FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

1. Vad menas med cellernas ämnesomsättning (metabolism) och hur skiljer sig katabola och anabola reaktioner? Ge exempel på båda typerna.

   Svar:

   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 styras 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 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.
   - Proteinnedbrytning: Nedbrytning av proteiner → aminosyror.

   Exempel på anabolism (anabola reaktioner):
   - Glykogensyntes: Hopkoppling av glukos → glykogen.
   - Fettsyrasyntes: Hopkoppling av acetyl-CoA → fettsyror.
   - Proteinsyntes: Hopkoppling av aminosyror → protein.

2. Hur kontrolleras och regleras cellernas ämnesomsättning, och vilka roller har enzymer respektive hormoner? Ge exempel.

   Svar:

   Kontrolleras av enzymer: Enzymer fungerar som katalysatorer som påskyndar reaktionerna i ämnesomsättningen, så att cellen kan överleva och fungera. Exempel: I cellandningen hjälper enzymet ATP-syntas till att bilda ATP, som är en energirik molekyl som cellerna använder till alla energikrävande processer. Ett annat exempel är amylas, som bryter ned stärkelse till socker i maten vi äter.

   Regleras av hormoner: 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.

FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

3. Vad menas med cellernas energiomsättning och vilken skillnad finns mellan aerob och anaerob energiomsättning? Ge exempel på båda.

   Svar:

   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.
   - Anaerob energiomsättning: Cellen producerar energi (ATP) utan syre som oxidationsmedel.

   Aerob energiomsättning (med syre):
   - 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

   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

4. Vad är ATP och hur fungerar det som cellens ”batteri”? Beskriv också molekylens uppbyggnad.

   Svar:

   ATP (adenosintrifosfat) är cellens energivaluta eller ”batteri”. Alla reaktioner i cellen som kräver energi använder ATP. ATP-molekyler transporterar energi till de delar av cellen där den behövs.

   Frigöring av energi (ATP-hydrolys):
   - När cellen behöver energi spjälkas den yttersta fosfatgruppen (gamma-fosfat, γ) bort från ATP.
   - Reaktionen: ATP → ADP + P_i + energi (P_i = inorganiskt fosfat)
   - Energin som frigörs används för energikrävande processer i cellen, t.ex. transport, muskelkontraktion eller biosyntes.

   Återbildning av ATP (ATP-syntes):
   - ADP kan återladdas till ATP genom att en ny fosfatgrupp (P_i) kopplas på.
   - Denna process sker främst i **mitokondrierna** via **cellandningen**, där energin från nedbrytning av glukos, fettsyror eller aminosyror används för att fästa fosfatgruppen på ADP.

FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

ATP-molekylens uppbyggnad:

- **Adenin:** En kvävebas som är en purin. Den ingår även i DNA och RNA.
- **Ribos:** Ett femkolssocker som binder adenin med fosfatgrupperna. Tillsammans bildar de adenosin.
- **Tre fosfatgrupper:** Bundna i rad via energirika fosfoanhydridbindningar**.** Fosfatgrupperna kallas alfa (α), beta (β) och gamma (γ). Gamma-fosfatgruppen är den mest energirika och frigörs vid hydrolys.

5. Förklara vad som menas med glykolysen, vad som sker under den energikrävande respektive energiproducerande fasen, och ange vad nettoreaktionen är.

Svar:

Vad menas med glykolysen?: Glykolysen är det första steget i cellandningen när kroppen vill utvinna energi från kolhydrater. Under glykolysen bryts glukos, en monosackarid med sex kolatomer, ner stegvis till två molekyler pyruvat, med tre kolatomer vardera. I processen frigörs energi, som tas tillvara dels direkt i form av ATP, och dels indirekt genom NADH, som senare kan användas i den oxidativa fosforyleringen för att skapa mycket mer ATP. Glukos kan komma från blodet (blodsocker) eller bildas genom nedbrytning av glykogen.

