



2023년 치과촬영 국가 진단참고수준 마련

강주희¹, 원종훈², 길종원², 민유정², 허민석^{3*}

¹서울대학교치과병원 영상치의학과, ²질병관리청 건강위해대응관 의료방사선건강관리과, ³서울대학교 치의학대학원 영상치의학교실

초 록

최근 의료방사선을 이용한 영상검사에 따른 환자의 방사선 피폭에 국민들의 관심이 집중되고 있다. 의료방사선은 정당화, 최적화의 원칙에 따라 최적의 선량으로 진단가치를 극대화하기 위한 노력이 필요하다. 우리나라에서는 2007년부터 장치별 진단참고수준을 설정하였고, 치과분야는 2009년에 전국적 조사를 통해 구내, 파노라마촬영의 진단참고수준을 마련하였으며 지난 2018년 조사에서는 치과용 콘빔CT (cone-beam computed tomography)의 진단참고수준을 처음 설정하였다. 조사대상 선정을 위해 치과에서 사용하는 진단용 방사선 발생장치 현황을 파악하였으며, 지난 2019년에 발표된 우리나라의 치과촬영 진단참고수준값을 확인하고 이와 비교를 위한 조사지 개발하였다. 성인/소아 연령별 특정 촬영(하악 제1대구치 구내치근단촬영, 파노라마촬영, 성인 상악 제1대구치 임플란트 식립 전 평가 또는 소아 상악 매복 과잉치 평가)의 진단참고수준을 조사하였다. 측정기관을 통해 전국에 걸친 치과대학병원, 치과병원 및 치과의원에서 구내치근단촬영 331개, 파노라마촬영 328개, 콘빔CT촬영 301개를 대상으로 선량값을 확보하였다. 촬영 시 노출정보, 촬영기기의 정보를 함께 분석하였다. 조사된 선량값을 바탕으로 노출조건 및 선량의 평균, 최솟값, 최댓값, 25분위 백분율, 75분위 백분율 값을 얻었다. 추가로 노출조건 of 최다빈도값을 분석하였다. 조사된 선량의 3사분위 값을 참고하여 설정한 국가 진단참고수준은 다음과 같다. 성인 구내치근단촬영 48 mGy·cm², 파노라마촬영 354 mGy·cm², 콘빔CT 1,956 mGy·cm²이며, 소아 구내치근단촬영 31 mGy·cm², 파노라마촬영 224 mGy·cm², 콘빔CT 1,350 mGy·cm²이다. 본 연구를 통해 환자 선량의 최적화를 달성하기를 기대한다.

주요 검색어: 치과; 진단참고수준; 파노라마방사선촬영; 콘빔전산화단층촬영; 구내방사선촬영

서 론

최근 의료방사선을 이용한 영상검사에 따른 환자의 방사선 피폭에 국민들의 관심이 집중되고 있다. 환자 선량은 촬영조건에 따라 달라지며, 일반적으로 방사선량이 증가할수록 영상품질이 향상되는 경향이 있어 선량을 증가시켜 촬영

하는 경우가 많다. 특히 digital radiography (DR) 장비가 보급됨에 따라 과노출 조건에서 촬영하여도 화질에 영향을 적게 미치는 경우가 있어 이를 평가하기 어려운 실정이다. 이에 따라 각 의료기관에서 참고할 만한 방사선량 가이드라인이 필요하다. 의료방사선의 사용은 환자에게 방사선 피폭을 유발하지만, 직접적으로 환자에게 이득을 제공하기 때문에 방

Received June 4, 2024 Revised July 3, 2024 Accepted July 5, 2024

*Corresponding author: 허민석, Tel: +82-2-6256-3051, E-mail: hmslsh@snu.ac.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA
Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약

① 이전에 알려진 내용은?

“As low as reasonably achievable” 원칙에 따라 의료방사선의 최적화를 달성해야 한다. 이를 위해 국가 진단참고수준(diagnostic reference level, DRL)을 설정하고 주기적으로 개정할 것이 권고된다.

② 새로이 알게 된 내용은?

전국 치과 의료기관에서 사용하는 촬영 조건 및 방사선량을 조사하였다. DRL을 새롭게 설정하고 2019년 치과 국가 진단참고수준과 비교, 평가하였다.

③ 시사점은?

진단참고수준 설정과 최적화 과정을 통해 환자의 의료방사선량을 감소할 수 있도록 노력을 기울여야 한다.

