MEDICINLEKTIONER

medicinlektioner.se
youtube.com/medicinlektioner

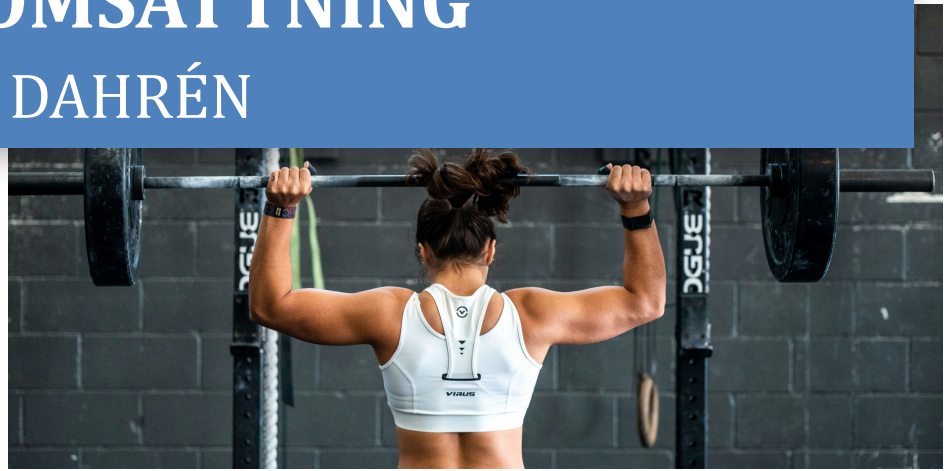




INTRODUKTION TILL CELLANDNING OCH ÄMNESOMSÄTTNING

NIKLAS DAHRÉN





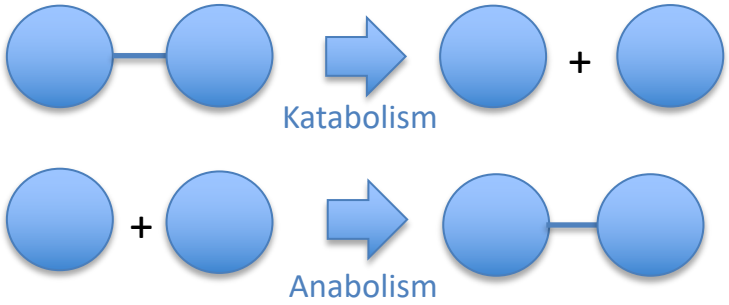
Cellernas ämnesomsättning (metabolism)

- ✓ **Vad menas med cellernas ämnesomsättning?:** Cellernas ämnesomsättning, eller metabolism, är alla de kemiska reaktioner som sker i en cell och som gör att den kan överleva, växa och fungera. Dessa reaktioner styrs av enzymer och regleras av hormoner.

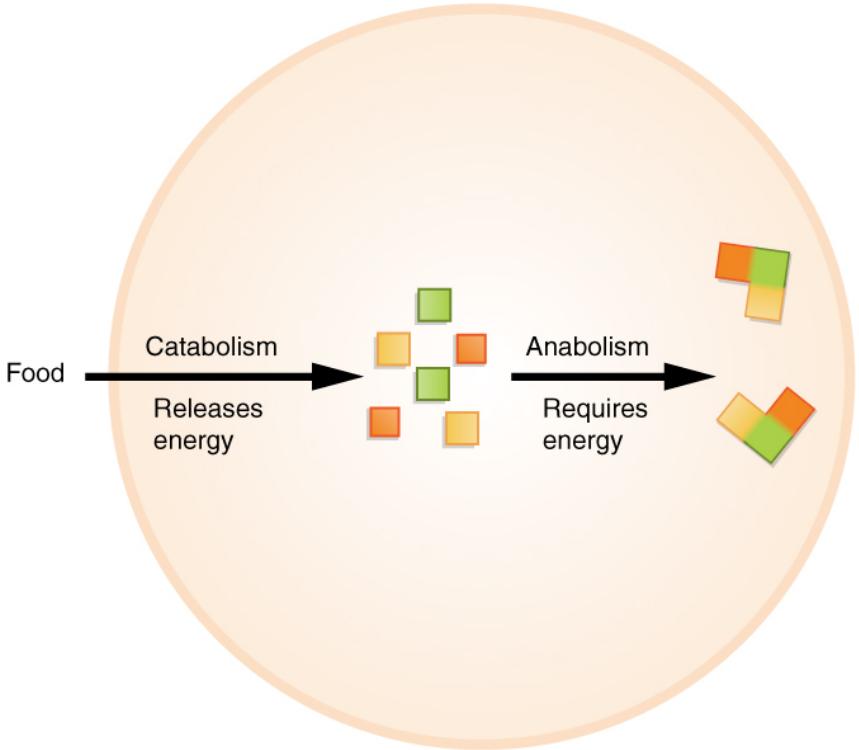
- ✓ **Ämnesomsättning delas in i:**
  - Katabolism: Nedbrytning av molekyler → frigör energi.
  - Anabolism: Uppbyggnad av molekyler → kräver energi.

- ✓ **Exempel på katabolism (katabola reaktioner):**
  - Cellandningen: Nedbrytning och oxidation av glukos, fettsyror och aminosyror med hjälp av syre → koldioxid, vatten och energi (i form av ATP). Energin (ATP) som bildas i cellandningen används i de anabola reaktionerna.
  - Glykogenolys: Nedbrytning av glykogen → glukos.
  - Lipolys: Nedbrytning av triglycerider → glycerol + fettsyror.
  - Proteolys: Nedbrytning av proteiner → aminosyror.

