

# [사내 교육 자료]

## 올바르고 윤리적인 동물실험 길라잡이

안전하고 존엄한 연구 환경 조성을 위한 지침서

---

기관동물실험윤리위원회 (IACUC)

수의과학연구실 편저

배포일: 2026년 6월 14일

# 차례

<b>1 동물실험의 개요 및 필요성</b>	<b>1</b>
1.1 중개연구의 간극 (Translational Gap)과 비동물 모델의 극복	1
<b>2 동물실험의 윤리 원칙 (3R 원칙에서 6R 최신 동향까지)</b>	<b>2</b>
2.1 1. Replacement (대체)	2
2.2 2. Reduction (감소)	2
2.3 3. Refinement (고통 완화)	3
2.4 4. Responsibility (책임)	3
2.5 5. Respect (생명 존중)	3
2.6 6. Reproducibility (재현성)	3
<b>3 법적 규제 및 기관동물실험윤리위원회 (IACUC) 실무 및 PAM</b>	<b>4</b>
3.1 3.1. IACUC (Institutional Animal Care and Use Committee)란?	4
3.2 3.2. 동물실험계획서 심의 프로세스	4
3.3 3.3. 계획서 변경 승인 (Amendment) 가이드라인	4
3.4 3.4. 전임수의사(Attending Veterinarian, AV)의 권한과 역할	4
3.5 3.5. 승인 후 모니터링 (PAM) 및 규정 미준수(Non-compliance) 처리 절차	5
<b>4 실험동물 계통 관리, 센티넬 모니터링 및 GEM 반입·사육 환경</b>	<b>6</b>
4.1 4.1. 유전적 계통 분류 및 품질 관리	6
4.2 4.2. 미생물학적 제어 및 센티넬(Sentinel) 프로그램	6
4.3 4.3. 유전자재조합동물 (GEM) 외부 반입 검역 프로토콜	6
4.4 4.4. 사육 환경 및 복지 가이드라인	6
<b>5 동물실험 고통 등급, 무균 수술 기본 수칙 및 마우스 안면 표정 척도 (MGS) 평가</b>	<b>7</b>
5.1 5.1. 동물실험 고통 등급 분류	7
5.2 5.2. 외과적 무균 수술 (Aseptic Surgery) 기본 수칙 (고통 등급 D)	7
5.3 5.3. 실무용 임상 증상 고통 점수표 (Clinical Scoring Sheet)	7
5.4 5.4. 마우스 안면 표정 척도 (MGS, Mouse Grimace Scale)	8
<b>6 마취·진통 프로토콜, 인도적 종료점 및 특수 안락사 가이드</b>	<b>9</b>
6.1 6.1. 조기 종료의 절대적 기준 (Humane Endpoint)	9
6.2 6.2. 질환 모델별 특수 인도적 종료점 (Oncology 특화)	9
6.3 6.3. 안락사(Euthanasia) 실무 프로토콜 및 사망 확인	9
6.4 6.4. 태아 및 신생자의 특수 안락사 가이드라인	9
<b>7 다빈도 실험 기법 가이드: 주사 바늘 규격, 투여 용매 및 채혈 실무</b>	<b>10</b>
7.1 7.1. 실험동물용 주사 바늘 규격 가이드라인	10
7.2 7.2. 약물 투여 용매 (Vehicle) 사용 한계 기준	10
7.3 7.3. 안전 채혈량 및 회복 가이드라인	10
<b>8 안전한 실험실 관리, 화학적 유해물질 투여 제어 및 연구자 보건 (OHSP)</b>	<b>11</b>
8.1 8.1. 유해화학물질 투여 동물 사후 제어 프로토콜	11
8.2 8.2. 연구자 보건 프로그램 (OHSP) 및 알레르기 관리	11
<b>9 자가 진단 체크리스트 및 실무 지식 확인 퀴즈</b>	<b>12</b>
9.1 실험 전 연구자 체크리스트	12
9.2 지식 확인 퀴즈 (Q&A)	12

# 1 동물실험의 개요 및 필요성

동물실험은 생명과학, 의학, 약학 분야의 연구 개발 과정에서 인류의 건강 증진과 생명 보존을 위해 필수적으로 수행되어 왔습니다. 그러나 생명체를 대상으로 하는 만큼, **과학적 타당성**과 **윤리적 의무**가 완벽히 균형을 이루어야만 그 결과의 신뢰성과 객관성을 인정받을 수 있습니다.

## 1.1 중개연구의 간극 (Translational Gap)과 비동물 모델의 극복

- **중개연구의 간극:** 비임상 동물실험에서 탁월한 효능을 보인 신약 후보물질 중 실제 임상시험(1상, 2상, 3상)을 거쳐 최종 승인되는 비율은 10% 미만에 불과합니다. 이는 인간과 실험동물 간의 유전학적, 면역학적, 생리학적 차이에서 기인합니다.
- **해결 방안:** 연구자는 동물의 복지를 극대화하여 통증과 불안에 의한 비특이적 생리적 교란(예: 스트레스 호르몬 급증으로 인한 대사 왜곡, 면역 억제 등)을 철저히 제어해야 합니다. 윤리적으로 통제되고 스트레스가 최소화된 우수한 동물 모델에서만 인간과의 중개 효율이 극대화된 고품질 데이터를 확보할 수 있습니다.
- **기본 태도:** 생명 존중을 바탕으로 생명체의 고통을 최소화하고, 실험의 타당성을 객관적으로 검증할 수 있는 엄격한 기준을 준수해야 합니다. 비윤리적이거나 방치된 동물실험은 신뢰할 수 없는 노이즈 데이터를 양산하며, 이는 궁극적으로 연구 실패와 막대한 개발 비용 낭비로 이어집니다.

