

2026학년도 논술고사

자연계열(의학과)



성명	
전형	
수험번호	

표지를 제외한 페이지 수 : 8

[문항 1] 【제시문】을 읽고 물음에 답하시오.

【 제시문 】

(가) [그림 1]과 같이 곡선 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$ 로 이루어진 곡선을 C 라 하자.

$$C_1 : y = -x + 3 \quad (0 \leq x \leq 2)$$

$$C_2 : y = \frac{x^2}{4} - \frac{1}{2} \ln \frac{x}{2} \quad (2 \leq x \leq 4)$$

$$C_3 : y = \frac{16 - \ln 2}{4}(x - 2) - 4 \quad (2 \leq x \leq 4)$$

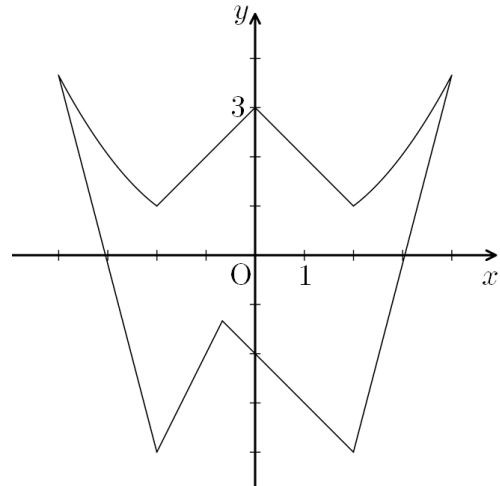
$$C_4 : y = -x - 2 \quad \left(-\frac{2}{3} \leq x \leq 2\right)$$

$$C_5 : y = 2x \quad \left(-2 \leq x \leq -\frac{2}{3}\right)$$

$$C_6 : y = \frac{\ln 2 - 16}{4}(x + 2) - 4 \quad (-4 \leq x \leq -2)$$

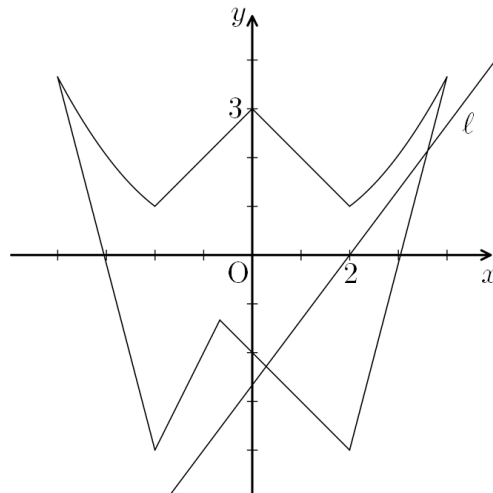
$$C_7 : y = \frac{x^2}{4} - \frac{1}{2} \ln \left(-\frac{x}{2}\right) \quad (-4 \leq x \leq -2)$$

$$C_8 : y = x + 3 \quad (-2 \leq x \leq 0)$$



[그림 1]

(나) 양의 실수 t 에 대하여 기울기가 $\frac{4}{3}$ 이고 x 절편이 t 인 직선을 ℓ 이라 하자. [그림 2]는 $t = 2$ 일 때를 나타내며, 이때 직선 ℓ 은 (가)의 곡선 C 와 두 점에서 만난다.



[그림 2]



[문제 1-1] (26점) 제시문 (가)에 대한 다음 물음에 답하시오.

- (1) (8점) 곡선 C 의 길이를 구하시오.
- (2) (8점) 곡선 C 로 둘러싸인 도형의 넓이를 구하시오.
- (3) (10점) 직선 $y = -10(x - k)$ 가 곡선 C 로 둘러싸인 도형의 넓이를 이등분 할 때, 상수 k 의 값을 구하시오.

[문제 1-2] (10점) 실수 $a (-1 \leq a \leq 1)$ 에 대하여 직선 $y = ax$ 가 제시문 (가)의 곡선 C 와 만나는 점의 개수를 $g(a)$ 라 하자. 다음 <조건>을 만족시키는 가장 낮은 차수의 다항함수 $p(a)$ 에 대하여 $p(0)$ 의 값을 구하시오.

<조건>

- ① $h(a) = p(a)g(a)$ 로 정의된 함수 $h(a)$ 가 $-1 \leq a \leq 1$ 에서 연속이다.
- ② $p(a)$ 는 일차 이상의 다항함수이다.
- ③ $p(a)$ 의 최고차항의 계수는 1이다.

[문제 1-3] (14점) 제시문 (나)의 직선 l 이 제시문 (가)의 곡선 C 와 만나는 점의 개수를 $f(t)$ 라 할 때, 함수 $f(t)$ 가 불연속인 양의 실수 t 의 값을 모두 구하시오.

※ 대소 비교에 다음 표를 활용하여도 무방함.

x	2	3	5	7
$\ln x$	0.693	1.099	1.609	1.946

[문항 2] (50점) 다음 제시문을 읽고 문제에 답하시오.

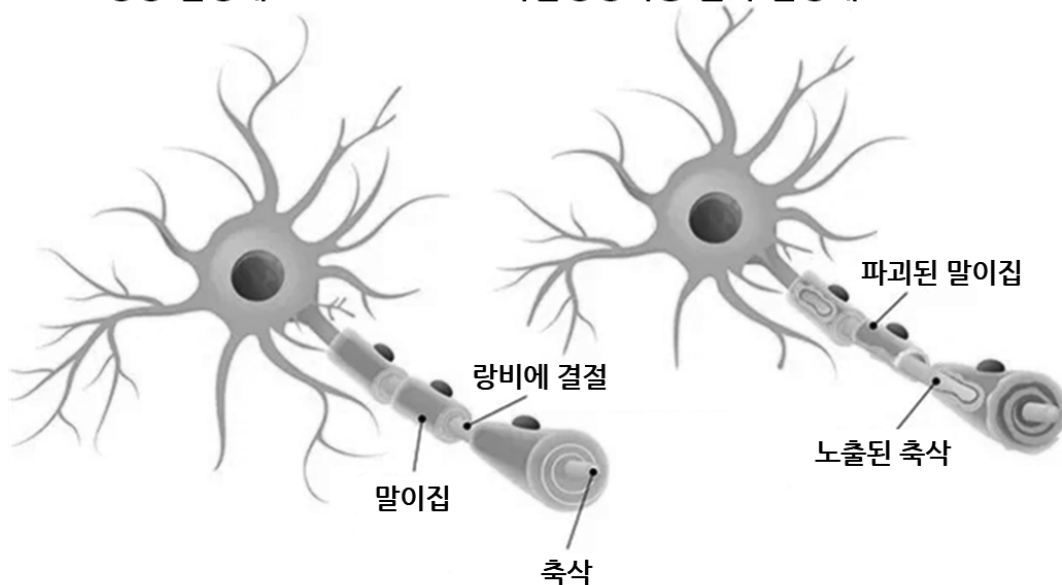
다발성경화증(Multiple Sclerosis, MS)은 전 세계적으로 약 2백만 명 이상이 앓고 있는 대표적인 만성 면역 매개성 중추신경계 질환이다. 이 질환은 신경 세포의 축삭(axon)을 둘러싸고 있는 말이집(myelin)이 면역 반응에 의해 파괴되면서 발생한다(그림 참조). 말이집의 손상 정도에 따라 임상 증상은 매우 다양하게 나타나며, ‘흐려 보임(blurred vision)’, ‘피로감’, ‘균형감각 상실’과 같은 경미한 증상에서부터 ‘인지 기능 저하’나 ‘자율 신경계 기능 상실’ 등 심각한 신경학적 장애에 이르기까지 광범위하다.

MS의 정확한 발병 원인은 아직 완전히 규명되지 않았으나, 현재까지의 연구들은 복합적인 유전적 요인과 환경적 요인의 상호작용이 주요한 병인으로 작용한다고 제시하고 있다. 그중에서도 엡스타인-바 바이러스(Epstein-Barr Virus, EBV) 감염은 가장 중요한 환경적 위험 요인으로 주목받고 있다. 실제로 거의 모든 MS 환자는 발병 이전에 EBV 감염의 병력을 가지고 있는 것으로 보고된다.

