

ETHICS ADVISORY REPORT 03

대체기술 이후의 경계

뇌 오가노이드·인간-동물 키메라와 새로운 도덕적 지위의 문제

김명현 목사

기독교대한감리회 · 연구실 동물윤리 자문

REPORT SCOPE

동물 사용을 줄일 수 있는 기술이
새로운 생명윤리 질문을 만들 때
무엇을 기준으로 판단할 것인가

의학 연구실 배포용
2026. 08. 01

이 보고서의 결론

시험관 내 오가노이드는 일부 동물 사용을 대체하고 인간 질환을 더 직접적으로 모델링할 가능성이 있다. 반면 동물 내 이식과 키메라 연구는 여전히 동물을 사용하며, 숙주 복지와 기능적 통합이라는 새로운 쟁점을 낳는다. 따라서 ‘대체기술’이라는 명칭만으로 윤리적 우월성을 단정할 수 없다.

PROMISE

대체와 번역 가능성

인간 유래 모델은 종 차이에서 생기는 일부 번역 한계를 줄이고 특정 동물실험을 대체할 수 있다.

UNCERTAINTY

도덕적 지위

복잡성·감각능력·통합 가능성에 관한 불확실성은 관찰과 보호 기준의 갱신을 요구한다.

GOVERNANCE

단계적 감독

종이라는 한 가지 표지보다 기능·위험·연구 맥락에 비례해 감독 강도를 조정해야 한다.

핵심 판단: 더 인간과 유사한 모델을 만드는 과학적 성공은 더 세밀한 도덕적 분별을 요구한다.

배양 모델과 이식 모델을 구분해야 한다

IN VITRO

자기조직화하는 3차원 세포 모델

줄기세포에서 유래해 장기의 일부 구조와 기능을 재현한다. 배양접시 안의 뇌 오가노이드는 온전한 뇌의 신체·환경 통합과 성숙도를 갖추지 못한다.

IN VIVO TRANSPLANT

숙주의 회로와 만나는 이식 모델

이식된 인간 피질 오가노이드가 쥐 뇌에서 혈관화·성숙하고 감각 입력을 받으며 숙주 행동 회로에 관여한 연구가 보고됐다.

“미니브레인” 같은 명칭보다 실제 기능, 연결성, 숙주에 미친 영향에 따라 판단해야 한다.

Revah et al. (Nature, 2022)은 이식 모델의 기능적 통합을 보였지만, 이것이 의식이나 인간과 같은 정신 능력을 입증한 것은 아니다.

기술 경로에 따라 질문도 달라진다

- 01

세포·단순 조직

출처, 동의, 개인정보, 소유와 상업화가 중심이다.
- 02

신경망·어셈블로이드

연결성, 자극 반응, 활동 패턴의 해석이 중요해진다.
- 03

출생 후 뇌 이식

숙주 복지, 행동 변화와 이식 조직의 기능적 통합을 본다.
- 04

배아 키메라

발달 범위, 광범위한 기여, 중추신경계·생식계 기여를 별도로 검토한다.

구분의 이유: 출생 후 동물의 뇌에 신경세포나 오가노이드를 이식하는 연구와, 배아 단계에서 인간 세포가 여러 조직에 기여할 수 있는 키메라 연구는 과학적 경로와 윤리 쟁점이 같지 않다.

연구계획서에서 분리해 볼 네 가지 문제

01 · DONOR

동의를 충분히 구체적인가

기증 세포가 뇌 오가노이드, 동물 이식, 장기 보관, 데이터 공유나 상업적 플랫폼에 쓰일 가능성을 제공자가 이해하는가?

02 · MODEL

모델 자체에 어떤 주의를 기울일 것인가

현재 의식의 증거가 없다는 판단과 미래에도 불가능하다는 단정을 구분하는가?

03 · HOST

숙주 복지는 어떻게 달라지는가

통증뿐 아니라 행동·인지·사회성의 예상 밖 변화를 포착할 관찰 항목과 종료 기준이 있는가?

