

MEASUREMENT OF THE WHOLE BODY, EYE LENS AND EXTREMITY OCCUPATIONAL
EXPOSURES IN NUCLEAR MEDICINE STAFF AT KING CHULALONGKORN MEMORIAL
HOSPITAL



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

Department of Radiology

FACULTY OF MEDICINE

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

การวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือที่ได้จากการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ทางเวชศาสตร์
นิวเคลียร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริวรรณ ศรีใส : การวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือที่ได้จากการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์
โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย. (MEASUREMENT OF THE WHOLE BODY, EYE LENS AND EXTREMITY
OCCUPATIONAL EXPOSURES IN NUCLEAR MEDICINE STAFF AT KING CHULALONGKORN MEMORIAL
HOSPITAL) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อัญชลี กฤษณจินดา

เนื่องจากอุบัติเหตุการระเบิดวิทยาของดีออกไซด์และเลนส์ตาชั้นแก้ว ทำให้คณะกรรมการกึ่งระหว่างประเทศด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี (ICRP ฉบับที่ 118 พ.ศ.2555) ได้แนะนำขีดจำกัดของปริมาณรังสีใหม่สำหรับเลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีเป็น 20 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี เฉลี่ยจากการได้รับรังสีติดต่อกันเป็นเวลา 5 ปี โดยที่จะต้องไม่มีปีใดปีหนึ่งได้รับรังสีเกิน 50 มิลลิซีเวิร์ท สำหรับประชาชนทั่วไปขีดจำกัดปริมาณรังสีสูงสุดสำหรับเลนส์ตาต้องไม่เกิน 15 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี หลังจากคณะกรรมการกึ่งระหว่างประเทศด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีเปลี่ยนขีดจำกัดปริมาณรังสีสำหรับเลนส์ตาแล้ว มีรายงานการศึกษาจำนวนมาก ที่ทำการวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาในแพทย์รังสีร่วมรักษาและอายุรแพทย์โรคหัวใจเชี่ยวชาญหัตถการปฏิบัติรักษาโรคหัวใจและหลอดเลือดด้วยการใช้อุปกรณ์วัดรังสี TLD (Thermoluminescent dosimeter) แต่พบรายงานการศึกษาจำนวนน้อย ที่ทำการวัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว; Hp(10) เลนส์ตา; Hp(3) และที่นิ้วมือ; Hp(0.07) โดยใช้อุปกรณ์วัดรังสีชนิดโอเอสแอล (OSLD; Optically Stimulated Luminescent Dosimeter) ในผู้ปฏิบัติงานด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ 10 คน ประกอบด้วยนักเภสัชรังสี 1 คน นักเคมีรังสี 2 คน นักรังสีเทคนิค 5 คน และพยาบาล 2 คน ซึ่งมีหน้าที่เตรียม จัดการ ซีดสารเภสัชรังสี และสแกนผู้ป่วยที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ระยะเวลาของการศึกษา เป็นเวลา 6 เดือน (มีนาคม-สิงหาคม 2562) วัตถุประสงค์รองคือ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Hp(10), Hp(3), และ Hp(0.07)

อุปกรณ์วัดรังสีชนิดโอเอสแอล 3 ชุด จะถูกติดที่ลำตัว ที่ระดับตา (ชายและหญิง) และที่นิ้วมือ ค่าเฉลี่ยและช่วงของ Hp(10), Hp(3)_{LE}, Hp(3)_{RE}, และ Hp(0.07) มีค่า 1.73 (0.84-3.44), 1.19 (0.20-4.66), 1.24 (0.25-4.62), และ 29.22 (1.13-261.83) มิลลิซีเวิร์ทต่อปี ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่าง Hp(3)_{LE} VS Hp(10), Hp(3)_{RE} VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3)_{LE} VS Hp(0.07) และ Hp(3)_{RE} VS Hp(0.07) ของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์โดยไม่รวมนักเภสัชรังสี มีค่า 0.54 (p-value = 0.14), 0.58 (p-value = 0.11), 0.46 (p-value = 0.21), 0.03 (p-value = 0.93), และ 0.12 (p-value = 0.76) ตามลำดับ สรุปได้ว่าไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตาและนิ้วมือเนื่องจาก p-value ของทุกคู่ความสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 0.05

จากการวัดปริมาณรังสีในผู้ปฏิบัติงานทางรังสี ซึ่งมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดปริมาณรังสีใหม่และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Hp(10), Hp(3), และ Hp(0.07) ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติของปริมาณรังสีทั้ง 5 คู่ โดยไม่รวมนักเภสัชรังสี สรุปได้ว่าไม่มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดรังสีที่เลนส์ตา สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ส่วนอุปกรณ์วัดรังสีที่ลำตัวและนิ้วมือต้องใช้เป็นประจำเพื่อตรวจติดตามปริมาณรังสีประจำตัวโดยเฉพาะนักเภสัชรังสีเนื่องจากปริมาณรังสีที่นิ้วมือของนักเภสัชรังสีมีค่าสูงถึง 261.83 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี อย่างไรก็ตามปริมาณรังสีที่เลนส์ตาสามารถประเมินได้จากปริมาณรังสีที่ลำตัวและนิ้วมือในบุคคลคนเดียวกัน

สาขาวิชา	ฟิสิกส์การแพทย์	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6174028630 : MAJOR MEDICAL PHYSICS

KEYWORD: nuclear medicine, Hp(10), Hp(3), Hp(0.07), OSLD

Siriwan Sisai : MEASUREMENT OF THE WHOLE BODY, EYE LENS AND EXTREMITY OCCUPATIONAL EXPOSURES IN NUCLEAR MEDICINE STAFF AT KING CHULALONGKORN MEMORIAL HOSPITAL. Advisor: Assoc. Prof. ANCHALI KRISANACHINDA, Ph.D.

Due to the epidemiology evidence of cataract and eye lens opacity, ICRP Publication 118 in 2012, recommended the new eye lens dose limit of occupational exposure at 20 mSv/year, averaged over 5-year periods, no single year exceeding 50 mSv. For the public eye lens dose limit is 15 mSv/year. After ICRP changed the eye lens dose limit, many reports on eye lens dose measurement using thermoluminescent dosimeter (TLD) from interventional radiologists and interventional cardiologists were published. Few reports on eye lens dose measurement in nuclear medicine (NM) personnel were found.

The primary objective of this study is to measure whole body; Hp(10), eye lens; Hp(3), and finger; Hp(0.07) using Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD) in ten NM staff which consists of one radiopharmacist, two radiochemists, five technologists, and two nurses who prepare, dispense, and inject radiopharmaceuticals, and scan patients at King Chulalongkorn Memorial Hospital (KCMH) for six months (March-August 2019). The second objective is to analyze the correlations between the Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07).

Three sets of OSLDs were attached at whole body, eye lens (left and right), and finger of 10 nuclear medicine staff. The average and range of Hp(10), Hp(3)_{Li}, Hp(3)_{Rt}, and Hp(0.07) were 1.73 (0.84-3.44), 1.19 (0.20-4.66), 1.24 (0.25-4.62), and 29.22 (1.13-261.83) mSv/year respectively. The correlations between the Hp(3)_{Li} VS Hp(10), Hp(3)_{Rt} VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3)_{Li} VS Hp(0.07), and Hp(3)_{Rt} VS Hp(0.07), excluding radiopharmacist were 0.54 (p-value = 0.14), 0.58 (p-value = 0.11), 0.46 (p-value = 0.21), 0.03 (p-value = 0.93), and 0.12 (p-value = 0.76) respectively. There was no correlation among five pairs because of all p-values were higher than 0.05.

The measurements of occupational exposures were less than the new ICRP dose limit and the study on the relation between the Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) can be concluded that the eye lens dosimeters are not required for NM staff at KCMH as they felt inconvenient wearing eye lens dosimeters. Whole body and finger dosimeters must be routinely used to monitor personnel dose, especially for radiopharmacist due to his high finger dose at 261.83 mSv/year. Eye lens dose could be estimated from the whole body or finger dose of the same person.

Field of Study: Medical Physics

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

ACKNOWLEDGEMENTS

For this successful accomplishment of the thesis, people all around me give kindly supports well in their appreciative ways. At present, the occasion is proper for thanking all these generous people.

As the great cruiser who has never firmest navigates to destination without the great helm, so, this thesis cannot reach to the final without my Advisor. I do humbly express the gratitude and deepest appreciation to Associate Professor Anchali Krisanachinda, Ph.D., Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, for her helpful, supervision, guidance, encouragement, and polishing the thesis writing to improve the readability and English expression.

Additional, to thank the most to Associate Professor Kosuke Matsubara, Ph.D. External Examiner from Kanazawa University, Japan, Assistant Professor Yothin Rakvongthai, Ph.D., Chairman, Thesis Committee, Assistant Professor Kitiwat Khamwan, Ph.D., Thesis Committee, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University for their advice and helpful comments in the research.

And that is indispensable; my extremely thanks should be expressed 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, suggestion, and teaching.

Also, this thankful would deserve to Archan Panya Pasawang and all nuclear medicine staff for their help, suggestions, cooperation, and friendliness.

I would like to thank Mrs. Weeranuch Kitsukjit and Ms.Walailak Kitticharoenkiat for their kind suggestions during my study.

My sincere thanks are forwarded to all the lecturers, medical physicists, and staff at the Medical Physics program for their teaching knowledge and suggestion for improvement.

I would like to acknowledge with thanks to Ms.Waraporn Sudchai and Mr.Natch Rattananrungruangchai, Thailand Institution of Nuclear Technology, TINT for the arrangement of OSLDs, and calibrations.

Last but not least, my courage is fulfilled by my parents, family, colleagues, senior, and junior for their support and help to overcome all problems during a difficult time. Sincere thanks for the good friendship that cannot be found anywhere else but here, from Jaroonroj, Hataipat, and Sumalee. It is a great time and opportunity to spend at Medical Physics Graduate Program, Department of Radiology, Faculty of Medicine Chulalongkorn University.

Siriwan Sisai

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT (THAI).....	iii
ABSTRACT (ENGLISH)	iv
ACKNOWLEDGEMENTS.....	v
TABLE OF CONTENTS.....	vi
LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xiii
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 Background and rationale.....	1
1.2 Research objectives.....	2
CHAPTER II REVIEW OF RELATED LITERATURE	3
2.1 Theory.....	3
2.1.1 Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD)	3
2.1.1.1 Principle of OSL	3
2.1.2 Radionuclides.....	7
2.1.2.1 Technetium-99m (^{99m}Tc).....	7
2.1.2.2 Iodine-131 (^{131}I).....	8
2.1.2.3 Fluorine-18 (^{18}F)	9
2.1.2.4 Gallium-68 (^{68}Ga)	10
2.1.2.5 Lutetium-177 (^{177}Lu)	11
2.2 Review of related literature	12
CHAPTER III RESEARCH METHODOLOGY	14

3.1 Research design	14
3.2 Conceptual framework	14
3.3 Research design model	15
3.4 Research questions	16
3.4.1 Primary research question	16
3.4.2 Secondary research question	16
3.5 Research objectives.....	16
3.5.1 Primary objective	16
3.5.2 Secondary objective	16
3.6 Sample.....	16
3.6.1 Target population.....	16
3.6.2 Sample population.....	16
3.7 Eligibility criteria	16
3.7.1 Inclusion criteria.....	16
3.7.2 Exclusion criteria.....	16
3.8 Sample size determination	17
3.9 Materials	17
3.9.1 Cylindrical head phantom for calibration of nanoDot dosimeters	17
3.9.2 Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD)	17
3.9.2.1 Whole body dosimeter	17
3.9.2.2 Eye lens dosimeter.....	18
3.9.2.3 Finger dosimeter	19
3.9.2.4 Automatic annealer of OSLD	19

3.9.2.5 OSLD reader.....	20
3.9.2.6 Participants.....	21
3.10 Methods.....	21
3.10.1 Calibration of the dosimeters.....	21
3.10.2 Whole body, eye lens, and finger doses measurement of the nuclear medicine staff.....	21
3.10.3 Nuclear medicine staff consent form.....	22
3.10.4 Record the nuclear medicine staff data.....	22
3.10.5 Read out OSLD.....	22
3.10.6 Estimation of the annual doses.....	22
3.10.7 The relationship between personal dose equivalents.....	22
3.11 Variables measurement.....	22
3.11.1 Independent variables.....	22
3.11.2 Dependent variables.....	22
3.12 Statistical analysis.....	23
3.12.1 Descriptive statistics.....	23
3.12.2 Inferential statistics.....	23
3.13 Data analysis.....	23
3.14 Outcomes.....	23
3.15 Expected benefits.....	23
3.16 Limitation.....	24
3.17 Ethical consideration.....	24
CHAPTER IV RESULTS.....	26

4.1 OSLD calibration	26
4.2 Nuclear medicine staff basic information.....	26
4.3 The whole body, eye lens, and finger doses of NM staff.....	28
4.4 Estimated annual personal dose	29
4.5 Dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)	32
4.6 Ratio of $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}/\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}/\text{Hp}(0.07)$	35
4.7 Correlations between $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$	36
CHAPTER V DISCUSSION AND CONCLUSION	39
5.1 Whole body, eye lens, and finger dose measurement in nuclear medicine staff..	39
5.1.1 Estimated annual personnel dose	39
5.2 Correlations between $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$	43
5.2.1 Comparison of $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}/\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}/\text{Hp}(0.07)$ to other studies.....	43
5.2.2 Correlations between $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$	44
5.3 Conclusion	45
REFERENCES	47
APPENDIX A Case record form	50
APPENDIX B Information sheet	52
APPENDIX C Consent form	59
APPENDIX D Quality control of radionuclide dose calibrator	61

VITA.....64

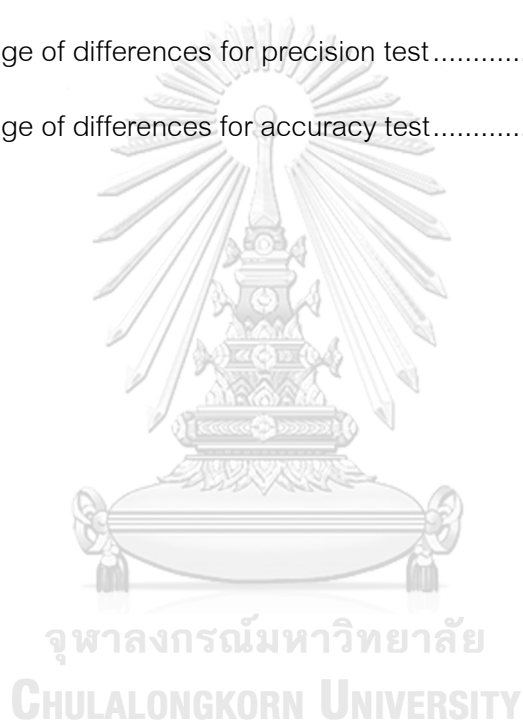


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

LIST OF TABLES

	Page
Table 2.1 Radionuclides used in NM.....	7
Table 3.1 Technical specifications of InLight model, Nagase, Landauer.....	18
Table 3.2 Technical specifications of nanoDot model, Nagase, Landauer.....	19
Table 4.1 Basic information of NM staff at KCMH.	27
Table 4.2 The average and standard deviation of basic information of NM staff.....	27
Table 4.3 Hp(10), Hp(3) _{Lt} , Hp(3) _{Rt} , and Hp(0.07) in 6 months.....	28
Table 4.4 Estimated annual personal dose (mSv/year), average, standard deviation, and range of NM staff.	29
Table 4.5 Average annual personal doses (mSv/year) among professions.....	31
Table 4.6 Dose equivalent per unit of radioactivity (μSv/GBq).....	32
Table 4.7 Dose equivalent per unit of radioactivity (μSv/GBq) (Excluding radiopharmacist).	33
Table 4.8 Average dose equivalent per unit of radioactivity (μSv/GBq).....	34
Table 4.9 Hp(3) _{Lt} /Hp(10), Hp(3) _{Rt} /Hp(10), Hp(0.07)/Hp(10), Hp(3) _{Lt} /Hp(0.07), and Hp(3) _{Rt} /Hp(0.07) in among each professions.	35
Table 4.10 Average of Hp(3) _{Lt} /Hp(10), Hp(3) _{Rt} /Hp(10), Hp(0.07)/Hp(10), Hp(3) _{Lt} /Hp(0.07), and Hp(3) _{Rt} /Hp(0.07) in among professions.	36
Table 5.1 Comparison of Hp(10), Hp(3) _{Lt} , Hp(3) _{Rt} , and Hp(0.07) mSv/year among this study and other studies.	41
Table 5.2 Comparison of the average eye lens dose per radioactivity of technologists to another study.....	42
Table 5.3 Comparison of the average finger dose per radioactivity of radiochemists to another study.....	43