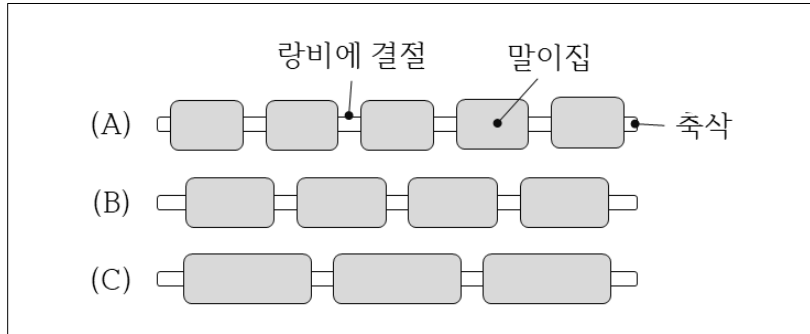
EBV는 인체에 흔히 감염되는 바이러스 중 하나로, 대부분의 건강한 사람에게는 특별한 증상을 일으키지 않는다. 그러나 일부 개인에서는 EBV 감염이 면역계의 비정상적인 반응을 유발하여 MS 발병에 기여하는 것으로 추정된다. 구체적으로, EBV에 감염된 사람은 EBV의 항원인 EBNA1 단백질에 결합하는 항체를 생산하는 B 림프구(EBNA1-specific B cell, ESB)를 생성한다. 문제는 EBNA1 단백질이 말이집 구성 단백질인 글리알캄 단백질과 구조적으로 유사하다는 점이다. 특정한 상황에서 ESB가 중추신경계로 침투한 후 항체를 생산하면, 이 항체가 글리알캄 단백질에도 교차반응(cross-reaction)을 일으켜 면역성 공격을 유도하게 된다. 결국 이러한 면역 교차반응이 말이집의 파괴를 초래하며, 이는 MS의 병리학적 핵심 과정으로 작용한다.

정상 신경세포

다발성경화증 환자 신경세포



[문제 2-1] (15점) 아래는 원숭이, 나무늘보, 치타의 운동 신경 세포의 축삭 부분 구조이다. (단, 랭비에 결절의 길이, 축삭의 길이와 두께는 모두 같다고 가정한다. 말이집에 덮여 있는 축삭 부분에도 이온 통로들과 이온 펌프는 존재한다고 가정한다.)



(1) (3점) 원숭이, 나무늘보, 치타의 신경 세포 구조를 찾아 순서대로 나열하고, 각 동물의 운동 신경 세포가 서로 다른 축삭 부분 구조를 가지는 이유를 추론하시오.

(2) (3점) 말이집으로 덮여 있는 축삭 부분에서는 세포막을 통한 이온의 유입과 유출이 거의 일어나지 않는다. 그렇다면 말이집이 있음에도 불구하고 랭비에 결절 사이에서 도약 전도가 일어나는 원리를 설명하시오.

(3) (3점) 우리가 사물을 볼 수 있는 것은 눈에 들어온 빛이 망막에 존재하는 수많은 시각 세포에서 감지되기 때문이다. 시각 세포는 빛 자극을 전기적 신호로 변환하여 연결된 수많은 시각 신경 세포를 통해 뇌로 전달하며, 뇌는 이 신호를 해석하여 우리가 인식하는 이미지로 재구성한다. 아래는 정상인과 다발성경화증 환자가 인식하는 자동차의 이미지를 비교한 것이다. 다발성경화증 환자가 ‘흐려 보임’ 증상을 보이는 이유를 추론하시오.





(4) (3점) ‘피로감’은 일반적으로 우리 몸의 에너지가 부족할 때 느끼는 생리적 반응이다. 그러나 다발성경화증 환자는 특별한 활동을 하지 않고 안정 상태에 있을 때에도 정상인보다 쉽게 피로감을 느낀다. 다발성경화증 환자가 쉽게 피로감을 느끼는 이유를 분자 수준에서 추론하시오. (안정 상태에서 뇌는 우리 몸 전체 에너지 소비량의 약 20%를 사용한다.)

(5) (3점) 등산을 즐기는 A씨는 최근 병원에서 다발성경화증 진단을 받았다. 담당 의사는 A씨에게 고지대에서는 다발성경화증의 증상이 악화될 수 있다며 높은 산을 오르는 것을 피하라고 조언하였다. 이에 A씨는 “걸어서가 아니라 케이블카를 타고 올라가면 괜찮지 않겠느냐”고 물었지만, 의사는 케이블카를 타고 올라가는 것도 위험할 수 있다고 경고하였다. 의사가 경고한 이유를 추론하시오.

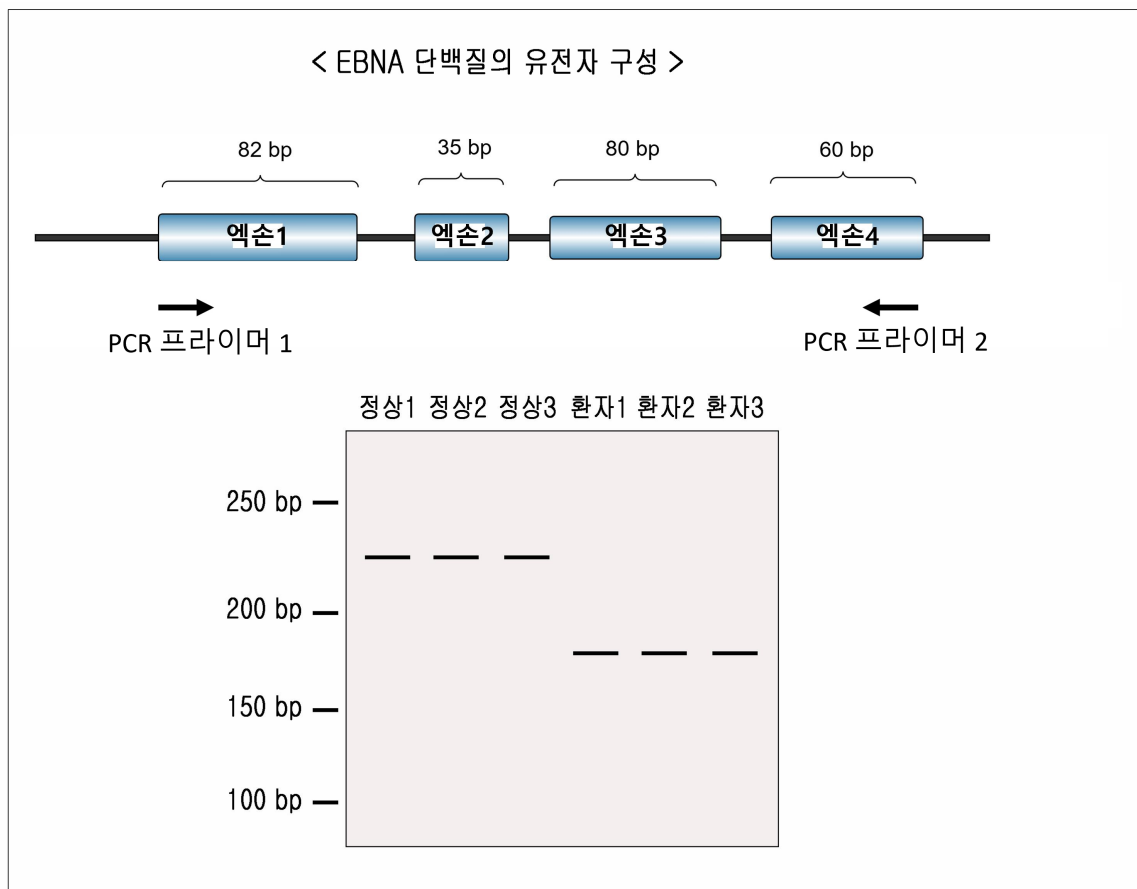
[문제 2-2] (5점) 스웨덴의 연구진은 다발성경화증으로 진단받은 환자들의 병력을 조사한 결과, 과거 머리에 심한 물리적 충격을 경험한 환자가 많다는 사실을 발견하였다. 연구진은 또한 머리에 염증을 일으킬 정도의 큰 외상을 입은 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 다발성경화증이 발생할 위험이 30% 정도 높다고 보고하였다. 머리에 발생한 염증이 다발성경화증의 발생 가능성을 높이는 이유를 세포 수준에서 추론하시오.

[문제 2-3] (10점) 말초 신경계는 체성 신경계와 자율 신경계로 구분된다. 자율 신경계는 다시 교감 신경과 부교감 신경으로 나뉜다. 자율 신경계의 신경 경로는 신경절 이전 신경 세포와 신경절 이후 신경 세포로 구성되어 있다. 말초 신경계를 이루고 있는 신경 세포들은 아래와 같다.

- 체성 신경계 신경 세포
- 교감 신경 신경절 이전 신경 세포 ● 교감 신경 신경절 이후 신경 세포
- 부교감 신경 신경절 이전 신경 세포 ● 부교감 신경 신경절 이후 신경 세포

- (1) (4점) 극히 예외적인 경우를 제외하고, 대부분 말이집이 없는 신경 세포를 모두 고르시오.
- (2) (6점) 대부분의 경우, 부교감 신경의 흥분 전도 속도는 교감 신경보다 빠르다. 그 이유를 신경 세포 구조와 관련하여 설명하시오. (단, 뇌에서 각 장기에 도달하는 부교감 신경과 교감 신경의 전체 길이는 같다고 가정한다.)

