

[23~25] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

-2021 LEET [25~27]

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.

23. 윗글의 내용과 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.

24. 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<sup>+</sup>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.

25. 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.

[23~25]

문장 단위 해설 - #1문단

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.

암세포의 대사 과정이 핵심 키워드라는 것은 파악할 수 있겠죠? '바르부르크 효과'가 이를 설명하고 있으니 연결하여 생각해주시면 되겠습니다. 첫 문단에서 핵심 키워드이자 화제를 제시해줬으니 앞으로 암세포의 대사 과정에 대한 내용들이 전개될 거라고 생각할 수 있겠네요.

암세포의 대사 과정은 정상 세포와 다른 것으로 알려져 있다.

암세포의 대사 과정은 정상 세포의 대사 과정과 다르다고 합니다. 뒤에서 어떻게 다른지 제시될 테니 비교지점 잡아줘야겠다고 생각하고 넘어가면 되겠습니다. 앞으로 이를 중심으로 내용이 전개되겠어요. 화제로 잡고 가겠습니다.

**\*대사 과정 : 물질이 생성, 분해되는 과정**

오토 바르부르크가 발표한 '바르부르크 효과'에 따르면 암세포는 '해당작용'을 주된 에너지 획득 기전으로 수행하고 또 다른 에너지 획득 방법인 '산화적 인산화'는 억제한다.

오토 바르부르크가 암세포의 대사 과정에 대해 설명합니다. 즉, 서술의 초점이 암세포에 있네요. 암세포의 대사 과정을 '바르부르크 효과'를 통해 설명하고 있습니다. 이 개념과 연결 지어서 암세포의 대사 과정을 이해하시면 되겠습니다. 암세포는 '해당작용'을 주된 에너지 획득 기전으로 수행한다고 해요. '해당작용'이 무엇인지는 몰라도 이게 암세포의 에너지 획득 수단입니다. 그리고 암세포는 '산화적 인산화'는 억제한다고 하네요. 이때 억압되는 '산화적 인산화'도 에너지 획득 방법입니다.

여기서 비교지점 잡고 갈 수 있겠네요. '해당작용'과 '산화적 인산화' 모두 에너지 획득 방법이지만, 암세포에 대응되는 것은 '해당작용'입니다. 자연스럽게 정상 세포에 대응되는 것은 '산화적 인산화'라고 생각할 수 있겠죠? 암세포와 정상 세포 대사과정의 비교가 화제였으니까 연결하면서 생각하고 넘어가겠습니다.

## #2문단

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.

이화작용과 동화작용이라는 개념이 제시되었습니다. 이는 개념상 그리고 흐름상 대사 과정과 연결된 내용이에요. 따라서 뜬금없는 개념이 등장했다고 생각하지 마시고 화제와 연결 지어서 생각해주시면 되겠습니다. 1문단에서 나왔던 '해당작용'과 '산화적 인산화' 개념도 등장하고 있으니 앞 내용을 떠올리며 읽어주시는 것이 좋겠습니다.

세포는 영양분으로 섭취한 큰 분자를 작은 분자로 쪼개는 과정을 통해 ATP를 생성하는데 이 과정을 '이화작용'이라고 한다.

'이화작용' 개념의 정의를 제시해주는 문장입니다. '이화작용'은 세포가 영양분으로 섭취한 큰 분자를 작은 분자로 쪼개는 과정이네요. 분자가 쪼개지고 있으니 분해된다고 볼 수 있겠습니다. 따라서 대사 과정과 연결지어서 생각하셨어야 해요! 대사 과정이 물질이 생성, 분해되는 과정이었으니까요. 또한, 화제가 암세포의 대사 과정이었습니다. 이 문장 또한 '대사 과정'에 대한 내용이니 화제와 연결하여 읽어줘야 합니다.

이화작용을 통해 ATP를 생성합니다. 이게 뭔지는 모르겠지만 대사 과정을 통해 얻은 것이라고 잡고 넘어가겠습니다.

또한 ATP와 같은 고에너지 분자의 에너지를 이용하여 세포의 성장과 분열을 위해 작은 분자로부터 단백질, 핵산과 같은 거대 분자를 합성하는 과정을 '동화작용'이라고 한다.

