู้ป่วยที่มารับการวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติเอวีเอ็ม (AVM) ด้วยวิธีรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษา (INR) ที่หน่วยรังสีหลอดเลือดและรังสีร่วมรักษา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย และมีอายุ 18 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป โดยมีสติ รู้สึกตัวดี

ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จผู้ทำวิจัยใคร่ขอความร่วมมือจากท่านให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด

ความเสี่ยงที่อาจได้รับ

อาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยอาจเกิดการระคายเคืองหรืออาการแพ้บริเวณผิวหนังที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มพลาสติกของแวนตาแกนสารคัดหลังและสารเคมีที่ใช้ในทางการแพทย์ซึ่งติดแผ่นวัดปริมาณรังสี กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยทันทีหากเกิดอาการดังกล่าวระหว่างอยู่ในโครงการวิจัย

ประโยชน์ที่อาจได้รับ

ท่านจะไม่ได้รับประโยชน์ใดๆ จากการเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ แต่ผลการศึกษาที่ได้จะทำให้ทราบถึงปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วย และปัจจัยที่มีผลกับปริมาณรังสีที่ได้รับ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับผู้ป่วยรายอื่น และนำสู่การทำวิจัยอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อไป

วิธีการและรูปแบบการรักษาอื่นๆ ซึ่งมีอยู่สำหรับอาสาสมัคร

เนื่องจากโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษา เพื่อวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ผิดปกติเอวีเอ็ม (AVM) ที่รับการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษา โดยเป็นวิธีการวัดปริมาณรังสีแบบโดยตรงจากแผ่นวัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (OSL dosimeter) แบบนาโนดอท (nanoDot) และแบบประเมินค่าจากแคปมิเตอร์ (KAP meter) ซึ่งไม่ใช่รูปแบบการรักษาโรคแต่อย่างใด เป็นเพียงการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ดังนั้นการเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครในโครงการวิจัยนี้ จึงไม่ใช่เพื่อประโยชน์ในการรักษาโรค หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ ก่อนตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถซักถามจากผู้ทำวิจัยซึ่งจะเป็นผู้ตอบคำถามและให้ความเข้าใจแก่ท่านได้

ข้อมูลและข้อปฏิบัติตัวของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

1. โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาในผู้ป่วยที่เป็นอาสาสมัคร 32 คน
2. ผู้ทำวิจัยแนะนำตัวและแนะนำเอกสารชี้แจงข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย กรุณาอ่านเอกสารนี้โดยละเอียด ซึ่งการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้เป็นไปโดยสมัครใจ โดยท่านมีเวลาเพียงพอในการตัดสินใจ และสามารถตัดสินใจได้อย่างอิสระ โดยท่านอาจปฏิเสธที่จะเข้าร่วม หรือถอนตัวจากโครงการวิจัยนี้ ซึ่งทำได้ทุกเมื่อ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล
3. ไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในการเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครในโครงการวิจัยนี้
4. ในกรณีที่ท่านยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ กรุณาลงลายมือชื่อและวันที่ในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

5. ก่อนเริ่มทีมรังสีแพทย์และพยาบาลจะเริ่มหัตถการ การวินิจฉัยและรักษาทางรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษา อาสาสมัครสวมแว่นตากันสารคัดหลั่งและสารเคมีที่ใช้ในทางการแพทย์ซึ่งติดถุงพลาสติกที่บรรจุแผ่นวัดปริมาณรังสีโอเอสแอล (OSL dosimeter) แบบนาโนดอท (nanoDot) บนแผ่นฟิล์มพลาสติกของแว่นตา แสดงดังภาพที่ 2 และถอดออกเมื่อสิ้นสุดหัตถการ ซึ่งอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนี้จะถูกตัดไว้ตลอดเวลาในระหว่างการตรวจรักษา ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดหัตถการโดยท่านสามารถลืมตาและหลับตาได้ตามปกติ
6. เมื่อสิ้นสุดหัตถการ ผู้ทำวิจัยจะถอดแว่นตานี้ออก จึงเป็นการเสร็จสิ้นการเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยแผ่นวัดปริมาณรังสีนี้จะถูกนำเข้าเครื่องอ่านค่าปริมาณรังสีต่อไป ผู้ทำวิจัยทำการบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดปริมาณรังสีแคปมิเตอร์ (KAP meter) และพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีนี้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป
7. หากเกิดอาการระคายเคืองหรืออาการแพ้บริเวณผิวหนังที่สัมผัสแผ่นฟิล์มพลาสติกของแว่นตากันสารคัดหลั่งและสารเคมีที่ใช้ในทางการแพทย์ซึ่งติดแผ่นวัดปริมาณรังสี ในระหว่างอยู่ร่วมในโครงการวิจัยนี้ กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยทันที และหากเกิดอันตรายใดๆ จากการวิจัยดังกล่าวอาสาสมัครจะได้รับการพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
8. ผู้ทำวิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวเกี่ยวกับอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยเป็นความลับ โดยจะไม่มีการเปิดเผยชื่อของท่านตามกฎหมาย และจะเปิดเผยได้เมื่อได้รับการยินยอมจากอาสาสมัครเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน อาจจะได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจสอบและประมวลผลข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้นและจะต้องได้รับคำยินยอมที่จะให้มีการตรวจสอบข้อมูลจากอาสาสมัครก่อน

