

2025학년도 논술고사

자연계열(의학과)



성명	
전형	
수험번호	

표지를 제외한 페이지 수 : 6

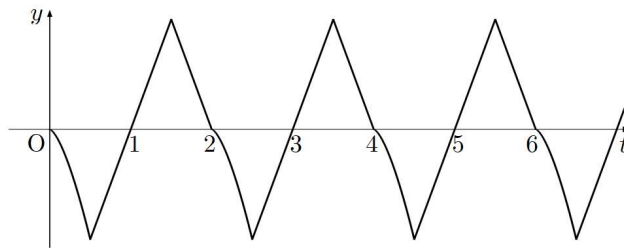
[문항 1] 【제시문】을 읽고 물음에 답하라.

【 제시문 】

(가) 함수 $f(t)$ 는 음이 아닌 모든 실수 t 에 대하여 $f(t+2) = f(t)$ 를 만족하고, $0 \leq t < 2$ 일 때 다음과 같이 정의된다. (단, $a > 0$)

$$f(t) = \begin{cases} a(\log_2(2-2t)-1) & \left(0 \leq t < \frac{1}{2}\right) \\ (a+2)\left(t-\frac{3}{2}\right)+2 & \left(\frac{1}{2} \leq t < \frac{3}{2}\right) \\ -4t+8 & \left(\frac{3}{2} \leq t < 2\right) \end{cases}$$

【그림 1】은 $a=2$ 일 때 함수 $y=f(t)$ 의 그래프를 나타낸다.



【그림 1】

(나) 수직선 위를 움직이는 점 P는 $x = \frac{1}{2}$ 에서 출발하여 시각 t 에서의 위치 x 가 $x=g(t)$ 이고, 시각 t 에서의 속도 $v(t)$ 는 (가)에서 $a=2$ 일 때의 $f(t)$ 이다. 수직선 위를 움직이는 점 Q는 $x = \frac{1}{2}$ 에서 출발하여 시각 t 일 때 위치가 $h(t) = mt + \frac{1}{2}$ 이다. (단, m 은 양의 상수이다.)



[문제 1-1] (10점) 제시문 (가)에서 음이 아닌 모든 실수 β, γ 에 대하여 $\left| \int_{\beta}^{\gamma} f(t) dt \right| \leq 2025$ 인 a 의 값을 구하라.

[문제 1-2] (20점) 제시문 (나)를 읽고 다음 물음에 답하라. (단, $2 < e < e^2 < 8$)

(1) (10점) $g(4)$ 의 값을 구하라.

(2) (10점) 방정식 $g(t) = \frac{1}{2}$ 의 가장 작은 양의 실근을 t_1 이라 할 때, $t_1^2 - 4t_1$ 의 값을 구하라.

[문제 1-3] (20점) 제시문 (나)를 읽고 다음 물음에 답하라. (단, $\frac{1}{\ln 2} = 1.443$ 으로 계산한다.)

(1) (10점) 방정식 $g(t) = 0$ 의 서로 다른 양의 실근의 개수를 구하라.

(2) (10점) 집합 $A = \{t | g(t) = h(t), t > 0\}$ 의 원소의 개수가 3일 때 집합 A 의 가장 큰 원소를 α 라 하자. α^2 의 값을 구하라.

[문항 2] (50점) 다음 제시문을 읽고 문제에 답하시오.

미국 보건당국에 따르면 약 11만 명의 미국인이 장기 이식을 기다리고 있으며, 매년 6,000명 이상이 장기 부족으로 목숨을 잃고 있습니다. 대부분의 장기는 뇌사자로부터 제공되지만, 이러한 장기 공급은 제한적이며 감소하는 추세입니다. 이에 따라 매일 약 17명의 환자들이 필요한 장기를 받지 못해 사망하고 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 동물 장기를 인간에게 이식하는 '이종 이식' 연구가 활발히 진행되고 있습니다.

특히, 인간과 장기 크기 및 기능이 유사한 돼지가 이식용 동물로 주목받고 있으며, 유전자 변형을 통해 생산된 돼지 장기 이식이 유력한 해결책으로 떠오르고 있습니다. 2023-2024년 동안 매사추세츠 종합병원은 중증 환자에게 돼지 콩팥 이식을 성공하였으며, 메릴랜드 대학 메디컬 센터는 두 명의 환자에게 돼지 심장을 이식하여 45일 이상 생존시켰습니다. 이러한 성과는 이종 이식의 가능성과 과제에 대한 중요한 통찰을 제공하였습니다.

그러나 이종 이식이 안전한 장기 이식 방법으로 자리 잡기까지는 여전히 여러 가지 문제가 남아 있습니다. 가장 큰 문제는 면역거부반응입니다. 우리 몸의 면역 시스템은 이식된 장기를 외부 물질로 인식하고 공격하여 장기 기능을 손상시킬 수 있습니다. 사람 간의 장기 이식에서는 면역억제제를 투여하여 면역 시스템을 억제하지만, 다른 종에서 유래한 돼지 장기의 경우 면역억제제의 투여에도 불구하고 면역거부반응이 여전히 강하게 나타날 수 있습니다.

최근에는 유전자 가위 기술을 이용하여 돼지 장기 면역 거부 반응의 주요 원인인 알파갈¹ 생성 단백질을 제거하고, 인간 CD47²과 같은 '자기(self)' 인식 표식을 돼지 세포 표면에 발현시킨 '인간화 돼지(humanized pig)'가 개발되었습니다. 인간화 돼지에서 생산된 장기를 활용하면 이종 장기 이식 시 면역 거부 반응을 크게 줄일 수 있는 가능성이 열렸습니다.

또 다른 문제로는 사람과 돼지의 생리적 차이로 인해 돼지 장기가 인간의 신체 내에서 완벽히 작동할 수 있을지에 대한 불확실성이 남아 있습니다. 또한 과학자들은 돼지 장기를 이용한 이종 이식이 에볼라, HIV, 코로나 바이러스 감염과 같은 새로운 감염병을 유발할 가능성을 높여 인류의 생명을 위협할 수 있다고 우려하고 있습니다.

주¹. 알파갈 : 인간에게 없는 비인간 포유류의 세포 표면 당사슬로, 이종 이식 시 면역거부반응을 일으키는 주요 원인임

주². CD47 : 세포 표면에 존재하는 단백질로, 면역 세포가 해당 세포를 '자기(self)'로 인식하게 하는 표지자 역할을 함. 이 단백질이 세포 표면에 발현되면, 대식세포와 같은 식세포가 해당 세포를 섭취하지 않도록 도와줌

[문제 2-1] (13점) 이식을 위해 적출한 콩팥을 건강한 상태로 유지하려면 이식 전까지 콩팥의 대사 활동을 지속시키는 것이 필수적이다. 이종 이식을 위해 인간화 돼지의 콩팥을 꺼낸 후 500ml의 저장 용액에 담아 0~4°C에서 24시간 동안 보관하였다. 24시간 보관 후 측정된 저장 용액과 콩팥에 존재하는 방사성 동위 원소로 표시된 대사산물들의 농도는 아래의 제시문과 같다.

- 저장 용액 :
방사성 동위 원소로 표시된 포도당 10mM을 영양소로 포함하는 등장액
- 24시간 후 측정된 방사성 동위 원소로 표시된 대사물질 농도 :
포도당 5mM, 피루브산 2mM, 시트르산 2mM, 젖산 2mM

(1) (8점) 24시간 동안 보관된 콩팥이 사용한 총 ATP의 개수를 계산하시오. (참고: 전자전달계에서 NADH 1개는 3개의 ATP를 그리고 FADH₂ 1개는 2개의 ATP를 생산하며, 보관 기간 동안 장치를 통해 충분한 산소가 공급되었다고 가정한다.)

(2) (5점) 보관된 콩팥이 방사성 동위 원소로 표시된 포도당을 이용하여 ATP를 생산하는데 소비한 총 산소량을 계산하시오.

[문제 2-2] (6점) 아래는 알파갈 생산 단백질 유전자의 DNA 염기 서열이다. (참고: 네모박스로 표시한 부분은 프로모터를 나타내며, 밑줄 친 A/T 염기쌍은 전사가 시작되는 부위이다.)

```

                    1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
5' ---TGGACTGCTATAATAGCAGGGCTGCCGAATGCCCTACCACGCGTCTCAACGGTATTTGG---3'
3' ---ACCTGACGATATTATCGTCCCGACGGCTTACGGGATGGTGCAGAGTTGCCATAAACC---5'
    
```

(1) (3점) 알파갈 생산 단백질 유전자에서 전사되는 mRNA의 첫 10개 리보뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 순서대로 쓰시오.

(2) (3점) 만약 유전자 가위를 사용하여 연속된 두 개의 뉴클레오타이드를 제거할 수 있다면, 알파갈 생산 단백질의 생산을 중단시키기 위해 위쪽에 숫자로 표시된 뉴클레오타이드 중 어느 부위를 삭제해야 하는지 지정하고 그 이유를 설명하시오.



