



심혈관 조영 및 중재적 시술 분야의 국가진단참고수준 마련

김대호^{1,2}, 박혜민^{3*}, 민유정⁴, 김종원⁴, 원종훈⁴, 조병렬⁵, 김정수^{6*}

¹대구보건대학교 바이오헬스융합과, ²대구파티마병원 영상의학과, ³마산대학교 방사선과, ⁴질병관리청 건강위해대응관 의료방사선건강관리과, ⁵강원대학교 의과대학 강원대학교병원 심장내과, ⁶대구보건대학교 방사선학과

초 록

목적: 심장혈관조영 및 중재적 시술은 진단 및 치료 과정에서 높은 방사선 피폭을 수반하나, 이에 대한 국내 진단참고수준(diagnostic reference levels, DRLs)은 아직 확립되지 않은 실정이다. 본 연구는 국내 주요 의료기관의 실제 임상 데이터를 수집·분석하여 심장혈관 시술 7종에 대한 국가 DRLs을 제안함으로써 환자 피폭선량 최적화 및 방사선 안전 관리를 위한 객관적 기초자료를 제공하고자 한다.

방법: 2024년 2-4사분기 동안 심장혈관조영 및 중재적 시술 인증 의료기관 20개소를 대상으로 데이터를 수집하였다. 조사 대상은 관상동맥조영술(coronary angiography, CAG), 경피적관상동맥중재술(percutaneous coronary intervention, PCI), 만성완전폐색(chronic total occlusion, CTO) 등을 포함한 일곱 가지 주요 시술 항목이다. 데이터 수집은 DICOM RDSR (digital imaging and communications in medicine radiation dose structured report) 및 프로시저 보고서를 활용하였으며, 총 1,980건의 유효 데이터를 확보하였다. 분석 지표로는 누적 선량면적곱(dose area product, DAP; Gy·cm²)과 투시시간(fluoroscopy time, FT; 초)을 사용하였으며, 선량 분포의 제3사분위수(75th percentile) 값을 각 시술별 국가 DRLs로 설정하였다.

결과: 분석 결과, 각 시술별 DRLs (DAP, FT)은 다음과 같이 산출되었다. 진단 목적인 CAG는 18.68 Gy·cm² (440.00초)로 가장 낮았다. 중재적 시술이 포함된 CAG+PCI는 63.40 Gy·cm² (1,201.50초), CAG+PTCA는 53.89 Gy·cm² (1,284.65초), 급성심근경색(acute myocardial infarction)은 58.52 Gy·cm² (947.64초), PCI는 49.94 Gy·cm² (1,479.50초)로 나타났다. 특히 고난이도 시술인 CTO는 106.83 Gy·cm² (2,819.00초)로 가장 높은 선량과 긴 FT를 기록하였다. 산출된 DRLs 값은 유럽 및 미국 등 주요 선진국 대비 전반적으로 낮은 수준을 보였다.

결론: 본 연구는 다기관적 정량적 데이터를 기반으로 국내 심장혈관조영 및 중재적 시술에 대한 국가 DRLs을 최초로 제시하였다는 점에 의의가 있다. 도출된 DRLs은 의료기관의 자체적인 선량 관리 수준 평가 및 저감화 노력의 기준으로 활용될 수 있으며, 향후 체계적인 방사선 방호 정책 수립과 환자 안전 강화에 기여할 것으로 기대된다.

주요 검색어: 진단참고수준; 심장혈관조영술; 중재적 시술; 방사선 피폭; 방사선량

Received February 6, 2026 Revised February 28, 2026 Accepted March 4, 2026

*Corresponding author: 김정수, Tel: +82-53-320-1318, E-mail: rtkjs01@dhc.ac.kr
박혜민, Tel: +82-55-230-1275, E-mail: hmpark@masan.ac.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) which permits unrestricted distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



핵심 요약

① 이전에 알려진 내용은?

심장혈관조영 및 증재적 시술은 고선량 방사선이 조사되는 시술로 진단참고수준(diagnostic reference levels, DRLs)의 설정이 필요하다라는 점은 알려져 있었으나, 국내에서는 국가 차원의 DRLs이 마련되지 않았다.

② 새로이 알게 된 내용은?

본 연구는 국내 20개 의료기관의 임상 데이터를 바탕으로 일곱 개 검사 항목에 대해 최초로 국가 DRLs을 산정하였고, 면적선량곱($Gy \cdot cm^2$)과 투시시간(초)을 기준값으로 제시하였다.

③ 시사점은?

산출된 DRLs은 의료기관의 선량 관리, 시술자 교육, 비교분석 등 다양한 활용이 가능하며 향후 방사선 최적화를 위한 실질적 기준으로 작용할 수 있다.

서론

국내 심혈관계 질환은 전체 사망원인 중 상위를 차지하고 있으며, 이에 대한 진단 및 치료 과정에서 영상기반 증재적 시술의 활용은 점차 증가하고 있다[1,2]. 혈관조영 및 증재적 시술은 기존 침습적인 치료에 비해 비교적 낮은 침습성으로 시술이 가능하다는 점에서 의료 진단 및 시술 영역에서 없어서는 안 될 중요한 부분이다[3]. 그러나 혈관조영 및 증재적 시술은 고해상도의 영상과 장시간의 투시를 기반으로 하여 시술이 이루어지므로 환자에게 전달되는 방사선 선량이 일반 영상검사에 비해 상대적으로 높다[2,3]. 질병관리청에서 발표한 2023년 국민 의료방사선 평가 연보에 따르면 국민 의료방사선 이용량은 꾸준히 증가하고 있으며, 그 중 혈관조영검사는 2020년에 비해 2023년에 약 21.3% 증가하였다. 2023년 기준으로 혈관조영검사의 이용량은 전체 의료방사선 이용의 0.2%에 불과하지만, 환자 피폭선량에서 차지하는 비율은 2.3%로 여러 검사 중 3순위로 높은 피폭량을 나타내고 있다[4]. 국민 1인당 혈관조영검사로 인한 유효선량은 0.07 mSv

였으며, 이 중 심장혈관조영술이 전체 혈관조영검사의 39.3%를 차지하여 가장 많았고, 피폭선량 기여도도 26.4%로 높은 편으로 확인되었다[2,4].

세계보건기구(World Health Organization, WHO), 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA) 등 여섯 개 기관에서 공동으로 1996년 국제 기본 안전기준(basic safety standards) No. 115를 통해 환자의 방사선량을 관리하도록 권고하고 있다[5]. 또한, 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)는 환자 피폭의 최적화를 위해 진단참고수준(diagnostic reference levels, DRLs)의 설정과 활용을 권고하고 있으며, 이를 기반으로 한 선량 관리와 최적화는 각국의 보건의료체계에 서도 중요한 요소로 자리잡고 있다[6,7]. DRLs은 전국 개별 의료기관에서 사용하는 진단영상검사에 대한 방사선량을 조사하여 선량 분포 중 제3사분위(75th percentile) 값으로 설정하여 제시하는 값이다[6-9].

