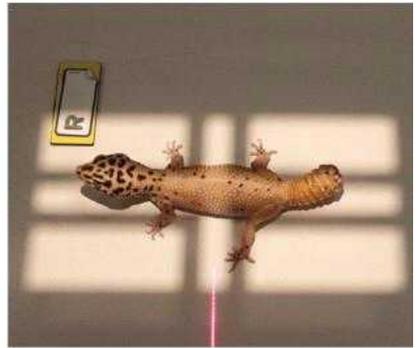


수의진료에서 방사선방호

Radiological Protection in Veterinary Practice



대한방사선방어학회
방사선안전문화연구소



이 번역본 발간은 2023년 대한방사선방어학회 자체사업으로 이루어졌습니다. 학회는 이 번역본 배포를 승인해준 ICRP 호의에 감사합니다.

<표지그림> 수의진료 방사선 절차 예시. 그림: ICRP 153.
그림 자료원
윗줄: CSU Veterinary Teaching Hospital, Antoine Photographe/Adobe Stock,
CSU Veterinary Teaching Hospital
아랫줄: CSU Veterinary Teaching Hospital, VetCT, Åste Søvik

ICRP Publication 153

수의진료에서 방사선방호

Radiological Protection in Veterinary Practice

편집인

C.H. CLEMENT

부편집인

T. YASUMUNE

H. FUJITA

ICRP를 위한 저자

N. Martinez, L. Van Bladel, Å. Søvik, L. Balogh, J. Benoit,
A. Davila, S. Dorling, J. Gambino, M. Natsuhori,
R.J. Pentreath, K. Peremans, E. Randall, C. Roy, I. Tanaka

국제방사선방호위원회

이 ICRP 간행물의 우리말 번역본은
ICRP의 허락(2023년 8월)을 받았으며
ICRP 정신에 따라 무료로 배포합니다.

역사서문

예부터 가축은 사역, 식품, 소재를 제공하는 중요한 자산이었다. 그러나 기록이 없을 뿐, 가축 질환을 다스리는 방법에 대한 고민은 가축의 역사와 궤를 같이했을 것이다. 2000년 전 중국 주나라 기록에 의료관리 한 편제로 수의가 있었음을 보인다. 고려 문종 30년(1076년)에는 수의박사를 두어 수의학 교육을 맡겼다. 16세기 조선 중종 시대에 평안도에 유행한 소 역병 대응을 위해 여러 수의문헌을 참조하여 지침서 ‘우마양저 염역병 치료방牛馬羊猪染疫病治療方’을 발간, 배포했다. 요즘의 가축 전염병 재난대응 매뉴얼에 해당한다.

구한말부터 서양식 수의학 교육이 보급되었다. 일제강점기에는 수원농림고등학교 수의축산학과(수원농대를 거쳐 현 서울대학교 수의과대학 전신)를 통해 수의 인력이 배출되었다. 광복 이후 연차적으로 주요 국립대학마다 수의학과를 설치했으며, 사립대학으로는 건국대학교가 1968년에 설치했다. 지금은 전국 10개 수의과대학에 연간 500여 명의 신입생이 입학하고 있다. 우리 수의사법은 1956년 개별법으로 제정된 이래 많은 개정을 거쳐 오늘에 이른다.

사회의 변화로 이제 동물이 가축으로서 기능뿐만 아니라 반려로서 역할이 빠르게 확대되고 있다. 2022년 말 기준 전국 5000여 동물병원 중 반려동물 병원이 3/4이다. 반려동물 질환은 가족 질환 못지않게 그 진료 품질에 관심이 높다. 자연히 사람 의료에서 ‘신의 선물’ 격인 방사선 기술이 동물진료에도 데칼코마니처럼 옮겨간다. 개원 동물병원의 50%는 적어도 진단X선 기기를 운영하고 있다. CT는 100대, C-암은 200대에 가깝다. 아직은 핵의학이나 치료방사선까지 적용하는 기관은 수 개 정도지만 머지않아 늘어날 것이다.

직무피폭이나 주변 일반인 피폭, 또는 환경 방사선을 관리하는 방사선방호의 일반론은 분야 구분 없이 공통이다. 이 간행물에서 핵심은 방사선방호체계의 범위를 ‘동물환자’ 방호까지 확장하는 것이다. 물론 동물에 대한 사람의 보호책임이나 관련된 윤리, 가치 기준이 아직 정립된 상태도 아니니 동물환자 보호를 논하기는 시기상조 느낌도 있다. 게다가 야생동물, 가축, 반려동물, 멸종위기 동물 등 동물의 지위도 다르다. 동물의 방사선량을 어떻게 정의할지, 동물종별로 방호기준을 어떻게 정량화할지도 아직 정립되지 않았다. 그렇더라도 지위가 특별한 반려동물이 늘어나고 다양해지는 상황에서, 동물환자의 ‘부당한’ 피폭은 도전을 맞을 추세이므로 합당한 관리를 위한 시스템을 만들어 가야 한

다. 이 간행물은 그 출발선에 해당한다.

우리나라 수의진료에서 방사선방호는 어떨까? 방사선방호를 겨냥 첫 법규인 방사선장해방어령(현재 원자력안전법령)이 제외한 방사선은 ‘인체 진단용 X선’ 뿐이었지만 원자력 안전규제 당국의 업무한계 때문에 수의 진단용 X선장치도 인체 진단용처럼 실제 규제관리 밖에 두었다. 수의 진단용 X선 안전관리를 제도화한 것은 2010년 수의사법 제17조의3을 신설한 때부터이다. 그 이전에도 핵의약품이나 치료용 방사선발생장치는 원자력안전법으로 규제해온 것은 사람 의료에서와 같다.

동물병원 진단X선 촬영은 수의사법시행령 제10조제1항에 따라 선임한 안전관리책임자 감독 아래 수행한다. 임상 촬영에는 방사선영상 기술은 물론 대상 동물의 해부학적 지식도 필요한데, 안전관리책임 자격자 중 이런 훈련을 받은 사람은 그나마 수의사밖에 없다. 수의사도 영상의학이 아닌 방사선방호에 관한 교육훈련이 충분해 보이지는 않는다. 사람 의료에서는 진단촬영을 심화 교육훈련을 받은 방사선사가 수행하는 것과 대비된다. 특히, 방사선빔의 방향이 변동하는 C-암의 안전한 운용을 위해서는 운영자의 방사선방호 훈련 수준을 높일 필요가 있다.

사람 의료에서 환자의 간병인/위안자가 불가피해 이해동의 아래서 받는 피폭은 의료피폭으로 간주해 일반인 선량한도를 적용하지 않는다. 특히 반려동물은 가족에 가까운 지위를 갖는 실정임을 고려하면, 불가피하게 동물환자의 주인이나 보호자가 수의학 방사선절차를 보조해야 할 정황이 인정된다. 그러나 현행 ‘동물 진단용 방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙’은 이런 특례를 인정하지 않고 있다. 이 간행물에서도 논의하듯이 주인/보호자의 참여가 오히려 방사선방호 관점에서 바람직할 수도 있으므로, 이해동의 아래 보조할 수 있는 길은 열어주는 것이 합리적일 것이다.

2023년 9월

역자 이재기

(대한방사선방어학회 방사선안전문화연구소장, 전 ICRP위원)

객원논설

수의진료에서 방사선방호를 위한 초석 깔기

초기의 방사선방호는 의료분야 방사선 이용에 주목했으나, 다양한 단계를 거쳐 ICRP가 개발한 기틀은 다른 범주 피폭이나 새로운 피폭상황을 포괄하도록 계속 진화해 왔다. 이제 서구에서는 대체로 의료가 사람의 추가 방사선피폭에 주된 선원이 되었고, 특히 사용 기술의 빠른 발전 때문에 의료에서 방호가 주요 관심사가 되어 있다. 놀랄 일은 거의 모든 의료방사선 기술이 점차 수의 분야에도 적용되고 있음이다. 디지털 투과검사 확대는 예상보다 늦은 느낌이지만, 전산화단층촬영 스캐너의 사용은 중고 의료기기가 많아 빨리 증가하고 있다. 중재방사선으로부터 비밀봉선원 치료를 포함하는 핵의학, 근접치료 및 원격치료까지 기술 전반이 수의진료에 적용되고 있다. 기기가 대체로 같으니 수의 분야 방사선피폭 주제가 사람 의료와 거의 차이가 없다고 속단하기 쉽다. 그러나 이는 여러 이유에서 잘못으로 보인다.

수의진료 맥락에서도 사람 방호는 분명히 ICRP의 현행 방사선방호체계에 포함되지만, 별도로 더 깊이 고려할 중요한 특성이 있다. 많은 현실적 고려 중 하나는 동물, 특히 체격이 큰 동물을 진료하는 물리적 여건이다. 이는 관련된 전문 의료진과 보조 요원은 물론 동물 주인이나 조련사를 포함하는 일반인에게 고유한 도전과 위협을 내포한다. 양전자방출단층촬영(PET)의 예처럼 동물에 적용하는 어떤 절차는 사람에 대한 의료절차에 비해 의료진에게 더 많은 선량을 초래할 수 있다. 또한, 비밀봉 방사성물질을 사용할 때는 절차에 개입하지 않은 사람도 뒤에 피폭하거나 오염될 수도 있다. 그러나 기본적 차이는 환자가 동물이라는 사실과, 그래서 특히 의사결정과 그 결정이 근거하는 지식기반과 관련해 다른 기준이 적용될 수 있는 점이다.

ICRP는 이미 책임사항을 사람 방호를 넘는 이슈까지 확대한 바 있지만(ICRP 2003, 2007a, 2008, 2014), 이는 환경 맥락에서 집단수준의 동물 방호에 관한 것이었다. 반면, 수의진료에서는 임상 맥락에서 동물 개체의 방호에 초점을 맞춘다. ICRP가 의료행위에 관한 지침은 필연적으로 다른 범주 피폭에 대한 지침과는 약간 달라야 함을 항상 천명해 왔음을 염두에 두면, 수의진료에서는 환자가 동물이라는 사실도 정당화와 최적화 원칙과 관련해 근본적 이슈를 제기한다. 나아가 이는 동물의 건강이나 복지와 관련된 도덕이나 윤리로까지 번질 수밖에 없다.

이 이슈는 전혀 새로운 것은 아니어서 과거에도 제기된 바 있지만, 구체적 조언까지 나아가지 않고 애매하고 일반적인 말로만 표현되었다. 수년 전에 이 이슈가 더 구체적으로 다시 제기되었는데(Pentreach 2016), 기특하게도 ICRP가 신속히

반응해 ICRP 책무 맥락에서 수의진료에서 동물환자 방호에 관한 주제를 다루는 작업반(TG 107)을 설치할 것을 선언했다(Clement 2018). ICRP 본위원회는 작업반에게 수년 내에 보고서를 제출하도록 요구했고, 그렇게 되었다.

결과 보고서(Pentreath 등 2020)는 다수의 과학적, 과학 외적 이슈에 주목했다. 여기에는 선량과 단위(동물과 식물에 대한 선량계측에 관한 현안 이슈)뿐만 아니라 수의진료에서 진단과 치료에 관련된 이슈를 포함하는데, 일부는 복잡해서 이들을 다루는 데 상당한 노력을 요구하는 것이다. 그러나 주된 조언은 구체적으로 환자 돌봄을 포함해 수의진료 전반을 먼저 고려해서, 사람에 대한 의료행위에서 방사선방호에 관한 모든 일반 이슈를 다룬 간행물 105(ICRP 2007b)와 병행하는 포괄적 문서를 작성하게 했다.

이제 작업반 110(TG 107 업무를 이어받음)이 보고서를 완료하여 제3분과와 제4분과 심의를 거쳐 본위원회에 제출했다. 이 보고서는 방사선방호 전문가, 수의진료진, 학생, 교육훈련 제공자 및 관심 있는 일반인까지 포함하여 광범한 독자를 겨냥 수의진료에서 방사선방호에 관한 이슈를 소개한다. 그래서 보고서는 방사선방호 전문가에게는 익숙한 많은 기초정보를 포함하지만, 동물 방호는 아직 논의하지 않았기 때문에 방호전문가에게도 새로운 정보를 담고 있어 불가피하게 약간 잡종 간행물이 되었다. 그래서 보고서는 수의진료에서 정당화와 최적화, 그리고 이에 관련된 현재의 윤리적 시각의 주제도 다룬다. 보고서는 주제의 모든 측면에 대해 장차 따를 더 자세한 지침을 위한 준비에 해당한다. 그러므로 보고서는 2007년 권고(ICRP 2007a)의 자국을 따르는 또 하나의 ‘기반문서’가 된다.

그러나 아직 할 일이 많다. 두 작업반이 당장 드러낸 한 분야는 국제적 수준에서 주제의 모든 측면에 관한 정보의 불충분이다. 수의진료에서 진단과 치료에 방사선 사용의 급성장, 더 많은 기기의 가용성, 그리고 소유 동물에게 최상의 돌봄과 치료를 바라는 대중의 요구 증가 관점에서, 이 보고서는 주제의 모든 측면에 걸친 해당 데이터의 편집에 높은 관심을 불러올 것이다.

끝으로 모든 동물, 특히 포유류의 방사선피폭과 그 영향을 총괄적으로 살피고 이러한 지식을 상이한 피폭상황에서 사람과 동물의 방호에 어떻게 활용할 것인지를 고려함이 분명히 의미가 있다. 동물의 경험에서만 발생하고 사람 방사선방호 개선에 가치가 있는 데이터도 있지만, 그런 데이터는 건전한 수치 근거가 있는 기틀 안에서만 발생할 것이다. 상호 학습할 수 있는 경우도 많고 얻는 결합 데이터도 양쪽에 매우 유용할 것이다.

Jan Pantreath
ICRP 본위원회 명예위원

참고문헌

- Clement, C.H., 2018. Response to “Radiological protection and the exposure of animals as patients in veterinary medicine” by R.J. Pentreath. *J. Radiol. Prot.* 38, 1244.
- ICRP, 2003. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. *Ann. ICRP* 33(3).
- ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2-4).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. *Ann. ICRP* 37(6).
- ICRP, 2008. Environmental protection - the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. *Ann. ICRP* 38(4-6).
- ICRP, 2014. Protection of the environment under different exposure situations. ICRP Publication 124. *Ann. ICRP* 43(1).
- Pentreath, R.J., 2016. Radiological protection and the exposure of animals as patients in veterinary medicine. *J. Radiol. Prot.* 36, N42-N45.
- Pentreath, R.J., Applegate, K.E., Higley, K.A., et al., 2020. Radiological protection of the patient in veterinary medicine and the role of ICRP. *Ann. ICRP* 49(Suppl. 1), 169-181.
- Clement, C., Rühm, W., Harrison, J., et al., 2021. Keeping the ICRP recommendations fit for purpose. *J. Radiol. Prot.* 41, 1390.

목 차

역자서문	iii
객원논설	v
사용 두자어	xi
요지	1
요점	3
제1장 왜 이 간행물인가?	5
제2장 서론	7
2.1. 목적	7
2.2. 범위와 맥락	7
2.3. 배경과 동기	9
제3장 방사선방호의 기본 개념	15
3.1. 선량계측량	15
3.2. 방사선방호를 위한 생물학적 근거의 요약	17
3.3. ICRP의 방사선방호 기틀	22
3.4. 잠재적 피폭경로와 수의진료진과 보조인력을 위한 실용적 방호전략	27
제4장 윤리와 가치	33
4.1. 방사선방호체계의 윤리	33
4.2. 방사선방호와 수의 윤리	34

제5장	수의진료의 특수성	39
제6장	방사선방호체계의 수의진료 적용	43
6.1.	수의진료에서 방사선절차의 정당화	43
6.2.	수의진료에서 방호최적화	49
6.3.	선량한도 적용	61
6.4.	방사선방호의 품질 측면과 관리책임	62
제7장	권고와 고려의 요약	65
참고문헌		69
부록 A.	역할과 책임	87
부록 B.	동물 및 환경 방호와 관련된 윤리 이슈	91
B.1.	동물 및 환경과 우리의 관계	91
B.2.	방사선방호와 환경윤리	92
B.3.	수의진료에서 윤리 이슈	93
B.4.	참고문헌	95
사사		97

사용 두자어 및 두자성어

ALARA	as low as reasonably achievable	합리적으로 낮게
BEIR	Biological Effectiveness of Ionizing Radiation	미국과학원 방사선영향위원회
Bq	Becquerel	베크렐
BVA	British Veterinary Association	영국수의사협회
CT	computed tomography	전산화단층촬영
DCRL	derived consideration reference level	유도고려참조준위
DRL	diagnostic reference level	진단참조준위
FAO	Food and Agriculture Organization	세계식량농업기구
Gy	gray	그레이
HERCA	Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities	유럽방사선 방호당국자회의
IAEA	International Atomic Energy Agency	국제원자력기구
ICRP	International Commission on Radiological Protection	국제방사선방호위원회
ILO	International Labor Organization	세계노동기구
IMRT	intensity modulated radiation therapy	강도조절방사선치료
LNT	linear non-threshold (model)	문턱 없는 선형(모델)
MRI	magnetic resonance imaging	자기공명촬영
PET	positron emission tomography	양전자방출단층촬영
PPE	personal protective equipment	개인방호장구
RAP	reference animals and plants	참조동식물
RBE	relative biological effectiveness	생물학적효과비
Sv	sievert	시버트
UNSCEAR	UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation	유엔 방사선영향 과학위원회
WHO	World Health Organization	세계보건기구
WVA	World Veterinary Association	세계수의협회

수의진료에서 방사선방호

ICRP 간행물 153

2022년 9월 ICRP 승인

요지 - 수의과 질병의 진단, 관리 및 치료에 방사선 사용이 확장되고 다변화되고 있어 그 방사선방호 우려도 같다. 수의 절차에 관련된 사람과 보조하는 일반인(예: 주인이나 조련사)의 방사선피폭은 본래 방사선방호체계에 포함돼왔다. 수의진료는 그 행위에 수반되는 현시대 복잡성이 목적에 맞춘 고려를 요구하므로, 이제 명시적으로 다뤄야 하고, 이 분야에 방사선방호 원칙 적용을 명료하게 하고 강화할 필요도 있다. ICRP는 수의진료에서 일차적으로는 사람 방호를 위해, 그러나 피폭 동물의 방호에도 명시적 주의와 함께 방사선방호체계를 적용할 것을 권고한다. 나아가 수의진료에서 핵의약품 사용에 의한 잠재적 환경오염 위험도 고려가 필요하다. 이 간행물은 일차적으로 수의진료에서 정당화와 최적화에 초점을 맞추고, 장래 권고가 따를 구체적 지침을 위해 준비한다. 보고서는 방사선방호 전문가, 수의진료진, 학생, 교육훈련 제공자 및 일반인에게 수의진료에서 방사선방호에 대해 소개하려는 것이다.

중심어: 수의진료, 동물환자, 정당화, 최적화, 윤리

요점

- 이 간행물의 목적은 광범한 독자에게 수의진료¹⁾veterinary practice에서 방사선방호와 관련된 해당 소견, 고려사항 및 일반권고를 제공하려는 것이다.
- 구성이 다른 관련되는 사람과 일반인 및 동물을 다룰 때 필요한 운영환경이 수의진료에 고유한 방사선방호 도전을 불러온다.
- 수의진료에서 방사선방호 우선순위는 관련되는 사람에 두지만, 동물의 피폭 역시 명시적 돌봄의 목적이 되는데, 사람과 마찬가지로 동물도 방사선피폭으로 조직반응이나 확률론적 영향을 겪기 때문이다.
- 수의진료에서, 방사선방호체계의 핵심윤리 가치와 절차윤리 가치를 상세히 설명하고, 동물복지, 지속가능한 개발, 단결, 생명존중, 책무, 자율 존중, 공감을 포함하는 이들 가치에 대한 추가적 해석에 대해 논의한다.
- 방사선의 수의진료 적용과 수반되는 방호 도전은 대체로 사람에 대한 의료 적용 상황에 준하므로 3 단계 정당화, 피폭 가능성과 크기 및 피폭자 수가 경제 사회적, 환경적 인자를 고려해 주어진 여건에서 합리적이고 적절함을 보장하기 위한 절차로서 최적화처럼 비슷한 접근의 도움을 받을 수 있다.

1) <역주> veterinary practice: 문맥에 따라 약간 다른 의미로도 사용된다. 현행 수의사법에는 규제성격의 '동물진료업', '수의업무' 등이 사용되는데 일반적으로는 '수의행위'나 '수의진료'라 표현할 수도 있다. 여기서는 일반적이지만 구체적 행위를 의미할 때는 '수의진료'로 적었다.

제1장

왜 이 간행물인가?

(1) 수의진료에서 방사선방호에 관한 이 간행물이 왜 필요한가? 동물의 부상이나 질환의 진단에 현대 의료영상 기술은 중추적 역할을 하며, 고품질 수의 돌봄 제공에서 필수 도구가 되었다. 특정 목적을 위한 동물의 적합성에 대해 주인, 육종자 또는 잠재적 구매자에게 가능한 최선의 조언을 제공하는 데도 마찬가지이다. 치료 쪽에서도 이제 핵의학학을 포함해 여러 방사선치료 방식이 가용하고 늘어나서, 동물에 대해 주인이 원하는 품질의 돌봄을 제공할 수 있을 것이다.

(2) 영상의학의 디지털화, 사람 의료에서 다수의 중고기기 가용, 수의 전용기기 생산과 같은 인자는 방사선절차를 더 널리 파급시켰다. 대중의 요구 압력이 높아져 방사선절차 빈도는 근년에 크게 늘었다.

(3) 이러한 진화는 수의진료 서비스 측면에서는 좋은 일이지만, 수의사는 수반되는 방사선위험에 유의할 필요가 있다. 촬영의 디지털화는 평균적 절차 수만 증가시키는 것이 아니라 절차당 촬영 수까지 증가시켜, 진료받는 동물뿐만 아니라 절차를 수행하는 사람의 절차당 선량도 증가시키는 결과를 내고 있다. 전산화단층촬영(CT), 핵의학 진단절차, 또는 형광투시 안내 중재방사선이 주는 선량은 일반 투과 촬영 절차에 비해 훨씬 많음에 수의사는 유의해야 한다(NCRP 2009).

(4) 이러한 변화로 인해 수의진료에서 방사선위험이 높아졌고, 이로써 진료받는 동물뿐만 아니라 절차를 수행하거나 돕는 사람(수의진료진²⁾이나 주인과 같은)에게 영향을 미칠 수 있다. 핵의학처럼 방사성물질을 다룰 때는 절차에 관여하지 않은 사람이나 환경까지도 피폭하거나 방사능에 오염될 수 있는데, 핵의학 절차 후 그 동물이 내는 폐기물(소변, 대변)을 부적절하게 관리한 결과가 그 예이다.

(5) 이 간행물의 목적이 수의진료에서 수의사나 동물 주인에게 방사선의 유익한 이용을 억제하려는 것은 전혀 아니다. 수의진료에서 방사선기술의 이익은 기대 이상

2) <역주> veterinary staff. 사람 의료 분야에서는 ‘의료진’으로 표현하지만 ‘수의진’으로 적기는 의미 전달이 애매하여 이 번역본에서는 구체적으로 ‘수의진료진’을 사용한다.

이다. 이 기술은 최선의 동물 돌봄을 제공할 수 있게 하며 주인, 육종자 또는 구매자에게 공고한 조언을 제공할 것을 요구한다. ICRP는 수의진료 절차가 이런 관점에서 안전하게 수행되도록 수의학 임상에 방사선방호 고려를 포함하도록 권고한다.

(6) 방사선방호 수단의 이행은 지나치게 복잡하거나 어려워서는 안 된다. 일부 용어는 처음에는 생소하겠지만, 그러한 방법은 작업장이나 환자 안전을 위한 다른 접근에서와 일관된다. 방사선방호 접근은 다른 측면에서 양질의 일상 수의진료 서비스에서 우리가 기대하는 것과 다를 바 없다. 예를 들어 방사선방호의 첫째 원칙인 '정당화'는 바꿔 말하면 히포크라테스 선서의 '무엇보다 해치지 마라 Primum non nocere'이다. 이는 당면 맥락에서 적합한 방사선절차만 수행하고 과잉절차는 하지 마라고 말한다. 둘째 원칙인 '최적화'는 동물 자체 및 관련된 사람의 방사선량을 합리적으로 최소화하는 방법으로서, 방호안전을 최적화하면서(약품 투여량을 동물 체중에 맞추는 것처럼) 진료 목적을 충족함이 목적이라 말한다. 예를 들어 표준 영상수의학에서 동물의 노출 부위를 정확히 임상적 관심 부위로 한정하는 것이 낮은 선량으로 좋은 영상 품질을 이끈다. 중재방사선 절차에서는 방사선빔을 관심 부위로 제한함과 함께 펄스 모드 형광투시를 숙달되게 사용하는 것이 커다란 차이를 낸다.

(7) 그러나 불행히도 복잡한 기술과 새로운 기기 때문에 바르고 안전하게 일하는 것이 항상 단순한 것만은 아니다. 그러한 적용, 특히 치료 적용에서 추가/계속 교육훈련 노력이 필요함은 의심할 여지 없다.

(8) 끝으로 방사선을 사용해 양질의 진료 서비스를 안전하고 변함없이 제공하는 것은 방사선방호 고려가 사업의 품질관리에 일체화될 것을 요구한다. 이는 소규모 1인 병원이든 대규모 동물병원이든 그러하다. 품질체계는 시설, 전용 방, 기기와 품질관리, 의료진 자격관리와 계속교육, 절차규정, 선량지시자³⁾dose indicator를 포함하는 기록, 사건/사고 관리 등을 감독해야 한다.

3) <역주> 사람이든 동물이든 방사선에 노출되는 대상의 선량을 직접 측정, 감시하는 것은 번거롭다. 대신 절차의 정상성을 확인하는 수단으로 환자 선량과 연계되는 물리량을 감시하는 방법이 종종 이용된다. 예를 들면 현대 X선촬영기는 환자 몸 표면 방사선 입사면에서 공기커마울이나 선량면적곱(DAP)을 추산하여 전시하는데 이러한 물리량을 '선량지시자'라 부른다. 방사성의약품을 투여하는 핵의학에서는 투여 방사능이 이에 해당한다.

제2장 서론

2.1. 목적

(9) 지난 수십 년 사이 수의진료가 상당히 변모했고 이에 따라 방사선 적용도 형식이나 다양성이 증가했다(McEntee 2004, Farrelly와 McEntee 2014, Pentreath 2020). 구체적으로 말하면, 방사선 적용이 크게 다양화되어 이제 중재방사선, CT 촬영, 비밀봉선원 치료를 포함한 핵의학 적용, 방식 결합 촬영⁴⁾, 근접/원격 치료 등으로 구성되며(Johnson 2013, LaRue와 Custis 2014, Kent 등 2018, Scansen과 Drees 2020), 치료하는 동물도 고양이, 개, 말을 넘어 다양해졌다(예: Adkesson과 Ivančić 2019, Schilliger 등 2020). 역사적으로 수의진료에서 방사선 이용과 방호는 다른 분야와 같은 수준의 관심을 받지 못했다. 그러나 위에서 말한 기술 발전과 그러한 기술의 가용성 확대로 인해 수의진료에서 방사선방호 도전을 온전히 다룰 필요가 생겼고, ICRP 기틀을 적용해 이 도전을 관리하는 방법을 설명할 필요도 생겼다. 이 간행물은 바로 이를 위한 것이며, 수의진료에서 방사선방호 이슈를 소개한다. 간행물은 방사선방호 전문가, 수의진료진, 학생, 교육훈련 제공자, 관심 있는 일반인을 포함해 광범한 독자를 대상으로 한다.

2.2. 범위와 맥락

(10) 사람 의료분야에서 방사선방호는 많은 ICRP 간행물의 주제였는데 포괄적인 것(ICRP 2007b)도, 구체적 특성을 다룬 것(예: ICRP 2000,2013a,b,2014c, 2017a,2018b)도 있다. 이러한 간행물들이 수의진료에 적용될 구체적 지침이나 조언을 개발하는 데 영감을 주고, 방사선방호 고려에서 수의진료가 사람 의료와 많은 공통점이 있지만, 다른 점도 많음을 유념할 필요가 있다. 두 분야 모두에서 환자를

4) <역주> 예를 들면 양전자방출단층촬영(PET)과 전산화단층촬영(CT)를 결합한 PET/CT가 있다.

방호함은 물론 전문 종사자, 일반인 및 환경을 보호해야 한다. 그런데 수의진료에서는 환자가 동물이다.

(11) 수의진료에서 사람 방호는 동물을 다루는 사람 구성의 차이⁵⁾, 작업환경의 차이⁶⁾ 때문에 여러 도전을 불러온다. 개개 동물은 방사선방호체계 맥락에서 고려하지 않아 왔기 때문에⁷⁾ 수의진료에서 동물의 피폭도 특별한 이슈로 된다.

(12) ICRP 책무를 사람 방호를 넘어 환경 맥락에서 사람 아닌 생물종(즉, 동식물) 보호까지 포괄한 최종 확장 다음으로, ICRP는 이제 수의진료의 여러 측면에서 동물 방호에 대해 자세히 고려하고 이 이슈를 검토하도록 설치한 작업반의 보고서에 근거하여 ICRP 권고에 피폭 동물의 배려를 포함하는 것이 적합하고 시의적절하다고 결정했다(Pentreath 등 2020). 이 간행물로 제시하는 그 첫 단계는 동물 방호가 어떻게 기존의 방사선방호 기틀에 수용될 것인지를 고려하는 것이다.

(13) ICRP는 모든 의료행위와 관련한 지침은 다른 범주 방사선피폭에 대한 지침과는 불가피하게 약간 달라야 한다고 항상 인정해왔다. 그래서 예를 들면 사람 환자는 선량한도 적용 원칙을 면제하는데, 이는 일반적 선량한도가 진료 효력을 줄일 수 있어 이로움보다 해로움이 클 수 있기 때문이다. 그러므로 처음부터 절차의 정당화, 선원과 관련해 방호최적화, 그리고 진단절차에서는 진단참조준위⁸⁾diagnostic reference level(DRL) 적용을 강조한다. 사람 환자의 방사선방호에서 정당화 원칙조차도 다른 피폭상황과는 상당히 다른데, 의료에서는 특수하게 이득과 위험 모두가 동일인(즉, 환자)에게 관련된다(의료진 피폭과 같은 다른 측면도 있지만). 또한, 일

5) <역주> 동물 주인이나 조련사, 농장 근로자와 같은 주변 당사자가 있고 수의진료 종사자는 사람 의료 종사자처럼 방사선방호에 충분한 교육훈련을 받지 않은 경우가 흔하다.

6) <역주> 수의진료는 정형화된 병원 시설이 아닌 농장이나 마구간 현장에서 이루어지는 경우도 많다.

7) <역주> 기존의 방사선방호체계는 처음에는 사람의 방호에만 집중했고, 1990년대에 와서 사람 아닌 생물종 보호를 추가했지만 이는 환경보호 관점에서 종의 보전, 서식지 보호와 같은 포괄적인 관점이다. 식용으로 가축을 도축하고 야생동물을 사냥하는 사람이 진료받는 동물이 X선을 얼마나 피폭하는가에는 크게 관심을 두지 않았다. 그러나 동물의 권리 인식이 높아지고 반려동물 환자의 고통에 공감이 커지면서 진료받는 개개 동물환자의 방사선 안전에 대한 우려도 증가했다.

8) <역주> 진단참조준위(DRL)는 법규에 의한 제한치가 아니라 방사선방호 관점에서 바람직한 수준으로 방사선 진단이 이루어지도록 주어진 목적의 진단절차에 대해 보편적 수준선량지시자 값(현장에서 관측되는 선량지시자 분포의 75백분위 수준)을 제시하고 특별한 사유가 없다면 그 이하로 유지함을 목표로 최적화하도록 유도하는 지표이다. 선량지시자는 사람이나 동물의 실제 선량이 아니라 그와 연관되는 측정 용이한 양(예: 환자 신체표면 입사 공기커마 등)을 사용한다. 핵의학에서는 환자 단위 체중당 투여 방사능 양으로 제시한다.

반적으로 정당화된 것으로 간주할 수 있는 구체적 방법이나 절차도 이를 특정 환자에게 적용하는 것이 저절로 온전히 정당화됨을 반드시 의미하지는 않는다(ICRP 2007b).

(14) 수의진료의 경우 정당화나 최적화와 관련하여 본질적 이슈가 제기되는데, 이는 불가피하게 피폭 동물의 건강이나 복지와 관련된 도덕과 윤리로 파급된다. 그래서 이 간행물은 수의진료에서 윤리, 정당화 및 최적화라는 주제를 상당히 길게 다루는데 이는 장차 따라올 더 상세한 지침을 위한 준비이다.

