

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการศึกษาแบบย้อนหลัง (retrospective study) จากข้อมูลผู้ป่วยของหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ดังนี้

3.1.1 ข้อมูลผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์ชนิดเซลล์มะเร็งเต็มขั้น (well differentiated cell thyroid carcinoma) ที่เข้ารับการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน-131 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกข้อมูลผู้ป่วย (inclusion criteria) เพื่อการศึกษาวิจัย ดังนี้

1. ผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์ที่มีการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปที่ปอด
2. เป็นผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน- 131 ในครั้งแรก
3. ผู้ป่วยได้รับการตรวจ whole body scan ที่เวลา 5-8 วัน หลังการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน- 131

เกณฑ์การคัดออกของข้อมูลผู้ป่วย (exclusion criteria) ในการศึกษาวิจัย มีดังนี้

1. ผู้ป่วยโรคปอด เช่น วัณโรค ปอดบวม ถุงลมโป่งพอง ฯลฯ
2. ผู้ป่วยโรคไตวายที่มีการทำงานของไตลดลงมากกว่าร้อยละ 30

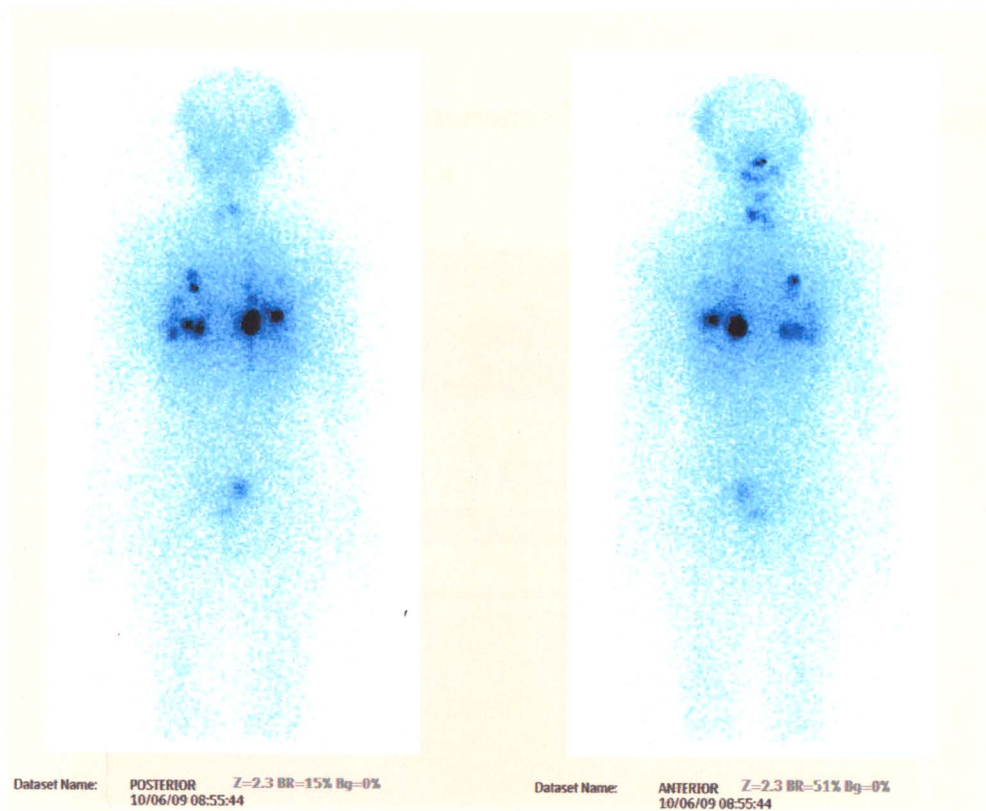
ข้อมูลของผู้ป่วยที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. เพศ อายุ การวินิจฉัยโรค
2. ผลและภาพการตรวจสแกนสองมิติแบบทั้งตัว (whole body scan) ดังรูป 3.1 และ 3.2

3.1.2 จำนวนผู้ป่วยที่เข้าเกณฑ์สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ 10 ราย โดยคัดเลือกจากผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์ 315 ราย ที่เข้ารับการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน-131 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553

MAHARAJ NAKORN CHIANGMAI HOSPITAL		
NUCLEAR MEDICINE SERVICES		วันที่
Patient Name :	HN :	Patient AGE
Order : THYROID Total body scan I-131, Doctor :		Execution Date :
New case follicular thyroid CA involving both lobes. S/P Total thyroidectomy on 15-Oct-2552. Pathologic report showed grossly tumor size = 6 cm with positive vascular & capsular invasion and negative surgical margin, but very close to margin and no extrathyroid extension. Radiopharmaceutical: I-131 = 0.924 mCi. Results: The I-131 WBS was performed at 48 hours after ingestion of I-131. - The baseline study shows a lobulated area of increased radioiodine uptake at the thyroid bed. Another oval-shaped focus of increased radioiodine uptake at the superior mediastinal region is also seen, suspected superior mediastinal lymph node metastasis. There are also diffusely faint increased radioiodine uptake with multiple small foci of more intense uptake in bilateral lung fields, compatible with bilateral lung metastases. The remaining study is unremarkable. CONCLUSION: Some residual thyroid remnant with superior mediastinal node and bilateral lung metastases. RECOMMENDATIONS: - High dose I-131 Rx with 150 mCi is advised. - Follow up I-131 WBS at 6 months after I-131 Rx.		

รูป 3.1 ผลการตรวจสแกนสองมิติแบบทั้งตัว ของหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิหารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูป 3.2 ภาพสแกนสองมิติด้านหน้าและด้านหลังแบบทั้งตัวของผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์ที่มี

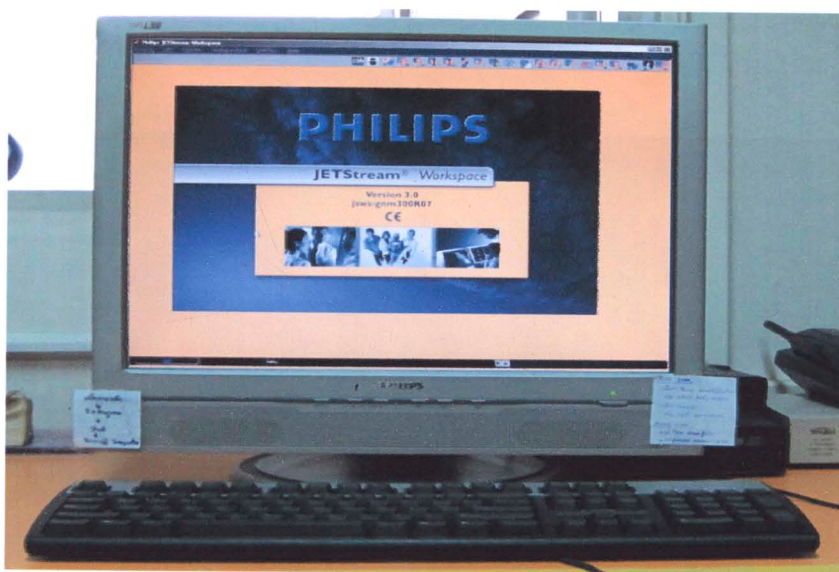
การแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปที่ปอดใช้เวลา 7 วัน หลังจากได้รับสารรังสีไอโอดีน-131

3.1.3 เครื่องตรวจสเปกแบบสองหัวตรวจ (dual heads SPECT) ยี่ห้อ Philips รุ่น SKYLIGHT ดังรูป 3.3



รูป 3.3 เครื่องตรวจสเปกแบบสองหัวตรวจ ยี่ห้อ Philips รุ่น SKYLIGHT

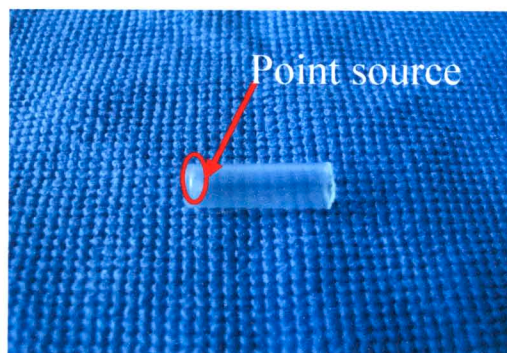
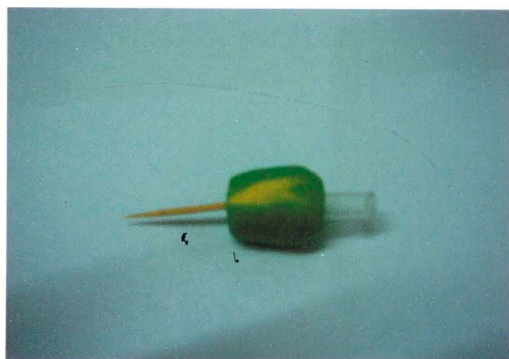
3.1.4 โปรแกรมประมวลผลภาพสแกนสองมิติ รุ่น Philips JETstream workspace เวอร์ชัน 3.0 ของบริษัท Philips ดังรูป 3.4



รูป 3.4 โปรแกรมประมวลผลภาพสแกนสองมิติ รุ่น Philips JETstream workspace

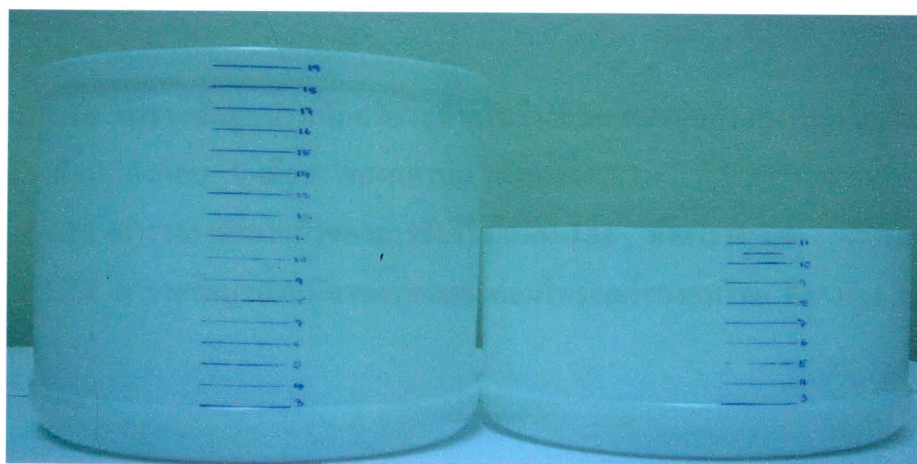
เวอร์ชัน 3.0

3.1.5 สารรังสีไอโอดีน-131 แบบ point source เตรียมจากห้องปฏิบัติการเตรียมสารเภสัชรังสี หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 ดังรูป 3.5