## 2 동물실험의 윤리 원칙 (3R 원칙에서 6R 최신 동향까지)

1959년 러셀(Russell)과 버치(Burch)가 제안한 3R 원칙은 전 세계 모든 동물실험의 황금률이자 법적 의무 사항입니다. 최근 글로벌 생명과학계는 이에 그치지 않고 연구의 사회적 책임과 질적 우수성을 확보하기 위해 6R 원칙으로 확장하여 적용하고 있습니다.

현대 동물실험의 6R 원칙		
<b>Replacement (대체)</b> - 비동물 실험법 우선 전환 - 오가노이드, 장기모사칩	<b>Reduction (감소)</b> - 적정 동물 수 최소화 - 통계적 파워 분석 적용	<b>Refinement (고통 완화)</b> - 마취/진통제 적극 투여 - 행동 풍부화 도구 제공
<b>Responsibility (책임)</b> - 법적·사회적 윤리 준수 - 연구자의 전문성 확보	<b>Respect (생명 존중)</b> - 생명의 내재적 가치 인정 - 인도적 조기 종료 준수	<b>Reproducibility (재현성)</b> - 엄격한 표준 작업 절차 - 투명한 실험 데이터 기록

### 2.1 Replacement (대체)

- **개념:** 살아있는 척추동물을 사용하지 않고도 동일한 과학적 목적을 달성할 수 있는 방법을 우선적으로 모색하는 것입니다.
- **실천 방안:**
  - **In vitro(시험관 내) 및 Ex vivo 시험법:** 1차 세포 배양, 세포주(Cell line) 활용.
  - **첨단 대체법:** 장기유사체(Organoid), 생체모사칩(Organ-on-a-chip) 기술 적극 검토.
  - **In silico(컴퓨터 모델링):** 컴퓨터 시뮬레이션, QSAR 예측 모델, AI 기반 독성 예측 활용.
  - **하등 생물 대체:** 초파리(Drosophila), 예쁜꼬마선충(C. elegans), 제브라피시(Zebrafish) 유충 등으로의 대체 가능성 검토.

### 2.2 Reduction (감소)

- **개념:** 부득이하게 동물을 사용할 경우, 연구 목적을 달성하는 데 필요한 동물의 수를 최소한으로 줄이는 것입니다.
- **실천 방안:**
  - **철저한 실험 설계:** 요인 설계(Factorial design) 등을 통해 하나의 실험군에서 다각도 데이터를 회수.
  - **통계적 검정력 분석 (Power Analysis):** 통계 소프트웨어(G\_Power 등)를 활용하여 정량적인 동물 수를 산출합니다.
    - \*설정 예시: 유의수준  $\alpha = 0.05$ , 통계적 검정력  $1 - \beta = 0.80$ , 예상 효과 크기(Effect Size)  $d$  를 바탕으로 한 t-test 또는 ANOVA 동물 수 계산식 작성.
    - \*과소 산출 방지:\* 통계적 유의성을 확보할 수 없을 만큼 너무 적은 동물 수를 사용하는 것도 유의미한 데이터를 내지 못하고 동물을 헛되이 희생시키는 것이므로 윤리적으로 엄격히 제한됩니다.

## 2.3 Refinement (고통 완화)

- **개념:** 동물실험 과정 전반에서 동물이 겪는 통증, 고통, 불안 및 영구적 상해를 최소화하고 복지를 극대화하는 것입니다.
- **실천 방안:**
  - **진통 처치 표준화:** 처치 전후 적절한 마취제 및 진통제(Analgesics)의 선제적 투여(Pre-emptive analgesia).
  - **비침습적 기술 도입:** 실시간 이미징 장비(IVIS 등)를 활용하여 동물 체내 변화를 비침습적으로 추적, 생검이나 수술 횟수 감소.
  - **환경 및 핸들링 개선:** 스트레스를 유발하는 꼬리 잡기 방식 대신 터널(Tunnel handling)이나 손대접(Cupping) 방식을 적용하여 동물과의 신뢰 관계 형성.

## 2.4 Responsibility (책임)

- **개념:** 실험에 참여하는 모든 연구자는 동물의 복지와 실험의 정당성을 보장할 법적·사회적·윤리적 책임을 집니다.
- **실천 방안:** 연구 시작 전 반드시 충분한 가이드라인 교육 및 동물 취급 숙련도 훈련을 이수해야 합니다.

## 2.5 Respect (생명 존중)

- **개념:** 실험동물을 단순한 연구 도구나 소모품이 아닌 고통을 느끼는 '살아있는 생명체'로 바라보며 내재적 가치를 존중하는 태도입니다.
- **실천 방안:** 비인도적 방치를 배제하고 고통 수반 시 신속한 의사결정을 내립니다.

## 2.6 Reproducibility (재현성)

- **개념:** 동물실험의 정확하고 투명한 환경 조건 기록을 통해, 다른 연구자가 동일한 조건에서 실험했을 때 동일한 결과를 얻을 수 있도록 과학적 신뢰도를 확보하는 것입니다.
- **실천 방안:** 동물 유전적 배경, 미생물 상태, 사육 환경 정보(사료 종류, 조명 시간 등)를 논문 및 실험 노트에 명확히 기록하며, 국제 기준인 **ARRIVE 가이드라인**을 준수하여 보고서를 작성합니다.