2.3. 배경과 동기

(15) 린트겐의 X선 발견 후, 동물 건강관리에 방사선학의 잠재적 이득을 처음으로 인식한 사람들은 수의사다(Beamer 1939, Schnelle 1968, Kealy 2002). 1896년 1월에 죽은 동물[물고기, 개구리, 뱀, 도마뱀, 토끼, 카멜레온(그림2.1 좌측)과 쥐(그림2.1 우측)] 투과사진이 게재되었고, 같은 해 3월에는 말의 발 수의과 첫 투과사진도 게재되었다(Eder와 Valenta 1896, Johnson 2013). 제1차 세계대전까지 군 의무대에서 진단 투과촬영(또는 린트겐학)이 널리 이용되었으며, 수의학도 포함된다(그림2.2).

(16) 1930년대에 소동물 절차의 증가를 시작으로 수십 년은 평판 필름 투과촬영(그림2.3 참조)이 유일한 방사선의 수의학 적용이었다. 절차 수는 제한적이었고 몇몇 간단한 규칙만 지켜도 인근 사람의 선량은 낮거나 사소했다(Wantz와 Frick

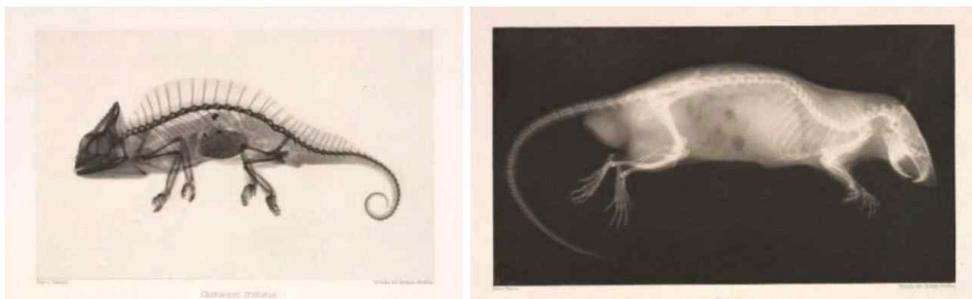


그림2.1. 뱀 있는 카멜레온(좌) 및 쥐(우)의 투과사진. 자료원: Eder J.M., Valenta E., 1896. Versuche über Photographie mittelst der Rontgen'schen Strahlen. R. Lechner, Wien.

가용처: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/660046> (2022.8.15 들어감).

1937). 수의진료에서 방사선방호의 중요성을 강조하는 지침 등을 제시하는 몇몇 해당 간행물이 있었지만(NCRP 1970, NHMRC 1982,1984, NEB 1989), 방사선의 수의진료 사용은 수의사나 방사선방호 전문가에게 우선순위가 높지 않았다(Wood 등 1974). 심지어 약 15년 전까지도 영상수의학⁹⁾의 확산은 빠르지 않을 것으로 인식했다(NCRP 2004). 그러나 그 이후 방사선을 사용하는 수의진료 절차가 대폭 증가하여 어디나 가용한 것은 아니지만 이제 사람 건강관리에서처럼 확장되고 있다 (Johnson 2013, LaRue와 Custis 2014).

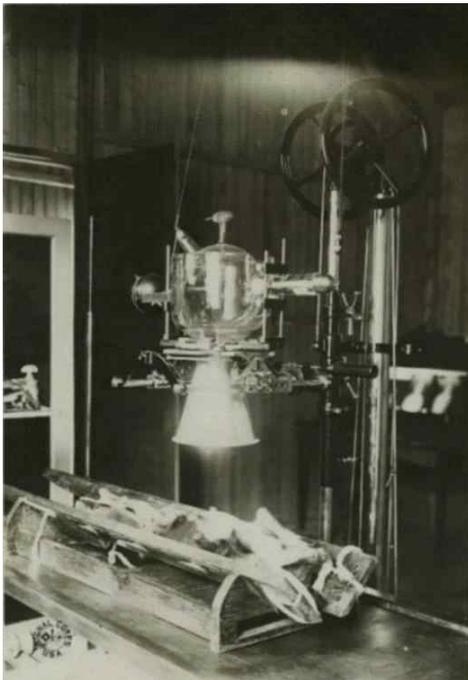


그림2.2. 1918년 9월 6일 프랑스 Dijon 중양외학과 실험실에서 강의를 위해 개를 촬영하는 모습. 자료: OHA 80: Reeve Photograph Collection. National Museum of Health and Medicine, Silver Spring, MD, USA.

(17) 영상수의학이 유행하는 여러 이유가 있는데, 디지털화와 CT 스캐너, 콘빔 CT 스캐너와 같은 정교한 기술의 폭넓은 가용성 등이다(McEvoy 2015). 영상을 촬영, 처리하고 전자적으로 저장, 공유할 수 있게 하는 디지털화는 전통적 필름-스크린 영상의학에 비해 방사선촬영을 훨씬 편리하게 만들었다. 디지털 검출기는 영상을 즉시 볼 수 있게 하고 여러 노출변수에 따라 영상을 해석할 수 있게 한다. 이러한 특성이 재촬영 수요를 감소시키지만, 디지털 촬영 과정의 편의성은 종종 연구당 평균 노출 수를 증가시키는 쪽으로 이끈다.¹⁰⁾ 동시에, 노출변수를 해석 가능한 영상

9) <역주> veterinary radiology. 사람 의료에서 ‘영상의학’으로 적는 것과 대응하여 ‘영상 수의학’으로 적는다. 아직 국내에는 수의사의 전문의 제도가 자리를 잡지는 않았다.

10) <역주> 필름 카메라 시대에는 몇 장 찍을 일을 전화기 카메라로는 수십 장을 찍는 것과



그림2.3. 1936년의 수의학과 투과촬영 강의(좌) 및 1969년 개를 X선 촬영하는 학생(우). 모두 캔서스주립대. 자료: College of Veterinary Medicine, Kansas State University, Manhattan, KS, USA.

과 양립할 수 있는 상단으로 선택하는 경향(종종 ‘노출포복exposure creep’이라 부르름)도 있다¹¹⁾(Gibson과 Davison 2012). 이러한 두 경향은 동물과 모든 주변 사람에게 더 많은 선량을 준다. 중재방사선 절차도 현장에 들어왔으며, 진단과 치료 모두에 핵의학 적용도 그렇다. 끝으로 비록 지역별 가용성은 크게 차이가 나지만 세계 여러 센터에 근접치료와 외부빔 방사선치료도 가용해졌다.¹²⁾

(18) 이 보고서를 쓰는 시점 현재, 구체적 방사선학 서비스를 제공하는 수의시설¹³⁾을 설명하는 세계적으로 집중화된 데이터베이스가 없지만, 미국 영상수의학회 American College of Veterinary Radiology의 ‘전문가 찾기¹⁴⁾Find a Specialist’ 데이터베이스는 제공서비스 유형으로 CT($n = 412$), 형광투시($n = 243$), 중재방사선($n = 98$), 신티그래피($n = 140$), 방사성요드 치료($n = 101$), 영상의학($n = 486$)을 제시한다. 유럽 수의전문화위원회¹⁵⁾European Board of Veterinary Specialisation는 수의과 진단촬영 및 방사선종양학 전문인 308 명을 열거한다.¹⁶⁾

마찬가지다.

11) <역주> 과노출이 필름을 검게 태우는 전통적 필름-카세트 촬영과는 달리, 디지털 방사선촬영은 노출이 많을수록 영상품질이 개선되는 특징이 있다. 그 결과 의뢰 의사나 촬영 기사가 과노출에 익숙해지는 바람직하지 않은 경향을 의미한다.

12) <역주> 국내에도 가속기를 사용하는 외부빔 치료를 수행하는 동물병원이 몇 있다.

13) <역주> veterinary facility. 방사선절차가 이루어지는 장소를 의미하는데, 보통은 ‘동물병원’이겠지만 특성상 병원이 아닌 농장이나 마구간, 야외일 수도 있어 약간은 어색한 용어지만 ‘수의시설’로 적는다.

14) <https://acvr.org/find-a-specialist/>.

15) <https://ebvs.eu/specialists/find-a-specialist>.

16) <역주> 농림축산검역본부가 발간하는 연보에 따르면 2021년 말 기준 전국 4399개소 동

(19) 이와 같은 수의진료의 큰 변화에 따라 관련 방사선 위험도 확대되었다. 예를 들어 핵의학 절차를 적용하는 동물병원은 수반되는 외부피폭에 추가해 수의진료진, 주인, 조련사 및 환경의 방사능물질에 의한 오염 위험을 고려할 필요가 있다. 사람 의료에서 배운 교훈은 중재방사선 대상인 동물환자¹⁷⁾ 자신의 선량이 많듯(예: Wagner 2007, Balter와 Miller 2014, Arkans 등 2017) 그 수의진료진의 방사선 피폭도 상당할 수 있으므로 밀접 감시해야 함을 알려준다(Klein 등 2009, Duran 등 2013, Ko 등 2018). 여기서 ‘동물환자’란 수의학 돌봄이나 평가를 받는 동물을 말한다. 몇몇 절차와 관련해 동물환자와 관련한 독특한 이슈가 높은 직무피폭을 줄 수 있다. 예를 들어 수의과 PET¹⁸⁾ 절차는 수의진료진에게 사람 환자의 PET 절차보다 더 높은 선량을 종종 보인다. 이 선량 증가는 동물 마취에 수반되는 추가 관리 수요와 관련된다. 마취는 동물환자를 다루고 정위시키는 일을 쉽게 하고 움직임 인공물을 줄이기 위해 많은 방사선절차에서 필요하다(Martinez 등 2012).

(20) 동물에 대해 행하는 절차 수 증가나 다양성에는 사회변화도 한 역할을 한다. 많은 반려동물이 그 주인에게는 ‘가족의 일부’로 생각되고(Walsh 2009, Shir-Vertesh 2012, Bouma 등 2021),¹⁹⁾ 그래서 가용한 최고 돌봄을 받게 된다. 가족, 멸종위기종, 신종 및 스포츠 동물에서 그러하고, 동물 가격이 동물복지에 주인의 관심을 촉진할 때도 마찬가지다. 점점 많은 주인이 자신의 동물이 특정 건강 보험을 누리도록 하고 있으며(이때 보험 가입 가능성 점검을 위해 방사선 검사를 요구할 것임),²⁰⁾ 재정장벽을 제거해 더 비싼 진료 선택에 돈을 쓰려 한다(Kipperman 등 2017). 나아가 이제 육종이나 스포츠 진료의 적합성과 같은 다양한 적합성 점검에서 동물 촬영은 탁월한 위치에 있다. 이러한 절차는 기본적으로 피폭 동물의 이익을 위해 수행되는 것이 아니고 노출 수가 많고 참여하는 수의진료진이나 기타 보조자 수는 제한된다는 사실 관점에서 방사선방호 도전이 될 수

물병원 중 3384개소는 적어도 진단X선을 사용하고 있다. 그러나 아직 국내에는 수의사의 방사선 전공제도가 정립되어 있지 않다.

17) <역주> animal patient. 사람 ‘환자’에 대응하는 용어로 ‘환축’이 사용되기도 하나 환축 또는 병축은 ‘병든 가족’ 느낌으로 주로 전염병에 걸린 금수를 의미해 동물병원으로 오는 동물 특히, 반려동물과는 어울리지 않는다. 이 번역본에서는 중립적인 ‘동물환자’로 적는다. ‘의사환축’처럼 특정 의미로 용어화된 경우에는 식별에 도움이 되므로 사용해도 좋다.

18) <역주> positron emission tomography. 양전자방출 단층촬영. ¹⁸F, ¹¹C 등 양전자를 방출하는 방사성핵종을 표지한 핵의약품을 투여해 암 진단이나 생리학을 연구하는 기술. 다른 기법 대비 해상도가 우수하다.

19) <역주> 2020년 오픈서베이 조사결과 우리나라에서 반려동물 주인의 85.6%가 ‘반려동물은 가족의 일부’라고 답했다.

20) <역주> 국내 여러 보험사도 반려동물 건강보험 상품을 내놓고 있으나 아직은 중요한 진료비는 제외하는 경향이어서 인기는 낮다.

있다.

(21) 수의진료에서 이러한 변화가 방사선방호에 미치는 영향과 도전이 드러나지 않을 수 없는데, 그래서 일부 당국이나 기관이 지침을 만들기도 했다. 예를 들면, 미국 방사선방호측정위원회(NCRP)는 해당 1970년 보고서를 2004년에 개정했는데, 수의진료에서 방사선방호의 목표를 다음처럼 요약했다(NCRP 2004).

수의학에서 방사선을 사용하는 이유는 방사선 종사자와 일반인이 방사선량을 합리적 최소로 유지하면서(ALARA 원칙) 최적 진단정보를 얻거나 특정 치료 효과를 달성하는 것이다. 비슷하게 동물환자의 모든 불필요한 노출을 회피하는 것도 중요하다.

(22) 아일랜드 방사선방호연구소(RPII)와 호주 방사선방호원자력안전청(ARPANSA)은 각각 2002년에 ‘수의학에서 방사선방호를 위한 이행지침’(RPII 2002)과 2009년에 ‘수의학에서 방사선방호를 위한 이행지침과 안전지침’(ARPANSA 2009)을 발행했다. 이후에 국제원자력기구(IAEA)가 수의학에서 방사선방호와 관련된 안전지침을 마련했으며(IAEA 2021), 유럽 방사선방호 규제기관의 자발적 조직인 유럽방사선방호당국자회의(HERCA²¹⁾) 내 전담 작업그룹도 다양한 활동을 벌였다(HERCA 2012,2017). 영국 수의협회²²⁾도 수의진료에서 방사선 안전 사용에 관한 실용지침을 발간했다(BVA 2002,2019).

(23) 이제 ICRP는 수의진료의 복잡성이 방사선방호체계에서 특화된 명확화를 요구함을 인식하여, 이 분야에 방호원칙의 적용을 강화할 필요가 있다고 결정했다(Matinez와 Van Bladel 2020). 위에서 언급했듯이 이 간행물의 목적은 직접적이고 행위기반 조언을 제공하는 것이 아니라 해당 권고와 고려의 초기 세트 하나를 제공하는 것이다. 비록 수의진료로부터 동물환자의 방호와 환경보호도 명시적으로 고려하지만, 수의진료에서도 방사선방호 우선순위는 절차에 참여하거나 영향을 받는 사람의 방호이다.²³⁾

21) Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities.

22) British Veterinary Association(BVA).

23) <역주> 이 간행물에서도 밝히고 있듯이 수의진료에서도 종사자, 일반인, 환경에 대한 방사선방호는 다른 행위에서와 마찬가지로 기존의 ICRP 방호체계가 그대로 적용된다. 그러니까 이 간행물은 새로운 측면인 동물 개체를 위한 방호 문제에 집중하는 쪽이 핵심을 제대로 다루는 방식이었을 것이다. 다만, 사람 의료의 많은 방사선절차에 관한 ICRP의 다른 간행물에서도 그러하듯, 의료분야 방사선방호가 중요하지만 관련된 주체가 방사선 방호에 전문적이지 않다는 이유로 간행물의 내용이 기초부터 해당 방사선절차의 구체적 내용도 포함한다. 그래서 이 간행물도 외부피폭 방호의 3원칙(거리, 시간, 차폐) 같은 기초를 논의하는 한편으로는 동물 개체 보호 문제와 관련된, 복잡하고 형이상학적인 윤리와 가치까지 논의하는 ‘잡탕’이 되었다. ICRP는 방호체계 구성과 그 논거를 강건하게 하

는 기본에 집중하고, IAEA와 같은 국제기구나 전문가단체가 구체적 이행을 이끌도록 책임사항을 조율할 필요가 있어 보인다.

제3장

방사선방호의 기본 개념

3.1. 선량계측량

(24) 방사선방호체계에 사용하는 양과 단위는 2007년 기본권고(ICRP 2007a)의 부록 B와 ICRP 온라인 용어집²⁴⁾에서 다룬 것으로 한다. 그러나 이들 양과 단위 대부분은 방사선을 피폭하는 사람의 방호에 배타적으로 적용하기 위하여 개발되었음은 적시할 필요가 있다.

(25) ‘흡수선량absorbed dose’은 단위 질량당 방사선에 의해 부여된 에너지로서, 단위는 J/kg인데 이를 그레이(Gy)라 부른다. 흡수선량은 측정가능하고 방사선 영향 특히, 조직반응 영향을 수반하는 영향과 연계될 수 있어 방사선방호에 사용하는 기본적 물리량이다.²⁵⁾ 흡수선량은 사람에서 조직반응(즉, 결정론적 영향, 소절3.2.1 참조)을 예방하기 위한 조직/장기 선량에 한도를 설정하는 데 사용하기 적합한 양이다.²⁶⁾ 현재로서 동물 선량을 표현하는 데 유일하게 적절한 선량계측량이다(ICRP 2014a,2021a).

(26) ‘등가선량equivalent dose’은 종류가 다른 방사선(예: 알파입자, 베타입자, 감마선)의 생물학적 효력을 고려하여 흡수선량으로부터 유도되며, 사람의 특정 장기나 조직에 일반적으로 적용된다. ICRP가 새 일반권고²⁷⁾가 발간될 시점에는 사람의 조

24) http://icrpaedia.org/ICRP_Glossary.

25) <역주> 흡수선량은 모든 종류의 방사선, 모든 종류의 피폭 물질(물, 공기, 금속, 사람이나 피폭동물 조직 포함)에 대해 적용되는 일반적 선량 개념이다.

26) <역주> 그러나 방사선의 종류와 에너지에 따라 생물학적 작용력에 상당한 차이가 있으므로 혼합된 방사선을 피폭한 경우 흡수선량만으로 조직반응을 바르게 추정할 수 없다. 필요하면 관련된 생물학적효과비(RBE)를 가중한 흡수선량을 활용해야 할 수도 있다. 제 28항 참조.

27) <역주> 일반권고는 ICRP 권고가 가장 기본적 권고이다. 현행 일반권고는 2007년에 발행된 ICRP 103(2007a)이다. 현재 ICRP는 이를 갱신하기 위한 작업에 착수했으나 새 일반권고가 언제 발행될지는 명확하지 않다. 아마도 2027년 또는 그 이후가 될 것으로 예상된다.

직/장기 선량의 한도 설정에 등가선량 대신 흡수선량으로 변경할 것을 예정하고 있음은 유의할 일이다(ICRP 2021a). 그러면 등가선량은 ‘유효선량effective dose’을 산출하는 중간 단계로만 사용될 것이다. ‘유효선량’은 확률론적 영향의 유발과 관련하여 조직의 방사선감수성 차이를 반영하도록 추가로 가중한 양²⁸⁾이며 사람 전신에 적용한다(ICRP 2021a). 유효선량은 낮거나 보통 수준 선량으로부터 사람의 방호를 관리할 목적으로 외부피폭과 내부피폭, 모든 종류 방사선으로부터 받은 선량을 통합할 수 있게 하는 위험조정risk-adjusted 양이다. 유효선량은 종사자나 일반의 방호최적화에 특별히 유용하다. 유효선량은 생애 암위험이 피폭연령, 성별 및 인구집단에 따라 달라짐을 인지하면서 사람 집단의 위험에 대한 근사적 지표로 활용할 수 있다(Harrison 등 2016, ICRP 2021a). 등가선량과 유효선량은 SI 단위로 흡수선량과 같은 J/kg을 가지나, 특별명칭 ‘시버트’(Sv)를 사용해 구분한다. 이들 양은 사람에게 고유한 방법론과 모델을 사용하여 개발되었음은 중요하다.²⁹⁾

(27) ‘방사능activity’은 주어진 방사능물질의 양을 나타내며, 전형적으로 매초 핵변환(또는 붕괴) 수로 표현되며, 표준단위는 s^{-1} 인데 그 특별명칭 ‘베크렐’(Bq)을 단위처럼 사용한다. ‘선량계수dose coefficient’는 단위 섭취 방사능 또는 입자 플루엔스나 환경방사능 농도(ICRP 2009a, 2012a, 2020a)와 같은 다른 노출(잠재) 측정량당 선량(또는 선량률)을 나타내는 양을 지칭하는 일반 용어이다(ICRP 2017b).

(28) 조직반응과 확률론적 영향 모두에 대한 동물의 방사선 감수성이 종별로 다른 것으로 알려지기에(예: von Zallinger와 Tempel 1998, ICRP 2014a, Adam-Guillermine 등 2018), 현행 방사선가중치와 조직가중치(그래서 등가선량이나 유효선량도)는 방사선절차를 거치는 동물에게 발생할 방사선 유발 위험을 추산하는 데 사용할 수 없다.³⁰⁾ 그래서 어떤 동물에 대한 방사선량은 흡수선량으로 표현할 수밖에 없음을 강조한다. 그러나 근래에 환경 맥락에서 사람 아닌 생물종에 대한 특정 종류 방사선의 보고된 생물학적효과비(RBE)에 근거하여 흡수선량을 가중하도록 권고가 발행되었다(ICRP 2021b). 노출에서 선량, 선량에서 생물영향을 연계하는 데 사용한 ICRP의 12 참조동식물(RAPs)은 분류학 수준 과(科, family)로 기술하고 있음에 유의하라. RAP의 아ห은 동물로서 그 둘은 대형/소형 포유류인 사슴(*Cervidae*)과 쥐(*Muridae*)이다(ICRP 2008).³¹⁾ RAP은 환경 동식물을 광범하

28) <역주> ‘추가로 가중한 양’이란 설명보다는 ‘전신의 주요 조직/장기에 대해 산출한 위험 가중평균 등가선량’이 적합하다.

29) <역주> 즉, 동물의 선량에는 사용할 수 없는 양이다. 동물에게 적용할 수 있는 상응하는 개념의 선량은 개발되어 있지 않지만 아래 제28항 설명을 참조하라.

30) <역주> 사람도 동물의 일종이지만 종마다 방사선 영향에 차이가 있으므로 사람을 위해 개발된 등가선량이나 유효선량 개념을 다른 동물에는 적용할 수 없다는 의미이다.

게 대표하게 하려는 것이다. RAP에 대한 선량계수는 생물체가 노출되는 환경의 단위 방사능농도(Bq/kg)당 흡수선량률($\mu\text{Gy}/\text{day}$)로 도식화된다(ICRP 2017b). 이들 선량계수 개발에서 외부/내부 선원으로 연계하는 생물학적 영향 데이터가 비록 구체적으로 수의학 적용에 초점을 맞추지는 않았지만 광범한 해당 문헌으로부터 도출했기에(ICRP 2008), 이는 동물에서 방사선영향에 대한 정보의 유용한 기준선을 제공한다.

(29) 수의진료용 선량계수의 온전한 세트는 없지만, 이 분야에 일부 실험적 연구는 있다(예: Hall 2011). 나아가 해부학적 동물모델이 여럿 있는데 선량계측 모델링용으로 적합하다(Zaidi 2018). 모델에는 갯과가 적어도 다섯이 있고 포유류의 방사선 영향에 대한 데이터베이스도 많다(예: Zander 등 2019). 영상수의학에서 현재 가용한 선량계측 데이터에 관한 논의는 소절6.2.2에 있다.

3.2. 방사선방호를 위한 생물학적 근거의 요약

(30) 방사선이 유발하는 생물학적 악영향은 두 주된 범주로 나눌 수 있는데, 조직/장기 손상으로 이어지는 조직반응(‘결정론적 영향’으로도 부름)과 암 및 유전질환(‘확률론적 영향’으로도 부름)이다(ICRP 2020b). 사람과 동물에서 이러한 영향을 여기서 간략히 요약한다. 방사선방호를 위한 생물학적 근거는 2007년 기본권고(ICRP 2007a) 부록A와 기타 ICRP 간행물(예: ICRP 2003a, 2012b)에서 철저히 다룬 바 있다.

(31) 방사선의 유해 영향에 대한 현재의 지식은 일련의 정보원으로부터 개발되었는데 여기에는 동물에 대한 실험도 역할을 한다. 사람에게 대한 보건위험(발암이나 다른 질환)으로 외삽에 동물모델이 자주 이용되었다(Davison 등 1986, Khanna 등 2006, Fjeld 등 2007). 이런 이유로 비록 수의진료에 직결되지는 않고 지배적으로 고선량률, 고선량 자료이더라도 다양한 종류의 방사선에 노출된 동물의 영향에 대한 데이터는 상당히 많다. 많은 방사선생물학 연구가 쥐모델에 몰려 있지만 갯과처럼 수의학에서 관심이 큰 동물종도 연구되었다(예: ICRP 2008, UNSCEAR 2010, Haley 등 2011, Singh 등 2015, Tang 등 2017). 피폭 동물에서 관찰된 영향은 사람에게서 보는 것과 같은 성질이었으나 선량-영향 관계는 차이가 있었다(NRC

31) <역주> 현재 채택된 RAP은 육상 생물로 사슴, 쥐, 벌, 지렁이, 소나무, 잔디이며, 담수 생물로 오리, 송어, 개구리, 그리고 염수 생물로 넙치, 게, 미역이다(ICRP 2007a 참조).

1991). 임상적으로 유의한 선량을 피폭한 동물(반려동물, 가축 및 야생동물)은 사람에게서처럼 생물학적 악영향을 보였지만 그 정도는 다양했다(von Zallinger와 Tempel 1998, Fesenko 2019). 방사선 영향은 종, 품종/혈통(유전자불안정성 및 개인 방사선감수성), 성별, 피폭연령, 선량(누적) 및 선량률, 방사선 RBE, 피폭 모드(외부피폭 또는 내부피폭)에 따라 변한다(예: Broerse 등 1985, Hinton 등 2007, Haley 등 2011, Tang 등 2017, Fesenko 2019, ICRP 2021b, Spatola 등 2021).

3.2.1. 조직반응(결정론적 영향)

(32) 조직반응은 비교적 짧은 기간에 높은 선량을 피폭한 후 나타나는데, 받은 선량이 주어진 문턱선량 이상일 때 발현한다. 이런 영향은 방사선으로 치료(예: 암치료, 통증의학)한 반려동물에서도 볼 수 있다. 본래 사람을 위해 구분했지만, 동물에서도 마찬가지로 이런 영향은 종종 ‘급성’(피폭 후 오래지 않아 발현)과 ‘만성’(피폭 후 여러 달 또는 수십 년까지 발현)으로 분류하기도 한다(Collen과 Mayor 2006, ICRP 2012b). 사람에서와 마찬가지로 선량이 증가하면 영향은 빈도나³²⁾ 심각도의 증가로 나타나며, 구체적 영향은 피폭한 조직에 따라 달라진다(예: LaDue와 Klein 2001).

(33) 방사선치료에서는 표적조직에 전달된 높은 선량이 조직반응을 유발하여 발암성 세포의 무통제 증식을 방지하는 결과를 얻는다. 피부 화상이나 시각 영향과 같은 영향은 일부 치료절차에서 건강한 조직이 겪는 원하지 않은 잠재영향이어서 항상 예방할 수 있는 것이 아님을 의미한다(Gillette 등 1995, Collen과 Mayer 2006, Pinard 등 2012). 그러나 방사선치료에서 과피폭은 매우 고통스러운 심각한 조직반응을 초래할 수 있고 다양한 장기적 부작용으로 이어질 수도 있다. 구체적 부작용은 사용한 기술, 선량 분할, 총 선량, 표적체적에 포함된 장기 등에 따라 달라진다. 이러한 부작용은 가벼운 것부터 심각한 것도 있고 비가역적 경향이며(예: 섬유증, 궤사, 만성 염증) 치료가 어려워 동물이나 사람 모두에게서 환자 삶의 질에 나쁜 영향을 미친다(Gillette 등 1995, Collen과 Mayer 2006, Balter와 Miller 2014, Hall과 Giaccia 2019, Mayer 등 2019a). 방사선치료와 관련된 피폭으로 인한, 사소하지만 흥미 있는 영향은 동물 털 색깔의 변화(백모증, 그림3.1 참조)이다³³⁾(Inomata 등 2009, Gerard 등 2010, Mayer 등 2019a, Lee 등 2020).

32) <역주> 선량 증가에 따른 빈도의 증가는 선량이 문턱 부근일 때이다. 문턱을 지나면 빈도가 빠르게 증가해 결국 모두 발생한다. 이때부터는 심각도만 선량에 의존한다.

33) <역주> 높은 선량이 모낭의 멜라닌세포 상해 또는 마비로 털에 색소 형성이 미진한 결과로 회색 또는 흰색이 된다. 기전은 불확실하나 DNA 손상, 세포주기 교란, 스트레스 반



그림3.1. 강도조절방사선치료(IMRT) 이전(좌)과 이후(우)의 어떤 개 환자. 두 영상 모두 PET촬영을 위해 동물환자를 준비시키는 과정임. 빔을 쬐 부분에 털 색깔의 탈색(백모증)이 발생함에 유의. 자료원: Rødal 등(2010).

(34) 중재방사선 절차에서는, 1차빔이 신체로 들어가는 부위에 방사선 유발 피부 화상과 같은 손상이 몇 주 사이에 발생할 수 있는데(Balter 등 2010), 특히 대형 동물에 긴 투시시간을 요구하는 복잡한 절차를 수행할 때 그러하다. 대부분 그런 상해는 한정적이어서 관리할 수 있지만, 불필요한 조직반응이 고통을 초래함에 유의함은 중요하다.

(35) 수의진료에서 사람의 직무피폭 선량은 조직반응이 발견되기에는 너무 낮지만, 일부 핵의학, 중재방사선 또는 근접치료 절차에서 부적절한 관행이나 사건/사고와 결합되면 사람 의료에서 경험하듯이 피부 화상이나 눈 수정체 손상 잠재성은 있다 (Miller 등 2010, Dauer 2014, ICRP 2018b).

3.2.2. 확률론적 영향(암 및 유전질환)

(36) 확률론적 영향은 심각도가 아니라 발생확률이 분명한 문턱 없이 선량에 따라 증가하는 영향이다. 방사선이 세포와 상호작용을 일으키고, 손상된 세포가 세포주기를 계속하여 악성질환으로 이어질 잠재성이 있다. 방사선피폭에서 오는 확률론적 영향은 체세포 손상에서 기인하는 암과 생식세포 손상에서 오는 유전질환이 포함된다. 요컨대 사람이든 동물이든 다양한 환경오염과 체세포와 생식세포의 자연 발생적 돌연변이가 각각 암과 유전질환에 크게 기여한다(Kelsey 등 1998, NRC 2006, Fjeld 등 2007).

(37) 비록 사람에게는 태내피폭을 포함해 낮은 선량에서 피폭 아동에게 암 위험 증
 응 등이 관련될 것으로 본다.

가 지시가 있지만(Wakeford와 Bithell 2021), 약 100 mSv 미만 선량을 피폭한 일반인 집단 구성원에서 암 위험 증가는 역학연구만으로는 확실히 입증할 수 없다. 그러나 방사선물리학과 방사선생물학 데이터를 의도적으로 신중하게 해석한 결과와 결합하면 문턱 없는 선형모델(LNT)이 방사선피폭으로 인한 위험을 관리하는 가장 현실적인 접근이라고 ICRP는 생각한다(ICRP 2007a). 이 모델은 선량과 확률론적 위험 사이에 선형 상관관계를 가정하는데 이는 어떤 선량의 증가는 확률론적 위험의 증가를 초래함을 의미하지만, 그 위험은 선량이 낮을수록 점점 불확실해짐을 유념해야 한다(ICRP 2021a). 전반적 위험에 기여 인자가 다양하고 그런 질환의 촉진이나 진행에 영향을 미치는 추가 수정인자도 있어, 낮은 선량에서 방사선 기인 확률론적 영향에 대한 확고한 위험 예측을 개발하는 것은 어렵다(NRC 2006, McLean 등 2017). ICRP가 사람에 대해 사용하는 위험지표는 '방사선위해 radiation detriment'인데 이는 조합 기준집단에서 성별과 연령에 대해 평균한 것이다. 방사선 위해는 생애 암 위험으로부터 구하는데 치사율, 삶의 질, 수명손실년 years-of-life lost으로 나타내는 심각도도 고려한다. 또한, 동물연구에서 얻은 정보에 근거한 유전질환도 고려한다(ICRP 2007a, Ban 등 2022, ICRP 2022).

(38) 피폭동물과 관련한 보편적 오해의 하나는 사람보다 수명이 짧은 동물은 방사선 유발 암을 겪지 않는다는 생각이다. 그러나 1970년대부터 종을 걸쳐 체중 크기나 수명 길이는 각각 세포 수나 세포분열 수의 증가에서 예상하는 것과는 달리 전체적 암 위험 증가와 무관함이 널리 관찰되어 왔다(Abegglen 등 2015, Vincze 등 2022). 이는 발암에 대한 생명체의 반응에 영향을 미치는 생리학적 인자는 다양하고 복잡하다는 현대 인식에 기본적 통찰을 제공한다.