รูป 3.5 สารรังสีไอโอดีน-131 แบบ point source ปริมาณกัมมันตภาพรังสี 18.5 เมกกะเบคเคอเรล

3.1.6 Cylinder phantom ขนาดความสูง 11.5 และ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประดิษฐ์ขึ้นที่หน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจำลองเป็นเนื้อเยื่อของปอดและต่อมไทรอยด์ ดังรูป 3.6



รูป 3.6 Cylinder phantom



3.1.7 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สำหรับเก็บข้อมูล ยี่ห้อ Acer รุ่น aspire 4520
ผลิตโดย บริษัท Acer ประเทศไทยได้หวั่น ดังรูป 3.7



รูป 3.7 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ยี่ห้อ Acer รุ่น aspire 4520 ผลิตโดยบริษัท Acer

3.1.8 ตารางข้อมูลค่า specific absorbed fraction (SAF) ของหุ่นจำลอง คริสตี้ และแอกเคอร์แมน (Cristy-Eckerman phantom) และหุ่นจำลองสตาบิน (Stabin phantom) จาก The Radiation Dose Assessment Resource (RADAR) ประเทศสหรัฐอเมริกา เผยแพร่ ใน <http://www.doseinfo-radar.com/RADARphan.html> (10 March 2009) ดังตาราง 3.1

3.1.9 ตารางข้อมูลน้ำหนักอวัยวะภายในร่างกาย ของหุ่นจำลอง คริสตี้และแอกเคอร์แมน ในช่วงอายุตั้งแต่แรกเกิด 1 ปี 5 ปี 10 ปี 15 ปี และผู้ใหญ่โตเต็มวัยทั้งชายและหญิง ดังตาราง 3.2

3.1.10 ตารางข้อมูลน้ำหนักอวัยวะภายในร่างกาย ของหุ่นจำลองหญิงโตเต็มวัย หญิงตั้งครรภ์ 3 เดือน 6 เดือน 9 เดือน ของสตาบิน ดังตาราง 3.3

3.1.11 ตารางการสลายตัวของสารรังสีไอโอดีน-131 ดังตาราง 3.4

3.1.12 ตารางข้อมูลน้ำหนักของปอดและต่อมไทรอยด์ของคนไทย ดังตาราง 3.5

ตาราง 3.1 แสดงค่า specific absorbed fraction (g^{-1}) ของต่อมไทรอยด์และปอดที่ได้จากการศึกษาในหนูจำลอง คริสตี้และเอกเคอร์แมน และหุ่นจำลองหญิงตั้งครรภ์ 3 เดือน 6 เดือนและ 9 เดือนของสถาบัน

Source Organ	Target organ	0.01 MeV	0.015 MeV	0.02 MeV	0.03 MeV	0.05 MeV	0.1 MeV	0.2 MeV	0.5 MeV	1.0 MeV	1.5 MeV	2.0 MeV	4.0 MeV
Lungs (Newborn)	Lungs	1.50E-02	8.70E-03	4.90E-03	1.80E-03	6.10E-04	3.40E-04	3.50E-04	3.90E-04	3.60E-04	3.30E-04	3.00E-04	2.30E-04
Lungs (1 y)	Lungs	5.80E-03	3.80E-03	2.30E-03	9.30E-04	3.20E-04	1.80E-04	1.80E-04	2.00E-04	1.80E-04	1.70E-04	1.50E-04	1.20E-04
Lungs (5 y)	Lungs	3.00E-03	2.10E-03	1.30E-03	5.70E-04	2.10E-04	1.20E-04	1.20E-04	1.20E-04	1.20E-04	1.00E-04	9.50E-05	7.50E-05
Lungs (10 y)	Lungs	2.00E-03	1.40E-03	9.40E-04	4.20E-04	1.60E-04	8.70E-05	8.50E-05	8.90E-05	8.20E-05	7.40E-05	6.80E-05	5.50E-05
Lungs(15 y)	Lungs	1.40E-03	1.10E-03	7.00E-04	3.20E-04	1.20E-04	6.90E-05	6.70E-05	7.00E-05	6.40E-05	5.80E-05	5.40E-05	4.30E-05
Lungs (male)	Lungs	9.10E-04	7.20E-04	5.00E-04	2.40E-04	9.40E-05	5.30E-05	5.00E-05	5.20E-05	4.70E-05	4.30E-05	4.00E-05	3.10E-05
Lungs (female)	Lungs	1.38E-03	1.05E-03	7.02E-04	3.21E-04	1.23E-04	6.92E-05	6.74E-05	6.98E-05	6.40E-05	5.83E-05	5.37E-05	4.27E-05
Lungs (3m prenannt female)	Lungs	1.37E-03	1.05E-03	7.07E-04	3.23E-04	1.23E-04	6.83E-05	6.67E-05	6.83E-05	6.37E-05	5.73E-05	5.31E-05	4.33E-05
Lungs (6m prenannt female)	Lungs	1.38E-03	1.07E-03	7.29E-04	3.36E-04	1.26E-04	6.94E-05	6.85E-05	6.90E-05	6.32E-05	5.78E-05	5.27E-05	4.24E-05
Lungs (9m prenannt female)	Lungs	1.38E-03	1.07E-03	7.29E-04	3.36E-04	1.26E-04	6.93E-05	6.87E-05	6.93E-05	6.28E-05	5.74E-05	5.28E-05	4.19E-05
Thyroid (Newborn)	Lungs	1.20E-10	3.10E-06	5.30E-05	1.30E-04	9.50E-05	4.90E-05	4.70E-05	5.00E-05	4.60E-05	4.30E-05	4.00E-05	3.10E-05
Thyroid (1 y)	Lungs	3.60E-13	2.10E-07	1.20E-05	5.00E-05	4.70E-05	2.90E-05	2.90E-05	2.30E-05	2.40E-05	2.30E-05	2.10E-05	1.60E-05
Thyroid (5 y)	Lungs	0.00E+00	3.00E-08	2.50E-06	1.90E-05	2.50E-05	1.70E-05	1.50E-05	1.50E-05	1.30E-05	1.30E-05	1.30E-05	1.00E-05
Thyroid (10 y)	Lungs	0.00E+00	2.80E-09	5.20E-07	8.00E-06	1.40E-05	1.10E-05	9.40E-06	8.80E-06	8.20E-06	8.00E-06	7.90E-06	6.80E-06
Thyroid (15 y)	Lungs	0.00E+00	6.30E-11	6.90E-08	2.30E-06	6.70E-06	6.20E-06	5.40E-06	5.10E-06	5.10E-06	4.70E-06	4.40E-06	4.10E-06
Thyroid (male)	Lungs	0.00E+00	2.80E-11	3.50E-08	1.70E-06	4.60E-06	4.60E-06	4.10E-06	4.20E-06	4.00E-06	3.90E-06	3.80E-06	3.00E-06
Thyroid (female)	Lungs	0.00E+00	6.29E-11	6.60E-08	2.38E-06	6.62E-06	6.07E-06	5.44E-06	5.23E-06	5.05E-06	4.65E-06	4.37E-06	4.07E-06
Thyroid (3m prenannt female)	Lungs	0.00E+00	6.29E-11	6.60E-08	2.38E-06	6.62E-06	6.07E-06	5.44E-06	5.23E-06	5.05E-06	4.65E-06	4.37E-06	4.07E-06
Thyroid (6m prenannt female)	Lungs	0.00E+00	1.00E-10	1.45E-07	3.49E-06	7.60E-06	6.60E-06	6.09E-06	6.17E-06	5.89E-06	5.70E-06	5.35E-06	4.42E-06
Thyroid (9m prenannt female)	Lungs	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-07	3.49E-06	7.60E-06	6.60E-06	6.09E-06	6.17E-06	5.89E-06	5.70E-06	5.35E-06	4.42E-06

แหล่งที่มา; Cristy M.and Eckerman K. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon source ORNL/TM-8381. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1987^{20,31}.

ตาราง 3.2 ข้อมูลน้ำหนักอวัยวะภายใน ของหุ่นจำลอง คริสตี้และแอกเคอร์แมน

	Phantom					
	Newborn	Age 1	Age 5	Age 10	Age 15	Adult
Phantom height (cm)	47.5	69.6	103	132	157	167
Phantom weight (kg)	3.4	9.8	19	32	55	70
Organ	Mass (g) of organ					
Adrenals	5.83	3.52	5.27	7.22	10.5	16.3
Brain	352	884	1260	1360	1410	1420
Breasts-including skin	0.205	1.1	2.17	3.65	407	403
Breasts-excluding skin	0.107	0.732	1.51	2.6	361	351
Gall bladder contents	2.12	4.81	19.7	38.5	49	55.7
Gall bladder wall	0.408	0.91	3.73	7.28	9.27	10.5
GI tract						
LLI contents	6.98	18.3	36.6	61.7	109	143
LLI wall	7.98	20.6	41.4	70	127	167
SI contents and wall	52.9	138	275	465	838	1100
Stomach contents	10.6	36.2	75.1	133	195	260
Stomach wall	6.41	21.8	49.1	85.1	118	158
ULI contents	11.2	28.7	57.9	97.5	176	232
ULI wall	10.5	27.8	55.2	93.4	168	220
Heart contents	36.5	72.7	134	219	347	454
Heart wall	25.4	50.6	92.8	151	241	316
Kidneys	22.9	62.9	116	173	248	299
Liver	121	292	584	887	1400	1910
Lungs	50.6	143	290	453	651	1000
Ovaries	0.328	0.714	1.73	3.13	10.5	8.71
Pancreas	2.8	10.3	23.6	30	64.9	94.3
Remaining tissue	2360	6400	13300	23100	40000	51800
Skeleton						
Active marrow	47	150	320	610	1050	1120
Cortical bone	0	299	875	1580	3220	4000
Trabecular bone	140	200	219	396	806	1000
Skin	118	271	538	888	2150	3010
Spleen	9.11	25.5	48.3	77.4	123	183
Testes	0.843	1.21	1.63	1.89	15.5	39.1
Thymus	11.3	22.9	29.6	31.4	28.4	20.9
Thyroid	1.29	1.78	3.45	7.93	12.4	20.7
Urinary bladder contents	12.4	32.9	64.7	103	160	211
Urinary bladder wall	2.88	7.7	14.5	23.2	35.9	47.6
Uterus	3.85	1.45	2.7	4.16	79	79
Whole body	3600	9720	19800	33200	56800	73700