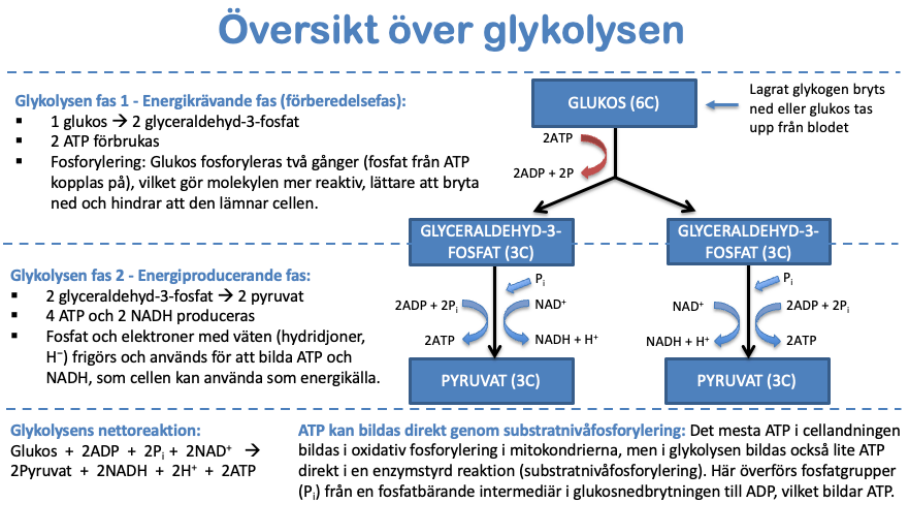
Glykolysen fas 1 - Energikrävande fas (förberedelsefas):

- 1 glukos → 2 glyceraldehyd-3-fosfat
- 2 ATP förbrukas
- Fosforylering: Glukos fosforyleras två gånger (fosfat från ATP kopplas på), vilket gör molekylen mer reaktiv, lättare att bryta ned och hindrar att den lämnar cellen.

Glykolysen fas 2 - Energiproducerande fas:

- 2 glyceraldehyd-3-fosfat → 2 pyruvat
- 4 ATP och 2 NADH produceras
- Fosfat och elektroner med väten (hydridjoner, H^-) frigörs och används för att bilda ATP och NADH, som cellen kan använda som energikälla.

Glykolysens nettoreaktion: Glukos + 2ADP + 2P_i + 2NAD^+ → 2Pyruvat + 2NADH + 2H^+ + 2ATP

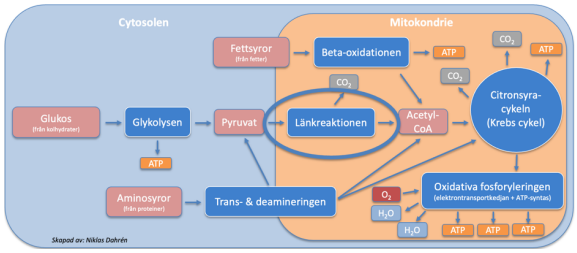


FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

6. Vad menas med länkreaktionen, vilka reaktioner sker och varför behövs koenzym A (CoA)?

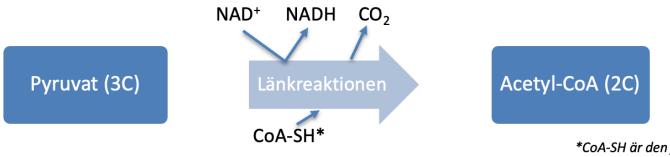
Svar:

Vad menas med länkreaktionen?: Efter glykolysen finns pyruvat i cytosolen. Det transporteras in i mitokondriens matrix via ett transportprotein, där det omvandlas till acetyl-CoA – den form som kan gå in i citronsyracykeln. I mitokondriens matrix omvandlas pyruvat till acetyl-CoA i en serie sammanlänkade reaktioner som katalyseras av pyruvatdehydrogenaskomplexet (PDC), ett stort enzymkomplex.



Vilka reaktioner sker?: Först avges en kolatom från pyruvat som koldioxid (dekarboxylering). Den kvarvarande molekylen oxideras när koenzymet NAD^+ tar upp en väteatom med två elektroner (hydridjon, H^-) och bildar NADH. Slutligen kopplas den kvarvarande tvåkolsenheten, acetylgruppen, till koenzym A (CoA-SH), vilket bildar acetyl-CoA.