[문제 2-4] (10점) EBV는 사람에서 급성 감염을 일으킨 후, 세포 안에서 증식하지 않고 장기간 존재하면서 EBNA1 단백질을 지속적으로 발현한다. 따라서 이러한 EBV에 의한 EBNA1의 지속적인 발현은 항체 반응을 계속 자극하여 다발성경화증 발병에 기여할 수 있는 요인으로 생각된다. 이를 확인하기 위해, 과거 EBV 감염력이 있는 다발성경화증 환자 3명과 과거 EBV 감염력이 있는 건강한 대조군 3명의 말초혈액에서 분리한 EBNA1 mRNA를 DNA로 합성한 후 PCR로 증폭하였다. 아래는 EBNA1 유전자의 엑손 구조, PCR 프라이머 위치, 그리고 각 실험군 검체에서 얻은 PCR 산물의 전기영동 결과이다. (단, EBNA1 엑손1, 2, 3, 4 중 일부는 전사 후 가공 과정에서 제거될 수 있다고 가정한다.)



(1) (2점) 환자군과 대조군간의 EBNA1 PCR 산물의 크기가 다른 가능한 이유를 설명하시오.



2026학년도 자연계열(의학과) 논술고사

자연계열
(의학과)

(2) (6점) 아래에 제시된 EBNA1 유전자의 엑손1, 2, 3, 4가 전사하는 mRNA 염기 서열과 코돈 표를 이용하여 다발성경화증 발병에 관여하는 항원 펩타이드의 아미노산 서열을 추론하시오.

엑손 1 mRNA
 1 GAGCUGAUUA AGGAGAACAU GGUGUCUAAG GGC AAAAUGC ACAUGAAGCU GUACAUGGAG
 61 GGCACCGUGG ACAACCAUCA CU

엑손 2 mRNA
 1 UCAAGUGCAC AUCCGAGGGC GAAGGCAAGC CCUAC

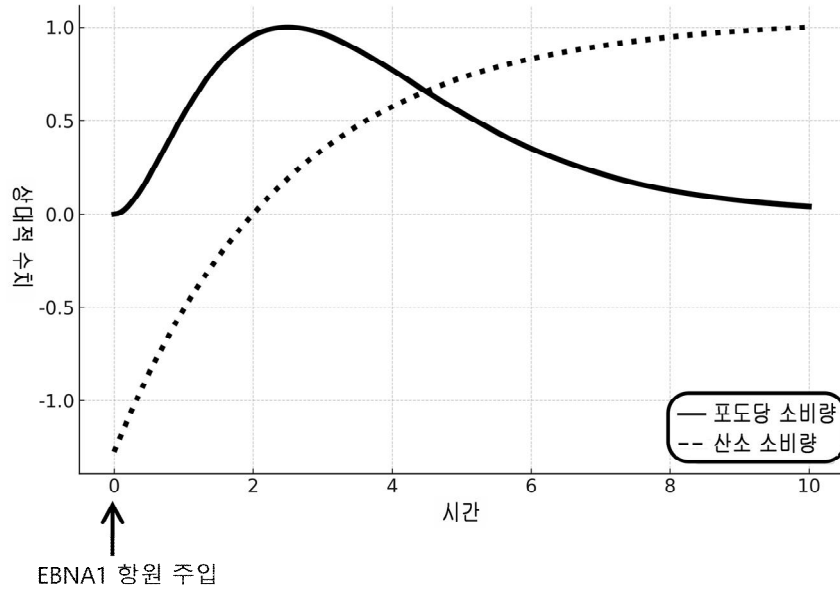
엑손 3 mRNA
 1 CAGGGCACCC AGACCAUGAG AAUCAAGGUG GUCGAGGGCG GCCCUCUCCC CUUCGCCUUC
 61 GACAUC CUGG CUACUAGCUU

엑손 4 mRNA
 1 CAACCACACC CAGGGCAUCC CCGACUUCUU CAAUAACCUC UACGGCAGCA AGACCUUCAU

UUU	페닐알라닌	UCU	세린	UAU	타이로신	UGU	시스테인
UUC		UCC		UAC		UGC	
UUA	류신	UCA	프롤린	UAA	종결 코돈	UGA	종결 코돈
UUG		UCG		UAG	종결 코돈	UGG	트립토판
CUU	류신	CCU	프롤린	CAU	히스티딘	CGU	아르지닌
CUC		CCC		CAC		CGC	
CUA		CCA		CAA	글루타민	CGA	
CUG		CCG		CAG		CGG	
AUU	아이소류신	ACU	트레오닌	AAU	아스파라진	AGU	세린
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA		ACA		AAA	라이신	AGA	아르지닌
AUG	ACG	AAG		AGG			
GUU	발린	GCU	알라닌	GAU	아스파르트산	GGU	글리신
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA	글루탐산	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

(3) (2점) 추론한 EBNA1 항원 펩타이드에 특이적인 항체가 다발성경화증 환자에게 존재하는지 확인하는 실험 방법을 설명하시오.

[문제 2-5] (10점) 아래는 EBV 감염 후 분화된 EBNA1 특이 기억 세포의 대사 변화를 조사한 결과이다. 그래프는 포도당 소비량과 산소 소비량의 상대적 변화를 나타낸 것이다.



- (1) (5점) 그래프에서 보이는 초기 포도당 소비량 증가와 산소 소비량 변화 양상을 바탕으로, 이 시기 EBNA1 특이 기억 세포가 주로 이용하는 대사 경로와 그 이유를 설명하시오.

- (2) (5점) 시간이 지날수록 산소 소비량이 증가하는 현상이 EBNA1-글리알캠 교차반응 항체 생성과 다발성경화증 병리 진행에 어떤 영향을 줄 수 있는지 설명하시오.

2026학년도 논술고사

자연계열(의학과)
모범답안



표지를 제외한 페이지 수 : 19



[문제 1-1]

(1) 각 곡선(선분)의 길이를 구하면

$$(\text{곡선(선분)} C_1 \text{의 길이}) = (\text{곡선(선분)} C_8 \text{의 길이}) = 2\sqrt{2},$$

$$\begin{aligned} (\text{곡선 } C_2 \text{의 길이}) = (\text{곡선 } C_7 \text{의 길이}) &= \int_2^4 \sqrt{1 + \left(\frac{x}{2} - \frac{1}{2x}\right)^2} dx = \int_2^4 \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2x}\right) dx \\ &= \left[\frac{x^2}{4} + \frac{1}{2}\ln x\right]_2^4 = \frac{1}{2}\ln 2 + 3, \end{aligned}$$

$$(\text{곡선(선분)} C_3 \text{의 길이}) = (\text{곡선(선분)} C_6 \text{의 길이}) = \frac{1}{2}\sqrt{16 + (16 - \ln 2)^2},$$

$$(\text{곡선(선분)} C_4 \text{의 길이}) = \frac{8}{3}\sqrt{2},$$

$$(\text{곡선(선분)} C_5 \text{의 길이}) = \frac{4}{3}\sqrt{5}$$

이다. 따라서 곡선 C 의 길이는 $6 + \frac{20}{3}\sqrt{2} + \frac{4}{3}\sqrt{5} + \sqrt{16 + (16 - \ln 2)^2} + \ln 2$ 이다.

[채점 기준]

(1) 적분을 이용하여 C_2, C_7 의 길이를 올바르게 계산 [6점]

(2) 선분의 길이를 올바르게 계산 [2점]

(2) 곡선 C 로 둘러싸인 도형의 넓이는

$$\begin{aligned} (\text{넓이}) &= 2\left(\int_0^2 ((-x+3) - (-x-2))dx + \int_2^4 \left(\left(\frac{x^2}{4} - \frac{1}{2}\ln \frac{x}{2}\right) - \left(\frac{16-\ln 2}{4}(x-2) - 4\right)\right)dx\right) - \frac{4}{3} \\ &= 2\left(\int_0^2 5 dx + \int_2^4 \left(\frac{x^2}{4} - \frac{16-\ln 2}{4}x - \frac{1}{2}\ln \frac{x}{2} + 12 - \frac{\ln 2}{2}\right)dx\right) - \frac{4}{3} \\ &= 2\left(10 + \left[\frac{x^3}{12} - \frac{16-\ln 2}{8}x^2 - \frac{x}{2}\ln \frac{x}{2} + \frac{25}{2}x - \frac{\ln 2}{2}x\right]_2^4\right) - \frac{4}{3} \\ &= 2\left(10 - \frac{3}{2}\ln 2 + \frac{17}{3}\right) - \frac{4}{3} = 30 - 3\ln 2 \end{aligned}$$

이다.

