

RADIATION PROTECTION IN NUCLEAR MEDICINE

การป้องกันอันตรายจากรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

Krisanat Chuamsaamarkkee Ph.D.

Nuclear Medicine, Department of Radiology
Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital,
Mahidol University, Bangkok, THAILAND
E-mail Krisanat.chu@mahidol.ac.th

LECTURE OUTLINE

- What is Nuclear Medicine?
- Radiopharmaceutical
- Radiation Units
- Radiation Protection in Nuclear Medicine
 - Radiation Exposure
 - Radiation Protection Principle
 - How to work safely with radionuclide?
 - Monitoring Equipment
 - Dose Limit
 - Radiation Vs. Cancer

รังสีวินิจฉัย



รังสีรักษา



เวชศาสตร์
นิวเคลียร์



TYPE OF RADIATION SOURCE IN MEDICINE

• Sealed source (ต้นกำเนิดรังสีชนิดปิดผนึก)

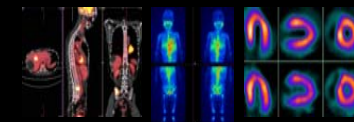
วัสดุกัมมันตรังสีซึ่งถูกห่อหุ้มอย่างมิดชิด และอยู่ในรูปของแข็ง วัสดุที่ห่อหุ้มต้องมีความแข็งแรง ทนทานเพียงพอที่จะป้องกันการรั่วของสารกัมมันตรังสีภายใต้สภาวะการใช้งานปกติ รวมถึงสภาวะที่อาจมีเหตุผิดปกติเกิดขึ้น

• Unsealed source (ต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก)

วัสดุกัมมันตรังสีที่ไม่ใช่ sealed source ไม่มีการบรรจุหรือห่อหุ้มปิดผนึกอย่างมิดชิดด้วยวัสดุอื่นใด การใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดนี้อาจเกิดการแพร่กระจาย ทั้งกระจาย หกเปื้อนเปื้อน ซึ่งรั่วออกจากภาชนะบรรจุได้



"สารกัมมันตรังสี"



TYPE OF RADIATION SOURCE IN MEDICINE

- Sealed source – used for therapeutic, calibration and quality control

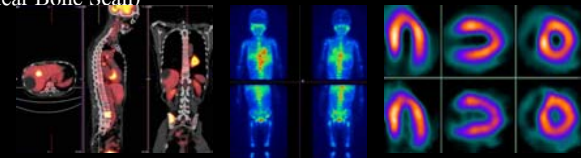


- Unsealed source – all of the radiopharmaceuticals



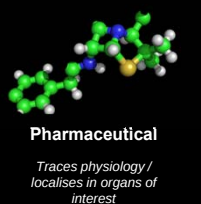
การตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์

- เป็นการนำ “สารกัมมันตรังสี” ในรูปแบบ สารเภสัชรังสี (Radiopharmaceuticals) เข้าสู่ร่างกายของผู้ป่วย เพื่อใช้ในการวินิจฉัย หรือการรักษาโรคบางชนิด โดยอาศัยการถ่ายภาพรังสีที่แพร่ออกมาจากตัวผู้ป่วย โดยเน้นข้อมูลการทำงานทางสรีรวิทยา (Physiological Function) ของร่างกาย อวัยวะ หรือเนื้อเยื่อ เช่น การหาค่าการกรองของไต (GFR – Glomerular Filtration Rate), การตรวจการทำงานของหัวใจ (LVEF – Left Ventricular Ejection Fraction), การตรวจกระดูก (Nuclear Bone Scan)



