11장 생체에너지학: ATP의 역할

- 열역학 제1과 제2법칙
- 유리에너지, 엔트로피, 발열과 흡열
- ATP와 다른 뉴클레오타이드 삼인산염의 역할

생의학적 중요성

생체에너지학, 생화학적 열역학: 생화학 반응과 동반되는 에너지의 변화를 공부하는 학문

- 생물 시스템은 동온적(isothermic), 생체활동을 유지하기 위해서 화학에너지 사용
- 굶주림(starvation): 이용가능한 에너지 예비분이 고갈
- 영양실조(malnutrition): 에너지 불균형
- 비만(obesity): 에너지의 과도한 저장

유리에너지는 시스템에 있어서 유용한 에너지이다

열역학 제 1법칙: 시스템의 총 에너지(주변 환경을 포함하여)가 항상 일정하게 유지된다.

- 총 시스템 내의 어떤 변화에도 에너지를 잃거나 얻지도 않음
- 에너지는 형태를 다르게 하여 이동

열역학 제 2법칙: 시스템 전체의 엔트로피는 만약 과정이 자발적으로 일어난다면 증가한다.

- 엔트로피(Entropy): 무질서도, 평형상태 시 최대

$$\Delta G(\text{유리에너지}) = \Delta H(\text{엔탈피}) - T\Delta S$$

- $\Delta G<0$: 유리에너지 손실 = 유리에너지 방출, 자발적 반응

유리에너지 증가반응은 유리에너지 감소반응과 짝짓기되어 있다

화학반응에서 에너지의 증감 표현은 유리에너지로 표현

- 발열반응(exothermic) = 유리에너지 감소반응(exergonic)
- 흡열반응(endothermic) = 유리에너지 증가반응(endergonic)
- 유리에너지 증가-감소 반응은 연결된 채로 존재
- 유리E 감소: 이화과정(catabolism), 산화과정, 분해과정
- 유리E 증가: 동화과정(anabolism), 합성

가장 대표적인 대사과정(metabolism) - 호흡 (Respiration)

- 고에너지 중간체: ATP (Adenosine triphosphate)

고에너지 인산기는 에너지 획득과 전달에서 중요한 역할을 한다

독립영양생물(autotrophic organism)

- 다른 생물에게 의존하지 않고, 스스로 영양물질을 합성
- 예) 광합성: 빛에너지를 이용

종속영양생물(heterotrophic organism)