- ✓ **Exempel på anabolism (anabola reaktioner):**
  - Glykogensyntes: Hopkoppling av många glukos → glykogen.
  - Glukoneogenesen: Syntes av glukos från t.ex. aminosyror.
  - Fettsyrasyntes: Hopkoppling av många acetyl-CoA → fettsyror.
  - Proteinsyntes: Hopkoppling av många aminosyror → protein.



Jämförelse mellan katabola och anabola reaktioner

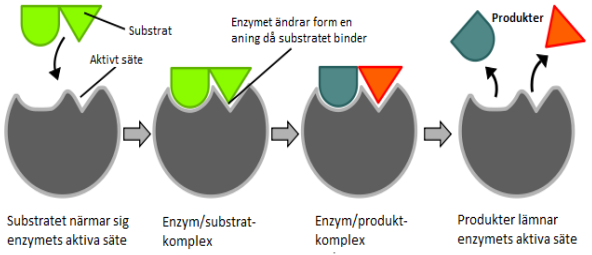


Bildkälla: By OpenStax - https://cnx.org/contents/FPtK1zmh@8.25:fEI3C8Ot@10/Preface, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49885781

Ämnesomsättningen kontrolleras av enzymer och regleras av hormoner

✓ **Kontrolleras av enzymer:**

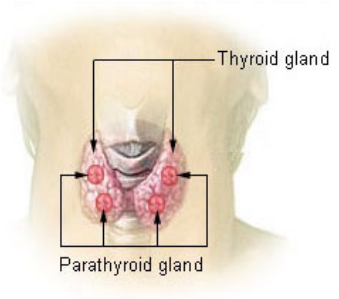
- Enzymernas funktion: Enzymer är biologiska katalysatorer som påskyndar de kemiska reaktionerna i cellens ämnesomsättning. Utan enzymer skulle reaktionerna ske för långsamt för att cellen skulle fungera. Många enzymer behöver dessutom koenzymer för att kunna utföra sin funktion.
- Exempel: Ett stort antal enzymer och koenzymer samverkar för att stegvis bryta ned glukos, fettsyror och aminosyror till energi (i form av ATP) i kroppens celler. Ett annat exempel är de matsmältningsenzymer som bryter ned födan i mag-tarmkanalen (t.ex. amylas, pepsin och lipas).



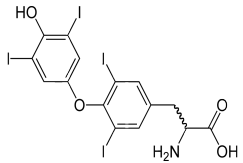
Enzymers funktion

✓ **Regleras av hormoner:**

- Hormonernas funktion: Hormoner är signalämnen som utsöndras från körtlar och binder till receptorer på eller i cellerna. De talar om när ämnesomsättningen ska öka eller minska, till exempel genom att styra vilka enzymer som ska vara aktiva, vilket påverkar cellens reaktioner och hela ämnesomsättningen.
- Exempel: Sköldkörteln bildar hormonerna tyroxin (T_4) och trijodtyronin (T_3), som ökar cellernas ämnesomsättning och gör att kroppen använder mer energi. Ett annat exempel är insulin, som får celler att ta upp glukos från blodet och använda det som energi eller lagra det som glykogen.



Sköldkörteln producerar hormonet tyroxin

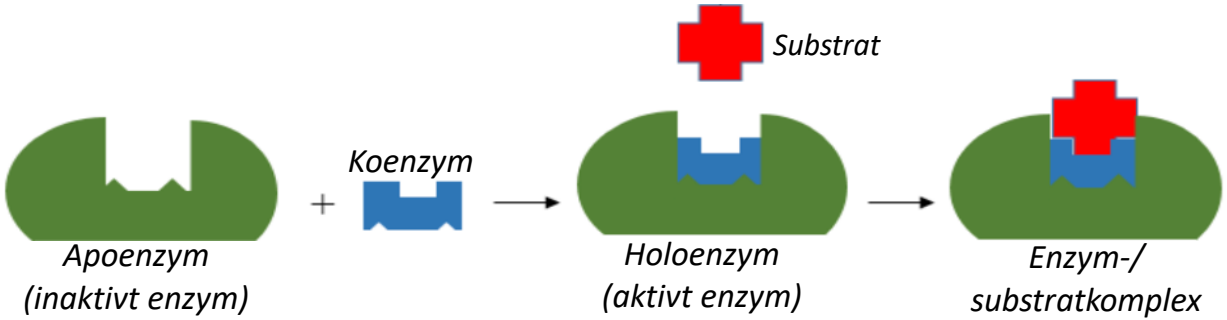


Hormonet tyroxin

Koenzymer är viktiga i ämnesomsättningen

- ✓ **Koenzymer hjälper enzymer:**
  - Koenzymer är hjälpämnen, eller ”kompismolekyler”, som hjälper enzymer att katalysera reaktioner.
  - De kan binda och bära på elektroner, väten eller andra kemiska grupper (t.ex. acetylgrupper) och överföra dem till andra molekyler, vilket möjliggör reaktioner som annars inte skulle kunna ske.
  - Många koenzymer bildas från vitaminer, till exempel NAD^+ (nikotinamidadenindinukleotid) från vitamin B3, FAD (flavinadenindinukleotid) från vitamin B2, CoA (koenzym A) från vitamin B5 och TPP (tiaminpyrofosfat) från vitamin B1.