Table 5.4 Comparison of the average ratio of dose equivalent of nurses to other studies.....	44
Table 5.5 Comparison of correlations between $H_p(3)_{L_t}$ VS $H_p(10)$, $H_p(3)_{R_t}$ VS $H_p(10)$, $H_p(0.07)$ VS $H_p(10)$, $H_p(3)_{L_t}$ VS $H_p(0.07)$, and $H_p(3)_{R_t}$ VS $H_p(0.07)$ to other studies.....	45
Table A.1 Basic information of NM staff.....	50
Table A.2 Data record form for NM staff	51
Table D.1 Percentage of differences for precision test.....	63
Table D.2 Percentage of differences for accuracy test.....	63



LIST OF FIGURES

	Page
Figure 2.1 Simple model of the Optically Stimulated Luminescent.....	4
Figure 2.2 InLight OSL dosimeter.....	5
Figure 2.3 nanoDot dosimeter	6
Figure 2.4 Decay scheme of ^{99m}Tc to ^{99}Ru	8
Figure 2.5 Decay scheme of ^{131}I to stable ^{131}Xe	9
Figure 2.6 Decay scheme of ^{18}F to stable ^{18}O	10
Figure 2.7 Decay scheme of ^{68}Ga to stable ^{68}Zn	11
Figure 2.8 Decay scheme of ^{177}Lu to stable ^{177}Hf	12
Figure 3.1 Cylindrical head phantom with eight nanoDots inserted and attached	17
Figure 3.2 Whole body dosimeter.....	18
Figure 3.3 Eye lens dosimeter attached to the head band.....	19
Figure 3.4 Finger dosimeter	19
Figure 3.5 Automatic annealer of OSLD	20
Figure 3.6 OSLD reader	21
Figure 4.1 Annual $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$, and $\text{Hp}(0.07)$ of ten members of the NM staff.....	30
Figure 4.2 Correlations between $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$ of NM staff at KCMH (exclusion radiopharmacist)	37
Figure 4.3 Correlations between $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$ of five technologists at KCMH.....	38

LIST OF ABBREVIATIONS

Al	Aluminum	mCi	Millicurie
Al ₂ O ₃ : C	Aluminum Oxide doped with Carbon	⁹⁹ Mo	Molybdenum-99
cGy	Centi-gray	n	Neutron
¹³⁷ Cs	Caesium-137	NaI	Sodium Iodide
Cu	Copper	NM	Nuclear Medicine
eV	Electron volt	nm	Nanometer
¹⁸ F	Fluorine-18	O	Oxygen
FDG	Fluorodeoxyglucose	OSL	Optically Stimulated Luminescence
⁶⁸ Ga	Gallium-68	OSLD	Optically Stimulated Luminescent Dosimeter
GBq	Gigabecquerel	PET-CT	Positron Emission Tomography-Computed Tomography
⁶⁸ Ge	Germanium-68		
¹⁷⁷ Hf	Hafnium-177		
Hp(d)	Personnel dose equivalent at distance d mm	PMMA	Polymethyl methacrylate
Hp(0.07)	Personnel finger dose equivalent at 0.07 mm	PMT	Photomultiplier tube
		⁹⁰ Sr	Strontium-90
		TLD	Thermoluminescent dosimeter
Hp(3)	Personnel eye lens dose equivalent at 3 mm	¹³¹ Xe	Xenon-131
Hp(10)	Effective dose at whole body at 10 mm	Γ	Specific gamma-ray constant
¹³¹ I	Iodine-131	B ⁺	Beta plus, positron
Ka	Air kerma	B ⁻	Beta minus, electron
LED	Light emitting diode	μGy	Microgray
LLD	Lower limit of detection	μSv	Microsievert
¹⁷⁷ Lu	Lutetium-177		

CHAPTER I

INTRODUCTION

1.1 Background and rationale

Occupational exposure represents personnel dose equivalent, $H_p(d)$. It is the operational quantity for individual monitoring: the dose equivalent of soft tissue measured under the surface at d millimeters (mm) from the body surface. $H_p(d)$ can be used for the measurements of superficial and deep organ doses. In 1985, The International Commission on Radiation Units (ICRU), Publication 39 (1), recommended that any statement of personal dose equivalent should specify the depth. For superficial organs, depths of 0.07 mm for skin or hand and feet, and 3 mm for the lens of the eye are employed, and the personal dose equivalents for those depths are denoted by $H_p(0.07)$ and $H_p(3)$, respectively. $H_p(3)$ is calculated by multiplying the air kerma (K_a) with the conversion coefficient, $k_{H_p(3)}$. For deep organs and the control of effective dose, a depth of 10 mm is frequently used, with the notation $H_p(10)$.

In 1991, The International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 60 (2), recommended the dose limits applied to the whole body, eye lens, and extremity as represented by $H_p(10)$, $H_p(3)$, and $H_p(0.07)$ respectively. Dose limits of $H_p(10)$, $H_p(3)$, and $H_p(0.07)$ for radiation staff were 20, 150, and 500 mSv/year, respectively. For $H_p(10)$, averaged over 5-year periods. No single year exceeds 50 mSv.

Due to the epidemiology evidence of cataract and eye lens opacity (3), ICRP Publication 118 in 2012, changed the dose limit for the eye lens of occupational exposure from 150 mSv/year to 20 mSv/year, averaged over 5-year periods no single year exceeding 50 mSv (4). For the public, the dose limit for eye lens is 15 mSv/year. After ICRP changed the eye lens dose limit, many reports (3) on eye lens dose measurement using thermoluminescent dosimeter (TLD) for interventional radiologists and interventional cardiologists were published. Few reports (5-7) on eye lens dose measurement in nuclear medicine (NM) personnel were found.

On 5 October 2018, the Government of Thailand announced in the Gazette on the reduction of eye lens dose limit from 150 mSv/year to 20 mSv/year averaged over 5-year periods. No single year exceeds 50 mSv.

The NM staff obtain occupational exposure from both unsealed and sealed sources of ionizing radiation, from many radionuclides in clinical studies. The utilization of radionuclides in the NM department can be separated into two groups. The first group is to diagnose the internal organ function; the radionuclides used are ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{18}F , and ^{68}Ga . The second group is for cancer treatment, such as ^{131}I and ^{177}Lu .

As the NM staff has many roles and responsibilities in diagnosis and therapy using those radionuclides, some NM staff prepare, handle, and inject radionuclides with high radiation activity, they are exposed to radiation, particularly to the extremities as the followings:

- Radiopharmacist and radiochemists prepare the radiopharmaceuticals in the hot lab.
- NM technologists prepare and dispense ^{131}I for oral dose to treat thyroid cancer and hyperthyroidism patients and perform radionuclide imaging.
- Nurses inject radiopharmaceuticals to all patients.

Therefore, the measurement of radiation dose in NM staff is very important. In Thailand, Hp(10) and Hp(0.07) have been measured using Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD) while Hp(3) is estimated.

The eye lens dose measurement in NM staff in Thailand has never been measured before. Therefore, the OSLD will be used in this project. The ratio of Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) will be calculated to estimate Hp(3) and Hp(0.07) for the eye lens and extremity doses in the future.

1.2 Research objectives

1. To measure Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) by OSLD in NM staff who prepare and inject radionuclides at King Chulalongkorn Memorial Hospital (KCMH).
2. To analyze the correlations between the Hp(10) VS Hp(3), Hp(10) VS Hp(0.07) and Hp(3) VS Hp(0.07).

CHAPTER II

REVIEW OF RELATED LITERATURE

2.1 Theory

2.1.1 Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD)

Optically Stimulated Luminescent (OSL) was first suggested as a radiation dosimetry tool in the 1950s (8). The OSL technique has already become a successful tool in personnel radiation dosimetry. Suzuki Akifumi et al. reported that the OSLD has been good enough to perform for the gamma-ray, x-rays, and beta ray dosimetry and practical use as personnel dosimeters (9, 10).

2.1.1.1 Principle of OSL

Optically Stimulated Luminescent Dosimeters (OSLDs) are made of carbon-doped aluminum oxide ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$). It is a passive dosimeter which has been used extensively for personnel radiation dosimetry for many years (11).

In a crystalline insulator, the conduction and valence bands are separated by an energy difference of several electron volts (eV), and there are no intermediate energy levels within this bandgap. Luminescent detectors are created by adding impurities to these crystals, thus introducing energy levels within the bandgap in the vicinity of the impurities (12).

The process begins with the $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ crystal of the dosimeter exposed to ionizing radiation in which the valence electrons, free electrons, and holes are created within the crystalline structure. Electrons, which are liberated after exposure to ionizing radiation, are moved to the conduction band and trapped in energy traps within the forbidden energy gap created by crystal defects. This process creates semi-stable electron-hole pairs (13, 14).

When the $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ crystal is stimulated with a green light with the wavelength of 532 nm after the exposure to ionizing radiation, the trapped electrons/holes will recombine resulting in the luminescence of blue light with the wavelength of 420-440 nm, detected and measured by a photomultiplier tube (PMT)

using a high sensitivity photon counting system. The intensity of the luminescence depends on the dose absorbed by the OSLD (15, 16), as illustrated in figure 2.1.

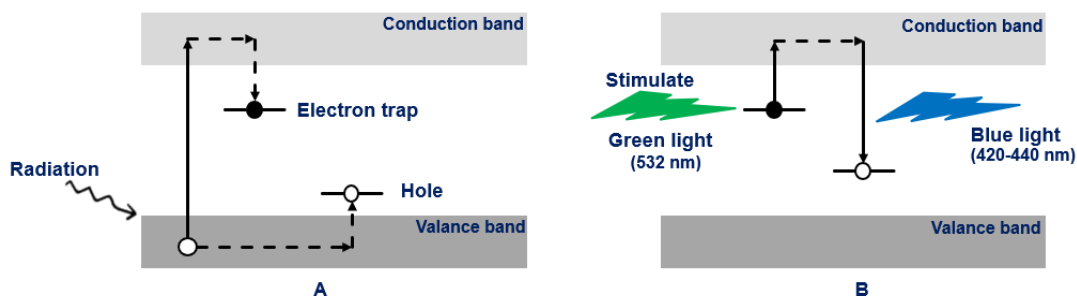


Figure 2.1 Simple model of the Optically Stimulated Luminescent (14).

- A. Irradiation with ionizing radiation leads to the generation of electrons and holes, and trapping of free electrons and holes
- B. Release of electrons from the traps by green light stimulation and leading to the emission of blue light

2.1.1.2 Technology of OSLD

Currently, OSLD is commercially available by Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan, and widely used in various studies, including environmental, personnel dosimeter, and patients dose measurements in both therapeutic and diagnostic radiology (17-19).

1) InLight dosimeter

OSLD model InLight for whole body measurement designed by Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan, is provided for x-rays, gamma-ray, and beta ray detection as the personnel monitoring. There are four elements of aluminum oxide dopes with carbon ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) which the effective atomic number: $Z = 11.28$ (18) and powder sandwiched between two layers of polyester are positioned on the slide, and they are placed in a plastic holder, covered with an open window, plastic, copper, and aluminum filters for measurement of $\text{Hp}(0.07)$, $\text{Hp}(3)$, and $\text{Hp}(10)$ (shallow, lens-of-eye, and deep dose, respectively) (16). OSLD is read out by OSL technology. The reader stimulates the detector with the light-emitting diode (LED)

array causing it to luminesce in proportion to the amount of radiation exposure. The luminescence is detected and measured by the photomultiplier tube using a high sensitivity photon counting system. A dose calculation algorithm is then applied to the measurement to determine exposure results. Individual sensitivity or element correction coefficient of all elements determined from a factory can be read via etched code called 2D slide code while the cards are identified by the bar code attached to the case, as illustrated in figure 2.2 (17, 20).

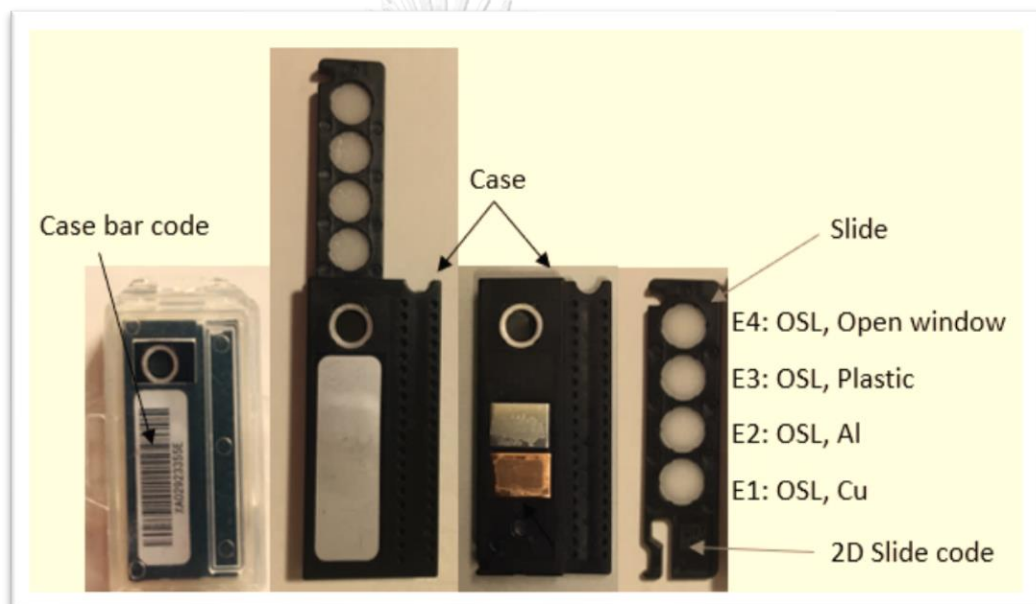


Figure 2.2 InLight OSL dosimeter

2) nanoDot dosimeter

The nanoDot is divided into two groups. One concerns with the photon and the other concerns with beta radiation depends on the type of practices (20). OSLD for eye lens and finger measurements are designed by Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan. The nanoDot dosimeters are designed for use in single point radiation assessment applications. The disk of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ with effective atomic number 11.28, disk dimension 5 mm diameter (4 mm active diameter), 0.3 mm thickness, is sealed in thin polyester and encased in a light-tight plastic of 10 x 10 mm² with 2 mm thickness as shown in figure 2.3.

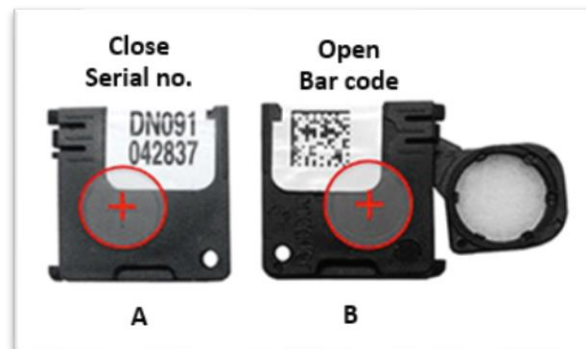


Figure 2.3 nanoDot dosimeter (21)

- A. The front of the nanoDot carrier with alphanumeric sensitivity code and serial number (DN091=0.91 sensitivity). Either the front or back of the carrier can face toward the radiation source during exposure.
- B. Back of open nanoDot carrier with 2D QR code that includes sensitivity code and serial number.

The advantages of OSLD are small size, short time for annealing (1 minute), no connecting wires, no preheat before readout, high sensitivity, fast reading (13 seconds), rereading (signal depleting 0.036%), reusable. Using simpler synonyms for homogeneity, reproducibility, and good linearity in the diagnostic energy range (8, 17, 22).

The one potentially problematic aspect of dosimetry using an OSLD is that no significant fading can occur after irradiation. After irradiation, OSLD needs a waiting period for the signal to be stabilized, and the constant loss of the signal is observed. An initial phosphorescence signal occurs in the OSLD immediately after irradiation is avoided by conducting the first measurements 24 hours after irradiation (23, 24). Over 100 days, the OSLDs signal is reduced by about 2%. The signal drop in the first month is due to the low-temperature traps, which can decay at room temperature. OSLD fading reported by Dunn et al. was 3.5% within six months after irradiation, normalized to the 1st day (25). There is signal fading of OSLD, and a correction should be applied for this effect (26).

