

핵의학검사의 환자 유효선량 계산 프로그램 제작에 관한 연구

선종률¹, 길종원^{2*}

¹대전보건대학교 방사선학과, ²대전선병원 영상의학과

Study on Development of Patient Effective Dose Calculation Program of Nuclear Medicine Examination

Jong-Ryul Seon¹, Jong-Won Gil^{2*}

¹Dept. of Radiology, Daejeon Health Institute of Technology

²Dept. of Radiology, Daejeon Sun Medical Center

요약 본 연구의 목적은 핵의학검사를 하는 수검자(환자)의 유효선량(mSv)을 손쉽게 산출할 수 있는 전용 프로그램을 제작·보급하여 핵의학검사의 피폭선량 연구와 선량정보 공개를 위해 노력하고자 한다. 프로그램은 ICRP 80, 106 Report와 추록4에 수록되어 있는 방사성의약품의 방사능당 유효선량(mSv/MBq)을 Database로 만든 다음 5가지(Area, Clark, Solomon(Fried), Webster, Young) 소아주입량 산출법과 7가지 체표면적 산출법이 적용되도록 Microsoft의 Visual Basic(In Excel)으로 제작하였다. 프로그램은 수검자의 연령, 방사성핵종, 표지화합물, 그리고 인체주입량을 입력하면 유효선량(mSv)이 산출된다. 소아의 경우 연령 입력 시 소아산출법이 활성화 되며 적용할 소아산출법을 선택하면 된다. 그리고 소아산출법 중 Area법을 선택하는 경우 체표면적산출법을 고르는 선택창이 활성화 된다. 그런 다음 성인의 주입량을 입력하면 소아의 주입량과 유효선량(mSv)이 자동으로 산출된다. 본 연구에서 제작한 핵의학검사의 환자 유효선량 계산 프로그램은 실제 계측선량이 아니지만 핵의학 검사 시 받게 되는 인체의 내부피폭선량을 가장 근접하게 산출할 수 있는 도구로서 의미가 있다. 향후 프로그램의 활용도를 높이기 위해 모바일기기에서 사용할 수 있는 애플리케이션으로 제작하여 일반인도 쉽게 접근할 수 있도록 할 것이다.

Abstract The aim of this study was to develop and distribute a dedicated program that can easily calculate the effective dose of a patient undergoing nuclear medicine examinations, and assist in the study of dose of nuclear medicine examinations and information disclosure. The program produced a database of the effective dose per unit activity administered (mSv/MBq) of the radiopharmaceuticals listed in ICRP 80, 106 Report and the fourth addendum, was designed through Microsoft Visual Basic (In Excel) to take the effect of 5 different (Area, Clark, Solomon(=Fried), Webster, Young) of pediatric dose calculation methods and 7 different body surface area calculation methods. The program calculates the effective dose (mSv) when the age, radionuclide, substance, and amount injected in the human body is inputted. In pediatric cases, when the age is entered, the pediatric method is activated and the pediatric method to be applied can be selected. When the BSA (Body Surface Area) formula is selected in the pediatric calculation method, a selection window for selecting the body surface area calculation method is activated. When the adult dose is input, the infant dose and the effective dose (mSv) are calculated automatically. The patient effective dose calculation program of the nuclear medicine examinations produced in this study is meaningful as a tool for calculating the internal exposure dose of the human body that is most likely to be obtained in nuclear medicine examinations, even though it is not the actual measurement dose. In the future, to increase the utilization of the program, it will be produced as an application that can be used in mobile devices, so that the public can access it easily.

Keywords : Effective Dose, ICRP, Nuclear Medicine, Pediatric Dose Formula, Radiopharmaceutical

본 논문은 2016년 대전보건대학교의 교내연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

*Corresponding Author : Jong-Won Gil(Daejeon Sun Medical Center.)

Tel: +82-10-3436-0354 email: yaeun21@hanmail.net

Received November 7, 2016

Revised (1st December 13, 2016, 2nd January 4, 2017)

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

1. 서론

핵의학검사는 방사성의약품(Radiopharmaceutical)을 환자의 경구 또는 정맥에 주사하여 일정시간 후 목적 장기 내 방사성의약품의 분포상태를 체외에서 검출하여 영상으로 획득하는 것으로[1] 질병의 진단과 치료를 위해 유용한 의료 정보를 제공[2]하지만 검사 시 인체는 내부 피폭을 받는다.

인체의 내부피폭 측정은 직접측정법과 간접측정법으로 나뉜다. 직접측정법은 인체에 집적된 방사성핵종(Radionuclide)을 전신계측기(Whole Body Counter)의 섬광검출기나 반도체검출기로 검출한 후 다중과도분석기(Multi-Channel Analyzer)를 이용하여 핵종을 분석하고 핵종의 생물학적 반감기, 생체 대사분율 등을 고려하여 평가하는 방식이고, 간접측정법은 체내에 축적된 방사성물질이 특정장기에 집적된 양을 직접 계산할 수 없으므로 간접적으로 인체의 요, 변, 혈액 등의 시료를 채취하여 신체 부하량을 측정하거나 생물학적 분석(Bioassay)법과 공기 중이나 수중의 방사능 농도를 측정하여 표준인의 하루 흡입하는 공기의 양 등을 기준으로 내부 피폭량을 계산하는 방식이다[3].

핵의학검사로 인한 환자의 내부피폭선량도 같은 방법으로 측정할 수 있지만, 현실적으로 의료기관에서 실현하기는 불가능하다. 또한, 검사 시 투여하는 방사성의약품에 따라 방사능의 세기가 다르고 반감기, 배설, 대사 등의 조건을 모두 고려해야 하므로 CT(Computed Tomography)나 X선 검사와 같은 체외피폭과 달리 선량 산출은 더욱 어렵다.