유럽, 일본, 미국 등 선진국은 국가차원에서 DRLs을 주기적으로 갱신함으로써 방사선량의 관리와 질 향상을 도모하고 있다. 우리나라는 2008년에 식품의약품안전처에서 국가 DRLs을 마련하여 공표한 것을 시작으로 2013년 업무이관 이후 현재는 질병관리청에서 3-5년 주기로 의료방사선 검사 종류별 국가 DRLs을 제시하고 있다[8,9]. 지금까지의 국가 DRLs은 일반촬영 및 전산화단층촬영(computed tomography, CT) 등 주요 검사를 중점적으로 제시되었으며 증재적 방사선 시술 분야, 특히 심장혈관 시술에 대한 DRL은 충분히 구축되지 않은 실정이다[8-10].

고선량 시술에 대한 DRLs이 부재할 경우, 의료기관 간 또는 시술자 간 선량 편차에 대한 객관적 기준이 마련되지 않아 환자 방사선 피폭의 불필요한 증가를 초래할 수 있으며, 이는 방사선량 최적화라는 방사선 방호 원칙에 반하는 결과를 초래할 수 있다[6-8]. 따라서 증재적 시술에 대한 객관적 기준 마련이 시급한 실정이며, 이를 위해 실제 임상 데이터를 기반으

로 한 DRLs 설정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 국내 주요 의료기관에서 수행된 심장혈관조영술 및 중재적 시술의 방사선량 데이터를 수집·분석하여 시술별 DRL을 제시함으로써 향후 임상 및 정책적 기준 마련에 기초자료를 제공하고자 한다.

방 법

1. 연구 대상

1) 조사 대상 검사 및 시술

ICRP publication 135에 따르면 DRLs을 설정해야 하는 검사나 절차를 정할 때 지역에서 보편적으로 수행되는 검사로 가장 빈번히 수행되거나 가장 높은 환자 피폭선량을 초래하는 검사에 우선순위를 부여 한다[6,7]. 기록할 주요 변수는 쉽게 평가할 수 있는 양으로서 가능하면 검사에서 직접 측정하거나 촬영 기기에서 가용한 양(방사선량)이어야 한다[6,7]. 이에 본 연구는 심장혈관조영 및 중재적 시술 분야에서 가장 빈번하게 수행되는 일곱 가지 검사 항목을 선정하였다. 본 연구에서 급성심근경색(acute myocardial infarction, AMI)과 만성완전폐색(chronic total occlusion, CTO)은 단순 진단명이 아니라 병변 특성으로 인해 시술 난이도 및 투시·영상 획득량이 증가할 수 있는 대표적 임상 범주로서, 해당 병변에 대한 중재적 시술이 실제 수행된 경우를 별도의 시술군으로 정의하였다. 선정된 검사 및 시술은 다음과 같다: (1) 관상동맥조영술(coronary angiography, CAG); (2) 관상동맥조영술과 경피적 관상동맥중재술(coronary angiography and percutaneous coronary intervention, CAG+PCI); (3) 관상동맥조영술과 경피경관상동맥성형술(coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty, CAG+PTCA); (4) 관상동맥조영술과 관상동맥경련유발검사(coronary angiography and spasm provocation test, CAG+SPASM); (5) AMI 시술; (6) CTO 시술; (7) 경피적관상동맥중재술(percutaneous coronary

intervention, PCI).

2) 참여 의료기관 선정

ICRP publication 135에서는 DRLs을 설정하기 위한 표본 조사는 환자 대표 표본의 데이터를 얻을 수 있을 만큼 충분히 확보하여야 하며, 한 시설에서 특정 검사에 대한 표본조사는 최소 20명 이상의 환자에 대하여 수집할 것을 권고하고 있다. 또한, 모든 시설 중 일부를 무작위로 선정한 표본 조사를 시행하는 경우 20-30개 시설의 결과로도 충분히 국가 DRLs을 산정할 수 있다고 명시되어 있다[6,7].

대한심혈관중재학회의 데이터베이스를 통해 심장혈관조영술 및 중재적 시술이 가능한 인증 의료기관의 현황을 파악하였다. 이후 해당 의료기관들을 대상으로 참여 희망 조사를 시행하였다. 원활한 데이터 수집을 위해 장치에서 의료용 디지털 영상 및 통신 표준(digital imaging and communications in medicine, DICOM) 방사선량 구조화 보고서(radiation dose structured report, RDSR)와 시술 종료 후 프로시저(procedure) 보고서의 출력이 가능한 장치를 보유한 의료기관 20개를 선정하여 DRLs 설정을 위한 선량 관련 정보를 수집하였다.

2. 데이터 수집 및 분석

ICRP publication 135에서는 혈관조영 및 중재적 시술에 대해 DRLs 설정에 적합한 양으로 선량면적곱(dose area product, DAP), 누적공기커마(cumulative air kerma), 투시시간 및 영화(cine) 또는 디지털감산혈관조영술(digital subtraction angiography)의 영상 수 등을 제시하고 있다[6]. 본 연구는 데이터 수집을 위해 각 참여 의료기관에 설치된 혈관조영장치로부터 출력되는 DICOM RDSR 파일과 프로시저 보고서를 활용하였다. RDSR은 DICOM 규격에 따라 정의된 구조화된 선량 보고서로 장치 종류, 환자 성별, 나이, 신장, 몸무게, 검사명, 전체 검사의 누적 DAP, 각 영상의 DAP, 투시시간 등 다양한

피폭 정보를 정량적으로 포함한다[11]. 따라서 RDSR은 DRLs 산정을 위한 지표로 활용하기에 적합하다. RDSR 파일은 각 의료기관의 네트워크 사정에 따라 영상장비 서버 또는 의료영상저장전송시스템(picture archiving and communication system)과 연동하여 외부 서버로의 전송이 가능하다[11].

이에 본 연구진은 데이터 수집을 위해 조사 대상 의료기관을 실사 후 네트워크 개방 여부에 따라 데이터의 실시간 전송 또는 자체 저장 후 추후 수집하는 방식 중 하나를 택하여 자료를 제공할 수 있도록 하였다. 또한, 의료기관 사정에 따라 DICOM 네트워크 개방이 불가능한 기관에 대해서는 시술 종료 후 생성되는 프로시저 보고서의 수집을 병행하였다. 프로시저 보고서 데이터 수집은 엑셀(Microsoft) 데이터 폼을 활용하여 정보를 입력 받고 회수한 뒤 자체 보유 데이터 수집 서버에 업로드하여 분석에 활용하였다. 총 20개 참여 의료기관 중 14개 기관은 RDSR 기반 실시간 전송 방식으로 자료를 확보하였으며, 나머지 여섯 개 기관은 네트워크 제약으로 프로시저 보고서 기반 수집 방식을 병행하였다. 데이터 수집 방법의 모식도는 그림 1과 같다.

데이터 수집은 2024년 2사분기부터 4사분기까지 진행되었으며, 조사 대상 검사 종류별로 참여 의료기관 간 자료의 일관성과 수집 가능성을 고려하여 모든 기관에서 공통적으로 확보 가능한 누적 DAP ($Gy \cdot cm^2$) 및 투시시간(초)을 최종 분석 지표로 선정하여 수집하였다. 누적 DAP와 투시시간은 시술 종료 시점에 산출되는 절차 기반 지표로 해당 시술에서 환

자에게 조사된 방사선량 수준을 반영한다. 수집된 원자료는 자체 보유 서버에서 취합 후 통합 데이터베이스로 정리되었으며, 민감한 개인정보 유출을 방지하기 위한 기술적 보안 조치를 병행하여 의료기관 식별 정보 및 환자 정보는 모두 제거한 비식별화된 형식으로 전처리하였다.