이번에는 '동화작용' 개념을 정의해주는 문장입니다. '동화작용'은 세포의 성장과 분열을 위해 작은 분자로부터 거대 분자를 합성하는 과정이네요. 이것도 대사 과정입니다. 그리고 이때 ATP 같은 고에너지 분자의 에너지가 사용됩니다. 비교 지점 잡고 가시면 되겠어요.

앞 문장과 동일한 구조여서 여기까지만 파악하고 넘어가실 수도 있는데 체크할 포인트가 조금 더 있습니다. 우선, 앞 문장에서는 ATP가 무엇인지 제대로 설명해주지 않았어요. 이 문장에서 파악할 수 있습니다. 고에너지 분자의 일종이라고 생각할게요. 그리고 단백질, 핵산 같은 거대 분자라고 하였으니 단백질과 핵산이 거대 분자의 예시라고 파악할 수 있겠습니다.

'이화작용'과 '동화작용'의 차이가 극명하니까 비교지점 잡아서 정리하고 넘어갈게요.

**이화작용 : 큰 분자를 작은 분자로 쪼갬 (ATP 획득)**

**동화작용 : 작은 분자를 큰 분자로 합성함 (ATP 사용)**

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.

이화작용을 통해 ATP를 생산하기 위한 과정을 제시해주고 있습니다. 우선, 세포가 영양 물질을 내부로 수송해요. 그리고 영양 물질 포도당이 세포 내부로 이동합니다. 같은 말로 받아들이셔야 해요. 이후에 해당작용과 산화적 인산화를 통해 작은 분자로 분해되네요. 해당작용과 산화적 인산화는 앞에서 에너지를 획득하는 방법이라고 나왔었죠? ATP는 고에너지 분자였으니 납득하는 데 어려움이 없겠습니다. 또한, 포도당이 대표적인 영양 물질이라는 정보도 제시되었어요. 사실상 상식에 해당하는 내용이라 당연하게 받아들이셨어야 합니다. 이제 이화작용을 통해 ATP를 획득하는 과정만 정리하고 넘어가겠습니다.

1. 세포가 영양 물질을 내부로 수송
2. 해당작용과 산화적 인산화를 통해 영양 물질을 작은 분자로 분해
3. ATP 획득

이론적으로 포도당 1개가 가지고 있는 에너지가 전부 ATP로 전환될 경우 36개 또는 38개의 ATP가 만들어진다.

포도당은 대표적인 영양 물질이었죠. 포도당 1개의 에너지를 전부 ATP로 전환하면 36개 혹은 38개의 ATP가 만들어진다고 해요. 구체적인 수치를 제시해주었으니 물어보면 와서 확인하면 되겠습니다.

이 중 2개의 ATP는 세포질에서 일어나는 해당작용을 통해, 나머지는 미토콘드리아에서 대부분 산화적 인산화를 통해 만들어진다.

해당작용과 산화적 인산화 모두 에너지를 획득하는 방법이었고 이화작용에서 쓰였죠. 해당작용을 통해 2개의 ATP를 만들고 나머지는 산화적 인산화를 통해 만들어진다고 합니다. 즉, 산화적 인산화가 해당작용보다 효율적이라는 겁니다. 더 많은 ATP를 만들어 내니까요!

그리고 두 방법이 일어나는 장소가 다릅니다. 해당작용은 세포질, 산화적 인산화는 미토콘드리아에서 이루어집니다. 비교지점 잡고 넘어갈게요.

**해당작용 : 에너지 획득 방법, 암세포의 대사 과정, 세포질에서 수행, 적은 ATP 생성**  
**산화적 인산화 : 에너지 획득 방법, 정상 세포의 대사 과정, 미토콘드리아에서 수행, 많은 ATP 생성**

### #3문단

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  $NADH$ 가 생성되기 때문이다. 해당작용에서 포도당 1개가 2개의 피루브산으로 분해될 때  $NADH$ 가 2개 만들어지고,  $NADH$  1개당 3개의 ATP를 산화적 인산화를 통해 만들 수 있는데, 젖산 발효를 하는 세포는  $NADH$ 를 에너지가 낮은 상태인  $NAD^+$ 로 전환하는 손해를 감수한다.

해당작용과 산화적 인산화의 비교가 이어지고 있습니다. 서술의 초점 잡고 비교지점 계속 잡아가면서 읽어주시는 것이 좋겠습니다. 추가로 젖산,  $NAD^+$ ,  $NADH$  등 여러 키워드들이 설명되고 있으니 구분하여 잘 파악해주시는 것이 중요하겠습니다. 자세한 건 한 문장씩 읽으면서 확인할게요.