방사성의약품의 주입으로 인한 인체 내부피폭 평가는 주로 MIRD(Medical Internal Radiation Dose)체계를 이용한다[4-6]. 이는 1960년대에 처음 표준화된 방법으로 진단과정에서 표적장기의 평균 선량을 평가할 목적으로 개발되었다. 이 방법은 선원장기(Source Organ) 및 표적장기(Target Organ)를 확인하여 각각의 경우에 선원장기에서 표적장기에 전달되는 특정방사선에 의한 흡수선량을 선원장기내의 집적방사능량과 평형흡수선량계수, 표적장기의 무게, 흡수분획(Absorbed Fraction)의 함수로 표현한 것이다[7].

임상에서 핵의학검사를 받는 환자의 유효선량은 ICRP(International Commission on Radiological Protection) Report에 수록된 방사성핵종별 생체역동학(Biokinetic)

데이터에 근거한 방사능당 흡수선량(mGy/MBq)에 조직가중계수(W_T), 방사선가중계수(W_R) 그리고 핵종의 인체 주입량(mCi)을 곱하여 산출할 수 있지만 실제 계산 시 검사에 해당하는 핵종의 선량값을 일일이 찾아야 하고 방사선 피폭에 의한 감수성도 연령에 따라 다르게 적용해야 하므로 선량산출이 어렵고 번거롭다[8-10].

그리고 의료기관마다 동일 검사에 사용되는 방사선의약품의 종류도 다르고 인체 주입량과 소아주입량의 산출방법도 다양하기 때문에 제시하는 선량값도 일률적이지 않을 것이다[11-14].

최근 방사선에 대한 국민적 관심 증가, 특히 의료방사선에 대한 막연한 불안감은 각종 보도에 의해 이미 우리 사회의 중요한 관심사로 자리 잡고 있다. 진단 의료방사선검사의 경우 많은 연구에서 피폭선량을 제시하고 있고[15-18], 검사별 권고선량도 이미 제시되어 있다[19]. 그러나 핵의학 검사의 경우 검사별 유효선량을 제시한 연구가 일부 존재하지만[16, 20] 모든 검사를 산출하지 않았고, 환자를 접촉하는 작업종사자나 보호자 또는 주변 환경의 선량을 평가하는 연구가 대부분으로[21-24] 일반인들에게 공개된 자료 또한 찾아보기 어렵다.

그래서 본 연구는 이러한 국민적 관심에 발맞춰 핵의학검사의 검사별 유효선량을 쉽게 산출할 수 있는 전용 프로그램을 제작·보급하여 핵의학검사의 유효선량 연구와 환자선량 정보를 공유할 수 있도록 조력하고자 한다.

2. 실험 및 방법(프로그램 제작)

핵의학검사의 유효선량 계산 프로그램은 핵의학검사에 사용하는 방사성의약품(방사성핵종과 표지화합물)의 방사능당 유효선량(mSv/MBq)과 소아주입량 산출방법 등을 수집·정리한 후 프로그램에 적용하여 제작하였다.

2.1 방사성의약품(방사성핵종과 표지화합물)의 방사능당 유효선량(mSv/MBq)

핵의학검사에 사용하는 방사성의약품(방사성핵종과 표지화합물)의 방사능당 유효선량(mSv/MBq)은 ICRP 80, 103 Report, 4번째 추록(A Fourth Addendum)에 수록된 내용을 수집하여 적용하였다.

ICRP 80 Report는 방사성의약품에 의한 환자선량을 처음 수록한 ICRP 53 Report의 두 번째 추록으로 그간

C.9.4. Absorbed doses for ¹⁸F-FDG
¹⁸F 1.83 h

Organ	Absorbed dose per unit activity administered (mGy/MBq)				
	Adult	15 years	10 years	5 years	1 year
Adrenals	1.2E-02	1.6E-02	2.4E-02	3.9E-02	7.1E-02
Bladder	1.3E-01	1.6E-01	2.5E-01	3.4E-01	4.7E-01
Bone surfaces	1.1E-02	1.4E-02	2.2E-02	3.4E-02	6.4E-02
Brain	3.8E-02	3.9E-02	4.1E-02	4.6E-02	6.3E-02
Breasts	8.8E-03	1.1E-02	1.8E-02	2.9E-02	5.6E-02
Gallbladder	1.3E-02	1.6E-02	2.4E-02	3.7E-02	7.0E-02
Gastrointestinal tract					
Stomach	1.1E-02	1.4E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.7E-02
Small intestine	1.2E-02	1.6E-02	2.5E-02	4.0E-02	7.3E-02
Colon	1.3E-02	1.6E-02	2.5E-02	3.9E-02	7.0E-02
(Upper large intestine)	1.2E-02	1.5E-02	2.4E-02	3.8E-02	7.0E-02
(Lower large intestine)	1.4E-02	1.7E-02	2.7E-02	4.1E-02	7.0E-02
Heart	6.7E-02	8.7E-02	1.3E-01	2.1E-01	3.8E-01
Kidneys	1.7E-02	2.1E-02	2.9E-02	4.5E-02	7.8E-02
Liver	2.1E-02	2.8E-02	4.2E-02	6.3E-02	1.2E-01
Lungs	2.0E-02	2.9E-02	4.1E-02	6.2E-02	1.2E-01
Muscles	1.0E-02	1.3E-02	2.0E-02	3.3E-02	6.2E-02
Oesophagus	1.2E-02	1.5E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.6E-02
Ovaries	1.4E-02	1.8E-02	2.7E-02	4.3E-02	7.6E-02
Pancreas	1.3E-02	1.6E-02	2.6E-02	4.0E-02	7.4E-02
Red marrow	1.1E-02	1.4E-02	2.1E-02	3.2E-02	5.9E-02
Skin	7.8E-03	9.6E-03	1.5E-02	2.6E-02	5.0E-02
Spleen	1.1E-02	1.4E-02	2.1E-02	3.5E-02	6.6E-02
Testes	1.1E-02	1.4E-02	2.4E-02	3.7E-02	6.6E-02
Thymus	1.2E-02	1.5E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.6E-02
Thyroid	1.0E-02	1.3E-02	2.1E-02	3.4E-02	6.5E-02
Uterus	1.8E-02	2.2E-02	3.6E-02	5.4E-02	9.0E-02
Remaining organs	1.2E-02	1.5E-02	2.4E-02	3.8E-02	6.4E-02
Effective dose (mSv/MBq)	1.9E-02	2.4E-02	3.7E-02	5.6E-02	9.5E-02