### 3 법적 규제 및 기관동물실험윤리위원회 (IACUC) 실무 및 PAM

국내 동물실험은 농림축산식품부의 과 식품의약품안전처의 에 의해 엄격히 규제됩니다.

#### 3.1 IACUC (Institutional Animal Care and Use Committee) 란?

법률에 따라 실험동물을 보유·사용하는 모든 기관에 설치 의무화된 독립적인 심의 위원회입니다. 수의사, 동물 보호 단체 추천 위원, 외부 전문가 등이 참여하여 실험의 윤리성과 과학적 타당성을 평가합니다.

#### 3.2 동물실험계획서 심의 프로세스

**주의:** 심의 승인(Approved)을 받지 않은 동물실험은 어떠한 경우에도 시작할 수 없습니다. 승인 없이 진행된 실험 결과는 논문 투고나 신약 허가 신청 시 원천 무효 처리됩니다.

##### [ 심의 흐름도 ]

##### 1단계. 계획서 작성 및 접수

연구자가 구체적인 과학적·윤리적 타당성 근거를 기재하여 제출

##### 2단계. 위원회 심의

서면 혹은 대면 심의를 통하여 3R 부합 여부, 고통 경감 방안 등 최종 심사

##### 3단계. 결과 통보

- **보완/반려 (Update/Reject):** 보완서 작성 후 재심의 상정
- **최종 승인 (Approved):** 승인 번호 부여 및 실험 개시 허가

#### 3.3 계획서 변경 승인 (Amendment) 가이드라인

실험 진행 중 사소한 조건 변화라도 반드시 사전에 IACUC에 변경을 신고하여 승인을 받아야 합니다.

- **주요 변경 (Major Amendment - 위원회 정식 재심의 필요):**
  - 동물 종(Species)의 변경 또는 품종 변경
  - 승인된 총 동물 수의 10% 이상의 증가
  - 고통 등급의 변경 (예: C등급에서 D등급으로 상향)
  - 수술 절차의 추가 또는 변경, 마취제 및 진통제의 종류/용량 변경
  - 연구 책임자(PI)의 변경
- **경미한 변경 (Minor Amendment - 간이/행정 승인 가능):**
  - 실험 참여자(공동 연구원)의 추가 (단, 교육 이수 확인 필수)
  - 승인된 총 동물 수의 10% 미만의 경미한 증가
  - 보관 장소 또는 실험 구역의 단순 변경

#### 3.4 전임수의사(Attending Veterinarian, AV)의 권한과 역할

전임수의사는 동물 실험 시설 내 모든 동물의 건강 관리와 복지를 총괄하는 최고 수의학적 권한을 가집니다.

- **수의학적 응급 처치 권한:** 실험 진행 중 계획서에 명시되지 않았더라도, 동물이 감내할 수 없는 고통을 겪고 있다고 판단될 경우 전임수의사는 연구 책임자(PI)의 동의 없이도 즉각적인 진통 처치 또는 인도적 안락사를 단행할 수 있는 절대적 권한을 가집니다.
- **프로토콜 권고:** 수술 절차, 마취/진통 프로토콜의 적절성을 상시 감독하고 개선을 권고합니다.

### 3.5 승인 후 모니터링 (PAM) 및 규정 미준수(Non-compliance) 처리 절차

사내 IACUC는 승인된 계획서대로 실험이 성실히 수행되는지 불시에 점검하는 PAM 프로그램을 지속해서 운영합니다. 규정 위반 적발 시 다음 단계에 따라 조치됩니다.

#### [ 규정 미준수 적발 시 조치 가이드라인 ]

1. **1단계: 구두 경고 (Verbal Warning):** 즉시 수정 가능한 경미한 사항(예: 일지 미작성 등) 발견 시 현장 시정 확인 후 즉시 종결.
2. **2단계: 서면 경고 및 시정 명령 (Written Warning & Corrective Action Plan):** 유효기간 경과 약물 보관, 승인 인원 외 실험 진행 등 중등도 위반 시 14일 이내 이행 계획서 제출 의무화.
3. **3단계: 프로토콜 일시 중지 및 해당 연구원 출입 금지 (Protocol Suspension):** 임의적 고통 유발 처치, 미승인 상태의 고통 등급 임의 상향 등 중대 위반 시 해당 동물 전원 압류 및 연구원 출입 자격 최소 3개월 제한.
4. **4단계: 기관 고발 및 정부 부처 보고 (Official Reporting):** 동물 학대 행위 혹은 반복적인 고통 방치 적발 시 농림축산식품부 또는 식품의약품안전처 보고 및 법적 처벌 연계.

## 4 실험동물 계통 관리, 센티넬 모니터링 및 GEM 반입·사육 환경

### 4.1 유전적 계통 분류 및 품질 관리

- **근교계 (Inbred Strains):** 20세대 이상 형제 자매 교배를 거쳐 유전적으로 동일한 개체군 (유전적 동질성 99% 이상).
  - \*대표 계통: C57BL/6 (면역, 비만 모델), BALB/c (면역, 암 모델).
  - \*주의 사항: 유전적 부동(Genetic Drift) 방지를 위해 주기적으로 신뢰성 있는 전용 분양처에서 모체를 교체해야 함.
- **폐쇄군/외교계 (Outbred Strains):** 유전적 다양성을 유지하여 인간 집단과 유사한 대사적 변이를 분석하기 위한 개체군.
  - \*대표 계통: ICR (마우스), SD (랫트), Wistar (랫트).