사선량의 한도를 두지 않는다. 그러나 불필요한 방사선으로부터 환자를 보호하기 위해 “합리적으로 달성 가능한 한 낮게(as low as reasonably achievable, ALARA)”를 원칙으로 하고 있다. 이 ALARA 원칙을 달성하기 위해서는 정당화(justification)와 최적화(optimization) 원칙을 따라야 하며, 최적화 과정에서 가장 널리 활용되는 것이 진단참고수준(diagnostic reference level, DRL)이다. 진단참고수준은 International Commission on Radiological Protection (ICRP) 60 및 73, European Commission 규약 97/43/Euratom에서 최적화를 달성하기 위한 방안으로 제시되었다[1,2]. 2014년 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency)에서 발표한 ‘International Basic Safety Standards’의 requirement 34에 따르면 정부가 해당 국가의 진단참고수준을 설정하도록 권고하고 있으며, ICRP 135. Report에서는 특히 콘빔CT (cone-beam computed tomography) 경우와 같이 기술의 변화가 있을 때에는 더욱 자주 개정되어야 한다고 권고하고 있다[3]. 치과분야에서는 최근 20여 년 동안 필름(아날로그)에서 디지털 센서로 상수용기가 변화하였으며, 파노라마 및 콘빔CT 장치

보급이 빠르게 증가하여 진단참고수준의 주기적인 재설정이 필요하다. 우리나라에서는 2007년부터 장치별 진단참고수준을 설정하였고, 치과분야는 2009년에 전국적 조사를 통해 구내, 파노라마촬영의 진단참고수준을 마련하였으며 지난 2018년 조사에서는 치과용 콘빔CT의 진단참고수준을 처음 설정하였다. 본 연구는 전국 치과대학병원, 치과병원, 치과의원급 의료기관을 대상으로 2023년 치과 국가 진단참고수준을 마련하고자 수행되었다.

방 법

1. 국내 치과촬영 진단용 방사선 발생장치 현황

치과진단참고수준 개정을 위한 조사결과의 신뢰성 확보를 위하여 국내 치과촬영 진단용 방사선 발생장치 설치 현황을 파악하였다. 질병관리청 장치현황통계를 이용하여 지역별, 의료기관단위별 진단용 방사선 발생장치 현황을 조사하였다. 2022년 기준, 전국 치과의료기관에서 사용하는 진단용 방사선 발생장치는 구내촬영장치 25,252대, 파노라마촬영장치 5,567대, 콘빔CT장치 16,102대이다. 콘빔CT-파노라마 조합형 장치의 경우에는 장치 등록 시 콘빔CT 장치로 분류되어 있어 파노라마촬영장치가 적은 수로 평가되는 점을 유의해야 한다. 장치 현황을 기준으로 각 촬영장치 300대씩 조사 대상을 제시하였다(보충 표 1; available online).

2. 데이터 수집 방법 및 조사지 개발

국가 치과촬영 진단참고수준 개정을 위해 선행연구에서 제시한 검사항목을 고려하여 구내 방사선촬영, 파노라마촬영, 콘빔CT촬영을 진단참고수준 검사항목으로 선정하였다[4]. European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging. No. 185에 따르면 소아 진단참고수준 설정 시 두경부촬영에서는 연령범위를 0-3개월, 3개월-1세, 1-6세, 6세 이상으로 나누고 있다[5]. 이를 반영하여 본

표 1. 2024 치과촬영 국가진단참고수준 선정 항목

검사 종류	연령	기타 조건
구내촬영	성인	하악 대구치 촬영
	소아	하악 대구치 촬영
파노라마촬영	성인	-
	소아	-
콘빔CT촬영	성인	상악 제1 대구치부 한 개의 임플란트 식립 전 치료계획
	소아	매복 상악 정중과잉치나 견치의 위치 평가

CT=computed tomography; -=not available.

연구에서 조사한 항목은 다음과 같다(표 1). 조사하는 방사선량, 즉 DRL quantity는 dose area product (DAP, 단위: mGy · cm²)를 사용하였다. DAP는 흡수선량과 조사면적을 곱하여 산출한 선량으로 이온챔버를 이용하는 DAP 측정기를 사용하였다. 구내촬영은 촬영기 조사통 끝에 DAP 측정기를 위치시키고 선량을 측정하였으며, 파노라마촬영과 콘빔CT촬영은 시준기 전면에 DAP 측정기를 위치시킨 후 전노출시간에 걸쳐 DAP를 측정하였다. 노출 조건은 각 의료기관에서 실제 성인·소아환자에서 사용하는 촬영조건을 그대로 사용하였다. 측정에 사용된 DAP 측정기는 모두 교정된 것으로 측정 장비로서 적정성 및 신뢰성이 확보되었다. 본 연구에서는 국가 진단참고수준의 정확성과 데이터 수집의 효율성을 높이기 위해 질병관리청에 등록된 진단용 방사선 발생장치 및 방사선 방어시설 검사기관에서 진단용 방사선 발생장치 검사를 수행할 때 개발된 조사지(보충 그림 1; available online)에 검사항목별 촬영조건 기입 및 해당 조건에서의 선량측정을 실시하여 진단참고수준 조사가 이뤄지도록 방법을 설계하였다. 추가로, 지역, 장치기한, 장치에서 표시하는 노출량, 장치시스템, 제조 회사 및 모델명 등을 함께 기입하도록 하였다.

