

◆ 06-9평 53~56번

[53~56] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

(가) 생물학을 비롯한 다른 과학 분야에는 물리학에서 찾아 볼 수 없는 문제가 있다. 이 문제를 표현할 적절한 단어가 없기 때문에, 일단은 '역사적 질문'이라고 해 두자. 만일 우리가 생물학의 모든 것을 이해하게 되었다면, 그 다음에는 "지구 위에 그런 생물들이 왜 존재하는가?"에 대해 궁금해질 것이다. 이 의문에 부분적인 해답을 주는 이론이 바로 진화론인데, 이는 생물학에서 매우 중요한 분야이지만, 아직은 보완되어야 할 부분이 많은 미완의 이론이다. 지질학의 경우에도 우리는 산의 생성 과정뿐만 아니라 지구 자체의 생성 과정, 더 나아가서는 은하계의 기원까지도 알고 싶어 한다. 물론 이러한 의문은, "이 세상은 어떤 물질들로 이루어져 있는가?"라는 질문으로 귀결된다. "별들은 어떻게 진화하는가?", "별이 처음 생성되던 시기의 초기 조건은 어떠했는가?" 이것은 또 천문학에서 다루어야 할 '역사적 질문'이다. 별과 우리 자신을 이루고 있는 원소들에 대해서는 상당히 많은 사실들이 알려져 있으며, 아주 조금이긴 하지만 우주의 기원도 베일을 벗기 시작했다.

그러나 현 시점에서 물리학은 '역사적 질문'으로 고민하지 않는다. "여기 물리학 법칙이 있다. 그런데 왜 하필 이런 법칙이어야 하는가?" 물리학에서는 이런 식의 질문이 없다. 물리학자는 하나의 물리 법칙을 발견했을 때, "이 법칙은 어떤 변천 과정을 거쳐서 지금과 같이 되었을까?", "변하기 전의 법칙은 어떤 모습이었을까?" 등등의 의문으로 골머리를 앓지 않는다. 물론 물리 법칙은 시간과 함께 변할 수도 있다. 만일 이것이 사실로 판명된다면, 물리학의 '역사적 질문'은 곧 우주의 역사에 대한 질문으로 발전할 것이며, 이때부터 물리학자는 천문학자나 지질학자, 생물학자 등과 동일한 주제를 놓고 대화하게 될 것이다.

(나) 생물학자가 “왜 구대륙에는 별새가 없는가?” 또는 “인간 종은 어디서 유래했는가?”와 같은 특수한 사건에 관한 물음에 답하고자 할 때, 보편적 법칙에 의존할 수는 없다. 생물학자는 특수한 문제와 관련하여 알려진 모든 사실들을 연구해야 하고, 재구성된 한 무리의 요인들로부터 모든 종류의 결과들을 추론해야 하며, 이러한 특수한 경우의 관찰 사실들을 설명할 시나리오를 구성해야 한다. 다시 말하면 그는 ‘역사적 서술’을 구성하는 것이다.

이러한 접근은 인과 법칙적 설명들과는 근본적으로 다르기 때문에, 논리학, 수학 또는 물리학에서 출발한 고전 과학철학자들은 그것을 아예 수용할 수 없는 것으로 여겼다. 그러나 최근의 학자들은 고전적 관점이 편협하다는 점을 분명히 밝혔고, ㉠ ‘역사적 서술’의 접근이 타당할 뿐만 아니라 특수한 사건에 대한 설명에서는 과학적으로도 철학적으로도 유일하게 타당하다는 것을 보여주었다.

물론 ‘역사적 서술’이 ‘진실’이라는 것을 단언적으로 증명하는 것은 불가능하다. 하나의 과학이 포괄하는 체계가 복잡할수록 그 체계 내의 상호 작용은 더 많아진다. 그리고 이들 상호 작용은 관찰만으로 그 인과 관계를 밝혀낼 수 없는 경우가 아주 흔하다. 단지 추론만이 가능하다. 그러한 추론은 본질적으로 해석하는 학자의 배경과 경험에 의존하기 쉽기 때문에, 당연히 ‘가장 훌륭한’ 설명을 두고 종종 논쟁이 야기된다. 또한 모든 ‘역사적 서술’은 반증이 가능하고 언제라도 또다시 시험의 대상이 될 수 있다.

53. 위 글의 내용과 부합하지 않는 것은?

- ① 우주의 기원에 대한 비밀이 조금씩 밝혀지고 있다.
- ② 진화론은 보완되어야 할 부분이 많은, 생물학의 한 분야이다.
- ③ 과학철학자 중에는 인과 법칙적 설명을 신뢰하는 사람들이 있다.
- ④ 지질학에서는 은하계의 기원에 대해서는 알고 싶어하지 않는다.
- ⑤ 복잡한 체계일수록 관찰만으로 그 상호 작용을 규명하기가 어렵다.

54. (가)의 글쓴이와 (나)의 글쓴이가 말을 주고받았다고 할 때, 각자의 관점에 비추어 적절하지 않은 것은?

- ① (가): 물리학자는 현재 ‘역사적 질문’에 대해서는 별로 관심이 없습니다.
- ② (나): 생물학자는 보편적 법칙으로 특수한 문제를 설명할 수 있습니다.
- ③ (가): 그 특수한 문제는 ‘역사적 질문’과 상통하는 것이겠지요.
- ④ (나): 그것은 ‘역사적 서술’이라는 접근 방법으로 타당한 설명이 가능합니다.
- ⑤ (가): ‘역사적 질문’은 우주의 기원에 대한 질문으로 발전할 것 같군요.

55. (나)의 글쓴이가 <보기>를 평가한 내용으로 바르지 않은 것은?

—<보 기>—

다음과 같은 견해는 공통 멸종 이후 포유류가 번성한 이유에 대한 생물학계의 설명 가운데 가장 훌륭한 역사적 서술로 받아들여진다. 백악기 말기에 공룡이 멸종했는데, 이로 인해 기존의 생태학적 환경 속에서 많은 생물들이 가졌던 역할 및 지위가 없어지게 되었다. 그 틈을 타 포유류가 눈부시게 번성하였다.

- ① 이 시나리오는 고전 과학철학자들에게는 수용되지 않겠군.
- ② 생물학계에서 가장 훌륭한 설명이므로 반증 가능성이 없겠군.
- ③ 포유류 번성이라는 특수한 문제에 알맞은 연구 방법을 사용하였겠군.
- ④ 연구자의 배경과 경험에 의존한 추론으로 이 시나리오를 구성하였겠군.
- ⑤ 이 시나리오의 구성을 위해 포유류 번성과 관련하여 알려진 모든 사실들을 연구하였겠군.