Varför behövs koenzym A (CoA) i länkreaktionen?: Koenzym A behövs för att överföra acetylgruppen (tvåkolsenheten som blev kvar av pyruvat) till oxaloacetat i citronsyracykeln, där de tillsammans bildar citrat. Detta steg är avgörande för att citronsyracykeln ska kunna starta och för att cellandningen ska fortsätta. Utan CoA skulle acetylgruppen inte kunna överföras effektivt till oxaloacetat. Efter överföringen frigörs CoA och kan återanvändas.



Pyruvat + CoA-SH + NAD^+ → Acetyl-CoA + NADH + CO_2

**CoA-SH är den fria formen av koenzym A (CoA) med en reaktiv tiolgrupp (-SH) som binder acetylgruppen under bildningen av acetyl-CoA.*

7. Vad menas med citronsyracykeln och vad är det primära syftet med citronsyracykeln?

Svar:

Citronsyracykeln sker i mitokondriens matrix och utgör ett gemensamt steg i cellandningen för glukos, fettsyror och aminosyror. I cykeln bryts varje acetyl-CoA ner till två koldioxidmolekyler. Energi frigörs dels direkt som en liten mängd ATP (eller GTP), men framför allt indirekt i form av bildandet av NADH och $FADH_2$. Det primära syftet med citronsyracykeln är nämligen att koenzymerna NAD^+ och FAD ska ta upp väten med energirika elektroner och leverera dessa till elektrontransportkedjan, som är en central del av den oxidativa fosforyleringen. Energin från elektronerna används där för att pumpa protoner över mitokondriens inre membran, vilket skapar en elektrokemisk protongradient som sedan används av ATP-syntas för att bilda ATP.

FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

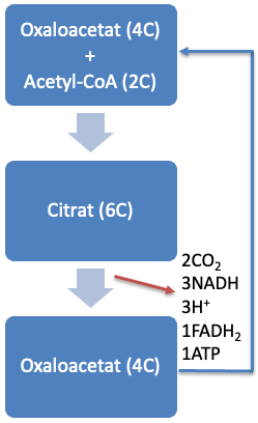
8. Redogör översiktligt för de reaktioner som sker i citronsyracykeln samt vad som bildas per varv av cykeln.

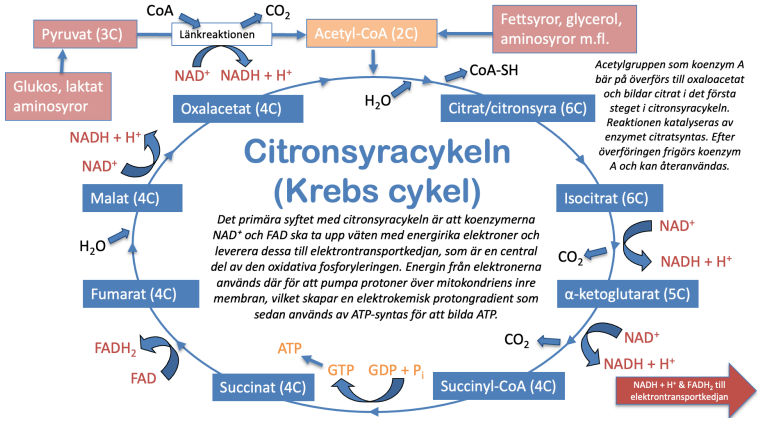
Svar:

Översikt över de reaktioner som sker:

- **Acetyl-CoA kopplas samman med oxaloacetat och bildar citrat:** Acetyl-CoA (2 kol) från länkreaktionen kopplas ihop med oxaloacetat (4 kol) och bildar citrat (6 kol).
- **Citrat bryts ned till oxaloacetat:** Citrat (6 kol) bryts sedan ner i flera steg tillbaka till oxaloacetat (4 kol), som återigen kan reagera med en ny acetyl-CoA och på så sätt fortsätta cykeln. Under dessa steg avges två CO_2.
- **Under cykeln sker oxidationer, dekarboxyleringar och fosforyleringar:** NAD^+ och FAD fungerar som elektron- och vätebärare. De reduceras till NADH och $FADH_2$ när de tar upp väten med energirika elektroner från intermediärerna i cykeln. I varje varv av citronsyracykeln sker dessutom två dekarboxyleringar, där koldioxid avges, samt en fosforylering, där ATP (eller GTP) bildas direkt genom enzymstyrd substratnivåfosforylering.