[채점 기준]

(1) 넓이를 정적분으로 나타냄 [4점]

(2) 정적분을 올바르게 계산 [4점]

(3) [문제 1-1]의 (2)로부터 곡선 C 로 둘러싸인 도형의 y 축의 왼쪽 부분의 넓이는 오른쪽 부분의 넓이보다 $\frac{4}{3}$ 만큼 작음을 알 수 있다. 한편 기울기가 -10 이고 원점을 지나는 직선과 기울기가 -10 이고 점

$(0,3)$ 을 지나는 직선에 의하여 잘리는 삼각형들의 넓이를 고려하면, $0 < k < \frac{3}{10}$ 임을 알 수 있다.

직선 $y = -10(x-k)$ 가 직선 C_8 과 C_4 와 만나는 점의 x 좌표는 각각 $\frac{10k-3}{11}, \frac{10k+2}{9}$ 이다. 직선 $y = -10(x-k)$ 가 도형을 같은 넓이로 나누므로



$$\frac{1}{2} \times (10k+2) \times \frac{10k+2}{9} - \frac{1}{2} \times (3-10k) \times \frac{3-10k}{11} = \frac{2}{3}$$

이다. 이를 만족하는 k 는 $\frac{\sqrt{2739}}{20} - \frac{49}{20}$ 이다.

[채점 기준]

- (1) 넓이를 이등분하는 t 의 범위를 관찰 [3점]
- (2) 직선과 곡선의 교점을 올바르게 계산 [3점]
- (3) 넓이가 같음을 이용하여 정답을 올바르게 구함 [4점]

[문제 1-2]

원점과 점 $(4, 4 - \frac{1}{2} \ln 2)$ 를 지나는 직선의 기울기는 $a_1 = 1 - \frac{1}{8} \ln 2$ 이므로, 직선 $y = ax$ 와 곡선 C 와의 교점의 개수는 $a_1 < |a| \leq 1$ 일 때 2, $|a| = a_1$ 일 때 3, $\frac{1}{2} < |a| < a_1$ 일 때 4, $|a| = \frac{1}{2}$ 일 때 3, $|a| < \frac{1}{2}$ 일 때 2이다. 따라서 $g(a)$ 는 $a = -a_1, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, a_1$ 에서 불연속이다. $h(a) = g(a)p(a)$ 가 닫힌구간 $[-1, 1]$ 에서 연속함수이어야 하므로 다항함수 $p(a)$ 는 $(a^2 - \frac{1}{4})(a^2 - a_1^2)$ 을 인수로 갖는다. 따라서 <조건>을 만족하는 가장 낮은 차수의 다항함수는 $p(a) = (a^2 - \frac{1}{4})(a^2 - a_1^2)$ 이며, $p(0) = \frac{1}{4} (1 - \frac{1}{8} \ln 2)^2$ 이다.

[채점 기준]

- (1) 기울기에 따른 교점의 개수를 구함 [3점]
- (2) 불연속점을 관찰 [2점]
- (3) 다항함수 $p(a)$ 을 올바르게 제시하고 $p(0)$ 를 구함 [5점]

[문제 1-3]

양수 t 에 대해 직선 ℓ 이 $(-\frac{2}{3}, -\frac{4}{3}), (-2, -4), (2, 1), (4, 4 - \frac{1}{2} \ln 2), (2, -4)$ 를 지날 때와 C_2 에 접하는 경우, 즉 접점 $(3, \frac{9}{4} - \frac{1}{2} \ln \frac{3}{2})$ 을 지나는 경우만 고려하면 충분하다. 이에 해당하는 t 의 값들을 크기 순으로 나열하여 $t_1 = \frac{1}{3}, t_2 = 1, t_3 = \frac{5}{4}, t_4 = 1 + \frac{3}{8} \ln 2, t_5 = \frac{21 + 6 \ln \frac{3}{2}}{16}, t_6 = 5$ 라 하고, 양의 실수 t 에 대한 교점의 개수 $f(t)$ 를 살펴보면 다음 표와 같다.



t 의 범위	$f(t)$	비고
$0 < t < t_1$	2	
$t = t_1$	3	$(-\frac{2}{3}, -\frac{4}{3})$ 를 지날 때
$t_1 < t < t_2$	4	
$t = t_2$	3	$(-2, -4)$ 를 지날 때
$t_2 < t < t_3$	2	
$t = t_3$	2	$(2, 1)$ 을 지날 때 $\lim_{t \rightarrow t_3^-} f(t) = \lim_{t \rightarrow t_3^+} f(t) = f(t_3)$
$t_3 < t < t_4$	2	
$t = t_4$	3	$(4, 4 - \frac{1}{2}\ln 2)$ 를 지날 때
$t_4 < t < t_5$	4	
$t = t_5$	3	C_2 에 접할 때
$t_5 < t < t_6$	2	
$t = t_6$	1	$(2, -4)$ 를 지날 때
$t > t_6$	0	

따라서 불연속이 되는 t 의 값들은 $\frac{1}{3}, 1, 1 + \frac{3}{8}\ln 2, \frac{21 + 6\ln \frac{3}{2}}{16}, 5$ 이다.

[채점 기준]

- (1) 직선과 곡선이 접하는 경우를 관찰하고 접점을 구함 [4점]
- (2) t 값에 따른 교점의 개수를 구함 [6점]
- (3) 불연속점을 구함 [4점]

[문항 2] (50점) 다음 제시문을 읽고 문제에 답하시오.

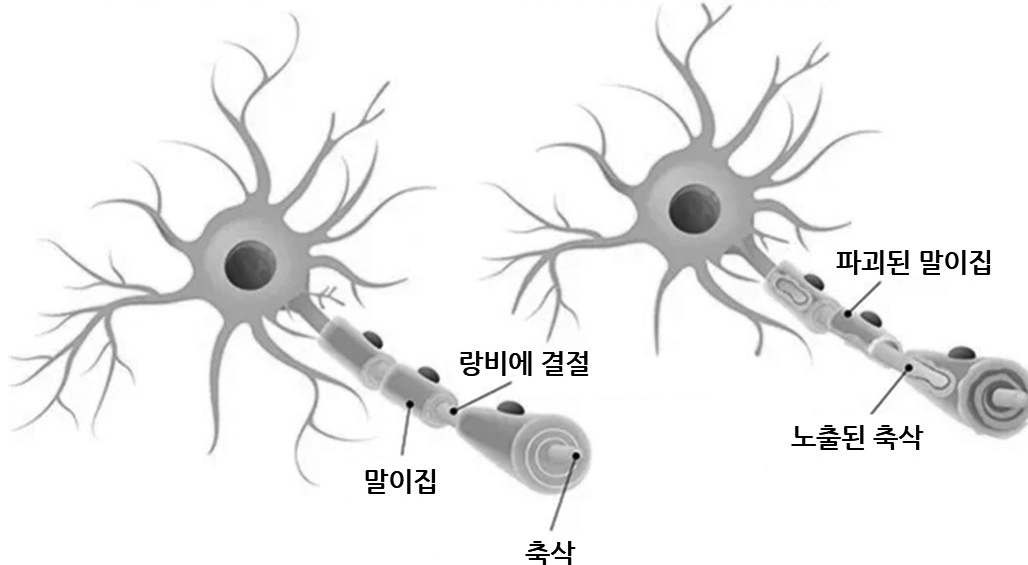
다발성경화증(Multiple Sclerosis, MS)은 전 세계적으로 약 2백만 명 이상이 앓고 있는 대표적인 만성 면역 매개성 중추신경계 질환이다. 이 질환은 신경 세포의 축삭(axon)을 둘러싸고 있는 말이집(myelin)이 면역 반응에 의해 파괴되면서 발생한다(그림 참조). 말이집의 손상 정도에 따라 임상 증상은 매우 다양하게 나타나며, ‘흐려 보임(blurred vision)’, ‘피로감’, ‘균형감각 상실’과 같은 경미한 증상에서부터 ‘인지 기능 저하’나 ‘자율 신경계 기능 상실’ 등 심각한 신경학적 장애에 이르기까지 광범위하다.

MS의 정확한 발병 원인은 아직 완전히 규명되지 않았으나, 현재까지의 연구들은 복합적인 유전적 요인과 환경적 요인의 상호작용이 주요한 병인으로 작용한다고 제시하고 있다. 그중에서도 엡스타인-바 바이러스(Epstein-Barr Virus, EBV) 감염은 가장 중요한 환경적 위험 요인으로 주목받고 있다. 실제로 거의 모든 MS 환자는 발병 이전에 EBV 감염의 병력을 가지고 있는 것으로 보고된다.

