

2023학년도 수시 면접·구술고사

생명과학 기출

문항 · 채점 기준 · 예시 답안

한국과학기술원 (KAIST)

문제 1. 미토콘드리아의 구조와 기능, 세포 분획

문항 및 제시문

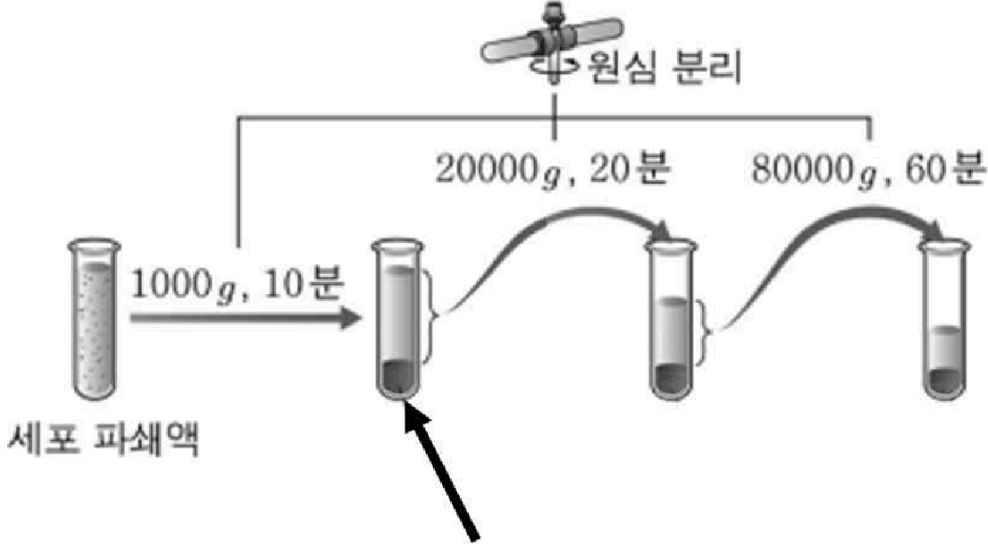
(1) 정상인의 신경세포에 존재하는 미토콘드리아는 아래 왼쪽 그림과 같다. 이와 대조적으로 상염색체에 위치한 유전자 X의 돌연변이에 의해 생기는 유전병을 앓고 있는 환자 신경세포의 미토콘드리아는 오른쪽 그림과 같은 모양을 보인다. (1점)



정상 신경세포의 미토콘드리아 유전병 환자 신경세포의 미토콘드리아

이 유전병 환자 신경세포의 흥분 전도 효율이 정상 신경세포의 흥분전도 효율과 비교해 어떤 차이를 보일지 예측하고 그 근거를 설명하시오.

(2) 과학자들은 유전자 X가 무엇인지 추적하는데 성공하였다. 유전자 X로부터 발현되는 단백질 X를 세포 내 위치를 분석하기 위하여 정상 신경세포를 파쇄하여 아래와 같은 세포 분획실험을 수행하였다. 단백질 X는 화살표로 표시된 첫 번째 원심분리의 침전에서만 검출되었고 다른 분획물에는 발견되지 않았다. (2점)



단백질 X의 기능을 예측하고 근거를 설명하시오.

(3) 최근 생명공학의 발전으로 미토콘드리아를 순수 분리하여 원하는 세포 내부로 미세 주입하는 [미토콘드리아 이식기술]이 가능해졌다. 미토콘드리아 주입 기술을 활용하여 정상인의 미토콘드리아를 환자의 신경세포에 미세 주입함으로써 이 유전병을 치료하고자 한다. 미토콘드리아 미세 주입 후 6개월 후 유전병 치료 여부를 예측하고 그 이유를 설명하시오. (1점)

채점 기준

아래 예시 답안과 함께 채점 기준을 작성함.