För varje varv i citronsyracykeln (varje acetyl-CoA) bildas:
$2CO_2 + 3NADH + 3H^+ + 1FADH_2 + 1ATP$





9. Vilka proteinkomplex och rörliga elektronbärare ingår i elektrontransportkedjan?

Svar:

- **Proteinkomplex:** I, II, III, IV (alla är multiproteinkomplex som sitter i det inre mitokondriemembranet).
- **Rörliga elektronbärare:** CoQ (koenzym Q, ubiquinon) och cytokrom c.

Elektroner från NADH och $FADH_2$ passerar genom proteinkomplexen och de rörliga elektronbärarna och förlorar då energi som används för att pumpa protoner.

FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

10. Beskriv hur elektroner transporteras genom elektrontransportkedjan och hur energin från elektrontransporten används för att pumpa protoner och skapa en elektrokemisk protongradient.

Svar:

Elektrontransporten frigör energi:

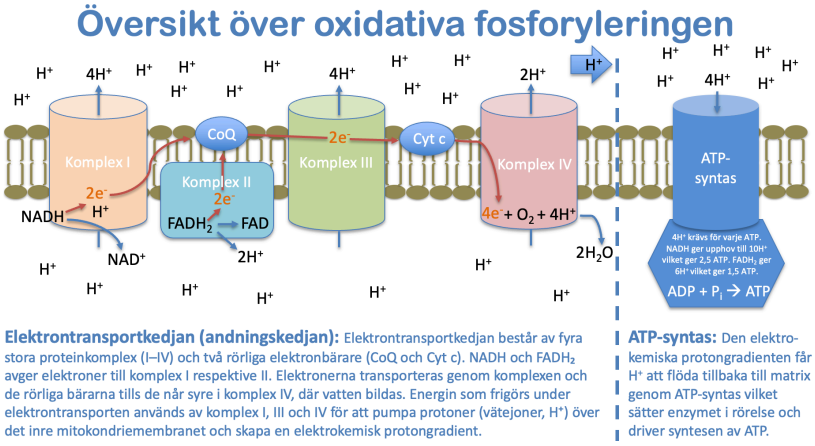
- NADH lämnar sina elektroner till komplex I, medan $FADH_2$ lämnar sina till komplex II.
- Varje elektronpar transporteras stegvis mellan olika proteiner och deras prostetiska grupper inom proteinkomplexen.
- Elektronerna "hoppar" från ett bindningsställe till nästa, där varje nytt bindningsställe har högre affinitet (starkare förmåga att attrahera elektroner) än det föregående.
- När elektronerna binds starkare frigörs energi – elektronerna "faller" alltså i energinivå. Slutligen tas elektronerna upp av syre, som reduceras till vatten (H_2O).

Energin används till protonpumpning:

- Den energi som frigörs under elektrontransporten används av proteinkomplex I, III och IV (inte komplex II) för att ändra komplexens form (konformationsändring) och pumpa protoner (vätejoner, H^+) från mitokondriematrixen genom det inre membranet till intermembransidan.
- Konformationsändringen blottar protonbindande ställen, så att protonerna tas upp från matrixsidan och sedan släpps på intermembransidan.
- Elektronerna transporteras vidare till nästa proteinkomplex, där de förlorar ytterligare energi som används för att pumpa fler protoner.
- Detta är en form av aktiv transport, där elektronernas energi omvandlas till en elektrokemisk protongradient över det inre mitokondriemembranet.

Resultatet är en elektrokemisk protongradient:

- Hög H^+-koncentration och positiv laddning på intermembransidan.
- Låg H^+-koncentration och negativ laddning på matrixsidan.



Elektrontransportkedjan (andningskedjan): Elektrontransportkedjan består av fyra stora proteinkomplex (I–IV) och två rörliga elektronbärare (CoQ och Cyt c). NADH och $FADH_2$ avger elektroner till komplex I respektive II. Elektronerna transporteras genom komplexen och de rörliga bärarna tills de når syre i komplex IV, där vatten bildas. Energin som frigörs under elektrontransporten används av komplex I, III och IV för att pumpa protoner (vätejoner, H^+) över det inre mitokondriemembranet och skapa en elektrokemisk protongradient.