04 · SOCIETY

과장과 접근성은 관리되는가

‘동물 없는 연구’라는 홍보가 실제 사용을 가리거나, 고비용 플랫폼이 연구와 치료의 격차를 넓히지 않는가?

기증 세포는 사용 맥락이 달라질 때 의미도 달라진다

일반적 바이오뱅크 포괄동의가 모든 뇌 오가노이드 활용을 자동으로 포괄한다고 단정하기는 어렵다. 동물 이식, 기능적 신경활동, 상업화는 일부 제공자에게 도덕적으로 중요한 맥락일 수 있다.

층위별 설명

세포 출처, 예상 모델, 동물 이식, 장기 보관, 데이터 공유와 상업화를 구분해 알린다.

추가 동의의 기준

모든 변경이 아니라 제공자의 합리적 기대를 중대하게 벗어나는 사용을 사전에 정의한다.

철회의 현실적 한계

세포주·데이터·시료가 배포된 뒤에는 완전한 회수가 어려울 수 있음을 명확히 설명한다.

일본 성인 326명을 대상으로 한 비대표성 온라인 조사에서, 세포가 뇌 오가노이드에 쓰일 수 있다는 설명 후 포괄동의 기관에 기증하지 않겠다는 응답은 36%, 상황에 따라 결정한다는 응답은 37%였다. 이는 정책 기준이 아니라 설명의 중요성을 보여주는 제한적 경험 자료다. **Kataoka, Koike & Sawai (2025)**

Replacement의 성과가 새로운 Refinement를 요구한다

REPLACEMENT

시험관 내 모델로 일부 대체

약물 선별·발달·질환 모델링의 일부 질문에서 동물 사용을 대체하거나 인간 관련성을 높일 수 있다.

REDUCTION

동물 단계 전 후보 선별

검증된 모델로 후보를 좁히면 후속 동물실험의 수와 반복을 줄일 가능성이 있다.

REFINEMENT

숙주와 이식 조직을 함께 관찰

이식 연구에서는 숙주 행동·인지·복지와 이식 조직의 기능적 성숙을 함께 추적해야 한다.

전 과정 확인: 오가노이드 연구도 동물 유래 기질·시약, 검증시험, 이식 단계에서 동물을 사용할 수 있다. 제품과 프로토콜 전체를 확인하기 전에는 ‘animal-free’라고 단정하지 않는 편이 정확하다.

현재 지침이 말하는 것과 이 보고서의 제안

ISSCR 2025

위험과 맥락에 비례한 전문 심의

2025 개정은 배아모델 부분에 한정됐고 오가노이드·키메라 관련 조항은 2021판을 유지한다. 인간 신경세포의 출생 후 동물 중추신경계 이식에는 동물윤리 심의와 관련 전문성을 요구한다.

NASEM 2021

현재 위험을 과장하지 않되 역량을 보완

현행 감독체계가 현재와 가까운 미래의 연구를 대체로 다룰 수 있다고 보면서, 이식·키메라 동물의 행동 평가 전문성은 보강될 수 있다고 제안한다.

이 보고서의 실무 제안

장기 배양, 외부 자극 입력, 새로운 반응 패턴, 숙주 행동 변화, 광범위한 신경 통합을 재심의 트리거로 미리 정한다.

전문성의 조합

줄기세포·신경과학·수의학·동물행동·통계·연구윤리·철학의 관점을 필요에 따라 심의에 포함한다.

종 경계만이 아니라 관계·능력·책임을 함께 묻기

피조성

만들 수 있음이 전권을 뜻하지 않는다

생명을 인간의 제작용으로만 환원하지 않고, 연구 목적과 유익이 사용 방식의 책임을 면제하지 않는다고 본다.

성육신

몸은 인간 존엄의 주변부가 아니다

인간을 뇌 기능이나 정보로만 환원하지 않으면서도, 몸과 관계 속에서 드러나는 새로운 능력을 가볍게 보지 않는다.