결 과

1. 데이터 측정 대상 현황

측정 대상 의료기관 선정은 검사기관에 진단용 방사선 발생장치 검사를 의뢰한 기관을 대상으로 연구참여 독려를 통해 이루어졌다. 치과촬영 국가진단참고수준 개정을 위해 조사 대상이 된 의료기관은 구내촬영 331개, 파노라마촬영 328개, 콘빔CT촬영 301개 기관이 참여하였으며, 각 기관에서 성인·소아 촬영 방사선량 등 정보를 조사하였다. 조사된 장치의 제작 연도를 기준으로 사용기한을 분석한 결과 구내촬영장치는 평균 7.6년, 파노라마촬영장치는 평균 5.7년, 콘빔CT장치는 평균 4.6년으로 조사되었다. 조사된 구내촬영장치 331대 중 고정형 170대, 이동형 161대가 포함되었다. DAP값을 표기하는 장치는 구내촬영장치 331대 중 4대(1.2%), 파노라마촬영장치는 328대 중 200대(61%), 콘빔CT장치는 301대 중 210대(70%)였다.

2. 촬영 조건 분석

구내촬영, 파노라마촬영, 콘빔CT촬영의 성인·소아 연령에 따라 촬영조건을 분석하였다. 검사 종류별로 연령에 따라 관전압(kVp), 관전류(mA), 노출시간(second)의 기술통계를 실시하였으며, 그 결과 확인된 평균, 최소, 최대, 중앙, 최빈, 25% 준위, 75% 준위 값은 표 2와 같다.

3. 검사 종류별 선량 측정 결과

치과촬영 진단참고수준 설정을 위한 선량측정은 DAP 측정기의 이온챔버를 장치 시준기 전면에 위치시켜 측정하였다. 검사 종류에 따른 연령별 DAP 분포는 표 3과 같다.

파노라마촬영에서 의료기관 종별, 사용 기한별, 제조국가별, 복합기 여부에 따라 선량을 비교한 그래프는 그림 1과 같다. 의료기관 종별 비교 시 치과의원과 치과병원은 치과대학 병원에 비해 약 2배 정도 선량이 높게 나타났다. 콘빔CT촬영

표 2. 치과촬영 장치별 촬영조건 분포 현황

검사 종류	노출조건	연령	평균	최소	최대	중앙	최빈	25%	75%
구내촬영장치	kVp	성인	64.2	60	70	65	60	60	70
		소아	64	60	70	60	60	60	65
	mA	성인	4.2	1	10	3	2	2	6
		소아	4.3	1	10	2.5	2	2	6
	sec	성인	0.4	0.03	3.15	0.28	0.2	0.18	0.4
		소아	0.2	0.03	1.18	0.2	0.1	0.1	0.3
파노라마장치	kVp	성인	76.5	63	94	74	74	73	80
		소아	70.6	60	94	67	67	67	72
	mA	성인	10.7	2	15	10	12	10	12
		소아	8.6	5	12	10	10	7	10
	sec	성인	13.9	7.15	24	13.5	13.5	13.5	14.1
		소아	13.3	6	24	13.5	13.5	11.5	14
콘빔CT촬영장치	kVp	성인	90.4	74	120	94	94	85	94
		소아	87.7	65	100	90	94	80	94
	mA	성인	10.5	2.8	13	8	8	7.4	8.3
		소아	7.1	2	13	7.3	7	6.5	7.7
	sec	성인	18.6	5	24	18	18	18	24
		소아	18.3	5	24	18	18	18	22

CT=computed tomography.

표 3. 치과촬영 검사 종류별 성인·소아 DAP 분포 현황

검사 종류	연령	평균	최소	최대	중앙	25%	75%
구내촬영	성인	42.8	4.0	270.1	32.0	19.4	48.2
	소아	27.5	2.4	219.4	23.9	13.4	30.8
파노라마촬영	성인	333.7	12.1	5,492.4	151.2	101.3	354.3
	소아	217.5	11.4	5,030.0	87.3	55.8	223.6
콘빔CT촬영	성인	1,413.4	110.0	9,387.9	913.4	684.1	1,856.1
	소아	1,146.4	46.3	9,290.6	744.2	597.8	1,349.7

단위: mGy·cm². DAP=dose area product; CT=computed tomography.

에서 의료기관 종별, 사용 기한별, 제조국가별로 선량을 비교한 그래프는 그림 2와 같다.

결론

본 연구를 통하여 조사된 3사분위 값을 바탕으로 진단참고수준 값(DRL value, 조사된 선량 분포의 75% 값으로 설정한 임의 명목 값)을 설정하였다. 2023년 치과촬영 국가진단

참고수준은 구내촬영 성인 48 mGy·cm², 구내촬영 소아 31 mGy·cm², 파노라마촬영 성인 354 mGy·cm², 파노라마촬영 소아 224 mGy·cm², 콘빔CT촬영 성인 1,856 mGy·cm², 콘빔CT촬영 소아 1,350 mGy·cm²로 설정되었다.