예시 답안

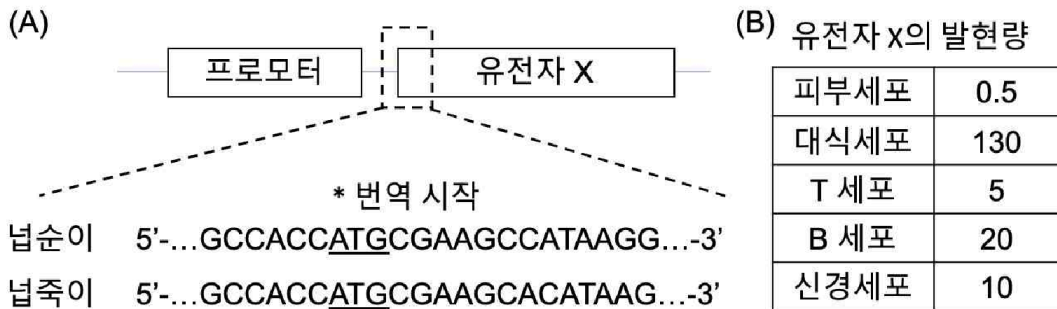
- (1) 정상 신경세포에 비교하여 환자의 신경세포의 흥분 전도 효율은 느려진다. 환자 신경세포의 정상 신경세포와 비교해 미토콘드리아의 내막 표면적이 줄어들어 ATP 생산이 저하되며, 이로 인해 ATP 의존적인 Na^+ 이온- K^+ 이온 농도구배 형성과 조절에 문제가 발생하기 때문이다.
- (2) 단백질 X가 핵 분획에 위치하므로, 미토콘드리아에 직접 작용하는 단백질이 아니라 미토콘드리아 내막의 주름을 형성을 간접적으로 조절하는 전사인자를 포함한 핵 단백질일 것이다.
- (3) 유전병 치료가 불가능하다. 그 이유는 주입한 정상 미토콘드리아가 환자의 세포 내부에서 증식 및 복제될 때 필요한 내막 형성 조절 단백질이 정상적으로 제공되지 않아 점차 환자 신경세포 미토콘드리아와 유사한 모양을 가질 것이기 때문이다.

문제 2. 유전자 발현 조절과 조직별 발현량

문항 및 제시문

카이스트 생명과학과 학생인 넙죽이는 스트레스가 생쥐의 섭식 행동에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험을 수행했다. 그런데 넙죽이는 남순이에 슬픔과 다투는데 넙죽이고, 인해 생쥐들도 스트레스를 받아 넙죽이의 섭식이 급격히 늘어났다. 정신적 충격을 받은 후 학생의 몰린 순간에서 피가 나고 발생게 부어올랐다. 며칠 후 남순이는 건강에 큰 문제없이 약간의 감기 증상을 겪고 회복했지만, 넙죽이는 다음날부터 고열과 오한이 나고 호흡 곤란 증상까지 생겨서 병원에 입원하여 2주의 집중치료를 받고 퇴원했다.

(1) 넙죽이와 남순이를 진료한 카이스트 클리닉의 의사인 카이는 몰린 넙죽이와 남순이의 반응이 서로 다른 것에 관심을 가졌다. 그런데 넙죽이의 남순이의 몸에서 유전자 X의 조직별 발현량을 분석해 보았다. 그 결과 아래와 같이 넙죽이와 남순이 사이에 유전자 X의 세포별 발현 양상의 표 (B)와 같이 다르게 나타났다. 며칠 후 넙죽이는 종합적 유전자 X가 만드는 단백질의 기능은 무엇인지 유추하고, 이에 근거해 넙죽이의 남순이의 몸의 반응이 다른 이유를 설명하시오. 이 문제의 유전자 X는 문제14에서 나오는 유전자 X와는 무관한 유전자이다. (2점)



채점 기준

아래 예시 답안과 함께 채점 기준을 작성함.

예시 답안

(1) (A)의 그림을 보면 넵죽이의 유전자 X 염기서열을 보면 번역 시작 코돈 ATG 이후 추가 염기(G)의 삽입으로 인해 mRNA 번역 과정에서 이어지는 종결 코돈이 크게 변화하고, 종결 코돈의 위치가 변화하여 번역이 조기 종결될 것이다. 따라서 넵죽이의 세포에서는 유전자 X가 생성하는 단백질 X가 제대로 생성되지 못할 것이다.

(B)의 표에서 유전자 X의 발현양상을 살펴보면 면역세포 중 대식세포에서 강하게 발현되고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 구조적 변화가 발생한 돌연변이 단백질 X는 세포 내 위치는 정상이나 미토콘드리아를 축적물이 발현에 위치시키는 활성이 상실된 것으로 보인다.

