

Level of Radiation dose in university hospital non-insured private health screening programs in Korea

일부 대학병원 종합건강진단 프로그램의 방사선 피폭량

Yun-Keun, Lee

Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health, Seoul, Korea

목적: 일부 대학병원을 대상으로 종합건강진단의 프로그램 별 방사선 피폭량을 평가하여 의료방사선 피폭에 의한 건강영향 연구와 관리방안의 기초자료를 제시하고자 한다.

방법: 서울 시내에 소재한 10 개 대학병원을 대상으로 해당 병원의 홈페이지에 등록된 종합검진 프로그램의 방사선 진단 항목을 분석하였다. 의료방사선 검사항목은 영상의학 전문의의 검토를 거쳤으며, 검진 프로그램에 제시된 선택검사는 포함하지 않았고 기본 항목만을 대상으로 유효선량을 계산하였다.

결과: 190 개의 종합검진 프로그램 중 132 개(69.5%) 프로그램이 CT 검사를 시행하고 있었고 평균 검사횟수는 1.4 회였다. 프로그램 별 유효선량은 특정질환 정밀검진은 평균 3.62, 암 정밀검진은 11.12, 프리미엄 검진은 18.14, 숙박검진은 24.08 mSv 이었고, 검진 비용이 많을수록 유효선량이 증가하였다($r=0.812$). 동일한 목적의 검진프로그램에서도 병원에 따라 유효선량에 최대 2.1 배 차이가 있었고, PET-CT 검사 유무가 유효선량의 크기를 좌우하는 가장 중요한 검사 항목이었다.

결론: 무증상의 건강인을 대상으로 하는 종합검진의 방사선 피폭량은 일반인 연간 피폭관리기준의 3.6~24 배에 이르는 수준임을 확인하였다. 의료방사선 피폭을 최소화하기 위해서는 국가 차원의 관리정책이 마련되어야 할 것으로 보인다.

Keywords: Non-insured commercial health screening program,
Computed tomography, Medical radiation

I. 서론

의료방사선이란 질병의 진단 혹은 치료과정에서 노출되는 방사선을 말한다. 질병의 진단 과정에서 노출되는 방사선 피폭량은 검사기기에 따라 다르지만 검사 1 회당 연간 일반인 선량한도인 1 mSv 의 수 십 배 이상 피폭되는 경우도 있다. 건강진단에서 많이 사용되고 있는 복부-골반 CT(computed tomography)의 경우 1 회 검사 당 10 mSv 의 방사선에 노출될 수 있다[1]. 이는 1 회 검사에 일반인의 연간 선량한도를 10 배 이상 초과하며, 한국인의 연간 자연방사선 총 피폭량(3.0 mSv)의 3.3 배에 해당되는 피폭선량이다[2].

우리나라 국민의 평균 의료방사선 피폭량은 매년 증가하고 있다. 국민 1 인당 연간방사선 검사 건수는 2007 년 3.3 회에서 2011 년에는 4.6 회로 많아졌고, 이로 인한

방사선 피폭량은 1 인당 0.93 mSv 에서 1.4 mSv 로 51%나 대폭 증가하였다[3]. 이와 같이 의료방사선 피폭량이 증가한 것은 CT 검사가 주된 원인으로 분석되었다[3]. CT 검사는 2011 년 기준으로 총 방사선검사 건수의 2.8%(약 600 만 건)에 불과하지만 국민 1 인 당 연간 피폭량의 56.4%(0.79 mSv)를 차지한다고 한다. 또한 최근 발표된 OECD 통계에 의하면[4] 국내 CT 보급대수는 2013 년 기준 7,298,133 대로 과거 6 년 전에 비해 2 배나 증가하였고, 인구 천 명 당 CT 검사횟수는 132.3 회로 OECD 회원국 중 상위 7 번째로 높은 순위에 해당된다. 그만큼 우리나라는 CT 촬영에 따른 방사선 피폭 가능성이 많은 환경이다.

이와 같이 CT 검사가 의료방사선 피폭의 주요 원인으로 알려지면서 방사선 피폭에 의한 암 발생 위험에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔다[1,5,6]. Brenner 등은 미국에서 발생한 암의 1.5-2.0%는 CT 검사에 의한 방사선 노출이 원인이라고 하였다[1]. 또 다른 연구에서는 22 세 이전에 CT 촬영을 한 약 17 만 8 천 명의 어린이나 청소년들의 암 발생률을 추적 조사 한 결과 CT 를 촬영하지 않은 청소년들에 비해 백혈병 발생위험(누적피폭량 30 mGy 이상)은 3.18 배, 뇌암(누적피폭량 60.42 mGy)은 2.82 배로 높게 나타났다고 한다[5].

