

《 미적분 세특 생명공학관련 》

하이에듀

주제	미적분 세특 생명공학관련 - 약물의 반감기
가이드	반감기는 약물 뿐만 아니라 생물의 개체수나 암세포 수의 증가 등 다양한 분야에서 사용되고 있는 개념입니다. 학생께서 생명분야에 관심이 있는 것 같아 약물과 관련된 내용만을 준비하기는 했지만, '반감기에 대해 계산하고 공부하는 과정에서 다른 생명공학 분야에서도 폭넓게 적용할 수 있는 개념이며, 반드시 알아야하는 내용'임을 강조하는 것을 추천드립니다.

서론

약물 효과의 지속시간은 수학적 함수로 표현할 수 있습니다. 약물 효과 그래프를 보고 스스로 지수함수를 떠올렸고, 이것에 관심이 생겨 관련 내용을 탐구했다는 흐름으로 구성하는 것을 추천드립니다.

본론1) - 약물에서의 반감기란 무엇인가? 왜 적용되는 개념인가?

감기 혹은 여러 다른 아픈 증상 때문에 진료를 받고 처방 약을 받은 경험은 모두 있을 겁니다. 약 복용법을 보면 '하루에 몇 번', '식전 또는 식후 복용', '다시 복용할 경우 몇 시간 이상 지난 후에 복용할 것' 등 자세한 지시가 적혀 있습니다. 안전하게, 그리고 확실한 효과를 내기 위해서는 이러한 지시 사항을 반드시 지켜야 합니다. 그런데 이러한 약의 복용 간격이나 횟수 등은 어떻게 정하는 것일까요?

흔히 질병 또는 그 밖의 상해로 인한 통증 및 아픔을 느끼지 못하도록 하는 약을 진통제라고 합니다. 이런 진통제는 증상에 따라 처방이 달라지죠. 갑자기 격렬한 통증이 올 경우는 단시간에 확실한 효과가 있는 것, 장시간에 걸쳐 계속 아픈 경우는 장시간 효과를 발휘하는 것이 필요합니다. 여기서 중요한 것은 복용한 약이 몸속에서 어느 정도의 농도가 되느냐 하는 것입니다. 이때 고려하는 것이 '반감기'라고 하는 지표지요. 반감기는 본래 어떤 방사성 핵종의 원자 수가 초기 값의 절반이 되는 데 걸리는 시간을 의미하는 말인데요. 화학작용이나 약물의 효용에서도 어떤 물질의 양이 시간이 지남에 따라 감소할 때 그 양이 최초의 절반이 되기까지 소요되는 시간을 의미합니다.

1) <https://www.donga.com/news/Society/article/all/20210525/107111344/1>

2) <https://www.donga.com/news/Society/article/all/20210525/107111344/1>

3) <https://xelf.io/projectDetail?pid=ad14d8b5-c96d-4514-b00b-d2e8cae3ed61&pType=1&curPage=&sortOption=&keyword=&cclType=&category=all> (내용을 검토하였기 때문에 참고로 신뢰하셔도 되는 자료입니다.)

4) <https://xelf.io/projectDetail?pid=ad14d8b5-c96d-4514-b00b-d2e8cae3ed61&pType=1&curPage=&sortOption=&keyword=&cclType=&category=all> (내용을 검토하였기 때문에 참고로 신뢰하셔도 되는 자료입니다.)

혈중 농도 구하는 공식

$$C = C_0 \times e^{-kt}$$

C : 그 시점에서의 혈중 농도

C_0 : 초기 혈중 농도

e : 자연 로그의 밑

k : 소실 속도 상수

t : 경과 시간

결국 약을 먹을 때의 반감기란 처음 먹은 약의 체내 농도가 반으로 줄어드는 시간을 말합니다. 대부분의 약은 반감기의 4~5배 시간이 지나면 대사 과정에서 몸 밖으로 빠져나가 효과가 사라지는 것으로 알려져 있습니다. 따라서 약의 반감기를 알면 대략적인 작용 시간을 알 수 있고 하루에 몇 번을 먹으면 되는지도 알 수 있는 것이죠.

약이 어떻게, 얼마나 효과를 발휘하는지 알려면 혈액 속 약의 농도인 혈중 농도를 계산하는 것도 필요합니다. 혈중 농도를 나타내는 식에는 지수함수가 사용되죠. 지수를 사용하면 큰 수나 작은 수의 계산을 편하게 할 수 있다는 장점이 있습니다. 예를 들어 지수법칙을 모르는 사람은 곱하기나 나누기를 수백 번 해야 나오는 답을 지수법칙을 알면 아주 간단한 계산으로 처리할 수 있습니다.