수집된 데이터를 분석하기 위해 항목별로 기술통계 분석을 수행하였다. 검사 종류별로 누적 DAP와 투시시간 항목에 대해 평균값(average), 사분위수(Q1, Q3), 중앙값(median)을 산출하였다. 산출된 선량 값 중 제3사분위를 기준으로 DRLs을 산정하였다. 또한, 제1사분위(25th percentile)는 하위 DRLs, 중앙값은 목표선량으로 제시하였다.

결 과

조사 대상 심장혈관조영 및 중재적 시술 일곱 개 항목에 대해 2024년 2-4사분기 동안 수집된 데이터는 총 1,980건이다. 본 연구의 분석 단위는 시술 1회(procedure)이며, 누적 DAP 및 투시시간이 확인 가능한 유효 사례만을 포함하였다. 모든 참여 기관에서 최소 표본 수 기준(기관당 20건 이상)을 충족하였다. 이들 데이터를 바탕으로 각 검사 종류별로 제3사분위 값을 기술통계로 산출하였다. 그 결과 DAP는 CAG 18.68, CAG+PCI 63.40, CAG+PTCA 53.89, CAG+SPASM 25.44, AMI 58.52, CTO 106.83, PCI 49.94 $Gy \cdot cm^2$ 로 나타났다. 그 외 DAP의 제1사분위, 중앙값, 평균값은 표 1과 같다.

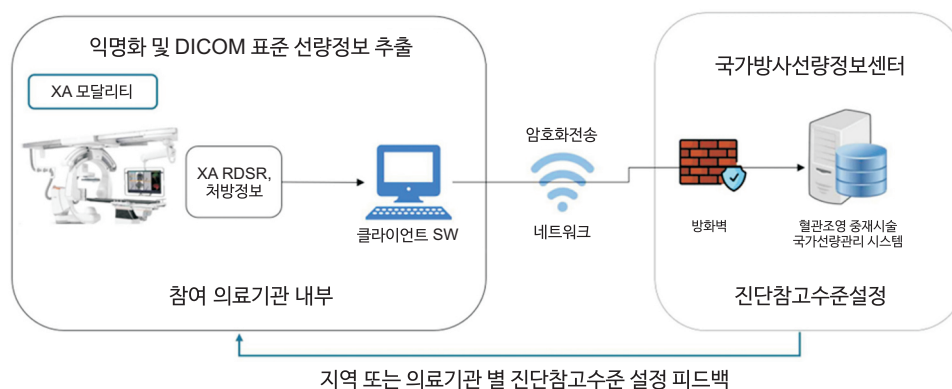


그림 1. 심장혈관조영 및 중재적 시술에 대한 선량 데이터 수집 모식도
DICOM=digital imaging and communications in medicine; XA=X-ray angiography; RDSR=radiation dose structured reports; SW=software; DRLs=diagnostic reference levels.

투시시간의 제3사분위 값은 CAG 440.00, CAG+PCI 1,201.50, CAG+PTCA 1,284.65, CAG+SPASM 341.26, AMI 947.64, CTO 2,819.00, PCI 1,479.50초로 나타났다. 그 외 투시시간의 제1사분위, 중앙값, 평균값은 표 2와 같다.

산출된 DAP와 투시시간의 제3사분위 값을 심장혈관조영 및 중재적 시술 일곱 개 항목에 대한 국가 DRLs로 설정하였다.

논 의

국내 영상의학분야 혈관조영 및 중재적 시술에 대한 국가 DRLs은 2012년과 2019년 2회에 걸쳐 설정된 바 있으나 [12], 심장혈관에 대해서는 국내 개인 연구자에 의해 제시된 선량 정보 수준에 그치지 않았다[10]. 이에 본 연구는 국내 심

장혈관조영 및 중재적 시술에 대한 최초의 국가 DRLs 산정을 위해 방사선량 데이터를 여러 의료기관에서 수집하여 검사 종류별로 분석한 정책연구로서 그 의미가 있다.

본 연구는 인증 의료기관의 다기관 임상 자료를 기반으로 분석을 수행하여 단일기관 연구의 한계를 보완하고, 결과의 대표성과 외적 타당도를 높였다. 또한 DICOM RDSR에서 산출되는 정량 선량 지표를 활용하되, 기관 간 비교 가능성을 확보하기 위해 모든 기관에서 공통적으로 수집 가능한 누적 DAP와 투시시간을 분석 변수로 선정하였다. 실제 임상에서 빈번하게 시행되는 일곱 개 시술 항목에 대해 선량 분포의 제3사분위수를 국가 DRLs로 설정함으로써 기존 국가 DRLs 연구에 비해 보다 표준화된 데이터 기반의 일관된 산정 체계를 제시했다는 점에서 의미가 있다.

검사 항목별 산출된 DRLs의 비교 결과, CTO가 가장 높은

표 1. 심장혈관조영 및 중재적 시술의 종류별 면적선량곱 분포

검사명	제1사분위 값	중앙값	제3사분위 값	평균값
CAG	6.22	10.17	18.68	14.92
CAG+PCI	24.20	39.13	63.40	48.78
CAG+PTCA	25.20	33.84	53.89	42.89
CAG+SPASM	10.89	17.90	25.44	18.68
AMI	29.13	43.10	58.52	56.38
CTO	48.98	73.56	106.83	78.95
PCI	11.74	21.82	49.94	34.13

단위: (Gy·cm²). CAG=coronary angiography; PCI=percutaneous coronary intervention; PTCA=percutaneous transluminal coronary angioplasty; SPASM=spasm provocation test; AMI=acute myocardial infarction; CTO=chronic total occlusion.

표 2. 심장혈관조영 및 중재적 시술의 종류별 투시시간 분포

검사명	제1사분위 값	중앙값	제3사분위 값	평균값
CAG	135.00	224.53	440.00	395.84
CAG+PCI	520.00	817.50	1,201.50	938.28
CAG+PTCA	469.72	673.84	1,284.65	1,091.80
CAG+SPASM	174.80	232.12	341.26	298.52
AMI	439.00	671.41	947.64	874.69
CTO	1,203.18	2,143.22	2,819.00	2,099.02
PCI	555.99	982.00	1,479.50	1,192.61

단위: 초. CAG=coronary angiography; PCI=percutaneous coronary intervention; PTCA=percutaneous transluminal coronary angioplasty; SPASM=spasm provocation test; AMI=acute myocardial infarction; CTO=chronic total occlusion.

DAP (106.83 Gy · cm²)와 가장 긴 투시시간(2,819.00초)을 나타냈다. 이는 CTO 병변이 만성적으로 폐색되어 있고, 병변이 길거나 석회화가 심한 경우가 많아 시술 난이도가 높기 때문에 복잡한 시술 과정과 함께 투시시간이 길어지는 경향 때문으로 분석된다[3]. 이러한 임상적 특성은 장시간의 투시와 반복적인 영상 획득을 유발하며, 결과적으로 환자 피폭량 증가로 이어진다. 반면, CAG는 진단 목적의 단순 영상 획득 중심으로 이루어지기 때문에 DAP가 18.68 Gy · cm²로 가장 낮았으며, 투시시간도 440.00초로 두 번째로 낮은 시술로 확인되었다.