질병을 조기에 발견할 수 있다는 측면에서 보면 건강진단은 매우 필요한 수단이다. 그러나 일부 건강진단 프로그램에서는 방사선 피폭량이 많은 CT 검사를 선별검사 목적으로 무분별하게 시행하고 있는 것으로 알려져 있다. 특히, 정밀검진 목적으로 진행되는 종합건강진단은 상당 부분이 여러 부위의 CT 검사를 동시에 하고 있기 때문에 방사선 누적피폭의 위험성이 상대적으로 높다고 할 수 있다.

한국보건산업진흥원(2013) 자료에 의하면 국내 종합병원급 이상에서 종합건강검진을 받는 인원은 연간 952,070 명 규모로 추정하고 있다. 이들 중 31.2%(296,744 명)는 800 병상 이상의 대형병원에서, 그리고 56.8%(540,579 명)는 400~800 병상의 종합병원급에서 건강진단을 받는다고 한다[7]. 따라서 규모가 큰 병원일수록 종합건강진단 비용이 고가이고 대부분의 검진 프로그램이 CT 검사를 포함하고 있을 가능성이 높기 때문에 방사선 누적피폭의 위험은 상대적으로 크다고 할 수 있다.

그러나 지금까지의 의료방사선 관련 연구들을 보면 대부분이 CT 검사를 비롯한 개별검사의 방사선 피폭 문제에 초점이 맞춰져 있다. 종합건강진단처럼 여러 가지 방사선 검사 항목이 패키지로 구성된 건강진단 프로그램의 방사선 피폭 문제에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구는 우리나라 일부 대학병원에서 시행하고 있는 종합건강진단의 프로그램 별 방사선 피폭량을 평가하였다. 이를 통해 의료방사선 피폭에 의한 건강영향 연구와 관리방안의 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 조사 대상

서울 시내에 소재한 10 개 대학병원을 대상으로 해당 병원의 홈페이지에 등록된 종합검진 프로그램의 방사선 진단 항목을 분석하였다. 검진프로그램을 보면 가장 보편적인 기본검진이 35 개, 심장병, 고혈압, 당뇨 등 특정질환 검진이 70 개(암 진단

제외), 암 정밀검진이 35 개, 특정질환과 암 진단을 목적으로 하고 있는 프리미엄 검진이 26 개, 질병 진단에 필요한 거의 모든 검사항목으로 구성된 숙박검진이 24 개 프로그램으로 총 190 개였다.

검진 프로그램 별 방사선 검사 항목을 보면 기본검진은 흉부 X 선을 포함해서 여성의 경우 골밀도 검사와 유방 X 선 검사가 추가된다(Table 1). 특정질환 검진은 주로 심장 및 혈관계질환 검진을 목적으로 검사하고자 하는 질환에 따라 관상동맥 CT, 복부 CT 등으로 구성된다. 암 정밀검진은 기본 검진 항목에 복부-골반 CT, 저선량흉부 CT, 관상동맥칼슘 CT 가 추가되며, 병원에 따라 PET-CT 가 추가되는 경우가 있다. 프리미엄 검진은 암 정밀검진과 특정질환 검진항목을 합해서 구성하는 경우가 많고 병원에 따라 관상동맥 CT 와 PET-CT 가 포함되는 경우도 있다. 숙박검진은 가장 비싼 검진으로 프리미엄 검진항목에 PET-CT 가 대부분 포함된다.

(Table 1).

2. 유효선량 계산방법

방사선 검사 기기 별 유효선량은 한국원자력안전기술원[8]에서 발표한 ‘국내 방사선기기의 행위 별 유효선량’을 적용하였다(table 2). 기타 저선량흉부 CT[9], 관상동맥칼슘 CT[10], 관상동맥조영술[10], PET-CT[11]는 개별 연구 결과에서 제시된 유효선량을 적용하였다.