수학자들은 수학적 개념을 활용해 약물의 혈중 농도를 구하기 위한 공식도 만들었습니다. 이처럼 지수는 약물의 혈중 농도뿐 아니라 고고학이나 인류학, 천문학이나 전자공학, 기상 등 여러 분야에서 없어서는 안 되는 개념입니다.

본론2) - 약물의 반감기를 백신에 사용한 사례

**** 한 때, 코로나 백신이 사회적으로 큰 역할이자 이슈가 되었던 만큼, 그 이유를 반감기를 활용하여 생각해보는 것은 좋을 활동이 될 것 입니다.**

질병을 예방하고 면역력을 늘리기 위해 맞는 예방접종, '백신'도 마찬가지입니다. 예방접종의 원리는 항원이 되는 질병에 대해 우리 몸이 미리 항체를 형성해 보게 함으로써 그 질병에 저항하는 후천 면역이 생기도록 하는 것입니다. 이를 위해 항체가 형성되기까지 걸리는 시간, 또 그 효과가 얼마나 지속되는지를 계산하는 것은 백신의 효용성을 높이는 데 아주 중요하죠.

독감 예방접종의 경우를 볼까요? 전문가들이 수학적 개념을 활용해 예측한 덕분에 우리는 독감 예방접종은 항체가 형성되기까지 짧게는 2주에서 길게는 한 달이 걸리며, 면역 효과

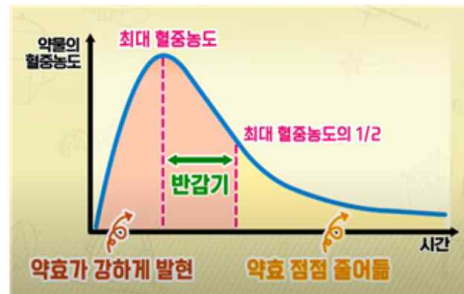
는 평균 6개월 정도 지속된다는 걸 알고 있습니다.

코로나19 백신은 어떨까요? 현재 코로나19 백신의 효과가 얼마나 오래 지속될지를 알 유일한 방법은 코로나19에 걸렸다가 완치된 환자들을 연구하는 것입니다. 최근 백신 전문가들은 우리가 개발한 주요 코로나19 백신들이 코로나19 바이러스로부터 사람을 얼마나 오랫동안 보호할 수 있는지 알기 위해 다양한 연구를 하고 있습니다. 지수 외에도 여러 수학적 개념을 활용해 백신의 유효성과 안전성을 계산하고 있지요. 백신 접종 의 우선순위를 결정할 때도 접촉빈도 등을 고려하기 위해 수학적 모델을 이용한답니다. 코로나19와의 싸움에서도 수학이 열심히 일하고 있다는 점을 기억해 주세요.

본론33) - 약물의 지속시간과 반감기의 수학적 분석 - 미적분을 이용하여 나타내기

약물의 지속시간은 약물의 반감기에 따라 결정되는데 이 반감기의 그래프가 지수함수의 꼴이다. 이때 약물의 반감기란 약물의 혈중 농도가 절반으로 줄어드는데 걸리는 시간을 의미한다.
즉, 다시말해서 최대 혈중농도의 1/2 가 되는 지점까지는 약효가 강하게 발현하고, 그 이후 부터는 서서히 약효가 줄어든다는 이야기이다.

포화 농도 이전의 농도 범위에서라면 어느 농도에서 시작하더라도 반감기는 일정하다. 또한 반감기가 길다면 약물의 유효성이 증가되는 동시에 약물의 독성도 높다고 할 수 있다.



$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

반감기 함수는 위의 식으로 나타낼 수 있는데 이때,

N_0 는 붕괴를 거칠 물질의 양의 초기값,
 $N(t)$ 는 시간 t 경과 후에 붕괴되지 않고 남아있는 물질의 양,
 $t_{1/2}$ 은 붕괴중인 양의 반감기 이다.