### 4.2 미생물학적 제어 및 센티넬(Sentinel) 프로그램

실험동물실은 **SPF (Specific Pathogen Free, 특정 병원체 부재)** 상태를 유지해야 합니다. 바이러스나 기생충 유입을 상시 차단하기 위해 매 분기 센티넬 모니터링을 실시합니다.

#### [ 센티넬 동물 감염 모니터링 시스템 ]

- 사육실 내 일반 케이지의 오염된 톱밥(Bedding) 수집 및 센티넬 케이지 투여.
- 8 ~ 12주간 노출 후 센티넬 동물의 혈청 분석 및 부검 수행.
- 주요 감염원 (MHV, Sendai Virus, Mycoplasma 등) 음성 확인 후 청정 구역 유지.

### 4.3 유전자재조합동물 (GEM) 외부 반입 검역 프로토콜

외부 분양 시, 사내 SPF 장벽 붕괴를 예방하기 위해 엄격한 검역을 시행해야 합니다.

1. **문서 검토:** 최근 3 ~ 6개월간의 건강 모니터링 보고서(Health Report)의 사전 승인.
2. **격리 검역:** 격리 검역실(Quarantine)에 최소 2 ~ 3주간 수용.
3. **검증 분석:** 분변, 혈액을 채취하여 주요 전염병 감염 여부를 PCR 및 Serology 기법으로 재검증한 후, 음성 판정 시에만 SPF 사육실 이송.

### 4.4 사육 환경 및 복지 가이드라인

- **온습도 정밀 통제:** 마우스/랫트  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 토끼  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  기준 유지, 습도  $50 \pm 10\%$  유지.
- **사육 구역 배리어 분류:**
  - **배리어 (Barrier) 구역:** SPF 상태가 요구되는 GEM 및 면역결핍동물(Nude 등) 사육. 멸균 장비 사용 의무화.
  - **컨벤셔널 (Conventional) 구역:** 상대적으로 감염 우려가 적은 일반 생체 관찰 및 단기 안전성 시험 대상 사육.

## 5 동물실험 고통 등급, 무균 수술 기본 수칙 및 마우스 안면 표정 척도 (MGS) 평가

### 5.1 동물실험 고통 등급 분류

통증의 강도에 따라 적절한 마취 및 처치가 수립되어야 합니다.

표 1: 동물실험 고통 등급 분류 (국내 기준)

고통 등급	설명	실제 실험 예시	요구 사항
A 등급	간접 관찰, 비침습적 모니터링	현장 관찰, 행동 분석	제한 없음
B 등급	척추동물 불사용 혹은 안락사 후 조직 적출	안락사 후 장기 적출, 곤충 실험	안락사 법적 기준 승인 필요
C 등급	거의 무시할 수 있는 경미한 통증	단순 약물 투여, 꼬리 채혈, 도포	보정 시 동물 안전 확보
D 등급	마취제, 진통제로 제어 가능한 통증	외과적 수술, 고행암 모델, 감염증 모델	수술 전후 적극적 마취 및 진통제 투여 필수
E 등급	고통 경감이 불가능한 극심한 위해 수준	독성 시험, 치사량 결정, 심한 충격 모델	계획서 승인 엄격화, 인도적 종료점 강제 적용

### 5.2 외과적 무균 수술 (Aseptic Surgery) 기본 수칙 (고통 등급 D)

감염에 따른 변수를 배제하고 고통을 막기 위해 할스테드의 원칙(Halsted's Principles)을 준수합니다.

- **수술 도구 멸균:** 모든 기구는 고압증기멸균기(Autoclave) 또는 비드 소독기를 이용해 멸균 후 사용합니다.
- **수술 부위 준비 (Prep):** 제모기로 털을 깎아낸 뒤 베타딘 소독액과 70% 에탄올을 이용하여 중심에서 바깥으로 3회 이상 교차 소독을 실시합니다.
- **술자 준비:** 멸균 장갑, 마스크, 헤드캡 및 멸균 가운의 완전 착용.

### 5.3 실무용 임상 증상 고통 점수표 (Clinical Scoring Sheet)

상태가 불량하거나 고위해 수술 후 회복기의 동물은 매일 기록지에 개별 상태를 확인하여 점수화합니다.

표 2: 실무용 임상 증상 고통 점수표

평가 항목	0점 (정상)	1점 (경증 부조화)	2점 (중등도 이상)	3점 (위중/극심)
체중 변화	변화 없음/증가	정상 대비 5 ~ 10% 감소	정상 대비 11 ~ 19% 감소	정상 대비 20% 이상 감소
외관 (피모) 자세 및 체형	깨끗함 정상 자세	다소 거칠어짐 등을 가끔 구부림	털이 곤두섬, 눈썹 항 상 움 크 림 (Hunched)	심한 오염, 상처, 자해 비정상적으로 누워 있음
행동/반응성	활발함	자극에 반응 지연	회피 행동 소실, 기 력 저하	자극 무반응, 무기력
호흡 상태	일정함	다소 빠른 호흡	불규칙한 호흡, 천 명음	호흡 곤란, 청색증 관찰 명음