복합 절차인 CAG+PCI, CAG+PTCA, CAG+SPASM의 경우 순수 진단 시술보다 방사선 노출이 비교적 높은 것으로 나타났다. 특히 CAG+PCI의 DAP는 CAG 대비 약 3.4배 증가하였으며, 투시시간도 3배로 약 12.7분 가량 더 긴 시간 동안 피폭되는 것으로 확인되었다. 이는 진단 조영술 이후 중재가 연이어 이루어지면서 시술 절차가 복잡해지는 구조적 특성에 기인한 결과로 해석된다[3].

CAG와 PCI 두 시술에 대해 본 연구에서 산출된 DRLs을 대륙별로 취합된 것[13]과 비교한 결과 상대적으로 낮은 수준

을 보였다(그림 2, 3). 이는 국내 의료기관이 최신 장비 도입과 방사선 저감 프로토콜을 적극 활용하고 있음을 시사한다. 선행연구인 Lee et al. [14]의 연구에서는 한국 및 주요 해외 국가의 중재적 시술에 대한 DRLs 설정 현황을 종합 분석하였으며, 절차별 방사선량의 편차가 매우 크고, 각국 간 DRLs 설정 기준 및 수치에 차이가 존재함을 보고하였다. 특히 우리나라의 중재적 시술 DRLs이 대부분의 항목에서 영국, 독일, 미국 등에 비해 낮은 경향을 보였으며, 이는 일부 선진 의료기관의 방사선량 최적화 노력과 최신 장비 활용에 기인한다고 분석하였다[14].

이러한 국가 DRLs 설정은 단순한 수치 제시에 그치지 않고, 향후 의료현장에서 다양하게 활용될 수 있다. 의료기관은 DRLs을 기준으로 자가 진단적 선량 평가를 수행할 수 있으며, 장비 성능 평가 및 운영 지침 수립에 참고자료로 사용할 수 있다. 또한, 시술자의 선량 인지 향상 및 교육 자료로 활용되어 방사선 안전 문화 정착에 기여할 수 있다. 나아가 국가 차원에서는 DRLs을 활용한 의료기관 간 비교 분석과 피드백 시스템 구축이 가능하며, 중장기적으로는 선량 최적화 정책 수립의 기반 자료로 활용될 수 있다.

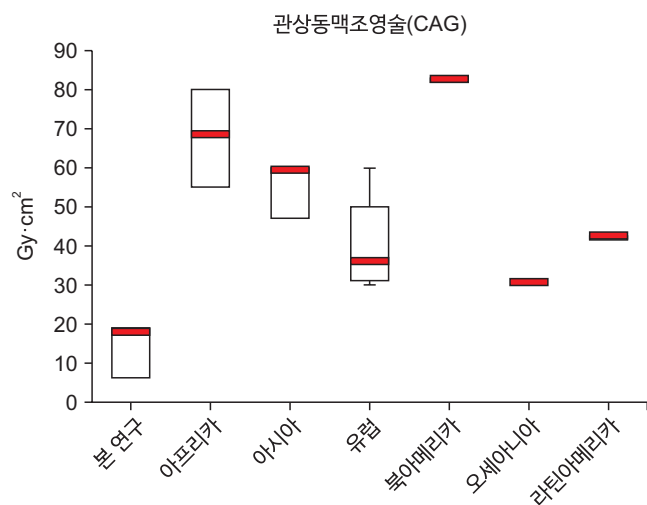


그림 2. 관상동맥조영술에 대한 본 연구 결과 및 대륙 간 진단참고 수준 비교
여러 연구 결과를 종합한 경우, 상자(box)는 사분위수를 나타내고, 수염(whisker)은 5백분위수와 95백분위수를 나타낸다. CAG=coronary angiography.

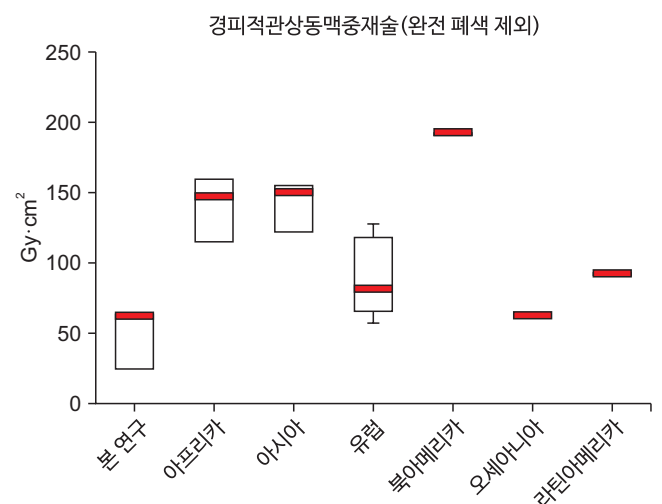


그림 3. 경피적관상동맥중재술에 대한 본 연구 결과 및 대륙 간 진단참고수준 비교
여러 연구 결과를 종합한 경우, 상자(box)는 사분위수를 나타내고, 수염(whisker)은 5백분위수와 95백분위수를 나타낸다.

이러한 DRLs의 정착과 효율적인 운영을 위해서는 지속적이고 체계적인 데이터 수집이 병행되어야 한다. 본 연구에서는 DICOM RDSR 기반의 데이터를 통해 DRLs 설정의 타당성을 확인한 바 있으며, 이를 통해 향후 자동화된 선량 모니터링 체계 도입의 가능성도 시사하였다. 다만, 시범 운영 과정에서 일부 의료기관은 전산화된 워크플로우 적용에 현실적인 어려움을 겪었으며 시술 중 처방 변경, 응급 시술 발생 등의 특수성이 시스템 연동을 저해하는 요인으로 작용하였다.

이와 함께, 자료 수집이 특정 기간에 집중되었다는 점도 해석 시 고려되어야 한다. 본 연구의 자료 수집 기간은 국내 의료계 집단행동 등으로 진료·시술 운영에 변동이 있었던 시기와 일부 겹쳐, 일부 기관에서 시술 건수가 평년 대비 감소했을 가능성이 있다. 따라서 본 연구의 DRLs은 해당 기간의 임상 운영 상황이 반영된 결과일 수 있으며, 향후 보다 장기간의 누적자료를 기반으로 재평가 및 갱신이 필요하다.