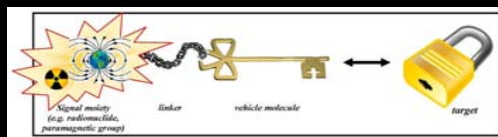
RADIOPHARMACEUTICALS

Administration - injection, swallowing and/or inhalation



+

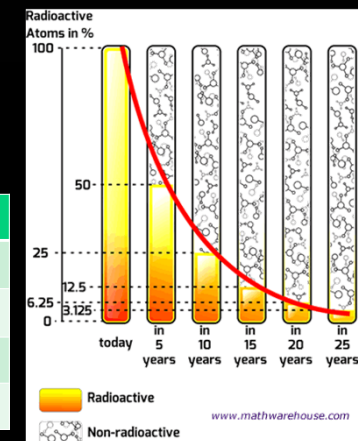
Biochemical Bonding



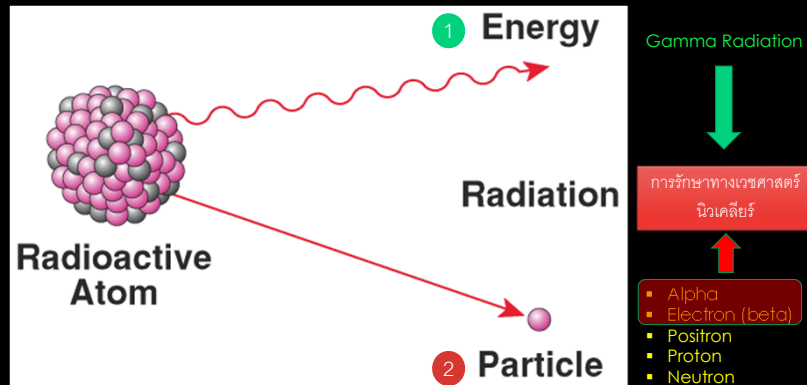
ค่าครึ่งชีวิต

- ค่าครึ่งชีวิต (Half life) ของสารกัมมันตรังสี – ระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีนั้น ๆ จะสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้น ๆ

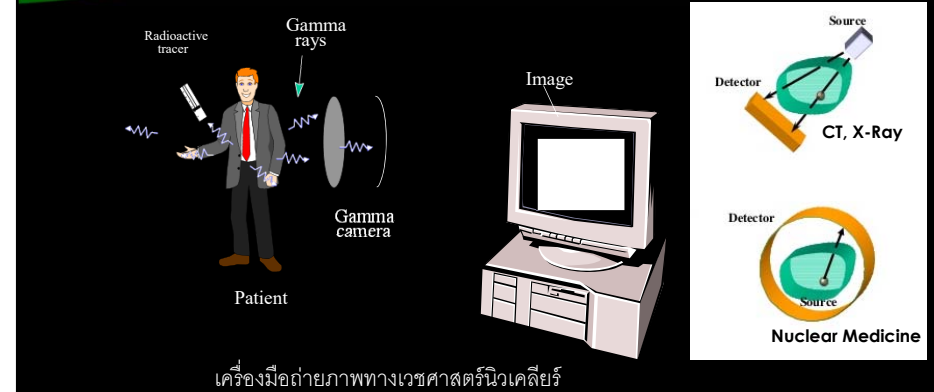
Nuclide	Half-Life	Usage
Technetium-99m	6.0 ชั่วโมง	งานถ่ายภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เช่น การตรวจกระดูก หัวใจ
Iodine-131	8.1 วัน	การรักษาในทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เช่น โรคของต่อมไทรอยด์
Fluorine - 18	110 นาที	การตรวจในเครื่อง PET
Caesium - 137	30.7 ปี	การควบคุม ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ



RADIOACTIVE NUCLIDE

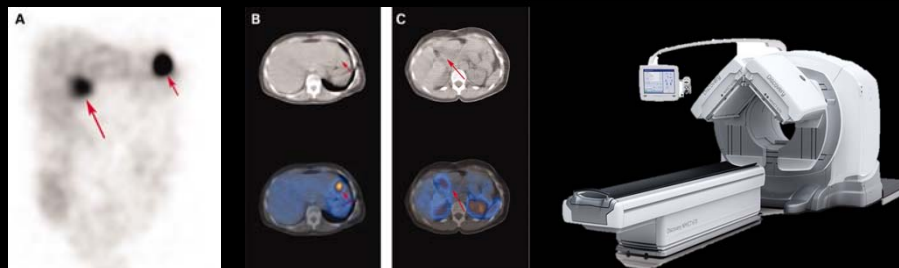


การถ่ายภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



HYBRID IMAGING

- In the past, nuclear medicine emphasise on “physiology” but nowadays good facility needs high spatial resolution and sensitivity (we call **Hybrid Imaging**)



งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

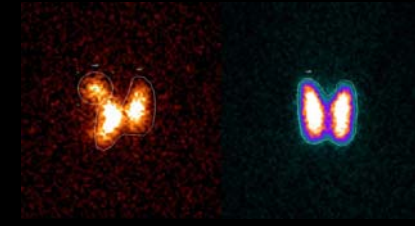
การวินิจฉัยทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



The major radionuclide used for diagnostic nuclear medicine procedures is **Technetium-99m (^{99m}Tc)**

- Gamma Photon 140 keV
- Physical Half-life 6 h.

การรักษาทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



The most common radionuclide used for therapeutic nuclear medicine is **Iodine-131 (^{131}I)**

- Mean **Beta** Energy 182 keV
- Gamma Photon 364 keV
- Physical Half-life 192 h.

การตรวจกระดูกทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



^{99m}Tc - diphosphonates
(MDP - methylene diphosphonate)



20 - 40 นาที

2-4 ชั่วโมง ผู้ป่วยดื่มน้ำเยอะ ๆ



ภาพ: คุณวิโรจน์ ช่างม่วง - หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ร.พ. รามาธิบดี



SPECT



SPECT/CT

ภาพ: คุณวิโรจน์ ช่างม่วง - หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ร.พ. รามาธิบดี



CARDIAC SPECT

ภาพ: คุณวิโรจน์ ช่างม่วง - หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ร.พ. รามาธิบดี



PET-CT

ภาพ: คุณวิโรจน์ ช่างม่วง - หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ร.พ. รามาธิบดี

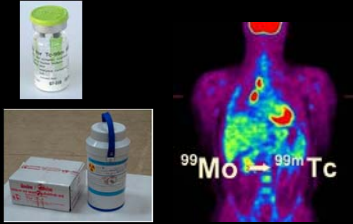
ใช้สารเภสัชรังสีที่ให้รังสีโพสิตรอนในการตรวจ เช่น Fluorine 18

สารเภสัชรังสี	การวินิจฉัย
^{99m}Tc -MDP	ตรวจกระดูก
^{99m}Tc -MIBI	ตรวจหัวใจ
^{99m}Tc -MAA	ตรวจปอด
^{99m}Tc -MAG3	ตรวจไต
^{18}F -FDG	การกระจายของมะเร็ง
^{131}I -Na	ตรวจต่อมไทรอยด์

เนื้อหาและแผนภาพ: คุณวิจิตร ช่างม่วง – หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ร.พ. รามาธิบดี

งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์

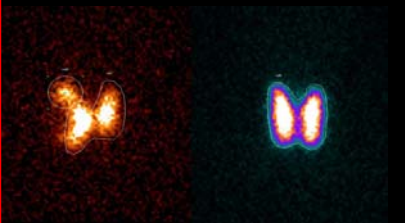
การวินิจฉัยทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



The major radionuclide used for diagnostic nuclear medicine procedures is **Technetium-99m** (^{99m}Tc)

- Gamma Photon 140 keV
- Physical Half-life 6 h.

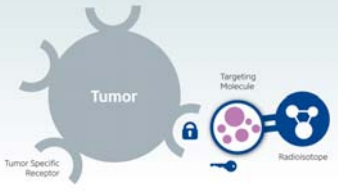
การรักษาทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



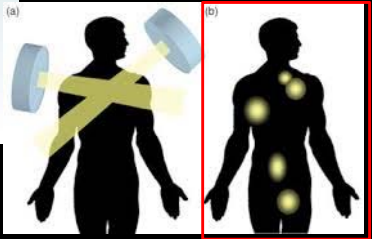
The most common radionuclide used for therapeutic nuclear medicine is **Iodine-131** (^{131}I)

- Mean Beta Energy 182 keV
- Gamma Photon 364 keV
- Physical Half-life 192 h.

การรักษาทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์



การรักษาทงเวชศาสตร์นิวเคลียร์
ด้วยสารเภสัชรังสี
(Radionuclide Therapy)



รังสีรักษา (แหล่งกำเนิดภายนอก)
External Beam
Radiotherapy

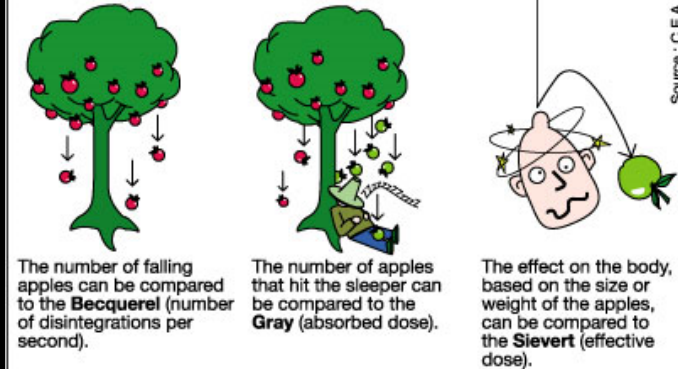
สารเภสัชรังสีที่ใช้ในการรักษา

^{131}I -NaI	(Thyroid disease)	
^{131}I -MIBG	(Neuroblastoma)	
^{131}I -Rituximab	(B-cell Lymphoma)	
^{90}Y -Zevalin	(B-cell Lymphoma)	
^{90}Y - resin microsphere	(Hepatocellular carcinoma)	
^{89}Sr -chloride		Bone pain palliation
^{153}Sm -EDTMP		
^{223}Ra -dichloride (alpha therapy)		

ปริมาณและหน่วยวัดทางรังสี

ปริมาณ	คำอธิบาย	หน่วย	
ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)	การสลายของกัมมันตภาพรังสีต่อหน่วยเวลา แสดงถึง ความแรงของรังสี	Becquerel (Bq), Curie (Ci)	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq
ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed Dose)	ปริมาณพลังงานที่วัตถุดูดกลืนเมื่อได้รับรังสี	Rad, Gray	1 Gy = 100 Rad
ปริมาณรังสีสัมมูล (Equivalent Dose)	ปริมาณรังสีดูดกลืนคูณกับ Radiation Weighting Factor ในอวัยวะหรือเนื้อเยื่อ เนื่องจากรังสีแต่ละชนิด (เช่น แกมมา, แอลฟา หรือ นิวตรอน) ส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อไม่เท่ากัน	Sievert (Sv), REM	1 Sv = 100 REM
ปริมาณรังสีมีผล (Effective Dose)	ผลคูณของ Tissue Weighting Factor กับปริมาณรังสีสัมมูล เนื่องจากอวัยวะหรือเนื้อเยื่อความไวไม่เท่ากัน		

