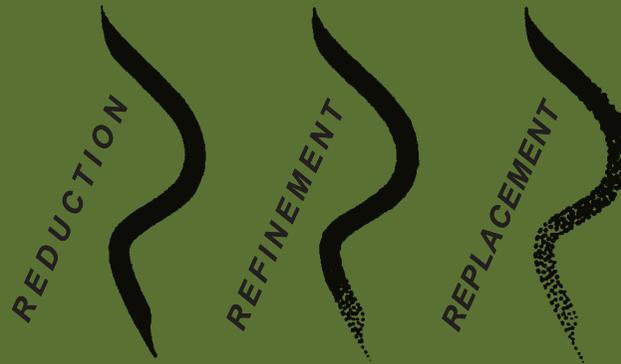


# The Three Rs and the Humanity Criterion

동물실험의 3Rs 원칙과 인도적 기준

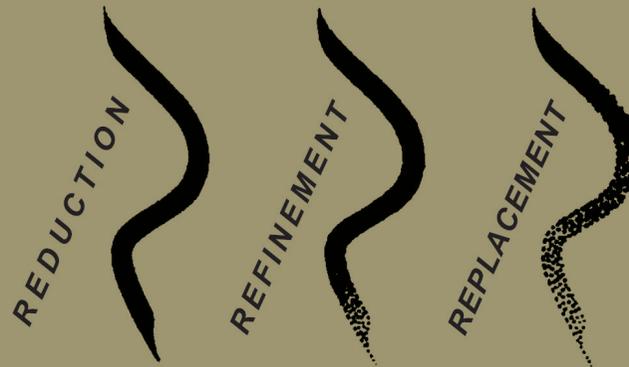


마이클 볼스 지음 / 최병인 · 이귀향 옮김



# The Three Rs and the Humanity Criterion

동물실험의 3RS 원칙과 인도적 기준



마이클 볼스 지음 / 최병인 · 이귀향 옮김



# 목 차

## Contents

들어가며 Preface	최병인	4	제1장 서론 Introduction	21
요약본 축하 서문 Foreword	클레오 파스칼	5	제2장 비인도적 행위의 개념 The Concept of Inhumanity	33
요약본 서문 Preface to the Abridged Version	마이클 볼스	7	제3장 실험동물의 생태학 The Ecology of Experimental Animals	49
감사의글 Acknowledgements	마이클 볼스	17	제4장 비인도적 행위의 원인, 사례 및 제거방안 The Sources, Incidence, and Removal of Inhumanity	65
블로냐현장 Declaration of Bologna		18	제5장 대체 Replacement	77
원본 서문 Preface to the Original Version	러셀과 버치	19	제6장 감소 Reduction	113
			제7장 완화 및 개선 Refinement	143
			제8장 인도적 동물실험의 발전 요인 The Factors Governing Progress	165
			제9장 부록 Addendum	185
			제10장 참고 문헌 References	195
			편집후기	
			저자   역자 소개	203

들어가며  
PREFACE



2014년 체코 프라하에서 개최된 제 9회 세계 동물실험 대체법 학회 (WC9) 에 참석한 저자 마이클 볼스 교수와 편집자 수잔 트리웰 Susan Trigwell과 함께

국제적인 기준으로 적용되고 있는 동물실험의 과학적이고 인도적인 3Rs 원칙이 2008년 국내 동물보호법 제23조에 최초로 명문화 되었지만, 영국의 러셀 교수와 버치 박사가 집필한 『인도적 동물실험의 원칙 The Principles of Humane Experimental Technique』의 탄생 배경과 저자를 구체적으로 소개하는 한글 문헌은 전무한 실정이다. 2014년은 실험동물의 복지를 고려한 3Rs 원칙 탄생 55주년이 되는 해이다. 지난 반세기 동안 3Rs 원칙이 생명 과학계에 어떠한 영향을 주었는지, 오늘날 얼마나 효과적으로 활용되고 있는지, 보다 진보된 동물복지의 실현을 위해 각 분야에서 활동하시는 분들에게 그 뿌리를 소개하고자 본교재를 제작하였다.

러셀 교수와 버치 박사가 집필한 원문의 내용은 상당히 이해하기 어려운 문장으로 기술되어 있으며, 빠르게 진보하는 과학의 발전으로 더 이상 유효하지 않은 정보도 담고 있다. 그래서 2009년 3Rs 원칙 탄생 50주년을 기념하여 마이클 볼스 교수는 일반인들과 비영어권 독자들도 쉽게 이해할 수 있도록 최신의 동향을 반영한 『동물실험의 3Rs 원칙과 인도적 기준 The Three Rs and the Humanity Criterion』 요약본 교재를 출판하였다.

이번에 한국에서 출간하는 본 교재는 마이클 볼스 교수가 집필한 요약본 교재의 핵심내용과 중요성을 그대로 전달하기 위해 여러 분야 전문가분들의 자문을 얻어 집필하였다. 볼스 교수는 주석을 선호하지 않지만 빠르게 발전하는 과학과 문화가 다른 연구환경으로 인해 익숙하지 않은 내용과 한글로 표현하기 어려운 부분은 도움이 될 수 있도록 원문을 병기하고 별도의 공란에 설명을 추가하였다. 본 교재가 동물실험을 계획하는 연구자를 비롯하여 관련자들에게 실험동물 복지 구현을 위한 지침서가 되었으면 하는 바람이다.

2015년 12월

가톨릭대학교 생명대학원

임상연구윤리학과 전공책임교수 최병인

## 요약본 축하 서문 FOREWORD

### 참고문헌

1. Russell, W.M.S. & Burch, R.L. (1959). *The Principles of Humane Experimental Technique*. 238 pp. London, UK: Methuen.
2. Russell, C. & Russell, W.M.S. *Human Behavior: A New Approach*. 532 pp. Boston, MA, USA: Little, Brown and Company.
3. Russell, C. & Russell, W.M.S. (1968). *Violence, Monkeys and Man*. 340 pp. London, UK: Macmillan.
4. Russell, C. & Russell, W.M.S. (1999). *Population Crises and Population Cycles*. 124 pp. London, UK: Galton Institute.
5. Russell, C. & Russell, W.M.S. (1958). On man-handling animals. *UFAW Courier* 14, 1-13.

윌리엄 모이 스트레튼 러셀(William Moy Stratten Russell) 교수는 (1925-2006, 이하 러셀 교수) 가공되지 않고 흩어져 있는 정보들을 발견하고 취합하여 의미 있는 결론을 도출해 내는 탁월한 능력을 지니고 있었다. 그는 복잡하면서도 끊임없이 변하는 세상의 이치를 혁신적인 방법으로 제시하였다. 러셀 교수는 인도적 동물실험에 심리이론을 적용시켰다. 또한 동물의 개체 수 증가 연구에는 민속학(folklore)을, 공상과학 소설에는 그리스 역사를 접목시켰다. 그는 수년 동안 발표된 정보를 수집하고 통합하여 특별한 의미를 부여하는 의미있는 과업을 성공적으로 이루어 냄으로써 과학자다운 면모를 보여주었다.

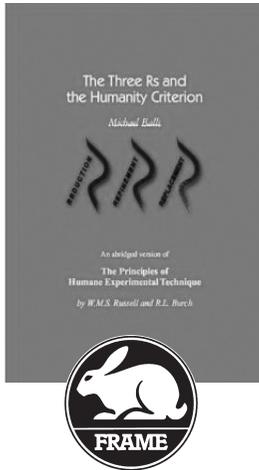
러셀 교수의 행보는 학계에 발을 내딛는 순간부터 독특했다. 이 책의 원저 『인도적 동물실험의 원칙(The Principles of Humane Experimental Technique, 이하 *The Principles*)』<sup>1</sup>은 그가 34세 때 처음으로 출간되었다. 그의 넘쳐나는 지적 호기심과 렉스 버치(Rex Burch) 박사의 출중한 연구조사 능력이 어우러져 그 책의 가치를 더욱 빛나게 했다. 그러나, 심리분석, 고전, 실험방법 등 다양한 분야의 내용을 포괄적으로 다루고 있기 때문에 영어를 사용하는 일반 독자들뿐만 아니라 과학자들도 상당히 어렵게 느끼고 있다. 이것이 마이클 볼스(Michael Balls) 교수의 열정과 지성으로 새롭게 구성한 본 요약본이 독자들에게 더 환영을 받는다고 볼 수 있다. 본 교재를 통해 3Rs 원칙(대체, 감소, 완화 및 개선)의 의미를 좀더 정확하게 이해하고, 인도적 동물실험에 대한 대중의 관심 또한 늘어나기를 바란다.

*The Principles*이 출간된 1959년 이후 대중의 관심을 받기 전까지 수십 년 동안 러셀 교수는 3Rs에 대한 아무런 언급도 하지 않았다. 그렇지만, 이 책의 핵심 내용인 동물행동을 비롯한 지각 능력, 인도주의, 분석 능력에 대한 그의 연구는 지속되었다. 그 후 출간된 그의 저서에는 주로 인간(human animal)에 대한 내용이 다루어졌다. 심리분석가인 그의 아내 클레어 러셀(Claire Russell)과 함께 『인간행동에 대한 새로운 접근법(Human Behavior: A New Approach)』<sup>2</sup>, 『폭력, 원숭이와 인간(Violence, Monkeys and Man)』<sup>3</sup>, 『개체증가 위기와 개체군 순환주기(Population Crises and Population Cycles)』<sup>4</sup> 등의 책을 출간하였다. 러셀 교수 부부는 각고의 노력으로 인간과 동물행태의 연관성을 밝혀내어 *The Principles*이 출간되기 일년 전 1958년 봄에 『인간이 다루는 동물에 관한 보고서(On Man-Handling Animals for The UFAW Courier)』<sup>5</sup>를 출간하였다. 저자는 이 책에서 “동물을 다루는 인간의 태도를 연구하는 것은 인간행태에 대한 연구 중 가장 강력하며 효과적인 방법 중 하나이다.”라고 밝혔다.



클레오 파스칼Cleo Paskal  
러셀 교수의 유작 관리인

1「동물실험의 3Rs원칙과 인도적 기준」원서



이 요약본은 어렵게만 느껴지는 3Rs 원칙의 핵심을 추려내어 이해하기 쉽게 만든 책이다. *The Principles* 출간 이후, 러셀 교수가 다른 저서에서 지속적으로 다룬 주제들이 퍼즐처럼 *The Principles*에 그 내용이 실제로 담겨 있다. 요즘과 같은 전문화 시대에 학문의 경계를 넘어 인도적 실험방법 뿐만 아니라 인도적인 의미까지 3Rs 원칙에서 파헤쳐 볼 수 있다는 것은 매우 흥미로운 점이라 할 수 있다.

러셀 교수의 3Rs 원칙은 향후 이어질 과학적 발견의 출발점에 지나지 않는다. 아무쪼록 본 요약본이 앞으로 이어질 퍼즐 맞추기의 시발점이 되기를 바란다.

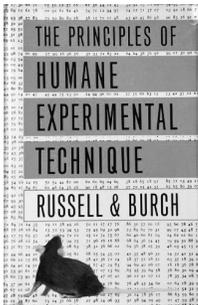
2009년 3월

영국 버크셔Berkshire 레딩Reading에서

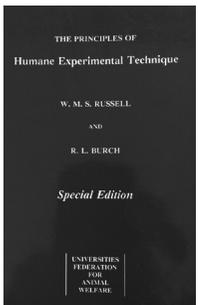
클레오 파스칼Cleo Paskal

## 요약본 서문

### PREFACE TO THE ABRIDGED VERSION



1. 1959년 출간된 최초본



2. 1992년 UFAW에서 출간한 특별본

## 배경 Background

2009년은 세계경제가 침체되고 인류의 갈등이 깊어지면서 암울하게 시작되었지만, 우리 과학자들에게는 뜻깊은 한 해였다. 찰스 다윈 Charles Darwin의 『종의 기원 The Origin of Species』 (1)이 출간된 지 150주년이 되었고, 의학연구 동물대체시험법 연구재단 the Fund for the Replacement of Animals in Medical Experiments (이하 FRAME, 2) 설립 40주년이 되었으며, 윌리엄 러셀 교수와 렉스 버치 박사의 『인도적 동물실험 원칙 The Principles Humane Experimental Technique』 (3)이 출간된 지 50주년 되는 해였기 때문이다.

1992년 12월, 나는 유럽연합 동물대체시험법 검증기관 European Centre for the Validation of Alternative Methods (이하 ECVAM)의 원장 임명 인터뷰를 위해 코펜하겐에 갔다. 유럽연합집행위원회 공동연구개발센터 European Commission's Joint Research Centre (이하 JRC) 이사들과 인터뷰를 했는데, 당시 내 모국어인 영어 대신 다른 언어를 사용하였다. 유럽협약 중 가장 큰 논란의 대상이었던 유럽연합 탄생의 주역인 1991년 마스트리히트 조약 Maastricht Treaty에 관해 물어보려 내 의견을 물었다. 나는 마스트리히트 조약을 읽어본 적이 없으며, 그 조약에 대한 지지여부를 떠나 제대로 읽어 본 사람이 과연 있을까라는 의구심이 든다고 솔직하게 내 의견을 밝혔다. 네덜란드 의장은 재치 있는 대답이라며 웃음을 터뜨리고 유럽연합 반대론자인 그의 아내조차도 내 말에 동의할 것이라고 덧붙였다.

그의 말을 들으며, 연구자를 비롯한 동물실험의 윤리적, 과학적 문제들과 관련이 있는 대부분의 사람들도 *The Principles*을 제대로 읽어보지 않은 상황일 것이라는 결론에 도달했다. 인간 이외의 척추동물에게 직접 또는 간접적으로 행해지는 비인도적인 행태를 감소시키거나 대체하기 위해 러셀 교수와 버치 박사가 주창한 3Rs 원칙(대체, 감소, 완화 및 개선)을 담고 있는 책이 바로 *The Principles*임에도 불구하고, 관련자들이 제대로 읽지 못했던 것이 현실이다. 그렇다면, 그 이유는 어디에 있는 것인가?

*The Principles*은 1959년에 처음 출간<sup>1</sup>되었고, 1992년에 동물복지국제연맹 Universities Federation of Animal Welfare (이하 UFAW)에서 『The Principles of Humane Experimental Technique』 (4) 제목으로 특별본<sup>2</sup>이 재출간되었다

1. 고문헌Classics  
고대 그리스나 로마 등 고문헌(古文獻)을 중심으로  
연구하는 학문

2. 수렴진화convergent evolution

유사한 환경 속에서 진화하면 방식은 다르더라도 유사한 기능과 구조를 지닌다는 우연에 의한 무작위 과정 또는 유연관계가 없는 종들이 비슷한 적응과 행동을 진화시켜 비슷해지는 과정

이렇게 두 번이나 출간되었음에도 불구하고 시중에서 책을 구하기란 거의 불가능했다. 하지만 요즘은 미국 존스홉킨스대학Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health에서 운영하는 동물실험대체법센터Alternatives to Animal Testing, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health (이하 Altweb)에서 최초 발행본을 무료로 다운로드할 수 있으며, 특별본은 UFAW에서 온라인으로 구입할 수 있다.

이 책의 내용을 대부분 저술한 분은 러셀 교수이다. 옥스퍼드 대학에서 고문헌Classics'을 연구하던 중, 2차 세계대전이 발발하여 전쟁에 참여하면서 학업을 중단하였으나, 그 후 동물학으로 전과하였다. 대부분의 동물학 전공자들은 고대 문헌 분야지식은 약하기 때문에, 그의 논리를 설명하는 그의 훌륭한 언어사용 능력과 문장력에 존경을 표하지만, 솔직히 *The Principles*은 읽기에 결코 쉬운 책이 아니었다.

FRAME에서 재무관리자로 근무한지 거의 10년이 되어가고 동물대체시험방법 분야에서 15년이나 종사했음에도 불구하고, 사실 1980년대 말까지 본 저자도 이 책을 접할 기회가 없었다. 데이비드 스미스David Smyth를 만난 후, 그가 저술한 『동물실험 대체법Alternatives to Animal Experimentation』(5)이라는 귀한 책을 선물 받고 나서야 대안방법이라는 3Rs의 개념을 접하게 되었다. 즉, 동물실험을 완전히 대체하는 대안방법의 필요성, 필요한 실험동물의 수를 줄이고, 인간뿐만 아니라 실험동물들이 절차 상 느끼는 통증과 고통의 정도를 줄일 수 있는 방법에 대해 설명을 해주었다.

그 후 런던에 위치한 영국 내무성Home Office에서 진행되었던 동물실험정책심의위원회Animal Procedures Committee회의 중에 동물실험개혁위원회Committee for the Reform of Animal Experimentation의 클리브 홀랜스Clive Hollands 위원장이 *The Principles*에 대해 언급하였다. FRAME에서 그 책을 구할 수 없어서, 홀랜스 위원장에게 책을 빌린 후 책 전체를 복사하였다. 그 후 FRAME에 있는 모든 기록을 뒤졌지만, 러셀 교수와 버치 박사의 저서에 관한 어떠한 정보도 찾을 수 없었다.

도로시 헤가티Dorothy Hegarty와 찰스 포이스터Charles Foister는 동물실험을 대체할 수 있는 연구를 수행하기 위해 1969년 FRAME이라는 새로운 기관을 설립하였다. FRAME과의 인연이나 동물학을 전공한 러셀 교수와의 인연은 우연이라기보다는 평행이론 같은 수렴진화convergent evolution<sup>2</sup>라고 생각한다.

1. 유작 관리자 literary executor  
사망한 저작자의 미발표 작품이나 저작물의 관리를 위탁 받은 사람

어렵게 구한 *The Principles*의 책을 수 년간 읽지 못하다가, UFAW에서 출간한 특별본을 우연히 몇 차례 접하게 되었다. 마침내 그 책을 읽게 되었는데, 혁신적인 내용에 매료되어 수 년간 반복해서 읽었다. 저자의 의도를 잘 파악하지 못한 문장들은 소리 내어 크게 읽어보면서 이해하려고 했지만, 일부 문장은 완전히 파악하지는 못했다.

1983년 이후 FRAME에서 발행되는 실험동물대체법 학술지(Alternatives to Laboratory Animals (이하 ATLA))의 편집자로 일하면서 유럽연합집행위원회의 국제과학부문 의장을 10년 동안 역임했다. 그 기간 동안, 영어가 모국어인 독자들보다 *The Principles*에 보다 쉽게 접근할 수 있는 방법에 대해 고민했다. 러셀 교수의 글은 매우 훌륭하지만, 일부 단어나 표현들은 쉽게 이해되지 않는 것이 사실이다. 특히, limn(묘사하다)과 adumbrate(개요를 알려주다)와 같은 단어들은 영어가 모국어인 저자에게도 자주 사용하지 않는 어려운 단어들이었다.

그래서 러셀 교수의 유작 관리자(literary executor)이며 *The Principles*의 판권 소유자인 클레오 파스칼에게 요약본 저술이 가능한지 물어보았는데, 조금도 망설이지 않고 친절하게 허락하였다. 물론 원본의 혁신적 개념과 스타일은 그대로 유지하되, 독자가 이해하기 어려운 표현과 단어들을 명확하고 쉽게 표현하고자 편집했으며, 1950년대에는 주로 이용되었지만 사장된 동물실험의 관행에 대한 설명은 과감하게 줄였다.

### ■ *The Principles* 요약본 The abridged version of *The Principles*

*The Principles*의 요약본 제목은 러셀 교수와 버치 박사가 저술한 원문 *The Principles*의 64쪽과 157 쪽, 요약본의 32-33 쪽에 나와 있는 내용을 토대로 정하게 되었다. 원본의 일부 내용을 생략할 수는 있지만, 핵심적인 내용과 그 의미는 가능한 유지해야 된다는 것이 나의 신조이다. 나는 사실 요약본을 별로 좋아하지 않는다. 그 중에서도 리더스 다이제스트 요약본(Reader's Digest Condensed Books)을 제일 싫어하는데, 그 이유는 글의 길이는 저자의 권한이지 제3자의 권한이 아니라고 생각하기 때문이다. 뿐만 아니라, 원본의 저자인 러셀 교수가 요약본을 어떻게 생각할지에 대해서도 걱정되었다. 1995년과 2006년 사이에 러셀 교수의 글을 몇 편 편집한 적이 있었는데, 당시 러셀 교수가 편집자의 제안에 대해 호의적이지 않다는 인상을 받았다.

1. 역주

한글문장에서는 이러한 방법이 문맥 상 매끄럽지 못하여, 하나의 문장으로 다듬어서 보완하였다. 그러나 박스에 기술된 내용은 그대로 표현하였다.

원본의 핵심 내용을 가능한 한 제대로 전달하기 위해 최선을 다했다. 3Rs의 개념을 원본 그대로 표현했을 뿐 아니라, 독자가 정확하게 이해할 수 있도록 노력했다. 뿐만 아니라, 개인적 의견이나 편견이 들어가지 않도록 조심했다. 그럼에도 불구하고, 무엇을 빼고 무엇을 그대로 둘 것인지를 결정할 때 개인적 의견이 전혀 들어가지 않았다고는 말할 수 없다. 원본의 내용을 될 수 있는 한 유지하려고 노력했지만 결코 쉬운 일은 아니었다. 표 나지 않게 편집 작업을 하느라 많은 고생을 했지만 2006년 6월, 마침내 러셀 교수의 허락뿐만 아니라 칭찬까지 받을 수 있어 보람은 있었다.

독자들이 자세히 살펴보면, 본 저자도 3Rs 원칙을 제대로 이해하지 못하는 부분이 있다는 사실을 알게 될 것이다. 오래 전 네이처(Nature) 학술지에 서평을 기고하기 위해 발생생물학(developmental biology)의 수학적 접근법에 대한 책을 읽었을 때도 이와 비슷한 기분이 들었다. 수개월 후, 그 책의 저자를 만날 수 있었는데 자신의 의도를 거의 파악하고 표현했다면서 칭찬해 주었다.

원본의 내용과 차별화시키기 위해 요약본에 내용을 추가하였거나 부가 설명한 부분은 글자체(Times New Roman)를 다르게 사용하였다. 서문처럼 편집 지침은 카벨체(Kabel medium font)를 사용했으며, 핵심 문장들은 박스로 처리하여 이탤릭체(American Garamond)로 표현하였다. 이러한 표기방식은 개인적 편견이 들어갈 위험이 있지만, 이해를 돕기 위해 사용하였다<sup>1</sup>. 원본에 실려 있던 그다지 중요하지 않은 표와 그림은 요약본에는 생략하였다. 독자의 이해를 돕기 위해, 일반적으로 이용되는 각주를 쓸까 고민도 해보았지만, 해설서 같은 인상을 줄 것 같아 쓰지 않기로 했다. 그 외에도 참고문헌의 수도 대폭 줄였으므로, 더 많은 참고문헌은 원본을 참조하기 바란다. 요약본의 참고문헌 기재 방식은 ATLA 학술지 기준에 따라 인용 순서대로 기술했고, 학술지명은 생략하지 않고 모두 기재하였다.

본 교재가 독자들에게 유용하게 이용되기를 진심으로 바라며 솔직한 평가도 받고 싶다. 독자들이 이 책을 읽은 후 자유롭게 비판하고, 의견을 제시할 수만 있다면 그것이야말로 러셀 교수와 버치 박사가 이 책을 통해 얻고자 하는 것이 아닐까 생각한다. 이 책의 출간을 계기로 연구자들이 인도적 동물실험에 대해 더 큰 관심을 가질 수 있고, 대중들은 동물실험이 무엇인지, 그리고 앞으로 어떻게 발전해 나가야 하는지에 대해서 생각해 볼 수 있다면, 거기에 바로 이 책의 가치가 있다고 본다.



1995년 5월 30일 웨링햄 시청에서 개최되었던 “인도적 동물실험 3Rs 원칙: 미래를 향하여” ECVAM 워크샵에서 함께 한 버치 박사(좌)와 러셀 교수(우)

## 1959년을 기점으로 살펴본 윌리엄 러셀 교수와 버치 박사의 삶과 학문적 업적 W.M.S.R. and R.L.B., before and after 1959

*The Principles*의 원 저자인 러셀 교수와 버치 박사의 행적을 모두 살펴볼 수는 없고 중요한 부분만 다루겠다. *The Principles* 출간의 모체가 되는 프로젝트는 UFAW의 설립자였던 찰스 흄 소령 Major Charles Hume에 의해서 시작되었다. 그는 1954년 당시 박사후 연구원이었던 러셀 교수에게 실험실에서 인도적인 연구수행 방법의 개선에 대해 체계적인 연구를 해 줄 것을 요청하였다. 버치 박사는 헌팅던 연구센터 Huntingdon Research Center 설립자이자 1947년에 출간된 실험동물의 보호 및 관리를 위한 UFAW 핸드북 *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals* 제1판의 편집자였던 알리스테어 워든 Alistair Worden의 제안으로 참여하게 되었다. 러셀 교수의 말을 빌리자면, 버치 박사가 1956년 UFAW를 떠날 때까지 연구 프로젝트에 지대한 공헌을 했으며, 영국 전역을 다니면서 “백 명이 넘는 실험연구원들과 인터뷰를 했으며 인터뷰에 참여했던 모든 실험연구원들은 매우 협조적이었고 도움이 되었다”고 한다 (6). 한편, 러셀 교수는 UFAW에 계속 남아서 분석작업을 지속했고, 1959년 *The Principles*의 모태가 된 보고서를 작성하였다.

놀랍게도, 그 후 30년 간 두 사람은 연락을 끊고 지냈다. 버치 박사는 미생물학자로 성공하였고 오랜 기간 노스노포크 North Norfolk에 소재한 셰링햄 Sheringham의 시청 Town Hall에서 개인 실험실을 운영했다. 한편, 러셀 교수는 심리치료사로 5년간 근무했고, 영연방 농림부 Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops 공무원으로도 잠시 재직한 후 리딩대학 University of Reading에서 사회과학을 설립하였다. 1966년 강사로 시작하여 1990년 명예교수가 되었다. 그는 학자로서 또한 작가, 고전학자, 작곡가, 기자, 음악가, 철학자, 재담가, 라디오 퀴즈 패널리스트로도 성공하였다 (7).

1990년, 러셀과 버치 교수는 미국 동물보호단체인 Humane Society of the United States (이하 HSUS)의 마틴 스티븐스 Martin Stephens에 의해 다시 뭉치게 되었다. 스티븐스가 인도적 동물실험의 3Rs 원칙과 실험동물 복지를 위해 공헌한 사람들에게 수여되는 공로상에 ‘HSUS 러셀과버치상’ 제정의 허락을 얻기 위해 워싱턴 DC에서 영국으로 오면서 러셀 교수와 버치 박사는 다시 만나게 되었다. 그 이후로 러셀 교수와 버치 박사는 거의 매주 편지와 전화를 주고 받았고 (6), HSUS와 UFAW의 격려에 힘입어, 러셀 교수 부부는 1993년 웨링햄에 있던 버치 박사를 방문했다.

저자는 1993년 11월 제1회 생명과학의 동물이용 및 대체방안 국제학회(the First World Congress on Alternatives and Animal Use in the Life Sciences)에서 처음으로 러셀 교수를 만났다. 학회를 주도했던 사람은 존스홉킨스 대학의 동물시험대체법센터 Center for Alternatives to Animal Testing (이하 CAAT)의 책임자였던 앨런 골드버그Alan Goldberg 교수였다. 러셀 교수가 시상식 오찬에서 연설을 했는데, 인도적 동물실험의 3Rs 원칙에 대한 지식과 열정을 느낄 수 있었고 (8). 다른 학회 참석자와 함께 러셀 교수와 귀중한 대화를 나눌 수 있었다.

1994년 8월, 저자는 웨링햄에 있던 버치 교수를 방문했고 극진한 환대를 받았다 (9). 그는 FRAME의 25주년을 기념하여 출간된 ATLA의 특별본에 실린 서문을 보여 주었다. 그것은 1959년 이래 러셀 교수와 버치 박사가 처음으로 함께 쓴 글이었다 (10). 저자는 ECVAM과 버치 박사가 3Rs 기법에 대한 개인적 의견을 듣고 녹음할 수 있는 계약을 맺도록 주선하였다. 그 덕분에 버치 박사가 그간 겪었던 경험을 자세히 들을 수 있었다 (11). 그는 몸이 쇠약하여 여행을 감당할 수 없었기 때문에, 저자는 이탈리아로 돌아오면서 앨런 골드버그 교수에게 인도적 동물실험 3Rs 원칙과 관련된 사람들을 웨링햄에 초청하여 러셀 교수와 버치 박사를 만나게 하자고 제안하였다. 그것의 결과물이 바로 1995년 5월 어느 아침, 웨링햄 시청건물 의회실에서 시작되었던 뜻깊은 워크숍, 인도적 동물실험 3Rs 원칙: 미래를 향하여The Three Rs: The Way Forward 워크숍인 것이다 (12).

이 워크숍은 1959년 이래 러셀과 버치 교수가 함께 참석한 최초의 과학학회였다. 아쉽게도 그것이 마지막 만남이었다. 버치 교수가 피부암으로 오랫동안 투병하다 1996년 3월 9일 타계했기 때문이다 (6). 그러나, 놀라운 결실도 있었다. 저자가 웨링햄에 다녀온 이후 러셀 교수는 노팅햄에 돌아와 FRAME의 새로운 본부 즉, 러셀과 버치 하우스Russell & Burch House를 오픈했다. 버치 박사는 멤버의 한사람으로 그 후 진행된 일련의 행사에 사전에 녹음된 오디오 메시지를 통해 그의 부재를 대신하였다 (13).

러셀 교수는 1990년 이후 인도적 동물실험 3Rs 원칙의 미션을 위해 세계 곳곳을 누비고 다녔다. 어렵고 복잡한 과학과 철학을 노래와 율동을 곁들이며 쉽게 설명하는 그의 능력은 우트레흐트Utrecht (1996년, 14)와 볼로냐Bologna (1999년, 15)에서 개최되었던 제2차, 제3차 세계학회에서 발휘되었다. 또한, 1999년 9월에 런던에서 열렸던 제1차 FRAME 연례회에서의 강연도 잊을 수 없다 (16). 그는 훌륭한 강연가일 뿐 아니라 특파원이기도 했다. 그는 특파원이라는 직업에 열정적으로 임했으며, 그의 긍정적인면서도 고무적인 편지를 받은 사람은 저자 이외에도 많았다.

그 밖에도 그는 많은 글을 기고했다. 2005년에는 매우 중요한 글을 기고했으며, 이 글이 그의 생애 마지막 저술이었다 (17). 1999년 1월 그의 아내 클레어가 사망한 후, 그의 건강도 악화되었고, 2005년에 이르러 건강상태가 급속히 나빠져 자택에서 나가지도 못하게 되었다. 2005년 8월, 그는 내게 보낸 편지에 “나는 이것이 3Rs 원칙에 관한 마지막 글이 되기를 희망하네. 이제 계속해서 같은 말을 하는 것이 힘겨워지기 시작했으니 자네와 같은 후배에게 물려주고 싶네. 3Rs 원칙에 새로운 기운을 불어넣어 발전시킬 사람들은 바로 자네들이네.”라고 썼다 (18). 그 후, 2006년 6월, 그는 “병원에서 쓴 글에 철자오류가 눈에 띄는 것을 보니 이제 나도 늙었나 보네. 이제 정말 더 이상 3Rs 원칙에 관한 내 의견을 길게 쓰기가 힘겨워”라고 쓴 편지를 보냈다 (19).

러셀 교수는 2006년 7월 27일, 패혈증으로 사망하였다. 이로써, 3Rs 원칙 분야는 태두를 잃어버렸다. 그는 우리 모두에게 지대한 영향을 끼쳤고 그와 함께 한 시간, 함께 나누는 편지는 큰 기쁨이었다 (20). 버치 박사처럼 그도 활달하고 열정적이어서 많은 종류의 시행착오와 장애물을 극복할 수 있었다. 내 인생에서 가장 자랑스러웠던 순간 중 하나는 1999년 8월 볼로냐 대학의 대강당에서 ‘볼로냐 현장’ 을 선포할 때 그의 옆에 설 수 있었던 것이다 (21).

제3회 세계 동물실험 대체학회(the 3rd World Congress on Alternatives and Animal Use in the Life Sciences)의 모든 참석자들은 1959년 러셀 교수와 버치 박사가 주장했던 *The Principles*을 인정하고 재확인하였다. 인도적 과학은 선한 과학의 선결조건이며, 동물실험에서 3Rs 원칙을 채택하고 발전시킴으로써 실현될 수 있다. 3Rs 원칙은 통합적 개념으로 과학, 경제, 인도주의의 모든 분야에 발전을 가져올 수 있는 도전이며 기회를 제공한다.

### ■ 윌리엄 러셀 교수와 클레어 러셀 부부의 유작 The W.M.S. and Claire Russell Archive

1996년 타계한 버치 박사와 2006년 타계한 러셀 교수의 업적들은 그들이 사망한 후에도 지속적으로 거론되고 있다.

클레어 러셀(Claire Russell)은 저명한 심리치료사이며 작가이고 시인이었다. 그녀의 대부분의 저술작품은 남편인 러셀 교수와의 공동작업이었다.

러셀 부부는 모든 저작권과 유품에 대한 권한을 클레오 파스칼(Cleo Paskal)에게 위임했으며, 사후 저작권과 유품 관리에 대해 오랜 시간 토의하였다.



2014년 체코 프라하에서 개최된  
제 9회 세계 동물실험 대체법 학회 (WC9) 에서  
만찬연설 중 촬영한 마이클 볼스교수

1966년 이래 부부가 살았던 레딩Reading에 소재한 그의 자택에는 25,000여권의 책과 1,000 박스 이상의 문서, 러셀 교수의 개인노트 등이 소장되어 있다. 그 중에는 1930년대 그가 기숙학교에 다닐 때 썼던 내용들도 포함되어 있다. 그의 자택에 소장되어 있는 문서들은 60년 이상 된 편지와 기록들이다. 소장된 편지 대부분은 받는 그대로 편지봉투에 보관되어 있다.

클레오 파스칼은 러셀 부부의 문서들을 아낌 없이 노팅햄 대학에 기증하였으며, 이를 토대로 러셀 부부 유작 문헌이 만들어졌다. 이 유작문헌들은 키퍼Keeper 대학의 특별전시실에 보관되어 있으며, 도로시 존스턴Dorothy Johnston이 관리를 맡고 있다 (22). 앞으로 러셀 교수와 버치 박사의 유작들은 더 많이 공개되어 사람들의 관심을 끌 것으로 기대된다.

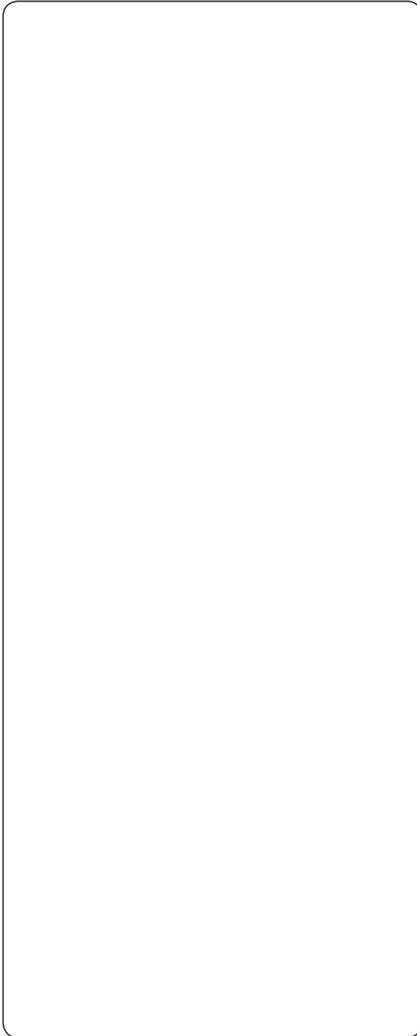
2009년 1월

노퍽Norfolk의 아일머튼Aylmerton에서

마이클 볼스Michael Balls

### 참고문헌

- (1) Darwin, C. (1859). *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. 6th edition (1888), Volume 1, 365 pp., Volume II, 339 pp. London, UK: John Murray.
- (2) Annett, B. (1995). The Fund for the Replacement of Animals In Medical Experiments (FRAME): the first 25 years. *ATLA* 23, 19–32.
- (3) Russell, W.M.S. & Burch, R.L. (1959). *The Principles of Humane Experimental Technique*. 238 pp. London, UK: Methuen.
- (4) Russell, W.M.S. & Burch, R.L. (1959). *The Principles of Humane Experimental Technique*. Available online at Altweb: [http://altweb.jhsph.edu/publications/humane\\_exp/het-toc.htm](http://altweb.jhsph.edu/publications/humane_exp/het-toc.htm)
- (5) Smyth, D. (1978). *Alternatives to Animal Experimentation*. 218 pp. London, UK: Scolar Press.
- (6) Russell, W.M.S. (1996). In: Rex Leonard Burch (1926–1996). *ATLA* 24, 313–316.
- (7) Paskal, C. (2006). Bill Russell: the singing scientific detective. *ATLA* 34, 470–472.
- (8) Russell, W.M.S. (1995). W.M.S. Russell speech at the Awards Luncheon. In: *The World Congress on Alternatives and Animal Use in the Life Sciences: Education, Research, Testing* (ed. A.M. Goldberg & L.F.M. van Zutphen), pp. 71–80. New York, NY, USA: Mary Ann Liebert, Inc.
- (9) Balls, M. (1994). A day with Rex Burch. *FRAME News* 36, 1.
- (10) Russell, W.M.S. & Burch, R.L. (1995). Prefatory note. *ATLA* 23, 11–13.
- (11) Burch, R.L. (1995). The progress of human experimental technique since 1995. *ATLA* 23, 776–783.
- (12) Balls, M., Goldberg, A.M., Fentem, J.H., Broadhead, C.L., Burch, R.L., Festing, M.F.W., Frazier, J.M., Hendriksen, C.F.M., Jennings, M., van der Kamp, M.D.O., Morton, D.B., Rowan, A.N., Russell, C., Russell, W.M.S., Spielmann, H., Stephens, M.L., Stokes, W.S., Straughan, D.W., Yager, J.D., Jurlo, J. & van Zutphen, B.F.M. (1995). The Three Rs: the way forward. The report and recommendations of ECVAM workshop 11. *ATLA* 23, 838–866.
- (13) Anon. (1995). Opening of Russell & Burch House. *FRAME News* 37, 1 and 23–24.
- (14) Russell, W.M.S. (1997). A festival of animals. In: *Animal Alternatives, Welfare and Ethics* (ed. L.M. van Zutphen & M. Balls), pp. 9–20. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- (15) Russell, W.M.S. (2000). Forty years on. In: *Progress in the Reduction, Refinement and Replacement of Animals Experimentation* (ed. M. Balls, A-M. van Zeller & M.E. Halder), pp. 7–14. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.



- (16) Russell, W.M.S. (1999). The progress of humane experimental technique. *ATLA* 27, 913–924.
- (17) Russell, W.M.S. (2005). The Three Rs: past, present and future. *Animal Welfare* 14, 279–286.
- (18) Russell, W.M.S. (2005). Letter to Michael Balls re the Nuffield Report. 10 August 2006.
- (19) Russell, W.M.S. (2006). Letter to Michael Balls re A Note on Refinement. 4 June 2006.
- (20) Paskal, C., Kirkwood, J., Stephens, M.L., Goldberg, A.M., van Zutphen, B, Cervinkova, Z., Cervinka, M. & Balls, M. (2006). An appreciation of the life of Professor William Russell (26 March 1925–27 July 2006). *ATLA* 34, 460–487.
- (21) Anon. (2000). The Three Rs Declaration of Bologna. *ATLA* 28, 1–5.
- (22) Balls, M. (2008). Professor W.M.S. Russell (1925–2006): Doyen of the Three Rs. In: *Proceedings of the 6th World Congress on Alternatives and Animal Use in the Life Sciences*. AATEX 14, Special Issue, 1–7.

## 감사의 글

## ACKNOWLEDGEMENTS

*The Principles*의 요약본 저술을 허락해 준 러셀 부부의 유작 관리자 클레오 파스칼에게 진심으로 감사의 말을 전하고 싶다.

이 책은 FRAME의 프로젝트 기금으로 제작되었으며, 무료로 제공되고 있다. 그 외 이 책의 제작을 후원한 기관은 다음과 같다.

- 영국 노팅험 소재 Boots UK Limited
- 영국 하트퍼스셔주 히친 Hitchin 소재 the Dr Hadwen Trust for Humane Research
- 미국 메릴랜드주 게이더스버그 Gaithersburg 소재 Institute for In Vitro Sciences
- 영국 요크셔주 Whenby 소재 Marjorie Coote Animal Charity Trust
- 영국 버킹엄셔주 Chalfont St Giles 소재 the Mitchell Trust
- 영국 런던 소재 the William and Katherine Longman Charitable Trust

그리고 '4 Sheets & Print' 소속 토니 마슨 Tony Marson의 귀중한 조언과 전문적 지식이 큰 도움이 되었다.

또한 제라드 드베 Gerard Duve, 마이클 페스팅 Michael Festing, 미셸 허슨 Michelle Hudson, 리타 시브라 Rita Seabra, 수잔 트릭웰 Susan Trigwell은 이 책의 일부 또는 전부를 읽고 매우 유용한 제안을 해주었다. 혹시 부족한 부분이 발견된다면 그것은 모두 나의 부족함 때문일 것이다.

2009년 4월

마이클 볼스

## 볼로냐 헌장

### DECLARATION OF BOLOGNA



<sup>1</sup> Russell, W.M.S. & Burch, R.L. (1959). The Principles of Humane Experimental Technique. 238 pp. London, Methuen.

<sup>2</sup> Smyth, D. (1978). Alternatives to Animal Experiments. 218 pp. London, Scholar Press.

## 볼로냐 헌장 Declaration of Bologna

감소, 완화 및 개선, 대체 실험동물 절차의 대체방안

1999년 8월 31일 이탈리아 볼로냐에서 개최된 “제3차 생명과학의 동물이용 및 대체방안 국제학회”

러셀 교수와 버치 박사의 인도적 동물실험의 3Rs 원칙(감소, 완화 및 개선, 대체)은 1954년 UFAW의 주관 하에 실시된 프로젝트의 결과물이며,

1959년 『인도적 동물실험의 원칙 The Principles of Humane Experimental Technique』이라는 제목의 책으로 출간되었다.

1978년 데이비드 스미스 David Smyth는 ‘3Rs 원칙’을 ‘대체 방안’이라는 말로 표현하였다.

### The Three Rs<sup>2</sup>

- 러셀 교수와 버치 박사는 저서에서 “가장 위대한 과학적 업적은 가장 인도적이며 아름다운 것이다. 아름다움과 우아함이야말로 과학의 정수라 할 수 있다” 라고 묘사했다.
- “감소”는 최소의 동물을 실험에 이용하여 필요한 정보를 얻거나, 동일한 수의 동물을 이용하여 최대의 정보를 얻는 것이다.
- “완화 및 개선”이란 동물의 고통과 괴로움을 줄이거나 최소화하며 동물의 복지를 증진시키는 것이다.
- “대체”란 동물을 이용하는 실험을 아예 하지 않거나, 동물의 복지를 해치지 않는 실험방식을 통해 필요한 정보를 얻는 것이다.
- 제3차 생명과학의 동물이용 및 대체방안 국제학회의 참가자들은 1959년 러셀 교수와 버치 박사가 주장한 인도적 동물실험의 3Rs 원칙을 강력히 지지하는 바이다. 인도적인 방법은 고귀한 과학의 필수조건이며, 인도적 동물실험의 증진 및 적용으로 성취될 수 있다.
- “3Rs 원칙”은 과학, 경제, 인도주의의 모든 측면에서 이득을 가져올 수 있는 기회이자 도전이며 통합적 개념이다.

## 원본 서문

### PREFACE TO THE ORIGINAL VERSION

1954년 UFAW는 동물실험의 인도적 기법에 대한 체계적 연구를 지원하기로 결정하고, 같은 해 10월 인도적 동물실험 지원 프로젝트를 시작하였다. 버치 박사는 1956년 UFAW를 그만두고 다른 일을 시작하였으나, 본 프로젝트를 지속적으로 지원했다. 1956년 우리는 UFAW 위원회에 프로젝트 보고서를 제출하였고, 이 보고서는 1958년 초 출간된 3Rs 원칙의 토대가 되었다. 보고서 제출 이후 책이 출간되기까지 진전된 사항은 제9장 '부록'에 실려있다.

프로젝트를 진행하고 책을 출간함에 있어, UFAW 위원회 및 관련자들로부터 다양한 형태의 지원을 받았다. 특히, 메다워P.B. Medawar 교수가 위원장으로 재직하고 있는 특별자문위원회Consultative Committee로부터 전폭적인 지원을 받았다. 뿐만 아니라, UFAW에 재정적인 지원을 지속적으로 제공하고 있는 미국의 동물복지연구소Animal Welfare Institute of the USA도 빼 놓을 수 없다.

UFAW에 근무하는 과학자 및 연구원들은 물론 그 외의 많은 전문가들이 유용한 정보를 제공해 주었다. 그들의 이름을 모두 열거할 수는 없지만, 특히 찬스M.R.A. Chance 박사를 비롯하여 필리스 크로프트Phyllis G. Croft 박사, 데이비D.G. Davey 박사, 디비P.S.B. Digby 박사, 필드 피셔T.G. Field-Fisher, 하이퍼H. Heifer 교수, 흠C.W. Hume 소령, 레인 페터W. Lane-Petter 박사, 워든A.N. Worden 교수에게 심심한 감사의 말을 전하고 싶다. 특히 찬스 박사, 크로프트 박사, 흠 소령, 레인페터 박사는 이 책의 전문을 모두 읽고 귀중한 조언을 해주었다.

귀한 시간을 내어 우리의 질문에 응답해주고 유용한 정보를 주신, 위에 열거한 분들과 그 외의 모든 분들에게 진심으로 감사의 말을 전한다. 우리가 항상 강조하는 말이지만, 혹시라도 부족한 부분이 발견된다면 그것은 모두 필자의 부족함 때문임을 밝히고 싶다.

1958년 11월

러셀W.M.S.R. & 버치R.L.B.



# 제1장 INTRODUCTION

## 서론



# 제1장

## INTRODUCTION

1. 연구범위 Scope of the Study

2. 통합적 개체로서의 척추동물 Integration in the Vertebrate Organism



## ■ 연구범위 Scope of the Study

기초과학뿐만 아니라 응용과학 연구의 놀라운 발전은 사람들의 일상을 빠른 속도로 바꾸어 놓았으며, 지난 수백 년 동안의 혁신적인 변화를 당연한 것처럼 받아들이는 것도 더 이상 놀라운 일이 아니다. 특히 생명과학의 발전은 다윈(Charles Robert Darwin) 이후 더욱 가속화되었으며, 의학과 수의학, 그리고 신약개발 분야의 연구가 활발히 진행됨에 따라 실험 대상으로 이용되는 동물의 수 또한 급속히 증가하고 있다. 매해 실험에 이용되는 동물의 수는 수백만 마리에 달할 것으로 추정되고 있으며, 체계적으로 수집한 자료에 따르면 그 수는 더 증가할 것으로 보인다. 비록 현대의학과 기초과학 분야의 발전으로 얻게 된 혜택이 모두 동물실험의 혜택이라고 말할 수는 없더라도, 이들이 상당부분 기여하고 있음은 자명한 사실이다. 그러나, 지각이 낮은 동물을 다루는 데 있어서 과학계, 의학계, 그리고 인도주의(humaneness)를 요구하는 동물보호 단체와의 의견이 대립되어 합의점을 찾을 수 없는 경우도 자주 발생하였다. 특히 양측의 갈등이 최고조에 달했던 19세기 말, 협상의 귀재였던 영국의 다윈은 자신의 의견을 관철시켜 그 유명한 『동물학대방지법(Cruelty to Animals Act 1876)』이 제정되게 함으로써 양측의 주장을 조정하는 데 성공하였다. 19세기 초반에도 비인도적인 동물실험 방법으로 인해 모호하거나 만족스럽지 못한 실험결과를 초래하는 등 그 대가를 치르고 있음은 분명했기 때문이다. 동물실험 방법에 대한 면밀한 조사가 시작되면서 양측의 갈등은 줄어들게 되었고, 다행히 오늘날에는 가능한 실험동물을 인도적으로 대하는 것이 실험을 방해하기보다는, 오히려 성공적인 실험을 하기 위한 전제조건이라는 생각이 폭넓게 받아들여지고 있는 추세이다. 특히, 2차 세계대전 이후에는 이러한 원칙이 보편화되었다. 인도적인 동물실험과 효율성의 긴밀한 관계는 이 책의 핵심내용으로 지속적으로 강조될 것이다.

인도적 동물실험 원칙이 적용되면서 과학적이고 기술적인 문제들이 상당수 발생하였고, 새로운 실험기법을 도입함에 따라 파생된 문제점들이 나타나기 시작했다. 실험동물을 사육 관리하는 방법은 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 실험에 투입되지 않은 상태에서의 폭넓은 의미의 사육관리(husbandry) 상태이고, 둘째는 실험에 직접 이용 중인 상태이다. 이 중 체계적인 연구가 가장 먼저 시도된 것은 실험동물의 사육관리에 관한 내용으로, 이미 수차례 편집본이 출간된 『실험동물의 관리 및 보호에 대한 UFAW 핸드북(UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals)』에서 이러한 내용을 상세히 다루고 있다. 따라서 본 저서에서는 실험동물의



사육관리 관련 내용은 부수적으로만 다룰 예정이며, 1957년 생물학 학술지에 실린 『동물실험의 인도적인 기법Humane technique in the laboratory』 제목의 논문에는 “이제 실험기법에도 유사한 원칙들을 체계적으로 적용할 때가 도래했다(1)”라고 언급하고 있듯이, 동물실험의 인도적인 기법에 관한 내용들을 주로 다룰 것이다.

이러한 문제점들에 체계적으로 접근한다는 것은 사실상 새로운 응용과학의 원칙을 만들어 내는 것이다. 동물실험 분야가 유례없는 속도로 전문화되고 새로운 학문으로 등장하면서 많은 과학자들을 긴장시키고 있는 것은 사실이다. 그러나, 이 새로운 학문은 무에서 유를 창조하는 것이 아니라, 여러 분야의 다양한 정보와 견해들을 종합적인 하나의 관점에서 통합시키는 것이다. 이러한 종합적인 학문 분야는 보다 빠른 과학발전으로 이어질 가능성이 상당히 높다. 기존의 학문을 통합하는 응용과학 덕분에 과학은 빠르게 발전하고 있으며, 이에 발맞추어 인도적 동물실험의 장·단기적 발전은 물론 전반적인 생명공학 분야 또한 빠른 속도로 발전할 것으로 전망된다.

물론 여기에는 연구자가 새롭게 실험과정에 적합한 방법들을 즉흥적으로 고안해서 적용해야 하는 영역이 항상 존재하지만, 체계적인 조사를 해 보면 효율적으로 적용 가능한 방법들이 이미 많이 존재함을 알 수 있다.

우리는 동물실험을 통해 현대의학의 수많은 혜택과 과학 지식의 기본 원칙에 대한 진보를 이룰 수 있었다.

실험동물의 일반 사육관리라는 주제에 대해 일부 내용을 다룬 적은 있지만, 일반 동물실험에서 실험설계 및 분석과 같은 생물학적 실험 원칙이 제대로 시도된 적은 지금까지 없다고 본다. 적어도 생물학은 산업의 한 분야로서 요즘과 같은 인공지능 시대cybernetic age<sup>1</sup>에서는 정보소통의 절차, 통제 장치, 피드백 제어feedback system와 같은 다양한 시스템이 어우러진 학제간 통합학문으로, 실험기법에 정확하게 맞는 대처방법이나 체계적인 검증을 피할 수 있는 방법이 없다고 본다.

이 책의 제목을 통해서도 알 수 있듯이, 이미 발표된 일련의 문헌만으로도 충분한 주제를 제시할 수 있었기 때문에, 실험동물에 적용하는 특수 기법에 대한 내용은 별도의 목차로 구분하지 않았다. 다만 인도적인 방법의 새로운 주제에 대한 일반적 원칙을

1. 인공지능 시대cybernetic age

사이버네틱스(인공두뇌학)는 1940년대 미국의 수학자이며 공학자인 노버트 위너Norbert Wiener 가 사람의 신경작용을 신호로 나타내는 새로운 과학을 개발하여 학제간 연구로 시작되었으며, 생명체, 기계, 조직과 또 이들의 조합을 통해 통신과 제어를 연구하는 학문이다. 사이버네틱스라는 용어는 고대 그리스어 큐베르네테스 Κυβερνήτης[kybernetes, 키잡이, 조절기governor, 또는 방향타]에서 기원한다. (출처: 한국위키백과사전).



수립하고자 하였다. 이 책이 동물실험 연구분야에 필요한 기초 자료와 정보를 제공하는 지침서로 그 역할을 하기를 바랄 뿐이다. 뿐만 아니라, 동물 실험분야에 새롭게 발을 내딛는 학생, 연구자 또는 교육자가 다른 문헌에서 찾을 수 없었던 실험동물의 인도적인 방안들에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있기를 바란다.

그러나, 동물실험에 대한 우리의 일반론은 두 가지 한계점을 내포하고 있다.

첫째, 과거에서부터 현재까지 수행되고 있는 실험 생물학의 실질적인 측면을 다룰 때 대부분 영국의 실험관행을 기준으로 했다는 점이다. 또한 문제점을 개선하는 과정에서 목표를 높게 잡았지만, 우리는 그레아만 한다고 생각한다. 그러나 일반적인 기준을 고려할 때, 영국의 동물실험에 대한 윤리적인 기준이 다른 나라에 비해 앞서고 있다고 하더라도, 각 국가별 특수한 상황은 물론, 어떠한 측면에서는 다른 국가로부터 배울 점이 있다는 것을 분명히 이해하고 있으며, 지속적으로 개선을 위한 가능성을 열어두고 있을 것이다.

둘째, 1876년 제정된 『동물학대방지법Cruelty to Animals Act』에서 다루고 있는 동물의 대상을 척추동물로 한정하고 있는 점을 토대로, 본 교재에서 다룰 내용도 척추동물로 제한하고 있다는 점이다. 고등 비척추동물 또한 논의의 대상이 되어야 마땅할 수도 있겠지만, 이는 보편적이고 신뢰할 만한 설명을 매우 복잡하게 만들 수 있는 여러가지 문제를 야기시킨다. 무척추동물 중 곤충류는 동물실험에 이용되는 개체 수가 유일하게 증가하고 있다. 그리고 오징어, 문어와 같은 두족류cephalopod도 현재는 소수이지만 이용이 증가하는 추세에 있다. 곤충을 대상으로 하는 동물실험이 증가하는 이유는 해충이 경제에 미치는 영향이 상당하여 살충제의 개발이 시급하기 때문이다. 그렇지만 인도적인 방법으로 쥐를 죽일 수 있는 살서제를 개발하여 개체 수 조절 방안을 모색하기 전에, 살충제 개발에 대한 연구가 비인도적이라는 윤리적인 측면에 대해 논의하는 것은 명백히 시기상조라고 본다. 예를들어 칠성장어lamprey와 문어octopus 중 척추동물의 서열을 비교해서 구별해 내는 것은 무리가 있으며, 기준 또한 다소 일방적이고 애매할 수 있다. 그래서 전통방법의 구별기준인 척추의 유무에 따라 단순 명료하게 척추동물과 무척추동물을 구분하는 방법을 권장한다.