- 생육에 필요한 탄소를 얻기 위해 유기화합물을 이용

고에너지 인산기는 에너지 획득과 전달에서 중요한 역할을 한다

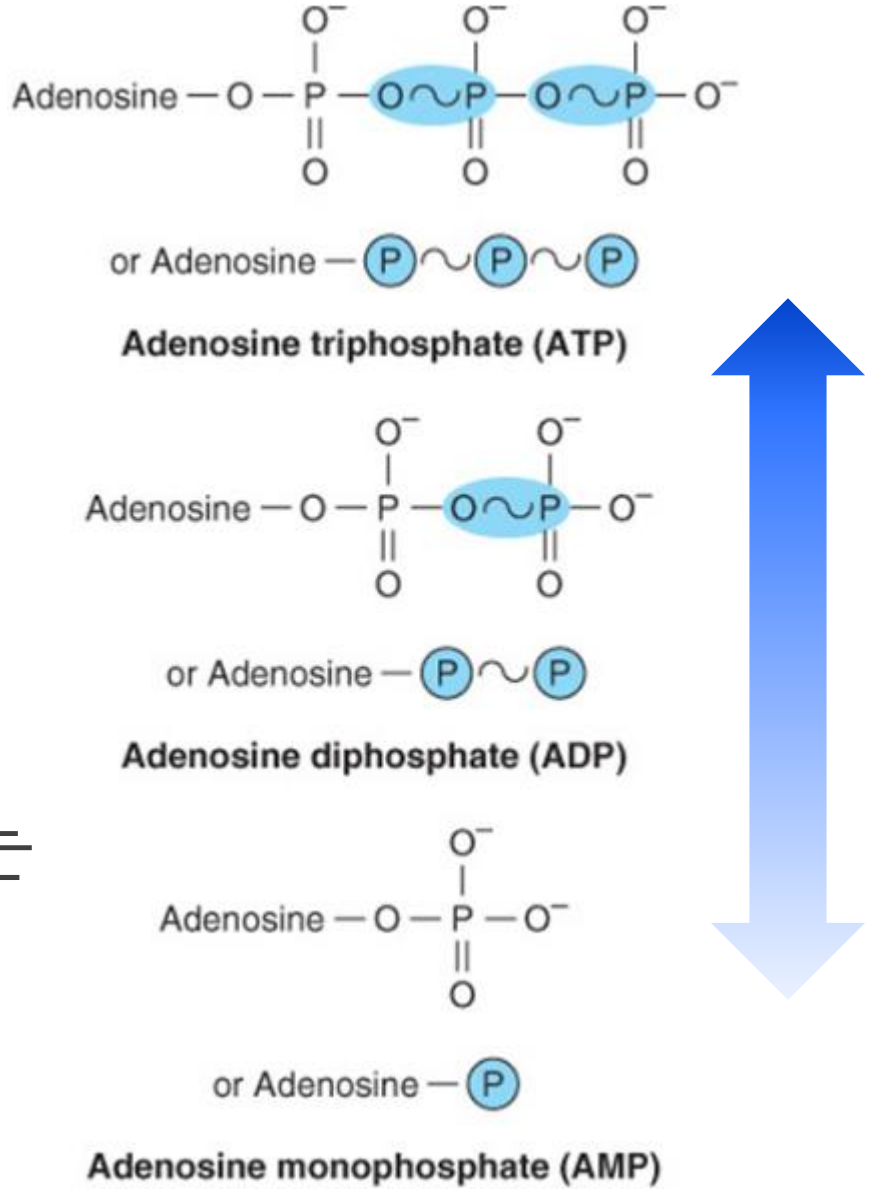
- 다양한 인산의 가수분해로 표준유리에너지가 생성
- ATP가 ADP로 인수분해 될 때의 에너지를 기준으로 고에너지 인산기, 저에너지 인산기 구분
- 고에너지 인산기: 인산엔올파이루브산, 카바모일 인산, 인산 크레아틴
- 저에너지 인산기: 파이로인산, 에스터인산