본 연구에서는 RDSR 기반의 다기관 실제 임상 데이터를 활용하여 국가 DRLs의 대푯값 도출에 초점을 두었기 때문에 장치 특성, 환자 특성(성별, 연령, 신장, 체중) 및 시술자 요인에 따른 세부 층화 분석은 수행하지 않았다. 그러나 ICRP publication 135에서는 자동화된 방법으로 적절한 DRLs 양을 기록할 수 있고, 각 시설에서 충분한 환자 수(>100)가 확보된 표본조사의 경우 체중 등 환자 요인에 대한 제한을 완화할 수 있음을 명시하고 있다[6]. 본 연구는 이러한 권고에 따라 다기관 대규모 임상 데이터를 기반으로 대푯값을 산출하는 접근을 적용하였다. 또한 혈관조영 및 중재적 시술의 특성상 장비 구성, 시술 난이도, 시술자 숙련도 및 병변 특성에 따라 방사선량 변동이 발생할 수 있으며, 본 연구에서는 이러한 요인에 따른 층화 분석이 수행되지 않았다는 점에서 결과 해석에 일부 제한이 있다. 향후에는 환자 특성, 장비 특성 및 시술 난이도를 반영한 세분화된 분석이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

결론적으로, 본 연구는 다기관의 실제 임상 데이터를 기반

으로 심장혈관조영 및 중재적 시술에 대한 국가 DRLs을 제시하고, 그 활용 가능성과 임상적 적용의 중요성을 제안한 데 그 의미가 있다. 향후에는 국가 DRLs을 기반으로 한 실시간 피드백 체계 구축과 의료기관 간 비교 평가 지표로의 확장, 고난도 시술에 대한 세분화된 기준 설정 등이 추가적으로 요구된다. 이러한 노력을 통해 환자 중심의 안전한 방사선 이용 환경 조성과 방사선 최적화 실현에 기여할 수 있을 것이다.

Declarations

Ethics Statement: The study protocol was approved by the Institutional Review Board (IRB) of Daegu Health College (DHCIRB-2024-03-001).

Funding Source: This work was supported by the Korea Disease Control and Prevention Agency (2024-10-003).

Acknowledgments: The authors would like to thank all the researchers who contributed to this study: Kukjin Jeon (Bundang Cha hospital).

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: JSK. Data curation: DHK, BRC. Formal analysis: DHK, BRC. Funding acquisition: JSK. Methodology: YJM, JWG, JHW. Project administration: JSK. Supervision: JSK, HMP. Validation: HMP. Visualization: DHK. Writing – original draft: DHK. Writing – review & editing: HMP, JSK.

References

- 2023 Cause of death statistics results [Internet]. Statistics Korea; 2024 [cited 2025 May 1]. Available from: https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=218&act=view&list_no=433106&tag=&nPage=33&ref_

Original Article

Establishment of National Diagnostic Reference Levels for Coronary Angiography and Interventional Procedures

Daeho Kim^{1,2} , Hyemin Park^{3*} , Youjeong Min⁴ , Jongwon Gil⁴ , Jonghun Won⁴ , Byungryul Cho⁵ , Jungsu Kim^{6*} 

¹Department of Bio-Health Convergence, Daegu Health College, Daegu, Korea, ²Department of Radiology, Daegu Fatima Hospital, Daegu, Korea, ³Department of Radiology, Masan University, Changwon, Korea, ⁴Division of Medical Radiation and Health Management, Department of Health Hazard Response, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea, ⁵Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Kangwon National University Hospital, Kangwon National University College of Medicine, Chuncheon, Korea, ⁶Department of Radiologic Technology, Daegu Health College, Daegu, Korea

ABSTRACT

Objectives: This study aims to establish national diagnostic reference levels (DRLs) for coronary angiography (CAG) and interventional procedures in the Republic of Korea (ROK), providing objective standards to optimize patient radiation exposure.

Methods: Data were collected from the second through the fourth quarter of 2024 from 20 certified medical institutions. A total of 1,980 cases involving seven major procedures—including CAG, percutaneous coronary intervention (PCI), and chronic total occlusion (CTO) procedure were analyzed. Using digital imaging and communications in medicine (DICOM) radiation dose structured reports (RDSRs) and procedure reports, the dose area product (DAP) and fluoroscopy time (FT) were evaluated. The DRLs were defined as the 75th percentile of the dose distributions.

Results: CTO showed highest values with a DAP of 106.83 Gy·cm² and an FT of 2,819.00 seconds, reflecting high procedural complexity. In contrast, diagnostic CAG showed the lowest values with a DAP of 18.68 Gy·cm² and an FT of 440.00 seconds. The DAP and FT for combined CAG+PCI was 63.40 Gy·cm² and 1,201.50 seconds. Overall, the derived Korean DRLs were generally lower than those reported in major developed countries.

Conclusions: This study presents the first national DRLs for cardiac interventional procedures in the ROK based on multicenter clinical data. These findings provide a foundational baseline for the management of radiation safety and dose optimization in clinical practice.

Key words: Diagnostic reference levels; Coronary angiography; Radiology, interventional; Radiation exposure; Radiation dosage

*Corresponding author: Jungsu Kim, Tel: +82-53-320-1318, E-mail: rtkjs01@dhc.ac.kr
Hyemin Park, Tel: +82-55-230-1275, E-mail: hmpark@masan.ac.kr

Introduction

Cardiovascular diseases in the Republic of Korea (ROK) are among the leading causes of death, and the use of image-based

interventional procedures for the diagnosis and treatment of these diseases has been steadily increasing [1,2]. Angiography and interventional procedures can be performed with relatively low invasiveness compared with conventional invasive

Key messages

① What is known previously?

Coronary angiography and interventional procedures involve high radiation doses, and diagnostic reference levels (DRLs) has been recognized. However, no national-level DRLs have been established in the Republic of Korea.

② What new information is presented?

This study presents the first national DRLs for seven cardiac procedures based on clinical data collected from 20 Korean hospitals, using dose area product ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) and fluoroscopy time (seconds) as reference metrics.

③ What are implications?

The established DRLs can be used for institutional dose management, practitioner education, and benchmarking, and they may serve as practical reference standards for future radiation optimization.

treatments and therefore constitute an indispensable component of medical diagnosis and treatment [3]. However, because angiographic and interventional procedures are performed based on high-resolution imaging and prolonged fluoroscopy, the radiation dose delivered to patients is relatively higher than that received during general imaging examinations [2,3]. According to the 2023 annual report on medical radiation exposure of the population published by the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), the use of medical radiation among the population has been steadily increasing, with angiographic examinations increasing by approximately 21.3% in 2023 compared with 2020. As of 2023, angiographic examinations accounted for only 0.2% of the total use of medical radiation, but they contributed to 2.3% of total patient radiation exposure, ranking third among medical examinations

in terms of radiation dose [4]. The effective dose per capita from angiographic examinations is 0.07 mSv. Among these procedures, coronary angiography (CAG) accounted for the largest proportion (39.3%) of all angiographic examinations and showed a relatively high contribution to radiation exposure (26.4%) [2,4].

Six international organizations, including the World Health Organization (WHO) and the International Atomic Energy Agency (IAEA), jointly recommended the management of patient radiation dose through the international basic safety standards No. 115 in 1996 [5]. In addition, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommends the establishment and use of diagnostic reference levels (DRLs) to optimize patient radiation exposure, and dose management and optimization based on these levels have become important components of healthcare systems worldwide [6,7]. DRLs are defined as the third quartile (75th percentile) of the radiation dose distribution obtained by surveying the radiation doses used in diagnostic imaging examinations at individual medical institutions nationwide [6-9].

Developed countries, including those in Europe, Japan, and the United States, promote radiation dose management and quality improvement by periodically updating national DRLs. In the ROK, national DRLs were first established and announced by the Ministry of Food and Drug Safety in 2008. Following the transfer of responsibility in 2013, the KDCA has been presenting national DRLs for various types of medical radiation examinations every 3–5 years [8,9]. To date, national DRLs have primarily focused on major examinations such as general radiography and computed tomography (CT), while DRLs for interventional radiology procedures, particularly cardiovascular interventions, have not yet been sufficiently

established [8-10].