[문제 2-3] (10점) 의료진은 인간화 돼지 콩팥을 이식받은 환자를 관찰하던 중, 환자가 짠 음식을 먹었을 때 소변량은 그대로지만 심한 갈증과 입 마름 증상을 호소하는 것을 발견했다. 의료진은 이런 증상이 이식된 돼지 콩팥 때문이라고 판단하였다.

(1) (5점) 환자가 보이는 증상의 원인을 추론하시오.

(2) (5점) 이 환자에게 고혈압 증상이 나타나자, 의료진은 혈압 강하제로 베타차단제를 투여하여 혈압을 낮추었다. 이후 환자가 짠 음식을 섭취할 때 심한 갈증과 입 마름 증상이 더욱 악화되었다. 이러한 증상 악화의 원인을 추론하시오. (참고: 베타차단제는 노르에피네프린의 작용을 억제하는 약물이다.)

[문제 2-4] (5점) ‘이종 이식’이 에볼라, HIV, 코로나 바이러스 감염과 같은 새로운 감염병을 유발할 가능성이 높다고 과학자들이 생각하는 이유를 진화론의 관점에서 설명하시오.

[문제 2-5] (9점) 콩팥 이식과 같은 중대한 수술을 할 때는, 수술 전에 전신 마취제를 투여하여 환자가 고통을 느끼지 않도록 한다. 또한, 근육 이완제를 함께 사용하여 수술 중 신체의 움직임을 최소화하고 수술 부위를 명확하게 노출시켜 정확하고 안전한 수술을 진행한다.

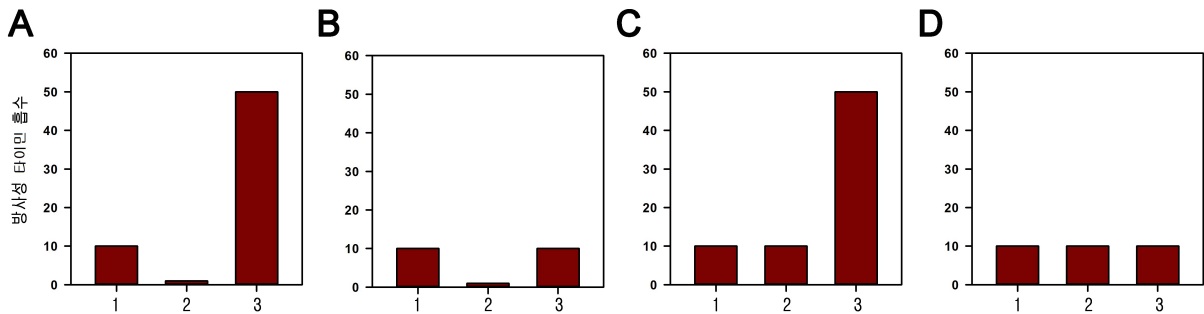
(1) (3점) 전신 마취제가 Na^+ 통로를 차단하는 작용을 한다면, 환자가 고통을 느끼지 않는 이유와 그 작용기작을 설명하시오.

(2) (3점) 근육 이완제가 아세틸콜린의 작용을 차단한다면, 수술 중 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성 여부와 그 이유를 설명하시오.

(3) (3점) 의료진은 수술 중에 인공호흡기를 사용하여 환자의 호흡을 돕고, 혈액 내 산소 포화도를 주의 깊게 관찰한다. 이러한 조치를 취하는 이유를 설명하시오.

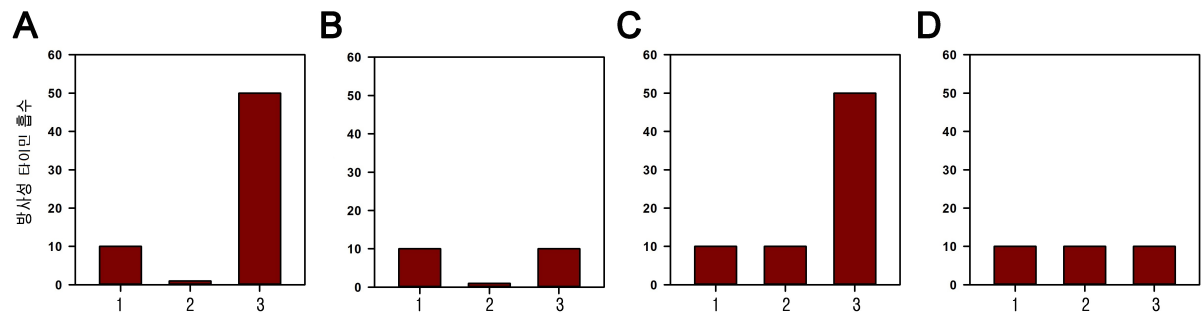
[문제 2-6] (7점) 돼지의 장기를 인체에 이식할 때 일어날 수 있는 거부 반응을 미리 알아내고자 돼지의 혈액과 환자의 혈액을 이용하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

(1) (5점) 환자의 혈액 단핵 세포(림프구, 대식세포)와 방사선을 조사한 돼지 혈액 단핵 세포를 섞어서 배양하거나 각각 따로 배양하면서 방사성 동위 원소로 표시된 타이민(thymine)을 염기로 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드가 세포 안으로 얼마나 흡수되는지 측정하여 세포의 증식 정도를 평가하였다. A, B, C, D 중에서 예상되는 결과를 고르고 그렇게 생각한 까닭을 설명하시오. (참고: 방사선에 노출된 세포들은 모두 죽는다고 가정한다.)



1. 환자 혈액 단핵세포 단독 배양
2. 방사선 조사한 돼지 혈액 단핵세포 단독 배양
3. 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사한 돼지 혈액 단핵세포의 혼합배양

(2) (2점) 사람의 CD47을 세포 표면에 발현하는 돼지 혈액 단핵 세포를 방사선에 노출시킨 후, 환자 혈액 단핵 세포와 섞어서 배양하거나 각각 따로 배양하면서 방사성 동위 원소로 표시된 타이민(thymine)을 염기로 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드가 세포 안으로 얼마나 흡수되는지 측정하여 세포의 증식 정도를 평가하였다. A, B, C, D 중에서 예상되는 결과를 고르고 그렇게 생각한 까닭을 설명하시오. (참고: 방사선에 노출된 세포들은 모두 죽는다고 가정한다.)



1. 환자 혈액 단핵세포 단독 배양
2. 방사선 조사한 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포 단독 배양
3. 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사한 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포의 혼합배양

2025학년도 논술고사

자연계열(의학과) 모범답안



표지를 제외한 페이지 수 : 9

[문제 1-1]

$f(x+2) = f(x)$ 이므로 음이 아닌 모든 실수 β, γ 에 대하여 $\left| \int_{\beta}^{\gamma} f(t) dt \right| \leq 2025$ 이려면 $\int_0^2 f(t) dt = 0$ 이어야 한다. 각 구간별로 적분을 계산해보면

$$\begin{aligned} a \int_0^{\frac{1}{2}} (\log_2(2-2t) - 1) dt &= \frac{a}{\ln 2} \int_0^{\frac{1}{2}} \ln(1-t) dt \quad (1-t=u \text{ 라 하면 } \frac{du}{dt} = -1 \text{ 이므로}) \\ &= \frac{a}{\ln 2} \int_{\frac{1}{2}}^1 \ln u du = \frac{a}{\ln 2} \left[u \ln u - u \right]_{\frac{1}{2}}^1 = \frac{a}{2} \left(1 - \frac{1}{\ln 2} \right) \\ \int_{\frac{1}{2}}^{\frac{3}{2}} \left((a+2) \left(t - \frac{3}{2} \right) + 2 \right) dt &= -\frac{1}{2}a + 1 \\ \int_{\frac{3}{2}}^2 (-4t+8) dt &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

이므로

$$\int_0^2 f(t) dt = \frac{a}{2} \left(1 - \frac{1}{\ln 2} \right) + \left(-\frac{1}{2}a + 1 \right) + \frac{1}{2} \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

이다. $\int_0^2 f(t) dt = 0$ 이므로 $\frac{a}{2} \left(1 - \frac{1}{\ln 2} \right) + \left(-\frac{1}{2}a + 1 \right) + \frac{1}{2} = 0$ 이고 $a = 3 \ln 2$ 이다.

[문제 1-2]

(1) $v(t)$ 는 $a=2$ 일 때의 $f(t)$ 이므로 [문제 1-1]의 ①에 $a=2$ 를 대입하면 $\int_0^2 v(t) dt = \frac{3}{2} - \frac{1}{\ln 2}$ 이다. 음이 아닌 모든 실수 t 에 대하여 $v(t+2) = v(t)$ 가 성립하므로

$$g(4) = \frac{1}{2} + \int_0^4 v(t) dt = \frac{1}{2} + 2 \int_0^2 v(t) dt = \frac{7}{2} - \frac{2}{\ln 2}$$

이다.