고에너지 인산기는 에너지 획득과 전달에서 중요한 역할을 한다

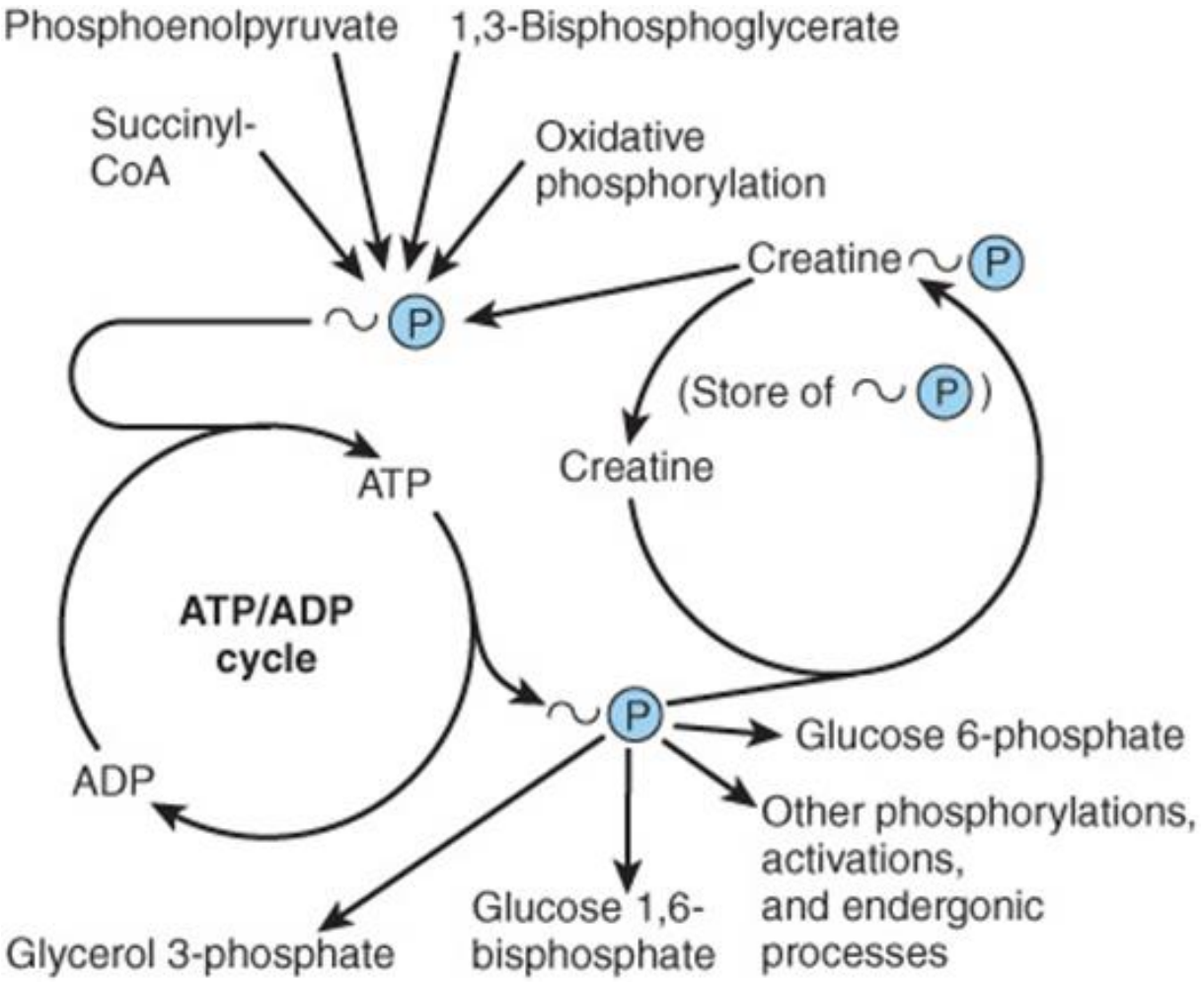
고에너지 혼합물

- 보조효소 A(coA)
- 아실 운반단백질(ACP)
- S-아데노실메싸이오닌,
- UDPGlc(유리딘 인산 글루코스),
- PRPP(5-인산라이보스-1-파이로인산)

~ⓟ: 인산기, 결합에 부착되어 있는 다량의 에너지



높은 에너지의 인산기는 세포의 "에너지 화폐" 역할을 한다



높은 에너지의 인산기는 세포의 "에너지 화폐" 역할을 한다

에너지 (~ⓟ) 획득하는 세가지 방법

1. 당분해 (Glycolysis)
    - 한 분자의 포도당에서 두 개의 ~ⓟ 형성
2. 시트르산 회로 (Citric acid cycle)
    - 한 개의 ~ⓟ 형성
3. 산화인산화 (Oxidative phosphorylation)
    - 산소를 사용하는 개체가 가장 많이 ~ⓟ를 얻는 방법

높은 에너지의 인산기는 세포의 "에너지 화폐" 역할을 한다

포스파젠: 고에너지 인산기의 저장형태

- 척추 근육, 심장, 정자, 뇌에 존재하는 인산 크레아틴
- 무척추동물의 인산 아지닌
- ATP가 근육 수축을 위한 에너지로 빠르게 이용될 때, ATP농도가 유지되도록 하는 역할
- ATP가 풍부하고 ATP/ADP 비율이 높을 때 저장 역할