(39) 포유류에서 암 패턴은 유사하고 일반적으로 수명과 상대적이다(Albert 등 1994, Schiffman과 Breen 2015). 달리 말하면, '매우 다른 수명을 갖는 종에서도 노년에 암 위험은 크게 다르지 않다'(Peto 2016). 짧거나 생리학적으로 압축된 수명을 갖는 여러 동물이 사람보다 잠복기가 짧다(NRC 1991, Becker 등 2001, Cagen 등 2022). 수의진료에서 흥미있는 것은 개에서 전반적으로 암이 발생할 위험이 상대적으로 크게 나타난다는 발견이다(Dobson 2013, Abegglen 등 2015, Schiffman과 Breen 2015). 개의 암 예방과 관련해 문헌은 '개는 예상되는 이득이 위험을 상회할 때만 방사선을 노출해야 한다.'(Kelsey 등 1998)고 명시적으로 말하는데 이는 방사선방호의 정당화 원칙과 일관된다. 실험동물에서 방사선 발암(다른 불구도 포함)을 탐구한 많은 연구가 수행되었는데 선량-반응 관계는 다양하다(Broerse 등 1985, Duport 등 2012, Tang 등 2017, Spatola 등 2021).

(40) 방사선 유발 기형의 유전은 X선을 조사한 초파리(*Drosophila*) 연구에 근거하여 헤르만 뮐러가 1927년에 보고했다(Pontecorvo 1968). 그 이후 다른 동물이나 식물에서 방사선 유발 유전영향에 대한 상당한 증거가 보고되었다(예: UNSCEAR 2001, Russell 2013). 주목할 점은 방사선피폭은 집단에서 자연적으로 발생하는 유형과 같은 종류 돌연변이만을 증가시키는 것이다(Hall과 Giaccia 2019). 이것이 사람에게서 방사선 유발 잠재적 유전영향을 연구하기 어렵게 만드는데 같은 돌연변이의 높은 자연발생 때문이다. 그래서 사람에게서 방사선피폭으로 유발되는 유전영향은 확정적으로 믿을만하게 밝혀진 바가 없다(Boice 2020, NCRP 2021). 사람도 유전영향이 있을 것 같지만 그 위험은 발암 위험보다 훨씬 낮다(UNSCEAR 2001,2014).

(41) 사람에게서 발암인자 노출에 따른 암 발생의 가능성은 연령, 성별, 환경, 사회경제, 생활습관 및 유전자형을 포함한 여러 인자에 의존한다(Colditz 등 1996). 발암에 대한 방사선 감수성의 개인 변동성은 인정되지만 완전히 이해되지는 않는다(Rajaraman 등 2018). 그러나 연령이나 성별처럼 방사선 유발 발암의 감수성에 영향을 미치는 몇몇 분명한 집단수준 속성은 있다(NRC 2006, Preston 등 2007). 배태아, 아동 및 청소년은 긴 잔여수명과 발달하는 조직/장기의 상대적 감수성 때문에 암 위험이 전반적으로 높으며(ICRP 2013b), 주로 유방의 방사선감수성 때문에 여성도 더 높다(Boice 등 1991, NRC 2006). 이와 같은 위험의 연령 및 성별 의존성은 정당화 및 최적화 과정에서 고려되어야 하는데 특히 아동에 대해서는 그러하다. 예를 들어 수의진료에서 아동이나 청소년의 피폭은 정당화되지 않으므로 이들은 방사선학적 검사를 돕는 일에서 배제되어야 한다.³⁴⁾ 마찬가지로 방사선 절차를 수행할 때는 임신했거나 그럴 수 있는 사람이 있을 가능성을 정당화 관점에서 신중하게 고려해야 한다. 이는 태아의 방사선 감수성(소절3.2.3 참조)과 모유수유를 준비하는 특정 단계에서 유방조직의 가능한 감수성과 관련된다(Ronckers 등 2004). 그러한 피폭에 대한 정당화 과정은 태아의 선량한도(임신 기간에 1 mSv. 표3.1 참조)를 초과하지 않도록 유념해야 한다. 임신했거나 그 가능성이 있는 사람의 존재가 정당화될 것으로 보이고 이해동의를 구했다면, 방사선방호 수단을 최적화할 필요가 있다. 어디에 서 있고 어떻게 행동하며 어떤 방호장구를 사용하는지 등에 대한 지침을 제공하여 이를 달성할 수 있다. 최적화 전략에 대해서는 제6장에서 추가로 다룬다.

34) <역주> 아동이 수의진료 방사선절차에 개입되지 않아야 한다는 것은 일반적 상황일 때이다. 그러나 불가피한 특수한 상황을 감안하면 이렇게 단적으로 배제해야 한다는 표현은 의문이다.

(42) 정도의 차이는 있지만, 실험동물에서도 피폭연령과 성별이 발암 위험에 영향을 미치는 것으로 나타난다(Benjamin 등 1991, Shuryak 등 2011, Tang 등 2017). 일부 그룹은 어린 연령에 피폭하므로[예: 강아지의 형성장애 선별(Dziuk 2007) 또는 매매전 기능마(performance horse) 검사(Judy 2013)] 위험의 이 의존성은 동물환자에게도 해당 고려사항이 된다. 그러한 피폭이 정당인지 판단할 때는 이러한 위험을 유념하는 것이 중요하다(제6.2절에서 추가로 논의함).

3.2.3. 태내피폭 영향

(43) 임신 중 배태아의 방사선 영향(즉 기형발생)은 피폭 당시 임신단계, 배태아 흡수선량 및 방사선 종류에 따라 달라진다(예: Benjamin 등 1998, Russell 2013, Hall과 Giaccia 2019). 기껏 진단 준위에서는 사람에게서 영향은 아동기 암 위험을 포함한다. 방사선에 가장 민감한 태령 기간에 100~200 mGy를 초과하면 신경계 비정상, 기형, 성장지연, 지능장애, 사산을 포함한 조직반응 위험이 있다(ICRP 2000, 2003a). 간행물 84(ICRP 2000)는 방사선이 사용되는 의료기관에서 임신한 환자나 종사자의 관리를 논의한다. 간행물 90(ICRP 2003a)은 수의진료와 특별히 관련되는 동물연구에서 증거를 포함해 태내 피폭의 영향을 비판적으로 평가하고 요약한다.

3.3. ICRP의 방사선방호 기틀

(44) 방사선방호체계의 기본 목표는 바람직한 사람 활동을 부당하게 제한하지 않으면서 수반되는 방사선피폭으로부터 사람과 환경을 합당한 수준으로 방호하는 데 기여하는 것이다(ICRP 2007a). 사람에게 대해서는 건강한 조직에서 불필요한 조직반응을 예방하고(예: 방사선치료에서는 유효한 치료를 얻기 위해 약간의 조직반응은 불가피할 수 있다), 확률론적 영향은 합리적인 범위에서 낮추는 목표로 방사선피폭을 관리한다. 여기서, ICRP의 방사선방호체계는 사람을 보호하는 기본 목표로 개발되었음을 강조해야겠다. 비교적 근래에 환경보호가 도입되었는데 그 초점은 (멸종위기종은 예외이지만) 자연환경에서 집단의 방호에 있다. 일반적으로 집단수준 환경보호는 참조동식물(RAP)에 대한 방사선영향에 관한 지식을 기반으로 한다. 비록 이미 1930년대부터 동물환자 피폭에 주의를 무시해서는 안 된다고 언급해 왔지만(Wantz와 Frick 1937), 개개 동물에 대해 가능한 해로운 영향에 대해서는 거의 주의하지 않아 왔다. 간행물 146(ICRP 2020b)에 비상준비와 대응에서 반려동물과 가축에 대한 명시적 고려를 포함하고 있음은 주목할 일이다.³⁵⁾

(45) 수의진료 맥락에서도 사람과 환경 방호는 현행 방사선방체계에 포함되어 있음을 다시 강조할 가치가 있다. 여기서 이를 부연하고 명시적으로 다룬다. 그래서 수의진료진, 동물 주인이나 조련사를 포함한 일반인³⁶⁾, 그리고 환경의 방사선방호에 관한 아래의 정보는 대부분 ICRP 103(2007a)과 ICRP 105(2007b)에서 끌어왔다. 환경보호 차원에서 동물 방호는 집합적 영향만을 다룬다(예: 종 보전, 생물다양성 유지)(ICRP 2003b). 이제 ICRP는 특수 상황에서는 개개 동물의 방호도 방호체계에 포함함을 밝힌다. 수의진료 방사선절차를 거치는 동물환자가 한 경우가 되는데, 그 밖에도 실험동물, 그리고 방사선재난 상황에서 반려동물/가축도 해당한다(ICRP 2020b).

3.3.1. 피폭상황과 피폭범주

(46) 방사선방호체계 안에서 피폭이 발생하는 고유 여건을 고려하기 위해 몇몇 피폭상황exposure situation과 범주를 정의한다. 피폭상황은 계획피폭상황planned(방호를 사전에 계획할 수 있는 상황), 비상피폭상황emergency(사고처럼 예상하지 않은 상황으로서 긴급대응을 요구함), 기존피폭상황existing(이미 존재하는 상황으로서 관리를 위한 의사결정이 필요함)이다. 이 간행물에서 논의하는 수의진료에서 수행하는 진단, 핵의학, 방사선치료 절차는 계획피폭상황이다.

(47) 피폭범주exposure category도 셋을 식별하는데, 직무피폭occupational(직무에서 운영관리자 책임으로 보는 것이 합리적인 상황의 결과로 피폭), 의료피폭medical(환자/연구대상 자원자, 직업이 아닌 위안/간병자로서 피폭), 일반인피폭public(직무피폭이나 의료피폭이 아닌 피폭)이다(ICRP 2007a,2014b). 현재 서면화된 기본권고는 의료피폭은 사람에게만 적용되는 것으로 한다(ICRP 2007a,b). 방사선의 수의과 적용은 많은 점에서 사람의 의료피폭에 비견된다. 사실, 유일한 차이는 노출이 동물을 겨누고 다른 쪽은 사람을 겨누다. 둘 모두에서 직무피폭이나 일반인피폭이 발생할 수 있다. 수의진료는 사람 아닌 대상을 다루므로 지방정부나 규제기관이 수의시설에서 받는 피폭을 관리하는 방식이 다르기도 하다. 규제관점에 따라 수의진료를 의학적 적용이 아니라 방사선의 산업적 이용에 준하는 것으로 보면, 동물에 대해 존엄한 생명체로서 그 특성을 고려하지 않고 단순한 물체로 간주하는 접근이 된다.

35) <역주> 후쿠시마 원전사고 당시 주민을 소개하면서 많은 반려동물과 가축은 현지에 방치되어 굶어 죽거나 야생화된 폐해가 발생했다. 이 경험에서 ICRP 146에는 사람 소개시 동물에 대한 대책을 강구하기를 권고하고 있다.

36) <역주> 피폭동물의 주인이나 조련사가 방사선절차에 도움을 줄 필요에 따라 참여했다면 그 피폭을 일반인피폭으로 간주하는 데는 역자는 동의하지 않는다. 사람 의료에서 간병인이나 위안자를 의료피폭으로 특별히 간주하듯이 본인의 이해동의를 없는 일반인과는 다른 그룹으로 보는 것이 합당하다.

(48) 환경피폭environmental(살아있는 환경의 피폭)은 넷째 범주의 피폭이지만 ICRP 103에서는 하나의 피폭범주로 명시적으로 정의하지는 않았다. 비록 이 관점을 넓힐 가능성을 논의하고 있지만(Clement 등 2021), 지금까지는 생물다양성, 종의 보전, 건강한 서식지/공동체/생태계 보존을 목표로 자연환경에 초점을 맞추고 있다(ICRP 2003b,2008,2009c, 2014a,2017b,2021b).

3.3.2. 방호원칙

(49) 방사선방호체계의 핵심은 기본원칙 셋으로 구성되는데, 정당화, 최적화, 선량한도 적용이다(ICRP 2007a). 정당화 원칙은(제6.1절 참조) ‘방사선 피폭상황을 변경하는 모든 결정은 해로움보다 이로우미 커야 한다.’라 명기한다. 방호최적화 원칙은(제6.2절 참조) ‘피폭이 발생할 가능성, 피폭자 수 및 개인선량 크기는 경제사회적 인자를 고려하여 합리적으로 최소로 유지해야 한다.’고 명기한다. 이제 최적화 논의에서 환경인자도 명시적으로 포함한 바 있다(ICRP 2020b). 의료피폭에서 최적화는 진단이든 치료든 희망하는 의료목적 달성을 데 필요한 최소로 환자 피폭을 유지함에 해당한다는 점은 주목할 일이다(ICRP 2013a). 정당화와 최적화는 선원중심 원칙인데, 특정 선원으로부터 선량을 제한해(예: 선량제약치) 최적화 과정에서 심각하게 불평등한 결과를 방지하려는 것이다. 마지막 원칙인 선량한도 적용(제6.3절 참조)은 ‘계획피폭상황의 모든 선원이 특정 개인에 주는 선량은 ICRP가 권고하는 적절한 한도를 초과해서는 안 된다.’고 명기한다. 달리 말하면 방사선량이 직무피폭자와 일반인에 대해 설정한 해당 한도(표3.1 참조)를 초과하지 않아야

표3.1. ICRP 103(2007a)에 권고한 선량한도* 요약

선량한도 유형	직무피폭으로부터 선량의 한도	일반인피폭으로부터 선량의 한도
유효선량	5년 평균해 20 mSv/y이되 특정 1년에 50 mSv 이내. 종사자가 임신을 선언한 후 출산까지 잔여기간에 배태아가 1 mSv를 초과하지 않을 것.**	1 mSv/y
등가선량 눈 수정체	5년 평균해 20 mSv/y이되 특정 1년에 50 mSv 이내.†	15 mSv/y
피부(1 cm ² 평균)	500 mSv/y	50 mSv/y
손발	500 mSv/y	해당 없음

* ICRP 147(2021a)는 장차 수정체, 피부, 손발의 조직반응 예방을 위한 선량한도는 등가선량이 아닌 흡수선량을 적용할 것으로 권고했음에 유의하라.

** <역주> 배태아 선량한도를 ‘유효선량’으로 직무피폭 범주에 두는 것은 의문임. 따로 특별한 유형의 선량한도로 규정함이 적절해 보인다.

† <역주> 이처럼 낮은 것은 2011년 ‘조직반응에 대한 선언’이며 ICRP 103에서는 150 mSv/y이다.

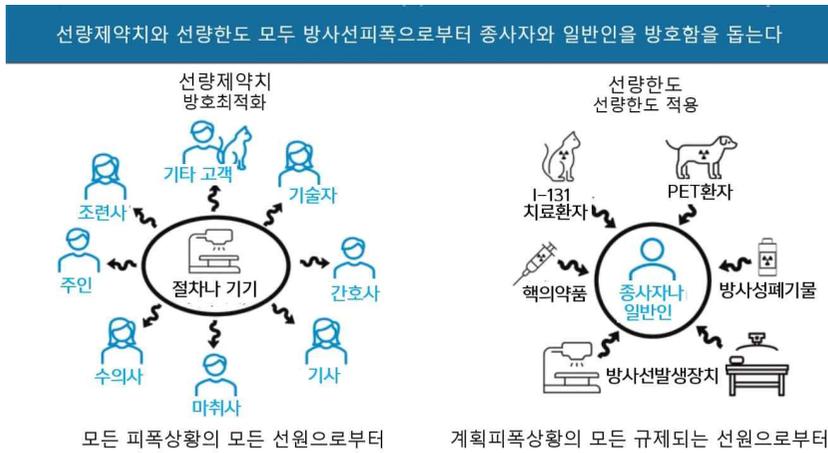


그림3.2. 종사자(직무피폭)와 일반인(일반인피폭) 방호를 위한 선량제약치(좌)와 선량한도(우)의 비교.

한다.

(50) 선량제약치는 전망적, 선원중심 제한으로서 직무피폭자나 일반인의 개인선량에 적용되며 그 선원을 위한 최적화 목표의 상한 역할을 한다(그림3.2 참조). 선량제약치는 경직된 한도로 의도한 것이 아님은 중요하다. 그보다는 정의正義의 핵심 가치와 일관되게, 선량제약치는 최적화 과정을 이행할 때 가치판단 차이에서 올 수 있는 잠재적 불평등을 제한하는 메커니즘이 되게 하려는 의도이다. 사실, 제약치를 경직된 한도로 해석하면 최적화 과정의 결과를 왜곡할 수 있다(ICRP 2007a). 선량제약치는 애초 계획단계에서 여건에서 적절한 방호 수준을 수립하는 최적화 과정에서 사용된다. 선량제약치로 취하는 수치는 당면 여건에 의존한다.

(51) 계획단계 후에는, 선량제약치가 계획과 이행 사이에 간극을 드러내거나 추가 고려가 합당한 잠재적 변경을 식별할 수 있다. 적절히 설정하면 선량제약치는 정상 상황으로부터 이탈을 밝혀내는 역할을 할 수 있다. 예를 들어 과정이나 절차가 일관되고 적절하게 3개월 동안 유효선량 0.5 mSv를 내는 것으로 알려졌는데 최근 3개월간 2 mSv를 냈다면 그 근본원인root cause을 규명하기 위한 검토가 수행될 것이다. 증가가 합당한 것일 수도 있는데 이때는 추가 조치가 필요하지 않다. 아니면, 증가가 합당한 기술로부터 이탈, 기기 문제 또는 기타 살펴야 할 이슈를 드러내는 것일 수도 있다.

(52) 사람 환자의 방호최적화 원칙은 방사선방호체계에서 독특하다. 영상의학 절차에서는 이익을 얻는 사람과 위험에 처하는 사람이 같다.³⁷⁾ 환자선량에 개인별 제약을 부과하면 절차의 의료목적에 반생산적일 수도 있다. 개인에 대한 선원중심 제약치는 적당하지 않으며, 그래서 특정 절차에 대한 진단참조준위(DRL)를 사용하는데, DRL은 개인이 아니라 유사한 환자 그룹의 노출을 살핀다. 방사선치료도 다른 상황과 매우 다른데, 선량 부여가 의도적이며 치료 목적이 세포 사멸이다. 이 경우 최적화는 표적체적에 미리 정한 의도적 치사선량을 전달해 얻는 효과를 저해하지 않으면서 주변 조직의 선량(또는 그 유해 영향)의 최소화를 달성하는 것이 된다.

(53) 직관적으로 이러한 아이디어는 동물환자에게도 적용될 수 있지만(Pentreath 2016), 동물환자가 어떻게 최적화 원칙에 부합하는지는 아직 명시적으로 정의되지 않았다. 그래서 국가에 따라 관리전략이 일관되지 않다(HERCA 2012). 많은 나라에서는 의료행위가 사람 의료만 포함하는 것으로 간주하기 때문에 수의학은 의료행위라기보다 산업적이라 생각한다. 안타깝게도 이런 철학은, 진정 또는 마취하는 동물환자의 안전이나 차등접근(IAEA 2018)(즉, 수반 위험, 피폭상황의 복잡성 및 지배적 여건과 상응하는 방법으로 방호체계를 이행)과 일관되는 상황종속 위험관리와 같은, 특이하지만 필요한 수의진료 특성에 관련된 고려를 종종 무시한다.

(54) 필요하고 의학적으로 지시된 진단/치료 절차를 방해하지 않도록, 의료피폭에서 환자에게는 선량한도를 적용하지 않는다. 일반 선량한도는 진료의 효력을 위태롭게 해 이로움보다 해로움이 클 것이다. 그래서 처음부터 절차의 정당화, 방호최적화 그리고 진단절차에 대해서는 DRL 사용을 강조한다. DRL은 한도가 아니라, 촬영절차에서 받는 선량이 비정상적으로 높거나 낮은지를 지시하여 최적화 과정을 안내함으로써 환자피폭 관리를 돕는다(ICRP 2007b,2017a). ICRP는 사람 의료피폭에 적용하는 것과 비슷하고 비례하는 접근을 개발해 수의진료에 적용하되, 주기적 감사, 지속적 동료학습, 사건이나 아차사건을 포착하는 사건보고체계[예: SAFRON(Safety in Radiation Oncology), SAFRAD(Safety in Radiological Procedures), ROSEIS(Radiation Oncology Safety Education and Information System)]³⁸⁾의 사용이 가능

37) <역주> 주된 피폭은 환자 자신이지만 촬영하는 의료진도 약간은 피폭하므로 위험에 처하는 사람이 온전히 환자만은 아니다.

38) 각각 다음 홈페이지 참조.

<https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/databases-and-learning-systems/safron>,

<https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/databases-and-learning-systems/safrad>,

<https://roseis.estro.org/>.

하도록 양질의 선량관리 프로그램을 포함하기를 권고한다.

(55) 환경 방사선방호에서는 피폭의 관리나 제어 수준이 적절하도록 안내하는 데 한도가 아닌 유도고려참조준위³⁹⁾ derived consideration reference level(DCRL)를 사용한다. DCRL은 그 이상에서는 분류학 등급에서 주어진 종의 개체들에 유해 영향이 집단수준 영향으로 이어질 잠재성이 있는 흡수선량률이다. DCRL은 전반적 관리목적과 해당 피폭상황에 따라 환경보호에 투입하는 노력 수준을 최적화하는 참조점으로 사용된다(ICRP 2014a). 그래서 동물에 일반적으로는 해당되지만, 환경의 방사선방호를 위해 개발된 개념은 수의학 여건에서 개개 동물의 피폭을 적절히 방호하는 데는 충분하지 않다.

(56) 비상피폭상황과 기존피폭상황에는 한도가 아닌 참조준위를 이용하는데, 무엇이 합리적이고 용인 가능한가를 정의하는 것이 그 상황에서 지배적 여건에 강하게 의존하기 때문이다. 이들 피폭상황(예: 대형 원자력사고에 따른 비상피폭상황)에서도 수의학적 문제가 있을 수도 있지만⁴⁰⁾ 수의진료에서 방사선방호에 관한 이 보고서 업무는 계획피폭상황에 초점을 맞춘다.

3.4. 잠재적 피폭경로 및 수의진료진과 보조인력을 위한 실용 방호전략

(57) 방사성붕괴를 일으키는 불안정한 원자는 방사선을 낼 수 있는데 방사성의약품도 그렇다. 하전입자를 가속해도 방사선을 낼 수 있고, 방사선 투과촬영기와 선형 가속기가 그러하다. 달리 말하면, 수의진료에서 잠재적 방사선피폭원은 크게 두 범주가 있는데 방사능물질과 방사선발생장치이다. 방사선발생장치는 장치가 가동 중일 때만 외부피폭 위험을 갖는다.⁴¹⁾ 방사능물질은 체내 또는 외부 오염 위험도 있

39) <역주> 용어 의미가 모호하지만, 환경보호에서는 목표의 포괄성, 자료의 불확실성 등이 명백한 지침의 제시를 정당화하기 어려우므로 참조준위를 어떤 선이 아니라 참조동식물별 선량의 밴드(10배 단위)로 제시한다. 그래서 용어에도 '고려'라는 유연성을 부여했다.

40) <역주> 후쿠시마 사고에서 경험했듯이 주민을 소개할 때 가축이나 반려동물 보호에 소홀하면 동물이 폐사하거나 야생화되는 부작용이 있다. 그래서 이후에는 비상계획에 가축/반려동물 보호를 위한 대책을 포함하기를 권고한다(참조: ICRP 146). 이런 계획과 집행은 윤리에 따른 정책의 문제이지 수의학 문제는 아니다. 그러나 결과적으로 고통을 겪는 동물이 발생하고 이를 돌보려 한다면 비상상황이든 기존상황이든 수의학 문제가 된다.

다. 예를 들어 피부에 방사성요드를 쏟으면 피부는 외부피폭도 받고 일부는 흡수를 통해 체내로 들어갈 수도 있다. 나아가 요드는 원소형일 때 휘발성이어서 흡입 위험요인도 된다. 일반적으로 기체, 분말 또는 휘발성 방사능물질은 흡입을 통한 체내오염 위험이 있다(소절 3.4.2 참조).

(58) 방사선 종류에 따라 관심 피폭경로가 달라지므로 위험 고려에는 선원이 내는 방사선 종류도 알아야 한다. 알파입자는 미약한 투과력 때문에 외부에서 위해를 가하지는 못하지만, 알파 방사성핵종이 흡입/취식되거나 눈에 들어가면 우려 대상이 된다(예: Ra-223이나 기타 알파 표적치료, Gupta 등 2017, Tafreshi 등 2019, Rojo 등 2021). 베타입자는 에너지에 따라 공기 중에서 비정기 수 m에 이를 수 있고 조직을 mm 단위는 투과할 수 있다. 베타입자에 대한 방사선방호의 주요 사안은 피부(표층선량)와 눈(수정체 선량)의 피폭이다. 흡입/취식 또는 피부 흡수가 일어나면 베타핵종도 관심 대상이다. 감마선과 X선은 투과성 방사선으로 피부나 수정체 선량뿐만 아니라 전신피폭(심부선량)을 줄 수 있다. 그래서 구체적 방사선 종류에 따라 방호전략도 달리 적용되지만, 외부피폭과 내부피폭 방호에 적용할 수 있는 광범한 일반전략도 몇몇 있다(ICRP 2007b, Martin 2013, Johnson 2017).

3.4.1. 외부방사선 방호

(59) 외부피폭 방호의 기본 법칙 셋은 노출시간 감축, 선원으로부터 거리 늘이기, 적절한 차폐 활용이다. 이들 인자는 수의시설을 위한 건물이나 방의 설계, 방사선 기기(밀봉선원/비밀봉선원 포함)의 설계, 그리고 현장 규칙이나 절차에서 같이 고려해야 한다. 방호전략은 공학적 제어(예: 차폐, 인터록) 고려, 행정적 관리(예: 서면 절차), 개인방호장구personal protective equipment(PPE, 예: 장갑, 납치마) 사용을 포함하고, 작업장의 다른 위험요인 관리와 일관되고 또 연계하여야 한다(de Castro 2003).

(60) 주어진 업무를 수행하려면 일반적으로 어느 수준 시간이 필요하므로 노출시간을 크게 제한하는 것이 항상 가능하지는 않다. 그러나 상세한 작업계획과 사전 연습(선원 없이⁴²⁾)은 전체적 노출시간을 줄이는 데 도움이 된다. 현실적이라면 작업자 사이 업무 배분이나 사람 교대는 개인별 노출시간을 줄일 수 있다.⁴³⁾ 노출시간

41) <역주> 아직 동물병원에서 운용은 드물지만 10 MV 이상 에너지를 갖는 치료용 가속기는 방사화 영향으로 가동 정지 후 일정 시간동안은 상당한 외부피폭 선량률을 낼 수 있음에 주의가 필요하다.

42) <역주> 모양은 같되 방사능이 없는 모의선원을 이용하면 효과적이다.

43) <역주> 그러나 이러한 배분은 업무의 단속, 비숙련자 참여 등으로 총 노출시간의 증가

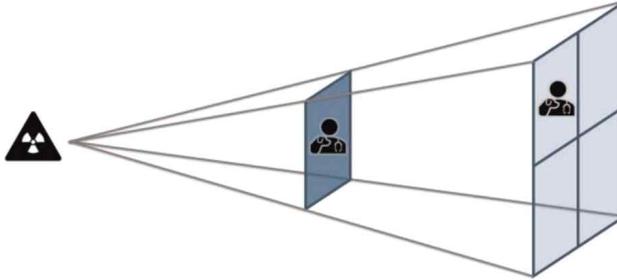


그림3.3. 역자승법칙의 도시. 점 방사선원으로부터 거리가 2배가 되면 광자가 더 넓은 면적에 분산되어 피폭은 1/4로 감소한다.

최적화의 다른 예는 형광투시나 중재방사선 절차에 최종영상 유지기술⁴⁴⁾과 함께 펄스모드 X선⁴⁵⁾을 사용하는 것인데, 이는 필요한 영상 안내를 유지하면서 노출시간을 효과적으로 줄일 수 있다.

(61) 합리적으로 가능하면, 방사선원으로부터 거리를 최대한으로 하는 것은 선량을 줄이는 단순하고 실용적인 원칙이다. 팔길이만큼 멀리하거나 가능하면 한 걸음 물러서는 것과 함께, 취급 장구(예: 핀셋, 집게팔)나 손수레 사용을 고려할 필요가 있다 (그림3.3 참조). 그러나 세 기본 법칙을 서로 조합한 적용이 필요하다. 집게팔과 같은 장구를 사용하면(더 먼 거리에서) 선원을 다루는 시간이 증가하는 반면, 선원 가까이라도 빠르게 조작하면 선량이 줄 수도 있다. 또한, 불편한 자세(예: 차폐체 뒤에서 작업 등)로 장시간 작업하는 사람에 대한 배려도 필요한데, 이는 피폭 유발 실수 잠재성과 함께 인간공학적/정형외과적 해악을 초래할 수 있고 또, 업무를 마칠 때까지 시간이 증가할 수 있다. 안전하게 적용할 수 있다면 진정이나 마취가 사람이 동물 가까이 있어야 하는 시간을 크게 줄일 수 있을 것이다. 그러면 사람의 피폭은 짧은 노출시간과 방사선원으로 간주되는 동물로부터 먼 거리의 조합으로 감축될 것이다. 성질이 까다로운 동물일수록 촬영 중 위치를 유지하기 위해 대개 사람이 더 숙여야 한다. 진정이나 마취는 쉽게 이 일을 팔길이 거리에서 한 걸

로 이어질 수 있으므로 총 선량과 개인간 선량 분포(불평등) 문제 등을 두루 살펴 평가해 결정해야 한다.

44) '최종영상 유지' last image hold는 형광투시를 정지했을 때 가장 최근 영상을 계속 모니터에 전시하는 형광투시 시스템의 기능을 말한다. 예: Mahesh(2001)을 참조.

45) <역주> 형광투시에서 눈의 잔상효과를 활용해 계속 X선을 투사하는 대신 펄스로 투사하는 기법. 대부분 형광투시기에 탑재된 기능이며 대개 초당 30 펄스(펄스폭 약 10 ms) 정도로 투사한다.

음 물러서 할 수 있게 만든다. 나아가 진정/마취는 환자 정위를 쉽게하고 재촬영 수요를 감소시켜 동물을 붙잡는 사람의 총 노출시간을 줄인다.

(62) 사용할 최선의 차폐 유형은 여건과 해당 방사선의 종류와 에너지에 따라 다르다. 예를 들면 베타붕괴에서 나온 전자(베타입자)는 주변과 상호작용하여 제동복사선을 낸다. 제동복사선은 자유전자의 경로가 원자핵의 전기장에 의해 감속될 때 발생한다. 인근 원자핵에 양성자가 많을수록 제동복사가 많아진다. 따라서 베타 방출 선원은 원자번호(Z)가 낮은 물질(예: 플라스틱이나 아크릴)로 차폐하는 것이 좋다. 이로써 전자는 차단하고 Z가 큰 물질보다 적은 제동복사선을 낸다. Z가 큰 물질은 광자를 차폐하는 데 좋다. 그래서 저장하거나 운송할 때 발생 광자를 차폐하기 위해서는 1차 용기 밖에 납차폐를 더한다.

(63) 감마선이나 X선 차폐에는 납을 종종 사용한다. 그러나 실제로는 밀도가 높은 아무 물체(예: 텅스텐, 철, 콘크리트 등)도 적절히 두터우면 이러한 광자 방사선을 충분히 차폐한다. 예를 들면 고방사능 선원도 천연 토석을 차폐로 활용하기 위해 지하시설에 설치한다. 광자는 지수함수적으로 감쇠하지만 넓은 빔이나 나쁜 기하배열에서는 산란 방사선이 '인상build-up'되어 피폭이 순수 지수감쇠로 예상하는 것보다 높아진다. 방사선 민감 장기를 보호하기 위한 개인방호장구(PPE)는 종종 납(예: 앞치마, 장갑)이나 납 함유 유리(예: 보안경)를 사용한다(Mayer 등 2018). PPE 사용이 방호안전을 최적화하도록 주의가 필요하다(예: 투과 수준, 인체공학적 이슈, 업무 수행에 필요한 시간에 영향 등). 예를 들면 납치마는 PET 연구에는 적절하지 않다. 소멸감마선(511 keV)의 전형적 납치마 투과율이 90% 이상인데(Martinez 등 2010), 납치마 착용에 따른 작업시간 증가가 이 사소한 피폭 감소를 무력화하기 때문이다.⁴⁶⁾

(64) 차폐는 종합적 작업환경(콘크리트벽, 납 함유 문과 창, 세우는 차폐나 천정걸이 차폐 등) 평가로 시작해야 하고, 수의진료진과 보조 인력의 적절한 PPE 착용으로 보완되어야 한다.