In the absence of DRLs for high-dose procedures, objective criteria for variations in radiation dose between medical institutions or operators cannot be established, which might lead to unnecessary increases in patient radiation exposure. This situation may contradict the radiation protection principle of dose optimization [6-8]. Therefore, the establishment of objective standards for interventional procedures is urgently needed, and the development of DRLs based on real clinical data is essential. Accordingly, this study collected and analyzed radiation dose data from CAG and interventional procedures performed at major medical institutions in the ROK and aimed to propose procedure-specific DRLs, thereby providing baseline data for the establishment of future clinical and policy standards.

Methods

1. Study Population

1) Examinations and procedures

According to ICRP publication 135, when determining which examinations or procedures should have DRLs established, priority should be given to procedures that are commonly performed in the region, particularly those performed most frequently or those associated with the highest patient radiation exposure [6,7]. The main variables to be recorded should be quantities that can be easily evaluated and, if possible, should be radiation dose metrics that can be directly measured during the examination or obtained from the imaging equipment [6,7]. Accordingly, this study selected seven examinations that are most frequently performed in the field of CAG and interventional procedures. In this study, acute myocardial infarction (AMI) and chronic total occlusion (CTO) were

treated not simply as diagnostic labels but also as representative clinical categories wherein lesion characteristics might increase procedural difficulty and the amount of fluoroscopy and image acquisition. Therefore, cases wherein interventional procedures for these lesions were actually performed were defined as separate procedural groups. The selected examinations and procedures were as follows: (1) CAG; (2) Coronary angiography and percutaneous coronary intervention (CAG+PCI); (3) Coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (CAG+PTCA); (4) Coronary angiography and spasm provocation test (CAG+SPASM); (5) AMI procedures; (6) CTO procedures; (7) PCI.

2) Selection of participating medical institutions

According to ICRP publication 135, sample surveys conducted to establish DRLs should collect sufficient data to obtain a representative patient sample, and it is recommended that at least 20 patients be collected for a specific examination from a single facility. Furthermore, it is stated that when a sample survey is conducted by randomly selecting a subset of facilities from all facilities, results from 20–30 facilities are sufficient to estimate national DRLs [6,7].

The status of accredited medical institutions capable of performing CAG and interventional procedures was identified through the database of the Korean Society of Interventional Cardiology. Subsequently, the institutions were contacted to confirm their willingness to participate in the study. To facilitate efficient data collection, 20 medical institutions equipped with systems capable of generating digital imaging and communications in medicine (DICOM) radiation dose structured reports (RDSR) and procedure reports after the completion of procedures were selected, and radiation dose-related

information was collected for the establishment of DRLs.

2. Data Collection and Analysis

According to ICRP publication 135, several metrics may be used for establishing DRLs for angiography and interventional procedures, including dose area product (DAP), cumulative air kerma, fluoroscopy time (FT), and the number of images acquired through cine imaging or digital subtraction angiography [6]. In this study, DICOM RDSR files and procedure reports generated from angiography systems installed at participating medical institutions were used for data collection. The RDSR is a structured dose report defined according to the DICOM standard and quantitatively includes various exposure-related information, such as device type, patient sex, age, height, weight, examination name, cumulative DAP for the entire examination, DAP for each image, and FT [11]. Therefore, the RDSR is suitable for use as an indicator for estimating DRLs. Depending on the network environment of each institution, RDSR files can be transmitted to an external server through linkage with the imaging equipment server or the picture archiving and communication system [11].

Accordingly, for data collection, the research team conducted on-site inspections of the participating medical institutions. Depending on whether network access was available,

institutions were allowed to provide data using one of two methods: real-time transmission of data or local storage followed by subsequent collection. In addition, for institutions where opening the DICOM network was not possible due to institutional constraints, procedure reports generated after the completion of procedures were collected in parallel. For procedure report data collection, an Excel (Microsoft) data form was used to receive the entered information, retrieve the completed forms, and upload them to the study's internal data collection server for analysis. Among the total of 20 participating medical institutions, data from 14 institutions were obtained through an RDSR-based real-time transmission method, while the remaining six institutions used a procedure report-based data collection method due to network limitations. A schematic diagram of the data collection process is shown in Figure 1.

Data collection was conducted from the second quarter to the fourth quarter of 2024. Considering the consistency of the data and the feasibility of data collection across participating institutions for each examination type, cumulative DAP ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) and FT (second), which were available from all institutions, were selected as the final analytical indicators and collected. Cumulative DAP and FT are procedure-based indicators calculated at the completion of a procedure and reflect the level of radiation exposure delivered to the patient during

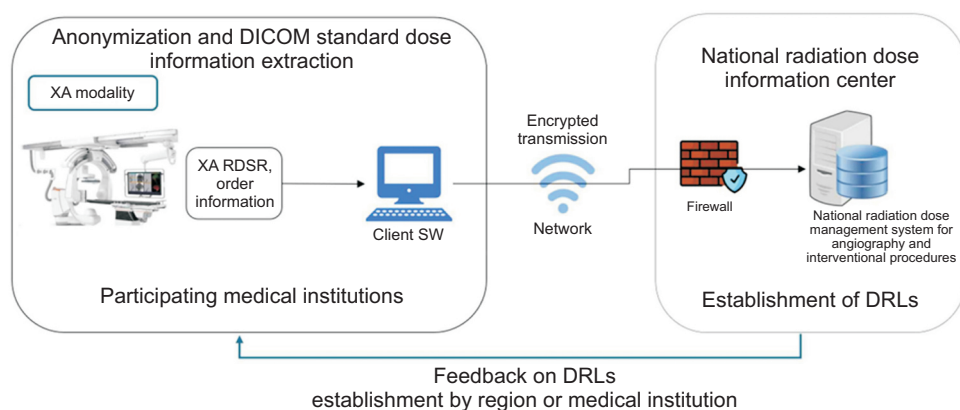


Figure 1. Schematic diagram of radiation dose data collection for coronary angiography and interventional procedures

DICOM=digital imaging and communications in medicine; XA=X-ray angiography; RDSR=radiation dose structured reports; SW=software; DRLs=diagnostic reference levels.

the procedure. The collected raw data were aggregated on the study's internal server and organized into an integrated database. To prevent the leakage of sensitive personal information, technical security measures were implemented, and all institutional identifiers and patient information were removed during preprocessing to ensure that the data were fully anonymized.

To analyze the collected data, descriptive statistical analysis was performed for each variable. For each examination type, the mean, quartiles (Q1 and Q3), and median values were calculated for cumulative DAP and FT. DRLs were defined based on the third quartile of the calculated dose values. In addition, the first quartile (25th percentile) was defined as the lower DRLs, and the median was defined as the target dose.

Results

A total of 1,980 cases were collected during the second to fourth quarters of 2024 for the seven types of CAG and interventional procedures included in this study. The unit of analysis in this study was a single procedure, and only valid cases wherein cumulative DAP and FT were available were included. All participating institutions satisfied the minimum sample size criterion (at least 20 cases per institution). Based on these

data, the 75th percentile values were calculated using descriptive statistics for each procedure type. The results showed that DAP values were 18.68, 63.40, 53.89, 25.44, 58.52, 106.83, and 49.94 Gy · cm² for CAG, CAG+PCI, CAG+PTCA, CAG+SPASM, AMI, CTO, and PCI, respectively. The 25th percentile, median, and mean values of DAP are presented in Table 1.