2.1.2 Radionuclides

Most radionuclides used in NM are ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{18}F , ^{68}Ga , and ^{177}Lu . Each radionuclide has different physical properties, as in table 2.1.

Table 2.1 Radionuclides used in NM

Radionuclides	Half life	Radiation Emitter	Energy (keV)	Percentage
Diagnosis				
^{99m}Tc	6.0 hours	γ	140	98.6
^{131}I	8.1 days	γ	364	81.5
^{18}F	109.8 mins	β^+	634	97.0
^{68}Ga	67.7 mins	β^+	836	88.0
^{177}Lu	6.7 days	γ	113	6.4
			208	11.0
Treatment				
^{131}I	8.1 days	β^-	606	89.6
^{177}Lu	6.7 days	β^-	497	78.6
			384	9.1
			176	12.2

2.1.2.1 Technetium-99m (^{99m}Tc)

^{99m}Tc is most conveniently produced carrier-free as a pertechnetate ($^{99m}\text{Tc-O}_4^-$) in isotonic saline from a Molybdenum generator (^{99}Mo generator) which has a half-life of 67 hours. ^{99m}Tc is the decay product of Molybdenum-99 (^{99}Mo). ^{99m}Tc is a metastable nuclear isomer of ^{99}Tc . ^{99m}Tc belongs to group 7 of the modern periodic table with the atomic number of 43. ^{99m}Tc decays to its stable ^{99}Tc by isomeric transition with a physical half-life of 6.02 hours emitting a 140.5 keV (98.6 % abundance) gamma-rays, importantly, soon after the procedure ends, no radioactivity is left in the body.

^{99}Tc itself decays by beta emission to stable Ruthenium-99 (^{99}Ru) and has a half-life of 2.1×10^5 years (27-30).

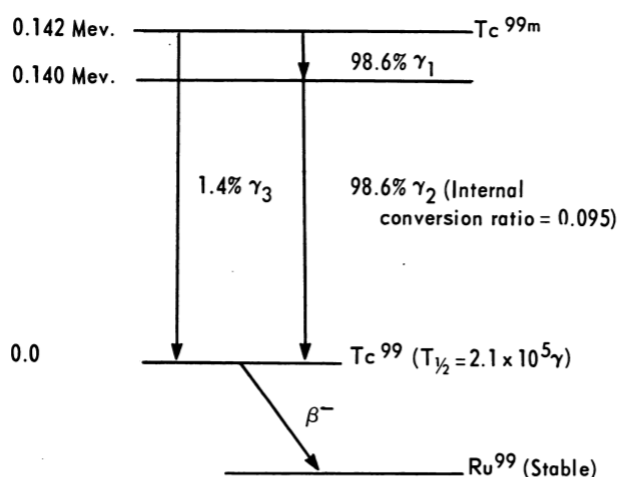
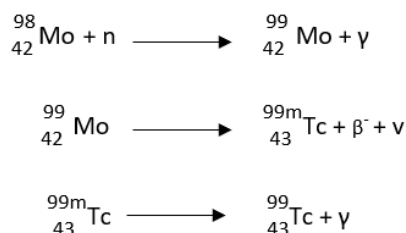
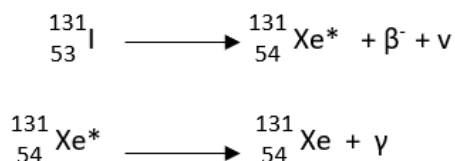


Figure 2.4 Decay scheme of ${}^{99m}\text{Tc}$ to ${}^{99}\text{Ru}$ (31)

2.1.2.2 Iodine-131 (${}^{131}\text{I}$)

${}^{131}\text{I}$ is successfully used in the treatment of hyperthyroidism and differentiated thyroid cancer. ${}^{131}\text{I}$ simultaneously emits two types of radiation: beta minus for the therapy and gamma-rays used for diagnosis. ${}^{131}\text{I}$ is a radionuclide of iodine with an atomic mass of 131, a physical half-life of 8 days (32). When the thyroid gland selectively accumulates, ${}^{131}\text{I}$ emits beta and gamma-rays, thereby killing thyroid cells and decreasing thyroid hormone production.

${}^{131}\text{I}$ is an artificial isotope of iodine. It is separated in the form of sodium iodide (NaI) from the products of uranium fission or neutron irradiation Tellurium-130 (${}^{130}\text{Te}$) in a nuclear reactor. On decaying, ${}^{131}\text{I}$ most often (89% of the time) expends its 971 keV of decay energy by transforming into the stable Xenon-131 (${}^{131}\text{Xe}$) in two steps, with gamma decay following rapidly after beta decay.



The primary emissions of ${}^{131}\text{I}$ decay are thus beta particles with a maximal energy of 606 keV (89.6 % abundance) and 364 keV gamma-rays (81.5 % abundance), as illustrated in figure 2.5. Beta-decay, as always in this process, also produces an antineutrino, which carries off variable amounts of the beta decay energy. The maximum beta range in water and air are 2 mm and 165 cm, respectively (33, 34).

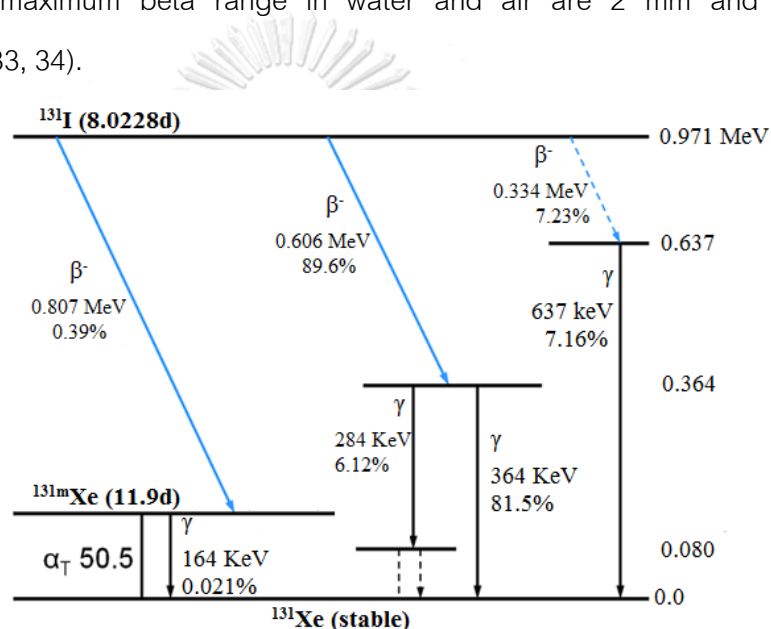


Figure 2.5 Decay scheme of ${}^{131}\text{I}$ to stable ${}^{131}\text{Xe}$ (33).

2.1.2.3 Fluorine-18 (${}^{18}\text{F}$)

${}^{18}\text{F}$ fluorodeoxyglucose (${}^{18}\text{F}$ -FDG) is most commonly used for positron emission tomography (PET) imaging of tumor, cardiac, brain, and increasingly being used to detect infection. A cyclotron produces ${}^{18}\text{F}$ with proton bombardment of ${}^{18}\text{O}$ -enriched water target, a stable naturally occurring isotope of oxygen. The proton interacts with the ${}^{18}\text{O}$ and produces a neutron and ${}^{18}\text{F}$.

${}^{18}\text{F}$ is an essential source of positrons. It has a mass of 18.0009380 amu. The longest-lived fluorine radionuclide is 109.77 minutes. It decays by positron

emission (low positron energy, maximum 634 keV) 97% of the time and electron capture 3% of the time, both modes of decay yield stable oxygen (35).

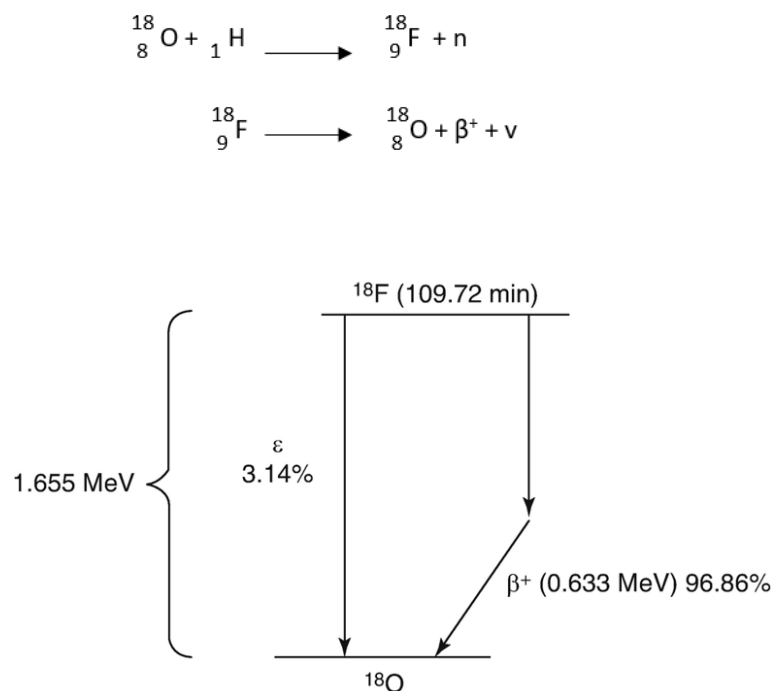


Figure 2.6 Decay scheme of ${}^{18}\text{F}$ to stable ${}^{18}\text{O}$ (36)

2.1.2.4 Gallium-68 (${}^{68}\text{Ga}$)

${}^{68}\text{Ga}$, as shown in decay, the scheme in figure 2.7, is used for prostate tumor application. ${}^{68}\text{Ga}$ is a positron-emitting isotope produced from a ${}^{68}\text{Ge}/{}^{68}\text{Ga}$ generator in NM. The parent isotope ${}^{68}\text{Ge}$ has a half-life of 271 days and can be easily delivered to hospitals as a generator, where it can be used as the source of ${}^{68}\text{Ga}$ for at least one year. ${}^{68}\text{Ge}$ decays 100% by electron capture emitting characteristic x-rays and auger electrons with energy lower than 11 keV. As ${}^{68}\text{Ga}$ has a half-life of only 67.7 minutes, it is inconvenient for transport. ${}^{68}\text{Ga}$ is extracted and used for diagnostic procedures for PET imaging. ${}^{68}\text{Ga}$ is a positron emitter with 88% positron branching accompanied by low-intensity photon emission (1077.4 keV, 3.23%). The ${}^{68}\text{Ga}$ itself does not emit significant photon radiation. The high branching positron emission (88%) with maximum and mean positron energies of 1.9 and 0.89 MeV, respectively, provides intense 511 keV annihilation photon emission (37, 38).

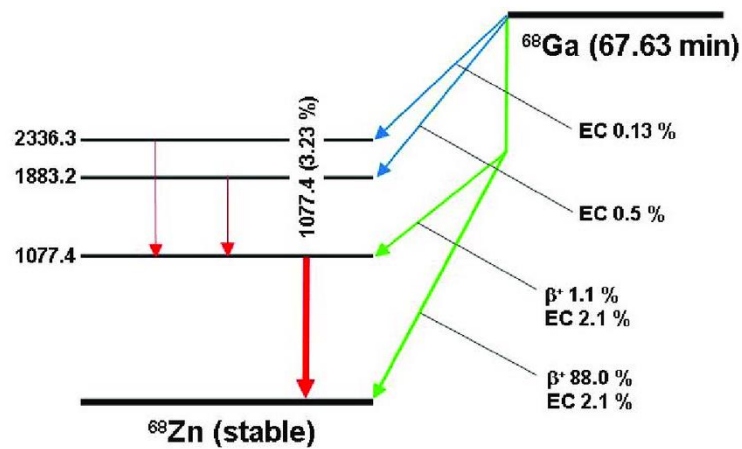


Figure 2.7 Decay scheme of ^{68}Ga to stable ^{68}Zn (38).

2.1.2.5 Lutetium-177 (^{177}Lu)

^{177}Lu is used in a variety of therapeutic procedures in NM. Production of ^{177}Lu using $^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$ reaction by thermal neutron bombardment on natural as well as enriched lutetium oxide target will be described. ^{177}Lu decays in 78% of events ($E_{\beta}(\text{max}) = 497 \text{ keV}$) to the stable ground state of Hafnium-177 (^{177}Hf) with a half-life of 6.7 days and decays in 9.7% of events ($E_{\beta}(\text{max}) = 248 \text{ keV}$) and 12% of the time ($E_{\beta}(\text{max}) = 176 \text{ keV}$). As a consequence of the de-excitation of the excited states, gamma-ray is emitted. The most intense gamma-rays are at energies of 113 keV and 208 keV, with abundances of 6.4% and 11%, respectively. These are useful for imaging purposes, enabling proper monitoring of in vivo localization of the injected ^{177}Lu -Dotatate as well as reliable dosimetric estimations. A simplified decay scheme for ^{177}Lu is shown in figure 2.8 (39).

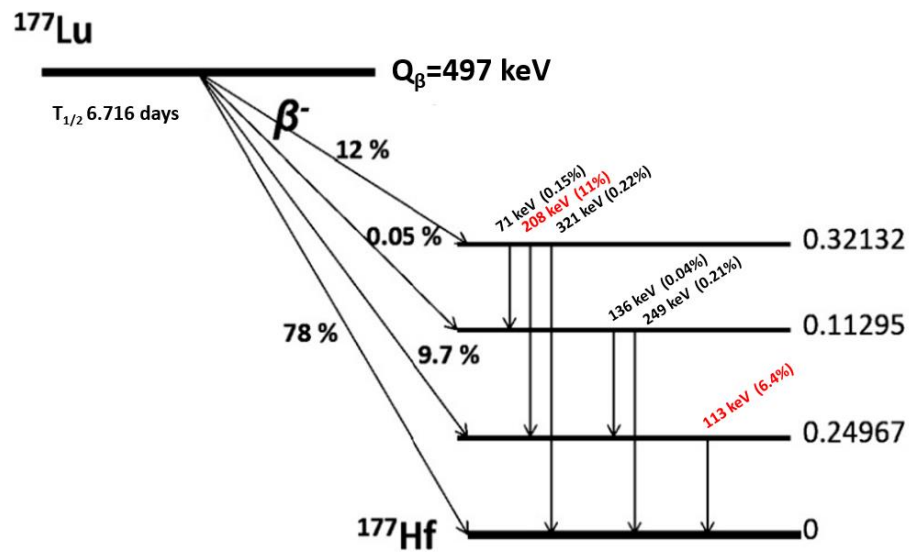


Figure 2.8 Decay scheme of ^{177}Lu to stable ^{177}Hf (39).

2.2 Review of related literature

Dabin J.et. al. (5) measured the whole body and eye lens doses in 45 staffs for 1-4 working weeks from 8 NM Departments in hospitals in Belgium and Poland. They used TLD attached on a headband or taped on the arm of the operator's eyeglasses and positioned it on the operator's temple at the eye level. They found that the whole body dose could roughly estimate the eye lens dose and indicate if specific eye lens measurements are needed.

Renata K et al. (6) studied at three departments of NM. One department of conventional diagnostic NM was mostly handling $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (center A), and two PET-CT departments were handling ^{18}F labeled pharmaceuticals (centers B and C). They measured the whole body, eye lens, and extremity doses in NM staff at the center A, B, and C. They suggested that extremity ring dosimetry of center A is especially recommended for medical staff doing all type of tasks. For the center B and C, $\text{Hp}(3)$ of medical staff could probably be estimated from measurements of $\text{Hp}(10)$ and that the possibility of exceeding the present annual dose limit to eye lens is very unlikely.

Piowarska-Bilska H. et al. (7) measured the whole body, eye lens, and finger doses in NM personnel of the Pomeranian Medical University in Szczecin, Poland, for two physicians, five technicians, and three nurses using thermoluminescence dosimeter

(TLD). They concluded that the eye lens dose could be estimated from measurements of $H_p(10)$. Therefore, regular personnel eye dosimetry in NM at this center is not required, but the monitoring of individual eye lens doses in the most exposed workers is recommended.