각 검진 프로그램에 제시된 검사항목은 진단의학 전문의의 검토를 통해 의료방사선 유무를 확정하였다. 검진 프로그램에 제시된 선택검사는 포함하지 않았고, 기본 항목만을 대상으로 유효선량을 평가하였다. 또한 흉부 CT 는 모두 저선량 CT 의 유효선량을 적용하였고, 2 개 이상의 CT 검사가 포함된 경우 각 신체부위별로 독립적으로 촬영하는 것을 가정하여 유효선량을 계산하였다. 따라서 실제 병원에서 선택되는 CT 종류와 피검자의 선택 검사 항목, 그리고 CT 촬영 방법(유사 신체 부위 통합 촬영 등)에 따라 유효선량이 증감될 수 있을 것이다.

(Table 2)

III. 결과

1. CT 검사 횟수

종합검진 항목 중에서 방사선 피폭의 가장 중요한 변수인 CT 검사 횟수를 검진프로그램 별로 분석하였다(table 3). 그 결과 기본검진의 CT 검사횟수는 35 개 프로그램 중 5 개(14.3%) 프로그램에서 CT 검사를 수행하고 있었으며, 모두 유효선량이 상대적으로 적은 저선량 흉부 CT 검사였다. 이와 반면 암 정밀검진이나 프리미엄검진, 숙박검진과 같이 고가의 비용이 요구되는 검진일수록 CT 검사 횟수가 증가하는 것으로 나타났다. 암 정밀검진은 프로그램 당 평균 1.8 회의 CT 검사가 이루어지고 있었으며, 상대적으로 방사선 피폭량이 많은 복부 CT (10 mSv/검사 1 회당) 검사가 포함된 프로그램이 전체 35 개 중 24 개(68.6%)였다. 프리미엄 검진은 평균 2.9 회로 복부 CT 검사 비율(92.3%)이 매우 높았다. 검진 비용이 가장 비싼 숙박검진의 평균 CT 검사

횟수는 3.5 회로 가장 많았으며, 방사선 피폭량이 많은 PET-CT 가 포함된 프로그램이 83.3%나 되었다.

(Table 3)

2. 유효선량

검진프로그램 별 유효선량 계산 결과는 table 4 와 같다. 가장 낮은 유효선량을 보인 기본검진은 평균 0.33 mSv 로 주로 흉부 X 선과 유방 X 선(여성) 등이 주된 노출원이다. 특정질환정밀검진의 평균 유효선량은 3.62 mSv 로 나타났으나 최고 13.3 mSv 까지 노출되는 경우가 있다. 질환 종류에 따라 관상동맥 CT 혹은 PET-CT 검사가 선택적으로 구성되기 때문에 유효선량에 차이가 많은 편이다. 암 정밀검진은 주로 복부-골반 CT, 저선량흉부 CT, 관상동맥칼슘 CT 로 구성되며, 병원에 따라 PET-CT 가 추가되는 경우가 있다. 평균 유효선량은 11.12 mSv 로 비교적 높은 편이었다.

프리미엄 검진은 암 정밀검진과 특정질환 검진항목을 합해서 구성하는 경우가 많았다. 평균 유효선량은 18.14 mSv 였으며, 추가항목에 따라 최대 26.19 mSv 정도 피폭되는 경우가 있다. 숙박검진은 가장 비용이 많은 고가검진으로 프리미엄 검진항목에 PET-CT 가 포함되는 경우가 많다. 평균 유효선량은 24.08 mSv 로 가장 많았으며, 최고 30.97 mSv 까지 피폭되는 경우가 있었다.

(Table 4)

동일 목적의 유사한 검진 프로그램에 대해 병원 별로 유효선량에 차이가 있는지를 분석하였다(figure 1). 질병진단에 필요한 가장 최상의 검진프로그램으로 구성된 숙박검진을 대상으로 분석하였으며, 숙박검진 프로그램이 없는 2 개 대학병원은 제외하고 총 8 개 병원의 방사선 유효선량을 비교하였다.

(Figure 1)

분석 결과 유효선량이 가장 낮은 병원은 14.6 mSv 였으며, 가장 높은 병원은 30.8mSv 로 2.1 배 차이가 났다. 유효선량이 높은 병원은 대부분이 PET-CT 를 포함하고 있어 PET-CT 검사 유무가 유효선량의 크기를 좌우하는 가장 결정적인 검사항목이었다.

검진비용에 따라 유효선량에 어떤 차이가 있는지를 분석하였다(figure 2). 그 결과 검진 비용이 증가할수록 유효선량도 증가하는 것으로 나타났으며, 상관계수가 0.812 로 매우 높은 상관성이 있었다.