새롭게 설정된 치과촬영 진단참고수준은 지난 2019년에 발표된 값과 비교 시 유의미한 감소를 보이지 않거나, 오히려 증가한 값이다. 지난 조사에서 구내촬영은 성인 46 mGy·cm², 소아 29.9 mGy·cm²로 이번 조사에서 약간 증

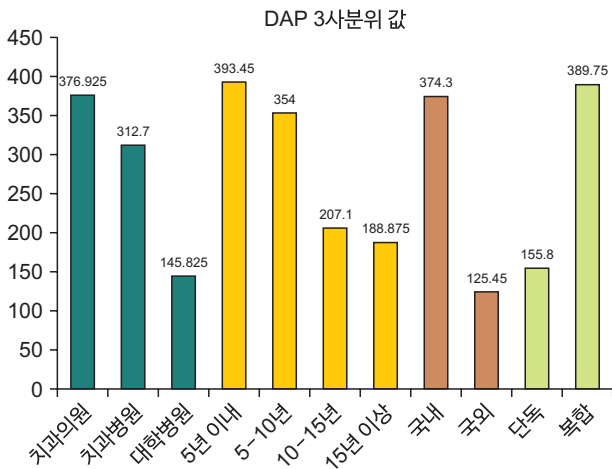


그림 1. 파노라마촬영에서 의료기관종별, 사용기한, 제조국가, 장치유형에 따른 DAP 3사분위 값
DAP=dose area product.

가한 값을 보였다. 파노라마촬영의 경우 $227 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$ 에서 $354 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$ 로 크게 증가하였다. 콘빔CT의 경우 성인 $2,060 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$ 에서 $1,856 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$ 로 약간 감소하였다 [4]. 특히 크게 증가한 파노라마촬영장치를 분석해보면 최신 장비, 국내장비, 복합장비에서 DAP가 높게 나타났다. 이는 조사에 참여한 국내장비와 복합장비의 평균 사용기한이 약 5년인 점을 고려하면 최근에 구매한 파노라마장비는 거의 국내에서 생산된 조합형 장치이며, 이러한 촬영장치의 면적선량값이 높은 것으로 해석할 수 있다. 또한 치과대학병원에 비해 치과의원과 치과병원에서 선량이 약 2배 정도 높게 조사되어 의료기관 종별 차이가 큰 것으로 나타났다. 치과의원의 경우 영상치의학 전문가나 방사선사가 근무하지 않는 곳이 많아 외국에서도 국가 수준의 선량 조사 시 의과 의료기관에 비해 넓은 선량분포를 보인다. 본 조사에서는 이전 진단참고수준 조사보다 측정 건수를 대폭 늘려 비교적 높은 대표성을 가진다는 점에서 의미가 있으나, 전체 의료기관을 대표할 수 있도록 무작위로 대상 기관을 선정하여 이전 연구에 비해 많은 수의 치과의원급 의료기관이 포함되었다. 이런 점이 국내의 이전 진단참고수준과 비교해서 전반적으로 진단참고수준이 상승하는 경향을 나타낸 원인으로 생각된다. 콘빔CT는 field of view

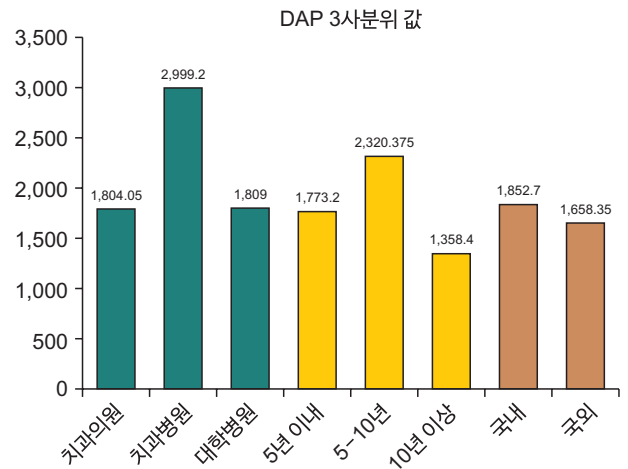


그림 2. 콘빔CT촬영에서 의료기관종별, 사용기한, 제조국가에 따른 DAP 3사분위 값
DAP=dose area product.

(FOV) 선택에 따라 선량이 크게 달라지기 때문에 FOV가 상대적으로 작은 10년 이상 사용한 장비에서 선량이 적게 측정된 것으로 생각된다.