(2) 닫힌구간 $[0, 2]$ 에서 함수 $g(t)$ 의 증가와 감소를 나타낸 표는 다음과 같다.

t	0	...	$\frac{1}{2}$...	1	...	$\frac{3}{2}$...	2
$v(t)$		-	-	-	0	+	+	+	0
$g(t)$	$\frac{1}{2}$	\searrow	$\frac{3}{2} - \frac{1}{\ln 2}$	\searrow	$1 - \frac{1}{\ln 2}$	\nearrow	$\frac{3}{2} - \frac{1}{\ln 2}$	\nearrow	$2 - \frac{1}{\ln 2}$

$2 < e$ 에 의해 $\frac{1}{\ln 2} > 1$ 이고 $e^2 < 8$ 에 의해 $\frac{1}{\ln 2} < \frac{3}{2}$ 이므로 $0 < g\left(\frac{1}{2}\right) < \frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2} < g\left(\frac{3}{2}\right) < 0$,

$\frac{1}{2} < g(2) < 1$ 이다. 사잇값 정리에 의하여 $g(t_1) = \frac{1}{2}$ 이 되는 t_1 은 $\frac{3}{2} < t_1 < 2$ 임을 알 수 있다. 닫힌구간

$\left[\frac{3}{2}, 2\right]$ 에서 $\int_{\frac{3}{2}}^{t_1} v(s) ds = \int_{\frac{3}{2}}^{t_1} (-4s+8) ds = -2t_1^2 + 8t_1 - \frac{15}{2}$ 이므로

$$g(t_1) = g\left(\frac{3}{2}\right) + \int_{\frac{3}{2}}^{t_1} v(s) ds = \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{\ln 2}\right) + \left(-2t_1^2 + 8t_1 - \frac{15}{2}\right) = -2t_1^2 + 8t_1 - 6 - \frac{1}{\ln 2}$$

이다. 방정식 $g(t_1) = \frac{1}{2}$ 를 이용하면 $t_1^2 - 4t_1 = -\frac{13}{4} - \frac{1}{2\ln 2}$ 이다.

[문제 1-3]

(1) [문제 1-2]의 함수 $g(t)$ 의 증가와 감소를 나타낸 표에서 $g(t)$ 의 값을 $\frac{1}{\ln 2} = 1.443$ 으로 계산하면, $g(1) - g(0) = \left(1 - \frac{1}{\ln 2}\right) - \frac{1}{2} = -0.943$ 이고 $g(2) - g(0) = \frac{3}{2} - \frac{1}{\ln 2} = 0.057$ 이다. 함수 $v(t)$ 가 주기가 2인 함수이므로 음이 아닌 정수 n 에 대하여 $g(2n+1) - g(2n) = 1 - \frac{1}{\ln 2} - \frac{1}{2} = -0.943$ 이고, $g(2n+2) - g(2n) = \frac{3}{2} - \frac{1}{\ln 2} = 0.057$ 이다. 따라서 $g(2n) = \frac{1}{2} + 0.057n$ 이고, $0 < g(2n) < 0.943$ 이면 점 P는 $2n < t < 2n+2$ 에서 원점을 두 번 지나고, $g(2n) = 0.943$ 이면 점 P는 $2n < t < 2n+2$ 에서 원점을 한 번 지나고, $g(2n) > 0.943$ 이면 $t > 2n$ 에서 점 P는 원점을 지나지 않는다. $n=7$ 일 때 $g(2n) = g(14) = 0.899 < 0.943$ 이고, $n=8$ 일 때 $g(2n) = g(16) = 0.956 > 0.943$ 이므로 점 P는 원점을 16번 지난다.

(2) 함수 $y = g(t)$ 의 그래프와 함수 $y = h(t)$ 의 그래프가 제1사분면에서 3번 만나야 한다. [문제 1-2]의 함수 $g(t)$ 의 증가와 감소를 나타낸 표를 이용하면 함수 $y = g(t)$ 의 그래프와 함수 $y = h(t)$ 의 그래프는 열린 구간 $\left(\frac{3}{2}, 2\right)$ 에서 두 번 만나고, 열린구간 $\left(\frac{7}{2}, 4\right)$ 에서 접해야 한다. 두 함수의 그래프가 접할 때 접점의 t 좌표가 α 이므로 $\frac{7}{2} < \alpha < 4$ 이고 접점의 좌표를 $\left(\alpha, m\alpha + \frac{1}{2}\right)$ 이라 하면 $v(\alpha) = m$, $g(\alpha) = m\alpha + \frac{1}{2}$ 이다. $\frac{7}{2} < \alpha < 4$ 이므로 $v(\alpha) = v(\alpha - 2) = -4\alpha + 16$ 이고 $v(\alpha) = m$ 을 이용하여 정리하면 $m = -4\alpha + 16$ 이다.

[문제 1-2] (1)에서 $g(4) = \frac{7}{2} - \frac{2}{\ln 2}$ 이므로 다음이 성립한다.

$$g(\alpha) = \frac{1}{2} + \int_0^\alpha v(t) dt = \frac{1}{2} + \int_0^4 v(t) dt - \int_\alpha^4 v(t) dt = g(4) - \int_\alpha^4 v(t) dt = \left(\frac{7}{2} - \frac{2}{\ln 2}\right) - 2\alpha^2 + 16\alpha - 32$$

$m = -4\alpha + 16$ 과 $g(\alpha) = m\alpha + \frac{1}{2}$ 을 이용하여 정리하면 $\alpha^2 = \frac{1}{\ln 2} + \frac{29}{2}$ 이다.

미국 보건당국에 따르면 약 11만 명의 미국인이 장기 이식을 기다리고 있으며, 매년 6,000명 이상이 장기 부족으로 목숨을 잃고 있습니다. 대부분의 장기는 뇌사자로부터 제공되지만, 이러한 장기 공급은 제한적이며 감소하는 추세입니다. 이에 따라 매일 약 17명의 환자들이 필요한 장기를 받지 못해 사망하고 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 동물 장기를 인간에게 이식하는 '이종 이식' 연구가 활발히 진행되고 있습니다.

특히, 인간과 장기 크기 및 기능이 유사한 돼지가 이식용 동물로 주목받고 있으며, 유전자 변형을 통해 생산된 돼지 장기 이식이 유력한 해결책으로 떠오르고 있습니다. 2023-2024년 동안 매사추세츠 종합병원은 중증 환자에게 돼지 콩팥 이식에 성공하였으며, 메릴랜드 대학 메디컬 센터는 두 명의 환자에게 돼지 심장을 이식하여 45일 이상 생존시켰습니다. 이러한 성과는 이종 이식의 가능성과 과제에 대한 중요한 통찰을 제공하였습니다.

그러나 이종 이식이 안전한 장기 이식 방법으로 자리 잡기까지는 여전히 여러 가지 문제가 남아 있습니다. 가장 큰 문제는 면역거부반응입니다. 우리 몸의 면역 시스템은 이식된 장기를 외부 물질로 인식하고 공격하여 장기 기능을 손상시킬 수 있습니다. 사람 간의 장기 이식에서는 면역억제제를 투여하여 면역 시스템을 억제하지만, 다른 종에서 유래한 돼지 장기의 경우 면역억제제의 투여에도 불구하고 면역거부반응이 여전히 강하게 나타날 수 있습니다.

최근에는 유전자 가위 기술을 이용하여 돼지 장기의 면역 거부 반응의 주요 원인인 알파갈¹ 생성 단백질을 제거하고, 인간 CD47²과 같은 '자기(self)' 인식 표식을 돼지 세포 표면에 발현시키는 '인간화 돼지(humanized pig)'가 개발되었습니다. 이를 통해 인간화 돼지에서 생산된 장기를 활용하면 이종 장기 이식 시 면역 거부 반응을 크게 줄일 수 있는 가능성이 열렸습니다.

또 다른 문제로는 사람과 돼지의 생리적 차이로 인해 돼지 장기가 인간의 신체 내에서 완벽히 작동할 수 있을지에 대한 불확실성이 남아 있습니다. 또한 과학자들은 돼지 장기를 이용한 이종 이식이 에볼라, HIV, 코로나 바이러스 감염과 같은 새로운 감염병을 유발할 가능성을 높여 인류의 생명을 위협할 수 있다고 우려하고 있습니다.

주¹. 알파갈 : 인간에게 없는 비인간 포유류의 세포 표면 당사슬로, 이종이식 시 면역거부반응을 일으키는 주요 원인임

주². CD47 : 세포 표면에 존재하는 단백질로, 면역 세포가 해당 세포를 '자기(self)'로 인식하게 하는 표지자 역할을 함. 이 단백질이 세포 표면에 발현되면, 대식세포와 같은 식세포가 해당 세포를 식작용하지 않도록 도와줌.



[문제 2-1] (13점) 이식을 위해 적출된 콩팥을 건강한 상태로 유지하려면 이식 전까지 콩팥의 대사 활동을 지속시키는 것이 필수적이다. 이에 따라 이종 이식을 위해 인간화된 돼지의 콩팥을 꺼낸 후 500ml의 저장 용액에 담아 0~4°C에서 24시간 동안 보관하였다. 24시간 보관 후 측정된 저장 용액과 콩팥의 방사선 동위 원소로 표시된 대사산물들의 농도는 아래의 제시문과 같다.