4.2.4. 흡수선량: ³H 표지 중성지방과 자유 지방산

³H 12.35 years

Organ	Absorbed dose per unit activity administered (mGy/MBq)
Adrenals	5.1E-01
Bone surfaces	6.1E-01
Breast	6.9E-02
GI-tract	
Stomach	1.3E-01
SI	1.1E-01
Colon	1.3E-01
(ULI)	1.3E-01
(LLI)	1.3E-01
Heart	2.4E-01
Kidneys	1.3E-01
Liver	1.4E-01
Lungs	2.1E-02
Muscles	4.4E-04
Ovaries	4.9E-02
Pancreas	1.8E-01
Red marrow	1.2E+00
Spleen	4.6E-02
Testes	1.1E-01
Thyroid	2.0E-01
Remaining organs	2.0E-03
Effective dose (mSv/MBq)	2.2E-01

Fig. 1. Effective Dose Per Unit Activity Administered of ¹⁸F-FDG(Left) and ³H-Neutral Fat Free Fatty Acids(Right). Source : ICRP 106, 80.

사용빈도가 높은 19개의 방사성의약품의 환자선량을 재 계산하여 제시하였고, 새로운 방사성의약품 9개의 환자 선량을 추가로 수록하였다[9]. 본 연구에서는 ICRP 80 Report의 방사성핵종별 각기 다른 표지화합물과 검사방법에 따라 수록된 52개의 방사능당 유효선량 중 이후 Report에 재계산하여 수록한 6가지(1. ICRP 106 : ¹⁵O-water, ¹⁸F-FDG, ²⁰¹Pl-Ion, ^{99m}Tc-Tetrofosmin Exercise, ¹¹¹In-Octreotide 2. 4번째 추록 : ^{99m}Tc-Tetrofosmin at Resting)를 제외하고 총 46개의 방사능당 유효선량을 적용하였다.

ICRP 106 Report는 ICRP 53 Report의 세 번째 추록으로 그동안 변경된 새로운 조직과 방사선 가중인자, 핵종 붕괴 데이터 등 새로운 생체역동학적 모델을 적용한 방사성의약품의 피폭선량을 수록하였다[10]. 본 연구에서는 방사성핵종별 각기 다른 표지화합물과 검사방법에 따라 수록된 39개 방사능당 유효선량 중 이후 발간된 4

번째 추록에서 재계산된 ^{99m}Tc-Tetrofosmin at Resting을 제외한 총 38개의 방사능당 유효선량을 적용하였다. 그리고 4번째 추록(A Fourth Addendum)에서 새롭게 추가된 4가지(¹⁸F-FET, ¹⁸F-FLT, ¹⁸F-Choline, ¹¹C-Raclopride) 방사성의약품과 재계산된 2가지(¹⁸F-Fluoride, ^{99m}Tc-Tetrofosmin at Resting) 방사성의약품의 방사능당 유효선량도 추가로 적용하였다[25].

ICRP Report에 수록된 방사성의약품의 방사능당 유효선량은 성인(Adult)과 소아의 연령구간(15 years, 10 years, 5 years, 1 years)으로 구분하여 수록되어 있으나, ³H-Neutral Fat Free Fatty Acids, ¹⁴C-Neutral Fat Free Fatty Acids, ¹⁴C-Urea-Nomal Patient-IV or Oral, ¹⁴C-Urea-Helicobacter Patient-Oral은 성인의 선량만 수록되어 있고, ^{99m}Tc-Colloids Small Intratumoral Inject 6hr Removal과 Colloids Small Intratumoral Inject 18hr

Table 1. Program Outline Application of Radiopharmaceuticals Contained in ICRP.

Classification	ICRP 80		ICRP 106		A Fourth Addendum		Total
	Adult**	Adult & Children	Adult & Children	Adult & Children	Adult & Children	Adult & Children	
Total	214	52	39	6	311		
Recalculation		29	5	2	36		
Addition	-	23***	34	4	61		
Except*	30	6	1	-	37		
Apply	184	46	38	6	274		

* Recalculation Radiopharmaceuticals.