ตาราง 3.3 ข้อมูลน้ำหนักอวัยวะภายในของหุ่นจำลองหญิงโตเต็มวัย หญิงตั้งครรภ์ 3 เดือน 6 เดือน และ 9 เดือน ของสตาบิน

	Phantom			
	Adult Female (nonpregnant)	3m Pregnant Female	6m Pregnant Female	9m Pregnant Female
Organ	Mass (g) of organ			
Adrenals	14	14	14	14
Brain	1200	1200	1200	1200
Breasts-excluding skin	360	360	360	360
Gall bladder contents	50	50	50	50
Gall bladder wall	8	8	8	8
GI tract				
LLI contents	135	135	135	135
LLI wall	160	160	160	160
SI contents	375	375	375	375
SI wall	600	600	600	600
Stomach contents	230	230	230	230
Stomach wall	140	140	140	140
ULI contents	210	210	210	210
ULI wall	200	200	200	200
Heart contents	410	410	410	410
Heart wall	240	240	240	240
Kidneys	275	275	275	275
Liver	1400	1400	1400	1400
Lungs	800	800	800	800
Ovaries	11	11	11	11
Pancreas	85	85	85	85
Remaining tissue	40000	39300	41700	39500
Skeleton				
Active marrow	1050	1050	1050	1050
Cortical bone	3000	3000	3000	3000
Trabecular bone	750	750	750	750
Skin	1790	1790	1790	1790
Spleen	150	150	150	150
Thymus	20	20	20	20
Thyroid	17	17	17	17
Urinary bladder contents	160	128	107	42.3
Urinary bladder wall	35.9	36.9	34.5	23.9
Uterine wall	80	374	834	1095
Fetus		458	1640	2960
Placenta			310	466
Whole body	58000	58000	61500	63700
Whole body (maternal tissue)	56800	56400	57500	56600

แหล่งที่มา ; <http://www.doseinfo-radar.com/RADARphan.html> (10 March 2009) ⁽³²⁾

ตาราง 3.4 ชนิดของรังสี พลังงานรังสีขนาดต่าง ๆ ที่เกิดจากการสลายตัวของสารรังสี ไอโอดีน- 131

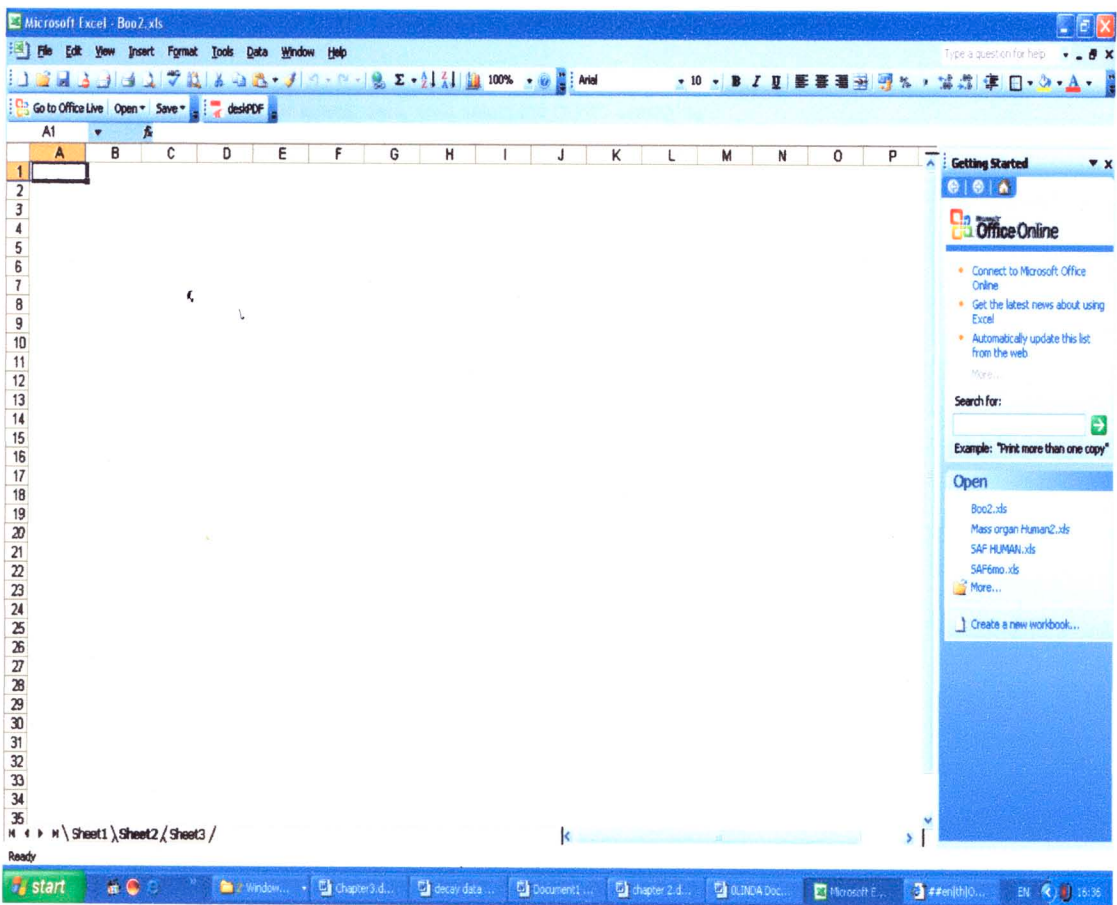
Emission	Mean Energy (MeV)	Frequency	Emission	Mean Energy (MeV)	Frequency
β^-	0.0694	0.0210	ce-K e $^-$	0.6024	0.0003
β^-	0.0869	0.0065	L X-ray	0.0041	0.0057
β^-	0.0966	0.0727	K α 2 X-ray	0.0295	0.0138
β^-	0.1916	0.8990	K α 1 X-ray	0.0298	0.0256
β^-	0.2002	0.0005	K β X-ray	0.0336	0.0091
β^-	0.2832	0.0048	γ	0.0802	0.0262
Auger-L e $^-$	0.0034	0.0510	γ	0.1772	0.0027
Auger-K e $^-$	0.0246	0.0060	γ	0.2725	0.0006
ce-K e $^-$	0.0456	0.0354	γ	0.2843	0.0614
ce-L e $^-$	0.0747	0.0046	γ	0.3181	0.0008
ce-M e $^-$	0.0790	0.0009	γ	0.3247	0.0002
ce-N+ e $^-$	0.0800	0.0002	γ	0.3258	0.0027
ce-K e $^-$	0.1427	0.0005	γ	0.3584	0.0002
ce-L e $^-$	0.1718	0.0001	γ	0.3645	0.8170
ce-K e $^-$	0.2497	0.0025	γ	0.4048	0.0005
ce-L e $^-$	0.2789	0.0004	γ	0.5030	0.0036
ce-K e $^-$	0.3299	0.0155	γ	0.6370	0.0717
ce-L e $^-$	0.3590	0.0025	γ	0.6427	0.0022
ce-M e $^-$	0.3633	0.0005	γ	0.7229	0.0177
ce-N+ e $^-$	0.3643	0.0001			

แหล่งที่มา ; Stabin MG, da Luz CQPL. New decay data for internal and external dose assessment, Health Phys. 83(4):471-475, 2002.⁽²⁴⁾

ตาราง 3.5 แสดงน้ำหนักต่อมไทรอยด์และปอดของคนไทย⁽³³⁾

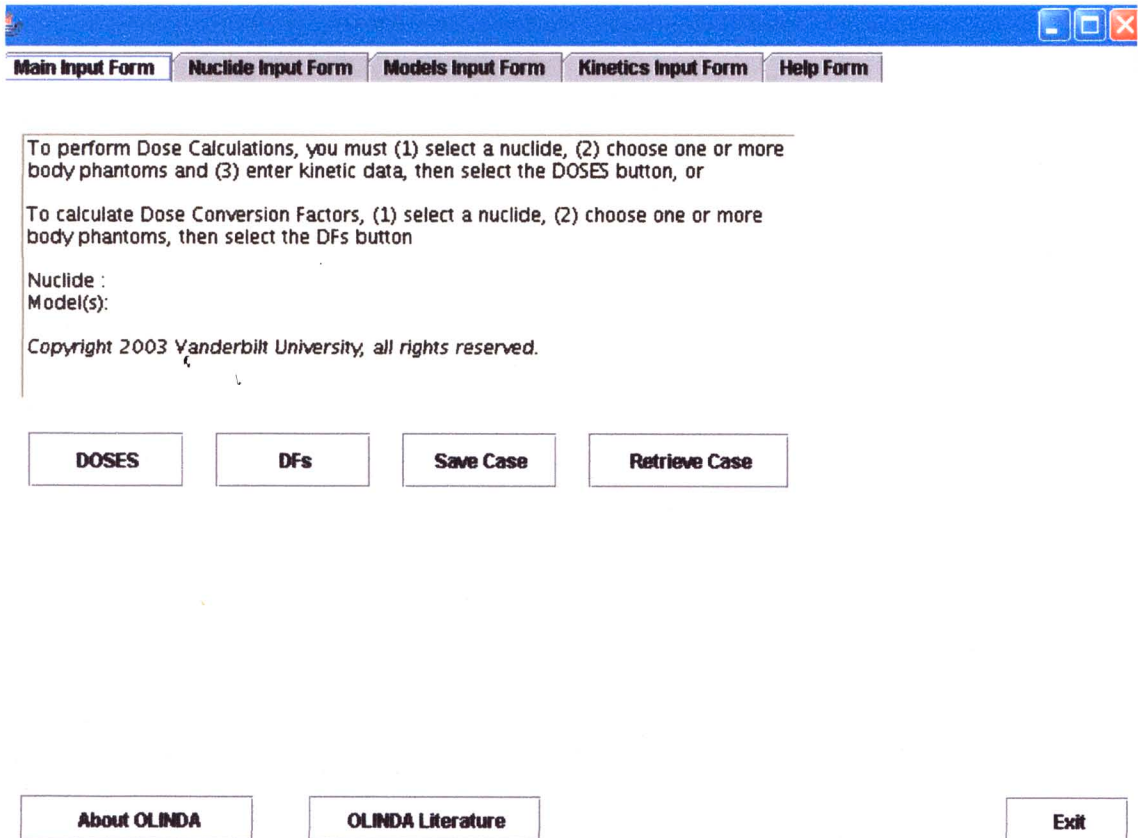
อวัยวะ	น้ำหนัก (กรัม)	
	ชาย	หญิง
ปอดซ้าย	296	251
ปอดขวา	321	271
ต่อมไทรอยด์	17	17