- ✓ **Olika typer av koenzymer har lite olika funktioner:**
  - Löst bundna koenzymer (kosubstrat): Binder till enzymet under reaktionen, transporterar molekylen eller gruppen och släpps sedan fria.
  - Hårt bundna koenzymer (prostetiska grupper): Sitter kvar på enzymet och deltar i flera reaktioner utan att släppa taget.



Cellernas energiomsättning

- ✓ **Vad menas med cellernas energiomsättning?:** Energiomsättning är den del av ämnesomsättningen som handlar om hur cellen bryter ned energirika näringsämnen för att bilda ATP och hur denna energi används i energikrävande processer som transport, kontraktion och biosyntes.

- ✓ **Aerob och anaerob energiomsättning:**
  - Aerob energiomsättning: Cellen producerar energi (ATP) med hjälp av syre som oxidationsmedel. Detta kallas ofta för ”cellandningen” eller i vissa källor ”aeroba cellandningen”.
  - Anaerob energiomsättning: Cellen producerar energi (ATP) utan syre som oxidationsmedel.

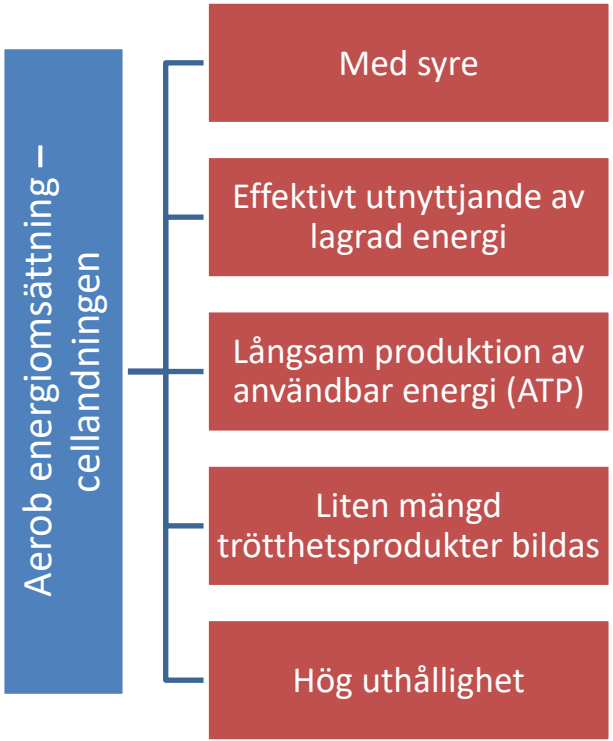
- ✓ **Aerob energiomsättning – med syre (cellandning):**
  - Oxidation av glukos: Glukos + O_2 → CO_2 + H_2O + ATP
  - Oxidation av fettsyror: Fettsyror + O_2 → CO_2 + H_2O + ATP
  - Oxidation av aminosyror: Aminosyror + O_2 → CO_2 + H_2O + ATP

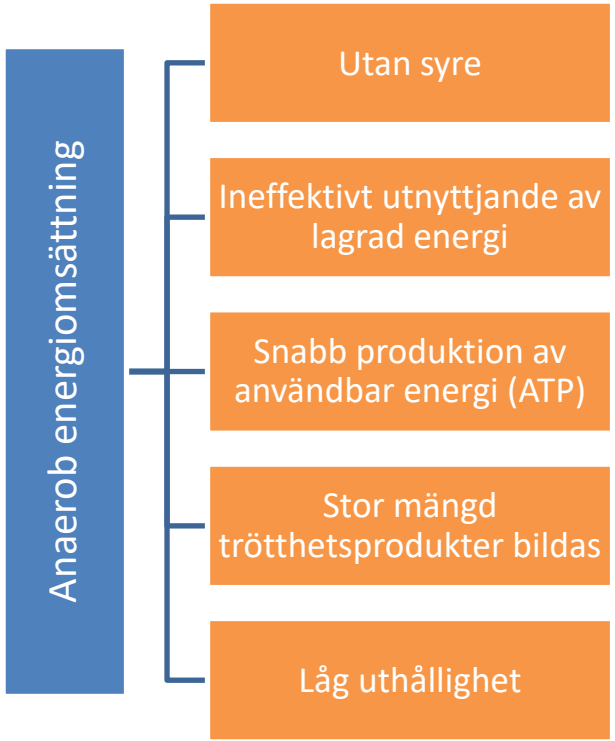
OBS: Reaktionsformlerna är inte korrekt balanserade (antalet molekyler stämmer inte).

- ✓ **Anaerob energiomsättning – utan syre:**
  - Spjälkning av kreatinfosfat: Kreatinfosfat + ADP → kreatin + ATP
  - Fermentering av glukos i djurceller (laktatjäsning, anaerob glykolys): Glukos → laktat + ATP
  - Fermentering av glukos i jästceller (alkoholjäsning): Glukos → etanol + CO_2 + ATP

Oxidation: En kemisk reaktion där ett ämne avger elektroner, ofta i kombination med att väten tas bort eller syre tas upp.

Aerob jämfört med anaerob energiomsättning



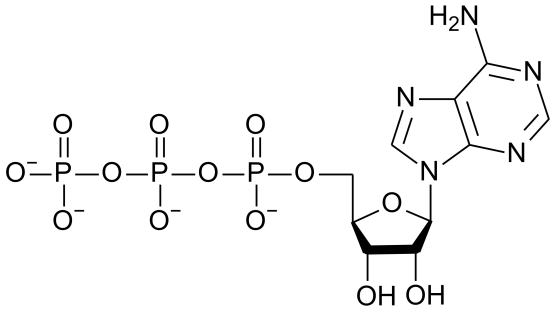


- Aerob energiomsättning används mest i vila och vid långvarigt, låg- och medelintensivt arbete, t.ex. jogging och cykling.
- Anaerob energiomsättning används mest vid kortvarigt, intensivt arbete, t.ex. sprint, hopp och tyngdlyftning.