3.4.2. 오염으로부터 방호

(65) 위에서 말했듯이, 오염(원하지 않은 방사능의 존재)은 내부 및 외부 방사선 해악 모두를 갖는 특별한 잠재력이 있다. 오염은 전이될 수 있고, 그래서 오염을 예

46) <역주> 그러나 X선에 대해서는 납치마의 방호효과는 90% 이상이므로 X선을 다루는 사람에게서는 필수이다.

방하는 구체적 대책이 도입되어야 한다. 오염 잠재성은 비밀봉선원(예: 방사성의약품)에 해당된다.

(66) 방사성핵종에 의한 내부피폭은 흡입, 취식, 개방 상처를 통한 흡수 또는 이동도(mobility)가 높은 방사성핵종의 경우는 심지어 건전한 피부를 통한 흡수를 통해 일어날 수 있다.⁴⁷⁾ 내부피폭 방호나 오염 예방대책은 체내로 방사성핵종 섭취 또는 방사능물질의 신체 침적을 예방하거나 최소화하는 데 초점을 맞춘다. 방호수단(예: 격납, 내장, 봉입)은 산업위생 일반과 일관되며, 선원과 이를 다루고 사용하는 환경에 대한 관리유지, 그리고 필요하다면 PPE 사용(제3.4절 참조) 전략을 일반적으로 포함한다. 나아가 정당화 원칙과 일관되게 환자에게 투여하는 방사성의약품의 양은 최적 진료결과를 달성하는 데 필요한 만큼을 초과하지 않아야 한다. 이로써 환자의 방호안전이 최적화되고 종사자, 일반인 및 환경의 방호도 최적화된다.

47) <역주> 특히 삼중수소는 피부를 통한 침투가 상당하다. 특수 방호복 없이 삼중수소수증기로 오염된 환경에 노출되면 흡입으로 인한 내부피폭의 절반가량을 피부로 직접 흡수된 삼중수소로부터 받을 것으로 평가한다.

제4장 윤리와 가치

4.1. 방사선방호체계의 윤리

(67) 방사선방호체계는 과학, 윤리, 경험의 세 기둥에 기초하고 그에 의해 풍부해져 지난 수십 년 동안 진화했다(ICRP 2018a). 윤리 또는 도덕철학은 옳고 그름의 구별을 추구하는데, 달리 말하면 윤리는 도덕의 본질을 고려하고 사물이 어떠해야 하고 우리가 어떻게 행동해야 하는지를 설명하고 정당화하려 노력한다. 방사선방호체계는 관련된 도덕과 윤리의 고려와 나란히 진화해왔다. 하나가 다른 쪽에서 직접 파생된 것은 아니다. 그래서 방사선방호의 기본 목표는 한 세트 기본 과학적 원칙과 윤리적 고려가 지지하는 종합적 기틀로서 달성된다.

(68) 근래에 ICRP 138(2018a)은 사람 방호를 위한 방호체계의 윤리근거를 명확히 하고 그 기저의 핵심 윤리원칙(방사선방호의 3 원칙과 구별되도록 ‘가치’로 부름)과 절차윤리 가치를 식별하였다. 그러나 수의진료 맥락에서 개개 동물의 방호에 관한 윤리적 특성을 구체적으로 다루지는 않았다.

(69) 방사선방호체계를 떠받치는 중요한 윤리 이론 셋은 공리주의, 의무론, 덕 윤리인데, 이들은 각각(비록 단순화되었지만) 집합적 이익의 확대; 개인과 그 권리의 존중; 정직, 통찰 및 지혜의 조장으로 설명된다. 사람과 관련해서, 위에 언급한 이론 각각과 일관되고 문화간 공유되는 핵심 윤리가치는 선행/비악행, 신중, 정의 및 존엄이다. 비록 이런 가치가 현행 방호체계에 흐르고 있고 어떤 하나의 원칙에 특정하는 것은 아니지만 일부는 직접 연계도 분명하다. 선행/비악행: 악을 피하고 선을 행함은 정당화 원칙에 직결된다. 신중: 불확실성 앞에서 유식하고 이성적인 의사결정은 방호최적화 원칙에 연계된다. 정의: 평등과 공정은 선량한도 적용 원칙과 직결된다. 존엄: 모든 사람의 존중은 방호체계를 전반에 자명하며 책임, 투명성, 포괄성을 포함하는 절차정의를 뒷받침한다. 절차 가치는 핵심가치를 이행하는 과정을 강조한다. 그래서 윤리는 무엇을 하는가뿐만 아니라 어떻게 하는가도 포함한다. 위험의 윤리적 평가와 관리는 방사선피폭 크기와 피폭 감축 관련 비용을 넘는 인자까지 고려하게 된다(Oughton 2013).

(70) 이들이 방사선방호체계에 깔린 광범한 가치이지만, 이로써 이들 가치가 유일한 중요 가치라는 말은 아님을 언급할 필요가 있다. 예를 들면 환경보호에서는 지속가능한 개발이나 환경윤리와 같은 추가 가치도 강조된다(ICRP 2003b). 또한, 1979년 이래 의생명 윤리의 근본 원칙으로 선행, 비악행, 정의 및 자율의 존중 (Beauchamp와 Childress 2019)을 내세워 왔는데, 이들도 (사람)의료에서 방사선 사용에 관한 윤리 논의에서 강조된다(Malone 등 2018, Bouchud 등 2020).

4.2. 방사선방호와 수의 윤리

(71) 수의 윤리에서도 위에서 언급한 세 윤리이론을 종종 가르친다(Fawcett 등 2018). 방사선방호체계의 핵심 윤리가치는 수의진료에서도 일관되지만, 그것만이 중요한 가치는 물론 아니다. 예를 들면 ‘하나의 복지 기틀 One Welfare framework’(Pinillos 등 2016, Fawcett 등 2018)은 사람 건강과 복지, 동물복지, 사회경제 개발, 생물다양성 및 환경보전을 인식, 지속가능한 개발을 향한 통합적 접근과 일관되는 추가적 윤리가치(ICRP 91(2003b)에서 설명한 가치와 유사하지만 광범한)까지 강조한다(추가 논의는 부록B 참조).

(72) 수의진료에 적용되는 윤리 고려는 방사선방호 3 원칙의 적용과 이행을 풍부하도록 돕는다. 수의진료에 해당하는 많은 윤리가치가 있지만, ICRP 138(2018a, 표4.1)의 핵심가치와 절차가치 몇만 여기서 논의한다. 이들 가치는 방사선방호체계 내장 가치는 물론 ‘하나의 건강⁴⁸⁾ One Health’ 접근, ‘하나의 복지⁴⁹⁾ One Welfare’ 접근, 세계수의협회(WVA)의 수의사 선서⁵⁰⁾, 수의윤리 일반과도 일관된다(ICRP

48) <역주> 사람의 건강, 동물의 건강, 생태계의 건강이 하나로 연결되어 있다는 개념으로, 인류의 보건 문제를 해결하기 위해서는 사람, 동물, 생태계 건강 분야가 힘을 모으고 소통해야 한다는 입장이다.

49) <역주> 동물건강을 넘어 동물복지, 사람복지 및 환경친화적 동물관리 사이 직간접 연계를 발전시키자는 개념이다.

50) <역주> WVA 수의사 선서는 다음과 같다(Wikipedia).

- 전세계 수의 지역의 구성원으로서 과학적 지식과 기술을 사용할 것을 엄숙히 맹세한다.
- 모든 동물의 고통과 질병을 예방하고, 진단하고, 치료하고, 관리하기 위해 최선을 다하며, 수의윤리의 원칙과 관계 법령을 준수한다.
- 동물로부터 직접 전파되거나 매개체, 축산물, 동물유래 오염물질을 거쳐 전파되는 사람의 질병을 예방하기 위해 소통하고 노력한다.
- 환경에 대한 영향을 줄이는 관리를 통해 다양한 생태계 속에서 육상, 공중, 수생동물의 지속가능한 이용을 지지한다.
- 보건 전문가로서 역량을 지속적으로 개발해 성실히 활동하고, 동물복지를 증진함으로써

2003b, 2018a, Pinillos 등 2016, AVMA 2019, Mackenzie와 Jeggo 2019, WVA 2019). 표4.1의 여러 가치는 많은 상호관계와 적용이 있는데(추가 예는 제80항 참조) 일부는 수의진료를 벗어나기도 한다(Martinez 2021). 여건에 따라서는 다른 윤리가치도 추가로 대두될 수 있다. 그러나 여기서 강조하는 중요 가치와 관계는 윤리가 방사선방호체계, 환경, 수의진료 사이의 윤리적 결속을 분명하게 만드는 한편, 수의진료에서 윤리적 딜레마를 고려하는 구체적 기틀도 제안한다. ICRP 91(2003b)과 비슷하게 강조한 몇몇 가치는 사람에게 더 관련되고 다른 것은 동물이나 환경에 관련된다.

(73) 동물복지는 물론 수의진료의 핵심이다. 많은 정의와 설명이 있지만, 동물복지란 일반적으로 사람 아닌 동물의 안녕을 의미한다(Hewson 2003). 동물복지란 동물의 건강 및 복지 증진과 함께 동물에게 불필요한 해나 고통의 초래를 회피하여 선행/비악행과 연계된다. 예를 들면 선행/비악행은 어떤 절차가 임상경로에 적합한지 즉, 절차가 지시되고 적절한지를 결정하는 데서 드러난다. 수의 개입에 대한 구체적 동기와 무관하게 궁극적으로 일반 목표는 고려하는 여러 인자(예: 공중보건과 환경, 지식의 발전 등) 중 동물복지에 명시적으로 주목하여 해로움보다 이로움을 크도록 하는 것이다.

(74) 지속가능 개발은 대략 말하면 미래세대가 사회적, 경제적, 환경적 등 자신들의 요구를 충족하기 위한 여지를 손상하지 않고 현세대의 요구를 충족하는 개발이다. ICRP 91(2003b)에서는 환경 맥락에서 지속가능 개발을 강조했는데, 지속가능 개발은 모든 생명체를 보호할 필요 인식을 포함할 것을 명시한다. 수의사는 가축과 야생 모두 다양한 동물을 돌보는데, 반려동물이나 사육 가축은 전형적으로 동물 자체나 주인의 이익을 위해 다름에 비해, 야생동물은 광범한 경쟁이나 보전 노력의 일부로 진료한다. 지속가능 개발은 특히 결정이 미래세대에 영향을 미칠 때 조심스레 행동해야 하기에 이는 신중과 연관된다. 방사성폐기물 관리 맥락이긴 하지만 ICRP 122(2013a)도 중요한 윤리적 고려로 미래세대 방호를 강조함을 볼 수 있다.

(75) 단결solidarity은 책임, 이익, 동정의 공유로부터 발생하는 단합을 말하며 결과가 공정하고 평등하며 가능하면 균형을 이루도록 상호전문화 과정⁵¹⁾의 도입을 통해 정의와 연계된다(ICRP 2006). 수의 돌봄의 품질과 표준은 주인의 백그라운드와

동물, 사람, 환경의 건강에 기여한다.

51) <역주> co-expertise process. 전문가와 지역 이해당사자 사이 소통으로 전문가는 지역 현안을, 이해당사자는 전문지식을 공유하여 건설적 해결책을 추구하는 과정. 보완 설명은 ICRP 146 참조.

무관하게 환자 사이에 일관되어야 하며, 단결은 동물복지를 위한 공유된 욕구를 통해 발견된다. 결정은 주인과 협력하여 가장 합리적인 과정으로 이루어져야 한다. 주인이 비합리적이거나 무책임한 경우에는 수의사는 여건에서 동물에게 공평을 보장하기 위해 최선을 다해야 한다.

(76) 생명에 대한 경외심은, 사람이나 모든 생명체가 가치가 있고 생명을 유지하고 지원하고 발전시킬 중요성이 있음을 인식함을 의미한다. 사람 의료와 비슷하게 (O'Corner 등 2019) 수의진료도 질환의 치료에만 관련할 것이 아니라 주인과 환자에게 동정심과 존중도 표현해야 한다. 생명 경외심은 모든 생명체가 세상에 자리를 차지하고 안녕하거나 최소한 고통 없는 삶을 영위할 자격이 있음을 인식한다⁵²⁾ (Schwitzer와 Cicovacki 2009).

(77) 책무는 애완동물, 가축, 땅, 자원, 또는 의료기록이나 기타 개인정보까지도 자기 소관으로 위탁된 것을 신중하고 책임있이 관리하는 것이다. 책무는 우리 채무가 있는 것과 관련된 양심적인 의사결정을 포함하는 책임이다. 책무는 개인이나 기관이 자신의 행위나 결정에 대해 답할 기대를 말하는 절차적 윤리 가치인 책임과 강하게 연계된다. 책임은 예를 들면 오투어나 과피폭을 추적하여 보고하고 그러한 사건/사고에 대비한 계획을 두며, 그로부터 학습하여 돌봄을 발전시키는 것을 포함한다. 부록A는 방사선방호와 관련된 역할과 책임의 요약을 제공한다.

(78) 자율은 유식하고 강요받지 않은 의사결정을 할 역량인데, 분명히 투명성 즉, 열리고 정직한 소통 없이는 자율을 행사할 수 없다. 예를 들면, 가용하고 적절한 진료에 대해 그 잠재적 결과와 함께 그 주인이나 책임자와 명확하게 논의해야 한다. 주인은 자기 동물의 진료와 관련된 위험, 이익, 대안 및 재정부담을 알 권리가 있다. 마찬가지로 직원은 자신의 직무위험에 대해 알 권리가 있다. 무엇보다 책임 있는 수의사는 종사자가 적절히 1) 해당 방사선 또는 기타 위험을 이해하고, 2) 자신, 동물 및 주변 사람과 관련되는 방사선방호 전략을 포함해 당면 기술과 절차를 훈련받고, 3) 적합한 PPE(제3.4절 참조)의 제공과 현실적 방호전략을 통해 불필요한 피폭으로부터 방호를 받도록 보장해야 한다.

(79) 공감은 다른 이의 감정을 이해하고 공유할 수 있는 역량이며, 포괄성은 모든 당사자를 의사결정 과정에 참여시킴을 의미한다. 공감은 타자와 의미 있는 약속 및

52) <역주> 소위 '동물의 5대 자유'와 연계된다. 동물의 5대 자유: 1) 굶주리지 않을 자유, 2) 불필요한 불편과 고통이 없을 자유, 3) 병이나 부상을 치료받을 자유, 4) 자연처럼 행동할 자유, 5) 불안이나 공포 상황에서 벗어날 자유.

표4.1. ICRP 138(2018a)의 핵심윤리 및 절차윤리 가치와 보충해석

핵심가치와 절차가치	보충해석	설명
선행/비악행	동물복지	동물 돌봄에서 고통의 최소화와 함께 건강과 복지의 조장
신중	지속가능 개발	특히 의사결정이 후세에 영향을 미칠 때 조심하여 행동
정의	단결	가능하면 결과가 공평하고 평등하며 균형 잡히도록 상호전문화 과정의 적용
존엄	생명 존중	사람과 기타 생명체가 가치와 중요성을 가짐을 인식
책임	책무	애완동물, 가축, 토지, 자원 또는 의료기록이나 기타 개인정보까지 자신에게 위탁된 것의 책임 있는 사용 또는 관리
투명성	자율 존중	유익한 결정을 위해 해당 위험과 이익을 알 개인권리를 지원하는 열리고 정직한 소통
포괄성	공감	타자와 의미 있는 약속 및 상호 납득 가능한 결과를 위한 요구, 도전 및 가치의 존중

상호 동의할 수 있는 결과를 위해 수요, 걸림돌, 타자의 가치를 인정함을 통해 포괄성과 연계된다(예: ICRP 2020b). 물론 수의사와 직원은 동물복지를 옹호하고 우선순위를 두어야 하지만 의사결정은 경제가치와 주인의 재정 수단과 수용에 근거할 수밖에 없다(Weil 1951, Kipperman 등 2017).

(80) 표4.1의 가치와 기타 윤리가치나 원칙 사이에는 다양한 상호연계가 있고, 위의 논의는 모두가 아니라 방사선방호의 핵심가치와 절차가치에 약간 추가적 맥락을 제공하려는 것이다. 예를 들어 투명성은 자율 존중의 표현인데 이는 다시 존엄과 강하게 연계된다(ICRP 2018a, Ban 등 2022). 상호전문화 과정이 공평과 참으로 협력적인 의사결정과 관련되므로 단결은 정의와 포괄 성분을 가진다(ICRP 2006). 지속가능 개발은 정의와 신중 성분을 가져서 우리는 일이 공평하기를 원하지만, 미래 요구가 무엇인지 확실히 알지 못하면서 의사를 결정해야 한다. 공감 성분은 동물의 고통이나 비통에 대한 인식의 개선을 도우며 동물복지와 결부된다(NC 2009, Ellingsen 등 2010). 생명의 경외와 지속가능 개발은 세상 생물의 다양성과 변동성 즉, 생물다양성 유지를 함께 지원한다. 비록 후자의 윤리원칙이 환경보호와 더 연계되지만(ICRP 2003b, UN 2015), 생물다양성 유지가 종종 수의학 전문성에 접근하여 도움을 받을 수 있는 능동적이고 학제적인 노력이기에 수의진료와 중첩이 있다.

(81) 여러 윤리가치가 상호작용하는 다른 예는, 수의진료에서 방사선방호를 벗어나거나 때로는 수의진료 자체를 벗어나는 것이지만 실험실이나 야외 설정에서 동물을 연구 목적으로 이용하는 것이다. 그러한 연구는 생물학에 대한 우리의 기본적인 이해를 확장하고 사람 건강, 환경 건강 및 동물복지를 증진하는 입증된 가치가 있어 사회적 이익을 갖는 것으로 인정된다(NRC 1991,2009, Friend 등 1999). 그러나 대상 동물에게는 이것이 명백한 해로움이므로 실험은 과학적, 기술적, 인간적으로 적절하고 가능하면 해를 입힘을 회피하라는 공공 기대도 있다(NRC 2011). 달리 말하면, 연구 공동체는 관련된 동물에 대해 책무가 있고, 동물복지를 위한 책임을 인정함으로써 연구 설계와 결과의 신중한 평가를 필수로 한다(NRC 2009,2011, Vasbinder와 Locke 2016). 그러나 실험동물 사용에 대한 상세 논의는 이 간행물 범위 밖이어서 여기와 소절6.1.4에서 언급한 이상으로 부연하지는 않는다.

제5장

수의진료의 특수성

(82) 수의진료에서 방사선 이용의 많은 부분이 의학물리사와 같은 방사선방호를 아는 사람의 적극적 참여 없이 진행되었고, 종종 적절한 방사선방호 기틀도 없었기 때문에 여러 이슈가 제기된다. 바람직하게는 해당 이해당사자(예: 개업 수의사, 전문학회, 방사선방호 당국, 방사선방호 전문가)가 긴밀히 협력하여 이러한 이슈를 식별해 교정할 필요가 있다. 아래에 열거되는 이슈는 예시일 뿐 결코 남김없이 제시하는 것이 아니다.

(83) 사람 의료 적용과 비교하면 수의진료에서 방사선방호 어려움은 더 크다. 대형 동물에 적용되는 많은 방사선절차가 야외를 포함해 그러한 절차를 위해 특별히 설계되거나 목적에 맞추지 않은 환경에서 수행된다. 정당화는 현재 우리가 사람 의료에서 익숙한 ‘의뢰지침(referral guidance)’이나 ‘적합성 기준⁵³⁾appropriateness criteria’의 수의학회 등가물로 지원받지 못하고 있다. 촬영 최적화를 위한 DRL이나 유사한 비교 벤치마크도 없다. 비슷한 동물(예: 보통 크기 집고양이)의 동일 질환(예: 갑상선과민증)에 대한 치료 목적으로 투여하는 방사성의약품의 방사능에도 상당한 차이가 있다. 방사선방호 교육훈련, 최적화와 기기 수명주기 이슈에 의학물리사의 참여도 거의 없다. 끝으로 말하지만 중요한 것은 높은 선량 진단이나 치료방사선 절차를 수행하는 수의사 모두가 인정되거나 증명된 전문가 교육훈련을 받은 것도 아니라는 점이다.

(84) 많은 소규모 수의시설에서 전통적 진단방사선 절차가 이루어진다. 점점 더 많은 동물병원에서 CT 스캐너, 콘빔 CT스캐너, C-암, O-암 및 고정형 형광투시기를 볼 수 있는데, 기기를 개장하면 차폐 전략에 각별한 주의가 필요하다. 대형동물은 농장, 마구간, 경매장, 야외에서 다루기 때문에 이동식 방사선촬영기 사용이 표준으로 되어 있다. 안전한 작업장이나 이동식 기기의 합당한 사용의 한계에 한층 더 주의를 요구한다. 핵의학 진료는 그렇게 보편적이지는 않지만, 방사성폐기물(특히 소변)의 취급과 같은 오염 문제에 대한 충분한 고려 없이 도입된 것 같다. 마구간

53) <역주> 환자의 임상지시에 대해 어떤 방사선절차가 정당하고 합리적인지를 판단하는 데 도움이 되도록 만든 지침서. 유럽에서는 ‘의뢰지침’이라 부르고 미국에서는 ‘적합성기준’으로 부르는 경향이다.

에서 방사성물질을 말 관절에 투여하는 것처럼 일부 치료준위 개입은 동물병원 밖에서 이루어져 오염 우려를 초래한다. 일반적으로 핵의학에서 오염 잠재가 있는 이동 선원인 동물은 특히 병원의 격리 밖에서는 특별한 고려가 마땅하다. 다른 방사선치료인 원격치료나 근접치료는 아직 드물고 동물병원 내에 한정되지만, 절차에서 동물과 관련된 사람 모두에게 잠재적 방사선위험을 무시해서는 안 된다. 참고로 그러한 치료 방안이 널리 가용할수록 동물병원이 여기서 서술하는 방사선 방호안전에 추가하여 특별한 핵안보⁵⁴⁾ 도전을 직면할 수도 있다.

(85) 점차 수의진료 전용 기기가 더 가용하지만 수의진료에는 사람 의료에서 온 중고기기가 아직 많다. IAEA(2021)가 잘 설명하듯이, 방사선방호와 품질관리 프로그램에 따라 첫 사용 전에, 이후에도 정기적으로, 기기의 안전성과 성능을 검증해야 한다. 품질 점검은 촬영이나 치료 사슬에 걸치는 모든 기기(예: 핵의학 카메라, 영상 모니터 등)를 포함할 필요가 있고 방사선 방출기기가나 선원에 한정해서는 안 된다. 수의진료 특화기기(예: FIDEX CT) 도입도 증가하고 있는데, 이는 의료표준이 아닌 산업표준을 따른다. 원론적으로 목적에 맞는 전용 기기는 환영할 일이지만 이들도 적절한 방사선안전 표준에 적합해야 한다. 마찬가지로 동물병원이 차폐 요구에 대해 합당하게 고려하지 않았을 수 있다. 예를 들면 어떤 방은 고정된 침상 위에 1차빔이 천정에서 바닥으로 향하는 전통적 X선 촬영실용으로는 차폐가 적절히 설계되었을지라도, C-암을 사용하는 중재방사선 절차용으로는 차폐가 적절하지 않을 수 있다.⁵⁵⁾

(86) 역사적 이유로 대부분 수의사는 기본 교과로 표준 방사선촬영기(고정식, 이동형 또는 모두) 사용에 대해 배웠다. 교육은 방사선방호의 기본 개념을 포함해야 한다. CT 스캐너나 중재방사선, 핵의학 및 방사선치료처럼 위험이 더 수반되는 적용은 분명히 해당 방사선방호를 포함한 추가 교육훈련을 요구한다. 여러 수의대학 및 전문학회(예: 미국 수의방사선학회ACVR, 유럽수의진단촬영학회ECVDI)에서 기초나

54) <역주> nuclear security. 본래 '핵안보'는 핵물질을 악용한 조잡핵무기 위협으로부터 세상을 보호하기 위해 이런 목적에 사용될 수 있는 핵물질에 대해 국제적으로 견고한 보안체계(핵물질 사찰 포함)를 구축, 운영하는 것을 말한다. 2001년 뉴욕 9/11 사태 이후에는 다량의 방사성물질을 악용한 '방사능폭탄dirty bomb'이나 은밀한 방사능 살포와 같은 방사능 테러 위협을 관리하기 위해 기존 이상의 고방사능 물질에 대해서는 도난, 절취를 예방하기 위한 보안대책을 강구할 것을 요구한다. 본래의 '핵안보'와는 차원이 다른 '고방사능물질 보안'이지만 넓은 의미로 핵안보란 표현을 사용한 것으로 이해할 수 있다. 고방사능 보안대책은 핵종과 방사능에 따라 범주를 정하고 범주 1과 2 선원에 대해 물리적 장벽, 침입 감시 및 경보, 대응 타격 요건을 규정하고 있다(원자력안전위원회 방사성물질 물질적방호에 대한 규정 참조).

55) <역주> C-암은 갠트리가 360도 회전하므로 1차 빔이 여러 방향을 향할 수 있다.

전문화 교육훈련 프로그램을 제공하고 있으나 해당 교육과정이 필요한 이론 방사선과학 교육이나 구체적 방사선방호 주제에 대한 실제훈련을 반드시 포함하지는 않는다. 그 결과 방사선방호 당국도 방사선방호에 충분히 능숙한 학위(보드입증 전문가)를 자동적으로 고려하지는 않고 있다. 이의의 여지는 있으나 더 복잡하고 위험이 수반되는 기법의 기술은 '전문가' 프로그램을 성공적으로 이수한 수의사로 제한할 수 있을 것이다. 이것이 제공되는 돌봄이나 서비스의 품질과 수반 방사선방호를 위해 유익하기 때문이다. 수의 부문 방사선 이용에서 다양한 촬영이나 치료 방식의 적용과 관련된 기초 및 특별 교육훈련 요건은 국제적으로 놀랄만한 차이가 있다. 유럽 의료위원회(European Commission for Human Medicine)가 개발한 모델에 영감을 받아 HERCA가 수의 전문가에게 특정한 방사선방호 교육훈련 지침을 개발했음은 주목할 일이다(HERCA 2017, IAEA 2021). 참고로 ICRP 113(2009b)은 사람 의료에 초점을 맞추고 있지만 수의진료에서 병행하는 표준 개발을 유식하게 하는데 유용할 수 있는 교육훈련 정보를 싣고 있다.

(87) 해당 방사선방호 요건에 이런 차이가 발견되므로, 훈련 요건에 어떤 균질화가 필요하다(Gregorich 등 2018). 이러한 노력에는 지속적 재교육, 갱신, 그리고 필요하다면 이론 지식이나 실무 기능뿐만 아니라 능력, 성향 및 행동의 적응까지 확장도 포함된다. 만약 방사선사나 방사선치료 기술자와 같은 다른 전문가가 방사선학적 또는 방사선치료학적 절차나 유사업무에 자율적이고 능동적으로 개입하거나 수행한다면 같은 원칙을 적용해야 한다. 이들은 초기 교육훈련 프로그램을 성공적으로 마치고 전문성 수명에 걸쳐 정기적으로 지식, 기능 및 역량을 재훈련하거나 갱신해야 한다. 이런 과정에는 반드시 방사선방호를 포함해야 한다. 적절한 규제 기틀 안에서, 절차에 참여하는 모든 사람의 역할과 책무를 명확히 수립하는 것과 이들이 해당 교육훈련을 받고 계속 받는 것은 사업자, 인가받은 사람 또는 시설에 책임이 있는 사람에게 달려있다.

제6장

방사선방호체계의 수의진료 적용

6.1. 수의진료에서 방사선절차의 정당화

(88) 위에서 언급했듯이 정당화 원칙은 방사선방호 기본원칙의 하나로서, 방사선 피폭상황의 변화를 초래하는 모든 결정은 해로움보다 이로움이 커야 한다고 말한다(ICRP 2007a). 동물의 피폭과 함께, 수의진료진도 수의 방사선절차 과정에서 빈번히 피폭한다. 때로는 수의 방사선 사용의 결과로 동물 주인, 조련사, 농장종사자, 기타 일반인 및 환경도 피폭할 수 있다. 그래서 사람, 동물 및 환경의 불필요한 피폭을 예방하기 위해 수의 방사선절차의 정당화가 필요하다.

(89) ICRP 105(2007b)에서 설명한 의료에서 방사선 행위의 3 단계 정당화는 여기서 권고하듯이 수의진료에도 적용될 수 있다(표6.1 참조). 1 단계 정당화는 수의진료에 합당한 방사선 사용은 사회에 해로움보다 이로움이 커야 한다. 이제 방사선절차는 세계 수의진료에서 필수로 되어 1 단계는 정당화된 것으로 간주되므로, 이 간행물에서 추가 논의는 생략한다. 2 단계는 특정 절차가 정의된 그룹의 동물환자 진료를 개선하거나 피폭동물에 대해 필요한 정보를 제공⁵⁶⁾해 해로움보다 이로움이 크다면 주어진 임상목적을 위해 일반적으로 정당화된 것으로 간주한다. 3 단계 정당화는 그러한 방사선절차의 적용이 당해 동물환자의 관리에서 해로움보다 이로움이 클 것을 요구한다. 수의진료에서 2 단계 및 3 단계 정당화는 소절6.1.1과 소절 6.1.2에서 추가로 논의한다. 이들 세 단계 정당화는 동물환자에게 적용되지만⁵⁷⁾ 종사자, 일반인 및 환경 모두에 미치는 위험에 대해서도 고려해야 한다. 특정 절차가 동물환자를 고려할 때는 정당화될 수 있어도 사람에게 대한 위험을 같이 고려하면

56) <역주> 동물에 필요한 정보를 제공하는 예는 경주마처럼 동물의 신체적 성능을 검사하여 정보를 얻는 것인데 이런 행위가 주인에게는 분명한 이득이 있겠지만 당해 동물에게도 이득인지는 불확실하다. 이런 검사를 통해 훌륭한 경주마로 선발되면 대우를 받고 사는 삶이 이득인지, 보통 말로 삶이 이득인지 판단은 어렵다. 아무래도 인간중심적 가치판단이 비중을 차지할 것 같다.

57) <역주> 정당화는 피폭자/피폭동물을 대상으로 판단하는 것이 아니라 행위 자체를 판단하는 것이다. 수의 방사선절차도 동물환자에 적용된다기보다 동물환자, 직원 등 기타 여러 영향까지 고려해 해로움과 이로움을 비교, 판단하는 것이다. 극단적 예로 동물환자에게는 매우 좋은 절차라도 주인에게 너무 비싸면 간단하게 정당화되지 않는다.

표6.1. 사람 의료와 수의진료에서 정당화의 3단계 요약

단계	사람 의료	동물진료에 대한 권고
1단계 (일반사용)	의료에 방사선의 바른 이용은 해로움보다 이로우미 큰 것으로 인정되어 이제 정당한 것으로 한다.	수의학에 바른 방사선 이용은 해로움보다 이로우미 큰 것으로 인정되어 이제 정당한 것으로 한다.
2단계 (특정 절차와 목적)	특정 목적의 특정 절차는 진료를 개선하거나 피폭자에 관한 필요한 정보를 제공하면 정당화된다.	특정 목적의 특정 절차는 어떤 그룹 동물환자의 진료를 개선하거나 피폭 동물에 관한 필요한 정보를 제공하면 정당화된다.
3단계 (특정 환자에게 절차 적용)	사전에 개인 환자에게 해로움보다 이로우미 큰 것으로 판단되면 방사선절차의 적용이 정당화된다.	사전에 특정 동물환자의 관리에 해로움보다 이로우미 큰 것으로 판단되면 방사선절차의 적용이 정당화된다.

정당하지 않을 수도 있다.