아디닐릴 카이네이스는 아데닌 뉴클레오타이드를상호전환한다

아데닐산 카이네이즈
(Adenylate Kinase)

$$ATP + AMP \longleftrightarrow ADP + ADP$$

- ATP 합성에 ADP가 사용
- ATP 합성의 부산물로 생성된 AMP는 재인산화과정을 통해 ADP로 복구
- ATP가 고갈되면 AMP가 증가하는데, 이는 ATP 생성을 유도하는 물질

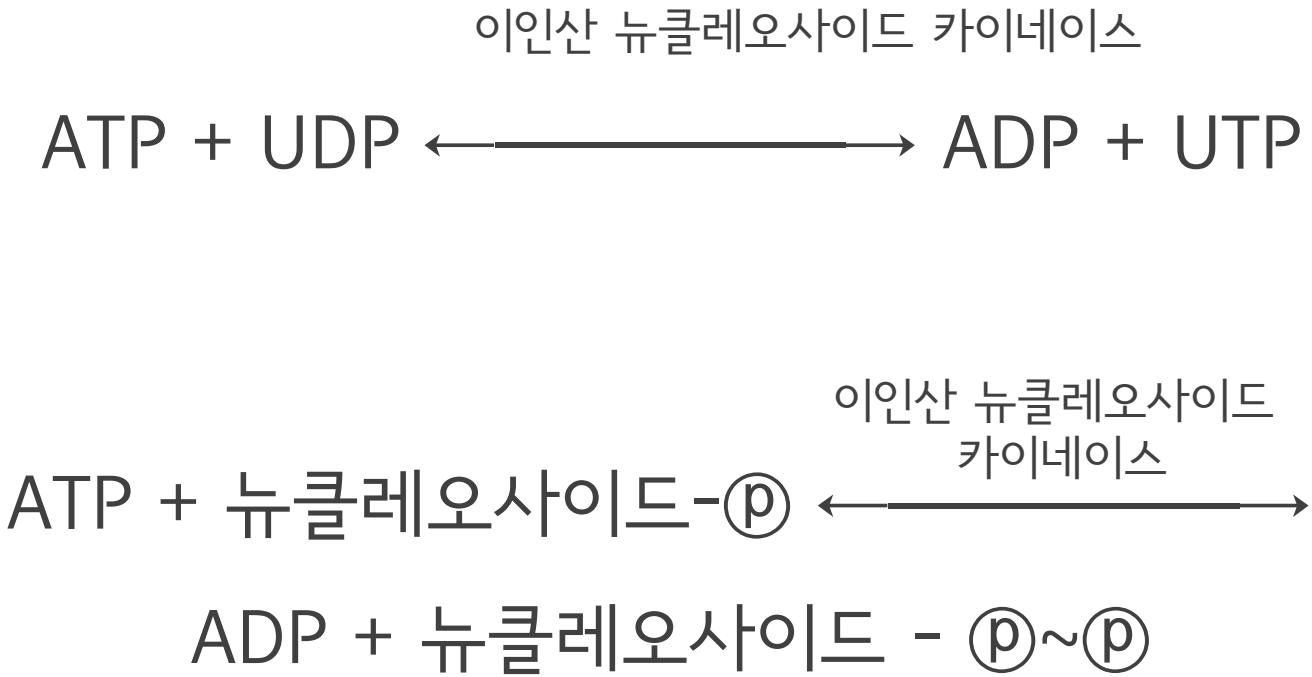
ATP가 AMP를 형성할 때 무기 파이로인산(PP_i)이 생성된다

- ATP가 AMP로 직접 가수분해 될 수 있음, PP_i 유리
  예) 긴사슬 지방산의 활성화 과정
- 열의 형태로 유리에너지 손실

무기인산 파이로포스파테이스

$$PP_i + H_2O \longrightarrow 2P_i$$

다른 삼인산 유클레오사이드들도 고에너지 인산기의 이동에 참여한다



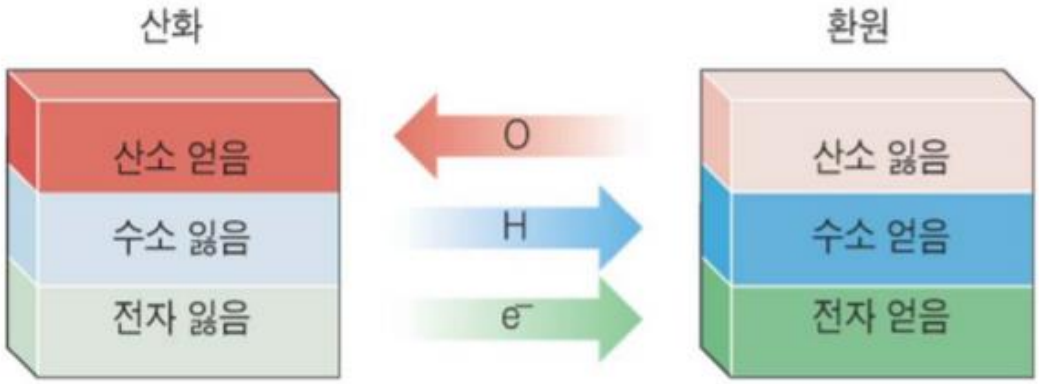