해당작용과 산화적 인산화는 수행되는 장소도 다르지만 요구 조건도 다르다.

비교지점이 추가되었습니다. 지문의 흐름이 이어지고 있으니 앞 내용과 연결하여 생각해줄게요. 해당작용은 세포질에서, 산화적 인산화는 미토콘드리아에서 수행되었죠. 장소에 차이가 있었습니다. 그런데, 새로운 비교지점이 추가되었습니다. 요구 조건도 다르다고 하네요. 해당작용과 산화적 인산화의 요구 조건이 어떻게 다른지는 뒤에서 제시하겠습니다.

해당작용에는 산소가 필요하지 않지만, 산화적 인산화에는 필수적이다.

해당작용과 산화적 인산화의 차이점을 분명하게 제시해주네요. 산소 필요성 유무에서 차이가 있습니다. 해당작용에는 산소가 필요하지 않고, 산화/적/인산화에는 '산소'가 필수적이네요. 비교지점 정리하고 가겠습니다.

**해당작용 : 에너지 획득 방법, 암세포의 대사 과정, 세포질에서 수행, 적은 ATP 생성, 산소 필요 X**  
**산화적 인산화 : 에너지 획득 방법, 정상 세포의 대사 과정, 미토콘드리아에서 수행, 많은 ATP 생성, 산소 필요 O**

세포 내부에 산소가 부족하면 산화적 인산화는 일어나지 못하고 해당작용만 진행되며, 이 경우에는 해당작용의 최종 산물인 피루브산이 젖산으로 바뀌는 젖산 발효가 일어난다.

산화적 인산화에는 산소가 필요하기 때문에, 세포 내부에 산소가 부족하면 해당작용만 진행됩니다. 그러면 해당작용의 최종 산물인 피루브산이 젖산으로 바뀐다고 해요. 이게 젖산 발효입니다. 산소가 부족할 때 해당작용이 진행되면 젖산 발효가 일어나네요. 젖산 발효의 과정이라고 볼 수 있겠습니다.

심폐 기능에 비해 과격한 운동을 하였을 때 근육 세포에서 생성된 젖산이 근육에 축적된다.

우선, '심폐 기능에 비해 과격한 운동을 하였을 때'는 산소가 부족할 때라고 받아들일 수 있습니다. 일상생활에 대입해도 무리하게 운동을 하면 산소가 부족하죠. 이러면 세포에서 생성된 젖산이 근육에 축적된다고 합니다. 사실상 앞 문장의 재진술 문장이네요.

위에서 말씀드린 것처럼 심폐 기능에 비해 과격한 운동을 한 상황을 산소가 부족한 상황으로 바꿔서 받아들이지 못하셨을 수도 있어요. 그렇다 하더라도 '근육 세포에서 생성된 젖산'이라는 표현을 통해 알아주셔야 합니다. 산소가 부족할 때 해당작용을 통해 세포에서 젖산이 생성되는 것을 바로 앞에서 확인해주었으니까요!

젖산 발효 과정은 해당작용에 필요한 조효소  $NAD^+$ 의 재생산을 위해 필수적이다.

젖산 발효 과정은  $NAD^+$ 의 재생산을 위해 필수적이라고 합니다. 즉, 젖산 발효 과정을 통해 조효소  $NAD^+$ 의 재생산이 이루어진다는 거네요. 그리고 조효소  $NAD^+$ 는 해당작용에 필요한 것입니다. 그런데, 젖산 발효 과정은 해당작용을 통해 이루어졌어요. 순환되는 느낌을 받으셨어야 합니다. 해당작용 → 젖산 발효 과정 → 조효소  $NAD^+$  재생산 (해당작용에 필요)의 구조를 보입니다.

$NAD^+$ 로부터 해당작용의 또 다른 생성물인 조효소  $NADH$ 가 생성되기 때문이다.

$NAD^+$ 의 재생산이 해당작용에 필수적인 이유를 설명해주고 있네요.  $NAD^+$ 로부터 조효소  $NADH$ 가 생성되었기 때문입니다. 조효소  $NADH$ 는 해당작용의 또 다른 생성물이네요. 위에서는 해당작용의 최종 산물로 피루브산이 나왔었죠. 조효소  $NADH$ 도 피루브산처럼 해당작용의 생성물로 정리하고 넘어가겠습니다.

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.