진단참고수준을 다루고 있는 많은 문서들에서 강조하는 점은 진단참고수준이 선량제한을 위한 값이 아니라는 점이다. 장비의 발전으로 전체 분포의 1사분위보다 낮은 선량으로도 충분히 진단 가능한 영상을 얻을 수도 있고, 환자의 상황에 따라 진단참고수준보다 높은 선량을 사용하여 촬영하더라도 정당화가 확보되는 상황이라면 의료진의 결정에 따른다. 또한 개개인의 영상검사 하나하나를 평가하지도 않는다. 진단참고수준은 의료기관에서 사용하는 선량이 비정상적이지 않도록 관리하는 데에 그 목적이 있으며, 필수적으로 화질 관리와 함께 시행되어야 한다. 의료기관에서 진단참고수준을 적극 활용하고 치과촬영 환자 선량의 최적화를 달성하기 위한 노력을 기울여 이후 국가 진단참고수준 개정 시에는 선량 저감효과를 나타낼 수 있기를 기대한다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This research was supported by the Korea Disease Control and Prevention Agency, policy research service project (2023-10-003).

Acknowledgments: We would like to thank all the inspection attendants of the inspection agency who conducted the DRL investigation on site and the medical institution officials who responded to the investigation.

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

Author Contributions: Conceptualization: YJM, JWG, JHW. Data curation: JHK. Formal analysis: MSH, JHK. Methodology: MSH, JHK. Project administration: YJM, JWG, JHW. Supervision: MSH. Writing – original draft: JHK. Writing – review & editing: MSH.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 1991;21:1-201.
2. Council of the European Union. Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. European Union; 1997.
3. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP* 2017;46:1-144.
4. Kim EK, Han WJ, Choi JW, et al. Diagnostic reference levels for intraoral periapical and panoramic radiography. *J Korean Dent Assoc* 2021;59:550-65.
5. European Commission. European guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. European Union; 2018.

Establishment of Diagnostic Reference Levels for Dental Radiography in 2023

Juhee Kang¹, Jonghun Won², Jongwon Gil², Youjeong Min², Min-Suk Heo^{3*}

¹Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Seoul National University Dental Hospital, Seoul, Korea, ²Division of Medical Radiation and Health Management, Department of Health Hazard Response, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea,

³Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Recent studies have focused on radiation exposure in patients undergoing medical imaging examinations utilizing ionizing radiation. Striving for optimal radiation doses according to the principles of justification and optimization is essential. In the Republic of Korea (ROK), diagnostic reference levels (DRLs) for various imaging devices have been in place since 2007, and DRLs for intraoral and panoramic radiography were established following a nationwide survey in 2009. Cone beam computed tomography (CBCT) DRLs were established for the first time in 2018. The status of diagnostic radiography equipment used in dentistry was assessed to select the study subjects. A survey form was developed to compare the DRL values for dental radiography with published in ROK in 2019. We investigated DRLs for specific radiographic procedures in adults and children. Dose values were collected using radiographic equipment at dental university hospitals and dental hospitals and clinics throughout the country. Exposure information and equipment details were analyzed along with the collected data. Based on the measured dose values, exposure conditions and the average, minimum, maximum, 25th percentile, and 75th percentile dose values were obtained. Additionally, the most frequent exposure conditions were analyzed. Based on this information, the proposed national DRLs for dental radiography for 2023 follow: adult intraoral radiography 48 mGy·cm², panoramic radiography 354 mGy·cm², CBCT 1,856 mGy·cm², child intraoral radiography 31 mGy·cm², panoramic radiography 224 mGy·cm², CBCT 1,350 mGy·cm². We hope that this study will contribute to the optimization of patient radiation doses for dental radiography.

Key words: Dentistry; Diagnostic reference levels; Panoramic radiography; Cone-beam computed tomography; Intraoral radiography

*Corresponding author: Min-Suk Heo, Tel: +82-2-6256-3051, E-mail: hmslsh@snu.ac.kr

Introduction

Recently, radiation exposure of patients from imaging examinations has received growing public attention. Patient

radiation dose varies depending on the imaging conditions. Generally, image quality tends to improve with an increased radiation dose. Despite the wide availability of equipment for digital radiography (DR), image quality is minimally affected

Key messages

① What is known previously?

According to the principle of “as low as reasonably achievable,” optimization of medical radiation should be achieved, and national diagnostic reference levels (DRLs) should be established and periodically revised for this purpose.

② What new information is presented?

We investigated radiation doses used in dental medical institutions nationwide. New DRLs were established and compared against the 2019 national DRLs for dental radiography.

③ What are implications?

