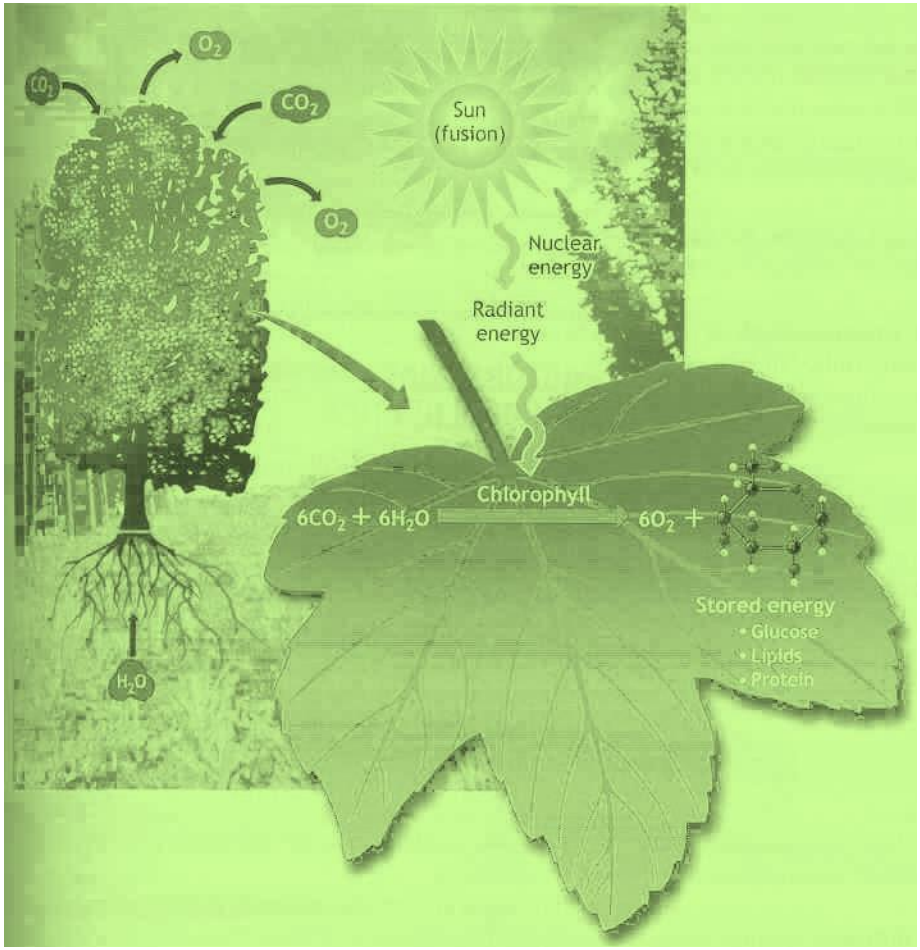
제 4주차



기초대사 및 생체에너지시스템

서 한 교

학습목표

- 세포막, 핵, 미토콘드리아의 기능을 논의한다.
- 용어 정의 : 에너지소비반응, 생산반응,
  연결반응, 생체에너지학을 이해한다.
- 세포의 화학반응 촉매효소들의 역할을 설명한다.
- 운동 시 에너지로 사용되는 영양소를 논의한다.
- 고에너지 인산염을 설명한다.

학습목표

- ATP의 무산소적/유산소적 생산과 관련 논의한다.
- 대사작용을 조절하는 일반적경로를 설명한다.
- 운동 중 무산소적/유산소적 ATP 생산의 상호작용을 논의한다.
- 해당작용과 크렙스 사이클의 속도를 제한하는 효소를 열거한다.