구체적인 수치가 제시되었습니다. 외우려하지 마시고 체크해두고 물어보면 확인해줄게요. 해당작용에서 포도당 1개가 2개의 피루브산으로 분해되고 이 과정에서 NADH가 2개 만들어진다고 합니다. 그리고 NADH 1개당 3개의 ATP를 산화적 인산화를 통해 만들 수 있다고 해요. 지금 이 과정은 산화적 인산화를 통해 이루어졌습니다. 그럼 NADH가 미토콘드리아로 이동했을 거라고 생각해주셨겠죠? 산화적 인산화가 일어나는 장소니까요!

그런데, 젖산 발효를 하는 세포는 NADH를 에너지가 낮은 상태인  $NAD^+$ 로 전환하는 손해를 감수한다고 합니다. 왜 그런지 파악해볼게요. 우선, 젖산 발효는 산소가 부족할 때 해당작용을 통해 이루어졌습니다. 하지만, 산화적 인산화는 산소를 필요로 했어요. 즉, 산소가 부족하여 산화적 인산화가 이루어지지 못하니 NADH를 사용할 수가 없습니다. 그래서 NADH가  $NAD^+$ 보다 에너지가 높은 상태더라도 사용할 수 없으니 손해를 감수하고 에너지가 낮은 상태인  $NAD^+$ 로 전환하는 거네요. 그러면  $NAD^+$ 는 산소가 없는 상황에서도 사용될 수 있다고 생각할 수 있을 겁니다. 그리고 앞에서  $NAD^+$ 가 해당작용에 필요하다고 했었죠. 이해하기 어렵지 않겠습니까.

#### #4문단

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.

3문단에서 확인한 내용이 화제와 연결되고 있습니다. 암세포의 대사 과정에는 해당작용이 사용되었어요. 앞 내용과 연결하여 이해하시는 것이 중요합니다. 또한, 암세포 - 악성 암세포 - 약물 처리 등으로 변한 암세포로 구분되고 있으니 비교지점도 잡으면서 넘어가야겠네요. 그러면 한 문장씩 확인하겠습니다.

바르부르크 효과는 산소가 있어도 해당작용을 산화적 인산화에 비해 선호하는 암세포 특이적 대사 과정인 '유산소 해당작용'을 뜻한다.

바르부르크 효과의 정의를 제시해주고 있습니다. 우선 앞에서 확인했듯이, 산화적 인산화가 해당작용보다 더 효율적이었습니다. 그리고 해당작용은 산화적 인산화와 달리 산소를 필요로 하지 않았어요.

바르부르크 효과는 '유산소 해당작용'을 뜻한다고 합니다. 이는 암세포가 산소가 있어도 해당작용을 선호하는 특이한 대사 과정입니다. 산소가 있으면 산화적 인산화를 사용하는 것이 더 효율적인데 해당작용을 선호하니 특이하다고 이해해 주시면 되겠어요. 암세포가 해당작용을 선호하는 것은 1문단에서도 확인한 내용입니다. 화제와 연결되는 내용이죠? 다시 한 번 잡고 넘어갈게요.

암세포가 더 빨리 분열하는 악성 암세포로 변하면 산화적 인산화에 대한 의존을 줄이고 해당작용에 대한 의존이 증가한다.

악성 암세포는 더 빨리 분열하는 특징을 지녔네요. 대사 과정이 활발해진다고 볼 수 있겠습니다. 그리고 암세포가 악성 암세포가 되면 산화적 인산화에 대한 의존은 줄이고 해당작용에 대한 의존이 증가합니다. 산화적 인산화보다 해당작용을 선호하는 것은 암세포의 특징이기 때문에 당연하게 받아들여지면 되겠어요. 혹은, 해당작용과 산화적 인산화 모두 에너지 획득방법이었으니 해당작용에 대한 의존이 늘어난 만큼, 산화적 인산화에 대한 의존이 줄었다고 납득하셔도 좋겠습니다. 따라서 악성 암세포가 되면 에너지를 더 비효율적으로 획득한다고 보시면 되겠습니다.

약물 처리 등으로 그 반대의 경우가 되면, 해당작용에 대한 의존이 줄고 산화적 인산화에 대한 의존이 증가한다.