요약

- 생물계는 생체 활동을 촉진하는데 화학에너지 사용
- 유리에너지 감소반응($\Delta G<0$): 자발적으로 발생
- 유리에너지 증가/감소 반응은 짝짓기 될 때 발생
- ATP는 세포의 에너지 화폐로 작용
- 유리에너지 이동은 고에너지 전위에서 저에너지 전위로 일어남

12장 생물학적 산화

- 산화환원 전위
- 산화환원효소와 관련 대사

생의학적 중요성



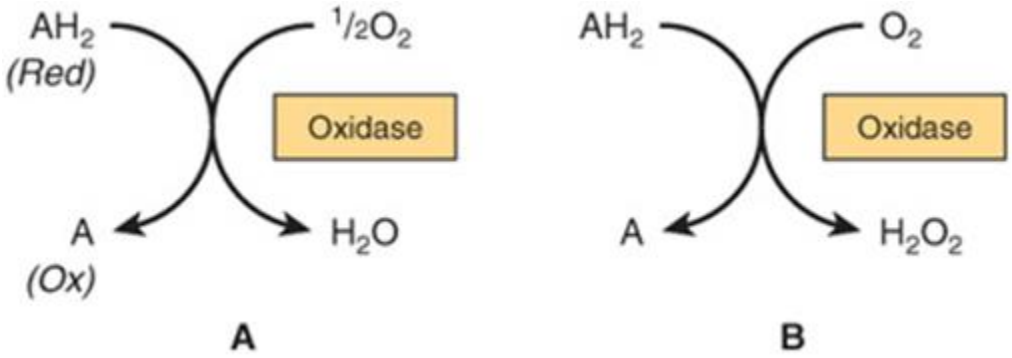
- 호흡은 산소의 공급에 절대적으로 의존 → 에너지 획득
- 산소화효소 등 다양한 효소가 필요
- 약물, 오염물질, 화학적 발암물질은 사이토크롬 P450계 효소에 의해 대사
- 호흡장애, 순환장애

산화와 환원에 참여하는 효소들

산화환원효소 (Oxidoreductase)

- 옥시데이스 (Oxidase)
- 탈수소효소 (Dehydrogenase)
- 하이드로퍼옥시데이스 (Hydroperoxidase)
- 산소화효소 (Oxygenase)