Units of measure for radioactivity



LECTURE OUTLINE

- What is Nuclear Medicine?
- Radiopharmaceutical
- Radiation Units
- **Radiation Protection in Nuclear Medicine**
 - Radiation Exposure
 - Radiation Protection Principle
 - How to work safely with radionuclide?
 - Monitoring Equipment
 - Dose Limit
 - Radiation Vs. Cancer

RADIATION EXPOSURE

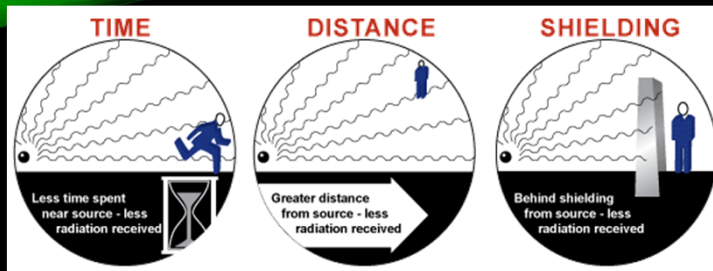
External Exposure

- การรับรังสีจากแหล่งกำเนิดภายนอกร่างกาย
- **X-Ray, CT, Fluoroscope**, เครื่องฉายรังสี
- สารกัมมันตรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์, สารเภสัชรังสี

Internal Exposure

- การรับรังสีจากแหล่งกำเนิดในร่างกาย
- การกิน, สูด, กลืนสารกัมมันตรังสี, สารเภสัชรังสี เพื่อตรวจรักษาหรือไม่ได้ตั้งใจ
- อุปกรณ์ตรวจรังสี

PROTECTION FROM RADIATION



PATIENT AS SOURCE OF EXPOSURE²⁶



Examination	Dose rate [nGy/h/MBq]					
	0 h post inj			2 h post inj		
	0 m	0.3 m	1.0 m	0 m	0.3 m	1.0 m
Bone (MDP)	27	13	4	13	7	2
Liver (colloid)	27	13	4	20	10	3
Heart (RBC)	27	13	4	20	10	3
Myocardium (Thallium)	36	18	6	36	10	6

ALARA – AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE

- Work quickly and efficiently (**TIME**)
- Rotate personnel if qualified replacements are available (**TIME**)
- When not involved in patient care, remain a few feet away from the patient (**DISTANCE**)
- Use long-handled forceps to remove contaminated particles, contaminated dressings, etc. (**DISTANCE**)
- Remove contaminated materials from the treatment area (**DISTANCE & QUANTITY**)
- Use lead shielding (**SHIELDING**)



RADIATION EXPOSURE

External Exposure

- การรับรังสีจากแหล่งกำเนิดภายนอกร่างกาย
- **X-Ray, CT, Fluoroscope**, เครื่องฉายรังสี
- สารกัมมันตรังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์, สารเภสัชรังสี

Internal Exposure

- การรับรังสีจากแหล่งกำเนิดในร่างกาย
- การกิน, สูด, กลืนสารกัมมันตรังสี, สารเภสัชรังสี เพื่อตรวจรักษาหรือโดยไม่ตั้งใจ
- อุบัติเหตุทางรังสี

RADIATION SAFETY PROCEDURES

Don't

- Eating
- Smoking
- Drinking
- Apply Cosmetics
- Bring hand or object near your mouth during the injection



RADIATION SAFETY PROCEDURES



Do

- Shielded container and Labelled items (type, activity, volume of radiopharmaceutical)
- Wearing glove when handling radioactive, Change at regular interval
- Disposal absorbent materials, tray
- Wash your hands regularly
- Self monitoring



การปฏิบัติงานกับผู้ป่วยรังสี



MONITORING EQUIPMENT

Personal

(effective dose, extremity dose – OSL, TLD, Real-time monitor)



Workplace

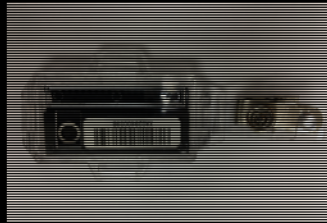
(external dose rate, contamination, survey meter)