악성 암세포가 되면서 해당작용에 대한 의존이 증가한다고 했는데 약물 처리 등으로 반대의 경우가 되는 상황을 제시해주고 있습니다. 그러면, 해당작용에 대한 의존이 줄어들입니다. 자연스럽게 산화적 인산화에 대한 의존은 증가하고요. 산화적 인산화를 주된 에너지 획득 방법으로 사용하는 것은 정상세포의 특징이었죠. 따라서 암세포가 정상세포화 되었다고 봐도 되겠습니다.

암세포 → 악성 암세포 → 약물처리의 과정에 따라 해당작용과 산화적 인산화에 대한 의존 정도가 바뀌고 있으니 인지하고 넘어가겠습니다.

#### 해당작용 의존 정도

약물 처리된 암세포 < 암세포 < 악성 암세포

#### 산화적 인산화 의존 정도

악성 암세포 < 암세포 < 약물 처리된 암세포

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.

해당작용이 산화적 인산화보다 효율이 떨어지는 에너지 획득 방법인 것은 위에서도 파악했었죠. 그래서 유산소 해당작용을 수행하는 암세포는 정상 세포에 비해 포도당을 더 많이 세포 내부로 수송하고 젖산을 생산한다고 합니다. 필요한 에너지양의 변화는 없는데 에너지 획득 효율이 떨어져서 더 많은 포도당을 필요로 한다는 겁니다. 받아들이기 어렵지 않아 보여요.

조금 더 깊게 생각해보겠습니다. 암세포가 악성 암세포로 변하면 해당작용에 더 의존하였죠. 즉, 에너지 획득 효율이 더 떨어졌습니다. 따라서 기존보다 더 많은 포도당을 암 세포 내부로 수송할 것이라고 추론할 수 있겠어요. 즉, 악성/암 세포가 더 비효율적이고 더 많은 포도당을 흡수하니까 안 좋은 것으로 보면 되겠습니다.

#5문단

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.

바르부르크 효과의 원인에 대한 세 가지 설명이 제시됩니다. 각 내용들을 잘 파악해주면서 정리하면 되겠어요. 그리고 마지막 부분에서 바르부르크의 설명이 반전되고 있습니다. 구조는 단순하네요. 자세한 내용은 한 문장씩 읽으면서 파악하겠습니다.

바르부르크 효과의 원인에 대해 다음 세 가지 설명이 있다.

서술의 초점이 명확하게 드러납니다. 우선, 바르부르크 효과는 산소가 있어도 해당작용을 선호하는 암세포의 특이한 대사 과정을 의미했습니다. 이러한 효과의 원인에 대해 세 가지 설명이 있다고 하니 뒤에서 확인해주면 되겠어요.

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.

바르부르크 효과의 원인에 대한 첫 번째 설명입니다. 우선, 간단하게 정리하면 암세포의 빠른 성장 때문에 동화작용을 필요로 해서 해당작용에 집중하는 것이네요. 정확히는 해당작용의 중간 생성 물질을 동화작용의 재료로 사용하기 위함입니다.

두 번째는 체내에서 암세포의 분열로 암 조직의 부피가 커져서 산소가 그 내부까지 충분히 공급되지 못하기 때문에 암세포가 산소가 없는 환경에 적응하도록 진화했다는 것이다.

두 번째 설명입니다. 암세포가 산소가 없는 환경에 적응하도록 진화했다는 거네요. 암 조직의 부피가 커져서 산소가 내부까지 충분히 공급되지 못한다는 내용은 상식적으로 납득하고 넘어갈 수 있겠죠?

세 번째는 미토콘드리아의 기능을 암세포가 억제하여 미토콘드리아에 의해 유발되는 세포 자살 프로그램의 실행을 방해함으로써 스스로의 사멸을 막으려 한다는 이론이다.

세 번째 설명입니다. 미토콘드리아에 의해 유발되는 세포 자살 프로그램을 막기 위해서네요. 암세포는 산화적 인산화를 선호하지 않았습니니다. 그리고 산화적 인산화는 미토콘드리아에서 이루어졌죠. 산화적 인산화를 억제함으로써 미토콘드리아의 기능을 억제하려 하는 것이라고 보면 되겠습니다. 세포 자살 프로그램이 실행되어 스스로 사멸하면 암 세포 역시 죽을 테니까요. 세 가지 설명이 전부 제시되었으니 정리하겠습니다.