** Effective dose per unit activity of adult in the ICRP 53 Report.

*** 4 : adult dose, 2: adult dose and less than 15 age.

EDI코드	검사명(국분)	검사명(영분)	성인 투여용량 [필수 해당없음 선택]			소아 투여용량 [필수 해당없음 선택]			2013년도 발 기준 총 건수	2014년도 발 기준 총 건수
			입력구분	고정용량 (MBq)	체중당 용량 (MBq/kg)	입력구분	고정용량 (MBq)	체중당 용량 (MBq/kg)		
HZ333	뇌 양전자단층영상	Brain Fusion PET (F-18 FDG)	선택			선택				
HZ332	심장 양전자단층영상	Heart Fusion PET (F-18 FDG)	선택			선택				
HZ331	토르소(두개골기저-대퇴부) 영상	Whole Body Fusion PET (Non Enhance, F-18 FDG)	선택			선택				
		Whole Body Fusion PET (Enhance, F-18 FDG)	선택			선택				
HZ331	전신(머리-발끝) 영상	Whole Body Fusion PET (Non Enhance, F-18 FDG)	선택			선택				
		Whole Body Fusion PET (Enhance, F-18 FDG)	선택			선택				

Fig. 2. Nuclear Medicine Examinations Statistical Survey Input of The Korean Society of Nuclear Medicine. Source : The Korean Society of Nuclear Medicine.

Removal은 성인과 15세 소아의 선량만 수록되어 있어 본 프로그램에 그대로 반영하였다(Fig 1).

그리고 ICRP 80 Report 부록에 ICRP 53 Report에 수록한 214개 방사성의약품의 성인선량이 수록되어 있어 이후 Report에서 계산된 30개를 제외하고 184개를 추가로 적용하였다. 최종적으로 본 연구의 핵의학검사 유효선량 계산 프로그램에는 방사성핵종별 각기 다른 표지화합물과 검사방법으로 구분한 총 274개를 적용하였다(Table 1).

2.2 방사성의약품 소아주입량 산출방법

핵의학검사의 방사성의약품 소아주입량 산출방법은 대한핵의학회의 ‘핵의학검사 통계 현황 조사’와 선행연

구의 문헌고찰을 통해 수집하여 적용하였다.

‘핵의학검사 통계 현황 조사’는 전국 의료기관에서 사용하는 방사성의약품의 사용량을 정기적으로 조사하는 것으로 각 의료기관의 담당자는 사용하는 소아주입량 산출법을 선택하고 방사성의약품의 사용량을 직접 기재한다.

대한핵의학회의 ‘핵의학검사 통계 현황 조사’에서 선택 할 수 있는 소아주입량 산출방법은 기타방법과 해당없음을 포함하여 EANM Dose Card 2007/2014, Webster, Gilday's Chart, Japanese Guideline, North American Consensus Guidelines 2010 총 8가지이다(Fig 2). 또 다른 산출방법으로는 성인의 주입량에 체표면적(Body Surface Area 이하, BSA)을 산정하여 산출하는 Area 법, 연령으로 산정하여 산출하는 Solomon(Fried)법, Young

Dosage Card (Version 1.2.2014) Multiple of Baseline Activity

Weight kg	Class A	Class B	Class C	Weight kg	Class A	Class B	Class C
3	1	1	1	32	3.77	7.29	14.00
4	1.12	1.14	1.33	34	3.88	7.72	15.00
6	1.47	1.71	2.00	36	4.00	8.00	16.00
8	1.71	2.14	3.00	38	4.18	8.43	17.00
10	1.94	2.71	3.67	40	4.29	8.86	18.00
12	2.18	3.14	4.67	42	4.41	9.14	19.00
14	2.35	3.57	5.67	44	4.53	9.57	20.00
16	2.53	4.00	6.33	46	4.65	10.00	21.00
18	2.71	4.43	7.33	48	4.77	10.29	22.00
20	2.88	4.86	8.33	50	4.88	10.71	23.00
22	3.06	5.29	9.33	52-54	5.00	11.29	24.67
24	3.18	5.71	10.00	56-58	5.24	12.00	26.67
26	3.35	6.14	11.00	60-62	5.47	12.71	28.67
28	3.47	6.43	12.00	64-66	5.65	13.43	31.00
30	3.65	6.86	13.00	68	5.77	14.00	32.33

$A[MBq]_{Administered} = BaselineActivity \times Multiple$

Recommended Amounts in MBq

Radio pharmaceutical	Class	Baseline Activity (for calculation purposes only) MBq	Minimum Recommended Activity ¹ MBq
¹²³ I (Thyroid)	C	0.6	3
¹²³ I Amphetamine (Brain)	B	13.0	18
¹²³ I HIPPIRAN (Abnormal renal function)	B	5.3	10
¹²³ I HIPPIRAN (Normal renal function)	A	12.8	10
¹²³ I mIBG	B	28.0	37
¹³¹ I mIBG	B	5.6	35
¹⁸ F FDG-PET torso	B	25.9	26
¹⁸ F FDG-PET brain	B	14.0	14
¹⁸ F Sodium fluoride	B	10.5	14

**Examples:

a) ¹⁸F FDP-PET Brain, activity to be administered [MBq] = 14.0 x 10.71 [MBq] 50 kg: ≈ 150 MBq

Fig. 3. Dosage Card of European Association of Nuclear Medicine.

Source : European Association of Nuclear Medicine(www.eanm.org).

법, 그리고 성인의 몸무게(70kg)를 기준으로 산출하는 Clark 법이 있다. 앞서 나열한 소아주입량 산출방식 중 대한핵의학회의 ‘핵의학검사 통계 현황 조사’에서 선택하는 Card, Chart, Guidelines(Fig 3) 등은 한정된 방사성 핵종의 소아 몸무게를 산정하여 주입량만을 산출하는 것으로 본 연구에서 제작하려는 유효선량계산 프로그램과는 관련이 없어 제외하였고 ICRP Report에서 추출한 방사성의약품의 성인과 소아의 연령구간(15 years, 10 years, 5 years, 1 years)별 방사능당 유효선량을 적용 할 수 있는 Area법, Clark법, Solomon(Fried)법, Webster법, Young 법 총 5가지를 본 프로그램에 적용하였다[26-28](Table 2). 그리고 Area법의 체표면적(BSA) 산출은 DuBois and DuBois, Boyd, Gehan and George, Fujimoto 방법 등 총 7가지 산출방식을 적용하였다[29](Table 3).