The 75th percentile values of FT were 440.00, 1,201.50, 1,284.65, 341.26, 947.64, 2,819.00, and 1,479.50 seconds for CAG, CAG+PCI, CAG+PTCA, CAG+SPASM, AMI, CTO, and PCI, respectively. The 25th percentile, median, and mean values of FT are presented in Table 2.

The 75th percentile values of cumulative DAP and FT derived from these data were established as the national DRLs for the seven CAG and interventional procedures.

Discussion

National DRLs for angiography and interventional procedures in the field of radiology in the ROK were established twice, in 2012 and 2019 [12]. However, for cardiovascular procedures, available information had been limited to radiation dose data reported by individual researchers in the ROK

Table 1. Distribution of dose area product for CAG and interventional procedures

Procedure name	25th percentile	Median	75th percentile	Average
CAG	6.22	10.17	18.68	14.92
CAG+PCI	24.20	39.13	63.40	48.78
CAG+PTCA	25.20	33.84	53.89	42.89
CAG+SPASM	10.89	17.90	25.44	18.68
AMI	29.13	43.10	58.52	56.38
CTO	48.98	73.56	106.83	78.95
PCI	11.74	21.82	49.94	34.13

Unit: Gy · cm². CAG=coronary angiography; PCI=percutaneous coronary intervention; PTCA=percutaneous transluminal coronary angioplasty; SPASM=spasm provocation test; AMI=acute myocardial infarction; CTO=chronic total occlusion.

Table 2. Distribution of fluoroscopy time for CAG and interventional procedures

Procedure name	25th percentile	Median	75th percentile	Average
CAG	135.00	224.53	440.00	395.84
CAG+PCI	520.00	817.50	1,201.50	938.28
CAG+PTCA	469.72	673.84	1,284.65	1,091.80
CAG+SPASM	174.80	232.12	341.26	298.52
AMI	439.00	671.41	947.64	874.69
CTO	1,203.18	2,143.22	2,819.00	2,099.02
PCI	555.99	982.00	1,479.50	1,192.61

Unit: sec. CAG=coronary angiography; PCI=percutaneous coronary intervention; PTCA=percutaneous transluminal coronary angioplasty; SPASM=spasm provocation test; AMI=acute myocardial infarction; CTO=chronic total occlusion.

[10]. Accordingly, this study is meaningful as a policy-oriented study that collected radiation dose data from multiple medical institutions and analyzed them by procedure type in order to estimate the first national DRLs for CAG and interventional procedures in the ROK.

In this study, multicenter clinical data from accredited medical institutions were analyzed, thereby overcoming the limitations of single-institution studies and increasing the representativeness and external validity of the results. In addition, while utilizing quantitative dose indicators derived from DICOM RDSR, cumulative DAP and FT, which could be commonly collected from all institutions, were selected as analytical variables in order to ensure comparability among institutions. By establishing the third quartile of the dose distribution as the national DRLs for seven procedures frequently performed in clinical practice, this study presents a more standardized, data-based, and consistent estimation framework compared with previous national DRLs studies.

A comparison of the calculated DRLs by procedure type showed that CTO exhibited the highest DAP (106.83 Gy · cm²) and the longest FT (2,819.00 seconds). This finding reflected the characteristics of CTO lesions, which are chronically occluded and often involve long lesions or severe

calcification. These factors increase procedural difficulty and are associated with complex procedural processes and a tendency toward prolonged FT [3]. These clinical characteristics lead to prolonged fluoroscopy and repeated image acquisition, ultimately resulting in increased patient radiation exposure. In contrast, because CAG is mainly centered on simple image acquisition for diagnostic purposes, it showed the lowest DAP at 18.68 Gy · cm², and its FT was also confirmed to be the second shortest among the procedures at 440.00 seconds.

In the case of combined procedures such as CAG+PCI, CAG+PTCA, and CAG+SPASM, radiation exposure was found to be relatively higher than that of purely diagnostic procedures. In particular, the DAP of CAG+PCI was approximately 3.4 times higher than that of CAG, with three times longer FT, indicating approximately 12.7 minutes longer radiation exposure time. This finding might be attributed to the structural characteristic that the procedural process becomes more complex as interventional treatment is performed consecutively following diagnostic angiography [3].

When the DRLs derived in this study for CAG and PCI were compared with values aggregated by continent [13], the DRLs were found to be relatively lower (Figures 2, 3). This finding suggested that medical institutions in the ROK are

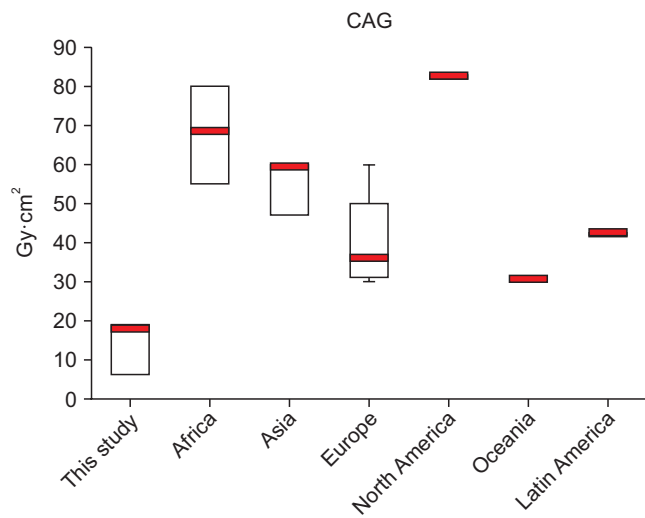


Figure 2. Diagnostic reference levels of CAG published for different regions

When several works were compiled, the boxes represent the quartiles and whiskers show the 5% and 95% percentile. CAG=coronary angiography.

actively adopting advanced equipment and radiation dose–reduction protocols. A previous study by Lee et al. [14] comprehensively analyzed the status of DRLs establishment for interventional procedures in the ROK and other major countries and reported that radiation dose levels vary substantially across procedures and that differences exist among countries in terms of the criteria and numerical values used for DRLs establishment. In particular, interventional procedure DRLs in the ROK were generally lower than those in the United Kingdom, Germany, and the United States for most procedure categories, which might be attributed to radiation dose optimization efforts and the use of advanced equipment in some leading medical institutions [14].