56. 위 글의 논지로 보아 ㉠과 거리가 먼 것은? [1점]

- ① 별의 구성 물질
- ② 별의 진화 과정
- ③ 산맥의 생성 과정
- ④ 구대륙에 별새가 없는 이유
- ⑤ 지구 위에 존재하는 생물의 유래

◆ 07 MDEET 언어추론 19~21번

[19~21] 다음을 읽고 물음에 답하십시오.

다음은 현대 진화생물학의 두 가지 입장을 기술한 글이다.

(가) 진화생물학이 설명해야 하는 중심 문제는 생물 개체의 적응에 관한 것이다. 적응은 자연선택으로만 설명될 수 있는 매우 복잡한 현상이기 때문에 자연선택은 진화생물학에서 특별한 지위를 차지한다. 자연선택은 근본적으로 복제자에 작용한다. 복제자란 자기 자신을 복제하는 구조물인데 우리가 알고 있는 생물학적 복제자는 유전자가 유일하다. 유전자들은 동맹을 결성하여 자신의 운반자를 만들고, 그렇게 만들어진 운반자를 통해 생존 경쟁을 한다. 운반자는 유전자들의 번식을 돕는 매개체로서, 우리 자신을 포함한 생물 개체들이 이에 해당한다.

유전자는 자신이 속해 있는 운반자에게 영향을 줌으로써 자신의 복제를 도모한다. 성적 매력, 신진대사의 효율성 등과 같은 운반자의 적응적 형질을 강화시키는 유전자는 다른 경쟁 유전자보다 더 자주 복제될 것이다. ㉠ 어떤 유전자는 운반자를 둘러싼 물리적, 생물학적 혹은 사회적 환경을 조종하거나 통제하여 자신의 복제 기회를 넓히기도 한다. 심지어 운반자의 적응도를 감소시키면서까지 자신의 이득을 추구하는 이른바 '무법 유전자'도 있다. 유전자는 이렇듯 다양한 전략의 중심에 있으며, 이는 자연선택이 근본적으로 운반자가 아닌 복제자에 작용한다는 것을 보여 주는 좋은 예이기도 하다.

대부분의 진화는 장구한 세월 동안 자연선택을 통해 점진적으로 진행된 소(小)진화적 사건의 끊임없는 축적이며, 그 결과 현재와 같은 생명 체계가 형성되었다. 예외적으로, 이와는 조금 다른 양상의 진화도 생각할 수 있다. 예컨대 어떤 동물 계통은 신체 구조적 특성으로 인해 다른 동물 계통에 비해 진화에 의한 변화가 더 쉽게 발생할 수 있다. 계통에 따라 편차를 보이는 이러한 '진화 가능성' 자체가 때로는 선택의 대상이 될 수도 있으며, 이 경우 선택은 유전자보다 상위 수준에서 이루어진다.

(나) 진화생물학에서 가장 흥미로운 주제는 '대멸종'일 것이다. 대멸종은 진화 계통수(系統樹)를 크게 바꾸어 놓았다. 페름기 말에는 당시 종의 90% 이상이 사라졌다고 추정된다. 공룡의 멸종은 백악기의 소행성 충돌의 결과였으며, 이는 포유류가 지배적인 종이 되는 계기로 작용했다.

종의 생성 역시 점진적 진화 과정을 통해서 이루어지는 것은 아니다. 새로운 종은 부모 종의 분포 지역 주변부에 위치한 소규모의 고립된 개체군들 중에서 급속한 종 분화를 통해 생성되며, 이후 새로운 종 분화나 멸종이 일어나기까지 오랫동안 변하지 않는다. 대개의 경우 개체군에 발생하는 변화는 축적되지 않고 평균치에서 진동할 뿐이며, 대규모 개체군은 근본적으로 정체적(停滯的) 성격을 지닌다. 화석 기록은 이러한 단속 평형적인 진화의 양상과 잘 부합된다.

화석 기록은 또한 캄브리아기에 주요 동물 분류군이 한꺼번에 출현했음을 보여 준다. 5억 3천만 년 전의 화석 기록이 보여 주듯이, 캄브리아기 이후 생명계는 종의 차원에서는 다양해졌지만, '문(phylum)'의 차원 즉 신체적 기본 구조의 종류에서는 오히려 줄어들었다. 종 다양성은 증가했지만 이질성은 감소한 것이다. 이 역시 진화생물학이 설명해야 할 중요한 과제이다.

이러한 진화의 다양한 양상을 자연선택에 의한 소진화의 점진적 축적만으로 설명하기는 힘들다. 물론 자연선택은 중요하며 진화생물학자들은 그것이 어떻게 작동하는지 정확하게 이해해야 한다. 하지만 자연선택은 진화의 과정을 설명하는 많은 요소들 중 하나일 뿐이다. 진화의 큰 틀에서는 급속한 종 분화, 종의 안정성, 멸종 등도 중요한 요인으로 고려해야 한다.

자연선택이 개별 유전자에 작용하는 것도 가능하지만, 근본적으로 선택의 단위는 유전자가 아니라 개체이다. 특정한 상황에서는 선택이 다른 수준에서 작용하기도 한다. ㉡ 여러 종들로 구성된 한 계통에서 어떤 종은 멸종을 더 어렵게 만들거나 종 분화를 더 쉽게 만드는 특성을 가질 수도 있다. 이러한 특성은 개체 수준이 아닌 종 수준에서 나타나며 종 선택에 중요한 요소로 작용하기도 한다.

19. (가), (나)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① (가)와 (나)는 모두 자연선택이 진화의 기제임을 인정한다.
- ② (가)는 종의 생성 원리에, (나)는 종의 소멸 원인에 주목한다.
- ③ (가)는 유전자를, (나)는 개체를 자연선택의 기본 단위로 본다.
- ④ (가)는 진화 과정이 연속적이라고 보는 반면, (나)는 불연속적이라고 본다.
- ⑤ 인접 종을 연결하는 중간 단계 화석이 발견되면, (가)의 입장은 강화되고 (나)의 입장은 약화된다.

20. <보기>에서 ㉠에 해당하는 것은?

—< 보 기 —>—

㉠. 뇌충은 개미의 뇌 속에 침투한다. 이후 뇌충의 유전자는 화학 물질을 분비해 개미로 하여금 풀잎 위에서 쉬도록 개미의 행동을 변화시켜 소에게 먹히도록 만든다. 뇌충의 궁극적 숙주는 소다.

㉡. 아프리카인의 헤모글로빈 유전자에 돌연변이가 생겼다. 이 돌연변이 유전자들끼리 쌍을 이루면 악성 빈혈이 유발되지만, 정상 유전자와 쌍을 이루면 치명적인 말라리아에 대해 저항성을 갖게 된다.