저장 용액 :

방사선 동위 원소로 표시된 포도당 10mM을 영양소로 포함하는 등장액

24시간 후 방사선 동위 원소로 표시된 대사물질 농도 :

포도당 5mM, 피루브산 2mM, 시트르산 2mM, 젖산 2mM

(1) (8점) 24시간 동안 보관된 콩팥이 사용한 총 ATP의 개수를 계산하시오. (단, 전자전달계에서 NADH 1개는 3개의 ATP를 그리고 FADH₂ 1개는 2개의 ATP를 생산하며, 보관 기간 동안 장치를 통해 충분한 산소가 공급되었다고 가정한다.)

[모범 답안]

1. 처음의 500 ml의 저장용액에 존재하는 방사성 동위원소 표시 포도당은 5 mmol임
2. 24시간 보관후 남아있는 포도당은 2.5 mmol이므로 결국 2.5 mmol의 포도당이 ATP 합성에 사용됨
3. 이 가운데 0.5 mmol 포도당은 피루브산 1 mmol을 만드는데 사용되었으며 1 mmol NADH과 1 mmol ATP를 만들
4. 이 가운데 0.5 mmol 포도당은 시트르산 1 mmol을 만드는데 사용되었으며 2 mmol NADH과 1 mmol ATP를 만들
5. 이 가운데 0.5 mmol 포도당은 젖산 1 mmol을 만드는데 사용되었으며 1 mmol ATP를 만들
6. 남은 1 mmol의 포도당은 완전히 대사되어 10 mmol NADH와 2 mmol FADH₂, 그리고 4 mmol ATP를 만들
7. 그러므로 총 생산 에너지는 13 mmol NADH, 2 mmol FADH₂, 그리고 7 mmol ATP이므로 총 ATP 생산량 또는 소모량은 $13 \times 3 + 2 \times 2 + 7 = 50 \text{ mmol}$ 임 또는 $50 \times 10^{-3} \times 6.023 \times 10^{23} = 3.0115 \times 10^{22} \text{ 개}$

	저장용액내 양 mmol	사용한 포도당 mmol	NADH	FADH ₂	ATP	총 ATP 계산	총ATP 양 mmol
피루브산	1	0.5	1	0	1	1*3+1	4
시트르산	1	0.5	2	0	1	2*3+1	7
젖산	1	0.5	0	0	1	1	1
포도당	2.5	1	10	2	4	10*3+2*2+4	38
ATP 총량							50 mmol



(2) (5점) 방사선 동위 원소로 표시된 포도당을 이용하여 생산된 ATP에 소비된 총 산소량을 계산하시오.

[모범 답안]

- 1개의 NADH 또는 FADH_2 는 $1/2$ 개의 산소분자 (O_2)를 환원하여 1개의 물(H_2O)을 만들
- 위의 반응에서 13 mmol NADH와 2 mmol FADH_2 가 생성되므로 $15 \text{ mmol} \times 1/2 = 7.5 \text{ mmol}$ 의 산소분자 (O_2)가 사용됨 또는 $7.5 \times 10^{-3} \times 6.023 \times 10^{23} \text{ 개} = 4.6725 \times 10^{21} \text{ 개}$

[문제 2-2] (6점) 아래는 알파갈 생산 단백질 유전자의 DNA 염기 서열이다. (참고: 네모박스로 표시한 부분은 프로모터를 나타내며, 밑줄 친 A/T 염기쌍은 전사가 시작되는 부위이다.)

```

                    1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
5' --- TGGACTGCTATAATAGCAGGGCTGCCGAATGCCCTACCACGCGTCTCAACGGTATTTGG---3'
3' --- ACCTGACGATATTATCGTCCCGACGGCTTACGGGATGGTGCGCAGAGTTGCCATAAACCC---5'
    
```

(1) (3점) 알파갈 유전자에서 전사되는 mRNA의 처음 10개의 리보뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 순서대로 쓰시오.

[모범 답안]

AGGGCUGCCG

(2) (3점) 만약 유전자 가위를 사용하여 연속된 두 개의 뉴클레오타이드를 제거할 수 있다면, 알파갈 생산 단백질의 생산을 중단시키기 위해 위쪽에 숫자로 표시된 뉴클레오타이드들 중 어느 부위를 삭제해야 하는지 지정하고 그 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

알파갈 생산 단백질 유전자는 밑줄 친 A/T 염기쌍에서 전사가 시작되어 mRNA가 만들어지고, mRNA의 리보뉴클레오타이드 순서 중 처음 나오는 AUG를 개시 코돈으로 알파갈 생산 단백질의 합성이 시작됩니다. 알파갈 생산 단백질 유전자의 3,4번 뉴클레오타이드를 제거하면, 전사되는 mRNA의 리보뉴클레오타이드의 순서가 AUGCCCUAA---의 순서로 바뀌는데, UAA는 종결 코돈이므로 mRNA에서 번역기구가 분리되고 단백질 합성이 중단되어, 알파갈 생산 단백질의 생산을 중단할 수 있게 됩니다.

[문제 2-3] (10점) 의료진은 인간화 돼지 콩팥을 이식받은 환자를 관찰하던 중, 환자가 짠 음식을 먹었을 때 소변량은 그대로지만 심한 갈증과 입 마름 증상을 호소하는 것을 발견했다. 의료진은 이런 증상이 이식된 돼지 콩팥 때문이라고 판단하였다.



(1) (5점) 환자가 보이는 증상의 원인을 추론하시오.

[모범 답안]

사람은 음식과 물을 통해 체내 수분을 섭취하고, 소변과 땀을 통해 배출함으로써 체액의 삼투압을 일정하게 유지합니다. 체액 농도가 변화하면 세포가 수축하거나 팽창하여 구조와 기능에 이상이 생길 수 있기 때문에, 체내에서 물과 무기 염류의 섭취와 배출을 조절합니다. 염분 섭취로 인해 체액 삼투압이 높아지면 시상하부가 자극을 받아 뇌하수체 후엽에서 항이뇨 호르몬(ADH)이 분비되고, 이를 통해 콩팥에서 물의 재흡수가 증가하여 소변량이 줄어들고 삼투압이 정상으로 돌아옵니다. 그러나 항이뇨 호르몬은 뇌하수체에서 생성된 사람의 호르몬이므로 돼지 항이뇨 호르몬과 구조가 달라, 돼지 콩팥에 존재하는 항이뇨 호르몬 수용체에 작용하지 않을 수 있습니다. 사람의 항이뇨 호르몬이 돼지 콩팥에 작용하지 않는다면, 콩팥에서 물의 재흡수가 일어나지 않아 혈액 삼투압이 증가하고 심한 갈증과 입마름 증상이 나타날 수 있습니다.

(2) (5점) 이 환자에게 고혈압 증상이 나타나자, 의료진은 혈압 강하제로 베타차단제를 투여하여 혈압을 낮추었다. 이후 환자가 짠 음식을 섭취할 때 심한 갈증과 입 마름 증상이 더욱 악화되었다. 이러한 증상 악화의 원인을 추론하시오. (참고: 베타차단제는 노르에피네프린의 작용을 억제하는 약물이다.)

[모범 답안]

노르에피네프린은 교감신경계의 신경전달 물질로, 교감신경계에 속하는 신경절 이후 뉴런에서 분비됩니다. 베타차단제는 노르에피네프린의 작용을 억제하는 약물이기 때문에, 교감신경계의 활성이 억제됩니다. 교감신경계는 심장 박동수를 증가시키는 역할을 하므로, 베타차단제 투여 시 심장 박동수가 감소하고 혈압이 낮아집니다. 그러나 이로 인해 콩팥으로 가는 혈류량이 줄어들게 되며, 혈류량 감소는 콩팥에서 물 재흡수를 감소시켜 체액의 삼투압을 높일 수 있습니다. 이로 인해 갈증과 입마름 증상이 악화될 수 있습니다.

[문제 2-4] (5점) ‘이종 이식’이 에볼라, HIV, 코로나 바이러스 감염과 같은 새로운 감염병을 유발할 가능성이 높다고 과학자들이 생각하는 이유를 진화론의 관점에서 설명하시오.

[모범 답안]

에볼라, HIV, 코로나 바이러스 등은 동물에서 인간으로 전파된 바이러스가 유발하는 감염병으로 알려져 있습니다. 이와 마찬가지로, 돼지 장기를 이식할 경우 돼지 독감처럼 원래 인간에게 감염되지 않던 돼지 바이러스나 병원체가 **돌연변이**를 일으켜 인간에게도 감염될 수 있는 형태로 진화할 가능성이 있습니다. 돼지 장기가 인간의 체내에 항상 존재하면 돌연변이된 병원체가 인간세포와 접촉할 확률이 높아지고, 이로 인하여 돌연변이 중 인간세포에 감염될 수 있는 병원체가 **자연선택**될 가능성이 높아집니다. 인간세포에 감염되는 병원체 중 일부는 인간에게 질병을 일으킬 수 있는 형태로 발전할 가능성이 높습니다.