Table 2. Pediatric Dose Formula of Administered.

Classification	Pediatric Dose Formula
Area	$\frac{BSA(m^2)}{1.73} \times \text{Adult}(mCi)$
Clark	$\frac{Weight(Kg)}{70Kg} \times \text{Adult}(mCi)$
Solomon(Fried)	$\frac{Age(month)}{150} \times \text{Adult}(mCi)$
Webster	$\frac{Age(year) + 1}{Age(year) + 7} \times \text{Adult}(mCi)$
Young	$\frac{Age(year)}{Age(year) + 12} \times \text{Adult}(mCi)$

Table 3. Formula of Body Surface Area.

Classification	BSA Formula
DuBois and DuBois	$BSA = 0.007184 \times H^{0.725} \times W^{0.425}$
Boyd	$BSA = 0.017827 \times H^{0.5} \times W^{0.4838}$
Gehan and George	$BSA = 0.0235 \times H^{0.42246} \times W^{0.51456}$
Fujimoto	$BSA = 0.008883 \times H^{0.663} \times W^{0.444}$
Mosteller	$BSA = \sqrt{H} \times W/3600$
Takahira	$BSA = 0.007241 \times H^{0.725} \times W^{0.425}$
Haycock et al	$BSA = 0.02465 \times H^{0.39646} \times W^{0.5378}$

- H : Height, W : Weight

2.3 유효선량 계산 프로그램 제작 및 사용법

2.3.1 Visual Basic(In Excel) 프로그램 제작

핵의학검사 유효선량 계산 프로그램은 Microsoft의 Visual Basic(In Excel)을 이용하여 제작하였다. 먼저 ICRP에서 수집한 방사성핵종과 표지화합물의 연령구간 별 방사능당 유효선량을 Excel의 Sheet에 입력하여

Database로 만들고 연령(Age), 소아주입량 산출 공식(Pediatric Dose Formula), 방사성핵종(Radionuclide), 표지화합물(Substance), 체표면적(BSA) 산출 공식을 인식하여 성인주입량을 입력하면 자동으로 소아주입량과 유효선량이 계산되도록 Visual Basic 언어를 코딩 하였다. 이때 방사능당 유효선량 Database의 방사성핵종(Radionuclide)과 표지화합물(Substance)은 유효선량 계산프로그램에서 선량값을 가져오는 주요 역할을 하게 된다(Fig 4).

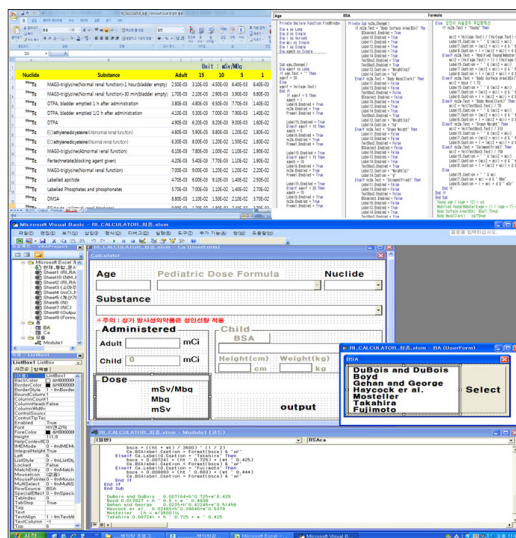


Fig. 4. Excel sheet database, Visual Basic coding and program making process.

2.3.2 유효선량 계산 프로그램 사용법

핵의학검사 유효선량 계산 프로그램을 사용하려면 Excel의 ‘계산기’ Sheet에 만들어 놓은 ‘Calculator Start’ 버튼을 눌러 프로그램 창을 팝업(Pop-Up)시켜 사용하면 된다.

성인의 핵의학검사 유효선량 산출은 ‘Age’에 나이를 입력하고 핵의학검사에 사용하는 방사성핵종과 표지화합물을 ‘Nuclide’ 와 ‘Substance’에서 선택 한 후 ‘Administered’의 ‘Adult’에 성인의 주입량(Unit : mCi)을 입력하면 ‘Dose’에 방사능당 유효선량(mSv/MBq), 총 방사능량(Mbq), 총 유효선량(mSv)이 자동으로 기록된다.

소아의 유효선량 산출은 ‘Age’에 18세 미만을 입력하면 ‘Pediatric Dose Formula’가 활성화되고 프로그램에서 적용한 5가지 소아주입량 산출 공식을 선택하면 된

다. 그리고 소아주입량 산출 공식 중 체표면적(BSA)을 사용하는 Area법을 선택하게 되면 'Child'의 'BSA'버튼이 활성화 되고 활성화된 버튼을 누르면 프로그램에서 적용한 7가지 BSA법을 선택 할 수 있는 선택창이 팝업된다. 선택창에 BSA법을 고른 후 'Child'에 소아의 키와 몸무게를 입력하면 체표면적이 산출되어 'Child' 아래에 기록된다. 그런 다음 핵의학검사에 사용하는 방사성핵종과 표지화합물을 'Nuclide' 와 'Substance'에서 선택하고 'Administered'의 'Adult'에 성인의 주입량(Unit : mCi)을 입력하면 소아의 주입량(Unit : mCi)과 'Dose'에 방사능당 유효선량(mSv/MBq), 총 방사능량(MBq), 총 유효선량(mSv)이 자동으로 기록된다. 단, 소아의 방사능당 유효선량이 없는 방사성핵종과 표지화합물을 선택하는 경우 성인의 방사능당 유효선량을 기준으로 산출된다. 이런 경우 'Substance'에서 해당 방사성의약품을 선택할 때 '※ 주의 : 상기 방사성의약품은 성인선량 적용' 이라는 문구가 프로그램에 자동으로 표기되게 하였다. 모든 산출과정이 끝난 후 프로그램에 'Output' 버튼을 누르면 'Output Sheet'에 결과값을 기록하게 하였다 (Fig 5).