ระยะเวลาอยู่ร่วมในโครงการวิจัยของอาสาสมัคร

คือ ระยะเวลาทั้งหมดของหนึ่งครั้งหัตถการ ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการวินิจฉัยและรักษาด้วยวิธีทางรังสีหลอดเลือดระบบประสาทและรังสีร่วมรักษาใน ซึ่งอาจใช้เวลา ประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง

อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้วิจัย

ในกรณีพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ท่านจะได้รับการรักษาพยาบาลอย่างเหมาะสมทันทีหากท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย และผู้ทำวิจัยยินดีรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลท่าน ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายจากการติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี หรือหากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นางสาวรัสนิฐ ฐานะเบอร์โทรศัพท์ 086-3774518 ซึ่งยินดีให้คำอธิบายและตอบคำถามแก่ท่าน

ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย

อาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จะไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในการวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตา

ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัย

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย

การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลาโดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลต่อการดูแลรักษาโรคของท่านแต่อย่างใด

การยกเลิกการให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

หากท่านต้องการยกเลิกการให้ความยินยอมดังกล่าว ท่านสามารถแจ้งหรือเขียนบันทึกความจำนงค์ ขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งถึงผู้ทำวิจัยทางไปรษณีย์ได้ที่ นางสาวรัสนิฐ ฐานะ ภาคิวิราชังสิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 1873 ถนนพระราม 4 แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลที่สามารถนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำตัวโครงการวิจัยของท่าน

จากการลงนามยินยอมของท่าน ผู้ทำวิจัย คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย ผู้ตรวจสอบการวิจัย และหน่วยงานควบคุมระเบียบกฎหมาย สามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม โดยไม่ละเมิดสิทธิของท่านในการรักษาความลับเกินขอบเขตที่กฎหมายและระเบียบกฎหมายอนุญาตไว้

จากการลงนามยินยอมของท่าน ผู้ทำวิจัยสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ของท่านให้แก่แพทย์ผู้รักษาท่านได้

สิทธิของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

เมื่อท่านยินยอมเป็นอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านจะมีสิทธิดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับวิธีการของการวิจัย รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
6. ท่านจะได้รับทราบว่า การยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
7. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่

8. ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ โดยปราศจากการอิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวงเพื่อผลประโยชน์ในการวิจัย

หากท่านไม่ได้รับการชัดเจนอันควรต่อการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากโครงการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตึกอำนวยการชั้น 3 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2256-4493 ในเวลาราชการ หรือ e-mail : medchulairb@chula.ac.th

การลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี ขอขอบคุณในการให้ความร่วมมือของท่านมา ณ โอกาสนี้



APPENDIX C

Consent form

ใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

การวิจัยเรื่องการวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ป่วยในการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรคหลอดเลือดสมองผิดปกติ เอวีเอ็ม

วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว.....