(Figure 2)

IV. 고찰

의료방사선은 그 동안 별 다른 비판 없이 많은 사람들이 이용해 온 게 사실이다. 이는 방사선 피폭에 대한 염려보다 검사 혹은 치료를 통해 얻어지는 이익이 더 크기 때문이다. 그러나 일부에서는 질병을 진단하는 과정에서 불필요하게 중복 촬영하거나 혹은 매년 반복되는 종합검진을 통해 무분별하게 방사선에 피폭되는 경우가 있다.

정부 통계에 따르면 2011 년 기준 우리나라의 연간 CT 검사횟수는 약 600 만 건이며[3], 이들 검사자 중 병원을 옮겨 재진료를 받는 사람이 507,423 명이라고 한다. 또한 이들 중 1 차 촬영 후 30 일 이내에 동일 부위를 다시 촬영하는 사람이 99,190 명(19.5%)에 이른다고 한다. 따라서 이들 중 상당수는 불필요한 방사선에 중복 노출될 가능성을 배제할 수 없다. CT 검사는 의료방사선 피폭 기여도가 매우 높기 때문에 많은 연구에서 CT 검사를 의료방사선 피폭의 주 원인으로 지적하고 있다[1,3,5].

우리나라 전 국민의 의료방사선 피폭에서 CT 검사로 인한 피폭 비중은 유럽국가 전체 평균(52%)보다 다소 높은 56.4%로 보고되고 있다[3]. 유럽에서 조사된 결과에 의하면 유럽연합 전체 국가의 의료방사선 1 인당 평균 피폭량은 1.10 mSv 이며, CT 검사에 의한 피폭 비중이 52%로 가장 높고, 그 다음이 일반 방사선 촬영(22%), 투시검사(13%) 순으로 나타났다[12].

본 연구 결과 검진 프로그램의 69.5%가 한 부위 이상의 CT 검사를 시행하고 있었다. 특히, 고가의 비용이 요구되는 검진일수록 CT 검사 횟수가 증가하였고, 그에 따른 방사선 피폭량도 많아지는 것으로 나타났다. 물론 이와 같은 CT 검사횟수와 그에 따른 피폭선량은 대학병원을 대상으로 한 결과이기 때문에 규모가 작은 병원에서의 CT 검사횟수는 더 적을 수 있어 그 결과를 모든 종합검진으로 일반화하는 데는 한계가 있을 것이다.

국내에서 연구된 결과[13]를 보면 종합검진의 방사선 피폭량에서 CT 검사의 기여도가 72.1%였고, 병원 규모가 작을수록 방사선피폭량도 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과들은 의료방사선에서 CT 검사가 가장 중요한 비중을 차지한다는 선행 연구[1,3,5,13]와 동일한 결과이다. 따라서 CT 검사를 대부분 포함하고 있는 종합검진의 검사 항목을 참고할 때 불특정인의 방사선 피폭을 줄이기 위해서는 무분별한 종합검진의 방사선 피폭 문제가 우선적으로 검토되어야 할 것으로 보인다.

그 동안 의료방사선, 특히 CT 검사로 인한 암 발생 위험에 대한 연구는 많이 보고되었다. 국내에서 연구된 결과[14]에 의하면 복부의 역동적 CT 의 경우 1 회 검사에 24.52 mSv 에 피폭되는 데 인구 10 만명 당 생애암발생귀속위험이 남자는 220.8 명, 여자는 335.6 명으로 보고하였다. 24.5 mSv 는 본 연구에서 평가된 숙박검진의 평균 유효선량과 동일한 수준이다.

Sodickson 등(2009)은 1 회 이상 CT 촬영을 한 환자들을 대상으로 실시한 암발생 연구[15]에서 환자들의 15%는 방사선 누적 피폭량이 100 mSv 이상, 환자들의 4%는 250-1375 mSv 의 방사선에 노출된다고 하였다. 또한 이들 환자들의 방사선 피폭에 따른 암 발생률은 0.7%, 암 사망률은 1% 정도 기여한다고 하였다. 누적 피폭량 100 mSv 는 대학병원에서 실시하는 숙박검진을 4 회 정도 받을 때 누적되는 피폭량이다.