개 론(대사와 생체에너지학)

- **대사** : 몸에서 일어나는 화학반응의 총체

- 동화반응(Anabolic)
  * 분자의 합성
- 이화반응(Catabolic)
  * 분자의 분해

- **생체에너지학**

- 음식물(지방, 단백질, 탄수화물)의 생물학적 에너지전환과정을 말함. 에너지의 사용은 ex) 근 수축, 소화기능,단백질합성,호르몬분비,신경전달,혈액순환 등

세포의 구조

17C 영국 로버트 훅(Robert Hook)

- **인체구성 기본 화학물질4가지-**산소(65%), 탄소(18%), 수소(10%), 질소(3%) 그 외 나트륨, 철, 아연, 칼륨, 칼슘 등

- **화합물을 형성하기 위한 화학적 결합**

-탄소함유 화합물(유기화합물)-단백질(CHON), 지방($C_{16}H_{18}O_2$), 탄수화물($C_{16}H_{12}O_8$),

-비 탄소함유 화합물(무기화합물)-물(H_2O)

세포의 구조

(세포는 화합물합성 공장 기능)

- **세포막(원형질막)**
  - 세포 내부와 밖의 액체 사이의 반투과성 방어 장벽으로 내외부의 기질통과 조절기능
- **핵**
  - 단백질 합성을 조절하는 유전자(DNA요소로 구성)함유
- **세포질(근형질)**
  - 세포의 액체 부분
  - 세포 소기관(미토콘드리아-음식물을 에너지로 전환하는 세포의 발전소) 함유

- # 분자생리학의 연구분야

- 2,3만개의 유전자와 이에 따른 세포의 특성분석

- 운동수행능력 과학적향상

- 근력트레이닝이 수축성 단백질 증가 →근력 향상

- DNA 사슬 - 전사(복사) -mRNA(단백질합성정보의 청사진)세포질지나(아미노산체인형태)- 리보솜 이동 - 해독(구조와 기능, 양과 형태)-세포의 특성결정

세포의 화학적 반응

- 음식물을 생물학적으로 유용한 에너지형태로 전환하는 과정에 발생
- 에너지 소비반응
  - 반응물질에 필요한 에너지
- 에너지 생산반응
  - 화학적 과정의 결과로 에너지 방출
- 연결반응
  - 하나의 반응에서 발생한 자유에너지가 다음 반응을 추진시키기 위해 사용되는 연결에너지반응

에너지 대사(Metabolism)

에너지?

- 일할 수 있는 능력

- 종류 : 화학적/기계적/열/빛/전기적/핵(상호전환가능)

-인체가 사용하는 직접적인 에너지원은? : ATP

※ 열역학 법칙

에너지 보존의 법칙

- 모든 형태의 에너지는 상호간의 전환이 가능하다
- 에너지는 결코 없어지거나 새로이 생성되지 않는다.
- 한가지 형태에서 다른 형태로 점차적으로 전환 → 열로 바뀜

킬로 칼로리(Kcal)

- **1 kcal = 15°C의 물을 1°C 상승시키는데 요구되는 열에너지**

에너지 대사(Metabolism)

- 인체가 사용하는 에너지의 60% -70%는 열로 방출
- 나머지 에너지로 근수축 활동과 세포내 항상성 유지를 위한 과정들을 위해 사용

세포의 활동을 위한 에너지

- 우리가 섭취한 음식물이 세포에서 에너지로 사용하기 위해서는 이화작용 (catabolism) 에 의해 분해된다.
- 에너지는 인산화 작용(phosphorylization) 에 의해 음식물로부터 ATP로 전환된다
- ATP는 에너지를 저장하고 전달하는 고에너지 결합체이다

칼로리(Kilocalorie)

- 생물학적으로 에너지는 칼로리로 측정
- 1 칼로리(kilocalorie)는 물 1 kg을 15°C에서 16 °C로 올리는데 필요한 열에너지의 양으로 정의

운동시 에너지 소비량의 측정

직접 측정법(direct calorimetry)—에너지 소비를 계산하기 위하여 신체 열 생산을 측정

간접 측정법(Indirect calorimetry)—이산화탄소와 산소의 호흡교환율(Respiratory Exchange Ratio : RER) 을 가지고 에너지 소비량을 계산

운동 에너지원

- 탄수화물
  - 포도당
    * 당원으로 저장됨
- 지방
  - 주로 지방산이 사용됨
    * 중성지방으로 저장됨
- 단백질
  - 아미노산이 포도당으로 전환
  - 운동 중 주요 에너지원은 아님(주로 인체조직을 구성)

영양소의 열량/대사량?