㉢. 수컷을 결정하는 Y염색체 상의 어떤 유전자에 돌연변이가 발생해, Y염색체를 가진 정자가 X염색체를 가진 정자보다 운동성이 더 커졌다. 돌연변이 유전자를 가진 정자가 더 많이 수정되어 수컷의 수는 증가하였으나, 장기적으로는 성비의 균형이 깨져 짝짓기가 힘들게 되었다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉢ ④ ㉠, ㉡ ⑤ ㉡, ㉢

21. ㉠과 부합하는 진술은?

- ① 지질학적 격변과 같이 급격한 생태 조건의 변화가 발생할 경우, 지리적으로 넓은 지역에 분포되어 있는 개체군은 그렇지 못한 개체군보다 생존에 더 유리하다.
- ② 개체들은 성공적 번식을 위한 경쟁을 피할 수 없는데, 이때 개체들은 성(性)에 따라서 선택에 유리한 형질이 다르기 때문에 성 사이에 형태학적인 차이가 생기게 된다.
- ③ 사회적 동물군에서 친족을 위한 이타성은 자연선택의 대상이 되기도 한다. 이타적 개체 자신은 희생될지라도 유전자를 공유하는 친족을 통해 자신의 유전자가 퍼져 나갈 수 있기 때문이다.
- ④ 어떤 새의 부리 형태는 건기와 우기에 따라 정반대의 선택 압력을 받는다. 그러나 긴 시간 단위로 보면 건기와 우기가 반복되므로 부리 형태의 차이는 누적되지 못하여 종 변화에까지 이르지 않는다.
- ⑤ 공격성, 영역 구분, 사회 체계 등과 같은 동물의 사회적 행동들은 생물학적 기반을 가진 것으로, 이는 인간 종에 고유한 사회, 문화적 행동들도 유전적·진화론적 틀에서 설명 가능하다는 사실을 보여 준다.

◆ 08-6평 37~39번

[37~39] 다음 글을 읽고 물음에 답하십시오.

전 세계 해양의 평균 수심은 4,000 미터 가까이 되며, 심해 저에는 태양 에너지가 도달할 수 없어서 광합성을 하는 일차 생산자가 생존할 수 없다. 심해저에 서식하는 동물은 결국 바다의 표면에서 해저로 떨어져 내리는 유기물에 의존할 수밖에 없다. 그것들은 해양 생물들이 분해되고 남은 잔존물로서 ‘바다의 눈(marine snow)’이라 불린다. 해양 생물이 죽게 되면 다른 생물의 먹이가 되거나 미생물에 의해 분해되어, 심해저에 도달할 때쯤이면 거의 남는 것이 없다. 그런 까닭에 심해저에 많은 수의 생물이 살기란 매우 어렵다. 하지만 생물은 항상 새로운 생존 방법을 찾아오지 않았던가?

1977년 생물학 역사상 가장 흥분되는 발견 중의 하나가 있었다. 일단의 해양학자들은 잠수정 엘빈 호를 이용하여 동부 태평양의 갈라파고스 제도 부근 해저 산맥에 있는 심해 열수구 지역을 탐사하고 있었다. 그들은 태양 에너지가 전혀 도달하지 못하는 그곳에서 뜻밖에도 많은 생물의 군집을 발견하였는데, 모두가 처음 보고되는 새로운 생물이었다.

수천 미터 깊이의 심해저에 있는 열수구 지역은 지각 활동으로 인해 흘러나오는 뜨거운 용출수 때문에 주변의 해수에 비해 온도가 높다. 곳에 따라서는 열수구로부터 섭씨 350도가 넘는 해수가 뿜어져 나오기도 한다. 지각 틈새에서 흘러나오는 고온의 해수에는 다양한 광물질이 녹아 있으며, 다량의 황화수소가 포함되어 있다. 그 지역에서는 검은색의 매연을 내뿜는 굴뚝과 같은 구조가 광물질의 침전으로 형성된다.

심해 열수구 지역의 우점종은 ‘리프트리아’라고 불리는 커다란 관벌레인데, 매우 독특하게 진화된 영양 방식을 갖고 있어서 입이나 소화 기관이 없다. 그 대신에 관벌레는 ‘영양체(trophosome)’라고 불리는 매우 특수한 기관이 있는데, 그 안에는 ㉠세균이 가득 차 있다. 리프트리아의 몸통은 기다란 관의 안쪽에 들어 있다. 관의 바깥쪽으로 돌출된 밝고 붉은색의 깃털구조는 아가미와 같은 역할을 하며, 이산화탄소와 산소, 그리고 황화수소를 교환한다. ㉡관벌레의 순환계는 매우 잘 발달되어 있고, 순환계 속의 혈액은 황화수소와 화학적으로 결합하는 특수한 헤모글로빈을 포함하고 있다. 그래서 관벌레는 황화수소를 세균에 충분히 공급할 수 있다. 그 세균들은 화학 합성을 통해서 관벌레에게 먹이가 될 유기물을 공급하며, 관벌레는 세균이 필요로 하는 황화수소를 비롯한 무기물을 공급한다.

이와 같이 심해 열수구에서는 화학 합성 세균이 해양의 표층에서 광합성을 하는 식물성 플랑크톤과 같은 일차 생산자의 역할을 하고 있었다. 수천 미터 깊이의 심해에서 태양 에너지에 전혀 의존하지 않는 새로운 생물이 진화되어 왔던 것이다.

37. 위 글의 내용을 가장 잘 반영한 표제와 부제는? [1점]

- ① 생명체의 신비
- 심해저 생물의 생존 방식
- ② 심해저의 생태
- 심해저 생물종 간의 먹이 사슬
- ③ 해양 생물의 역사
- 심해 열수구 진화의 현장
- ④ 심해저의 신비와 아름다움
- 바다의 오아시스인 심해 열수구 지역
- ⑤ 생물학의 역사를 비춘 일대 사건
- 엘빈 호 탐사의 생물학적 성과

38. ㉠과 ㉡의 관계가 나타난 사례로 가장 적절한 것은?

- ① 갑각류의 일종인 등각류의 일부 종들은 산호초 지역에 서식하는 어류의 표피에 붙어서 그 체액을 빨아 먹고 산다.
- ② 열대 산호초에 사는 놀래기는 곰치의 입 안에 남아 있는 찌꺼기나 곰치의 표피에 있는 기생충을 먹고 산다.
- ③ 바닷가에 사는 집게류는 소라고둥의 껍데기 안에 사는데, 성장하면서 더 큰 소라고둥의 껍데기로 옮긴다.
- ④ 바닷가에 서식하는 현화식물인 갈피는 많은 동식물의 서식처가 되거나 어류에게 산란 장소를 제공한다.
- ⑤ 이빨 고래류는 물개와 같은 해산 포유류나 다랑어와 같은 어류를 먹이로 삼기도 한다.