방사선 피폭에 의한 암 발생은 성과 연령에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있다. Huang 등의 연구[16]에 의하면 PET-CT 검사(13.45-13.65 mSv)를 받으면 20 대 연령에서는 10 만 명 당 남자는 328 명, 여자는 362 명이 암이 발생하는 것으로 평가되어 여성이 남성에 비해 더 위험한 것으로 보고하였다. 또한 남성을 기준으로 볼 때 연령별로 20 대의 암 발생률은 40 대에 비해 약 1.5 배, 60 대에 비해 약 1.7 배, 80 대에 비해서는 약 3.5 배 정도 높은 암 발생 위험을 보여주고 있다.

미국에서는 CT 검사와 관련하여 연간 약 29,000 명이 암환자가 발생하며, 이들 암환자의 1/3 은 35-54 세에 발생하고, 66%는 여성이라고 예측하였다[17]. 이와 같은

의료방사선에 의한 암 발생률은 결코 무시할 수 없는 수준으로 많은 국가들에서 CT 검사의 이익이 크다고 하더라도 이로 인한 잠재적인 위험은 항상 간과되어서는 안 된다고 지적하고 있다[18]. 우리나라의 경우 최근에 특히 증상이 없는 사람들이 질병 스크리닝을 목적으로 CT 검사를 시행하는 빈도가 늘어나고 있다고 한다[3]. 이와 같이 무분별하게 남용되는 CT 검사는 정당화될 없기 때문에 방사선 방호 원칙의 기본 개념인 ALARA(As Low As Reasonably Achievable)원칙이 반드시 지켜져야 한다[19].

국제방사선방호위원회에서는 질병 스크리닝 절차를 거치는 환자들에게는 잠재적인 이득뿐만 아니라 방사선 위험에 대해 충분히 알려야 한다고 제안하고 있다[20]. 또한 IAEA(International Atomic Energy Agency)에서는 의료 방사선 피폭을 최소화하기 위해서는 방사선 위험성에 대해 의사, 관련 종사자, 환자 모두가 정확히 인식해야 하고(Awareness, 인지), 검사가 적절한 상황에서 적절하게 수행되어야 하며(Appropriateness, 적정성), 이러한 것들이 제대로 이루어지는지 지속적인 관리와 감독(Audit, 감사)을 중심으로 한 3A 캠페인을 진행해오고 있다[21].

의료방사선은 정확한 정보와 관리기준에 의해 얼마든지 피폭량을 줄여나갈 수 있다. 영국은 1992년부터 의료방사선 검사 시 환자에 피폭되는 선량을 계산해서 차트에 의무적으로 기록함으로써 연간 피폭량을 감안해서 검사를 하고 있다(UK National Patient Dose Database)[22]. 또한 미국 캘리포니아 주는 법령을 통해 CT 를 사용하는 모든 기관이 환자의 방사선 피폭량을 기록하고 1년 단위로 관계 기관의 요청이 있는 경우 제시하도록 하고 있다[23].

호주는 환자의 방사선 피폭 관리에 대한 기관 제도(National Diagnostic Imaging Accreditation Scheme)를 통해 의료방사선 피폭을 최소화하고 있다[24]. 유럽연합에서는 정당화되지 않는 의료방사선 피폭을 금지하기 위하여 회원국에 관련 법령의 제정과 관리 감독 시스템의 도입을 요구하고 있다[25].

이와 반면, 미국은 일부 주를 제외하고는 대부분이 이러한 관리 기준이 없어 의료방사선 피폭량이 계속 증가하고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 정책적 차이로 인해 미국은 연간 의료방사선 피폭량이 1980년대 0.53 mSv에서 2006년 3.0 mSv로 대폭 증가하였으며, 영국은 미국보다 훨씬 적은 0.4 mSv에 불과하다고 한다[26]. 영국은 현재 우리나라 1인당 평균 피폭량(1.4 mSv)의 30%도 채 안 되는 수준이다.

영국 사례에서 보듯이 의료방사선은 국가의 관리 정책 여부에 따라 얼마든지 피폭량을 줄여나갈 수 있는 대표적인 인공방사선이다. 따라서 우리나라도 의료방사선 피폭을 줄이기 위한 정책이 시행된다면 의료방사선 피폭을 최소화할 수 있을 것이다.

본 연구 결과를 통해 종합검진으로 인한 의료방사선 피폭량은 암 발생 증가에 상당한 영향을 줄 수 있는 높은 수준임을 확인하였다. 따라서 의료방사선 피폭을 최소화하기 위해서는 불필요한 방사선 피폭을 규제하기 위한 법령의 제정과 관리시스템이 우선적으로 도입되어야 한다. 관리적 측면에서는 종합검진 등 질병 진단을 위한 가이드라인도 필요하며, 방사선기기의 주기적인 피폭량 평가와 유지관리, 그리고 검사기기의 선량을 최소화하는 프로토콜이 개발되어야 한다.