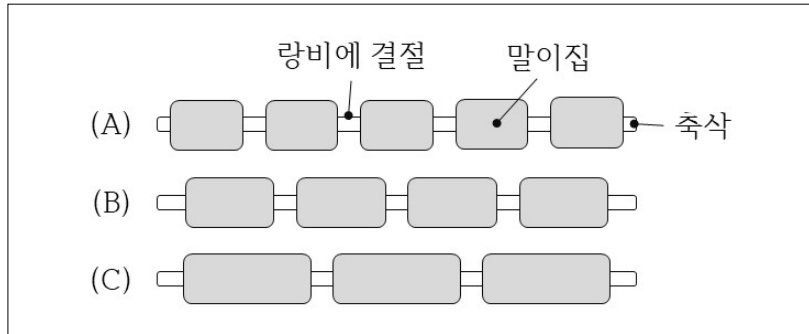
EBV는 인체에 흔히 감염되는 바이러스 중 하나로, 대부분의 건강한 사람에게는 특별한 증상을 일으키지 않는다. 그러나 일부 개인에서는 EBV 감염이 면역계의 비정상적인 반응을 유발하여 MS 발병에 기여하는 것으로 추정된다. 구체적으로, EBV에 감염된 사람은 EBV의 항원인 EBNA1 단백질에 결합하는 항체를 생산하는 B 림프구(EBNA1-specific B cell, ESB)를 생성한다. 문제는 EBNA1 단백질이 말이집 구성 단백질인 글리알캠 단백질과 구조적으로 유사하다는 점이다. 특정한 상황에서 ESB가 중추신경계로 침투한 후 항체를 생산하면, 이 항체가 글리알캠 단백질에도 교차반응(cross-reaction)을 일으켜 면역성 공격을 유도하게 된다. 결국 이러한 면역 교차반응이 말이집의 파괴를 초래하며, 이는 MS의 병리학적 핵심 과정으로 작용한다.

정상 신경세포

다발성경화증 환자 신경세포



[문제 2-1] (15점) 아래는 원숭이, 나무늘보, 치타의 운동 신경 세포의 축삭 부분 구조이다. (단, 람비에 결절의 길이, 축삭의 길이와 두께는 모두 같다고 가정한다. 말이집에 덮여 있는 축삭 부분에도 이온 통로들과 이온 펌프는 존재한다고 가정한다.)



(1) (3점) 원숭이, 나무늘보, 치타의 신경 세포 구조를 찾아 순서대로 나열하고, 각 동물의 운동 신경 세포가 서로 다른 축삭 부분 구조를 가지는 이유를 추론하시오.

[모범 답안]

원숭이(B)-나무늘보(A)-치타(C) 또는 [B-A-C].

신경 세포에서는 말이집이 길고 람비에 결절의 수가 적을수록, 활동 전위가 람비에 결절 사이를 더 멀리 도약하여 흥분 전도 속도가 빨라진다. 운동 속도가 매우 빠른 치타는 빠른 흥분 전도를 가능하게 하는 축삭 구조를 가지고 있으며, 운동 속도가 매우 느린 나무늘보는 흥분 전도가 느린 구조를 가진다. 운동 속도가 중간 수준인 원숭이는 중간 정도의 흥분 전도 속도를 보이는 신경 구조를 갖는다.

[채점 기준]

	점수
원숭이(B)-나무늘보(A)-치타(C), 또는 [B-A-C]	1
말이집이 길수록 흥분 전도 속도가 빨라진다.	1
람비에 결절의 수가 적을수록 흥분 전도 속도가 빨라진다.	1



(2) (3점) 말이집으로 덮여 있는 축삭 부분에서는 세포막을 통한 이온의 유입과 유출이 거의 일어나지 않는다. 그렇다면 말이집이 있음에도 불구하고 랭비에 결절 사이에서 도약 전도가 일어나는 원리를 설명하시오.

[모범 답안]

신경세포가 자극을 받으면 Na^+ 통로가 열리면서 세포 밖에 있던 Na^+ 이온이 세포 안으로 급격히 유입되어 막전위가 상승하고, 이때 활동 전위가 발생한다. 활동전위가 생성된 부위에서 세포 안으로 들어온 Na^+ 이온은 인접 부위로 확산되며, 그 결과 축삭을 따라 새로운 활동 전위가 연속적으로 생성되어 흥분이 축삭을 따라 전도된다. 말이집이 존재하는 신경에서는, 랭비에 결절에서 유입된 Na^+ 이 인접한 결절까지 빠르게 확산되어 그 결절을 탈분극시키고, 이곳에서 새로운 활동 전위가 발생한다. 이러한 방식으로 활동전위가 결절 사이를 도약하듯 이동하므로 도약 전도가 이루어진다.

[채점 기준]

	점수
세포 밖에 있던 Na^+ 이온이 세포 안으로 급격히 유입되어 막전위가 상승	1
세포 안으로 들어온 Na^+ 이온은 인접 부위로 확산되며 흥분 전도	1
랑비에 결절에서 유입된 Na^+ 이 인접한 결절까지 빠르게 확산되어 도약 전도	1

(3) (3점) 우리가 사물을 볼 수 있는 것은 눈에 들어온 빛이 망막에 존재하는 수많은 시각 세포에서 감지되기 때문이다. 시각 세포는 빛 자극을 전기적 신호로 변환하여 연결된 수많은 시각 신경 세포를 통해 뇌로 전달하며, 뇌는 이 신호를 해석하여 우리가 인식하는 이미지로 재구성한다. 아래는 정상인과 다발성경화증 환자가 인식하는 자동차의 이미지를 비교한 것이다. 다발성경화증 환자가 ‘흐려 보임’ 증상을 보이는 이유를 추론하시오.



[모범 답안]

뇌가 선명한 이미지를 형성하기 위해서는, 망막의 수많은 시각세포가 보낸 신호가 수많은 시각 신경 세포를 거쳐 거의 동시에 뇌에 도달해야 한다. 그러나 다발성경화증 환자에서는 일부 시각 신경세포의 말이집이 손상되어 신호 전달 속도가 늦어진다. 이로 인해 신호가 제때 도달하지 못하고, 이미지 형성 과정에서 중요한 시각 정보가 사용되지 못하게 되어 흐려 보이는 ‘흐려 보임’ 증상이 나타난다.

[채점 기준]

	점수
뇌가 선명한 이미지를 형성하기 위해서는, 망막의 수많은 시각세포가 보낸 신호가 수많은 시각 신경 세포를 거쳐 거의 동시에 뇌에 도달해야 한다.	1
<ul style="list-style-type: none"> • 다발성경화증 환자에서는 일부 시각 신경 세포의 말이집이 손상되어 신호 전달 속도가 늦어진다. • 일부 시각 신경 세포, 신호 전달 속도가 늦어짐. 둘 다 언급하지 않으면 0점 처리 	2



(4) (3점) ‘피로감’은 일반적으로 우리 몸의 에너지가 부족할 때 느끼는 생리적 반응이다. 그러나 다발성경화증 환자는 특별한 활동을 하지 않고 안정 상태에 있을 때에도 정상인보다 쉽게 피로감을 느낀다. 다발성경화증 환자가 쉽게 피로감을 느끼는 이유를 분자 수준에서 추론하시오. (안정 상태에서 뇌는 우리 몸 전체 에너지 소비량의 약 20%를 사용한다.)

[모범 답안]

뇌에서 소비되는 에너지의 대부분은 흥분 전도 과정에서 사용된다. 신경 세포가 자극을 받으면 Na^+ 통로가 열리면서 세포 밖에 있던 Na^+ 이 세포 안으로 급격히 유입되어 막전위가 증가하고, 이때 활동 전위가 발생한다. 이어 K^+ 통로가 열려 세포 안의 K^+ 이 세포 밖으로 이동함으로써 막전위가 다시 감소하여 휴지 전위로 되돌아간다. 이후 Na^+-K^+ 펌프가 ATP를 소모하면서 Na^+ 을 세포 밖으로, K^+ 을 세포 안으로 능동적으로 재배치하여, 이온의 분포를 원래의 휴지 전위 상태로 회복시킨다. 또한 활동 전위가 생성된 부위에서 세포 안으로 유입된 Na^+ 은 인접 부위로 확산하며, 이로 인해 축삭을 따라 새로운 활동 전위가 연속적으로 생성되어 흥분이 축삭을 따라 전도된다. 이와 같이 흥분 전도가 이루어지기 위해서는, Na^+-K^+ 펌프가 위치한 곳에서 ATP가 지속적으로 소비되어야 한다.