옥시데이스들은 산소를 수소 받개로 사용한다



- 산소를 수소 받개로 사용하여 기질로부터 수소 제거 촉매
- 반응 산물로 물이나 과산화수소 형성

- 사이토크롬 옥시데이스 (Cytochrome oxidase)
- 플라빈 아데닌 다이뉴클레오타이드 (FAD)

옥시데이스들은 산소를 수소 받개로 사용한다

사이토크롬 옥시데이스 (Cytochrome oxidase)

- 헴 보조단을 가진 헴 단백질
- 호흡사슬의 말단 부분 구성요소
- 기질 분자의 산화로부터 유래하는 전자를 최종 전자 받개로 작용하는 산소에 전달
- 일산화탄소(CO), 시안화물(CN^-), 황화수소(H_2S)에 의해 차단, 세포 호흡을 막아 중독

옥시데이스들은 산소를 수소 받개로 사용한다

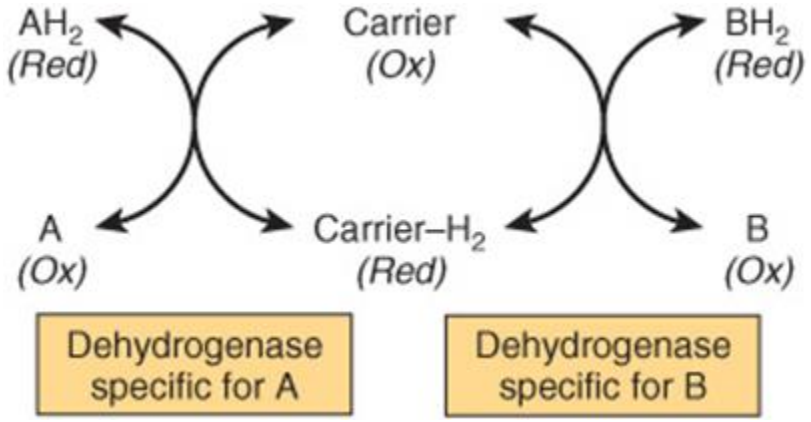
플라빈단백질

- 플라빈 모노뉴클레오타이드 (FMN), 플라빈 아데닌 다이뉴클레오타이드 (FAD)
- FMN, FAD 모두 리보플라빈(Vit B_2)에 의해 형성

플라빈단백질을 보조단으로 갖는 옥시데이스

- L-아미노산 옥시데이스: L-아미노산의 산화 탈아민화
- 잔틴 옥시데이스: 요산을 배출
- 알데하이드 탈수소효소: 알코올을 아세트알데하이드로 가수분해

탈수소효소들은 수소 받개로 산소를 이용할 수 없다



- 산화 환원반응에서 수소를 이동시킴
- NAD^+와 같은 공통적인 보조효소나 수소운반체를 사용

탈수소효소들은 수소 받개로 산소를 이용할 수 없다

- 나이아신(Vit B_3)에서 유래한 니코틴아마이드 아데닌 다이뉴클레오타이드 (NAD^+), 니코틴아마이드 아데닌 인산 다이뉴클레오타이드 ($NADP^+$)를 사용
- NAD 결합된 탈수소효소: 당분해, 시트르산 회로, 호흡사슬 등 대사의 산화적 경로
- NADP 결합된 탈수소효소: 지방산 합성, 스테로이드 합성, 인산 오탄당 경로등 환원적 합성

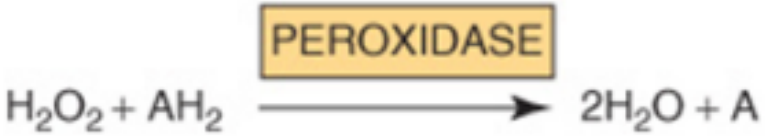
탈수소효소들은 수소 받개로 산소를 이용할 수 없다

- 라이보플라빈 결합 탈수소효소: 호흡사슬
- NADH 탈숫효소: 전자 운반체
- 석신산 탈수소효소, 아실-CoA 탈수소효소, 사립체 3-인산글리세롤 탈수소효소: 환원당량을 기질로부터 호흡사슬로 직접 전달