References

1. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;357(22):2277-2284.
2. Korea Institute of Nuclear Safety (KINS). Assessment of radiation risk for the Korean population. Daejeon: KINS; 2007. p.186 (Korean).
3. Ministry of Food and Drug Safety. The national status of medical radiation effective dose per year: 2007-2011; 2014 Jan 12 [cited 2015 Nov 23]. Available from: <http://www.mfds.go.kr/index.do?seq=22654&mid=675> (Korean).
4. Organization for Economic Cooperation and Development. Health status; 2015 [cited 2015 Nov 23]. Available from: http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=HEALTH_STAT.
5. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukemia and brain tumors: a retrospective cohort study. *Lancet* 2012;380(9840):499-505.
6. Huang B, Law MW, Khong PL. Whole-body PET/CT scanning: estimation of radiation dose and cancer risk. *Radiology* 2009;251(1):166-174.
7. Korea Health Industry Development Institute (KHIDI). Healthcare industry survey for aging. Cheongju: KHIDI; 2013. p. 91(Korean).
8. Korea Institute of Nuclear Safety (KINS). Design and construction of radiation dose database for Korean population. Daejeon: KINS; 2005. p. 178-179 (Korean).
9. Larke FJ, Kruger RL, Cagnon CH, Flynn MJ, McNitt-Gray MM, Wu X, et al. Estimated radiation dose associated with low-dose chest CT of average-size participants in the National Lung Screening Trial. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197(5):1165-1169.
10. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008;248(1):254-263.
11. Willowson KP, Bailey EA, Bailey DL. A retrospective evaluation of radiation dose associated with low dose FDG protocols in whole-body PET/CT. *Australas*

- Phys Eng Sci Med 2012;35(1):49-53.
12. European Commission. Medical radiation exposure of the European population; 2014. European Union [cited 2016 Feb 23]. Available from: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180.pdf>.
 13. Kim HJ, Kim JW, Lee SH, Kim JY, Kim MY. Radiation exposure through private health examinations in Korea. *Korean J Health Promot* 2015;15(3):136-140.
 14. Kang YH, Park JS. Radiation dose and lifetime attributable risk of cancer estimates in 64-slice multidetector computed tomography. *J Korea Contents Soc* 2011; 11(4):244-252 (Korean).
 15. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, Prevedello LM, Nawfel RD, Hanson R, et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology* 2009;251(1):175-184.
 16. Huang B, Ming Law MW, Khong PL. Whole-Body PET/CT scanning: Estimation of radiation dose and cancer risk. *Radiology* 2009; 251(1):166-174.
 17. Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med* 2009;169(22):2071-2077.
 18. Albert JM. Radiation risk from CT: implications for cancer screening. *AJR Am J Roentgenol* 2013;201(1):W81-W87.
 19. Chawla SC, Federman N, Zhang D, Nagata K, Nuthakki S, McNitt-Gray M, et al. Estimated cumulative radiation dose from PET/CT in children with malignancies: a 5-year retrospective review. *Pediatr Radiol* 2010;40(5):681-686.
 20. International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP Publication 105. Radiation protection in medicine. *Ann ICRP* 2007;37(6):1-63.
 21. International Atomic Energy Agency (IAEA). Triple-A investment in patients' health: IAEA promotes awareness, appropriateness, audit of ionizing radiation in medicine; 2010 [cited 2016 Feb 23]. Available from: <https://www.iaea.org/newscenter/news/triple-investment-patients-health>.

22. Hart D, Hillier MC, Shrimpton PC. Doses to patients from radiographic and fluoroscopic X-ray imaging procedures in the UK – 2010 review (HPA-CRCE-034); 2012 [cited 2016 Mar 12]. Available from:
<http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/CRCEScientificAndTechnicalReportSeries/HPACRCE034>.
23. California Department of Public Health. Information notice regarding Senate Bill (SB) 1237, California Health and Safety (H&S) Code Section 115113; 2011 Jan 14 [cited 2016 Mar 13]. Available from:
<https://www.cdph.ca.gov/certlic/radquip/Documents/RHB-SB1237-FAQ.PDF>.
24. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Radiation protection in diagnostic and interventional radiology; 2008 [cited 2016 Feb 23]. Available from:
http://www.arpana.gov.au/pubs/rps/rps14_1.pdf.
25. European Commission. Council directive 2013/59/EURATOM; 2013 [cited 2016 Feb 23]. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF>.
26. United Nations. Sources of ionizing radiation. UNSCEAR 2008 Report to the general assembly, with scientific annexes. Volume I: Report to the general assembly, scientific annexes A and B. New York: United Nations; 2010. p. 22-33.