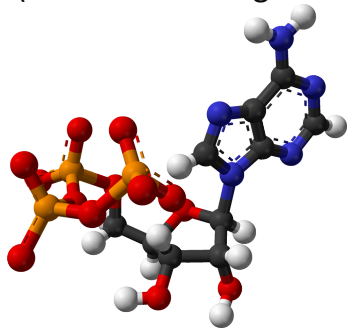
ATP (adenosintrifosfat) är cellens ”batterier” eller ”energivaluta”

- ✓ **ATP är cellens ”batterier”:** Alla reaktioner i cellen som kräver energi använder sig av ATP-molekyler. Vi kan därför likna ATP-molekyler med små batterier som åker runt och bidrar med energi där det behövs. När en ATP-molekyl har använts så har den förlorat en fosfatgrupp och då måste den ”laddas upp igen” genom att en ny fosfatgrupp kopplas på. Det sker framförallt i cellens mitokondrier.

- ✓ **ATP är cellens ”energivaluta”:** ATP brukar också kallas för cellens ”energivaluta” eftersom det är den enda energirika molekylen som cellen kan använda direkt. Andra energirika molekyler (andra energivalutor) som glukos, fettsyror och aminosyror kan inte användas direkt utan används istället i cellen för att tillverka ATP (man växlar energivalutan till rätt sort!).



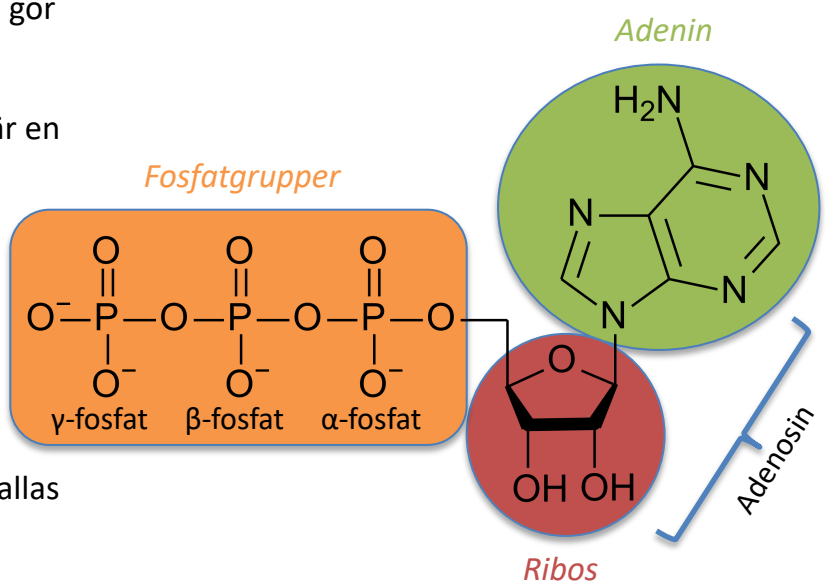
Strukturformel av adenosintrifosfat (ATP)



Molekylmodell av adenosintrifosfat (ATP)