겸손

불확실성을 판단에 포함한다

의식·감각능력의 불확실성은 전면 금지의 자동 근거도, 무시의 면허도 아니다. 관찰과 재검토를 강화할 이유다.

입장의 범위: 오늘날 기독교 전체에 뇌 오가노이드나 키메라에 관한 단일 합의가 존재하지 않는다. 여기의 세 항목은 기독교 윤리 전통에서 끌어낸 필자의 해석이며, 가톨릭 문헌 *Dignitas Personae*도 이 기술을 직접 다루는 지침이 아니라 인간 생명공학에 관한 간접 참고문헌이다.

“신의 영역”보다 더 정확한 여섯 질문

“신을 흉내 낸다”는 표현은 경계심을 전달하지만 책임 있는 치료 연구와 무모한 조작을 구분하기에는 너무 넓다. 기독교 윤리는 기술의 이름보다 목적·수단·권력·한계·분배·언어를 구체적으로 물어야 한다.

01 목적

중대한 질병 이해와 치료라는 목적이 명확한가?

02 수단

덜 문제적인 대안으로 같은 질문에 답할 수 없는가?

03 권력

연구자·기업·기증자·환자의 권력 차이를 관리하는가?

04 한계

중단·재검토를 촉발할 기능적 지표를 정했는가?

05 분배

혜택과 부담이 특정 집단에 편중되지 않는가?

06 언어

능력과 한계를 과장도 축소도 없이 설명하는가?

연구자와 학생이 함께 물을 질문

- Q1

시험관 내 오가노이드와 동물 내 이식 모델의 윤리 검토 항목을 구분하고 있는가?
- Q2

세포 제공자는 뇌 오가노이드 제작, 동물 이식, 상업적 활용을 별도 항목으로 알 수 있는가?
- Q3

숙주의 행동·인지 변화 가능성을 반영한 관찰 지표와 humane endpoint가 충분한가?
- Q4

‘동물 대체’라는 표현이 동물 유래 재료나 이식·검증 단계의 실제 사용을 가리고 있지는 않은가?
- Q5

새로운 기능이나 예상 밖 숙주 변화가 나타날 때 승인된 프로토콜을 다시 여는 절차가 있는가?

목표는 아직 입증되지 않은 의식을 추측해 연구를 멈추는 것이 아니다. 증거가 변할 때 보호 기준도 함께 갱신되는 구조를 만드는 것이다.

검증한 원문과 후속 독서

R1	ISSCR Guidelines, v1.2 (2025) 줄기세포·오가노이드·키메라 연구 국제 지침
R2	National Academies (2021) Human Neural Organoids, Transplants, and Chimeras
R3	Revah et al., Nature 610 (2022) 이식 인간 피질 오가노이드의 성숙과 회로 통합
R4	Jackson, Medical Law Review 33 (2025) 영국 뇌 오가노이드 규제의 향후 과제
R5	Savulescu & Sawai, JME 50 (2024) 뇌 오가노이드 이식과 인간화된 동물의 지위
R6	Kataoka et al., Sci Eng Ethics 30 (2024) 의식 가능성과 세포 제공자의 동의
R7	Kataoka, Koike & Sawai, Front Genet 16 (2025) 일본인의 뇌 오가노이드 세포 기증 인식 조사
R8	Guo & Zhang, Front Cell Dev Biol 14 (2026) 오가노이드 윤리심의 쟁점의 체계적 고찰
B1	Ted Peters, Playing God? 2nd ed. (2003) 유전공학·인간 자유·신학적 책임에 관한 저술

새로운 생명모델을 만드는 능력보다 중요한 것은 그 능력의 변화에 맞춰 책임을 갱신하는 능력이다. · 링크·서지 확인 2026. 08. 03

ETHICS ADVISORY REPORT 03

Moral Boundaries after Replacement

Brain Organoids, Human–Animal Chimeras, and the Problem of Emerging Moral Status

Rev. Myung-Hyun Kim

Korean Methodist Church · Animal Ethics Advisor for Research Laboratories

REPORT SCOPE

What standards should
guide judgment when
technologies that may
**reduce animal use create
new bioethical questions?**

For medical research laboratories
2026. 08. 01

Conclusion of This Report

In-vitro organoids may replace some animal use and model human disease more directly. By contrast, transplantation and chimera studies still use animals and create new questions about host welfare and functional integration. The label “replacement” therefore does not by itself establish ethical superiority.