(90) 사람 의료에서 방사선절차의 과용에 대한 인식이 높아지고 있는데, 의료촬영 절차의 상당한 비율이 정당하지 않아 보이게 나타난다(Picano 2004, Holmberg 등 2010, Malone 등 2012). 수의진료에서 비슷한 조사가 이루어지지 않았지만, 사람 의료에서 과용 유발 인자 다수가 수의진료에도 있어(Lysdahl과 Hofmann 2009, Hendee 등 2010) 여기도 정당화되지 않은 방사선 사용을 피하려면 도전이 있을 것 같다. 이들 인자는 임상진단에서 확신을 높이려는 욕구, 방사선량과 수반 위험에 대한 인식 결여, 방어적 의료, 앞서 다른 수의진료에서 수행된 검사에 접근 소홀, 자기의뢰self-referral 및 자기제시self-presentation를 포함하는 경제적 이해충돌 등을 포함한다. 자기의뢰란 한 사람 의사가 의뢰자와 서비스 제공자 즉, '의뢰 의사'와 '촬영 서비스 제공자' 두 역할 모두 하는 것을 의미한다(해석은 외주를 줄 수도 있어도 촬영 자체는 수행한다). 사람 의료에서 자기제시는 어떤 사람이 임상 의사의 뒷받침 없이 영상의학과에 와 어떤 절차를 요청하는 상황에 해당한다. 유사하게 동물진료에서 자기제시는 동물 주인이 수의사의 개입 없이 방사선 절차를 요청하는 상황이 된다.

(91) 자기의뢰의 경제적 유인으로 과용 잠재성이 드러나 있거나(Kouri 등 2002), 규제나 전문직 윤리강령이 있는 많은 나라에서 그러한 관행을 억제하는 사람 의료와는 달리, 수의진료에서 자기의뢰는 예외라기보다 일상이다. 일반 수의진료소나

큰 동물병원 모두에 방사선촬영 기기는 널리 보급되었다. 종종 방사선절차를 주문하는 수의사가 촬영 절차를 수행하거나 결과를 해석하는 사람이다. 이 사람이 촬영 장비 주인일 수도 있고 수의진료에 고용된 사람일 수도 있는데, 자신의 방사선장비 투자에 대한 수익을 보장할 것을 직원에게 명시적/묵시적으로 기대하게 된다. 그래서 방사선기기의 사용을 이끄는 경제적 유인이 수의학에도 종종 있어 과용 우려 인자일 수 있다.

(92) 동물 주인이나 조련사가 앞선 임상검사 없이 즉, 수의사의 방사선절차 의뢰 없이 진단촬영이나 치료절차를 요구하거나, 주인/조련사가 수의사에 의해 지시되지 않은 진료절차를 요구하는 자기제시도 수의진료에서 해당 이슈이다. 수의진료가 실제 주로 개인 개업자가 수행하는 서비스를 제공하므로, 일부 수의사는 소비자 요구(매매전 검사에도 해당)에 대해 수의진료 사업 손실을 피하려면 따를 수밖에 없다고 느낄 수 있다.

6.1.1. 의료절차의 정당화

(93) 수의학에 전문화된 영상의학자는 세계적으로도 많지 않으며, 대부분 수의진료는 내부 영상의학자가 없다.⁵⁸⁾ 그래서 진단절차의 선택뿐만 아니라 결과 해석도 종종 일반 수의사나 다른 전문(영상수의학 아닌) 수의사가 영상수의학자 의견 없이 수행한다. 종종 방사선절차를 수의기사/수의방사선사⁵⁹⁾로 훈련받지 않은 사람(예: 일반 수의사 또는 동물보건사/수의기사)이 수행한다. 기본 교육이든 계속교육이든 방사선절차에 참여하는 수의진료진에 대한 적절한 교육훈련은 그러한 절차의 정당화와 최적화를 보장하기 위해 필요하다. 훈련은 여러 방사선절차로부터 방사선량과 수반 위험에 대한 인식을 높여야 한다. 훈련을 이수한 사람은 촬영과 기기 품질관리를 수행할 수 있어야 하고, 동물 주인이나 조련사와 유효한 위험소통도 해야 한다.

(94) 의뢰지침이나 적합성기준(EC 2014, Subramaniam 등 2019)과 같은 의사결정 도구는 직접 영상수의학자의 입력이 없는 2 단계 정당화를 위해 수의학에서 특히 유용할 것이다. 이러한 지침이 널리 채택되려면 접근이 용이하고 무료이며 사용이 편리해야 한다(예: 이상적으로는 의무기록체계와 병합을 통해). 그런 지침은 국

58) <역주> 국내에도 전문수의사 제도가 필요하다는 의견이 많지만 아직 법률로 제도화되지는 않았다. 수의사가 석박사 과정에서 특정 분야 훈련과 논문을 발표한 것으로 ‘안과 전문’ 등으로 표현하고 있지만 공식 전문수의사는 아니다.

59) <역주> 현재로는 국내 제도는 ‘동물보건사’ 제도밖에 없다. 동물보건사는 방사선절차를 수행할 수 없는 것으로 본다. 수의방사선사 양성과 제도화가 필요하다.

가/국제 영상수의학 전문학회가 수의전문기구, 동물건강 규제당국 등과 협력하여 개발해야 하는데, 초기 제작과 주기적 갱신을 위해 많은 시간과 예산 약속을 요구할 것이다.

(95) 의뢰지침이나 적합성기준은 여러 방사선절차(예: 일반 X선, CT 촬영)에 대한 정보뿐 아니라 방사선을 사용하지 않는 촬영 방법[특히 초음파나 자기공명촬영(MRI)]에 대한 정보도 포함하는 점에 주목하라. 정당화 관점에서 모든 기여인자(예: 가용성, 비용 등)에 대한 신중한 고려가 대등한 수준이면, 요구되는 정보를 가장 낮은 피폭 또는 피폭 없이 제공하는 촬영법(가용하다면)이 우선해야 한다.

(96) 수의진료에 새 유형 방사선기기를 도입하거나 고려할 때는 기기의 방사선방호 함의를 평가해야 한다. 이제 시장에 수의 전용 방사선기기가 증가하고 있는데, 이들 기기가 의료기기에 요구되는 영상품질과 방사선방호 표준을 반드시 만족하는 것은 아니다. 그러한 새 기기의 채택을 정당화하기 위해서는 잠재적 구매자와 규제당국의 경계심이 필요하다.

(97) 셋째 단계 정당화는 개별 환자의 관리에 방사선절차가 필요하기를 요구한다. 진단절차라면 주어진 임상 질문에 답을 주고 환자의 진단, 예후 또는 치료에 기여가 있어야 한다. 방사선을 덜 받거나 전혀 받지 않는(예: CT를 MRI나 초음파로 대체) 대안 방식도 고려해야 한다. 정당화의 한 부분은 가용한 방식이라는 제약 아래서 가장 적절한 검사를 결정하는 것이다. 영상의학 요구는 영상의학자나 내외부 검사자가 특정 검사가 정당화되는지를 평가할 수 있는 충분한 임상정보를 포함해야 한다.

6.1.2. 의학적 지시 없는 연구의 정당화

(98) 의료 진료가 아닌 목적으로 무증상 동물 촬영이 수의학에서 자주 수행된다. 여러 나라에서 개의 엉덩이나 무릎 형상이상에 대한 스크리닝을 실시하고 있으며 (Verhoeven 등 2012, Hazewinkel 2018), 많은 동물을 육종 선별과정의 일부로 촬영한다. 말 혈통대장 다수는 인정한 종마에 대해 규정된 방사선투과검사를 요구하며 (Verwilghen 등 2009), 나이든 경주마에 대해 거래전 방사선검사가 많은 나라에서 표준 관행이 되었다 (Cohen 등 2006, RIRDC 2009, Furniss 등 2011, Miyakoshi 등 2017). 다른 말, 가령 오락용과 대회용 말도 구매 과정에서 방사선 검사를 빈번히 수행하며, 보험회사는 가입 과정의 일부로 방사선학적 연구를 요구할 수도 있다. 그러나 여러 경우에서 수행한 방사선학적 연구는 현행 임상 증거와

일관되지 않을 수 있다(Barrett 등 2018, Steel 등 2019).

(99) 그래서 의학적으로 지시되지 않은 방사선절차에 대해 2 단계 정당화가 중요하다. 절차의 유용성에 대한 임상증거에 특별히 주의해야 하는데, 선정된 촬영절차가 궁금한 상태를 검출하고 스크리닝을 위해서는 잠재적으로 매우 많은 동물에 적합한지 확인해야 한다(Bladon과 Main 2003). 나아가 촬영 발견과 스크리닝 목표 사이에 입증 가능한 관계도 있어야 할 것이다. 예를 들어 육종 적합성 검사에서는 문제의 특성이 충분한 유전성을 가지고 집단에서 유행하여 잠재적 육종동물 사이 적당한 선별자가 될 수 있어야 한다(예: Brune 등 2020). 매매전 검사에서는 촬영 결과가 동물의 미래 성능을 예보해야 한다(예: Baldon과 Main 2003, RIRDC 2009). 다시 말하지만 전문 수의학 분과 기구는 전문 수의학회, 규제당국, 육종학회, 보험회사, 그리고 필요에 따라 사업자 대표나 기타 이해당사자와 함께 적절한 적합성기준을 개발해야 한다.

6.1.3. 방사선절차의 이득과 위험

(100) 수의진료에서 주어진 방사선절차가 정당한지 판단할 때는 피폭동물, 때로는 더 일반적으로 그들이 속하는 집단, 수의진료진, 동물 주인 및 조련사, 일반인, 사회 전반, 그리고 환경에 미치는 이득과 위험의 균형을 모두 고려해야 한다.⁶⁰⁾ 이는 지시된 요구에 대해 방사선량이 더 낮거나 없는 다른 방식에 대한 고려도 포함한다. 정당화의 선행/비악행 특성과 함께, 적절한 균형의 모색은 필연적으로 신중을 기하는 것과 관련된다.

(101) 피폭동물의 이익은 동물환자의 경우는 개선된 진료로부터 직접 이득을 포함한다. 한편, 매매전 또는 육종 적합성 검사는 동물이 의도한 목적에 적합한지, 그리고 장래 이용에서 부정적 건강영향을 겪지 않을지 확인하는 데 도움을 줄 것이다. 무증상 동물의 스크리닝 검사는 임상 미만 질환의 발견에 도움이 되며, 그러한 조기 진단은 잠재적으로 증진된 치료결과로 이어질 수 있다. 개개 동물의 복지 이

60) <역주> 정당화된 최적화된 결국은 손해와 가치의 비교 판단에 근거한다. 사람 의료에서는 방사선절차가 가능하기도 쉽지 않을 정도로 큰 가치가 있는 사람 환자의 생명이나 건강을 보상받는 일이기도 어려우므로 판단이 어렵지 않다. 이에 비해 수의 방사선절차는 보상받는 동물의 생명이나 건강이 얼마나 큰 가치를 가지는지 합의가 어렵다. 동물을 보호하기 위해 사람이 피폭하는데 그 균형을 어떻게 맞출지에 대한 기준이나 가치 지침도 없다. 원론적으로는 정당화와 최적화가 피폭동물은 물론 관련된 사람과 환경 모두를 고려해 종합적으로 판단해야 하지만 위와 같은 여건에서 현실적으로 가능한지 의문이다. 결국 수의 방사선절차를 제안하는 입장에서는 동물이나 그 주인의 편익에 대해서는 피상적 판단(예: 주인의 비용 지불의사 규모)을 바탕으로 가치와 부담을 비교할 것 같다.

득에 추가하여, 촬영 결과에 근거하여 집단에서 바람직하지 않은 특성이나 의학적 상태를 줄일 수 있다면 동물집단의 복지도 육종 적합성 검사를 통해 개선될 수 있다.

(102) 방사선의 적절한 사용으로부터 얻는 수의진료진의 이득에는 환자에게 가능한 최선의 진료를 제공하는 능력, 고객만족, 방사선절차(그리고 추적 치료)로부터 경제적 수익이 포함된다. 주인이나 조련사는 그들 동물의 진단 개선이나 적절한 치료로부터 감성적, 경제적 이득을 얻을 수도 있다.

(103) 수의진료에 적절한 방사선 또는 그 대안 사용으로부터 직접 이익이 있는 동물환자, 주인 및 수의진료진 외에 사회 전반도 그런 사용으로부터 이익이 있다. 동물 건강은 사람 건강과 연계되며, 동물 건강에 기여하는 방사선절차가 특히 동물원 생動物原性 질환의 관리에 기여한다면 사람 공중보건도 증진시킬 수 있다(Viljoen과 Luckins 2012, 부록 B도 참조). 나아가 건강한 사육동물이나 가축 집단은 공중보건과 사회경제를 이롭게 할 것이다. 경주나 쇼 등 다른 산업도 동물 건강 개선으로 경제적으로 이득을 얻을 수 있다. 희귀종이나 멸종위기종의 경우, 동물원 동물이나 야생동물의 질병 진료에 방사선절차 사용이 그 보전 노력에 편익을 줄 수 있다. 무엇보다 생산이나 유희에 동물을 이용하는 윤리에 사회적 관심이 증가하고 있어, 이들 동물의 양호한 건강을 보장하는 것은 그러한 이용의 사회적 수용을 위한 전제로 간주될 수 있다.

(104) 피폭 동물의 방사선위험은 확률론적 영향과 조직반응을 포함한다. 확률론적 영향의 위험은(조직반응에 비해) 보편적 투과촬영에서 지배적인데 반해, 수의진료에도 CT안내 또는 기타 중재방사선과 같은 고선량 진단절차가 점점 많이 수행되고 있어 조직반응(특히 피부에)을 초래할 수 있다(Balter 등 2010, Cléroux 등 2018). 나아가 수의 방사선치료에서는 조직반응과 관련된 악영향도 정상조직에서 종종 발견되고 있는데, 그 발생확률은 종양관리나 통증관리의 임상이득과 신중히 균형을 맞춰야 한다(예: Collen과 Mayer 2006, Gieger와 Nolan 2017). 반대로 적절한 방식에 접근하지 못하거나 진료 방식의 부적절한 선택은 오진이나 부적절한 치료로 인해 동물 건강에 악영향으로 이어질 수 있다.

(105) 수의진료진은 방사선기기의 운전; 영상 검출기 잡기; 진단절차에서 동물 제지; 핵의학, 중재방사선 또는 치료절차 수행 또는 보조; 비밀봉/밀봉 방사선원으로 핵의학 진료 후 동물 돌봄 등으로 수의 방사선절차와 관련된 방사선량의 대부분을 받는다. 대부분 수의진료진 선량은 낮을 것이지만(소절6.2.2 참조), 시간이 지나면

확률론적 영향 발생에 잠재적으로 기여할 수 있다. 나아가 사람 의료에서 방사선작업자에 대한 역학연구는 저선량을 만성적으로 피폭한 중재방사선 시술의사와 핵의학 기사에게 높은 백내장 발생을 확인했다(ICRP 2012b). 중재방사선처럼 선량이 높은 절차 장시간 수행, 가능한 핵의약품 쏟음, 치료절차에서 사고는 결정론적 영향으로 이어질 잠재성이 있다. 방사선절차를 보조하거나 핵의학 절차 후 조련하면서 피폭하는 주인이나 조련사도 비록 낮지만 주로 확률론적 영향 위험에 처할 수 있다. 방사선절차를 보조하는 일반인은 현재 논쟁 주제인데 소절6.2.1에서 더 논의한다.

(106) 진단/치료 핵의학절차 후에는 절차가 수행된 수의시설에서 배출을 통하거나 수의시설에서 퇴원한 동물이 배설한 방사능으로 환경오염도 발생할 수 있다. 수의시설에서는 방출이 잘 관리되고 규제되는 편이지만, 동물이 퇴원한 뒤에는 불확실하다. 이 불확실성은 퇴원시 동물 체내의 방사능 수준, 사용한 방사성핵종의 제거 메커니즘, 동물 격리 및 폐기물 관리에 대한 수의진료의 권고, 그리고 주인이나 조련사의 권고 이행 수준에 따라 다르다. 환경오염은 방사환경 영향과 사람의 외부피폭 및 오염으로 인한 내부피폭으로 이어질 수 있다. 환경오염 결과의 특성과 정도는 오염 사건의 유형, 수준 및 기간에 따라 다르다(ICRP 2014a).

6.1.4. 연구동물

(107) 많은 경우 수의진료를 넘어 방사선, 방사능물질의 존재나 사용과 동물이 관련된 연구를 수행해야 하는 여러 정황이 있다. 이러한 동물은 보통 동물환자로 간주하지 않는데, 연구동물에 대한 상세한 논의는 이 간행물 범위 밖이다. 이 맥락에서 정당화는 연구에 따라 연구윤리와 실험/연구동물 관리와 사용(예: 대체, 감축, 개선⁶¹); Russel과 Burch 1959)이라는 넓은 개념에서, 그리고 지역 및 국가 지침이나 규정에 따라 수행해야 한다(예: Friend 등 1999, NRC 2011).

6.2. 수의진료에서 방호최적화

(108) 방사선방호체계에서 ‘최적화는 계속되는 반복적 과정으로서 여건에서 최선의 방호수준을 달성함을 목표로 한다’(ICRP 2007a). 최적화 과정에서 고려하는 인자

61) <역주> Replace(대체), Reduce(감소), Refine(개선)으로서 실험동물의 대체, 감소, 개선 원칙, 또는 3R이라고도 한다. 즉, 동물 실험을 대체하는 가능한 대안을 찾으며, 최소화하고, 실험동물 복지를 높임을 목표로 한다.

는 동물복지, 그리고 수의진료 서비스의 동기가 경제적(예: 기능마) 또는 사회적(예: 반려동물)인지도 포함한다. ICRP 101b(2006)는 차등접근 필요성을 포함해 최적화 원칙의 역사, 진화 및 이행에 대해 상세를 제공한다.

6.2.1. 일반 고려

(109) 사람 방호안전이 최적화 노력에서 우선으로 보지만, 이는 동물의 피폭을 참으로 필요한 수준으로 제한하면 이미 대개 달성될 수 있음을 깨닫는 것이 중요하다. 동물의 피폭을 줄이는 것은 어떤 방식이든 수의진료에 개입하는 사람의 방호에, 그리고 해당 환경보호에 거의 항상 유리할 것이다. 수의절차에서 방사선방호 최적화를 위한 첫 단계는 필요한 임상효과를 가능한 최소 방사선량으로 달성하여 순이익을 극대화하는 방식으로 촬영 매개변수를 조정하거나 투여 방사성의약품 방사능을 조절하는 것이다.

(110) 이제 동물의 방사선검사는 어릴 때부터 보편적 관행(예: 스크리닝 검사)인 경우가 있고 특정 동물에게는 일생 관행이다. 애완동물은 조기 진단 및 특화된 약품을 포함한 견고한 수의학적 관리 덕분에 예전보다 훨씬 오래 생존하게 되었다(Cozzi 등 2017). 방사선검사의 보편화와 빈도 증가, 그리고 반려동물의 늘어난 수명으로 인해 피폭 동물에 대한 방사선방호 고려를 명시적으로 포함하는, 수의절차에서 방호안전 최적화에 더 많은 관심이 필요하게 되었다.

(111) 최적화는 일반적으로, 첫째 적절히 설계/건설한 시설과 주의 깊게 선정한 기기, 둘째로 적절하고 주기적으로 갱신하는 직원 교육훈련, 그들의 정확한 역할과 책임의 명확성, 기기에 대한 일상적 성능시험, 절차규칙의 체계적 적용, 이 모두를 기관 차원 안전문화에 몰입시키는 것으로 달성된다. 특히, 수의진료진은 종종 여러 서비스를 수행하므로(IAEA 2021) 최적화 과정은 합리적인 모범관행에 근거한 선량 제약치 설정을 포함한다. 이러한 접근은 사람 의료 관행에서 옹호하는 바와 일관된 것이다(ICRP 2007b). 현재로서는 예를 들면 동물별 DRL 또는 유사한 촬영 안내변수와 관련된 지침이 가용하지 않다. 그러나 동물의 사회적 가치를 고려하면 사람 환자에 상응하는 최적화 전략이 동물환자에게도 유효해야 한다.

(112) 최적화를 선량 최소화와 혼동하지는 말아야 한다. 선량감축에 과도하게 집중하면 절차의 진료품질을 침해할 수 있어 최적미달 돌봄이 되어 절차를 되풀이해야 할 수도 있다. 선량 최적화와 최소화 사이 이 분명한 구분은 방사선치료에서는 극히 중요한데, 여기서는 선량 미달은 미흡한 종양관리로 될 수 있다. 심지어는 최적

절차에서도 조기 또는 만성 부작용 발생이 불가피할 수도 있다. 무엇보다 방사선 유발 위험은 고려할 요소의 하나일 뿐이므로 방호안전 최적화는 광범한 동물복지 고려만이 아니라 수의진료진이나 일반인의 일반 안전까지도 고려해야 한다.

(113) 수의사나 수의진료진은 여러 도전과 위난을 직면할 수 있는데, 방사선피폭은 그중 하나이다. 예를 들면 물림, 긁힘 및 차임과 같은 다른 위난이 더 중요할 수도 있고 분명히 더 급성 이슈이다. 그래서 수의진료 근로자를 위한 최적화 과정은 위험, 이득 및 현실성을 널리 포괄해야 한다. 달리 말하면, 다른 피폭상황에서와 일관되게 여건에서 가장 합리적인 방법으로 방호수준이 최적화되어야 한다. 물리기 쉬운 환자를 다룰 때는 장갑을 꺼야지만 환자가 검사를 진행할 수 없을 정도로 장갑을 두려워한다면 장갑을 벗고 대안 전략을 고려하는 것이 신중한 접근이다.⁶²⁾

(114) 마찬가지로 방사선방호 목적에서 진정이나 마취가 종종 선호되지만, 때로는 동물에게 위해를 수반하므로 그것이 환자 제지에 최선 방안이 아니라는 결론이 날 수도 있다. 허용된다면, 사람에게 약간의 방사선피폭이 발생하더라도 주인이 동물을 제지하는 것이 최적일 수도 있다.⁶³⁾ 이때는 분명한 지침을 제공하고 방호기기를 채택하여 사람의 피폭을 줄여야 한다.

(115) 방사선방호체계에서 직무피폭이나 의료피폭이 아닌 피폭을 받는 사람으로 정의되는(ICRP 2007a) 일반인에게도 최적화는 분명히 적용된다. 수의진료와 관련해서 애완동물 주인/조련사, 대기실에 있는 고객, 말 검사 등을 보조하는 농장인력 등이 일반인에 포함된다.⁶⁴⁾ 어떤 국가에서는 일반인은 수의 방사선절차를 보조하는 것을 허용하지 않는다. 그런 경우라도 다음과 같은 조건이 충족되면 일부 절차를 보조할 수 있다: 1) 절차가 정당화되었다, 2) 위에서 논의했듯이 사람의 존재가

62) <역주> 애완동물에게 주인의 맨손은 먹이를 주고 쓰다듬어 주는 친밀한 대상이다. 익숙하지 않은 물체로 가린 손은 혐오나 두려움을 줄 수 있고 그래서 공격 대상이 될 수 있다.

63) <역주> 사람 의료에서는 환자를 돌보는 간병인의 피폭이 이해동의 아래 이루어지고 합리적 수준이면 정당한 것으로 본다. 나아가 그 피폭을 '의료피폭'으로 인정해 일반인피폭과 달리 본다. 수의진료에서 주인이나 조련사가 같은 목적으로 받는 피폭을 같은 논리로 정당화되는지에 대한 명시적 논거도 필요하다. 더욱이 이 경우 돕는 사람의 피폭을 가령 '수의피폭'으로 다룰 수는 없으므로 그 피폭범주를 무엇으로 볼 것인지도 의문이다. 일반인피폭 선량제약치 범위 안에서 다룰 수 있다면 좋으나 그렇지 못할 경우가 문제이다. 현행 사람의 피폭범주 분류체계가 너무 제한적임을 방증하는 한 예이다.

64) <역주> 위 설명과 마찬가지로 이런 사람들의 피폭을 '일반인피폭'으로 분류할 수밖에 없는 것이 현행 체계의 약점이다. 이들은 대개 이해동의 아래 참여하므로 일반인으로 간주해 매우 제한적인 선량한도나 선량제약치를 적용하는 것은 무리라고 본다. 차기 ICRP 기본권고에는 피폭자 분류체계의 개선을 기대해 본다.

포괄적 관점에서 전체적으로 이익이다(제111항 참조), 3) 당사자가 해당 잠재 위험에 관한 정보를 받았고 한정된 피폭을 받음에 동의했으며, 4) 피폭을 최소화하기 위해 어떻게 행동할 것인지(어디에 서고, 손은 어디에 두고 어떤 방호장구를 착용하는지 등) 지침을 받았다. 아동이나 임신한 여성은 그러한 방사선절차를 보조함이 허용되지 않는다.

(116) 특정 사례에서 고려할 요소가 많고 다양하므로 최적화는 신중하고 합리적인 범위 안에서 각 사례의 수요에 가장 알맞도록 맞춰야 한다. 이 개별 접근은 임상 요구를 먼저 고려해야지만 절차가 이루어지는 전체 환경도 고려해야 한다(예: 주인의 희망, 장소와 운송시설, 가용기기 등).

(117) 잠재적 유해 물질을 사용하는 수의진료의 다른 분야와 일관되게, 신중은 최적화 과정에 강하게 관련된다. 예를 들어 희망 임상 영향을 얻는 데 50 mg 약품이 충분하다면 100 mg을 사용하는 것은 이치에 맞지 않다. 주어진 여건에 다양한 위험인자가 존재해 가장 합리적이도록 가치판단을 하는 데는 필연적으로 신중이 개입된다. 낯설고 드물거나 선례가 없는 상황[외래 동물 또는 동물원 동물의 경우처럼(예: Adkesson과 Ivancic 2019, Schillger 등 2020)]에서는 유자격 전문가(자격증 있는 영상수의학자⁶⁵⁾, 방사선물리사, 안전관리자, 혹은 방사선 안전에 인정되는 전문성이 있는 사람)를 자문하는 것이 신중한 자세이다.

6.2.2. 영상수의학에서 최적화

(118) 수의학에서도 주된 직무피폭원은 진단촬영이다(UNSCEAR 2010). 이 방식으로부터 직무피폭은 주로 산란방사선 때문이므로 개인 유효선량은 낮다. 그러나 나쁜 관행이 불필요한 피폭을 초래함은 오래전부터 인식되어 왔다(Wantz와 Frick 1937, UNSCEAR 2010). 나아가 사람 의료에서 현대의 고선량 방식이 주는 의료진과 환자의 선량은 환자와 의료진 모두에게 중요함을 우리는 알고 있다. 이는 중재방사선에서 현저하다(Wagner 2007, Miller 등 2010, Balter와 Miller 2014, ICRP 2018b). 의료진의 교육훈련이 최적화에 필수임은 요점이다. 이런 관점에서 인포그래픽이나 게시된 표지와 같은 지침 자료가 매우 도움이 된다(Root 등 2020, Belotta 등 2021, Freitas 등 2021).

65) <역주> 현행 국내 법규는 전문수의사 제도를 두지 않지만, 바른 진단을 위해서는 영상 취득과 해석에 충분한 지식과 경험을 갖추도록 전문가 제도를 둘 필요는 있다. 이런 입장에서 국내에서는 제도화되지 않은 용어지만 ‘영상수의학자’로 적는다. 사람 영상의학에서 그러하듯 장래에는 AI 영상해석이 사람을 대신할 가능성은 열려있다.

(119) 방사선절차는 충분히 안전한 환경에서 수행되어야 한다. 방은 사람들이 선원으로로부터 충분한 거리를 유지할 수 있는 공간이 있어야 하고, 수행하는 절차에 상응하는 차폐도 갖춰야 한다. 원래 간헐적으로 표준 소형 동물의 방사선절차를 위한 방이었다면, CT나 중재방사선 절차가 수행되거나 수행하는 절차 수가 증가해 처음 그 방을 계획하고 건설할 때 생각했던 수보다 훨씬 커지면 위험이 발생할 것이다.

(120) 방사선검사나 치료 절차를 위한 지정구역⁶⁶⁾을 정해 물리적으로 구획하고 경고 표지(예: 그림6.1)로 일반인의 불필요한 피폭을 제한해야 한다. 말의 방사선검사는 많은 경우 마구간에서 이동형 발생장치로 수행되므로 검사와 무관한 일반인의 예상치 않은 피폭을 방지하도록 피폭구역을 구분할 때 추가 대책이 필요하다. 가용하면 콘크리트나 블릭 벽으로 된 마구간에서 그러한 절차를 수행하는 것이 차폐 효과가 있어 바람직하다. 이때는 입구에만 표지해도 충분하다. 야외에서 절차를 수행해야 한다면 적절한 표지로 지정구역을 구획할 때는 방사선위험만 아니라 관련된 모든 위험을 고려해야 하므로 더 노력이 필요하다.



그림6.1. 방사선위험을 경고하는 삼엽표지.

(121) 일반적으로 일반인은 방사선 활동이 수행되는 구역 밖에 머물러야 한다. 주인이 방사선절차를 보조하도록 보통 요구하는 작은 동물병원에서 관행은 지양해야 한다. 그러나 때로는 주인의 존재가 동물에게 크게 위안이 되어 더 효율적이고 물리적으로 더 안전한 검사가 이루어지게 할 수도 있다. 그래서 이로써 예를 들면 반복 촬영 필요를 줄여 촬영기사의 전체 피폭을 줄일 수도 있다. 다른 경우로는, 피폭의 특성과 빈도 때문에, 또는 당사자의 특성 때문에 일반인이나 주인/조련사 포함이 부적절할 때도 있다. 예를 들어 마구간에서 일하는 젊은이가 모든 말의 방사선촬영 시리즈를 돕기를 희망하더라도 이는 이로움보다 해로움이 클 것 같다. 검사에 일반인의 보조를 허용할 것인지 결정은 장단점을 비교한 균형에 따른다. 이는 소아 환자 경우와 유사한데(즉, 부모/간병인인데 수의진료에서는 주인/조련사)(ICRP 2013b), 여건을 고려하고 선행/비악행에 초점을 맞춰 신중하게 결정할 필요가 있다. 아동과 임신 여성은 특별한 고려가 필요한데, 일부 국가에서는 그런 활동에 참여가 법률로 배제된다⁶⁷⁾. 일반인 참여가 필요하거나 도움이 된다고 판단

66) <역주> 지정구역에는 ‘관리구역’과 ‘감시구역’이 있다. 관리구역에는 출입을 제한하고 특별수칙을 적용할 수 있다. 감시구역은 출입을 제한하지는 않으나 방사선 상황을 감시하여 안전을 확인하고 출입자에게 정보를 제공해야 한다.

67) <역주> 소아나 임신 여성에게 피폭을 수반하는 보조는 보편적 정서에서 정당화되기 어

되면, 특정 개인의 피폭을 제한하도록 교대를 고려할 수 있다. 절차를 어디서 수행할 것인지 결정할 때도 마찬가지인데, 동물을 친숙한 환경(예: 마구간의 말)에 두고 수행하는 것이 더 높은 방사선피폭 위험을 내포할 수 있지만 전반적으로는 이로워 가장 합리적이고 최적화된 선택일 수도 있다.

(122) 방사선검사에 관계하는 모든 사람은 가능한 한 1차빔처럼 방사선장 강도가 최고인 곳에서 피폭은 피해야 한다. 합리적이거나 수의진료진이나 주인/조련사의 피폭을 줄이기 위해 정위와 고정 도구나 환자의 진정/마취를 고려해야 한다. 가능하다면 사람은 고정/이동형 방호차폐 뒤에 자리해야 한다. 예를 들어 중재방사선을 시술하는 수의사의 머리, 목 및 상체의 피폭은 천정걸이 차폐를 적절히 활용하면 많이 줄일 수 있다. 최적으로는, 이동형 X선 발생장치나 카세트를 들고 촬영하지 말아야 한다. 말 방사선투과촬영에서 카세트나 X선 발생장치를 잡은 종사자 손의 산란방사선 피폭을 모사한 근래 연구는 손 차폐 없을 때 각각 촬영당 0.26~2.64 μGy 와 0.84~12.09 μGy 임을 보였다. 손 차폐는 사용한 장갑에 따라 다르지만 적어도 98%를 감축시켰다(Belotta 등 2022).

(123) 중재방사선처럼 때로는 수의진료진이 선원으로부터 각기 다른 거리의 방사선장에서 다양한 시간 동안 다양한 업무를 수행해야 할 때도 있다. 외부 방사선피폭이 문제일 때는 방호차폐 사용에 추가하여 여건에 따라 둘러싸는 형식의 방호 납치마, 손/팔뚝 방호대, 갑상선보호대, 보안경(예: 납보안경) 등 차폐 PPE 사용도 고려해야 한다. 손바닥 열린 방호장갑이나 미트(병어리장갑)는 용도가 제한적임에 주의해야 한다. 일반적으로 동물을 손으로 잡고 있을 때는 손바닥 열린 장갑이 아니라 완전히 가리는 납장갑을 사용해야 한다.⁶⁸⁾ 손이 X선 1차빔 안에 들어가면 완전히 가린 장갑도 제한된 방호만 제공함을 명심해야 한다(Mayer 등 2019b). 한 절차를 위해 선정한 PPE의 차폐 특성은 작업장의 다른 위험특성과 균형을 맞춰야 한다. 예를 들어 납치마를 오래 입으면 허리 쪽 등의 과로로 정형외과적 문제가 발생할 수 있다(Martin과 Sutton 2015, Alexander 등 2017). 납치마는 움직임 제한과 함께 작업시간을 증가시키고 물리적 부상을 초래할 수 있다. 그래서 조끼/치마형⁶⁹⁾ 또는 소위 ‘납등가물질’로 만든 경량 납치마⁷⁰⁾를 사용한다. 마찬가지로

럽다. 이는 동물이 이런 주인과 특별히 친밀하더라도 마찬가지이다.