실험동물을 이용함에 있어 가능한 한 인도적인 방법을 적용하는것이 실험과정에 제약으로 작용하기 보다는, 원하는 실험결과를 성공적으로 도출하기 위한 전제조건이라는 인식이 광범위하게 받아들여지고 있다.



본 교재는 총 10장으로 구성되어 있으며, 다음 장인 제2장에서는 비인도적 행위에 대한 개념The Concept of Inhumanity 및 그와 관련된 통증pain과 고통distress에 대해 자세히 설명할 것이다. 이는 동물의 고통을 측정하는 방법들을 평가하는 토대가 될 것이다. 그리고 영국의 동물실험 역사와 현황을 소개할 예정이다.

분석의 첫 번째 단계에서는 비인도적 연구방법의 문제점과 그 현실에 대해서 다룰 것이다. 그 다음, 비인도적 동물실험을 줄일 수 있는 방법의 분석을 통해 긍정적인 해결방안을 모색하고자 한다. 이러한 방안들은 3Rs (Replacement, Reduction, Refinement)의 주요 목차로 구분하여 각 장에서 구체적으로 설명되고 있지만, 이 책 전반에 걸쳐 상당히 많은 부분에서 그 내용이 언급될 것이다.

마지막으로, 인도적 연구 기법의 발전을 좌우하는 중요한 요소들을 크게 세 가지로 나누어 살펴볼 것이다. 사실 이 요소들은 과학과 기술의 전반적인 발전에 영향을 끼치는 주요 요인들과 긴밀하게 연관되어 있기도 하다. 그리고 영국뿐만 아니라 주변국가에서 일어나는 몇 가지 사례를 소개하고 이 책을 마무리 하고자 한다.

## ■ 통합적 개체로서의 척추동물 Integration in the Vertebrate Organism

러셀 교수가 자신의 저서에서 밝힌 바와 같이 척추동물의 주요 조절체계main control system의 통합성과 육체와 정신과의 관계, 그리고 생리학적·철학적 시각에서 이 문제를 통합적으로 바라보는 광범위한 논의가 진행 중에 있다. 3Rs 원칙의 요약본이라 할 수 있는 이 책에서도 간략하게나마 그의 주장을 다룰 예정이다.

통합적 개체로서의 척추동물이라는 주제를 본격적으로 다루기 전에 살펴보아야 할 몇 가지 중요한 측면이 있는데, 척추동물의 조절체계는 앞으로 다루게 될 내용의 토대가 되기 때문에 먼저 설명하도록 하겠다. 이 조절체계는 척추동물의 인도적인 실험 방법과 효율성의 밀접한 관계를 보여주는 타당한 근거이기도 하다.



완전히 성장한 척추동물adult vertebrate의 생존에 필요한 주요 조절체계는 체신경계somatic nervous system, 자율신경계autonomic nervous system, 내분비계endocrine system, 세 가지로 구분할 수 있다. 그 외 다른 조절체계도 존재할 수도 있겠지만, 현재까지 알려진 것은 이들 세 조절체계다. 지난 반 세기 동안 해부학과 생리학 분야에서 이루어낸 주요 업적들은 이 세 조절체계 간의 상호작용이 매우 미묘할 뿐만 아니라 종합적이고 긴밀한 연관성을 갖고 있다는 것이다. 체신경계와 자율신경계는 포유류의 전두엽 신피질mammalian frontal neocortex에서 척수분절spinal segment로 이어지는 중추 신경계의 모든 부분과 긴밀하게 연결되어 있다. 내분비선 말초신경 자극에 직접 영향을 받는 부갑상선parathyroid을 제외하고, 모든 내분비계는 부신 수질adrenal medulla과 신경하수체neurohypophysis의 자율신경계로부터 직접 명령을 받거나, 선뇌하수체adenohypophysis의 중계를 통해 명령을 받는다. 또한 많은 호르몬은 체성중추신경계somatic central nervous system나 체성말초신경계somatic peripheral nervous system와 상호 작용한다. 이러한 피드백과 상호작용은 대부분 포유류를 대상으로 연구되고 있지만, 독자적인 진화과정을 거쳐 포유류의 자율신경계나 내분비계와 비교될 만큼의 복잡성을 보이는 경골어류teleost fish의 신경계 및 내분비계에 대해서도 연구가 진행되고 있다. 즉 세 조절체계 사이의 상호작용에 대한 근거는 모든 종류의 척추동물을 통해 밝혀낼 수 있다.

---

동물실험에서 비인도적인 행위의 개념은 무엇이며, 비인도적인 행위와 통증, 고통과의 연관성에 대해 살펴본다.

그리고 동물실험에서 비인도적인 방법을 제거할 수 있는 방법들을 분석하여 도출 가능한 긍정적인 측면을 고찰한다.

---

여러 다양한 경로를 통해 중추신경계의 영향을 받는 내분비계 기관 중, 부신피질adrenal cortex은 체내에 광범위하게 영향을 주는 복합적인 기능을 수행하고 있다. 부신피질은 신체 전반에 걸쳐서 영향을 미칠 수 있는데, 다양한 종류의 스트레스 상황에 맞서 대사 물질의 작용을 조절하려는 노력에도 불구하고, 특정 부위에 일정기간 이상 부신피질 호르몬의 작용이 지속된다면, 질병이나 생리학적 이상을 유발할 수 있다. 다른 호르몬을 포함하여 부신피질 스테로이드 호르몬의 광범위한 작용 기전 중, 특히 면역 작용의 활성화와



식균작용을 통한 신체 내 방어기전을 조절하고 조직이식 시의 면역 반응에 관여하는 부분은 매우 흥미롭다. 신체에 필요한 모든 생리학적 기전의 조절이 정상적으로 이루어져 건강을 유지하고 감염에 대한 저항력을 기르기 위해서는, 자율신경계와 내분비계를 통해 중추신경계에 의해 조절되는 연결고리가 긴밀하게 통제되어야 한다. 시상하부hypothalamus는 외부수용기exteroceptor와 내적 조절, 내부수용기interoceptor와 외적 조절, 즉 내부생리작용internal physiology과 행동behaviour을 연계하는 중심기관으로서, 칠성장어에 이르기까지 모든 척추동물에게 필요한 핵심적 기능을 수행한다. 포유류의 진화과정에서 신피질neocortex의 발달을 통해 새로운 신경체계 간의 연결이 긴밀해졌고, 이를 통해 지속적으로 조절체계를 통합할 수 있게 되었으며, 구피질cortical structure은 소화나 종족 보존을 위한 번식 등 본능적이고 감정적인 행위에 관여함으로 인해 내장뇌visceral brain로 불리우게 되었다.

이와 같은 해부학적, 생리학적 지식의 상당한 발전에도 불구하고, 실증학문의 일부인 심신의학psychosomatic medicine만 과학의 주요 분야로 부상하였으며, 여러 학술지에 많은 논문들이 게재되고 있다. 정도의 차이는 있겠지만, 오늘날 인간의 생리학적 기능과 건강이 모두 뇌의 영향을 받는다는 점에서는 이론의 여지가 없다. 이렇듯 심신의학이 자리를 잡음에 따라, 행동 요소들이 의학human medicine에서 적절한 위치를 차지할 수 있게 되었다. 환자의 현재 상태를 설명하거나 환자의 상태를 호전시키기 위해 필요한 의학적 개입식이 조절, 약물 투여, 수술 등을 예측할 때 “유기적organic”과 “기능적functional”이라는 용어들이 여전히 사용되고 있다. 그러나 질병의 근본 원인을 파악하기 위해서는 다양한 유발 요인causal factor간의 상호작용을 고려해야 하는데, 이때 중추신경계의 작용 및 그와 연관된 상태들이 매우 중요한 요인으로 간주된다. 유전적 혹은 영양학적 이유로 체내에 들어온 전염성 병원체에 대한 면역력이 떨어져 있는 경우, 일반적으로 이들 유발요인이 예외적인 상황에 잘 적응할 수 있도록 기능하여 인체를 질병으로부터 보호하게 되지만, 반면에 다른 극단적인 상황에서는 유발요인의 상태에 따라 약간의 환경적 자극이 가해져도 질병에 걸릴 수 있다. 결국, 중추신경계와 그 밖의 유발요인이 병인에 어떻게 반응하는가에 따라 질병의 발병과 그 정도가 결정된다고 볼 수 있다. 이러한 상황은 많은 생물학 논문에서도 흔히 볼 수 있으며, 다양한 분야의 정식 의학 치료방법에서도 핵심주제로 떠올랐다.

“심신의학”이란 용어는 과학에 도입된 여러 개념 중 가장 익숙하지 않고 이해하기 어려운 의학용어이다. 실제로 심신의학이란 외부적으로 발생하는 사건에 의해 부분적으로 영향을 받는 중추신경의 상태와 체내의 생리학적 또는 병리학적 상태의 관계를



의미한다. 그러나 이미 많은 논문에서 “행동적 요인과 질병의 관계”라는 협의적 의미로 고정되어 사용되어 왔다.

이 책에서는 학문적 의미를 주요 요소로 다루지는 않을 것이다. 심신의학은 문자 그대로 정신 또는 마음과 육체의 관계이다. 정신과 육체를 나눌 수 있다는 생각은 병리학적 견지에서만 가정될 수 있는 환상에 불과하다. 정신과 육체를 구분할 수 있다는 주장은 맨 처음 데카르트에 의해서 제기되었다. 이러한 주장은 이 책의 내용과도 관련이 있다. 왜냐하면, 정신 또는 마음이 없는 동물은 감정이 없기 때문에 학대하고 버린다고 해도 아무런 상관도 없다는 주장으로 이어질 수 있기 때문이다. 우리는 이 책에서 심신의학이라는 용어를 사용할 계획이지만, 두뇌에서 일어나는 감정이나 기분과 같은 작용(제2장 참조)과 내부 장기(viscera)에서 일어나는 작용과의 관계를 의미할 것이다. 이러한 관점에서 보면, 심신의학은 인간뿐 아니라, 생리학적 교차연계(cross-connection)에 대한 가장 많은 지식을 제공해주는 원천지각이 낮은 동물에게도 중요하다고 할 수 있다.

인도적·과학적 견지에서 볼 때, 동물을 대상으로 실시한 심신의학의 연구 중 대다수가 엄청난 스트레스를 유발하는 폭력을 사용하였다는 점은 참으로 유감이다. 복잡한 생리학적 체계를 연구한 결과, 행동이 심리적 상태에 끼치는 영향을 보다 세밀하게 조절할 수 있는 방법을 찾을 가능성이 발견되었음에도 불구하고, 이제서야 정신과 육체의 미묘한 상호작용에 대해 연구가 시작되고 있다.

정상적인 적응과 번식기 조절 이외에, 동물 심신의학은 주로 두 가지 측면, 즉 야생동물의 자연적인 개체 수 조절 연구와 행태적 요소들이 동물원에 갇힌 동물의 건강과 생리학적 기능에 끼치는 영향을 밝히는 데 주로 이용되어 왔다. 그 중 실험생리학자인 헤디거(Hediger (2))는 동물복지(wellbeing) 연구에 심신의학을 활용하였다.

생물학 연구자들은 항상 안정적이고 분석 가능한 생리학적 상태의 동물들을 필요로 한다. 동일한 생리학적 상태를 유지하기 위해 많은 수의 동물이 연구에 필요하기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 거의 최근까지도(제6장 참조) 일반적인 실험동물의 심신의학적 측면에 대해서 체계적인 연구가 거의 이루어지지 않았다는 점은 놀라울 뿐이다. 또한, 실험동물들의 행동학적 특성에 대해서는 알려진 것이 거의 없다는 점도 충격적이다. 이는 이론상으로는 알려졌음에도 실질적인 다른 분야에서는 적용되지 않은 지식의 충격적인 예이며, 이에 우리는 경각심을 갖지 않을 수 없다. 따라서, 이 책에서는 동물의 심신의학적 문제를 자주 다루게 될 것이다. 실험동물의 심신의학적 연구는 인도적이고 효율적인 동물실험 기법을 발전시키는 데 있어 가장 중요한 단독주제임을 주지해야 한다. 실험동물들



다루는 연구자는 “**건강한 육체에 건강한 마음이 깃든다**”는 말을 기억해야 한다. 건강한 신체와 건전한 정신 중에 하나만을 유지할 수는 없다.



## 제2장 THE CONCEPT OF INHUMANITY

# 비인도적 행위의 개념



# 제2장

## THE CONCEPT OF INHUMANITY

1. 통증과 고통 Pain and Distress

2. 고통의 기준과 척도 The Criteria for and Measurement of Distress



본 장은 러셀 교수가 집필한 내용을 가능한 한 그대로 전달할 것이지만, 비인도적인 행위에 대한 쟁점과 철학에 대한 러셀 교수의 풍부한 지식을 기반으로 내용을 전개하고 있어 상당히 복잡하고 이해하기가 쉽지는 않을 것이다. 1959년 이후 동물의 통증pain과 괴로움suffering, 그리고 고통distress 에 관한 연구는 놀라운 성과를 거두기 시작했다. 그 결과 통증의 정도에 따른 단계별 측정 지수scoring system 등 다양한 시스템이 개발되고 실용화되었으며, 과학적 연구에 이용되는 실험동물의 고통과 복지에 대한 관리방안이 마련되었다. 이 책의 원본에서 다루었던 내용을 일부 생략하기는 했지만, 러셀 교수의 주요 주장에 대한 논증의 묘미와 추리 과정을 아래와 같이 보여주고자 한다.

## 통증과 고통 Pain and Distress

이 책의 전반에 걸쳐, 인도적humane, 비인도적inhumane, 그리고 여기에서 파생된 관련 용어들이 지속적으로 언급될 것이다. “인도주의humanity<sup>1</sup>”란 용어가 원래의 의미 외에 내포하고 있는 두 번째 의미, 즉 인간이 사회적인 공동체로서 상호 협력의 능력을 가지고 있다는 관점에서 다른 종보다 우월하다는 점은 매우 흥미로운 사실이다. 지각이 낮은 동물에 대한 건설적이면서 우호적인 태도는 행동학적 측면에서 볼 때 인도주의와 밀접하게 연관되어 있으며, 인도주의를 보다 정교하게 적용하고 발전시키는 수단으로 활용될 수 있다.

그러나, 이 책에서 “인도주의”란 용어는 지각이 낮은 동물을 다루는 취급 방법, 특히 척추동물에 대한 인간의 태도와 관련하여 사용될 것이다. 뿐만 아니라, 동물에게 실제로 적용되는 실험방법의 종류 및 그에 따라 미치는 영향을 객관적으로 묘사할 때 특히 이 용어를 사용해야 한다. 반면 어떠한 윤리적 비판, 또는 실험방법에 따라 동물을 이용하는 인간의 심리적 상태를 설명할 때는 이 용어가 절대로 사용되지 않도록 주의해야 한다. 연구자가 실험결과에 치중하여, 실험과정 중 동물을 인도적인 방법으로 최대한 다루지는 않을 것이라고 일단 가정한다. 핵심과제는 인도적·비인도적 행위의 기준이 무엇인지 파악하고, 편견이 배제된 과학적·의학적 목표를 달성할

### 1. 인도주의humanity

인류의 숭고한 속성인 인간성(人間性), 인정, 박애, 인도적 행위



수 있는 인도적인 방법을 어떻게 촉진할 것인지 하는 것이다. 이를 위해 실험방법에 따라 동물에 가해지는 영향을 객관적으로 파악하는 것을 우선해야 하며, 인도주의와 비인도주의의 개념에 대해서도 정확하게 파악해야 한다.

핵심과제는 인도적·비인도적 행위의 기준이 무엇인지 파악하고,

편견이 배제된 과학적·의학적 목표를 달성할 수 있는 인도적인 방법을 어떻게 촉진할 것인지 하는 것이다.

영국의 동물복지 단체 UFAW의 설립 목적에서 인용한 다음의 글은 인도적 동물실험에 대한 기준을 간단 명료하게 설명하고 있으며, 지난 수년간 가장 적절한 지침으로 인정받고 있다. “UFAW의 목적은 영국을 비롯한 전 세계의 야생동물, 가축 및 반려동물에 대한 인도적인 행위를 권장하며, 인간에 의해 동물에 가해지는 고통과 두려움을 줄이는 데 있다”.

UFAW에서 강조하는 두 가지 핵심사항은 다음과 같다.

첫째, 이 응용과학의 정량적 측면(quantitative aspect)은 총합(sum total)이라는 용어로 단순히 수치를 측정한다. 만약 동물의 고통과 두려움의 정도를 명확하게 구별할 수 있고 실제로 정확하게 측정할 수 있다면 가장 이상적이다. 고통의 총합은 개체당 고통 또는 두려움의 수치에 고통 또는 두려움에 노출된 동물의 개체 수를 곱해서 도출한다. 그러나 현실은 다르다. 따라서, 극한적 고통에 중점을 둘 것인지 아니면 고통에 노출된 동물의 수에 중점을 둘 것인지, 그것도 아니면 두 가지 변수를 모두 반영할 것인지에 대한 우선순위를 결정해야 한다. 모든 응용과학은 목표를 명확하게 설정해 놓고 있으며, 그 목표에 따라 우선순위가 결정된다. 우리는 인도적 동물실험의 양적인 측면에 대해서 논의할 필요가 있으며, 이 부분이 향후 중요하게 다루어질 것이다.

둘째, 인도주의 개념을 통증(pain) 및 두려움(fear)의 개념에 명확하면서도 공정하게 연계시키고 있다. 이 문제는 보다 자세한 논의가 필요하지만, 우리는 통증과 두려움을 일반적 의미의 고통(distress)으로 대체하고자 한다. 고통이라는 개념을 정확하게 파악하기 위해서는 많은 자료와 견해들을 연구해야 하지만, 우선적으로 의식(consciousness)이라는 개념을 먼저 살펴볼 필요가 있다. 동물이 고통을 느끼기



위해서는 의식이 있다는 전제가 필요하며 깊은 전신 마취상태에서는 고통을 느끼지 않게 되기 때문이다.

동물에게 의식이라는 말조차 사용하기 꺼리는 철학자들에 대한 언급은 시간낭비만 될 뿐이므로 논의에서 제외시키겠다. 의식은 그 자체로서는 추상적인 의미이기 때문에 실용적이지는 않다. 이 분야에서의 발전은 의식이란 무엇인가에 대한 강박관념의 우려를 통해 이루어진 것이 아니라, 의식을 변수variable로서 이해하고 의식의 다양한 상태를 연구함으로써 이루어졌다. 의식의 상태에 대한 많은 정보의 지식을 얻을 수 있었던 것은 신경외과의 도움이 컸다. 의식의 상태는 외과적, 병리학적 요인에 따라 지대한 영향을 받을 수 있으며, 이는 대부분의 혹은 모든 척추동물에게 공통적으로 해당된다. 의식의 상태와 관련하여 과학자들의 관심은 대뇌신피질cerebral neocortex 그 자체에서 의식의 상태가 어떠한가로 바뀌어왔다. 의식의 변화fluctuation는 대뇌신피질과 전뇌forebrain의 상호작용에 의해서 발생하는 것으로 드러났으며, 이러한 상호작용은 모든 척추동물에서 이루어진다.

그러나, 질적으로 각기 다른 지능intelligence은 여전히 신피질neocortex과 구조적으로 연관이 있는 것으로 보인다. 인도주의적 관점이라는 차원에서 영장류sub-human primate와 가축 동물에게 지적 정도를 관찰하기 위한 추적을 자주 시도하고 있다. 그러나 이러한 시도는 적절하지 않은 방향으로 이용되고 있는데, 그 이유는 지능이 낮음에도 불구하고, 의식의 상태에 변화가 있다는 점을 내세워 지각이 낮은 동물의 복지를 고려해야 한다는 요구가 있을 수 있기 때문이다.

지각이 낮은 동물의 두드러진 행동을 관찰하는 것이 합법적으로 가능하여 잠정적인 의식변화를 파악할 수 있다면, 우리가 내릴 수 있는 첫 번째 결론은 그들의 의식상태가 매우 제한적이라는 사실일 것이다. 문제의 핵심은 우리가 진화를 간과하고 있다는 것이며, 진화를 감안한다면, 다음에 설명될 내용을 이해할 수 있을 것이다. 대다수의 생태학자들, 특히 동물 행동학자들은 지각이 낮은 척추동물은 어떤 특정한 기분mood을 느낄 수 있으며, 그 기분으로 인해 집중력의 범위가 상당히 제한 받는다고 주장한다. 즉, 지각이 낮은 척추동물들은 내·외적 환경의 제한된 측면만 인지할 수 있거나, 환경의 제한된 변화에 반응을 보이는데 이는 감정에 의해서 좌우된다는 것이다. 언뜻 볼 때는 지각이 낮은 척추동물의 이러한 특징이 인간의 집중력과 유사하다고 생각될 수 있다. 인간도 모든 자극을 인지하기보다는 일부만을 인지할 수 있기 때문이다. 그러나, 인간이 지각이 낮은 동물과 다른 점은 높은 지능을 지니고 있어 어디에 어느 정도 집중할 것인지를 의도적으로 조절할 수 있다는 것이다. 반면에 지각이 낮은 동물의 감정변화는 대체로 각 종별로



정해진 만큼만의 반응을 보인다.

이러한 측면에서, 동물은 기능적으로 신경과민 반응을 보이는 인간과 유사하다고 볼 수 있다. 사실 인간은 모두 어느 정도까지는 신경과민 반응을 보이기 때문에 근심이나 우울과 같은 감정상태를 머리 속에서 떠올릴 수 있을 것이다. 심각한 감정상태에 빠지면 아무 것도 할 수 없으며, 감각, 지능, 감정의 범위가 제한되어 수 초, 수 분, 또는 아주 심할 경우에는 몇 시간이나 아무 일도 하지 못하는 상황에 빠진다. 특히 지각이 낮은 동물은 불편한 환경에 매우 취약하다. 이들 동물들은 괴롭거나 우울한 기분에 빠지면, 그 정도가 매우 심각하며 감정 조절이 불가능하다.

일반적으로, 지각이 낮은 동물은 자신의 감정을 통제하지 못한다. 동물의 행동은 반사적이다. 인간도 반사적으로 행동할 때 내·외부 자극에 가장 취약하다는 점은 이미 알려진 사실이다. 뿐만 아니라, 지각이 낮은 동물은 그들의 고통을 말로 표현함으로써 해소할 수도 없다. 그러나 감정을 조절한다거나 말로 표현할 수 없다는 이유로, 지각이 낮은 동물을 무시하기보다는 다양한 요인들을 감안하여 합리적으로 동물을 대해야 할 것이다. 이 문제를 강조하는 이유는, 동물에 대한 인도주의를 장려하기 위해 인간과 지각이 낮은 동물의 유사점을 지나치게 강조하는 사람들이 종종 있기 때문이다. 사실, 인간과 동물 사이에는 유사점보다는 차이점이 훨씬 많다. 아기가 말을 하지 못한다고 해서 어느 누가 지각이 없다고 주장할 수 있겠는가?

모든 척추동물의 경우, 강력한 통증은 다른 모든 자극을 초월하며 즉각적으로 특별한 감정을 유발시켜 광범위한 운동 반응 및 자율신경계 반응을 일으킨다. 그 해답은 진화에서 찾을 수 있다. 특히 통증은 특정 말초신경계의 기전(peripheral mechanism)과 연계된다는 점에서 두려움 등 고통을 유발하는 다른 자극과는 다르다. 따라서, 통증에 대해서 먼저 알아보려고 한다.

통증 주변부와 피부감각에 관한 연구는 최근 수 년간 놀라운 발전을 보였다. 간단히 설명하자면, 이전에는 포유류 피부의 신경말단 부분(nerve ending)이 네 가지 형태로 구분되어 있으며, 이러한 신경말단 부위로 인해 열, 추위, 촉감, 통증을 느낄 수 있다고 알려져 왔다. 그러나, 최신의 이론에 의하면 피부에 있는 모든 감각의 신경말단은 형태적으로 동일하며, 피막에 싸여있지 않은 외형질(exoplasmic, 즉 세포막의 바로 안쪽에 접해 있는 세포질 부분의 돌기형태로 되어 있는 것으로 알려졌다. 신경말단의 기능은 전적으로 공간적인 위치(spatial position)와 배열(arrangement)에 의해서 결정된다. 첫 번째 신경말단 그룹은 모낭 주변을 감고 있어서, 털(hair)이 변형을 일으키면



피막에 싸여 있지 않은 모섬유parent-fibre에 자극이 쉽게 전달되어 영향을 미친다. 두 번째 구형globe의 상피세포가 다른 크기로 변형되는 그룹의 경우는 상피세포epithelial cell, 소체 내에서 말단부가 분화하여 자극이 전달된다. 상피에 가장 가까운 곳에 있는 이러한 신경말단부로 인해 촉각touch을 느낄 수 있는 것이다. 한편, 더위와 추위는 피부의 깊고 좀더 얇은 표층부에서 느끼며 체계적으로 분화되어 있지 않은 돌기의 상대적인 활성화 정도에 달려있다. 만약 보다 깊은 곳에 위치한 신경말단이 얇은 표층부의 신경말단보다 더 활발하게 활동하면 추위를 느끼게 되는 것이고, 그 반대라면 더위를 느끼게 되는 것이다. 마지막으로, 어떠한 종류라도 특히 조직에 손상을 입힐 정도의 지속적인 강한 자극이 신경말단에 가해지면, 털hair 또는 소체corpuscle와 연계되지 않은 어떤 신경말단이라도 통증을 유발시킬 수 있다. 그러므로 비록 미분화unspecialized 가 형태적인 것보다는 공간적인 의미와 관련이 있다 하더라도, 미분화된 신경말단과 연계된 통증은 한쪽 방향으로 전달되어 지속적으로 유지되며, 온도수용체의 영역과 다소 겹치기도 한다. 이러한 사실은, 척수에서부터 시상thalamus<sup>1</sup> 까지 이어지는 신경 통로 내에서 통증과 온도가 전달되는 경로가 공간적으로 분리되어 있지 않다는 연구결과와도 일치된다. 그러나, 조직에 손상을 주는 자극이 가해질 경우, 통증이 활성화되는 것으로 추정된다.

마지막으로, 두 가지 종류의 피부 통증이 있는데 이 둘은 잠재기간과 지속기간을 기준으로 구별할 수 있다. 즉, 빠르고 느린 통증과 찌를 듯이 아프고 탈 듯이 아픈 통증으로 나뉜다. 이 두 가지 통증은 서로 다른 신경섬유로 전달되지만 지속기간이 다르다는 사실 이외에 특별히 다른 점은 없다. 포유류 신체의 다른 부분과 지각이 낮은 척추동물에서 위와 동일한 피막이 없는 말초신경이 상당히 발견되었다. 물론 어류의 경우, 피부 위에 털이나 복합소체가 존재하지는 않지만 그만의 독특한 감각기관이 존재한다. 그러나, 최근까지 많은 연구가 발표되었지만, “모든 척추동물은 고통을 느끼는 감각을 가지고 있다”는 베이커Baker (3)의 주장을 뒤집을 만한 것은 없다.

지금까지 우리는 통증에 대해서 다루었으며, 통증은 촉각 또는 더위 등의 감각과는 분명하게 다르다. 한편, 통증이 유발하는 고통의 정도는 또 다른 문제이다. 통증에 의해 발생하는 고통은 결국에 가서는 중추신경을 분석해야 밝혀질 문제이지만, 중추신경과 말초신경 모두에 의해 영향을 받는다. 따라서, 정상적인 피부의 피막에 싸여있지 않은 말초신경은 실제 서로 접촉하지는 않더라도 상당부분 중첩된다. 그 결과, 특정한 지점에 통증이 가해지면 마찬가지로 특정하게 배열된 신경섬유에 자극이 전달되어 뇌는 삼각측량triangulation 방법에 의해서 통증이 가해진 지점을 예측할 수 있다. 특정한 피부상처와 흉터의 경우, 피부의 각 부위는 일시적으로 각기 하나의

#### 1. 시상thalamus

간뇌에 속하며 많은 신경핵군으로 구성되어 있는 부위. 주요 기능은 후각 이외의 모든 수용기에서 대뇌피질로 전도되는 감각 임펄스를 중계하는 중계핵으로 작용한다.



신경섬유 말단과 이어지는 신경말단을 포함하게 된다. 이 부위에 직접 가해지는 자극은 엄청난 통증을 수반한다. 어떤 통증은 자유신경말단<sup>free naked nerve ending</sup>에 직접 가해진 자극에 의해서 인지되는 반면, 또 어떤 통증은 뇌에 의해 전달된 통증의 패턴 또는 정보의 양에 의해서 인지된다. 그 외에 말초신경계에서 수집된 정보에 의해서도 통증이 배가 된다.

여기서 이미 경험해 본 고통의 양이나 감정에 의한 통증을 의도적으로 줄일 수 있는 인간의 능력은 중요하게 다루어져야 한다. 자기암시를 통해 인간은 고통을 직접적으로 통제하거나 치과에서 의자의 팔걸이를 움켜 잡는 등의 방법으로 주의를 다른 곳으로 분산시켜 통증을 간접적으로 통제할 수 있다. 그 외에도 신경안정제와 같은 약물을 사용하여 통증에 대한 반응에 영향을 주지 않으면서 선택적으로 고통을 줄일 수 있다(제7장 참조). 외과수술을 통해서도 고통을 줄일 수 있다. 또한, 여러 연구결과에 의하면 자극을 한꺼번에 주는 것이 아니라 점차적으로 증가시키면서 주게 되면 통증과 고통의 역치<sup>threshold</sup>가 달라진다.

통증 자체는 약물과 척수 또는 뇌간 내에 존재하는 전도로<sup>conduction pathway</sup>에 국소적으로 통증 억제를 유도하는 약물을 주입하는 외과적인 국소 무통시술을 통해서 선택적으로 제거할 수 있다. 척수<sup>spinal</sup>, 삼차신경<sup>trigeminal</sup>, 내장<sup>visceral</sup>의 구심성 신경<sup>afferent nerve</sup>으로부터 고통이 전달되는 신경전달의 상행경로는 중뇌<sup>midbrain</sup> 만큼이나 잘 알려져 있지만, 고통에 관한 모든 문제들이 해결된 것도 아니고 비포유류 척추동물의 고통 전달 경로에 대해서도 거의 알려진 바가 없다.

통증을 지속적으로 높게 가하면, 고통은 즉시 증가한다. 최근에 감금상태 혹은 비교적 자유로운 행동이 허용된 동물들에게 빛을 이용한 연구가 소수 수행되었다. 특히 최근 몇 년간 고양이와 원숭이에게 전극을 삽입한 후 자극을 가하여 수행한 실험 등을 통해 통증과 고통에 대한 정보들이 수집되었다. 그 중에서도 “동물의 고통을 줄이기 위하여 특별 관리를 행하고 역치에 이르는 강도의 자극을 짧게 규칙적으로 가했다”는 델가도<sup>Delgado</sup>의 보고서(4) 내용은 매우 흥미롭다.

외재적 행동과 관련이 있는 한, 가장 효과적인 실험방법은 동물의 조건반사와 다양한 형태의 학습을 위한 동기로서 고통을 이용하는 것이다. 즉, 고통을 벌칙의 수단으로 활용하는 것이다. 델가도와 동료 과학자들의 연구(5-7)를 토대로 이에 대해 좀 더 자세히 설명하자면, 그는 통증, 고통, 벌칙은 모두 긴밀하게 연계되어 있다고 주장한다. 그러나, 동물의 여러 행동들을 관찰한 결과, 통증은 고통의 유일한 원인이 아니며, 두려움과 갈등도 고통을 유발하는 주요 원인이라는 사실이 확인되었다.

#### 1. 자유신경말단 free naked nerve ending

피부감각을 지배하는 신경의 말단부는 처음에 섬유 속을 이루고 피하조직, 이어서 진피로 들어가 신경총을 만든다. 여기에서 나온 많은 가지의 일부는 어떠한 특별한 말단 장치 없이 피하조직, 진피 및 표피의 세포간에 그 말단이 약간 부풀어 있는데 이를 유리 또는 자유 신경 말단이라고 부른다.



인간의 경험을 토대로 두려움의 기능을 연구한 결과, 일차 경보단계 이후 효과적으로 표현의 기회가 제공된다면, 두려움은 고통에서 도피하기 위해 필요하다. 이러한 경우, 두려움은 오히려 외부 요소들에 대한 경각심을 높이는 효과를 낼 수 있다. 이것이 시사하는 바는, 만약 동물이 사전에 바퀴를 돌린다거나 레버를 누르는 등 통증의 자극을 제거할 수 있는 방법을 학습할 수 있다면, 실험 중 동물이 겪게 될 고통을 미연에 방지할 수 있다는 것이다. 그렇지만, 두려움은 도피 등을 통해 고통에서 벗어날 방법이 없는 실험실에서 보다 일반적으로 유발된다. 특히 실험 상황에서 나타나는 동물의 신경 증세(experimental neuroses)는 도피가 아예 불가능하거나 다른 요인들과의 복합적인 환경에 의해 도피가 힘든 상황에 직면한다. 그러한 환경에서 두려움은 몹시 불편한 상태가 될 것이고, 인간의 상황에 비유하자면 불안장애에 빠지게 될 것이다.

항상 그런 것은 아니지만 동물이 야생에서 갈등의 대립상황에 직면하면, 여러 요인 중에서 충동적인 감정과 함께 두려움이 먼저 발생하게 된다. 특별한 경우를 제외하고 야생에서는 영장류와 같은 갈등의 대립상황은 오래 지속되지 않는다. 야생 동물들은 방향을 바꾸어 이동하거나 타협하는 행동 등을 통해서 갈등의 요소를 줄이고 표현함으로써 빠른 시간 내에 갈등의 대립상황에서 벗어나거나 갈등자체가 아예 해소되기도 한다. 따라서, 야생에서 지각이 낮은 동물은 감정에 대한 직접적인 통제능력은 없지만, 고통스러운 상황이 오래 지속되지 않도록 무의식적으로 갈등을 해소할 수 있는 능력을 지니고 있다. 문제는 포획되었거나 사육 중인 동물이다. 자연적으로 갈등을 해소할 수 있는 환경이 이들 동물에게는 제공되지 않기 때문이다. 실험실의 동물들은 포획되었거나 가축화된 사육동물이다. 실험실에서는 사회적·비사회적 환경요인들이 복잡하게 얽혀있는 있는 경우가 많다. 실험실의 동물들은 동물 우리에 갇혀 야생의 동물들이 활용할 수 있는 고통의 해소 수단을 활용할 수 없기 때문에 그 문제는 더욱 복잡해진다. 이러한 상황이 고통스러운지 아닌지, 만약 그렇다면 그 정도가 얼마나 심각한지는 또 다른 문제를 야기시킨다.

적어도 포유류의 경우는, 완벽한 복지상태부터 심각한 고통의 단계까지 동물의 상태를 분류할 수 있는 일련의 기준이 마련되어 있다. 포유류의 행동은 일반적으로 정반대의 개념인 접근(approach)과 회피(avoidance)로 쉽게 묘사될 수 있다.

동물의 무의식적 반응에 대한 행동을 접근과 회피방법을 이용하여 자세히 살펴보면, “동물의 복지상태와 극심한 고통”으로 양분하는 것보다는 척도(scale)를 사용하는 것이 더 효과적이라는 것을 알게 된다. 이런 방식으로 “비인도적 행위의 금지”라는 목표를



두고 점차 고통을 줄이는 것보다는 편안함을 느낄 수 있도록 개선하는 것이 바람직한 것이다. 따라서, 단순히 고통의 제거를 목표로 잡기보다는 동물의 인락한 삶을 목표로 고통을 점차 개선하는 것이 효과적이다. 우리가 제안하는 연구결과들도 이러한 목표를 염두에 둔 것이다.

따라서, 우리는 원인과 무관하게 고통의 정도가 중추신경에 미치는 영향을 토대로, 고통은 반사적 반응이 축적되어 나타나는 것이며, 장기간 지속되면 생리적 스트레스 증후군(physiological stress syndrome)을 유발할 수 있다는 것을 기반으로 하여 고통의 등급을 나누었다. 비인도적인 실험방법은 동물의 감정을 생리적 스트레스 증후군을 일으킬 정도의 등급까지 악화시킬 수 있다. 비인도적인 행위를 제거한다는 것은 '심한 고통'을 주는 것에서 '복지'를 증진시키는 쪽으로 개선함을 의미한다. 보다 인도적(more humane)이라는 것은 단순히 보면 비인도적 방법을 감소(less inhumane)시키는 것이다.

지각이 낮은 척추동물의 고통을 측정하는 것은 더욱 어려운 일이다. 포유동물의 자율신경계 반응은 진화의 결과로 명확하게 구별할 수 있지만, 지각이 낮은 동물은 원시적 체계에 머물러 있기 때문에 고통에 따른 반응을 명확하게 구별하기가 어렵다. 조류의 경우에는 선호하는 것과 혐오하는 것을 대체적으로 파악할 수 있지만, 상대적으로 이에 대해 외재적 행동으로 드러나는 분명한 차이는 찾을 수 없다. 그럼에도 불구하고, 그들도 고통을 느낄 수 있다는 가능성은 여전히 존재한다.

## ■ 고통의 기준과 척도 The Criteria for and Measurement of Distress

우리는 원칙적으로 동물에게도 고통을 느끼는 감각이 존재하며, 고통의 정도를 측정가능한 형태로 파악하여 척도로 표시할 수 있다고 생각한다. 급성 변화를 연구하는 경우, 동물에게 시행한 처치에 의해 즉각적으로 유발되는 우울한 감정을 이전의 감정 등급과 비교하여 이를 고통의 정도로 측정할 수 있다. 이러한 분석방식은 자율신경계의 역학을 이용하여 보다 정교하게 분석할 수 있을 것이다. 예를 들어 동물에게 일어난 심각한 변화를 절대적으로 평가할 것인가 아니면 상대적으로 평가할 것인가, 또는 급격하게 척도가



하락하는 것과 중간 정도의 척도를 유지하는 것 중 어느 것이 더욱 고통스러울 것인지에 대해서도 분석할 수 있다.

비인도적인 실험방법은 동물에게 불편한 환경을 제공하는 방법이다.

비인도적인 행위를 제거한다는 것은, 우리가 할 수 있는 만큼 가능한 동물에게 편안한 환경을 제공하는 상태를 의미한다.

단순하게 표현하면, 좀 더 인도적인 방법을 제시하는 것은 동물에게 비인도적인 방법을 조금 덜 가한다는 의미이다.

그러나, 그러한 정교한 분석은 그리 실용적이지 않다. 고통의 의미를 대략적으로 이해할 수 있을 정도면 충분할 것이다. 다만, 이 책에서는 배고픔과 신체적 불편함 등 기술적인 신체육구의 좌절로 인해 유발되는 고통의 항목을 하나 더 추가시키고자 한다. 포유류 동물집단 내의 서열에서 하위계급의 털이 지배계층에 비해 항상 지저분하고 거칠다는 것은 매우 흥미롭다. 이와 마찬가지로, 정글에 사는 야생 원숭이들은 포획상태에 있는 원숭이에 비해 영양, 감염, 기생충 감염 등 여러 면에서 열악하지만 포획상태에 있는 원숭이들은 고단백 식사를 제공받는 것으로 보고되었다. 관찰대상이었던 야생 원숭이 중에 지배계층이 포함되었는지는 확실치 않으나 야생상태에서도 개선의 여지가 있다는 점은 추론할 수 있다.

고통의 기준 및 척도가 동물실험을 수행하는 연구자의 태도에 원칙적으로 도움을 준다고 하여도, 각 사례에 따라 명확하게 파악하고 적용하려면 이론적으로 또는 기술적으로 많은 어려움이 따른다. 이 문제에 대해 깊이 다루지는 않겠지만, 사례별로 해결책이 다르다는 것은 자명하다. 동물실험이 포유류만 이용하는 것은 아니지만, 이 책에서는 주로 포유류와 관련된 몇 가지 핵심사항을 다룰 것이다.

동물의 사육관리 측면을 제외하더라도 동물실험의 방법이나 소요시간이 매우 다양하기 때문에 이를 조사하는 것은 결코 간단한 일이 아니다. 몇 세대에 걸쳐 수행되는 유전실험부터 짧은 시간에 끝나는 진통제 실험에 이르기까지 실험방법의 종류도 상당히 많다.

만성실험<sup>1</sup> chronic experiment<sup>1</sup>의 경우에는 의식의 여부가 중요치 않다. 그러나, 생존 및 비생존실험을 포함하여 전신마취 상태에서 급성실험<sup>2</sup> acute experiment을 하는 경우에는 마취단계에서의 의식상태가 매우 중요하다. 이러한 유형의 실험은 동물이 의식이 있는

#### 1. 만성실험<sup>1</sup> chronic experiment

동물 실험 등에서 몇 주 또는 수 개월간 혹은 그 이상의 시기에 걸쳐 동일 개체에 대하여 실험을 지속하거나 관찰을 계속하는 것



상태라면 고통을 야기할 수 있기 때문이다. 따라서, 마취약이 온전히 효과를 발휘하는 시점과 그 효과가 떨어질 시점을 파악하는 것이 중요하다. 남미 원주민이 화살에 사용하는 독의 일종인 큐라레<sup>curare</sup> 또는 이와 유사한 이완제는 운동신경을 마비시키므로 사용할 때 특히 주의해야 한다. 그 외에 전신 마취를 할 경우에는 포유동물 전뇌의 전기적 활동량<sup>electrical activity</sup>을 측정하여 의식상태를 파악할 수 있다. 의식 상태의 기록과 분석에 필요한 기구가 복잡하다는 점을 차치하더라도 동물의 의식상태를 파악하는 것은 상당히 복잡한 과정이다. 뇌파계<sup>electrocephalogram</sup>를 활용하여 인간의 뇌파를 측정하는 마취상태를 최소 7가지로 분류할 수 있다.

크로프트<sup>Croft</sup>의 연구(8-10)가 지닌 높은 가치는 여기에 있다. 토끼의 심장과 대뇌피질의 전기적 활동 기록과 인간의 기록을 비교한 결과, 그는 고통을 주는 자극에 대한 반응으로 심장박동이 갑자기 증가하는 것이 의식상태를 보여주는 확실하면서도 정확한 증거임을 밝혔다. 심장의 통증반사<sup>pain reflex</sup>를 비교적 간단한 방법으로 기록해낼 수 있다는 점은 매우 인상적이다. 또한 통증반사가 골격근에서 발생하는 것이 아니기 때문에, 신경근 이완제가 투여될 때나 전기충격으로 인한 큐라레하 근육이완 상태에서도 심장의 전기적 활동을 측정할 수 있다.

한편, 의식이 있는 동물에게 만성실험을 하는 경우에는 체신경<sup>somatic</sup> 또는 자율운동신경계<sup>automatic motor systems</sup>에 미치는 영향을 측정하여 고통 여부를 파악할 수 있다. 특히 자율운동신경계의 경우, 같은 시기에 내분비계 반응이 나타난다면 이 또한 이용할 수 있다. 여기서는 우선적으로 체신경에 미치는 영향을 살펴보겠다.

최근에 인간의 고통을 측정하는 흥미로운 방법이 개발되었다. 이 방법은 인간이 고통으로 인해 신경증적 불안을 겪게 되면 모든 또는 일부 근육이 과도하게 활동한다는 점을 응용한 것이다. 전자 측정계<sup>electronic integrator</sup>를 활용하여 표면전극<sup>surface electrode</sup>이 감지한 근육활동전위<sup>muscle potential</sup>의 총량을 측정한다. 이 방식은 비용이 많이 들지만 정교하다. 그러나, 현재의 문제에 효과적으로 접근하기 위해서는 다양한 동물실험 방법을 다룰 수 있는 여러 기술이 필요하다. 예를 들어, 극심하지만 단기적으로 발생하는 고통을 빠른 시간 내에 측정해야 하는 경우도 있고 심한 고통은 아니지만 장기간 지속되는 고통을 측정해야 하는 경우도 있을 것이다. 폭넓게 이용되는 실험방법을 완벽히 조사하여 정확하게 이해할 수 있다면, 한두 가지 방법으로 고통을 파악할 수 있을 것이고 이들 방법을 사용할지 여부를 진지하게 고려해 볼 수 있을 것이다.

#### 1. 근육활동전위<sup>muscle potential</sup>

신경세포 또는 근육세포의 세포막에서 짧은 시간 동안(약 1/1,000초) 전기자극을 통해 근육이 수축할 때 생기는 활동 상태



고통으로 인한 행동의 변화가 명백하게 나타나는 경우, 관찰을 통해 다양한 방안을 강구할 수 있으며 일부 종의 경우에는 고통의 징후를 효과적으로 목록화하여 활용할 수 있다. 붉은털 원숭이(rhesus monkey)는 고통을 느낄 때 인간이 보여주는 징후와 유사한 반응을 보인다. 사회적 동물인 포유류는 얼굴표정이 정교하다. 예를 들어 늑대는 실험동물로 자주 활용되고 있지는 않지만 얼굴표정에서 고통의 징후를 잘 파악할 수 있다. 급작스러운 고음을 지르는 것도 대부분의 네발 동물(tetrapod)에게 나타나는 고통의 징후이다.

이러한 동물행동에 대한 지식은 다양한 방법으로 활용될 수 있을 것이다. 우선 동물은 고통을 받으면 비사회적 행동을 보인다. 그 외에도 털고르기(grooming)와 편안한 행동(comfort behaviour)의 패턴, 새로운 환경을 탐험하려는 의지에도 변화가 나타난다. 휴식자세를 보고 동물의 반응을 정량화하기는 어렵지만, 동물들의 일상적 행동은 다양한 방식으로 연구될 수 있으며 이에 따라 평상시 보여주는 행동패턴을 관찰하여 고통의 여부를 판단할 수 있다. 그 외에 사회적 상호작용도 동물의 상태를 판단할 수 있는 실마리가 된다. 가장 확실하고 가치 있는 행동기준은 연구자에 대한 동물의 태도이다(Hediger 사례 참조, 11). 단기 실험을 하더라도 구속을 해야 할 만큼 공격적이거나 그 반대로 지나치게 순종적인 태도를 보이는 것도 확실한 이상징후이다. 그 외에도 지표가 될 만한 요소는 상당히 많다. 중요한 것은 실험에 주로 이용되는 동물에 대한 체계적인 연구조사가 필요하다는 점이다.

두 번째, 편리하면서도 정량화가 가능한 징후는 동물의 반사적 행동이다. 장기적 측면에서 본다면, 내분비계와 그 외에 서서히 나타나는 신체 반응을 예로 들 수 있다. 동물의 일반적인 건강상태도 중요한 징후가 되며, 또한 특정 질병은 아니지만 병원균에 취약한 점도 중요한 징후이다.

마지막으로, 장기적인 상황에서 나타나는 본능적인 능력, 즉 가축의 이용 만큼이나 오래된 효율적으로 번식시킬 수 있는 능력에 대해 살펴보겠다. 가축을 키우기 시작한 때부터 번식력은 동물의 상태를 판단할 수 있는 중요한 지표로서 기능을 하였다. 번식력은 동물에게 표현되는 행동(behavioral)의 능력과 체내의 항상성(homeostatic) 기능을 최대한 동원한다. 외부요인의 방해에 취약해질 수 있으며, 새끼의 생존 능력과도 연관이 있다. 장기적 실험에서 이러한 생식에 관한 연구는 “후대검정(progeny testing)”이라고 불린다. 생식능력이 왕성해지기 위해서는 동물의 짝짓기와 부모의 새끼 돌보기 행동이 모두 완벽한 환경에서 이루어져야 한다. 포획된 동물의 생식능력은 해당 동물의 행동을 포괄적으로 이해하는 데 필요한 전제조건이자 입증자료가 된다. 어미의 내분비계 반응, 예를 들어 포유동물의



유즙생산(유즙배출반사)은 이노 반응처럼 고통과 같은 외부의 방해요인에 예민하게 반응한다. 뿐만 아니라, 번식기에는 어미의 대사작용 및 일반적인 생리적 스트레스가 최고치에 이른다(12). 이러한 원칙은 모든 척추동물에 적용된다. 이는 동물원 관계자들이 지속적으로 해결해야 할 어려운 문제이자 연구되어야 할 과제이다. 지금까지 번식은 주로 야생 집단 또는 개량종의 수를 조절하는 방법을 토대로 활용되어 왔다.

지금까지 정량분석이 적용된 적은 거의 없지만 특별한 연구기준이 마땅히 없는 경우에는 우선 정성분석을 활용하는 것이 바람직하며, 그 결과를 전문가가 인정하는 경우라면 신뢰할 수 있다. 그 다음 인간에게 동일한 자극을 준 후 나타나는 증상을 조사한 후 동물의 경우를 유추한다. 인간과 동물의 유사점을 비교할 때 나타나는 핵심요소들이 유사하다면 효과적인 연구방법이 될 것이다.

그렇지만 주어진 조건이 비교하기에는 적절하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 인간과 유사하다는 전제 하에, 어류가 공기 중에서 호흡하는 것이 최선이라고 생각하는 사람들은 없을 것이다. 그럼에도 불구하고 적당한 방법이 없을 때는 인간을 기준으로 추정하는 것이 아무 것도 하지 않는 것보다는 낫다. 척추동물에게 고통을 반드시 줄 수밖에 없는 실험도 있다. 이런 경우에는 고통을 유발시킬 것이라는 추정을 한 후, 해당 실험을 통해 보다 객관적인 방법으로 고통의 유무를 확인한다. 즉, 고통을 유발시킬 것으로 추정되는 실험을 한 후 그 고통을 객관적으로 확인하는 것이다. 예를 들어, 메스꺼움은 인간에게 괴로운 증상인데, 인간을 기준으로 추정해 볼 때 비둘기도 마찬가지로 것이라고 추정한다. 비둘기에게 구토제인 독성 알칼로이드인 요힘빈(yohimbine)을 지속적으로 비둘기에게 투여하면 나중에는 연구자가 약물투여를 위해 새장의 문을 열기만 해도 구토증상을 보이는데, 이 실험을 통해 우리는 비둘기가 고통을 느끼고 있다는 사실을 확인할 수 있다.



## 제3장

# THE ECOLOGY OF EXPERIMENTAL ANIMALS

## 실험동물의 생태학



# 제3장

## THE ECOLOGY OF EXPERIMENTAL ANIMALS

1. 인간과 동물의 세계 Man and the Animal World
2. 동물실험 조사 Monitoring Animal Experimentation
3. 1952년에 실시된 LAB 설문조사 The LAB Survey of 1952
4. LAB 데이터 : 기타 분석 결과 The LAB Data: A Further Analysis
5. 분석 결과 Results of the Analysis
6. 최근의 개발 동향 The Latest Developments



## ■ 인간과 동물의 세계 Man and the Animal World

영국의 저명한 생물학자인 헉슬리Huxley(13)는 진화과정을 “예기치 못한 장애물로 가득찬, 빠져나갈 길은 단 하나뿐이지만 무한대의 후속 과정이 존재하는 생생한 이미지의 미로”에 비유하였다. 인간은 미로에서 출구를 찾기 위해 끊임없이 노력해 왔으며, 이러한 끊임없는 노력이 진화과정이라고 그는 설명한다. 헉슬리는 인간은 출구를 찾는 과정에서 다른 종을 배제해 왔고, 지금까지의 시간과 현존하는 공간 속에서 진화의 문제를 해결한 유일한 종임을 알아냈다. 몇 번에 걸쳐 끔찍한 일이 일어나기도 했지만, 인간은 자신의 생태계를 변화시켜 그 어떤 종도 인간의 우수성에 도전하지 못하도록 했다. 그러나 이는 인간과 동물 세계의 한 측면만을 본 것이다.

이제 인간은 육지에서 살아가는 대부분의 야생동물 생태 환경을 결정짓는 주된 요소가 되었으며, 점점 더 깊이 탐험하고 있는 바다에서도 마찬가지이다. 인간은 다른 종을 직접 잡아먹거나, 먹이 공급의 경쟁을 통해 약화시킴으로써 다른 동물 종을 말살시킨다. 뿐만 아니라, 이종간 평형interspecific equilibria을 유지하는 데 필요한 균형적 개체 수를 의도적으로 조정하기도 하고, 때로는 인간에게 필요한 사냥감의 개체 수를 유지하기 위해 포식자들을 죽이고 있다. 그 결과 사냥감이 굶주림이나 전염병에 노출되는 결과를 낳는 등의 예기치 못한 결과가 생기기도 한다. 그 외에도 식물의 성장을 조절하고 광물자원을 캐내며 도시의 개발과 기술 발달을 추구하지만 그로 인해 셀 수 없을 만큼 많은 환경의 부작용들이 발생한다. 인간이 자신의 영역을 확대하면서 초래되는 문제들에 대한 경고들과 함께 이제는 국제적인 수준에서 “지구의 변화를 초래하는 인간의 역할”에 대해 논의하고 이를 통제하려는 움직임이 활발히 진행되기 시작했다(14). 인간의 개입은 야생동물의 행동 중 적응 진화adaptive evolution<sup>1)</sup>에 지대한 영향을 끼쳤다. 예를 들어, 야생동물은 인간의 기술로 인해 생산되는 물건에 어떻게 적응하는가에 따라, 기술발전을 환영하는 동물technophile과 기술발전을 두려워하는 동물technophobe로 분류할 수 있다. 그렇지만, 기나긴 지질학적 시간대에서 이러한 분류는 바로 얼마 전까지만 해도 무의미한 일이었을 것이다.

물론, 인간과 동물의 상호관계에는 긍정적인 측면이 있을 수도 있다. 오래 전에 로마의 시인이었던 루크레티우스Lucretius는 자연선택 속에서 생존을 가능하게 하는 요소들을 설명하였는데, 이는 적응형질adaptive character이라고 불리운다. 예를 들어, 그는 동물이 가진

1. 적응 진화adaptive evolution  
생존이나 번식을 향상시키는 성질의 획득이나 개선의  
방향으로 진화



힘과 민첩성 이외에 인간에 대한 유용성<sup>usefulness</sup>도 생존을 가능하게 하는 적응형질에 포함시켰다. 이 유용성에 따른 선택이라는 측면은 점차 중요해지고 있으며 이는 이제까지 인간이 가축화한 종들의 목록만 보아도 알 수 있다. 이렇듯 가축화된 동물 중 실험동물에 대해서 레인-페터<sup>Lane-Petter</sup>가 지적한 바에 따르면, 동물실험을 완벽하게 인도적으로 수행하기 위해서, 우리는 동물의 생존을 보장하기 위해 상당히 많은 노력을 해야 한다.

야생동물이 아닌 동물을 다룰 때 중요한 점은, 포획된<sup>captive</sup> 동물과 가축화된<sup>domesticated</sup> 동물을 명확히 구별해야 한다는 것이다. 포획된 동물은 보통 '자신에게 이로운 것'이 무엇인지를 알며, 우리의 주요 관심사는 동물이 포획되기 전에 누리고 있었으나 제한된 공간에 감금되면서 제거된 필수적인 환경 요소들을 제공해주는 데 있다. 반면에, 길들여진 동물은 본능적인 반응이 상당부분 훼손되어 있으며, 생존에 필요한 요소들이 인간에 의해 공급되는 새로운 환경에 오랫동안 길들여져서 야생상태에 있을 때 갖추고 있었던 조직화된 행동양식이 무너져 버렸다. 이제 인간은 길들여진 동물들의 행동양식을 보완해 주고 있으며 이들의 환경에 매우 중요한 요소가 되었다.