- 사이토크롬 b, c_1, c

하이드로퍼옥시데이스는 과산화수소 또는 유기 과산화물을 기질로 사용한다

- 과산화물의 축적 → 유리 라디칼 발생 → 세포막 손상, 암, 죽경화증 야기



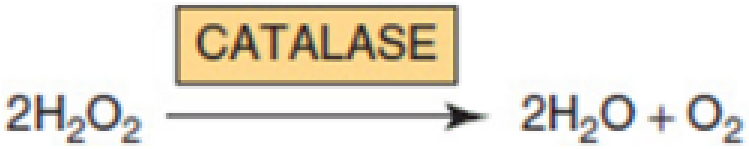
퍼옥시데이스: 백혈구 혈소판, 아이코사노이드 대사

- 보조단: 프로토헴
- 아스코브산, 퀴논, 사이토크롬 c등을 산화, 과산화수소 환원

글루타싸이온 퍼옥시데이스

- 보조단: 셀레늄, 적혈구에 존재
- 막지질과 헤모글로빈을 과산화물에 의한 산화로 부터 보호

하이드로퍼옥시데이스는 과산화수소 또는 유기 과산화물을 기질로 사용한다



카탈레이스: 네 개의 헴 기를 포함하는 헴 단백질

- H_2O_2가 전자 주개이면서 전자 받개
- 혈액, 골수, 점막, 신장, 간 등에서 발견
- 옥시데이스에 의해 생긴 과산화수소 파괴
- 미세과산화소체(peroxisome): 옥시데이스, 카탈레이스 풍부

산소화효소들은 산소를 직접 기질 분자 내에 전달하고 편입시킨다

- 산소가 효소의 활성부위에 결합
- 결합된 산소가 환원되거나 기질로 전달

다이옥시제네이스: 산소 분자를 기질내로 편입

$$A + O_2 \rightarrow AO_2$$

- 호모젠티스산, 다이옥시제네이스, 3-하이드록시안트라닐산 다이옥시제네이스, L-트립토판 다이옥시제네이스

모노옥시제네이스: 산소 원자 하나만을 기질내로 편입

- 나머지 산소원자는 환원되어 보조기질인 물을 생성

산소화효소들은 산소를 직접 기질 분자 내에 전달하고 편입시킨다

사이토크롬 P450

- 약물대사와 제독과정에 중요한 역할
- 약물의 변형과 분해의 75%를 담당
- 펜즈피렌, 아미노피린, 아닐린, 모르핀, 벤즈페타민 등의 수용성을 높이고 배설이 잘 되도록 수화시킴
- 페노바르피탈: 사이토크롬 P450 합성 유도
- 부신 겉질, 고환, 난소, 태반과 같은 스테로이드 생산조직
- 7α-하이드록실레이스, 스테롤 27-하이드록실레이스

초과산화물 디스뮤테이스는 산소독성에 대하여 호기성 생명체를 보호한다

- 초과산화물 음이온 유리라디칼(O_2^-) 조직에 손상을 일으키며, 연쇄 반응에 의해 증폭
- 초과산화물은 산화된 사이토크롬 c를 환원
- 초과산화물 디스뮤테이스에 의해 제거
- 산화제와 환원제 역할
- 모든 호기성 조직과 사립체와 세포질에 존재
- α-토코페롤(Vit E): 항산화제, 유리라디칼의 소거제

요약

- 생물계에서는 항상 산화와 환원이 일어남
- 산화환원효소는 다양한 기능을 담당
- 옥시데이스, 탈수소효소: 호흡
- 하이드로퍼옥시데이스, 산소화효소: 약물과 스테로이드 수산화반응 매개
- 조직 특이적인 초과산화물 디스뮤테이스는 초과산화물 유리라디칼에 의해 야기되는 산소독성으로부터 보호