- 1. 암세포의 성장을 위해 동화작용이 필요하고, 해당작용의 중간 생산 물질이 동화작용에 필요하여 해당작용을 선호함.
- 2. 암세포가 분열하면서 암 조직의 부피가 커져 산소 공급이 원활하지 않아 해당작용을 선호함
- 3. 미토콘드리아의 세포 자살 프로그램의 실행을 방해하기 위해 산화적 인산화를 억제하고 해당작용을 선호함

바르부르크는 이러한 암세포 특이적 대사과정의 변이를 발암의 원인으로 설명하였다.

바르부르크는 앞에서 확인한 바르부르크 효과의 원인에 대한 세 가지 설명을 전부 암세포의 특이한 대사과정의 변이로 보고 있습니다. 그리고 이러한 특이적 대사과정의 변이를 발암의 원인으로 설명하였다고 정리해주고 있어요.

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.

발암의 원인에 대한 바르부르크의 설명이 최근 연구에 의해 부정되었습니다. 최근 연구에 따르면, 발암 유전자의 활성화 그리고 암 억제 유전자에 생기는 돌연변이가 주된 발암 원인이라고 해요. 그리고 암세포가 해당작용을 선호하는 것은 암의 원인이 아니라 앞의 연구에서 파악한 돌연변이에 의한 결과로 발생하는 것이라고 합니다.

바르부르크의 설명이 부정되기는 했으나, 바르부르크 효과 자체가 부정되지는 않았어요. 즉, 암의 대사 과정에서 산소가 있어도 해당작용이 주로 사용되는 것은 사실이라고 구분하면 되겠습니다. 단순히, 이런 바르부르크 효과가 암의 원인이 아닌 거예요.

### #지문 총평

상당히 복잡한 구조와 어려운 내용을 담고 있는 지문이었습니다. 그래도 화제를 잘 잡고 연결하면서 내용을 따라왔으면 할 만 했을 거라고 생각해요. 암세포와 정상 세포의 대사과정의 비교를 중심으로 내용들을 정리하고 개념들을 유기적으로 연결하여 읽으시는 태도가 중요했습니다. 어휘들도 낯설고 내용 간 연결이 복잡해서 자칫 하면 흐름을 놓치셨을 수도 있어요. 지문 독해에 어려움이 많으셨다면 다시 한 번 비교를 중심으로 내용들을 구분하면서 읽어 보시면 좋겠습니다.

### 23. 밑글의 내용과 일치하는 것은?

**정답 : ④**

- 전체적인 내용 이해 문제입니다. 화제를 중심으로 선지를 판단해주시면 되겠습니다.

① 해당작용의 산물 중 NADH는 미토콘드리아에서 ATP를 추가로 생산하는 데 사용되지 않는다.

→ NADH와 산화적 인산화를 묻는 선지입니다. NADH는 해당작용에서 포도당 1개가 피루브산 2개로 분해될 때 만들어졌어요. NADH는 산화적 인산화를 통해 3개의 ATP를 만들었습니다. 그리고 산화적 인산화는 미토콘드리아에서 이루어졌죠. 즉, NADH는 미토콘드리아에서 산화적 인산화를 통해 ATP를 생산할 수 있습니다.

**#선지 포인트 : 화제 중심 읽기, 비교지점 이해하기**

② 해당과정 중 소비되는 NADH의 재생산은 해당작용의 지속적 수행에 필수적이다.

→ ①번 선지와 비슷한 내용을 묻고 있는데요. NADH는 산화적 인산화를 통해 ATP를 생성하였습니다. 그런데, 젖산 발효가 이루어지는 세포는 산소가 부족하기 때문에 NADH를 사용할 수가 없었죠. 그래서 NADH를  $NAD^+$ 로 전환하여 해당작용에 사용하였습니다. 해당작용의 지속적 수행에 필수적인 것은  $NAD^+$ 였어요.

**#선지 포인트 : 비교지점 이해하기, 젖산 발효 과정 이해하기**

③ 심폐기능에 비해 과격한 운동을 하면 근육에서 젖산은 늘어나고  $NAD^+$ 는 줄어든다.

→ 젖산 발효 과정을 묻는 선지입니다. 심폐기능에 비해 과격한 운동을 하는 것은 산소가 부족한 상황이라고 지문에서 확인했었죠. 이런 상황에서는 해당작용이 이루어지고 이를 통해 젖산 발효가 이루어졌습니다. 또한, 젖산 발효는 해당 작용에 필수적인  $NAD^+$ 의 재생산에 필수적이었습니다. 즉, 이런 상황에서는 젖산과  $NAD^+$  모두 늘어납니다.