가축화된 동물과 야생상태의 유사종의 차이는 상당하다. 예를 들어 랫드의 경우에는, 야생랫드를 포획해서 사육할 경우 신경생리학에 큰 변화가 일어나며 심신의학적인<sup>psychosomatic</sup> 측면에서도 마찬가지이다.

실험동물은 간혹 야생에서 포획되는 경우도 있지만, 대부분의 경우에는 실험실에서 사육되며, 때로는 다른 형태로 가정이나 농장에서 사육되던 동물을 가져오는 경우도 있다. 이들은 다양하고 복합적인 문제들을 가지고 있지만 한 가지 동일한 공통점이 있다. 바로 그들의 생태계는 인간에 의해 만들어진 것이라는 점이다. 결국 실험동물의 개체 수, 분포, 환경의 위험은 야생동물에게서 나타나는 동물 고유의 문제가 아니라 인류사회학과 관련이 깊은 문제이다. 왜냐하면 실험동물의 문제들은 인간의 필요와 의사결정에 의해서 결정되기 때문이다. 따라서, 이제 우리가 관심을 두어야 할 것은 실험동물이 직면하고 있는 강요된 생태계이다. 우리가 다루어야 할 일반적인 원칙은 이미 수립되었으므로, 이제부터 동물실험의 패턴에 대해 조사할 차례이다. 즉, 어떤 동물이 실험에 이용되는지, 어디서 이용되는지, 그 목적은 무엇인지, 그리고 무엇보다도 얼마나 많은 동물이 실험에 이용되는지 등에 대해서 살펴볼 것이다. 이 책에서는 우선적으로 자세한 기록이 가장 잘 남아 있는 영국의 동물실험 현황에 대해 알아보겠다.



## ■ 동물실험 조사 Monitoring Animal Experimentation

인공두뇌학(cybernetics, 특히 자극에 대한 피드백의 통제(feedback control)라는 개념은 여러 측면에서 사회에 지대한 영향을 끼쳤으며, 그 중 하나로 자동화된 시설을 사례로 들 수 있다. 자기감시(self-monitoring) 또는 자기인식(self-awareness)은 인간 개개인의 지능의 핵심요소로서 인간의 자기관리 능력은 사회학적 측면에서 파악되어 왔다. 상공업계에서 규모가 큰 조직들이 상당한 인력과 비용을 투자하여 자기 조직의 행동들을 모니터링하는 것은 이제 일상적인 일이 되었다. 따라서, 우리는 동물실험이라는 주제에 대해서도 방대하고도 포괄적인 문헌 자료들이 존재할 것으로 예상할 수 있다. 과학분야에서도 유용한 정보와 그에 따른 반응들을 수용해야 하는 것이 합리적이며, 영국만 해도 동물실험의 규모는 이미 수 백만 마리에 달하는 거대한 산업이 되었기 때문이다.

그렇지만, 동물실험이 중요함에도 불구하고 동물실험에 대한 정보가 상대적으로 빈약하며, 기껏 있는 정보라고 해도 최근의 것뿐이라는 사실은 충격적이다. 영국 내무성(Home Office) 보고서는 일 년 간 실험에 이용되는 동물의 총 개체 수 및 고양이, 개, 그리고 상대적으로 수가 적은 말의 개체 수에 대해서 발표한다. 그러나 실험동물의 이용이나 실험실에 공급되는 수량에 대한 자세한 정보는 거의 없는 실정이다. 뿐만 아니라, 보고서 작성 시 누락되는 것을 피하기 위해 지나치게 조심한 나머지 중복 처리되는 경우가 있어 개체 수가 부풀려지는 경향이 있다. 기본적으로 한 마리 동물에 한 번의 실험을 하면 한 마리로 산정된다. 그러나 한 마리 동물에 여러 번의 실험을 하는 것이 일반적이기 때문에, 내무성에 나타난 연간 동물실험 개체 수는 부풀려질 수밖에 없었다.

당시에, 러셀 교수와 버치 박사는 동물실험에 관한 다양한 종류의 정보에 대해서 의견을 나누었으며, 하나의 대규모 조직이 아니라, 목적, 방법, 소속도 다양한 여러 조직들에 의해서 동물실험이 이루어진다고 밝혔다. 당시의 상황에서 취할 수 있는 최선의 해결책은 하나의 중앙 기구를 설립하여 다른 동물실험 기관들과 연계하여 동물실험에서 유발되는 여러 문제들에 대한 통합된 관점을 채택할 수 있도록 하는 것이었다. 이것이야말로 동물실험을 개선하는 최선의 방안이며, 다행스럽게도 이러한 상황은 조금씩 개선되기 시작했다.

1945년, 연구실에서 수행되는 실험동물의 사용에 대한 설문조사가 최초로 실시되었다. 설문조사는 많은 과학단체의 지원 하에



설립된 학회 내 상임위원회에 의해서 실시되었고, 그 결과는 농업연구위원회(Agricultural Research Council), 의학연구위원회(Medical Research Council (이하 MRC), 영국 군수성(Ministry of Supply)에 보고되었다. 그 후, 1947년에 실험동물국(Laboratory Animals Bureau (이하 LAB)이 의학연구위원회에 의해서 설립되었다. LAB의 주요 업무는 실험동물의 공급과 사육에 관한 것이며, 실험동물의 이용 현황에 대해서 최초로 체계적이면서도 의미 있는 조사를 실시하는 것이었다. 그리고 LAB의 조사결과가 발표됨에 따라, 정보를 바탕으로 한 계획수립이라는 새로운 단계로 발전할 수 있었다.

1953년 초, LAB은 영국에서 실험동물을 가장 많이 이용하는 실험실들을 상대로 체계적인 설문조사를 실시하였다. 그 전년도에 실험에 이용한 동물을 어떻게 조달했고 이용했는지에 대해 설문조사를 실시한 것이다. 따라서, 1952년은 동물실험 역사상 경이적인 해라고 불리며, 이 장 전체에서 기준점으로 여겨질 것이다. 설문조사의 첫 번째 최종 보고서는 1955년에 발표되었으며(15), 지금까지도 가장 많이 활용되는, 그리고 거의 유일한 자료로서 구체적인 정보가 포함되어 있다. 이 보고서는 실험동물의 조달과 이용에 대한 풍부한 정보를 포함하고 있으며, 러셀 교수는 이 보고서의 토대가 되었던 자료를 수집할 수 있었다. 그는 실험동물의 사용량의 관점에서 기존의 자료를 전반적으로 재분석하였으며 그 분석결과가 이 책의 중요한 부분을 차지하게 되었다.

## LAB 이 실시한 1952년 운영 현황 설문조사 The LAB Survey of 1952

이 책의 원본인 3Rs 원칙의 제3장에는 LAB이 실시한 1952년 운영 현황 설문조사 결과가 16페이지에 걸쳐 자세히 설명되어 있으며, 23페이지에 걸쳐 18개의 표가 실려있다. 1959년 이래로, 실험동물 이용에 대한 통계수집 방법은 상당한 수준으로 발전했으며, 따라서 이 장에서는 인도적 실험기법에 대한 원칙의 핵심과 러셀 교수가 도출한 중요한 결론에 대해서만 다룰 예정이다.

1953년 LAB은 영국에서 동물이 존재하거나 혹은 존재한다고 여겨져 동물을 실험에 이용하거나 실험에 이용할 것으로 추정되는



모든 실험실에 설문지를 발송하였다. 설문지 발송 총 675 개 실험실 중, 결과를 도출한 정도의 충분한 답변을 보내온 곳은 355개 연구소였다. 149 실험실의 경우, 질문에 대한 답변을 채우지 않고 보냈거나, 충분한 답변이 제공되지 않았거나, 정보 공개를 원하지 않는다는 설문지를 보냈다. 그리고 171개 실험실의 경우 반응이 전혀 없었다. 모든 실험실이 답변을 한 것은 아니었지만, 약 80%의 답변을 받았으므로 결과에 대한 신뢰성은 있다고 할 수 있다.

LAB의 설문조사 보고서 저자들은 설문지 응답을 분석한 후, 실험실을 세계의 그룹으로 나누었다. 첫 번째 그룹은 의학 및 수의학적 진단을 주로 하는 곳이고, 두 번째 그룹은 주로 연구와 교육에 관련된 실험실, 세 번째 그룹은 치료제 생산과 시험을 집중적으로 실시하는 민간 기업commercial 실험실이었다.

보고서 저자들은 우선 다양한 종의 동물을 이용하는 실험실의 수와 각 실험실 그룹별로 각각의 종을 몇 마리씩 이용하는지를 표로 작성하였다. 그 다음, 세 실험실의 그룹별 동물 분포와 그룹 내 각 실험실에서 이용하는 동물의 평균 개체 수에 대해 표로 작성하였다. 우리가 별도로 조사한 내용은 그다음 장에서 설명할 것이다.

또한, 동물실험의 목적을 6개 주제로 분류하였으며, 분류된 주제는 진단, 연구, 암연구, 교육, 응용약리학, 그리고 생물학적 검정시험bioassay으로 구분하였다. 위에서 분류한 두 개의 항목을 비교해 보니 전반적으로, 첫 번째 그룹은 진단 주제, 세 번째 그룹은 응용약리학과 생물학적 검정시험 주제, 그리고 두 번째 그룹은 나머지 연구, 암연구, 교육과 연관성이 깊은 것으로 보고하였다.

그 외에 동물의 입수, 폐사 원인, 근교계inbred strain의 사용에 대한 내용들도 표로 작성되었으며, 이에 관한 내용은 추후 다룰 예정이다.

다음 장에서 논의하게 될 주요 연구내용의 대부분은 LAB 소속 과학자들이 발표한 것이다. 우리가 실시한 재조사는 LAB 과학자들이 주장한 내용을 재확인하거나 약간의 상세한 설명을 덧붙인다거나 하는 수준에 그쳤다. 이 책에서 추가된 주요 내용은 다양한 실험주제를 포함하여 보다 상세한 목적에 따른 동물 이용 현황이다. 다른 과학자들이 힘들게 노력하여 결실을 맺은 것을 정리하는 것은 어려운 일이 아니었다. 따라서, 실험 생물학experimental biology의 모니터링에 대해 최초의 연구성과를 올린 레인 페터Lane-Petter와 동료 과학자들의 성과에 찬사를 보내며 제3장을 마무리하겠다.



## LAB 데이터 : 기타 분석 결과 The LAB Data: A Further Analysis

다음 두 개의 단락은 러셀 교수가 동물실험에 관해 단독으로 수집한 설문조사 자료를 모두 분석한 후 작성한 내용이다.

### 연구방법 The Material

내 분석방법은 레인 페터나 다른 동료들의 분석방법과는 달랐다. 먼저 어류, 즉 모든 경골어류를 분석에 포함시킨 것부터 차이가 난다. 두 번째, 분석에 이용한 자료들도 이전 것과는 약간의 차이가 있다. 우선 나는 번식군으로 사용된 동물들은 제외하였다. 이들 자료는 내 연구목적과는 상관이 없지만, 레인 페터에게는 중요한 자료이기 때문에 그의 분석에는 포함이 되었을 것이다. 이와 반대로 나는 동물이용 현황에 대해 충분한 정보를 제공하지 못한다는 이유로 이전 분석에서 제외되었던 자료들을 포함시킬 수 있었다. 결국 이전 분석과 비교할 때 10개 연구소의 보고서를 추가로 활용할 수 있었으며, 그 중 7개는 어류만을 전문적으로 사용한 실험기관의 보고서였다.

그러나 내가 작성한 표와 레인 페터가 작성한 표 사이에 약간의 차이가 있기는 하지만 사소한 수준이며, 두 분석자료는 많은 면에서 일치했다. 표4는 실험에 이용된 동물의 수를 종별로 구별하여 이전 분석과 비교한 것이다. 마술가들이 모자에서 토끼를 꺼내는 것처럼 108마리 카나리아에 대해 보고한 분석자료에서 72마리 오리에 대한 정보를 얻어 활용했으니, 마법을 부린 셈이다.

### 실험실의 분류 The Classification of Laboratories

실험실에 대한 근본적 분류방식은 동일하나, 내가 택한 분류방식은 정부에서 실시했던 것과는 다소 다른 점들이 있다. 나는 이전 분석결과를 토대로 실험실의 세 가지 유형을 파악한 뒤 중복되는 것을 제거한 후 좀 더 명료하게 세분화했다. 이 내용은 내 보고서에



있는 표를 보면 상세한 내용을 알 수 있을 것이다.

나는 5개 그룹으로 분류했다. 첫 번째 그룹은 의학 또는 수의학 진단만을 위해 실험하는 실험실이다. 이 그룹은 또 다시 병원에 소속된 병리학 실험실과 공중보건학 실험실로 분류된다. 두 번째 그룹은 대학 또는 전문대학 소속의 실험실, 그리고 대학과 분리되어 독자적으로 운영되는 실험실로 분류된다. 한편, 세 번째 그룹은 치료제 개발이나 테스트, 제약연구를 주로 하는 실험실이다. 독자적 실험실은 주로 공공기관의 지원을 받지만, 민간기업이 지원하는 경우도 있다.

### 실험목적의 분류 *The Classification of Purposes*

실험목적 분류에 대해서는 추가적인 논의가 좀 더 필요하다고 본다. 나는 동물실험의 목적을 8가지로 구분했는데, 다음 중 이탤릭 볼드체로 표시한 네 가지 항목은 수치가 중요하며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 연구, 진단, 기타 명시되지 않은 목적을 위해 항혈청 생산
2. 전혈whole blood, 혈장, 혈구 확보
3. 감각이 없는 마취상태non-sentient에서 실험 후 회복이 불가능한 경우의 인도적인 동물실험 수행과 적출한 동물의 장기 및 조직의 **체외in vitro 시험**
4. 수업 및 실습 등 교육에 이용
5. 암말의 임신과 임신 자체뿐 만 아니라 난포자극호르몬을 포함한 **임신 진단**
6. 인간 또는 가축동물에서 병리 샘플을 추출하여 동물에 접종한 후 추후 **진단**
7. 순수 또는 응용 제약연구를 포함한 **생물학적 검정시험** 및 독성연구, 호르몬 연구, 백신 역가측정vaccine titration
8. 절차보다는 주제별로 분류된 각종 **연구**로 주제별 분류 리스트는 다음과 같다.



혈액학, 부신, 갑상선, 탄수화물(주로 췌장), 생식 내분비계, 세분화되지 않은 내분비계(여기에는 내분비 기관 간의 상호작용 및 호르몬에 의한 신경조절이 포함된다), 영양학, 생화학 또는 대사 연구(영양학과 중복되는 부분이 일부 있음), 성장 (영양적 측면을 제외한 성장 인자 및 노화 연구), 동면 연구, 개체 수 연구(모든 개체의 성장 및 생식력 연구), 비뇨기계, 소화기계, 호흡기계, 순환계, 행동 연구, 세분화되지 않은 생리학(앞서 나열했거나 앞으로 나열할 내용이 중복될 수 있음), 신경학 및 신경생리학, 안과학, 해부학(실험방법에 대해서는 언급하지 않음), 발생학(배아의 부모개체에 실험이 수행되는 경우 포함), 치과, 외과(외과적 수술기법에 대한 연구 포함), 방사선학(방사능 효과에 대한 연구 포함, 동위원소는 대사성 연구에 포함됨), 면역학

위의 주제 이외에도, 내무성은 유전학적 연구를 포함시키지 않았지만 유전학, 암 연구, 기타 매우 다양하고 많은 그룹의 박테리아·병리·기생충 연구를 질적 연구의 주제로 따로 분류하였다. 그 중에서도 세분화된 바이러스 연구와 기타 연구를 따로 분류했는데, 병원성 박테리아와 원충을 중요하게 다루었다. 주제별 분류에서 일부 애매모호한 부분도 있지만, 대부분은 명확하게 구별된다. 박테리아·병리·기생충 연구와 진단·생물학적 검정시험은 상당부분 중복되는 부분이 있다. 또한 화학요법(chemotherapeutic)에 관한 연구는 위의 7번째 그룹인 생물학적 검정시험 및 8번째 그룹의 각종 연구에 동일하게 중복되어 나타난다.

## ■ 분석결과 Results of the Analysis

러셀 교수는 자신이 작성한 17개 표를 설명하면서 표에 포함된 상당한 분량의 정보에 대해서 기술하였다. 그가 내린 결론의 주요 내용은 다음과 같다.

역사적 관점에서 볼 때, 이들 표의 내용은 매우 흥미롭다. 그러나, 1952년 이후로 혁신적 기술과 새로운 치료법이 개발됨에



따라 과학 및 의료부문에 많은 발전이 이루어졌다는 점을 간과해서는 안된다. 실험동물을 이용하는 2009년의 세부적인 방식은 과거와는 매우 다르다. 예를 들어, *The Principles* 195쪽 표17a에 따르면 1952년에 임신진단(*The Principles* 제5장 Replacement)을 위해 이용된 동물의 수가 82,629마리, 기타 진단(*The Principles* 제6장 Reduction)을 위해서는 141,544마리였다(결핵진단을 위해 이용된 80,881마리가 이 수치에 포함된다) (표18). 그 외에, 표18에 따르면, 생물학적 검정시험(*The Principles* 제7장 Refinement)에 총 970,862마리가 이용되었는데, 여기에는 인슐린 검사를 실시하기 위한 65,373마리, 기타 호르몬 검사를 위한 34,686마리, 비타민 분석을 위한 37,986마리를 포함하고 있다.

표5 (*The Principles* 172 쪽)에 나타난 수치는 다양한 종에게 중요한 의미를 지닌다. 이미 전에도 언급된 바 있지만, 실험동물의 거의 대부분을 차지할 정도로 동물실험에 가장 많이 이용되는 동물은 마우스이므로 인도적 기법이 도입됨으로써 혜택을 많이 받을 수 있는 동물도 마우스일 것이다. 동물실험에 가장 많이 이용되는 1-3위는 포유류가 차지하고 있지만, 닭이 토끼보다 훨씬 많이 이용된다. 고양이는 그 수치가 과소평가되어 온 측면이 있는데, 실제로는 개구리만큼이나 자주 이용된다. 열렬한 동물실험 반대론자라면 이들 표를 자세히 살펴보면 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다. 그러나, 사람들이 작고 귀여운 동물들을 선호한다고 해서 실질적으로 이용되는 동물의 우선순위에 영향을 끼치는 것은 아니다. 표에 나타난 사실들은 무가치할 수도 있다. 왜냐하면 내무성의 동물보호 정책에 힘입어, 고양이와 개들은 이제 인간을 위해서보다는 자신의 종을 위한 실험에 이용되는 경우가 많기 때문이다. 실험에 이용되는 5,465마리의 고양이 중에서 890마리 이상이 고양이 장염 연구를 위해 이용되었다. 개의 경우는 더욱 놀랍다. 7,442마리 중에서 개 홍역 예방약 개발연구에 3,669마리, 개의 전염성 질환연구에 1,954마리가 이용되었다. 자신의 종족을 위한 실험에 이용되는 개는 총 5,623마리이며 75%를 넘는 수치이다. 특별히 보호를 받고 있다고 꼽히는 동물 중 3위를 차지하고 있는 말도 이와 유사한 추세를 보인다. 동물실험에 이용되는 53마리 중 12마리가 말의 전염성 질환연구에 이용되었다. 동물실험에 이용되는 거의 모든 경골어류<sup>teleost fish</sup>가 즉 3,548마리 중 3,418마리가 어류 자체를 위해 강에 흘러드는 폐수의 독성을 조사하기 위한 실험에 이용되고 있다는 사실에 주목할 필요가 있다. 일반적으로 수의학적 실험이 전체 동물실험의 많은 부분을 차지한다. 사실, 합리적인 인도주의자라면 의학적 목적으로 대량으로



이용되는 랫드와 기니피그야말로 건설적인 연구를 통해 가장 시급하게 도움이 필요한 종이라는 것을 인식해야 한다.

다양한 개별 주제로 분류된 실험동물 연구(*The Principles* 제8장 The Factors Governing Progress)의 중요한 부분은 어떻게 실험동물을 사용하지 않느냐의 문제이다. 영양에 관한 실험을 제외하고, 나머지 실험에 이용되는 동물의 수는 사실 많지 않다. 8번 유형의 실험은 다양한 목적과 실험 방법을 지니고 있으며, 상당히 많은 종의 동물을 이용할 뿐만 아니라, 대부분의 실험실에서 널리 사용하는 실험방법이다. 본 교재 제7장에서 다루게 될 보편적으로 받아들여질 수 있는 원칙 및 조치를 제외하고는, 인도적 실험방안이 모색된다고 하여도 그 내용이 매우 다양하고 각각이므로 큰 영향은 끼치지 않을 것으로 전망된다. 한편, 유전적 연구는 특별한 경우로 간주된다. 일부 과학자들은 기형 또는 생리학적 장애를 지닌 동물을 탄생시키는 것은 실험방법만큼이나 비인도적이라고 주장하지만, 그러한 목적으로 희생되는 동물의 수는 소수에 지나지 않는다. 또한, 어떤 경우에서건, 유전학적 연구는 대체 또는 감소의 원칙을 지킬 수 없다. 따라서 현재로서는, 우리 연구의 주요 대상은 영양학, 암, 박테리아·병리·기생충 연구가 되는 것이 바람직하다. 기생성 원충의 체외배양과 같은 분야에서 발전이 예상되며 그 효과는 클 것이다. 이 연구를 위해서는 전제조건으로 박테리아·병리·기생충 부문에 대해 추가적인 분석이 이루어져야 하며, 7번 유형의 실험과 중복될 수도 있다.

## ■ 최근의 개발동향 The Latest Developments

다음의 내용은 러셀 교수와 버치 박사에 의해서 저술되었다.

1952년의 LAB 설문조사에 대해서 이미 언급한 바 있지만, 이 설문조사는 생물학 실험의 모니터링 발전에 지대한 공헌을 했다. 그러나 LAB의 다른 활동들과는 별개로 모든 상황은 급속히 변화하고 있다. 이 책이 출간될 즈음이면, 실험동물의 생태에 대한 더 많은 정보가 이미 알려진 상태일 것이다. 1952년에 이르러, 미국에서 “동물자원연구소 Institute of Animal Resources”가 설립되었고 그 후 유사한 조직들이 다른 국가에서도 우후죽순처럼 나타나기 시작했다. 마침내 1957년 국제실험동물위원회 International Committee on Laboratory Animals (이하



ICLA)가 설립되었으며, 1979년에는 국제실험동물학위원회(International Council for Laboratory Animal Science (이하 ICLAS)로 명칭이 바뀌었다.

ICLA는 국제생물과학연합(International Union of Biological Sciences (이하 IUBS)와 국제의과학협의회(Council for International Organisation of Medical Sciences (이하 CIOMS)의 후원 하에 운영되고 있으며, UNESCO의 지원도 일부 받고 있다. 1955년 4월 로마에서 개최되었던 회의에서 결의문이 채택된 후, IUBS가 주축이 되어 국제위원회가 임명된 다음 ICLA가 설립되었고 그 이후 UNESCO는 여러 국가에서 실행되고 있는 실험동물의 사용 및 생산 현황에 대한 정보를 요청했고, 같은 해 12월 CIOMS가 제안한 세포생물학 프로그램의 일부도 ICLAS 설립의 배경이 되었다.

신설된 국제위원회의 목적과 계획은 실험동물 현황에 관한 거의 모든 측면을 다루고 있다. 실질적으로 이 세부적인 측면들은 인도적인 적용과 관련이 깊다. 그렇지만, ICLA가 설립되었다고 해서 실험동물의 공급 및 운송에 대한 관심만큼이나 실험방법에 대해서도 사람들의 관심이 곧바로 급증할 것이라고 낙관하는 것은 시기상조라고 생각한다. 그럼에도 불구하고, ICLA의 설립이 인도적 동물실험의 발전에 큰 기폭제 역할을 한 것은 의심의 여지가 없다.

ICLA가 설립된 후 처음으로 수행한 과제는 “기존 자원에 대한 설문조사”였으며, 이는 내무성의 첫 설문조사와 거의 유사한 연장선상에 있었지만, 이 설문조사는 보다 넓은 범위의 국제 차원에서 이루어졌으며 많은 국가가 참여하였다. 1957년, 베네룩스 3국을 비롯하여 프랑스, 인도, 이탈리아, 일본, 핀란드와 아이슬랜드 포함하여 스칸디나비아 반도 국가, 스위스, 영국, 미국 등이 설문조사에 참여하였고, 조사 대상연도는 1956년이었다. 뿐만 아니라, 1958년에 또 다른 설문조사도 계획되어 있었으며, 위의 설문조사들도 모두 출간될 예정이다.

영국은 설문조사를 이미 완료했으며, 곧 분석작업에 들어갈 예정이다. 1953년, 레인 페터는 설문조사의 1차 결과(16)에 대해 다음과 같이 언급하고 있다: ‘동물실험에 이용된 동물의 총 개체 수는 전반적으로 증가할 것으로 예상된다. 1952년에서 56년까지 4년간 모든 종에 걸쳐 실험동물의 개체 수는 32% 증가할 것으로 예측된다. 마우스가 전체 실험동물의 가장 많은 70%를 차지하며 4년간 34%의 증가세를 보였다. 토끼와 랫드가 전체 실험동물에서 차지하는 비율은 1952년과 비교하여 변동이 없는 반면, 조류와 양서류는 상당한 증가세를 보였고 그 외의 종들은 소폭의 상승세를 보였다. 한편, 기니피그는 절대적/상대적 수치 모두 상당폭 감소했다. 기니피그의 이용



개체 수는 1952년에 비해 1957년에 10% 감소했으며, 다른 동물 대비 이용비율도 11.4%에서 8%로 감소했다. 반면, 마우스의 중요도는 훨씬 더 높아졌다. 기니피그의 이용이 감소한 이유는 우선 인간과 가축을 대상으로 실시했던 결핵예방운동이 효과가 높았고, 두 번째 이유는 실험용 기니피그가 전문 사육사들에 의해 질적으로 건강하게 태어나서 실험에 필요한 개체 수가 준 데 있다. 한편, 실험에 이용된 양서류의 개체 수가 증가한 것은 임신진단 테스트에 마우스나 랫드 대신 지각이 낮은 양서류로 대체하여 많이 이용했기 때문이었다.

다음 제4장에서는 이러한 동물실험 활용 현황에 일어난 변화에 대해서 다룰 것이다. 비록 지금까지 대세를 이루었던 추세가 갑자기 바뀔 수는 없지만, 변화들이 일어나고 있다는 것만큼은 확실하다. 앞으로 10년 후 일어날 변화, 혹은 설문조사 결과를 통해 스스로를 돌아보면서 생기는 변화에 대해 그 누가 정확히 예견할 수 있겠는가?



## 제4장

# THE SOURCES, INCIDENCE, AND REMOVAL OF INHUMANITY

## 비인도적 행위의 원인, 사례 및 제거방안



# 제4장

## THE SOURCES, INCIDENCE, AND REMOVAL OF INHUMANITY

1. 직접적인 비인도적 행위와 우발적인 비인도적 행위 Direct and Contingent Inhumanity
2. 직접적인 비인도적 행위의 분석 The Analysis of Direct Inhumanity
3. 비인도적 행위의 제거: 3Rs 원칙 The Removal of Inhumanity: The Three Rs
4. 우발적인 비인도적 행위 및 사육 규모의 문제 Contingent Inhumanity and the Problem of Scale



## ■ 직접적인 비인도적 행위와 우발적인 비인도적 행위 Direct and Contingent Inhumanity

앞서 행해지고 있는 모든 실험방법의 성격과 동물실험에 이용되는 동물의 수를 파악한 후, 다음으로 우리가 해야 할 일은 비인도적 행위의 정도를 파악하기 위해 각 실험 방법을 조사하는 것이다. 전자는 이제 막 시작단계이지만, 각각의 실험방법을 조사하는 것은 어려운 과제이며 시간도 오래 걸리는 일이다. 그럼에도 불구하고, 우선 보편적인 사항을 감안한 후 연구과제의 토대를 마련하였고 그에 따라 현재 주로 이용되고 있는 동물실험 절차에 대해 완벽하지는 않지만 일부 파악할 수 있었다. 여기서 만약 일반적인 인도적 원칙이 마련될 수 있다면, 각 사례를 계획도 없이 임시방편적으로 연구 조사하는 것은 불필요할 것으로 생각된다.

가장 먼저 해야 할 일은 직접적인 비인도적 행위와 동물실험 과정에서 의도하지 않게 발생한 우발적인 비인도적 행위를 구별하는 것이다. “직접적인 비인도적 행위”란 동물실험을 할 때 어쩔 수 없이 가해지는 고통의 가해 행위로서, 아무리 효율적으로 실험하고 실험대상과 관련 없는 시술은 전혀 하지 않더라도 고통이 야기될 수밖에 없는 경우이다.

반면, 우발적 비인도적 행위는 실험 절차 중 우발적으로 또는 예기치 못한 상태에서 부수적으로 고통이 가해지는 행위로, 실험을 성공시키기 위해 반드시 수반되어야 하는 것은 아니다. 사실상, 우발적인 비인도적 행위는 거의 대부분의 경우 실험동물의 심신 장애를 유발하기 때문에 생물학적 연구에 혼란을 주게 되고 따라서 오히려 실험 목적에 방해가 될 수 있다.

우발적인 비인도적 행위는 실험동물을 사육하는 과정에서 발생할 수 있는 모든 종류의 결함에서 비롯될 수 있으며 여기에는 동물의 운송과 같은 중요한 특수 상황도 포함된다. 특히 수 일 또는 수 개월이 걸리는 장기실험의 경우, 사육과 실험 자체를 분리하는 것은 원칙적으로 불가능하다. 왜냐하면 사육이란 장기간 동안 동물이 건강하게 생존할 수 있도록 하는 것인데, 이것이 바로 “영양학 실험(nutritional experiment)”의 핵심적 부분이기 때문이다. 비록 사육사가 약을 투여하는 등 직접 실험에 참가하지 않음에도 불구하고 인도적인 실험의 진행을 위해서는 사육사의 역할이 매우 중요한 이유가 바로 이 점이다. 사육과 관련한 정보는, UFAW 핸드북 (17, 18)에 가장 잘 정리가 되어 있으니 참조하기 바란다.

사육은 모든 유형의 실험에서 우발적 비인도적 행위를 유발하는 요소이다. 그러나, 이러한 형태의 우발적 비인도적 행위는 특정한



실험방법과 관련하여 특정한 형태로 많이 발생할 수 있으며, 형태의 정도 또한 매우 다양하다. 예를 들어, 수술 후 쇼크현상은 수술을 실시하는 모든 실험에서 우발적으로 일어날 수 있는 사고이다. 이 경우, 마취제의 개발이 우발적 비인도적 상황을 방지하는데 효과는 있으나, 마취제의 사용은 또 다른 많은 문제들을 야기한다. 또한 실험방법으로 인해 어쩔 수 없이 동물이 생리학적 스트레스를 받게 되는 경우에는, 수행되는 실험 방법에 따라 스트레스를 받지 않도록 적절하게 동물을 사육하는 것보다 좀 더 철저한 관리가 이루어져야 한다. 따라서 실험을 효율적으로 수행하기 위해서는 상황에 적절히 대처할 수 있는 본능적인 능력과 실험 대상에 대한 특별한 배려가 반드시 필요한 요소임에도 불구하고, 실제 실험에 참여하는 연구자에게 제공되는 정규 교육과정에서는 이 부분이 제대로 다루어지지 않는 것이 현실이다. 이 문제는 이 책의 주요 주제가 아니어서 자세히 다루지는 않겠지만, 그 자체만으로도 하나의 연구주제가 될 만한 내용이다. 연구자에게 상황파악 능력과 함께 동물에게 필요한 배려에 대해 정보를 교환하고 종합적인 교육을 장려하는 것은, 사육husbandry은 물론 실험방법experimental procedures에 대한 우리의 현재 연구와도 관련이 깊다. 따라서, 사육과 실험방법 분야를 연계시켜 연구자에게 필요한 교육을 제공하는 것은 매우 중요한 일이며 이 문제에 대해서는 추후 다시 자세히 살펴보도록 하겠다.

또한 우발적 사망도 매우 흥미로운 주제이다. 우발적 사망이란 실험 도중 실험 목적과 관련없이 우발적으로 동물이 사망하게 되는 것을 말한다. 이것은 사육 중의 결함으로 인한 경우가 많은데 특히 랫드들이 사육 도중 자연적인 이유로 사망하는 것처럼 보이는 경우가 많다. 동물의 사망은 구체적인 실험방법에 따라 좌우되는 경우가 많기 때문에 동물의 사망률을 줄이기 위해서는 실험방법을 수정해야만 한다.

여기서 잠깐, 러셀 교수와 버치 박사는 실험목적에 따라 직접적으로 안락사를 실시하거나 실험적으로 병원균을 투여한 경우를 제외한 그 밖의 동물의 희생과 관련하여 1952년의 운형현황에 대한 설문조사 결과를 가지고 논의하였다.

직접적인 비인도적 행위의 정도를 평가하고 분류할 때, 우발적 사망의 위험은 다루지 못한다. 사실 숙련되지 않은 연구자가 행하는 경우라면 소수의 동물에게 가해지는 가장 단순하고 위험하지 않은 실험이라 하더라도 동물에게 고통을 야기할 수 있다. 예를 들어, 위생상태가 열악하면 채혈이나 단순한 혈청 채취 등 비교적 사소한 비인도적 행위라도 주사나 채혈 부위에 불편한 통증이 생길 수 있다. 그렇다고 인도적인 실험방법임에도 불구하고 이러한 논리로 비난하는 것은 적절치 못할 뿐 아니라 혼란을 야기할 수 있다. 따라서



이러한 상황을 개선하기 위해 가장 합리적인 방안은 두 가지 정책을 함께 적용시키는 것이다. 즉, 일반적인 실험의 효율성을 높이는 노력과 함께 각 실험방법을 철저히 살펴보고 그것을 개선하기 위한 광범위한 연구가 수행되어야 한다. 따라서 우리는 모든 동물실험 방법이 철저히 관리되고 효율적으로 수행된다는 가정 하에 직접적 비인도적 행위를 분석할 것이다.

우선 직접적인 비인도적 행위와 우발적인 비인도적 행위를 구별할 필요가 있다.

'직접적 비인도적 행위'란 동물실험에서 어쩔 수 없이 가해지는 고통의 가해 행위로서 아무리 효율적으로 실험하고 실험대상과 관련 없는 시술은 전혀 하지 않는다고 해도 고통이 야기될 수밖에 없는 경우이다. 반면, '우발적 비인도적 행위'는 실험 절차 중 우발적으로 또는 예기치 못한 상태에서 부수적으로 고통이 가해지는 행위로 실험의 성공을 위해 반드시 수반되어야 하는 행위는 아니다.

## ■ 직접적인 비인도적 행위의 분석 The Analysis of Direct Inhumanity

직접적 비인도적 행위의 측면에서 동물실험을 분류하는 방법에는 명확한 세 가지 기준이 있는데 여기서 우리는 이를 발생 정도(incidence), 특성(special character), 강도(severity)로 분류한다.

직접적 비인도적 행위를 분류할 때, 분석(assay)이나, 독성시험(toxicity testing), 또는 진단(diagnosis)의 경우에는 행위의 발생 정도를 기준으로 하는 것이 편리하다. 위와 같은 실험을 하는 경우에는 일부 또는 대부분의 동물에게 고통을 가하지 않거나 가하게 되더라도 미미한 수준에 그칠 것이다. 그러나 실험방법의 성격이나 목표에 따라 어쩔 수 없이 고통을 유발해야 하는 경우, 예상치 못한 고통 또한 일부 초래할 수 있다.

실험방법의 비인도적 수준을 전반적으로 평가함에 있어 발생 정도는 중요한 요소로 간주된다. 여기서 발생은 전체적 개념이다. 즉,



모든 실험동물들이 동일한 처치를 받고 그 실험방법에 대해 확연히 구별할 수 있는 유사한 방식으로 반응할 것으로 예상하는 것이다. '발생'이라는 기준점에서 특이한 점은 많은 유형의 실험에서 실험군과 대조군을 다르게 구별할 수 있다는 것이다. 실험군이 수술의 영향을 연구하는 경우와 같이 더 많은 고통을 느끼는 경우도 있고, 화학요법 또는 면역 실험과 같은 경우에는 대조군이 더 고통을 느끼는 경우도 있다.

실험방법의 특성은 다양한 실험들 사이에서 공통적으로 나타나는 요소로서, 예를 들면 일반적으로 나타나는 수술 후 통증 및 스트레스를 비롯하여 부신적출술과 같이 흔하게 이루어지고 있는 특정한 수술의 영향, 다양한 독성물질로 인한 폐사, 병원균 감염 등으로 인해 야기되는 일반적인 특정한 영향 등을 의미한다. 여기서 우리는 준우발적 비인도적 행위(semi-contingent inhumanity)에 대해서도 고려할 필요가 있다. 준우발적 비인도적 행위란 실험의 성공과는 관련이 없거나 오히려 부정적인 영향을 미치지만, 그 실험방법을 수행하기 위해서는 반드시 필요한 요소를 의미한다. 예를 들어, 발열성 물질시험(pyrogen test)은 대부분의 사람들은 앓아눕지도 않을 만큼 미열이 오르는 정도의 심각하지 않은 실험이지만 동물의 경우에는 실험 과정 중 1시간 이상 움직이지 못하도록 구속되어 있어야 하기 때문에 고통을 야기할 수 있다.

이 발생과 특성의 분석은 세 번째 분류기준인 강도(intensity)를 조사하는 데 필요한 기초작업이라 할 수 있다. 강도란 실험동물이 실험 중에 받게 되는 고통의 정도를 말하며, 우리는 제2장에서 이 문제를 다루었다. 다만 제2장에서 다루었던 기준, 방법과 정의는 고통의 강도를 측정하는 데 국한된다.

발생, 특성, 강도는 각기 어느 정도 독자적인 변수이지만, 궁극적으로는 이들 셋 모두를 아우르는 교차 분류도 필요하다. 특성은 강도 조사의 토대가 된다. 그렇지만, 강도의 측면에서 볼 때 극도의 고통은 각 실험방법의 특성과 상관없이 공통적으로 나타날 수 있다.

---

비인도적인 행위는 인도적인 동물실험 기법, 3R 원칙의 기준인 대체, 감소, 완화 및 개선의 방법에 의해 줄이거나 혹은 제거될 수 있다.

---



제3장에서는 동물실험을 목적에 따라 몇 가지 주요 주제로 나누어 분류하였다. 그 중에서 생물학적 검정시험bioassay과 연구research에 대해서는 이 책의 나머지 장에서 주로 다룰 것이기에, 이 장에서는 다루지 않겠다. 그러나, 다른 주요 주제에 대해서는 아래 표에서 제기된 몇 가지 중요한 점과 관련하여 짚고 넘어갈 필요가 있다.

이제부터 무독성 면역혈청 생산과 과거 연구 당시 마우스나 두꺼비에 주사해서 진단했던 인간의 임신진단 테스트 등의 직접적 비인도적 행위가 경미한 수준에서 이루어지는 실험방법의 몇 가지 예를 들어보겠다. 그 당시 감염 여부를 진단하기 위해 주로 우유 또는 인간의 시료를 동물에 접종했던 결핵 등 질병진단을 위해 동물을 이용하는 경우에 대해 설명할 것이다. 그러나, 특정 질병 발생이 감소하고 체외 실험in vitro이 발전함에 따라 실험에 이용되는 동물의 수가 감소하는 경우도 있었다. 이에 대해서는 러셀 교수와 버치 박사가 또 다른 예를 들어 설명하였는데 디프테리아가 바로 그것이다. 디프테리아는 평균적으로 1933-1942년에 매년 2,783건이 발생하였는데, 1943년부터 시작된 예방접종 캠페인이 성공을 거두면서 1948년에는 156건, 1954년에는 9건으로 대폭 감소하였다. 인간에게 감염되던 디프테리아의 발생이 현저히 줄어들면서 기니피그를 대상으로 실시되었던 디프테리아 독성시험의 필요성도 상당폭 줄었다.

## ■ 비인도적 행위의 제거: 3Rs 원칙 The Removal of Inhumanity: The Three Rs

본 장에서는 동물실험의 비인도적 행위를 줄이거나, 근본적으로 방지할 수 있는 방안에 대해 다루어보겠다. 우선, 흔히 3Rs로 일컬어지는 대체Replacement, 감소Reduction, 완화 및 개선Refinement (19-21)의 인도적 동물실험의 원칙 주요 3가지 방법에 대해 다루고자 한다(19).

대체란 감각을 느끼는 고등동물 대신 감각과 지각, 즉 의식이 없는 물질을 실험에 이용하는 것을 의미한다. 감소란 일정한 양과 질의 정보를 수집하기 위해 실험에 이용해야 하는 동물의 수를 줄이는 것을 의미한다. 한편, 완화 및 개선이란 어쩔 수 없이 동물을 실험에 이용해야 한다면 비인도적인 절차의 빈도 또는 강도를 줄이는 것을 의미한다.



---

대체란 감각을 느끼는 고등동물 대신 지각과 감각이, 즉 의식이 없는 물질을 실험에 이용하는 것을 의미한다.

---

위의 세 가지 영역은 서로 겹치는 부분도 있다. 예를 들어 바이러스 연구를 위해 동물의 조직배양이 필요하다고 가정해 보자. 기본적으로 동물을 감각이 없는 물질로 대신할 수 있으며, 이 방법은 동물실험의 대체라고 분류할 수 있다. 그러나, 동물은 한 마리에 실제 직접적인 실험을 통해 얻는 것보다, 여러 조직의 배양을 통해 다양한 정보를 얻을 수 있는 기회를 제공할 수 있으므로 이러한 경우는 감소로 분류할 수 있다.

---

감소란 일정한 양과 질의 정보를 수집하기 위해 실험에 이용해야 하는 동물의 수를 줄이는 것을 의미한다.

---

마지막으로, 동물을 바이러스성 질병에 노출시키는 대신 배양에 필요한 조직을 얻기 위해서 고통이 적은 안락사를 시켰다면 이 경우는 완화 및 개선에도 속할 수 있다.

---

완화 및 개선이란 어쩔 수 없이 동물을 실험에 이용해야 한다면 비인도적인 절차의 빈도 또는 강도를 줄이는 것을 의미한다.

---

이와 같이 분류기준이 중복되고 인도적 연구자가 종종 두 개 이상의 분류기준을 적용한다고 하더라도, 이 세 가지 분류방식이 동물실험의 개선을 유도하는 데 가장 효과적이다. 또한 어떠한 경우라도, 인도적 실험을 수행하는 데 있어 어느 측면에 중점을 둘 것인지를 결정하는 것은 어려운 일이 아닐 것이다. 따라서, 이 책의 후반부에서는 인도적 실험의 3원칙에 대해 집중적으로 다룰 예정이다.



## ■ 우발적인 비인도적 행위 및 사육 규모의 문제 Contingent Inhumanity and the Problem of Scale

인도적 동물실험을 위한 3Rs 원칙에 대해 구체적인 설명을 시작하기 전에 먼저 한 가지 언급해야 할 것이 있다. 일부 동물실험의 경우, '완화 및 개선'의 범위를 직접적 비인도적 행위 자체를 사실상 완전히 제거하는 데까지 확장시킬 수 있다는 점이다. 그러나 우발적 행위를 더 이상 줄일 수 없는 경우도 존재한다. 이 상황에서 가장 주된 원인은 제한된 실험실 안에 항상 너무나 많은 동물들이 사육되고 있는 경우이다(19).

적정 사육 개체 수를 초과하게 되면, 관리할 수 있는 충분한 담당자의 인력과 넓은 부지를 가지고 있지 않은 이상, 실험동물을 다루고, 약물을 주입하고, 사육하는 일상적인 과정에서 문제점들이 필연적으로 발생할 수 밖에 없다. 연구자와 사육사의 기술이 아무리 뛰어나고 동물을 보호하겠다는 의지가 투철하다 하여도 이러한 문제를 사전에 방지하는 것은 거의 불가능하다.

---

때로는 완화 및 개선의 방법이 직접적으로 가해지는 비인도적인 방법을 제거할 수도 있다.

그러나 실험절차상 우발적으로 가해지는 비인도적인 방법의 상당 수가 더 이상은 감소시킬 수 없는 조건이 존재하기도 한다.

---

1952년, 독성 시험과 같은 보다 일반적이고 포괄적인 실험 및 결핵 진단과 복합적인 인간의 임신테스트 등을 제외하고 동물을 가장 많이 이용한 실험은 인슐린 검사였다. 인슐린 검사는 소수의 실험실에서 집중적으로 수행되었기 때문에, 시험사례로 활용하는 것이 바람직할 것이다. 그 당시의 인슐린 검사 방법은 마우스에게 간혈성 또는 긴장성 경련 및 사망을 초래하였기 때문에 인도적 방식으로 실행되었다고 결코 단언할 수는 없다. 그렇지만, 이를 인간과 비교하여 인도적 방식인지의 여부를 따지자면 복잡하고 애매해진다. 그리고 비록 흠 잡을데 없이 인도적 방식으로 실험이 이루어졌다고 해도, 사육과 실험과정에서 피할 수 없는 우발적 비인도적 상황은 여전히 존재할 것이다.



---

일반적으로 완화 및 개선의 방법만으로는 결코 충분하다고 볼 수 없으며,  
지속적으로 감소의 방법 혹은 가능하다면 대체의 방법을 모색해야 한다.

---

따라서, 러셀 교수와 버치 박사는 동물을 이용한 인슐린 검사가 대체 또는 감소의 원칙이 적용되어야 하는 중요한 실험이라는 결론을 내렸다. 사육 중에 발생하는 경우를 제외하고도, 항상 어느 정도는 동물실험 그 자체로 인하여 우발적인 비인도적 행위가 일어나는 것이 현실이며, 동물의 개체 수가 많은 경우에는 훨씬 더 극명하게 나타날 것이라고 덧붙였다. 이는 마우스들이 발작 시 또는 직전에 고통을 느낄 가능성이 있다는 최근의 연구결과로도 설명이 될 것이다.

---

대체의 방법이 가장 바람직하지만, 가능하다면 어느 상황에서든 감소와 완화 및 개선의 방법 또한 함께 병용되어야 한다.

---

일반적으로, 고통을 야기시키는 동물 실험의 경우, 실험의 총 강도가 올라가면 고통도 심해지기 때문에 완화 및 개선의 방법만으로는 부족하다. 따라서 완화 및 개선의 방법뿐만 아니라 감소의 방법도 적용할 수 있도록 노력해야 하며, 가장 바람직한 것은 대체의 방법이다. 대부분의 경우, 대체가 만족스러운 해답이지만 어느 상황에서든 가능하다면 감소와 완화 및 개선도 함께 적용하는 것이 효과적이다. 제5장 이후부터 인도적 실험의 3R, 원칙에 대해 좀 더 자세히 살펴보겠다.



# 제5장 REPLACEMENT

## 대체



# 제5장

## REPLACEMENT

1. 상대적인 교체방법 Comparative Substitution
2. 절대적 대체방법과 상대적 대체방법 Modes of Absolute and Relative Replacement
3. 대체방법의 원칙 The Principles of Replacement
4. 조직 배양의 활용 The Uses of Tissue Culture
5. 미생물 활용 The Uses of Micro-organisms



“대체 기법”이란 과학실험 역사상 의식이 살아 있는 척추동물을 대신하여 감각이 없는 물질을 동물실험에 대신 이용하는 모든 과학적인 실험방법을 의미한다.

## 상대적인 교체방법 Comparative Substitution

감각 기능이 없는 물질에는 고등식물을 비롯하여 미생물, 퇴화된 후생동물 내부기생충 metazoan endoparasite 등을 포함한다.

독립생활을 하는 무척추 후생동물 free-living metazoan invertebrate을 대체물질의 후보자로 고려하면서 상당히 어려운 문제들이 제기되었다. 우리는 인도적 차원에서 자의적으로 이들을 제외시켰지만, 척추동물의 대체물로서 그 가능성은 여전히 고려되고 있다. 우리는 그러한 절차를 상대적인 교체방법이라 부른다.

러셀 교수와 버치 박사는 상대적인 교체방법을 통해 얻을 수 있는 결과가 상당히 제한적인 것으로 평가한다는 결론을 내리기 전에 곤충의 활용, 다모류 polychaete worms<sup>1</sup>와 말미잘의 진화된 반응 등에 대해 토론하였다. 사실 지금까지도 대체방법에 대한 큰 변화는 없다고 볼 수 있다. 문제는 얼마나 완벽한 대체가 이루어질 수 있는 가이며, 지금부터는 대체 방법의 바람직한 과정 및 전망에 대해서 다룰 것이다.

그러나, 다른 장에서 저자들은 시각형상 변별검사 visual form discrimination의 메커니즘을 연구할 때 알비노 랫드보다는 문어가 실험대상으로 더 적절하다고 지적한다. 참문어 Octopus vulgaris는 1986년 제정된 동물법 Animals Scientific Procedures Act에 의해 “보호동물”로 지정되었다.

또한 그들은 소금이 감정이 있는지 물어보는 어리석은 철학자를 빔던 에리혼 Erewhon<sup>2</sup>이라는 소설의 저자인 사무엘 버틀러 Samuel Butler의 유명한 귀류법 reduction ad absurdum, 즉 어떤 주장에 대해 그 함의하는 내용을 따라가다 보면 이치에 닿지 않는 내용 또는 결론에 이르게 된다는 것을 보여주어 그 주장이 잘못된 것임을 입증하는 방법을 빌어 지각이 낮은 동물의 불행에 대해 강박적인 눈물을 쏟아내는 것은 인도주의 개념을 모독하는 것이라고 지적했다.

1. 다모류 polychaete worms  
갯지렁이 등 주로 바다의 환형동물

2. 에리혼 Erewhon  
버틀러의 저서로 1872년에 출간되었으며, 토리아조를 풍자하고 있다. 에레혼은 가상의 나라이며, 존재하지 않는 나라임을 뜻하는 'nowhere'라는 단어의 'h'와 'w'의 위치를 바꾸고 철자를 거꾸로 써서 국가명을 만들었다. 소설 속에는 많은 모험이야기가 나오는데, 이야기 속의 화자는 부조리대학 College of Unreason을 방문하여 여러 사람 중에서 세속적 지혜 Worldly Wisdom라는 이름을 지닌 교수를 만난다. 또한, 이 교수는 쓸모 없는 지식의 억압 협회 The Society for the Suppression of Useless Knowledge의 회장이기도 하다. 식물학을 가르치는 이 교수는 '식물은 동물이며 이름만 식물이라 칭하는 것이다. 동물을 죽이고 잡아먹는 것이 죄라면 채소 또는 씨앗을 먹는 것도 죄악이다'라고 결론 짓는다. 버틀러의 이러한 풍자가 러셀 교수에게 깊은 인상을 남긴 것은 상상하기 어렵지 않다.



## ■ 절대적 대체 방법과 상대적 대체 방법 Modes of Absolute and Relative Replacement

대체의 발전과정은 두 가지 방식으로 분류될 수 있다. 첫 번째는 기법 자체의 변화를 기준으로 분류될 수 있고, 두 번째는 대체기법(replacing technique)을 기준으로 분류될 수 있다. 사실상 대체기법에 의한 분류가 편리하며, 우선 이 방식부터 설명하겠다.

우선, 상대적·절대적 대체 방식을 구별해야 한다. 상대적 대체란, 실험 시 동물을 여전히 이용하지만 동물이 고통에 노출되지 않도록 하는 방식이다. 반면, 절대적 대체란, 실험 전 과정에 걸쳐 동물을 이용하지 않는 것이다. 이전에도 언급한 바 있지만, 절대적 대체가 가장 이상적인 방식이다. 그러나 절대적 대체가 불가능할 경우, 바이러스연구에서 배양된 조직을 이용하는 사례와 같이 상대적 대체와 감소를 함께 활용한다면, 이는 인도적 동물실험의 발전에 큰 의미를 부여한다. 절대적 대체, 혹은 상대적 대체와 감소를 함께 활용하는 두 가지 방식이 가장 이상적이다.

---

상대적 대체방법은 동물을 이용하지만, 고통에 노출되지 않는 실험을 수행한다.

절대적 대체방법은 동물을 사용하지 않는 실험을 의미한다.

---

그럼 먼저 상대적 대체방법에 대해 이야기해보자. 우선, 회복이 불가능한 실험의 경우 살아 있는 동물을 이용하지만, 대신 동물의 몸을 의식이 있는 상태에서 손상시키지 않고 완벽하게 마취시킨 상태로 이용한다. 전신 마취제를 이용하여 완전히 마취를 시킨 후, 실험을 하는 동안에도 마취에서 깨어나지 않도록 한다면 그러한 동물실험은 인도적이라고 간주된다. 물론, 우발적 비인도적 행위들과 비교하여 인도적 행위의 조건을 모두 충족시켜야 한다. 모든 조건이 충족된다면, 시술 후 회복이 가능한 실험이라 하더라도 모두 상대적 대체에 포함시킬 수 있다. 예를 들어, 일시적인 약효를 보이는 약물을 주입하는 경우 마취가 깨어나기 전에 약의 효과가 없어진다면 동물은 고통을 느끼지 않게 되므로 이 또한 상대적 대체라 할 수 있다. 1959년에 포유류를 마취시킨 후 실시한 생물학적 검정시험의



일환으로 뇌하수체 후엽posterior pituitary 약물의 혈압증가 실험을 했고, 고양이와 기니피그를 대상으로 디기탈리스digitalis<sup>1</sup>제제 검사를 실시한 바가 있다. 그러나 마취상태가 제대로 유지되지 않는 경우가 있다면, 이 부분에 대한 개선이 필요할 것이다. 두 번째, 실험 시 동물이 여전히 필요하지만 고통이 없도록 안락사를 시킨 후 수행하는 것으로 인도적 측면에서 발전된 것이라고 간주된다. 안락사가 고통없이 제대로 이루어지고 실험에 이용되는 동물의 수가 현저히 감소한다면, 이 역시 비난 받을 이유가 없다.