39. 위 글의 내용을 근거로 하여 <보기>의 천문학자가 ㉢와 같이 추론했다고 할 때, 이 추론의 개연성을 높여 줄 수 있는 증거로 가장 적절한 것은? [3점]

—<보 기>—

목성의 위성 유로파는 태양에서 너무 멀리 떨어져 있어 광합성에 충분한 태양 에너지가 도달하기 어렵다. 유로파의 표면은 두꺼운 얼음 층으로 덮여 있으며, 그 아래에는 물이 있는 것으로 생각된다. 1990년대 후반 우주 탐사선 갈릴레오 호는 유로파의 표면 사진들을 지구로 전송하였다. 이 사진들을 조사한 천문학자들은 ㉢ 유로파의 밝은 얼음 층 밑의 물에 생명체가 존재할 가능성이 있다고 말하였다.

- ① 유로파에 소행성이 충돌했다는 증거
- ② 유로파가 지각 활동을 하고 있다는 증거
- ③ 유로파의 대기에 산소가 포함되어 있다는 증거
- ④ 유로파가 태양에 점점 가까워지고 있다는 증거
- ⑤ 유로파의 얼음 층 밑의 물이 지구의 바다만큼 깊다는 증거

[37~42] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

우리는 한 대의 자동차는 개체라고 하지만 바닷물을 개체라고 하지는 않는다. 어떤 부분들이 모여 하나의 개체를 ㉠ 이룬다고 할 때 이를 개체라고 부를 수 있는 조건은 무엇일까? 일단 부분들 사이의 유사성은 개체성의 조건이 될 수 없다. 가령 일란성 쌍둥이인 두 사람은 DNA 염기 서열과 외모도 같지만 동일한 개체는 아니다. 그래서 부분들의 강한 유기적 상호작용이 그 조건으로 흔히 제시된다. 하나의 개체를 구성하는 부분들은 외부 존재가 개체에 영향을 주는 것과는 비교할 수 없이 강한 방식으로 서로 영향을 주고받는다.

상이한 시기에 존재하는 두 대상을 동일한 개체로 판단하는 조건도 물을 수 있다. 그것은 두 대상 사이의 인과성이다. 과거의 '나'와 현재의 '나'를 동일하다고 볼 수 있는 것은 강한 인과성이 존재하기 때문이다. 과거의 '나'와 현재의 '나'는 세포 분열로 세포가 교체되는 과정을 통해 인과적으로 연결되어 있다. 또 '나'가 세포 분열을 통해 새로운 개체를 생성할 때도 '나'와 '나의 후손'은 인과적으로 연결되어 있다. 비록 '나'와 '나의 후손'은 동일한 개체는 아니지만 '나'와 다른 개체들 사이에 비해 더 강한 인과성으로 연결되어 있다.

개체성에 대한 이러한 철학적 질문은 생물학에서도 중요한 연구 주제가 된다. 생명체를 구성하는 단위는 세포이다. 세포는 생명체의 고유한 유전 정보가 담긴 DNA를 가지며 이를 복제하여 증식하고 번식하는 과정을 통해 자신의 DNA를 후세에 전달한다. 세포는 사람과 같은 진핵생물의 진핵세포와, 박테리아나 고세균과 같은 원핵생물의 원핵세포로 구분된다. 진핵세포는 세포질에 막으로 둘러싸인 핵이 ㉡ 있고 그 안에 DNA가 있지만, 원핵세포는 핵이 없다. 또한 진핵세포의 세포질에는 막으로 둘러싸인 여러 종류의 세포 소기관이 있으며, 그중 미토콘드리아는 세포 활동에 필요한 생체 에너지를 생산하는 기관이다. 대부분의 진핵세포는 미토콘드리아를 필수적으로 ㉢ 가지고 있다.

이러한 미토콘드리아가 원래 박테리아의 한 종류인 원생미토콘드리아였다는 이론이 20세기 초에 제기되었다. 공생발생설 또는 세포 내 공생설이라고 불리는 이 이론에서는 두 원핵생물 간의 공생 관계가 지속되면서 진핵세포를 가진 진핵생물이 탄생했다고 설명한다. 공생은 서로 다른 생명체가 함께 살아가는 것을 말하며, 서로 다른 생명체를 가정하는 것은 어느 생명체의 세포 안에서 다른 생명체가 공생하는 '내부 공생'에서도 마찬가지이다. ㉣ 공생발생설은 한동안 생물학계로부터 인정받지 못했다. 미토콘드리아의 기능과 대략적인 구조, 그리고 생명체 간 내부 공생의 사례는 이미 알려졌지만 미토콘드리아가 과거에 독립된 생명체였다는 것을 쉽게 믿을 수 없었기 때문이었다. 그리고 한 생명체가 세대를 이어 가는 과정 중에 돌연변이와 자연선택이 일어나고, 이로 인해 종이 진화하고 분화한다고 보는 전통적인 유전학에서 두 원핵생물의 결합은 주목받지 못했다. 그러다가 전자 현미경의 등장으로 미토콘드리아의 내부까지 세밀히 관찰하게 되고, 미토콘드리아 안에는 세포핵의 DNA와는 다른 DNA가 있으며 단백질을 합성하는 자신만의 리보솜을 가지고 있다는 사실이 ㉤ 밝혀지면서 공생발생설이 새롭게 부각

되었다.

공생발생설에 따르면 진핵생물은 원생미토콘드리아가 고세균의 세포 안에서 내부 공생을 하다가 탄생했다고 본다. 고세균의 핵의 형성과 내부 공생의 시작 중 어느 것이 먼저인지에 대해서는 논란이 있지만, 고세균은 세포질에 핵이 생겨 진핵세포가 되고 원생미토콘드리아는 세포 소기관인 미토콘드리아가 되어 진핵생물이 탄생했다는 것이다. 미토콘드리아가 원래 박테리아의 한 종류였다는 근거는 여러 가지가 있다. 박테리아와 마찬가지로 새로운 미토콘드리아는 이미 존재하는 미토콘드리아의 '이분 분열'을 통해서만 ㉥ 만들어진다. 미토콘드리아의 막에는 진핵세포막의 수송 단백질과는 다른 종류의 수송 단백질인 포린이 존재하고 박테리아의 세포막에 있는 카디오리핀이 존재한다. 또 미토콘드리아의 리보솜은 진핵세포의 리보솜보다 박테리아의 리보솜과 더 유사하다.