- 열량 : 인체가 하루 동안 활동하고 생명을 유지하는데 필요로 하는 에너지량을 표시
  (단위 : 예, 2,700Kcal /1일 남자)
- 영양소 1g당 체내에서 이용될 때 발생하는 평균 열량 :
  탄(4.1Kcal), 지방(9.3Kcal), 단백질(4.1Kcal)

- 대사량 : 일정시간에 신체에서 발생하는 열량으로 신체의 활동상태에 따라 시시각각 변화

에너지원(Energy Sources)

- 휴식시, 인체는 에너지를 만들기 위해 탄수화물과 지방을 사용
- 단백질은 세포의 활동을 위한 에너지로는 거의 사용되지 않고, 우리 인체 조직의 재생 원료로 사용(머리카락, 피부등)
- 근수축 활동이 높아질수록, 우리 인체는 에너지원으로 대부분 탄수화물을 사용

탄수화물(Carbohydrate)

- 즉시 이용할 수 있고, 근육에서 쉽게 에너지 대사를 통해 에너지를 생산할 수 있다.
- 글리코겐(glycogen) 형태로 근육에 80%, 간에 20% 저장되고, 혈액에 소량 글루코스(glucose) 형태로 저장
- 간에 저장된 글리코겐은 글루코스 형태로 전환한 다음 혈액을 통해 필요로 하는 조직으로 이동되어 근육세포에서 ATP 생산을 위해 이용

지방(Fat)

- 30분 이상 수행되는 장시간의 중-저강도 운동 중에 주요 연료가 탄수화물에서 지방 에너지로 바뀜
  - 최대산소섭취량의 60% 강도로 운동할 때 최대 연소
  - 우리 인체는 탄수화물 보다 훨씬 많은 양의 지방을 중성지방(triglyceride) 형태로 저장하고 있음

지방(Fat)

- 지방이 에너지 대사를 통해 근육세포의 에너지원으로 사용되기 위해서는 글리세롤(glycerol)과 유리지방산(free fatty acids:FFA)으로 분해되어야 함
- 탄수화물에 비해 즉시 근육세포에서 이용할 수 없는 단점
- 유리지방산(free fatty acids:FFA)이 ATP 생성의 원료로 이용

에너지와 연료의 인체 저장 비교

	g	kcal
탄수화물(Carbohydrates)		
간(Liver glycogen)	110	451
근육(Muscle glycogen)	250	1,025
혈액내(Glucose)	15	62
Total	**375**	**1,538**
지방(Fat)		
피하지방(Subcutaneous)	7,800	70,980
근육내(Intramuscular)	161	1,465
Total	**7,961**	**72,445**

Note. These estimates are based on an average body weight of 65 kg (143 lb) with 12% body fat.

단백질(Protein)

- 당원신생(glucogenesis)을 통해 글루코스로 전환되어 세포의 에너지원으로 이용
- 단백질의 가장 최소 단위인 아미노산(amino acid)이 세포 에너지 생산의 원료로 사용

당원(Glycogen) 합성과 분해

해당작용(Glycolysis)— glucose의 분해(anaerobic 혹은 aerobic 일수있음)과정으로 에너지생성

당원신생(Glycogenesis)—글루코스가 글리코겐으로 합성되어 간에 저장되는 과정

당원분해(Glycogenolysis)— 글리코겐이 근육 세포에서 사용할 수 있도록 글루코스 1인산(glucose-1-phosphate)으로 분해되는 과정

글루코스 신생합성(Glyconeogensis) —

글루코스를 탄수화물이 아닌 지방이나 단백질로부터 새롭게 만드는 과정

고에너지 인산염 (ATP)

- 아데노신 3인산염(ATP)