상대적·절대적 대체는 세분화될 수 있다. 첫째, 동물의 중추신경계의 상당부분을 제거하여 의식이 없다는 것을 확인한 후 실험하는 것으로, 척추표본이나 대뇌 제거 후 추출하는 실험 등이 이에 속한다. 1959년, 신경생리학 연구의 많은 부분을 이러한 실험이 차지했다. 프랭클린(22)은 1876년에 제정된 동물학대방지법Cruelty to Animals Act, 1876과 그 밖의 경제적 요인으로 인해, 생리학 수업의 실습시간에 이용되는 주요 대상은 뇌척수를 제거한 개구리 또는 개구리 신체의 일부분과 학생 자신뿐이라고 밝혔다. 특히 호흡이나 대사와 관련된 많은 실험들은 사람을 대상으로 실시되었고 성과도 좋았다고 그는 말했다. 그 다음으로 많이 이용되었던 실험대상은 대뇌를 제거하였거나 단두를 실시하여 셰링턴Sherrington의 유명한 실험에 이용된 포유동물이었다. 프랭클린은 동물학대방지법(1876)으로 인해 학생들이 신체의 훼손없이 마취된 동물을 대상으로 회복불가능한 실험을 하지 못하게 된 것에 대한 안타까운 심경을 토로했다. 그는 “동물학대방지법이 제정된 주요 목적은 불필요한 고통을 예방하는 데 있다. 마취를 시킨 상태에서 랫드 또는 다른 포유동물에게 회복불가능한 실험을 하는 것은 고통을 야기하지 않으므로 금지될 이유가 없다고 생각한다.”라고 말했다. 우리는 여기서 동물학대방지법이나 그에 대한 검토에 대해 논할 생각이 없다. 다만, 이 법에 대한 어느 정도의 합리적 설명은 필요하다고 생각하여 다룰 생각이다. 두 가지 상대적 대체방식을 고려해 볼 때, 면허증이나 자격증이 없는 학생들이 안락사를 실시한 후 동물 사체를 이용하는 것은 가능하지만, 마취를 시킨 상태에서 동물에게 회복불가능한 실험을 하는 것은 법으로 금지되어야 한다. 즉, 우발적 비인도적 상황이 발생할 수 있다는 점에서 그 차이를 인정해야 하는 것이다. 그러나, 무엇이 중요한가를 먼저 신중하게 생각해 보아야 할 것이다. 회복 불가능한 실험의 경우, 숙련된 실험기술을 연마하는 것이 인간과 동물 환자 모두에게 이로울 뿐만 아니라 동물실험에 대한 면허증을 소지한 연구자에 의해 이용되는 실험동물에게도 이로울 것이다.

1959년 이래, 동물을 이용하던 학부의 생리학 강의시간이 혁신적으로 발전하였으며, 그 배경에는 정교한 컴퓨터 기반의

1. 디기탈리스digitalis  
(의학) 디기탈리스의 씨와 잎으로 만든 강심제



시뮬레이션과 양방향 컴퓨터 보조학습(Computer Assisted Learning(이하 CAL))이 있다.

상대적 대체의 나머지 유형은 척추동물에서 분리한 세포, 조직, 기관을 이용하는 것이다. 척추동물에서 적출한 조직을 시험관에 보관한 후 짧은 시간에 이루어지는 급성실험(acute experiment)에 이용한다. 포유류와 양서류의 수축성 기관, 신경세포와 신경근육을 이용하는 것을 예로 들 수 있다. 신경세포와 신경근육을 적출하여 신경생리학 연구에서 많이 이용되며, 수축성 기관은 아드레날 아민, 히스타민, 옥시토신의 활성 등 생물학적 검정시험과 제약 연구에 폭 넓게 이용된다. 이렇듯 급성실험에 신체 일부를 적출하여 이용하기 위해서는 적절한 관류액(perfusion fluid)을 개발해야 한다. 관류액 개발은 향후 생명과학의 새로운 장을 여는 데 한몫 할 것이다.

실험실에서 수행되는 조직의 생화학적 반응에 대한 연구 또한 중요한 부문이다. 사실 이 실험방법은 비교적 오래된 방법이라고 할 수 있다. 조직을 적출하여 배양하고, 그 과정을 장기적으로 연구하는 조직 배양은 20세기의 산물이다. 2차 세계대전 이후, 생검 또는 수술을 통해 인간으로부터 세포를 적출하여 얻은 포유류의 조직배양은 가장 중요한 대체기법 중 하나이다. 뿐만 아니라, 생물학의 가장 진보된 기술의 하나라 할 수 있다. 달걀, 배아, 세포막 이용이 조직배양에 포함된다.

조직 배양은 척추동물을 실험에 전혀 이용하지 않는 절대적 대체방법으로 전환하는 중간단계라 할 수 있다. 척추동물이나 인간으로부터 적출한 조직을 배양하는 것 이외에, 비척추동물이나 고등식물로부터도 조직을 적출하여 배양할 수 있다. 다음 장부터는 조직을 어디서 적출하는가에 따라 구분을 짓지 않을 예정이다. 모든 유형의 조직배양에 대해 다룰 것이며 급성실험을 위해 적출된 경우라도 체외 조직이라는 명칭 하에 설명하겠다. 그렇지만 주로, 특히 조류와 포유류 같은 척추동물의 조직을 다루게 될 것이다.

---

포유류의 조직배양은 대체시험방법의 가장 주요한 계기가 되었으며, 생물학계의 가장 중요한 발전 중 하나이다.

---

지금부터 절대적 대체방안에 대해 알아보도록 하자. 절대적 대체는 숙주인 척추동물의 체외에서 이용하는 후생동물아계의 내부기생충(metazoan endoparasite), 고등식물 · 원생동물 · 박테리아 · 곰팡이 등의 미생물 · 기타 생물이 아닌 물리 · 화학 기구의 이용 등

1. 컴퓨터 보조학습(Computer Assisted Learning)  
영국 에딘버러대학교에서 동물의 생리, 약리학 기전등을  
컴퓨터시뮬레이션을 통해 확인할 수 있도록 개발



크게 네 가지로 분류된다.

첫째, 살아 있는 척추동물 숙주 내의 기생충을 연구하는 것과는 반대로 체외 대한 연구가 있다. 기생충이 척추동물 숙주 밖에서도 살아 남을 수 있는 배양액을 만드는 것은 힘든 과정이었으나 현재는 점차 그 성공률이 높아지고 있다. 이러한 방식의 대체는 기생충의 일반생리학, 생화학 연구뿐만 아니라 화학요법 치료제의 효능 연구에도 도움이 된다. 이러한 약물들의 생물학적 검정시험은 여전히 살아 있는 숙주에게 실행되고 있지만, 시험관 기생충으로 대체될 수 있다면 보다 인도적인 실험을 수행할 수 있을 것이다.

두 번째, 고등식물을 이용하는 것이다. 시간적 제약으로 아직까지는 고등식물로의 대체에 관한 연구는 너무나도 부족하지만 앞으로 연구할 가치가 충분히 있다. 예를 들면 디기탈리스와 그와 관련된 심장독 연구에 활용될 수도 있을 것이다. 러셀 교수와 버치 박사는 심장독과 강심제 연구를 위해 1952년에 500마리 이상의 개구리들이 이용되었으나, 이 방법은 바람직하지 않다고 언급했다. 실험에 이용된 개구리들은 갑작스레 죽음을 맞이해야 했기 때문이다. 한편, 마취된 고양이와 기니피그를 독성시험과 같이 회복이 불가능한 테스트에 이용하는 것 또한 쉽지 않아 보인다. 따라서, 식물을 이용하여 독성을 검사하는 연구방법을 다시 한 번 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다. 디기탈리스와 이와 유사한 독성분을 식물종자에 주입하여 묘목의 성장 여부를 살피는 검사과정도 고려해보아야 할 것이다. 이 외에도 다른 생물학적 검정시험과 독성시험에 식물을 이용할 수 있는지의 여부를 진지하게 고려해 볼 필요가 있다.

1953년부터 수 년간, 과학자들은 많은 생물학적 검정시험을 생화학검사, 방사면역분석시험radioimmunoassay, 항원항체 반응을 이용한 효소면역분석법인 ELISA로 대체하여 살아 있는 동물을 희생시킬 필요가 없게 되었다. 그러나, 식물검사로 대체될 수 있다고 주장되는 검사는 체내에 실시하는 독성시험에 국한된다. 안구점막 자극 시험인 드레이즈 테스트Draize Test<sup>1</sup>의 대체시험 방법으로 화분관 성장률 검사pollen tube growth test를 사례로 들 수 있다.

척추동물 대신 고등식물을 이용할 수 있는지에 대한 연구는 활발하지 않았지만, 미생물 이용에 대한 연구는 활발하게 이루어졌다. 다행스러운 일이 아닐 수 없다. 특히 미생물은 영양검사에 주로 이용되어 왔으며 앞으로도 잠재성은 무궁무진하다.

마지막으로, 무생물인 물리·화학적 장치로의 대체를 들 수 있는데 그 활용도는 상상 이상이다. 물리화학적 방법으로 치료제를 검사하는 등 활용방법은 상당히 많다. 이 방법의 활용도는 상당히 높고 너무나 방대하기 때문에, 설명은 간략하게 하는 데 그칠 것이다.

#### 1. 드레이즈 테스트Draize Test

안점막에 자극 반응을 측정하여 화장품, 의약품의 안정성을 평가하는 시험. 현재 도축된 소 또는 돼지의 각막을 이용하여 대체시험방법 등이 있다.



우리의 지식이 제한적임에도 불구하고 제대로 설명하려면 이 주제에 대해서만 다루어도 논문 한 편이 나올 정도이다. 그러나 이 책에서는 살아 있는 유기체를 대신하여 무생물인 기계를 이용하는 것 등의 시사적이고 흥미로운 일부 사례에 대해서만 다루어 보고자 한다.

켈빈 경 Lord Kelvin의 “유기체를 대신할 실험모델을 만들 수 없다면 제대로 이해한 것이 아니다”라는 말은 매우 유명하다. 척추동물의 신경계를 전공한 학생들이 그의 말을 따라 다양한 기계장치와 전자장치의 모델을 개발하여 여러 목적에 이용하기 시작했다. 1955년, 러셀 교수가 이들 학생과의 만남을 주선했는데, 그곳에서 로스 애슈비 Ross Ashby는 네덜란드 생태학자인 틴베르한 Tinbergen과 그의 생태학 전공 제자들과 옥스퍼드 연구원들을 상대로 간단한 기구를 시연해 보였다. 애슈비는 간단한 기계를 이용하여 참석자들의 요청에 따라 생태학자들이 중요한 개념을 도출할 때 토대가 되었던 행동학적 현상과 유사한 상황을 기계로 시범해보였다. 참석자 중 시스템을 제대로 모방하지 못했다고 불평한 사람은 아무도 없었다. 트랜지스터 또는 전기회로가 장착된 소형기계가 개발될 때까지는, 아무리 많은 연계고리를 만든다 하여도 기술 자체가 기초적 단계에 머물러 있기 때문에 척추동물의 뇌와 똑같은 모델을 만들 수는 없었을 것이다. 그럼에도 불구하고, 이 간단한 기계만으로도 많은 기초적인 문제들에 대한 해답을 찾을 수 있었고 알비노 랫드를 전기격자판에서 더 이상 희생시킬 필요가 없게 되었다.

그렇다면 기계를 이용하는 것이 왜 효과적일까? 이 문제에 대해서는 다음 장에서 자세히 다루기로 하고 여기서는 간단하게만 설명하겠다. 기계를 이용하는 방법은 세 가지 방식으로 활용된다. 첫 번째, 이론을 수립하는 초기 단계에서 논리적 오류를 밝히는데 이용한다. 두 번째, 기계가 예기치 못한 반응을 보이면 새로운 아이디어를 생각해 낼 수 있다. 세 번째, 생물학 수업 중 동물 또는 동물의 신체 일부 대신 기계를 이용할 수 있다. 그레이 월터 Grey Walter는 실제로 신경학과 신경생리학을 강의할 때 기계를 이용하였으며, 기계가 동물의 신체보다 장점이 더 많다는 것을 증명해 보였다. 기계를 활용하면, 신경활동을 여러 단계로 나누어서 시범해 보일 수 있어 학생들에게 신체의 반응을 명확하게 보여줄 수 있었기 때문이다(23).

전기 모형의 사례로 현재 적용 가능한 전동식 모형 토끼 electric hare<sup>1</sup>에 대해서 간단하게 설명하였는데, 앞으로는 활용 가능성이 높은 흥미로운 대체 방법들이 관심을 가질 것이므로 다음 장에서 좀 더 설명해 보겠다.

1. 전동식 모형 토끼 electric hare

경주 트랙 위에 그레이하운드에 의해 쫓기는 모형



## ■ 대체방법의 원칙 The Principles of Replacement

### 일반 이론의 부족 The Lack of a General Theory

실험동물의 대체방법은 인도적 차원에서 매우 바람직한 기법이다. 많은 비용과 시간을 절약할 수 있는 것은 물론, 과학적으로도 지대한 성과를 올릴 수 있기 때문이다. 새로운 비타민과 바이러스의 발견 등 대체로 인해서 얻은 성과가 매우 좋아 어떤 이는 맹신에까지 이르기도 한다. 사실, 인도주의의 실현이야말로 가장 큰 성과일 것이다. 그러나, 대체를 해야만 하는 근본적 이유가 있다 하여도, 무조건적 신념은 대체방법을 확장해야 한다는 체계적이고 합리적인 근거가 될 수는 없다. 어떤 분야에서는 대체방법이 활발히 이루어지고 있지만, 어떤 분야에서는 제대로 활용되고 있지 못하는 것이 현실이다. 게다가, 대부분 경험에 의존하는 데 그치며 연계·공유 등의 활동이 이루어지고 있지 못하고 있다. 대체 기법은 바이러스학의 역사에서도 보여지듯이 기존에 있던 방법들을 이용하다 해결될 수 없는 난관에 봉착하게 되면 어쩔 수 없이 해결방안을 찾는 과정에서 종종 나타나기도 한다.

---

대체 방법은 인도적 차원에서 매우 바람직한 기법일 뿐만 아니라, 많은 비용과 시간을 절약할 수 있는 것은 물론, 새로운 비타민과 바이러스를 발견하는 등 인도주의 실현 그 자체를 가장 큰 성과로 볼 수 있다.

---

영양성분검사에 미생물을 이용하는 것은 대체의 성공사례 중 하나이다. 그러나, 미생물 이용은 제안된 후 20년이 지나고 나서야 비로소 실현되었다. 이렇듯 대체는 일반적 이론이 수립되지 못한 채, 독자적으로 그리고 무계획적으로 발전하게 되었다. 동물실험에 대체방법이 도입된 것은 커다란 발전이자 많은 이점을 가지고 있으므로, 일반적 이론을 수립할 수만 있다면 생물학적 연구 및 기타 응용연구의 발전을 촉진시키는 데 큰 도움이 될 것이다. 대체이론이나 대체가 이루어지고 있는 분야에 대한 개략적 설명이 시도된 적은



이전에도 있었다(19). 이제 우리는 개략적 설명에서 한 발 더 나아가야 하며, 대체이론을 완벽하게 수립하기 위해서는 개념의 정의를 명확히 수립하고 그 내용을 철저히 증명해 보일 수 있는 수학적 논리 지식을 갖춘 전문가의 도움이 필요하다는 사실을 인식하였다.

실험대상을 대체하고자 할 때, 실험 목적을 고려하여 다음과 같은 두 가지 주요 사례를 비교해 볼 필요가 있다. 우선, 고등동물에 기생하는 내부기생충(endoparasite)의 연구를 예로 들어보자. 합리적인 화학요법은 숙주 내에 살고 있는 기생충을 죽이는 것이다. 그러기 위해서는 숙주 몸 속에 독성이 강한 약을 주입해야 하며 그렇게 되면 숙주의 대사 과정에 독성성분이 노출된다. 그러나, 독성이 강한 약물을 숙주의 신체 내에 주입하기 이전 단계에서 선행되어야 할 과제가 있다. 즉 기생충의 생화학적 특성을 연구하여 기생충을 죽일 수 있는 약을 개발하고, 그 약이 숙주에 해를 끼치지 않고 기생충만을 죽일 수 있는지 효능 여부를 검사해야 한다. 그러나 이러한 연구를 위해서는 기생충만 따로 채취하여 시험관에서 실험하는 과정이 필요하다. 살아 있는 숙주 내에 기생하는 기생충을 연구하려면 숙주와 연구자 모두에게 제약이 많기 때문이다. 따라서, 기생충을 채취하여 실험실에서 배양한 후 숙주 없이 실험하려는 시도가 이루어져야만 한다. 그러나 지금까지는 시험관에서 기생충을 연구하려는 대체방식은 기술적 어려움으로 실현되지 못했다. 기생충의 생화학적 특성을 연구하기 전에는 기생충을 시험관에 배양하는 것이 쉽지 않다. 또한, 원생 기생충인 경우에는 살아있는 숙주의 체내에 있을 때와 체외시험관에 있을 때 형태가 다르다는 점도 풀어야 하는 과제이다. 그러나 이와 같이 어려운 점이 많은 것은 사실이지만, 성공하게 되면 이점은 상당히 많을 것이다. 연구를 지속적으로 해 나간다면 기술적 문제는 결국 해결될 것이며, 바이러스학의 다른 연구들도 이러한 방법으로 성공했다. 연구대상만을 직접적으로 연구해야 하는 경우라면 이론적 문제는 없을 것이다. 연구대상이 척추동물이 아니라 작은 생물체라면, 예를 들어 기생충 중 후생동물(metazoan parasite) 또는 전염성이 있는 미생물이라면 간단하게 해결될 수도 있을 것이다. 병원균과 숙주의 특성을 모두 파악해야 하는 발병력, 즉 병독성(virulence)을 확인하고 평가하는 시험을 제외하고 의학적·수의학적 진단을 위해 실행되는 일상적 실험 수준이라면 크게 어렵지 않을 것이다. 나머지 연구들은 척추동물 자체에 대한 연구로서 매우 중요하며, 특히 인간과 가축 등 소수의 종을 대상으로 하고 있다. 생물학 분야에 실행되고 있는 일상적 검사·연구의 대부분은 건강 및 질병과 관련된 인체 각 부분의 기능, 그리고 다양한 물질이 인체에 끼치는 영향에 대해 알아보기 위한 것이다. 그 다음으로 많은 수를 차지하는 실험은 사회적 또는 경제적으로 중요한 가축에 관한 것이다. 기타 척추동물에 대한 연구가 차지하는 비율은 훨씬 적지만 결국 이들의 실험을



통해 얻은 정보는 앞의 두 주요 연구에도 실질적인 도움이 될 수 있다. 이 책에서 우리는 순수과학 및 응용과학, 교육 이외에도 의학을 위해 실행되는 실험에 대해 중점적으로 다룰 예정이다. 의학목적으로 수행되는 실험에는 일상적으로 이루어지는 약리학 및 화학치료법 등이 포함된다. 여기서 얻은 지식은 수의학에도 쉽게 적용할 수 있으리라 본다.

### 정확도 *fidelity*와 변별도 *discrimination*

우리가 궁극적으로 인체의 건강과 질병, 그리고 다양한 물질과 병원체가 인체에 끼치는 영향에 대해 연구하고자 한다면, 직접적인 연구가 가능한 유일한 방법은 인간을 대상으로 실험을 하는 것이지만, 이 경우 항상 세심한 주의가 요구된다. 인체는 연구 대상인 시스템이 되는 것이고, 인체를 대상으로 직접적으로 실험하는 것이다. 연구나 표준검사와 마찬가지로, 우리는 임상시험과 다른 모든 실험방법을 구별해야만 한다.

---

인체라는 완벽한 실험모델을 가지고 실험을 하는 경우, 어떠한 테스트를 하건 인체와 차이가 있을 수 없다.

그러나 다른 생체모델을 이용하는 경우, 어떠한 모델이라도 원래의 실험대상과는 어느 정도 차이가 나기 마련이다.

---

기본적으로, 임상시험 이외의 다른 실험방법에는 시스템(인체)을 대체할 모델을 만들어 모델을 대상으로 하는 실험들이 포함된다. 즉, 특정한 조건에서 인체를 대상으로 직접 실험하는 것이 아니라 비슷한 혹은 동일한 조건에 있을 때 인체 또는 그의 일부와 유사한 반응을 보일 것으로 판단되는 개 또는 랫드 등을 모델로 이용하여 실험하는 것이다. 우리가 인체 대신 개 또는 랫드를 실험대상으로 삼는 것은, 마치 공학도들이 비용이나 접근성 등의 문제로 원하는 컴퓨터 시스템을 직접적으로 연구할 수 없을 때 아날로그 컴퓨터를 대신 연구하는 것과 같다.



완벽한 인체모형을 가지고 실험을 하는 경우, 어떠한 실험을 하건 그 결과는 인체와 다를 바가 없다. 하지만 원숭이, 개, 랫드, 물고기, 또는 박테리아를 가지고 실험을 하게 되면, 원래의 실험대상과는 어느 정도 결과에 차이가 나기 마련이다.

그러나, 실험모델과 원래의 실험대상의 차이를 설명할 때 다음의 두 가지 주요 요인, 정확도(fidelity)와 변별도(discrimination)를 짚어 볼 필요가 있다. 정확도란 전체적으로 비례하여 차이점을 구현하는 것으로, 정확도가 높다고 하면 모든 특징들이 매우 동일하게 만들어진 것을 의미한다. 반면, 변별도란 원래 실험대상의 특징을 얼마나 잘 재현하였느냐를 의미한다.

---

실험모델과 원래의 실험대상의 차이는 다음과 같은 두 가지 주요 요인에 의해 좌우된다.

정확도란 전체적 비율의 차이를 의미하며, 변별도란 만들어진 모델이 원래 대상의 특징들을 얼마나 잘 재현하였느냐를 의미한다.

---

이는 재갈매기(herring gull) 새끼가 보여주는 행동을 관찰하면 쉽게 이해된다. 우선, 재갈매기 어미 모델을 만들 때, 재갈매기의 머리와 부리 부분의 색깔과 형태를 완전하게 동일한 3차원 입체모형으로 재현했다. 정확도가 높은 모델이었다. 두 번째 모델은 기다란 빨간 색 막대로 뾰족한 끝 부분의 삼면에 흰색 줄무늬를 그려 넣었다. 두 번째 모델은 전혀 갈매기의 머리 모양이 비슷하게 보이지 않았다. 그러나, 세 가지 자극을 제공하여 재갈매기 새끼가 반응을 보이는 데는 아무런 무리가 없었다. 그러한 자극들을 핵심자극(key stimuli)이라고 한다. 여기에서의 핵심자극 요소는 빨간 색, 색의 대조, 길이였다. 즉, 두 번째 모델은 핵심자극 요소에서 유사성을 보이며, 변별도가 높다고 할 수 있다. 두 번째 모델은 정확도는 떨어지지만 변별도가 높으며, 정확도가 높은 첫 번째 모델과 비교할 때 오히려 두 번째 모델이 재갈매기 새끼의 강력한 반응을 이끌어냈다. 지각이 낮은 척추동물의 경우, 행동을 이끌어내는 것은 전반적인 측면에서 보여주는 유사성이 아니라, 자연적 자극객체(natural stimulus object)의 핵심자극을 일부 유사하게 보여주는 것이다. 지각이 낮은 척추동물의 반응을 효과적으로 이끌어내는 것은 정확도가 아니라 변별도이다.

제1장에서는 인간을 포함한 척추동물의 모든 요소들이 상호 연관되어 있음을 강조하였다. 그렇다면 의학적 목적으로 실험모델이



필요한 경우, 정확도가 반드시 충족되어야 할 것이다. 그러나 다행스럽게도 사실은 그렇지 않다. 일부 기능을 집중적으로 분석하고 분리해낼 수 있다. 좀 더 구체적으로 설명하자면, 인간이란 유기체는 축소 가능한 시스템이다. 만약 그렇지 않다면, 실험생물학experimental biology은 애초에 존재하지 못했을 것이다.

사실, 현실적으로 볼 때 많은 분야에서 변별력이 바람직한 특성으로 간주되고 있다. 즉, 인간의 여러 신체적 특징 중 하나에 대해 정확한 결과를 이끌어 내는 것이 바람직하다. 동물 종들은 인간의 특징에 따라 매우 다양한 변별도를 보인다. 만약 과학자들이 인간의 대뇌피질 연구에 관심이 있다면, 랫보다는 영장류가 더욱 적합하다. 이 경우, 진화 관계와 상동성이 중요하긴 하지만, 그렇다고 해서 항상 상동성이 중요한 것은 아니다. 비둘기의 소낭선crop gland 세포의 증식과 소멸을 연구하다 뇌하수체 선엽adenohypophysis의 황체호르몬luteotropic hormone을 발견한 것을 예로 들 수 있다. 사실, 비둘기의 소낭선은 상동성homology이나 계통발생phylogeny 측면에서 포유류와 하등의 연관은 없다. 즉, 황체호르몬과 긴밀한 관계가 있는 인간 및 포유동물의 유선과 아무런 관계가 없는 것이다. 더욱 놀라운 사실은, 영양학적 측면에서 볼 때, 미생물의 일부 종이 포유동물보다 더욱 유용하게 실험에 이용될 수 있다는 것이다. 유사성보다 변별성이 어느 경우에는 더욱 유용하게 이용된다.

따라서, 일부 분야에서는 정확도는 형편 없지만, 변별력이 우수한 모델이 실험에 많이 이용된다. 그러나, 이러한 방식은 모델 활용의 일반적 원칙으로 채택되지는 않았다. 살아 있는 온전한 포유동물을 이용하는 대신 대체기법을 채택할 때의 일반적 특징은 인간과 비교할 때 상대적 또는 절대적으로 정확도가 떨어진다는 것이다. 대체방법의 발전을 방해하는 점진적이고 단편적인 경험적 논리에서 생성된 요인은 그럴 듯 하지만 성립이 불가능한 가정들이다. 이러한 가정은 “높은 정확도에 대한 오류 The high-fidelity fallacy”로 압축될 수 있다.

### 높은 정확도에 대한 오류 The High-Fidelity Fallacy

의학자들 중에는 임상실험 이외의 연구는 전혀 가치가 없다고 생각하는 연구자들도 있다. 그들은 임상실험을 통해 증명이 될 수만



있다면 그 외의 어떤 다른 증거도 필요 없으며, 임상적으로 증명되지 않은 것은 전혀 증명되지 않은 것과 같다고 주장한다. 이들 의학자의 대부분은 생체해부 반대론자이며, 그들의 주장은 이 책에서 다루지 않을 것이다. 이들처럼 모델을 이용한 실험을 전면적으로 부정하는 과학자들은 의학계에서 사라져야 한다. 사실, 모델을 이용한 실험이 없었다면 과학이라는 학문이 애초에 존재할 수도 없었을 것이다.

대체방법의 발전을 방해하는 요인은 점진적이고 단편적인 경험적 논리에서 생성된,  
그렇듯 하지만 성립이 불가능한 가정들, 즉 “높은 정확도에 대한 오류 The high-fidelity fallacy”이다.

높은 정확도에 대한 오류와 관련하여 주로 제기되는 주장은 다음과 같다. 인간은 태반이 있는 포유동물이다. 인간의 실험모델로 채택된 다른 태반이 있는 포유 동물종은 새 또는 미생물과 비교할 때 정확도가 비교적 높다. 즉, 일반적인 생리적/약리학적 특성을 살펴볼 때, 포유동물은 다른 생물체에 비해 인간과 유사하다. 물론, 이러한 소전제에 반기를 드는 동물학자는 없을 것이다. 모델을 이용한 실험의 대전제는 의학적 연구와 생물학적 물질을 시험하는 데 있어 정확도가 높은 실험 대상을 이용하는 것이 언제나 바람직하다는 것이다. 그렇지만 이러한 대전제는 ‘인류의 공중보건과 안전을 위해서라면 어떠한 불합리한 행동이라도 허용되어야 한다’는 심리적 부담을 초래한다. 어쨌든 결론적으로 말하자면, 포유동물이 가장 바람직한 실험모델이다. 그리고 이러한 결론은 특히 독성시험과 같은 분야에서는 반드시 지켜져야 한다. 그러나, 포유동물을 대상으로 실험을 하지 않아도 되는 실험에서도 인간의 건강을 위해서라면 무엇이든지 가능하다는 기본 가정이 지나치게 확고한 덕분에, 포유동물 대신 지각이 낮은 생물로 대체하여 이용하려는 합리적 시도가 무산되고 있다.

정확도의 필요성과 합리성을 부정하는 것은 어리석은 일이 될 수도 있다. 그러나, 정확도가 높은 동물만을 실험대상으로 해야 한다는 생각 또한 무지에서 비롯된 것일 수도 있다. 만약 우리가 연구대상의 특성에 대해서 아는 바가 전혀 없다면 (예를 들어, 완전히 새롭거나 기존에 사용해 본 적이 없는 물질의 효능 또는 독성작용 같은 것), 개나 다른 인간과 가장 유사한 종을 실험대상으로 이용하는 것이 가장



확실한 방법이라고 여길지도 모른다. 반면, 우리가 이미 밝혀진 화학물질의 모든 특성을 정확하게 파악하고 있다면, 인체와는 전혀 다른, 심지어 살아있지 않지만 변별도가 높은 물리적·화학적 도구를 활용하여 화학물질의 효능을 실험할 수 있을 것이다.

그러나 위와 같은 간결한 설명은 일반적 원칙에 불과하여 오해를 불러 일으킬 소지가 있다. “높은 정확도에 대한 오류”는 다음의 세 가지 중요하면서도 절대적인 가정을 기반으로 한다. 사실 이들 가정은 원칙이라기보다는 집착에 가깝다.

“높은 정확도에 대한 오류”와 관련하여 주로 제기되는 주장은, 인간은 태반이 있는 포유동물이므로 실험모델로서 조류 또는 미생물과 비교할 때 정확도가 비교적 높다는 것이다.

의학적 연구와 생물학적 물질을 시험하는 데 동물모델을 이용한 실험의 대안제로, 정확도가 높은 실험 대상을 이용하는 것이 가장 바람직한 것이다. 여기서 포유동물이 가장 바람직한 실험모델이라는 고지식한 결론이 도출된다.

우선, 인간의 무지가 지나치게 과장되었다. 둘째, 인간을 대신하여 이용되는 실험모델로서의 포유동물의 정확도가 과대평가 되었다. 만약 하나의 실험모델이 현재 연구 중에 있는 어느 중요한 특성에 대해서 정확도가 떨어진다면, 정확도가 떨어지더라도 연구 중인 특성에 한하여 변별도가 높은 다른 모델에 비해 그다지 우위에 있다고 볼 수 없을 것이다. 역설적으로 들릴지 모르겠지만, 지각이 낮은 생물이라도 다른 포유동물에는 없지만 인간에게는 존재하는 어떤 특성을 가질 수 있기 때문이다. 진화적 보존(evolutionary conservation) 또는 수렴진화(convergence)를 통해서 여러 측면에서 상대적으로 덜 특화된 포유동물인 인간이 지각이 낮은 동물과 일부 특성을 공유하고 있으며, 오히려 해당 특성은 대부분 또는 거의 모든 다른 포유동물과 유사점이 없는 경우도 있을 수 있다. 이는 동물학자에게는 상식에 불과하다, 우선, 꼬리만 살펴보자. 꼬리에 관한 한, 원숭이보다는 개구리가 인간과 가깝지 않은가! 셋째, 가장 중요한 부분으로 높은 정확도에 대한 환상은 상관관계의 모든 이점을 간과하는 데서 비롯한다. 서로 완전히 다른 시스템인데도 불구하고 자극에 대한 반응(A라는 자극에 대해 B라는 반응)이 규칙적으로 나타난다면, 두 개의 시스템에 상관관계가 있다고 볼 수 있다. ‘높은 정확도’를 열렬히 지지하는 과학자라면, 이러한 상관관계로 인해 오류의 문제가 초래될 수 있기 때문에 탐탁해 하지 않을 것이다.



“높은 정확도에 대한 오류”는 원칙이라기보다는 집착에 가까운, 다음의 세 가지 중요한 가정을 기반으로 한다.  
바로, 인간의 무지가 지나치게 과장되었다는 점, 실험모델로서의 포유동물의 정확도가 과대평가 되었다는 점,  
그리고 상관관계의 모든 이점을 간과하고 있다는 점이다.

이러한 배경에 대해 반론이 될 만한 몇 가지 구체적인 예를 들어보겠다. 첫째, 일부 분야에서는 포유동물(또는 일반적인 고등동물)이 믿을만한 실험대상이 될 수 없다. 몇몇 화합물의 항암 효과를 실험할 때, 동물실험에서는 효능이 있지만 인간의 종양에는 효능이 없다는 점은 매우 실망스럽다. 뿐만 아니라, 항생물질인 사이클로세린(cycloserine)은 “체외 실험에서는 효능이 있지만 랫드 및 기니피그의 결핵이나 기타 동물의 감염실험에서는 효능이 없다. 생체실험에서 효능이 없을 경우 일반적으로 인간에 대한 임상시험으로 적합치 않은 것으로 결정되지만, 사이클로세린은 동물에 대한 독성이 약한 것으로 판단되어 임상실험을 실시했다. 그 결과 인간에 대한 임상시험에는 효능이 높은 것으로 판명되었다. 이러한 임상시험 결과를 계기로, 새로 개발된 항생제의 효능을 평가하는데 있어 생체실험이 신뢰성이 떨어지는 것으로 간주되는 체외실험(in vitro)에 비해 보다 우수하다는 평가에 대해 의문이 제기되었다 (24).”

또한, 최신 기법이 개발됨에 따라, 신체 전체에 충실한 모델이 인간을 제외하고 온전히 살아있는 포유동물인지 아니면 시험관 속에 있는 인간의 배양조직인지의 여부가 중요한 쟁점으로 부각되었다. 만약 어떠한 물질이 말초조직에 특정한 영향을 끼친다 할지라도 인간 이외의 포유동물에는 아무런 반응을 일으키지 않을 수 있는데, 그 이유는 이들 포유동물은 인간에게는 존재하지 않는 물질대사 또는 해독 기능을 갖추고 있기 때문이다. 이러한 상관관계에 대해 그로브(Grove)와 랜덜(Randall)은 항생제의 화학적/미생물학적 분석 결과 보고서에 자세히 설명하고 있다 (25).

“특정한 항생제가 미생물학 보고서에서처럼 살아 있는 미생물을 죽이거나 성장을 방해하는 효능을 보인다면, 해당 항생제의 직접적 효능과 효과는 증명되었다고 볼 수 있다. 따라서, 화학적 분석 방식의 가치가 인정받기 위해서는 미생물학 분석에 의해 증명된 효능과 상관관계가 있는 결과를 도출할 수 있어야 한다.”



현재로서, 우리는 이미 완벽한 인도적 방식으로 처리되고 있는 실험방식을 다른 방식으로 바꾸는 것에는 관심이 없다. 다만, 동물실험과 대체 기법을 비교하는 데 관심이 있을 뿐이다. 우리가 필요로 하는 것은 정확하고 신뢰할만한 유사성이며 그 이유에 대해서는 자세하게 알 필요가 없다. 인간의 무지조차도 우리에게는 큰 의미가 없다. 유용하게 활용될 수 있는 상관관계는 상당히 많으며, 변별력이 높은 모델을 찾아냄에 있어 첫 걸음은 상관관계에 대해 연구하는 것이다.

상관관계가 명확하지 못하다면 보다 자세한 연구가 이루어져야 한다. 이와 관련하여 부유 종양세포cell suspensions의 수를 추정할 수 있는 우수한 실험방법이 최근 호스킨스Hoskins를 비롯한 동료 과학자들에 의해 공개되었는데(26), 그들은 생체실험에 사용된 랫드의 적정titration 여부를 네 가지 실험실 기법과 비교하였다. 위의 다섯 가지 기법 중 정확한 것은 아무 것도 없었으며, 각 기법에 따라 결과에 차이가 있었다. 따라서, 호스킨스를 비롯한 과학자들은 각각의 기법의 적용방식을 상세히 조사하여 차이를 초래하는 조건을 기술하였다. 이는 매우 중요한 두 번째 단계라 할 수 있다. 왜냐하면, 대체모델에 대한 구체적 지식, 예를 들어 미생물에 대한 생화학 지식을 토대로 변별력이 높은 여러 모델들이 선택되며, 인도적 차원에서 보더라도 이러한 방식이 가장 바람직하기 때문이다.

만약 대체모델에 대한 구체적 지식이 부족한 경우에는 여전히 유사한 결과치를 통해 실험모델을 선택할 수 있다. 예를 들어, 병독성virulence의 경우 병원체와 숙주의 상관관계가 매우 복잡하다. 이 경우, 항원성antigenicity과 같은 특정 특성과 병독성의 상관관계를 정확히 파악할 수만 있다면 병독성에 대한 구체적 지식이 부족할지라도 상관관계의 비교결과를 적절히 활용할 수 있다. 병독성 실험은 진단검사 중 가장 비인도적인 실험에 속한다. 따라서, 독성실험을 실험실 검사로 대체할 수 있다면, 비용과 시간을 절약하는 것은 물론 인도적인 방향으로 발전하는 것이므로 바람직하다 할 수 있다.

마지막으로, 대체 모델에 대한 무지가 최선의 실험방법을 찾는데 장애물이 될 수 없다는 사실을 증명해 보이겠다. 백신을 개발하는 과정에서 우리가 관심을 쏟고 있는 목표는, 모두 제거하는 것은 불가능할지라도 병원체를 조작하여 독성을 최대한 제거하는 한편 항원조직은 유지시켜 능동면역을 이끌어낼 수 있도록 하는 것이다. 그 방식은 중요하지 않다. 시행착오를 통해 최선의 방법을 찾아내는 것이 중요하며, 병원체를 조작할 때 인체와 동일한 성질을 유지시켜야 할 필요성도 없다. 이제는 조직배양이나 계란과 같은 조작된 시스템을 이용하여 상당수의 백신이 생산되고 있으며, 이 중에는 1952년에 생체실험을 통해 수천 마리의 개를 희생시켜 우연히 발견한



개 홍역바이러스 백신도 포함된다.

지금까지 설명한 예들로 인해, 이제 실험모델의 정확도를 신봉하는 주장들은 힘을 잃고 있는 것이 사실이다. 실제 실험실 상황에서는 위와 같은 사실들이 종종 무시되고 있음에도, 원칙에 대해서는 논쟁의 여지가 전혀 없다. 이제 정확도를 신봉하는 주장들을 효과적으로 반박하고 인도적 동물실험을 발전시키기 위해서는 일반적 이론을 개발해야 할 것이다.

### 대체방안의 일반이론 *Towards a General Theory of Replacement*

이제 정확도가 떨어지는 모델이 유용한 경우는 언제이며, 그리고 변별력을 높이기 위해 정확도가 완전히 다른 모델을 활용하는 것이 바람직한 때가 언제인지에 대한 정확한 정보가 필요하다. 보다 확실한 개념들을 확보한 후 앞에서 언급된 상식적인 정보를 뒷받침해야 하는 것은 물론, 일반적 이론도 수립하여야 한다. 그렇게 되면, 그 과정 중에 예기치 못했던 유용한 원칙들도 상당수 추가될 수 있을 것이다.

대체방안의 일반 이론은 아직까지 수립단계에 있다. 모델활용에 대한 원칙들은 “블랙박스 이론black box theory”같은 수학적 일반이론을 토대로 수립된다. 블랙박스 이론은 이공계에서 오랫동안 활용되어 온 수학적이론이다. 블랙박스 이론의 핵심은 블랙박스 안에 무엇이 들어 있는지 모르는 상태에서 원리를 추론하는 것이다. 이 이론에 대한 간략한 설명은 애쉬비Ashby의 인공두뇌학cybernetics에 관한 유명한 저서에 잘 기술되어 있다 (27). 그는 지금까지 우리가 설명한 내용을 비교적 명확하게 다루고 있다. 서로 완전히 다른 종류의 두 모델이 규칙적인 상관관계를 보인다면, 동형군isomorphic이라고 불린다. 그러한 경우에는 어떤 모델을 이용하는가는 그리 중요치 않다. 반면, 이론적 측면에서 볼 때 변별력이 있는 모델은 원본의 이체동형군homomorphism이라 불린다. 동형군에 대해 간략하게 설명해 보자면, 취할 수 있는 상황에 따라 나타날 수 있는 많은 차이점을 무시하고 원래의 시스템을 단순화시킬 수 있다면 우리가 관찰하고자 하는 원래의 모델 또는 모델의 일부분과 동형군의 관계에 있다고 말할 수 있는 것이다. 그러나 애쉬비가 명확하고 정확하게 설명한 개념을, 간략하고 불명확하게 설명하려고 애쓰는 것은 바람직하다고 생각되지 않는다. 필요한 수학적 도구를 갖춘 인재라면 대체이론을



체계적으로 수립할 수 있는 기반은 마련되어 있다는 정도만 이야기하고 이론 부분을 마무리하고자 한다. 도구는 이미 마련되어 있으며, 역량을 갖춘 인재가 나서서 일반 이론을 수립하여 생물학 연구자와 실험동물에 큰 도움을 줄 수 있기를 기대한다.

## ■ 조직배양의 활용 The Uses of Tissue Culture

지금까지는 학문적으로 치우친 감이 있다. 이제 일반적인 이야기보다는 대표적인 두 가지 대체기법을 사례로 보다 구체적으로 설명하고자 한다. 하나는 다른 체외 조직 및 장기 활용을 포함한 조직배양 기법이고, 또 다른 하나는 미생물을 이용하는 것이다. 우선 조직배양을 설명할 것이며, 그 중에서도 역사상 가장 성공적인 사례로 손꼽히는 바이러스 연구분야에 대해 이야기해 보고자 한다.

### *바이러스 연구분야에서의 조직 배양의 활용 Tissue Culture in Virology*

척추동물 숙주를 이용한 바이러스 연구는 종종 직접적인 비인도적 상황을 초래할 수밖에 없다. 그러나, 지난 수 년간 알려진 위험한 우발적인 비인도적 행위는 실험 자체에서 보다 실험에 이용될 원숭이들을 극동지역으로 운송하는 과정에서 발생했다. 사실, 생체실험에 이용될 원숭이의 수는 소수에 지나지 않았고, 대부분의 원숭이는 신장세포 배양을 위해 사용될 예정이었다. 이 원숭이들의 수송과정은 끔찍할 정도로 비인도적이었고 이러한 상황을 개선하기 위한 조치가 이루어졌다. 인도 정부는 환영받을 만한 몇 가지 규정을 공포했고 영국의 의학연구위원회(Medical Research Council 이하 MRC)는 인도적 수송에 대한 권고안을 발표했다. 이 후 모든 영국항공사들은 동물수송 시 MRC의 권고안을 채택하였다. 동물을 대신하여 이러한 인도적 조치가 취해진 것을 기쁘게 생각한다. 비록 1876년 동물학대방지법이 제정될 당시 빅토리아 시대 영국의 도심에서 가장 흔하게 볼 수 있었으며 인간과 가장 가까운 고양이, 개, 말 등이 영국 내무성의 보호규정에서 제외된 것은 아쉽기는 하다. 그럼에도 불구하고, 원숭이 수송 시 발생하는 문제를 완벽하게



제거하는 것은 불가능하다. 따라서, 실험과 관련하여 의학기술이 급속히 발전하는 것은 매우 고무적이며, 아마도 인체조직을 활용하는 등의 기술이 발전하면 원숭이 수송 시 발생하는 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 이제는 원숭이의 신장을 트립신으로 처리된 부유세포의 형태로 항공편으로 수송하는 것이 가능해졌다. 부유세포는 세균학적으로 무균상태이며 목적지에 도착 후 바로 배양이 가능하다. 이러한 기술이 활용되면 살아 있는 원숭이를 수송하면서 발생하는 비인도적 문제들을 해결할 수 있을 것이다.

바이러스 연구분야에서 살아 있는 동물을 활용할 때는 필요한 기간에만 제한시켜 철저히 통제되어야 하며, 그와 동시에 생체실험을 대체할 방법을 찾는 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 직접적인 비인도적 방식을 지양하는 기술을 공급할 수 있느냐의 여부에 따라 연구분야의 발전이 좌우된다는 점에서 바이러스 연구분야는 특이하다. 바이러스는 살아 있는 세포에서만 성장이 가능하여 생체실험을 해야 하지만, 숙주인 척추동물을 실험에 이용하는 것에는 많은 어려움과 장애가 따르기 때문이다.

따라서, 바이러스와 같은 연구분야의 첫 걸음은 변별력이 높은 모델을 활용하는 것이다. 이를 통해, 불필요한 변수들은 제거하고 그 외의 많은 변수들을 효율적으로 통제할 수 있기 때문이다. 조직배양 방식은 이외에도 여러 가지 장점을 지니고 있다. 바이러스 연구자들은 생체실험을 하지 않아도 되기 때문에 다양한 연구방식을 개발해낼 수 있으며, 실제로도 놀라운 발전을 이루어내었다. 홍역, 수두, 아데노이드, 인두, 결막, 소아마비 같은 바이러스 등은 생체실험이 불가능하다.

닭의 배아에 바이러스와 리케차 박테리아를 배양하는 기술은 1930년대에 시작되었으며, 1952년에 이르러 바이러스와 박테리아를 증식시키거나 조직 일부를 손상시키는 실험이 성공함에 따라 다양한 백신을 개발할 수 있었다. 보다 최근에 와서는 배아가 제거된 달걀이 이용되고 있다. 그러나, 일반적인 실험도구로 달걀이나 배아를 이용하는 것을 부정적으로 보는 시각 또한 거세어졌다. 그 이유는 달걀이나 배아에서는 많은 바이러스들이 증식될 수 없고, 가령 증식이 된다고 하여도 상당수준의 손상을 초래하여 다량의 바이러스를 생산해 낼 수 없는 데 있다. 위와 같은 상황은 두 개 이상의 세포유형이 존재하여, 세포배양의 초기 상태를 재현하는 것이 불가능하기 때문이다.

동물 바이러스 연구 분야는 최근 몇 년 사이에 놀랍게 발전하였다. 부유세포의 회전 배양과 유리판 위의 단층 세포배양을 이용할 수 있게 됨에 따라, 바이러스 연구 분야에 급속한 발전이 이루어졌다. 이제는 이미 표준화된 절차로 인정받은 조직배양 기법이 이용되고



동물바이러스의 부유 농도(suspension titre)를 높이 유지할 수 있게 됨에 따라, 동물바이러스를 대상으로 대규모 대사 연구들이(metabolic studies) 가능하게 되었을 뿐만 아니라 관찰된 효과를 바이러스 증식과 연계시킬 수 있게 되었다. 바이러스 연구분야의 놀라운 발전을 가능하게 한 발견은 엔더스(Enders), 웰러(Weller), 로빈스(Robbins)에 의해 가능했다. 그들은 바이러스 과학자들의 골치거리였던 소아마비 바이러스를 실험실에서 배양하는 데 성공하였다(28). 이들 과학자는 이 공적을 인정 받아 노벨상을 수상하였다. 소아마비 바이러스의 시험관 세포 내 배양이 가능해짐에 따라, 소아마비 연구에 박차가 가해졌고 그 결과 소아마비 백신이 개발되었으며 그 외에도 소아마비와 관련된 연구결과가 다양하게 발표되었다. 이후, 소아마비 이외의 바이러스의 체외 배양에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

샌더스(Sanders (29))는 “조직배양 기술이 이 시기에 특별히 발전한 이유는 무엇인가?”라는 바이러스 연구 역사에 관한 흥미로운 질문을 했다. 1913년에 분리시킨 세포에서 바이러스를 유지시키는 기술이 개발되었고, 1925년에 이르러 바이러스 증식에 성공했으며, 1931년에 배양에서 증식시킨 바이러스로 인간에게 주입시킬 수 있는 백신 개발에 성공했다고 그는 밝히고 있다. 그 이후, 1943년에 배양된 세포에 바이러스로 인한 세포변성(cytopathic changes)이 가능하게 되었다. 세포변성은 배양된 세포에 증식시킨 바이러스에 전염력이 있음을 보여주는 지표로 활용된다. 그는 “위에 언급된 놀라운 발견이 이루어졌음에도 불구하고 조직배양은 전 세계 바이러스 실험실에 전파되지 못했다. 뿐만 아니라, 수 년 간 조직배양을 이용하여 획기적 성과를 이루지 못했다. 엔더스를 비롯한 바이러스 과학자의 놀라운 성과는 수 년 후에 겨우 이루어질 수 있었다.”라고 언급했다. 그렇다면 조직배양이 개발되었음에도 불구하고 바이러스 연구가 활발하지 못했던 이유는 어디에 있는가?

“조직배양은 생물학 기법에서 가장 까다로운 영역에 속했다. 배양된 조직이 미생물로 오염되는 것을 예방하기 위해 철저한 주의가 요구되기 때문에 의지력이 투철하고 철저한 과학자들만이 연구를 계속할 수 있었다. 또한, 각각의 배양체에 처리하는 조작기법에 한계가 있을 수 밖에 없었다.”라고 엔더스는 바이러스 연구가 신속히 진전되지 못한 이유를 설명한다.

그 후 항생제가 개발되면서 모든 상황이 급변하기 시작했고 소아마비 바이러스의 발견이라는 큰 성과를 올릴 수 있게 되었다. 몇몇 항생제는 대부분의 바이러스에는 영향을 끼치지 않는 것으로 확인되었다. 따라서, 조직배양은 그대로 유지되는 상태에서 바이러스가



증식될 수 있었으며 정교한 기구나 처치도 필요하지 않았다. 다만, 세균의 증식을 억제해 줄 수 있는 정도의 항생제를 첨가하면 되었다. 예기치 않은 곳에서, 즉 2차 세계대전의 발발로 의료적 수요가 발생하여 개발된 항생제 덕분에 실험동물과 실험생물학은 이득을 얻을 수 있었다. 기술적인 제약이 극복되어, 그동안 기술 자체는 실질적으로 실행 가능한 것이었지만, 불가능했던 대규모 실험이 가능하게 된 것이다. 처음에는 그다지 영향을 끼치지 못하던 발견이 지속적으로 반복되면서 이차적 성과로 이어지고, 거기에다 관련이 없는 기술적 부분의 발전이 추가되어 결국 놀라운 성과로 이어진 예는 흔히 찾아볼 수 있다.

현재, 바이러스 연구에서 고등동물을 대상으로 생체실험을 하는 이유는 두 가지 목적 때문이다. 우선 병독성은 바이러스 숙주의 복잡한 특성과 관련이 있으며, 박테리아보다도 알려진 바가 적어 높은 수준의 정확도가 여전히 필요하기 때문에 생체실험이 이루어져야 한다. 최외 배양의 경우 소아마비 바이러스는 신장세포에서 증식하는 반면, 생체실험의 경우 소아마비 바이러스는 신경계에 선택적으로 침입한다. 완벽한 항원성을 지닌 바이러스도 일반적으로 감염이 되는 조직을 공격하지 못한다. 따라서, 백신생산이 일정 단계에 이르거나 일부 연구 목적으로 살아 있는 척추동물인 숙주를 대상으로 바이러스의 병독성을 실험하는 것이 필요하다.

두 번째, 살아 있는 동물을 이용하여 항바이러스 혈청을 생산하는 경우이다. 이러한 경우에는 사멸시킨 바이러스를 사용하거나 임상증상이 없는 감염을 야기시키는 바이러스를 사용한다. 따라서, 감염 자체는 심각한 증상을 초래하지 않는다. 동시에, 흥미로운 발견이 최근에 이루어졌다. 시험관에서 배양된 비장세포를 이용하여 항체를 생산하는 기술이 그것이다. 시험관을 이용하여 항혈청을 생산함으로써, 비인도적 절차를 제거하여 '대체'가 이루어질 수 있으므로 의미가 크다 하겠다.

병독성시험에서도 배양기법을 활용하면 실험에 필요한 동물의 수를 현격히 줄일 수 있다. 이제는 바이러스의 농도를 조정할 필요가 없기 때문에 많은 동물이 필요하지 않게 되었다. 왜냐하면, 배양기법에서는 바이러스의 수를 정확하게 계측할 수 있기 때문에 실험동물에게 주입되는 바이러스의 양을 정확히 파악할 수 있다. 따라서, 현재 대부분의 바이러스 연구에서 계측이 필요한 연구는 조직배양을 활용한다.

바이러스의 증식, 식별, 혈청연구, 백신생산 등과 같은 다른 용도에서도 조직배양을 이용하는 것이 바람직하며 몇몇 경우 이미 의무화



되어 있다. 인간세포주를 연구하고 있는 시버톤Syverton과 슈러Scherer (30)는 이들 세포를 “저렴하고 효과적이고 손쉽게 구할 수 있다”고 주장한다.

바이러스 연구에 배양기법을 폭 넓게 이용하는데 걸림돌로 작용하는 것은 다음 두 가지 요인 때문이다.

첫 번째는 특정한 바이러스가 증식하기에 적절한 조직을 찾아내야 한다는 점이다.

두 번째는 백신과 같이 대규모 바이러스 연구가 필요할 때 그에 걸맞는 시설과 연구 인원이 필요하다는 것이다. 대량의 세포를 배양하기 위해서는 우선적으로 실험실과 연구원이 필요하며 현재로서는 실력있는 연구원들이 부족하다는 것이 걸림돌로 작용한다. 천연두와 연계된 바이러스로 생백신을 사용하면 천연두에 대한 면역력이 증강된다. 우두바이러스vaccinia virus 백신은 송아지의 림프조직에서만 추출할 수 있다. 그러나 얼마 전부터 배양된 세포에서 우두바이러스를 증식시킬 수 있게 되었으며, 스웨덴에서는 도살장에서 임신한 동물의 사체로부터 추출한 소의 배아조직을 배양하여 우두바이러스를 생산할 수 있게 되었다. 배양기법이 여러 연구분야로 확산되는 최근의 추세는 매우 다행스러운 일이 아닐 수 없다.

체외에서 여전히 증식이 불가능한 바이러스는 트라코마trachoma를 비롯한 덩기열, 천연두 바이러스이다. 한편, 소아마비, 홍역, 수두, 아데노이드, 인두, 결막, 그리고 그외의 중요한 수의 전염병인 뉴캐슬병Newcastle disease<sup>1</sup>, 조류독감, 구제역, 수포성 구내염vesicular stomatitis, 개 간염dog hepatitis 바이러스들은 시험관에서 장기적으로 증식이 가능하다. “고아 바이러스orphan virus<sup>2</sup>”라고도 알려진 ECHO 바이러스Enteric Cytopathic of Human Origin는 매우 흥미로운 바이러스이다. 처음에 이 바이러스는 인간의 질병과는 관련이 없는 것으로 알려졌지만, 최근 한 개의 질환이 ECHO 바이러스와 관련이 있는 것으로 추정되어 연구가 진행되고 있다. 인간의 질병과 ECHO 바이러스의 상관관계는 배양기법이 이용되지 않았다면 밝혀낼 수 없었을 것이다. 또 다른 바이러스는 아데노바이러스adenovirus로 인간의 호흡기 질환과 연관이 있는 것으로 알려져 있다.

샌더스는 최근 바이러스 연구에 대체기법을 도입하는 방안에 대해 인도적 견지에서 연구한 바를 발표하였다(29). 특히, 그는 정량적 차원에서 대체기법을 다루었다. 이제까지 시료 내 바이러스의 수를 세는 가장 원시적인 방법은 살아 있는 동물을 이용하여야 한다는 것이다. 그룹에 따라 바이러스 희석배율을 다르게 하여 의도적으로 동물을 감염시킨 후, 각 그룹에 속해 있는 동물의 사망률 또는

1. 뉴캐슬병 Newcastle disease

설사·호흡 곤란을 주로 하는 바이러스성 가금병

2. 고아 바이러스 orphan virus

질병을 일으키는 정체불명의 바이러스를 통칭한 것. 에코·아데노·SV40 등의 바이러스군으로 분리되지만, 병원성이 확실하지 않아 이러한 명칭이 붙여졌다.