[문제 2-5] (9점) 콩팥 이식과 같은 중대한 수술을 할 때는, 수술 전에 전신 마취제를 투여하여 환자가 고통을 느끼지 않도록 한다. 또한, 근육 이완제를 함께 사용하여 수술 중 신체의 움직임 을 최소화하고 수술 부위를 명확하게 노출시켜 정확하고 안전한 수술을 진행한다.

(1) (3점) 전신 마취제가 Na^+ 통로를 차단하는 작용을 한다면, 환자가 고통을 느끼지 않는 이유 와 그 작용기작을 설명하시오.

[모범 답안]

전신 마취제가 Na^+ 통로를 차단하면 환자가 고통을 느끼지 않는 이유는 흥분의 전달이 억제되 기 때문입니다. Na^+ 통로는 신경 세포의 탈분극 과정을 통해 통증 자극을 전달하는 중요한 역 할을 합니다. 마취제가 Na^+ 통로를 차단하게 되면, 신경 세포 내로 Na^+ 이온이 유입되지 못해 탈 분극이 생성되지 않습니다. 이로 인해 통증 신호가 신경을 따라 전달되지 않고, 뇌까지 도달하지 않으므로 환자는 고통을 느끼지 않게 됩니다. 즉, 전신 마취제는 Na^+ 통로를 차단하여 통증 신 호의 발생과 전달을 근본적으로 차단함으로써 수술 중 환자가 고통을 느끼지 않도록 합니다.

(2) (3점) 근육 이완제가 아세틸콜린의 작용을 차단한다면, 수술 중 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성 여부와 그 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

수술 중 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성은 크게 줄어듭니다. 무조건 반사는 자극이 신경 을 통해 근육으로 전달되어 일어나는 반사적 반응인데, 이는 운동 신경 말단에서 방출된 아세틸 콜린이 근육 세포에 존재하는 아세틸콜린 수용체에 결합하여 근수축을 유도함으로써 발생합니다. 근육 이완제가 아세틸콜린의 작용을 차단하면, 아세틸콜린이 근육 세포에 존재하는 아세틸콜린 수용체에 결합하지 못하게 되어 근수축이 억제됩니다. 따라서, 자극이 들어와도 신경 신호가 근 육으로 전달되지 않기 때문에 무조건 반사가 일어나지 않거나 최소화됩니다. 이러한 이유로, 근 육 이완제를 투여한 상태에서는 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성이 매우 낮아집니다.

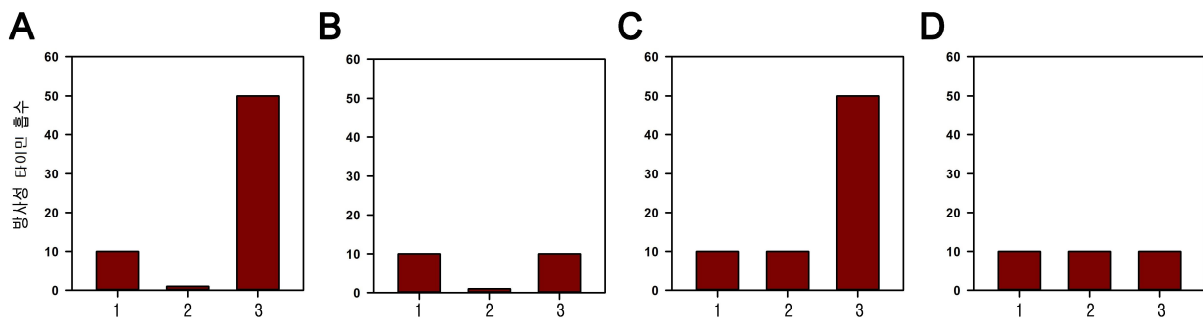
(3) (3점) 의료진은 수술 중에 인공호흡기를 사용하여 환자의 호흡을 돕고, 혈액 내 산소 포화도 를 주의 깊게 관찰한다. 이러한 조치를 취하는 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

산소는 세포 호흡을 통해 ATP를 생산하는 데 필수적이며, 산소가 부족하면 세포는 생존에 필 요한 충분한 ATP를 생성할 수 없어 생명 유지가 어렵게 됩니다. 수술 전 투여한 마취제는 신경 신호 전달을 차단하여, 산소 부족이라는 자극이 중추 신경계에 전달되지 않게 하고, 이에 따른 호흡 증가 반응도 억제합니다. 또한, 근육 이완제는 아세틸콜린의 작용을 차단하여 근육 수축을 저해하기 때문에, 호흡에 필요한 근육들의 움직임을 막아 산소 공급을 저해하게 됩니다.

[문제 2-6] (7점) 돼지의 장기를 인체에 이식할 때 일어날 수 있는 거부 반응을 미리 알아내고자 돼지의 혈액과 환자의 혈액을 이용하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

(1) (5점) 환자의 혈액 단핵 세포(림프구, 대식세포)와 방사선을 쬔 돼지의 혈액 단핵 세포를 섞어 배양하거나 혼자 배양하면서 방사성 동위 원소로 표시된 타이민(thymine)을 염기로 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드가 세포 안으로 얼마나 흡수되는지 측정하여 세포의 증식 정도를 평가하였다. A, B, C, D 중에서 예상되는 결과를 고르고 그렇게 생각한 까닭을 설명하시오. (단, 방사선에 노출된 세포들은 모두 죽는다고 가정한다.)



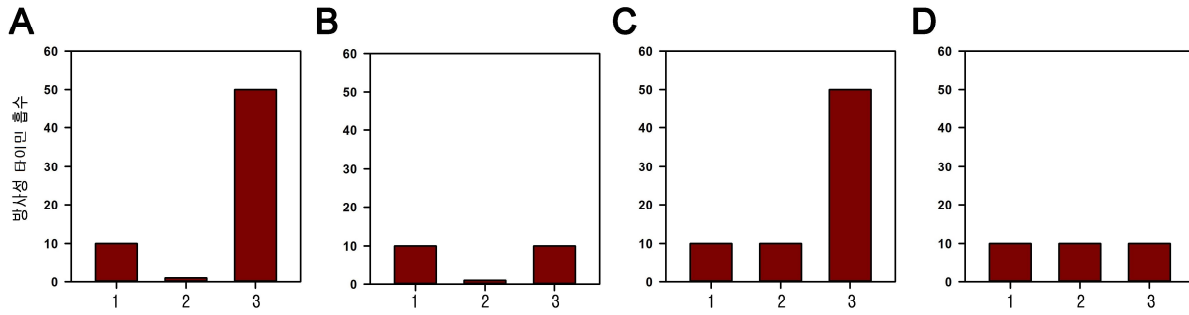
1. 환자 혈액 단핵세포 단독 배양
2. 방사선 조사한 돼지 혈액 단핵세포 단독 배양
3. 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사한 돼지 혈액 단핵세포의 혼합배양

[모범 답안]

정답은 A임

1. 환자 혈액 단핵세포를 단독으로 배양한 경우: 환자의 혈액 단핵 세포는 생존해 있으나 항원 자극은 없으므로 적은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함
2. 방사선 조사 돼지 혈액 단핵세포는 죽은 세포이므로 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수하지 않음
3. 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사 돼지 혈액 단핵세포를 혼합 배양한 경우: 죽은 돼지 혈액세포를 식작용으로 흡입한 환자의 대식세포가 돼지 혈액 세포의 항원을 환자의 T 림프구에 전달하여 환자의 T 림프구의 활성화하여 증식을 유도하므로 상대적으로 많은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함

(2) (2점) 사람의 CD47 분자를 가지고 있는 돼지의 혈액 단핵 세포를 방사선에 노출시킨 후, 환자의 혈액 단핵 세포와 섞어서 배양하거나 각각 따로 배양하면서 방사성 동위 원소로 표시된 타이민(thymine)을 염기로 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드가 세포 안으로 얼마나 흡수되는지 측정하여 세포의 증식 정도를 평가하였다. A, B, C, D 중에서 예상되는 결과를 고르고 그렇게 생각한 까닭을 설명하시오. (단, 방사선에 노출된 세포들은 모두 죽는다고 가정한다.)