미토콘드리아는 여전히 고유한 DNA를 가진 채 복제와 증식이 이루어지는데도, 미토콘드리아와 진핵세포 사이의 관계를 공생 관계로 보지 않는 이유는 무엇일까? 두 생명체가 서로 떨어져서 살 수 없더라도 각자의 개체성을 잃을 정도로 유기적 상호작용이 강하지 않다면 그 둘은 공생 관계에 있다고 보는데, 미토콘드리아와 진핵세포 간의 유기적 상호작용은 둘을 다른 개체로 볼 수 없을 만큼 매우 강하기 때문이다. 미토콘드리아가 개체성을 잃고 세포 소기관이 되었다고 보는 근거는, 진핵세포가 미토콘드리아의 증식을 조절하고, 자신을 복제하여 증식할 때 미토콘드리아도 함께 복제하여 증식시킨다는 것이다. 또한 미토콘드리아의 유전자의 많은 부분이 세포핵의 DNA로 옮겨 가 미토콘드리아의 DNA 길이가 현저히 짧아졌다는 것이다. 미토콘드리아에서 일어나는 대사 과정에 필요한 단백질은 세포핵의 DNA로부터 합성되고, 미토콘드리아의 DNA에 남은 유전자 대부분은 생체 에너지를 생산하는 역할을 한다. 예컨대 사람의 미토콘드리아는 37개의 유전자만 있을 정도로 DNA 길이가 짧다.

37. 윗글의 내용 전개 방식으로 가장 적절한 것은?

- ① 개체성과 관련된 예를 제시한 후 공생발생설에 대한 다양한 견해를 비교하고 있다.
- ② 개체에 대한 정의를 제시한 후 세포의 생물학적 개념이 확립되는 과정을 서술하고 있다.
- ③ 개체성의 조건을 제시한 후 세포 소기관의 개체성에 대해 공생발생설을 중심으로 설명하고 있다.
- ④ 개체의 유형을 분류한 후 세포의 소기관이 분화되는 과정을 공생발생설을 중심으로 설명하고 있다.
- ⑤ 개체와 관련된 개념들을 설명한 후 세포가 하나의 개체로 변화하는 과정을 인과적으로 서술하고 있다.

38. 윗글에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① 유사성은 아무리 강하더라도 개체성의 조건이 될 수 없다.
- ② 바닷물을 개체라고 말하기 어려운 이유는 유기적 상호작용이 약하기 때문이다.
- ③ 새로운 미토콘드리아를 복제하기 위해서는 세포 안에 미토콘드리아가 반드시 있어야 한다.
- ④ 미토콘드리아의 대사 과정에 필요한 단백질은 미토콘드리아의 막을 통과하여 세포질로 이동해야 한다.
- ⑤ 진핵세포가 되기 전의 고세균이 원생미토콘드리아보다 진핵세포와 더 강한 인과성으로 연결되어 있다.

39. 윗글을 참고할 때, ㉠의 이유로 가장 적절한 것은?

- ① 진핵세포가 세포 소기관을 가지고 있다는 사실을 알지 못했기 때문이다.
- ② 공생발생설이 당시의 유전학 이론에 어긋난다는 근거가 부족했기 때문이다.
- ③ 한 생명체가 다른 생명체의 세포 속에서 살 수 있다는 근거가 부족했기 때문이다.
- ④ 미토콘드리아가 진핵세포의 활동에 중요한 기능을 한다는 사실을 알지 못했기 때문이다.
- ⑤ 미토콘드리아가 자신의 고유한 유전 정보를 전달할 수 있다는 것을 알지 못했기 때문이다.

40. <보기>는 진핵세포의 세포 소기관을 연구한 결과들이다. 윗글을 바탕으로 할 때, 각각의 세포 소기관이 박테리아로부터 비롯되었다고 판단할 수 있는 것만을 <보기>에서 고른 것은?

<보 기>

㉠. 세포 소기관이 자신의 DNA를 가지고 있다는 것과 이분분열을 한다는 것을 확인하였다.

㉡. 세포 소기관이 자신의 DNA를 가지고 있다는 것과 진핵세포의 리보솜을 가지고 있다는 것을 확인하였다.

㉢. 세포 소기관이 막으로 둘러싸여 있다는 것과 막에는 수송단백질이 있는 것을 확인하였다.

㉣. 세포 소기관이 막으로 둘러싸여 있다는 것과 막에는 다량의 카디올리핀이 있는 것을 확인하였다.

- ① ㉠, ㉢ ② ㉠, ㉣ ③ ㉡, ㉢ ④ ㉡, ㉣ ⑤ ㉢, ㉣

41. 윗글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]

<보 기>

- 복어는 테트로도톡신이라는 신경 독소를 가지고 있지만 테트로도톡신을 스스로 만들지 못하고 체내에서 서식하는 미생물이 이를 생산한다. 복어는 독소를 생산하는 미생물에게 서식처를 제공하는 대신 포식자로부터 자신을 방어할 수 있는 무기를 갖게 되었다. 만약 복어의 체내에 있는 미생물을 제거하면 복어는 독소를 가지지 못하나 생존에는 지장이 없었다.
- 실험실의 아메바가 병원성 박테리아에 감염되어 대부분의 아메바가 죽고 일부 아메바는 생존하였다. 생존한 아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아는 스스로 복제하여 증식할 수 있었고 더 이상 병원성을 지니지는 않았다. 아메바에게는 무해하지만 박테리아에게는 치명적인 항생제를 아메바에게 투여하면 박테리아와 함께 아메바도 죽었다.

- ① 병원성을 잃은 ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’는 세포 소기관으로 변한 것이겠군.
- ② 복어의 ‘체내에서 서식하는 미생물’은 ‘복어’와의 유기적 상호작용이 강해진다면 개체성을 잃을 수 있겠군.
- ③ 복어의 세포가 증식할 때 복어의 체내에서 ‘독소를 생산하는 미생물’의 DNA도 함께 증식하는 것은 아니겠군.
- ④ ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’가 개체성을 잃었다면 ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’의 DNA 길이는 짧아졌겠군.
- ⑤ ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’와 ‘아메바’ 사이의 관계와 ‘복어’와 ‘독소를 생산하는 미생물’ 사이의 관계는 모두 공생 관계이겠군.