3.1.12 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft office Excel เวอร์ชัน 2003 ผลิตภัณฑ์ ไมโครซอฟท์ (ประเทศไทย) จำกัด ดังรูป 3.8



รูป 3.8 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft office Excel เวอร์ชัน 2003

3.1.12 โปรแกรมรังสีคณิต OLINDA/EXM ของ Vanderbilt University ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังรูป 3.9



รูป 3.9 หน้าหลักของโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA / EXM ของ Vanderbilt University ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 วิธีการศึกษา

3.2.1 การรวบรวมข้อมูลผู้ป่วย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีการยื่นขอรับรองจริยธรรมการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคน แล้วรวบรวมข้อมูลของผู้ป่วยจาก บันทึกสถิติผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์รายใหม่ ในรายงานผลการตรวจ WBS และแบบบันทึกการบริการรักษาผู้ป่วยไทรอยด์ ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 จำนวนทั้งสิ้น 315 ราย ได้จำนวนผู้ป่วยที่เข้าเกณฑ์การศึกษาวิจัยจำนวน 10 ราย

3.2.2 หลักการคำนวณหาค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด

ค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอดสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ 2.1

$$\overline{D}_{(T)} = \tilde{A}_{(S)} S_{(T \leftarrow S)}$$

ในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้ปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอดได้มาจากอวัยวะต้นกำเนิดรังสี (source organ) สองอวัยวะ คือ ปอดและต่อมไทรอยด์ที่เหลือหลังการผ่าตัด สรุปเป็นสมการการหาค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในปอดดังแสดงในสมการ 3.1

$$\overline{D}_{(L)} = \tilde{A}_{(L)} S_{(L \leftarrow L)} + \tilde{A}_{(Thy)} S_{(L \leftarrow Thy)} \tag{3.1}$$

- เมื่อ $\overline{D}_{(L)}$ = ปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยที่ปอด
- $\tilde{A}_{(L)}$ = cumulated activity ในปอด
- $\tilde{A}_{(Thy)}$ = cumulated activity ในต่อมไทรอยด์
- $S_{(L \leftarrow L)}$ = ค่า S-value จากปอดถึงปอด
- $S_{(L \leftarrow Thy)}$ = ค่า S-value จากต่อมไทรอยด์ถึงปอด

3.2.3 การคำนวณหาค่า cumulated activity ในปอด ($\tilde{A}_{(L)}$) และในต่อมไทรอยด์ ($\tilde{A}_{(Thy)}$) โดยค่า $\tilde{A}$ สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.8

$$\tilde{A} = 1.443 T_{eff} A_0 \tag{2.8}$$

ค่าตัวแปร T_{eff} และ A_0 มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

3.2.3.1. การหาค่าครึ่งชีวิตยังผล (T_{eff}) ของปอด และ ต่อมไทรอยด์

การศึกษาวิจัยนี้ใช้ค่า T_{eff} สำหรับสารรังสีไอโอดีน-131 ของปอดที่ 100 ชั่วโมง⁽¹³⁾ ส่วนค่า T_{eff} ของต่อมไทรอยด์คำนวณโดยอ้างอิงค่า T_b จาก ICRP 53 ที่กำหนดให้ค่า T_b ของต่อมไทรอยด์ มีค่า 80 วัน 65 วัน 50 วัน 40 วัน และ 30 วัน สำหรับผู้ใหญ่ เด็กอายุ 15 ปี เด็กอายุ 10 ปี เด็กอายุ 5 ปี และเด็กอายุ 1 ปี ตามลำดับ⁽³⁴⁾

$$T_{eff} = \frac{T_p T_b}{T_p + T_b} \quad (2.6)$$

ตัวอย่าง 1 วิธีหาค่า T_{eff} ของต่อมไทรอยด์ในผู้ใหญ่

สารรังสีไอโอดีน -131 มี ค่า T_p เท่ากับ 8.02 วัน และค่า T_b สำหรับต่อมไทรอยด์ผู้ใหญ่เท่ากับ 80 วัน ค่า T_{eff} ของต่อมไทรอยด์ในผู้ใหญ่ มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} T_{eff} &= \frac{8.02 \text{ d} \times 80 \text{ d}}{8.02 \text{ d} + 80 \text{ d}} \\ &= 7.3 \text{ d} \\ &= 7.3 \times 24 \text{ h} \\ &= 175.2 \text{ h} \end{aligned}$$

3.2.3.2. หาค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีในปอด และ ต่อมไทรอยด์ จากภาพสแกน 2 มิติ ที่เวลา 5-8 วันหลังได้รับการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน-131

คำนวณปริมาณกัมมันตภาพรังสีในปอดและต่อมไทรอยด์ด้านหน้า (anterior view) และด้านหลัง (posterior view) ที่ทำมุมกัน 180 องศา จากภาพสแกนสองมิติ ของการตรวจ WBS จากสมการ 2.9

$$A_j = \sqrt{\frac{I_A I_P}{e^{-\mu_e t}}} \frac{f_j}{C} \quad (2.9)$$

โดยมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

1) หาค่านับวัดกัมมันตภาพรังสีในปอดและต่อมไทรอยด์จากภาพสแกนสองมิติ

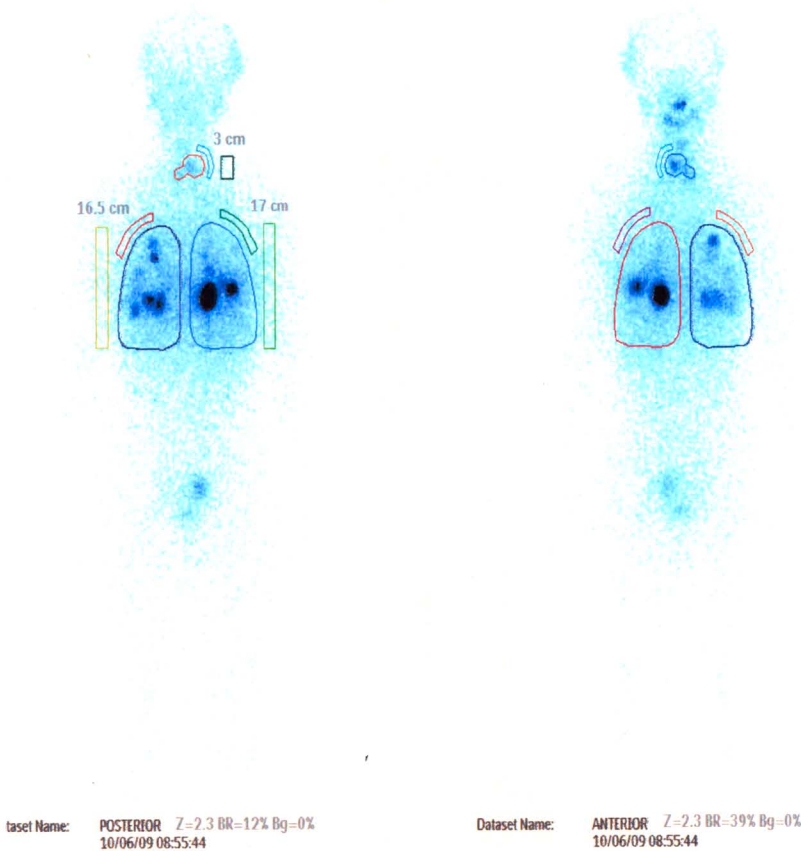
แบบ WBS มีขั้นตอนดังนี้

1.1) วาด ROI ของปอดและต่อมไทรอยด์ จากภาพสแกน WBS ($I_A I_P$) ดังรูป 3.10

- 1.2) วัด background ของปอดและต่อมไทรอยด์
- 1.3) วัดความยาวของ ROI ปอดและ ROI ต่อมไทรอยด์
- 1.4) กำหนดหาคำนับวัดสุทธิในปอดและต่อมไทรอยด์ ดังสมการ

$$Net\ count = pixel_{ROI} \times \left[(count / pixel)_{ROI} - (background / pixel)_{Bg} \right] \tag{3.2}$$

เมื่อ $Net\ count$	=	ค่านับวัดสุทธิ
$(count / pixel)_{ROI}$	=	ค่านับวัดต่อค่าพิกเซลใน ROI
$(background / pixel)_{Bg}$	=	ค่านับวัดต่อค่าพิกเซลใน background



รูป 3.10 ภาพแสดง ROI ของปอด ต่อมไทรอยด์ และ background และการวัดความยาวของ ROI ปอดและต่อมไทรอยด์

1.5) คำนวณหาเวลาในการสแกนภาพปอดและต่อมไทรอยด์

เก็บภาพสแกน WBS สองมิติในอัตราความเร็ว 10 ซม. ต่อ 60 วินาที และคำนวณเวลาในการสแกนภาพปอดและต่อมไทรอยด์ ดังสมการ

$$\text{เวลาสแกนภาพ (วินาที)} = \text{ความยาวของปอดหรือต่อมไทรอยด์(ซม.)} \times (60 \text{วินาที}/10 \text{ ซม.}) \quad (3.3)$$

1.6) คำนวณหาคำนับวัดต่อเวลาของปอดและต่อมไทรอยด์

ค่านับวัดต่อเวลาของปอดและต่อมไทรอยด์ คือค่านับวัดสุทธิ (สมการ3.2) หาคด้วยเวลาสแกน (สมการ3.3) ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่าง 2 วิธีการคำนวณค่านับวัดต่อเวลาจาก ROI ของต่อมไทรอยด์ความยาว 3 ซม. (ตาราง ข.4 ภาคผนวก ข) และ ROI ของ background จากภาพสแกน WBS สองมิติ ด้านหน้าและด้านหลัง ดังแสดงในตาราง

	ค่านับวัด (cps)	จำนวนพิกเซล
ROI ของต่อมไทรอยด์จากภาพสแกนด้านหน้า	2041	172
ROI ของ background จากภาพสแกนด้านหน้า	292	63
ROI ของต่อมไทรอยด์จากภาพสแกนด้านหลัง	1102	172
ROI ของ background จากภาพสแกนด้านหลัง	205	63