- 환자 혈액 단핵세포 단독 배양
- 방사선 조사한 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포 단독 배양
- 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사한 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포의 혼합배양

[모범 답안]

정답은 B임

- 환자 혈액 단핵세포를 단독으로 배양한 경우: 환자의 혈액 단핵 세포는 생존해 있으나 항원 자극은 없으므로 적은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함
- 방사선 조사 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포는 죽은 세포이므로 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수하지 않음
- 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포를 혼합 배양한 경우: 죽은 돼지 혈액세포는 환자의 대식세포에 의해 식작용으로 함입될 수 없으므로 대식세포의 항원 전달에 의한 T 세포의 활성화는 이룰 수 없음. 그러므로 혼합배양에서는 활성화되지 환자 혈액 단핵세포만이 적은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함

2025학년도 논술고사

자연계열(의학과) 채점기준



표지를 제외한 페이지 수 : 14



2025학년도 자연계열(의학과) 채점기준

자연계열
(의학과)

하위 문항	채점 기준	배점
[1-1]	$\int_0^2 f(t) dt = 0$ 임을 관찰	5점
	$\int_0^2 f(t) dt$ 의 세 구간의 정적분을 올바르게 계산	각 1점
	각 구간에서의 적분값과 $\int_0^2 f(t) dt = 0$ 을 이용하여 정답을 구함	2점
[1-2] (1)	$\int_0^2 v(t) dt$ 의 값을 올바르게 계산	3점
	$g(4) = \frac{1}{2} + \int_0^4 v(t) dt$ 식을 잘 세움	4점
	$v(t+2) = v(t)$ 를 이용(관찰)하여 정답을 구함	3점
[1-2] (2)	$g(t_1) = \frac{1}{2}$ 인 t_1 이 $\frac{3}{2} < t_1 < 2$ 임을 관찰	4점
	$\frac{3}{2} < t_1 < 2$ 일 때 $g(t_1)$ 을 올바르게 계산	3점
	방정식 $g(t_1) = \frac{1}{2}$ 를 이용하여 정답을 구함	3점
[1-3] (1)	매 2초($[2n, 2n+2]$, n 는 음이 아닌 정수)마다 감소와 증가를 반복함을 관찰	3점
	$g(2n)$ 의 값에 따라 매 2초마다 원점을 몇 번 지나는지 관찰	4점
	$g(2n)$ 의 값을 이용하여 정답을 구함	3점
[1-3] (2)	열린구간 $\left(\frac{3}{2}, 2\right)$ 에서 두 번 만나고, 열린구간 $\left(\frac{7}{2}, 4\right)$ 에서 접해야함을 관찰	3점
	$v(\alpha) = m$ 를 이용하여 m 을 α 에 관한 식으로 표현	2점
	$g(\alpha)$ 를 적분을 이용하여 올바르게 계산	2점
	$m = -4\alpha + 16$ 과 $g(\alpha) = m\alpha + \frac{1}{2}$ 를 이용하여 정답을 구함	3점

미국 보건당국에 따르면 약 11만 명의 미국인이 장기 이식을 기다리고 있으며, 매년 6,000명 이상이 장기 부족으로 목숨을 잃고 있습니다. 대부분의 장기는 뇌사자로부터 제공되지만, 이러한 장기 공급은 제한적이며 감소하는 추세입니다. 이에 따라 매일 약 17명의 환자들이 필요한 장기를 받지 못해 사망하고 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 동물 장기를 인간에게 이식하는 '이종 이식' 연구가 활발히 진행되고 있습니다.

특히, 인간과 장기 크기 및 기능이 유사한 돼지가 이식용 동물로 주목받고 있으며, 유전자 변형을 통해 생산된 돼지 장기 이식이 유력한 해결책으로 떠오르고 있습니다. 2023-2024년 동안 매사추세츠 종합병원은 중증 환자에게 돼지 콩팥 이식에 성공하였으며, 메릴랜드 대학 메디컬 센터는 두 명의 환자에게 돼지 심장을 이식하여 45일 이상 생존시켰습니다. 이러한 성과는 이종 이식의 가능성과 과제에 대한 중요한 통찰을 제공하였습니다.

그러나 이종 이식이 안전한 장기 이식 방법으로 자리 잡기까지는 여전히 여러 가지 문제가 남아 있습니다. 가장 큰 문제는 면역거부반응입니다. 우리 몸의 면역 시스템은 이식된 장기를 외부 물질로 인식하고 공격하여 장기 기능을 손상시킬 수 있습니다. 사람 간의 장기 이식에서는 면역억제제를 투여하여 면역 시스템을 억제하지만, 다른 종에서 유래한 돼지 장기의 경우 면역억제제의 투여에도 불구하고 면역거부반응이 여전히 강하게 나타날 수 있습니다.

최근에는 유전자 가위 기술을 이용하여 돼지 장기의 면역 거부 반응의 주요 원인인 알파갈¹ 생성 단백질을 제거하고, 인간 CD47²과 같은 '자기(self)' 인식 표식을 돼지 세포 표면에 발현시키는 '인간화 돼지(humanized pig)'가 개발되었습니다. 이를 통해 인간화 돼지에서 생산된 장기를 활용하면 이종 장기 이식 시 면역 거부 반응을 크게 줄일 수 있는 가능성이 열렸습니다.

또 다른 문제로는 사람과 돼지의 생리적 차이로 인해 돼지 장기가 인간의 신체 내에서 완벽히 작동할 수 있을지에 대한 불확실성이 남아 있습니다. 또한 과학자들은 돼지 장기를 이용한 이종 이식이 에볼라, HIV, 코로나 바이러스 감염과 같은 새로운 감염병을 유발할 가능성을 높여 인류의 생명을 위협할 수 있다고 우려하고 있습니다.

주¹. 알파갈 : 인간에게 없는 비인간 포유류의 세포 표면 당사슬로, 이종이식 시 면역거부반응을 일으키는 주요 원인임

주². CD47 : 세포 표면에 존재하는 단백질로, 면역 세포가 해당 세포를 '자기(self)'로 인식하게 하는 표지자 역할을 함. 이 단백질이 세포 표면에 발현되면, 대식세포와 같은 식세포가 해당 세포를 식작용하지 않도록 도와줌.



[문제 2-1] (13점) 이식을 위해 적출된 콩팥을 건강한 상태로 유지하려면 이식 전까지 콩팥의 대사 활동을 지속시키는 것이 필수적이다. 이에 따라 이종 이식을 위해 인간화된 돼지의 콩팥을 꺼낸 후 500ml의 저장 용액에 담아 0~4°C에서 24시간 동안 보관하였다. 24시간 보관 후 측정된 저장 용액과 콩팥의 방사선 동위 원소로 표시된 대사산물들의 농도는 아래의 제시문과 같다.

저장 용액 :

방사선 동위 원소로 표시된 포도당 10mM을 영양소로 포함하는 등장액

24시간 후 방사선 동위 원소로 표시된 대사물질 농도 :

포도당 5mM, 피루브산 2mM, 시트르산 2mM, 젖산 2mM

(1) (8점) 24시간 동안 보관된 콩팥이 사용한 총 ATP의 개수를 계산하시오. (단, 전자전달계에서 NADH 1개는 3개의 ATP를 그리고 FADH₂ 1개는 2개의 ATP를 생산하며, 보관 기간 동안 장치를 통해 충분한 산소가 공급되었다고 가정한다.)

[모범 답안]

1. 처음의 500 ml의 저장용액에 존재하는 방사성 동위원소 표시 포도당은 5 mmol임
2. 24시간 보관후 남아있는 포도당은 2.5 mmol이므로 결국 2.5 mmol의 포도당이 ATP 합성에 사용됨
3. 이 가운데 0.5 mmol 포도당은 피루브산 1 mmol을 만드는데 사용되었으며 1 mmol NADH과 1 mmol ATP를 만들
4. 이 가운데 0.5 mmol 포도당은 시트르산 1 mmol을 만드는데 사용되었으며 2 mmol NADH과 1 mmol ATP를 만들
5. 이 가운데 0.5 mmol 포도당은 젖산 1 mmol을 만드는데 사용되었으며 1 mmol ATP를 만들
6. 남은 1 mmol의 포도당은 완전히 대사되어 10 mmol NADH와 2 mmol FADH₂, 그리고 4 mmol ATP를 만들
7. 그러므로 총 생산 에너지는 13 mmol NADH, 2 mmol FADH₂, 그리고 7 mmol ATP이므로 총 ATP 생산량 또는 소모량은 $13 \times 3 + 2 \times 2 + 7 = 50$ mmol임 또는 소모량은 $13 \times 3 + 2 \times 2 + 7 = 50$ mmol임 또는 $50 \times 10^{-3} \times 6.023 \times 10^{23} = 3.0115 \times 10^{22}$ 개

	저장용액내 양 mmol	사용한 포도당 mmol	NADH	FADH ₂	ATP	총 ATP 계산	총ATP 양 mmol
피루브산	1	0.5	1	0	1	1*3+1	4
시트르산	1	0.5	2	0	1	2*3+1	7
젖산	1	0.5	0	0	1	1	1
포도당	2.5	1	10	2	4	10*3+2*2+4	38
ATP 총량							50 mmol



[채점 기준]

	점수
계산 방식에 상관없이 50 mmol을 쓰거나, 3.0115×10^{22} 개를 쓰면	8
그 외에는	0
단위만 틀려도	0

(2) (5점) 방사선 동위 원소로 표시된 포도당을 이용하여 생산된 ATP에 소비된 총 산소량을 계산하시오.