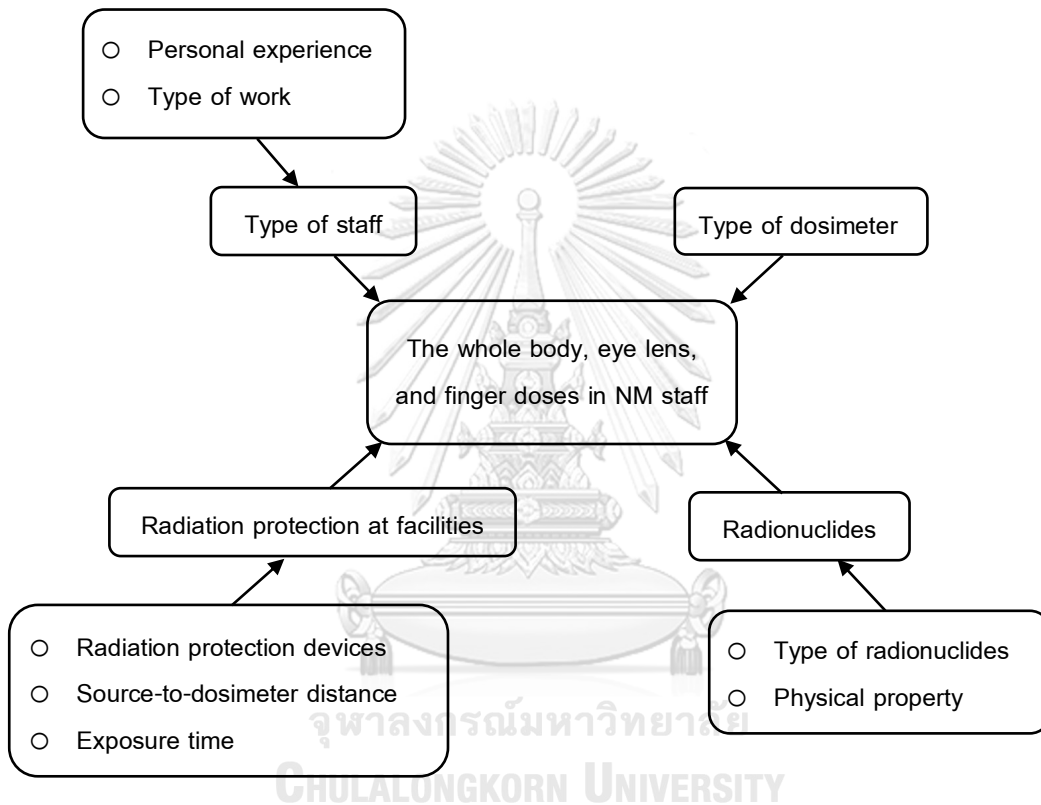
CHAPTER III

RESEARCH METHODOLOGY

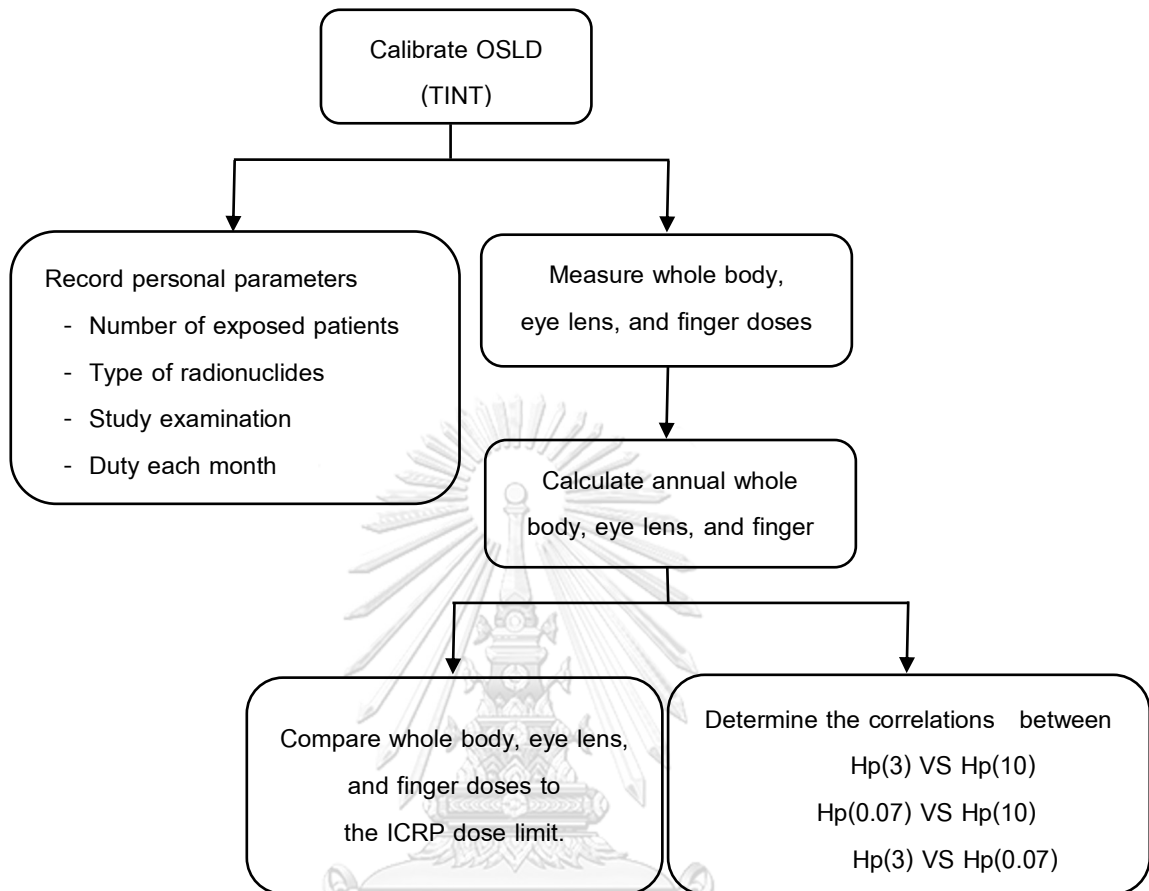
3.1 Research design

This study is an observational descriptive by a prospective study.

3.2 Conceptual framework



3.3 Research design model



3.4 Research questions

3.4.1 Primary research question

What are the Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) of NM staff at KCMH?

3.4.2 Secondary research question

What are the correlations between the Hp(3) VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), and Hp(3) VS Hp(0.07) of NM staff at KCMH?

3.5 Research objectives

3.5.1 Primary objective

To measure Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) using OSLD in NM staff at KCMH.

3.5.2 Secondary objective

To analyze the correlations between the Hp(3) VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), and Hp(3) VS Hp(0.07).

3.6 Sample

3.6.1 Target population

The NM staffs at KCMH.

3.6.2 Sample population

This prospective study was conducted among 10 NM staff who dispense, inject radiopharmaceuticals, and scan radioactive patients at KCMH.

3.7 Eligibility criteria

3.7.1 Inclusion criteria

The NM staff who handle radiopharmaceuticals and patients in routine NM procedures, wear whole body, eye, and finger dosimeters.

3.7.2 Exclusion criteria

Nuclear medicine staff who did not wear the dosimeter.

3.8 Sample size determination

The NM staff handle and inject radiopharmaceuticals are ten.

3.9 Materials

3.9.1 Cylindrical head phantom for calibration of nanoDot dosimeters

The cylindrical head phantom is a slab phantom and made of polymethyl methacrylate (PMMA) of 40 slabs at 16 cm diameter, 20 cm high, and 0.5 cm of each slab thickness. There are ten holes at a depth of 3 mm from the surface of the slice rings. Four nanoDot dosimeters were inserted into the holes. Two left, and two right nanoDot dosimeters represented left and right eye lens, four nanoDot dosimeters were attached at the surface of the phantom next to the holes as in figure 3.1.



Figure 3.1 Cylindrical head phantom with eight nanoDots inserted and attached

3.9.2 Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSLD)

3.9.2.1 Whole body dosimeter

Whole body dosimeter, as in figure 3.2, model InLight, manufacturer Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan, using four crystals of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ (aluminum oxide doped with carbon). The cover has four windows of copper, aluminum, plastic, and air, respectively.



Figure 3.2 Whole body dosimeter

Characteristics of the InLight model are linear from 10 μSv to excess of 10 Sv. For x-rays and gamma-ray, energy range from 5 keV to 20 MeV will be detected, and from 150 keV to 10 MeV for beta ray. The Minimum dose equivalent reported is 50 μSv for x-rays and gamma-ray, 100 μSv for beta ray, as illustrated in table 3.1 (39).

Table 3.1 Technical specifications of InLight model, Nagase, Landauer (39).

Radiation Type	Energy Range	Minimum Dose Equivalent Reported
Photon (X or gamma-ray)	5 keV to 20 MeV	50 μSv (5 mrem)
Beta Particles	150 keV to 10 MeV (expressed as average energy)	100 μSv (10 mrem)

3.9.2.2 Eye lens dosimeter

Eye lens dosimeter, model nanoDot OSLD as shown in figure 3.3, is manufactured by Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan, using a crystal of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ (aluminum oxide doped with carbon). The crystal diameter is 5 mm, and the thickness is 0.3 mm. The plastic case has a square shape with a dimension of 10 mm width and 2 mm thick to protect sunlight. The characteristics of the nanoDot model are shown in table 3.2.



Figure 3.3 Eye lens dosimeter attached to the head band

Table 3.2 Technical specifications of nanoDot model, Nagase, Landauer (21).

Dose operating range	For general applications, useful dose range 10 μ Gy to >100 Gy; for medical dosimetry applications, linear response with dose up to 300 cGy, software supported non-linear calibration up to 1500 cGy.
Lower limit of detection (LLD)	0.1 mGy
Useful energy range	From 5 keV to 20 MeV

3.9.2.3 Finger dosimeter

Finger dosimeter, model nanoDot OSLD as in figure 3.4, is manufactured by Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan. The crystal diameter and thickness are 5 mm and 0.3 mm with plastic light-tight casing with a dimension of 10 mm diameter and 2 mm thick, to protect sunlight. Characteristics of the finger dosimeter are the same as the eye lens dosimeter.



Figure 3.4 Finger dosimeter

3.9.2.4 Automatic annealer of OSLD

Automatic annealer (figure 3.5 A and B) was used for clear all of the dosimetric traps, using an intense light source with minimal UV content by opening

the dosimeter and placing it under the light source, depended on the intensity of the light source, the proximity of the dosimeter to it, and the dose on the dosimeter. An annealed dosimeter should have a dose of around 100 μSv or less.

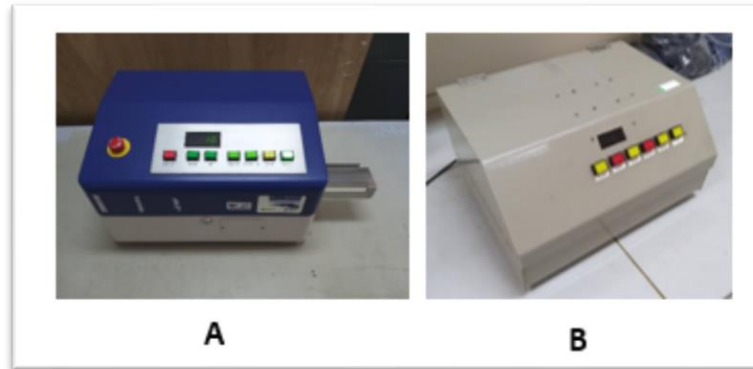


Figure 3.5 Automatic annealer of OSLD

A: InLight model 50A automatic annealer

B: Automatic annealer of nanoDot OSLD

3.9.2.5 OSLD reader

The irradiated OSLDs were read by the reader (figure 3.6) (Nagase Landauer, Tsukuba, Ibaraki, Japan) by the luminescence process. The irradiated dosimeters were stimulated by the visible green light (532 nm) from the LED. Then the blue light (420-440 nm) would be emitted. The luminescent light is detected with a PMT. During the stimulation, only some fractions of populated electrons will be depopulated. The amount of light released during optical stimulation is directly proportional to the radiation dose and remains unchanged significantly after reading. These characteristics of nanoDot can be read out many times.



Figure 3.6 OSLD reader

A: InLight OSLD reader (The Auto 200 dosimetry reader)

B: NanoDot OSLD reader (MicroStar reader)

3.9.2.6 Participants

The participants are ten NM staff of one radiopharmacist, two radiochemists, five technologists, and two nurses who dispense, inject radiopharmaceuticals. Their consent forms were obtained before the study.

3.10 Methods

3.10.1 Calibration of the dosimeters

Calibrate InLight OSLD by standard exposure of ^{137}Cs (gamma-ray), ^{90}Sr (beta ray), and x-rays 80 kVp. Calibrate nanoDot OSLD by standard exposure from ^{137}Cs (gamma-ray), ^{90}Sr (beta ray), x-rays 80 kVp, ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{68}Ga , and ^{177}Lu . InLight and nanoDot OSLD were calibrated at the Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT).

3.10.2 Whole body, eye lens, and finger doses measurement of the nuclear medicine staff

- 1) Attach three sets of OSLDs at three different positions at whole body, eyes (left and right), and finger of 10 NM staff during working hours for three months.
- 2) Change new sets of OSLDs for the next three months, and the total time is six months.

3.10.3 Nuclear medicine staff consent form

Nuclear medicine staff consent forms were obtained before the measurement.

3.10.4 Record the nuclear medicine staff data

The data consists of position at work, age (year), gender, height (cm), experience (year), date of work, role, type of radionuclides, study examination, radioactivity (mCi), number of patients, radiation dose at whole body, eye lens, and finger in the case record form.

3.10.5 Read out OSLD

Exposed OSLDs represented whole body, eye lens, and finger doses of NM staff were read by an InLight OSLD reader and a microStar reader.

3.10.6 Estimation of the annual doses

The annual doses were estimated by

$$\text{Annual doses} = \text{Personal dose (six months)} \times 2$$

3.10.7 The relationship between personal dose equivalents.

Determine the relationships between the Hp(3) VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), and Hp(3) VS Hp(0.07).

3.11 Variables measurement

Measure independent and dependent variables as following

3.11.1 Independent variables

Type of radionuclides, radioactivity, source-to-dosimeter distance, exposure time, staff experience, the use of the radiation protection devices, and type of dosimeter.

3.11.2 Dependent variables

Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07)

3.12 Statistical analysis

3.12.1 Descriptive statistics

- Average
- Range of minimum-maximum
- Standard deviation (S.D.)
- Ratio of Hp(3) and Hp(10), Hp(0.07) and Hp(10), Hp(3) and Hp(0.07)

3.12.2 Inferential statistics

Inferential statistics were conducted by Spearman's correlation coefficient analysis to determine relationships between Hp(3) VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3) VS Hp(0.07) 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 were reported as average, range (minimum-maximum), standard deviation (S.D.), the ratio of Hp(3) and Hp(10), Hp(0.07) and Hp(10), Hp(3) and Hp(0.07) and Spearman's correlation coefficient between Hp(3) VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3) VS Hp(0.07) in table and chart.

3.14 Outcomes

Average annual whole body, eye lens, and finger doses of NM staff of KCMH.

3.15 Expected benefits

- Average annual the Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) of NM staff at KCMH.
- For the safety of NM staff, if the dose equivalent exceeds the dose limit, then the method of operation will be reviewed to rectify the amount of radiation received.
- Obtain the value of Hp(3) and Hp(0.07) from Spearman's correlation coefficient of Hp(3) VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3) and Hp(0.07)

3.16 Limitation

- With the limited number of NM staff at only one center, each staff member will have different work at the NM department and a short time of the study.
- Inconvenience in using OSLD attached close to the eyes at work.

3.17 Ethical consideration

This study is the measurement of radiation dose at different organs of NM staff. Personnel dosimeter, OSLD, will be used. The research proposal had been submitted to the Institutional Review Board (IRB) Faculty of Medicine, Chulalongkorn University.

The consent form was given to the NM staff who participated before conducting the study. At the same time, the information was presented to enable the participant to decide whether or not to participate as research subjects voluntarily. 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 a 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 NM staff 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 NM staff data was used for clinical objective only and concealed to the public. The NM staff name was not appeared in any oral or written reports resulting from the reports the research according to the ethics.