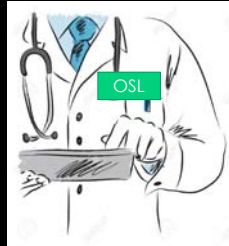
PERSONAL DOSIMETER



Back



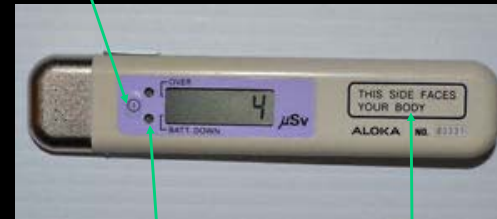
Front



- Clip your whole body dosimeter firmly to your clothing between your waist and neck. It should be worn underneath protective equipment such as lead aprons
- For single hospital usage

PERSONAL DOSIMETER

Power and
Clear



If light ON means
Batt Down

This side faces
your body

- Real-time display
- Contamination
- Contact
Radioactive Patient
- Emergency

MONITORING EQUIPMENT

Workplace

(external dose rate, contamination, survey meter)



Used for

- Contamination monitor
- Survey Area
- Survey Radioactive Patient

RADIATION DOSE LIMIT

	Occupational	Public
Effective dose	20 mSv/yr averaged* over 5 yrs.	1 mSv in a yr
Annual equivalent dose to		
• Lens of eye	20 mSv*,**	
• Skin	500 mSv	50 mSv
• Hands & Feet	500 mSv	

* with further provision that dose in any single year should not exceed 50 mSv

**In a recent statement ICRP (Statement on Tissue Reactions Approved by the Commission on April 21, 2011) the ICRP proposed a limit of 20 mSv/yr, averaged over 5 years, not exceeding 50 mSv at any single year.

1st ASEAN JOURNAL of RADIOLOGY
Original Article

OUR STUDY

Radiation Doses to Technologists from Nuclear Medicine Imaging Procedures

Arpakorn Kositwattananarok, MD, Wirat Changmuang¹, M.Sc.
Kanokon Poomak, M.Sc. Oraya Wongkarn, B.Sc.
Kittiphong Thongkham, B.Sc. Chirawat Utamakul, MD.
¹Department of Nuclear Medicine, Department of Radiology, Faculty of Medicine Ramathabodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand

**1000 μ Sv = 1 mSv
Dose Limit 20,000 μ Sv/Y**

Table 2 The Radiation Dose to Nuclear Medicine Technologists per Examination.

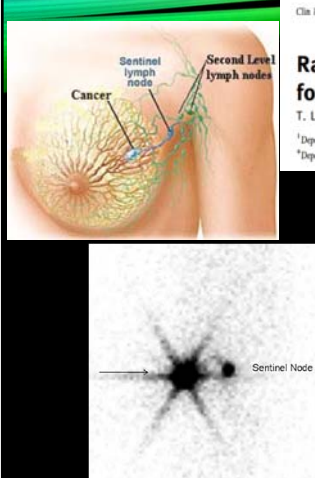
Type of examination	Injected activity (MBq)	Acquisition time (min)	Time $\pm$ SD to contact patient per examination (sec)	No. of cases	Mean dose $\pm$ SD per examination (μ Sv)
^{99m} Tc-MDP	740	60	247 $\pm$ 63.4	48	0.83 $\pm$ 0.56
^{99m} Tc-sestamibi (stress studies)	740	40	168.8 $\pm$ 19.2	26	0.81 $\pm$ 0.40
^{99m} Tc-sestamibi (rest studies)	740	40	202.6 $\pm$ 47.4	21	0.90 $\pm$ 0.30
^{99m} Tc-RBC (multi-gated blood pool study)	740	30	160.5 $\pm$ 33.4	24	0.79 $\pm$ 0.51

Clin Physiol Funct Imaging (2005) 25, pp196–202

Radiation doses to staff involved in sentinel node operations for breast cancer

T. L. Klausen¹, A. H. Chakera², E. Friis³, F. Rank⁴, B. Hesse¹ and S. Holm¹

¹Department of Clinical Physiology and Nuclear Medicine, ²Department of Plastic Surgery and Burn Unit, ³Department of Breast and Endocrine Surgery, and ⁴Department of Pathology, Rigshospitalet, Copenhagen University Hospital, Copenhagen, Denmark



	Dose/operation (mSv)	Dose limit (mSv year ⁻¹)	Calculated absorbed doses from 100 operations in % of ICRP ¹⁰³ limits
Surgeon			
Finger	0.04	500	0.8
Abdominal wall	0.01	20	5.0
Pathologist			
Finger	0.007 ^a	500	0.14
Abdominal wall	0.0013 ^b	20	0.65
Eyes	<0.001 ^c	150	0.07

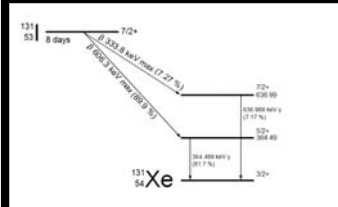
^aCalculated value, based on the assumption that the fingers are in contact with the tumour for 5 min per operation (distance 2 cm). Results from the thermoluminescent dosimetry tablets shows that the dose per operation is <1 μ Sv.
^bAssuming 30 min contact at a distance of 20 cm per operation.
^cCalculated value, assuming that the sentinel node is viewed (without attenuation) under microscope at a distance of 20 cm for 15 min per operation.