ที่อยู่.....ได้อ่าน

รายละเอียดจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่.....และ

ข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม และวันที่ พร้อมด้วยพร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบาย จากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาของการทำวิจัย วิธีการวิจัย อันตรายหรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย และแนวทางรักษาโดยวิธีอื่นอย่างละเอียด ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่า หากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาล โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับการยินยอมจาก ข้าพเจ้าเท่านั้น คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา อาจได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจสอบและประมวลผลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอม ที่จะให้มีการตรวจสอบข้อมูลประวัติทางการแพทย์ของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูล เพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคตหรือการวิจัยทางด้านเภสัชภัณฑ์เท่านั้น

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม

(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง

วันที่เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

.....ลงนามผู้ทำวิจัย

(.....) ชื่อผู้ทำวิจัย ตัวบรรจง

วันที่เดือน.....พ.ศ.....

.....ลงนามพยาน

(.....) ชื่อพยาน ตัวบรรจง

วันที่เดือน.....พ.ศ.....

APPENDIX E

Equipment performance for DSA system

Table v Reports of DSA system performance

Hospital	King chulalongkorn Memorial hospital
Room	DSA 5
Date	April 2018
X-ray unit	Philips Allura Clarity Xper FD20/15 system
Test perform by	Rasalin Thana

Perform QC digital Flat panel R-F system test according to AAPM Report no. 58 (13) of

- Dose assessment
- Maximum dose rate assessment
- Table attenuation
- Automatic brightness control test
- Half-value layer (HVL)
- Image quality assessment

Dose assessment

- Focus-Intensifier distance 100 cm
- Patient dose measurement: Focus-Ionization chamber distance 60 cm
- Entrance II dose measurement: II- Ionization chamber distance 40 cm

Plane A										
Mode	Submode/ Image quality	Pulse rate (pulse/s)	Automatic added filtration (mm Cu)	Field size (cm)	kV	mA	Patient entrance surface air kema ($\mu\text{Gy/s}$)	Image Intensifier entrance surface air Kerma ($\mu\text{Gy/s}$)	Patient entrance surface air kerma at 60 cm (including backscatter 1.3)	Phantom
Normal	DSA 3 fps	12.5		48	79	7.3	424.08	1.765	551.30	
				42	84	7.0	529.85	2.121	688.80	
				37	87	6.7	543.23	2.364	706.20	
			0.4 Cu + 1.0 Al	31	94	6.3	597.23	2.818	776.40	CIRS 930
				27	104	5.7	700.54	3.571	910.70	
				22	120	5.0	816.92	4.786	1062.00	
				19	120	5.0	658.46	4.783	856.00	
				15	120	5.0	518.92	4.749	674.60	

Plane B										
Mode	Submode/ Image quality	Pulse rate (pulse/s)	Automatic added filtration (mm Cu)	Field size (cm)	kV	mA	Patient entrance surface air kema ($\mu\text{Gy/s}$)	Image Intensifier entrance surface air Kerma ($\mu\text{Gy/s}$)	Patient entrance surface air kerma at 60 cm (including backscatter 1.3)	Phantom
Normal	DSA 3 fps	12.5		39	82	7.6	391.48	2.135	508.30	
				37	84	7.4	398.29	2.272	517.40	
				31	90	7.0	458.13	2.516	595.40	CIRS 930
			0.4 Cu + 1.0 Al	27	94	8.4	514.80	2.650	669.24	
				22	103	6.1	599.40	2.960	779.22	
				19	110	5.8	644.80	3.220	838.24	
				15	118	5.4	709.10	3.553	921.83	

Maximum dose rate assessment

Plane A				
Mode	Field size (cm)	Phantom	Entrance surface dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)	Exit dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)
Normal	48	CIRS 903	125.90	66.25
Cerebral 3fps 50% dose	48	CIRS 903+Cu 2 mm	483.90	254.63
Cerebral 3fps 50% dose	48	CIRS 903+Cu 3 mm	590.20	310.56

Plane B				
Mode	Field size (cm)	Phantom	Entrance surface dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)	Exit dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)
Normal	39	CIRS 903	57.7	1.73
Cerebral 3fps 50% dose	39	CIRS 903+Cu 2 mm	124.10	0.93
Cerebral 3fps 50% dose	39	CIRS 903+Cu 3 mm	124.90	0.40

Table Attenuation

Mode	Sub-mode/ Image quality	Dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)	Table attenuation (%)	Absorber
C-arm with table	Cerebral 3fps 50% dose (Normal)	148.4	1.3	3.0 mm Cu
C-arm without table	Cerebral 3fps 50% dose (Normal)	150.4		