หาค่านับวัดสุทธิจากสมการ 3.2

$$Net \ count = pixel_{ROI} \times \left[(count / pixel)_{ROI} - (background / pixel)_{Bg} \right]$$

$$\begin{aligned} \text{ค่านับวัดสุทธิในต่อมไทรอยด์ด้านหน้า} &= 172 \times [(2041/172) - (292/63)] \\ &= 1243.79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่านับวัดสุทธิในต่อมไทรอยด์ด้านหลัง} &= 172 \times [(1102/172) - (205/63)] \\ &= 542.32 \end{aligned}$$

หาเวลาสแกนจากสมการ 3.3

$$\text{เวลาสแกนภาพ (วินาที)} = \text{ความยาวของปอดหรือต่อมไทรอยด์(ซม.)} \times (60 \text{วินาที}/10 \text{ ซม.})$$

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาสแกนภาพของต่อมไทรอยด์} &= (3\text{ cm}) \times (60\text{ s} / 10\text{ cm}) \\
 &= 18\text{ s} \\
 \text{ค่านับวัดต่อเวลาของต่อมไทรอยด์ด้านหน้า} &= 1243.79 / 18 \\
 &= 69.10\text{ cps} \\
 \text{ค่านับวัดต่อเวลาของต่อมไทรอยด์ด้านหลัง} &= 542.32 / 18 \\
 &= 30.13\text{ cps}
 \end{aligned}$$

2) หาค่าลดทอนรังสี (μ) ของปอดและต่อมไทรอยด์

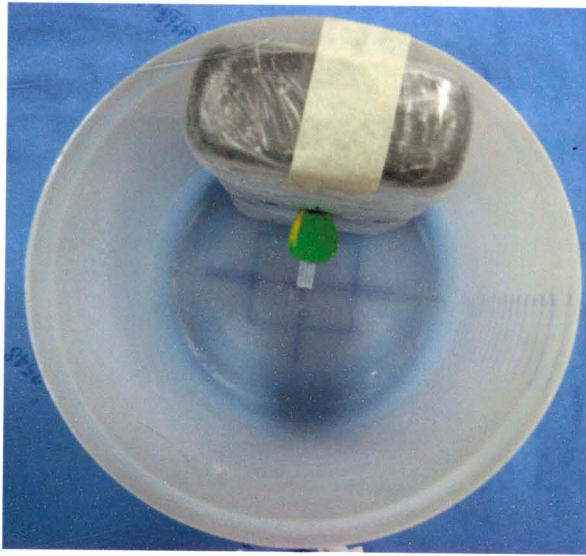
โดยการอ้างอิงจากงานวิจัยของ Brown และคณะ (2008)⁽³⁵⁾ ที่ได้ทำการศึกษาหาค่า μ สำหรับสารรังสีไอโอดีน-131 โดยใช้ขี้เลื่อย (sawdust) และน้ำ เป็นวัสดุแทนปอดและเนื้อเยื่อของต่อมไทรอยด์ และใช้เครื่อง dual head SPECT ยี่ห้อ Philips รุ่น SKYLIGHT ซึ่งเป็นเครื่องสแกนภาพแบบเดียวกันกับที่ใช้ในการศึกษานี้ ค่า μ ของปอดและต่อมไทรอยด์ ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.019 cm^{-1} และ 0.099 cm^{-1} ตามลำดับ

3) หาค่าปรับเทียบอัตรานับวัดกัมมันตรังสีต่อหน่วยความแรงรังสี (C) ของปอดและต่อมไทรอยด์

หาค่า C โดยใช้สารกัมมันตรังสี เครื่องสแกนภาพ คอลลิเมเตอร์ ชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการสแกนภาพ WBS สองมิติ ในผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์ โดยกำหนดระยะระหว่างคอลลิเมเตอร์ กับ source ที่ครึ่งหนึ่งของความหนาของผู้ป่วยที่อวัยวะที่ต้องการถ่ายภาพตั้งอยู่ ซึ่งในการศึกษานี้คือบริเวณหน้าอกและคอ ความหนาของหน้าอกที่ใช้เท่ากับ 19 ซม. อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยความหนาหน้าอกของกลุ่มผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในหน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และความหนาของคอเท่ากับ 10.5 ซม. อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยความหนาของอาสาสมัครจำนวน 30 คน ขั้นตอนการหาค่า C มีดังนี้

3.1) ใช้ คอลลิเมเตอร์ ชนิด high energy general purpose (HEGP)

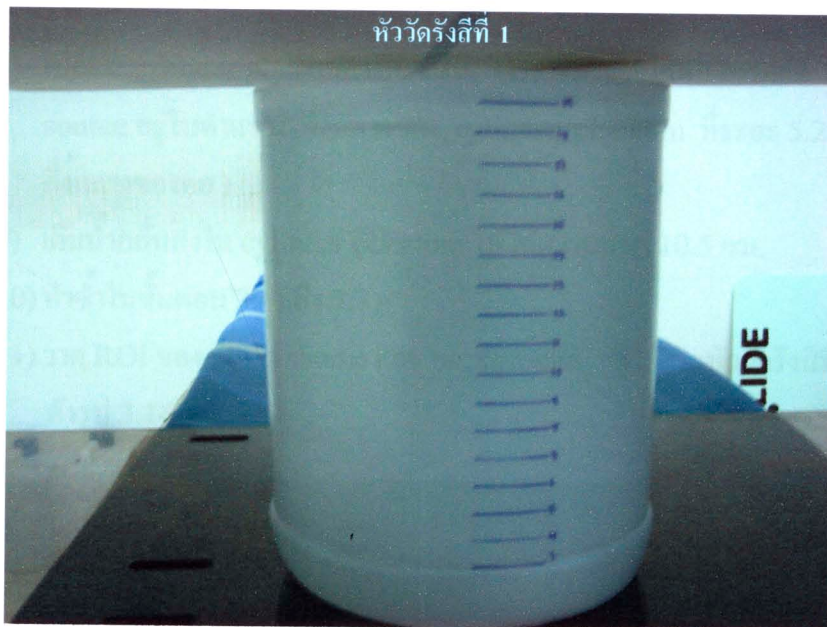
3.2) วาง point source ของสารรังสีไอโอดีน-131 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี 18.5 เมกกะเบคเคอเรล หรือ 500 ไมโครคูรี ในตำแหน่งกึ่งกลางของ cylinder phantom ปอด ที่ระยะ 9.5 ซม. (ระยะกึ่งกลางของหน้าอก) ดังรูป 3.11



รูป 3.11 ตำแหน่ง point source ใน cylinder phantom ปอด

3.3) เติมน้ำกลั่นลงใน cylinder phantom ให้ได้ความหนา 19 ซม.

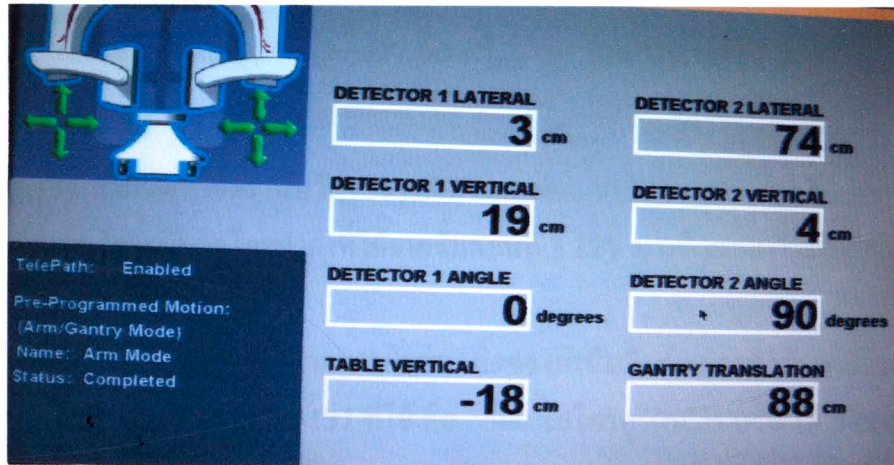
3.4) เลื่อนหัววัดรังสี (detector) หัวที่ 1 ให้ชิดขอบบนของ cylinder phantom ดังรูป 3.12



รูป 3.12 ตำแหน่งหัววัดรังสีที่วางบนขอบของ cylinder phantom ปอด



3.5) บันทึกระยะและตำแหน่ง ของหัววัดรังสี ดังรูป 3.13



รูป 3.13 หน้าจอเครื่อง SPECT แสดงตำแหน่งของหัววัดรังสีในการวัด point source ใน cylinder phantom ปอด

- 3.6) สแกนภาพ cylinder phantom ปอด นาน 10 นาที (600 วินาที)
- 3.7) เปลี่ยนหัววัดรังสีจากหัวที่ 1 เป็นหัวที่ 2 โดยใช้ระยะและตำแหน่งของหัววัดรังสีเดียวกัน ทำซ้ำในขั้นตอน 3.1) ถึง 3.6)
- 3.8) เปลี่ยน cylinder phantom เป็นขนาด 11.5 ซม. แทนต่อมไทรอยด์ โดยให้ point source อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของ cylinder phantom ที่ระยะ 5.25 ซม. (ระยะกึ่งกลางของคอ)
- 3.9) เติมน้ำกลั่นลงใน cylinder phantom ให้ได้ความหนา 10.5 ซม.
- 3.10) ทำซ้ำในขั้นตอน 3.4) ถึง 3.7)
- 3.11) วาด ROI ของ point source และ background ที่ได้จากหัววัดรังสีที่ 1 และ 2 ดังรูป 3.14



รูป 3.14 ภาพแสดง ROI ของ point source และ background ในการทดลองหาค่า C เพื่อปรับเทียบระบบ

3.12) คำนวณหาค่านับวัดสุทธิของ point source จากสมการ 3.2

$$Net\ count = pixel_{ROI} \times \left[(count / pixel)_{ROI} - (background / pixel)_{Bg} \right]$$

3.13) คำนวณหาอัตรานับวัดของ point source

คำนวณอัตรานับวัดโดยนำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.12) หารด้วยเวลาในการสแกนภาพ คือ 10 นาทีหรือ 600 วินาที