  - 아데닌, 리보스, 인산 3고리로 구성됨

- 결합

  - $ADP + P_i \rightarrow ATP$

- 분해

  - $ATP \xrightarrow[ATPase]{} ADP + P_i + 에너지$

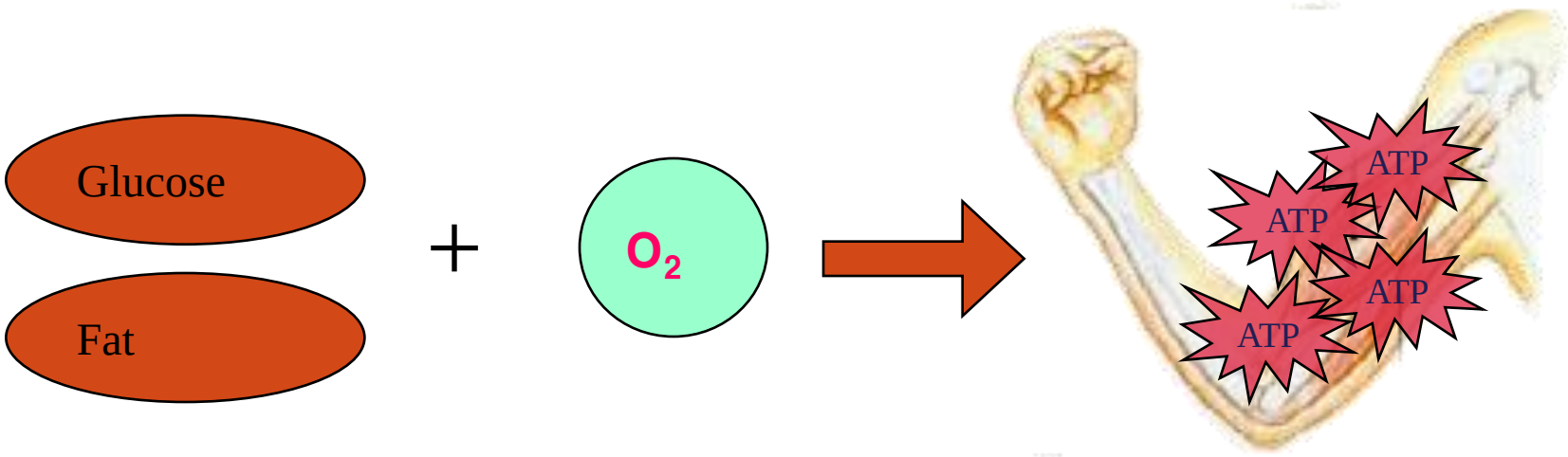
ATP는 어떻게 만들어지는가?

세포대사 작용

- 이화(분해)작용 : 세포의 기능을 발휘하기 위한 에너지를 세포에 공급하는 과정(예, 글리코겐 분해) – 운동

- 동화작용 : 세포가 이화작용 에너지를 이용하여 지방/탄수화물 등을 조직에 저장(예, 글리코겐 저장) – 회복시

산소가 있든 없든 영양소로부터 생성



생체에너지학(Bioenergetics)—ATP 생산

근육세포는 **ATP**저장에 한계, 근육활동위한 근수축 에너지를 지속적 공급위해 세포는 대사작용 통해 빠르게 **ATP**공급

1. ATP-PCr system (phosphagen system)-크레아틴인산에 의한 ATP생성

2. Glycolytic system- 해당작용에 의한 포도당이나 당원의 분해로 ATP생성

3. Oxidative system- 산화작용에 의한 ATP형성

***1과 2는 산소를 사용치 않으므로 무산소성 대사경로이며 3은 산소를 이용한 산화작용에 의한 ATP생성과정이므로 유산소성대사경로라 한다

ATP-PCr System

- 이 에너지 시스템은 소량의 ATP를 생산함으로써 에너지 고갈을 예방
- 이 과정은 산소없이 ATP를 생산하기 때문에 무산소성(anaerobic)이라고 함
- 1 mole의 phosphocreatine(PCr)이 ATP 1mole을 생산