Note: Measurement of dose rate in fluoroscopy for the same mode and field size (48 cm)

Automatic Brightness Control test

Plane A								
Mode	Sub-mode/ Image quality	Pulse rate (pulse/s)	Automatic added filtration (mm Cu)	Field size (cm)	Added filtration (mm Cu)	kVp	mA	Patient entrance surface Air KERMA ($\mu\text{Gy/s}$)
Normal	DSA 3 fps	12.5	0.4 Cu + 1.0 Al	48	CIRS	79	7.3	247.4
			0.4 Cu + 1.0 Al		add 1.0 mm Cu	107	5.1	251.1
			0.4 Cu + 1.0 Al		add 2.5 mm Cu	120	5.4	274.3
			0.4 Cu + 1.0 Al		add 3.0 mm Cu	120	4.8	551.4

Plane B								
Mode	Sub-mode/ Image quality	Pulse rate (pulse/s)	Automatic added filtration (mm Cu)	Field size (cm)	Added filtration (mm Cu)	kVp	mA	Patient entrance surface Air KERMA ($\mu\text{Gy/s}$)
Normal	DSA 3 fps	12.5	0.4 Cu + 1.0 Al	39	CIRS	78	6.1	392.4
			0.4 Cu + 1.0 Al		add 1.0 mm Cu	110	5.6	761.0
			0.4 Cu + 1.0 Al		add 2.0 mm Cu	120	5.2	890.0
			0.4 Cu + 1.0 Al		add 3.0 mm Cu	120	5.1	895.5

Half Value Layer Assessment

Plane A			
Al attenuator (mm)	Sub-mode/ Image quality	Dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)	HVL (mm)
0.0	Cerebral 3 fps 50 % dose (normal)	160.4	9.409
2.0		137.5	
4.0		120.2	
6.0		103.8	
8.0		89.0	
9.0		83.1	
10.0		76.0	

Note: Measurement of dose rate in the same fluoroscopy mode and field size (48 cm),
Added attenuator (copper plates) on the image receptor to drive kVp up as 80

Plane B			
Al attenuator (mm)	Sub-mode/ Image quality	Dose rate ($\mu\text{Gy/s}$)	HVL (mm)
0.0	Cerebral 3 fps 50 % dose (normal)	40.99	7.566
2.0		31.30	
4.0		26.50	
5.0		24.40	
6.0		22.60	
7.0		21.40	
8.0		19.80	

Note: Measurement of dose rate in the same fluoroscopy mode and field size (39 cm),
Added attenuator (copper plates) on the image receptor to drive kVp up as 80

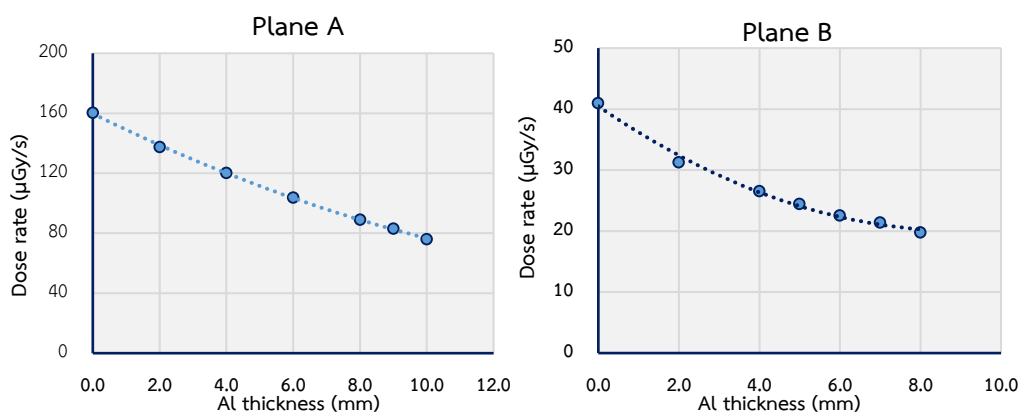


Image Quality Assessment

Resolution should be assessed in the usual illumination condition and from the operator's position. Leads test placed on Image receptor entrance surface with grid. All mode, fluoroscopy and image acquisition and image qualities should be assessed.