3.14) คำนวณหาค่า C จากการนำค่าเฉลี่ยของค่านับวัดต่อเวลาที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.13 หารด้วยปริมาณสารรังสีไอโอดีน-131 ที่ใช้ คือ 500 ไมโครคูรี(μCi) หรือ 18.5 เมกกะเบคเคอเรล (MBq) ดังแสดงในตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่าง 3 วิธีคำนวณหาค่า C ที่ตำแหน่งคอมไทรอยด์ จากค่านับวัดใน ROI และจำนวนพิกเซลของ point source และ background ของหัววัดที่ 1 และ 2

		ค่านับวัด	จำนวนพิกเซล
หัววัดรังสีที่ 1	ภาพ ROI ของ point source	228,978	161
	ภาพ ROI ของ background	3,469	33
หัววัดรังสีที่ 2	ภาพ ROI ของ point source	227,493	161
	ภาพ ROI ของ background	3,655	33

กำหนดเวลาเก็บภาพ 600 วินาที และ ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารรังสีไอโอดีน-131 ใน point source เท่ากับ 18.5 เมกกะเบคเคอเรล

จากสมการ 3.2

$$Net\ count = pixel_{ROI} \times \left[(count / pixel)_{ROI} - (background / pixel)_{Bg} \right]$$

$$\begin{aligned} Net\ count_{detector\ 1} &= 161_{ROI} \times \left[(228,978 / 161)_{ROI} - (3,469 / 33)_{Bg} \right] \\ &= 212,054 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Net count}_{\text{detector 2}} &= 161_{\text{ROI}} \times \left[(227,493/161)_{\text{ROI}} - (3,655/33)_{\text{Bg}} \right] \\
 &= 209,661
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mean Net count} &= (\text{Net count}_{\text{detector 1}} + \text{Net count}_{\text{detector 2}}) / 2 \\
 &= (212,054 + 209,661) / 2 \\
 &= 210,858
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการนับวัด} &= 210,858 / 600 \text{ cps} \\
 &= 351.43 \text{ cps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า } C \text{ ที่ตำแหน่งต่อมไทรอยด์} &= 351.43 \text{ cps} / 18.5 \text{ MBq} \\
 &= 19 \text{ cps} / \text{MBq}
 \end{aligned}$$

4) นำค่านับวัดต่อเวลาจากภาพสแกนด้านหน้าและด้านหลัง ($I_A I_P$) ค่า C ค่า μ_c และความหนาของร่างกายส่วนที่สแกนภาพ (t) ไปคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีจากภาพสแกน 2 มิติ ที่ถ่ายเมื่อวันที่ 5-8 หลังการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน-131 ดังแสดงในตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่าง 4 การคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีในปอดและต่อมไทรอยด์จากภาพสแกน WBS

จากภาพ WBS ที่เวลา 7 วัน หลังได้รับการรักษาด้วยสารรังสีไอโอดีน -131 อัตรานับวัดของต่อมไทรอยด์ด้านหน้าและด้านหลังเท่ากับ 69.10 และ 30.13 cps ตามลำดับ ค่า C ที่ตำแหน่งต่อมไทรอยด์เท่ากับ 19 cps/MBq ค่า μ_c ของต่อมไทรอยด์มีค่า 0.099 cm⁻¹ คอมีความหนา 10.5 cm กัมมันตภาพรังสีที่ต่อมไทรอยด์คำนวณโดยสมการ

$$A_j = \sqrt{\frac{I_A I_P}{e^{-\mu_c t}}} \frac{f_j}{C}$$

ค่า f_j ถือว่าเป็นค่าที่มีผลต่อการคำนวณน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้⁽²⁹⁾

$$A_j = \sqrt{\frac{69.10 \text{ cps} \times 30.13 \text{ cps}}{e^{-0.099 \text{ cm}^{-1} \times 10.5 \text{ cm}}}} \times \frac{1}{19 \text{ cps} / \text{MBq}}$$

$$\text{ค่ากัมมันตภาพรังสีของต่อมไทรอยด์ } (A_j) \text{ ที่เวลา 7 วัน} = 4.04 \text{ MBq}$$

3.2.3.3 หาค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีในปอดและต่อมไทรอยด์ที่เวลาศูนย์ $t = 0$ วินาที (A_0)

นำค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้จากภาพสแกน ณ เวลาสแกนหลังได้รับการรักษาด้วยสารรังสี ไอโอดีน-131 มาคำนวณค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่เวลา $t = 0$ วินาที (A_0) ดังแสดงในตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่าง 5 วิธีคำนวณปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่เวลา $t = 0$ วินาที (A_0)

ค่ากัมมันตภาพรังสีของต่อมไทรอยด์ ที่เวลา 7 วันมีค่าเท่ากับ 4.04 MBq ค่า T_{eff} ของต่อมไทรอยด์ มีค่าเท่ากับ 175.2 ชั่วโมง

จากสมการ 2.5

$$\begin{aligned}\lambda_{eff} &= \frac{\ln 2}{T_{eff}} \\ \lambda_{eff} &= \frac{0.693}{175.2 h} \\ \lambda_{eff} &= 3.96 \times 10^{-3} h^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{เวลา 1 วันเท่ากับ } 24 \text{ ชั่วโมง ดังนั้นเวลา 7 วัน} &= 7 \times 24 \\ &= 168 h\end{aligned}$$

จากสมการ 2.3

$$\begin{aligned}A(t) &= A_0 e^{(-\lambda_{eff} t)} \\ A_0 &= 4.04 \text{ MBq} / e^{(-3.96 \times 10^{-3} h^{-1} \times 168 h)}\end{aligned}$$

$$\text{ค่ากัมมันตภาพรังสีของต่อมไทรอยด์ } (A_j) \text{ ที่เวลา } t = 0 \text{ วินาที} = 7.86 \text{ MBq}$$

เมื่อได้ค่า T_{eff} และ A_0 ของแต่ละอวัยวะแล้วนำไปคำนวณหาค่า cumulated activity ในปอด ($\tilde{A}_L$) และในต่อมไทรอยด์ ($\tilde{A}_{thy}$) ดังแสดงในตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่าง 6 วิธีคำนวณค่า $\tilde{A}_{(Thy)}$

ค่ากัมมันตภาพรังสีของต่อมไทรอยด์ที่เวลา $t = 0$ วินาที มีค่าเท่ากับ 7.85 MBq ค่า T_{eff} ของต่อมไทรอยด์มีค่าเท่ากับ 175.2 ชั่วโมง

1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 60 นาที 1 นาที มีค่าเท่ากับ 60 วินาที

$$175.2 \text{ ชั่วโมงมีค่า} = 175.2 \times 60 \times 60$$

$$= 630,720 \text{ วินาที}$$

ดังนั้น ค่า T_{eff} ของต่อมไทรอยด์ มีค่าเท่ากับ 630,720 วินาที

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ 2.8} \quad \tilde{A} &= 1.443 T_{eff} A_0 \\ &= 1.443 \times 630,720 \text{ s} \times 7.85 \text{ MBq} \end{aligned}$$

$$\text{ค่า } \tilde{A} \text{ ในต่อมไทรอยด์มีค่า} = 7.14 \times 10^6 \text{ MBq-s}$$

3.2.4 วิธีคำนวณค่า S-value

ค่า S-value ของสารกัมมันตรังสีแต่ละชนิด ในแต่ละอวัยวะของผู้ป่วยแต่ละคนมีค่าไม่เท่ากัน ปัจจุบันได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ ที่คำนวณจากหุ่นจำลองของ คริสตี้ - แอกเคอร์แมน ขนาดต่าง ๆ ได้แก่ หุ่นจำลองผู้ใหญ่ หุ่นจำลองเด็กอายุ 15 ปี เด็กอายุ 10 ปี เด็กอายุ 5 ปี เด็กอายุ 1 ปี เด็กแรกเกิด และจากหุ่นจำลองของสตาบิน คือ หุ่นจำลองผู้ใหญ่เพศหญิง หุ่นจำลองหญิงขณะตั้งครรภ์ 3 เดือน 6 เดือน และ 9 เดือน อีกทั้งการพัฒนาโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA ได้คำนวณค่า S-value เหล่านี้ไว้แล้ว

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้คำนวณค่า S-value ของสารรังสีไอโอดีน -131 จากต่อมไทรอยด์ไปปอด $S_{(L \leftarrow Thy)}$ และจากปอดไปปอด $S_{(L \leftarrow L)}$ ด้วยมือ โดยใช้ข้อมูล $SAF_{(T \leftarrow S)}$ และมวลอวัยวะของหุ่นจำลอง คริสตี้ - แอกเคอร์แมน-สตาบิน เปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูล $SAF_{(T \leftarrow S)}$ เดียวกันแต่ใช้มวลอวัยวะของคนไทย ค่า S-value ที่ได้จากการคำนวณจะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอดและต่อมไทรอยด์ของผู้ป่วย เปรียบเทียบกับปริมาณรังสีดูดกลืนที่คำนวณด้วยโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1) คำนวณหาค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ ของสารรังสีไอโอดีน-131 ด้วยมือ

ค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ ที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ เป็นค่าที่ได้จากการศึกษาด้วยหุ่นจำลองคริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน- สตาบิน เป็นค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ ในแต่ละช่วงพลังงาน ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ สำหรับสารกัมมันตรังสีแต่ละชนิด (ตาราง ง.1-4 ภาคผนวก ง) ดังสมการ 3.4 และในตัวอย่างที่ 7 แสดงวิธีการคำนวณ $SAF_{(T \leftarrow S)}$ จากปอดไปปอด

$$SAF_{(T \leftarrow S)} \quad \text{หรือ} \quad \Phi_{i(T \leftarrow S)} = \frac{\phi_{i(T \leftarrow S)}}{m_T} \quad (3.4)$$

ตัวอย่าง 7 การคำนวณหาค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ ของสารรังสีไอโอดีน-131 จากปอดไปปอด

จากตาราง 3.4 สารรังสีไอโอดีน-131 สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน (E_i) 0.364 MeV ด้วยสัดส่วนของพลังงานที่ได้จากการสลายตัวหนึ่งครั้ง (y_i) เท่ากับ 0.817 และจากตาราง 3.1 ค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ สำหรับหุ่นจำลองผู้ใหญ่เพศหญิงของสตาบิน ที่ได้จากปอดไปปอด ($SAF_{(L \leftarrow L)}$) ที่พลังงาน 0.20 MeV มีค่าเท่ากับ $6.74 \times 10^{-5} \text{ g}^{-1}$ และที่พลังงาน 0.50 MeV มีค่าเท่ากับ $6.98 \times 10^{-5} \text{ g}^{-1}$