Table 1. Diagnostic radiology procedures by private health screening program type

| Health screening program | Examination items |
|--|--|
| Basic | Chest X-ray, Bone densitometry (female), Mammography (female) |
| Specific disease (heart, stroke, brain, etc.), Cancer | Basic screening + Dental panorama, Low dose lung CT, |
| Premium (specific disease & cancer) | Abdomen/pelvis CT, Calcium scoring CT, Coronary angiography, |
| Hotel examination | Whole body CT (PET-CT) |

Optionally
determined by the
hospital

Table 2. Adult effective doses for various diagnostic radiology and CT procedures

| | Examination | Average effective dose (mSv) | Reference |
|-----------|----------------------|------------------------------|-----------|
| Radiology | Bone densitometry | 0.004 | |
| | Teeth panoramic | 0.01 | |
| | Chest | 0.02 | |
| | Cervical spine | 0.07 | [8] |
| | Thoracic spine | 0.7 | |
| | Mammography | 0.27 | |
| | Lumbar spine | 1.0 | |
| CT | Head | 2.0 | [8] |
| | Abdomen, Pelvis | 10.0 | [8] |
| | Low dose lung | 1.14 | [9] |
| | Calcium scoring | 3.0 | [10] |
| | Coronary angiography | 16.0 | [10] |
| | PET | 14.5 | [11] |

Table 3. Number of CT scans by private health screening program type

| Health screening program | N | Number of CT scan check ups | | |
|---|-----|-----------------------------|------|------|
| | | Mean | Min. | Max. |
| Basic | 35 | 0.2 | 0 | 1 |
| Specific disease (heart, stroke, brain, etc.) | 70 | 0.7 | 0 | 2 |
| Cancer | 35 | 1.8 | 0 | 3 |
| Premium (specific disease & cancer) | 26 | 2.9 | 2 | 3 |
| Hotel examination | 24 | 3.5 | 3 | 4 |
| Total | 190 | 1.4 | 0 | 4 |

Table 4. Comparison of effective doses by private health screening program type (mSv)

| Health screening program | Mean | S.D. | Min. | Max. |
|---|-------|------|-------|-------|
| Basic | 0.33 | 0.52 | 0.02 | 1.71 |
| Specific disease (heart, stroke, brain, etc.) | 3.62 | 4.03 | 0.02 | 13.30 |
| Cancer | 11.12 | 3.79 | 1.44 | 16.19 |
| Premium (specific disease & cancer) | 18.14 | 4.89 | 4.43 | 26.19 |
| Hotel examination | 24.08 | 6.35 | 14.45 | 30.97 |
| Total | 8.46 | 8.61 | 0.02 | 30.97 |