สารเภสัชภัณฑ์ที่ใช้ในการรักษา

¹³¹ I-Nal	(Thyroid disease)
¹³¹ I-MIBG	(Neuroblastoma)
¹³¹ I-Rituximab	(B-cell Lymphoma)
⁹⁰ Y-Zevalin	(B-cell Lymphoma)
⁹⁰ Y- resin microsphere	(Hepatocellular carcinoma)
⁸⁹ Sr-chloride	Bone pain palliation
¹⁵³ Sm-EDTMP	
²²³ Ra-dichloride (alpha therapy)	



RADIOACTIVE IODINE TREATMENT (IODINE-131)



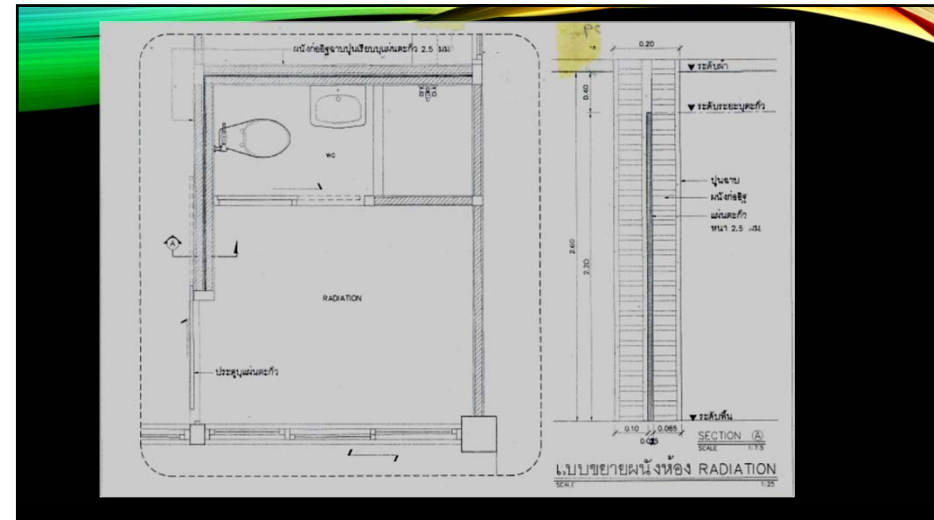
Radionuclide	Half-life (h)	Energy of the main gamma (MeV) [Abundance (%)]	Mean energy of β emitted (MeV)	Maximum energy of β emitted (MeV)
¹³¹ I	192	0.364 [82]	0.182	0.610



Oral **IV infusion**

ห้องพักรักษาผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยสารเภสัชรังสี

3 treatment isolation rooms



Radiation from an Admitted Thyroid Cancer Patient with High Dose I-131 Treatment in Related Hospitalized Area and Exposure to Associated Personnel in Ramathibodi's New Inpatient Unit

Wirote Changmuang¹, Wichana Chamroonrat¹, Arpakorn Kosiltwanarak², Siripong Vittayachokkikhun¹, Kittiphong Thongklam¹, Krisanat Chuamsaamarkkee¹, Nattaporn Kumwang¹, Chanika Sritara²

¹ Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University.
² Thailand Institute of Nuclear Technology

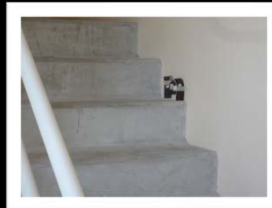
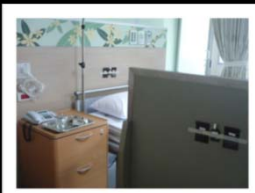
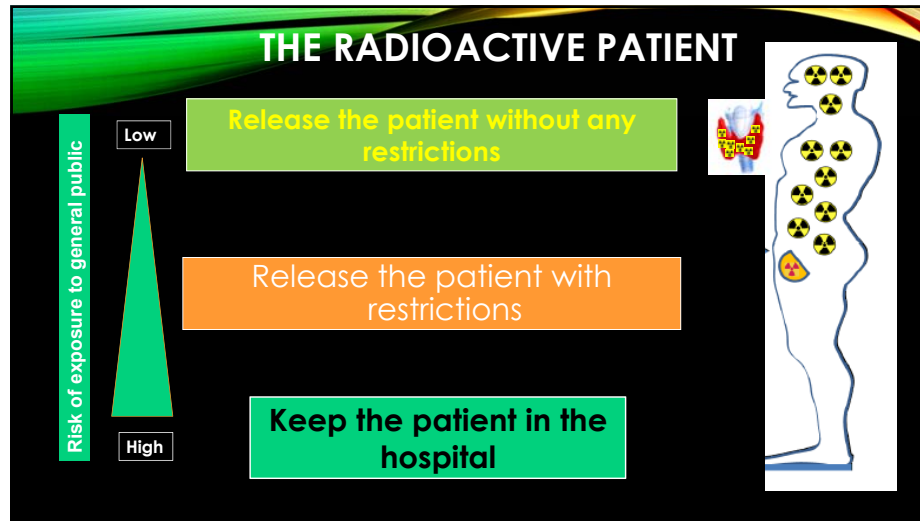