증상을 비교하여 희석시키지 않았을 경우 바이러스 수가 어떻게 될 것인지를 추정하기 때문이다. 증상을 나타내든 그렇지 않든 각각의 동물은 정보를 제공한다. 그러나, 한 마리의 동물은 100개의 조직배양 튜브를 제공할 수 있다. 따라서, 배양기법을 이용한다면 1개의 조직배양 튜브가 세포가 영향을 받았는지 안 받았는지에 대한 하나의 정보를 제공한다고 볼 때 한 마리는 100가지 정보를 제공하는 것이다. 뿐만 아니라, 위에서 언급한 새로운 바이러스를 발견하는 행운까지 누릴 수 있다. 일반적으로 이러한 배양액에는 고농축 바이러스가 있는 반면 숙주의 단백질은 거의 없다. 따라서, 향후 예방접종에 필요한 바이러스 원액을 추출할 때에도 효과적이다.

그러나, 생체실험이건 배양기법이건 두 방법 모두 바이러스의 개체 수는 추정을 해야 하며 이론적으로 여러 변수들을 지속적으로 관찰해야 하는 복잡한 과정이 필요하다. 뿐만 아니라, 그 추정 또한 정확하지 않다. 따라서, 바이러스 개체 수를 직접 셀 수 있는 방법의 개발이 필요했다. 세균의 경우, 플레이트에 세균을 펼쳐 놓은 후 직접 입자 수를 세는 방법이 오래 전부터 이용되어 왔다. 박테리오파지의 입자 수를 셀 때도 박테리아의 경우처럼 직접 플레이트에 떨어트린 후 직접 센다. 동물 바이러스를 이용할 경우 동물세포를 지표로 이용하게 되는데, 이 때 제기되는 기술적 문제는 바이러스를 플레이트에 떨어트려 퍼 놓을 것인가에 관한 것이었다. 이제 이 문제는 두 가지 방식으로 해결될 수 있다. 한 개의 바이러스 입자는 동물세포 표면에 다르게 염색되는 반점을 남기며, 이들 반점을 세면 바이러스의 입자수를 파악할 수 있다. 한 개의 플레이트에는 500개 튜브의 정보를 담을 수 있고, 500개 튜브를 생산하는 데 필요한 조직의 양은 50개의 플레이트를 채우는 데 충분하다. 이러한 계산이라면, 한 마리의 동물이 제공할 수 있는 정보는 어마어마한 양이 될 것이다. 물론 정보 자체도 다르다. 바이러스의 개체 수를 간접적으로 추정하는 것이 아니라 직접적으로 셀 수 있기 때문에 매우 정확한 정보를 얻을 수 있다. 마지막으로, 이 방법을 활용하면 한 개의 시료에서 여러 종류의 바이러스를 셀 수 있다. 플레이트 상에 나타난 점의 모양이 다르면 다른 종류의 바이러스이기 때문이다. 샌더스는 배양기법을 활용하면 정확한 정보를 더 많이 얻을 수 있고 새로운 정보 또한 확보할 수 있다는 결론을 내렸다. 또한, 그는 배양기법과 같은 대체방식은 앞으로도 지속적으로 발전할 것으로 예상했다. 또한 샌더스는 지금까지 우리가 이 책에서 다룬 적이 없는 새로운 방식을 주장하고 있다. 즉, 시험관에서 이식 과정을 거쳐 세포주 cell lines를 유지하는 것이다. 헬라<sup>HeLa</sup>세포가 좋은 예이다. 1952년 인체에서 추출한 헬라세포는 지금까지 전 세계에서 수두 연구에 지속적으로 이용되고 있다. 만약 이 방식이 널리 활용될 수 있다면, 조직을 얻기 위한 공여자로서의 동물은 제외하고 실험동물이 더 이상 필요치



않게 됨으로써 상대적 대체<sup>relative replacement</sup>를 넘어서 절대적 대체<sup>absolute replacement</sup>로 진화하게 될 것이다. 샌더스는 이에 대해 “동물 바이러스 과학자들은 동물실험의 위험성과 불확실성에서 해방될 수 있으므로 기뻐할 것이다”라고 말하고 있다.

### 조직배양의 기타 활용 *Other Uses of Tissue Culture*

현재 조직배양 및 동물의 조직 일부를 이용한 다른 실험방법이 가장 활발하게 활용되고 있는 분야는 바이러스 연구이지만, 향후 다른 분야로의 발전 가능성은 무궁무진하다. 종양학<sup>carcinology</sup>을 비롯한 화학요법, 약리학, 생물학적 검정시험, 독성시험 분야에서 배양기법을 이용하면 여러가지 장점이 있으며 지금까지 상당한 발전을 이룩해 왔다. 물론 향후 잠재성이 지금까지의 성과보다 훨씬 크지만 말이다. 예를 들어, 호르몬 검사 분야에서 생체실험을 실시하는 두 가지 목적은 인슐린 검사와 부신피질 스테로이드 호르몬 검사이다. 이 중에서 인슐린 검사는 대체요법이 우선적으로 활용되는 한편, 부신피질 스테로이드 호르몬 검사는 부신적출술을 하기 때문에 생체실험이 일부 이용된다. 1923년에 애드버할덴<sup>Adberhalden</sup>과 겔혼<sup>Gellhorn</sup> (31)은 기니피그의 소장과 결장, 랫드의 소장, 개구리의 식도를 적출하여 시험관에 넣어 인슐린을 직접 투입한 후 결과를 보여주었다. 또한, 알록산<sup>alloxan</sup><sup>1</sup>을 투여하여 당뇨병을 유발한 랫드와 정상 랫드의 황경막을 적출한 후 시험관에 넣어 인슐린을 투입하여 포도당의 흡수율이 높아짐을 확인할 수 있었기 때문에 생체실험을 할 필요가 없었다. 또한 성장호르몬을 투입하여 발생하는 화학적 변화도 시험관을 이용하여 검사할 수 있었다. 스테로이드의 경우, 하이드로코티존<sup>hydrocortisone</sup>, 코티코스테론<sup>corticosterone</sup> 및 부신 추출물은 시험관의 토끼 림프구에 즉각적인 세포독성 반응을 일으키며 글리코겐 침착과 세포독성 검사 사이에도 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌다. 이들 기법은 앞으로도 지속적인 연구가 필요할 것이다. 바이러스 과학자들이 이룩한 성과는 다른 연구분야의 과학자들에게도 큰 도움이 될 것이다.

#### 1. 알록산<sup>alloxan</sup>

요소(尿酸)의 산화물(mesoxalylurea, C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O). 당뇨병의 동물실험 모델작성에 사용되어 1회의 주사로 24~48시간 이내에 췌장의 랑게르한스섬의 β-세포를 선택적으로 파괴해 당뇨병을 유발한다



## 독성시험 분야 *The Toxicity Problem*

생물학적 검정시험 *bioassay* 분야에서 대체기법이 발전해 왔지만, 그 중에서 가장 시급한 분야는 독성시험이다. 왜냐하면 안전성평가를 위한 독성시험으로 이용하는 동물의 수가 가장 많고 그 고통의 정도도 심각하기 때문이다. 독성시험 과정에서 동물에게 가해지는 고통은 상당하다. 따라서, 생물학적 검정시험을 실시할 때 인도적 그리고 경제적 차원에서 대체기법이 가능한 부분에는 어디든지 대체기법을 활용하려는 것이 연구자들의 입장이다. 여기서 좁은 의미의 생물학적 검정시험과 독성시험을 구별할 필요가 있다. 생물학적 검정시험이란 비교적 불순한 시료에 잘 알려진 기법이나 이미 알려진 분자 또는 분자화합물의 원리를 적용시켜 그 결과를 살피고 정량적 추정을 한 후 이 추정치를 순수하고 강력한 성분의 시료의 결과치와 비교하는 것이다. 문제가 되는 기법을 정기적으로 살피고 추정할 수 있는 방법이라면 무엇이라도 바람직하다. 한편, 독성시험은 복잡하다. 독성시험은 고등동물에 독성물질을 가한 후, 나타나는 예기치 않거나 알려지지 않은 반응을 평가하는 것이다. 따라서, 몇몇 연구자들은 포유동물을 대상으로 독성시험이 지속적으로 이루어져야 한다고 주장한다. 이러한 주장은 실험동물의 높은 정확도를 지지하는 입장이다. 특히 약물의 독성으로 인한 부작용으로부터 환자를 보호해야 한다는 필요성이 증가함에 따라, 정확도를 주장하는 측이 힘을 얻었다.

---

독성시험은 대체로 상당한, 때로는 매우 급성의 고통을 수반하기 때문에 인도주의적인 문제와 관련하여 매우 시급한 분야이다.

이 분야의 연구자들은 인도적, 경제적 차원에서 대체기법이 가능한 부분에는 대체기법을 활용하고자 한다.

---

이제 위와 같은 독성시험 문제에 대해 합리적인 주장을 할 수 있는 근거에 대해 살펴보겠다. 이 근거는 포유동물을 실험에 이용해야 한다는 주장을 펼 때 주로 제기되는데, 중요한 것은 우선 생물학적 검정시험에서 중시하는 절대적 수치가 아니라 비율이다. 복용량을 높이면 이에 따라 당연히 신체 내 독성물질의 양도 증가한다. 따라서, 핵심개념은 치료지수 *therapeutic index*이며, 유효용량 대비



독성용량의 비율을 의미한다. 만약 치료지수가 높다면, 약효에 비해 환자에게 약물의 독성에 의해 나타나는 부작용이 작기 때문에 약물조제를 효과적으로 할 수 있다.

이러한 제한이 처음에 드는 생각처럼 어마어마한 것은 아니다. 대부분의 생물학적 물질의 치료지수는 효능에 비례한다. 따라서, 절대 독성용량이 포함된 약물조제의 치료지수가 너무 낮다면 인체에 위험하기 때문에 폐기시켜야 한다.

독성은 두 가지 변수로 평가된다. 첫째, 세포의 일반적 대사체계 또는 특수한 대사체계에 특정한 물질이 실제로 끼치는 영향을 평가하는 것이고, 둘째는 인체에 특정 용량을 투여했을 때 체내 세포에 노출되는 실질적인 양(비율 및 지속기간 등)을 좌우하는 배설과 해독의 메커니즘을 평가하는 것이다. 전자는 적절한 조직 또는 기관을 대상으로 연구가 가능하지만, 후자는 인체 혹은 동물의 신체 전체가 필요하다. 그럼에도 불구하고, 인간을 제외한 포유류의 배설 및 해독의 메커니즘은 인체와 다른 경우가 대부분이기 때문에 정확도를 주장하는 측은 설득력이 없다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해, 실험 시 최대한의 주의를 기울이는 한편 두 종류 이상의 포유류를 대상으로 실험하는 것이 필요하다. 그러나 아무리 주의를 기울인다고 하여도 인체의 대사체계는 다른 동물의 종과 다른 특이한 면이 있기 때문에 여전히 문제점이 존재한다.

독성시험은 세포 단계와 유기체 단계라는 두 가지 단계로 실시될 수 있다. 위의 두 가지 방법은 실제 테스트에서 커다란 차이를 초래한다.

첫 번째는 이미 잘 알려진 생물학적 물질을 생산할 때 실시하는 통상적인 독성시험이다. 이는 집단검사(batch-testing) 또는 품질 관리라 불리우며, 제약분야에서는 매우 중요한 단계이다. 이 테스트는 검사가 필요한 물질을 넣은 불순시료를 충분한 기간 동안 연구하는 것이다. 이 테스트의 특징은 독성 성분의 특징이 이미 알려져 있다는 점이다. 따라서, 해당 독성에 대한 지식이 많으면 많을수록 실험방법을 자유자재로 통제할 수 있다는 점에서 다른 테스트와 구별된다. 이 실험에 상관관계 원칙을 이용하지 않을 이유가 없다. 이 테스트는 인과관계에 대한 완벽한 이해가 없이 단순 비교만 하여도 가능하며, 또한 이미 알려진 불순시료를 구별해낼 수 있는 모델을 선택함으로써 가능하기 때문에 체외 실험으로 실시하는 것이 매우 효과적이다.



두 번째 독성시험은 새로운 합성물과 약물의 독성을 심사하기 위해 실시한다. 유기화학자는 매년 엄청난 수의 새로운 합성물을 개발해 내기 때문에 이 테스트의 중요성도 커지고 있는 추세이다. 이 독성시험은 약의 효능을 검사하는 데 이용되며, 거대 제약회사의 연구 대부분이 이에 속한다. 거대한 필터시스템이라고 볼 수 있다. 독성 여부를 검사한 후, 이 합성물에서 독성이 발견된다면 폐기된다. 이러한 독성시험은 결과를 예측할 수 없다. 실험을 통해 어떠한 독성이 발견될지는 아무도 알지 못하기 때문이다.

이론적으로 볼 때, 우리는 고등동물의 신체에 나타날 수 있는 치명적인 독성 증상의 모든 면을 분류할 수 있어야 한다. 일반적인 정의를 내리자면, 독성이란 모든 세포의 일반적인 대사체계 또는 특정한 대사체계에 선택적으로 끼치는 영향을 의미한다. 이러한 두 가지 영향은 모든 세포들이 공통적으로 가지고 있는 대사과정에 독성성분이 얼마나 민감하게 작용하는가라는 세포 간의 민감성(sensitivity) 차이와도 연결이 되어 있다.

독성이 대사체계 전반에 걸쳐 영향을 끼치든지 또는 선택적으로 영향을 미치는지와 상관 없이, 점차적으로 부상하고 있는 원칙은 스카우팅(scouting) 원칙이다. 스카우팅 또는 정찰이란 미리 현지에 파견되어 지형의 특징을 파악하는 정찰병의 의미이다. 리빙우드(Livingood)와 후(Hu) (32)는 약물의 독성성분이 배양조직에 끼치는 영향과 인체 및 토끼의 피부에 나타나는 자극 사이에 밀접한 상관관계가 있음을 밝혔다. 그들은 새로운 치료제가 인체에 자극을 유발하는 부작용을 파악하기 위해 실시되는 스카우팅 테스트에 배양세포를 활용하는 것에 대해 연구했다. 스카우팅 원리는 간단하다. 배양조직에 약물을 투여한 후 향후 인체나 유기체 전체의 예후가 좋지 못할 것으로 예상되면 신약을 폐기 처분하는 것이다. 이 물질이 국소부위에 작용하는 경우 해독은 이 경우에 해당되지 않는다. 스카우팅 원칙은 일종의 사전 검사로 유해한 합성물을 가장 안전하고 인도적 방법으로 제거할 수 있기 때문에, 대중의 안전을 위해 이 원칙을 채택하는 것에 반대하는 사람은 없을 것이다. 신체기관마다 약물에 대한 반응, 즉 민감성이 다르고 선택적으로 조직을 파괴시켜야 하는 종양학 분야에는 스카우팅 방법이 특히 적절하다. 특정 기관에서 적출한 조직이나 특정한 기능을 가진 조직을 이용하여 실험을 하는 스카우팅 방식이 매우 효과적이다.

월폴(Walpole) (33)은 선택적 독성(selective toxicity)의 세 가지 유형에 대해 다음과 같이 스카우팅 방식을 각각 실시할 수 있다고 밝히고 있다.

a) 인체 내의 정상세포나 신생 종양세포를 포함하는 모든 분열 중인 세포



b) 하나 이상의 조직에서 분화된 세포

c) 하나 이상의 조직에서 분화된 종양세포

현재 이용 가능한 항암제는 첫 번째 유형에 탁월한 효능, 즉 선택적 독성을 보였다. 그는 스퀴팅 방식을 활용하여, 항암제가 실험에 주로 이용되는 성장속도가 빠른 동물의 종양에는 억제효과가 높지만, 활발한 성장속도를 보이는 인간의 정상세포에까지 치명적인 수준의 용량을 투약해야 할 정도로 성장속도가 느린 인간의 고행암 세포의 성장을 억제하는 효과는 낮다는 사실을 발견하였다. 조직배양 기법은 이러한 문제를 정확하게 연구하는 데 효과적이며 이제 이러한 연구는 본격적 궤도에 올라서기 시작했다. 종양학자들은 스퀴팅 방식을 이용한 실험 및 연구를 통해 종양학에 적용가능한 치료지수를 개발해야 하는데, 이 때 배양조직이 우수한 실험재료로 이용될 수 있다.

최근 수 년간, 약리학, 종양학, 화학요법 분야에서 배양조직을 이용하는 기존의 방법 또는 향후 발전가능성이 있는 방법 등에 대한 논문과 보고서가 상당히 많이 발표되었으며 전망 또한 밝다. 따라서, 바이러스 연구의 필요성이 커짐에 따라, 시설과 인원적 제약이 해결된다면 상업적 차원에서 대대적인 변화가 일어날 가능성이 높다. 이러한 변화는 생물학적 검정시험을 비롯하여 심사screening, 집단검사batch-testing 분야에 혁신적 변화를 가져올 것이다.

러셀 교수와 버치 박사는 각종 검사와 약리학, 종양학 분야에 조직배양을 활용할 경우의 장점과 단점을 여러 논문과 보고서를 참고하여 밝히고 있다. 조직 배양의 장점은 이미 알려져 있거나 통제가 가능한 배지를 활용하여 한 종류의 세포 집단 또는 단세포를 연구할 수 있으며, 또한 직접 관찰이 가능하다는 것이다. 반면에 조직배양을 통해 도출한 결론이 실험용 배양조직에만 적용될 수 있다는 단점이 있다. 물론, 실험결과를 토대로 가설을 수립하여 신체 전체를 대상으로 실험할 때 참고할 수 있다. 조직배양 방식은 유기화학자들이 지속적으로 개발하는 엄청난 양의 새로운 합성물의 효능과 독성을 신속하게 검사할 때 유용하게 활용될 수 있다. 이 방식은 차등화된 독성효과, 특정조직의 민감성과 같은 문제에 대해 연구할 때 특히 더 유용하다. 조직배양은 종양치료를 위한 화학요법 분야에도 효과적으로 활용이 가능한데, 관련된 기생성 유기체parasitic organism를 직접적으로 증식시켜 실험할 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라, 새롭게 개발된 항생제의 효능을 체계적으로 검사할 때도 유용하다. 포유류는 각 신체 기관에 따라 화학물질에 대한



반응이 다르게 나타나는데, 이러한 부분도 해당 조직들의 세포를 배양하여 실험하면 정확한 결과를 얻을 수 있다. 조직배양을 통해 도출한 조직의 민감성에 대한 정량적 수치도, “특정 조직에 영향을 끼치기 위해 개발된 약제의 부작용을 미리 예측해 볼 수 있다는 점에서” 가치가 있다.

러셀 교수와 버치 박사는 국소피부제제가 피부를 자극한다고 판단되어 미국의학협회(American Medical Association)의 약학 및 화학 위원회(Council on Pharmacy and Chemistry)에서 승인이 거부된 사건에 대해 언급했다. 신약의 부작용이 조직배양을 통해 예견된 좋은 사례이다. 이 책에서 언급된 여러 논문과 보고서를 통해 증명된 사실은, 인도적 방식으로 검사방식을 대체하는 것은 공중보건에 전혀 해가 되지 않는다는 점이다. 조직배양의 장을 끝내면서 가장 적절한 결론이 아닐 수 없다.

## 미생물의 활용 The Uses of Micro-organisms

### 영양학 연구 및 분석 Nutritional Research and Assays

영양학 연구는 수적으로 상당히 많은 실험이 이루어지고 있으며 동물을 대상으로 영양학 연구를 실시할 때는 식이조절을 통해 다양한 형태의 결핍증상을 유도한다. 영양분 결핍 증상 중 가장 가벼운 형태는 체중이 줄거나 건강상태가 악화된 정도이다. 그 외에도 다발신경염(polyneuritis) 또는 구루병(rickets)과 같은 심각한 생리적 증상을 유도하기도 한다. 위의 과정은 동물을 이용한 실험이나 검사를 실시할 때 반드시 필요하다. 따라서, 미생물을 이용한 인도적 실험의 놀라운 발전은 관심의 대상이 되고 있다.

러셀 교수가 '1952년 운영 현황 LAB 설문조사 데이터'를 분석한 결과에 따르면, 비타민 효능검사에 3만 마리의 랫드가 이용되었고 영양학 연구에 35,000마리 이상의 랫드와 5,000마리 이상의 마우스가 희생된 것으로 드러났다. 가장 최근의 정보로는, 2007년 영국에서 영양학 연구에 10,816마리의 동물이 이용되었으며, 여기에 3,487마리의 랫드, 3,097마리의 마우스, 2,626마리의 어류가



포함되었다.

대부분의 영양학 연구는 많은 양을 적절한 비율로 섭취해야 하는 탄수화물, 지방, 단백질과 같이 크기가 큰 유기영양물을 제외하고 식사에 포함되어야 하는 특정 영양분을 집중적으로 다룬다. 그 중 아미노산과 비타민의 차이점에 대해 이야기해보자. 고등동물은 다양한 종류의 특정 아미노산을 필요로 하는데, 인간의 경우는 특정한 대사과정에 필요한 아미노산을 매일 수 그램 정도 섭취해야 한다. 반면, 비타민 B군은 하루에 밀리그램 또는 마이크로그램 정도가 필요하다. 비타민도 기능에 따라 구분하는데, 매우 세분화된 기능을 수행하는 지용성 비타민 A, D, E와 K와 대부분의 세포에 공통적인 기능을 수행하는 수용성 비타민 C와 B군으로 나눌 수 있다.

마지막으로 비타민을 유용성에 따라 분류해 보면, 비타민 B군은 미생물을 포함한 대부분의 유기체에 필수적인 반면, 비타민 A, D, E, K는 조류와 포유류와 같은 척추동물에만 필요하다. 따라서, 비타민 B군의 연구와 분석에서는 미생물을 이용하는 것이 대체로 자리를 굳혔지만, 지용성 비타민의 경우에는 물리적 또는 화학적 분석방식이 개발될 때까지 기다릴 수밖에 없었다. 다행스럽게도 비타민 A와 C의 검사를 인도적 방식으로 대체할 수 있는 다양한 물리적 또는 화학적 검사방식이 개발되었다. 그러나, 아직까지 비타민 D의 생물학적 검정시험을 인도적으로 대체할 수 있는 검사방식은 개발되지 못했다. 화학적 검사를 개발하고자 하는 시도가 계속되고 있지만, 비타민 D 복합체의 두 가지 형태를 구별하는 것이 어려우며 고등동물의 종에 따라 그 중요도가 다르기 때문에 난관에 봉착한 상태이다.

이제 영양학 연구 및 검사를 미생물로 대체하는 연구의 긍정적인 측면에 대해서 다루어보겠다. 미생물을 이용한 영양학 연구는 이미 1940년대에 자리를 잡았고, 일부 영역에서는 화학물질을 이용한 연구가 미생물 연구를 대체하기 시작했다. 그러나, 이 두 방식 모두 인도적 방법이기 때문에 발전과정에 대해 구체적으로 언급할 필요는 없을 것이다.

비타민 검사에 미생물을 이용하는 방식은 미생물의 영양학적 필요조건에 대한 학문적 연구에서 비롯되었다. 미생물학자들의 주된 관심사가 자연에 존재하는 많은 미생물을 실험실에서 배양하는 것이기 때문에, 그들은 원시적이며 정제되지 않은 물질로부터 영양분을 추출하는 데 큰 관심을 가져왔다. 1930년대에 이르러서야 조직배양 시 필요한 영양분의 정확한 요구량을 체계적으로 연구하기 시작했다. 이 시기에 동물의 영양에 대한 지식 또한 큰 폭으로 증대되면서 다양한 연구가 활발하게 이루어졌다. 미생물학과



동물영양학 분야가 연계하여 시너지 효과를 올리면서, 각각의 분야도 급속도로 발전하기 시작했다. 그 후 얼마 지나지 않아, 대부분의 동물들에게 필요한 비타민과 미생물의 성장요인이 동일하다는 사실이 밝혀졌다. 티아민, 리보플라빈, 피리독신, 콜린 등 일부 비타민은 동물 연구 중 발견되었고, 이노시톨, 바이오틴, 판토텐산, 피리독살, 피리독사민, P-아미노벤조익산 등과 같이 미생물을 연구하다 발견된 비타민도 있다. B군 비타민들은 모두 동물 성장에 필요하며, 많은 종류의 미생물의 성장에도 필요하다.

바이오틴, 판토텐산, 폴릭산, 이노시톨의 사례와 같이 대부분의 경우 미생물의 성장에 필요한 요인을 파악하기 전이라도 성장반응을 활용하여 성장요소의 양을 측정할 수 있는 측정기준을 수립할 수 있었다. 또한, 이러한 측정기준은 미생물을 자연에서 채취할 때 어느 정도의 농도가 필요한지를 결정짓는 요인이 된다. 이러한 연구과정 중에 미생물학적 검정시험 방식(microbiological assay methods)이 발전하게 된 것이다.

미생물 검사는 1919년에 제안되었으며 더 빠른 시간 내에 발전할 수 있었다. 그러나 미생물 검사의 제안이 실제 도입된 것은 그보다 훨씬 늦은 1939년이었다. 그럼에도 불구하고, 미생물 검사방식의 도입은 과학 및 기술의 역사상 가장 드라마틱한 사건으로 손꼽힌다. 그 이유는 명확하다. 과학과 기술이 밀접한 관계를 유지하면서 놀라운 속도로 발전해 왔기 때문이다. 각 분야는 상대 분야의 기초지식을 적극 활용하여 발전할 수 있었다. 이에 대한 보다 일반적 설명은 나중에 하기로 하겠다. 여기서는, 미생물과 같은 대체시스템의 기초적 연구를 대체기법으로 전환하는 것의 중요성에 대해서만 관심을 기울이고자 한다.

이제부터 미생물 기법에 대해서 이야기 해보자. 미생물 기법을 통해, 각 미생물 종마다 성장에 필요한 영양분의 양이 모두 다르다는 사실이 발견되었으며, 연구자와 검사자들은 이러한 결과를 이용하여 변별력이 높은 실험대상 모델에 대한 정보를 확보할 수 있다. 영양학적 검사에 주로 이용되는 미생물은 박테리아, 효모, 곰팡이, 섬모충(ciliate protozoa) 등이다.

연구자들의 다양한 경험과 추론 과정을 거쳐 여러 특별한 검사방법이 발전되었지만 그럼에도 불구하고, 미생물을 이용한 생물학적 검정시험에는 여전히 실질적 어려움이 존재한다. 첫째, 비타민 검사의 경우 실험에 쓰이는 유기체의 영양소 요구량 및 배양조건을 완벽하게 알고 있어야 한다. 그 다음, 대조 배지를 정확하게 결정하는 것이 매우 중요하다. 만약 기본 배지에 비타민을 제외하고 성장에 필요한 요소들은 모두 포함되어 있지만, 성장을 촉진시키는 요소가 부족하다면 문제에 봉착할 수 있다. 이러한 문제는 적절한



실험과정을 채택하면 해결될 수 있지만, 미생물의 최적성장에 필요한 필수조건의 완벽한 이해가 선행되어야 한다. 두 번째로 나타나는 주요 문제는 실험 조직으로부터 비타민을 추출하는 것이 어렵다는 것이다. 문제는 검사에 방해가 되는 다른 물질들을 제거한 상태로 실험대상인 유기체가 이용할 수 있는 형태의 비타민을 추출해야 하는 데 있다. 지금까지 언급된 문제들이 모두 해결된 후에도, 특히 분석에 방해가 되는 물질이 들어가는 경우, 고등동물에 대응시킬 경우 특이성specificity과 유사성parallelism을 찾는 데 어려움이 있다. 최종적으로 한 가지 문제점이 남는다. 대부분의 추출과 가수분해 과정들은 동물에 대입시켜 그 결과치를 추정하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 미생물학자들은 비타민의 총량만 계산할 수 있고 동물이 흡수할 수 있는 비타민은 계산해 내지 못하는 것은 아닌가라는 질문을 제기한다. 이 문제는 지금까지 논란이 되어 왔지만, 정답을 찾지 못한 아직까지도 요원해 보인다. 주어진 음식에 포함된 비타민의 총량이 인간이 일반적인 상황에서 음식을 조리하여 섭취하는 비타민의 양이 될 수 없는 것이 문제이다.

이 문제는 정확도가 낮은 데서 기인하며, 미생물을 이용한 생물학적 검정 모델의 단점이다. 그렇다고 해서 고등동물을 반드시 이용해야 하는 것은 아니다. 왜냐하면, 고등동물을 이용한다고 하여도 다른 측면에서 정확도가 부족하기 때문이다. 고등 척추동물은 종에 따라 영양소 요구량이 확연히 다르다. 또한, 대사과정의 특징이 서로 달라 비타민의 흡수량과 이용량도 종에 따라 차이가 난다. 따라서, 1959년 당시로서는 인간에 직접 실험하거나 가축을 대상으로 실험하는 것이 가장 정확했다. 생화학자들이 미생물에 대한 정보를 많이 알면 알수록, 미생물 검사 시 비타민이 인간에게 실제적으로 이용되는 조건을 보다 정확하게 재현해 낼 수 있기 때문이다.

‘미생물을 활용한 영양학 연구와 분석’의 장을 마무리하기에 앞서 한 가지 강조하고 싶은 것은, 영양학 연구에 있어 미생물을 이용하는 것 이외의 다른 대체기법들도 꾸준히 연구되고 활용되고 있다는 점이다. 최적의 영양이란 성장뿐만 아니라 번식에도 최고의 조건을 부여하는 것이다. 다시 말해 여성 또는 암컷의 경우, 태아의 생존능력을 최대한 증가시킬 수 있는 조건이다. 가임률의 변화를 실험하기 위해서, 처음에는 암컷의 영양분 결핍을 유도하여 새끼에 끼치는 영향을 조사하였다. 체내에서 비타민과 경쟁하여 기능을 억제함으로써 비타민이 부족할 때와 유사한 증상을 유발시키는 화학물질이 개발되어, 이를 이용한 대체방식이 가능하게 되었다.

예를 들어, 암컷의 먹이에 변화를 주지 않고 특정한 항대사성 물질antimetabolites을 달걀에 주입한 후, 비타민이 부족할 때 나타나는 증상을 추론해 낼 수 있다. 니코틴산, 비타민 B6, 폴라신 등이 이 방식으로 연구되었다. 항대사성 물질이 주입된 달걀은 닭의 연구에



이용되는 것은 물론, 다른 동물이나 인간의 연구에도 유용하게 활용될 수 있다. 정확도는 떨어지지만 높은 변별력을 지닌 실험모델인 것이다. 뿐만 아니라, 포유동물의 기관을 배양한 것도 가까운 시일 내에 영양학 연구에 쓰일 것으로 전망된다.

### 미생물을 활용한 기타 연구 *Other Uses of Microorganisms*

독성, 발열원pyrogens, 히스타민 검사를 제외한 항생제의 통상적 검사의 경우, 화학적 검사로 대체된 경우를 제외하고는 미생물을 사용하여 시험관에서 실험한다. 다른 환경에서 미생물을 이용하는 방식도 아직 연구 중이다. 일부 미생물은 스테로이드에 대사작용을 하므로 내분비계 연구에도 미생물이 활용될 수 있다. 영양학적 검사를 통해, 대사적 측면에서 미생물이 고등동물보다 인간에게 더 가까운 것으로 밝혀졌다. 이러한 예를 토대로 예측해 보면 미생물에게는 이 외에도 인간과 유사한 측면이 더 있을 수 있다.

다른 환경에서 미생물을 이용하는 방식도 아직 연구 중이다.

영양학적 검사를 통해, 대사적 측면에서 미생물이 고등동물보다 인간에게 더 가까운 것으로 밝혀졌다.

이러한 예를 토대로 예측해보면 미생물에게는 이 외에도 인간과 유사한 측면이 더 있을 수 있다.

이 장을 마무리하기에 앞서, 희망적인 이야기를 할까 한다. 생물학의 신생분야는 방사능이 살아 있는 조직에 끼치는 영향을 연구하는 방사선 생물학radiobiology이다. 원자력 시대의 산물인 방사선 생물학 분야에 인도적인 대체기법을 활용하는 것은 이미 대세로 자리 잡았다. 방사능 피해를 막을 수 있는 방안을 연구하는 데 배양조직은 물론 미생물도 활발하게 활용되고 있다. 향후 생물학의 새로운 분야인 방사선 생물학의 시대가 활짝 열리면, 과거의 경험을 거울삼아 대체기법이 가능한 빠른 시일 내에 적극적으로 채택되기를 희망한다.



# 제6장 REDUCTION

## 감소



# 제6장

## REDUCTION

1. 감소 방법과 전략적 대책 Reduction and Strategy in Research
2. 분산의 문제 The Problem of Variance
3. 실험설계 및 분석 The Design and Analysis of Experiments
4. 생리학적 분산의 원인 The Sources of Physiological Variance
5. 표현형의 통제 The Control of the Phenotype
6. 근린환경 중 행동환경의 통제 The Control of the Proximate, Especially Behavioural, Environment



## ■ 감소 방법과 전략적 대책 Reduction and Strategy in Research

실험동물의 대체 방안이 가장 바람직하기는 하지만, 한 가지 가능성에만 집중하는 것은 적절한 방법이 아니다. 또한, 대체의 과정은 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라, 실험생물학(experimental biology)의 모든 측면을 다루는 것은 불가능하다. 한편, 고통완화 또는 환경개선 방안(refinement)도 발전을 거듭하여 동물을 이용하는 절차들은 인도적으로 실시되고 있지만, 일부 연구분야에서는 완전한 성공을 거두기까지 준비기간이 필요하다. 그러나 한 번의 실험에서 많은 수의 동물을 이용하는 경우라면, 그 실험방법이 아무리 인도적이라고 하여도 동물의 수를 감소시켜야 한다는 것이 우리의 생각이다. 위의 모든 근거를 토대로 판단할 때, 감소(reduction) 방안은 매우 중요하다. 실험방법의 발전 중에서 효율성 측면에서 가장 우수하고 자명하며 보편적으로 적용될 수 있는 것이 감소이다.

실험에 이용되는 동물의 수를 줄일 수 있는 일반적인 한 가지 방법은 연구의 전 과정을 기획하고 실행하는 단계에서 적절한 전략을 선택하는 것이다. 연구자 대부분은 자신의 성향에 맞는 전략을 한번 선택하면 그대로 추진하는 경향이 있으며, 한번 선택한 전략에 대해서 별 의문을 가지지 않는다. 그러나, '감소 방안'에 대해서는 가끔 의문을 가질 필요가 있으며, 이 문제에 대해서는 과학 역사상 활발한 의견이 제시되어 왔다.

---

한 번의 실험에서 많은 수의 동물을 이용하는 경우,

아무리 인도적인 절차를 적용한다고 해도 가능한 동물의 사용 수를 줄일 수 있는 실험 방법을 강구해야 한다.

---

흠(Hume) 박사는 이러한 주요 관점에 대해 검색 관련 논문(in a searching essay)에 자세히 기술하고 있다(34, 35). 감소 방안을 어떻게 찾을 것인가가 핵심인데, 가장 흔히 사용되는 시행착오를 통한 개선을 택할 것인지 아니면 연역적 연구방법을 활용할 것인지를 정해야 한다. 연역적 연구방법이란 정교하고 완벽한 가정을 토대로 추론하거나 직감에 따라 행동하는 것이다. 사실 이 두 가지는 유사하다. 직감이란



실험을 끝낼 때까지는 결과를 알 수 없는 가정을 토대로 하기 때문이다. 이 방식에서는 감소 방안을 찾는 시점이 실험 이전인지 아니면 이후인지를 중요하게 여기지 않는다. 연역적 연구방법의 핵심은 무작위로 선택하여 실험하는 것이 아니라 과거에 실시되었던 많은 연구의 결과를 토대로 가정을 세운 후 특정실험방법을 선택하는 것이다. 만약 모든 과학적 연구가 시행착오의 과정을 통해서 이루어져 왔다면, 인도적 동물실험을 위한 우리의 노력은 첫 걸음마를 떼 것에 불과할 것이다. 관련 규정에 따라 연구가 수행되는 경우에는 실험동물의 사용에 대한 기준이 마련되어 있으므로 불필요한 동물의 수가 거의 없으며, 흠박사는 이를 통찰력 연구insighted research라고 표현했다.

---

실험방법의 발전 단계 중 효율성 측면에서 가장 우수하고 자명하며 보편적으로 적용될 수 있는 것이 감소방안이다.

---

흠 박사는 실제로 사용되는 두 가지 주요 방법을 일련의 사례로 소개하였는데, 그 중 시행착오 방법trial and error methods이 과학계에서 상당히 빠르게 대규모의 형태로 활용되고 있는 것으로 그의 설명이 사실임을 입증하고 있다. 특히, 약리학pharmacology이나 화학요법chemotherapy 분야에서 이 방식이 많이 활용되고 있는데, 이것은 연구프로젝트 기관의 조직 변경, 과학자의 수적 증가, 팀원들의 성향, 그리고 무엇보다도 유기화학 분야의 기술발달로 인한 결과라고 볼 수 있다. 매일 수많은 신규 화학물질들이 개발되고 항암제를 비롯한 결핵치료제, 신경안정제와 같은 주요 약물에 대한 대부분의 연구는 유기화학자들의 안전성 시험에 이용한다. 새로운 화학물질을 개발할 때마다 대규모로, 그리고 무작위로 이루어진다. 그러나 영국의 경우는 생물학 실험실에서 얻은 피드백을 토대로 화학자들의 실험을 통제하고 있는데, 그것은 바람직한 방향이다. 영국 제약회사의 신약개발 성공률을 높이는 데는 이러한 정책이 기여했을 것이다. 그렇지만 모든 국가들이 영국의 정책을 따르지는 않는 것이 현실이다.

그러나 흠 박사의 입장은 시행착오 방식을 반대하는 것이며, 이에 대해 반대한 양의 논문을 발표했고 그 내용도 설득력이 높다. 따라서, 이 책에서는 굳이 설명하지 않으려고 한다. 물론 그의 주장이 과장된 면도 있을 수 있다. 시행착오 방식으로 성과를 이루었다



하더라도, 직접적인 지침이 제공되는 기초연구 대신에 무작위 실험에 노력을 투자했기 때문에 성과를 빨리 올린 것이라고 단정하기 어려울 것이다. 오히려 여러 사회학적 요인 때문에 과도하게 시행착오 방식을 선택했을 가능성이 높다. 즉, 다양한 연구기술로 무장한 역량 있는 일반 연구원이 넘쳐나는 반면 그들의 연구를 이끌어 줄 기초 과학자들은 부족한 데서 원인을 찾을 수 있을 것이다.

감소 방안을 어떻게 찾는냐가 핵심인데,

대규모 수행 방법을 통해 시행착오 방식의 선택 또는 연역적 연구방법을 활용할 것인지를 정해야 한다.

그러나, '감소를 위한 전략적 방안'을 마무리하면서 두 가지 일반적인 결론과 함께 한 가지 제안을 하고자 한다. 우선, 지침을 토대로 하는 연구guided research와 무작위 연구random research의 성과를 직접적으로 비교할 수 있다면 전자가 더 효율적으로 보인다. 둘째, 두 가지 방법 모두 활용이 가능하다 하더라도, 인도적 여부, 비용, 노력을 감안한다면 시행착오 방식을 대체방식으로 바꾸거나 실험대상을 바꾸는 것이 바람직하다. 마지막으로 어린이도 풀 수 있을 것 같은 간단한 기술적 문제는 시행착오 방식도 효과가 높다는 점을 밝히고자 한다. 즉, 8~12살 정도의 어린이도 해결할 수 있을 만한 간단한 문제는 시행착오 방식이 효과적이며, 12~15살 정도가 해결할 수 있는 난이도의 문제는 지침을 토대로 하는 연구가 효과적이다.

관련 지침에 의해 수행되는 연구와 무작위 연구의 성과를 직접적으로 비교할 수 있다면 전자가 더 효율적으로 보인다.

또한 인도적 여부, 비용, 노력을 감안한다면 시행착오 방식을 대체방식으로 바꾸거나 실험대상을 바꾸는 것이 바람직하다.

물론, 시행착오 방식이 항상 어리석고 비합리적이라는 의미는 아니다. 다만, 두 가지 중 하나를 선택할 때는 목적을 세심하게 살피고 판단해야 한다는 점을 유의해야 한다. 흠 박사 스스로도 강조했듯이, 새로운 화합물을 개발하여 그 효능을 실험하는 것과 이미 알고



있는 물질을 통상적으로 실험하는 것은 다르다. 관련 지침에 의해 수행하는 연구방식은 연구분야에서 이미 자리를 잡아가고 있으며, 제5장에서 설명한 인증된 대체방안의 방식과 동일한 맥락이라볼 수 있다.

## ■ 분산의 문제 The Problem of Variance

이전 장에서 설명한 것은 주로 연구, 특히 응용연구에 관한 것이었다. 이제부터, 간단하지만 생물학적 검정시험에서 더욱 중요한 문제를 다룰 것이다. 그것은 생물학 분야의 핵심주제라 할 수 있는데, 이 문제는 다양한 동물 종에서 기인하는 서로 다른 특징에서 볼 수 있다.

만약 한 종에 속한 모든 동물이 동일한 특징을 지닌다면, 생물학적 검정시험을 실시할 때 여러 마리의 동물을 실험에 이용할 필요가 없을 것이다. 한 마리만 실험해도 용량-반응곡선Dose-response curve을 정확하게 작성할 수 있기 때문이다. 또한, 새로운 약제의 효능을 파악할 때도 정확한 예측이 가능할 것이다. 뿐만 아니라, 표준물standard preparation을 준비하여 효능을 비교하여도 아무런 문제가 없을 것이다.

그러나, 실제로는 모든 개별적 동물이 서로 다른 반응을 보인다. 따라서, 어느 특정한 종이 주어진 약물의 정해진 복용량에 보이는 반응을 단순하게 측정할 수 없다. 그렇다면 어떠한 방식을 취해야 하는가? 언제라도 표본 채취가 가능한 대상 중에서 하나를 선택해야 한다. 그리고 동일한 표본 내에서도 반응이 각각 다르게 나타날 수 있다는 사실을 고려하여 여러 번에 걸쳐 실험한 후 선택된 표본의 평균값을 도출하여 다른 동물 종이 보여줄 반응을 추정하는 것도 한 방법이다. 그러나, 표본의 크기, 동일 종 내에서도 개별 개체에 따라 다른 반응을 보이는 약물에 대한 반응의 정도, 그리고 실험의 설계 및 분석의 효율성에 따라 정확도에 차이가 나기 때문에 이 추정치는 상대적으로 정확할 뿐이다. 바로 이러한 이유 때문에 통계가 발전하게 되었다. 정보의 기술적 활용이 시작된 것이다. 커뮤니케이션 이론의 용어로 설명하자면, 소통의 경로channel of communication가 복잡하다. 즉, 외부 요인에 의해 정확한 결론을 도출하는 것이 힘들다고 말할 수 있다.



실제로 생물학적 검정시험의 성공 여부는 실험결과를 얼마나 정확하게 재현할 수 있느냐에 달려있다. 생물학적 검정시험에서 주로 쓰이는 모수parameter는 용량-반응곡선의 기울기이며, 이는 분포에 영향을 주는 편차deviational와 잔차분산<sup>1</sup>residual variance, 그리고 기울기 자체의 계수coefficient에 달려 있다. 동물의 생리학적 반응의 변이는 이러한 요인들 뿐 만아니라 민감도sensitivity, 혹은 반응변수의 절대값absolute level 에도 영향을 끼친다.

상대적인 정확성은 표본의 크기, 동일 종 내에서도 각 개체에 따라 다른 반응을 보이는 약물에 대한 반응의 정도,  
그리고 실험의 설계 및 분석의 효율성에 따라 결정된다.

실제 적용시킬 수 있는 주요 해결책은 표준절차지침을 마련하는 것이다. 각기 다른 실험실과 실험시간에서 수행된 동물개체군 간의 차이는 한 장소에서 준비한 아주 유사한 환경의 표준개체를 비교대상과 주기적으로 비교함으로써 해결할 수 있다. 이때 비교대상이 처해 있는 환경도 세밀하게 비교되어야 한다. 약제의 효능은 절대치로 측정되는 것이 아니라, 표준약제와 효능이 아직 파악되지 않은 비교대상의 약제를 비교하여 측정된다. 그러나, 연구원들은 표준약제를 투여한 동물과 비교약제를 투여한 동물 간에 큰 차이가 나는 경우를 경험할 것이며, 그 이후에 계속적으로 실시된 실험결과에서도 큰 폭의 차이가 나는 것을 발견하게 될 것이다. LAB이 실시한 설문조사 중 “귀하가 실험에 이용한 동물이 실험의 필요조건에 부합하지 못한 부분은 무엇입니까?”라는 항목에 한 실험실의 연구원은 다음과 같이 응답했다. “실험동물의 문제점은 동일한 종에서도 각 개체에 따라 결과가 다르게 나타난다는 점이며 그것은 거의 모든 종에 해당된다. 이 문제를 해결하는 방법은 많은 수의 동물을 이용하거나 용량을 다양하게 투여하여 실험하는 것이다.” 이 실험실의 경험은 어디에나 일어나는 전형적인 사례일 뿐이다.

개체차이의 문제를 역사적으로 살펴보면, 서로 시기가 겹쳐지는 세 단계로 나누어진다. 우선은 표본의 크기가 추정치의 정확성을 좌우하는 핵심요인으로 간주되었던 시기가 있었다. 실험을 할 때 제일 먼저 확인하는 것이 표본의 크기이며, 다른 모든 조건이 충족되지 못하더라도 표본의 크기만은 반드시 일치시켰다. 그 결과, 실험생물학의 초기단계에서는 실험을 할 때마다 매우 많은 수의 동물들이 요구되었음에도 불구하고 실험에 이용되는 동물의 수가 실험결과와 정확도와 어떠한 관련이 있는지 아무도 알지 못했다. ‘경험이 많은’ 연구원들조차도 예측과 너무나 차이가 나는 결과를 접하고 고개를 젓는 일이 한 두 번이 아니었다. 그들은 그저 연구원들이 실험과정을

1. 잔차분산 residual variance  
데이터를 분산중 어떤 체계적 요인(예를 들면 처리 treatments)에 의한 효과를 제거하고 남은 부분.

출처 : 농업용어사전, 농촌진흥청



제대로 통제하지 못한 결과라고 비난하는 데 그쳤다. 한 마디로, 부정확의 시대였다. 연구 또는 통상적인 검정시험 모두 양적으로 무한경쟁 실험을 하는 시기였다. 그 결과 끊임없이 계속되는 실험 속에서 엄청난 수의 동물들이 희생될 수밖에 없었다.

두 번째 단계는 피셔Fisher를 비롯한 여러 과학자들이 수립한 통계적 설계 및 분석 같은 현대식 기법 덕분에 실험방법이 발전하는 시기였다. 이 단계에서는 용량의 차이뿐만 아니라 다른 변수들에 따른 영향까지 크게 인정하였다. 또한 획기적인 실험설계 덕분에 예상된 추정치를 도출하는 데 방해가 되는 변수의 대부분을 제거할 수 있게 되었다. 효율적인 실험설계를 채택함으로써, 분산에 영향을 줄 것으로 예측되는 요인들을 블럭화하는 것은 잔차오차residual error, 즉 설명되지 않는 오차를 줄이는 결과가 된다. 그 중에서도 가장 중요한 것은, 이미 정해진 잔차분산에서 실험에 이용된 동물의 수와 추정치의 정확성 사이의 관계, 즉 상관관계를 정확하게 예측할 수 있다는 점이다. 아무리 통계적 지식을 정교하게 활용한다고 해도, 통계만으로는 정확한 결과치를 도출할 수 없다. 따라서 일정 수의 동물은 여전히 실험에 이용되어야 하며 많은 수의 동물이 필요한 경우도 있을 수 있다. 그러나 이제는 적어도 실험에 필요한 최소한의 동물의 수는 명시될 수 있다.

세 번째 단계는 아직 걸음마 단계이며 체계적 단계로서 1950년대의 산물이다. 이 단계는 두 번째 단계와 연속선상에 있으며, 통제가 가능한 분산과 그렇지 않은 분산을 적절하게 분리해 내는 통계적 방법을 필요로 한다. 그러나, 세 번째 단계가 두 번째와 다른 점은 그것을 결정하는 요인들을 통제함으로써 개체의 차이를 통제하여 분산을 줄이는 데 있다.

---

획기적인 실험설계 덕분에 예상된 추정치를 도출하는 데 방해가 되는 분산의 대부분을 제거할 수 있게 되었다

---

가장 두드러지는 특징은 동물들의 반응이 보다 균일하게 나타날 수 있도록 조치를 취할 수 있다는 점이다. 분산을 통제한다는 개념에 대해서는 좀 더 자세히 설명할 필요가 있다. 각 개체 사이에 나타나는 생리학적 변수를 상당한 수준까지 통제할 수 있게 된 후, 통계학적 방법을 채택하여 통제수준을 더욱 완벽하게 끌어 올려 생물학적 검정시험에 필요한 동물의 수를 최대한 줄일 수 있게 되었다. 즉 역함수inverse function를 활용하여 잔차 혹은 통제 불가능한 분산과 실험에 필요한 동물의 수를 추정하는 것이다. 이제부터 분산을 통제하는 방법에 대해 다룰 것이다.



## ■ 실험설계 및 분석 The Design and Analysis of Experiments

통계학은 역사적으로 생물학 연구, 보험, 도박과 관련이 깊다. 생물학과의 관계는 20세기 초에 갈톤Galton과 피어슨Pearson이라는 과학자로부터 시작했다. 20세기 초반에 농사시험연구와 유전학 및 진화론의 발전, 그리고 생명보험 분야가 발전하면서 통계학도 함께 발전하기 시작했다. 통계학 발전에 큰 기여를 한 사람은 영국의 할데인Haldane을 비롯하여 미국의 롯카 라이트Lotka Wright와 세웰 라이트Sewall Wright 등이다. 그러나, 실험생물학에 통계학을 이용하는 데 가장 큰 기여를 한 사람은 피셔이다 (36).

---

개별 동물 사이에 나타나는 생리학적 차이를 상당한 수준까지 통제할 수 있게 된 후, 통계학적 방법을 채택하여 통제 수준을 더욱 완벽하게 끌어 올려 생물학적 검정시험에 필요한 동물의 수를 최대한 줄일 수 있게 되었다.

---

오늘날, 통계학 방법론은 상당한 발전을 이룩했고 규모도 큰 학문으로 그 중 많은 부분은 실험방법에 관한 것이다. 개덤Gaddum과 트레반Trevan과 같은 선구적 과학자들 덕분에 생물학적 검정시험에 통계학이 도입되기 시작했다. 1930년대에 이르러 생물학적 검정시험에 쓰이는 통계학이 빠른 속도로 발전했다. 의학연구위원회Medical Research Council는 생물학적 검정시험에 통계학을 체계적으로 적용하도록 앞장 선 기관이다. 대규모 생물학적 검정시험의 경우, 통계학적 방법이 주로 이용된다. 그러나 일부 검사에서는 통계학이 제대로 활용되지 못했는데, 훔은 피셔의 2x2 표 정확도 검정법two-by-two test을 그 예로 들었다 (34, 35). 민간 기업체에게는 시간이 곧 돈이다. 따라서, 실험을 설계하고 계산하는 과정이 단순해야 한다. 컴퓨터가 보급되고 비용도 저렴해짐에 따라 통계학이 더욱 빠르게 발전할 수 있었다.

통계적 방법을 적절하게 이용하면 그 만큼 실험에 사용해야 하는 동물의 수도 감소할 수 있다. 훔은 인도적 견지에서 이 문제에 대해 자세하게 다루고 있지만 (34, 35, 37), 이 책에서는 몇 가지 핵심적 부분만 다루도록 하겠다.



---

통계적 방법을 적절하게 이용하면 그만큼 실험에 사용해야 하는 동물의 수도 감소할 수 있다.

---

예측되었던 실험결과와 관찰을 놓치는 사고는 실험과정 중 종종 발생한다. 잘못된 실험 설계의 결과로 인해 이러한 상황에 대처해야 하는 경우, 통계분석가들은 당황하고 화를 내기까지 한다. 물론, 통상적인 실험방법이 정해진 경우에는 이러한 경우가 없을 것이지만, 특이한 상황이 발생할 가능성이 있는 경우를 대비하여 연구자는 실험을 시작하기 전에 통계분석가와 상의를 하는 것이 기본원칙이다. 피할 수 없는 상황을 이해하지만, 일부 통계분석가들은 계획된 관찰을 반드시 실시할 것을 요구한다. 이를 해결할 수 있는 방법은 더 많은 동물을 희생시켜 실험을 반복하는 것이다. 그러나 동물실험의 반복 대신 분석기법을 도입하여 놓친 실험을 보완함으로써, 통계학은 '감소 방안'을 유도할 수 있는 중요한 학문이다.

이미 언급한 바 있지만, 통계학적 방법은 '감소방안'을 지향하는 데 빠져서는 안될 핵심적 요소이다. 통계를 통해, 실험에 필요한 최소한의 동물의 수를 정한다. 그렇지만 그 내용은 신뢰할 수 있는 것이어야 한다. 임의적이지만 적용가능한 유의수준(significance level)을 토대로 정확한 결론을 도출하는 데 필요한 만큼의 동물 수가 실험에 이용되는지를 판단하는 것이다. 통계학을 적절히 활용하면, 불필요한 실험의 반복을 사전에 막을 수 있다. 변수가 흔하게 발생하는 생물학적 검정시험의 경우에도, 유의적 결론에 도달하는 데 필요한 동물의 수를 정할 수 있다. 경험에 근거하여 적절한 실험동물의 수를 사전에 정확하게 예측하는 것에는 한계가 있다. 특히, 생물학적 검정시험의 경우, 동물 종에 따라 예기치 못한 편차가 발생하여 실험을 반복적으로 실시해야 하는 경우가 발생하기 때문이다.

---

통계학적 방법은 "감소 방안"을 지향하는 데 빠져서는 안될 핵심적 요소이다. 통계를 통해 실험에 필요한 최소한의 동물 수를 정한다.

---

이때 유용하게 활용할 수 있는 것이 순차적 분석(sequential analysis)이다. 순차적 분석방법은 비생물학 분야의 품질관리에서 발전되었다.



이 방법은 실험을 단계별로 실시하는 것이다.

“각 단계마다 해당 실험의 종료 여부를 그 이전 단계 실험의 결과에 따라 정한다. 순차적 방식의 장점은, 실험 절차의 숫자를 사전에 정해 둔 다른 실험방식과 비교해 볼 때, 수행해야 하는 실험 절차의 수가 현격하게 적은데도 불구하고 비교적 정확한 결과를 얻는다는 점이다.” (38)

실험방법의 수를 사전에 정해놓는 방식이 실제보다 더 많은 폭의 잔차 변이(residual variation)를 초래한다는 사실이 증명된 셈이다.

일반적으로 독성시험의 경우에는 과학자들의 의견이 저마다 달라서 통계학적 방식의 활용이 늦어지고 있다. 생물학적 검정시험의 경우 균일한 반응에 따른 결과가 필요하다는 생각에 이견이 없는 반면, 독성시험의 경우에는 가능한 한 다양한 종류의 대규모 동물을 많은 수로 사용하여 반응을 살펴야 한다는 생각이 일반적이다. 이는 의사가 치료해야 하는 환자들이 주어진 독성성분에 대해 각기 다른 넓은 범위의 민감도를 보인다는 점에 기인한다. 이러한 개체 간의 변이를 통제하기 힘들기 때문에, 실험동물들 간의 각기 다른 반응도 통제가 불가능할 것이라는 막연한 생각들을 가지고 있는 것이다. 이러한 생각은 정확도를 주장하는 의견과 맥을 같이 하며, 모집단의 특성까지 반영한 결과이다.