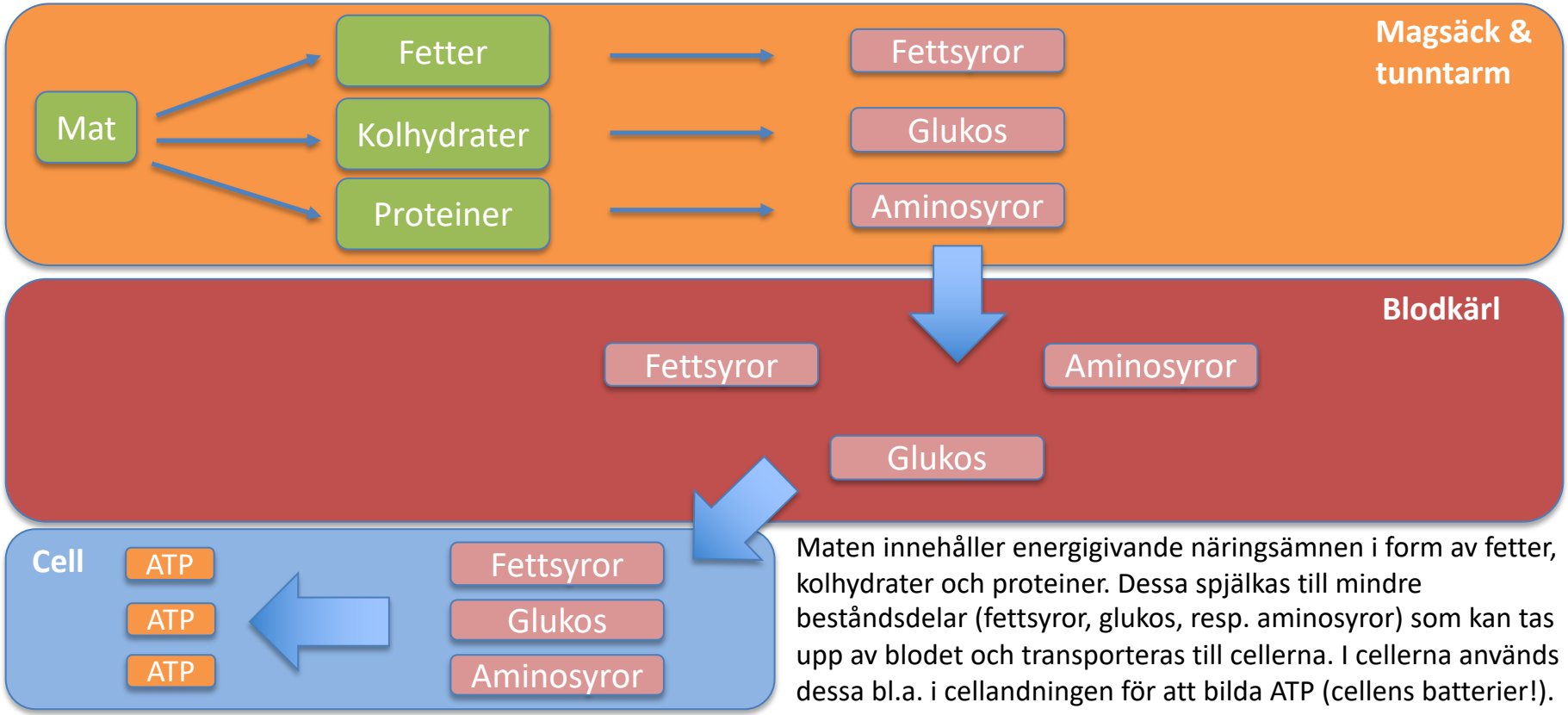
ATP-molekylens uppbyggnad

- ✓ **ATP består av tre delar**: Molekylen består av tre delar – en kvävebas (adenin), ett socker (ribos) och tre fosfatgrupper – därav namnet adenosintrifosfat. Tillsammans bildar dessa delar en struktur som gör att ATP kan lagra och avge energi vid behov.
- ✓ **Adenin:** Adenin är en kvävebas som tillhör gruppen puriner. Det är en organisk molekyl som innehåller kväve och är en av de fyra kvävebaserna i DNA och RNA.
- ✓ **Ribos:** Ribos är ett femkolssocker (monosackarid) som binder samman adenin med fosfatgrupperna. Tillsammans bildar adenin och ribos adenosin.
- ✓ **Tre fosfatgrupper:** Till adenosinet är tre fosfatgrupper bundna i rad via energirika fosfoanhydridbindningar. Dessa fosfatgrupper kallas alfa-fosfat (α), beta-fosfat (β) och gamma-fosfat (γ). Den yttersta, gamma-fosfatgruppen, är den mest energirika.
- ✓ **Vid ATP-hydrolys frigörs energi:** För att frigöra energi spjälkas den tredje fosfatgruppen från ATP med hjälp av vatten. Det bildas då ADP + P_i (oorganiskt fosfat) + energi. Processen kallas ATP-hydrolys.



Strukturformel av adenosintrifosfat (ATP)

Maten innehåller olika energigivande näringsämnen som används till ATP-produktion



Maten innehåller energigivande näringsämnen i form av fetter, kolhydrater och proteiner. Dessa spjälkas till mindre beståndsdelar (fettsyror, glukos, resp. aminosyror) som kan tas upp av blodet och transporteras till cellerna. I cellerna används dessa bl.a. i cellandningen för att bilda ATP (cellens batterier!).

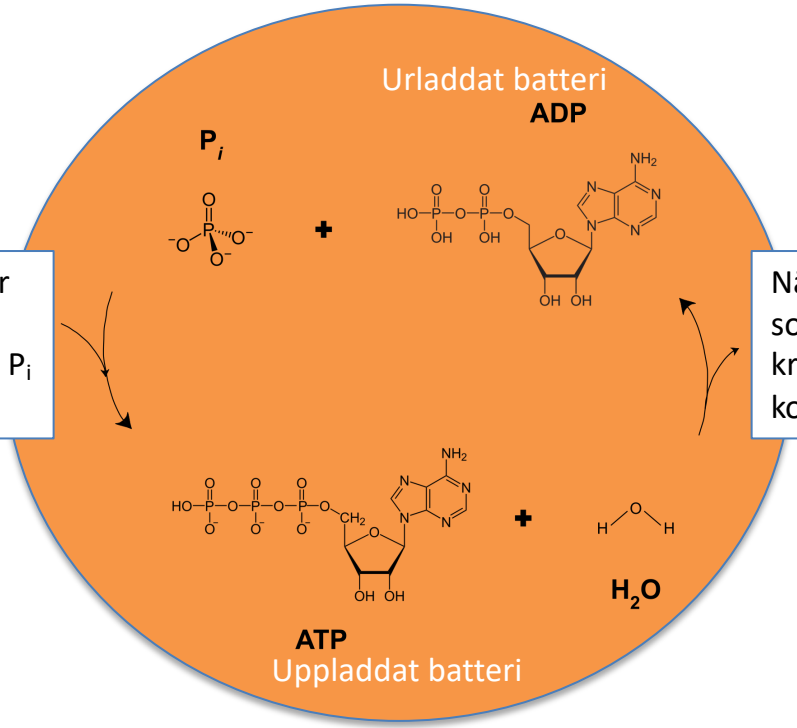
Energin i maten omvandlas till användbar energi i form av ATP-molekyler



OBS: Reaktionsformlerna är inte korrekt balanserade (antalet molekyler stämmer inte).