Focus-Image Intensifier distance 100 cm.

Plane A							
Mode	Sub-mode/ Image quality	Automatic added filtration (mm Cu)	Field size (cm)	kVp	mA	High contrast resolution (lp/inch)	Low contrast (inch)
Normal	3 fps	0.4 Cu + 1.0 Al	48	79	7.3	50	0.0126
			42	84	7.0	50	0.0126
			37	87	6.7	50	0.0126
			31	94	6.3	50	0.0126
			27	104	5.7	60	0.0126
			22	120	5.0	60	0.0091
			19	120	5.0	60	0.0091
			15	120	5.3	60	0.0091

Plane B							
Mode	Sub-mode/ Image quality	Automatic added filtration (mm Cu)	Field size (cm)	kVp	mA	High contrast resolution (lp/inch)	Low contrast (inch)
Normal	3 fps	0.4 Cu + 1.0 Al	39	82	7.6	40	0.018
			37	84	7.4	50	0.018
			31	90	7.0	50	0.0126
			27	94	8.4	50	0.0126
			22	103	6.1	60	0.0091
			19	110	5.8	60	0.0091
			15	118	5.5	60	0.0091

APPENDIX F

nanoDot OSLD calibration

Optically Stimulated Luminescence dosimeter model nanoDot using aluminum oxide doped with carbon ($\text{Al}_2\text{O}_3: \text{C}$) is widely used for medical applications such as a personnel monitor as a patient dosimeter.

- Low dose detectable threshold range is 0.01 mGy – 15 Gy(26).
- High sensitivity by reproducibility CV is less than 2 % of stored charge
- Negligible energy, angle and dose rate
- Temperature dependence
- Re-analysis

In this study, we calibrated nanoDot OSL ($\text{Al}_2\text{O}_3: \text{C}$) dosimeters with X-ray beam in the diagnostic range. The expected energy exposures were 70, 80 and 120 kVp by using diagnostic X-ray equipment at Department of Radiology, KCMH.

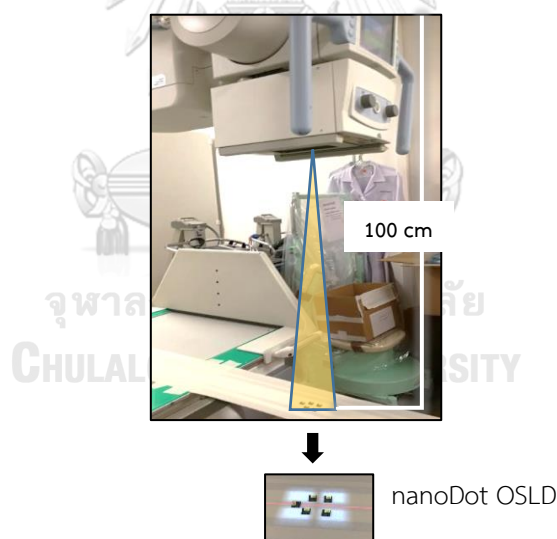


Figure i The nanoDot OSLDs were exposed at SSD 100 cm.

Diagnostic X-ray equipment (R-F equipment, Siemens Healthcare) at Department of Radiology, KCMH

- Field size: 6 cm X 7.6 cm
- Source – surface distance 100 cm
- Reference dose was set at 1 mGy
- Tube voltage: 70 kVp (25 mAs), 80 kVp (20 mAs), and 120 kVp (10 mAs)

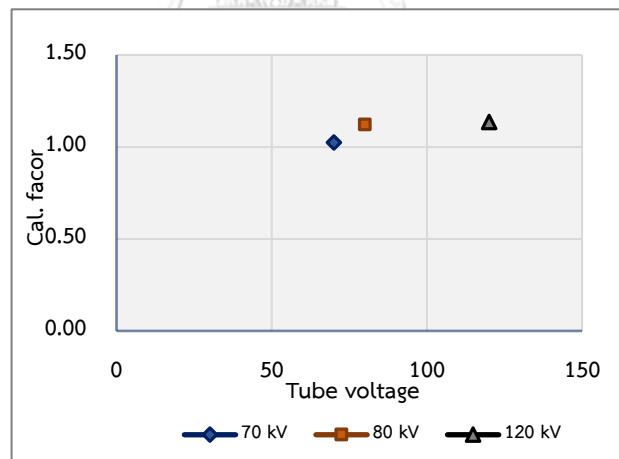
$$\text{Calibration factor} = \frac{\text{Reference dose}}{\text{OSL dose} - \text{Base}}$$