---

독성시험의 경우, 과학자들의 의견이 저마다 달라서 통계학적 방식의 활용이 늦어지고 있다.

---

이러한 주제에 대해 흠 박사는 다음과 같이 간결하고 명확하게 자신의 의견을 밝혔다 (35).

“귀납적 추론의 근거를 폭넓게 하기 위해서는 다양한 종류(heterogenous)의 동물들을 실험해야 한다는 생각 자체에 오류가 있다. 그것은 마치 한주머니의 은 동전의 가치를 헤아릴 때 동전마다 가치가 다르다는 사실을 무시하고 동전의 수만 세는 것과 같다. 바람직한 실험방법은 많은 수의 순수계통을 이용하거나 교잡종 1세대 F1 crossbreed 등 동질(homogenous)의 다른 표본을 여러 개 이용하여 표본 간의 차이를 관찰하는 것이다. 그렇지 않다면, 연구자는 측정 오류를 범할 가능성이 있기 때문이다.”



가장실험동물의 경우, 다양한 종류의 순수 계통이 확립되어 있으며, 이들 계통 간의 생리학적 차이는 잘 알려져 있다. 다른 계통과는 독성 민감도와 같은 생리학적 특징에서 확연한 차이를 보이면서 단일 계통 내에서는 균일한 반응을 보이는 동물군을 얻기 위해 반드시 선택적 번식만 해야 하는 것은 아니다.

귀납적 추론의 근거를 폭넓게 하기 위해서는 다양한 종류의 동물들을 실험해야 한다는 생각 자체에 오류가 있다.

바람직한 실험방법은 많은 수의 순수계통을 이용하거나,

교잡종 1세대 등 동질의 다른 표본을 여러 개 이용하여 표본 간의 차이를 관찰하는 것이다.

위의 예는 생물학자의 관점에서 통계 방법이 실천해야 할 가장 근본적 원칙을 이끌어낸다. 즉, 생물학적 검정시험을 비롯한 기타 실험에서 가장 기본적인 통계적 방법인 분산 분석은 분산의 특성대로 나누어서 살펴보는 방법으로, 모든 실험들은 이러한 원리를 근거로 실험된다. 각요인들에 의한 분산은 잔차, 즉 설명되지 않는 분산과 비교해 보고 가능한 분산을 최소화 해야 한다. 개별 동물의 차이점을 분류만 하여도 생물학적 검정시험의 정확도는 증가하며, 한배 새끼들(litters) 간의 차이점을 제거하면 검사의 정확도는 더욱 올라간다. 실험 시, 피험자를 조건들에 편향되지 않게 배정하거나, 조건 순서의 편향되지 않은 순열의 절차방법인 무작위 추출을 철저히 적용시키는 것도 필요하다. 인간의 두뇌는 무작위 순서(random series)에 익숙하지 않기 때문에 무작위 추출을 엄격하게 적용하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 무작위(randomness)는 상대적인 개념으로, 연구대상과의 체계적인 관련성을 철저히 배제하여 표본을 추출하는 것을 의미한다. 무작위 추출을 철저히 적용시키면 한 가지 변동 요인 만을 체계적으로 관찰할 수 있다. 또한, 잔여분산을 알 수 없는 변수의 탓으로 돌릴 수 있기 때문에 한 가지 변동요인을 집중적으로 연구할 수 있다. 이 때, 잔차를 최소화시키면 시킬수록, 실험을 통해 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 여기서 핵심은 결과의 해석에 대한 오류를 초래하는 방해물들을 제거하는 것이다.

1. 잔차 residual

종속변수와 독립변수와의 관계를 밝히는 통계모형에서 모형에 의하여 추정된 종속변수의 값과 실제 관찰된 종속변수 값과의 차이이다. 이 차이는 오차 error 로도 해석되며, 통계모형이 설명하지 못하는 불확실성 정보이다

출처 : 교육평가용어사전, 한국교육평가학회, 2004.5.31. 학지사



분산 분석은 분산의 특성대로 나누어 살펴보는 방법으로 모든 실험은 이러한 원리를 기함황본으로 설계된다

개별 개체들과 한배 새끼들 사이에 나타나는 차이점을 고려할 때 분산을 직접적으로 통제할 필요는 없지만 실험결과에 영향을 줄 수 있는 요인들은 통제되어야 한다. 그러나 통계적 방법을 적용한다고 해서 분산을 줄이는 요소들을 의도적으로 통제해야 할 필요까지 없어지는 것은 아니다. 예를 들어, 원하지 않는 분산의 원인을 완전히 제거할 수 있다면, 잔차분산이 줄어들 것이고, 결과의 정확도는 증가할 것이며, 그 결과 실험에 필요한 동물의 수가 감소할 것이다.

연구 대상의 모든 동물이 가지고 있는 전면적인 변수를 조정하는 간단한 방법으로, 실제적으로 아무런 정보도 가지고 있지 않은 많은 수의 변수를 통제할 수 있다. 예를 들어, 대상동물을 케이지에 따라 분류하여 '거주'에 따른 분산요인을 분류하도록 실험을 설계할 수 있다. 이것은 설계차원의 문제이지만, 분석을 통해 체계화시킨다면 완벽한 통제를 가능하게 하는 실마리를 찾을 수 있을 것이다. 간단한 예를 들어 보자면, 케이지의 조건을 체계적으로 차등화시킬 수 있다. 빛 또는 열의 근원지로부터의 거리를 기준으로 케이지의 조건을 다르게 할 수 있는 것이다.

여기에 통계적 방법을 적용시키면 동물 개체들 간에 나타나는 차이 또는 동일한 동물이라도 시기를 다르게 함으로써 실험조건을 효과적으로 통제할 수 있다. 즉 통제를 통해 변이를 줄임으로써 균일성을 증대시킬 수 있는 것이다. 또는, 독성시험의 경우 실험의 목적에 따라 변이를 통제할 수 있다. 둘 중 어느 경우라도, 통계적 방법은 유용하게 이용될 것이다. 그러나 다른 사례로, 생리학적 반응결과에서 분산을 초래하는 요인들을 제대로 이해하지 못하거나 통제하지 못한다면 통계적 방법도 소용이 없을 것이다. 따라서, 이제부터 변이를 적절하게 통제할 수 있는 최신 방안에 대해서 다루어 보겠다.

통계적 방법을 적용시키면 동물들간에 나타나는 변이들variations 또는  
동일한 동물이라도 시간을 다르게 함으로써 실험조건을 효과적으로 통제할 수 있다.



## 생리학적 분산의 원인 The Sources of Physiological Variance

동일한 종에서 개체 간의 분산을 정량적인 방법을 활용하여 구체적으로 연구한 과학자는 네덜란드의 식물학자인 빌헬름 요한슨 Wilhelm Johannsen이다. 그는 ‘유전자gene’, ‘유전형genotype’, ‘표현형phenotype’이란 용어를 만들었다. 자가수정하는 콩을 대상으로 20세기 초에 발표한 연구논문에서 그는 유전적으로 동일한 한 세대 내에서 발생하는 개체의 차이는 유전되는 것이 아니라고 밝히고 있다. 1930년대에 이르러, 선천적인 유전nature과 후천적인 환경nurture의 관계에 대한 원리가 상당 부분 연구되었다. 한 종의 개별 개체에서 나타나는 직접 관찰이 가능한 외적 형질 표현형의 개체차이는 이전 세대에서 물려 받은 유전형과 발육환경의 상호작용에서 기인한다. 포유동물의 경우, 발육환경의 차이는 모체의 자궁 내에서부터 시작된다. 즉 유전과 환경의 유기적인 상호작용이 표현형을 결정 짓는 것이다.

동일종의 개체 간 변이에 대한 초기연구 시절에는 일단 형성되면 비교적 안정적인 형태적 구조morphological structure를 집중적으로 연구했으며, 표현형의 개념이 이에 해당한다. 그러나, 생물학적 검증시험에서는 비교적 단기간 지속되는 생리학적 반응에 대해서 주로 연구한다. 생리학적 차이를 쉽게 설명하기 위해 연출형dramatype이라는 제3의 개념이 만들어졌다.

유전형의 차이는 초기의 발육환경과 상호작용하여 개별개체 간의 표현형의 차이를 결정짓는다. 두 개체가 서로 다른 표현형을 보이는 것은 유전과 환경의 차이에서 비롯된 것이다.

표현형의 변이란 세포활동의 최종 산물로, 일단 형성되면 잘 변하지 않는 비교적 안정된 형태적 구조로 나타난다. 이 사례로는 유전과 환경의 변화로 인해 동물의 두개골, 털 색깔, 또는 영구적인 생리학적 특징이 결정되는 것 등이 있다. 반면에, 연출형은 동물의 수명과 비교하면 상대적으로 짧은 기간 동안 나타나는 일회성 생리학적 반응을 의미한다. 그 예로 호르몬을 투여한 조직에 나타나는 반응과 독성성분에 대한 신체의 반응 등을 들 수 있다. 이러한 반응의 차이를 초래하는 것은 두 가지 요인이다. 첫 번째는 표현형 그 자체이다. 두 번째는 반응을 초래한 근린환경proximate environment 또는 인접환경immediate environment이다. 따라서, 연출형의 변이는 이보다 안정적인 표현형과 환경이 작용하여 표출되는 산물이라 할 수 있다.

만약 생리학적 분산을 완벽하게 통제하고자 한다면, 다음과 같은 절차를 거쳐야 할 것이다. 첫째, 표현형을 통제해야 한다. 이를



위해서는 교배방식을 목적에 맞게 조정하고 동물이 사육되는 환경을 통제해야 한다. 둘째, 동물의 실험이 수행되는 환경 조건 또한 통제해야 한다.

근린환경과 발육환경의 구분을 지나치게 강조할 필요는 없지만, 간략하게나마 구분하는 것이 표현형과 연출형을 이해하는 데 도움이 될 것이다. 간단히 말해, 표현형은 성 성숙 시 결정된다고 이해하면 된다. 또는 표현형이 세포활동의 최종산물로 일단 형성되면 잘 변하지 않는 비교적 안정된 형태적 구조인 반면, 연출형은 계속해서 변화할 수 있는 기관 및 조직의 잠재력, 세포 활동의 비율 등을 의미한다. 물론, 근린환경과 발육환경 사이에 겹치는 부분도 있을 것이다. 성적으로 아직 성숙되지 못한 동물에게 영향을 끼치는 세 가지 요인에 대해 연구하는 것도 근린 및 발육 환경을 구분하는 데 도움이 될 것이다. 뼈의 성장과 같이 비교적 안정적인 변화들도 환경적 요인에 의해 영향을 받으며, 이러한 변화는 성성숙도(sexual maturity)가 완료된 이후에도 지속된다. 그러나, 원칙적으로 발육환경은 유전적 요인들과 직접적으로 상호작용을 하는 반면, 근린환경은 유전형 및 표현형 모두에 영향을 끼친다.

뿐만 아니라, 환경적인 요인들 내에서도 구분이 가능하다. 중추신경계(central nervous system)와 그밖의 신경계로 정보를 전달하는 데 영향을 끼치는 환경적인 요인들을 구분할 수 있다. 후자는 가끔 “신체적(physical)” 요인으로 오해를 받기도 한다. 사실 모든 요소들은 신체적 요인으로 볼 수 있다. 그렇다고 해서, ‘정보의 흐름’과 ‘에너지의 흐름’으로 정확하게 구분하는 것도 불가능하다. 비타민과 독성도 기술적 측면에서 보면, 정보를 전달하는 매체이기 때문이다. 좁은 의미로 “신체적”이란 용어가 흔하게 쓰이는 것이 현실이기 때문에, “신체적”이란 용어는 유지하되 ‘물리적 요인’과 ‘행동적 요인’으로 구분하는 것이 바람직할 것이다.

이제 표현형에 대한 우리의 조사내용부터 다루어보겠다. 표현형 변이는 비교적 안정적인 구조로서 생리학적 반응의 일부를 결정짓는다. 최근 들어 급속히 발전한 이 분야의 내용은 역사적으로도 흥미로우며 동물실험에도 지대한 영향을 끼쳤다.

**연출형(dramatype)**이란 개념은 상당한 시간이 지난 후에 인정을 받았는데, 그 이유는 표현형과의 구분이 쉽지 않았기 때문이다. 그러나, 연출형의 개념이 도입되면서 실험동물이 사육되고 실험에 이용되는 실험 환경의 중요성이 인식되기 시작했다. 연구자들은 실험동물의 실험환경을 개선하여 실험결과의 질과 재현성을 높였다.



## 표현형의 통제 The Control of the Phenotype

지난 수년 간, 균일성(uniformity) 및 특정 적합성을 높이기 위해, 혹은 두 가지 목표를 모두 달성하기 위해, 근교배(inbred), 이종 교배(cross-bred), 무작위 교배(random-bred) 중 어느 것이 바람직한지에 대해 논란이 있었다. 이 문제에 대해서 언뜻 생각하거나 일부 핵심적 내용만 생각할 때는 이러한 교배 방식이 현실적으로 가능한가에 대해 의문을 갖게 된다. 모집단의 균일성을 높이기 위한 근교배는 우연히 시작되어 널리 퍼진 것에 불과하다. 사실 이는 두 개의 염색체가 거의 대부분 동일한 한 쌍의 유전자가 존재하는 동형의 유전자(homozygous) 동물은 특성까지 일치한다는 잘못된 인식에서 비롯된 것이다. 유전자에 대해 많은 지식을 가지고 있는 유전학자의 조언도 없고 한번의 유효성 테스트조차 제대로 하지 않은 상태에서 시작된 것이 근교배이다. 그럼에도 불구하고, 1952년 당시 실제적으로 엄격한 의미의 근교배를 실시하는 실험실은 거의 없었다. 또한, 결론적으로 말하자면 엄격하게 근교배를 실시한다고 해서 완벽하게 동일한 개체들이 나오는 것도 아니다. 그렇다면, 교배방식에 대해서 논란이 그치지 않는 이유가 무엇인지에 대해 궁금해 하는 독자가 있을 것이다.

사실 이 책에서의 간단한 요약만으로 상황을 판단할 수는 없다. 그러나 1952년에 상대적으로 엄격한 의미의 근교배를 실시한 실험실이 거의 없었던 것은 사실이다. 그러나, 네 곳의 실험실에서 '응용약리학' 또는 생물학적 검정시험을 위해 마우스를 근교배로 생산한 적이 있다. 그리고 동일한 목적으로 열두 곳의 실험실에서 랫드를 근교배로 번식시켰다. 아마도 많은 수의 동물들이 근교배로 태어났을 것이다. 여기서 핵심이 되는 것은 근교배로 태어난 동물들이 그렇지 않은 동물과 비교했을 때 정말로 균일한가라는 문제이다.

특정한 기초연구 또는 응용연구 목적을 위해서는, 특정 근교배 동물을 이용하는 것이 보다 편리하거나 혹은 실험에 반드시 필요하다. 특히 암 연구에는 반드시 근교배를 유지해야 하므로, 그 생각에 반기를 들 사람은 없을 것이다. 이 문제에 대해 폭넓게 연구한 엘리자베스 러셀(Elizabeth Russell) (39)은 근교배를 통해 생산된 동물이라도 상당한 폭의 차이가 난다는 점을 증명했다. 감염에 대한 취약성, 면역성, 내분비계, 혈액학적 특성 등 다양한 측면에서 차이가 난다는 것이 그녀의 주장이다. 그렇지만, 그녀는 근교배를 통해 생산된 동물이 다양한 특징을 보이는 것이 연구에 오히려 도움이 된다고 강력하게 주장했다. 근교배 동물에 나타나는 계통별



특이성이 생물학적 검정시험, 특히 독성시험에 유용하게 이용될 수 있기 때문이다. 최근 연구에 따르면 실험 동물에서 나타나는 이런 식의 구별 가능한 차이점은 인간의 진단 목적에도 유용하다는 것이 밝혀졌다. 따라서 균일성을 해친다는 우려로 인해 이러한 장점이 간과되어서는 안 될 것이다.

가장 놀라운 발전은, 두 개의 근교계를 이종교배하여 생산된 교잡종 1세대의 자손들이 균일성이 가장 높다는 사실을 발견한 것이다. 생물학적 검정시험에서 이 측면의 역사적 발전과정을 심도 있게 연구한 비거스 Biggers와 크래링볼드 Claringbold (40)는 근교배를 통해 태어난 동물들이 생리학적으로 균일할 것이라는 생각이 퍼져 나간 이유에 대해 연구했다. 그들은 1927년에 근교계의 균일성에 대해 주장한 연구결과가 있지만, 당시에는 통계기법이 발전하지 못했기 때문에 정확성 여부는 확인할 길이 없었을 것이라고 밝힌다. 당시의 연구결과를 재분석한 결과, 근교계 간 균일성에 대한 주장은 신뢰하기 힘들다는 것이 그들의 결론이다. 그들의 주장에 따르면 근교계 동물을 이용한 실험결과가 무작위 교배 동물을 이용한 결과보다 만족스러웠다고 발표한 논문은 어디에도 없었다. 근교계에 대한 잘못된 생각, 그리고 그러한 생각이 급속도로 연구보고서에 실리거나 주장되었던 것에 대해 그들은 몇 가지 이유를 언급한다. 첫 번째 이유는 위스타 랫드 Wistar rats에 있다. 무작위 교배를 실시한 위스타 랫드를 이용하여 형태적 균일성 morphological uniformity을 연구하였는데, 생리학적 반응을 잘못 해석하여 오류가 발생하였다. 두 번째, 한배 새끼가 그렇지 않은 새끼들에 비해 유사한 점이 많다는 전제에서 근교계에 대한 잘못된 인식이 초래되었다. 즉 한배에서 난 새끼들은 발육환경이 유사하다는 점이 간과되었다. 1939년에 최초로 신뢰할 만한 연구결과가 에먼스 Emmens (41)에 의해서 이루어졌다. 에먼스 자신조차도 놀랄 수밖에 없었던 실험결과는, 근교계인 CBA 마우스<sup>1</sup> 그룹이 무작위 교배군에 비해 에스트로겐 검사에서 더 큰 차이를 드러낸다는 점이었다. 그의 연구결과를 발표 당시에는 별다른 반향을 일으키지 않았지만, 독립적인 냄부탈 nembutal과 에스트로겐 estrogen 분석에 대한 연구결과에서 두 개의 근교계를 이종교배한 후 생산된 1세대 자손들이 무작위로 교배한 동물보다는 균일성이 높았지만, 부모 중 한 쪽만 근교배로 생산된 동물을 다시 이종교배하여 생산된 동물보다는 무작위 교배동물이 균일성이 높은 것으로 보고되었던 1954년에 이르러서야 재조명되었다

이와 거의 같은 시기에, 교잡종 균일성 hybrid uniformity이라는 주제가 유전학자와 가축우생학자의 관심을 끌기 시작했다. 주로

1. CBA 마우스그룹  
대표적인 근친교배 계통 마우스  
출처 : 생명과학 대사전



식물에 관한 것이었지만 1954년에 교잡종 동물의 균일성을 뒷받침하는 이론적 모델이 수립되었다. 과학역사상 경이적인 해였던 1954년, 러너(Lerner (42)의 놀라운 저서가 출간되었다. 그는 자신의 저서에서 여러 유사한 관찰결과를 다루었고 몇몇 동물에 대한 내용도 포함하여 교잡종의 균일성과 우수한 생존력(vigour)을 이론적으로 설명하는 동시에 그 외 놀라운 유전학적 특징에 대해서도 다루었다. 그의 연구를 통하여 교잡종의 우수성과 높은 균일성은 서로 관련이 깊다는 것이 밝혀졌다. 근교계는 상대적으로 동형의 유전자를 지니고 있으므로 교잡종은 동형의 유전자군에 비해 생리학적 측면이나 대사적 측면에서 적응력(versatility)이 뛰어나다. 이러한 연구결과를 통해, 유전적 복합체(gene complex)는 대체적으로 생화학적 측면에서 보다 다양한 능력을 가지고 있다는 가설을 세울 수 있다. 높은 유연성 덕분에 교잡종은 보다 넓은 범위의 환경 조건 속에서 생존할 수 있을 뿐 아니라, 발육과정에서도 다양한 환경에 적응하기 위해 필요한 공통적인 표현형을 유지할 수 있다. 진화적인 관점에서 보면, 교잡종의 우수성은 모든 세대에 걸쳐 유전적 차이를 유지하면서도 표현형 측면에서 균일성을 유지할 수 있다는 데 있다. 바로 그러한 우수성 때문에 하나의 환경에 효율적으로 특화됨과 동시에 새로운 환경에도 적응할 수 있는 것이다.

그렇다고 해서, 한 가지 교배방식만 우수하며 다른 교배방식은 무시해야 한다는 것은 아니다. 오히려 그 반대로 각기 다른 생물학적 검정시험의 유형에 따라 적절한 교배방식을 적용하는 것이 바람직하며, 그 이유는 다음과 같다. 일반적으로, 교잡종은 여러 장점을 지니고 있지만 그것은 균일성의 문제라기보다는, 강인하고 유연하며 어떠한 환경에서도 적응할 수 있는 “생존력” 때문이다. 그렇지만, 행동까지 강해져서 다루기가 힘들다면 아무리 장점이 많아도 소용이 없을 것이다. 교배방식에 따라, 동물의 성향이 바뀌게 되어 예상했던 실험결과를 도출하지 못하게 되면 오히려 큰 문제를 일으킬 수 있다.

그보다 중요한 것은 유전적 · 환경적 차이에 따라 동물의 특성이 다르게 나타날 수 있다는 점이다. 따라서, 완벽하지는 않지만 비교적 혈통의 순수성을 유지한 교잡종이 순종보다 변동폭이 작고 균일하다는 점을 보편적인 사실로 규정하는 것은 적절하지 않다. 결국, 실험방식을 결정할 때는 실험대상인 동물의 특성을 정확히 파악한 후 유전적 · 환경적 변이의 중요성을 감안하여 선택해야 할 것이다. 유전적 요인은 두 가지 방식으로 영향을 끼친다. 개체 간의 유전적 다양성과 상대적인 유전적 동질성은 모두 표현형의 분산에 영향을 끼친다. 유전적 변이는 주로 유전적 조건에 의해서 결정되며, 환경적 변이는 동물이 사육되는 환경적 조건에 의해서 좌우된다. 유전적



변이의 특징을 살펴보면, 근교배와 교잡종 1세대가 보다 유사한 특징을 보이는 반면, 환경적 분산의 경우에는 무작위 교배(random-breed)와 교잡종 1세대가 보다 균일하다. 일반적으로 교잡종 1세대가 실험 시 유리한데, 그 이유는 교잡종이 양쪽 근교배 부모의 특징을 모두 물려 받을 수 있기 때문이다. 교잡종의 각 개체는 이형의 유전자를 가지고 있지만 상대적으로 유전적 균일성을 보인다. 그렇지만, 각 동물 개체의 특징에 따라 결과는 다르게 나타날 수 있다.

무엇보다도, 근교배와 이종교배를 하려면 모두 근교배의 과정이 필요하므로 비용이 많이 드는 것이 문제점이다. 레인 페터(Lane-Petter (43, 44)는 근교배 시 소모되는 비용이 실험동물의 수를 줄임으로써 얻을 수 있는 비용절감 효과를 상쇄할 것이라고 경고한다. 그는 이러한 문제를 해결할 수 있는 몇 가지 방안을 제시했는데, 유전적 인자보다는 환경적 인자를 조정하여 균일성을 높이는 방안이 효과적이라고 강조했다. 일반적으로 적용할 수 있는 기준은, 근교배 또는 이종교배를 이용해서 얻을 수 있는 이점을 비용으로 계산하여, 무작위 교배 동물을 이용하는 것보다 이점이 훨씬 크다면 근교배를 택하는 것이 바람직하다는 것이 그의 생각이다.

한편, 생리학적 반응, 즉 연출형의 특성은 표현형의 특성과 일치하지 않는다. 일반적으로 연출형은 여러 요인들에 의해 결정되기 때문이다. 따라서, 이 문제는 경험에 입각하여 상황에 따라 임기응변적 해결책을 찾아야 한다. 그렇지만 임기응변식 해결책을 전략적으로 택하는 것은 불가능하다. 따라서 아래와 같이 교잡종의 균일성(uniformity)과 생존력(vigour) 사이의 상관관계를 토대로 한 일반론을 소개한다.

러너(Lerner)는 그의 가설이 동물의 생존에 필수적인 특성에 대한 것일 때 더 잘 적용된다고 주장한다. 물론 “자연 선택(natural selection)”에 대해서 설명할 때 중요하지 않은 특성은 없을 것이다. 그렇지만 러너는 동물의 몸 중 어느 한 부분에 국한되는 것보다는 몸 전체에 영향을 끼치는 특성, 그리고 다양한 환경에서 생존하는 데 필요한 핵심적인 특징이 중요하다고 주장했다. 지금까지의 실험을 관찰한 결과, 동물 생존에 필요한 핵심적 특징들은 균일성을 유지하는 경향이 있다. 따라서, 이종교배와 무작위교배에 상관없이 핵심적 특징들이 다른 특징보다 균일성을 유지하게 되는 것이다. 예를 한 번 들어보자. 털의 색깔은 근교배 동물 사이에 일정하게 나타난다. 반면에 후추의 수는 근교배가 교잡종 1세대에 비해 2배 정도 다양한 차이를 보인다. 이러한 사실은 언뜻 이해되지 않을 것이다. “생존력”여부가 해답이며, 이에 대해 좀 더 자세한 연구가 필요할 것이다. 일반적으로, 생리학적 반응은 생존에 도움이



되는 “생존력” 쪽으로 나타난다. 따라서, 연역학적으로 결론을 예측하자면 생물학적 검정시험에는 교잡종을 이용하는 것이 바람직하다. 감염에 대한 저항력을 테스트할 때에도 이를 기준으로 교배방식을 결정하면 된다. 이는 진단이나 박테리아 검사 시에도 마찬가지로 유효할 것이다.

1955년, LAB은 실험동물 교배방식 선택 문제의 중요성을 인지하고 심포지움을 개최했다. 심포지움의 주요 의제는 균일성이었다. 당시, 근교배를 지지했던 유일한 과학자는 바카라Bacharach (45)였다. 그는 실험동물의 경우, 근교배 동물이 생존력의 특징을 지니지 못한다는 사실에 반박했다. 물론, 한배 새끼 여러 마리를 나누어 실험을 진행하므로 이를 이용하는 것이 가장 바람직하다는 사실에는 의심의 여지가 없지만, 그것은 동물의 교배방식이 완벽하게 통제된 실험실에서만 가능한 일이다.

심포지움에 참석한 과학자 전원이 합의한 내용은 교잡종을 생산하기 위해서만이라면, 근교배도 가치가 있다는 것이었다. 레인-피터 (43, 44)가 언급한 비용문제에 관해서는, 실험종류에 따라 교배방식을 선택하는 것이 균일성을 높이는데 효과적이라고 의견이 모아졌다. 한 장소에서 교배를 한 후 거기서 태어난 한배 새끼들로 실험하면 실험동물의 균일성을 높일 수 있다. 뿐만 아니라 이 방식을 이용하면, 동물 수송 시 발생하는 비인도적 관행을 방지할 수 있는 등 장점은 끝이 없을 것이다. 연구원의 도덕심을 해치지 않으면서 관심분야의 실험을 할 수 있고 교육까지 가능하기 때문이다. 그렇지만 여기에는 한 가지 문제점이 있다. 한 쌍의 근교배 부모에서 출발하여 각 실험연구소에서 몇 대에 걸쳐서 교배가 이루어지면 실험동물의 혈통이 순수하게 유지되기 어렵다. 그렇게 되면, 동일한 근교배의 실험동물로 시작하더라도 몇 대에 걸치면 그 차이는 점점 커지기 때문에 두 개의 실험실에서 동일한 계통의 하위계통subline의 동물로 실험을 실시하는 경우 생리학적으로 다른 결과를 얻을 수 있게 된다. 부모가 근교배이기 때문에 변동폭이 낮을 것이라고 생각하지만 그것은 잘못된 생각이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, LAB은 해결책을 제시했다. 즉, 동물을 직접 사용하는 각 실험실 별로 교배를 실시한 후 몇 세대가 지나면 최초의 교배군을 제공해준 연구소에서 다시 새로운 번식용 동물을 데려와서 번식군을 유지하는 것이다.

그러나 표현형의 균일성을 유지하기 위해서는 위와 같은 교배방식의 선택만으로는 불가능하다. 교배방식이 아무리 우수하다 하여도 사육환경을 통제하지 못하는 한 아무런 소용이 없기 때문이다. 이것이 바로 사육관리가 중요한 이유이다. 보다 실질적인 정보를 얻기



위해서는 UFAW 핸드북을 참조하기 바란다. 그러나, 표현형의 측면에 대해 한 가지 주의해야 할 원칙이 있다. 이는 기본적으로 러너의 다음과 같은 원칙을 토대로 한다.

“동형접합homozygosis으로 유전자 조건이 취약해지면, 생존능력viability과 성장률, 번식력이 약해지는 것처럼 사육환경이 취약해도 각 개체들의 체질이 악화되는 동일한 결과를 도출한다. 이를 사육환경으로 확대 유추해 보면, 사육환경이 열악하면 이 악화되는 것은 물론 실험 시 신체와 관련된 특성들에 있어서 변동폭이 커진다 (46).”

이러한 추측은 랫드, 마우스, 식물을 실험한 결과 사실로 드러났다. 발육환경이 열악해지면 표현형 인자의 변동폭이 커졌고 반대로 발육환경이 적절하면 변동폭variability이 줄어 들었다. 또한, 사육환경이 개선되면 생리학적 균일성도 높아졌다. 인도적 처우의 필요성이 다시 한 번 확인된 것이다. 찬스Chance가 주장했던 인도적 사육환경의 중요성이 부상되기 시작했다. 지금부터는 근린 환경proximate environment 중 특히 행동 환경behavioural environment과 같이 또 다른 환경에 대해 살펴볼 것이며, 찬스의 연구결과를 토대로 설명할 것이다.

## ■ 근린환경 중 행동환경의 통제 The Control of the Proximate, Especially Behavioural Environment

### 연출형 분산과 특수 조건 Dramatypic Variance and Specific Conditions

근린환경에 대한 입장은 1-2년 전만 하더라도 지나치게 열악한 환경만 아니라면 일정한 환경을 제공하는 한 그 환경이 어떻든지 상관 없다는 가정이 대세였다. 그러나 찬스 (47, 48)는 환경이 일정하면 생리학적 반응도 균일하게 나타날 것이라는 이 가정이 실험환경에 따라 다르게 나타났다고 반박하였다. 그의 연구결과는 다소 혁명적인 것으로, 이 장에서 자세하게 다룰 예정이다.

근린환경의 중요한 요인 중 하나는 동물을 사육하고 실험하는 환경의 온도이다. 찬스가 관찰한 바에 따르면, 온도가 약물반응에



끼치는 영향에 대한 최초의 연구는 단지 약의 효능, 지속시간, 효과가 나타나는 속도에 관해서였다. 1943년에 첸Chen 비롯한 다른 과학자들은 (49) 다양한 약의 반응에 온도가 어떠한 영향을 끼치는지에 대해서 연구했다. 그들은 표준오차standard error를 적용하여 수 차례에 걸쳐 반응을 관찰한 결과, 약의 효능은 물론 반응의 분산까지도 온도에 의해 영향을 받는다는 점을 발견했다. 여기서 효능과 반응의 개체차이는 유사하게 영향을 받을 수도 있고, 서로 다른 양상을 띠 수도 있다.

1956년에 찬스는 미성숙 암컷 랫드에 생식선 자극호르몬 혈청serum gonadotrophin을 투여한 후 생물학적 반응을 검사하였다. 그 결과, 난소 중량의 변동계수coefficient of variation가 다양한 환경에 따라 차이가 난다는 점을 발견할 수 있었다. 이때, 변동계수는 평균값과는 상관이 없었다. 찬스가 고려하였던 환경요소는 케이지의 환경, 강한 랫드를 약한 랫드와 함께 케이지에 넣어 사육하는 경우와 같이 사회적 환경의 변화, 케이지의 크기, 그리고 케이지에 넣는 동물의 수 등 이었다. 예를 들어, 한배 새끼들을 케이지에 함께 넣느냐 아니냐에 따라 반응이 다르게 나타나며, 암컷 랫드들을 한 케이지에 함께 넣으면, 절대적 평균값absolute mean response에 상관 없이 변동계수를 얻을 수 있다. 최적의 환경은 한 케이지에 두 마리를 넣는 것이었다. 이 때 얻은 변동계수는 동물을 한 마리씩 케이지에 넣었을 때 25% 보다 낮았으며, 여러 마리를 넣었을 때는 25% 보다 약간 높았다. 한 케이지에 사육되는 동물의 마리수에 따라 각각 다른 변동계수를 얻을 수 있었다.

찬스는 위의 연구에서 자극을 받아 교감신경흥분성 아민sympathomimetic amines의 독성이 랫드에 끼치는 영향을 재연구한 결과(50, 51), 온도의 변화가 반응의 평균값과 분산 모두에 영향을 끼친다는 사실을 발견할 수 있었다.

생리학적 변동은 반응평균값과는 상관없이 다르게 영향을 받을 수도 있다. 따라서, 기니피그의 히스타민 배설량의 주기적 변화와 전체 배설량의 변화는 다른 양상을 보였다.

최종적으로, 고나도트로핀 검사에서 연구원의 케이지 방문횟수 및 실험으로 인한 불편함 등과 같은 환경적 요인은 평균값에 차이가 날만큼 영향을 끼치지 않았지만 케이지 교체 주기 등의 변화는 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

여러 실험을 통해 결론적으로 말할 수 있는 것은, 한 케이지마다 랫드를 6마리씩 사육하는 환경요인의 동일한 조건을 유지한다 하여도 변동폭이 꽤 높았던 반면에 연구원의 방문처럼 다른 환경요인은 반응의 변동폭에 아무런 영향을 끼치지 않았다는 점이다.



여기서 찬스는 ‘변동폭은 환경요인의 정확한 본질에 따라 달라지며, 어떤 환경은 변화를 주어도 영향을 끼치지 않는다’라는 중요한 결론을 내렸다. 따라서, 균일성을 유지하기 위해서는 모든 측면에서 획기적인 실험시간 등 실험환경이 일정해야 할 필요는 없으며, 핵심적 조건만 적절하게 유지되면 된다는 것이다. 대체기법을 설명할 때 이미 다룬 바 있지만, 실험환경에서도 중요한 것은 정확도보다는 변별력이다.

1957년 찬스가 반응의 분산(response variance)폭에 중대한 영향을 끼칠 것이라는 연구결과를 재조명할 때까지 첸(Chen)과 그의 동료들(49)뿐만 아니라 그 누구도 예상하지 못했다. 찬스는 용감하게도 자신이 과거에 발표한 연구결과를 반복하여 진실을 밝혔다. 찬스가 이미 말했듯이, 환경이 실험결과와 분산에 끼치는 영향에 대한 중요한 지식은 1940년대에 이미 밝혀졌다고 볼 수 있다. 그는 “과학이란 연관된 사실들을 연계시켜 밝히는 예술이다. 이는 실험적 오류로 얻게 된 행운의 결과를 누리는 데 그칠 것이 아니라 과거 실험에서 무의식적으로 간과되었던 사실을 밝혀야 된다는 것을 의미한다. 모든 자각은 집중의 형태로 나타나며 한계가 있기 마련이다. 따라서, 진실을 제대로 보지 못했다고 해서 흠이 될 것은 없다.”라고 자신의 생각을 말했다.

찬스가 모든 사람들이 간과했던 원리의 중요성을 찾아내고 10년 전에 발견되었던 자료들 속에서 잊혀졌던 원리를 증명할 증거물들을 찾게 된 동기는 무엇이었을까? 그 동기들이 의미가 있기 위해서는 제1장에서 다루었던 약리학적 문제를 해결하는 데 도움이 되어야 할 것이다. 동물 심신의학(psychosomatics, 즉 동물의 행동이 생리학적 반응에 끼치는 영향을 연구하는 것이다. 찬스의 연구는 이 분야에 지대한 공헌을 했으며 인간의 심신의학으로 발전하는 계기가 되었다. 이제부터 지금까지 아무도 다루지 않았던 실험동물의 심신의학에 대해 다루어볼 것이다.

### 행동학적 환경과 생리학적 반응 *The Behavioural Environment and Physiological Responses*

1953년, 레인-피터는(52) 그 동안 간과되어온 실험동물의 행동 및 그것이 실험에 끼치는 영향에 대해 짧지만 매우 중요한 연구보고서를 발표했다. 그는 실험동물의 행동 요소를 간과했던 것이 당시의 추세였다고 밝혔다.



그는 동물과 직접 접하는 연구자의 행동에 따른 동물의 반응에 대해 다룬 동물 심신의학의 놀라운 사례를 동일 보고서에 발표했다. 이 사례에서 한 기니피그 집단의 경우, 집단이 형성된 다음 5개월 이상 기니피그가 사망하는 일은 단 한 번도 일어나지 않았다. 그러다가 사육사가 2주간 휴가를 간 사이에 4마리가 뚜렷한 이유 없이 사망하였는데, 기니피그를 돌보게 된 사육사는 원래 있던 사육사와 마찬가지로 “유능하고 성실한” 사람이었다. 그 후, 원래의 사육사가 휴가를 끝내고 돌아온 이후로는 더 이상 사망하는 기니피그는 없었다. 기니피그의 사망사건 같이 극단적인 사례는 아니지만 또다른 흥미로운 사례는 마우스의 성장률을 연구한 경우이다. 이 연구결과에 따르면 주말만 되면 마우스의 성장속도가 둔화되었는데 이는 먹이나 다른 비행동적 요소들과는 관계가 전혀 없었다. 마우스의 환경을 관찰한 결과, 성장률이 둔화된 것은 주말에 마우스의 활동이 활발해진 때문이라고 추정되었다. 마우스들은 주말에는 사료 섭취량도 증가했지만 그보다 운동량이 더 많아져서 성장속도가 둔화된 것이다. 이는 또한 사육사가 주말에는 마우스의 케이지에 방문하지 않았다는 것과 관련이 있다. 인간의 존재가 마우스의 활동을 약화시키는 반면, 사람이 없을 때 마우스는 활발히 움직였던 것이다.

신경계와 관련이 있는, 환경에 대한 항상성 반응(homeostatic responses)도 심신의학에 중요한 역할을 한다. 찬스는 생물학적 검정시험에서 중요하게 고려되는 환경적 요인은 온도와 습도라고 주장한다.

마지막으로, 그 자체로도 중요하고 온도 및 습도 같은 요인과도 관계가 있는 것은 사회학적 요인이다. 짝짓기, 공격, 도망, 새끼 돌보기, 지배계급, 그룹의 관계, 과밀집의 정도 등을 예로 들 수 있다.

찬스는 동물 심신의학에 관한 관찰결과를 여러 건 발표했다. 마우스의 암 발생률은 한 케이지 당 마우스의 사육 두수와 관계가 있다고 밝혔다. 또한 마우스의 혈액 내 호산구 수치는 소음에 의해서 좌우되며 그룹 내 경쟁과 다툼은 척추디스크를 초래한다는 실험결과를 발표했다. 뿐만 아니라, 과밀집은 랫드에게 결핵에 대한 감수성을 높이며 이는 성별에 따라 다르게 나타나는 것으로 밝혀졌다.

찬스는 각각의 행동 경향은 특정한 생리학적 반응으로 이어진다는 사실을 강조했으며, 그에 대한 증거자료를 제시했다.

그는 10년 이상 사회적 환경 요인이 생물학적 검정시험과 독성시험에 끼치는 영향에 대해서 연구했다. 과밀집 사육과 암페타민(amphetamine)을 비롯한 다른 약물의 독성이 마우스에게 끼치는 영향에 대해서 조사했다. 그는 비좁은 케이지에서 나타나는



마우스의 행동적 특성으로 인해, 동일한 약물이라도 최대 10배 이상 강한 독성의 효과를 보인다는 사실을 밝혔다. 뿐만 아니라, 케이지에 한 마리만 있는 경우에도 서로 상이한 실험결과를 초래할 수 있는, 사회적 환경 외의 다른 많은 요인에 대해서도 연구했다. 그는 실험결과에 영향을 끼치는 행동적 요인을 통제함으로써 만족스러운 독성시험 결과를 이끌어낼 수 있으며, 그에 따라 실험에 이용해야 하는 동물의 수를 줄일 수 있다고 주장한 최초의 과학자이다.

찬스는 심신의학에 대해 지속적으로 연구하던 중, 실험동물로 주로 이용되는 포유동물의 사회적 행동에 대한 체계적 연구가 거의 이루어지지 않았다는 놀라운 사실을 깨달았다. 심지어 오늘날에도 제대로 이루어지지 않고 있으며, 이는 놀라운 일이 아닐 수 없다. 비니스트Beniest는 마우스의 양육 및 다툼 행동에 대한 훌륭한 보고서를 발표하였다 (53). 그녀는 우연히 피셔Fisher의 2x2 표 정확도 검정법exact two-by-two test을 최대로 활용하여 다툼 행동을 관찰하기 위해 이용되어야 하는 마우스의 수를 대폭 줄일 수 있었다. 그녀는 다른 어떤 성과보다도, 마우스의 번식력을 결정하는 요인이 내분비 요인보다는 외부적 요인임을 밝혀내었다. 이는 지금까지 우리가 설명해 왔던 심신의학과 관련이 깊다. 사실, 마우스는 가장 많이 이용되는 실험동물임에도 불구하고, 마우스의 번식 생리reproductive physiology와 어미의 모성행동에 관한 연구가 거의 없었다는 사실에 그녀는 매우 놀랐다.

찬스 자신도 실험 랫드의 사회적 행동에 대해 연구를 시작했으며, 이 연구를 토대로 고나도트로핀gonadotrophin의 생물학적 검정시험 결과를 얻었다. 그의 연구를 정리해보자면, 모든 행동학적 요인들은 정상적인 행동을 충분히 연구한 후에 비로소 비정상적인 행태를 찾아낼 수 있다는 것이다. 또 다른 놀라운 점은, 아무리 사소한 변동이라도 눈에 띄는 해부학적 반응anatomical response으로 이어질 수 있다는 것이다. 미세한 환경적 변화에 대한 반응의 차이가 그 자체보다 오히려 내분비계에 중요한 영향을 끼칠 수 있다.

사소한 자극은 심각한 수준의 스트레스에 맞먹을 정도의 영향력을 발휘한다. 미세한 환경의 변화에 자극을 주는 것은 인도적 실험을 가능하게 하며, 감소에도 긍정적 영향을 끼친다. 장기적인 효과는 놀라울 정도이다. 찬스의 선구자적 연구는 규모나 범위 측면에서 지속적으로 확대될 것이다. 당연한 수순이겠지만, 찬스에 의해 제기된 이론적 문제는 결국 생리학적 분야에 커다란 변화를 가져올 것이다. 향후 이 분야가 얼마나 발전할 것인지에 과학자들의 노력에 달려 있으며, 본 교재에서는 분산요인의 통제를 통해 실험에 필요한 동물의 수를 줄이는 것이 얼마나 중요한지에 대해서만 강조할 것이다.



### 새로운 생물학적 검정시험의 개발 *Towards a New Bioassay*

찬스는 그의 논문 두 번째 단락에 생물학적 검정시험의 새로운 방식을 제안하였다 (54). 생식선 자극호르몬의 시험 결과가 의미하는 바는 상당했다. 케이지 세척 및 교체, 사료통의 도입 등 랫드의 익숙한 생활 영역에 침범하는 요인들에 의해 생물학적 검정시험 결과에 큰 차이를 보였으며, 랫드는 본 시험에 흔히 이용되는 동물이다. 그는 “...에스트로겐 검사 시 조도와 같은 환경요인을 다르게 한 결과 실험결과에 큰 차이가 난다는 점을 발견했다. 이러한 실험결과는 미세한 환경요인에 대한 인간의 무지가 얼마나 컸는지를 반증하는 것이다...” 라고 강조한다.

찬스는 환경적 연구를 보다 효과적으로 시작할 수 있는 방법으로, 환경요인의 체계적 분류를 제안하였다. 또한, 동물의 행동 반응과 관련하여 열선실과 같은 여러 요인들을 다루었다. 그는 랫드들이 여러 측면에서 최적의 환경에서 실험되지 못하고 있다는 점을 중점적으로 살폈다. 예를 들어, 랫드를 대상으로 생물학적 검정시험을 실시할 때 랫드에게는 한밤중인 환경에서 실험이 진행되게 된다. 환경적 요인을 조정하면 랫드의 주행성 주기(diurnal activity cycle)를 바꿀 수 있었음에도 불구하고 야행성인 랫드에게는 적절하지 못한 환경에서 실험을 한 것이다. 뿐만 아니라, 다양한 이유로 인해, 동물들에게는 최적의 온도보다 훨씬 추운 환경에서 실험을 했기 때문에 행동학적, 생리학적 반응이 제각각 나타났다. 최적의 환경조건과 낮은 개체차이 간의 상관관계에 대해 찬스는 조심스러운 입장을 보이고 있으며, 이를 선형적으로 가정할 수는 없다. 그러나, 그는 분산요인을 통제하는 것의 이점 이외에도 실험동물의 고통을 상당수준 줄일 수 있는 방안에 대한 연구를 지속적으로 해 왔다.

이 장을 마무리하기 전에, 찬스가 주장한 몇 가지 핵심사항에 대해 덧붙이고자 한다. 이들 모든 사항은 실험동물의 생리학적 반응과 행동을 실험목적에 맞도록 조정하는 것이다.

첫 번째, 병원체에 감염되지 않은 건강한 동물을 실험동물로 선택하는 것이다. 이제는 건강한 실험동물들은 구하기가 용이하다. 건강한 실험동물을 사용하면 분산을 초래하는 요인들을 제거하는 것 이외에도 동물이 뚜렷한 이유없이 폐사하게 되는 비율을 현격하게 줄일 수 있다.

두 번째, 찬스는 반응을 측정하는 변수 메타미터(metameter)의 중요성을 강조했다. 메타미터란 용어는 호그벤(Hogben)이 정확한



검사반응을 측정하기 위한 변수의 의미로 고안했다. 대다수의 약리학 보고서에는 반응의 본질, 측정 시 사용한 방법, 측정에 사용하는 단위 등을 명확하게 표시하지 않는다. 위와 같은 실험의 조건 등은 명확히 표시하는 것이 이상적이지만, 그것은 향후 이루어질 것으로 전망된다. 동물실험 시, 표준화된 메타미터를 이용하면 동물과 실험방법 간의 상호작용 시간이 짧아지므로 분산을 최소화시킬 수 있다. 실험 시 가능한 한 국소마취를 실시하는 단순한 개선으로도 개별 검사의 정확도가 높아지기 때문에 검사를 여러 번 할 필요가 없으며, 보다 인도적으로 실험을 실시할 수도 있다. 이러한 방식은 결국 실험에 이용하는 동물의 수를 줄이는 효과를 낸다.

메타미터에 관하여 아래와 같이 흙의 주장을 인용하고자 한다 (35).

그는 “대부분의 검사는 50% 유효량 (ED50: effective dose)과 50% 치사량 (LD50: lethal dose)을 기준으로 실시된다. 이는 계수반응quantal response으로 사망과 생존 같이 두 가지 가능성만 열어두는 검사방식이다. 계수방식은, 지속 변량continuous variate을 사용하는 방법보다 실험결과의 정확도가 떨어진다는 것이 통계학자들의 공통된 의견이다. 따라서, 체온을 비롯한 반응시간, 신체 또는 장기의 무게, 맥박, 혈액 또는 소변 검사 등의 여러 다양한 변수를 이용하는 것이, 사망과 생존이라는 두 가지 경우만 고려하는 것보다 정확한 실험결과를 도출하는 데 바람직하다. 또한, 인도적 측면에서 볼 때 실험종료 시점을 폐사로 정하는 것은 적절하지 않다. 다른 대안이 있다면 그것을 취하는 것이 바람직할 것이다. 그렇지만 개인적인 습관이나 실험실 관습 때문에 50% 생존률검사survival test가 얼마나 광범위하게 사용될 것인지, 그리고 과학자들이 유효한 지속 변량을 찾아내는 노력을 지속적으로 할 것인지에 대해 의문을 갖게 된다. 50% 치사량 독성시험을 하더라도, 동물의 빈사상태를 미리 적절히 밝혀낼 수 있다면 반드시 폐사가 유일한 실험종료시점이 될 필요는 없을 것이다.”라고 보고서에서 밝히고 있다.

세 번째, 찬스는 표현형의 변이phenotypic variation를 줄이는 방안으로 훈련과정을 통해 동물의 반응을 균일화시키는 방법을 제안했다. 분산을 초래하는 요인을 훈련을 통해 오히려 실험동물의 수를 감소하는 수단으로 이용하는 것이다.

---

실험동물의 행동에 대한 연구는 감소방안을 위한 가장 강력한 가능성을 제시하여 준다

---

마지막으로, 찬스는 선천적 행동innate behaviour의 변동성을 들고 있다. 이형태성dimorphism 또는 다형태성polymorphism과 같이 동물들도



두 개의 서로 다른 주요한 행동의 특징을 보이거나 여러 개의 행동 특징을 보인다. 그는 '균일성을 유지하기 위해 교배에 신경을 쓰는 것처럼 동물을 선택할 때도 주의를 기울여 선택하는 것이 중요하다' 고 주장한다 (54). 적절한 실험동물을 선택하는 것도 개체의 차이를 통제하는 효과적 수단이 된다.

위에 설명한 기발한 제안들은 전적으로 실험동물의 행동 특성을 연구함으로써 얻어낸 것들이다. 이를 통해 동물실험의 획기적 발전이 이루어졌다. 동물의 행동 특성을 이용한 변수 통제 방식은 인도적 동물실험의 3Rs 원칙 중 하나인 완화 및 개선(refinement) 방법을 가능하게 한다. 그러나, 감소방법의 전망을 밝게 하는 것은 무엇보다도 실험동물 행동에 대한 연구임을 강조하며 이 장을 마무리하고자 한다.



# 제7장 Refinement

## 완화 및 개선



# 제7장

## Refinement

1. 중립 연구 및 스트레스 연구 Neutral and Stressful Studies
2. 실험방법의 개선방법 Generally Superimposed Procedures
3. 실험방법의 선택 The Choice of Procedures
4. 동물 종의 선택 The Choice of Species
5. 근본적인 문제 : 실험적 정신의학 및 두려움에 대한 인도적 연구 A Concrete Problem: Experimental Psychiatry and the Humane Study of Fear



## ■ 중립 연구 및 스트레스 연구 Neutral and Stressful Studies

대체방법은 광의의 주제로 일반적 원칙이 적용되며, 감소방법은 협의의 주제로 분산의 통제variance control가 집중적으로 다루어진다. 한편, 완화 및 개선방법은 인도적 동물실험의 세 번째 갈래로 범위가 매우 광범위하고, 그 분류가 매우 어렵다. 완화 및 개선은 상황에 따라 적용범위가 너무나도 다양하다. 실험을 할 때마다 해결책이 다르고 임기응변으로 위기를 모면해야 하는 경우도 많아서 예술가의 경지에 도달해야 할 정도이다. 이러한 의미에서 보면, 훌륭한 연구자가 되려면 장인의 기질이 있어야 하며, 바로 그러한 이유 때문에 훌륭한 연구자들의 실험을 관찰하는 것도 매우 흥미롭다. 그럼에도 불구하고 완화 및 개선이라는 주제는 어느 정도 일반화를 시킬 수 있다. 제7장에서는 어려운 작업이기는 하지만 이러한 일반적 원칙의 수립을 시도해 보고자 한다.

특정한 목적을 위해 '대체'는 불가능하다고 가정해 보자. 모든 이론과 관례들을 연구하여 실험에 이용하는 동물의 수도 최소화시켰다고 가정하자. 이제 실험에 이용되는 동물의 수도 줄었으니, 동물에게 가해지는 절대적인 고통의 양을 최소한으로 하자는 것이 완화 및 개선방안이다.

---

인도적 동물실험의 세 번째 원칙인 완화 및 개선방법으로 범위가 매우 광범위하고 그 분류가 또한 어렵다.

완화 및 개선방법의 목적은 단순히 실험에 이용될 때 동물에게 가해지는 절대적인 고통을 최소한으로 줄이자는 것이다.

---

목표에 따라, 실험을 대략 두 가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫 번째는 통증 pain과 고통distress에 대한 지식 및 그에 따라 부수적으로 일어나는 자율신경계 및 내분비계에 미치는 영향에 대한 연구를 목적으로 하며, 스트레스성 연구stressful investigation라고 한다. 두 번째는 위와 같은 연구목적은 포함하지 않은 분야로서 중립 연구neutral investigation라고 한다 (55).

중립 연구의 경우, 고통의 정도가 아무리 사소한 것일지라도 고통이 가해지면 연구의 효율성을 저해하는 요소가 된다. 제1장과



제6장의 내용을 참조하면, 굳이 그 이유를 설명할 필요는 없을 것이다. 찬스가 조심스럽게 언급하였듯이, 생리학적 변수가 단지 고통 때문에 나타난다고 생각하는 것은 적절하지 않을 수 있다. 또한 사소한 변수에 대한 조건도 상당히 다른 반응을 이끌어낼 수 있다. 그럼에도 불구하고, 그 정도에 상관없이 의도하지 않은 고통이 동물에게 가해지면 혼란의 소지를 낳을 수 있기 때문에 비용과 노력이 낭비되고 오류를 초래한다. 따라서, 중립 연구를 성공적으로 실시할 수 있는 핵심 요인은 완화 및 개선 방법이다. 실험을 하다 보면 부가적으로 따르게 되는 비인도적 관행을 완전히 제거하여 고통을 없애는 것이 바람직하다. 이는 사육관리husbandry의 문제로 귀결되며 타당성이 있는 주장이다.

---

중립 연구의 경우, 고통의 정도가 아무리 사소한 것일지라도 고통이 가해지면 연구의 효율성을 저해하는 요소가 된다.

---

한편, 스트레스 연구의 경우에는 언뜻 생각할 때에는 실험의 효과를 높이기 위해서는 비인도적 실험이 불가능할 것으로 생각될 것이다. 즉 정확한 실험결과를 얻어야 하는데, 동물에게 가해지는 고통을 어떻게 제거하거나 줄일 수 있을까라고 의문을 가질 수 있다. 사실 이는 어렵고도 민감한 문제이다. 그러나 실험 시 변별력을 이용한다면 충분히 해결될 수 있는 문제이다. 고통, 통증, 생리적 스트레스 등 실험목적에 따라 변별력이 높은 모델을 이용하는 것이다. 예를 들어, 중추신경에 가해지는 자극이 생리학적 스트레스로 전달되는 경로를 파악하여 그에 대한 지식을 활용하는 것도 하나의 방안이 될 수 있다. 자극의 전달경로에 대한 지식을 알게 된다면, 고통을 유발하는 중추신경 대신 말초신경에 자극을 가함으로써 동일한 실험효과를 얻을 수 있다. 즉, 말초신경을 자극함으로써, 고통을 유발하지 않고 스트레스에 대한 반응을 연구할 수 있는 것이다. 또 다른 예를 들자면, 중추신경과 관계 없이 말초신경에 가해지는 통증을 연구할 수 있다. 마지막으로, 중추신경에 대한 연구조차 인도적 방식으로 개선시킬 수 있다. 델가도 Delgado (4)는 대뇌를 제거하거나 마취시킨 포유류의 뇌간에 전기 자극을 가하여 안면-발성 반응faciovoal response을 유도하는 실험을 상당 수 성공시켰다. 이러한 분석적 연구는 정확도는 떨어지지만 변별력이 높다. 셰링톤 학교Sherrington school가 이룩한 신경생리학neurophysiology계의 발전은 이러한 변별력에 초점을 둔 분석작업이 없었더라면 가능하지 못했을 것이다.