Efforts should be focused on reducing medical radiation doses administered to patients by establishing DRLs and optimization processes.

even via DR under overexposure conditions, thus making it difficult to evaluate radiation exposure. Therefore, guidelines and reference dose for radiation are needed in medical institutions. Although medical radiation can expose patients to radiation, it does provide direct benefits to patients and hence no dose limits have been set. However, to protect patients from unnecessary radiation, the principle of “as low as reasonably achievable (ALARA)” is followed. To adhere to the ALARA principle, justification and optimization principles should be implemented; the diagnostic reference level (DRL) is the most widely applied principle in the optimization process. Establishing the DRL was proposed to achieve optimization by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publications 60 and 73 and the European Commission Council Directive 97/43/Euratom [1,2]. In 2014, the International Atomic Energy Agency stated in

“The International Basic Safety Standards: Requirement 34” its recommendation that the government set its own DRL. Furthermore, in the ICRP Publication 135, it is recommended that the DRL be revised as frequently as needed, especially when there are changes in technology, such as in the case of cone-beam computed tomography (CBCT) [3]. In dentistry, the image receptors have changed from film (analog) to digital sensors in the past 20 years. The use of panoramic radiography and CBCT has increased rapidly, further necessitating periodic resetting of the DRL. In the Republic of Korea (ROK), DRL has been set for each imaging device since 2007. In dentistry, the DRL for intraoral and panoramic imaging was established through a nationwide survey in 2009, while that for CBCT was established for the first time through a survey in 2018. This study aimed to establish the national DRL for dental imaging in 2023 by targeting dental university hospitals, dental hospitals, and dental clinics across the country.

Methods

1. Current Status of the Diagnostic Radiation Equipment in Dentistry

To ensure the reliability of the survey results for DRL revision in dental imaging, we investigated the current installation status of the diagnostic radiation equipment for dental imaging in ROK by region and medical institution using the equipment status statistics recorded by the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). As of 2022, the number of diagnostic radiation equipment used in dental medical institutions nationwide included 25,252 intraoral imaging devices, 5,567 panoramic imaging devices, and 16,102 CBCT machines. Combined CBCT-panoramic imaging devices are classified as

CBCT devices during registration, which may have led to an underestimation of the number of panoramic imaging devices. Based on the medical equipment status, 300 imaging devices of each type of diagnostic radiation equipment were used for the investigation in this study (Supplementary Table 1; available online).

2. Data Collection and Questionnaire

Development

To revise the national DRL for dental imaging, intraoral radiography, panoramic radiography, and CBCT were selected as the DRL inspection items based on those used in previous studies [4]. The European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Pediatric Imaging No. 185 states that when setting the pediatric DRL, the age ranges for head and neck imaging are divided into 0–3 months, 3 months to 1 year, 1–6 years, and ≥6 years [5]. The items investigated in this study are shown in Table 1. Irradiation dose (i.e., DRL quantity) was measured as the dose area product (DAP; mGy · cm²). The DAP is a radiation dose calculated by multiplying the absorbed dose and the irradiated area, and it was measured by a DAP meter using an ionization chamber. For intraoral imaging, the DAP meter was placed at the end of the dental X-ray tube to measure the radiation dose. For panoramic radiography and CBCT, the DAP meter was placed in front of the collimator,

and the DAP was measured over the entire exposure time. The exposure conditions used were those actually used for adult and pediatric patients at each medical institution. All DAP meters used for measurement were calibrated, and their validity and reliability as measuring equipment were ensured. To increase the accuracy of the national DRL and efficiency of data collection, this study designed a method wherein the questionnaire (Supplementary Figure 1; available online) developed for inspecting diagnostic radiation equipment registered with the KDCA and radiation protection facilities was used to enter the imaging conditions for each inspection item, conduct dosimetry under the respective conditions, and investigate the DRL. Additional information such as the region, device expiration date, exposure amount indicated by each device, device system, manufacturer, and model name were also recorded.

Results

1. Data Measurement Targets

The medical institutions selected as data measurement targets were among those that requested inspection institutions to inspect their diagnostic radiation instruments. The medical institutions participating in this study to revise the national DRL for dental imaging included 331 medical institutions for intraoral imaging, 328 institutions for panoramic imaging, and 301

Table 1. Selected criteria for the 2024 national DRLs in dental radiography

Examination type	Patient size	Protocol
Intraoral radiography	Adult	Mandibular fist molar
	Child	Mandibular fist molar
Panoramic radiography	Adult	-
	Child	-
CBCT	Adult	Implant planning for maxillary fist molar
CBCT	Child	Evaluation of mesiodens or impacted canine

DRL=diagnostic reference level; CBCT=cone-beam computed tomography; -=not available.

institutions for CBCT. The information on the radiation dose for radiography in adults and children at each institution was investigated. The results of the expiration date analysis of the investigated devices based on the year of manufacture showed that the average remaining expiration period was 7.6 years for intraoral imaging devices, 5.7 years for panoramic imaging devices, and 4.6 years for CBCT devices. Among the 331 intraoral imaging devices, 170 were fixed and 161 were mobile devices. The DAP values were displayed in 4 out of 331 (1.2%) intraoral imaging devices, 200 (61%) out of 328 panoramic imaging devices, and 210 (70%) out of 301 CBCT devices.