- Beneficence

The NM staff who participated in this research did not receive any rewards for being the participant but the research data can be used to estimate the

whole body, eye lens and extremity occupational exposures in other NM staff that work the same position at King Chulalongkorn Memorial Hospital.

- **Justice**

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



CHAPTER IV

RESULTS

4.1 OSLD calibration

The whole body, eye lens, and finger personnel dosimeters had been calibrated by the Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT) under ISO 4037.

4.2 Nuclear medicine staff basic information

The NM staff participating in this study consisted of one radiopharmacist, two radiochemists, five technologists, and two nurses. They are seven males and three females, the average age, the standard deviation with range were 39 ± 9.10 (26-48) years old, and their average work experience with range were 13.8 ± 9.70 (0.2-26) years, and the average height of participant was 163.4 ± 8.9 (150-176) cm. Age, sex, work experience, and the height of the NM staff were shown in table 4.1. The average age, work experience, and height of staff were shown in table 4.2.

Nuclear medicine staff had signed the consent form before beginning to measure radiation dose. They were attached to the whole body, eye lens, and finger dosimeters for six months from March to August 2019. The data has been collected for six months, and the annual dose has been rescaled. At KCMH, the radiopharmacist has responsibility for preparing the ^{177}Lu and ^{68}Ga . Radiochemists prepared the only $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Technologists involved with many radionuclides by calibrating ^{18}F and scanning radioactive patients who were injected with $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , ^{18}F , ^{177}Lu , and ^{68}Ga and dispensing of ^{131}I . All radiopharmaceuticals were injected by nurses.

Table 4.1 Basic information of NM staff at KCMH.

No.	Staff	Type of personnel	Age (years)	Gender	Experience (years)	Height (cm)
1	PH	Radiopharmacist	47	Male	15.0	168
2	CM1	Radiochemist	27	Female	0.8	154
3	CM2	Radiochemist	26	Male	0.2	169
4	RT1	Technologist	48	Male	23.0	158
5	RT2	Technologist	46	Male	26.0	171
6	RT3	Technologist	44	Male	23.0	176
7	RT4	Technologist	41	Male	18.0	170
8	RT5	Technologist	26	Male	2.0	165
9	N1	Nurse	45	Female	13.0	153
10	N2	Nurse	40	Female	17.0	150
Average \pm S.D.			39 \pm 9.1	-	13.8 \pm 9.7	163.4 \pm 8.9
Range			26-48	-	0.2-26	150-176

Table 4.2 The average and standard deviation of basic information of NM staff.

Type of personnel	Average \pm S.D. (Range)		
	Age (years)	Experience (years)	Height (cm)
Radiopharmacist (N=1)	47.0	15.0	168.0
Radiochemists (N=2)	26.5 \pm 0.71 (26-27)	0.5 \pm 0.42 (0.2-0.8)	161.5 \pm 10.61 (154-169)
Technologists (N=5)	41.0 \pm 8.77 (26-48)	18.4 \pm 9.61 (2-26)	168.0 \pm 6.82 (158-176)
Nurses (N=2)	42.5 \pm 3.54 (40-45)	15.0 \pm 2.83 (13-17)	151.5 \pm 2.12 (150-153)

4.3 The whole body, eye lens, and finger doses of NM staff

Table 4.3 $H_p(10)$, $H_p(3)_{Lt}$, $H_p(3)_{Rt}$, and $H_p(0.07)$ in 6 months.

No.	Staff	March-May 2019				June-August 2019			
		$H_p(10)$ mSv	$H_p(3)_{Lt}$ mSv	$H_p(3)_{Rt}$ mSv	$H_p(0.07)$ mSv	$H_p(10)$ mSv	$H_p(3)_{Lt}$ mSv	$H_p(3)_{Rt}$ mSv	$H_p(0.07)$ mSv
1	PH	1.39	1.13	1.21	128.86	0.12	1.21	1.10	2.06
2	CM1	0.38	0.17	0.15	0.76	0.42	0.02	0.08	1.30
3	CM2	0.57	0.07	0.07	1.60	0.39	0.14	0.14	1.98
4	RT1	0.39	0.06	0.10	0.39	0.03	0.04	0.02	0.23
5	RT2	0.22	0.19	0.14	0.28	0.32	0.19	0.14	0.28
6	RT3	0.30	0.34	0.23	1.40	0.22	0.03	0.05	0.76
7	RT4	0.21	0.13	0.08	0.47	0.31	0.11	0.13	0.70
8	RT5	0.21	0.24	0.22	1.74	0.60	0.18	0.18	0.09
9	N1	0.82	0.51	0.50	1.33	0.90	0.48	0.43	0.59
10	N2	0.37	0.51	0.54	0.41	0.50	0.42	0.42	0.73



4.4 Estimated annual personal dose

The estimated annual personal dose for ten NM staff, the radiopharmacist, received the highest eye lens and finger doses. The nurses received the highest whole body dose among the group.

Table 4.4 Estimated annual personal dose (mSv/year), average, standard deviation, and range of NM staff.

Staff	Personal dose in 6 months (mSv)				Annual personal dose (mSv/year)			
	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)
PH	1.51	2.33	2.31	130.92	3.02	4.66	4.62	261.83
CM1	0.80	0.19	0.24	2.06	1.60	0.39	0.47	4.12
CM2	0.96	0.21	0.21	3.58	1.92	0.42	0.42	7.16
RT1	0.42	0.10	0.12	0.62	0.84	0.20	0.25	1.24
RT2	0.54	0.37	0.27	0.57	1.08	0.74	0.54	1.13
RT3	0.52	0.37	0.29	2.16	1.04	0.75	0.57	4.32
RT4	0.52	0.24	0.21	1.17	1.04	0.48	0.42	2.34
RT5	0.81	0.67	0.51	1.83	1.62	0.83	0.79	3.66
N1	1.72	0.95	0.86	1.68	3.44	1.97	1.85	3.84
N2	0.87	0.98	0.92	1.29	1.74	1.85	1.91	2.58
Average	0.87	0.64	0.59	14.59	1.73	1.19	1.24	29.22
S.D.	0.44	0.67	0.66	40.88	0.87	1.35	1.33	81.75
Range	0.42-1.72	0.10-2.33	0.12-2.31	0.57-130.92	0.84-3.44	0.20-4.66	0.25-4.62	1.13-261.83

From figure 4.1, the results can be represented into 4 bar charts. These charts are whole body, finger, left eye lens, and right eye lens doses where the red bars represent radiopharmacist, green bars represent radiochemists, blue bars represent technologists, and pink bars represent nurses. The red line indicates the dose limit, and the yellow line indicates the three-tenth of the dose limit.

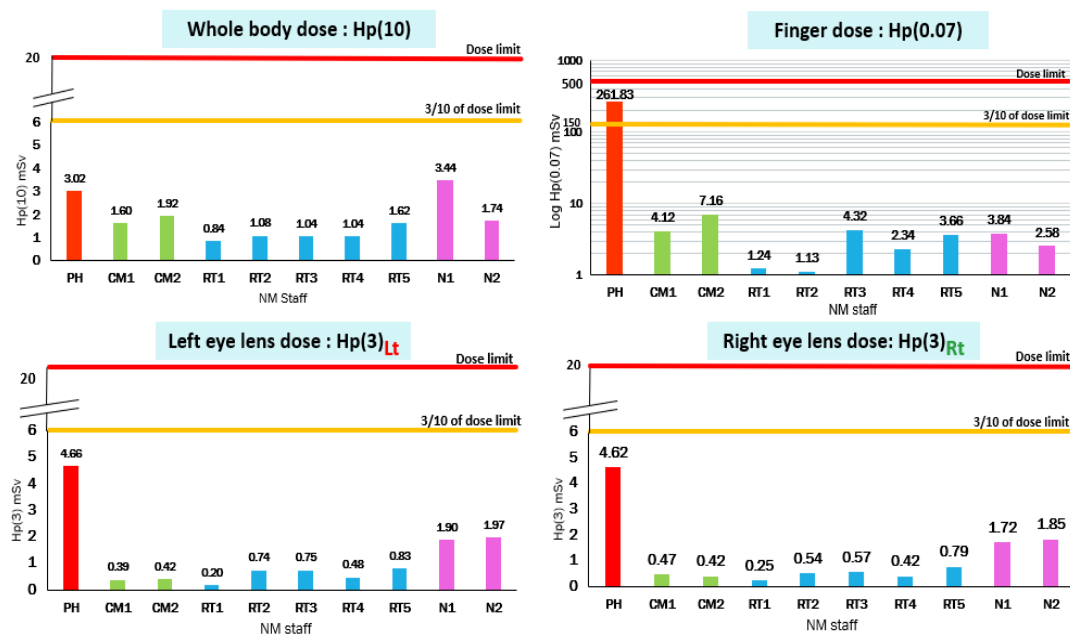


Figure 4.1 Annual $Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}$, $Hp(3)_{Rt}$, and $Hp(0.07)$ of ten members of the NM staff. The ICRP limit (red line) and three-tenths of the ICRP limit (yellow line).

The average annual personal doses were reported for each type of NM staff. The types of NM staff were grouped into the radiopharmacist, radiochemists, technologists, and nurses. Table 4.5, the radiopharmacist received the highest of the whole body, left eye lens, right eye lens, and finger doses among these groups with the values of 3.02, 4.66, 4.62, and 261.83 mSv/year respectively.

Table 4.5 Average annual personal doses (mSv/year) among professions.

Type of personnel	Average \pm S.D. (Range) mSv/year			
	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)
Radiopharmacist (N=1)	3.02	4.66	4.62	261.83
Radiochemists (N=2)	1.76 \pm 0.23 (1.60-1.92)	0.40 \pm 0.02 (0.39-0.42)	0.44 \pm 0.04 (0.42-0.47)	5.64 \pm 2.15 (4.12-7.16)
Technologists (N=5)	1.12 \pm 0.29 (0.84-1.62)	0.60 \pm 0.26 (0.20-0.83)	0.52 \pm 0.20 (0.25-0.79)	2.54 \pm 1.43 (1.13-4.32)
Nurses (N=2)	2.59 \pm 1.20 (1.74 – 3.44)	1.93 \pm 0.05 (1.90 – 1.97)	1.78 \pm 0.09 (1.72 – 1.85)	3.21 \pm 0.89 (2.58 – 3.84)

4.5 Dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)

The average dose equivalent per unit of the radioactivity in ten NM staff of the whole body, left eye lens, right eye lens, and finger were 4.94, 4.05, 3.61, and 96.18 $\mu\text{Sv}/\text{GBq}$ respectively. The dose equivalent per radioactivity of radiopharmacist was highest. The dose equivalent per activity of radiopharmacist was 10.27, 15.86, 15.73, and 890.73 $\mu\text{Sv}/\text{GBq}$ for the whole body, left eye lens, right eye lens, and finger doses respectively as shown in table 4.6.

Table 4.6 Dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$).

Staff	Activity in 6 months (GBq)	Dose equivalent in 6 months (mSv)				Dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)			
		Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)
PH	146.98	1.51	2.33	2.31	130.92	10.27	15.86	15.73	890.73
CM1	1138.18	0.80	0.19	0.24	2.06	0.70	0.17	0.21	1.81
CM2	578.08	0.96	0.21	0.21	3.58	1.66	0.36	0.36	6.19
RT1	333.97	0.42	0.10	0.12	0.62	1.26	0.30	0.37	1.86
RT2	140.36	0.54	0.37	0.27	0.57	3.85	2.64	1.94	4.04
RT3	222.87	0.52	0.37	0.29	2.16	2.33	1.68	1.29	9.69
RT4	195.34	0.52	0.24	0.21	1.17	2.66	1.23	1.08	5.99
RT5	68.58	0.81	0.67	0.51	1.83	11.81	9.73	7.37	26.68
N1	121.85	1.72	0.95	0.86	1.68	14.12	7.79	7.05	13.79
N2	1245.28	0.87	0.98	0.92	1.29	0.70	0.79	0.74	1.04
Average	419.15	0.87	0.64	0.59	14.59	4.94	4.05	3.61	96.18
S.D.	432.15	0.44	0.67	0.66	40.88	5.09	5.32	5.04	279.28
Range	68.58-1245.28	0.42-1.72	0.10-2.33	0.12-2.31	0.57-130.92	0.70-10.27	0.17-15.86	0.21-15.73	1.04-890.73

The average dose equivalent per unit of the radioactivity in nine NM staff excluding radiopharmacist (due to the extremely different in the practice of radiopharmacist from other staff) of the whole body, left eye lens, right eye lens, and finger were 4.34, 2.74, 2.27, and 7.90 $\mu\text{Sv}/\text{GBq}$ respectively as shown in table 4.7.

*Table 4.7 Dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)
(Excluding radiopharmacist).*

Staff	Dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)			
	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)
CM1	0.70	0.17	0.21	1.81
CM2	1.66	0.36	0.36	6.19
RT1	1.26	0.30	0.37	1.86
RT2	3.85	2.64	1.94	4.04
RT3	2.33	1.68	1.29	9.69
RT4	2.66	1.23	1.08	5.99
RT5	11.81	9.73	7.37	26.68
N1	14.12	7.79	7.05	13.79
N2	0.70	0.79	0.74	1.04
Average \pm S.D.	4.34 \pm 5.02	2.74 \pm 3.53	2.27 \pm 2.85	7.90 \pm 8.16
Range	0.70-14.12	0.17-9.73	0.21-7.37	1.04-26.68

The average dose equivalent per unit of radioactivity was reported for each type of NM staff. The types of NM staff were grouped into the radiopharmacist, radiochemists, technologists, and nurses.

Table 4.8 Average dose equivalent per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv/GBq}$).

Staff	Dose equivalent per unit of radioactivity \pm S.D. (Range)			
	$(\mu\text{Sv/GBq})$			
	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)
Radiopharmacist (N=1)	10.27	15.86	15.73	890.73
Radiochemists (N=2)	1.18 \pm 0.68 (0.70-1.66)	0.27 \pm 0.14 (0.17-0.36)	0.28 \pm 0.11 (0.21-0.36)	4.00 \pm 3.10 1.81-6.19)
Technologists (N=5)	4.38 \pm 4.25 (1.26-11.81)	3.11 \pm 3.79 (0.30-9.73)	2.41 \pm 2.83 (0.37-7.37)	9.65 \pm 9.95 (1.86-26.68)
Nurses (N=2)	7.41 \pm 9.49 (0.70-14.12)	4.29 \pm 4.95 (0.79-7.79)	3.90 \pm 4.46 (0.74-7.05)	7.41 \pm 9.02 (1.04-13.79)



4.6 Ratio of $Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$, $Hp(0.07)/Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}/Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}/Hp(0.07)$

Average of $Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$, $Hp(0.07)/Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}/Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}/Hp(0.07)$ of all NM staff were 0.63, 0.58, 10.68, 0.58, and 0.22 respectively as shown in table 4.9.

Table 4.9 $Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$, $Hp(0.07)/Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}/Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}/Hp(0.07)$ in among each professions.

Staff	$Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$	$Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$	$Hp(0.07)/Hp(10)$	$Hp(3)_{Lt}/Hp(0.07)$	$Hp(3)_{Rt}/Hp(0.07)$
PH	1.54	1.53	86.70	0.02	0.02
CM1	0.24	0.29	2.58	0.09	0.11
CM2	0.22	0.22	3.73	0.06	0.06
RT1	0.24	0.29	1.48	0.16	0.02
RT2	0.69	0.50	1.05	0.65	0.48
RT3	0.72	0.55	4.15	0.17	0.13
RT4	0.46	0.40	2.25	0.20	0.18
RT5	0.51	0.49	2.26	0.23	0.22
N1	0.55	0.50	1.12	0.49	0.45
N2	1.13	1.06	1.48	0.26	0.72
Average \pm S.D.	0.63 \pm 0.42	0.58 \pm 0.41	10.68 \pm 26.43	0.58 \pm 0.41	0.22 \pm 0.23
Range	0.22-1.54	0.22-1.53	1.05-86.70	0.02-0.76	0.02-0.72

Average of $Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$, $Hp(0.07)/Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}/Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}/Hp(0.07)$ of all NM staff varied in wide range. Only the average of $Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$, and $Hp(0.07)/Hp(10)$ of nurses were close to 1. $Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$, and $Hp(0.07)/Hp(10)$ of nurse were 0.84, 0.78, and 1.30 respectively as shown in table 4.10.