42. 문맥상 ㉠~㉣와 바꿔 쓰기에 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠: 구성(構成)한다고
- ② ㉡: 존재(存在)하고
- ③ ㉢: 보유(保有)하고
- ④ ㉣: 조명(照明)되면서
- ⑤ ㉤: 생성(生成)된다

◆ 10-6평 36~37번

[36~37] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

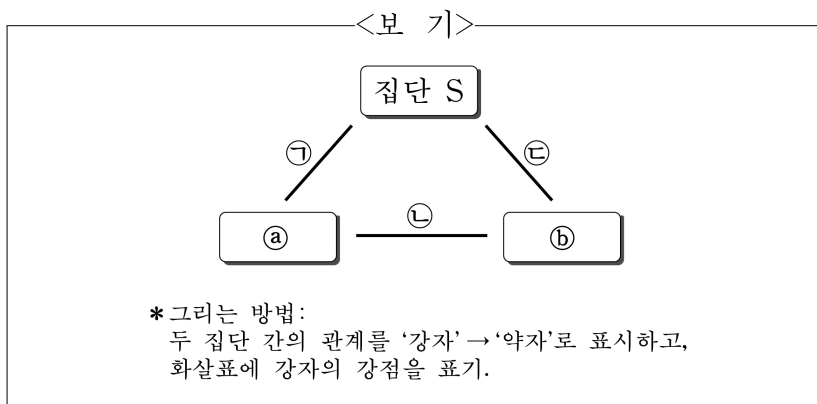
가위, 바위, 보! 무엇을 내느냐에 따라 서로의 승패는 확연히 갈리지만 이 게임의 묘미는 영원한 승자도, 영원한 패자도 없다는 데 있다. 이렇게 서로 끝없이 물고 물리는 가위바위보의 관계가 생물 다양성을 설명하기 위한 모델이 될 수 있다는 연구가 있어 눈길을 끈다.

[A] 한 연구팀은 동물의 장내에 서식하는 대장균 중 서로 다른 세 집단 간의 증식 경쟁에서 가위바위보의 관계를 관찰했다. ‘집단 C’는 콜리신이라는 독소를 생산하고, ‘집단 S’는 다른 집단에 비해 빠른 속도로 증식하지만 콜리신에 의해 증식이 억제된다. ‘집단 R’은 ‘집단 C’보다 빠르고 ‘집단 S’보다 느린 증식 속도를 가진 반면 콜리신에 저항성을 지닌다. 세 집단 중 두 집단씩을 각각 섞어 배양하면 증식 속도의 차이로 인해 집단 간 증식 경쟁에 따른 승패가 확실하다. 반면 세 집단을 서로 인접시켜 배양하면, 각 두 집단 간의 경계에서는 일방적으로 영역을 침범하는 현상이 나타나지만, 결과적으로 가위바위보의 관계처럼 서로 물고 물리는 삼자 간의 공존 관계가 관찰된다.

다른 연구팀은 생쥐들의 장내에 세 대장균 집단을 투여한 후 각 집단 간의 증식 경쟁을 살폈다. 그 결과 한 시점에는 생쥐 개체별로 어느 한 집단이 우세했지만, 시간이 지나면서 우세한 집단이 일정한 순서로 계속 바뀌는 것을 발견했다. 이는 서로 격리된 여러 공간에서 세 집단이 동시에 우세 집단으로 존재할 수 있음을 의미하기도 한다.

위 사례는 생태계에서 절대 강자가 없을 수도 있음을 보여주는 좋은 본보기로 거론된다. 생물 간 경쟁을 설명하는 방식 중 승패가 명확한 양자 간의 관계에 비해, 삼자의 병존 가능성을 보여주는 가위바위보의 관계는 생물 다양성의 설명에 보다 적합한 모델이 될 수 있다.

36. [A]의 내용을 <보기>와 같이 그렸을 때, ㉠~㉣과 ㉠, ㉡에 들어갈 내용이 바르게 짝지어진 것은? [3점]



| | 화살표의 방향 설정 | 강점 | 집단 |
|---|------------|----------------|---------|
| ① | 모두 시계 방향 | ㉠: 콜리신 생산 | ㉡: 집단 R |
| ② | 모두 시계 방향 | ㉠: 증식 속도 | ㉡: 집단 C |
| ③ | 모두 시계 방향 | ㉡: 저항성 및 증식 속도 | ㉡: 집단 R |
| ④ | 모두 반시계 방향 | ㉡: 콜리신 생산 | ㉡: 집단 C |
| ⑤ | 모두 반시계 방향 | ㉣: 증식 속도 | ㉡: 집단 C |

37. 위 글의 대장균에 대한 실험 결과를 검토하여 해석한 내용으로 적절하지 않은 것은?

- ① 대장균 세 집단을 동일한 비율로 섞어서 배양한다면, 콜리신을 생산하는 집단이 가장 먼저 우세하게 나타나는 집단이 되겠군.
- ② 독소의 생산에 따른 저항성 집단의 출현이 필연적이라면, 독소의 생산은 생물 다양성을 증가시키는 요인이 된다고 할 수 있겠군.
- ③ 생쥐 실험 내용이 다른 포유동물의 경우에도 적용된다면, 토끼 등을 이용해 동일한 실험을 반복하더라도 비슷한 결과를 얻을 수 있겠군.
- ④ 생쥐를 이용한 실험에서 생쥐의 수를 늘려 실험한다면, 각 대장균 집단의 우세가 균등하게 분포하는지의 여부를 판단할 수 있겠군.
- ⑤ 생쥐 내장이란 격리된 공간에서 우세한 집단이 일정한 순서로 바뀐다면, 그 변화 순서는 가위바위보의 관계로부터 예측이 가능하겠군.

◆ 12년 7월 고3 40~43번

[40 ~ 43] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

발생(發生)이란 단세포의 수정란이 세포의 증식, 분화, 형태 형성을 거쳐 수십억 개의 세포로 이루어진 복잡한 개체가 되는 과정을 일컫는다. 다윈 시대부터 생물학자들은 진화와 발생이 밀접한 관련을 맺고 있음에 주목했다. 즉, 단순한 생명체가 세대를 거듭하며 점차 복잡한 생명체로 진화하는 것이 발생과 비슷하다고 ①생각한 것이다. 이러한 발생에서 출발한 진화발생생물학인 이보디보(EVO DEVO)는 공통의 조상 관계를 밝히기 위해 생물들의 발생 과정을 비교하여 발생 과정상의 진화에 대해 연구하는 학문이다.

이보디보는 발생 과정에서 생물의 부위 형성을 조절하는 ‘호메오 유전자’의 발견을 통해 학문적 지위를 획득할 수 있었다. 미국의 생물학자 루이스와 그의 동료들은 초파리의 호메오 유전자 연구 과정에서, 호메오 유전자들이 세포 내의 유전자 복제 과정을 정교하게 작동시키는 지휘통제소와 같은 역할을 담당한다는 사실을 알게 되었다.