말이집이 있는 신경에서는 말이집이 절연체 역할을 하기 때문에, 활동전위는 말이집에 덮여 있지 않은 랑비에 결절에서만 발생한다. 이때 Na^+-K^+ 펌프 역시 랑비에 결절에만 위치하여, ATP 소모도 랑비에 결절에서만 이루어진다. 그러나 다발성경화증 환자에서는 말이집이 파괴되어 축삭이 노출된다. 흥분 전도를 유지하기 위해서는 이 노출된 부위들에도 이온 통로들과 Na^+-K^+ 펌프가 활성화 되어야 하며, 그 결과 정상 신경보다 훨씬 넓은 영역에서 ATP가 추가로 소비된다. 즉, 다발성경화증 환자는 흥분 전도에 필요한 에너지 소모가 증가하므로 정상인보다 쉽게 피로감을 느끼게 된다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> • 활동 전위 발생시 세포 내부로 Na^+ 유입, 세포 외부로 K^+ 유출, Na^+-K^+ 펌프가 ATP를 소비하며 이온의 분포를 원래의 휴지 전위 상태로 회복 • Na^+ 유입, K^+ 유출, Na^+-K^+ 펌프가 ATP를 소비 모두 언급하지 않으면 0점 	1
<p>다발성경화증 환자에서는 말이집이 파괴되어 축삭이 노출된다. 흥분 전도를 유지하기 위해서는 이 노출된 부위들에도 이온 통로들과 Na^+-K^+ 펌프가 활성화 되어야 하며, 그 결과 정상 신경보다 훨씬 넓은 영역에서 ATP가 추가로 소비되어 정상인보다 피로감을 느낀다.</p>	2



(5) (3점) 등산을 즐기는 A씨는 최근 병원에서 다발성경화증 진단을 받았다. 담당 의사는 A씨에게 고지대에서는 다발성경화증의 증상이 악화될 수 있다며 높은 산을 오르는 것을 피하라고 조언하였다. 이에 A씨는 “걸어서가 아니라 케이블카를 타고 올라가면 괜찮지 않겠느냐”고 물었지만, 의사는 케이블카를 타고 올라가는 것도 위험할 수 있다고 경고하였다. 의사가 경고한 이유를 추론하시오.

[모범 답안]

우리 몸에서 생산되는 ATP의 대부분은 산화적 인산화에서 만들어지므로, 충분한 양의 ATP를 합성하기 위해서는 산소 공급이 필수적이다. 다발성경화증 환자의 신경 세포에서는 말미집이 파괴되어 축삭이 노출된다. 흥분 전도를 유지하기 위해서는 이 노출된 부위에서도 이온 통로들과 $Na^+ - K^+$ 펌프가 활성화되어야 하며, 이로 인해 정상 신경보다 훨씬 넓은 영역에서 추가적인 ATP 소비가 발생한다. 즉, MS 환자의 신경세포는 정상인보다 더 많은 ATP를 필요로 한다. 우리 몸에서 ATP를 생산하기 위해서는 산소가 필수적이다. 그런데, 고지대에서는 공기 중 산소의 농도가 감소하여 우리 몸에서의 ATP 생산이 감소할 수 있다. 따라서 ATP 요구량이 더 많은 다발성경화증 환자는 산소 농도가 낮은 환경에서 충분한 ATP를 확보하기 어려워지고, 그 결과 신경 기능이 악화되며 증상도 심해질 수 있다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> • 다발성경화증 환자는 노출된 부위에서 ATP 소비가 발생하여 환자의 신경세포는 정상인보다 더 많은 ATP를 필요로 한다. • ATP 생산에 산소가 필수적이다. • 노출부위 ATP 소비, ATP 생산에 산소 필요, 둘 다 언급하지 않으면 0점 	1
<p>고지대에서는 공기 중 산소의 농도가 감소하여 우리 몸에서의 ATP 생산이 감소하여 충분한 ATP를 확보하기 어려워지고, 그 결과 신경 기능이 악화되며 증상도 심해질 수 있다.</p>	2



[문제 2-2] (5점) 스웨덴의 연구진은 다발성경화증으로 진단받은 환자들의 병력을 조사한 결과, 과거 머리에 심한 물리적 충격을 경험한 환자가 많다는 사실을 발견하였다. 연구진은 또한 머리에 염증을 일으킬 정도의 큰 외상을 입은 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 다발성경화증이 발생할 위험이 30% 정도 높다고 보고하였다. 머리에 발생한 염증이 다발성경화증의 발생 가능성을 높이는 이유를 세포 수준에서 추론하시오.

[모범 답안]

염증이 발생하면 먼저 상처 부위의 비만세포와 대식세포가 화학 신호 물질을 분비한다. 이 신호에 의해 혈관이 확장되고 혈관벽의 투과성이 증가하여, 면역세포들이 혈관 밖으로 이동해 상처 부위에 모여든다. 도착한 백혈구는 식세포 작용을 통해 병원체나 손상된 세포 찌꺼기를 제거함으로써 염증 반응이 진행된다.

한편, EBNA1 단백질에 결합하는 항체를 생산하는 B 림프구(ESB)는 정상 상태에서는 뇌혈관을 통과할 수 없다. 그러나 뇌에 염증이 발생하면 혈관의 투과성이 증가하면서 ESB가 뇌 안으로 침투할 수 있게 된다. ESB가 중추신경계로 침투한 후 항체를 생산하면, 이 항체는 EBNA1 단백질 뿐 아니라 글리알캄과도 구조적 유사성 때문에 교차반응을 일으키게 된다. 이러한 교차반응은 면역세포가 글리알캄을 공격하도록 유도하며, 결국 말이집 파괴를 초래한다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> 염증이 발생하면 먼저 상처 부위의 비만세포와 대식세포가 화학 신호 물질을 분비한다. 비만세포, 대식세포, 화학 신호 물질을 분비 모두 언급하지 않으면 0점 	1
이 신호에 의해 혈관이 확장되고 혈관벽의 투과성이 증가하여 , 면역세포들이 혈관 밖으로 이동해 상처 부위에 모여든다.	1
ESB는 정상 상태에서는 뇌혈관을 통과할 수 없다. 그러나 뇌에 염증이 발생하면 혈관의 투과성이 증가하면서 ESB가 뇌 안으로 침투할 수 있게 된다.	2
ESB가 중추신경계로 침투한 후 항체를 생산하면, 면역세포가 글리알캄을 공격하도록 유도하며, 결국 말이집 파괴를 초래한다.	1



[문제 2-3] (10점) 말초 신경계는 체성 신경계와 자율 신경계로 구분된다. 자율 신경계는 다시 교감 신경과 부교감 신경으로 나뉜다. 자율 신경계의 신경 경로는 신경절 이전 신경 세포와 신경절 이후 신경 세포로 구성되어 있다. 말초 신경계를 이루고 있는 신경 세포들은 아래와 같다.

- 체성 신경계 신경 세포
- 교감 신경 신경절 이전 신경 세포 ● 교감 신경 신경절 이후 신경 세포
- 부교감 신경 신경절 이전 신경 세포 ● 부교감 신경 신경절 이후 신경 세포

(1) (4점) 극히 예외적인 경우를 제외하고, 대부분 말이집이 없는 신경 세포를 모두 고르시오.

[모범 답안]

교감 신경 신경절 이후 신경 세포, 부교감 신경 신경절 이후 신경 세포

[채점 기준]

	점수
교감 신경 신경절 이후 신경 세포	2
부교감 신경 신경절 이후 신경 세포	2
두 세포 기입 후 추가로 세포를 기입하면, 기입한 한 세포당 -2점 감점 (두 세포를 추가 기입하면 -4점, 세 세포를 추가 기입하면 - 4점)	



2026학년도 자연계열(의학과) 논술고사

자연계열
(의학과)

(2) (6점) 대부분의 경우, 부교감 신경의 흥분 전도 속도는 교감 신경보다 빠르다. 그 이유를 신경 세포 구조와 관련하여 설명하시오. (단, 뇌에서 각 장기에 도달하는 부교감 신경과 교감 신경의 전체 길이는 같다고 가정한다.)