Table 4.10 Average of $Hp(3)_{L_t}/Hp(10)$, $Hp(3)_{R_t}/Hp(10)$, $Hp(0.07)/Hp(10)$, $Hp(3)_{L_t}/Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{R_t}/Hp(0.07)$ in among professions.

Staff	$Hp(3)_{L_t}/Hp(10)$	$Hp(3)_{R_t}/Hp(10)$	$Hp(0.07)/Hp(10)$	$Hp(3)_{L_t}/Hp(0.07)$	$Hp(3)_{R_t}/Hp(0.07)$
Radiopharmacist	1.54	1.53	86.70	0.02	0.02
Radiochemists	0.23±0.02 (0.22-0.24)	0.26±0.05 (0.22-0.29)	3.15±0.82 (2.58-3.73)	0.08±0.03 (0.06-0.09)	0.09±0.04 (0.06-0.11)
Technologists	0.52±0.19 (0.24-0.72)	0.45±0.10 (0.29-0.55)	2.24±1.19 (1.05-4.15)	0.28±0.21 (0.16-0.65)	0.24±0.14 (0.13-0.48)
Nurses	0.84±0.41 (0.55-1.13)	0.78±0.40 (0.50-1.06)	1.30±0.26 (1.12-1.48)	0.63±0.19 (0.49-0.76)	0.58±0.19 (0.45-0.72)

4.7 Correlations between $Hp(3)_{L_t}$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{R_t}$ VS $Hp(10)$, $Hp(0.07)$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{L_t}$ VS $Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{R_t}$ VS $Hp(0.07)$

For the analysis of correlation between five pairs of dose equivalent of nine NM staff excluding radiopharmacist using Spearman's correlation coefficient, the correlation coefficient of $Hp(3)_{L_t}$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{R_t}$ VS $Hp(10)$, $Hp(0.07)$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{L_t}$ VS $Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{R_t}$ VS $Hp(0.07)$ were 0.54 (p-value = 0.14), 0.58 (p-value = 0.11), 0.46 (p-value = 0.21), 0.03 (p-value = 0.93), and 0.12 (p-value = 0.76) respectively, show that there was no significant correlation between five pairs of dose equivalent as shown in figure 4.2.

For the analysis of correlation between five pairs of dose equivalent of five NM technologist using Spearman's correlation coefficient, the correlation coefficient of $Hp(3)_{L_t}$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{R_t}$ VS $Hp(10)$, $Hp(0.07)$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{L_t}$ VS $Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{R_t}$ VS $Hp(0.07)$ were 0.82 (p-value = 0.09), 0.82 (p-value = 0.09), 0.10 (p-value = 0.87), 0.60 (p-value = 0.29), and 0.60 (p-value = 0.29) respectively, show that there was no significant correlation between five pairs of dose equivalent as shown in figure 4.3.

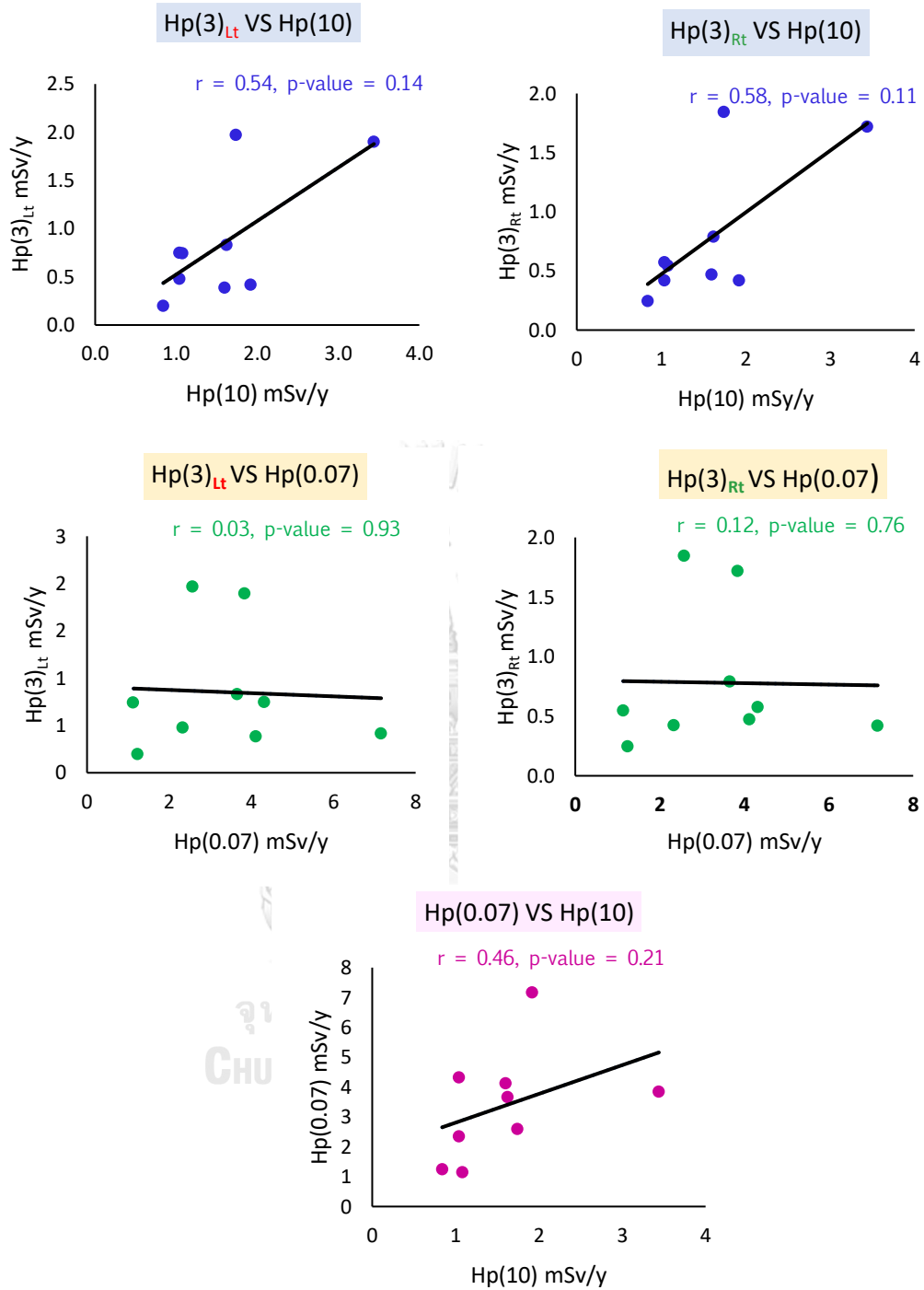


Figure 4.2 Correlations between $Hp(3)_{Lt}$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}$ VS $Hp(10)$, $Hp(0.07)$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}$ VS $Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}$ VS $Hp(0.07)$ of NM staff at KCMH (exclusion radiopharmacist)

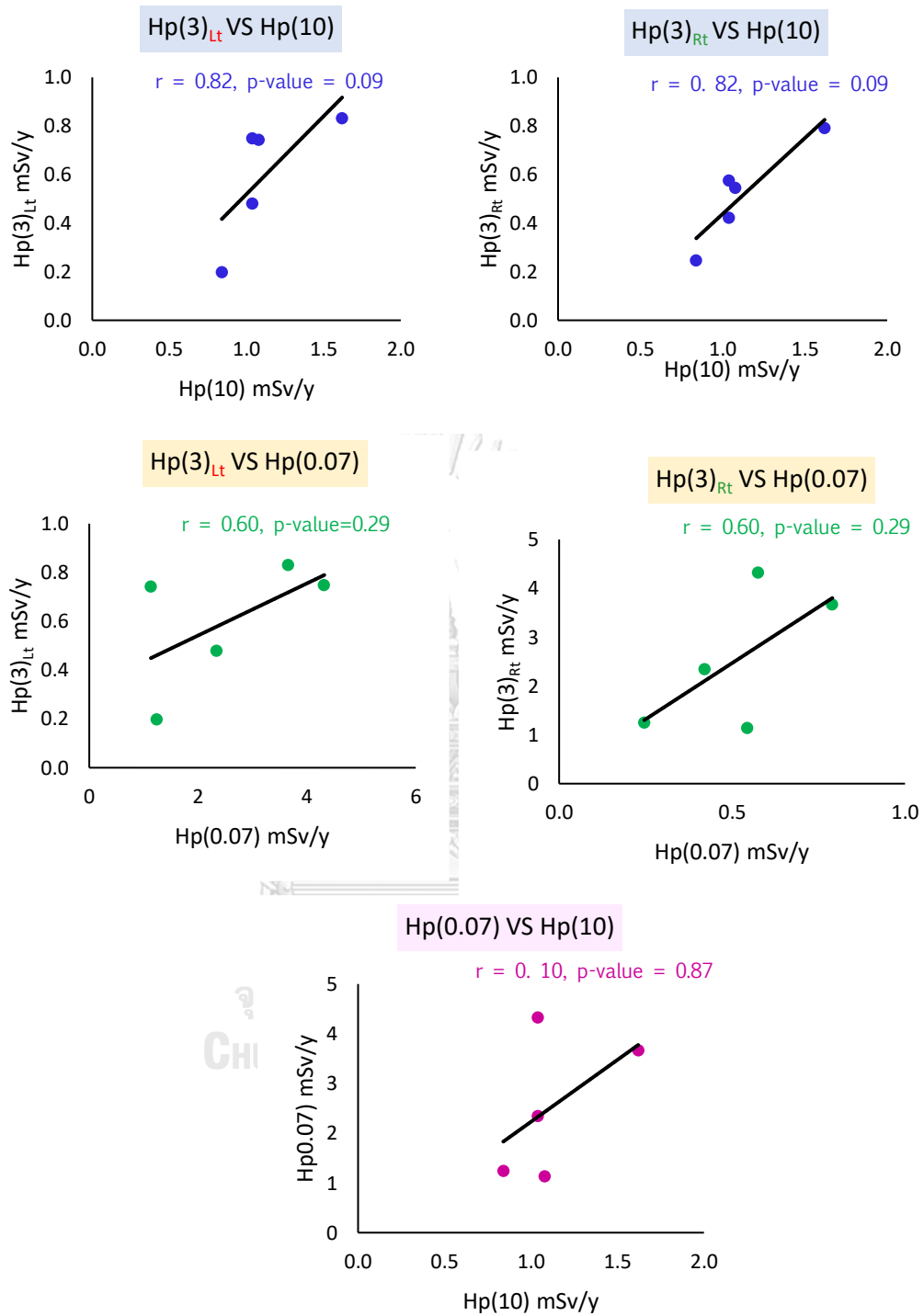


Figure 4.3 Correlations between Hp(3)_{Lt} VS Hp(10), Hp(3)_{Rt} VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3)_{Lt} VS Hp(0.07), and Hp(3)_{Rt} VS Hp(0.07) of five technologists at KCMH

CHAPTER V

DISCUSSION AND CONCLUSION

5.1 Whole body, eye lens, and finger dose measurement in nuclear medicine staff

5.1.1 Estimated annual personnel dose

Among the annual occupational dose, a radiopharmacist received the highest left eye lens, right eye lens, and finger doses at 4.66, 4.62, and 261.83 mSv/year, respectively. The radiopharmacist involved the preparation of ^{177}Lu and ^{68}Ga . ^{177}Lu emits beta particles with the highest energy of 497 keV. The activity per case ranges from 3.7-7.4 GBq (100 to 200 mCi), and there were thirteen cases for ^{177}Lu -PSMA and eight cases for ^{177}Lu -Dotatate in six months. For the ^{68}Ga , this radionuclide emits positron with 836 keV. The activity per case ranges from 111-185 MBq (3-5 mCi), and there were eighteen cases for ^{68}Ga -PSMA and one case for ^{68}Ga -Dotatate in six months. The cumulative activity within six months was 3.9 Ci. Most procedures of ^{177}Lu and ^{68}Ga preparation were manually the whole process and complex preparation resulting in long preparation time (about two hours). Also, during the data collection, we found that the ring dosimeter was worn outside the rubber gloves; if any contamination occurred, the ring would also be contaminated. These reasons confirm that the highest finger dose of 261.83 mSv/year, more than half of the dose limit for finger at 500 mSv/year.

Nurse number 1 received the highest whole body dose at 3.44 mSv/year as she injects radionuclides of positron emitter, ^{18}F and ^{68}Ga of higher gamma energies. Radiochemists received lowest average left and right eye lens doses of 0.40 and 0.44 mSv/year respectively due to the preparation of radiopharmaceuticals was mostly inside the fume hood with lead shield, and the eye lens dosimeter was outside the fume hood. The whole body dose was 1.76 mSv/year, while the finger dose was at 5.64 mSv/year because their hands were mostly inside the fume hood, dispensing high activity with a long-time preparation each day.

NM technologists received the lowest average whole body and finger doses at 1.12 and 2.54 mSv/year respectively because they stayed long-distance from the patient during the scan, including the radioactive decay. As the patients were well secure during the scan, there was no need to hold the patients.

NM nurses received the average whole body and finger doses at 2.59 and 3.21 mSv/year, respectively. As there were only two nurses in a workflow, one must inject for six months. Moreover, the whole body dose resulted from the short distance and no shielding between the nurse and patient when injected radiopharmaceutical, including multiple unit doses for injection to patients. The eye lens doses of nurses were slightly higher than the other staff because they are shorter than other staff at 150 cm in height. The nurses received low finger doses than other staff because of the use of a syringe shield with long experience of 15 years in injection.

The annual dose of Hp(10), Hp(3), and Hp(0.07) varied between the NM staff. According to the guideline of Basic Safety Standard (BSS), the annual dose should be within three-tenths of the ICRP dose limit. The results show that most of the dose equivalent were below three-tenths of the ICRP dose limit except for the finger dose of radiopharmacist was over the three-tenth of the ICRP dose limit. However, the annual personal dose of ten NM staff was not exceeding the ICRP dose limit.

The dose equivalent per radioactivity of radiopharmacist who prepared therapeutic doses with ^{177}Lu and ^{68}Ga for the patient was highest. This is confirmed that at the same activity, if the NM staff prepares the high energy radionuclides, he will receive a higher dose, especially for the therapeutic radionuclides that emit beta particles. And the radiochemists received the lowest dose equivalent per activity because the radiochemists prepare only the $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Radiochemist number 2 received the dose equivalent per unit radioactivity higher than radiochemist number 1 because of longer experience of radiochemist number 1.

NM technologist number 5 received the dose equivalent per unit radioactivity higher than other NM technologists because of a few years' experience compared to other technologists of more than 18 years.

Nurse number 1, the dose equivalent per unit radioactivity for Hp(10), Hp(3)_{Lt}, Hp(3)_{Rt}, and Hp(0.07) were 14.12, 7.79, 7.05, and 13.79 $\mu\text{Sv/GBq}$ respectively and were higher than Nurse number 2 at 0.07, 0.79, 0.74, and 1.04 $\mu\text{Sv/GBq}$ respectively because the nurse number 2 did not inject ^{18}F and ^{177}Lu .

5.1.2 Comparison of annual personnel occupational dose to other studies

In the comparison of the average dose equivalent with other studies, the result showed that the whole body and the eye lens dose in this study were higher than Bilaska et al. (7) but lower than Dabin et al. (5) study because, in Bilaska et al., they used only $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{131}I but in Dabin et al. involved more than two radionuclides as shown in table 5.1.

Table 5.1 Comparison of Hp(10), Hp(3)_{Lt}, Hp(3)_{Rt}, and Hp(0.07) mSv/year among this study and other studies.

Researchers	Average (Range) mSv/year			
	Hp(10)	Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}	Hp(0.07)
Piwowska-Bilaska et al. (1 NM department, 10 staff) ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I)	1.13 (0.4-3.88)	1.18 (0.80-3.00)		28.08 (0.40-104.20)
Dabin et al. (8 NM departments, 45 staff) ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{131}I , ^{68}Ga , ^{123}I , ^{11}C , ^{90}Y , ^{177}Lu , ^{223}Ra)	(0.90-8.00)	(0.60-9.30)		N/A
This study (1 NM department, 10 staff) ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{131}I , ^{68}Ga , ^{177}Lu)	1.73 (0.84-3.44)	1.19 (0.22-4.66)	1.24 (0.25-4.62)	29.22 (1.13-261.83)

In the comparison of the average eye lens dose per radioactivity of technologists to another study, in this study, the eye lens dose per radioactivity of technologists were higher than Bilaska et al. (7) owing to technologists in this study had calibrated ^{18}F and involved several radionuclide types from imaging and dispensing as shown in table 5.2.