초파리에서 호메오 유전자를 발견한 이후, 선충에서 코끼리까지 모든 동물에서 호메오 유전자의 존재가 확인되었다. 예를 들어 쥐에게서도 호메오 유전자가 발견되었는데, 초파리의 경우처럼 유전자들의 배열 순서가 그들이 영향을 미치는 신체 부위의 순서와 일치하였다. 이는 호메오 유전자의 유사성이 발생 순서, 복합체 조직을 이루는 방식에까지 똑같이 영향을 준다는 것을 의미한다. 즉, ②계통적으로 아주 동떨어진 것처럼 보이는 종에서도 호메오 유전자가 매우 유사한 기능을 하게끔 보존되어 있다는 것이다.

한 예로, 눈의 발생과 관련된 유전자는 초파리에서는 아이리스 유전자이고, 쥐의 경우에는 스몰아이 유전자이다. 이 들처럼 동물들의 눈을 형성하는 유전자를 팍스-6(Pax-6) 유전자라고 한다. 초파리와 같은 곤충의 눈은 겹눈이기 때문에 쥐와 같은 척추동물의 눈과는 구조와 재료, 그리고 작동 방식에서 엄청난 차이가 있다. 그런데 초파리의 아이리스 유전자를 생쥐에게, 생쥐의 스몰아이 유전자를 초파리에게 이식시켰을 때 두 경우 모두 유전자를 제공한 종이 아닌, 실험 대상 종에게 맞는 정상적인 눈이 발생한 것이다. 또한 초파리의 다리 발생 유전자 자리에 생쥐의 스몰아이 유전자를 이식했더니 초파리 다리에 초파리의 눈 조직이 발생한다는 사실도 확인하였다. 따라서 초파리와 쥐의 공통조상이 팍스-6과 같은 호메오 유전자를 사용했으며, 진화의 과정에서 이러한 유전자가 계속하여 재사용되고 보존되었음을 추

정할 수 있다.

이처럼 초파리의 호메오 유전자의 발견에서 출발한 이보디보는 정설로 여겨졌던 진화생물학의 논리에 대항하여 진화와 발생의 오케스트라를 유전자가 지휘하고 있음을 보여주었다. 즉 생명체의 중요한 발생 과정을 조절하는 유전자가 있으며, 이 유전자의 체계가 변하는 것이 바로 진화임을 역설하고 있는 것이다.

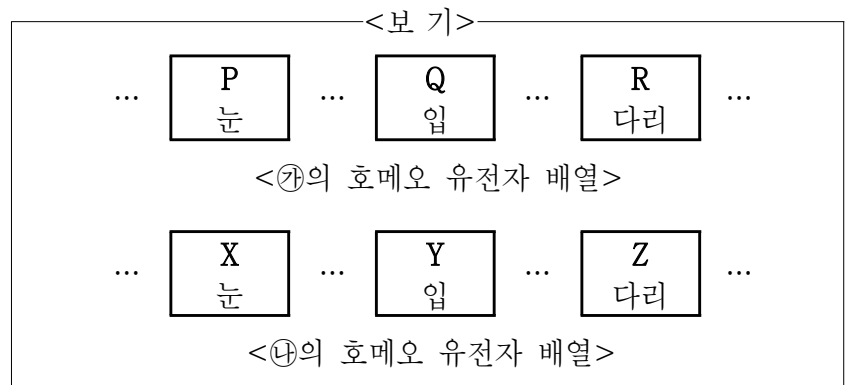
40. 위 글의 글쓰기 전략으로 적절하지 않은 것은?

- ① 개념을 정의하며 대상에 대해 설명하고 있다.
- ② 대상의 의미를 언급하며 글을 마무리하고 있다.
- ③ 구체적 사례를 제시하여 독자의 이해를 돕고 있다.
- ④ 통계 자료를 이용하여 글의 신뢰성을 높이고 있다.
- ⑤ 유사한 속성에 비유하여 대상의 역할을 드러내고 있다.

41. ㉠을 유추를 통해 설명하고자 할 때, 그 사례로 가장 적절한 것은?

- ① 다양하게 변주되는 재즈의 기본 선율
- ② 필요한 정보를 찾도록 도와주는 검색 사이트
- ③ 인간을 대신해 위험한 작업을 하는 탐사용 로봇
- ④ 고속도로에 진입하기 위해 통과해야 하는 톨게이트
- ⑤ 대용량의 정보를 빠르게 담을 수 있는 컴퓨터 하드디스크

42. <보기>는 ㉡, ㉢ 두 생물의 호메오 유전자 배열을 간단하게 도식화한 것이다. 위 글을 바탕으로 이해한 것으로 적절하지 않은 것은? [3점]



- ① P와 X도 팍스-6 유전자로 볼 수 있겠군.
- ② Q를 Z에 이식하면 ㉢에는 다리에 입 조직이 발생하겠군.
- ③ Z를 R로 대체하면 ㉢의 다리 대신 ㉡의 다리가 발생하겠군.
- ④ ㉡와 ㉢의 공통 조상들도 팍스-6과 같은 호메오 유전자를 가지고 있었겠군.
- ⑤ Q와 R의 위치를 바꾼다면 ㉡는 ‘눈-다리-입’의 신체구조를 지닌 개체로 발생하겠군.

43. ㉡의 의미를 포함하고 있는 말로 볼 수 없는 것은? [1점]

- ① 학생들은 요즘 유행하는 음악을 들었다.
- ② 그들은 한때 돈벌이에만 관심을 가졌다.
- ③ 그는 잠시 어머니에 대한 기억을 떠올렸다.
- ④ 이번에 그녀에게 청혼하려고 마음을 먹었다.
- ⑤ 나는 문득 그가 보고 싶다는 느낌이 들었다.

- 출전: 선 B. 캐럴 저. 김명남 역. 《이보디보, 생명의 블랙박스를 열다》. (지호, 2007)

- 정답: 40.④ 41.① 42.③ 43.①

◆ 21 LEET 언어이해 25~27번

[25~27] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

암세포의 대사 과정은 정상 세포와 다른 것으로 알려져 있다. 오토 바르부르크가 발표한 '바르부르크 효과'에 따르면 암세포는 '해당작용'을 주된 에너지 획득 기전으로 수행하고 또 다른 에너지 획득 방법인 '산화적 인산화'는 억제한다.