[모범 답안]

1. 1개의 NADH 또는 FADH_2 는 $1/2$ 개의 산소분자 (O_2)를 환원하여 1개의 물(H_2O)을 만들
2. 위의 반응에서 13 mmol NADH와 2 mmol FADH_2 가 생성되므로 $15 \text{ mmol} \times 1/2 = 7.5 \text{ mmol}$ 의 산소분자 (O_2)가 사용됨 또는 $7.5 \times 10^{-3} \times 6.023 \times 10^{23} \text{ 개} = 4.6725 \times 10^{21} \text{ 개}$

[채점 기준]

	점수
계산 방식에 상관없이 7.5 mmol의 산소분자(O_2)를 쓰거나, 4.6725×10^{21} 개의 산소분자(O_2)를 쓰면	5
그 외에는	0
단위만 틀려도	0



[문제 2-2] (6점) 아래는 알파갈 생산 단백질 유전자의 DNA 염기 서열이다. (참고: 네모박스로 표시한 부분은 프로모터를 나타내며, 밑줄 친 A/T 염기쌍은 전사가 시작되는 부위이다.)

(1) (3점) 알파갈 유전자에서 전사되는 mRNA의 처음 10개의 리보뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 순서대로 쓰시오.

[모범 답안]

AGGGCUGCCG

[채점 기준]

	점수
정답만	3
U를 T로 표기	0
뉴클레오타이드 하나만 틀려도	0



(2) (3점) 만약 유전자 가위를 사용하여 연속된 두 개의 뉴클레오타이드를 제거할 수 있다면, 알파갈 생산 단백질의 생산을 중단시키기 위해 위쪽에 숫자로 표시된 뉴클레오타이드들 중 어느 부위를 삭제해야 하는지 지정하고 그 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

알파갈 생산 단백질 유전자는 밑줄 친 A/T 염기쌍에서 전사가 시작되어 mRNA가 만들어지고, mRNA의 리보뉴클레오타이드 순서 중 처음 나오는 AUG를 개시 코돈으로 알파갈 생산 단백질의 합성이 시작됩니다. 알파갈 생산 단백질 유전자의 3,4번 뉴클레오타이드를 제거하면, 전사되는 mRNA의 리보뉴클레오타이드의 순서가 AUGCCCUAA---의 순서로 바뀌는데, UAA는 종결 코돈이므로 mRNA에서 번역기구가 분리되고 단백질 합성이 중단되어, 알파갈 생산 단백질의 생산을 중단할 수 있게 됩니다.

[채점 기준]

	점수
3,4번 삭제시 종결 코돈 생성을 씀	3
3,4번 삭제만 쓰면	0
종결 코돈 생성만 쓰면	0



[문제 2-3] (10점) 의료진은 인간화 돼지 콩팥을 이식받은 환자를 관찰하던 중, 환자가 짠 음식을 먹었을 때 소변량은 그대로지만 심한 갈증과 입 마름 증상을 호소하는 것을 발견했다. 의료진은 이런 증상이 이식된 돼지 콩팥 때문이라고 판단하였다.

(1) (5점) 환자가 보이는 증상의 원인을 추론하시오.

[모범 답안]

사람은 음식과 물을 통해 체내 수분을 섭취하고, 소변과 땀을 통해 배출함으로써 체액의 삼투압을 일정하게 유지합니다. 체액 농도가 변화하면 세포가 수축하거나 팽창하여 구조와 기능에 이상이 생길 수 있기 때문에, 체내에서 물과 무기 염류의 섭취와 배출을 조절합니다. 염분 섭취로 인해 체액 삼투압이 높아지면 시상하부가 자극을 받아 뇌하수체 후엽에서 항이뇨 호르몬(ADH)이 분비되고, 이를 통해 콩팥에서 물의 재흡수가 증가하여 소변량이 줄어들고 삼투압이 정상으로 돌아옵니다. 그러나 항이뇨 호르몬은 뇌하수체에서 생성된 사람의 호르몬이므로 돼지 항이뇨 호르몬과 구조가 달라, 돼지 콩팥에 존재하는 항이뇨 호르몬 수용체에 작용하지 않을 수 있습니다. 사람의 항이뇨 호르몬이 돼지 콩팥에 작용하지 않는다면, 콩팥에서 물의 재흡수가 일어나지 않아 혈액 삼투압이 증가하고 심한 갈증과 입마름 증상이 나타날 수 있습니다.

[채점 기준]

	점수
뇌하수체 후엽에서 항이뇨 호르몬(ADH)이 분비되고, 이를 통해 콩팥에서 물의 재흡수가 증가하여 체액 삼투압을 정상으로 돌림	2
사람의 항이뇨 호르몬이 돼지 항이뇨 호르몬과 구조가 달라, 돼지 콩팥에 존재하는 항이뇨 호르몬 수용체에 작용하지 않을 수 있음	3



(2) (5점) 이 환자에게 고혈압 증상이 나타나자, 의료진은 혈압 강하제로 베타차단제를 투여하여 혈압을 낮추었다. 이후 환자가 짠 음식을 섭취할 때 심한 갈증과 입 마름 증상이 더욱 악화되었다. 이러한 증상 악화의 원인을 추론하시오. (참고: 베타차단제는 노르에피네프린의 작용을 억제하는 약물이다.)

[모범 답안]

노르에피네프린은 교감신경계의 신경전달 물질로, 교감신경계에 속하는 신경절 이후 뉴런에서 분비됩니다. 베타차단제는 노르에피네프린의 작용을 억제하는 약물이기 때문에, 교감신경계의 활성이 억제됩니다. 교감신경계는 심장 박동수를 증가시키는 역할을 하므로, 베타차단제 투여 시 심장 박동수가 감소하고 혈압이 낮아집니다. 그러나 이로 인해 콩팥으로 가는 혈류량이 줄어들게 되며, 혈류량 감소는 콩팥에서 물 재흡수를 감소시켜 체액의 삼투압을 높일 수 있습니다. 이로 인해 갈증과 입마름 증상이 악화될 수 있습니다.

[채점 기준]

	점수
베타차단제 투여 시 심장 박동수가 감소하고 혈압이 낮아짐	2
이로 인해 콩팥으로 가는 혈류량이 줄어들게 되며, 혈류량 감소는 콩팥에서 물 재흡수를 감소시켜 체액의 삼투압을 높일 수 있음	3



[문제 2-4] (5점) ‘이종 이식’이 에볼라, HIV, 코로나 바이러스 감염과 같은 새로운 감염병을 유발할 가능성이 높다고 과학자들이 생각하는 이유를 진화론의 관점에서 설명하시오.

[모범 답안]

에볼라, HIV, 코로나 바이러스 등은 동물에서 인간으로 전파된 바이러스가 유발하는 감염병으로 알려져 있습니다. 이와 마찬가지로, 돼지 장기를 이식할 경우 돼지 독감처럼 원래 인간에게 감염되지 않던 돼지 바이러스나 병원체가 **돌연변이**를 일으켜 인간에게도 감염될 수 있는 형태로 진화할 가능성이 있습니다. 돼지 장기가 인간의 체내에 항상 존재하면 돌연변이된 병원체가 인간세포와 접촉할 확률이 높아지고, 이로 인하여 돌연변이 중 인간세포에 감염될 수 있는 병원체가 **자연선택**될 가능성이 높아집니다. 인간세포에 감염되는 병원체 중 일부는 인간에게 질병을 일으킬 수 있는 형태로 발전할 가능성이 높습니다.

[채점 기준]

	점수
동물에서 인간으로 전파된 바이러스가 유발하는 감염병 언급	1
돌연변이 제시	2
자연선택 제시	2



[문제 2-5] (9점) 콩팥 이식과 같은 중대한 수술을 할 때는, 수술 전에 전신 마취제를 투여하여 환자가 고통을 느끼지 않도록 한다. 또한, 근육 이완제를 함께 사용하여 수술 중 신체의 움직임을 최소화하고 수술 부위를 명확하게 노출시켜 정확하고 안전한 수술을 진행한다.

(1) (3점) 전신 마취제가 Na^+ 통로를 차단하는 작용을 한다면, 환자가 고통을 느끼지 않는 이유와 그 작용기작을 설명하시오.

[모범 답안]

전신 마취제가 Na^+ 통로를 차단하면 환자가 고통을 느끼지 않는 이유는 흥분의 전달이 억제되기 때문입니다. Na^+ 통로는 신경 세포의 탈분극 과정을 통해 통증 자극을 전달하는 중요한 역할을 합니다. 마취제가 Na^+ 통로를 차단하게 되면, 신경 세포 내로 Na^+ 이온이 유입되지 못해 탈분극이 생성되지 않습니다. 이로 인해 통증 신호가 신경을 따라 전달되지 않고, 뇌까지 도달하지 않으므로 환자는 고통을 느끼지 않게 됩니다. 즉, 전신 마취제는 Na^+ 통로를 차단하여 통증 신호의 발생과 전달을 근본적으로 차단함으로써 수술 중 환자가 고통을 느끼지 않도록 합니다.