โดยวิธี interpolation หาค่า $SAF_{(L \leftarrow L)}$ ของรังสีแกมมาพลังงาน (E_i) 0.364 MeV ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พลังงานรังสีต่างกัน } 0.30 \text{ MeV ค่า } SAF_{(L \leftarrow L)} \text{ ต่างกัน} &= 0.24 \times 10^{-5} \text{ g}^{-1} \\ \text{พลังงานรังสีต่างกัน } 0.164 \text{ MeV ค่า } SAF_{(L \leftarrow L)} \text{ ต่างกัน} &= \frac{(0.24 \times 10^{-5} \text{ g}^{-1}) \times (0.164 \text{ MeV})}{0.30 \text{ MeV}} \\ &= 1.31 \times 10^{-6} \text{ g}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่า } SAF_{(L \leftarrow L)} \text{ ของรังสีแกมมาพลังงาน } (E_i) 0.364 \text{ MeV} &= (6.74 \times 10^{-5}) + (1.31 \times 10^{-6}) \text{ g}^{-1} \\ &= 6.87 \times 10^{-5} \text{ g}^{-1} \end{aligned}$$

2) คำนวณหาค่า S-value ของสารรังสีไอโอดีน -131

ดังแสดงในตัวอย่างที่ 8 คำนวณค่า S-value โดยสมการ 2.16

$$S_{(T \leftarrow S)} = \frac{k \sum y_i E_i \phi_{i(T \leftarrow S)}}{m_{(T)}}$$

หรือ คำนวณได้โดยใช้ สมการ 2.15

$$S_{(T \leftarrow S)} = k \sum_i E_i y_i \Phi_{i(T \leftarrow S)}$$

เมื่อ $\Phi_{i(T \leftarrow S)}$ คือค่า $SAF_{(T \leftarrow S)}$ มีค่า $= \frac{\phi_{i(T \leftarrow S)}}{m_{(T)}}$

ดังนั้น $S_{(T \leftarrow S)} = k \sum y_i E_i SAF_{(T \leftarrow S)} \quad (3.5)$

ตัวอย่าง 8 การคำนวณหาค่า S-value

ผลรวมของค่า $y_i E_i SAF_{(L \leftarrow L)}$ ของพลังงานรังสีทุกพลังงานที่ได้จากการสลายตัวของสารรังสีไอโอดีน - 131 มีค่าเท่ากับ $2.6710 \times 10^{-4} \text{ MeVg}^{-1}$ (ตาราง ง.4 ภาคผนวก ง) และ k มีค่าเท่ากับ $1.6 \times 10^{-4} \text{ mGy} - \text{kg} / \text{MBq} - \text{s} - \text{MeV}$

แทนค่าในสมการ 3.5 ค่า $S_{(L \leftarrow L)}$ ของสารรังสีไอโอดีน-131 สำหรับผู้ใหญ่เพศหญิงของสถาบัน มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} S_{(L \leftarrow L)} &= 1.6 \times 10^{-4} \times 10^3 \text{ mGy} - \text{g} / \text{MBq} - \text{s} - \text{MeV} \times 2.6710 \times 10^{-4} \text{ MeVg}^{-1} \\ &= 4.2736 \times 10^{-5} \text{ mGy/MBq-s} \end{aligned}$$

3) การคำนวณหาค่า S-value ของสารรังสีไอโอดีน -131 สำหรับคนไทย

ค่า S-value โดยทั่วไปได้มาจากหุ่นจำลองของ คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สถาบัน เป็นข้อมูลของชาวอเมริกัน แต่การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาในคนไทยซึ่งมีขนาดของอวัยวะแตกต่างจากชาวอเมริกัน การศึกษานี้จึงได้ประยุกต์ข้อมูลมวลอวัยวะภายในของคนไทยมาใช้คำนวณค่า S-value ของสารรังสีไอโอดีน -131 ใหม่เพื่อใช้สำหรับคนไทย โดยใช้สมการ 3.6 ดังตัวอย่างที่ 9 แสดงวิธีหาค่า S-value โดยใช้มวลปอดของคนไทย

$$S_{(T \leftarrow S)Thai} = \frac{S_{(T \leftarrow S)Cris} \times m_{(T)Cris}}{m_{(T)Thai}} \quad (3.6)$$

เมื่อ $S_{(T \leftarrow S)Thai} =$ ค่า S-value ของคนไทย

$S_{(T \leftarrow S)Cris} =$ ค่า S-value ของ คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สถาบัน



เมื่อ	$S_{(T \leftarrow S)Thai}$	=	ค่า S-value ของคนไทย
	$S_{(T \leftarrow S)Cris}$	=	ค่า S-value ของ คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบีน
	$m_{(T)Thai}$	=	ค่า $m_{(T)}$ ของคนไทย
	$m_{(T)Cris}$	=	ค่า $m_{(T)}$ ของ คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบีน

ตัวอย่าง 9 การคำนวณหาค่า S-value ของสารรังสีไอโอดีน -131 สำหรับคนไทย

หุ่นจำลองผู้ใหญ่เพศหญิงของสตาบีนมีค่า $S_{(L \leftarrow L)}$ ของสารรังสีไอโอดีน-131 เท่ากับ 4.2736×10^{-5} mGy/MBq-s ค่า $S_{(L \leftarrow Thy)}$ เท่ากับ 3.2436×10^{-7} mGy/MBq-s (ตาราง ง.2 ภาคผนวก ง) มวลปอดของผู้ใหญ่เพศหญิงของสตาบีน มีค่า 800 กรัม⁽³²⁾ ของคนไทยมีค่า 522 กรัม⁽³³⁾

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ 3.6} \quad S_{(L \leftarrow L)Thai} &= \frac{4.2736 \times 10^{-5} \text{ mGy / MBq - s} \times 800 \text{ g}}{522 \text{ g}} \\
 &= 6.5496 \times 10^{-5} \text{ mGy/MBq-s} \\
 S_{(L \leftarrow Thy)Thai} &= \frac{3.2436 \times 10^{-7} \text{ mGy / MBq - s} \times 800 \text{ g}}{522 \text{ g}} \\
 &= 4.9710 \times 10^{-7} \text{ mGy/MBq-s}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า $S_{(L \leftarrow L)}$ และ ค่า $S_{(L \leftarrow Thy)}$ ของ สารรังสีไอโอดีน-131 สำหรับผู้ใหญ่เพศหญิงของคนไทยมีค่าเท่ากับ 6.5496×10^{-5} mGy/MBq-s และ 4.9710×10^{-7} mGy/MBq-s ตามลำดับ

3.2.5 วิธีคำนวณหาค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด ($\bar{D}_{(L)}$)

นำค่า $\tilde{A}_{(S)}$ ที่ปอดและต่อมไทรอยด์ และค่า S-value ทั้งของ คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบีนและ ของคนไทย มาคำนวณหาค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด

ตัวอย่าง 10 การคำนวณหาค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด

ผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์ที่มีการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปที่ปอดเพศหญิง

$$\begin{aligned}
\text{ค่า } S_{(L \leftarrow L)Cris} &= 4.2736 \times 10^{-5} \text{ mGy/MBq-s} \\
S_{(L \leftarrow Thy)Cris} &= 3.2436 \times 10^{-7} \text{ mGy/MBq-s} \\
S_{(L \leftarrow L)Thai} &= 6.5496 \times 10^{-5} \text{ mGy/MBq-s} \\
S_{(L \leftarrow Thy)Thai} &= 4.9710 \times 10^{-7} \text{ mGy/MBq-s (ตาราง ง.2 ภาคผนวก ง)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{จากสมการ 3.1 } \bar{D}_{(L)} &= \tilde{A}_{(L)} S_{(L \leftarrow L)} + \tilde{A}_{(Thy)} S_{(L \leftarrow Thy)} \\
\bar{D}_{(L)Cris} &= (6.3149 \times 10^7 \text{ MBq-s} \times 4.2736 \times 10^{-5} \text{ mGy/MBq-s}) + \\
&\quad (7.1433 \times 10^6 \text{ MBq-s} \times 3.2436 \times 10^{-7} \text{ mGy/MBq-s}) \\
&= 2.701 \times 10^3 \text{ mGy} \\
&= 2.701 \text{ Gy}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{D}_{(L)Thai} &= (6.3149 \times 10^7 \text{ MBq-s} \times 6.5496 \times 10^{-5} \text{ mGy/MBq-s}) + \\
&\quad (7.1433 \times 10^6 \text{ MBq-s} \times 4.9710 \times 10^{-7} \text{ mGy/MBq-s}) \\
&= 4.1396 \times 10^3 \text{ mGy} \\
&= 4.1396 \text{ Gy}
\end{aligned}$$

สรุป ปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอดคำนวณจากค่า $S_{(L \leftarrow L)}$ และ $S_{(L \leftarrow Thy)}$ ของ คริสตี้ - แอกเคอร์แมน- สเตาบิน มีค่าเท่ากับ 2.701 Gy และปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอดคำนวณจากค่า $S_{(L \leftarrow L)}$ และ $S_{(L \leftarrow Thy)}$ ของคนไทยมีค่าเท่ากับ 4.1396 Gy

3.2.6 การคำนวณปริมาณรังสีดูดกลืนด้วยโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA

การคำนวณปริมาณรังสีดูดกลืนด้วยโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA มีขั้นตอนดังนี้

1) นำค่า A_0 ที่ได้ไปคำนวณหาค่าร้อยละของการอับเทค ของสารรังสีไอโอดีน - 131 ที่ปอดและที่ต่อมไทรอยด์ ด้วยสมการ 3.7 ดังแสดงในตัวอย่าง 11

$$\text{ร้อยละของการอับเทค} = (A_0 / \text{Administered I-131 dose}) \times 100 \quad (3.7)$$