**#선지 포인트 : 젖산 발효 과정 이해하기**

④ 동화작용에서 거대 분자를 만들 때 해당작용의 중간 생성물이 사용된다.

→ 해당작용의 중간 생성물은 NADH였습니다. 바로 위 선지 해설에서도 언급했었죠. 그리고 동화작용은 고 에너지 분자를 이용하여 작은 분자를 큰 분자로 합성하는 대사 과정이었습니다. 지문에서 NADH는 에너지가 높은 중간 생성물이라고 했으니 동화작용에 사용되겠네요.

#선지 포인트 : 동화작용 이해하기, 비교지점 이해하기

⑤ 바르부르크 효과에 의해 암 억제 유전자의 돌연변이가 유발된다.

→ 바르부르크 효과의 원인에 대한 설명과 관련된 선지네요. 바르부르크 효과의 원인에 대한 세 가지 설명이 있었죠. 전부 암세포 특이적 대사과정의 변이를 발암의 원인으로 보았습니다. 그러나 최근 연구에 따르면 암 억제 유전자의 돌연변이가 바르부르크 효과의 주된 원인이라고 부정되었어요. 그런데 선지에서는 바르부르크 효과가 암 억제 유전자 돌연변이의 원인이라고 말하고 있습니다. 즉, 원인과 결과를 뒤바꿔 설명하고 있어요.

#선지 포인트 : 비판 지점 이해하기, 인과관계

24. 윗글에서 추론한 것으로 적절하지 않은 것은?

정답 : ⑤

- 추론 문제이기는 하지만 지문의 내용들과 연결하여 판단 해주시면 어렵지 않을 거예요. 또한, 구체적인 수치들도 묻고 있으니 지문에서 체크한 내용들을 확인하면서 선지를 판단해주시면 되겠습니다.

① 미토콘드리아의 기능이 상실되면 NADH로부터 ATP를 만들지 못한다.

→ 산화적 인산화를 묻는 선지입니다. NADH는 산화적 인산화를 통해 ATP를 생성했었죠. 그리고 산화적 인산화는 미토콘드리아에서 이루어졌습니다. 따라서 미토콘드리아의 기능이 상실되면 산화적 인산화가 이루어지지 않을 거예요. 즉, NADH로부터 ATP를 만들지 못할 겁니다.

#선지 포인트 : 산화적 인산화 과정 이해하기

② 유산소 해당작용을 수행하는 암세포는 산소가 충분히 존재할 때에도 해당과정의 산물을  $NAD^+$ 와 젖산으로 전환시킨다.

→ 유산소 해당작용을 수행하는 암세포는 산소가 충분히 있어도 해당작용을 선호하였습니다. 그리고 해당작용을 통해 젖산 발효 과정이 이루어졌죠. 그 과정에서 해당과정의 산물을  $NAD^+$ 와 젖산으로 전환하였습니다.

#선지 포인트 : 화제 이해하기, 젖산 발효 과정 이해하기

③ 포도당 1개가 가지고 있는 에너지가 전부 ATP로 전환될 때 미토콘드리아에서 34개 또는 36개의 ATP가 만들어진다.

→ 포도당 1개가 가지고 있는 에너지가 전부 ATP로 전환될 때 36개 혹은 38개가 만들어졌어요. 그리고 이 중 2개의 ATP는 해당작용을 통해 만들어지고 나머지는 산화적 인산화를 통해 만들어진다고 하였습니다. 그래서 산화적 인산화가 더 효율적인 에너지 획득 방법이라고 파악하고 넘어갔었죠. 산화적 인산화는 미토콘드리아에서 이루어집니다. 해당작용을 통해 생성하는 ATP 2개를 제외하면, 미토콘드리아에서는 34개 혹은 36개의 ATP가 만들어지겠네요.

#선지 포인트 : 비교지점 이해하기

④ 포도당 1개가 피루브산 2개로 분해되었고 이때 생성된 조효소의 에너지도 모두 미토콘드리아에서 ATP로 전환되었다면, 이 과정에서 생성된 ATP는 모두 8개이다.