[채점 기준]

	점수
신경 세포 내로 Na^+ 이온이 유입되지 못해 탈분극이 생성되지 않는다 언급	2
신경 신호의 전달이 억제된다 언급	1



(2) (3점) 근육 이완제가 아세틸콜린의 작용을 차단한다면, 수술 중 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성 여부와 그 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

수술 중 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성은 크게 줄어듭니다. 무조건 반사는 자극이 신경을 통해 근육으로 전달되어 일어나는 반사적 반응인데, 이는 운동 신경 말단에서 방출된 아세틸콜린이 근육 세포에 존재하는 아세틸콜린 수용체에 결합하여 근수축을 유도함으로써 발생합니다. 근육 이완제가 아세틸콜린의 작용을 차단하면, 아세틸콜린이 근육 세포에 존재하는 아세틸콜린 수용체에 결합하지 못하게 되어 근수축이 억제됩니다. 따라서, 자극이 들어와도 신경 신호가 근육으로 전달되지 않기 때문에 무조건 반사가 일어나지 않거나 최소화됩니다. 이러한 이유로, 근육 이완제를 투여한 상태에서는 환자가 무조건 반사를 일으킬 가능성이 매우 낮아집니다.

[채점 기준]

	점수
아세틸콜린의 작용을 차단하면, 아세틸콜린이 근육 세포에 존재하는 아세틸콜린 수용체에 결합하지 못하게 된다 언급	2
무조건 반사를 일으킬 가능성이 매우 낮아짐 언급	1



(3) (3점) 의료진은 수술 중에 인공호흡기를 사용하여 환자의 호흡을 돕고, 혈액 내 산소 포화도를 주의 깊게 관찰한다. 이러한 조치를 취하는 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

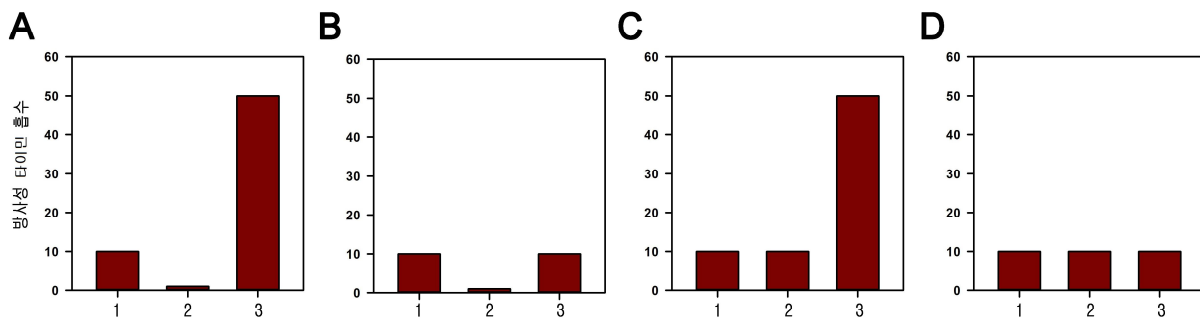
산소는 세포 호흡을 통해 ATP를 생산하는 데 필수적이며, 산소가 부족하면 세포는 생존에 필요한 충분한 ATP를 생성할 수 없어 생명 유지가 어렵게 됩니다. 수술 전 투여한 마취제는 신경 신호 전달을 차단하여, 산소 부족이라는 자극이 중추 신경계에 전달되지 않게 하고, 이에 따른 호흡 증가 반응도 억제합니다. 또한, 근육 이완제는 아세틸콜린의 작용을 차단하여 근육 수축을 저해하기 때문에, 호흡에 필요한 근육들의 움직임을 막아 산소 공급을 저해하게 됩니다.

[채점 기준]

	점수
산소가 부족하면 세포는 생존에 필요한 충분한 ATP를 생성할 수 없다 언급	1
마취제는 신경 신호 전달을 차단하여, 산소 부족이라는 자극이 중추 신경계에 전달되지 않는다 언급	1
근육 이완제는 아세틸콜린의 작용을 차단하여 근육 수축을 저해한다 언급	1

[문제 2-6] (7점) 돼지의 장기를 인체에 이식할 때 일어날 수 있는 거부 반응을 미리 알아내고자 돼지의 혈액과 환자의 혈액을 이용하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

(1) (5점) 환자의 혈액 단핵 세포(림프구, 대식세포)와 방사선을 쬔 돼지의 혈액 단핵 세포를 섞어 배양하거나 혼자 배양하면서 방사성 동위 원소로 표시된 타이민(thymine)을 염기로 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드가 세포 안으로 얼마나 흡수되는지 측정하여 세포의 증식 정도를 평가하였다. A, B, C, D 중에서 예상되는 결과를 고르고 그렇게 생각한 까닭을 설명하시오. (단, 방사선에 노출된 세포들은 모두 죽는다고 가정한다.)



1. 환자 혈액 단핵세포 단독 배양
2. 방사선 조사한 돼지 혈액 단핵세포 단독 배양
3. 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사한 돼지 혈액 단핵세포의 혼합배양

[모범 답안]

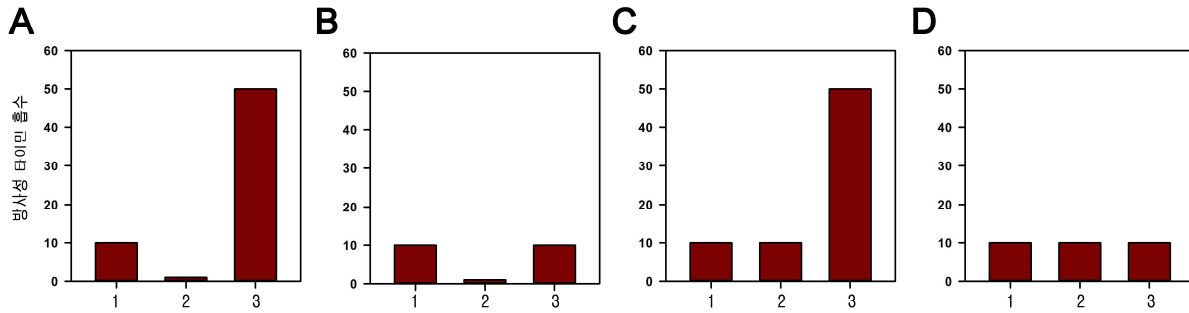
정답은 A임

1. 환자 혈액 단핵세포를 단독으로 배양한 경우: 환자의 혈액 단핵 세포는 생존해 있으나 항원 자극은 없으므로 적은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함
2. 방사선 조사 돼지 혈액 단핵세포는 죽은 세포이므로 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수하지 않음
3. 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사 돼지 혈액 단핵세포를 혼합 배양한 경우: 죽은 돼지 혈액세포를 식작용으로 삼아 환자의 대식세포가 돼지 혈액 세포의 항원을 환자의 T 림프구에 전달하여 환자의 T 림프구의 활성화하여 증식을 유도하므로 상대적으로 많은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함

[채점 기준]

	점수
정답 A 맞춤	2
죽은 돼지 혈액세포를 식작용으로 삼아 환자의 대식세포가 돼지 혈액 세포의 항원을 환자의 T 림프구에 전달하여 환자의 T 림프구의 활성화하여 증식을 유도한다 언급	3

(2) (2점) 사람의 CD47 분자를 가지고 있는 돼지의 혈액 단핵 세포를 방사선에 노출시킨 후, 환자의 혈액 단핵 세포와 섞어서 배양하거나 각각 따로 배양하면서 방사성 동위 원소로 표시된 타이민(thymine)을 염기로 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드가 세포 안으로 얼마나 흡수되는지 측정하여 세포의 증식 정도를 평가하였다. A, B, C, D 중에서 예상되는 결과를 고르고 그렇게 생각한 까닭을 설명하시오. (단, 방사선에 노출된 세포들은 모두 죽는다고 가정한다.)



- 환자 혈액 단핵세포 단독 배양
- 방사선 조사한 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포 단독 배양
- 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사한 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포의 혼합배양

[모범 답안]

정답은 B임

- 환자 혈액 단핵세포를 단독으로 배양한 경우: 환자의 혈액 단핵 세포는 생존해 있으나 항원 자극은 없으므로 적은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함
- 방사선 조사 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포는 죽은 세포이므로 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수하지 않음
- 환자 혈액 단핵세포와 방사선 조사 CD47 발현 돼지 혈액 단핵세포를 혼합 배양한 경우: 죽은 돼지 혈액세포는 환자의 대식세포에 의해 식작용으로 함입될 수 없으므로 대식세포의 항원 전달에 의한 T 세포의 활성화는 이룰 수 없음. 그러므로 혼합배양에서는 활성화되지 환자 혈액 단핵세포만이 적은 양의 방사성 티아민 디옥시리보뉴클레오타이드를 흡수함

[채점 기준]

	점수
정답 B 맞춤	2