Table 1 Radiation dose rate ($\mu\text{Sv/h}$) inside and surrounding treatment I-131 patient room.

NO.	Location of OSL	Radiation dose rate ($\mu\text{Sv/h}$)
Inside patient's room		
1	Top of patient bed	25.67
2	End of patient bed	13.11
3	Right hand of patient bed, Behind lead barrier	Bg
4	End of patient bed, Behind lead barrier	Bg
5	Wall to contact other room, right	1.11
6	Wall to contact other room, center	Bg
7	Wall to contact other room, left	1.73
8	Near a door	1.04
9	In front of exit door	Bg
10	Sofa bed	5.34
11	Under patient bed, top	51.41
12	Under patient bed, end	11.86
13	Window 1	7.35
14	Window 2	5.62
15	Restroom	2.71
Outside patient's room		
16	Fire exit	Bg
17	Corridor 1	Bg
18	Corridor 2	Bg
19	Room number 7210, left	Bg
20	Room number 7210, right	Bg
21	8 th floor, patient bed	Bg
22	8 th floor, toilet	Bg

Bg is background radiation ($< 1 \mu\text{Sv/h}$)

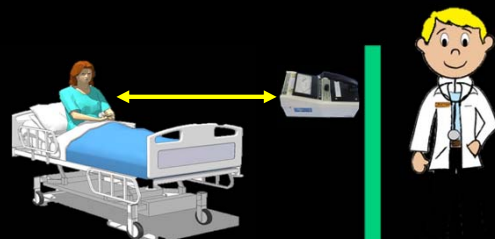


EXAMPLES OF I-131 RELEASE CRITERIA – PRECAUTION LIMITS

Country/Organisation	Release limit for I-131 (mCi)	Standard Practice
Australia	Dose rate 25 μ Sv/h at 1 metre	
IAEA/BSS	Activity < 30 mCi (1100 MBq)	Guidance Level
Germany	250 MBq (6.75 mCi) or <30 μ Sv/h at 1 m	
UK	Hospitalisation when activity > 800 MBq (21.6 mCi)	Hospitalise for at least 24-48 h, dose rate < 40 μ Sv/h at 1 metre
Other EU Member States	95-800 MBq	
USA (depend on state)	Dose to the most exposed person < 5 mSv	We will discuss further today
Thailand	Hospitalisation when activity > 30 mCi (1.1 GBq)	Dose Rate < 50 - 70 μ Sv/h at 1 metre for release

Reference – Adapted from IAEA Safety Report no.63, Year 2009

ผู้ป่วยนั่ง วัดหน้าจาก ที่ระยะ 1 เมตร ที่ตำแหน่ง
กลางลำตัว (Xiphoidal)



หน่วยวัด: PSE PSE SDASC

ชื่อผู้ป่วย: _____ อายุ: _____ ปี

วันที่: _____ เดือน: _____ ปี: _____ ปริมาณรังสี: _____ mCi

(Administrative Activity)

ลำดับ	วันที่	เวลา	วัดโดย	วัดที่	วัดด้วย	วัดด้วย	วัดด้วย
1							
2							
3							
4							
5							

(1) ตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบพกพา (Handheld) 10-15 μ Sv/h โดยวัดที่หน้าอก 1 เมตรจากตัวผู้ป่วย

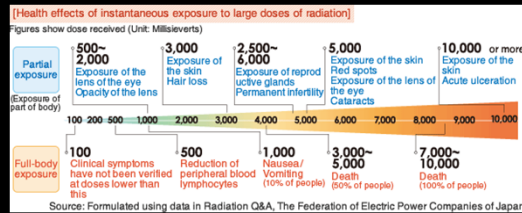
หมายเหตุ: การตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบพกพา (Handheld) 10-15 μ Sv/h โดยวัดที่หน้าอก 1 เมตรจากตัวผู้ป่วย

มีบันทึกการตรวจวัดปริมาณรังสี
(ใช้เพื่อเป็นหลักฐานทางการแพทย์)

