

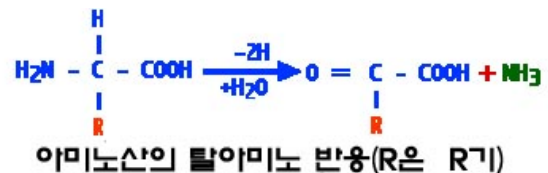
## 암모니아, 요소, 요산의 생성과 배출

동물이 에너지를 얻기 위해 탄수화물과 지방을 소화 흡수하여 호흡으로 분해할 때 노폐물로 물과 이산화탄소를 발생시키지만 단백질, 핵산의 염기 등은 물과 이산화탄소 외에 질소화합물을 발생한다. 그런데 질소화합물 중 암모니아는 독성이 상당히 강하므로 생물 몸에 오래 동안 머물면 부작용이 크다. 그래서 어류와 같이 배설을 빨리 할 수 있는 동물들은 암모니아 형태로 배설하지만 그렇지 않은 동물들은 독성이 적은 요산이나 요소로 전환시켜 배출한다. 물을 많이 흡수할 수 있는 환경에 사는 동물은 수용성인 요소로 전환시켜 배출하며 물의 공급이 여의치 않거나 몸을 가볍게 하기위해 물을 적게 가져야 하는 조류 등은 불수용성이며 독성이 요소보다 적은 요산으로 배출한다. 척추동물 중 경골어류는 암모니아를 주로 배출하며 파충류, 조류는 요산을, 연골어류, 양서류, 포유류는 요소를 주로 배출한다.

그런데 사람의 몸에서는 요소만 생성되는 것이 아니라 미량의 요산도 생성되는데 요산이 너무 많이 생성되면 침상 결정체인 요산나트륨을 생성하여 침적되므로 신장 결석이나 통풍 등의 문제를 발생시킨다.

### 1. 암모니아(NH<sub>3</sub>) 생성

양분으로 섭취한 단백질은 위와 소장에서 소화되는데 단백질의 소화 과정은 먼저 단백질이 폴리펩티드로 분해되고 폴리펩티드를 다시 가수분해로 펩티드 결합이 끊어지면 아미노산이 된다. 분해된 아미노산은 용털돌기의 모세혈관으로 흡수되어 조직의 세포로 운반되며 운반된 아미노산은 조직 세포의 세포질에 있는 리보솜에서 단백질로 합성된다. 여분의 아미노산이나 세포에서 단백질의 분해로 생성된 불필요한 아미노산은 분해되어 에너지로 이용된다. 아미노산의 분해과정은 먼저 세포질에서 탈 아미노기 반응이 일어난다. 아미노산의 구성 성분인 아미노기(-NH<sub>2</sub>)는 탈 아미노기 반응이 일어날 때 수소이온 한 개를 얻어 암모니아로 되고, 아미노산에서 아미노기가 분해됨으로써 생성된 유기산은 미토콘드리아의 TCA사이클과 전자전달계로 들어가 분해되면서 에너지를 생성한다.



### 2. 요소(urea, (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) 생성과 배출

단백질이 분해되면 유기산과 암모니아를 생성한다.

암모니아는 독이 강한 염기성 물질이므로 배출되기 전에 체내에 오래 머물면 농축되어 생명에 위험을 초래 한다.

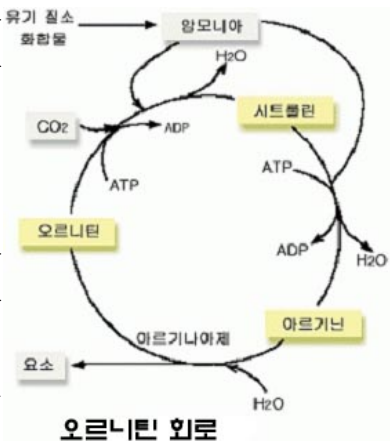
포유류는 배설물의 배출속도가 느리므로 암모니아 형태로 배출한다면 암모니아가 오랜 기간 체내에 머물게 되므로 문제가 발생한다. 그래서 암모니아를 독소가 약한

요소로 전환시켜서 배출하며 암모니아를 요소로 전환하는 기관이 간이다. 간에는 암모니아를 요소로 전환시키는 효소가 존재한다.

간에서 암모니아를 요소로 전환시키는 과정을 오르니틴 회로(요소 회로)라고 부른다.

오르니틴 회로(요소 회로)에서 암모니아 2분자와 이산화탄소 1분자가 결합하여 1분자의 요소( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ )가 만들어진다.

오르니틴 회로란 명칭은 암모니아가 처음 결합하는 물질이 오르니틴이기 때문이며 오르니틴과 암모니아, 이산화탄소에 에너지(ATP)를 사용하여 중간물질로 시트룰린, 아르기닌 물질을 거쳐 요소가 생성되고 오르니틴이 다시 생성된다.



그런데 대장에서는 대장균이 아미노산을 분해하여 암모니아를 발생시키는데 대부분 방귀로 배출되지만 일부는 대장으로 흡수되어 간으로 이동한다. 간 경변 같은 간질환이 발생하면 암모니아를 요소로 변환시킬 수 없으므로 혈중 아미노산의 농도를 낮출 수 없다. 이와 같이 혈 중 암모니아가 간에서 요소로 변환되지 못하면 많은 양의 암모니아가 혈액에 녹아 온몸으로 이동하게 되고 뇌에 이르면 뇌신경 손상을 가져와 정신 이상이 일어나는데 이를 간성혼수라 한다.