**[ 누적 점수 평가 결과 가이드라인 ]**

- 0 ~ 2점: 정상 관찰 (주기적 모니터링)
- 3 ~ 5점: 수의학적 처치 필요 (진통제 추가 투여, 보온, 습식 사료 공급)
- 6점 이상: 인도적 종료점 도달 → 즉시 안락사 실시

**5.4 5.4. 마우스 안면 표정 척도 (MGS, Mouse Grimace Scale)**

- 눈 가늘게 뜨기 (Orbital tightening): 눈을 감거나 아몬드 모양으로 감는 상태.
- 코 볼록함 (Nose bulge): 콧등 근육 수축으로 표면이 둥글게 볼록해짐.
- 볼 볼록함 (Cheek bulge): 볼 근육이 비대해 보이고 둥글게 돌출됨.
- 귀 위치 (Ear position): 귀가 뒤로 완전히 눕거나 거리가 좁아짐.
- 수염 변화 (Whisker change): 수염이 얼굴 방향으로 뭉치거나 아래로 꺾임.

※ 평균 점수가 1점 이상 도달 시 즉각적이고 적절한 진통 처치를 시행해야 합니다.

## 6 마취·진통 프로토콜, 인도적 종료점 및 특수 안락사 가이드

### 6.1 조기 종료의 절대적 기준 (Humane Endpoint)

아래의 상태가 단 하나라도 충족될 경우, 연구자는 지체 없이 인도적 안락사를 수행하여 고통을 해소해야 합니다.

1. **기아 및 탈수:** 24시간 이상 사료나 물을 전혀 섭취하지 못할 때.
2. **체온 강하:** 정상 범위 대비 3°C 이상 하락 (마우스 기준 34°C 이하).
3. **마비:** 전신 경련, 전후지 마비, 기립 불능이 지속될 때.

### 6.2 질환 모델별 특수 인도적 종료점 (Oncology 특화)

#### - 고형암(Tumor) 모델:

- 종양 크기가 마우스 체중의 10%를 넘거나 부피가 2,000 mm<sup>3</sup> (랫트 4,000 mm<sup>3</sup>)에 달한 경우.
- 표면 괴사, 진물, 출혈성 궤양(Ulceration) 발생 시.
- 종양이 관절 부위 혹은 거드랑이에 생겨 기동 및 식이 섭취를 현저히 제한할 때.

- 복수 암(Ascites) 모델: 복수 주입으로 전신 팽창이 가속화되어 자발적인 움직임이 불가능할 때.

### 6.3 안락사(Euthanasia) 실무 프로토콜 및 사망 확인

#### [ 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 흡입식 안락사 프로세스 ]

1. **빈 아크릴 챔버 준비:** 기존 사육 종이던 케이지에 가스를 직접 분출하는 방식을 원천 금지합니다.
2. **가스 주입:** 동물을 안착시키고 뚜껑을 밀봉한 후, 챔버 용적의 분당 30 ~ 70% 유량 속도로 서서히 가스를 공급합니다. (※ 급격한 고농도 주입 시 점막 자극 통증 유발)
3. **유지 및 사망 확인:** 무호흡 도달 후 최소 2 ~ 3분 유지하고, **2차 물리적 사후 처치(경추탈골, 대동맥방혈, 기흉 형성 등)**를 의무적으로 시행하여 부활 가능성을 차단합니다.

### 6.4 태아 및 신생자의 특수 안락사 가이드라인

- **임신 15일 이전 태아:** 모체 안락사 시 산소 결핍으로 무통 상태에서 자연 폐사.
- **임신 15일 이후 태아:** 모체 사후 즉시 자궁을 적출하여 물리적 단두 처치 혹은 급속 냉각 유도.
- **신생 설치류 (생후 14일 이내):** 뇌 조직의 산소 요구량이 극히 낮아 단독 CO<sub>2</sub> 가스 처리를 전면 불허합니다. 깊은 전신 마취 후 물리적 참수를 단행하는 2단계 방식을 필수 적용합니다.

## 7 다빈도 실험 기법 가이드: 주사 바늘 규격, 투여 용매 및 채혈 실무

### 7.1 실험동물용 주사 바늘 규격 가이드라인

동물 부상 최소화와 약물의 일관성 확보를 위해 최적화된 바늘(Gauge)을 권장합니다.

표 3: 실험동물용 주사 바늘 규격 가이드라인

대상 동물	투여 경로	적정 바늘 규격 (Gauge)	추천 및 주의 사항
마우스 (Mouse)	경구 투여 (PO)	20 G 둔두 존데	식도 천공 방지용 둥근 팁 필수 (소형/플라스틱 권장)
	피하 주사 (SC)	25 G ~ 26 G	둔부 피부 가볍게 주름잡아 진입
	복강 주사 (IP)	25 G ~ 26 G	장기 찢림 방지를 위해 바늘 비스듬히 삽입
	정맥 주사 (IV)	29 G ~ 30 G	꼬리 가온 후 혈관 확장 확인 뒤 진입
랫트 (Rat)	경구 투여 (PO)	18 G ~ 20 G 금속 존데	존데 끝 방향이 식도를 타고 부드럽게 넘어가게 함
	피하 주사 (SC)	23 G ~ 25 G	두꺼운 피부 조직 관통을 위한 견고한 바늘
	복강 주사 (IP)	23 G ~ 25 G	맹장 손상 방지를 위해 하복부 외측 타격
	정맥 주사 (IV)	25 G ~ 27 G	혈관이 굵으나 가온 및 마취 상태에서 진입 권장

### 7.2 약물 투여 용매 (Vehicle) 사용 한계 기준

강한 유기용매의 남용은 국소 괴사 및 급성 전신 부작용을 야기하므로 아래 기준을 준수합니다.