3. 고찰

핵의학검사에 사용하는 바람직한 방사성 핵종의 조건은 입자방출의 최소화, 광자의 에너지는 50-500KeV 이내, 물리적 반감기는 주입하는데 소요되는 시간보다 길 것, 유효반감기는 검사 시간 보다 길 것, 적절한 화학적 형태와 반응력을 가질 것, 독성이 적을 것, 생산물의 안정성 등이다[30].

주된 내용은 적절한 방사능의 세기로 최대의 효과 즉, 검사의 효과를 극대화할 수 있도록 하는 조건이다. 여기서 적절한 방사능의 세기란 합리적인 피폭선량을 의미하지만 핵의학검사에서 그 양을 산술적으로 표현한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 핵의학검사는 체외로부터 오는 방사선에 의한 피폭과 달리 인체에 주입되는 방사성의약품에 의한 조직의 감수성, 대사, 반감기 등을 모두 고려하여 인체 내부의 피폭을 평가해야하기 때문에 그 산출이 까다롭기 때문이다. 특히 유효선량 산출은 더욱 그러할 것이다.

대부분의 진단 방사선검사에 대한 권고 선량과 추정 유효선량은 산술적 제시를 통하여 임상에 많이 공개되어 있어 의료인뿐만 아니라 일반인도 그 정보를 쉽게 알 수 있지만 핵의학검사에 대한 피폭선량은 임상에 공개되어 있는 자료가 부족하여 환자나 일반인들이 그 정보를 쉽게 접하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 정보부재를 해소하기 위한 조력으로 핵의학검사의 환자 유효선량 계산 프로그램을 제작하였다.

프로그램 제작에 있어 가장 중요한 것은 방사능당 유효선량의 Database 변환 작업이다. 이는 유효선량 산출에 있어 가장 기본이 되는 값으로 본 연구에서는 ICRP 80 Report 부터 ICRP 106 Report, 4번째 추록(A Fourth Addendum)까지 새로 갱신되거나 추가되는 방사성핵종과 표지화합물을 고려하여 Database화 하였다. 방사능당 유효선량의 Database는 초기 선량 자료인 ICRP 53 Report부터 적용해야 하지만 자료의 부재로 실현하지 못했다. 대신 ICRP 80 Report의 부록에 ICRP 53 Report에 수록되어 있는 방사성핵종과 표지화합물의 성인선량이 수록되어 있어 이 부분을 Database에 추가 하였다. ICRP 53 Report의 방사성핵종과 표지화합물은 성인의 선량만 수록되어 있기 때문에 프로그램 사용 시 이 부분을 유념해야 한다. 프로그램 제작 시 사용자의 혼동을 고려하여 ICRP 53 Report에만 수록되어 있는 방사성핵종

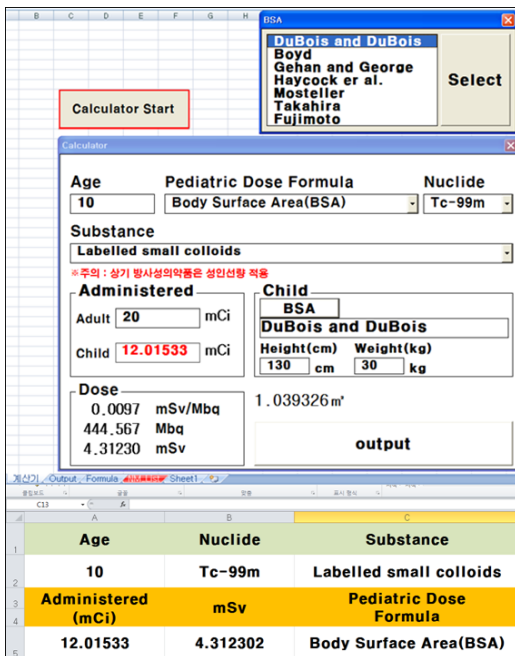


Fig. 5. Directions of Patient Effective Dose Calculation Program.

과 표지화합물을 선택 할 경우 사용자가 인지 할 수 있도록 ‘상기 방사성의약품은 성인선량 적용’이라는 주의 문구가 나오도록 제작하였다.

연령에 따른 방사선 감수성의 차이로 ICRP Report의 방사능당 유효선량은 성인과 소아 연령 4구간(1, 5, 10, 15 세)으로 구분되어 있으며, 본 프로그램에서도 입력하는 소아의 연령에 따라 선량이 다르게 적용된다. 소아 연령별 선량적용은 ICRP 72 Report의 내용에 따라 소아의 연령이 1-2세는 1세의 선량, 3-7세는 5세, 8-12세는 10세, 13-17세는 15세의 선량을 적용시켰고, 18세 이상은 성인의 선량을 적용시켰다[31]. 프로그램 사용 시 이 부분을 유념해야 한다.

핵의학검사 시 방사성의약품의 소아 투여량 산출 방식은 미국, 유럽, IAEA 등 다양한 방법들이 사용되고 있지만 아직 명확한 기준이 확립되어 있지 않으며 서울대학교병원 등 한국의 의료 기관에서는 대부분 성인의 몸무게(70kg)를 기준으로 산출하는 Clark법을 사용하고 있다[11]. 소아의 투여량은 산출법에 따라 그 산출량이 다르며 본 연구에서 사용한 5가지 산출방식 또한 각각 산출량에 차이가 있다. 특히 체표면적(BSA)을 산출하여 적용하는 Area법의 경우 프로그램에서 적용한 7가지 체표면적 산출법에 따라 산출량이 달라진다. 이 또한 프로그램 사용자들이 유념할 부분이다.