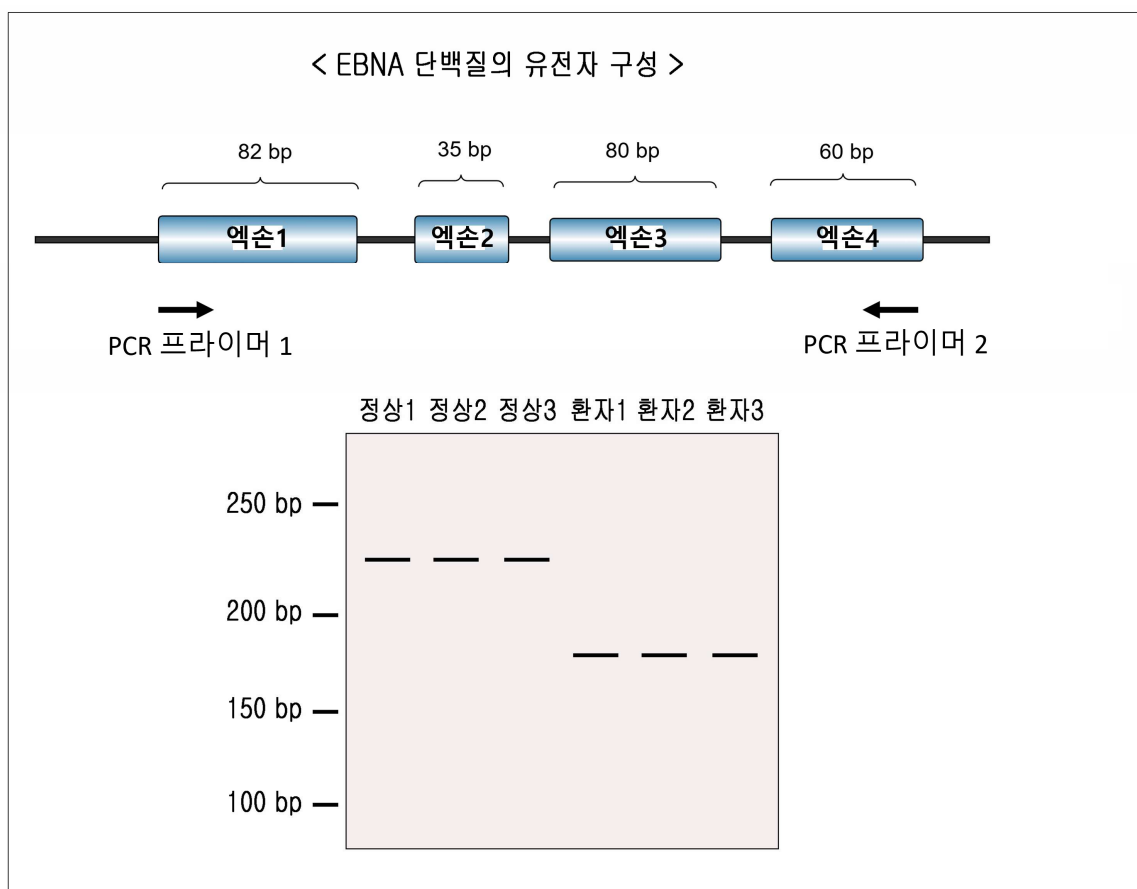
[모범 답안]

교감 신경과 부교감 신경 모두 신경절 이전 신경 세포는 말이집이 존재하는 말이집 신경, 신경절 이후 신경 세포는 말이집이 없는 민말이집 신경이다. 그러나 교감신경의 신경절 이후 신경세포는 상대적으로 길이가 더 길기 때문에, 전체 흥분 전도 속도는 교감신경보다 부교감신경이 더 빠르다.

[채점 기준]

	점수
교감 신경과 부교감 신경 모두 신경절 이전 신경 세포는 말이집이 존재하는 말이집 신경, 신경절 이후 신경 세포는 말이집이 없는 민말이집 신경	2
교감신경의 신경절 이후 신경 세포의 신경절 이후 신경 세포 길이가 상대적으로 더 길기 때문에(또는 부교감 신경의 신경절 이후 신경 세포 길이가 상대적으로 더 짧기 때문에), 전체 흥분 전도 속도는 교감 신경이 부교감 신경보다 느리다(교감 신경보다 부교감 신경이 더 빠르다).	4

[문제 2-4] (10점) EBV는 사람에서 급성 감염을 일으킨 후, 세포 안에서 증식하지 않고 장기간 존재하면서 EBNA1 단백질을 지속적으로 발현한다. 따라서 이러한 EBV에 의한 EBNA1의 지속적인 발현은 항체 반응을 계속 자극하여 다발성경화증 발병에 기여할 수 있는 요인으로 생각된다. 이를 확인하기 위해, 과거 EBV 감염력이 있는 다발성경화증 환자 3명과 과거 EBV 감염력이 있는 건강한 대조군 3명의 말초혈액에서 분리한 EBNA1 mRNA를 DNA로 합성한 후 PCR로 증폭하였다. 아래는 EBNA1 유전자의 엑손 구조, PCR 프라이머 위치, 그리고 각 실험군 검체에서 얻은 PCR 산물의 전기영동 결과이다. (단, EBNA1 엑손1, 2, 3, 4 중 일부는 전사 후 가공 과정에서 제거될 수 있다고 가정한다.)





(1) (2점) 환자군과 대조군간의 EBNA1 PCR 산물의 크기가 다른 가능한 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

환자군과 정상군에서 나타나는 EBNA1 PCR 산물 크기의 차이는 대체적 스플라이싱(alternative splicing) 때문입니다. 정상군에서는 EBNA1 mRNA가 엑손 1-3-4를 포함하는 정상적 스플라이싱 형태를 이루어 222 bp의 PCR 산물이 생성된다. 반면 MS 환자에서는 엑손 3이 제외되고, 대신 엑손 2가 포함된 엑손 1-2-4 형태의 스플라이싱이 일어나 PCR 산물이 177bp로 더 짧게 나타난다. 따라서 두 군 간의 PCR 산물 크기 차이는 EBNA1 전사체가 서로 다른 엑손 조합을 포함하는 스플라이싱 차이 때문이라고 설명할 수 있다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> 정상군은 EBNA1의 엑손 1-3-4를 이용하여 222 염기쌍의 PCR 산물을 생산함 엑손 순서를 제대로 기입하지 않은 경우 0점 염기쌍 개수를 제대로 기입하지 않은 경우 0점 	1
<ul style="list-style-type: none"> 환자군은 EBNA1의 엑손 1-2-4를 이용하여 177 염기쌍의 PCR 산물을 생산함 엑손 순서를 제대로 기입하지 않은 경우 0점 염기쌍 개수를 제대로 기입하지 않은 경우 0점 	1



2026학년도 자연계열(의학과) 논술고사

자연계열
(의학과)

(2) (6점) 아래에 제시된 EBNA1 유전자의 엑손1, 2, 3, 4가 전사하는 mRNA 염기 서열과 코돈 표를 이용하여 다발성경화증 발병에 관여하는 항원 펩타이드의 아미노산 서열을 추론하시오.

엑손 1 mRNA	
1	GAGCUGAUUA AGGAGAACAU GGUGUCUAAG GCGAAAUGC ACAUGAAGCU GUACAUGGAG
61	GGCACCGUGG ACAACCAUCA CU
엑손 2 mRNA	
1	UCAAGUGCAC AUCCGAGGGC GAAGGCAAGC CCUAC
엑손 3 mRNA	
1	CAGGGCACCC AGACCAUGAG AAUCAAGGUG GUCGAGGGCG GCCCUCUCCC CUUCGCCUUC
61	GACAUCCUGG CUACUAGCUU
엑손 4 mRNA	
1	CAACCACACC CAGGGCAUCC CCGACUUCUU CAAUAACCUC UACGGCAGCA AGACCUUCAU

UUU	페닐알라닌	UCU	세린	UAU	타이로신	UGU	시스테인
UUC		UCC		UAC		UGC	
UUA	류신	UCA		UAA	종결 코돈	UGA	종결 코돈
UUG		UCG		UAG	종결 코돈	UGG	트립토판
CUU		CCU		CAU	히스티딘	CGU	
CUC	류신	CCC	프롤린	CAC		CGC	아르지닌
CUA		CCA		CAA	글루타민	CGA	
CUG		CCG		CAG		CGG	
AUU		ACU		AAU	아스파라진	AGU	세린
AUC	아이소류신	ACC	트레오닌	AAC		AGC	
AUA		ACA		AAA	라이신	AGA	아르지닌
AUG	메싸이오닌	ACG		AAG		AGG	
GUU		GCU		GAU	아스파르트산	GGU	
GUC	발린	GCC	알라닌	GAC		GGC	글리신
GUA		GCA		GAA	글루탐산	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

[모범 답안] MS 환자에서 나타나는 EBNA1 전사체는 엑손 1-2-4가 연결된 형태이고, 엑손 1은 19번째에서 시작하는 AUG 개시 코돈부터 번역이 시작된다. 그러므로 MS 환자에서는 19~21번째 염기인 엑손 1과 엑손 2의 접합부에서 생성되는 코돈 UUC(= Phe, F)를 포함하여 엑손 2 부분을 번역한 다음과 같은 새로운 아미노산 서열과 이를 번역한 펩타이드가 추가됩니다.