넵죽이는 초기 국소 염증반응 이후 후천성 면역 반응이 잘 일어나기 때문에 세포독성 T 세포와 B 세포에서 나오는 항체의 작용을 방해할 효과적으로 물리쳤지만, 넵죽이는 후천성 면역 반응이 제대로 일어나지 않아 병원체를 효과적으로 제거하지 못하고 과도한 선천성 면역 반응으로 인해 병원체 침입하여 집중치료가 필요하였을 것이다.

이를 종합하면, 유전자 X는 대식세포에서 주로 발현하여 후천성 면역반응을 일으키는 T 세포, B 세포에 항원을 제시하는 과정에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

문제 3. 유전자 발현과 대장균의 tRNA

문항 및 제시문

카이스트 학생 카이는 오랜 연구를 통해 장미 향기 합성에 관여하는 유전자와 B를 찾았다. 유전자 A는 시트르 산을 기질로 사용하여 향기를 합성하는 효소 정보를 담고 있는 것도 발견했다. 카이는 장미 향기를 대량으로 생산하기 위해서 유전자 A와 B를 대장균에 넣어서 발현시켰다. 아래는 장미 향기를 합성하는 유전자 A와 B의 시작 부분이다.

A: 5' -ATGTTTACTGTGTTTCAGAAGAATTATTAGCTATAACAATTAAGT-3'
B: 5' -ATGAAAAGGAAGGAGGACAGCACACTACGAGTAGTAGGGCC-3'

(밑줄 친 ATG는 개시코돈)

- (1) 장미 향기 합성에 유전자 A와 B의 mRNA를 대장균에서 과량 발현시켰더니, 단백질 B는 정상적으로 합성되었으나 단백질 A는 합성이 일어나지 않았다. 그 이유를 설명하고 이를 해결하기 위한 방법을 제시하시오. (1점)
- (2) 위 문제를 해결하여 단백질 A가 대장균에서 정상적으로 만들어지게 하는데 성공했다. 하지만 단백질 A의 발현이 높아져서 향기 물질이 많이 만들어질수록 대장균의 성장 속도가 줄어들었다. 그 이유를 설명하시오. 단, 향기 물질은 대장균의 성장에 영향을 주지 않는다. (2점)

채점 기준

아래 예시 답안과 함께 채점 기준을 작성함.

예시 답안

- (1) 유전자 A에는 대장균에서는 거의 존재하지 않는 tRNA와 연결된 코돈이 있다. GUG를 GUC로 바꾸어준다. 혹은 GUG tRNA를 대장균에 넣어준다. (1점)
- 유전자 A에 종결 코돈이 생기는데 이것을 정상적인 아미노산으로 치환
 - AAT rare codon을 이야기 하거나 GTG rare codon 둘 중에 하나만 이야기해도 정답
- (2) 유전자 A에 의해서 만들어지는 효소가 TCA회로에 시작 물질인 시트르산을 기질로 사용하고 있기 때문에 시트르산을 많이 사용할수록 TCA 회로를 통해서 만들어지는 에너지원이 줄어든다. (2점, 부분점수 없음)

문제 4. 생태계 상호작용과 자연선택

문항 및 제시문

생태계 구성 요소 사이의 상호관계 1:

식물과 초식곤충 사이의 상호관계는 오랜 기간 서로에게 영향을 주며 진화했다. 식물이 독성 물질을 만들어서 초식곤충을 쫓아내면 그 곤충은 독성 물질을 해독하는 방향으로 진화가 일어난다. 예를 들어 인해 생쥐들도 카페인이라는 물질은 커피나무가 어린잎과 열매를 보호하기 위해서 만들어낸 독성 물질이다. 하지만 카페인을 만드는 커피나무는 카페인을 해독할 수 있는 곤충의 생존을 유리하게 하여 커피벌레는 곤충 숫자가 증가한다. 그러면 다시 커피나무는 카페인을 해독하는 곤충을 쫓아내기 위해 다른 독성 물질을 만들어내는 방향으로 진화가 일어날 것이다.