Vi äter energirik mat för att återuppladda ATP-batterierna

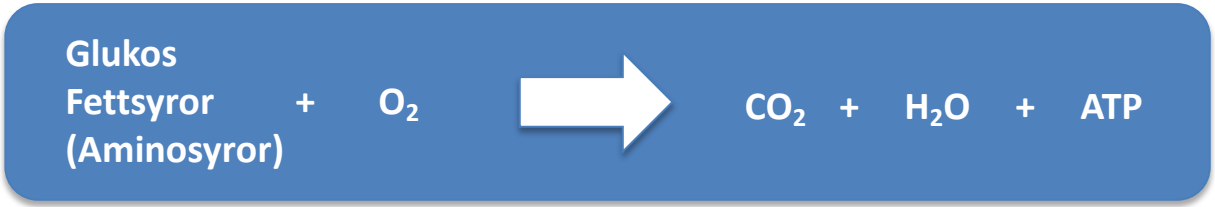
Energin från de näringsämnen vi äter (kolhydrater, fetter och proteiner) används för att koppla ihop ADP och P_i till ATP (återuppladda batteriet).



När ATP hydrolyseras frigörs energi som används i cellens energi-krävande processer, t.ex. transport, kontraktion och biosyntes-

Cellandningen – den aeroba energiomsättningen

✓ **Vad menas med cellandningen?:** Cellandningen är de biokemiska processer där celler bryter ner och oxiderar energirika molekyler (främst glukos, men även fettsyror och vissa aminosyror) med syre som oxidationsmedel, för att utvinna energi i form av ATP. Som restprodukter bildas koldioxid och vatten. Cellandningen är ett annat namn för aerob energiomsättning.



I cellandningen produceras ATP med hjälp av syre

Balanserad nettoreaktion för cellandningen av glukos:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + ca 32ATP

✓ **Andra definitioner av cellandning:**

- Cellandning omfattar all ATP-produktion i cellerna, oavsett om den sker med syre (*aerobt*) eller utan syre (*anaerobt*).
- Cellandning avser enbart den aeroba nedbrytningen av glukos, där energi frigörs och används för att bilda ATP.
- Cellandning omfattar endast citronsyracykeln och elektrontransportkedjan (*andningskedjan*), medan glykolysen inte räknas in.
- Cellandning avser endast elektrontransportkedjan (*andningskedjan*) i mitokondriernas inre membran, eftersom det är i detta steg som syre förbrukas.

Cellandningen sker i tre steg:

Glukos:

Steg 1:
1a): Glykolysen
1b): Länkreaktionen

→ Steg 2:
Citronsyracykeln

→ Steg 3:
Oxidativa fosforyleringen
(elektrontransportkedjan & ATP-syntas)

Fettsyror:

Steg 1:
Beta-oxidationen

→ Steg 2:
Citronsyracykeln

→ Steg 3:
Oxidativa fosforyleringen
(elektrontransportkedjan & ATP-syntas)

Aminosyror:

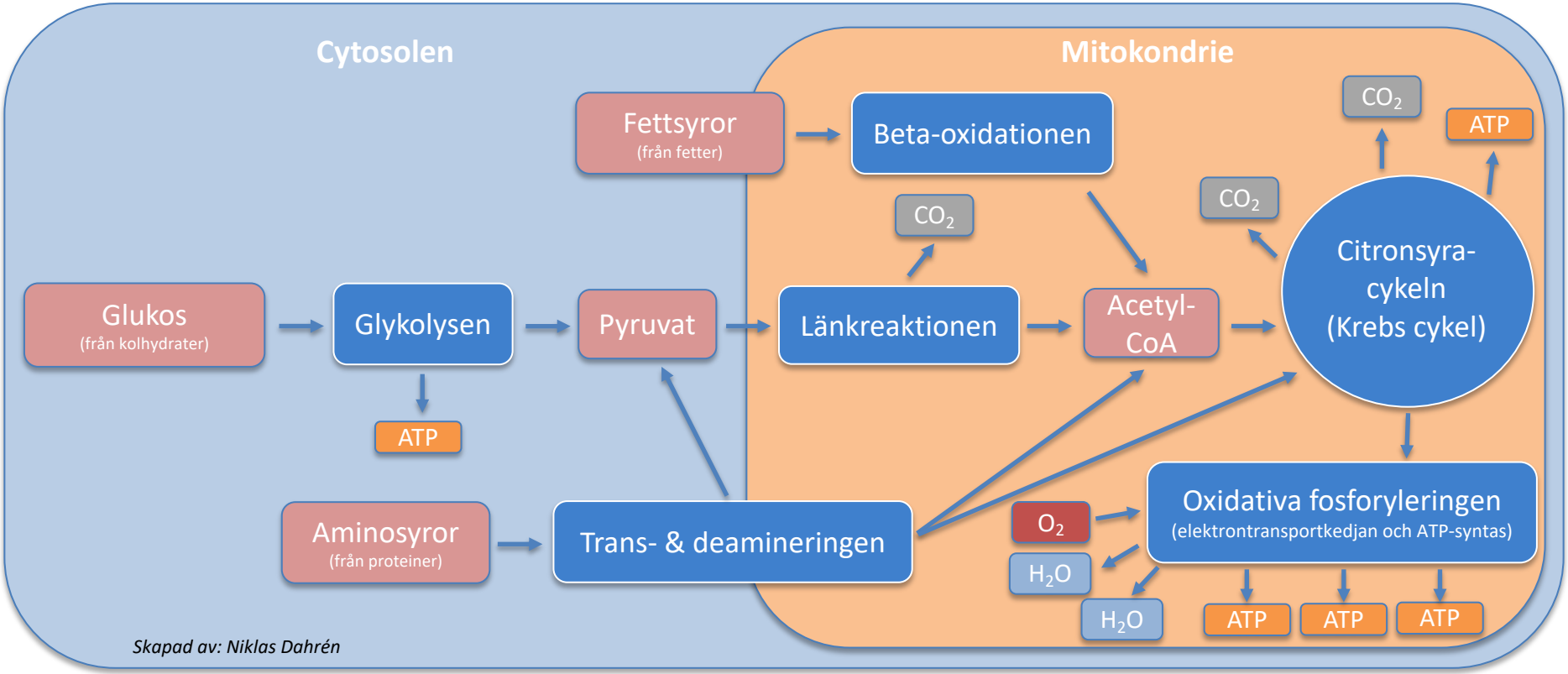
Steg 1:
Trans- & deamineringen
(och ev. länkreaktionen)