→ 해당작용에서 포도당 1개가 피루브산 2개로 분해되고 이때 조효소 NADH 2개가 만들어졌습니다. 그리고 조효소 NADH는 산화적 인산화를 통해 1개당 ATP 3개를 생성할 수 있었어요. NADH가 2개이니 6개의 ATP를 생성할 수 있겠습니. 또한 ③번 선지에서도 확인했듯이, 포도당은 해당작용을 통해 1개당 ATP 2개를 생성하였어요. 따라서 NADH를 통해 생성한 ATP 6개와 해당작용을 통해 포도당이 생성한 ATP 2개를 합치면 모두 8개가 되네요.

**#선지 포인트 : 해당작용 과정 이해하기**

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.

→ 암세포의 유산소 해당작용도 결국에는 해당작용이니 포도당 1개당 ATP 2개를 생산합니다. 그리고 해당작용의 과정에서 포도당 1개당 NADH가 2개 생성되는 것은 ④번 선지에서도 확인했었죠. 앞의 과정에서 생성되는 ATP의 개수와 뒤의 과정에서 생성되는 NADH의 개수 모두 2개로 동일하네요.

**#선지 포인트 : 해당작용 과정 이해하기**

25. 윗글과 <보기>를 바탕으로 한 설명으로 가장 적절한 것은?

**정답 : ③**

— <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.

- <보기>에서는 암을 진단하기 위해 사용되는 수단인 PET를 설명하고 있습니다. 방사성 포도당 유도체를 이용하네요. 이는 포도당의 흡수가 많은 신체 부위에 수송되어 축적된 것을 이용하여 암 조직이 있는 곳을 파악하는 방법입니다. 암세포는 해당작용을 주로 이용하기 때문에 에너지 획득 효율이 떨어졌어요. 그래서 더 많은 포도당을 흡수한다고 지문에서 확인하였습니다. 이런 특성을 이용하는 방법이네요!

① 피루브산이 젖산으로 전환되는 양이 증가하면 방사성 포도당 유도체의 축적이 줄어들 것이다.

→ 피루브산이 젖산으로 전환되는 양이 증가한다는 것은 젖산 발효가 증가한다는 겁니다. 그리고 젖산 발효는 해당작용을 통해서 이루어졌어요. 즉, 해당작용에 의존하는 정도가 증가하면 방사성 포도당 유도체의 축적이 줄어든다는 선지입니다. 그런데, 해당작용에 의존하는 정도가 크면 에너지 획득 효율이 떨어져 많은 포도당을 흡수해야합니다. <보기>에서 포도당의 흡수가 많은 부위에 방사성 포도당 유도체가 축적된다고 하였죠. 따라서 피루브산이 젖산으로 전환되는 양이 증가하면 포도당 유도체의 축적이 증가할 겁니다.

② 포도당이 피루브산으로 전환되는 양이 감소하면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 것이다.

→ 포도당이 피루브산으로 전환되는 것은 해당작용을 통해서 이루어졌습니다. 따라서 포도당이 피루브산으로 전환되는 양이 감소한다는 것은 해당작용에 대한 의존도가 줄어들고 산화적 인산화에 대한 의존도가 늘어나는 겁니다. 그러면 방사성 포도당 유도체의 축적은 감소하겠네요.

③ 세포 내부의 산소가 줄어들어도 동일한 양의 ATP를 생성하려면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 것이다.

→ 세포 내부의 산소가 줄어들면 산화적 인산화에 대한 의존도가 줄어들고 해당작용에 대한 의존도가 늘어날 겁니다. 산화적 인산화는 산소를 필요로 했으니까요! 그리고 해당작용에 대한 의존이 늘어난다는 것은 에너지 획득 효율이 떨어진다는 것을 의미하죠. 따라서 동일한 양의 ATP를 생성하려면 더 많은 포도당을 흡수해야겠습니다. 그러면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어나겠네요. 정답 선지입니다.

④ ATP의 생성을 해당작용에 좀 더 의존하도록 대사 과정의 변화가 일어난다면 방사성 포도당 유도체의 축적이 줄어들 것이다.

→ 해당작용에 대한 의존도가 증가하면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 거예요. 위의 선지 해설에서 자세히 설명드렸으니 넘어가겠습니다.

⑤ ATP의 생성을 산화적 인산화에 좀 더 의존하도록 대사 과정의 변화가 일어난다면 방사성 포도당 유도체의 축적이 늘어날 것이다.

→ 산화적 인산화에 대한 의존도가 늘어나는 것은 해당작용에 대한 의존도가 줄어드는 것이죠. 따라서 포도당 유도체의 축적은 줄어들겠습니다.