68) <역주> 사람 손이 방사선빔에 들어가지 않더라도 빔에 노출되는 동물의 몸에서 산란된 방사선이 동물 몸으로부터 나오므로 손바닥 차폐가 필요하다.

69) <역주> ‘조끼/치마형’이란 상체 방호용 조끼와 하체 방호용 치마를 분리해(투피스) 하중을 어깨와 골반으로 분산시키는 모델을 말한다.

70) <역주> 경량차폐는 주로 경량재료와 비트무스를 조합한 것으로서 중량 대비 우월한 납등가 차폐 효과를 낸다.

조사되는 동물 신체부위 가까이에서 일할 때 방호장갑의 착용은 종종 합당하다 (Stoeckelhuber 등 2005). 그러나 이러한 장갑 착용은 손재주나 움직임 범위에 악영향이 있어 근육피로 증가 및 작업시간 증가와 관련된 안전문제로 연계될 수 있다(Martin과 Sutton 2015).

(124) 기기와 관련해, 방호최적화는 방사선기기가 해당 업무에 적합해야 하고 노출 변수가 동물환자와 수의진료 작업일상에 적절한 맞춤이어야 한다. 수의진료 현장에서 사용하는 방사선기기는 새것 또는 재활용하는 사람 의료기기로서 정식 인가되지 않은 것(즉, 본래 의도하거나 설계하지 않은 사용)이거나 설계부터 수의진료용인 것일 수도 있다. 어느 유형이든, 생산자가 기기 유지보수를 계속하고, 영상품질이나 방호기능(예: 내부 차폐, 콜리메터)을 저해하는 변경은 없어야 한다. 수의진료용으로 구체적으로 설계된 기기의 경우, 의료표준이 법적으로 요구하지 않는(구축이나 성능에 대한 정립된 표준이 없는) 부품을 생산자가 종종 변경할 수 있다. 그러한 변경은 종종 기기 판매가에 긍정적 영향을 주는 한편, 영상품질, 출력 안정성, 동물환자, 수의진료진 및 일반인의 방사선방호에는 부정적 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면 이동형 촬영기의 내부차폐 감소는 누설방사선과 산란방사선을 상당히 증가시킨다. 많은 국가에서 수의진료 기기를 다룰 때 산업표준을 적용하는데, 이는 수의 돌봄 관점과 방사선방호 관점에서 충분하지 않을 수 있다. 따라서 ICRP는 시판하거나 수의진료에 적용하는 모든 방사선기기에 적절하고 목적에 맞는 표준을 적용할 것을 권고하며, 책임 당국은 기기 인정과 수의진료진의 자격을 인증하는 적절한 표준의 적용을 고려하기를 제안한다. 생산자는 기기를 여러 나라에 판매하므로 이상적으로는 이러한 표준은 국제적으로 인정되어야 한다. 기기 표준은 기기를 전용 수의진료실에 설치할 수 있도록 기기 연결에 대한 요건도 포함해야 한다(예: 방 입구에 신호등, 비상정지 장치, 출입문 스위치).

(125) 영상수의학에서 동일 영상품질이되 환자방호를 위한 최적화 수단에 대해 생산자와 설치 기사가 의논하고 가능하면 이행해야 한다. 여기에는 통상 진단 프로토콜에 필요한 보기view 수의 제한, 시설에 해당 동물의 크기 범위에 대한 고려도 포함한다. 반복 검사나 체계적 전신촬영 요구에 대한 감사를 위한 특별 절차와 함께, 유사한 전략이 CT 검사에도 적용된다. 통상적 상황에 대해 언제 어떤 촬영을 해야 하는지에 대한 국가 의뢰지침의 표준화와, 촬영검사를 어떻게 수행하는지를 설명하는 표준 프로토콜은 세계적으로 수의진료에서 동물 돌봄과 방사선방호 강화에 큰 도움이 될 것이다. 임상이득을 얻지 못한다면 검사를 반복해서는 안 된다. 달리 말하면, 미적으로 좋은 영상을 우세하게 고려해서는 안 된다. 그보다는 영상품질이 자신 있게 진단하는 데 충분하고, 가능하면 낮은 피폭으로 중재방사선을 진행할 수

있어야 한다. 진단영상의 우선순위는 해석할 수 있는가인데, 이는 영상물리만 아니라 어디에 어떻게 데이터가 전시되는가, 주위 환경, 영상을 판독하는 사람의 경험과 같은 인자에도 달려있다. 동물 선량의 합리적 감축과 연구 품질의 개선은 동물과 수의진료진 모두의 선량을 줄여 방호안전 최적화에 기여한다.

(126) 어떤 종류든 방사선촬영 절차의 최적화에서 매우 중요한 단계는 당면 임상 사례에서 필요 부위로 노출 조직체적을 한정하는 것이다. 표준 진단 영상의학이나 중재방사선 형광투시에서 빔 콜리메이션으로 이를 달성할 수 있다. CT에서는 스캔 길이 제한으로 달성된다. 이러한 간단한 수단이 환자선량을 줄이고, 노출 조직이나 물질에서 산란선 발생을 감축하여 영상품질을 개선하고 직무피폭자와 일반인의 피폭도 줄인다.

(127) 최적화의 전제는 주어진 피폭상황과 관련된 선량에 대한 철저한 지식이다. 소형/대형 동물의 방사선검사에 참여하는 사람에게 영상당 보고된 선량 (Ackerman 등 1988, Seifert 등 2007, Hupe와 Ankerhold 2008,2011, Barber와 McNulty 2012, Eckert 등 2015), 또는 선 자세로 말 머리의 CT검사당 선량 (Dakin 등 2014)은 0.1~34 μSv 범위에 있다. 범위 상단에 가까운 선량은 전형적으로 큰 개의 복부, 말의 머리, 척추(특히 가슴과 허리 부위) 및 사지와 같은 두터운 신체부위를 촬영할 때였다. 위 연구의 여럿이 연간 선량 평가치는 주어진 담당 건수caseload에서 법정 한도보다 훨씬 낮다고 말하나, 수의진료에서 직무피폭에 대한 다른 연구들(Hernández-Ruiz 등 2012, Canato 등 2014)은 ICRP가 권고하는 연간 선량한도(표4.1)에 접근할 수 있음을 보였다.

(128) 근래에 수의 중재방사선과 수술실 형광투시 안내 수술에 대한 선량계측 데이터가 발간된 게 있는데, 상당한 기간에도 사람과 동물환자 피폭이 종종 아주 근접하다(Sung 등 2018, An 등 2019, Hersh-Boyle 등 2019). 보고된 시술자 선량 수준은 법정 한도에 근접하거나 초과하기도 하는데, 이는 이러한 절차 동안은 정량적 방사선감시와 적절한 방호장구 사용 필요성을 드러낸다.

(129) 동물환자 피폭과 관련한 선량계측 연구는 거의 발표된 것이 없다. 1차빔 선량이나 피부입사면선량은 전형적으로 1 mGy 자리인데 사람 선량에 대한 기여를 평가할 목적으로 보고되었다(Veneziani, 등 2010, Barber와 McNulty 2012). 그러나 동물환자 방호를 겨누는 선량계측 문헌도 나오고 있다. Nemanic 등(2015)은 개의 무릎 촬영에서 선량을 줄이기 위한 납차폐 잠재력을 다뤘고, Hersh-Boyle 등(2019)은 수술중 형광투시 절차를 거치는 개와 고양이의 방사선피폭을 보고했다.

이 연구는 620 mSv⁷¹⁾까지의 선량을 보였다. 그러나 수의진료에서 임상적으로 해당 프로토콜에 대해 선량면적곱이나 CT선량지수와 같은 선량기술자⁷²⁾記述者dose descriptor의 체계적 보고는 기관 내/외 모두에서 결여되어 있고, DRL 또는 유사한 지표도 없었다. 나아가 이들 선량기술자와 유효선량 형태의 방사선위험 사이 관계는 사람 의료에서는 예를 들어 인형/환자기반 체적소형모의체(예: ICRP 2009a)와 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 수립된 바 있지만, 수의진료에서 대해서는 이러한 연계를 수립해야 할 일로 남아있다(비록 앞서 언급했듯이 이와 유사한 모의체가 개를 포함한 동물에 대해서도 개발되었지만). 관련된 종의 수와 종 내에서도 환자 체격 범위 때문에 수의진료에 대한 이 일은 도전이다.⁷³⁾

(130) 사람과 동물환자 모두에 대해 더 많은 선량계측 데이터가 필요한데, 특히 중재방사선이나 형광투시 안내 수술절차와 같은 잠재적 고선량 절차에서 더욱 그렇다. 나아가 CT 중재절차도 수의진료에 점점 유행하고 있어 이들 절차의 선량계측 특성도 다뤄야 한다. 임상적으로 해당되는 프로토콜에 대해 선량기술자의 체계적 보고는 기관 내외 그러한 프로토콜의 비교와 이에 따른 프로토콜 선량에 대한 최적화를 위해 필요하다. 수의진료에 대해 선량기술자와 장기선량 및 수반 방사선위험 사이 관계도 구해야 한다.

6.2.3. 핵의학

(131) 핵의학절차(예: 그림6.2 참조)는 외부피폭과 오염 위험 모두와 관련된다. 방사성의약품과 같은 비밀봉선원은 피부에 묻거나 체내로 직접 흡수될 수 있어 이러한 오염 위험을 줄이기 위한 합리적 방법을 적용하도록 관리해야 한다. 방사성의약품, 투여되는 동물, 이후 동물이 발생시키는 모든 물질(특히 소변) 전부가 잠재적 오염원이다. 이 모두를 적절히 관리해야 하므로 방사선피폭은 물론 오염원 어느 것

71) <역주> 원문은 '617.5 mSv'로서 인용한 논문의 값을 충실히 옮겼지만 이는 본래 논문의 오류이다. 복잡한 피폭환경에 노출된 수의진료 참여자의 유효선량을 617.5 mSv처럼 유효숫자 넷의 정밀도로 보고하는 것은 옳지 않기 때문이다(이런 계산에서 개입되는 인자들의 값이 유효숫자 넷의 정밀도를 갖지 않는다). 산출한 결과를 적절한 정밀도로 조정하여 보고하는 것이 좋다.

72) <역주> 제8항에서는 이런 물리량을 선량지시자dose indicator로 불렀다. 본래 약학에서는 용량지시자(dose indicator)는 '1일 2회', '1회 100 mg'처럼 복용을 지시하는 용도인 한편, 선량기술자dose descriptor는 '100 mg/정'처럼 의약품의 함량을 설명하는 용도로 사용한다. 그러나 제8항에서 사용한 선량지시자와 여기서 사용한 선량기술자는 의미에 차이를 찾기 어렵다.

73) <역주> 정밀 동물 모의체로 전신 선량분포를 산출하는 것만으로는 전신 위험지표(사람의 유효선량과 비슷한)를 평가할 수는 없다. 사람에서처럼 조직의 위험도 차이를 가중하는 체계가 뒷받침되어야 하는데 이에 관한 정보는 아직 많이 부족하다.



그림6.2. 방사선치료 준비를 위해 ^{18}F -FDG 양전자방출단층촬영을 준비하는 개 환자. 자료원: Jan Rødal, The Norwegian Radium Hospital, Oslo University Hospital, Norway(Rødal 등 2010).

도 계획하지 않은 환경방출 위험을 줄이도록 시설이 설계되고 운영되어야 한다(예: 조심스런 선원관리, 작업환경의 오염에 대한 일상적 점검, 폐기물 수거 및 처분). 외부피폭 감축을 위해서는 주변에서 소비하는 시간을 줄이고 거리는 늘이며 적절한 차폐를 사용하는 실용적 전략을 동시에 적용해야 한다.

(132) 방사능물질 오염을 예방하는 안전대책은 선원에도, 작업자에도 이행할 수 있는데, 이는 작업자를 다른 유형 오염으로부터 보호하는 일반 산업위생 관행과 일관된다. 방사성물질을 격납하거나 가두는 방법의 예는 방사성물질을 튼튼하고 차폐된 장소에 저장하고, 시설 내 명시된 구역(예: 적절한 이동형 차폐를 갖춘 인출구역⁷⁴) 내에서만 방사성물질을 취급하도록 제한하고, 2차 용기(예: 쟁반, 양동이 등)를 사용하여 만약의 엇지름 영향을 제한하고, 충분하고 일관된 공기흐름을 갖는 흡후드를 사용하는 것 등이다. 모범 청결관행(즉, 청결과 조직), 일상적 방사선 탐사 및 상세한 기록관리도 오염 예방에 중요하다.

(133) 외부방사선 안전대책은 소절3.4.1에 기술한 바를 따른다. 핵의학에서 구체적 예는 적절한 차폐주사기 사용, 방사성의약품을 투여받을 환자까지 운반하는 납용기와 손수레 사용, 가능하면 투여받은 환자로부터 한 걸음 물러서기 등을 포함한다.

(134) 사용하는 PPE는 기본적으로 관련된 방사성물질에 의한 오염 위험을 방지함을 목표로 한다. 예를 들면, 방사성의약품을 주사할 때는 불침투 장갑, 긴소매 실험복, 안면 마스크나 안면보호대를 착용하여 카테터에 주입할 때 배압⁷⁵)back

74) <역주> drawing up area: 약품 용기에서 주사기로 약품 일정량을 인출하는 용도로 사용하는 장소. 우리 법규의 '분배시설'에 준하는 것으로 볼 수 있다.

pressure 상황에 대비하여 피부 노출을 줄여야 한다.

(135) 환자와 관련해서는, 어떤 핵의학 절차를 거치는 환자에게 결정론적 영향의 잠재성에 유의하는 것이 중요하다. 이러한 영향은 어느 정도까지는 불가피할 때도 있다(예: 치료에서). 핵의학 치료에서는 부작용이 있을 공산이 큰데 예를 들면 방사성요드로 갑상선암을 치료할 때 침샘의 영향이다. 물론 분출의 잠재적 영향(즉, 정맥을 통해 체내로 들어갈 것으로 보았던 방사성의약품이 정맥 옆에 나타남)도 있다 (van der Pol 등 2017).⁷⁵⁾

(136) 주어진 방사성핵종 또는 방사성의약품의 투여 방사능 규모가 동물 자신, 관련된 사람 및 환경의 방사선위험을 대개 결정할 것이다. 어떤 핵의학 절차를 가속하기 위해 추가 선량(방사능)을 사용해야 하는지 혹은 더 긴 시간 안정이나 마취가 적절한지에 대한 통찰을 '신중'이 제공할 수 있다. 상황이 다르면 다른 접근을 요구하지만 항상 ALARA 원칙을 고려한다. 예를 들면 PET 촬영에서 방사성의약품 주입 시점과 마취 유도에 근거한 표준 프로토콜 둘이 있다. 주사 전에 마취를 유도하는 프로토콜은 마취 시간이 더 길지만(약 2시간까지) 주입 후 마취를 유도하는 프로토콜보다 낮은 방사선량을 준다. 수의 PET 연구에 참여한 사람의 절차당 보고된 선량은 0~30 μSv 범위에 있고(Martinez 등 2012, Hetrick 등 2015), 뒷 프로토콜과 관련된 사람들의 연간 유효선량은 직무피폭 선량한도보다 충분히 낮았다(연간 100 동물환자 기준으로 최대 약 5 mSv)(Martinez 등 2014). 마취시간과 방사선량 외에 추가적 고려에는 활성 근육에 바라지 않은 흡취를 피하도록 동물을 최대한 조용히 유지하는 것이 포함된다.

(137) 방사성핵종을 동물에게 투여한 영향으로부터, 특히 치료절차 후, 의료진, 일반인 및 환경을 보호하기 위해서는 배설물을 수거하여 방사성폐기물로 처리할 수 있도록 동물을 입원시켜야 할 필요도 있다. 대개 신장과 소변을 통한 자연적 제거로 동물 신체로부터 오염될 위험은 일반적으로 빠르게 감소한다. 그러나 동물로부터 나오는 선량률이 동물을 퇴원, 귀가시키기 위한 문턱값 아래로 떨어지기까지는 며칠이나 심지어 몇 주가 걸릴 수도 있다(Davila 2019).

75) <역주> 도관을 지나는 유체에 대한 저항력. 배압이 강하면 주입하는 유체의 분출이 일어날 수 있다.

76) <역주>혈관으로 빠르게 주사하면 방사성의약품이 전신을 순환해 특정 부위 조직이 과도한 선량을 받지 않는데, 잘못 주사해 근육조직에 정체하면 그 부위가 집중 피폭을 받게 된다.

(138) 입원(특히 장시간)은 동물과 주인/조련사/사육사 모두에게 잠재적 복지문제로 고려할 필요가 있다(Graf 1999, Boland 등 2014, Johnsson 등 2014). 마찬가지로, 방사선방호 고려는 균형이 맞아야 하고, 관련된 모든 다른 가치와 함께 고려될 필요가 있다. 입원은 특히 소형 애완동물(개, 고양이)에게 스트레스가 많은 상황을 일으키는데, 원초 욕구를 지키려 진화한 것으로 보이지만(Hewson 2003, Lloyd 2017) 이제 동물도 감정이 있음이 밝혀졌다. 동물, 특히 반려동물이 사람 사회에서 획득한 더 현저한 위치와 함께, 동물이 장시간 병원에 있는 것은 반려동물 자신도 그러하듯이 그 주인에게도 긴장을 쌓는 일이다(McConnell 등 2011,2017, Amiot 등 2016).

(139) 동물에게 핵의학 절차의 복잡성(부분적으로는 외부피폭과 오염 위험을 동시에 관리할 필요에서 옴) 관점에서 수의 핵의학은 전문가 훈련 프로그램을 만족하게 이수한 수의사와 수의진료진에 의해서만 수행되어야 한다. 이는 치료 적용에서는 더욱 그러하다.

6.2.4. 외부빔 방사선치료 및 근접치료

(140) 방사선의 치료 이용 모두에서 최적화는 긴요한 역할을 한다. 수의 돌봄에서 방사선치료가 파급되고 있어 치료받는 동물과 이런 유형 돌봄을 제공하는 전문가 모두의 입장에서 최적화 중요성이 높아지고 있다. 동물환자에게 최적화는 바라는 치료효과를 얻는 데 필요해 표적조직에 전달되는 매우 높은 선량에도 불구하고 다른 장기나 조직의 피폭을 합리적으로 낮게 유지함을 확신한다는 의미이다. 목표는 결정론적 부작용을 가능한 한 방지하고, 건강한 세포 특히 민감 조직의 전반적 피



그림6.3. 외부빔 세기조절 방사선치료(IMRT)를 위해 정렬 중인 개 환자(그림6.2의 환자와 동일). 자료원: Jan Rødal, The Norwegian Radium Hospital, Oslo University Hospital, Norway(Rødal 등 2010).



그림6.4. 피부 비만세포 종양이 나타난 고양이 환자(좌). 종양 표면에 ^{90}Sr 안과 노출지로 근접치료 중(중), 치료 6개월 후 덩어리가 삭아 없어진 것이 보임(우). 조사 부위에 과다색소침착과 탈모가 보인다. 자료원: Michael R. Broome, Advanced Veterinary Medical Imaging, Tustin, CA, USA (www.avmi.net).

폭을 최소화해 지발성 조직반응이나 2차 원발암⁷⁷⁾ 유발 확률을 제한하는 것이다.

(141) 적용하는 고선량이나 고선량률은 치료절차에 관여하는 수의진료진에게 심각한 위험을 초래할 잠재성을 갖는다. 원격 후장전기에서 걸린 선원이나 원격치료기에서 우발적 빔 켜짐 상황이 이런 종류 위험을 발생시키는데, 그러면 단순한 피부 화상을 넘는 결정론적 영향을 배제할 수 없다. 최적이고 가장 안전한 사용이 되도록 엄격한 절차를 두어야 한다. 그렇게 복잡한 고위험 절차는 방사선방호에 광범한 교육훈련을 받은 의사만 수행해야 한다. 수의진료 관점에서, 방사선위험을 특별히 겨눌 때 현행 교과가 불충분함을 명심하면 치료절차에 책임 의사는 특별 교육훈련 프로그램을 이수한 유자격자로 하는 것이 바람직하다. 그래서 ICRP는 그러한 교육훈련 프로그램 공급자가 품격 돌봄에 불가분하고 필수적인 요소로 방사선방호를 채택하는 것이 좋다고 권고한다.

6.3. 선량한도 적용

(142) 수의진료에서 방사선으로 일하는 모든 사람은 직무피폭이나 일반인피폭에 대한 선량한도를 초과하지 않도록 해당 법적 요건을 따라 작업해야 한다. 선량한도는 최대 허용치이지만(표3.1 참조) 모든 선량은 합리적으로 낮게 유지해야 한다. 방사선작업자는 선량한도를 초과하지 않고 작업절차가 최적화되었음을 확인하도록 개인선량 감시를 받아야 한다(위험평가 결과 필요하다고 판단되거나 국가 법률로 요구하는 경우). 임신한 경우를 제외하면 선량제한의 근거는 남녀에게 같다. 임신이

77) <역주> second primary cancer: 본래 암의 전이가 아니라 그 암을 치료하느라 적용한 방사선피폭이 유발한 새로운 암을 말한다.

선언되면 태내 아동을 방호하기 위해 권고된 태아 선량한도에 반영된 추가 관리를 고려할 필요가 있다(ICRP 2000).

(143) ‘간병인’ 개념은 직업적 맥락이 아니라 자발적 도우미로서 환자를 뒷바라지하거나 돌보면서 (알면서)방사선을 피폭하는 사람을 의미한다(ICRP 2007a). 간병인은 일반인 선량한도를 초과하는 선량을 피폭하기 쉬운데,⁷⁸⁾ 이는 방사선방호체계를 따른 이유에서 부적절하지 않다. 아직 수의진료 대상인 동물을 법률적으로 ‘환자’로 인정한 것은 아니지만 많은 경우 동물환자와 그 주인 모두에게 직접적 이득이 있다. ICRP는 환자와 간병인 개념이 수의진료에도 적용되도록(즉, 동물환자와 주인/조련사) 맞추는 것이 합당하다고 권고한다. 추가 연구는 있어야겠지만, 근년에 수의진료에서 주인/조련사의 선량을 모델링하거나 측정하는 데 관심이 증가하고 있다(Smith 2021, Smith와 Krimins 2022, Suwannasaeng 등 2022).

(144) 여건에 근거해 주인/조련사 피폭이 정당한 것으로 평가되면, 상응되고 실용적인 방법으로 방호최적화를 인도하기 위해 아마도 일반인 선량한도 위에 설정될 선량제약치도 적용해야 한다. 이때, 사람 의료와 일관되게(ICRP 2007a) 아동 및 위안이나 간병에 직접 참여하지 않는 사람은 일반인으로 취급해야 함은 중요하다(일반인 선량한도 1 mSv/y 적용). 사람 환자의 성인 간병인의 선량제약치가 사례당 5 mSv이므로(ICRP 2007b) 제안되는 선량제약치는 유연하게 적용되어야 함도 중요하다.

6.4. 방사선방호의 품질 측면과 관리책임

(145) 방사선방호는 수의진료에 수반되는 위험, 이득 및 관리 이슈의 모든 범위를 고려하여 전체적 관점과 차등접근에 따라 접근해야 한다. 직장 보건안전의 일반관리에 대한 상세한 실용지침이 여러 곳(예: HSE 2013, IAEA 2018, ISO 2018)에 가용하다.

(146) 지속가능하게 유효한 방사선안전 프로그램의 품질 측면은 대개 시설과 기기의 고려, 교육훈련, 책임 부여, 절차 프로토콜, 결과의 추적 및 필요하면 선량과 사

78) <역주> 일반인일 때 일반인 선량한도 초과 여부를 살피는 것이지 일반인이 아니면 해당이 없다. 즉, 자발적으로 피폭하는 간병인에게 일반인 선량한도 초과를 논의하는 것은 적절하지 않다.

건 감시 및 보고를 포함한다. 최적화 과정이나 일반관리 접근 모두에서 방사선안전은 모든 안전 고려 안에 걸맞은 위치에 있어야 한다. 그래서 이러한 품질 측면은 전체 품질보증 프로그램 안에 포함되어야 하고, 성취 가능한 최선의 수의진료 서비스를 확립하고 유지하는 데 중요하다.

(147) 고정 시설에서는 품질이 시설의 설계와 배치부터 시작하는데, 특히 방사선원을 저장하거나 방사선절차가 적용되는 건물과 방의 건축요건을 고려한다. 중요한 고려사항에는 예를 들면 접근성과 출입관리, 기기와 동물의 최적 배치, 그리고 벽이나 문의 차폐 요구가 포함된다. 이동형 기기를 사용할 때도 비슷한 고려가 작용한다. 비밀봉 방사선원을 사용하거나 저장하는 핵의학에서는 선원의 안전하고 확실한 저장과 함께 방사성폐기물의 수거와 취급에 특별한 주의가 필요하다. 방사성오염의 확산 최소화(환기시설 설계 포함), 제염 용이성 및 운영과 보수유지 편이성도 고려 대상이다. 방사선치료에서는 방 차폐와 출입통제가 극히 중요하고 보유한 방사선원(예: 근접치료에 사용되는 선원)의 안전하고 확실한 저장도 마찬가지다(IAEA 2019).

(148) 다음 단계는 적용 자체(즉, 방사선이 사용되는 방법)에 대한 고려이다. 각 절차나 치료에 대한 업무와 수반 책임을 수의진료진 구성원에게 명시적으로 부여하여 각자 자신으로부터 무엇을 기대하는지를 알게 한다. 이를 위해 모두가 각자의 업무와 책임에 부합하는 교육훈련을 받고 상시 갱신해야 한다. 수의진료진 구성원은 충분한 이론 지식, 실용적 기능 및 바른 마음자세 즉, 방사선 작업에 임해 방사선안전문화를 수용하는 자세를 가져야 한다.

(149) 기기는 바르게 작동해야 한다. 이는 방사선을 내는 기기뿐만 아니라 수의진료진과 해당되면 절차를 보조하는 일반인의 방호와 감시를 제공하는 차폐도구, PPE, 선량계와 함께 촬영이나 치료 사슬(예: 영상 전시, 치료계획 소프트웨어 등) 전체에 걸쳐야 한다. 모든 기기는 성능의 적합성을 일상적으로 살피고 유지해야 한다. 품질 있는 서비스가 일관되고 안전하게 제공됨을 보장하려면 절차의 적용 지침이나 핸드북이 필요하다.

(150) 사건, 사고 또는 아차사건이 발생하면 이에 대한 철저한 조사를 보장하는 체계가 이행되어야 한다. 그러한 사건은 방사선안전이나 일반안전을 개선할 기회가 된다. 어떤 이상도 보고하기를 권장해야 하며, 상황이 완전히 이해되고 해당되면 치유될 때까지 사태의 악화나 재발을 방지할 조치도 취해야 한다. 사건, 사고, 아차사건에서 학습은 큰 가치가 있는데, 이는 그 사건이 발생한 기관에만 해당하는

것은 아니다. 사실 이런 일은 다른 곳의 유사한 전문성 맥락에서 같거나 유사한 사건이 발생하는 것을 예방하는 수단으로서, 예를 들면 전문학회에서 제공하는 플랫폼(예: ROSEIS), IAEA와 같은 국제기구의 플랫폼(예: SAFRON, SAFRAD)을 통해 동료와 공유해야 한다.

(151) 치료 경로에 기여, 또는 도출된 적합성 지침의 적절성에 기여 관점에서 절차 결과의 체계적 추적이 이루어져야 한다. 그러한 추적은 동물 피폭의 정당화를 위한 증거기반을 구축하거나 확장하는 데 큰 도움이 된다.

(152) 끝으로 적절하고 필요하면 동물, 수의진료진, 일반인 및 환경에 대한 선량이나 선량지시자dose indicator를 주기적으로 평가하고 감시해야 한다. 선량지시자의 체계적 기록과 추적 및 유사한 조건의 다른 기관이 등록한 것과 상호비교는 절차의 최적화에 도움이 되며, 불충분하게 최적화된 절차의 체계적 성능이나 고장기기의 조기 발견을 가능하게 할 것이다.

제7장

권고와 고려의 요약

(153) 지난 수십 년 동안 동물 질병의 진료, 관리 및 치료에 방사선 이용은 크게 확대되고 확장되었다. 진단촬영 절차는 많은 상황에서 수행되는데 반드시 동물의 건강관리만 검사의 주된 목적은 아니다. 이러한 진료의 변화는 절차를 거치는 동물 뿐 아니라 수의진료진, 주인/조련사, 기타 일반인 및 환경의 피폭관련 위험의 증가를 동반한다. 따라서 방사선방호 우려도 증가하는데, 사람 의료에 비해 수의진료의 고유한 여러 특성 때문에 우려를 더한다. 수의진료에 고유한 방사선방호 도전은 관련되는 사람의 다른 구성과 동물을 다룰 때 요구되는 운영환경으로부터 발생한다.

(154) 방사선방호 우선은 사람 방호지만, 동물 피폭도 수의진료 방사선방호 관점에서 명시적 주목 대상이 된다. 사람과 마찬가지로 동물도 방사선피폭으로부터 잠재적으로 조직반응이나 확률론적 영향을 겪을 수 있기 때문이다. 나아가 동물은 단순한 물체가 아니라 느끼고 아파하는 존엄한 생명이다. ICRP 138(2018a)에서 설명한 방사선방호체계의 핵심윤리와 절차윤리 가치에 대한 수의진료에서 부가적 해석은 동물복지, 지속가능한 개발, 단결, 생명의 존중, 책무, 자율 존중 및 공감을 포함한다.

(155) 모든 방사선 적용에서처럼, 방사선 안전관리는 내포된 위험에 상응해야 한다. 지난 수십 년간 수의진료에서 위험이 증가하고 범위가 넓어졌으므로, 방사선방호도 ICRP 방사선방호체계의 온전한 적용으로 더 명시적 관심을 받아야 한다. 일부 차이는 있지만, 수의진료의 방사선 사용에서 발생하는 방사선방호 관심사는 큰 틀에서 상응하는 사람 의료 적용과 의학적 지시 없는 사람 촬영과 유사하다. 그래서 수의진료 적용도 비슷하고 상응하는 방법으로 다룰 것을 권고한다. 이 권고는 시설의 방사선안전 요건에 적용되지만 기기도 단순한 산업표준이 아니라 의료기기에 대해 설정된 표준을 만족해야 한다.

(156) 수의진료 적용의 안전한 수행은 응용 차등접근과 함께 경영관리 차원에서 품질보증 프로그램의 이행으로 보장하기를 권고한다. 사건/사고 분석은 지속적 안전 개선에 기여하므로 품질 프로그램의 일부가 되게 해야 한다. 국제기구나 전문학회가 사건/사고 보고 수단을 수립하고 사용을 권고할 수 있다. 이는 중재방사선,

핵의학, 방사선치료 적용에서 특히 유용하고, 그래서 ‘창피도 비난도 없는 no shame-no blame’ 환경에서 모든 전문가에게 교훈을 제공할 수 있다.

(157) 수의사와 동료 종사자는 사용하는 방사선 방식에 대해 충분한 교육훈련을 받아야 한다. ICRP는 중재방사선, 핵의학, 치료방사선과 같은 구체적 적용은 교육 훈련 프로그램을 성공적으로 이수한 전문가에게 맡기기를 권고한다. 이런 프로그램은 훈련생에게 필요한 지식과 기능 및 동물에게 적절한 돌봄을 제공하기 위한 성향을 제공하는 한편, 자기 행동의 방사선안전 측면에 대한 책임감을 갖게 한다. 이 책임은 해당 수의진료진, 관련 일반인, 동물환자 및 환경을 포괄한다.