X선, CT(Computed Tomography) 등과 같이 인체의 외부에서 피폭을 주는 검사의 경우 선량계를 이용하여 손쉽게 입사선량을 측정할 수 있으며, 최근 보급된 CT(Computed Tomography)나 혈관조영(Angiography) 장비의 경우 장비 자체에서 검사 시 발생하는 피폭선량을 기록하기 때문에 인체가 받는 유효선량을 예측하기 어렵지 않다. 하지만 핵의학검사 장비에는 아직 이러한 기능이 없기 때문에 기술의 진보로 이러한 기능이 추가된다면 검사 시 받게 되는 인체의 피폭선량을 산출하는 데 도움이 될 것이다. 이러한 내용을 고려한다면 본 연구에서 제작한 핵의학검사 유효선량 계산프로그램은 그 유용성이 우수할 것으로 사료된다. 물론 본 프로그램을 사용하여 산출한 유효선량은 실제 계측한 선량은 아니지만 실제 측정이 어려운 내부피폭을 가장 근접한 값으로 산출하는 최선의 방식이라고 할 수 있다.

본 프로그램을 제작하면서 가장 아쉬웠던 점은 ICRP 53 Report의 부재로 보고서에 수록되어 있는 소아의 방사능당 유효선량을 적용하지 못한 점이다. 본 연구자가

프로그램 제작 초기에 ICRP 53 Report의 소아 선량을 적용하기 위해 국내 출판사와 도서관 그리고 해외 구매 사이트를 통해 해외 출판사에도 문의를 했지만 1987년에 출판된 책이라 잔존하고 있는 도서는 존재하지 않고, 재출판과정을 거쳐야 하는데 수요가 없기 때문에 쉽게 결정을 내릴 수 없다고 한다.

하지만 건강보험심사평가원의 ‘건강보험요양급여비용’의 수가코드를 조회하여 실제 임상에서 시행하는 핵의학검사와 사용하는 방사성의약품을 확인한 결과 본 프로그램에서 소아 유효선량이 적용되지 않았던 방사성의약품과 표지화합물의 대부분이 포함되어 있지 않다는 것을 확인 하였다. 그렇기 때문에 프로그램 사용에 큰 문제를 없을 것이다.

4. 결론

핵의학검사 시 환자에게 투여되는 방사성의약품은 몸 밖으로 배출되기 전까지 인체는 내부피폭을 받는다. 이러한 내부피폭은 투여된 방사성의약품의 종류, 인체 조직가중계수, 방사성가중계수, 생체역동학적기전 등 여러 가지 요소들을 고려하여 산출할 수 있지만 이 요소들을 일일이 조합하여 계산하기가 어렵고 불편하다. 본 연구에서 개발한 핵의학검사 유효선량 계산프로그램은 이러한 부분을 해소하였기 때문에 그 유용성은 우수하다고 할 수 있으며 본 연구에서 목적으로 제시한 핵의학검사 피폭선량 연구와 선량정보 공개를 위한 조력의 역할도 충분하다고 사료된다.

향후 연구에서는 ICRP 53 Report의 방사성의약품과 표지화합물의 소아 방사능당 유효선량도 적용하여 보다 활용도를 높이고 모바일기기에서도 사용할 수 있도록 애플리케이션으로 제작할 계획이다.

References

- [1] June-Key Chung, Myung-Chul Lee, "Nuclear Medicine", Korea Medical Book publisher, 2008.
- [2] Gha-Jung Kim, Seok-Hwan Bae, Ki-Jin Kim, Hye-kyong Oh, "Effect of Gamma Energy of Positron Emission Radionuclide on X-Ray CT Image", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 12, No .10, pp. 4418-4424, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.10.4418>