- **DMSO 최대 최종 농도:**
  - 정맥 투여 (IV): 최종 Formulation 중 10% 이하 유지 (용혈 작용 유발 방지).
  - 복강 및 경구 투여 (IP/PO): 최종 농도 20% 이하 제한.
- **Ethanol 최대 농도:** 모든 침습적 경로 주입 시 최종 농도 10% 이하로 제한.
- **산도(pH) 한계 범위:** 주입 전 약물은 생리학적 안정을 위해 반드시 pH 4.5 ~ 8.0 수용액 내에 있어야 합니다. 극단적인 산성의 주입은 중증 복막염을 야기합니다.

### 7.3 안전 채혈량 및 회복 가이드라인

- **총 순환 혈액량:** 실험동물의 총 순환 혈류량은 대략적으로 체중의 6 ~ 8% (70 mL/kg)입니다.
- **1회 최대 안전 채혈량:** 총 순환량의 10% 이내로 고정합니다. (예: 25 g 마우스의 일시적 채혈 한계치는 0.18 mL 이하입니다.)
- **채혈 주기:** 위 수치의 대량 채혈 후에는 반드시 최소 2주일 간의 회복 소요 기간을 준수해야 추가 채혈이 가능합니다.

## 8 안전한 실험실 관리, 화학적 유해물질 투여 제어 및 연구자 보건 (OHSP)

### 8.1 유해화학물질 투여 동물 사후 제어 프로토콜

타목시펜(Tamoxifen), 브로모디옥시유리딘(BrdU), 스트레포조토신(STZ) 등 잔류 변이원성이 우려되는 제제 투여 시 즉시 경고 카드를 부착하고 특별 관리 프로세스를 전개합니다.

#### [ 유해화학물질 처치 후 72시간 방출 규정 ]

- 투여 후 최초 72시간 동안 동물의 분변, 배설물, 호흡을 통해 대사된 약물 독성이 외부로 비산할 수 있습니다.
- **케이지 교체 절대 금지:** 이 기간 중 배당의 임의 교환은 전면 봉쇄되며, 내부 관찰은 전용 음압 케이지 체인저(Laminar Flow Cabinet) 내부에서 이행해야 합니다.
- **의료폐기물 격리 분리:** 최초 72시간 이후 수집되는 오염 배당 및 사체는 전용 의료폐기물 합성수지통에 별도 분리하여 고온 소각 폐기물로 지정해야 합니다.

### 8.2 연구자 보건 프로그램 (OHSP) 및 알레르기 관리

- **실험동물 알레르기 (LAA, Laboratory Animal Allergy) 예방:** 동물의 분변 단백질 및 비듬은 천식의 직접적인 원인입니다. 연구자는 사육실 출입 시 헤드캡, 방진의, 이중 장갑 및 밀착형 N95 마스크를 필수로 밀폐하여 착용해야 합니다.
- **파상풍 예방 접종:** 교상이나 바늘 찔림 상해로 인한 감염을 완전히 봉쇄하기 위해, 모든 사내 연구원은 **최소 10년 이내의 파상풍 예방 접종(Tetanus vaccine)** 이력을 의무적으로 유지해야 합니다.

## 9 자가 진단 체크리스트 및 실무 지식 확인 퀴즈

### 9.1 실험 전 연구자 체크리스트

- 이번 실험에 동물실험을 대체할 수 있는 비동물 모델(1R)이 있는지 검토했는가?
- 통계적 근거(G\*Power 파워 분석 등)를 바탕으로 도출된 최소한의 동물 수(2R)를 설정했는가?
- 동물에게 고통을 줄 수 있는 처치 시 마취 및 통증 완화 대책(3R)을 구체적으로 수립했는가?
- 해당 실험 계획서가 IACUC의 최종 승인을 받았으며, 승인 번호를 숙지하고 있는가?
- 동물의 인도적 종료점 기준(체중, 외관, 자세 등)을 수립하고 일일 임상 점수 기록지를 준비했는가?
- 약물 조제 시 사용한 보조 용매(DMSO, Ethanol 등)의 농도와 pH가 허용 한계를 넘지 않는가?
- 파상풍 백신 예방접종 유효기간을 확인하였으며, N95 개인 보호구를 지참하였는가?
- 특수 유해 물질(Tamoxifen 등) 투여 후 72시간 분변 안전 격리 절차를 숙지했는가?

### 9.2 지식 확인 퀴즈 (Q&A)

**Q1. 연구비 절감과 편의를 위해 IACUC 승인을 받기 전에 예비 실험(Pilot Study) 명목으로 동물을 먼저 구입해 실험을 진행해도 되나요?**

**A1. 절대 안 됩니다.** 승인되지 않은 동물실험은 불법이며, 에 따라 형사 처벌(벌금 및 징역)을 받을 수 있습니다. 기관의 대외 신뢰도 실추는 물론이며 예비 실험 또한 엄연히 사전에 계획서 승인을 받아야만 진행 가능합니다.

**Q2. 종양 치료제 효능 평가 중 동물의 체중이 원래보다 25% 감소하고 종양 부위에 진물이 나기 시작했습니다. 실험 목표 일정이 이를 남았는데 마저 진행해도 될까요?**

**A2. 절대 진행하면 안 됩니다.** 이는 임상 증상 고통 점수 기준 6점 이상 및 인도적 종료점 절대 조건(체중 20% 이상 감소, 종양 부위 궤양)에 완전히 해당합니다. 지체 없이 안락사 절차를 시행해야 합니다. 실험 일정 엄수보다 동물 복지가 항상 최우선 원칙입니다.