생태계 구성 요소 사이의 상호관계 2:

우리나라에서 캐나다산 유해를 수입해서 키우기 시작했다. 하지만 얼마 지나지 않아 유해를 먹는 애벌레가 급격히 증가해 유해 잎에 큰 피해를 주었다. 이 애벌레는 캐나다에서는 있지만 문제가 되지 않았다. 그 이유는 애벌레가 유해를 먹기 시작하면 도마뱀이 애벌레가 유해 잎을 먹기 시작하면 나오는 식물 향기 물질 X를 감지해서 애벌레의 위치를 파악해 먹어치운다. 이 도마뱀이 우리나라에는 살지 않는다.

- (1) 식물의 독성물질을 만들어서 초식곤충을 쫓아내(혹은 죽이는) 상호관계 1 전략보다 식물의 초식곤충을 먹는(도마뱀)을 부르는 상호관계 2 전략이 식물의 생존에 더 유리하다면 어떤 이유 때문인지 설명하시오. (2점)
- (2) 애벌레가 유해 잎을 갉아 먹으면 식물 향기 물질 X가 잎 표로 세포에서 방출되어서 갉기 증으로 방출된다는 것을 알았다. 하지만 식물 잎 표피세포에서 나온 분비 소낭이 세포막과 융합하지 못하면 물질 X가 합성되지 않는다. 물질 X가 잎 세포 어디에서 합성되는지 설명하시오. (1점)

채점 기준

아래 예시 답안과 함께 채점 기준을 작성함.

예시 답안

- (1) 독성물질을 만들어 애벌레가 이를 해독하는 방향으로 진화가 진행된다. 하지만 도마뱀을 부르는 신호는 애벌레에게 직접적인 영향을 주지 않기 때문에 애벌레가 이를 회피하기 위해서는 훨씬 더 오랜 시간이 걸릴 것이다. (2점, 부분점수 없음)
- (2) 세포막과 세포벽 사이 혹은 세포벽. 분비 소낭이 단백질을 세포 밖으로 수송을 하려고 물질 합성이 효소를 필요로 한다. 즉 효소가 세포막 밖으로 분비가 되어야 물질이 합성이 되기 때문에 장소는 세포벽 혹은 세포막과 세포벽 사이 일 것이다. (1점)

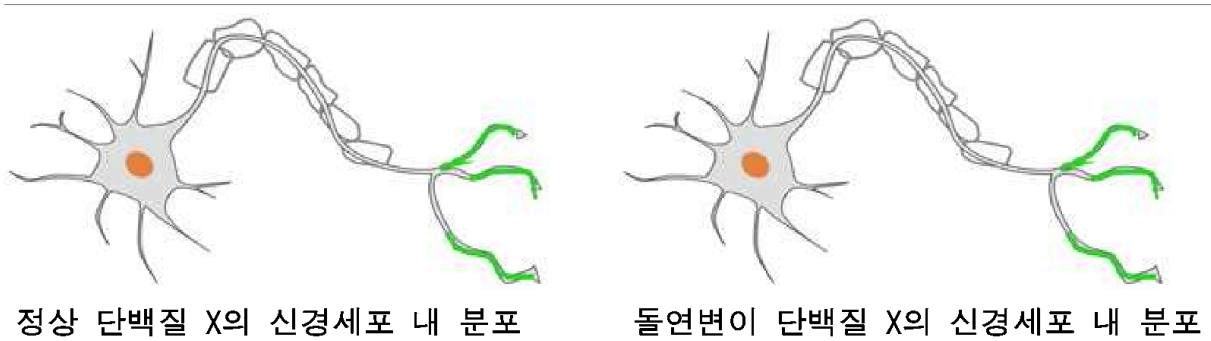
문제 5. 신경세포의 흥분 전도와 자율신경 조절

문항 및 제시문

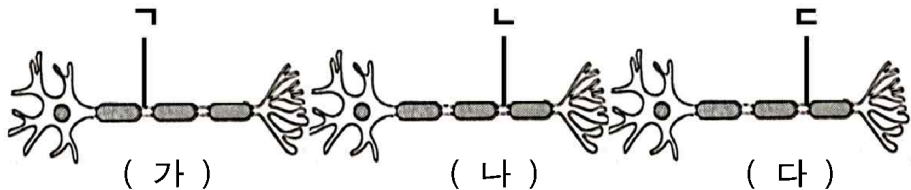
카이스트 대학원생 넙죽이는 신경세포 내 미토콘드리아의 분포를 조사해 보았고, 그 결과는 아래와 같다 (붉은 색 점들이 미토콘드리아).