스트레스 연구의 경우, 언뜻 생각할 때 인도주의와 효율성은 양립할 수 없는 갈등으로 보여질 수 있다.

그럼에도 불구하고, 비인도적 관행을 피할 수 없는 경우가 있다. 고통 자체를 제거하기가 힘든 경우가 여기에 해당된다. 그 중에서도 가장 핵심요인은 두려움(fear)이다. 이 장의 뒷 부분에서는 두려움 자체도 인도적 방법을 통해 효과적으로 실험할 수 있는 몇 가지 방법에 대해서 다루도록 하겠다. 역설적으로 들릴지 모르겠지만, 고통 없이 고통에 대한 반응을 연구할 수 있는 방법을 실질적으로 보여줄 것이다. 극심한 스트레스를 연구할 때도 고통을 대폭 완화시키거나 환경을 개선할 수 있는 방법을 찾을 가능성은 매우 높다. 물론 중립 연구에서도 고통을 완화시킬 방법을 반드시 찾을 수 있을 것이며, 그 어떠한 장애물도 그러한 노력을 막을 수는 없을 것이다.

중립 연구 또는 스트레스 연구 모두에 적용시킬 수 있는 두 가지 방법이 있다. 우선, 일반적으로 통용되는 실험 방법의 대체방법에 대해 살펴보겠다.

## ■ 실험방법의 개선방법 Generally Superimposed Procedures

기존에 이용되는 실험방법을 실험동물의 고통을 완화시킬 수 있는 방법으로 대체하거나 적용가능한 다양한 개선의 방법들이 존재한다. 모든 개선의 방안들을 설명할 수는 없으며, 이 장에서는 일부 중요한 내용만을 다루겠다.

기존의 실험방법보다 고통을 완화시킬 수 있는 방법을 개발함으로써 실험생물학의 발전은 가능했다. 예를 들어, 내분비학은 살균 기술이 개발될 때까지 수년 간 기다려야 했다. 사실, 수술 후 동물들이 모두 사망한다면 아무 것도 밝혀낼 수 없었을 것이다. 일반 외과수술 및 특정분야의 수술 기술이 발전함에 따라 내분비학도 함께 발전할 수 있었다. 최근까지만 하더라도 토끼에 대한 양측 부신절제술(bilateral adrenalectomy)은 두 단계로 실시되었다. 두 번째 단계는 기술이 매우 까다롭고 과도한 출혈을 동반하여



사망에 이르는 경우가 흔했다. 결국, 중요한 연구과제도 해답을 얻지 못한 상태로 남겨짐과 동시에 어떠한 과학적 소득도 없이 첫 단계 수술에서 회복되어 남겨진 많은 동물들의 문제도 있었다. 그러다가 양측부신절제술을 대신할 새로운 방법이 개발되었다. 이 새로운 방법은 동물을 폐사시키지 않아도 된다. 내분비계 연구에 있어서 우회수술bypass surgery이 가능하게 된 것이다. 이 우회수술은 항갑상선제antithyroid drug를 사용하는 화학적 갑상선 절제술chemical thyroidectomy이라고 불리운다. 내분비학자들 사이에서 우회수술이 급속도로 번진 것을 보면 내분비학자들도 기존의 비인도적 수술을 원치 않았음을 알 수 있다. 보다 인도적인 수술방식이 개발되면서 실험동물의 감소는 물론 완화 및 개선의 효과까지 올릴 수 있다. 그 중에서도 가장 중요한 발전은 마취제의 개발이었다. 마취제는 최고 수준의 완화절차이다. 마취는 인도적 수술의 최고봉이라 할 수 있고 동시에 실험생물학에 없어서는 안 될 기법이다.

실험실에서 마취제와 진통제를 사용할 때 지켜야 할 일반적 원칙과 파생되는 실질적 문제를 광범위하게 다룬 과학자는 크로프트Croft (56, 57)이다. 그녀는 이완제relaxant 또는 큐라레유사 제제curariform drugs를 수의학 및 동물실험에 이용할 때 주의해야 할 조건에 대해서 조언했다. 이완제와 큐라레유사제제는 고통이 신경근을 통해 전달되는 것을 막는 효능을 지니고 있지만 이들 약제는 반드시 일반 마취제 및 인공 호흡기와 함께 사용해야 하며 포유류에게만 투여할 수 있다 (58). 크로프트의 연구보고서에 대해 자세하게 다루지는 않겠지만, 그녀의 연구를 활용하여 적용이 가능한 한 가지 중요한 기법에 대해서만 언급하고자 한다. 장시간에 걸친 국소마취 및 국소진통제의 효능은 이미 증명이 되었고 폭넓게 이용되고 있다. 그러나 최근에 들어서는 장시간에 걸쳐 국소마취가 가능한 약제가 개발되어 몇 분이 아니라 수 일 동안 마취가 가능하게 되었다. 장시간에 걸친 국소마취는 포유류뿐만 아니라 조류에도 그 효능이 입증되었으며, 환자가 수술 후 장시간 겪게 되는 수술부위의 통증문제를 해결해 주기 위해서 개발된 것이다. 이들 약제의 장기적 부작용은 인간에게는 즉각적인 주의를 필요하지만 곧 실험에 의해 어떠한 방식으로든 안락사가 실시될 실험동물에게는 그리 중요하지 않다. 따라서 장시간에 걸친 국소마취제를 동물에게 투여하여 고통을 대폭 완화시킬 수 있고 동시에 실험결과를 정확하게 도출해 낼 수 있다면 이는 충분히 성공적이라고 볼 수 있다. 몇몇 수술 후 나타나는 통증은 심각한 고통을 동반하며, 이제는 그것이 어느 정도의 고통인지 파악할 수 있다. 이 분야에 대한 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

마취와 관련이 깊은 또 다른 분야는 안락사이다. 사실 실험동물에게는 안락사가 더욱 중요한 문제일 수도 있다. 왜냐하면 안락사는



보다 보편적으로 적용가능하고 대체가 불가능할 때 대안책으로 이용될 수 있기 때문이다. 또한, 생화학적 장애 혹은 세포 내 장애 등으로 고통 속에 죽어가는 동물을 구해 낼 수 있기 때문에 실험의 효율성을 높이는 데도 매우 중요한 요소이다. 마지막으로, 실험을 실시하지 않더라도 인도적 기법으로 동물을 다룰 수 있게 해준다. 예를 들어, 실습의 일환으로 동물을 해부하여 해부학 혹은 조직이나 세포를 연구할 때 이용되는 동물을 편안하게 사망에 이르게 할 수 있다.

또한 실험적 수술 이후에 동물의 몸에는 병변이 남아 있거나 실험 장치들이 부착되어 있을 수 있다. 수술 후의 반응도 살펴야 하기 때문이다. 실험동물은 자신의 몸에 남아 있는 병변과 기구를 보고 고통을 받을 가능성이 높으며, 실제 직접적으로 자해를 하기도 한다. 장기간 국소진통제를 투여할 수도 있지만 동물의 입장에서 익숙하지 않은 병변과 몸에 붙어있는 실험장치를 보는 것만으로도 고통을 느낄 수 있다. 따라서, 수술 후 여러 조건을 고려하였을 때 고통의 완화를 위해 이용할 수 있는 일반적인 방법은 동물의 움직임을 제한하는 도구를 활용하는 것이다. 최근에 개에게 적절한 도구가 개발되었는데, 목의 움직임을 제한하는 지지대collar는 시험해 본 결과 그 효과가 입증되었다.

대형동물로부터 혈액을 채취하는 것은 직접적으로 큰 고통을 주는 일은 아닐 것이다. 그럼에도 불구하고, 고통을 줄이는 방법은 얼마든지 개발될 수 있다. 비앙카Bianca는 “실험용 농장동물로부터 혈액을 채취할 때에는 경정맥을 여러 번 찔러야 하는데 그것은 동물의 피부와 혈관을 손상시킬 수 있다 (59). 따라서 이는 동물의 기질과 연구원의 숙련도에 따라 정도에 따라 차이는 있겠지만 미약한 긴장 정도로부터 심하게 발버둥을 치는 상태까지 동물을 흥분상태로 유도할 수 있다” 고 설명하면서, 이러한 흥분이 혈액학 연구에 특히 치명적이라고 지적한다. 동물이 흥분하게 되면 순환 중인 혈구의 분포에도 영향을 주게 되며 혈액량 측정 등 검사결과에도 심각한 오류를 초래할 수 있기 때문이다.

의식이 있는 동물에게 피하, 근육, 복강, 림프낭 등에 주사를 하는 것은 매우 흔한 실험 방법이다. 우리는 주사를 놓는 것을 사소한 불편함 정도로만 여길 뿐 큰 두려움을 수반하지 않기 때문에 아무렇지도 않게 생각한다. 인간의 이러한 태도는 어느 정도 이해가 가며 따라서 고통의 완화는 간과되기 쉽다. 그러나, 소동물에게 우리가 사용하는 일반적인 크기의 주사기를 이용해서 주사를 놓는다고 생각해 보자. 동물은 즉각적으로 고통의 증상을 나타내게 되고, 이는 자율신경계에도 영향을 미칠 수 밖에 없을 것이다. 따라서, 주사를



놓을 때도 고통을 완화시킬 방법을 강구하는 것이 바람직하다.

이 장에서 실험기간 중 동물의 근린환경 요인을 통제해 주는 것 이상으로 고통의 완화 및 감소 방법에 대해 광범위하게 모두 다루지는 못한다. 이를 위해, 찬스는 여러 환경요인들을 효과적으로 분류하여 체계적인 토대를 마련하였다 (54). 생물학적 검정시험과 약리학 분야에서의 고통완화 방법에 대해 설명하였는데, 타 분야에서도 그 중요성이 절대로 떨어지지 않는다. 동물실험과 관련 있는 모든 분야에서 감소와 완화 및 개선방법은 땀해야 땀 수 없는 두 가지 핵심축이다.

## ■ 실험 방법의 선택 The Choice of Procedures

본장에서는 주어진 실험의 목표를 달성하기 위해 고통을 최소화하는 방안으로, 어떠한 실험방법을 선택할 것인지에 관해 다룰 것이다. 동물실험은 할 때마다 변수가 발생하여 이차적 또는 새로운 제3의 실험방법을 선택해야 하는 경우가 비일비재하다. 따라서 대규모의 실험 또는 장기간에 걸친 실험을 할 때도 실험방법을 현명하게 선택해야 한다.

실험주제의 일반성에 대해 정도의 차이는 있겠지만 원칙적으로 대부분의 실험주제는 다양한 여러 실험방법에 의해 그 해답을 구할 수 있기 마련이다. 역량 있는 연구자의 자질은 그중에서 가장 신속하고, 간단하며 고통을 유발하지 않는 실험방법을 선택하는 것이다. 고장난 기계를 수리하러 온 기계공의 이야기를 사례로 들어 보겠다. 그는 수 초간 기계를 쳐다보다가 망치로 몇 번 약하게 두들겼다. 그러자 기계는 완벽하게 잘 돌아가기 시작했다. 그는 50파운드를 청구했는데, 기계 주인은 기계공이 한 일에 비해 청구액이 과하다고 생각해서 그 이유를 따져 물었다. 기계공은 청구액 명세서를 다음과 같이 설명했다.

1 파운드 - 망치로 두들긴 공임

49 파운드 - 어디를 두들겨야 고칠 수 있는지 찾아낸 공임

역량 있는 연구자도 이와 마찬가지로 어디를 두들겨야 기계를 수리할 수 있는지 아는 것처럼, 어떠한 실험방법을 선택해야 실험의 효과도 높이고 동물의 고통을 줄일 수 있는지 아는 능력을 갖춘 사람이어야 한다.



원칙적으로 대부분의 실험적 과제는 다양한 실험 방법에 의해 그 해답을 구할 수 있다.

역량 있는 연구자의 자질은 가장 신속하고, 품격있고, 그리고 간단한 실험 방법의 선택 여부에 따라 결정된다.

실험방법을 선택하는 일은 그렇게 간단하고 쉽지 않은 일이지만, 일반적 원리를 도출하면 다음과 같다. 첫째, 실험의 효과를 높이고 인도적 방법을 실천하기 위해서 복잡한 방법은 피한다. 실험기구가 잔뜩 있는 실험실에서 기구를 사용하고 싶다는 유혹을 떨쳐내야 한다. 특히, 동물의 행동을 연구할 때 기계의 사용은 상당한 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 환자를 관찰할 때 종종 기계를 이용한 기록에 의존하는 경향이 있다. 복잡한 기계를 이용하면 행동 관찰을 통한 검사의 기록보다 '정확' 하거나 '과학적'이라고 생각하는 사람들이 많다. 그러나 행동 검사야말로 훨씬 더 정확하고 의미 있는 측정을 할 수 있다.

또 다른 보다 일반적인 원칙은 질문을 주의 깊게 정하는 것이다. 질문을 정할 때 유용하게 적용할 수 있는 원칙은 적어도 머릿속으로라도 우선 가상 질문을 만들고 질문에 대한 답을 얻기 위해 이용 가능한 실험방법을 열거해 보는 것이다. 이러한 과정을 거치면 연구자가 선택할 수 있는 잠재적 절차들을 파악할 수 있다. 기술적으로 표현하자면, 정보센터인 셈이다. 리스트를 작성한 후 최선의 실험방법을 선택하되 그것이 전부가 아니다. 선택이 너무 좁다면 질문을 다시 만드는 것이다. 질문을 다시 작성함으로써 필요한 정보를 얻으면서도 선택 가능한 실험방법이 늘어날 수 있다. 역량 있는 연구자라면 이러한 과정을 머릿속에서 빠른 시간 내에 끝낼 수 있을 것이다. 물론 리스트를 작성할 때 쓸모 없는 지식들도 떠오를 것이다. 그러나, 우리는 항상 새로운 것을 추구해야 한다. 완벽한 실험이란 없으니까 말이다.



## ■ 동물 종의 선택 The Choice of Species

실험방법을 결정할 때 가장 중요한 핵심변수들 중 하나가 바로 실험에 사용할 동물의 종을 선택하는 것이다. 동물학의 공식적 또는 비공식적 교육을 통해서 밝혀진 바에 따르면, 적절한 동물 종의 선택이 의학적 연구 발전에 지대한 공헌을 해 온 것은 사실이다. 특정한 실험목적에 따라 특정 동물종의 장점을 최대한 이용할 수 있기 때문이다.

---

실험방법을 선택할 때 가장 중요한 핵심변수들 중 하나가 바로 실험에 사용할 동물의 종을 선택하는 것이다.

---

실험방법을 선택함에 있어 고려해야 할 또 한 가지 중요한 문제가 있다. 그것은 연구의 요구조건과 실험에 사용하기로 선택한 실험동물이 얼마나 잘 부합하느냐이다. 물론 여기서 끝나지 않는다. 어떤 실험동물을 선택하느냐에 따라 실험방법의 구체적인 내용도 달라진다.

인도적인 기법의 적용 관점에서 보면 동물종에 따라 실험방법을 적절하게 조절하는 것 보다 실험목적에 따라 사용하는 동물종을 적절하게 선정하는 것이 생각보다 훨씬 더 중요하다. 만약에 동물종을 제대로 선택하지 못했다면, 남아 있는 유일한 대안은 실험의 요구조건에 맞게 동물을 맞추는 것이다. 그러나 이는 우리가 피해야 할 방법이며, 동물실험의 비인도적인 관행을 초래하게 된다. 그리스 신화에 나오는 프로크루스테스Procrustes를 기억하는가? 그는 손님을 집으로 초대한 후 자신의 침대에 손님의 몸을 맞추었다. 손님이 침대보다 키가 크면 발을 잘라버리고 침대보다 작으면 몸을 늘린다. 그렇지만 프로크루스테스가 애초부터 손님을 제대로 잘 골라서 선택했다면 그렇게 끔찍한 만행을 저지르지는 않았을 것이다.

위의 문제들을 염두에 두고, 현재 대규모로 이용되는 동물종을 살펴보면 놀라지 않을 수 없다. 천문학적 숫자로 이용되는 척추동물 중에서 제대로 실험목적과 방법에 맞게 선택되어 이용된 동물은 극히 일부에 지나지 않는다. 주로 실험에 이용되는 동물의 종류는 20여종의 포유동물, 3종의 조류, 4종의 파충류, 6종의 양서류, 그리고 약 6종의 어류 등이다. 포유류 중에서 연간 1,000마리 이상 이용되는 것은 10여 종에 불과하고, 마우스, 랫드, 기니피그 그리고 토끼와 같이 4가지 동물종이 거의 모든 실험에 이용된다. 그 중에서도 마우스가 약 66% 정도 이용된다. 이렇듯 하나의 동물 종만을 집중적으로 이용하고 있는 현실에 놀라지 않을 수 없다.



인도적인 기법의 적용에 관점에서 보면 동물 종에 따라 실험방법을 적절하게 조절하는 것 보다 실험목적에 따라 사용하는 동물 종의 적절한 선정이 생각보다 훨씬 더 중요하다.

또 놀라운 사실은 전체 이용되는 동물 중 지각이 낮은 척추동물의 이용이 전체 사용 동물의 5%도 되지 않을 정도로 미비하다는 것이다. 심지어 닭, 비둘기, 개구리 등 일부 종으로 그 이용이 한정되어 있다는 것이다. 1950년 당시에도 실험에 이용되는 동물 종이 심각하게 제한되어 있었다. 닭은 주로 영양학 및 화학요법을 위한 연구에 이용되었고, 발톱개구리는 임신진단과 내분비검사에 이용되었다. 실험목적에 따라 종을 선택한다는 분업의 기본 원칙은 적용되고 있었지만 포유류, 비포유류 이렇게 두 가지로만 나누어 국한되어 적용되었다. 문제는 이러한 원칙이 보다 폭넓은 차원에서 적용되지 않고 있었다는 점이다.

훨씬 다양한 지각이 낮은 척추동물을 이용할 수 있음에도 불구하고, 일부 포유류를 집중적으로 이용한 것은 단순히 포유동물을 사육하기 편해서가 아니다. 만약 그것이 사실이라면 조류와 어류가 지금처럼 많이 이용되지 않았을 것이다. 조류와 어류도 일부 실험에서는 선호된다. 포유동물이 집중적으로 많이 이용된 또 다른 이유는 인간과 형태가 유사한 동물을 선택하는 것이 보다 정확한 실험결과를 도출할 것이라는 높은 정확도에 대한 오류 high-fidelity fallacy라는 착각 때문이라고 본다. 따라서, 대체기법을 활용할 때나 척추동물을 선택함에 있어서 변별력이 높은 모델을 사용하는 현명한 선택을 하는 것이 바람직할 것이다.

포유동물이 집중적으로 많이 이용된 또 다른 이유는 인간과 형태가 유사한 동물을 선택하는 것이 보다 정확한 실험결과를 도출할 것이라는 높은 정확도에 대한 오류라는 착각 때문이라고 본다.

위의 결론이 동물 종을 선택할 때 취해야 할 일반원칙이다. 이제 러셀 (55)의 보고서를 토대로 보다 구체적인 문제에 대해서 체계적인 설명을 하고자 한다.



## ■ 근본적인 문제: 실험적 정신의학 및 두려움에 대한 인도적 연구

A Concrete Problem: Experimental Psychiatry and the Humane Study of Fear

앞으로 10페이지 정도를 할애하여 러셀 교수가 특히 지대한 관심을 가졌던 주제에 대해서 다룰 것이며, 이에 따라 클레어 러셀Claire Russell의 연구보고서 내용에 대해서도 상당부분 언급하게 될 것이다. 그러나, 저자들이 이 장의 서두 부분에서 이미 밝힌 것처럼 완화 및 개선의 방법은 여러 가지가 있으며 각 실험에 따라 모두 다르다. 따라서, 여기에서는 몇 가지 공통적인 핵심부분에 대해서만 언급하고자 한다.

### 실험정신의학 및 신경안정제 심사 *Experimental Psychiatry and the Screening of Tranquilisers*

최근에 급속히 발전된 신경화학neurochemistry과 신경약리학neuropharmacology 덕분에 동물을 대상으로 한 실험정신의학의 중요성이 대두되기 시작했다. 이제 우리는 동물의 뇌에 무수한 신약들을 실험하여 더욱 효과가 높고 안전한 약을 개발하는 단계에 직면해 있다.

이러한 약물들 중에서도 가장 유명한 것은 신경안정제이다. 신경안정제의 효능은 '의식에는 어느 정도까지 큰 영향을 주지 않으면서 두려움과 심리적 불안을 완화시키는 데' 있다. 신경안정제는 화학적, 약리학적으로 다양한 특징을 지니며 1950년대부터 활발하게 이용되기 시작했다. 몇몇 약물들의 경우 심각한 부작용에도 불구하고 많은 신경안정제들이 광범위하게 인간에게 처방되었으며, 특히 미국에서 많이 사용되어 왔는데, 1956년 한 해만해도 3,500만 건의 처방이 내려졌다.

기존에 시판되는 신경안정제의 문제점에도 불구하고, 불안증에 대한 또 다른 만병통치약을 개발하려는 연구는 수그러들지 않고 있다. 아직까지 예상치 못했던 인간의 행동에 더욱 강력한 효능을 내는 새로운 화합물을 발견하기 위한 노력은 계속되고 있으며, 유기화학자들은 무제한적으로 새로운 화합물을 계속해서 개발하고 있다. 화학적으로 검사가 가능한 기존의 신경안정제의 효능을 실험하는 것이 어려운 것이 아니라, 새로운 화합물의 예상 효과를 실험하는 것이 문제이다. 기존의 약제들은 신경화학적 특성 및



신경생리학적 정보가 잘 알려져 있으나, 실제로 인간의 행동에 어떠한 영향을 끼치는지 알려져 있지 않기 때문이다. 동물실험 덕분에 긴급한 약물의 심사는 실시되어 왔으나 그럼에도 불구하고 실험정신의학 측면의 연구도 긴급한 것은 마찬가지이며, 이러한 긴급성 때문에 동물실험이 정당화될 수 있는 것이다. 위의 두 가지 유형 실험 모두 실험동물을 필요로 한다.

이들 약의 효능은 반드시 복잡다발적으로 나타나며, 중추신경계에 다양한 반응을 초래한다. 이러한 작용 기전으로 인하여 일부 실험은 특히 포유류를 대상으로 실시되어야 하며 신피질neocortex과 관련된 신경학적 · 행동학적 변화와도 연계되어 있다. 그러나, 뇌간brainstem 기저부에서 일어나는 반응을 연구하는 것이라면 대부분 혹은 모든 척추동물을 이용할 수 있다. 뇌간 기저부의 작용기전은 화학적으로 뚜렷한 안정성을 보이며 통제기능으로 설계된 생화학적 시스템은 여러 내분비실험을 통해서도 증명되었다. 여기서 동물의 행동학적 반응은 도피라는 두려움, 공격의 분노, 짝짓기라는 성의 욕구로 분류된다. 이러한 사회적 행동들은 거의 모든 척추동물에게서 발견되며, 실험과 임상분야를 막론하고 정신의학과 관련된 핵심적인 사회적 행동이다. 이 장에서 특별히 관심을 두는 부분은 흔히 두려움이라고 부르는 도피 욕구이다. 여기서 우리가 필요로 하는 것은 변별력 있는 실험모델을 이용하여 두려움이 실험모델에 어떠한 영향을 끼치는지를 연구하는 것이다. 포유류 뇌의 반응을 전체적으로 관찰하고 뇌의 기능 및 구조적 작용기전을 연구해야 하기 위해서는 정확도가 높은 포유류도 필요하다. 물론 전자의 연구목적에는 비포유류 척추동물도 실험대상으로 가능하지만 전체적 반응을 연구할 때는 포유류를 대신할 수는 없다.

욕구의 개념은 철저하게 분석될 수 있으며, 모든 특정한 욕구는 다양한 행동으로 표현된다. 정신과의사들은 개개인마다 다르게 나타나는 행동, 즉 특정 조건에 따라 극히 다양하게 나타나는 반응보다는, 보다 근본적인 1차적 욕구로서의 중추적 작용기전에 관심이 많다. 만약 자극에 대한 근본적인 중추적 작용기전을 관찰할 수 없다면 동물은 실험모델로서 의미가 없을 것이다. 심리학 역사상 인간의 1차 욕구를 간과하려는 시도가 이루어진 적이 있다. 그것은 생리학 및 약리학에 대한 혐오와 무지에서 비롯된 것이다. 그들의 시도는 잘 알지 못하는 사실을 더욱 그릇되게 표현한 것이며 동물 또는 인간의 두개골은 쓸모 없는 것으로 가득했다는 가정을 토대로 했다.

이제는 그 동안 억압되어왔던 1차적 욕구에 대한 관심이 되살아나기 시작했으며, 말초 자극의 개념에 따라 그 반응을 간결하게 설명하려는 시도가 이루어지고 있다. 모든 척추동물의 경우, 특정한 1차적 욕구에 의해 나타나는 행동은 유전과 환경조건에 의해



결정된다. 그러나 포유류는 조건 반응을 뒤집을 수 있다는 점에서 지각이 낮은 척추동물과 다르다. 즉, 환경적응<sup>1</sup>에 보다 능통하다는 것이다. 물론, 인간은 새로운 행동 체계를 수립할 능력, 즉 통합적 지능을 갖추고 있다. 인간의 병리학, 그리고 정신의학의 모든 영역은 궁극적으로 조건화와 같은 과정을 따르게 되며, 외부의 자극에 의해서 지능발달이 손상되거나 왜곡될 수도 있다. 이러한 방식으로 인간은 포유류와 영장류가 진화과정에서 어렵게 얻은 기능으로서 1차적 욕구를 통제하는 역할을 하는 후뇌<sup>2</sup>의 작용기제에 대한 통제 능력을 잃을 수도 있으며, 1차적 욕구는 구뇌<sup>3</sup>의 구조와도 관련이 있다.

실험정신의학 분야에서 동물을 합리적으로 실험에 이용하기 위해서는, 각 실험동물 종의 행동에 대한 정확한 지식을 갖추어야 할 것이다. 충분한 지식이 있어야 1차적 욕구의 작용 기제와 동물종의 전체적 행동 양식과의 상호작용을 파악할 수 있기 때문이다. 그래야만 자극의 대상이 되는 정상상태의 행동 양식을 최대한 이용할 수 있다. 이는 인도적 실험과 실험의 효율성 양쪽 모두에도 매우 중요한 원칙이다. 사실상 긴급상황이 벌어지면 우리는 흔히 실험동물들의 행동을 무시하게 되고 필사적으로 다양한 방법들을 시도해보게 된다. 예를 들어 도피 욕구와 같은 공포를 유도하기 위해 전기 격자를 사용하는 방법이 이미 시도되고 있으며, 랫드를 두려움에 떨게하는 가장 간편한 프로크루스티안<sup>3</sup> 방식인 전기 격자를 사용하는 방법이 이미 시도되고 있다. 랫드에게 적용되는 이 방식이 본격적으로 시작되기 전에 당장 멈추어져야 한다. 이러한 방식은 우리의 무지에서 비롯된 오류이며, 문제를 해결하는 데 아무런 도움도 되지 못한다.

### 지각이 낮은 척추동물의 이용 *The Use of Lower Vertebrates*

동물실험과 관련하여 시급한 문제들이 증가하는 현 상황에서 이들 문제를 해결할 방법은 단 두 가지뿐이다. 첫 번째는 흔하게 이용되는 실험동물의 사회적 행동을 자세하게 체계적으로 연구하는 것이다. 이 방법은 어떠한 경우에도 매우 바람직하며 반드시 필요하다. 반대할 이유가 전혀 없다. 그러나, 초기단계에서는 보조적 수단으로 다른 방법을 쓰는 것도 매우 유용할 것이며, 이 장에서는 이들 방법에 대해 알아보려고 한다. 자연적이면서도 상호보완적인 두 가지 방법은 기존의 실험동물 종에 대한 행동 연구와

#### 1. 환경적응<sup>1</sup>unlearning

인터넷 정보검색을 토대로 본 내용에 맞게 영어 정리  
(심리학) 학습해소  
의식적으로 알고 있는 기존의 지식을 고수하는 방법보다는  
부정하여 습득하지 않는 것  
프리드리히 니체가 졸업을 앞둔 학생들에게 "몇 년이 흐른 후,  
그때 까지도 내가 가르친 것을 붙들고 있다면, 너희는 이시대의  
죄인이다." 라며 경정에 도태되지 않고 환경에 적응하도록 충고

#### 2. 구뇌<sup>2</sup>older brain

동물의 진화 초기의 뇌로서 뇌간<sup>brainstem</sup>, 소뇌<sup>cerebellum</sup>  
등을 포함하며 생물 개체로서의 생존과 본능을 담당한다.

#### 3. 프로크루스티안<sup>3</sup>Procrustean

고대 그리스 신화에 나오는 애기로 거인을 침대 사이즈에  
맞추려고 사지를 묶어 줄이는 끔찍한 방법



행동학적으로 잘 알려진 종의 선택이다.

실험동물로 널리 이용되는 포유류의 행동에 대한 지식은 부족한 편인데, 이를 지각이 낮은 척추동물에 대한 풍부한 지식으로 대체시킬 수 있다. 많은 종류의 지각이 낮은 척추동물은 실험동물로서 매우 적합하다. 지각이 낮은 척추동물의 행동에 대한 풍부한 지식은 새로 개발된 향신경성 약물neurotropic drug의 심사에도 효과적으로 이용할 수 있다. 우리가 이미 살펴본 바와 같이, 척추동물의 도피, 공격, 짝짓기 행동에 대해 널리 알려진 지식을 활용하여 변별력 있는 실험모델로 이용하면 실험정신의학 목적의 대부분이 충족될 수 있을 것이다. 이미 다양한 종류의 모델들이 이러한 실험에 사용될 수 있도록 확립되어 있다. 이러한 발전의 계기는 생태학자들이 조류 및 어류의 위협 및 구애의 운동과 자세를 육구와 연관시켜 분석했기 때문이다. 육구는 주된 동기부여의 요인이다.

위협은 도피와 공격의 육구로 분류되고, 구애는 역시 도피, 공격, 짝짓기로 분류될 수 있다. 동물의 행동에 나타나는 두세 가지의 요소의 비율은 움직임과 자세를 정량적·정성적으로 측정할 수 있다. 그 차이를 나누어 추정한다. 동물의 움직임과 자세는, 선천적으로 나타나는 조건적 요인에 기인하는 상관 없이, 매우 안정적이고 정형화되어 있으며, 이러한 특징들은 동물의 진화단계를 알려주는 표식이 되기도 한다. 따라서 이러한 방식으로 특정한 중추신경의 작용기제를 동시에 분리하여 연구할 수 있다. 종에 따라 행동 요소의 비율 및 균형은 다르게 나타난다. 예를 들어, 구애 시 도피 육구는 큰가시고기three-spined stickleback보다 잔가시고기ten-spined stickleback가 더욱 강하다. 그 이유는 큰가시고기는 튼튼한 가시로 무장하여 거침없는 성격을 지녔기 때문이다. 한편, 대부분의 조류는 도피 육구가 상당히 강하여 상대방과 “일정거리”를 항상 유지하려 한다. 즉 어떤 종이든 조류는 정상적으로 서로에게 일정 거리 이상 다가가지 않는 경향을 보인다. 공중으로 이륙할 수 있는 시간만 있다면 포식자가 접근할 때 하늘로 날아가 버리는 것이 새들만의 피할 수 없는 생존전략이다. 그렇지만, 번식기에는 이러한 규칙을 깰 수밖에 없다. 따라서 구애시기를 활용하여 새의 도피 육구를 집중적으로 연구할 수 있다. 새의 행동 특성을 효과적으로 활용하여, 특히 번식기에 상대방에게 접근하는 행동을 이용하면 새에게 고통을 전혀 주지 않으면서도 인도적 방식으로 새가 느끼게 될 두려움을 관찰할 수 있는 것이다.

때때로, 수컷 금화조zebra finch의 경우 구애 초기단계에 공격육구가 약화된다. 이것이 바로 교미 전의 의식으로 이때는 도피와 짝짓기 육구만 존재한다. 금화조의 특징 중 가장 눈에 띄는 것은 “중심축을 따라 빙빙 도는 피벗댄스pivot dance”이다. 수컷은 횡대 주위를 빙빙



돌면서 암컷에게 접근하다가 피봇댄스를 추면서 암컷에게 가까이 다가갔다 멀어지다를 반복한다. 특정한 방향으로 빙빙도는데, 원의 크기가 짝짓기 욕구의 수준을 반영한다. 금화조는 일년 내내 교미를 하기 때문에 실험동물로 이용하기에 적합하다.

이러한 동물을 이용하여 신약의 점진적인 특성을 실험할 수 있다. 신약을 투여한 후, 금화조의 피봇댄스 행태가 도피 욕구가 커지는지, 어떻게 변화하는지를 관찰한다. 또한, 큰가시고기가 구애할 때 공격 욕구가 변하는지를 살핀다. 실험목적에 따라 조건을 다양하게 만들어 관찰할 수도 있다. 구애 시에 도피와 공격 욕구가 모두 없어지는 동물의 경우에는 실험이 더욱 간단해 질 것이다. 여러 종의 수컷 개구리와 두꺼비가 여기에 포함된다. 마지막으로, 꼬리가 없는 양서류의 경우 행동분석과 동시에 신경학적 연구도 할 수 있다.

그러나 아쉽게도 경골어류teleost fish와 조류의 경우에는 신경학적 연구를 동시에 할수 없다. 척추동물에 대한 연구 상태는 실험용 포유류와는 정반대이다. 왜냐하면, 새와 경골어류의 행동에 대한 연구는 상당히 많지만, 전뇌forebrain의 구조에 대해서는 연구된 바가 거의 없기 때문이다. 새와 경골어류의 전뇌는 시상하부hypothalamus 부분만 유사하고 포유류의 것과는 상당히 다르다. 그러나 조류와 경골어류의 진화된 행태는 포유류의 행태와 차이가 많이 나지 않는다. 이들 종에 대해 신경학적으로 아는 것이 별로 없다고 하더라도 동물실험에 충분히 이용할 수 있으며, 그 근거를 두 가지 제시하고자 한다. 첫 번째, 기본적인 욕구를 연구하는데 있어서 포유류와 비포유류 척추동물 사이에 큰 차이가 없으며, 두 번째로 정신과의사들이 연구하는 분야는 행동학적인 것이며 신경학 분야가 아니라는 것이다.

조류의 경우, 실험을 할 때 실질적인 어려움에 봉착할 수 있다. 일정거리를 유지하려는 소극적 태도가 부정적인 결과를 초래할 수 있거나 약물 주사 시의 두려움으로 비정상적인 행동을 초래해서 실험이 방해받을 수 있기 때문이다. 그렇지만 에어로졸을 이용하여 약제를 투여하면 이 문제를 해결할 수 있다. 조류의 행동적 특징에 맞추어 에어로졸의 이용을 생각해낸 것이므로, 조류는 다른 모든 종류의 실험동물의 복지에도 기여했다 할 수 있다.

지금까지 간략하게 살펴본 바와 같이, 처음부터 현명하게 실험동물 종을 선택하고, 선택된 동물종의 정상적 행동을 충분히 연구하면 순수 · 응용연구에서 발생하게 되는 실험상의 문제를 성공적으로 해결할 수 있을 것이다. 그렇다고 해서, 기존의 포유류에 대한 체계적 연구의 중요성을 간과하려는 것은 아니다. 포유류에 대한 체계적 연구에는 많은 이점이 있는 것이 사실이다. 이제 마우스와 랫드의



행동적 특성에 대해 살펴보도록 하자. 예를 들어, 신경안정제를 랫드에 투여하면, 자신의 영역을 벗어나 새로운 지역을 탐험하는 것에 대한 두려움이 없어진다. 무엇보다도 여기서 우리가 강조하고자 하는 바는, 먼저 포유류의 정상 행동의 특성을 정확히 파악한 후 실험에 이용한다면, 실험에서 발견되는 모순을 극복할 수 있으며 또한 비인도적 행위를 하지 않고도 연구를 수행할 수 있다는 점이다.

이러한 제안들은 1957년 5월 8일에 개최되었던 UFAW 인도적인 실험기법에 대한 심포지엄(UFAW Symposium on Humane Technique in the Laboratory)에서 발표되었다 (55).

현재 가장 많이 논의되고 있는 1차적 욕구의 주요 작용기제는 두려움에 대한 것이다. 따라서 두려움을 연구할 때 다양한 대안방법이 많으면 많을수록 바람직하다. 많은 대안방법을 이용할 수 있는 것은 앞서 조언했던 여러 기법을 리스트로 작성한 결과이기도 하다. 그러므로, 이제 이번 장을 마무리하면서 아무리 민감하고 까다로운 실험이라 하더라도 인도적 기법을 다양하게 활용할 수 있다는 것을 보여주기 위하여 추가적으로 인도적인 방법을 이용하여 두려움을 연구할 수 있는 실험기법에 대해 하나 더 소개하고자 한다.

실험동물을 선택할 때 실험정신의학자는 자신에게 주어진 조건을 타박할 수 있겠지만 그것은 옳은 태도가 아니라고 본다. 왜냐하면 어떠한 동물이라도 인도적 실험을 할 수 있는 여지가 있기 때문이다. 이제 우리가 살펴 볼 동물은 비둘기이다. 비둘기는 비포유류 실험동물의 5%를 차지한다. 비둘기를 대상으로 실시된 기발한 연구기법은 디에브스크랙(Diebschlag(60)의 논문에서 발췌한 것으로 본보기를 삼을만한 훌륭한 연구기법이기에 이 장에서 소개하고자 한다.

디에브스크랙은 비둘기에게 간단한 과제를 훈련시키고자 했다. 특히, 그는 비둘기 새장 앞에 있는 두 개의 단(platform) 중 하나를 선택할 수 있도록 훈련시키려 했다. 그는 단 위에 먹이를 올려 놓아 훈련을 시켰으며, 비둘기들이 얼마 되지 않아 먹이를 먹기 위해 두 개의 단으로 올라갈 수 있었다. 나중에는 단 위에 올라설 때까지 먹이통을 볼 수 없어도, 비둘기는 먹이가 있다는 사실을 예측하고 단 위로 올라왔다. 그 다음 과제는 비둘기가 한쪽 단은 무시하고 다른 한쪽 단으로만 올라오도록 훈련시키는 것이었다. 처음에 그는 비둘기가 올라가지 않기를 원하는 단에는 음식을 두지 않았다. 그렇지만 이 훈련은 성공하지 못했다. 비둘기는 먼저 우측 단에 올라온 뒤 좌측 단도 습관적으로 올라왔기 때문이다. 마치 다른 한쪽의 단에는 먹이가 없는 것을 확인이라도 하려는 것처럼 보였다. 여러 번에 걸쳐서 훈련시켰지만 소득이 없었다. 결국, 먹이를 두지 않는다고 해서 단에 올라가지 못하도록 교육시키지 못한다는 사실을 깨닫게 되었다. 그



후 디에브스크랙은 허수아비를 설치하여 비둘기를 놀라게 하는 방법을 취했다. 이 방법은 대실패였다. 비둘기가 몇 번 놀라더니 이제는 아예 단에 올라가려 하지 않고 새장에서 꼼짝도 하지 않았기 때문이다. 더 강력하게 공포스러운 실험방법을 택하는 대신 그는 간단한 방법을 시도했다. 그는 비둘기가 올라가기를 원하지 않는 단에 먹이를 놓아두되 투명 플라스틱으로 덮었다. 먹이를 먹으려고 단에 올라온 비둘기는 몇 번 투명 플라스틱을 부리로 찌지만 성공하지 못하자 마침내 포기했다. 비로소 비둘기는 그 단에 올라가려고 하지 않았다. 디에브스크랙은 기발한 학습방법을 도입하여 고통을 유발하지 않고 원하는 바를 훈련시킬 수 있었다. 그의 사례는 비둘기의 학습반응을 연구하는 과학자들에게 시사하는 바가 크다고 생각된다.

이 실험을 통해서 추가적으로 귀중한 정보를 얻을 수 있었다. 디에브스크랙은 그의 새들을 재훈련시키고자 했다. 여러 번에 걸친 훌륭한 실험 이후에, 그는 이전에 못 올라가게 했던 단에 새가 접근을 꺼리는 사실을 발견하게 되었다. 새는 그 단을 두려워하는 것 같았다. 다른 실험을 관찰한 결과, 그는 새의 이상한 행동의 열쇠를 풀 수 있었다. 새는 한 장소를 두렵다고 한번 생각하면, 그 곳은 라이벌 새의 영역이라고 생각한다. 그러니까 공포는 상상 속의 라이벌에 대한 두려움이라 할 수 있다. 조류의 특징이 잔인하고 두려움이 없는 싸움꾼이라는 점을 감안하면 새의 행동이 이해될 것이다. 새는 일반적으로 상대방 새와의 일정거리를 유지하여 안전을 추구하기에 공격성을 억제할 수 있는 효과적인 방법을 발전시키지 못했지만, 디에브스크랙은 새에게 어떠한 고통도 주지 않고 공격성을 억제시킬 수 있었다. 만약 그가 실험의 한 절차로 고통을 주었다면 새의 행동에 대한 귀중한 정보를 얻지 못했을 것이다.

이제 새를 대상으로 두려움을 줄일 수 있는, 혹은 줄일 것이라고 예상되는 약물을 실험한다고 가정해 보자. 비둘기는 음식에 접근할 수 없다는 경험을 한 후 지정된 한 단에는 올라서지 않도록 훈련을 받았다. 이들 새에게 다시 실험을 할 때 두려움을 유발시키지 않아도 된다. 그저 약을 투여한 후 새의 반응을 살펴면 되는 것이다. 약이 주입된 후, 새가 아무 거리낌 없이 올라서지 않았던 단에 접근한다면 약의 효능이 입증되는 것이다. 새가 배가 고플 때 먹이가 없어도 거리낌 없이 단에 올라섰던 정상적인 행동과 비교하면 될 것이다. 이러한 일련의 예상이 들어 맞는다면, 동물들에게 두려움을 주지 않고도 두려움을 없애는 약물에 대한 실험을 할 수 있게 되는 것이다. 처음에는 해결책이 없을 것 같아 보이는 실험도 모두 해결책이 있다. 아니 더 나아가 한 개의 해결책이 아니라 그 이상의 해결책도 찾을 수 있다.



이와 같이 너무나도 까다로운 실험이 아니라면, 처음에 시도하려는 것과는 달리 연구자는 다양한 실험방법을 적용할 수 있는 여지가 충분히 있다. 이러한 여지를 최대한 활용하면 인도적인 실험을 성공적으로 실시할 수 있을 것이다. 동물실험에서 고통을 완화시키거나 개선하기 위한 방법을 모색하는 데는 한계가 없다고 본다.

연구자가선택할 수있는 실험방법의 종류는 처음 생각하는 것보다 더 광범위하고 다양하다.

동물실험에서 고통을 완화시키거나 개선하기 위한 방법을 모색하는 데는 아마 한계가 없을 것으로 본다.





# 제8장 THE FACTORS GOVERNING PROGRESS

## 인도적 동물실험의 발전 요인



# 제8장

## THE FACTORS GOVERNING PROGRESS

1. 인성 요인 The Personality Factors
2. 사회학적 요인 The Sociological Factors
3. 특수 관련 기관 Special Organisations
4. 결론 Conclusion



## 인성 요인 The Personality Factors

인도적 실험기법 원칙을 마무리하면서 이제 인도적 동물실험의 발전을 결정짓는 요인에 대해 간략하게 설명하고자 한다. 여기에는 인성요인보다는 사회학적 요인이 더욱 중요하며 이는 후에 자세하게 다루겠다. 그러나 지금까지의 동물실험 역사를 자세히 훑어보지 못하고 이 책의 내용만 보더라도 몇 가지 잠정적인 결론을 도출할 수 있는 증거들이 충분하다.

연구자의 인성요인에 대해서는 길게 다루지 않을 예정이다. 동물을 다루는 데 있어 중요하게 작용하는 인성요인으로는 두 가지 병적 인격변수pathological personality variables가 알려져 있다. 첫 번째는 권위authoritarian의 요인이다. 이 요인은 고정관념에 의해 특정 동물 종만을 편애하는 것은 물론 반대로 동물을 적대적으로 대하는 것과도 밀접한 관계가 있다. 두 번째는 아직까지 베일에 가려져 있으며 첫 번째 요인과 관련이 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 두 번째 요인은 잠정적으로 혁신적revolutionary요인이라 불리며, 동물과 관련 지어 설명하자면 열렬한 생체해부 반대론자의 태도라 할 수 있다.

굳이 경험을 하지 않더라도, 생물학 연구자들은 대부분의 사람들보다는 동물을 좀 더 이성적으로 대한다고 예측할 수 있을 것이다. 물론, 그들은 열광적인 생체해부 반대론자일 수도 없다. 한편, 그들의 임무는 여러 가지 변수를 고려하도록 만들 것이다.

---

동물실험을 수행하는 생물학자들은 대부분의 사람들보다는 동물을 좀 더 이성적으로 대한다고 볼 수 있다.

---

그러므로 그들은 절대적으로 권위적인 태도를 지닐 수가 없다. 권위적인 요인을 많이 지닌 사람은 생물학 연구자로 남아 있을 수가 없고, 애초에 생물학 연구자가 되지도 못했을 것이다. 만약 연구자가 된다고 해도, 주변 동료들이 동물을 비인도적으로 대하도록 허용하지 않을 것이며, 원래 권위적인 태도를 가지고 있다 하더라도 주변 분위기에 동조하여 바뀔 것이다. 정량적인 데이터는 아직 없지만, 지금까지 접했던 상당수의 영국 생물학 연구자들을 고려해 볼 때 권위적 태도를 지닌 사람들은 지극히 소수에 불과했다. 다른 일부



국가에서는 상황이 다를 수도 있다. 다수의 보조연구원이 필요하여 생물학 교육을 제대로 받지 않은 사람들을 연구원으로 고용하는 경우, 영국과 다른 상황일 수도 있다. 그러나, 상사들이 인도적 성향을 가지고 있다면 얼마까지 않아 권위적 태도를 지닌 연구원들이라도 전체적 분위기에 따라갈 것이다.

## ■ 사회학적 요인 The Sociological Factors

### 인도적 행위 및 효율성 Humanity and Efficiency

광범위한 관점에서 실험의 효율성을 살펴본다면 시간, 비용, 그리고 실험이 필요한 정보를 얼마나 효과적으로 제공하는가, 즉 유효성의 균형이라고 볼 수 있다. 그렇지만, 이들 세 가지 요인의 중요성은 각 실험실과 실험목적에 따라 달라진다.

---

광범위한 관점에서 실험의 효율성을 살펴본다면, 시간, 비용, 그리고 유효성의 균형이라고 볼 수 있다.

---

기초과학자들은 실험 결과가 빨리 도출될 수 있도록 실험방법을 조급하게 서두르지 않으며, 임시적으로 다른 일을 모색할 수 있기 때문에 시간의 요인은 크게 중요하지 않다. 그러나, 병리학자들에게는 삶과 죽음의 문제 만큼이나 시간이 매우 중요하다. 또한 대규모 민간 실험실의 경우, 시간이 곧 돈과 직결되므로 대규모의 계획된 실험의 우선 순위가 조정될 수도 있다.

비용의 요인은 앞서 설명한 세 가지 실험 유형과 목적에 중요하게 작용된다. 영리기업의 경우, 영리추구가 주 목적이기 때문이며, 병리학자나 연구실험실의 경우에는 대부분 빠듯한 예산과 직결되기 때문이다.

유효성의 요인은 의미상 병리학자들에게 가장 중요하다. 제약회사는 유효성의 기준을 정해놓고 실험결과가 이에 미치지 못하면 연구를 중단시킨다. 유효성을 증명하지 못하면 실험이 쓸모 없게 되고, 이러한 실험은 계속적으로 진행할 수 없다.

인도적인 3Rs 원칙과 관련 지어 생각할 때, 대체방식은 비용에 따라 다르게 나타날 수 있다. 박테리아를 시험관에 배양하여 실험하는



것은 기니피그를 생체실험에 이용하는 것보다 애초부터 비용이 저렴하다. 그러나, 조직배양 방식은 장기적으로 비용이 절감되지만, 처음에는 인력 교육과 시설설비로 많은 비용이 든다. 포유류의 조직을 배양하는 것은 생체실험보다 비용이 좀 더 들 수 있다. 왜냐하면 동물은 물론 조직배양에 필요한 연구시설이 필요하기 때문이다. 그렇지만 조직배양은 시간이 지남에 따라 실험결과와 정확도가 높아지기 때문에, 실험에 필요한 동물의 수가 감소하게 되어 결국 비용절감으로 이어질 것이다. 또한 현재로서는 제안단계에 있지만 고등식물로 동물실험을 대체하게 되면 상당한 비용을 절약할 수 있을 것이다. 문제는 공간확보와 시간이 많이 소모된다는 점이다. 다른 대체방법들은 소요시간을 단축시킬 수 있다. 완화 및 개선방법은 당연히 실험의 유효성을 높일 것이며 감소의 효과까지 올릴 수 있기 때문에 시설 및 숙련된 연구원 확보 등 비용문제만 해결된다면, 상당히 효율적인 방식이다.

대체방식은 비용에 따라 다르게 나타날 수 있다.

완화 및 개선방법은 당연히 실험의 유효성을 높일 것이며 감소의 효과까지 올릴 가능성이 있다.

유효성efficacy을 약화시키지 않고 감소 방법에 성공한다면 당연히 비용을 절감할 수 있다. 실험연구실에서 가장 비용이 많이 드는 부분이 동물의 구매비용이기 때문이다. 그러나 감소를 통해 절약되는 비용은 많은 동물을 죽음에서 해방시킴으로써 얻는 이익과 비교되어야 한다.

유효성의 경우, 혹은 정보의 산출에 있어서는 인도적 기법을 활용하는 것이 항상 바람직하다. 인도적 행위와 효율성의 상관관계는 이 책에서도 자주 언급했기 때문에 더 이상 강조할 필요가 없다고 생각한다. 그러나, 한 가지 근본적인 문제를 언급하고자 한다. 과학이란 타인에게 우리가 본 것을 어떤 방식으로 알아냈는지를 알리기 위한 기술적 방법이다. 실험은 인류진화의 혁명적인 사건이다. 그러나, 실험은 한 가지 단점을 지닌다. 잘못된 정보를 수정할 수 있는 것은 실험의 이점이지만, 시간과 노력을 소모해야 하는 단점이 있다. 과학은 인류의 지식 탐구 욕구의 최고봉이라 할 수 있다.

사실 진정한 정보를 주는 실험은 최대한 인도적 방법으로 실시되어야만 비로소 유익한 실험이라고 할 수 있다. 왜냐하면, 과학과 탐험은 상호협력이라는 사회적 활동과 불가분의 관계에 있으며 이러한 관계는 인류뿐 아니라 동물과의 관계에도 해당되기 때문이다. 동물실험을 합리화rationalization시키기 위해 의도적으로 호의를 베풀고 사회적 인정을 받으려고 노력한다 해도 소용이 없을 것이다.



병리학적 관점에서 보면, 용납될 수 없는 생각 또는 행동을 하면서 이를 정당화시키기 위해 합리적인 이유를 대는 변명일 뿐이다. 그러면서 자신도 모르는 사이 음흉한 진실이 드러나는 것이다.

유효성이나 정보의 측면에서 보면 인도적인 기법의 이점들은 거의 범세계적으로 적용될 수 있다.

결국, 실험방식을 선택할 때 최우선적으로 가능한 인도주의적 기준을 적용시키는 것이 가장 합리적인 결론이다. 개별 연구의 실험방법을 모두 추적할 수는 없지만, 그 실험방법이 인도적인가 아닌가의 여부는 피할 수 없는, 그리고 가장 근본적인 기준이 되어야 할 것이다. 그리고 누구나 만족할 만한 수준의 인도적 실험을 할 수 있다면, 이는 과학적으로도 가치 있는 실험이라고 말할 수 있다. 이것은 개별 실험에만 국한되는 것이 아니라, 연구 전체에 해당된다. 추가적으로 실험의 예술적 측면에 대해 언급하고 이 부분을 끝내고자 한다. 과학과 예술은 밀접한 관계에 있다. 가장 위대한 과학적 실험은 가장 인도적이면서도 가장 미학적으로 아름다운 것이어야 한다. '아름다움과 우아함'이야말로 가장 성공적인 실험이 갖추어야 할 요소이다.

### 인도주의적 기준

실험방식을 선택할 때 가능한한 인도주의적 기준을 적용시키는 것이 최선의 방법이다.

가장 위대한 과학적 실험방법들은 성공적인 실험의 핵심요소인 미학과 품격을 갖추면서 가장 인도적이고 관심을 끌어올렸다.

구체적인 내용은 여기에서 다루지는 않겠다. 특히 비용문제는 다른 곳에서 좀 더 자세하게 다루어져야 할 것이다. 그러나 보다 폭넓은 관점에서, 인도적 태도와 실험의 효율성 사이에는 밀접한 상관관계가 존재한다고 가정할 수 있다. 따라서, 이 장에서는 동물실험의 발전에 영향을 끼치는 요인에 대해 집중적으로 다룰 것이다.



## 유연성과 상호소통 Flexibility and Communication

이 책을 통해서, 우리는 기존 지식을 응용하여 실험을 개선하는 작업이 지연되고 있다는 점을 계속 강조하였다. 일부는 매우 전문적 분야에서 그렇지만 일반적 분야에서도 사정은 다르지 않다. 좀 더 자세하게 설명하자면 다음과 같다. 동물실험에 이용되는 동물종의 상대적인 수량에 대한 연구조사가 늦어지고 있으며, 프리드먼Friedman의 임신테스트<sup>1</sup>가 지속적으로 이용되고 있고, 미생물학적 생물검사가 아직도 시작되지 못하고 있으며, 통계학적 방법이 적극적으로 이용되지 못하고 있다. 뿐만 아니라, 균일성을 유지하기 위한 교배방법이 여전히 이론적으로 수립되지 못했고, 환경요인이 결과의 분산에 끼치는 효과에 대한 연구보고서가 아직까지 정식으로 출간되지 못했으며, 심신의학 원칙이 동물실험에 적용되지 못했으며, 동물종을 선택함에 있어 아직도 보수적인 생각에 머물러 있고, 독성시험 접근방법을 혁신적으로 바꾸지 못하고 있는 실정이다.