Table 5.2 Comparison of the average eye lens dose per radioactivity of technologists to another study.

Researchers	Year	Hp(3) per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)	
		Hp(3) _{Lt}	Hp(3) _{Rt}
Piowarska-Bilska et al. (1 NM department, 10 staff) ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I)	2018	2.17	
This study (1 NM department, 10 staff) ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{131}I , ^{68}Ga , ^{177}Lu)	2019	3.11 (0.30-9.73)	2.41 (0.37-7.37)

The comparison of the average finger dose per radioactivity of radiochemists to another study, in this study, finger dose per radioactivity was less than Kopec et al. due to radiochemists in this study prepared only $^{99\text{m}}\text{Tc}$, but radiochemists in Kopec et al. prepared several radionuclides.

Table 5.3 Comparison of the average finger dose per radioactivity of radiochemists to another study.

Researchers	Year	Hp(0.07) per unit of radioactivity ($\mu\text{Sv}/\text{GBq}$)
Kopec et al. (3 NM departments, 23 staff) Center A ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , ^{153}Sm) Center B (^{18}F) Center C (^{18}F)	2018	39.4 419 407
This study (1 NM department, 10 staff) ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{131}I , ^{68}Ga , ^{177}Lu)	2019	4.00

5.2 Correlations between $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)$ VS $\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}$ VS $\text{Hp}(0.07)$

5.2.1 Comparison of $\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}/\text{Hp}(10)$, $\text{Hp}(0.07)/\text{Hp}(10)$,

$\text{Hp}(3)_{\text{Lt}}/\text{Hp}(0.07)$, and $\text{Hp}(3)_{\text{Rt}}/\text{Hp}(0.07)$ to other studies

In this study, $\text{Hp}(3)/\text{Hp}(10)$ of nurses close to one, similar to Bilaska et al. (7) and Kopec et al. (6) because of the syringe shield, was used when the nurses injected the radiopharmaceuticals as shown in table 5.4. The average ratio of $\text{Hp}(3)/\text{Hp}(10)$ and $\text{Hp}(0.07)/\text{Hp}(10)$ for nurses were possibly used for eye lens dose determination.

Table 5.4 Comparison of the average ratio of dose equivalent of nurses to other studies.

Researchers	Average Hp(3)/Hp(10)	
Piwowska-Bilska et al. (1 NM department, 10 staff) (^{99m} Tc, ¹³¹ I)	0.9	
Kopec et al. (3 NM departments, 23 staff) Center A (^{99m} Tc, ¹³¹ I, ¹⁵³ Sm) Center B (¹⁸ F) Center C (¹⁸ F)	0.7 0.9 -	
This study (1 NM department, 10 staff) (^{99m} Tc, ¹⁸ F, ¹³¹ I, ⁶⁸ Ga, ¹⁷⁷ Lu)	Hp(3) _{Lt}	0.84
	Hp(3) _{Rt}	0.78

5.2.2 Correlations between Hp(3)_{Lt} VS Hp(10), Hp(3)_{Rt} VS Hp(10), Hp(0.07) VS Hp(10), Hp(3)_{Lt} VS Hp(0.07), and Hp(3)_{Rt} VS Hp(0.07)

The correlation between five pairs of dose equivalents of nine NM staff, excluding radiopharmacist and five NM technologists using Spearman's correlation coefficient, shows no significant correlation between five pairs of dose equivalents. So, the estimation of the eye lens dose in nine NM staff from whole body or finger doses was not possible.

The correlations of dose equivalents in Bilska et al. and Dabin et al. were found, but in this study not found because of different personal experience, type of work in each position, radiation protection devices, source-to-dosimeter distance, exposure time, type and physical property of radionuclides.

Table 5.5 Comparison of correlations between $Hp(3)_{Lt}$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}$ VS $Hp(10)$, $Hp(0.07)$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}$ VS $Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}$ VS $Hp(0.07)$ to other studies

Researchers	Spearman's correlation coefficient				
	$Hp(3)_{Lt}/Hp(10)$	$Hp(3)_{Rt}/Hp(10)$	$Hp(0.07)/Hp(10)$	$Hp(3)_{Lt}/Hp(0.07)$	$Hp(3)_{Rt}/Hp(0.07)$
Piwowska-Bilska et al. (1 NM department, 10 staff) (^{99m}Tc , ^{131}I)	0.61 p-value<0.05		-	0.52 p-value<0.05	
Dabin et al. (8 NM departments, 45 staff) (^{99m}Tc , ^{18}F , ^{68}Ga , ^{123}I , ^{11}C , ^{131}I , ^{90}Y , ^{177}Lu , ^{223}Ra)	0.64 p-value<0.05		-	-	
This study (1 NM department, 10 staff) (^{99m}Tc , ^{18}F , ^{131}I , ^{68}Ga , ^{177}Lu)	0.54 p-value=0.14	0.58 p-value=0.11	0.46 p-value=0.21	0.03 p-value=0.93	0.12 p-value=0.76

5.3 Conclusion

The average whole body, left eye lens, right eye lens, and finger doses using OSLD in NM staff at KCMH were 1.73, 1.19, 1.24, and 29.22 mSv/y, respectively. The whole body and finger doses were less than the ICRP Publication Number 118 dose limit. Including eye lens does not exceed the new ICRP Publication Number 118 limit of 20 mSv/year. Eye lens dosimeters are not required for NM staff at KCMH. The whole body and finger dosimeters must be used to monitor personnel doses.

The correlations between the $Hp(3)_{Lt}$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{Rt}$ VS $Hp(10)$, $Hp(0.07)$ VS $Hp(10)$, $Hp(3)_{Lt}$ VS $Hp(0.07)$, and $Hp(3)_{Rt}$ VS $Hp(0.07)$ are 0.54 (p-value = 0.14), 0.58 (p-value = 0.11), 0.46 (p-value = 0.21), 0.03 (p-value = 0.93), and 0.12 (p-value = 0.76) respectively, There was no significant correlation between five pairs of dose equivalent.

Eye lens dose can be roughly estimated from the whole body and finger doses of the same person.

For recommendation, good radiation protection in radiopharmaceuticals preparation is one of the methods to reduce the radiation dose, such as using the syringe shield, also the proper distance between radionuclides and staff, including organizing the annual training course of radiation protection.

Relations and trends observed in this study are limited by a small number of NM staff who dispense and inject radiopharmaceuticals. Also, there is only one radiopharmacist and one department.



REFERENCES

1. ICRU 1985. Determination of dose equivalents resulting from external radiation sources, ICRU Report 39. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
2. Nuclear Energy Agency. Science and protection policy - publication 26 to publication 60:Dose limits. In: Evolution of ICRP recommendations 1977, 1990 and 2007. Paris, France: NEA; 2011. p. 15-40.
3. Jacob S, Michel M, Spaulding C, Boveda S, Bar O, Brezin AP, et al. Occupational cataracts and lens opacities in interventional cardiology (O'CLOC study): are X-Rays involved? Radiation-induced cataracts and lens opacities. BMC Public Health. 2010;10:537.
4. 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. Ann ICRP. 2012;41(1-2):1-322.
5. Dabin J, Kopec R, Struelens L, Szumska A, Tomaszuk M, Vanhavere F. Eye Lens Doses in Nuclear Medicine: A Multicentric Study in Belgium and Poland. Radiat Prot Dosimetry. 2016;170(1-4):297-301.
6. Kopec R, Budzanowski M, Budzynska A, Czepczynski R, Dziuk M, Sowinski J, et al. On the relationship between whole body, extremity and eye lens doses for medical staff in the preparation and application of radiopharmaceuticals in nuclear medicine. Radiation Measurements. 2011;46(11):1295-8.
7. Piwowarska-Bilska H, Supinska A, Iwanowski J, Birkenfeld B. Should Personnel of Nuclear Medicine Departments Use Personal Dosimeters for Eye Lens Dose Monitoring? Radiat Prot Dosimetry. 2019;183(3):393-6.
8. Akselrod MS, Botter-Jensen L, McKeever SWS. Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. Radiation Measurements. 2006;41:S78-S99.

9. Suzuki A, Ito M. Characteristics of OSL dosimeters. Japan; 2001. Contract No.: JAERI-Tech--2000-089.
10. E.N. Sanborn ELB. Sulfides of strontium, calcium, and magnesium in infrared-stimulated luminescence dosimetry. Proceedings of First International Conference on Luminescence Dosimetry (1967), pp. 183-191.
11. Perks CA, Yahnke C, Million M, editors. Medical dosimetry using optically stimulated luminescence dots and microStar readers. IRPA 12: 12 International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide; 2008; Argentina: SAR.
12. McKeever SWS, Moscovitch M, Townsend PD. Thermoluminescence dosimetry materials : properties and uses. Ashford, Kent, England: Nuclear Technology Pub.; 1995.
13. Kerns JR, Kry SF, Sahoo N, Followill DS, Ibbott GS. Angular dependence of the nanoDot OSL dosimeter. Med Phys. 2011;38(7):3955-62.
14. Bhatt BC, Kulkarni MS. Thermoluminescent Phosphors for Radiation Dosimetry. Defect and Diffusion Forum. 2013;347:179-227.
15. Jursinic PA. Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. Med Phys. 2007;34(12):4594-604.
16. Liamsuwan T, Wonglee S, Channuie J, Esoa J, Monthonwattana S. Investigation of the response characteristics of OSL albedo neutron dosimeters in a $^{241}\text{AmBe}$ reference neutron field. Journal of Physics: Conference Series. 2017;860:012021.
17. Vimolnoch M. Measurement of eye lens dose in interventional radiologist from TACE procedures using OSLD [dissertation]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2017.
18. Thana R. Eye lens dose measurement in patients during brain arteriovenous malformation intervention neuro-radiology procedure [dissertation]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2018.
19. Akyol F, Sarigul N, Yeginer M, Yedekci Y, Utku H. 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. *J Med Phys.* 2019;44(1):27-34.
20. Sudchai W, Sa-Ngan-Sat A. Inlight Optically Stimulated Luminescence for Occupational Monitoring Service in Thailand. *Progress in Nuclear Science and Technology.* 2012;3:94-6.
 21. LANDAUER. InLight® Dosimeter System Solution, nanoDot® Dosimeter 2011 [cited 2020 February 9]. Available from: <https://www.nagase-landauer.co.jp/english/inlight/pdf/Dosimeters/nanodot.pdf>.
 22. Butson M, Haque M, Smith L, Butson E, Odgers D, Pope D, et al. Practical time considerations for optically stimulated luminescent dosimetry (OSLD) in total body irradiation. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine.* 2017;40(1):167-71.
 23. Yukihiro EG, Gaza R, McKeever SWS, Soares CG. Optically stimulated luminescence and thermoluminescence efficiencies for high-energy heavy charged particle irradiation in Al₂O₃:C. *Radiation Measurements.* 2004;38(1):59-70.
 24. Yukihiro EG, McKeever SW. Optically stimulated luminescence (OSL) dosimetry in medicine. *Phys Med Biol.* 2008;53(20):R351-79.
 25. Dunn L, Lye J, Kenny J, Lehmann J, Williams I, Kron T. Commissioning of optically stimulated luminescence dosimeters for use in radiotherapy. *Radiation Measurements.* 2013;51-52:31-9.
 26. Wesolowska PE, Cole A, Santos T, Bokulic T, Kazantsev P, Izewska J. Characterization of three solid state dosimetry systems for use in high energy photon dosimetry audits in radiotherapy. *Radiation Measurements.* 2017;106:556-62.
 27. Weber DA, Makler PT, Jr., Watson EE, Coffey JL, Thomas SR, London J. Radiation absorbed dose from technetium-99m-labeled bone imaging agents. Task Group of the Medical Internal Radiation Dose Committee, The Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Med.* 1989;30(6):1117-22.

28. Herbert R, Kulke W, Shepherd RT. The use of technetium 99m as a clinical tracer element. *Postgrad Med J*. 1965;41(481):656-62.
29. Stanford University. Environmental health & safety. Radionuclide safety data sheet [cited 2020 April 3]. Available from: <https://ehs.stanford.edu/reference/tc-99m-radionuclide-fact-sheet.pdf>.
30. University of Michigan. Environment health&safety. Radiological safety guidance. Technetium - 99m [cited 2020 April 3]. Available from: <https://ehs.umich.edu/wp-content/uploads/2016/04/Technetium-99m.pdf>.
31. Smith E. Properties, uses, radiochemical purity and calibration of Tc99m. *Journal of nuclear medicine*. 1964;5(11):871-82.
32. University of Michigan. Environment health&safety. Radiological safety guidance. Iodine - 131 [cited 2020 April 3]. Available from: <https://ehs.umich.edu/wp-content/uploads/2016/04/Iodine-131.pdf>.
33. Aljubei wa, Shaheen A, Zalloum O. Radioiodine I-131 for Diagnosing and Treatment of Thyroid Diseases 2012.
34. Wyszomirska A. Iodine-131 for therapy of thyroid diseases. Physical and biological basis. *Nucl Med Rev Cent East Eur*. 2012;15(2):120-3.
35. Jacobson O, Kieseewetter DO, Chen X. Fluorine-18 Radiochemistry, Labeling Strategies and Synthetic Routes. *Bioconjugate Chemistry*. 2015;26(1):1-18.
36. Ermert J, Neumaier B. The Radiopharmaceutical Chemistry of Fluorine-18: Nucleophilic Fluorinations. In: Lewis JS, Windhorst AD, Zeglis BM, editors. *Radiopharmaceutical Chemistry*. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 273-83.
37. Zimmerman BE, Cessna JT, Fitzgerald R. Standardization of (68)Ge/(68)Ga Using Three Liquid Scintillation Counting Based Methods. *J Res Natl Inst Stand Technol*. 2008;113(5):265-80.
38. Bjornstad T, Portela JI, Brisset P, Chankow N, Charlton JS, Solis MA, et al. Radiotracer generators for industrial applications, IAEA Radiation Technology Series No. 52013.

39. LANDAUER. InLight® Dosimeter System Solution, InLight® Dosimeter 2011 [cited 2020 Febuary 9]. Available from: <https://www.nagase-landauer.co.jp/english/inlight/pdf/Dosimeters/inlightdosimeters.pdf>.