(158) 정당화, 최적화, 선량한도 적용이라는 방호원칙은 수의진료에도 완전히 적용해야 한다. 의료에서 방사선 진료에 대한 3단계 최적화는 수의진료에도 적용될 수 있는데, 수반되는 직무피폭이나 일반인피폭이 정당화되는지도 고려해야 한다. 1단계는 수의진료에 방사선의 합당한 사용은 해로움보다 이로움이 커 일반적으로 인정된다. 2단계에서 특정 임상목적에 대해 특정 절차가 규정된 그룹의 동물환자의 진료를 개선하거나 피폭동물의 필요한 정보를 제공하면 일반적으로 정당한 것으로 본다. 과학기구나 전문학회는 수의사가 적절히 선택하는 데 도움이 될 지침을 제공할 것을 권고한다. 사람 의료에서 사용되고 있는 의뢰지침이나 적합성기준이 보기가 될 것이다(ICRP 2007b). 말이나 기타 해당 동물의 매매전 또는 보험가입 적합성 검사도 관심대상이므로 유사한 지침을 특히 환영한다. 3단계 정당화는 특정 방사선절차의 적용이 개개 동물환자의 관리에서 해로움보다 이로움이 클 것을 요구한다. 주어진 방사선절차가 특정 동물환자 진료에서 정당화되는지를 판단할 때는 피폭동물, 수의진료진, 동물 주인/조련사, 일반인 및 해당하면 환경에 이득과 위험의 균형을 모두 고려해야 한다.

(159) 수의돌봄에서 최적화는 피폭 크기, 피폭개체 수, 그리고 잠재피폭에 대해서는 그 가능성이 경제사회적 인자, 동물복지 및 환경 인자를 고려하여 합리적으로 낮게 유지하는 것이다. 모든 특정 경우에 고려할 인자가 다양하고 많아, 최적화는 각 경우의 요구에 최선 맞춤(신중하고 합리적인 범위 내에서)이 될 필요가 있다. 이러한 개별 차원 접근은 건강관리 환경에서는 임상요구, 비의료 동물 촬영절차에서는 주어진 시험의 부가가치를 먼저 고려해야 하지만, 절차가 수행되는 전반적 여건(예: 주인의 희망, 위치와 운송시설, 가용기기 등)도 관련된다. 개개 동물 피폭은 방사선방호체계 맥락에서 이전에 구체적으로 다루지 않았기 때문에, 개개 동물의 피폭을 최적화 과정의 통합적 부분으로 관리가 어려울 것임은 ICRP도 인정한다. 선량한도는 직무피폭자와 주인을 포함한 일반인에게 적용되지만, 동물환자에게는

적용하지 않는다.

(160) 광범한 독자를 예상하는 이 간행물은 수의진료에서 방사선방호와 관련된 이슈와 문제의 일반적 개괄을 제시한다. 이 간행물의 의도는 수의진료에서 방사선방호의 중요하고 고유한 특성을 명시적으로 알리고, 사람 의료에서 방사선방호 접근과 유사하게 장치 보완적 지침을 불러오는 기반을 펴는 것이다. 상세한 절차중심 지침을 위해 방사선방호에 방식별로 접근한 상세 보고서를 개발한 바 있다(IAEA 2021). 방사선방호 문제와 관련된 지식 간극을 강조함으로써 정당화 과정을 지원할 수의진료에서 증거기반 방사선 사용; 전용 시설과 기기; 동물 종류별 방사선감수성에 대한 이해 증진; 수의진료진, 일반인 및 환경의 건강과 안전을 증진할 피폭 관리 및 기타 해당 분야를 지원하거나 방사선절차를 거치는 동물환자나 건강한 동물을 위한 돌봄 품질을 더욱 개선하는 실용지침과 관련된 추가 연구개발을 고취하기를 ICRP는 바란다. 이는 분명 수의사와 수의학회, 연구기관, 수의학교와 대학, 방사선방호 전문가, 규제기관 및 기타 기관의 협동적 접근이어야 한다.

참고문헌

- Abegglen, L.M., Caulin, A.F., Chan, A., et al., 2015. Potential mechanisms for cancer resistance in elephants and comparative cellular response to DNA damage in humans. *JAMA* 314, 1850-1860.
- Ackerman, N., Spencer, C.P., Hager, D.A., et al., 1988. Radiation exposure during equine radiography. *Vet. Radiol.* 29, 198-201.
- Adam-Guillermin, C., Hertal-Aas, T., Oughton, D., et al., 2018. Radiosensitivity and transgenerational effects in non-human species. *Ann. ICRP* 47(3/4), 327-341.
- Adkesson, M.J., Ivančić, M., 2019. Use of computed tomography/magnetic resonance imaging in zoological medicine. *J. Zoo. Wildl. Med.* 9, 206-217.
- Albert, R.E., Benjamin, S.A., Shukla, R., 1994. Life span and cancer mortality in the beagle dog and humans. *Mech. Ageing Dev.* 74, 149-159.
- Alexandre, D., Prieto, M., Beaumont, F., Taiar, R., Polidori, G., 2017. Wearing lead aprons in surgical operating rooms: ergonomic injuries evidenced by infrared thermography. *J. Surg. Res.* 209, 227-233.
- Amiot, C., Bastian, B., Martens, P., 2016. People and companion animals: it takes two to tango. *Bioscience* 66, 552-560.
- An, J., Lim, S., Lee, S., et al., 2019. Evaluation of radiation exposure from fluoroscopic examination in small animal veterinary staff using thermoluminescent dosimeters. *Vet. Med.* 64, 266-270.
- Arkans, M.M., Gieger, T.L., Nolan, M.W., 2017. Misadministration of radiation therapy in veterinary medicine: a case report and literature review. *Vet. Comp. Oncol.* 15, 237-246.
- Arno, M.G., Smith, C., 2021. Age-dependent radiation dose rates from canine Sn-117m treatments. *Health Phys.* 121, 447-453.
- ARPANSA, 2009. The Code of Practice & Safety Guide for Radiation Protection in Veterinary Medicine. Radiation Protection Series No. 17. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Victoria.
- AVMA, 2019. Principles of Veterinary Medical Ethics of the AVMA. American Veterinary Medical Association, Schaumburg, IL. Available at: <https://www.avma.org/resources-tools/avma-policies/principles-veterina>

- ry-medical-ethics-avma (last accessed 22 November 2022).
- Backer, L.C., Grindem, C.B., Corbett, W.T., et al., 2001. Pet dogs as sentinels for environmental contamination. *Sci. Total Environ.* 274, 161-169.
- Balter, S., Hopewell, J.W., Miller, D.L., et al., 2010. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology.* 254, 326-41.
- Balter, S., Miller, D.L., 2014. Patient skin reactions from interventional fluoroscopy procedures. *Am. J. Roentgenol* 202, W335-W342.
- Ban, N., Clero, E., Vaillant, L., et al., 2022. Radiation detriment calculation methodology: summary of ICRP Publication 152. *J. Radiol. Prot.* 42, 023001.
- Barber, J., McNulty, J.P., 2012. Investigation into scatter radiation dose levels received by a restrainer in small animal radiography. *J. Small Anim. Pract.* 53, 578-585.
- Barrett, M.F., McIlwraith, C.W., Contino, E.K., et al., 2018. Relationship between repository radiographic findings and subsequent performance of Quarter horses competing in cutting events. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 252, 108-115.
- Beamer, R., 1939. The significance of the x-ray in veterinary medicine. *Iowa State Univ. Vet.* 1, 87-89, 134.
- Beauchamp, T., Childress, J., 2019. Principles of biomedical ethics: marking its fortieth anniversary. *Am. J. Bioeth.* 19, 9-12.
- Bell, J.J., 2015. Internal Dosimetric Evaluation of Cu-64-ATSM in Canine Cancer Bearing Patients. Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Belotta, A.F., Mayer, M.N., Koehncke, N.K., et al., 2021. Survey of self-reported radiation safety practices among North American veterinary technicians involved in equine radiography using portable x-ray equipment. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 259, 919-926.
- Belotta, A.F., Mayer, M.N., Waldner, C.L., et al., 2022. X-ray tube operators can be exposed to equal or higher scattered radiation doses to the hand as cassette holders during diagnostic radiographic procedures of the equine vertebral column and limbs. *Am. J. Vet. Res.* 83, 412-418.
- Benjamin, S.A., Saunders, W.J., Angleton, G.M., et al., 1991. Radiation carcinogenesis in dogs irradiated during prenatal and postnatal development. *J. Radiat. Res.* 32 (Suppl. 2), 86-103.

- Benjamin, S.A., Lee, A.C., Angleton, G.M., et al., 1998. Mortality in beagles irradiated during prenatal and postnatal development. II. Contribution of benign and malignant neoplasia. *Radiat. Res.* 150, 330-348.
- Bladon, B.M., Main, J.P., 2003. Clinical evidence in the evaluation of presale radiography: are we in a desert on a horse with no name? *Equine Vet. J.* 35, 341-342.
- Boice, J.D., Jr., 2020. The likelihood of adverse pregnancy outcomes and genetic disease (transgenerational effects) from exposure to radioactive fallout from the 1945 trinity atomic bomb test. *Health Phys.* 119, 494-503.
- Boice, J.D., Jr., Preston, D., Davis, F.G., et al., 1991. Frequent chest x-ray fluoroscopy and breast cancer incidence among tuberculosis patients in Massachusetts. *Radiat. Res.* 125, 214-222.
- Boland, L.A., Murray, J.K., Bovens, C.P., et al., 2014. A survey of owners' perceptions and experiences of radioiodine treatment of feline hyperthyroidism in the UK. *J. Feline Med. Surg.* 16, 663-670.
- Bochud, F., Cantone, M.C., Applegate, K., et al., 2020. Ethical aspects in the use of radiation in medicine: update from ICRP Task Group 109. *Ann. ICRP* 49 (Suppl. 1), 143-153.
- Bouma, E.M.C., Reijgwart, M.L., Dijkstra, A., 2021. Family member, best friend, child or 'just' a pet, owners' relationship perceptions and consequences for their cats. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 29, 193.
- Bourque, T., 2017. One Welfare. *Can. Vet. J.* 58, 217-218.
- Broerse, J.J., Hennen, L.A., van Zwieten, M.J., 1985. Radiation carcinogenesis in experimental animals and its implications for radiation protection. *Int. J. Radiat. Biol. Relat. Stud. Phys. Chem. Med.* 48, 167-187.
- Bruun, C.S., Bruun, C., Marx, T., et al., 2020. Breeding schemes for intervertebral disc disease in dachshunds: is disc calcification score preferable to genotyping of the FGF4 retrogene insertion on CFA12? *Canine Genet. Epidemiol.* 7, 18.
- BVA, 2002. Guidance Notes for the Safe Use of Ionising Radiations in Veterinary Practice: Ionising Radiation Regulations 1999. British Veterinary Association, London.
- BVA, 2019. Guidance Notes for the Safe Use of Ionising Radiations in Veterinary Practice: Ionising Radiation Regulations 2017. British

- Veterinary Association, London.
- Cagan, A., Baez-Ortega, A., Brzozowska, N., et al., 2022. Somatic mutation rates scale with lifespan across mammals. *Nature* 604, 517-524.
- Canato, G.R., Drumond, L.F., Paschuk, S.A., et al., 2014. Occupational exposure assessment in procedures of portable digital veterinary radiology for small size animals. *Radiat. Phys. Chem.* 95, 284-287.
- Clement, C., Rühm, W., Harrison, J., et al., 2021. Keeping the ICRP recommendations fit for purpose. *J. Radiol. Prot.* 41, 1390-1409.
- Cohen, N.D., Carter, G.K., Watkins, J.P., et al., 2006. Association of racing performance with specific abnormal radiographic findings in thoroughbred yearlings sold in Texas. *J. Equine Vet. Sci.* 26, 462-474.
- Colditz, G.A., DeJong, D., Hunter, D.J., et al., 1996. Harvard Report on Cancer Prevention. Volume 1: Causes of human cancer. *Cancer Causes Control* 7 (Suppl. 1), S3-59.
- Collen, E.B., Mayer, M.N., 2006. Acute effects of radiation treatment: skin reactions. *Can. Vet. J.* 47, 931-935.
- Cozzi, B., Ballarin, C., Mantovani, R., et al., 2017. Aging and veterinary care of cats, dogs, and horses through the records of three university veterinary hospitals. *Front. Vet. Sci.* 4, 14.
- Cleroux, A., Hersh-Boyle, R., Clarke, D.L., 2018. Interventional equipment and radiation safety. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 48, 751-763.
- Dakin, S.G., Lam, R., Rees, E., et al., 2014. Technical set-up and radiation exposure for standing computed tomography of the equine head. *Equine Vet. Educ.* 26, 208-215.
- Dauer, L.T., 2014. Exposed medical staff: challenges, available tools, and opportunities for improvement. *Health Phys.* 106, 217-224.
- Davidson, I.W., Parker, J.C., Beliles, R.P., 1986. Biological basis for extrapolation across mammalian species. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 6, 211-237.
- Davila, A., 2019. Evaluating feline release criteria following iodine-131 therapy for hyperthyroidism. Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
- de Castro, A.B., 2003. Hierarchy of controls. *Am. J. Nurs.* 103, 104.
- Dobson, J.M., 2013. Breed-predispositions to cancer in pedigree dogs.

- ISRN Vet. Sci. 2013, 941275.
- Duport, P., Jiang, H., Shilnikova, N.S., et al., 2012. Database of radiogenic cancer in experimental animals exposed to low doses of ionizing radiation. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 15, 186-209.
- Duran, A., Hian, S.K., Miller, D.L., et al., 2013. Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology. *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 82, 29-42.
- Dziuk, E., 2007. CHIC - the Canine Health Information Center. *Theriogenology* 68, 375-377.
- EC, 2014. Referral Guidelines for Medical Imaging: Availability and Use in the European Union. Radiation Protection No. 178. European Union, Luxembourg.
- Eckert, Y., Lupke, M., Fehr, M., et al., 2015. Radiation exposure of radiological staff caused by radiography of small mammals, reptiles and birds. *Wien. Tierarztl. Monatsschr.* 102, 293-301.
- Eder, J.M., Valenta, E., 1896. Versuche über Photographie mittelst der Rontgen'schen Strahlen. R. Lechner, Wien.
- Ellingsen, K., Zanella, A.J., Bjerkas, E., et al., 2010. The relationship between empathy, perception of pain and attitudes toward pets among Norwegian dog owners. *Anthrozoos* 23, 231-243.
- Farrelly, J., McEntee, M.C., 2014. A survey of veterinary radiation facilities in 2010. *Vet. Radiol. Ultrasound* 55, 638-643.
- Fawcett, A., Mullan, S., McGreevy, P., 2018. Application of Fraser's "practical" ethic in veterinary practice, and its compatibility with a "One Welfare" framework. *Animals* 8, 109.
- Fesenko, S., 2019. Review of radiation effects in non-human species in areas affected by the Kyshtym accident. *J. Radiol. Prot.* 39, R1-R17.
- Fjeld, R.A., Eisenberg, N.A., Compton, K.L., 2007. Quantitative Environmental Risk Analysis for Human Health. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Freitas, F.P., Koehncke, N.K., Waldner, C.L., Belotta, A., Lanovaz, J., Mayer, M.N., 2021. A 7-min video training intervention improves worker short-term radiation safety behavior during small animal diagnostic radiography. *Vet. Radiol. Ultrasound* 62, 27-36.
- Friend, M., Towell, D.E., Borwnell, R.L., Jr., et al., 1999. Guidelines for Proper Care and Use of Wildlife in Field Research. U.S. Geological Survey, Reston, VA, pp. 351-357.

- Furniss, C., Carstens, A., Van den Berg, S.S., 2011. Radiographic changes in thoroughbred yearlings in South Africa. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 82, 194-204.
- Gerard, M., Pruitt, A., Thrall, D.D., 2010. Radiation therapy communication: nasal passage and paranasal sinus lymphoma in a pony. *Vet. Radiol. Ultrasound* 51, 97-101.
- Gieger, T., Nolan, M., 2017. Management of radiation side effects to the skin. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 47, 1165-1180.
- Gibson, D.J., Davidson, R.A., 2012. Exposure creep in computed radiography: a longitudinal study. *Acad. Radiol.* 19, 458-462.
- Gillette, E.L., LaRue, S.M., Gillette, S.M., 1995. Normal tissue tolerance and management of radiation injury. *Semin. Vet. Med. Surg. Small Anim.* 10, 209-213.
- Graf, S., 1999. Forderliche und problematische Aspekte der Haustierhaltung und Implikationen für die (Kranken-)Pflege: Eine beschreibende Untersuchung [The elderly and their pets. Supportive and problematic aspects and implications for care. A descriptive study]. *Pflege* 12, 101-111 [in German].
- Gregorich, S.L., Sutherland-Smith, J., Sato, A.F., et al., 2018. Survey of veterinary specialists regarding their knowledge of radiation safety and the availability of radiation safety training. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 252, 1133-1140.
- Gupta, N., Devgan, A., Bansal, I., et al., 2017. Usefulness of radium-223 in patients with bone metastases. *Proc (Bayl. Univ. Med. Cent.)* 30, 424-426.
- Haley, B., Wang, Q., Wanzer, B., et al., 2011. Past and future work on radiobiology megastudies: a case study at Argonne National Laboratory. *Health Phys.* 100, 613-621.
- Hall, C.N., 2011. Characterizing Canine Dose from External Beam Irradiation. Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Hall, E.J., Giaccia, A.J., 2019. Radiobiology for the Radiologist. Wolters Kluwer, Philadelphia, PA.
- Harrison, J.D., Balonov, M., Martin, C.J., et al., 2016. Use of effective dose. *Ann. ICRP* 45 (Suppl.), 215-224.
- Hazewinkel, H.A.W., 2018. Screening for elbow dysplasia, grading according to the IEQG. In: Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the International Elbow Working Group. International Elbow Working

- Group, Davis, CA, pp. 25-32.
- Hendee, W.R., Becker, G.J., Borgstede, J.P., et al., 2010. Addressing overutilization in medical imaging. *Radiology* 257, 240-245.
- HERCA, 2012. Main Results of the Questionnaire 'National Regulatory Requirements with Regard to Veterinary Medical Applications of Ionising Radiation' and Conclusions of the TF. Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities Task Force on Veterinary Applications, Berlin.
- HERCA, 2017. Guidelines on Radiation Protection Education and Training of Veterinary Professionals. Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities, Warsaw.
- Hernández-Ruiz, L., Jimenez-Flores, Y., Rivera-Montalvo, T., et al., 2012. Thermoluminescent dosimetry in veterinary diagnostic radiology. *Appl. Radiat. Isot.* 71. 44-47.
- Hersh-Boyle, R.A., Culp, W.T.N., Brown, D.C., et al., 2019. Radiation exposure of dogs and cats undergoing fluoroscopic procedures and for operators performing those procedures. *Am. J. Vet. Res.* 80, 558-564.
- Hetrick, L.D., Kraft, S.L., Johnson, T.E., 2015. Occupational exposure to veterinary workers from the positron emission tomography imaging agent ^{64}Cu -ATSM. *Health Phys.* 109, S219-S223.
- Hewson, C.J., 2003. What is animal welfare? Common definitions and their practical consequences. *Can. Vet. J.* 44, 496-499.
- Hinton, T.G., Alexakhin, R., Balonov, M., et al., 2007. Radiation-induced effects on plants and animals: findings of the United Nations Chernobyl Forum. *Health Phys.* 93, 427-440.
- Holmberg, O., Malone, J., Rehani, M., et al., 2010. Current issues and actions in radiation protection of patients. *Eur. J. Radiol.* 76, 15-19.
- HSE, 2013. *Managing for Health and Safety*, third ed. Health and Safety Executive, London.
- Hupe, O., Ankerhold, U., 2008. Dose to persons assisting voluntarily during x-ray examinations of large animals. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 274-278.
- Hupe, O., Ankerhold, U., 2011. Determination of the dose to persons assisting when x-radiation is used in medicine, dentistry and veterinary medicine. *Radiat. Prot. Dosim.* 144, 478-481.
- IAEA, 2018. *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*. International Atomic Energy Agency, Vienna.

- IAEA, 2019. Security of Radioactive Material in Use and Storage and of Associated Facilities. IAEA Nuclear Security Series No. 11-G (Rev.1). International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2021. Radiation Protection and Safety in Veterinary Medicine. Safety Reports Series No. 104. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 2000. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30(1).
- ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33(1/2).
- ICRP, 2003b. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33(3).
- ICRP, 2006. The optimisation of radiological protection - broadening the process. ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 36(3).
- ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
- ICRP, 2008. Environmental protection - the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38(4-6).
- ICRP, 2009a. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).
- ICRP, 2009b. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39(5).
- ICRP, 2009c. Environmental protection: transfer parameters for reference animals and plants. ICRP Publication 114. Ann. ICRP 39(6).
- ICRP, 2012a. Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).
- ICRP, 2012b. ICRP statement on tissue reactions/early and late effects of radiation in normal tissues and organs - threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
- ICRP, 2013a. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1).
- ICRP, 2013b. Radiological protection in paediatric diagnostic and

- interventional radiology. ICRP Publication 121. Ann. ICRP 42(2).
- ICRP, 2013c. Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3).
- ICRP, 2014a. Protection of the environment under different exposure situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- ICRP, 2014b. Radiological protection against radon exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
- ICRP, 2014c. Radiological protection in ion beam radiotherapy. ICRP Publication 127. Ann. ICRP 43(4).
- ICRP, 2017a. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).
- ICRP, 2017b. Dose coefficients for nonhuman biota environmentally exposed to radiation. ICRP Publication 136. Ann. ICRP 46(2).
- ICRP, 2018a. Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47(1).
- ICRP, 2018b. Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. Ann. ICRP 47(2).
- ICRP, 2020a. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. Ann. ICRP 49(2).
- ICRP, 2020b. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 146. Ann. ICRP 49(4).
- ICRP, 2021a. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1).
- ICRP, 2021b. Radiation weighting for reference animals and plants. ICRP Publication 148. Ann. ICRP 50(2).
- ICRP, 2022. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152. Ann. ICRP 51(3).
- Inomata, K., Aoto, T., Binh, N.T., et al., 2009. Genotoxic stress abrogates renewal of melanocyte stem cells by triggering their differentiation. *Cell* 137, 1088-1099.
- ISO, 2018. Occupational Health and Safety Management Systems - Requirements with Guidance for Use (ISO Standard No. 45001:2018). International Organization for Standardization, Geneva. Available at: <https://www.iso.org/standard/63787.html> (last accessed 22 November 2022).

- Johansson, M., Ahlström, G., Jönsson, A.C., 2014. Living with companion animals after stroke: experiences of older people in community and primary care nursing. *Br. J. Comm. Nurs.* 19, 578-584.
- Johnson, T.E., 2017. *Introduction to Health Physics*. McGraw-Hill Education, New York.
- Johnson, V., 2013. Diagnostic imaging: reflecting on the past and looking to the future. *Vet. Rec.* 172, 546-551.
- Judy, C.E., 2013. Radiography of the carpus and hock. *AAEP Proc.* 59, 372-378.
- Kealy, K., 2002. Organizational development of veterinary radiology in the United States and Europe. *Vet. Radiol. Ultrasound* 43, 213-220.
- Kelsey, J.L., Moore, A.S., Glickman, L.T., 1998. Epidemiologic studies of risk factors for cancer in pet dogs. *Epidemiol. Rev.* 20, 204-217.
- Kent, M.S., Turek, M.M., Farrelly, J., 2018. Recent advances in veterinary radiation oncology. *Vet. Comp. Oncol.* 16, 167-169.
- Khanna, C., Lindblad-Toh, K., Vail, D., et al., 2006. The dog as a cancer model. *Nat. Biotechnol.* 24, 1065-1066.
- Kipperman, B.S., Kass, P.H., Rishniw, M., 2017. Factors that influence small animal veterinarians' opinions and actions regarding cost of care and effects of economic limitations on patient care and outcome and professional career satisfaction and burnout. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 250, 785-794.
- Klein, L.W., Miller, D.L., Balter, S., et al., 2009. Occupational health hazards in the interventional laboratory: time for a safer environment. *Radiology* 250, 538-544.
- Ko, S., Kang, S., Ha, M., et al., 2018. Health effects from occupational radiation exposure among fluoroscopy-guided interventional medical workers: a systematic review. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 29, 353-366.
- Kouri, B.E., Parsons, R.G., Alpert, H.R., 2002. Physician self-referral for diagnostic imaging: review of the empiric literature. *AJR Am. J. Roentgenol.* 179, 843-850.
- Kramer, G.H., Capello, K., Strocchi, S., et al., 2012. The HML's new voxel phantoms: two human males, one human female, and two male canines. *Health Phys.* 103, 802-807.
- LaDue, T., Klein, M.K., 2001. Toxicity criteria of the veterinary radiation therapy oncology group. *Vet. Radiol. Ultrasound* 42, 475-476.

- LaRue, S.M., Custis, J.T., 2014. Advances in veterinary radiation therapy: targeting tumors and improving patient comfort. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 44, 909-923.
- Lee, B-I., LaRue, S.M., Seguin, B., et al., 2020. Safety and efficacy of stereotactic body radiation therapy (SBRT) for the treatment of canine thyroid carcinoma. *Vet. Comp. Oncol.* 18, 843-853.
- Lloyd, J.K.F., 2017. Minimising stress for patients in the veterinary hospital: why it is important and what can be done about it. *Vet. Sci.* 4, 22.
- Lysdahl, K.B., Hofmann, B.M., 2009. What causes increasing and unnecessary use of radiological investigations? A survey of radiologists' perceptions. *BMC Health Serv. Res.* 9, 155.
- Mackenzie, J.S., Jeggo, M., 2019. The One Health approach - why is it so important? *Trop. Med. Infect. Dis.* 4, 88.
- Mahesh, M., 2001. Fluoroscopy: patient radiation exposure issues. *Radiographics* 21,1033-1045.
- Malone, J., Guleria, R., Craven, C., et al., 2012. Justification of diagnostic medical exposures: some practical issues. Report of an International Atomic Energy Agency Consultation. *Br. J. Radiol.* 85, 523-538.
- Malone, J., Zolzer, F., Meskens, G., Skourou, C. (Eds.), 2018. *Ethics for Radiation Protection in Medicine*. CRC Press, New York.
- Martin, C.J., Sutton, D.G., 2015. *Practical Radiation Protection in Healthcare*. Oxford University Press, Oxford.
- Martin, J.E., 2013. *Physics for Radiation Protection*. Wiley, Weinheim.
- Martinez, N.E., Van Bladel, L., 2020. Radiation protection challenges in applications of ionising radiation on animals in veterinary practice. *Ann. ICRP* 49 (Suppl. 1), 158-168.
- Martinez, N.E., Kraft, S.L., Gibbons, D.S., et al., 2012. Occupational per-patient radiation dose from a conservative protocol for veterinary ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Vet. Radiol. Ultrasound* 53, 591-597.
- Martinez, N.E., Kraft, S.L., Johnson, T.E., 2014. A proposed simple model for estimating occupational radiation dose to staff from veterinary ¹⁸F-FDG PET procedures. *Health Phys.* 106, 583-591.
- Martinez, N.E., 2021. Ethics and values surrounding the radiation protection of animals. *Health Phys.* 121, 58-63.

- Mayer, M.N., Koehncke, N.K., Belotta, A.F., Cheveldae, I.T., Waldner, C.L., 2018. Use of personal protective equipment in a radiology room at a veterinary teaching hospital. *Vet. Radiol. Ultrasound* 59, 137-146.
- Mayer, M.N., Dewalt, J.O., Sidhu, N., et al., 2019a. Outcomes and adverse effects associated with stereotactic body radiation therapy in dogs with nasal tumors: 28 cases (2011-2016). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 254, 602-612.
- Mayer, M.N., Koehncke, N.K., Sidhu, N., et al., 2019b. Effect of full versus open-palm hand shielding on worker radiation dose during manual restraint for small animal radiography. *Can. J. Vet. Res.* 83, 154-158.
- McConnell, A.R., Brown, C.M., Shoda, T.M., et al., 2011. Friends with benefits: on the positive consequences of pet ownership. *J. Pers. Soc. Psychol.* 101, 1239-1252.
- McConnell, A.R., Paige Lloyd, E., Buchanan, T.M., 2017. Animals as friends: social psychological implications of human-pet relationships. In: *The Psychology of Friendship*. Oxford University Press, New York.
- McEntee, M.C., 2004. A survey of veterinary radiation facilities in the United States during 2001. *Vet. Radiol. Ultrasound* 45, 476-479.
- McEvoy, F.J., 2015. Grand challenge veterinary imaging: technology, science, and communication. *Front. Vet. Sci.* 2, 38.
- McLean, A.R., Adlen, E.K., Cardis, E., et al., 2017. A restatement of the natural science evidence base concerning the health effects of low-level ionizing radiation. *Proc. Biol. Sci.* 284, 20171070.
- Miller, D.L., Van~o, E., Bartal, G., et al., 2010. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 33, 230-239.
- Miyakoshi, D., Senba, H., Shikichi, M., et al., 2017. A retrospective study of radiographic abnormalities in the repositories for thoroughbreds at yearling sales in Japan. *J. Vet. Med. Sci.* 79, 1807-1814.
- NAPHIA, 2020. State of the Industry Report. North American Pet Health Insurance Association, Kansas City, MI.
- NCRP, 1970. Radiation Protection in Veterinary Medicine. Report No. 36. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.

- NCRP, 2004. Radiation Protection in Veterinary Medicine. Report No. 148. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. Report No. 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2021. NCRP Recommendations for Ending Routine Gonadal Shielding During Abdominal and Pelvic Radiography. NCRP Statement No. 13. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NEB, 1989. Radiation Protection in Veterinary Radiology: a Code of Practice Prepared by the Nuclear Energy Board. Nuclear Energy Board, Dublin.
- Nemanic, S., Nixon, B.K., Francis, R.A., et al., 2015. Decreased dose of radiation to dogs during acquisition of elbow radiographs using draped shielding. *Vet. Rec.* 176, 522.
- NHMRC, 1982. Code of Practice for Safe Use of Ionizing Radiation in Veterinary Radiology: Parts 1 and 2. Radiation Health Series No. 3. National Health and Medical Research Council, Canberra.
- NHMRC, 1984. Code of Practice for Safe Use of Ionizing Radiation in Veterinary Radiology: Part 3 - Radiotherapy. Radiation Health Series No. 10. National Health and Medical Research Council, Canberra.
- NRC, 1991. Animals as Sentinels of Environmental Health Hazards. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 2006. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. National Academies Press, Washington, DC.
- NRC, 2009. Recognition and Alleviation of Pain in Laboratory Animals. National Academies Press, Washington, DC.
- NRC, 2011. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. National Academies Press, Washington, DC.
- O'Connor, M.S., Smith, M.L., Gilligan, T., 2019. Ethical issues in the cardiac intensive care unit. In: Brown, D.L.(Ed.), *Cardiac Intensive Care*, third ed. Elsevier, Philadelphia, PA.
- Oughton, D., 2013. Ethical aspects of ecological risks from radiation. *J. Environ. Radioact.* 19, 71-85.