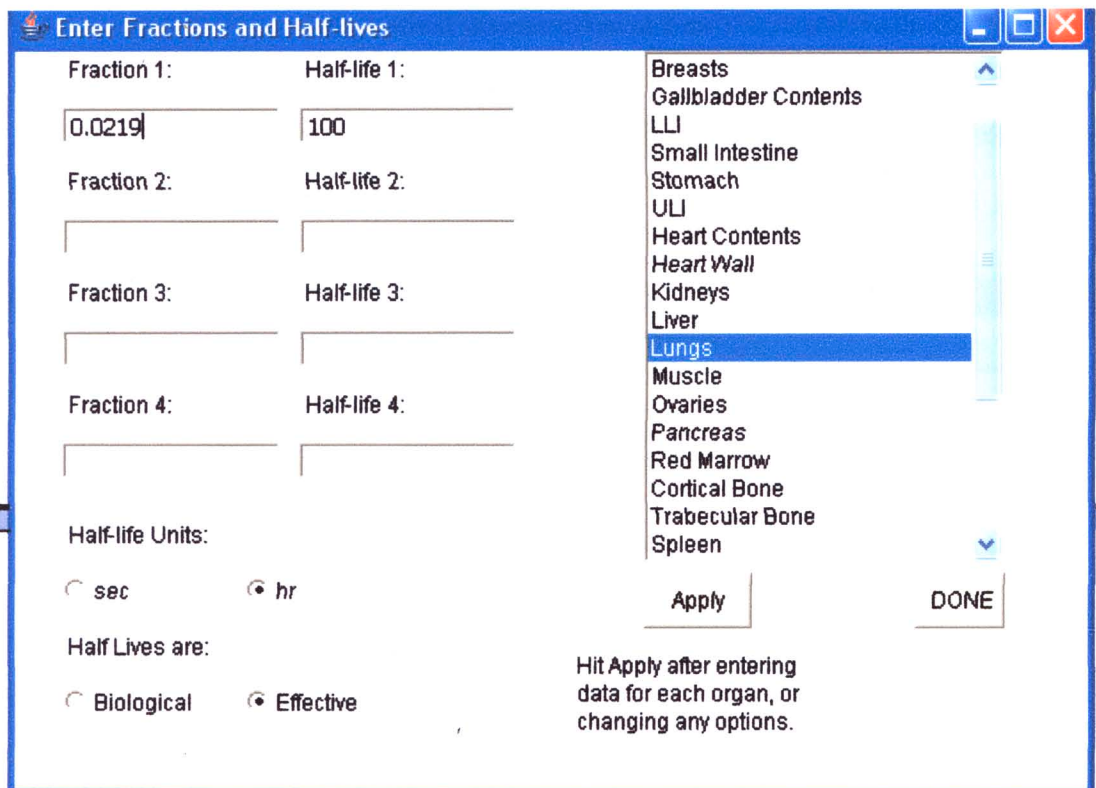
เมื่อ Administered I-131 dose = ปริมาณสารรังสีไอโอดีน -131 ที่ให้แก่ผู้ป่วย (MBq)

ตัวอย่าง 11 การคำนวณร้อยละของการอัปเดต

ผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์ที่มีการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปที่ปอด เพศหญิงอายุ 37 ปี มีค่า A_0 ที่ปอดเท่ากับ 121.56 MBq ที่ต่อมไทรอยด์เท่ากับ 7.85 MBq ปริมาณสารรังสีไอโอดีน-131 ที่ให้แก่ผู้ป่วยในการรักษามีค่าเท่ากับ 5550 MBq

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ 3.7 ร้อยละของการอัปเดตที่ปอด} &= (121.56 \text{ MBq} / 5550 \text{ MBq}) \times 100 \\
 &= 2.19 \text{ MBq} \\
 \text{ร้อยละของการอัปเดตที่ต่อมไทรอยด์} &= (7.85 \text{ MBq} / 5550 \text{ MBq}) \times 100 \\
 &= 0.14 \text{ MBq}
 \end{aligned}$$

2) ป้อนข้อมูล ค่าร้อยละของการอัปเดต ของสารรังสีไอโอดีน-131 ที่ปอดและที่ต่อมไทรอยด์ และค่า T_{eff} ของปอดและต่อมไทรอยด์ ลงในโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA เพื่อคำนวณค่าปริมาณรังสีดูดกลืน ดังรูป 3.15 และ 3.16



Enter Fractions and Half-lives

Fraction 1:	Half-life 1:	Organ
0.0219	100	Lungs

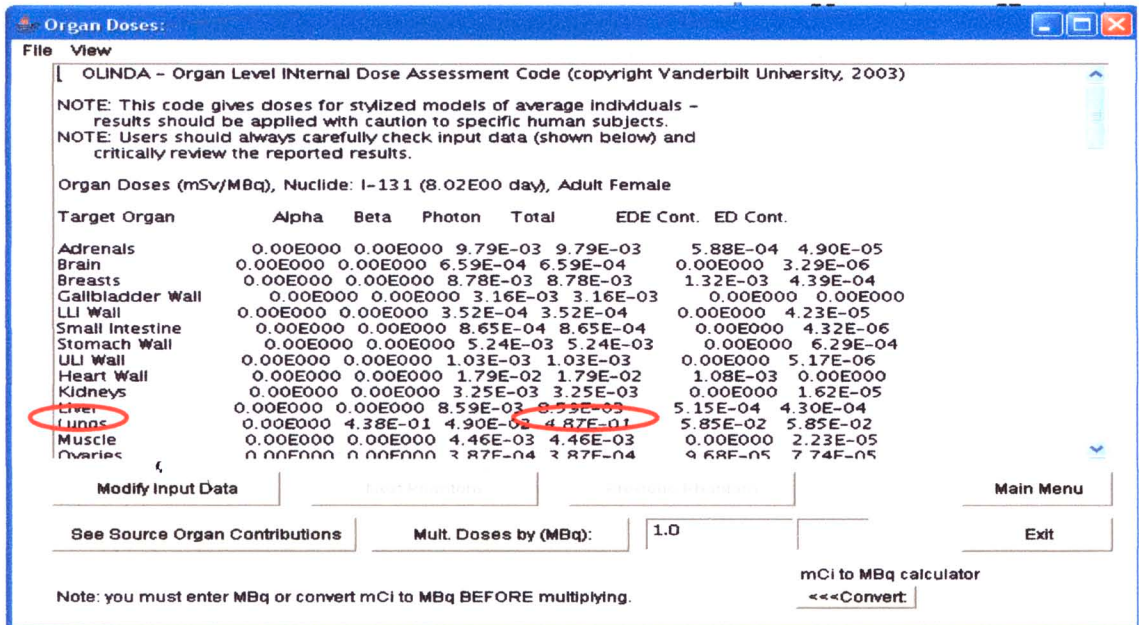
Half-life Units: ☐ sec ☒ hr

Half Lives are: ☐ Biological ☒ Effective

Apply DONE

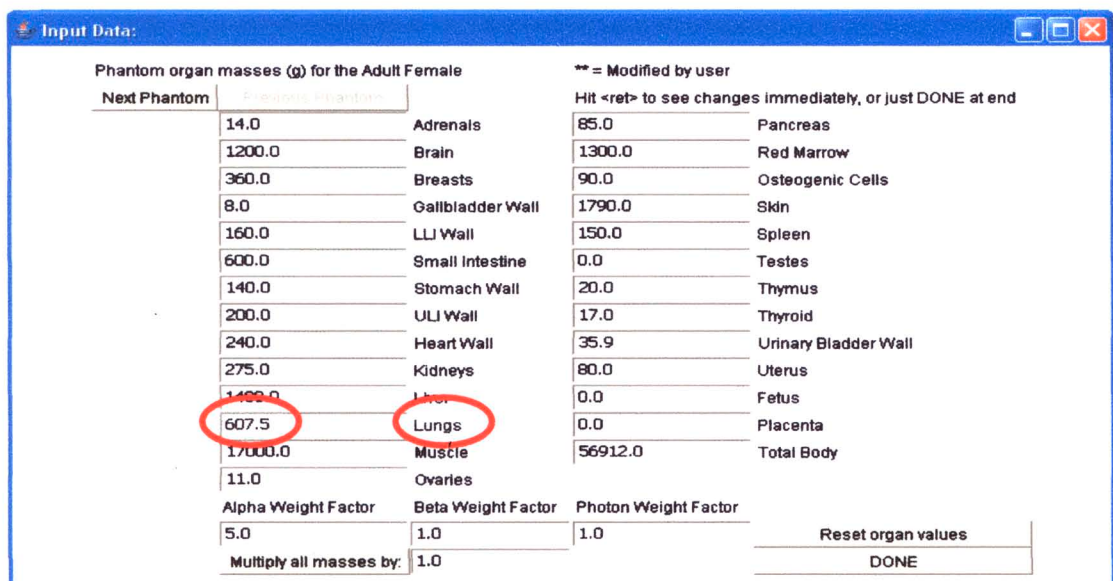
Hit Apply after entering data for each organ, or changing any options.

รูป 3.15 แสดงการป้อนข้อมูล ค่าร้อยละของการอัปเดตและค่า T_{eff} ของปอดลงในโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA



รูป 3.16 แสดงค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA

3) เปลี่ยนแปลงค่ามวลของปอดในโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA เป็นมวลของคนไทย แล้วคำนวณค่าปริมาณรังสีดูดกลืน



รูป 3.17 แสดงค่ามวลของอวัยวะภายในโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่ามวลของอวัยวะต่าง ๆ ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

3.2.7 เปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอดจากการคำนวณจากภาพสแกนสองมิติและโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA

เปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีดูดกลืนของสารรังสีไอโอดีน-131 ในปอด จากการคำนวณด้วยวิธีการวัดจากภาพสแกนสองมิติและโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA โดยใช้มวลปอดของหุ่นจำลอง คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบินและของคนไทย ดังต่อไปนี้

3.2.7.1 เปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด ($\bar{D}_{(L)}$) จากการคำนวณด้วยมือและโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA โดยใช้ค่า S-value ของหุ่นจำลอง คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบิน

3.2.7.2 เปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด ($\bar{D}_{(L)}$) จากการคำนวณด้วยมือและโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA โดยใช้ค่า S-value ของคนไทย

3.2.7.3 เปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด ($\bar{D}_{(L)}$) ที่คำนวณด้วยค่า S-value ของหุ่นจำลอง คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบิน กับค่าปริมาณรังสีดูดกลืนที่ปอด ($\bar{D}_{(L)}$) ที่คำนวณด้วยค่า S-value ของคนไทย

3.2.8 หาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคำนวณจากภาพสแกนสองมิติและโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA

การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืนที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการวัดจากภาพสแกนสองมิติและโปรแกรมรังสีคณิต OLINDA โดยใช้ค่า S-value ของหุ่นจำลอง คริสตี้ - แอ็กเคอร์แมน - สตาบินและค่า S-value ของคนไทย

3.2.9 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- ค่าเฉลี่ย
- ค่าร้อยละความแตกต่าง
- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- Student pair t-test

คำนวณโดยใช้โปรแกรม SPSS

3.3 สรุปวิธีการศึกษาวิจัย