The establishment of national DRLs is not limited to the simple presentation of numerical values but can also support various applications in clinical practice. Medical institutions can perform self-assessment of radiation dose levels using DRLs as a benchmark and can use them as reference materials

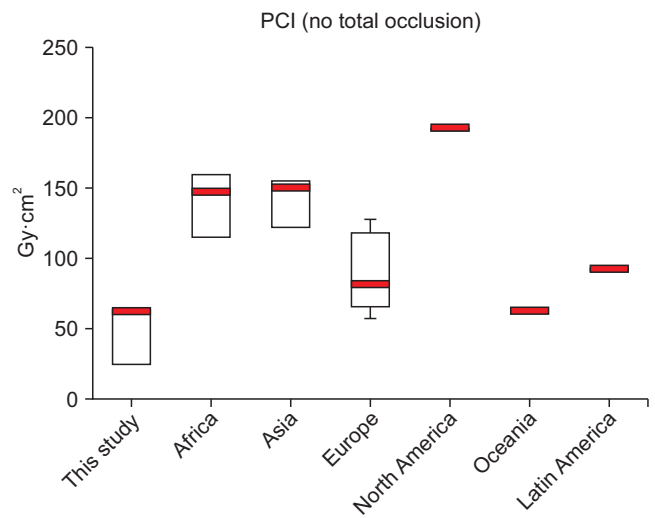


Figure 3. Diagnostic reference levels of PCIs published for different regions

When several works were compiled, the boxes represent the quartiles and whiskers show the 5% and 95% percentiles. PCI=percutaneous coronary intervention.

for equipment performance evaluation and the development of operational guidelines. In addition, DRLs can be used to improve operators’ awareness of radiation dose and as educational materials, thereby contributing to the establishment of a radiation safety culture. Furthermore, at the national level, DRLs can support comparative analyses among medical institutions and the development of feedback systems, and in the mid-term to long-term, they can serve as baseline data for the establishment of radiation dose optimization policies.

For the effective implementation and operation of DRLs, continuous and systematic data collection should be conducted in parallel. In this study, the validity of DRLs establishment was confirmed through DICOM RDSR-based data, suggesting the potential for the future introduction of an automated radiation dose monitoring system. However, during the pilot operation process, some medical institutions experienced practical difficulties in applying computerized workflows, and the specific characteristics of procedures, such as changes in orders during

the procedure and the occurrence of emergency procedures, acted as factors that hindered system integration.

In addition, the fact that data collection was concentrated within a specific period should also be taken into consideration when interpreting the results. The data collection period of this study partially overlapped with a period during which clinical care and procedural operations were subject to change due to collective actions within the Korean medical community, and thus, the number of procedures performed at some institutions may have decreased compared with typical years. Therefore, the DRLs derived in this study might reflect the clinical operational conditions during that period, and future re-evaluation and updating based on accumulated data over a longer period are needed.

In this study, because the focus was placed on deriving representative values for national DRLs using RDSR-based multicenter real-world clinical data, detailed stratified analyses according to device characteristics, patient characteristics (sex, age, height, and weight), and operator-related factors were not performed. However, ICRP publication 135 states that appropriate DRLs quantities can be recorded using automated methods and that, in sample surveys where a sufficient number of patients (>100) is secured at each facility, restrictions related to patient factors, such as body weight, may be relaxed [6]. In accordance with these recommendations, this study adopted an approach to derive representative values based on large-scale multicenter clinical data. In addition, given the characteristics of angiography and interventional procedures, radiation dose variation may occur depending on equipment configuration, procedural difficulty, operator proficiency, and lesion characteristics, and the results of this study are subject to some limitations in interpretation in that stratified analyses according

to these factors were not performed. In the future, additional detailed analyses reflecting patient characteristics, equipment characteristics, and procedural difficulty are warranted.

In conclusion, this study was significant as it presented national DRLs for CAG and interventional procedures based on multicenter real-world clinical data and proposed their potential utility and the importance of their clinical application. In the future, additional efforts will be required, including the establishment of a real-time feedback system based on national DRLs, expansion to comparative evaluation indicators among medical institutions, and the establishment of more detailed criteria for high-difficulty procedures. Through such efforts, it will be possible to contribute to the creation of a patient-centered and safe radiation-use environment and to the realization of radiation dose optimization.

Declarations

Ethics Statement: The study protocol was approved by the Institutional Review Board (IRB) of Daegu Health College (DHCIRB-2024-03-001).

Funding Source: This work was supported by the Korea Disease Control and Prevention Agency (2024-10-003).

Acknowledgments: The authors would like to thank all the researchers who contributed to this study: Kukjin Jeon (Bundang Cha hospital).

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: JSK. Data curation: DHK, BRC. Formal analysis: DHK, BRC. Funding acquisition: JSK. Methodology: YJM, JWG, JHW. Project administration: JSK. Supervision: JSK, HMP. Validation:

HMP. Visualization: DHK. Writing – original draft: DHK.
Writing – review & editing: HMP, JSK.

References

- 2023 Cause of death statistics results [Internet]. Statistics Korea; 2024 [cited 2025 May 1]. Available from: https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=218&act=view&list_no=433106&tag=&nPage=33&ref_bid=203,204,205,206,207,210,211,11109,11113,11814,213,215,214,11860,11695,216,218,219,220,10820,11815,11895,11816,208,245,222,223,225,226,227,228,229,230,11321,232,233,234,12029,10920,11469,11470,11817,236,237,11471,238,240,241,11865,243,244,11893,11898,12031,11825,&keyField=T&keyWord=&bodo_b_type=all
- Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) announces 2023 status of public medical radiation utilization [Internet]. KDCA; 2024 [cited 2025 May 1]. Available from: <https://www.kdca.go.kr/kdca/2847/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGa2RjYSUyRjQxJTJGMjE0OTg1JTJGYXJ0Y2xWaWV3LmRvJTNGcGFzc3dvcmlM0QlMjZyZ3NCZ25kZVN0ciUzRDlwMjQuMDguMDElMjZmaW5kT3Bud3JkJTNEJTI2ZmluZFdvcmlM0QlMjZyZ3NFbmkRkZVN0ciUzRDlwMjQuMDguMzE1MjZmaW5kVHlwZSUzRHNoJTl2ZmluZENSU-2VxJTNEJTI2cGFnZSUzRDlwMjY%3D>
- The Korean Society of Medical Imaging Technology. Textbook of vascular and interventional radiography. 6th ed. Chung-Ku Publisher; 2024.
- Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). [2023 National medical radiation exposure evaluation annual report]. KDCA; 2024. Korean.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety series No. 115: international basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. IAEA; 1996.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP; 2017.
- Vañó E, Miller DL, Martin CJ, et al.; Authors on behalf of ICRP. ICRP publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP* 2017;46:1-144.
- Yoon YS, Park HM, Won JH, Song SK, Gil JW, Lee BY. Korean diagnostic reference level for general radiography and mammography in 2022. *Public Health Wkly Rep* 2023;16:1082-100.
- Lee JY, Kim JS, Yoon SW, et al. Study to establish a national dose management system for dental imaging examinations. *Public Health Wkly Rep* 2024;17:1498-515.
- Kim JS, Lee BK, Ryu DR, et al. A multicentre survey of local diagnostic reference levels and achievable dose for coronary angiography and percutaneous transluminal coronary intervention procedures in Korea. *Radiat Prot Dosimetry* 2019;187:378-82.
- DICOM Standards Committee. Supplement 127: CT radiation dose reporting (dose SR) [Internet]. DICOM Standards Committee; 2007 [cited 2025 May 2]. Available from: <https://www.dicomstandard.org/News-dir/ftsups/docs/sups/sup127.pdf>
- Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). [Medical radiation series No. 20: diagnostic reference level guidelines – interventional radiology procedures]. KDCA; 2020. Korean.
- Sanchez RM, Siiskonen T, Vano E. Current status of diagnostic reference levels in interventional cardiology. *J Radiol Prot* 2022;42:041002.
- Lee MY, Kwon J, Ryu GW, Kim KH, Nam HW, Kim KP. Review of national diagnostic reference levels for interventional procedures. *Prog Med Phys* 2019;30:75-88.