- [3] Korean Association for Radiation Application. "Internal Exposure Dose Assessment System Based on WEB Development", *Korea Institute of Nuclear Safety*, No. : KINS/HR-1091, 2011.
- [4] Jin-Lee, Dong-Soo Lee, Seung-Ae Shin, Jae-Min Jeong, June-Key Chung, Myung-Chul Lee, "Dosimetry and Medical Internal Radiation Dose of Re-188-DTPA for Endovascular Balloon Brachytherapy Against Restenosis after Coronary Angioplasty." *Korean Journal of Nuclear Medicine*, vol. 33, no. 2, pp. 163-171, 1999.
- [5] Stabin, Michael G, "MIRDOSE: Personal Computer Software for Internal Dose Assessment in Nuclear Medicine", *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 37, no. 3, pp. 538-546, 1996.
- [6] Jeffrey A. Siegel, Stephen R. Thomas, James B. Stubbs, Michael G. Stabin, Marguerite T. Hays, Kenneth F. Koral, James S. Robertson, Roger W. Howell, Barry W. Wessels, Darrell R. Fisher, David A. Weber and A. Bertrand Brill, "MIRD pamphlet no. 16: techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimates", *The Journal of Nuclear Medicine*, vol. 40, no. 2 pp. 37S-61S, 1999.
- [7] Il-han Lim, "Image-based dosimetry of radionuclide therapy", *Journal of Korean Thyroid Association*, vol. 6, no. 1, pp. 26-33, 2013.
DOI : <https://doi.org/10.11106/jkta.2013.6.1.26>
- [8] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources and effects of ionizing radiation vol. I Sources", UNSCEAR 2008 Report, 2010.
- [9] International Commission on Radiological Protection, "Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53)", ICRP Publication 80. Ann, 1998.
- [10] International Commission on Radiological Protection, "Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals - Addendum 3 to ICRP Publication 53", ICRP Publication 106. Ann, 2008.
- [11] Yong-Ho Do, Gye-Hwan Kim, Hong-Jae Lee, Jin-Eui Kim, Hyun-Joo Kim, "A Research of Standards for Radiopharmaceutical Doses in Pediatric Nuclear Medicine", *The Korean Journal of Nuclear Medicine Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 47-50, 2009.
- [12] Michael J. Gelfand, Marguerite T. Parisi, and S. Ted Treves, "Pediatric Radiopharmaceutical Administered Doses:2010 North American Consensus Guidelines", *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 52, no. 2, pp. 318-322, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.110.084327>
- [13] Accorsi, Roberto, Joel S. Karp, and Suleman Surti. "Improved dose regimen in pediatric PET" *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 51, no. 2, pp. 293-300, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.109.066332>
- [14] Veitch, Tonya A. "Pediatric nuclear medicine, Part II: Common procedures and considerations" *Journal of nuclear medicine technology*, vol. 28, no. 2, pp. 69-75, 2000.
- [15] Woo-Ran Kim, Choon-Sik Lee, Jai-Ki Lee, "Assessment of Effective Dose from Diagnostic X-ray Examinations of Adult", *Journal of Radiation Protection*, vol. 27, no. 3, pp. 155-164, 2002.
- [16] Jeong-Wan Kwon, Je-Ho Jeong, Ki-Won Jang, Jai-Ki Lee, "Medical Exposure of Korean by Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine Examinations", *Journal of Radiation Protection and Research*, vol. 30, No. 4, pp. 185-196, 2005.
- [17] Yoo-Hyun Kim, Jong-Hak Choi, Sung-Soo Kim. "Patient exposure doses from medical x-ray examinations in Korea" *Korean society of radiological science*, vol. 28, no. 3, 2005.
- [18] Seung-Y Lee, Hyun-S Lim, Jun-ho Lee, Hyung-S Kim, "Evaluation of diagnostic medical exposure in Republic of Korea." *Radiation protection dosimetry*, ncv349, pp. 1 - 8, 2015.
- [19] <http://www.mfds.go.kr/medicaldevice/index.do?nMenuCode=94>
- [20] Jong-Won Gil, "Estimated Effective Dose from Diagnostic Medical Radiation in Korean and Factors that Affect the High-Level Dose", Chungbuk National University, Doctor's Degree Thesis, 2015.
- [21] Chang-Seon Lim, Se-Heon Kim, "A Study on the Radiation Dose Managements in the Nuclear Medicine Department", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 10, No. 7, pp. 1760-1765, 2009.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.7.1760>
- [22] Bo-Sun Kang, Chang-Seon Lim, "A study on the environmental radiation dose measurement in the nuclear medicine department", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 11, no. 6, pp. 2118-2123, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.6.2118>
- [23] Seok-Gun Park, "Suggestion of A Practical Simple Calculation Method for Safe Transportation Time after Radioactive Iodine Treatment in Patients with Thyroid Cancer", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 6, pp. 3919-3925, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.3919>
- [24] Do-hyung Lee, Yun-jung Ji, Su-ji Kim, Se-bin Park, Yeong-hak Joe, Yong-gwon Kim, Seok-hwan Bae, "Evaluation of a shielding Apron using Radioactive isotope", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Academic Conference, no. 2, pp. 661-663, 2015.
- [25] International Commission on Radiological Protection, "Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals(A forth addendum to ICRP Publication 53)", ICRP Publication, 2014.
- [26] Veitch, Tonya A. "Pediatric nuclear medicine, Part II: Common procedures and considerations" *Journal of nuclear medicine technology*, vol. 28, no. 2, pp. 69-75, 2000.
- [27] Accorsi, Roberto, Joel S. Karp, Suleman Surti, "Improved dose regimen in pediatric PET" *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 51, no. 2, pp. 293-300, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.109.066332>
- [28] Gelfand, Michael J., Marguerite T. Parisi, S. Ted Treves, "Pediatric radiopharmaceutical administered doses: 2010 North American consensus guidelines" *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 52, no. 2, pp.

318-322, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.110.084327>

- [29] Young-Mee Ahn, "Development of Equation for Body Surface Area Using Weight in Neonates", *Journal of the Korean society of living environmental system*, vol. 17, no. 1, pp. 62-70, 2010.
- [30] In-Soo Hong, "Radiopharmaceuticals and Mechanisms Used in Nuclear Medicine Examinations", *Radioisotope journal*, vol. 18, no. 2, pp. 39-42, 2003.
- [31] International Commission on Radiological Protection, "Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients", ICRP Publication 72. Ann, 1995.

선 종 료(Jong-Ryul Seon)

[정회원]



- 1998년 8월 : 호서대학교(전기공학 석사)
- 2004년 2월 : 호서대학교(전기공학 박사)
- 2004년 9월 ~ 현재 : 대전보건대학 방사선학과 교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 방사선학과 학과장

<관심분야>

Radiology, Digital Radiography, Electrical/Medical Engineering

길 종 원(Jong-Won Gil)

[정회원]



- 2013년 2월 : 건양대학교 보건복지대학원(보건학석사)
- 2015년 8월 : 충북대학교 보건의생명융합(이학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 방사선학과 겸임교수/시간강사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 김천대학교 방사선학과 시간강사
- 2003년 5월 ~ 현재 : 대전선병원 영상의학과

<관심분야>

Radiology, Medical device/Image, Medicine, Public Health