- Padilla, L., Lee, C., Milner, R., et al., 2008. Canine anatomic phantom for preclinical dosimetry in internal emitter therapy. *J. Nucl. Med.* 49, 446-452.
- Pentreath, R.J., 2016. Radiological protection and the exposure of animals as patients in veterinary medicine. *J. Radiol. Prot.* 36, N42-N45.
- Pentreath, R.J., Applegate, K.E., Higley, K.A., et al., 2020. Radiological protection of the patient in veterinary medicine and the role of ICRP. *Ann. ICRP* 49 (Suppl. 1), 169-181.
- Peto, R., 2016. Epidemiology, multistage models, and short-term mutagenicity tests. *Int. J. Epidemiol.* 45, 621-637.
- Picano, E., 2004. Sustainability of medical imaging. *BMJ* 328, 578-580.
- Pinard, C.L., Mutsaers, A.J., Mayer, M.N., et al., 2012. Retrospective study and review of ocular radiation side effects following external-beam cobalt-60 radiation therapy in 37 dogs and 12 cats. *Can. Vet. J.* 53, 1301-1307.
- Pinillos, R.G., Appleby, M.C., Manteca, X., et al., 2016. One Welfare - a platform for improving human and animal welfare. *Vet. Rec.* 179, 412-413.
- Pontecorvo, G., 1968. Hermann Joseph Muller. 1890-1967. *Biogr. Mem. Fellows R. Soc.* 14, 349-389.
- Preston, D.L., Ron, E., Tokuoka, S., et al., 2007. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat. Res.* 168, 1-64.
- Rajaraman, P., Hauptmann, M., Bouffler, S., et al., 2018. Human individual radiation sensitivity and prospects for prediction. *Ann. ICRP* 47(3/4), 126-141.
- RIRDC, 2009. A Prospective Study of Presale Radiographs of Thoroughbred Yearlings. RIRDC Publication No. 09/082. Rural Industries Research and Development Corporation, Barton.
- Rødal, J., Søvik, Å., Skogmo, H.K., et al., 2010. Feasibility of Contrast-enhanced Cone-beam CT During Fractionated Radiotherapy. 29th Annual Meeting of European Society of Therapeutic Radiology and Oncology, 12-16 September 2010, Barcelona, Spain.
- Rojo, R.D., Perez, J.V.D., Damasco, J.A., et al., 2021. Combinatorial effect of radium-223 and irreversible electroporation on prostate cancer bone metastasis in mice. *Int. J. Hyperth.* 38, 650-662.
- Ronckers, C.M., Erdmann, C.A., Land, C.E., 2004. Radiation and breast

- cancer: a review of current evidence. *Breast Cancer Res.* 7, 21-32.
- Root, C.M., DeVol, T.A., Sinclair, R.R., et al., 2020. A mixed-methods approach for improving radiation safety culture in open-source university laboratories. *Health Phys.* 118, 427-437.
- RPII, 2002. Code of Practice for Radiation Protection in Veterinary Medicine. Radiological Protection Institute of Ireland, Dublin.
- Russell, L.B., 2013. The Mouse House: a brief history of the ORNL mouse-genetics program, 1947-2009. *Mutat. Res.* 753, 69-90.
- Russell, W.M.S., Burch, R.L., 1959. *The Principles of Humane Experimental Technique*. Methuen & Co. Limited, London.
- Scansen, B.A., Drees, R., 2020. Joint virtual issue on recent advances in veterinary cardiac imaging. *Vet. Radiol. Ultrasound* 61, 127-129.
- Schiffman, J.D., Breen, M., 2015. Comparative oncology: what dogs and other species can teach us about humans with cancer. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 370, 20140231.
- Schilliger, L., Paillusseau, C., Gandar, F., et al., 2020. Iridium 192 (^{192}Ir) high dose rate brachytherapy in a central bearded dragon (*Pogona vitticeps*) with rostral squamous cell carcinoma. *J. Zoo. Wildl. Med.* 51, 241-244.
- Schnelle, G.B., 1968. The history of veterinary radiology. *Vet. Radiol.* 9, 5-10.
- Schweitzer, A., Cicovacki, P., 2009. *Albert Schweitzer's Ethical Vision: a Sourcebook*. Oxford University Press, New York.
- Shir-Vertesh, D., 2012. "Flexible personhood": loving animals as family members in Israel. *Am. Anthropol.* 114, 420-432.
- Shuryak, I., Ullrich, R.L., Sachs, R.K., et al., 2010. The balance between initiation and promotion in radiation-induced murine carcinogenesis. *Radiat. Res.* 174, 357-366.
- Seifert, H., Lüpke, M., Niehaus, H., et al., 2007. Die Strahlenexposition der Tierbetreuungsperson bei radiographischen Standardverfahren an Hund und Katze [Radiation exposure of the pet owner during standardised x-ray diagnostic examinations of dogs and cats]. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 120, 251-259 [in German].
- Singh, V.K., Newman, V.L., Berg, A.N., et al., 2015. Animal models for acute radiation syndrome drug discovery. *Exp. Opin. Drug Discov.* 10, 497-517.

- Smith, C.A., Krimins, R.A., 2022. External radiation dose to owners of canines treated with (^{117m}Sn) radiosynoviorthesis for osteoarthritis. *Health Phys.* 123, 128–132.
- Spatola, G.J., Ostrander, E.A., Mousseau, T.A., 2021. The effects of ionizing radiation on domestic dogs: a review of the atomic bomb testing era. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 96, 1799–1815.
- Stabin, M.G., Kost, S.D., Segars, W.P., et al., 2015. Two realistic beagle models for dose assessment. *Health Phys.* 109, 198–204.
- Steel, C.M., Devery, S., Hance, S.R., et al., 2019. Fragmentation of the dorsal distal aspect of the talus on weanling survey and pre-sale radiographs of juvenile thoroughbreds: prevalence and 2- and 3-year-olds racing performance. *Aust. Vet. J.* 97, 68–74.
- Stoeckelhuber, B.M., Leibecke, T., Schulz, E., et al., 2005. Radiation dose to the radiologist's hand during continuous CT fluoroscopy-guided interventions. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 28, 589–594.
- Subramaniam, R.M., Kurth, D.A., Waldrip, C.A., et al., 2019. American College of Radiology appropriateness criteria: advancing evidence-based imaging practice. *Semin. Nucl. Med.* 49, 161–165.
- Sung, S., Lim, S., Min, K., et al., 2018. Radiation exposure during C-arm-guided (fluoroscopy) small animal orthopaedic surgery. *Vet. Med.* 63, 527–531.
- Suwannasaeng, N., Kakizaki, T., Wada, S., et al., 2022. External exposure to veterinary staff and pet owners from ^{18}F -fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG) positron emission tomography. *Radioisotopes* 71, 115–126.
- Tafreshi, N.K., Doligalski, M.L., Tichacek, C.J., et al., 2019. Development of targeted alpha particle therapy for solid tumors. *Molecules* 26, 4314.
- Tang, F.R., Loke, W.K., Khoo, B.C., 2017. Low-dose or low-dose-rate ionizing radiation-induced bioeffects in animal models. *J. Radiat. Res.* 58, 165–182.
- UN, 2015. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2001. Hereditary Effects of Radiation. UNSCEAR 2001 Report to the General Assembly, with Scientific Annex. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume 1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic

- Radiation, Vienna.
- UNSCEAR, 2014. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume 1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna.
- van der Pol, J., Vöö, S., Bucerius, J., et al., 2017. Consequences of radiopharmaceutical extravasation and therapeutic interventions: a systematic review. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imag.* 44, 1234-1243.
- Vasbinder, M.A., Locke, P., 2016. Introduction: global laws, regulations, and standards for animals in research. *ILAR J.* 57, 261-265.
- Veneziani, G.R., Matsushima, L.C., Fernandez, R.M., et al., 2010. Thermoluminescence measurements of entrance surface skin dose in exams of dog's chest in veterinary radiology. *Radiat. Meas.* 45, 733-735.
- Verhoeven, G., Fortrie, R., Van Ryssen, B., et al., 2012. Worldwide screening for canine hip dysplasia: where are we now? *Vet. Surg.* 41, 10-19.
- Verwilghen, D., Serteyn, D., Pille, F., et al., 2009. Prevalence of radiographic findings in candidate sires (2001-2008). *Vlaams Diergeneeskd. Tijdschr.* 78, 419-428.
- Viljoen, G.J., Luckins, A.G., 2012. The role of nuclear technologies in the diagnosis and control of livestock diseases - a review. *Trop. Anim. Health Prod.* 44, 1341-1366.
- Vincze, O., Colchero, F., Lemaître, J.F., et al., 2022. Cancer risk across mammals. *Nature* 601, 263-267.
- von Zallinger, C., Tempel, K., 1998. The physiologic response of domestic animals to ionizing radiation: a review. *Vet. Radiol. Ultrasound* 39, 495-503.
- Wagner, L., 2007. Radiation injury is a potentially serious complication to fluoroscopically-guided complex interventions. *Biomed. Imaging Interv. J.* 3, e22.
- Wakeford, R., Bithell, J.F., 2021. A review of the types of childhood cancer associated with a medical x-ray examination of the pregnant mother. *Int. J. Radiat. Biol.* 97, 571-592.
- Walsh, F., 2009. Human-animal bonds. I: the relational significance of companion animals. *Fam. Process.* 48, 462-480.
- Wantz, G.E., Frick, E.J., 1937. X-ray protection. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*

91, 571-580.

Weil, S., 1951. *Waiting for God*. Putnam, New York.

Wendt III, R.E., Selting, K.A., Lattimer, J.C., et al., 2020. Radiation safety considerations in the treatment of canine skeletal conditions using ¹⁵³Sm, ⁹⁰Y, and ^{117m}Sn. *Health Phys.* 118, 702-710.

Wood, A.K., Robotham, F.P., Reynolds, K.M., et al., 1974. Radiation protection in equine radiography. *Aust. Vet. J.* 50, 373-379.

WVA, 2019. World Veterinary Association Model Veterinarians' Oath. World Veterinary Association, Brussels. Available at: http://www.worldvet.org/uploads/news/docs/wva_model_veterinarians_oath.pdf (last accessed 5 May 2022).

Zaidi, H. (Ed.), 2018. *Computational Anatomical Animal Models: Methodological Developments and Research Applications*. IOP Publishing, Bristol.

Zander, A., Paunesku, T., Woloschak, G., 2019. Radiation databases and archives - examples and comparisons. *Int. J. Radiat. Biol.* 95, 1378-1389.

부록 A

역할과 책임

(A1) 방사선방호에는 개입하는 기관이나 규제당국을 포함하는 모든 관여 당사자가 전반적 방호체계에 기여할 역할과 책임이 있다. 여기서 ‘역할’은 개인이나 기관의 직책이나 기능을 의미한다. ‘책임’은 특정한 역할에 수반되는 예정된 의무, 업무 또는 약속을 의미하는데, 여기서는 법적 책임을 의미하지 않는 것으로 한다.

(A2) 방사선피폭과 관찰된 영향에 관한 데이터는 유엔 방사선과학위원회(UNSCEAR)가 세계적 규모로 수집한다(예: UNSCEAR 2001,2010,2014). 이 데이터와 그 과학적 분석은 세계 방사선방호의 근거가 된다. 미국에는 유사한 활동을 미국 과학원National Academy of Science의 방사선생물영향위원회Biological Effects of IonizingRadiation Committee(BEIR)가 수행한다(예:NRC 2006). 그러면 ICRP는 방사선 위험을 어떻게 관리할 것인지 권고를 제공한다. 이 권고는 가용한 과학적 데이터만 아니라 가치판단에도 근거한다. 가치판단은 사회적 기대, 윤리 및 경험을 고려한다. ICRP 권고가 지시형이 아니라 설명형이지만 대개 세계적으로 따르고 있다. IAEA와 그밖에 세계노동기구(ILO), 세계식량농업기구(FAO), 세계보건기구(WHO)와 같은 UN 소속 기구들은 ICRP 권고를 이용해 요건을 제정하는데 이는 그 회원국에 의무적이다. 이들 국제기구는 요건을 이행하는 방법에 관한 행위중심 지침도 제공한다. 각국 정부는 각자의 법제 체계를 통해 이행할 책임이 있다. 국가 법제 체계는 구체적 요건을 자국의 경제, 사회, 및 정치적 현실에 맞춰 반영할 여지를 준다.

(A3) 수의진료에서는, 각각 방사선방호에 관해 고유한 책임이 있는 여러 중요한 역할이 식별된다. 한 사람이 심지어 동시에도 여러 역할을 할 수도 있고, 어떤 역할은 자연인이 아닌 법인에 부여됨을 인식함이 중요하다. 여기서 방사선방호와 관련된 책임을 드러나게 하지만 방사선방호는 수의진료에서 넓은 한 별 문제의 한 특성임을 강조할 가치도 있다. 방사선방호는 행위나 절차 전체의 맥락에서 관리해야 한다.

(A4) 고려할 첫 역할은 방사선이 사용되는 시설이나 장소(예: 수의병원 또는 개인 진료소)와 관련된다. 건물, 방 및 기기(방호장구 포함)의 목적 적합성, 근무하는 수

의진료진의 자격 보유에 관해 분명한 책임이 있다. 이 책임은 지속되며 기기 성능의 일상 품질관리, 수의진료진의 초기 및 계속 교육훈련, 절차규칙 등을 포함하는 품질보증체계가 뒷받침해야 한다.

(A5) 다음으로 중요한 역할은 방사선학자 또는 방사선피폭을 수반하는 절차를 수행하거나 감독하는 사람의 역할이다. 대개 수의사 역할이겠지만, 이 역할은 간호사나 방사선사(나라에 따라 이들도 독립적으로 절차를 수행할 수 있다.)에게 배정할 수도 있다. 정당화 원칙의 적용에서 주어진 임상 맥락의 절차 적합성에 대한 궁극적 책임을 지는 사람은 방사선학자이다. 임상 수의사나 동물 주인이 다른 절차를 요구하면 방사선학자는 전문가 자문역을 해야 한다. 방사선학자는 절차가 수행되는 방법에 책임이 있고, 그래서 수행 절차의 방사선방호 특성 모두를 고려해야 한다. 여기에는 수의진료진 피폭과 주인/조련사를 포함하는 기타 보조인력의 피폭, 더 넓게는 일반인 피폭까지 포함된다. 방사성물질이 사용되는 핵의학이나 치료방사선에서는 방사선학자는 환경보호까지 고려해야 한다. 일부 상황에서는 지정된 수의진료진 구성원이 절차의 어떤 기술적 또는 실무적 특성에 대해 방사선학자를 보조할 수 있는데, 이때는 그 사람이 담당 특성에 대해 책임자가 된다.

(A6) 수의진료진이 아니면서 수의절차에 참여하는 사람은 가능한 방사선위험에 대해 투명하게 이해하고 어떻게 위험을 최소화 또는 방지하는지 지시를 받아야 한다. 여러 프로그램이 이들 활동의 방사선방호 특성에 대해 명시적으로 다룸으로써 효과를 볼 수 있다. 이로써 피폭 종사자, 보조인력, 일반인, 환경 및 진료를 받는 동물의 방호를 확실히 고려하면서 자격자(평가기관 인증 전문가)가 최신 방사선절차를 수행할 수 있게 할 것이다.

참고문헌

- NRC, 2006. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. National Academies Press, Washington, DC.
- UNSCEAR, 2001. Hereditary Effects of Radiation. UNSCEAR 2001 Report to the General Assembly, with Scientific Annex. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume 1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna.
- UNSCEAR, 2014. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume 1.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,
Vienna.

부록 B

동물 및 환경 보호와 관련된 윤리 이슈

B.1. 동물 및 환경과 우리의 관계

(B1) 인류는 영양소 순환을 돕는 토양 속 박테리아부터, 산소를 생산하는 식물, 생태계를 건강하고 균형 맞게 유지하는 것을 돕는 상위 포식자까지 수많은 다른 생물형태와 환경을 공유하고 있다. 환경과 후손에 대한 인류 책임의 일부는 예를 들면 유엔 지속가능개발 목표UN Sustainable Development Goals에 반영되어 있듯이 생태계 다양성 보전과 천연자원의 공평하고 양심적인 사용(ICRP 2003)이다. 먼 과거부터 인류는 식물과 동물을 길들여 왔는데, 일부는 이를 상호진화와 상호부조 과정(Zeder 2015)으로 간주한다. 그래서 현대 우리의 책임은 자연환경으로부터 ‘관리된 환경managed environment’으로 불러야 할 환경의 돌봄까지 확장된다. 자연환경과 관리된 환경에 대한 구체적 책무는 다른데, 나오는 자원과 그 수반 가치가 다르기 때문이다. 사회적으로는, 우리의 환경에 대한 책임을 생태계와 전체로서 천연자원에 초점을 맞춰 나눈다. 우리가 관리된 환경으로 방향을 틀자 책임이 국가, 공동체 또는 개인까지 좁혀진다. 무엇보다 제공된 자원에 따라 돌봄의 형식과 수준도 달라진다. 동물은 위안과 즐거움을 주는 반려로; 농경 노동력, 식품 및 기타 일용품을 주는 가축으로; 치유부터 군사, 경찰 작전 등 여러 식품외 서비스를 주는 일꾼으로; 또는 생물학과 의학의 기본 이해를 증진하는 연구대상으로 이바지한다.

(B2) 인간은 동물과 오래고 복잡한 관계를 유지해 왔다. 관계는 여러 대에 걸쳐 변화해 왔고 문화, 성향 및 환경 변천에 따라 단일 생애에도 변할 수 있다(Walsh 2009, Shir-Vertesh 2012). 많은 사회에서 동물은 깊은 문화적 정신적 중요성을 갖지만, 잠재적 충돌의 원천도 여럿 있다(Herrmann 등 2013). 인간-야생 충돌은 서식지와 자원을 위한 경쟁에서 올 수 있는데, 이는 인간에게 경제손실은 물론 생명 손실까지 이어질 수 있고 생태계 변모, 종의 감소, 심지어 야생의 멸종으로도 갈 수 있다(Nyhus 2016). 그런 원천으로부터 길들인 동물과도 충돌이 발생하는데 물기, 할퀴기, 차기; 금전 또는 시간 부담; 과한 소음; 반려동물 과잉 또는 방기; 그리고 질병 또는 기타 건강 영향 파급(예: 알레르기) 등이다(Voith 2009, Wells 등 2019). 이러한 충돌 원천에도 불구하고 동물과 상호작용은 인간 생존과 안녕에

중요한 역할을 하고(Herrmann 등 2013), 생명 존중, 공감 및 잔인의 배척이라는 일반 윤리원칙과 일관된다(Warren 1997, Schweizer와 Cicovacki 2009). 그래서 우리는 지속가능한 개발과 사람 건강과 안녕을 유지하는 총합 접근의 일부로 충돌을 완화하고 동물복지를 조장할 책임이 있다.

B.2. 방사선방호와 환경윤리

(B3) ICRP의 기본목표는 사람과 환경 모두의 방호와 관련되며, 그래서 묵시적으로 사람이 아닌 동식물을 포함한다. 그러한 목표는 여러 윤리적 고려에 근거하지만, 특정 종의 보호와 관련된 성향은 사회마다 다름도 인정된다. 이 주제는 IAEA(2002)가 처음 탐구했고, 다음으로 ICRP 91(2003)에서 더 논의했다. 이들 연구에서 유용한 세 성분의 윤리 스펙트럼 관점이 식별되었다. 이들 관점은 세상에서 무엇이 도덕적 지위를 가지고 왜인가에 대한 철학적 토론으로부터 나온다. 기본적으로 이 관점은 다음과 같이 간략히 요약할 수 있다. 인간중심: 사람이 주이고 유일한 도덕적 지위여서 환경은 사람에게 영향을 미칠 때만 문제다. 생명중심: 도덕적 지위는 다른 종의 개체까지 연장될 수 있고 대개 그러해서, 결과적으로 그 개체에 적합한 책무가 발생한다. 생태중심: 도덕적 지위가 환경의 사실상 모든 것(강이나 산 같은 물리적 형체를 포함)까지 확장되지만 초점은 생태계의 모든 개별 성분보다는 생태계의 전체성과 다양성에 기반을 둔다. 물론 이들 큰 세 범주 각각 내에도 다양한 관점이 있다.

(B4) 인간중심 관점은 가장 인식하기 쉽고 세계의 많은 종교에 반영되어 있다. 다른 두 관점은 정의하기 쉽지 않다. 생명중심 관점은 상당히 다양한데, 여럿의 공통 특성은 많은 동물종이 고통과 즐거움을 경험할 수 있듯이 지각 있어 보인다는 사실로부터 발생하는 도덕적 책무의 인식이다. 이러한 고려의 결과는 동물권리나 동물복지에 대한 성향에 반영되고, 그래서 어떤 이유든 동물에 대한 실험과 관련된 성향처럼 국가 법률에 반영된다. 지각력이 아닌 생물학적 특성도 해당하는 것으로 보아, 일부 생명중심 관점은 모든 생물개체는 본질적 가치를 가지므로 그 자체로 존중받아야 한다고 본다. 이에 비해 생태중심 관점을 가진 사람은 우리가 생태복지를 최적화해야 한다고 믿으며, 비록 어떻게 그런 최적화를 수행할 것인지는 합의가 없어도 도덕적 지위에서 제일은 생태계에 있다는 데는 동의한다. 사람의 위치와 사람이 다른 종이나 환경의 물리적 성분에 줄 수 있는 권리에 비해 특별한 '권리'를 갖는 것으로 생각할 수 있는 정도는 가변적이다. 그러한 관점은 많은 문화나 믿음

에서 분명히 인식될 수 있다. 개인은 생애 동안 또는 상이한 상황에 접한 때 윤리 관점을 바꿀 수 있음을 인정한다. 그러나 그러한 관점도 집합적으로 사회, 문화 및 종교 수준에 반영된다는 것이 중요하다.

(B5) 그래서 ICRP는 사람 방사선방호와 달리 환경보호의 목적은 복잡하고 또렷하게 표현하기 어렵다고 인정했다(ICRP 2007). 그러나 ICRP는 생물다양성을 유지하고 종을 보전하며 자연 서식지, 공동체 및 생태계의 건강과 상태를 보전하는 데 필요한 지구적 요구와 노력에 동의했다. 따라서 한 세트 참조동식물(RAP; 동물 7, 식물 3)을 사용하는 실용적 시스템으로 이러한 목적을 충족하도록 기틀을 개발했다. 여기에는 다른 피폭상황에서 대표생물representative organism에 대한 의사결정 안내를 돕도록 선량계측, 방사선 영향 및 데이터 세트를 위한 수치적 접근도 포함한다(ICRP 2008,2009,2014,2017).

B.3. 수의진료에서 윤리 이슈

(B6) 환경보호에 대해 위에서 설명한 어느 접근도, 사람 방호에 관한 접근도 수의 진료에서 경험하는 상황과 분명하게 연계되지는 않는다. 환경 맥락에서 동물보호와 관련해서는 동물 개체 수준이 아니라(희귀종은 예외) 집단수준의 방호가 강조된다. 이런 점에서 사람중심 및 생물중심 윤리 모두가 적용된다. 종은 사람을 위한 그들의 ‘가치’ 덕분에 보호되지만, 생물중심 우려 때문에도 종종 보호된다. 동물 개체를 구하거나 묶인 고래의 경우처럼 불편을 더는 조치도 하는데, 필요하면 마취하여 수행하기도 한다.

(B7) 수의진료는 사람 의료처럼 아스쿨레피오스⁷⁹⁾Aesculapian(즉, 인술仁術)의 권위로 수행되는 것으로 보는데, 이는 사회가 ‘치유자’로 인식하는 의사에게 부여하는 본질적으로 특별히 힘 있는 권위이다. 아스쿨레피오스 권위는 의사(또는 수의사)에게 환자를 다루고 여러 방법으로 치료하는 면허이다. 그러나 사람 의료 상황은 일반적으로(그러나 항상은 아님) 건강전문가와 환자 양자만 관여해 수의진료와는 약간 다르다. 그러나 어떤 경우에는 당사자가 셋인데 건강전문가, 환자, 그리고 환자 보호자(간병인, 부모 등)이다. 이들 당사자 모두가 무엇을 하는 것이 최선인지 결정할 수 있어 가장 도덕적 방법으로 행동할 것을 가정하지만, 예를 들면 건강전문인과

79) <역주> 그리스-로마 신화의 의학과 치료의 신. 뱀과 함께 있는 그의 지팡이가 의료의 징표로 사용된다.

아동의 부모나 후견인 사이에 무엇을 하는 것이 아동의 최선 이익인지 의견 차이가 발생할 수 있다. 그런 경우 최종 결정은 법정에서 이루어진다는 것과 같은 메카니즘이 있지만, 전반적 목표는 보통은 분쟁이 아니라 환자의 안녕, 그래서 '선'이다.

(B8) 수의진료 경우에도 보통 당사자 셋이 있는데 수의사, 동물환자, 동물 주인/후견인이다. 그러나 각 당사자에게 적용되는 가치판단 사이에는 상당한 차이가 있다: 특히 누가 위험에 처하나? 누가 이익을 보나? 그리고 왜? 이 딜레마는 종종 수의업에서 윤리 개발에 핵심이 되어 왔다.

(B9) 윤리 개발은 상이하지만 관련된 두 주체의 조합처럼 보일 수 있다. 하나는 '동물윤리' 또는 종종 '동물문제animal problem'라고도 불리는 것으로서 이는 아리스토텔레스 시절부터 토론 대상이었다. 이는 사람과 동물 사이에 도덕적으로 관련된 차이가 무엇인지 추론을 시도한다(예: Beauchamp와 Frey 2011). 본질적으로 차이가 없다면 어떻게 우리가 지금 하는 방식으로 동물을 대함을 정당화할 수 있는가? 만약 차이가 있다면, 이 차이가 우리가 지금 하는 방식으로 동물을 대하게 하는 것은 무엇인가? 둘째는 바로 최근의 동물복지 주제의 문제이다. 어떻게 동물개체의 삶이 빈곤하여 고통을 겪거나 손상을 입게 되는가? 반대로, 삶이 개선될 수 있는가? 결과는 어떤 윤리인데, 이는 의학윤리와 매우 비슷하지만, 주요 기본적 차이도 명백하다. 특히, 생명을 보존하는 목적과 관련해 그러하다. 의학에서는 생명 보존이 본질적으로 모든 것을 관통하는 목적이지만, 수의진료에서는 해당 동물의 수명 차이, 삶의 질 또는 심지어 가축의 경우 가정하는 삶의 목적에 따라 결정이 조정되기도 한다.

(B10) 수의사의 기본책임 대상은 동물인가, 아니면 동물의 소유자인가 하는 것이 일반적으로 가장 근본적인 문제 중 하나다. 이 질문은 많은 국가의 법률에서 사람이 동물에 대한 '재산권'을 가질 수 있다는 사실로 인해 더욱 악화된다. 이는 사람이 동물을 사유재산으로 소유하고 경제적 이득을 위해 이용하고, 법률에 '부합'하는 방식으로 폐기함을 의미한다. 그래서 수의사의 고객은 이러한 재산권을 가진 사람이다. 동물을 '재산'으로 보는 이러한 시각은 수의사가 직면하는 일부 윤리적 딜레마의 원인이며, 수의사-동물-고객(주인) 관계에 영향을 미친다. 주인은 수의사의 의견이 둘째이며, 자기가 동물을 소유하므로 수의사에게 자신의 결정에 따르라고 요구할 수 있다고 본다. 가축의 경우 이는 특히 그러하다. 다른 차이는 가정 동물(애완/반려동물)과 주인 사이 매우 강한 유대관계의 인식인데, 이는 수의사와 고객 사이에 심리적 장벽을 만들 수 있고, 특히 안락사와 관련된 문제에서 그러하다. 또

한, 주인의 지불 의사와 능력도 고려해야 한다. 더욱 중요한 것은 동물이나 주인에 대한 의무와 상관없이, 수의사는 수의진료진을 부당한 방사선피폭으로부터 방호할 의무가 있다는 것이다.

(B11) 수의진료 분야도 상당히 동적임을 인정해야 한다. 개인 진료소는 본질적으로 사업으로 운영되며, 따라서 이러한 개인 진료소 간에 경쟁이 있고, 이익을 위해 운영하는 곳과 그렇지 않은 곳과 경쟁도 있다. 이러한 현실은 수의사 사이에 마찰과 윤리적 딜레마를 증가시킬 가능성이 있다. 이는 일부가 '경쟁'을 깨뜨리는 방법을 채택하거나 고객(즉, 주인)에게 기회주의적으로 행동할 수 있기 때문이다. 그러나 장기적으로는 공정한 경쟁이 고객에게 좋을 것으로 본다.

B.4. 참고문헌

- Beauchamp, T.L., Frey, R.G., 2011. *The Oxford Handbook of Animal Ethics*. Oxford University Press, Oxford.
- Herrmann, T.M., Schuttler, E., Benavides, P., et al., 2013. Values, animal symbolism, and human-animal relationships associated to two threatened felids in Mapuche and Chilean local narratives. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 9, 41.
- IAEA, 2002. *Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation: a Report for Discussion*. IAEA-TECDOC-1270. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 2003. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. *Ann. ICRP* 33(3).
- ICRP, 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2-4).
- ICRP, 2008. *Environmental protection - the concept and use of reference animals and plants*. ICRP Publication 108. *Ann. ICRP* 38(4-6).
- ICRP, 2009. *Environmental protection: transfer parameters for reference animals and plants*. ICRP Publication 114. *Ann. ICRP* 39(6).
- ICRP, 2014. *Protection of the environment under different exposure situations*. ICRP Publication 124. *Ann. ICRP* 43(1).
- ICRP, 2017. *Dose coefficients for non-human biota environmentally exposed to radiation*. ICRP Publication 136. *Ann. ICRP* 46(2).

- Nyhus, P.J., 2016. Human-wildlife conflict and coexistence. *Ann. Rev. Environ. Res.* 41, 143-171.
- Schweitzer, A., Cicovacki, P., 2009. *Albert Schweitzer's Ethical Vision: a Sourcebook*. Oxford University Press, New York.
- Shir-Vertesh, D., 2012. "Flexible personhood": loving animals as family members in Israel. *Am. Anthropol.* 114, 420-432.
- UN, 2015. *Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1. United Nations, New York.
- Voith, V.L., 2009. The impact of companion animal problems on society and the role of veterinarians. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 39, 327-345.
- Walsh, F., 2009. Human-animal bonds I: the relational significance of companion animals. *Fam. Process.* 48, 462-480.
- Warren, M.A., 1997. *Moral Status: Obligations to Persons and Other Living Things*. Oxford University Press, Oxford.
- Wells, K., Morand, S., Wardeh, M., et al., 2019. Distinct spread of DNA and RNA viruses among mammals amid prominent role of domestic species. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 29, 470-481.
- Zeder, M.A., 2015. Core questions in domestication research. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 112, 3191-3198.

사 사

2018년 4월 캐나다 퀘벡 회의에서, ICRP 본위원회는 수의진료에 방사선 적용과 관련된 방사선방호 특성에 관한 작업그룹(TG) 110을 구성해 제3분과와 제4분과에 보고하고 본위원회에 조언하도록 했다. 그래서 수의진료는 수의돌봄과 연관되므로 사람의 직무피폭 및 일반인피폭의 취급과 그러한 돌봄을 받는 동물을 위한 방사선 방호 고려를 포함한다. TG 110은 여러 형식의 수의진료에 깔려있는 윤리적 고려와 함께 수의진료에서 핵의약품을 사용함으로써 환경오염으로 인한 위험과 환경의 동식물 방호에 적용되는 윤리도 고려했다.

ICRP는 이 간행물 개발에 참여한 모든 이에게 힘든 노력과 헌신에 감사한다.

ICRP와 TG 110 위원들은 이 간행물의 바탕 기초작업을 깔아온 TG 107 위원들의 노고에 감사한다. 또한, 찾기 어려운 이미지와 간행물을 찾아 접근하도록 도운 여러 사서(특히 Clemson University, Diane Fagen of the American Veterinary Medical Association, Trenton Streck-Havill of the National Museum of Health and Medicine, and Joseph Montgomery of Kansas State University)에게도 감사한다.

작업그룹 110 위원(2018~2023)

N. Martinez(공동위원장)	S. Dorling	E. Randall(2019-)
Å. Sovik(공동위원장, 2021-)	J. Gambino(2019-)	C. Roy
L. Van Bladel(공동위원장 -2021)	D. Gilley	I. Tanaka(2019-)
L. Balogh	M. Natsuhori(2019-)	
J. Benoit	R.J. Pentreath(2019-)	
A. Davila	K. Peremans	

제3분과위 검토위원은 다음과 같다.

S. Demeter

제4분과위 검토위원은 다음과 같다.

D. Copplestone(-2021) C. Koch(2021-)

F. Bochud	T. Homma	S. Shinkarev
M. Boyd	C. Koch	J. Takala

(2021~2025)

T. Schneider(위원장)	J. Burt	A. Mayall
N. Martinez(부위원장)	A. Canoba	A. Nisbet
J. Garnier-Laplace(서기)	E. Gallego	S. Shinkarev
M. Baek	D. Giuffrida	J. Takala
N. Ban	C.B. Koch	H. Yoshida
Y. Billarand	Y. Mao	F. Zöler

제4분과위 명예위원

J.F. Lecomte

이 간행물 승인 당시 본위원회 위원

위원장: W. Rühm 독일

부위원장: D.A. Cool 미국

과학서기*: C.H. Clement 캐나다

K. Applegate 미국	S. Liu 중국	명예위원
F. Bochud 스위스	S. Romanov 러시아	R.H. Clarke 영국
S. Bouffler 영국	T. Schneider 프랑스	F.A. Mettler 미국
K.W. Cho 한국	A. Wojcik 스웨덴	R.J. Pentreath 영국
G. Hirth 호주		R.J. Preston 미국
M. Kai 일본		C. Streffer 독일
D. Laurier 프랑스		E. Vañó 스페인

* 과학서기는 1988년부터 공식 위원은 아니나, 본위원회의 필수 구성원이다.

끝으로 이 간행물 초안에 대해 의견수렴 과정에 시간을 들여 의견을 제시한 사람들과 기관에도 깊이 감사한다.

ICRP 연보

ANNALS OF THE ICRP

ICRP 연보는 국제방사선방호위원회(ICRP)의 공식 간행물이다. 1928년에 설립된 ICRP는 공익을 위해 특히 방사선 위험으로부터 방호의 모든 측면에 관한 권고와 지침을 제공함으로써 방사선방호 과학을 발전시킨다.