무산소성 ATP 생산

- ATP-PC 시스템

- ATP의 즉각적인 자원

- 해당과정

- 에너지 투자 단계

  * 2 ATP 필요

- 에너지 생산 단계

  * ATP, NADH(수송 단백질), 피루브산, 젖산 생성

경기력 향상비법 I

- 크레아틴 섭취는 운동수행 능력을 향상시키는가?
  - ATP-PC시스템에서 ATP 생산 증가
  - 고강도 단시간 운동에 유리
  - 근력트레이닝 효과의 증가
  - 체중증가로 체중부하 운동 관련해서 논란
  - 복통, 설사, 근육통과 관련
  - 장기간의 복용에 대한 안전여부 불명확

The Glycolytic System

- Glycolytic System에서 일어나는 해당작용(glycolysis)은 산소없이 일어나므로 무산소성(anaerobic)과정
- 피루빅산(pyruvic acid)은 무산소 해당작용(anaerobic glycolysis)에 의해 젖산(lactic acid)으로 전환
- 1 mole의 글리코겐은 3 mole의 ATP를 생산 ; 1 mole의 글루코스는 2 mole의 ATP를 생산

The Oxidative System

- 에너지원을 분해하여 ATP를 생산하기 위해 산소가 필요함
- 세포 미토콘드리아(mitochondria) 에서 ATP를 생산
- anaerobic system에 비해 더 많은 양의 ATP를 생산
- 장시간 운동에서 주로 우위적인 에너지 생산 방법

탄수화물의 산화

- 해당작용에 의해 피루빅산(Pyruvic acid)은 아세틸 CoA로 전환
- Acetyl CoA는 크렙스 싸이클(Krebs cycle)로 들어가 2몰의 ATP와 이산화탄소, 그리고 수소이온 (hydrogen) 생성

탄수화물의 산화

- 세포에서 수소이온은 두개의 효소와 결합하여 전자전달계로 이동
- 전자전달계에서 수소 원자는 ATP와 물을 생산하는데 재이용
- 1몰의 글리코겐은 39몰의 ATP를 생산

지방의 산화

- 지질분해(lipolysis) –중성지방 (triglycerides)이 글리세롤과 유리지방산으로 분해
- 혈액을 통해 근섬유로 이동한 유리지방산은 미토콘드리아에 있는 아세틴산에 의해 아세틸 CoA로 분해
- 아세틸 CoA는 크렙스 싸이클과 전자전달계로 이동 32ATP생산
- 지방산화는 탄수화물 산화에 비해 더 많은 산소가 필요하지만 그로써 더 많은 에너지를 생산

단백질 대사

- 우리 인체는 휴식시나 운동시 에너지 대사의 5% - 10% 미만을 단백질 사용
- 몇몇 아미노산이 단백질 형태에서 글루코스 형태로 전환될 수 있음
- 아미노산의 질소가 에너지를 생산하지만 분해하기는 어렵다.

유산소성 에너지체계의 능력조절인자는?

- 근육 내에서 산화 효소의 활동 정도
- 근섬유 구성과 미토콘드리아의 수
- Endurance training
- 폐에서의 산소 흡입능력(uptake)과 가용 능력(availability)

효 소

- 인체 내 화학적 반응의 속도를 조절하는 촉매제로서 대사작용경로를 조절하는 **단백질**
  - 화학적 반응을 일으키기위해 요구되는 활성화 에너지를 낮춤