**Q3. 마우스(Mouse) 사육 케이지가 좁아 보여서 임의로 크기가 더 큰 아크릴 상자에 톱밥만 깔아두고 키우려고 합니다. 괜찮을까요?**

**A3. 안 됩니다.** 실험동물은 미생물학적으로 제어된 전용 사육 장비(IVC 케이지 등)에서 사육되어야 하며, 임의로 사육 환경을 변경하면 병원체 감염 위험뿐만 아니라 온도/습도의 불균형으로 인해 연구 결과의 신뢰성과 재현성이 완전히 무너집니다.

**Q4. 마우스의 꼬리 정맥에서 채혈을 진행 중인데 더 많은 양의 혈액을 한 번에 얻기 위해 주사기로 강하게 흡인하여 약 0.8 mL를 한 번에 뽑았습니다. 안전 기준에 문제가 없나요?**

**A4. 심각한 안전 위반입니다.** 25 g 마우스 기준 안전 1회 채혈량은 최대 약 0.18 mL 정도입니다. 총 혈액량의 40%가 넘는 0.8 mL의 급격한 채혈은 저혈량성 쇼크사를 유발하여 동물의 생명을 직접적으로 위협합니다. 가이드라인에 명시된 한계 채혈량을 철저히 준수해야 합니다.

**Q5. 사육실 청소를 신속하게 끝마치기 위해 안락사 가스용 챔버에 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 가스를 미리 가득 채워둔 상태에서 마우스 여러 마리를 한 번에 밀어 넣었습니다. 괜찮은 방법인가요?**

**A5. 절대 안 됩니다.** 고농도의 이산화탄소 가스에 갑작스럽게 노출된 마우스는 기도 및 눈 점막에 타는 듯한 극심한 통증과 공포를 느끼게 됩니다. 안락사는 항상 동물을 투입한 후 챔버 용적의 분당 30 ~ 70% 속도로 서서히 가스를 주입하여 부드러운 의식 소실을 유도하는 것이 원칙입니다.

**Q6. 실험 도중 계획에 없던 약물의 농도를 높이거나 주사 투여 경로를 꼬리 정맥(IV)에서 복강(IP)으로 변경하여 투여하고 싶습니다. 당장 오늘 실험해야 하는데 구두 보고 후 임의 변경해도 되나요?**

**A6. 불가능합니다.** 투여 경로 및 약물 농도 변경은 동물의 고통 수준 및 생리적 반응에 큰 변화를 일으킬 수 있는 중대 변경 사항입니다. 사전에 변경 계획서를 작성하여 IACUC의 **변경 심의 및 공식 승인(Amendment Approved)**을 받기 전까지는 기존에 승인된 방식으로만 실험을 진행해야 합니다. 임의 변경은 승인 계획 위반으로 실험 중단 사유에 해당합니다.

**Q7. 동물실험을 진행하다가 옆 실험대의 동료 연구원이 마취제 없이 마우스의 발가락을 자르는 비윤리적 행위를 목격했습니다. 사내에서 이를 대처할 수 있는 방법은 무엇인가요?**

**A7. 즉시 사내 IACUC 위원회 채널로 제보해야 합니다.** 동물 보호 법률에 따라 비윤리적 처치는 전면 금지되며, 사내 헬프라인이나 수의사, 간사 이메일을 통해 무기명(익명)으로 위반 사례를 고발할 수 있습니다. 제보자의 신원은 철저히 보장되며, 사실 확인 후 즉각적인 조사와 실험실 제재 조치가 취해집니다.

**Q8. 유전자 변형 마우스(Knock-out mouse)를 제작하기 위해 임신모 마우스에 타목시펜(Tamoxifen) 유도제를 주사했습니다. 이 마우스를 관리할 때 특별한 보호 장비가 추가로 필요한가요?**

**A8. 예, 필요합니다.** 타목시펜은 에스트로겐 수용체 조절물질로서 잔류 변이원성이 있는 위험 화학물질입니다. 투여 후 최소 72시간 동안은 해당 마우스의 배설물에 독성 물질이 섞여 나오므로, 케이지 변경을 금지하고 반드시 음압식 벤치형 안전 케이지 체인저 내부에서 전용 보호 장구(고글, N95, 이중장갑)를 완비한 상태에서 동물을 관찰해야 합니다.

**Q9. 수술 직후 회복실에 있는 마우스의 상태를 보았는데, 눈을 완전히 가늘게 뜨고 콧등이 둥그렇게 긴장되어 블록해진 것을 확인했습니다. MGS 지표상 이것은 무엇을 뜻하나요?**

**A9. 심한 수술 통증을 겪고 있음을 나타냅니다.** Orbital tightening(눈 조임)과 Nose bulge(코 불룩함)는 마우스 안면 표정 척도(MGS)의 핵심 통증 지표입니다. 수의사에게 즉시 보고하고 계획서에 미리 기술한 추가 진통제(Buprenorphine 등) 처치를 실행해야 합니다.