APPENDIX A
Case record form

Table A.1 Basic information of NM staff

Staff	Position	Age (years)	Gender	Height (cm)	Experience (years)
PH					
CM1					
CM2					
RT1					
RT2					
RT3					
RT4					
RT5					
N1					
N2					

APPENDIX B
Information sheet

ชื่อโครงการวิจัย การวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือที่ได้จากการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่
ทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

ผู้วิจัยหลัก

ชื่อ นางศิริวรรณ ศรีใส
ที่อยู่ทำงานหรือสถานศึกษาของผู้วิจัย หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน -
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ 24 ชั่วโมง 089-8966549

ผู้วิจัยร่วม (ทุกท่าน)

ชื่อ รศ.ดร.อัญชลี กฤษณจินดา
ที่อยู่ทำงานหรือสถานศึกษาของผู้วิจัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 02-256-4000 ต่อ 80309
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ 24 ชั่วโมง 081-6305890

เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ เนื่องจากท่านเป็นเจ้าหน้าที่ของสาขาเวชศาสตร์
นิวเคลียร์ที่ต้องปฏิบัติงานกับสารกัมมันตรังสีที่มีความแรงรังสีสูง จึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับรังสีใน
ปริมาณที่สูง ข้าพเจ้าจึงเห็นความสำคัญของการวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือของท่าน
ก่อนท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้
ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียด ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เพิ่มเติม
กรุณาซักถามจากข้าพเจ้า

ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

เหตุผลความเป็นมา

เอชพีดี (Hp(d)) หรือปริมาณรังสีสมมูลส่วนบุคคลที่ความลึก d มิลลิเมตร (ม.ม.) จากผิวหนัง (equivalent dose; Hp) เป็นปริมาณรังสีที่ใช้สำหรับตรวจติดตามการได้รับรังสีที่ความลึกจากผิวหนังที่ได้รับ d ม.ม. ในบุคลากรทางรังสีที่ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสี สามารถวัดได้จากการใช้แผ่นวัดรังสีส่วนบุคคลซึ่งคณะกรรมการระหว่างประเทศด้านหน่วยและการวัดทางรังสี หรือ ไอซีอาร์ยู (ICRU ย่อจาก International Commission on Radiological Units and Measurements) แนะนำว่าปริมาณรังสีสมมูลส่วนบุคคลควรจำเพาะเจาะจงที่ความลึก ดังต่อไปนี้คือ ที่ความลึก 0.07 ม.ม. สำหรับปริมาณรังสีที่ผิวหนัง หรือส่วนรยางค์ (Hp(0.07)) ที่ความลึก 3 ม.ม. สำหรับปริมาณรังสีที่เลนส์ตา (Hp(3)) และที่ความลึก 10 ม.ม. สำหรับปริมาณรังสีที่ลำตัว (Hp(10))

ในปี ค.ศ.1991 ไอซีอาร์ยู ฉบับที่ 60 แนะนำว่าขีดของปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือของบุคลากรทางรังสีไม่ควรเกิน 20 150 และ 500 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี (millisieverts per year) ตามลำดับ และในปี ค.ศ.2012 ไอซีอาร์ยู ฉบับที่ 118 ได้ลดขีดจำกัดปริมาณรังสีที่เลนส์ตาของบุคลากรทางรังสีลงโดยปริมาณรังสีที่เลนส์ตา ไม่ควรเกิน 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี เฉลี่ยจากการทำงาน 5 ปีติดต่อกัน

การทำงานของบุคลากรทางรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ต้องมีความเกี่ยวข้องกับการใช้สารกัมมันตรังสีที่มีความแรง (activity) สูง เช่น ไอโอดีน 131 (^{131}I) เทคนีเชียม 99 เอ็ม ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) แกลเลียม 67 (^{67}Ga) สตรอนเชียม 153 (^{153}Sr) ฟลูออรีน 18 (^{18}F) อิทเทรียม 90 (^{90}Y) เป็นต้น ซึ่งหน้าที่ความรับผิดชอบในการวินิจฉัยและรักษาด้วยการใช้สารกัมมันตรังสีทำให้บุคลากรทางรังสีมีโอกาสได้รับรังสีปริมาณสูงโดยเฉพาะบริเวณมือแขนขา เช่น

- นักรังสีเทคนิค มีหน้าที่เตรียมและบริหารไอโอดีน 131 ให้ผู้ป่วยกินเพื่อรักษาโรคมะเร็งไทรอยด์และผู้ป่วยที่มีภาวะต่อมไทรอยด์ทำงานมากผิดปกติ และยังมีหน้าที่รับผิดชอบงานถ่ายภาพการตรวจที่ใช้สารเภสัชรังสี
- นักเคมี มีหน้าที่เตรียมสารเภสัชรังสีในห้องปฏิบัติการรังสี (hot lab)
- พยาบาล มีหน้าที่ฉีดสารเภสัชรังสีให้แก่ผู้ป่วย

ผู้วิจัยหลายท่านรายงานการได้รับปริมาณรังสีที่ตาของรังสีแพทย์งานรังสีร่วมรักษาและ ศัลยแพทย์โรคหัวใจที่ได้รับจากการตรวจรักษาผู้ป่วยว่าเกินขีดจำกัดที่ไอซีอาร์ยูกำหนด และยังพบ

รายงานอุบัติการณ์โรคต้อกระจก (cataract) จากการได้รับรังสีที่ตาในแพทย์โรคหัวใจและรังสีแพทย์งานรังสีร่วมรักษาอีกด้วย แต่รายงานการได้รับรังสีที่ตาในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ยังพบไม่มาก

ในประเทศไทยมีการวัดปริมาณรังสีที่ลำตัวของเจ้าหน้าที่ทางด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์เป็นประจำ แต่สำหรับปริมาณรังสีที่นิ้วมือและที่ตายังคงต้องใช้การประมาณค่าอยู่ และยังไม่พบว่ามีรายงานการใช้เครื่องวัดรังสีส่วนบุคคลชนิดโอเอสแอลดี (OSLD; Optically Stimulated Luminescence Dosimeter) วัดปริมาณรังสีที่ตาในเจ้าหน้าที่ด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ดังนั้น การวัดปริมาณรังสีในบุคลากรทางรังสีด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์จึงมีความสำคัญมาก ในงานวิจัยนี้จึงวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว ตา และนิ้วมือ โดยการใช้เครื่องวัดรังสีส่วนบุคคลชนิดโอเอสแอลดีและยังหาค่าสัดส่วนของปริมาณรังสีที่ลำตัว ตา และนิ้วมือ เพื่อประเมินค่าปริมาณรังสีที่ตาและนิ้วมือด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักจากการศึกษานี้เพื่อวัดปริมาณรังสีประจำปีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือ โดยใช้แผ่นวัดรังสีบุคคลชนิดโอเอสแอลดี (OSLD) ของเจ้าหน้าที่สาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้เตรียมและบริหารสารเภสัชรังสีที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

วัตถุประสงค์รองคือ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่ลำตัวกับปริมาณรังสีที่เลนส์ตา และปริมาณรังสีที่นิ้วมือกับปริมาณรังสีที่นิ้วมือ และปริมาณรังสีที่เลนส์ตากับปริมาณรังสีที่นิ้วมือ

วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

หลังจากท่านให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอให้ท่านติดแผ่นวัดรังสีที่เล็บบริเวณหน้าอก ที่ตาโดยใช้ยางยืดคาดรอบศีรษะตามที่ผู้วิจัยเตรียมมาให้ และที่นิ้วมือภายใต้ถุงมือเพื่อวัดปริมาณรังสีในบริเวณดังกล่าว โดยจะขอให้ท่านติดแผ่นวัดรังสีเป็นเวลาอย่างน้อย 9 เดือน โดยทุกๆ 3 เดือน ผู้วิจัยจะทำการเก็บแผ่นวัดรังสีจากท่านเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณรังสี และนำแผ่นวัดรังสีชุดใหม่มาให้ท่านติดต่อไปเช่นนี้จนครบ 9 เดือน

โดยตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัยคือ 9 เดือนและผู้วิจัยจะมาพบท่านเพื่อเปลี่ยนแผ่นวัดรังสี อย่างน้อย 3 ครั้ง

ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จผู้วิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้วิจัย โดยการติดแผ่นวัดรังสีทุกครั้งปฏิบัติงานกับสารกัมมันตรังสีและสารเภสัชรังสี หรือ กับผู้ป่วยที่ได้รับการบริหารสารกัมมันตรังสีและสารเภสัชรังสีเข้าไปในร่างกายแล้วอย่างเคร่งครัด

และระหว่างที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านแจ้งผู้ทำวิจัยทุกครั้งเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสี หรือเมื่อท่านต้องเข้าไปแก้ปัญหาใกล้แหล่งที่มีสารกัมมันตรังสีนั้นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ท่านได้รับรังสีมากกว่าปกติที่ได้รับจากการปฏิบัติงานประจำ

ความเสี่ยงที่อาจได้รับ

ในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ท่านอาจต้องเสียเวลาเพื่อใส่แผ่นวัดรังสีติดตัว และอาจเกิดความรำคาญที่ต้องติดแผ่นวัดรังสีในขณะที่ปฏิบัติงาน และอาจเป็นเป้าสายตาจากผู้พบเห็นเนื่องจากการติดแผ่นวัดรังสี ที่ตา

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่านในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันทีเพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไปหรือจะขอถอนตัวออกจากกรวิจัย

ประโยชน์ที่อาจได้รับ

ผลการศึกษาที่ได้จะทำให้ท่านทราบถึงปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือ ที่ท่านได้รับจากการปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งถ้าปริมาณรังสีที่ท่านได้รับมีค่าสูง จะทำให้ท่านตระหนักและทบทวนกระบวนการ วิธีการปฏิบัติงาน และการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีเพื่อให้ท่านได้รับรังสีน้อยที่สุด

วิธีการและรูปแบบการรักษาอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่สำหรับอาสาสมัคร

ท่านไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมโครงการวิจัยเนื่องจากท่านมีแผ่นวัดรังสีที่ลำตัว และ นิ้วมือเป็นประจำอยู่แล้ว ดังนั้นท่านควรคิดไตร่ตรองก่อนตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัยนี้

ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย

ขอให้ท่านปฏิบัติดังนี้

- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางรังสี และท่านต้องเข้าไปใกล้สารกัมมันตรังสีระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย

อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที หากท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน อีกทั้งจะได้รับการชดเชยการสูญเสียเวลา เสียรายได้ตามความเหมาะสม

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นางศิริวรรณ ศรีใส หมายเลขโทรศัพท์ 089-8966549 ติดต่อกับได้ 24 ชั่วโมง

ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย

ท่านจะได้รับแผ่นวัดรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือ ในโครงการวิจัยโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (ค่าใช้จ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย เช่น ค่าวิเคราะห์ปริมาณรังสีทางห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมด)

ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัย

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย

การประกันภัยเพื่อคุ้มครองผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยไม่ได้ทำประกันภัยให้แก่ผู้เข้าร่วมการวิจัย

การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลใดๆ ต่อท่าน

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย
- ท่านตั้งครรหระหว่างที่เข้าร่วมโครงการวิจัย

การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลนี้อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่เกิดการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน

จากการลงนามยินยอมของท่าน ผู้ทำวิจัย คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย ผู้ตรวจสอบการวิจัย และหน่วยงานควบคุมระเบียบกฎหมาย สามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้ แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม โดยไม่ละเมิดสิทธิของท่านในการรักษาความลับเกินขอบเขตที่กฎหมายและระเบียบกฎหมายอนุญาตไว้

การยกเลิกการให้ความยินยอม

หากท่านต้องการยกเลิกการให้ความยินยอมดังกล่าว ท่านสามารถแจ้ง หรือเขียนบันทึกขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งไปที่ นางศิริวรรณ ศรีใส หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากท่านขอยกเลิกการให้คำยินยอมหลังจากที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะไม่ถูกบันทึกเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามข้อมูลอื่นๆ ของท่านอาจถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลการวิจัย และท่านจะไม่สามารถกลับมาเข้าร่วมในโครงการนี้ได้อีก ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลของท่านที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่อการวิจัยไม่ได้ถูกบันทึก

สิทธิของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัยทางการแพทย์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะได้รับการเปิดเผยถึงอุปกรณ์วัดรังสีซึ่งมีผลดีต่อท่านรวมทั้งประโยชน์และความเสี่ยงที่ท่านอาจได้รับ

6. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
7. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
8. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
9. ท่านมีสิทธิในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรต่อการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่ สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตึกอำนวยการชั้น 3 ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2256-4493 ในเวลาราชการ หรือ e-mail : medchulairb@chula.ac.th

การลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ขอขอบคุณในการให้ความร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

APPENDIX C

Consent form

ใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง การวัดปริมาณรังสีที่ลำตัว เลนส์ตา และนิ้วมือที่ได้จากการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ทาง
เวชศาสตร์นิวเคลียร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

วันที่ให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้านาย/นาง/นางสาว.....

ที่อยู่.....ได้อ่านรายละเอียด

จากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่.....และข้าพเจ้า
ยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม และ
วันที่ พร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการ
วิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาของการทำวิจัย วิธีการ
วิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย และ
แนวทางรักษาโดยวิธีอื่นอย่างละเอียด ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมี
ความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่างๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้า
พอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการ
รักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยไม่ได้รับการชดเชยจากผู้สนับสนุนการวิจัย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล และ
การบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับ
การยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนอาจ
ได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อ
ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอมที่
จะให้มีการตรวจสอบข้อมูลประวัติทางการแพทย์ของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคต

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม
(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง
วันที่เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์ หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

.....ลงนามผู้ทำวิจัย
(.....) ชื่อผู้ทำวิจัย ตัวบรรจง
วันที่เดือน.....พ.ศ.....

.....ลงนามพยาน
(.....) ชื่อพยาน ตัวบรรจง
วันที่เดือน.....พ.ศ.....

APPENDIX D

Quality control of radionuclide dose calibrator

Hospital King Chulalongkorn Memorial Hospital

Room Hot lab on the 3rd floor, Bhumisiri Manglanusorn Building

Date 28 April 2020

Dose calibrator model CRC-25R Manufacturer Capintec, Inc.

Test performed by Mrs. Siriwan Sisai

Test of precision and accuracy

Objective

To test the precision and accuracy of radionuclide dose calibrator in activity measurements in standard geometry at selected gamma-radiation energies.

Materials

Sealed low, medium, and high energy gamma-radiation source (standard vial-type).

Radioisotope standard source (^{57}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs)

Methods

1. Inspect the instrument housing for evidence of damage.
2. Note the background reading to be subtracted from subsequently measured activities. Alternatively, if an adjustable zero control is provided, adjust this for zero reading.
3. Insert the source into the source holder by means of the remote handling device and introduce the source holder into the instrument.
4. Measure and record the activity of standard source.
5. Repeat step 4 to a total of 10 successive measurements.

Data analysis

1. To assess precision, calculate for each source the percentage differences between the individual measured activities, A_i and their mean, \bar{A} , that is:

$$\% \text{ Precision} = \frac{100(A_i - \bar{A})}{\bar{A}} \%$$

A_i = The individual measured activity

\bar{A} = Mean measured activity

2. To assess accuracy, calculate for each source the percentage difference between the mean measured activity, \bar{A} , and the certified activity of the source corrected for radioactive decay to the day of measurement, c , that is:

$$\% \text{ Accuracy} = \frac{100(\bar{A} - c)}{c} \%$$

\bar{A} = Mean measured activity

c = Corrected decay activity

Results

1. Precision

Table D.1 Percentage of differences for precision test

No.	Radionuclides activity (A _i)								
	⁵⁷ Co (μCi)			¹³³ Ba (μCi)			¹³⁷ Cs (μCi)		
	A _i	A _i - B _g	%Precision	A _i	A _i - B _g	%Precision	A _i	A _i - B _g	%Precision
1	534.1	512.9	0.13	229.1	207.9	0.05	202.5	181.3	0.03
2	532.3	511.1	0.22	228.4	207.2	0.38	202.3	181.1	0.08
3	534.5	513.3	0.20	228.3	207.1	0.43	201.3	180.1	0.63
4	533.2	512.0	0.05	229.2	208.0	0.00	201.1	179.9	0.74
5	534.1	512.9	0.13	230.1	208.9	0.43	202.9	181.7	0.25
6	532.5	511.3	0.19	228.8	207.6	0.19	203.1	181.9	0.36
7	532.4	511.2	0.20	229.7	208.5	0.24	202.1	180.9	0.19
8	533.6	512.4	0.03	229.6	208.4	0.19	201.4	180.2	0.57
9	534.1	512.9	0.13	228.6	207.4	0.29	202.0	180.8	0.24
10	533.7	512.5	0.05	230.2	209.0	0.48	202.5	181.3	0.03
Average	533.5	512.25	0.13	229.2	208.0	0.27	202.1	180.92	0.31

Limits of acceptability; ±5%

Result; Pass

2. Accuracy

Table D.2 Percentage of differences for accuracy test

Radioisotope standard source	Initial activity (μCi)	Reference date	Activity (μCi)		%Accuracy
			Calculated	Measured	
⁵⁷ Co	5480	24/10/2017	528	534	1.20
¹³³ Ba	264	27/11/2017	228.98	229	0.01
¹³⁷ Cs	267	01/06/2006	194	202	3.90

Limits of acceptability; ±10%

Result; Pass

VITA

NAME Siriwan Sisai

DATE OF BIRTH 21 Oct 1984

PLACE OF BIRTH Phitsanulok Province

INSTITUTIONS ATTENDED Bachelor of Science, Radiological Technology Program,
Department of Radiological Technology, Faculty of Allied
Health Sciences, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

HOME ADDRESS 89 / 305 M.1 Bangtoei, Samphran, Nakhonpathom, Thailand

AWARD RECEIVED Best Oral Presentation Award in Nuclear Medicine of 17th
South-East Asia Congress of Medical Physics (SEACOMP) &
3rd Annual Scientific Meeting on Medical Physics and
Biophysics (PIT-FMB) Meeting on 8-10 August 2019, Bali,
Indonesia

The Best Poster Presentation to the 31st Academic Annual
Meeting on 19-21 February 2020 at Rajavithi Hospital
Bangkok Thailand