แบบฟอร์มบันทึกปริมาณรังสี

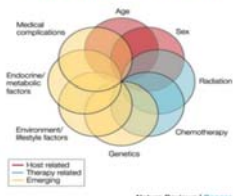


ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต



ปริมาณรังสี (mSv)	อาการ (รวบรวมโดย ICRP)
2.4	เป็นระดับรังสีปกติในธรรมชาติที่มนุษย์แต่ละคนได้รับใน 1 ปี
1	เกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้สาธารณชนได้รับใน 1 ปี
20	เกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้รับใน 1 ปี
250	ไม่ปรากฏอาการผิดปกติใดๆทั้งระยะสั้น และระยะยาว
500	เม็ดเลือดขาวลดลงเล็กน้อย
1,000	มีอาการคลื่นเหียน และอ่อนเพลีย เม็ดเลือดขาวลดลง
3,000	อ่อนเพลีย อาเจียน ท้องเสีย เม็ดเลือดขาวลดลง ผมร่วง เบื่ออาหาร ตัวซีด คอแห้ง มีไข้ อายุสั้น อาจเสียชีวิตภายใน 3-6 สัปดาห์
6,000	อ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วงภายใน 1-2 ชม เม็ดเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว มีไข้ อักเสบ บริเวณปาก และลำคออย่างรุนแรง มีเลือดออก มีโอกาสเสียชีวิตถึง 50% ภายใน 2-6 สัปดาห์
10,000	มีอาการเหมือนข้างต้น ผิวหนังพองบวม ผมร่วง เสียชีวิตภายใน 2-3 สัปดาห์

Risk Factors of Cancer



รังสีและโอกาสในการเกิดมะเร็ง

Probability of Congenital Malformation or Cancer From Conceptus Dose^a

Conceptus Dose (mSv)	Increased Chance of Congenital Malformation (%)	Increased Chance of Cancer (%)
0.5	0.001	0.004
2.5	0.005	0.022
10.0	0.2	0.09

https://www.asrt.org/docs/.../occupational_radiation_safety.%20pptx?...4

TABLE 2
Estimated Loss of Life Expectancy from Health Risks

Health Risk	Estimates of Days of Life Expectancy Lost, Average
Smoking 20 cigarettes/day	2,370 (6.5 years)
Overweight (by 20%)	985 (2.7 years)
All accidents combined	435 (1.2 years)
Auto accidents	200
Alcohol consumption (U.S. average)	130
Home accidents	95
Drowning	41
Natural background radiation, calculated	8
Medical diagnostic x-rays (U.S. average)	6
All catastrophes (earthquake, etc.)	3.5
1 rem occupational radiation dose, calculated (industry average for the higher-dose job categories is 0.65 rem/yr)	1
1 rem/yr for 30 years, calculated	30

<http://oehs.vcu.edu/radiation/risk.PDF>

1 rem = 10 mSv

First Analysis of Cancer Incidence and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada

W. N. Sont, J. M. Zielinski, J. P. Ashmore, H. Jiang, D. Krewski, M. E. Fair, P. R. Band, E. G. Létourneau

Am J Epidemiol (2001) 153 (4): 309-318.

Standardized incidence ratios for males and females combined, Canadian National Dose Registry cohort, 1959-1999

Cancer type	No. of cases		SIR	95% CI†
	Observed	Expected		
Tongue and mouth	36	67.7	0.53	0.39, 0.70
Salivary gland	16	17.8	0.89	0.56, 1.36
Pharynx	36	58.2	0.62	0.46, 0.82
Esophagus	22	42.0	0.52	0.35, 0.75
Stomach	104	142.9	0.73	0.61, 0.88
Colon	115	349.4	0.30	0.22, 0.39
Rectum	145	139.0	0.73	0.62, 0.84
Liver	26	26.0	1.00	0.70, 1.39
Gallbladder	16	24.4	0.66	0.41, 1.00

SIR - standardized incidence ratio

- A cohort study was conducted to investigate the relation between cancer incidence and occupational exposure.
- Records containing dose information from 1951 to 1988 for 191,333 persons were extracted and correlated with Canadian cancer database

Pancreas	76	101.1	0.75	0.62, 0.91
Nose	8	11.4	0.70	0.35, 1.27
Larynx	29	80.2	0.36	0.26, 0.49
Lung	476	717.1	0.66	0.61, 0.72
Bone	16	23.0	0.70	0.44, 1.06
Connective tissue	42	46.4	0.90	0.68, 1.17
Melanoma‡	222	191.5	1.16	1.04, 1.30
Bladder	119	212.1	0.56	0.45, 0.69
Kidney	80	117.7	0.76	0.64, 0.91
Brain, nervous system	109	139.2	0.79	0.67, 0.93
Thyroid‡	119	91.8	1.30	1.05, 1.61

THANK YOU FOR
YOUR ATTENTION