$$\text{Net dose} = (\text{Dose} - \text{Base}) * \text{Calibration factor}$$

Table vi Correction factor of nanoDot OSLD in X-ray diagnostic range

Tube voltage (kVp)	70	80	120
Calibration factor	1.023	1.121	1.135

Energy response of nanoDot OSLD in X-ray diagnostic range



Percent transmission of eyewear

X-ray generator (R-F equipment, Philips Allura Xper FD20/15 Biplane system), at IR unit, Department of Radiology, KCMH

- FOV: 48 cm
- Source to phantom surface distance (SSD): 67 cm (Lateral tube), 87 cm (PA tube)
- Acquisition: Cerebral 3fps 50 % dose
- Exposure to phantom, condition setting
 - 1) Put nanoDot OSLD on the phantom surface
 - 2) Taped nanoDot OSLD on eyewear close to the phantom surface

Table vii Percent transmission of eyewear X-ray lateral and PA tubes

X-ray lateral tube	Without eyewear	With eyewear	% Transmission
Left eye dose (mGy)	8.56	8.30	96.99
Right eye dose (mGy)	2.82	2.68	94.83
X-ray PA tube	Without eyewear	With eyewear	% Transmission
Left eye dose (mGy)	0.59	0.59	99.49
Right eye dose (mGy)	0.64	0.63	97.82

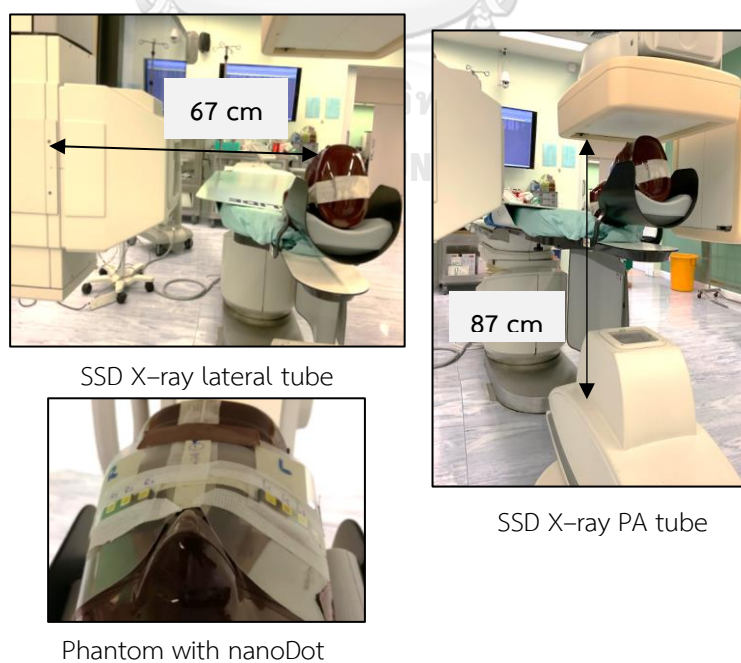


Figure ii Percent transmission of eyewear X-ray PA and lateral tubes sitting

VITA

NAME	Rasalin Thana
DATE OF BIRTH	29 January 1982
PLACE OF BIRTH	Khon Kaen
INSTITUTIONS ATTENDED	Bachelor of Science, Radiological Technology, Faculty of Medical Technology, Mahidol University, Thailand
HOME ADDRESS	289 / 161 Sukhumvit 77, Wattana, Bangkok, 10260
PUBLICATION	Thana R, Krisanachinda A. Eye Lens Dose Measurement in Patients During Brain Arteriovenous Malformation Interventional Neuroradiology Procedure in Proceedings of 11th Annual Scientific Meeting, Thai Medical Physicist Society (TMPS), Chonburi, Thailand, 2019
AWARD RECEIVED	- Travel Award of 16th South East Asian Federation, Organizations for Medical Physics (SEAFOMP), Kuala Lumpur, Malaysia, 2018 - Excellent Presentation in Diagnostic Radiology of 11th Annual Scientific Meeting, Thai Medical Physicist Society (TMPS), Chonburi, Thailand, 2019