세포는 영양분으로 섭취한 큰 분자를 작은 분자로 쪼개는 과정을 통해 ATP를 생성하는데 이 과정을 '이화작용'이라고 한다. 또한 ATP와 같은 고에너지 분자의 에너지를 이용하여 세포의 성장과 분열을 위해 작은 분자로부터 단백질, 핵산과 같은 거대 분자를 합성하는 과정을 '동화작용'이라고 한다. 이화작용을 통해 ATP를 생산하기 위해 세포는 영양 물질을 내부로 수송하는데, 가장 대표적인 영양 물질인 포도당은 세포 내부로 이동하여 해당작용과 산화적 인산화를 통해 작은 분자로 분해된다. 이론적으로 포도당 1개가 가지고 있는 에너지가 전부 ATP로 전환될 경우 36개 또는 38개의 ATP가 만들어진다. 이 중 2개의 ATP는 세포질에서 일어나는 해당작용을 통해, 나머지는 미토콘드리아에서 대부분 산화적 인산화를 통해 만들어진다.

해당작용과 산화적 인산화는 수행되는 장소도 다르지만 요구 조건도 다르다. 해당작용에는 산소가 필요하지 않지만, 산화적 인산화에는 필수적이다. 세포 내부에 산소가 부족하면 산화적 인산화는 일어나지 못하고 해당작용만 진행되며, 이 경우에는 해당작용의 최종 산물인 피루브산이 젖산으로 바뀌는 젖산 발효가 일어난다. 심폐 기능에 비해 과격한 운동을 하였을 때 근육 세포에서 생성된 젖산이 근육에 축적된다. 젖산 발효 과정은 해당작용에 필요한 조효소 NAD⁺의 재생산을 위해 필수적이다. NAD⁺로부터 해당작용의 또 다른 생성물인 조효소 NADH가 생성되기 때문이다. 해당작용에서 포도당 1개가 2개의 피루브산으로 분해될 때 NADH가 2개 만들어지고, NADH 1개당 3개의 ATP를 산화적 인산화를 통해 만들 수 있는데, 젖산 발효를 하는 세포는 NADH를 에너지가 낮은 상태인 NAD⁺로 전환하는 손해를 감수한다.

바르부르크 효과는 산소가 있어도 해당작용을 산화적 인산화에 비해 선호하는 암세포 특이적 대사 과정인 '유산소 해당작용'을 뜻한다. 암세포가 더 빨리 분열하는 악성 암세포로 변하면 산화적 인산화에 대한 의존을 줄이고 해당작용에 대한 의존이 증가한다. 약물 처리 등으로 그 반대의 경우가 되면, 해당작용에 대한 의존이 줄고 산화적 인산화에 대한 의존이 증가한다. 유산소 해당작용을 수행하는 암세포는 포도당 1개당 ATP 2개만을 생산하는 효율이 떨어지는 해당작용에 에너지 생산을 대부분 의존하므로 정상 세포에 비해 포도당을 더 많이 세포 내부로 수송하고 젖산을 생산한다.

바르부르크 효과의 원인에 대해 다음 세 가지 설명이 있다. 첫 번째는 암세포의 빠른 성장 때문에 세포의 성장에 필요한 거대 분자를 동화작용을 통해 만들기 위해 해당작용의 중간 생성 물질을 동화작용의 재료로 사용하려고 해당작용에 집중한다는 것이다. 두 번째는 체내에서 암세포의 분열로 암 조직의 부피가 커져서 산소가 그 내부까지 충분히 공급되지 못하기 때문에 암세포가 산소가 없는 환경에 적응하도록 진화했다는 것이다. 세 번째는 미토콘드리아의 기능을 암세포가 억제하여 미토콘드리아에 의해 유발되는 세포 자살 프로그램의 실행을 방해함으로써 스스로의 사멸을 막으려 한다는 이론이다. 바르부르크는 이러한 암세포

특이적 대사과정의 변이를 발암의 원인으로 설명하였다. 그러나 최근의 연구에서는 발암 유전자의 활성화와 암 억제 유전자에 생기는 돌연변이가 주된 발암 원인이고, 바르부르크 효과는 암의 원인이라기보다는 그러한 돌연변이에 의한 결과로 발생하는 것으로 밝혀졌다.

25. 윗글과 일치하는 것은?

- ① 해당작용의 산물 중 NADH는 미토콘드리아에서 ATP를 추가로 생산하는 데 사용되지 않는다.
- ② 해당과정 중 소비되는 NADH의 재생산은 해당작용의 지속적 수행에 필수적이다.
- ③ 심폐기능에 비해 과격한 운동을 하면 근육에서 젖산은 늘어나고 NAD⁺는 줄어든다.
- ④ 동화작용에서 거대 분자를 만들 때 해당작용의 중간 생성물이 사용된다.
- ⑤ 바르부르크 효과에 의해 암 억제 유전자의 돌연변이가 유발된다.

26. 윗글에서 추론한 것으로 적절하지 않은 것은?

- ① 미토콘드리아의 기능이 상실되면 NADH로부터 ATP를 만들지 못한다.
- ② 유산소 해당작용을 수행하는 암세포는 산소가 충분히 존재할 때에도 해당과정의 산물을 NAD⁺와 젖산으로 전환시킨다.
- ③ 포도당 1개가 가지고 있는 에너지가 전부 ATP로 전환될 때 미토콘드리아에서 34개 또는 36개의 ATP가 만들어진다.
- ④ 포도당 1개가 피루브산 2개로 분해되었고 이때 생성된 조효소의 에너지도 모두 미토콘드리아에서 ATP로 전환되었다면, 이 과정에서 생성된 ATP는 모두 8개이다.
- ⑤ 암세포의 유산소 해당작용 과정 중 포도당 1개당 생산되는 ATP의 개수는 정상세포의 산소가 있을 때 수행되는 해당작용의 과정 중 포도당 1개당 생산되는 NADH의 개수보다 많다.

27. 윗글과 <보기>를 바탕으로 한 설명으로 가장 적절한 것은?

<보 기>

암을 진단하기 위해 사용되는 PET(양전자 방출 단층촬영)는 방사성 포도당 유도체를 이용하는 핵의학 검사법이다. 방사성 포도당 유도체는 포도당과 구조적으로 유사하여 암 조직과 같은 포도당의 흡수가 많은 신체 부위에 수송되어 축적되므로 단층 촬영을 통해 체내에서 양전자를 방출하는 방사성 포도당 유도체의 분포를 추적할 수 있다.

- ① 피루브산이 젖산으로 전환되는 양이 증가하면 방사성 포도당 유도체의 축적이 줄어들 것이다.
- ② 포도당이 피루브산으로 전환되는 양이 감소하면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 것이다.
- ③ 세포 내부의 산소가 줄어들어도 동일한 양의 ATP를 생성하려면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 것이다.
- ④ ATP의 생성을 해당작용에 좀 더 의존하도록 대사 과정의 변화가 일어난다면 방사성 포도당 유도체의 축적이 줄어들 것이다.
- ⑤ ATP의 생성을 산화적 인산화에 좀 더 의존하도록 대사 과정의 변화가 일어난다면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 것이다.