**Q10. 실험실 구석 보관장 서랍에서 몇 달 전 개봉하여 사용하던 펜토바르비탈(Pentobarbital) 마취제 병을 발견했습니다. 병 라벨의 밀봉 씬은 뜯겨있지만 약물 액상이 오염되지 않아 보입니다. 이 마취제를 그대로 실험에 사용해도 될까요?**

**A10. 절대 안 됩니다.** 이미 개봉된 약물은 미생물 오염 위험이 매우 크며, 공기 노출로 인해 주 성분 함량이 저하되어 마취 유도 실패나 부작용을 일으킬 수 있습니다. 특히 씬이 개봉된 시약류는 보존 기준을 초과했거나 유효기간이 지났을 확률이 크므로, 승인 후 모니터링(PAM) 점검 시 즉각 적발 대상이 됩니다. 반드시 폐기 후 신규 멸균 마취 약물을 주문하여 사용해야 합니다.

**Q11. 전임수의사가 계획된 동물실험 중 어떤 마우스의 상태를 보더니, 연구 책임자인 저의 의견을 묻지 않고 현장에서 해당 동물을 안락사시켰습니다. 수의사의 독단적 조치에 항의하여 제재할 수 있나요?**

**A11. 항의하거나 제재할 수 없습니다.** 전임수의사(AV)는 실험 시설 내에서 고통받는 동물의 상태를 진단하고 비인도적인 방치를 종결해야 하는 최종적인 법적·수의학적 책임과 권한을 지닙니다. 동물의 고통 수준이 종료점에 이르렀다고 수의사가 판단한 경우, 연구자의 동의 유무에 관계없이 즉각적인 치료 혹은 안락사를 진행하는 것은 수의사의 정당한 의무이자 권리입니다.

**Q12. 마취제나 약물을 조제할 때, 비용 절감을 위해 신뢰도 높은 제약 등급 제품 대신 일반 화학 시약 판매처(Sigma-Aldrich 등)에서 시약 등급(Chemical Grade) 가루를 사서 연구원이 임의로 희석해 사용해도 될까요?**

**A12. 엄격히 제한되며, 부득이한 경우 승인을 얻어야 합니다.** 동물에게 주입되는 마취제, 진통제 및 치료 약물은 불순물 오염 및 농도 비일관성 방지를 위해 **인체용 또는 동물용 공식 제약 등급(Pharmaceutical Grade) 의약품**을 사용하는 것이 원칙입니다. 제조 등급이 없는 특수 시험 물질에 한해서만 시약 등급 사용이 허용되며, 이 경우에도 조제법과 멸균 필터링 절차를 IACUC 계획서에 기술하여 사전 승인을 취해야만 합니다. 임의 제조 및 사용은 적발 대상입니다.

**Q13. 주말 사이에 사육실 내 특정 실험군의 마우스 3마리가 갑작스럽게 사망해 있는 것을 월요일 아침에 발견했습니다. 사유를 모르는 폐사가 발생한 경우 그냥 사체 봉투에 담아 버리면 되나요?**

**A13. 안 됩니다.** 원인 미상의 예기치 못한 폐사(Unexpected Mortality) 또는 약물 이상 반응에 의한 갑작스러운 사망 사례가 발생할 경우, 연구자는 **사고 인지 후 24시간 이내에 IACUC에 서면으로 원인 분석 보고**를 제출해야 합니다. 사체는 부검(Necropsy)을 통해 감염병 유입이나 투여 과실 여부를 분석한 후 절차에 따라 의료폐기물로 소각해야 합니다.

**Q14. 수술 중인 마우스의 호흡이 규칙적인지, 혹은 마취가 풀려 통증을 느끼기 시작하는지 기계 없이 실시간으로 직접 확인하는 방법은 무엇인가요?**

**A14. 발가락 반사(Pedal withdrawal reflex)와 호흡 모니터링이 필수적입니다.** 핀셋이나 손가락으로 마우스 뒷발가락 사이의 막을 깊게 꼬집었을 때, 발을 빼려는 반사 행동이 보이면 마취 수준이 알아진 것입니다. 또한, 분당 정상 설치류 호흡 수(80 ~ 200회/분)보다 과도하게 호흡 수가 느려지거나(마취 깊음) 갑자기 헐떡거리며 빨라진다면(통증 또는 산소부족) 즉시 마취제 유입 농도를 정밀 제어해야 합니다.

**Q15. 협력 대학교 실험실에서 아주 특별한 녀아웃 마우스를 분양해주겠다고 합니다. 이미 믿을 만한 교수님이 청정하게 관리한 마우스이므로, 분양받은 즉시 저희 사내 SPF 배리어 사육실 케이지에 합사시켜 기르면 되나요?**

**A15. 안 됩니다.** 학계 등 검증되지 않은 외부 시설로부터 오는 동물은 반드시 사내 격리 검역실(Quarantine)에서 **최소 2 ~ 3주간의 격리 기간 및 PCR 미생물 전수 분석**을 거쳐 안전성이 검증되어야만 본 사육 장벽 내부로 반입될 수 있습니다. 검역 단계를 거치지 않고 직접 수용할 경우, 보이지 않는 병원체가 유입되어 사내 시설의 모든 SPF 장벽 동물 전원을 안락사하고 시설을 씻다운해야 하는 재앙이 초래될 수 있습니다.

**“윤리적인 동물실험이 곧 가장 과학적이고 신뢰받는 연구 결과를 만듭니다.”**  
본 가이드를 준수하여 생명 존중의 가치를 실현하는 안전한 연구 문화를 함께 만들어 갑시다.

---

문의: 사내 기관동물실험윤리위원회 (IACUC) 간사