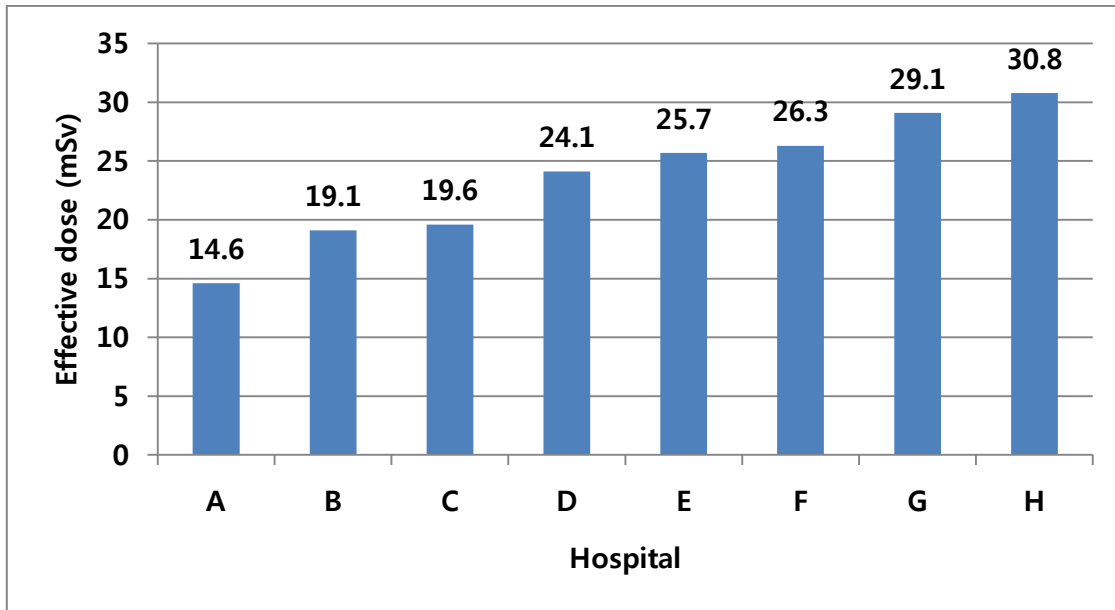


Figure 1. Comparison of the effective dose of private hotel examinations by hospital

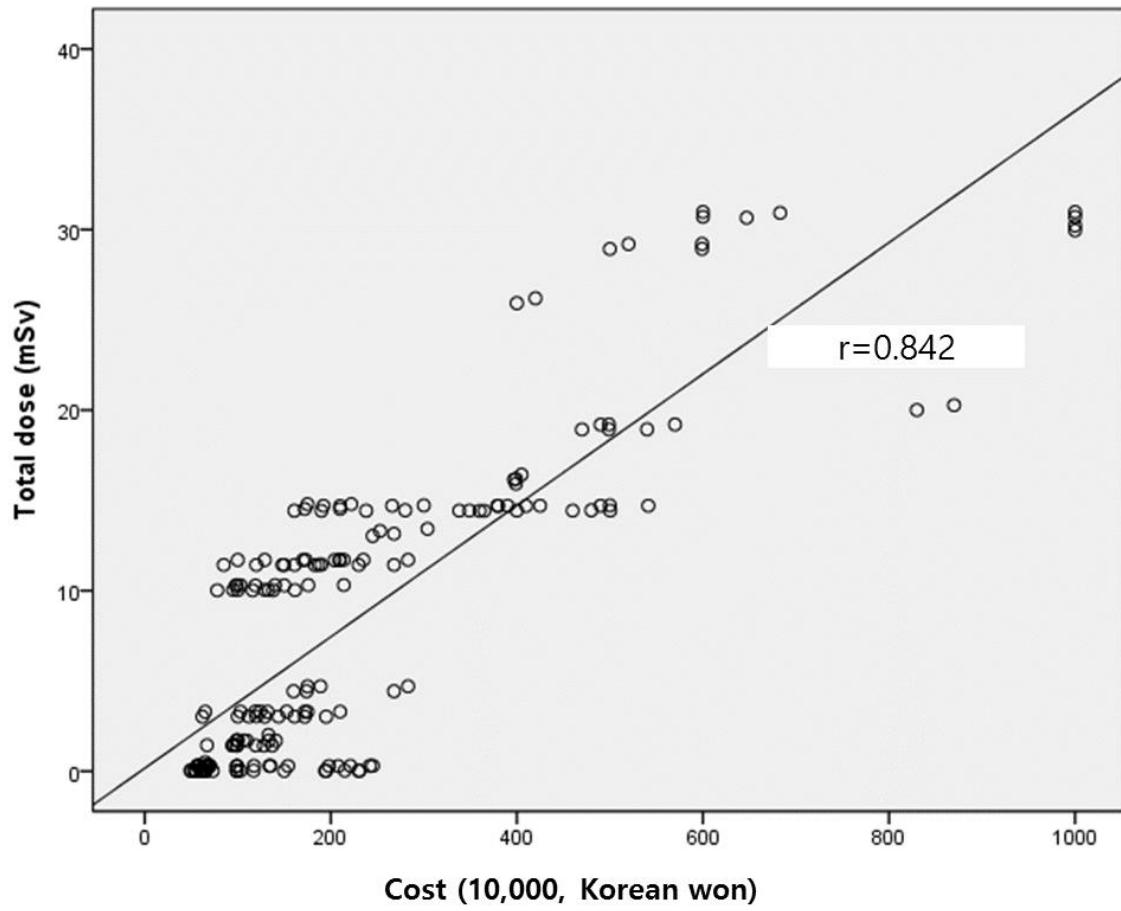


Figure 2. Relationship between private health screening cost and effective dose