- 효소의 활성을 조절하는 요인
  - 온도(준비운동으로 인한 적당한 체온상승은 효소 활동 증가)
  - 수소이온 농도(pH)의 증가

    예)고강도 운동으로 축적된 젖산은 pH를 감소시켜 효소활동 억제

    → 에너지 합성 방해

효소의 형태와 작용

효소 형태	대표적인 효소
산화 환원효소(산화 환원촉진)	젖산염 탈수소효소,산화 환원효소
전이 효소(분자구성요소를 이동촉진)	헥소키나아제,아미노산전이효소
가수분해 효소(물첨가로 결합을 분리하는 반응 촉진)	리파아제, 펩티드 분해, 인산분해, 에스테르 분해효소
리아 효소(결합반응 촉진)	탄소 탈수효소, 합성효소 아미드, 아미노 분해효소
이성화 효소(화합물분자구조 재구성하도록 상호변화반응 촉진)	인산글리세레이트 전위효소, 이성화, 에피머효소
연결 효소(2개의 기질분자 사이에 결합을 형성하는 반응 촉진)	피루빅염 카르복실효소, 카르복실효소, 합성효소

ATP-PC system의 조절

- PC (phosphocreatine)의 분해는 creatine kinase 활동에 의해 조절된다.
- creatine kinase는 근형질의 ADP 농도가 증가할 때, 활성화되고, ATP 농도가 증가하면 억제된다.
- ADP 농도의 일시적인 증가는 PC를 분해하여 ATP 재합성에 필요한 에너지를 만드는 PC 분해를 촉진하는 creatine kinase를 자극한다.
- ATP 농도의 증가는 ADP 농도 감소와 함께 발생하고 ADP 농도의 감소는 creatine kinase 활성도를 억제한다.

해당작용(Glycolysis)의 조절

- 해당 작용의 가장 중요한 속도-조절 효소는 phosphofructokinase(PFK)
- ADP와 Pi 수준은 PFK 수준을 증가시키고, 해당작용 비율을 증가시킨다
- 반대로, 세포내의 ATP 수준이 높으면 PFK 활동이 억제되고 해당작용 활동이 느려진다.
- 세포내의 높은 H+ 수준도 PFK 활동을 억제한다.
- ATP-PC 시스템에서는 PFK 활동이 negative feedback으로 작용한다.

글리코겐 분해(Glycogenolysis)의 조절

- 글리코겐에서 글루코스로 분해과정에서 중요한 역할을 하는 효소

  : phospholyase

- 이 효소는 해당작용의 효소는 아니지만, 글루코스가 기관으로 들어가는 경로에 중요한 역할을 한다.

- **Ca++** 이온 농도도 간접적으로 **phospholyase**에 영향을 준다.

효소의 다른 역할

- 특정질병 진단하는데 중요한 역할

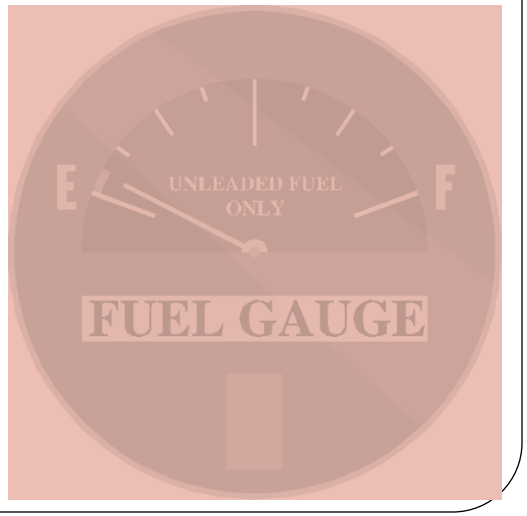
(세포조직이 병에 걸렸을 때 죽은 세포는 파괴되어 효소를 혈액에 방출)

- 효소관련 질병

젖산 탈수소효소(심근)	심근 허혈
크레아틴 키나아제	심근허혈, 근육 영양실조
알카린 포스파타제	뼈의 암, 폐쇄성 황달
아밀라아제	췌장염, 동공성 소화궤양
알돌라아제	근육영양실조

피로의 원인(Causes of Fatigue)

- 인산크리아틴 (PCr) 고갈
- 당원(Glycogen)고갈 (30분 이상 지속되는 운동)
- 젖산과 수소이온의 축적 (30분이내의 짧고 강한운동시)
- 신경근 피로
- 스트레스



The End !!!!