넙죽이는 유전자 X에 돌연변이가 발생할 경우, 아래와 같이 미토콘드리아의 위치가 변화한다는 점도 새롭게 발견하였다.

(1) 위의 정보들을 바탕으로 단백질 X의 기능을 제시하고 돌연변이 단백질 X에 어떠한 기능적 장애가 발생하였는지 설명하십시오. (1점)

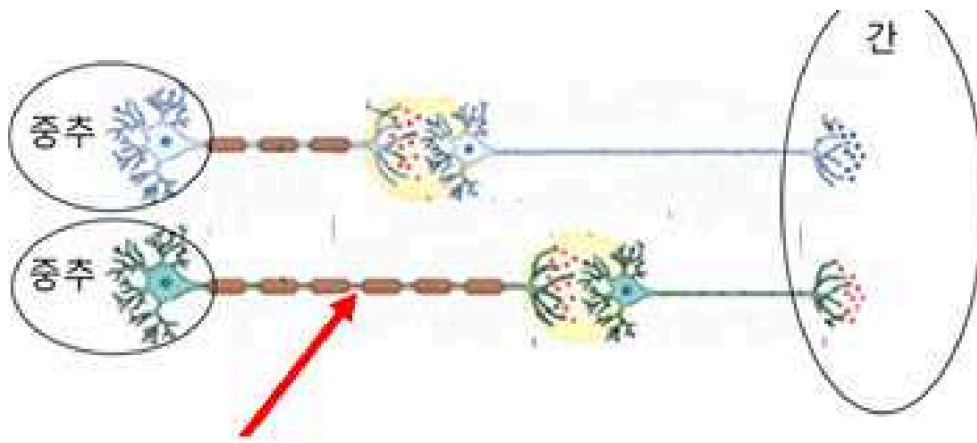


(2) 아래 그림은 시냅스로 연결된 뉴런 가-나-다를 나타낸 것이다. 정상 신경세포들(위)과 유전자 X에 돌연변이가 발생한 신경세포들(아래)의 순서로 연결된 신경의 ㄱ 위치에 역치 이상의 자극을 준 다음 ㄴ와 ㄷ 위치에서 시간 경과에 따라 형성되는 막전위를 측정해 값이 아래 표와 같다. 돌연변이 유전자 X가 신경세포의 흥분 전도 속도의 어떠한 변화를 유도하였는지 이유를 설명하십시오. (1점)



경과시간(ms)		1	2	3	4	5	6	7	8
막전위(mV)									
정상	L	-70	+35	-80	-70	-70	-70	-70	-70
	D	-70	-70	-70	-70	+35	-80	-70	-70
X변이	L	-70	-70	-70	+35	-80	-70	-70	-70
	D	-70	-70	-70	-70	-70	-70	-70	+35

(3) 아래 그림은 중추신경으로부터 간에 연결된 자율신경을 나타낸다. 화살표로 표시된 부분에 역치 이상의 자극을 주면 정상 생쥐와 유전자 X에 돌연변이가 발생한 생쥐의 혈당 조절에 어떠한 차이가 발생하는지 비교하고 이유를 설명하십시오. (2점)



채점 기준

아래 예시 답안과 함께 채점 기준을 작성함.

예시 답안

(1) 단백질 X의 기능: 단백질 X는 신경세포의 축삭돌기 말단에 존재하는 단백질로서 미토콘드리아를 축삭돌기 말단에 위치시키는 기능을 수행한다.

기능적 장애: 돌연변이 X는 유전자 중간에 4개의 염기서열이 삽입된 것이다. 따라서 합성된 단백질의 아미노산 서열은 번역 개시 후 상당히 많은 부분이 정상 단백질과 같지만, 삽입 돌연변이가 발생한 이후는 코돈(codon)이 mRNA 번역에 조기 종결되거나 단백질 X의 아미노산 서열이 바뀔 수 있다. 이러한 구조적 변화가 발생한 돌연변이 단백질 X는 세포 내 위치는 정상이나 미토콘드리아를 축삭돌기 말단에 위치시키는 활성이 상실된 것으로 보인다.

(2) 흥분의 전도 속도는 유전자 X에 돌연변이가 발생한 신경세포에서 정상 신경세포에 비해 감소하며, 그 이유는 축삭돌기 말단에 미토콘드리아가 부족하므로 신경 전달 물질이 포함된 시냅스 소포의 생성 및 신경 전달 물질 분비에 필요한 에너지를 효율적으로 공급하지 못하기 때문이다.