2. Analysis of Dental Radiography Conditions

Radiography conditions for intraoral imaging, panoramic imaging, and CBCT were analyzed according to the adult and pediatric ages. Descriptive statistical analysis of the tube voltage

(kVp), tube current (mA), and exposure time (second) was performed for each imaging type and age group. Table 2 shows the confirmed mean, minimum, maximum, median, mode, first quartile (25% level), and third quartile (75% level) values.

3. Dose Measurement Results by Imaging Type in Dental Radiology

Dosimetry for establishing the DRL for dental imaging was conducted by placing the ionization chamber of the DAP meter in front of the respective device collimator. The distribution of the DAP by age group according to the dental imaging type is shown in Table 3. Figure 1 shows the graphs comparing the irradiation doses in panoramic imaging according to the medical institution type, expiration date, country of manufacture, and combined or non-combined imaging device. The comparison of the dose by medical institution type showed that the

Table 2. Distribution of exposure conditions

Examination type	Technique factors	Patient size	Mean	Minimum	Maximum	Median	Mode	25%	75%
Intraoral radiography	kVp	Adult	64.2	60	70	65	60	60	70
		Child	64	60	70	60	60	60	65
	mA	Adult	4.2	1	10	3	2	2	6
		Child	4.3	1	10	2.5	2	2	6
	sec	Adult	0.4	0.03	3.15	0.28	0.2	0.18	0.4
		Child	0.2	0.03	1.18	0.2	0.1	0.1	0.3
Panoramic radiography	kVp	Adult	76.5	63	94	74	74	73	80
		Child	70.6	60	94	67	67	67	72
	mA	Adult	10.7	2	15	10	12	10	12
		Child	8.6	5	12	10	10	7	10
	sec	Adult	13.9	7.15	24	13.5	13.5	13.5	14.1
		Child	13.3	6	24	13.5	13.5	11.5	14
CBCT	kVp	Adult	90.4	74	120	94	94	85	94
		Child	87.7	65	100	90	94	80	94
	mA	Adult	10.5	2.8	13	8	8	7.4	8.3
		Child	7.1	2	13	7.3	7	6.5	7.7
	sec	Adult	18.6	5	24	18	18	18	24
		Child	18.3	5	24	18	18	18	22

CBCT=cone-beam computed tomography.

Table 3. Distribution of DAP

Examination type	Patient size	Mean	Minimum	Maximum	Median	25%	75%
Intraoral radiography	Adult	42.8	4.0	270.1	32.0	19.4	48.2
	Child	27.5	2.4	219.4	23.9	13.4	30.8
Panoramic radiography	Adult	333.7	12.1	5,492.4	151.2	101.3	354.3
	Child	217.5	11.4	5,030.0	87.3	55.8	223.6
CBCT	Adult	1,413.4	110.0	9,387.9	913.4	684.1	1,856.1
	Child	1,146.4	46.3	9,290.6	744.2	597.8	1,349.7

Unit: mGy · cm². DAP=dose area product; CBCT=cone-beam computed tomography.

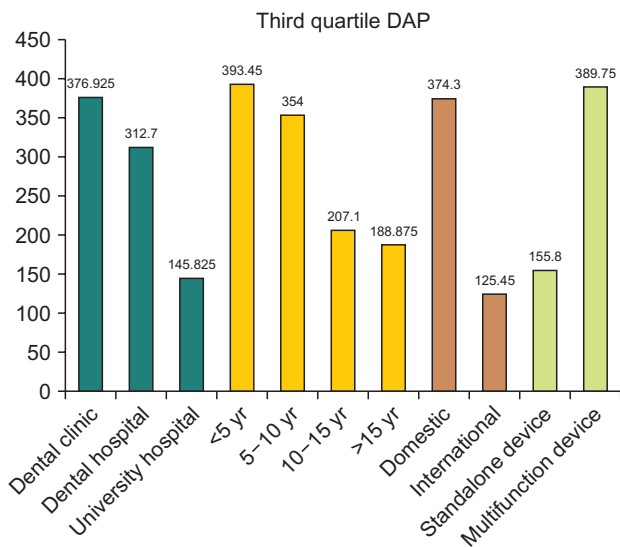


Figure 1. Third quartile DAP values in panoramic radiography by medical institution type, device age, manufacturing country, and device type
DAP=dose area product.

dose in dental clinics and dental hospitals was almost twice as high as that in dental university hospitals. The graphs comparing the dose in CBCT by medical institution type, expiration date, and country of manufacture are shown in Figure 2.