PROMISE

Replacement and Translation

Human-derived models may reduce some translational limits caused by species differences and replace selected animal experiments.

UNCERTAINTY

Moral Status

Uncertainty about complexity, sentience, and integration calls for revisable standards of observation and protection.

GOVERNANCE

Graduated Oversight

Oversight should vary with function, risk, and context rather than depend on species membership alone.

Distinguish In-Vitro from Transplant Models

IN VITRO

A Self-Organizing 3D Cellular Model

Stem-cell-derived organoids recapitulate selected structures and functions of organs. Brain organoids in a dish lack the intact brain's body–environment integration and maturity.

IN VIVO TRANSPLANT

A Model That Meets Host Circuits

Human cortical organoids transplanted into rat brains have vascularized, matured, received sensory inputs, and engaged host behavioral circuits.

Judgment should follow demonstrated function, connectivity, and effects on the host—not evocative labels such as “mini-brain.”

Revah et al. (Nature, 2022) demonstrated functional integration after transplantation; they did not demonstrate consciousness or human-like mental capacities.

A GRADIENT OF CONCERN

Different Technical Pathways Raise Different Questions

01

Cells and Simple Tissue

Provenance, consent, privacy, ownership, and commercialization dominate.

02

Networks and Assembloids

Connectivity, stimulus response, and interpretation of activity patterns matter.

03

Postnatal Brain Grafts

Host welfare, behavior, and functional integration of the graft come into view.

04

Embryonic Chimeras

Developmental extent and contribution to the CNS or germline require separate review.

Why the distinction matters: Postnatal neural transplantation and embryonic chimera studies differ in both scientific pathway and ethical profile.

Four Problems to Separate in Protocol Review

01 • DONOR

Is Consent Specific Enough?

Does the donor understand possible use in brain organoids, animal transplantation, long-term storage, data sharing, or commercial platforms?

02 • MODEL

What Regard Is Due to the Model?

Does the review distinguish lack of present evidence for consciousness from proof of future impossibility?

03 • HOST

How Might Host Welfare Change?

Can observation and humane endpoints detect unexpected changes in behavior, cognition, pain, or sociality?

04 • SOCIETY

Are Hype and Access Governed?

Does “animal-free” language conceal actual use, or might costly platforms widen research and treatment inequalities?

New Uses Can Change the Meaning of Donated Cells

General biobank consent cannot simply be assumed to cover every brain-organoid application. Animal transplantation, functional neural activity, and commercialization may be morally salient contexts for some donors.

Layered Disclosure

Distinguish cell source, intended model, animal transplantation, storage, data sharing, and commercialization.

Triggers for Additional Consent

Define uses that materially exceed reasonable donor expectations instead of seeking reconsent for every change.

Limits of Withdrawal

Explain clearly when distributed cell lines, data, or samples can no longer be fully retrieved.

In a nonrepresentative online survey of 326 Japanese adults, after being told that donated cells might generate brain organoids, 36% would not donate to a broad-consent institution and 37% said it would depend on the circumstances. This is limited empirical evidence, not a policy threshold. **Kataoka, Koike & Sawai (2025)**

Replacement Creates New Demands for Refinement

REPLACEMENT

Replace Selected Questions In Vitro

Some screening, developmental, and disease-modeling questions may use fewer animals while improving human relevance.

REDUCTION

Triage before Animal Phases

Validated models may narrow candidates and reduce the number and repetition of downstream animal studies.

REFINEMENT

Observe Host and Graft Together

Transplant studies should track host behavior, cognition, and welfare alongside functional maturation of the graft.