(3) 신경절 이전 뉴런의 축삭에 자극을 준 것으로 보아, 화살표로 자극한 자율신경은 부교감 신경에 해당한다. 간에 연결된 부교감 신경은 글리코젠 합성을 촉진하여 혈당을 낮춘다. 따라서 유전자 X의 장애로 흥분 전달이 느려지면 간에서 글리코젠 합성이 저하되어 혈당 저하 반응이 원활하게 이루어지지 못한다.

문제 6. 능동수송과 적혈구·백혈구의 세포 호흡

문항 및 제시문

적혈구는 우리 몸의 산소를 운반하는 중요한 역할을 하는 세포로 잘 알려져 있다. 적혈구가 제 기능을 하기 위해서는 세포의 삼투압이 정상적으로 유지가 되어야 한다. 적혈구 삼투압 유지에 필요한 무기질 이온의 농도를 알아보기 위해, 사람 혈액에서 적혈구와 백혈구를 분리하고, 이들 세포 내 이온 농도를 혈장과 비교하여 다음과 같은 값을 얻었다.

이온	적혈구	백혈구	혈장
Na ⁺	10mM	10mM	140mM
K ⁺	150mM	145mM	5mM

또한, 원심분리를 이용한 세포분획법을 활용해 적혈구와 백혈구를 구성하는 물질의 특성을 분석해 보았다.

<백혈구>

	분획 1	분획 2	분획 3	분획 4
산소 소비량	1	100	2	1
DNA양	100	20	1	0
지질양	60	70	0	100

<적혈구>

	분획 1	분획 2	분획 3	분획 4
산소 소비량	1	1	1	1
DNA양	0	0	0	0
지질양	1	0	0	100

- (1) 적혈구에서 Na⁺ 와 K⁺ 의 농도가 혈장과 다르게 나타나는 이유를 설명하시오. (1점)
- (2) 적혈구와 백혈구에 다음의 약물을 처리하였을 때 이들 세포 각각에서 Na⁺ 와 K⁺ 이온의 농도 변화를 설명하시오. (2점)
- (1) 비소(Arsenic) — 해당과정 억제제
 - (2) 안티마이신-에이(Antimycin A) — 전자전달계 억제제

채점 기준

아래 예시 답안과 함께 채점 기준을 작성함.

예시 답안

(1) 적혈구의 세포막엔 Na^+ 이온과 K^+ 이온이 통과할 수 없다. 적혈구의 세포막에 존재하는 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프가 세포 내의 ATP 에너지를 사용하여 3개의 Na^+ 이온을 세포 밖으로 내보내고 동시에 2개의 K^+ 이온을 세포 내로 들어오게 하는 능동 수송을 하고 있다. 이를 통해 적혈구 내에 세포 밖보다 낮은 Na^+ 이온 농도와 세포 밖보다 높은 K^+ 이온 농도를 형성하여 유지하고 있다.

(2) 적혈구가 조혈모세포로부터 만들어질 때 세포핵을 포함한 모든 세포소기관들이 사라진다. 이를 문제에서 설명해 준 원심분리를 이용한 세포분획법의 결과에서 유추할 수 있다. 따라서 분화를 마친 적혈구에는 미토콘드리아가 존재하지 않아 해당과정을 통한 ATP 생성만 가능하다.

— 따라서 해당과정 억제제인 비소를 처리할 경우 적혈구 내의 ATP 생성이 안 되고 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프의 작동도 멈추게 되어 적혈구 내 Na^+ 이온 농도는 올라가고 K^+ 이온 농도는 낮아진다.

— 하지만 전자전달계 억제제인 안티마이신-에이를 처리할 경우 억제 대상인 전자전달계가 없기 때문에 해당과정을 통한 ATP 생성에 문제가 없어 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프의 작동으로 인해 적혈구 내 이온 농도가 유지된다.

— 백혈구는 미토콘드리아가 존재하므로 비소뿐만 아니라 안티마이신-에이 처리에 의해 ATP 생성이 억제되어 백혈구 내 Na^+ 이온 농도는 올라가고 K^+ 이온 농도는 낮아진다.