로 나타낼 수 있다. 반감기를 구하는 방법은 저 위의 식을 정리해주는 것인데,

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \div N_0$$

$$\frac{N(t)}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \text{ 양변에 로그를 취하면}$$

$$\log_{\frac{1}{2}} \frac{N(t)}{N_0} = \log_{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\log_{\frac{1}{2}} \frac{N(t)}{N_0} = \frac{t}{t_{1/2}}$$

$$\frac{t}{\log_{\frac{1}{2}} \frac{N(t)}{N_0}} = t_{1/2} \text{ 여기에 주어진 양을 넣는다면 반감기를 알 수 있다}$$

예를 들어 어떤 물질의 초기 혈중농도가 300g 이고 180초 후에 112g 으로 감소한다면 이 물질의 반감기는 몇초일까?

이문제를 해결하기 위해서 아까 전의 식에 주어진 값들을 대입하면 반감기가 나오게 되는데,

$$\begin{array}{l} N_0 = 300g \\ N(t) = 112g \\ t = 180 \end{array} \quad \text{를 대입한다면} \quad \frac{180}{\log_{\frac{1}{2}} \frac{112}{300}} = t_{\frac{1}{2}} \quad \text{가 되고 이를 계산하면}$$

$t_{\frac{1}{2}} = 127$ 초 가 나오므로 이 물질의 반감기는 127초라는 소리가 되고 이는 즉, 127초 동안 약효가 강하게 발현한다는 소리이다.

본론4⁴⁾ - 배운 내용 활용하기 - 체내 알코올의 반감기는 어떻게 될까?

**** 알코올도 체내에서 약물로써 작용하기 때문에 반감기를 가집니다.**

따라서, 알코올의 체내 반감기를 활용하여 몇시간 후에 얼마의 혈중 알코올 농도를 갖는지 계산할 수 있습니다.

이는 체내의 여러 요인에 의해 영향을 받기 때문에 정확하게 예측하기는 어려우나 이를 직접 시도해보고 반감기 그래프를 그려보는 것이 좋은 경험이자 스토리가 될 것입니다.

메틸알코올의 반감기는 소량을 섭취한 경우 3시간이며 다량에 노출된 경우 30시간 정도인 것으로 보고되고 있다. 5)

이 사실을 이용해서 반감기 식을 세워 그래프를 그려보시면 될 것 같습니다.

이후 이것을 이용하여, 00%술을 00mL만큼 섭취하였을 때, 몇시간 뒤의 혈중알코올 농도를 계산해보면 좋을 것 같습니다.

이와 관련된 개념으로는 실제 법률에서 사용되는 위드마크 공식이라는 것이 있습니다. 반감기는 수시간에 적합한 개념이기 때문에, 몇시간에서 몇분 정도 뒤의 혈중 알코올 농도는 반감기만으로 완벽히 계산하기 어렵습니다. 또한, 알코올의 체내 반감기 뿐만 아니라 다양한 요인들이 영향을 줄 수 있으므로, 학생께서 추론한 결과와 위드마크 공식 사이에는 오차가 발생하는 것이 당연합니다.

따라서 이를 직접 비교해보고 오차원인에 대해 서술하면 보다 완성도 있고 스토리 있는 탐구가 될 것입니다.

- 위드마크 공식

이 공식은 1914년에 독일계인 위드마크가 창안한 계산방법으로, 운전자가 사고 전 섭취한 술의 종류와 음주한량, 체중, 성별을 조사하여 사고 당시 주위상태를 계산한다. 우리나라의 경우 경찰이 1996년 6월 음주 뺨소니 운전자 처벌을 위해 도입했다.

위드마크 방식의 공식

$$C = A / (P \times R) = \text{mg} / 10 = \%$$

- * C = 혈중알코올농도 최고치 (%)
- * A = 운전자가 섭취한 알코올의 양 (음주량×술의 농도%×0.7984)
- * P = 사람의 체중 (kg)
- * R = 성별에 대한 계수 (남자는 0.7, 여자는 0.6)

결론

체내에 흡수된 약물이 어떠한 양상으로 줄어드는지 수학적으로 탐구해보는 활동을 진행하고, 이를 실생활(혈중 알코올)에 적용시켜 보는 것으로 마무리하면 좋은 세특이 될 것입니다. 수학적 개념 자체가 어렵지 않기 때문에, 다른 생명공학분야에도 넓게 활용해볼 수 있어서 세특용으로 아주 유용할 것으로 생각합니다. 반감기와 관련된 다른 생명공학 분야에도 관심이 있다면 비슷한 내용으로 다른 내용들을 더 준비해드리겠습니다.