이렇게 발전이 더딘 이유는 관련 분야 연구원들이 타성에 젖어 있거나 지나치게 보수적이기 때문이다. 혁신을 가능하게 하는 정보가 이미 제공되었음에도 불구하고 긍정적 또는 부정적인 행동일 수 있는 관습적 행동에서 벗어나지 못하고 있는 것이다. 이러한 현상을 유기체와 비교해 보자면, 고립isolation 또는 중추신경계 사이에 의사전달이 제대로 되고 있지 않다고 설명할 수 있다.

---

이미 존재하는 지식의 존재에도 불구하고 이렇게 발전이 더딘 이유는  
관련 분야 연구원들이 타성에 젖어 있거나 지나치게 보수적이기 때문이다.  
혁신을 가능하게 하는 정보가 이미 제공되었음에도 불구하고  
긍정적 또는 부정적인 행동일 수 있는 관습적 행동에서 벗어나지 못하고 있는 것이다.

---

그렇다면, 사회학적 측면에서 고립이란 어떠한 의미를 지니는가? 산업기술의 발전에서 기업들 사이에 의사소통이 제대로 이루어지지

1. 프리드먼Friedman의 임신테스트  
Friedman test 혹은 rabbit test라고도 하며 여성의  
요를 교미하지 않은 암컷 토끼에게 주사한 뒤 토끼의  
난소에서 황체의 생성 여부를 확인함으로써 임신을 조기  
진단하는 검사법



않으면 그 산업의 발전은 지연될 수밖에 없다. 생물학적 검정시험의 경우, 대학의 연구 약리학자와 산업현장의 분석 연구원들 사이에 의사소통이 제대로 이루어지지 않고 있다. 또한, 서로 다른 언어를 사용하는 국가들 사이에 의사소통이 이루어지지 않고 있음이 최근에 연구보고서를 발표한 패그리(Faegri (61))에 의해서 밝혀졌다. 그는 서로 다른 언어로 쓰여진 논문들의 참고문헌을 조사한 결과, 논문에 쓰여진 언어와 다른 언어로 된 참고자료들은 상대적으로 관심을 덜 받은 것으로 드러났다. 이러한 고립현상은 매우 중요하다. 그러나 이 보다 더욱 심각한 고립은 현대 과학의 세분화된 전문분야들 간에 일어나고 있다.

과학이 발전하면서 적응방산<sup>1</sup>(adaptive radiation)과 마찬가지로 여러 전문분야가 분화되고 그 분야의 수가 점점 늘어나는 것은 당연한 현상이다. 전문분야의 분화는 그 자체는 문제가 되지 않는다. 그러나 분화가 되더라도 각 분야 간에 정보의 흐름이 원활하고 서로간의 벽을 헐고 통합될 수 있어야 한다는 전제조건이 필요하다. 즉 실험결과에 대한 전문가들 사이의 효과적인 소통과 학문간의 통합과 공인된 정보의 제공, 이 두 가지가 동반되어야 한다. 지금까지, 학제간 통합작업은 그 필요성을 간파한 일부 우수한 인력에 의해서만 이루어져 왔다. 그러나 현재 정보의 흐름 및 통합이 중단됨으로써 과학의 발전은 거의 멈춘 상황이라 볼 수 있다. 이는 앞서 언급한 바 있는 “교잡종의 강제(hybrid vigour)”원칙에 위배되는 것이라고 볼 수 있다.

---

실험결과에 대한 전문가들 사이의 효과적인 소통과 학문간의 통합과 공인된 정보의 제공, 이 두 가지가 동반되어야 한다.

---

이러한 추세가 앞으로도 계속된다면 응용과학에 더욱 부정적인 영향을 끼칠 것이다. 실험의 여러 분야가 발전되지 못하고 있는 현실이 이러한 현상의 방증이다. 실험동물을 선택함에 있어 보수적인 태도를 보이는 것은 결국 동물학자의 전문지식을 제대로 활용하지 못하기 때문이다. 생물학적 검정시험의 경우, 근린환경<sup>2</sup>(proximate environment)을 통제하지 못하는 것은 응용연구나 개발연구에 심신의학의 원칙을 적용시키지 못하기 때문이며, 그것은 변수에 대한 불변의 오류로 이어진다. 어느 정도까지는 이러한 고립현상이 개인적 차원에서 이루어지기도 한다. 그러나, 사회적 현상과 더 밀접한 관련이 있다고 보인다. 전문가의 연구결과에 감탄한 나머지, 사람들은 자신이

1. 적응방산<sup>1</sup>(adaptive radiation)

생물의 한 분류군(分類群)이 진화 과정에서 각종의 다른 환경에 가장 알맞은 생리적 및 형태적 분화를 일으켜서 식성이나 생활방식에 따라 형태적·기능적으로 다양하게 분화하는 현상.



발견한 지식조차 믿지 못하며 올바르게 활용하지 못하게 된다. 남이 이루어낸 것이 아니면 믿지 못하는 것이다. 혹은 전문가의 지식에 대한 지나친 존경심 때문에 적절한 비판의 시각을 갖지 못할 수도 있다. 이는 확실한 주종관계를 추구하는 병적인 갈망의 결과라 할 수 있으며, 인류진화라는 과학의 발전을 절대 허용하지 않으려 할 것이다.

그 좋은 예가 근교계에 대한 가정과 미생물학적 생물검정의 발전이다. 수십 년 동안, 근교계가 가장 균일한 반응을 보이는 집단이라는 가정에 그 누구도 의문을 제기한 사람은 없었다. 근교계 가정이 기존의 유전학적 지식을 토대로 했으므로 무조건적으로 신봉하였으며, 전문적인 유전학자 이외에는 이 문제에 대해서 언급하지 않았다. 그러나, 1930년 초반의 유전학자들은 생물학적 검정시험에 기여할 생각을 하지 못했다. 왜냐하면 그들은 생물학적 검정시험이 무엇을 하는지도 몰랐으며, 생물학적 검정시험의 분산에 영향을 끼치는 환경적 요인이 유전형genotypic과 관련이 있다고는 전혀 생각하지 못했기 때문이었다. 두 분야의 전문가들 간의 단절된 의사소통은 다음과 같은 심각한 두 가지 결과를 초래하였다. 우선 한 분야에서 현재 소통되는 지식이 다른 분야에 전달되지 못할 뿐 아니라, 한 분야의 케케묵은 지식 또는 완전히 잘못된 과거의 지식이 다른 분야의 발전을 막는 걸림돌이 되어버린 것이다. 분석가들이 아예 유전학자들의 예전 지식을 전혀 참조하지 않았다면 자신들의 경험적 결과만으로 근교계 가정에 의문을 제기할 수 있었을텐데, 의사소통의 단절로 그렇게 하지 못했다. 따라서, 전문지식을 신봉하고 거기에서 의사소통까지 단절되어 새롭게 발견된 지식을 흡수하지 못한다면 결국 자신이 스스로 관찰을 통해 얻은 결과조차도 신뢰하지 못하는 상황을 초래하게 된다. 특히, 이러한 현상은 ‘기초과학’과 “응용과학” 사이에 일어나는데, 그 이유는 두 분야의 장벽이 그 어떤 분야보다 견고하기 때문이다. 유전학에서 교잡종의 균일성에 대한 이론을 수립하고자 하는 관심이 커진 것은 1950년대에 들어와서였다. 만약 1930년대에 분석연구원들이 자신의 연구결과에 대해 확신을 가지고 용기 있게 그 내용을 주장했다면 유전학자들의 관심을 끌 수 있었을 것이다.

반면, 미생물학적 생물검정microbioassay은 정반대로 긍정적인 양상을 보인다. 물론 바이러스학처럼 기술적 어려움으로 인해 일부 분야의 발전이 지연되기는 했지만, 전반적으로 빠른 성장세를 보였다. 놀라운 발전의 이유는 동물 영양학과 미생물생화학microbiochemistry 전문가들 사이에 의사소통이 자유롭게 이루어진 데 있다. 양쪽 어느 누구도 상대방 분야의 전문가에게 자유롭게 접근하여 토론을 할 수 있었으며 이렇듯 자유로운 의사소통으로 두 분야 모두 성공적인 발전을 이끌어 낼 수 있었다.



학제 간 분야별 전문가들의 상호 소통으로 하나의 일반화된 정보 도출이 가능하다. 사실상 현재는 관련 정보가 지나치게 넘쳐서 개인이 소화해 내기 벅할 정도이다. 사서들이나 문서를 정리하는 사람들에게 이미 이 문제는 잘 알려져 있고 통계수치로 정리하는 것 이외에 실질적인 지식을 흡수하는 것은 매우 힘든 것이 현실이다. 만약 특정 주제에 대해 출간된 정보를 얻으려고 하면 제한된 수의 출판물만을 구할 수 있을 것이다. 왜냐하면 대부분의 정보가 방대한 학술지에 산재되어 있기 때문이다. 일부 정기학술지를 찾아 보는 것은 쉬울지 몰라도, 여러 주제 하에 뿔뿔이 흩어져 있는 문서들은 찾기가 쉽지 않다. 한 가지 확실한 것은, 출간된 서적이 아무리 많다고 하더라도 정기학술지 속에 여기저기 흩어져 있는 정보와 비교하면 소수에 불과할 것이다.

정기 학술지는 접근이 쉽지 않으므로, 분야 간 전문가들의 가장 효과적인 의사소통 수단은 책이라는 점을 강조하고 싶다.

---

학제 간 분야별 전문가들의 상호 소통으로 하나의 일반화된 정보 도출이 가능하다.  
사실상 현재는 관련 정보가 지나치게 넘쳐서 개인이 소화해 내기 벅할 정도이다.

---

비셔Visscher (62)는 정보 검색의 경우 실험기법technique에 관련된 내용을 찾는 것이 가장 어렵다고 주장한다. 그는 “일반적으로 실험에 대한 방법론methodology은 사소한 것으로 취급되어 출간 시 생략되는 경우가 많다. 중요한 기법이어도 관행 상 생략되어 왔다. 기본지식으로 취급되어서도 그렇고 단지 쓸 공간이 부족해서이기도 하다”라고 밝힌다. 전문화로 인한 의사소통 부족문제를 가장 효과적으로 해결할 수 있는 방법은 개별 연구원들이 여러 분야에서 일을 해보는 것이다. 비셔는 한 분야를 완벽하게 연구하지 못하는 이유는 다양한 실험기법에 익숙하지 않기 때문이며, 만약 다른 분야에 걸쳐 있는 여러 기법을 충분히 활용할 수 있다면 자신의 분야의 연구를 제대로 해 낼 수 있을 것이라고 지적한다.

또 다른 해결책은 일반적인 방법론에 관한 여러 연구를 한 곳에 모아 놓아 연구원들이 활용할 수 있도록 하는 것이다. 이 책도 그러한 맥락에서 쓰여졌다. 여기저기 흩어진 정보들을 한데 모아서 과학자들이 다른 분야에 대해서 좀 더 친숙해질 수 있도록 하는



것이다. 따라서, 연구 도중 문제가 발생할 때 다른 분야 전문가에게 해당 문제에 대해 조언을 구하도록 권장하는 것이다. 그 좋은 예가 통계학자들이다. 통계학자들은 이미 연구자들과 긴밀한 관계를 유지하며 큰 도움을 주고 있다. 연구자들은 실험을 시작할 때는 물론 실험이 끝난 후에도 통계학자들로부터 지속적으로 도움을 받고 있다. 통계학자들은 연구자들에게 구체적인 문제를 지속적으로 제기하여 통계학적 이론 및 방법을 인식하고 활용할 수 있도록 자극을 준다. 이러한 방식은 결국 과학의 발전이라는 긍정적 성과로 이어진다. 가능하다면 전문가들은 각자의 연구소에서 고립되는 일이 없도록 하는 것이 바람직하며, 여러 과학의 분야들이 통합하여 유기적으로 움직이는 것이 효과적이다. 지금까지의 경험으로 볼 때 이러한 통합방식은 실험을 성공적으로 이끄는 데 불가피하다. 또한, 정보수집의 어려움을 타개하기 위해, 일반적인 측면에서 전문가들의 훈련과 활용을 적극적으로 장려하고 세밀한 연구분야로 들어가서는 각각의 전문분야가 개별연구에 장애물이 되지 않도록 의사소통을 장려해야 할 것이다.

연구 그 자체의 타당성 연구, 연구방법론의 적절성에 대한 연구 (21), 혹은 연구 활동을 위한 운용 분석 (63) 등 이 모든 것을 고려할 때 통합과 자유로운 의사소통이 중요하다. 이제 연구소의 기관장들은 통합과 의사소통의 필요성을 인식하기 시작한 것으로 보인다. 과학 분야 간의 의사소통을 지원하기 위해 여러 기관들이 생기기 시작했으며, 이들의 역할은 마치 산업 분야의 컨설턴트와 유사하다. 이 장의 뒷 부분에서 이들 기관에 대해 간략히 설명할 예정이다. 과학이 발전을 거듭하기 위해서는, 그리고 현재의 정체상태에서 벗어나기 위해서는 통합과 자유로운 의사소통을 실현시켜야 한다.

---

이 문제를 바라볼 수 있는 방법 중의 하나는 연구 그 자체의 타당성 연구,  
또는 연구방법론의 적절성, 또는 연구의 운영적 측면에 관한 연구의 필요성을 살펴보는 것이다.

---

마지막으로 통합과 의사소통의 활성화를 위해, 교육, 법, 실험기법을 중점적으로 다루는 특수기관에 대해서 몇 가지 짚고 넘어가야 할 내용이 있다. 이들 문제에 대해서 간략한 설명을 끝으로 이 책을 마무리하고자 한다.



## 교육적 측면 *Educational Aspects*

정규교육은 두 가지 방식으로 동물실험의 발전에 기여할 수 있다. 첫 번째, 실험 방법론에 대한 지식과 경험이 풍부한 전문인력을 양성할 수 있다. 그러나, 그 문제는 교육정책가들의 손에 달려 있는 문제이다. 두 번째는 보다 쉽게 해결할 수 있는 문제인데, 예를 들면 약리학자 및 약사의 교육에 관심을 불러 일으키고 더 많은 연구가 이루어질 수 있도록 장려하는 것이다. 우리의 연구결과, 미래의 연구자들이 특히 비교생리학comparative physiology, 동물행동학animal behaviour, 심신의학psychosomatics에 대해 익숙해질 수 있도록 더욱 관심을 기울여 교육을 시켜야 할 연구 분야들이 밝혀졌다. 그러나, 여기에는 한 가지 단서조건이 붙는다. 이 책을 통해서 우리가 가정했던 것은 일선의 약리학자들과 병원의 병리학자들이 연구소에서 일하는 생물학 연구자인 만큼 자신의 업무를 통제할 권한이 있다는 것이었다. 그러나 현실은 그러한 가정과는 상당한 차이가 있다. 실험 병리학experimental pathology 부서는 병원의 다른 부서와 관계가 긴밀하지 못하다. 민간기업의 경우, 유기화학organic chemistry의 위세가 워낙 강해서, 일상적 업무정책은 물론 많은 경우에 통제권을 잡고 있다. 그렇지만 교육정책을 수립할 때는 다른 분야도 배려해야 할 것이다. 예를 들어, 의학계에 종사하는 이들은 대부분 화학자이다. 만약 이들이 제약연구에 관여하게 될 가능성이 높다면, 대학 또는 기술전문학교에 다닐 때 기초적인 수준에 머문다고 하더라도 화학만이 아니라 생물학에 대해서도 교육을 받을 수 있도록 조치해야 할 것이다. 졸업 후 그들이 연구를 할 때 실험과정 중 생물학에 대한 지식이 필요하게 될 것이기 때문이다. 또한 모든 과학적 활동에는 행정가들도 관여를 하기 때문에, 과학과 관련된 교육문제에 대해 고려할 때 고등교육의 문제를 분리해서 생각해서는 안 된다. 실험의 미학은 '인도적 태도'에서 나온다. 우리가 소위 인도적 기법이라고 부르는 것에 과학의 거부할 수 없는 매력이 존재한다. 만약 어떠한 학문이 너무나도 인간적이어서 '인문학' 중에서 최고로 꼽혀야 한다면, 그것은 바로 과학이 되어야 하지 않을까 생각한다.



### 법률학적 측면 *Legal and Semi-Legal Aspects*

또 한 가지 강조하고 싶은 것은 약리학자는 법에서 자유롭지 못하다는 점이다. 만약 법의 제재가 없었다면 더 많은 발전이 있었을 것이라고 많은 과학자들은 지적한다.

1950년대, 다양한 법과 규정들이 의학 및 수의학에 사용되는 약제에 대해 순도, purity 기준에 대한 조건 및 독성기준을 정해 놓고 따르도록 했다. 러셀 교수와 버치 박사는 법과 규정들로 인해 실험동물의 대체와 감소가 제재를 받았다고 지적한다. 만약 법과 관련 규정이 과학계의 새로운 지식과 발맞추지 못하면, 실험방법의 발전으로 인해 희생되지 않아도 될 많은 동물이 또는 필요 이상의 동물이 독성시험으로 인해 목숨을 잃게 된다.

---

실험의 미학적 측면은 언젠가는 “인문학적, humanities” 가치에 그 자리를 함께하게 될 것이다. 만약 어떠한 학문활동이 너무나도 인간적이어서 ‘인문학’ 중에서 최고로 꼽혀야 한다면, 그것은 바로 과학의 인문적 활동이 되어야 하지 않을까 생각한다.

---

물론 법 조항의 내용에는, 인간은 개인별로 생리적 반응의 차이가 크다는 점을 고려하지 못하여 검사 시 나타나는 오류를 과장해서 해석하는 경향에 따른 일반적 오류가 있을 수 있다. 인간은 다른 동물중에 비해 중추신경계의 다양성이 크게 나타나는 특성을 지녔기 때문에, 다른 동물과 비교할 때 생리학적 반응 또한 변화가 크게 나타난다. 따라서 어떤 상황에서는 “검사 결과가 정확하게 나타나다가도 갑자기 환자의 반응이 다르게 나타나서 약제가 소용 없게 되는 경우도 종종 발생한다 (35).”

인도적 기법의 발전을 위해 선행되어야 할 조건으로서 법률은 합리적이여야 하는 것은 물론 시대의 흐름에 뒤떨어지지 않아야 한다. 법과 규정을 지속적으로 관찰하고 생물학 연구자들은 미미한 정책들을 재점검하여 시기를 놓치지 말고 필요한 조언들을 해야 할 것이다. 뿐만 아니라, 연구자들과 연구 관리자들도 스스로가 자신이 처해 있는 법적 환경과 제약 요인들을 인식하는 것이 매우 중요하다.



특히, 독성시험의 경우 지나치게 높은 정확도에 대한 오류가 만연하여 인도적 실험으로의 발전을 막고 있는데 그 주된 원인은 실험실 자체에 있는 것이 아니라 법적 제도에 있다.

인도적 기법의 발전을 위해 선행되어야 할 조건으로서 관련법규는 합리적이어서 하는 것은 물론 시대에 뒤떨어지지 않아야 한다. 법과 규정에 대한 지속적인 관심은 아무리 강조해도 지나치지 않다.

법까지는 가지 않더라도 보다 모호한 각종 규정들이 눈에 보이지 않는 걸림돌로 더 크게 작용하기도 한다. 예를 들어 법적으로는 제재를 받지 않지만, 지켜야만 하는 규정들이 있다. 조금이라도 사고 발생 위험이 있으면 이들 규정의 제재를 받게 되는데 제약회사가 이러한 안전 규정을 느슨하게 적용하여 사고가 일어나면, 비록 느슨한 규정 자체가 사고의 원인이 아니라고 하더라도, 제약회사는 큰 타격을 받을 수밖에 없다. 그러나 이들 규정 중 일부는 지나친 감이 있다. 이러한 종류의 규정들은 약전<sup>1</sup>을 토대로 작성되며 개정이 되기는 하지만 수년에 한 번씩 개정되는 수준이다.

이 모든것은 특히 독성시험에 있어 더욱중요하다.

지나치게 높은 정확도에 대한 오류를 요구하는 법적 제제가 만연하여 인도적 실험으로의 발전을 막고 있는데 그 주 원인은 실험실 자체에 있는 것이 아니라, 법적 제제가 더 영향력을 미치는 듯하다.

이러한 규정들은 법적인 제재는 받지 않더라도, 앞서 설명한 몇 가지 악영향을 끼칠 수 있다. 이러한 문제는 관련 규제 기관과 영국의 약전<sup>1</sup>과 관련 부록들을 제정하는 공신력이 있는 위원회가 더 자주 개정본을 준비하면 해결될 수 있다. 현실을 정확하게 반영하여 계속적으로 출간되는 개정본은 가치가 매우 높을 것이다.

1. 약전<sup>1</sup>

교육에 필요한 의약품의 성상·품질·농도의 규격과 기준을 고시하여 발행한 책.



## 특수 관련 기관 Special Organisations

이제 인도적 기법의 발전과 부분적으로, 혹은 매우 밀접한 관련이 있는 영국의 동물실험 관련 기관들에 대해 간략히 설명하고자 한다.

### 실험동물국 *Laboratory Animals Bureau (이하 LAB)*

LAB에 대해서는 특히 3장과 6장에서 설명한 바 있으므로 여기서는 반복하지 않겠다. LAB은 실험방법과 관련된 문제들을 집중적으로 다루기 전부터 이미 동물실험의 발전에 지대한 공헌을 해왔다. 그리고 LAB의 활동이 전 세계적으로 확산되고 있는 현 추세는 매우 고무적이라 생각된다. LAB은 매해 심포지엄을 개최하고 심포지엄에서 발표된 내용을 토대로 논문집을 출간한다. 이 논문집은 1953년부터 출간되기 시작했으며, 실험의 일반적 방법론에 관해서는 가장 가치 있는 문헌으로 인정받고 있다.

### 동물기술원협회 *Animal Technicians' Association (이하 ATA)*

또 다른 특수기구인 ATA에 대해서 설명할 필요가 있다. 이 책을 통해서 지속적으로 언급해 왔던 것이지만, 인도적 기법의 성공 특히 감소와 완화를 성공적으로 실현하기 위해서는 실험동물을 관리하는 동물전문가의 역할이 매우 중요하다.

ATA는 동물기술원의 위상과 교육수준을 높이며 사기를 진작시키는 역할을 수행한다. ATA는 비교적 늦은 1950년대에 수립되었지만, 이미 놀랄만한 성과를 거두고 있다. ATA 회원들은 매년 열리는 LAB 심포지엄에서 제기되는 실질적 문제들에 대해서 의견을 교환한다. LAB의 연구보고서와 토의의 수준은 매우 우수한 것으로 정평이 나 있다. 뿐만 아니라, ATA는 과학자들과 동물기술원들이 기고한 보고서로 자체적으로 전문 학술지를 출간하고 있다. ATA의 활동은 동물기술원들의 업무효율성 제고를 위해서 뿐만 아니라 실험방법의 적용과 관련하여 의견교환을 위해서도 매우 중요하다.



동물기술원의 업무에 관해서 한 가지 덧붙일 것은 사육시설의 자동화이다. 동물기술원은 단순히 먹이와 물을 주고 케이지를 세척하는 것만으로도 많은 시간을 소모한다. 사육시설의 자동화가 실현된다면 이제 이러한 단순작업에 많은 시간이 필요하지 않을 것이다. 물론, 자동화시설을 관리할 책임은 동물기술원에게 있다. 그것은 마치 산업 자동화와 같은 이치이다. 그렇지만 자동화의 관리 책임은 이전의 업무와 비교하면 훨씬 수월할 것이다. 또한, 사육시설의 자동화는 동물의 관점에서 보더라도 두 가지 이점이 있다. 첫째, 대규모 사육시설에서 어쩔 수 없이 발생하는 비인도적 실수가 상당부분 사라질 것이다. 예를 들어, 동물에게 물을 제때에 주지 못하는 실수가 없어질 것이다. 그리고 두 번째로 동물의 생리적 변이(physiological variation)에 영향을 주는 것으로 밝혀진 방해요인이 사라질 것이다. 그러나 무엇보다도 가장 중요한 이점은 동물기술원이 모든 자동화의 이점이기도 한 일상적인 잡일에서 해방되는 것이다. 동물기술원은 지루한 일상업무에서 벗어나 보다 흥미롭고 도전적인 일을 할 수 있다. 여유로워진 근무시간에 동물의 행동과 건강, 그리고 실험의 진전과정 등에 대해 보다 심도 있게 연구할 수 있을 것이다. 특히, 개별 동물에게 개인적으로 관심을 기울일 수 있다. 인간과 동물의 관계는 점차 덜 비인간적이 될 것이고, 특히 대규모 사육시설에서는 더욱 중요한 요소로 자리잡을 것이다. 따라서 동물기술원의 위상을 높이고 업무의 질을 개선하는 데 자동화가 큰 몫을 할 것으로 기대된다.

### 동물복지국제연맹 *Universities Federation of Animal Welfare (이하 UFAW)*

이 책의 내용과 특히 밀접한 관련이 있는 기구가 바로 UFAW이다. 따라서, UFAW의 업무를 간략히 설명하는 것으로 이 책을 마무리하는 것은 자연스러운 일이라고 생각한다.

UFAW는 1926년 런던대학 동물복지협회(University of London Animal Welfare Society)의 회장이었던 흄 C.W. Hume 박사에 의해서 설립되었으며, 1938년 다른 대학의 학생과 교수들에게까지 회원층을 확대하면서 명칭을 UFAW로 바꾸었다. UFAW는 설립 초기부터 '동물복지 연구는 과학적 사회학(scientific sociology)의 일부'라는 점을 모토로 삼고 있다. UFAW는 유일한 과학적 동물복지단체이며 많은 저명한 생물학자들의 지원을 받고 있다. UFAW는 해충 구제 및 동물 안락사 등의 여러 분야의 연구를 지원하고 있지만, 실험동물에 대한 지원은



제2차 세계대전 이후에 비로소 시작되었다. 그러나 이제 실험동물에 대한 연구 지원은 빠른 속도로 확장되고 있는 추세이다.

UFAW는 자선단체로 정부 또는 민간 수준의 간섭을 허용하지 않는다. 또한, 오랫동안 실험동물에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 수 있도록 노력해 왔다. 실질적으로 연구활동에 직접 참여하기도 한다.

UFAW의 중요한 업적 중 하나는 1947년에 발간된 실험동물의 관리 및 보호에 대한 UFAW 핸드북 UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals이다 (17). 핸드북은 여러 저자들의 기고로 이루어졌으며, 발간 즉시 동물실험의 교재로 인정을 받았다.

UFAW 핸드북은 주요 실험동물의 종을 적절하게 관리하는 실질적 방법을 정리한 최초의 책이라 볼 수 있다. 따라서, 이 책은 인도적이고 효율적인 동물실험 발전을 위해 엄청난 공헌을 했다.

실험방법이라는 주제는 1949년 흄이 발표한 보고서에서 이미 다루어진 바 있다. 실험기법은 사육방법과는 아주 다른 의미를 갖고 있는데, 1954년 UFAW는 실험기법이란 주제에 대해 관심을 가지기 시작했으며, 같은 해 10월에 우리가 UFAW의 프로젝트에 합류하게 되었다. 이 프로젝트의 산물이 바로 이 책이다.

1957년 5월, UFAW는 UFAW의 과학자문협회의 회장이었던 메다워 P.B. Medawar의 주도 하에 버크벡 대학 Birbeck College에서 인도적 실험기법에 대한 심포지움 Symposium on Humane Technique in the Laboratory을 개최하였다. 그 후 이 심포지움은 영국의학저널 British Medical Journal, 란셋 Lancet, 약학저널 Pharmaceutical Journal과 같은 학술지에서 수 차례에 걸쳐 상세하게 다루어졌다. 심포지움의 결과물은 레인-페터 W. Lane-Petter의 주도 하에 출간되어 왔으며, 현재 LAB 논문집은 6권까지 출간되었다 (16).



## ■ 결론 Conclusion

이 책을 통해 많은 문제와 분야들에 대해 언급했지만, 인도적인 동물실험에 대한 체계적 연구는 이제 겨우 걸음마 단계에 들어왔다고 결론 지을 수 있다. 동물실험과 가장 관련이 깊은 기초과학은 동물행동학과 심신의학이지만 그 외에도 통계 방법, 블랙박스 이론 등의 응용 또한 중요하다.

이 책은 인도적 동물실험의 개괄적인 윤곽을 설명하는데 그쳤으며 앞으로 다른 저명한 과학자들이 부족한 부분을 채워 주어야 할 것이다. 우리는 이 책이 일부 연구자들을 자극하여 좀 더 헌신적으로 연구하는 계기가 되었으면 한다. 그리고 그 외의 과학자들은 인도적 동물실험이라는 것이 존재하고 실현가능성도 높다는 점을 충분히 인식해 주었으면 한다. 무엇보다도, 동물실험을 처음 접하는 이들에게는 이 분야의 연구에 대한 큰 그림을 전달할 수 있는 역할을 하기를 바란다. 지금까지 언급한 소망 중 한 가지만 이루어진다고 해도, 이 책의 목적은 충분히 달성한 것이라고 생각한다.

---

이 책은 인도적 동물실험의 개괄적인 윤곽을 설명하는 데 그쳤지만, 앞으로 다른 과학자들이 부족한 부분을 채워 주어야 할 것이다.

우리는 이 책이 일부 연구자들을 자극하여 실험대상인 동물에게 좀 더 헌신적으로 연구하는 계기가 되었으면 한다.

그리고, 그 외의 과학자들은 인도적인 동물실험이라는 것이 존재하고 실현가능성도 높다는 점을 충분히 인식해 주었으면 한다.

---

이 책을 저술한 후에도 같은 해에 이 분야에서 많은 활동들이 있었으며, 출판물과 이벤트 등이 있어서 이에 대해 간략하게 부록으로 남기려 한다. 그 외에도 책에서 빠트렸던 몇 가지 내용과 역사적인 사건들을 추가하려고 한다.



# 제9장 ADDENDUM

## 부록



# 제9장

## ADDENDUM

1. UFAW의 활동 The Work of UFAW
2. 변수 관리 Variance Control
3. 교체 및 대체 Substitution and Replacement
4. 역사적 배경 Historical



## UFAW의 활동 The Work of UFAW

훔박사가 1958년 발표한 논문에 UFAW 심포지움을 소개하는 전문의 내용이 실려있다. (64).

## 변수 관리 Variance Control

찬스의 보고서를 포함하여 변수 관리 문제를 다룬 우수한 연구보고서가 최근에 여러 편 발표되었다 (65). 우리가 사용하였던 용어와는 다르게 표현하였다. 예를들어 우리는 “표현형phenotype”이라고 쓴 반면, 이들 보고서에서는 “체질constitution”이라고 썼고, “근린환경proximate environment”은 “일시적 영향transient effects을 야기하는 환경요인environmental factors”이라고 썼다. 그러나 결론은 일치하며, 그 내용은 제6장에 서술되어 있다. 균일한 환경조성이 아니라 적절한 환경을 제공함으로써, 변수를 줄여야 한다는 데 저자들이 의견이 일치하였다. 그들은 이러한 원칙을 유전자형genotype, 발육환경, 근린환경에 적용하였다. 또한, 자연적으로 이루어진 교잡종 동물에게 실시할 수 있는 모든 가능한 실험의 결과를 간단하게 정리하여 제공하였다. 이들 실험에서 근교배, 교잡종 교배, 무작위 교배들의 변동폭이 어느 정도인지를 비교하였다.

찬스의 연구보고서는 고통의 정도가 비교적 약할지라도 그것이 동물에게 끼치는 영향이 크다는 점을 강조했다. 그리고 인도적이고 실용적 측면에서 심각한 고통뿐 아니라 가벼운 고통이라도 제거해야 한다고 주장했다. 동물에게 편안한 환경을 제공하는 문제에 대해서는 지금까지 체계적인 연구가 이루어지지 않았다. 이 문제를 폭넓게 다룬 시도는 있었으며, 향후 좀 더 자세한 연구가 이어질 것으로 전망된다 (66).



## 교체 및 대체 Substitution and Replacement

고등동물을 대신하여 지각이 낮은 동물을 이용하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 그러나 특히 자연독 성분을 검사하고 연구하는 경우와 같이 심각한 고통을 수반하는 실험을 실시하는 경우에는, 포유류를 대신하여 지각이 낮은 동물을 이용하는 것은 바람직하다.

심각한 고통을 동반하지 않는 경우라도 대체가 효과적이다. 위트Witt (67)는 리세르그산lysergic acid을 포함한 많은 향신경성약물들neurotropic drugs을 이용하여 거미줄을 치는 거미에게 미치는 영향을 연구했다. 약물의 효능은 거미줄의 모양과 패턴에 그대로 나타났으며 정량적 측정이 가능했다. 이 기법은 실험심리학 분야를 깊게 연구할 때 도움이 될 것이다.

## 역사적 배경 Historical

1957년 말에 LAB은 실험동물센터Laboratory Animals Centre (이하 LAC)로 명칭을 바꾸고 본부의 위치도 옮겨 활동 영역을 확대하였다. 특히, 실험동물의 감염, 분산 관리, 교배 시 나타나는 주요 문제 등의 주제에 대해 직접 실험에 나섰다. 1958년에 또 다른 획기적인 논문집Collected Papers을 출간하였으며, 동물보호과Animal Division의 조직에 관한 내용이었다. 여기에는 영국을 비롯하여 미국과 프랑스 과학자들의 기고문도 포함되어 있었다. LAC는 의학연구위원회Medical Research Council (이하 MRC)에 의해서 1980년대 초에 폐쇄되었다.

한편, ATA는 지속적으로 발전하여 동물기술원의 지위와 교육개선에 노력을 기울이고 있다.

1952년에는 미국에서 동물자원연구소Institute of Animal Resources 설립에 대한 논의가 있었으며, 지속적인 의견교환이 있은 후, 1956년에 실험동물자원연구소Institute of Laboratory Animal Resources 가 설립되었다.



ICLA는 이 책에서 언급되었던 기구뿐 아니라 국제생리학회(International Union of Physiological Sciences)의 지원을 받고 있다. ICLA는 활동영역을 꾸준히 넓혀서 현재 학회지를 정기적으로 출간하고 있으며 1958년 10월에는 파리에서 국제 심포지엄을 성공적으로 개최하였다. 이 심포지엄의 제목은 생물학적 연구에 이용되는 살아있는 실험동물(Living Animal Material for Biological Research)이었으며, 그 내용은 1959년에 출간되었다.

우리는 이 책에서 영국의 상황을 중심으로 다루었다고 말해왔다. 일본, 미국, 프랑스, 네덜란드 등과 같은 나라들이나 조직의 규정과 법에 대해서는 다루지 않았다. 또한, 1950년에 미국에서 만들어졌던 동물관리위원회(Animal Care Panel)와 같은 주요 조직에 대해서도 언급하지 못했다. 인도적 실험기법의 문제는 국제적 문제이기 때문에, 향후 추가적인 설명이 필요할 것이다. 우리는 어딘가 시작점이 있어야 하는데, 1952년 운영 현황에 대한 LAB 설문조사 보고서의 분석이 적절하다고 판단되어 그 부분을 중점적으로 다루었다.

한 국가의 실태에 대해 자세히 설명한 이 책을 통해, 독자들이 인도적 동물실험이라는 주제의 전반적인 흐름을 이해할 수 있기를 희망한다. 또한, 다른 국가의 상황도 영국과 그리 다르지 않다는 사실을 증명해주는 자료들이 발견되면서 우리의 접근이 틀리지 않았다는 사실을 확인할 수 있었다. 조만간 보다 풍부한 내용의 책이 출간되기를 기대해 본다. 더 나은 책의 출간을 기다릴 동안, 시간과 공간의 제약상 부록으로 부족한 부분을 갈음할까 한다. 1956년에 5개국에서 실시되었던 ICLA 설문조사 결과가 출간되었다. 다음은 ICLA 설문보고서를 간단히 정리한 것이다.

### *ICLA 설문보고서* The ICLA Surveys

ICLA와 UNESCO의 주도 하에 인도를 비롯하여 이탈리아, 일본, 스위스, 영국을 대상으로 동물실험에 대한 설문조사가 실시되었으며, 이는 국제적 상호협력의 업적이라 할 수 있다. 실험의 행정 관리, 동물 관리 및 영양, 사육, 감염, 동물의 입수 및 특히 사용하는 동물 계통의 교배 정책에 대해 질문하였으며 많은 정보를 수집할 수 있었다. 실험동물에 대한 연구는



이제 중요한 국제적 문제로 부상하였다. “연구자들이 필요로 하는 바는 국가에 상관 없이 유사하다. 그러나, 필요한 부분을 얼마만큼 충족시키는지에 대한 여부는 대학 및 연구소의 수와 분포, 실험동물을 가장 많이 필요로 하는 분야인 제약연구 및 산업의 발전, 실험동물을 공급하는 민간업체의 존재 여부, 동물 확보 방식에 영향을 미치는 국가의 지리적 위치, 개선을 위한 재정적 지원 및 기타 자원에 달려 있다 (68).”

1차로 실시된 영국 설문조사를 토대로 설문조사 표준화를 위해 노력했지만, 연구소의 분류는 국가마다 달라서 직접적인 비교작업은 쉽지 않았다.

또 다른 연구대상은 동물종에 따른 이용현황과 동물실험의 목적이었다. 안타깝게도, 실험목적에 관한 정보는 비교하기에 적절하지 않았다. 영국을 제외한 네 개 국가의 설문조사에서는 응답지 내용에 중복된 부분이 많아 정량적 분석이 어려웠기 때문이다. 영국의 경우, 분류 기준은 명확했지만 6개의 카테고리에 불과했다. 이는 우리의 분류방식 및 1952년에 레인 페터에 의해 실시되었던 분류와도 차이가 난다 (15). 그러나, 지난 2년 간 거의 유사한 방식으로 유의미한 수의 동물 종이 목적에 따라 이용되었으며, 예외는 한 건에 불과했다. 우리가 분석한 바에 따르면, 1952년에 기니피그의 62%가 진단목적으로 이용되었고, 1956년에는 그 수치가 49%로 감소하였다. 1956년에 연구에 이용된 기니피그의 숫자는 많지 않았고, 그 결과는 우리의 예상과 맞아 떨어졌다. 다른 국가의 설문조사에서는 진단에 이용된 기니피그의 수가 1952년 영국에서 실시된 설문조사 결과에 비해 상당폭 감소한 것으로 추정된다. 그러나 좀 더 확실한 것은 추가적인 자료분석이 이루어져야 할 것이다.

그러나, 동물종별에 따른 상대적 이용현황은 정확하게 기록되었는데, 전반적으로 볼 때 다른 국가간 차이가 없는 것으로 드러났다. 동물종의 이용현황을 분석할 때, 랫드와 마우스의 우수한 적응성을 감안해야 하겠지만 동물보호정책이나 동물실험이 많은 국가로부터의 보급도 고려되어야 할 것이다. 실험에 이용되는 동물종의 수는 국가마다 달랐다. 가장 다양한 동물종을 이용한 국가는 일본이었고 영국과 스위스가 그 뒤를 이었다. 인도와 이탈리아는 12종 정도를 이용한 것으로 드러났다. 포유류는 모든 국가에서 가장 많이 이용되는 것으로 밝혀졌다 (인도: 87.1%, 이탈리아: 95.7%, 일본: 92.7%.



스위스: 98.0%, 영국: 93.6%).

5개국의 설문조사지 취합 결과, 실험에 이용되는 총 동물의 수가 증가한 것으로 나타났다. 영국의 경우, 이 비율은 89%로 추정되었다. 1952년 설문조사의 82%와 비교할 때 그 수치가 상당폭 증가한 것이다. 지난 2년 간 영국 내무성 Home Office이 실시한 설문조사 결과와 정량적으로 비교하면 다음과 같은 변화양상을 발견할 수 있을 것이다. 모든 종: +32%, 양서류: +382%, 닭: +115%, 기니피그: -12%, 마우스: +34%, 토끼: +18%, 랫드: +21%로 결과가 나타났다.

1959년 2월

윌리엄 러셀 교수와 버치 박사





# 제10장 REFERENCES

## 참고문헌



## 참고문헌

- (1) Anon. (1957). Humane technique in the laboratory. *Journal of the Institute of Biology* 4, 34.
- (2) Hediger, H. (1950). *Wild Animals in Captivity. An Outline of the Biology of Zoological Gardens*. London, UK: Buttersworths.
- (3) Baker, J.R. (1948). *The Scientific Basis of Kindness to Animals*. London, UK:UFAW.
- (4) Delgado, J.M.R. (1955). Cerebral structures involved in transmission and elaboration of noxious stimulation. *Journal of Neurophysiology* 18, 261-275.
- (5) Delgado, J.M.R. (1954). Facio-vocal mechanisms of emotional expression in the monkey. *Federation Proceedings* 13, 34.
- (6) Delgado, J.M.R., Roberts, W.W. & Miller, N.E. (1954). Learning motivated by electrical stimulation of the brain. *American Journal of Physiology* 179, 587-593.
- (7) Rosvold, H.E. & Delgado, J.M.R. (1954). Effect of electrical stimulation of the brain on the behaviour of monkeys. *Proceedings of the 14th International Congress on Psychology*, Montreal, Canada, pp. 163-164.
- (8) Croft, P.G. (1952). The assessment of pain perception. *Journal of Mental Science* 98, 421-426.
- (9) Croft, P.G. (1952). The effect of electrical stimulation of the brain on the perception of pain. *Journal of Mental Science* 98, 427-433.
- (10) Croft, P.G. (1953). Assessment of consciousness during curarization. *Nature*, London 171, 261.
- (11) Hediger, H. (1955). *Studies of the Psychology and Behavior of Captive Animals in Zoos and Circuses*. London, UK: Buttersworths.
- (12) Medawar, P.B. (1953). Some immunological and endocrinological problems raised by the evolution of viviparity in vertebrates. *Symposia of the Society of Experimental Biology*, Volume 7, pp. 320-338. London, UK: Cambridge University Press.
- (13) Huxley, J. (1941). *The Uniqueness of Man*. London, UK: Chatto and Windus.
- (14) Thomas, W.L. (Ed.). (1956). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. London, UK: Cambridge University Press.
- (15) Lane-Petter, W., Barber, A.P. & King, H.J. (1955). Survey of Laboratory Animals in Great Britain. *British Veterinary Journal* 3, 282-299.
- (16) Lane-Petter, W. (1957). The utilization of laboratory animals in Great Britain. *Collected Papers, of the Laboratory Animals Bureau* 6, 11-18.



## 참고문헌

- (17) Worden, A.N. (Ed.) (1947). The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals. 1st Edn. London, UK: Bailliere, Tindall and Cox.
- (18) Worden, A.N. & Lane-Petter, W. (Eds) (1957). The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals. 2nd Edn. London, UK: UFAW.
- (19) Russell, W.M.S. (1957). The increase of humanity in experimentation: Replacement, Reduction and Refinement. Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau 6, 23-25.
- (20) Hume, C.W. (1957). Introductory paper to UFAW Symposium on Humane Technique in the Laboratory. Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau 6, 9-10.
- (21) Medawar, P.B. (1957). Foreword to UFAW Symposium on Humane Technique in the Laboratory. Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau 6, 5-7.
- (22) Franklin, K.J. (1951). History of physiology, 1851-1951. Advancement of Science 8, 293-302.
- (23) Grey Walter, W. (1957). Machines as models. Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau 6, 45-47.
- (24) Birkinshaw, J.H. (1957). Antibiotics. Nature, London 179, 116-117.
- (25) Grove, D.C. & Randall, W.A. (1955). Assay Methods of Antibiotics. New York, NY, USA: Medical Encyclopedia, Inc.
- (26) Hoskins, J.M., Meynell, G.G. & Kingsley Sanders, F. (1956). A comparison of methods for estimating the viable count of a suspension of tumour cells. Experimental Cell Research 11, 297-305.
- (27) Ashby, W.R. (1956). An Introduction to Cybernetics. London, UK: Chapman and Hall.
- (28) Enders, J.F., Weller, T.H. & Robbins, F.C. (1949). Cultivation of the Lansing strain of poliomyelitis virus in cultures of various human embryonic tissues. Science, New York 109, 85-87.
- (29) Kingsley Sanders, F. (1957). Tissue cultures as substitutes for experimental animals. Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau 6, 35-44.
- (30) Syverton, J.T. & Scherer, W.F. (1954). The application of mammalian cells in continuous culture for assays in virology. Annals of the New York Academy of Sciences 58, 1056-1071.

## 참고문헌

- (31) Abderhalden, E. & Gellhorn, E. (1925). Beitrag zur Kenntnis der Wirkungen des Insulins. *Archiv für die gesamte Physiologie* 208, 135–145.
- (32) Livingood, C.S. & Hu, F. (1954). Tissue culture of human skin and chick spleen as a method for evaluating the primary irritant producing capacity of topical medicaments: Correlation of results with clinical observations. *Annals of the New York Academy of Science* 58, 1202–1209.
- (33) Walpole, A.L. (1957). Untitled contribution to a symposium on anti-tumour agents. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 50, 4–5.
- (34) Hume, C.W. (1957). The strategy and tactics of experimentation. *Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau* 6, 49–50.
- (35) Hume, C.W. (1957). The strategy and tactics of experimentation. *The Lancet*, 23 November, 1049–1052.
- (36) Fisher, R. (1942). *The Design of Experiments*, Edinburgh, UK: Oliver and Boyd.
- (37) Hume, C.W. (1947). A conspectus of the Elements of statistical analysis. In *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals*, 1st Edn (Ed. A.N. Worden), pp. 283–352. London, UK: Bailliere, Tindall and Cox.
- (38) Wald, A. (1947). *Sequential Analysis*. London, UK: Chapman and Hall.
- (39) Russell, E.S. (1955). Significance of physiological pattern of animal strains in biological research. *British Medical Journal* 4917, 826–829.
- (40) Biggers, J.D. & Claringbold, P.J. (1954). Why use inbred lines? *Nature*, London 174, 596–597.
- (41) Emmens, C.W. (1939). The response of inbred mice to oestrone. *Journal of Endocrinology* 1, 373–377.
- (42) Lerner, I.M. (1954). *Genetic Homeostasis*. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd.
- (43) Lane-Petter, W. (1952). Uniformity in laboratory animals. *Laboratory Practice* 1, 30–33.
- (44) Lane-Petter, W. (1953). The supply of laboratory animals. *Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau* 1, 7–24.
- (45) Bacharach, A.L. (1955). Some aspects of animal production for routine biological assay. *Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau* 3, 6–28.
- (46) McLaren, A. & Michie, D. (1956). Variability of response in experimental animals. A comparison of the reactions of inbred, F1 hybrid and random bred mice to a narcotic drug. *Journal of Genetics* 54, 440–455.
- (47) Chance, M.R.A. (1965). Environmental factors influencing gonadotrophin assay in the rat. *Nature*, London 177, 228–229.

## 참고문헌

- (48) Chance, M.R.A. (1957). The role of convulsions in behaviour. *Behavioural Science* 2, 30-45.
- (49) Chen, K.K., Anderson, R.C., Steldt, F.A. & Mills, C.A. (1943). Environmental temperature and drug action in mice. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 79, 127-132.
- (50) Chance, M.R.A. (1946). Aggregation as a factor influencing the toxicity of sympathomimetic amines in mice. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 87, 214-222.
- (51) Chance, M.R.A. (1947). Factors influencing the toxicity of sympathomimetic amines to solitary mice. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 89, 289-296.
- (52) Lane-Petter, W. (1953). Some behaviour problems in common laboratory animals. *British Journal of Animal Behaviour* 1, 124-127.
- (53) Beniést, E. (1957). Analyse du Comportement dit 'Maternel' chez la Souris. Thesis for Licence en Science Pscyclologique, 200pp. Brussels, Belgium: Laboratoire de Psychologie, Université libre de Bruxelles.
- (54) Chance, M.R.A. (1957). The contribution of environment to uniformity: Variance control, refinement in pharmacology. *Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau* 6, 59-74.
- (55) Russell, W.M.S. (1957). Refinement in research. *Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau* 6, 23-25.
- (56) Croft, P.G. (1957). Aspects of anaesthesia. *Collected Papers of the Laboratory Animals Bureau* 6, 75-78.
- (57) Croft, P.G. (1957). Anaesthesia and euthanasia. In *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals*, 2nd Edn (Ed. A.N. Worden & W. Lane-Petter), pp. 155-164. London, UK: UFAW.
- (58) Croft, P.G. (1957). The use and abuse of muscular relaxants. *UFAW Courier* 13, 4-6.
- (59) Bianca, W. (1955). A method of serial blood sampling and of injection for experimental farm animals. *Veterinary Record*, 67, 791-792.
- (60) Diebschlag, E. (1941). Über den Lernvorgang bei der Haustaube. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* 28, 67-104.
- (61) Faegri, K. (1956). Science Babel. *Nature*, London 177, 343-434.
- (62) Visscher, M.B. (1951). Preface to *Methods in Medical Research*, 4 (Ed. M. Visscher). Chicago, IL, USA: Year Book Publishers, Inc.
- (63) Hiscocks, E.S. (1956). The direction of research establishments. *Nature*, London 178, 964-966.

## 참고문헌

- (64) Hume, C.W. (1958). Soldiers and laboratory animals. An analogy for experimental biologists. *The Lancet*, 22 February, 424-426.
- (65) Biggers, J.D., McLaren, A. & Michie, D. (1958). Variance control in the animal house. *Nature*, London 182; 77-80.
- (66) Russell, W.M.S. (1959). On comfort and comfort activities in animals. *UFAW Courier* 16, 14-26.
- (67) Witt, P.N. (1952). Ein einfaches Prinzip zur Deutung einiger Proportionen im Spinnennetz. *Behaviour* 4, 172-189.
- (68) Lane-Petter, W. (1958). Laboratory animals of high quality. In *ICLA Symposium: Living Animal Material for Biological Research* ed. W. Lane-Petter), pp. 66-74. Carshalton, UK: International Committee on Laboratory Animals.

## 편집후기

2014년은 러셀 교수와 버치 박사의 저서 『인도적 동물실험 원칙 The Principles of Humane Experimental Technique』 출판 55주년, 역자가 이 분야에 입문한지 10주년이 되는 뜻 깊은 해이다. 『The Principles of Humane Experimental Technique』 원문의 내용은 영국 학자들조차 이해하기 어려운 내용이어서, 마이클 볼스 교수는 누구나 쉽게 읽을 수 있도록 『동물실험의 3Rs 원칙과 인도적 기준 The Three Rs and the Humanity Criterion』 제목의 요약본을 2009년 출간 50주년 기념으로 발간하였다.

하지만 문화와 연구 환경이 다른 비영어권 독자들이 쉽게 이해하기에는 여전히 무리가 있다고 본다. 2008년, 3Rs 원칙이 국내 동물보호법으로 처음 법률로 제정되었지만, 동물실험의 인도적이고 윤리적인 기법 3Rs 원칙의 탄생 배경과 저자 러셀 교수에 대해 자세히 소개하는 한글 교재는 전무한 실정이다. 학자이자 작가, 고전학자, 작곡가, 기자, 음악가, 철학자, 재담가, 과학자, 군인 등 풍부하면서도 다양한 이력을 지닌 3Rs 원칙의 청사진을 설계한 석학 러셀 교수의 일대기를 연도별로 정리하고 함께 학문한 학자들의 회고담 발표논문을 통해 인간적인 측면과 학문적인 업적을 요약하여 별도의 부록으로 발간할 예정이다. 생명과학 연구윤리 서재 홈페이지 [www.bicstudy.org](http://www.bicstudy.org)에서 정보를 확인할 수 있으며, 번역상 오류는 고견을 주시면 수정하여 반영하고자 한다.

2015년 12월

가톨릭대학교 생명대학원

임상연구윤리학과 전공책임교수 최병인



저자 및  
역자 소개

마이클 볼스 교수 Professor Michael Balls, C.B.E., M.A., D.Phil., F.R.S.B.



- 교육

영국 옥스퍼드 대학교에서 동물학 전공, 스위스에서 대학원과정을 수학 후 미국에서 박사 후 연구과정 수료
- 주요 경력

영국 이스트 앵글리아 대학교 University of East Anglia 생물학 강사  
 영국 노팅엄의과대학 University of Nottingham Medical School 교수  
 영국의 과학적 동물이용에 관한 법률제정 당시 영국 정부의 자문위원  
 FRAME 재단 이사장  
 ATLA 학술지 편집인  
 European Research Group for Alternatives in Toxicology Testing (ERGATT) 창립 멤버  
 European Centre for the Validation of Alternative Methods (ECVAM) 초대 센터장
- 주요  
수상 이력

1986년 동물보호대상(1st Marchig Animal Welfare Award of the World Society for the Protection of Animals)  
 1994년 Russell & Burch Award (4th The Humane Society of the United States)  
 1997년 실험동물복지 기여상 (4th SmithKline Beecham Laboratory Animal Welfare Prize)  
 대영제국 명예 제도 중 하나인 a Commander of the Most Excellent Order of the British Empire (CBE) 2012년 명예인으로 선정  
 2009년 로마에서 개최된 제7회 생명과학 실험동물대체법 국제학회 (WC)에서 특별상 수상

최병인 Byung-In Choe, M.B.A., LL.M., Ph.D.



- 주요 경력

  - 가톨릭대학교 생명대학원 임상연구윤리학 전공책임교수
  - 대한의사협회 중앙윤리위원회 위원
  - 질병관리본부 연구윤리심의위원회 위원
  - 연구윤리정보센터 생명윤리분과위원장
  - 한국3R정보센터 창립위원
  - 연세대학교 / 건국대학교 / 농림축산검역본부 IACUC 위원



# 동물실험의 3Rs 원칙과 인도적 기준

## The Three Rs and the Humanity Criterion

### The Three Rs and the Humanity Criterion

An abridged version of  
The Principles of Humane Experimental Technique  
by W. M. S. Russell and R.L. Burch

**Designed by :** 4 Sheets Design & Print Ltd.  
**Logo design :** Bruce Waite

**Published by :**  
Fund for the Replacement of Animals in Medical Experiments  
Russell & Burch House  
96-98 North Sherwood Street  
Nottingham NG1 4EE, UK

**저 자 :** 마이클 볼스 Michael Balls

**역 자 :** 최병인 | 이귀향

**편 집 :** 이귀향

**교정·교열 :** 설혜란 | 김승연 | 박종륜 | 이정옥 | 황유리

**감 수 :** 이병한 | 이승욱

**발 행 :** 생명과학연구윤리서재 | 농림축산검역본부 동물보호과 | 한국3R정보센터 | CITI-KOREA

**후 원 :** LUSH KOREA

**출 판 사 :** 비전기획

**출 간 :** 2015. 12.

**I S B N :** 9788996900931 93470

© 본 콘텐츠의 저작권은 원저 및 역저에게 있으며, 이를 무단으로 이용하거나 배포하는 경우 저작권 등에 따라 법적 책임을 질 수 있습니다.  
생명과학 연구윤리 서재 [www.bicstudy.org](http://www.bicstudy.org) 에서 e-book 으로 최신의 정보를 확인할 수 있습니다.



# “동물실험과 3RS의 해설서”

러셀 교수와 버치 박사의 『인도적 동물실험 원칙』에 관한

마이클 볼스 교수의 심도깊은

이해와 해석을 볼 수있다.



2009 marks the 50th anniversary of the publication of The Principles of Humane Experimental Technique by William M.S. Russell and Rex L. Burch.