→ Steg 2:
Citronsyracykeln

→ Steg 3:
Oxidativa fosforyleringen
(elektrontransportkedjan & ATP-syntas)

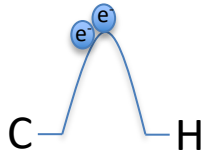
OBS: Transaminering och deaminering räknas vanligtvis inte som en del av cellandningen, utan till aminosyrametabolismen. Pedagogiskt kan de ändå betraktas som det första steget när proteiner används som energikälla i cellandningen, eftersom de gör det möjligt för aminosyrornas kolskelett att gå vidare in i cellandningens reaktionsvägar.

Översikt över cellandningen – den aeroba energiomsättningen

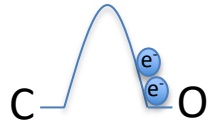


Skapad av: Niklas Dahrén

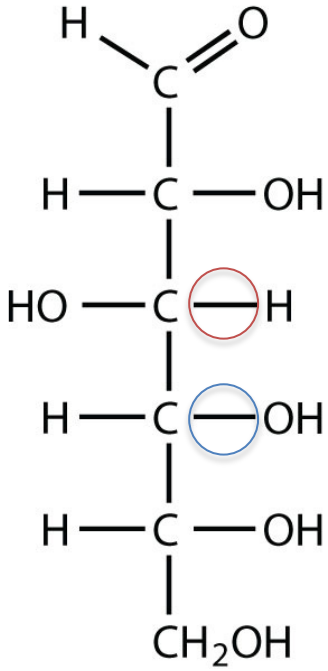
Kolvätebindningar är energirika



Kolvätebindningar är energirika



Kol-syrebindningar är energifattiga



Glukos

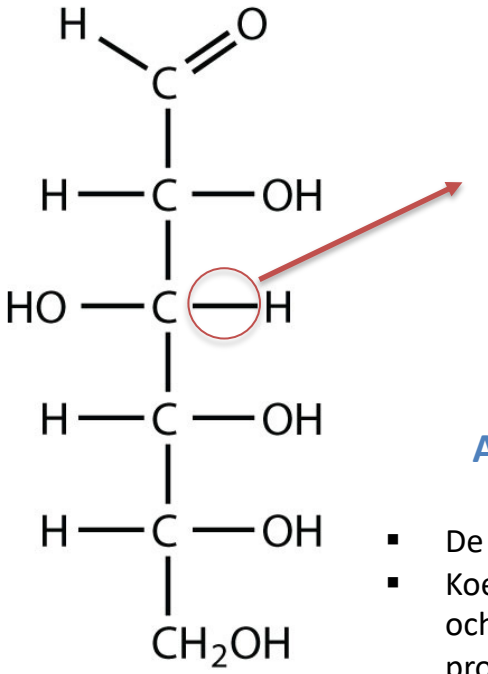
 =

Energirik bindning: C–H-bindningar är energirika eftersom kol och väte har liknande och medelhöga elektronegativiteter (2,5 respektive 2,1). Det innebär att bindningselektronerna inte dras särskilt starkt mot någon av atomerna, vilket gör att bindningen innehåller mycket kemisk energi. Man kan jämföra det med en sten som ligger på toppen av ett berg – den har hög lägesenergi och potential att rulla ner och utföra arbete.

 =

Energifattig bindning: C–O-bindningar är energifattiga eftersom syreatomen, med sin höga elektronegativitet (3,5), drar bindningselektronerna starkt till sig. Det gör att elektronerna redan har förlorat mycket av sin energi och befinner sig i ett stabilt, energifattigt tillstånd. Man kan jämföra det med en sten som redan har rullat nerför ett berg – den har låg lägesenergi och kan inte längre utföra något arbete.

Energin från elektronerna i kolvätebindningar används för att syntetisera ATP i cellandningen



Glukos

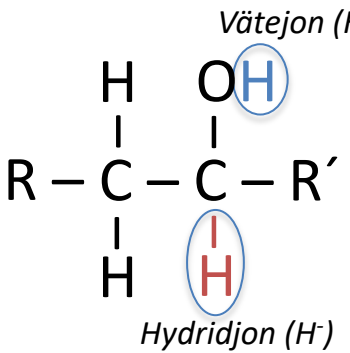
:

Energin från elektronerna används för att syntetisera: ATP

ADP + P_i + Energi (från elektronerna) → ATP + H_2O

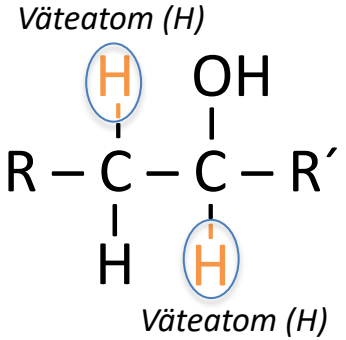
- De energirika elektronerna i kolvätebindningarna används för att tillverka ATP.
- Koenzymer som kallas för ”elektron- och vätebärare” plockar loss elektronerna och transporterar dessa till den plats inuti mitokondrierna där det mesta av ATP-produktionen sker.
- Energin från elektronerna används sedan indirekt av enzymet ATP-syntas för att koppla ihop ADP med P_i och bilda ATP.