Discussion

The DRL value (arbitrary nominal value set at 75% of the distribution of investigated doses) was established based on the third quartile values investigated in this study. The national

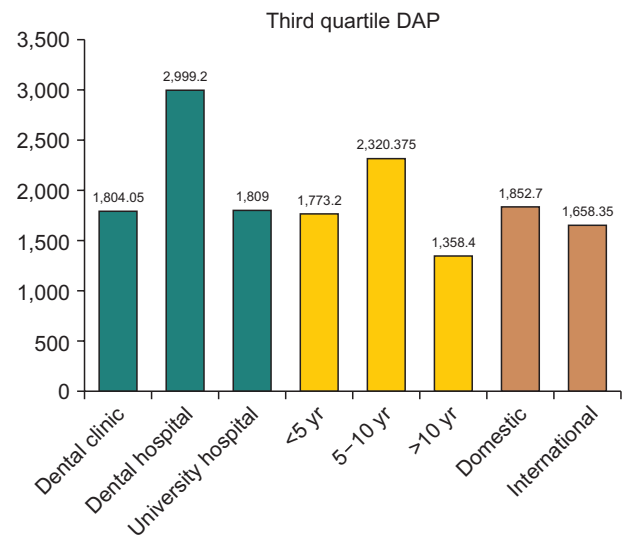


Figure 2. Third quartile DAP values in CBCT by medical institution type, device age, manufacturing country
DAP=dose area product; CBCT=cone-beam computed tomography.

DRL for dental imaging in 2023 was set at 48 mGy · cm² for intraoral imaging in adults, 31 mGy · cm² for intraoral imaging in children, 354 mGy · cm² for panoramic imaging in adults, 224 mGy · cm² for panoramic imaging in children, and 1,856 mGy · cm² for CBCT in adults, and 1,350 mGy · cm² for CBCT in children.

The newly established DRL for dental imaging showed no significant decrease but rather an increase compared to the DRL announced in 2019. In the last survey, the DRL for intraoral imaging was 46 mGy · cm² for adults and 29.9 mGy · cm² for children, indicating a slight increase in the

values recorded in this survey. The DRL for adults increased significantly from 227 mGy · cm² in the last survey to 354 mGy · cm² in this survey for panoramic imaging but decreased slightly for CBCT from 2,060 mGy · cm² to 1,856 mGy · cm² [4]. Notably, the results of analyzing panoramic imaging devices with significantly increased DRL showed that the DAP was high with the latest equipment, domestic equipment, and combination equipment. Considering that the mean expiration date of the domestic equipment and combined equipment investigated in this study was approximately 5 years, the recently purchased panoramic devices are mostly combination devices produced domestically, which could explain the high DAP of these imaging devices. Additionally, the radiation dose in dental clinics and dental hospitals was twice as high as that in dental university hospitals, indicating a significant difference by medical institution type. Dental clinics usually do not employ dental radiologists or radiology technicians, and national-level dose surveys in foreign countries have also shown that dental clinics have a wider distribution of radiation doses than medical institutions. This study is significant because it has a relatively high representativeness owing to the significantly higher number of radiation dose measurements compared to the previous DRL surveys. However, since this study randomly selected target medical institutions to represent all medical institutions, it involved a larger number of dental clinic-level medical institutions than those in previous studies. This could be why the DRL in this study showed an overall increasing trend compared to the previous DRLs in ROK. Since the radiation dose in CBCT varies greatly depending on the field of view (FOV) selection, it is believed that the radiation dose measured was lower on devices that have been used for more than 10 years with relatively smaller FOVs.

Several reports on DRL emphasize that it is not a value intended for dose limitation. The equipment advancements facilitate obtaining images adequate for diagnostic purposes even with doses lower than the first quartile of the overall distribution. Furthermore, if it is justifiable to use a dose higher than the DRL depending on the patient's situation, this should be at the discretion of the medical professional. Additionally, each examination do not be evaluated. The purpose of the DRL is to ensure that the dose used by medical institutions is within normal limits and should be implemented in conjunction with image quality management. We hope that medical institutions will actively utilize the DRL and strive to optimize patient dose during dental imaging, thereby achieving dose reduction effects when the national DRL is revised in the future.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This research was supported by the Korea Disease Control and Prevention Agency, policy research service project (2023-10-003).

Acknowledgments: We would like to thank all the inspection attendants of the inspection agency who conducted the DRL investigation on site and the medical institution officials who responded to the investigation.

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

Author Contributions: Conceptualization: YJM, JWG, JHW. Data curation: JHK. Formal analysis: MSH, JHK. Methodology: MSH, JHK. Project administration: YJM, JWG, JHW. Supervision: MSH. Writing – original draft: JHK. Writing – review & editing: MSH.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 1991;21:1-201.
2. Council of the European Union. Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. European Union; 1997.
3. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP* 2017;46:1-144.
4. Kim EK, Han WJ, Choi JW, et al. Diagnostic reference levels for intraoral periapical and panoramic radiography. *J Korean Dent Assoc* 2021;59:550-65.
5. European Commission. European guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. European Union; 2018.