요소는 혈장에 녹아 운반되며 신장에서 오줌으로 제거된다.

요소는 독성이 적지만 신장에 이상이 생겨 체외로 배출이 어렵게 되면 체내에 요소농도가 증가하여 문제가 발생한다.

#### \* 오르니틴 회로(요소 회로)의 이상에 의한 질병

유전자의 돌연변이로 오르니틴 회로에 관여하는 효소가 결핍되어 발생하는 유전병이 있다. 트랜스 카바모이라제(ornithine transcarbamoylase)라는 효소는 오르니틴을 시트룰린으로 전환하는 작용을 하는데 이 효소를 결정하는 유전자의 결함으로 이 효소가 결핍되어 유전병이 발생한다.

이 효소가 결핍되면 암모니아의 농도가 증가되어 생명을 위협하게 된다.

이 질환은 X염색체에 있는 유전자의 이상으로 일어나는데 대부분 남자에서 발견된다. 치료 방법으로는 간 이식으로 치유될 수 있다.

### 3. 요산(Uric acid, $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ )의 생성과 배출

요산의 화학식은  $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$  이며 정식명칭은 2, 6, 8-트리옥시퓨린이다.

질소노폐물을 요산으로 배출하는 척추동물은 경골어류, 파충류, 조류이며 보기는 곤충, 도마뱀, 뱀, 새(하얀 색 배설물이 요산) 등이 있다.

이들 동물은 단백질 분해로 생성된 암모니아를 요산으로 전환시킨다.

요산은 물에 잘 녹지 않기 때문에 물을 별로 사용하지 않고도 질소노폐물을 배출할 수 있기 때문이다. 사막에 사는 뱀, 도마뱀 등은 물의 공급이 여의치 않으므로 요산으로 배출하며 새 등은 몸이 가벼워야 날기에 알맞으므로 몸에는 물의 양이 적다. 그래서 요산으로 배출하는 것이다.



사람은 단백질의 분해로 생성된 암모니아를 요소로 전환시켜 배출하지만 단백질이 아닌 핵산(영양소보다는 늙어죽은 세포의 핵산)의 구성 요소인 퓨린의 분해로 생성되는 질소화합물은 요산으로 배출한다. 퓨린은 페르옥시솜(과산화수소의 생성과 분해가 일어나며, 과산화수소 생성효소와 분해 효소가 합성되는 곳)에서 분해되어 요산을 형성한다. 이렇게 우리 몸에서 하루 0.7mg 생성되며 생성된 요산은 신장의 사구체에서 여과되어 배출된다.

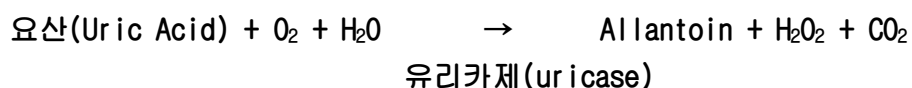
일반적으로 사람의 혈액 중에는 1dL(0.1dL)당 2.5~7.5mg의 요산이 있지만, 심한 육체노동, 백혈병, 화상 등으로 핵산이 파괴되었을 때, 신부전으로 배설이 잘 안될 때, 고지혈증, 비만, 당뇨병, 고혈압 등에서도 요산의 농도가 높아지는 경우가 있다.

위와 같이 체내에 요산농도가 높아지면 요산은 불수용성이므로 약간만 물에 녹을 뿐 대부분은 요산나트륨의 침상결정체를 형성하여 침전된다. 요산나트륨의 결정체로 인해 신장 결석이 되고 요산나트륨의 침상결정체가 혈관을 이동 중 혈관벽을 찌르게 되면 혈관통증이 나타나며, 그리고 관절에 침적되면 관절(주로 발가락이나 손가락 마디)이 굽어지고 염증과 통증이 나타나는 통풍이 된다.

요산은 사람체내에서 T림프세포의 항원(병원균 등 외부 물질) 인식률을 높여주므로 면역반응을 강화하는데 관여한다. 조직에서의 요산 농도를 보면 세포 밖의 조직액에서의 요산농도보다 세포 속에 있는 세포질에서의 요산농도가 100배 더 높다. 조직에 병원균 등이 침입하여 세포를 손상시키면 세포질에 있던 요산이 세포 밖으로 방출되어 결정체를 형성하게 된다. 요산의 결정체가 항원의 인식을 높여 주므로 요산결정체 주변의 세포들이 T림프세포가 공격을 하도록 한다. 그 결과 강력한 면역반응이 일어나게 된다.

신장결석과 통풍은 이러한 작용이 과도하게 일어난 것이다.

포유류는 대부분이 요산을 분해시키는 유리카제(uricase)라는 효소를 가지고 있다.



그런데 유인원과 인간은 진화되는 과정에서 요산분해유전자가 불활성화 되어 유리카제(uricase)를 생성할 수 없다. 그래서 유인원과 인간은 요산을 분해할 수 없으므로 체내에서 어떤 원인으로 많이 생성되거나 잘 배출되지 않으면 통풍이 나타날 수 있다.

그리고 요산은 항산화물질이다. 그러므로 체내에서 요산은 ROS(Reactive Oxygen S

pecies 활성산소)에 의한 세포 손상을 보호해주는 역할도 한다.