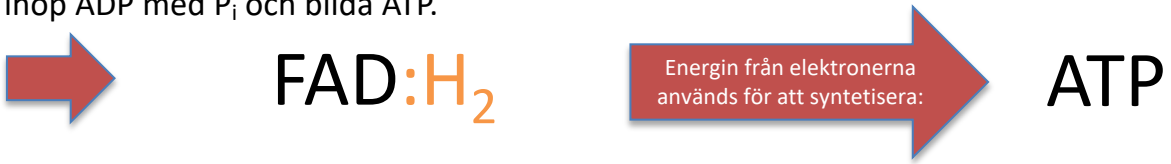
Koenzymerna NAD⁺ och FAD är elektron- och vätebärare i cellandningen





- NAD^+ och FAD är koenzymer som fungerar som elektron- och vätebärare.
- NAD^+ tar upp en hydridjon (H^-, en väteatom med två elektroner) och reduceras till NADH, samtidigt som en vätejon (H^+) frigörs.
- FAD tar upp två väteatomer (2 elektroner och 2 protoner) och reduceras till $FADH_2$.
- Både NADH och $FADH_2$ transporterar elektronerna till den oxidativa fosforyleringen, där energin från elektronerna frigörs och används indirekt av enzymet ATP-syntas för att koppla ihop ADP med P_i och bilda ATP.





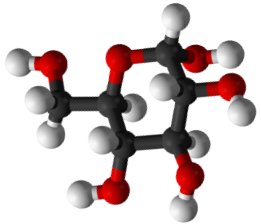
ADP + P_i + Energi (från elektronerna) → ATP + H_2O

Fettsyror har högre energitäthet och ger upphov till mer ATP jämfört med glukos

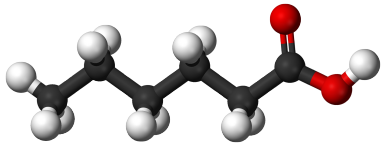
- ✓ **Fettsyror har högre energitäthet än glukos:** Fettsyror och andra fetter innehåller få syreatomer och de flesta kolatomer är bundna till väteatomer. Elektronerna i dessa kol–vätebindningar är energirika eftersom kol och väte har låg elektronegativitet och inte håller fast elektronerna hårt. I glukos och andra kolhydrater är fler kol- och väteatomer bundna till syre, vilket ger energifattigare elektroner. Det högre kol–väte-förhållandet i fettsyror leder därför till högre energitäthet.

- ✓ **Mer ATP produceras från fettsyror än från glukos:** I cellandningen produceras mer ATP från fettsyror än från glukos per gram eftersom de innehåller fler energirika elektroner tack vare fler kol–vätebindningar. Dessa elektroner tas upp av NAD^+ och FAD och används i den oxidativa fosforyleringen för att bilda ATP. Fler energirika elektroner → fler pumpade protoner → större elektrokemisk protongradient → mer ATP bildas.

- ✓ **Kroppen lagrar energi främst i form av fett:** Kroppen lagrar energi främst som fett eftersom det har högre energitäthet och inte binder vatten som kolhydrater gör. Detta gör att mer energi kan lagras på samma volym kroppsvävnad.



Glukos innehåller många syreatomer (de röda) och har därför inte lika hög energitäthet (ca 4 kcal/g)



Fettsyror innehåller få syreatomer (de röda) och har därför hög energitäthet (ca 9 kcal/g)

Repetera:

Begrepp:

- Ämnesomsättning
- Metabolism
- Katabolism
- Anabolism
- Enzymer
- Koenzymer
- NAD^+ och FAD
- Hormoner
- ATP, ADP, P_i
- Energiomsättning
- Aerob energiomsättning
- Anaerob energiomsättning
- Cellandning
- Glykolysen
- Länkreaktionen
- Beta-oxidationen
- Trans- och deamineringen
- Citronsyracykeln
- Oxidativa fosforyleringen

Fakta:

- Förklara vad som menas med cellernas ämnesomsättning (metabolism) och hur katabola och anabola reaktioner skiljer sig åt. Ge exempel på båda typerna.
- Redogör för hur cellernas ämnesomsättning kontrolleras och regleras.
- Förklara vad som menas med cellernas energiomsättning och skillnaden mellan aerob och anaerob energiomsättning. Ge exempel på båda.
- Beskriv uppbyggnaden av ATP.
- Vad innebär cellandning, och vilka är de huvudsakliga stegen i processen? Redogör även för vilka av dessa steg som är gemensamma vid nedbrytningen av glukos, fettsyror och aminosyror.
- Förklara varför koenzymerna NAD^+ och FAD är helt avgörande för att cellandningen ska fungera. Vilken uppgift har de?
- Förklara varför fettsyror har högre energitäthet och ger upphov till mer ATP jämfört med glukos.

MEDICINLEKTIONER

medicinlektioner.se
youtube.com/medicinlektioner





Lär dig mer medicin och biologi på:

medicinlektioner.se

youtube.com/medicinlektioner