Whole-process check: Organoid research may still use animal-derived matrices or reagents, validation studies, and animal transplantation. “Animal-free” claims require supply-chain and protocol-level verification.

What Current Guidance Says—and This Report Proposes

ISSCR 2025

Expert Review Proportionate to Context

The 2025 update was limited to embryo models; organoid and chimera sections remain from 2021. Postnatal CNS transplantation of human neural cells requires animal oversight with relevant expertise.

NASEM 2021

Do Not Exaggerate Present Risk

Existing mechanisms can generally address current and near-future work, though committees may need added expertise in evaluating behavior of transplanted or chimeric animals.

This Report’s Operational Proposal

Predefine prolonged culture, sensory input, novel response patterns, host behavioral change, and extensive neural integration as triggers for reassessment.

Combine Relevant Expertise

Draw as needed on stem-cell science, neuroscience, veterinary medicine, animal behavior, statistics, ethics, and philosophy.

Ask about Relationship, Capacity, and Responsibility

CREATURELINESS

The Power to Make Is Not Total Authority

Life should not be reduced to a human artifact; a worthy purpose does not erase responsibility for how living material is used.

INCARNATION

The Body Is Not Peripheral to Dignity

Christianity resists reducing humanity to brain function or information while taking seriously capacities that emerge through body and relationship.

HUMILITY

Include Uncertainty in Judgment

Uncertainty about consciousness licenses neither automatic prohibition nor neglect. It is a reason for observation and review.

Scope of the claim: Christianity has no single consensus on brain organoids or chimeras. These themes are the author’s synthesis. The Catholic document *Dignitas Personae* addresses human biotechnology more broadly and is an indirect background source, not organoid guidance.

Six More Precise Questions than “Playing God”

“Playing God” conveys caution but is too broad to distinguish responsible therapeutic research from reckless manipulation. Christian ethics should translate concern into questions about ends, means, power, limits, distribution, and language.

01 **Ends**
Is the purpose clearly tied to serious disease and healing?

02 **Means**
Could a less morally troubling alternative answer the question?

03 **Power**
Are disparities among researchers, firms, donors, and patients governed?

04 **Limits**
Are functional triggers for pause and reassessment defined?

05 **Distribution**
Are benefits and burdens concentrated in particular groups?

06 **Language**
Are capacities and limits communicated without hype or minimization?

Questions for Researchers and Students

- Q1

Does our ethical review distinguish in-vitro organoids from animal transplantation?

- Q2

Are brain-organoid generation, animal transplantation, and commercial use separately disclosed to cell donors?

- Q3

Do observation measures and humane endpoints address possible changes in host behavior and cognition?

- Q4

Does “animal replacement” language obscure animal-derived inputs or actual use in validation and transplantation?

- Q5

Can an approved protocol be reopened when a novel capacity or unexpected host effect appears?

The aim is not to stop research by speculating about unproven consciousness. It is to make protections revisable when evidence changes.

PRIMARY SOURCES & FURTHER READING

Verified Primary Sources and Further Reading

R1	ISSCR Guidelines, v1.2 (2025) International guidance on stem cells, organoids, and chimeras
R2	National Academies (2021) Human Neural Organoids, Transplants, and Chimeras
R3	Revah et al., Nature 610 (2022) Maturation and circuit integration after transplantation
R4	Jackson, Medical Law Review 33 (2025) Future UK regulation of brain-organoid research
R5	Savulescu & Sawai, JME 50 (2024) Transplantation and the status of humanized animals
R6	Kataoka et al., Sci Eng Ethics 30 (2024) Possible consciousness and donor consent
R7	Kataoka, Koike & Sawai, Front Genet 16 (2025) Japanese attitudes toward cell donation
R8	Guo & Zhang, Front Cell Dev Biol 14 (2026) Systematic review of organoid ethics review
B1	Ted Peters, Playing God? 2nd ed. (2003) Genetic technology, human freedom, and theological responsibility

More important than the power to make new living models is the capacity to renew responsibility as their capacities change. · Links and citations checked 3 Aug 2026