UUC AAG UGC ACU UCC GAG GGC GAG GGC AAG CCC UAC

Phe-Lys-Cys-Thr-Ser-Glu-Gly-Glu-Gly-Lys-Pro-Tyr

따라서, MS 발병에 관여하는 EBNA1 항원 펩타이드의 아미노산 서열은 FKCTSEGEGKPY (페닐알라닌-라이신-시스테인-트레오닌-세린-글루탐산-글라이신-글루탐산-글라이신-라이신-프롤린-타이로신)이다.



[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> 환자군의 EBNA1 전사체는 엑손 1-2-4가 연결된 형태이고, 엑손 1은 19번째에서 시작하는 AUG 개시 코돈부터 번역이 시작됨 	1
<ul style="list-style-type: none"> 19~21번째 염기인 엑손 1과 엑손 2의 접합부에서 생성되는 코돈 UUC(페닐알라닌)를 포함하여 엑손 2 부분을 번역한 12개 아미노산 펩타이드가 환자군에서만 발현되는 펩타이드임 19~21번째 엑손 1과 엑손 2의 접합부 UUC 코돈의 번역에 의한 페닐알라닌이 환자 특이 펩타이드에 추가되지 않은 경우 또는 엑손 2부분을 기술하지 않은 경우 0 점 	3
<ul style="list-style-type: none"> 페닐알라닌-라이신-시스테인-트레오닌-세린-글루탐산-글라이신-글루탐산-글라이신-라이신-프롤린-타이로신 첫번째 페닐알라닌을 추가하지 않은 경우 0 점 펩타이드 서열이 틀린 경우 0 점 	2



(3) (2점) 추론한 EBNA1 항원 펩타이드에 특이적인 항체가 다발성경화증 환자에게 존재하는지 확인하는 실험 방법을 설명하시오.

[모범 답안]

MS 환자의 혈청에 EBNA 펩타이드를 인식하는 항체가 존재하는지 확인하기 위해, 먼저 EBNA 펩타이드를 큰 단백질(carrier protein)에 결합시켜 항원성을 높인 항원을 준비한다. 이렇게 하면 항체가 여러 항원에 동시에 결합할 수 있어 항원-항체 복합체가 형성될 수 있다.

이 항원을 시험관에 넣고 MS 환자의 혈청을 첨가하면, 환자의 혈청 속에 EBNA 펩타이드를 인식하는 항체가 있을 경우 항원-항체 결합으로 침전 또는 응집 반응이 나타날 수 있다.

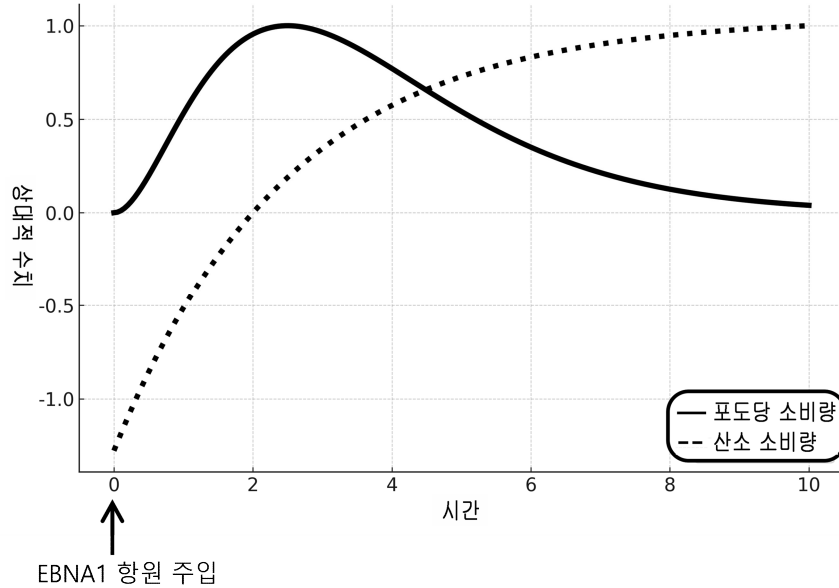
반면 건강한 대조군의 혈청에서는 이러한 반응이 나타나지 않는다.

따라서, MS 환자 혈청에서만 침전 또는 응집이 발생한다면, EBNA 펩타이드를 인식하는 항체가 환자에게 존재함을 의미한다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> 환자 특이 EBNA1 펩타이드를 큰 단백질(carrier protein)에 결합시켜 항원성을 높인 항원을 준비함 	1
<ul style="list-style-type: none"> 항원에 다발성경화증 환자의 혈청을 첨가하면 환자의 혈청 속에 EBNA 펩타이드를 인식하는 항체가 있을 경우 항원-항체 결합으로 (1) 침전 또는 (2) 응집 반응이 나타날 수 있음 한가지만 기술한 경우는 0점 	1

[문제 2-5] (10점) 아래는 EBV 감염 후 분화된 EBNA1 특이 기억 세포의 대사 변화를 조사한 결과이다. 그래프는 포도당 소비량과 산소 소비량의 상대적 변화를 나타낸 것이다.



(1) (5점) 그래프에서 보이는 초기 포도당 소비량 증가와 산소 소비량 변화 양상을 바탕으로, 이 시기 EBNA1 특이 기억 세포가 주로 이용하는 대사 경로와 그 이유를 설명하시오.

[모범 답안]

초기에는 포도당 소비량이 급격히 증가하지만 산소 소비량은 크게 증가하지 않으므로, EBNA1 특이 기억 세포가 해당과정(glycolysis)을 우선적으로 활성화한 것으로 볼 수 있다. 해당과정은 짧은 시간에 ATP를 빠르게 공급할 수 있고, 항체 생산에 필요한 핵산·아미노산·지질 합성에 쓰이는 중간 대사산물을 제공한다. 따라서 EBV 항원에 의해 활성화된 B세포는 신속한 증식과 면역 반응 개시를 위해 해당과정을 집중적으로 사용한다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> 초기에는 EBNA1 특이 기억 세포가 해당과정(glycolysis)을 우선적으로 활성화함 	2
<ul style="list-style-type: none"> 해당과정은 (1) 짧은 시간에 ATP를 빠르게 공급할 수 있고, (2) 항체 생산에 필요한 핵산·아미노산·지질 합성에 쓰이는 중간 대사산물을 제공 둘 중 한가지만 기술함 -2 	3



(2) (5점) 시간이 지날수록 산소 소비량이 증가하는 현상이 EBNA1-글리알캡 교차반응 항체 생성과 다발성경화증 병리 진행에 어떤 영향을 줄 수 있는지 설명하시오.

[모범 답안]

시간이 지나면서 산소 소비량이 증가하는 것은 EBNA1 특이 기억 세포가 TCA 회로와 전자전달계(ETC)를 활성화하여 산화적 인산화를 통해 장시간 지속적인 ATP 생산이 필요한 단계에 들어갔음을 의미한다. 항체를 대량으로 생산하려면 막대한 에너지가 필요하므로, 대사적으로 활성화된 EBNA1 특이 기억 세포는 이러한 경로를 통해 충분한 ATP를 공급받으며 교차반응 항체를 지속적으로 많이 생성할 수 있다. 이러한 EBNA1 특이 기억 세포가 중추신경계로 침투하여 EBNA1과 구조적으로 유사한 글리알캡을 인식하면, 교차반응 항체에 의해 말이집이 반복적으로 손상되어 다발성경화증의 병리 진행을 악화시킬 수 있다.

[채점 기준]

	점수
<ul style="list-style-type: none"> EBNA1 특이 기억 세포가 TCA 회로(시트르산 회로)와 전자전달계(ETC)를 활성화하여 산화적 인산화를 통해 장시간 지속적인 ATP 생산이 필요한 단계에 들어갔음 강조한 문구(TCA 회로/전자전달계/산화적 인산화/ATP 생산)가 다 포함되지 않는 경우 0 점 	2
<ul style="list-style-type: none"> 항체를 대량으로 생산하려면 막대한 에너지가 필요하므로 EBNA1 특이 기억 세포는 충분한 ATP를 공급받으며 교차반응 항체를 지속적으로 많이 생성할 수 있음 	2
<ul style="list-style-type: none"> EBNA1 특이 기억 세포가 중추신경계로 침투하여 EBNA1과 구조적으로 유사한 글리알캡을 인식하는 교차반응 항체를 생산하여 말이집이 반복적으로 손상됨 	1