ATP-syntas: Den elektrokemiska protongradienten får H^+ att flöda tillbaka till matrix genom ATP-syntas vilket sätter enzymet i rörelse och driver syntesen av ATP.

FACIT: CELLANDNINGEN OCH ÄMNESOMSÄTTNINGEN

11. Förklara hur den elektrokemiska protongradienten används av ATP-syntas för att producera ATP. Beskriv både protongradienten samt ATP-syntasets uppbyggnad och funktion.

Svar:

Elektrokemisk protongradient:
Elektrontransportkedjan pumpar protoner (H^+) från mitokondriematrix till det intermembranösa utrymmet, vilket skapar en elektrokemisk protongradient med två komponenter:

1. **Elektrisk gradient (laddningsskillnad):** Intermembranutrymmet blir positivt laddat jämfört med matrix, vilket drar tillbaka protonerna mot den negativt laddade matrixen.
2. **Kemisk gradient (koncentrationsskillnad):** Protonkoncentrationen är högre i intermembranutrymmet än i matrix, vilket gör att protonerna spontant vill diffundera tillbaka mot lägre koncentration.

Protonflöde genom ATP-syntas:
Protonerna kan endast återvända till matrix via enzymet ATP-syntas**,** eftersom membranet är impermeabelt för protoner på andra ställen. ATP-syntas fungerar som en protonkanal och omvandlar energin i protongradienten till ATP.

ATP-syntasets uppbyggnad:
- Enzymet består av två huvuddelar, F_0- och F_1-subenheten, som kopplas samman av den centrala γ-axeln.
- F_0-subenheten är hydrofobisk och sitter i det inre membranet; den innehåller en protonkanal som låter protoner (vätejoner, H^+) flöda genom membranet.
- F_1-subenheten är hydrofilisk och riktad mot mitokondriematrix, och innehåller tre β-subenheter som fungerar som katalytiska enheter där ATP syntetiseras.

ATP-syntasets funktion:
1. Protoner flödar genom F_0-subenheten och får den centrala γ-axeln att rotera, vilket överför mekanisk energi till F_1-subenheten.
2. Rotationens mekaniska energi orsakar konformationsförändringar i β-subenheterna, som "pressar" ihop ADP och oorganiskt fosfat (P_i) till ATP.

Sammanfattning:
Energin i den elektrokemiska protongradienten utnyttjas av ATP-syntas för att producera det mesta av cellens ATP. Denna process kallas **kemiosmos**.

12. Hur påverkar cyanid cellandningen och ATP-produktionen? Beskriv mekanismen steg för steg.

Svar:

Cyanid blockerar komplex IV, vilket stoppar både elektrontransport, protonpumpning och därmed ATP-syntesen i mitokondrierna, vilket snabbt kan leda till cellskada och död.

Steg för steg:

1. I komplex IV överförs elektroner stegvis från cytokrom c till syre (O_2): Cyt c → Cu_A → Cyt a_3–Cu_B → O_2.
   För att syre ska kunna ta emot elektroner och reduceras till vatten måste Cyt a3–Cu_B binda syre. Cyanid (CN^-) binder dock starkt till järnjonen (Fe^{3+}) i Cyt a3 och hindrar syre från att binda.
2. När syre inte kan ta emot elektroner bildas en "elektronkö" och elektrontransporten stannar helt.
3. Protonpumpningen upphör eftersom energin från elektronerna inte längre frigörs.
4. Den elektrokemiska protongradienten kan inte upprätthållas → ATP-syntas kan inte producera ATP.
5. Cellen får inget ATP → livshotande tillstånd.

13. Förklara varför fettsyror innehåller mer energi och ger upphov till mer ATP jämfört med glukos.

Svar:

Fett har högre energitäthet tack vare fler kol–vätebindningar: Fetter, som fettsyror, 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 kolhydrater, som glukos, är fler kol- och väteatomer bundna till syre, vilket ger energifattigare elektroner. Det högre kol–väte-förhållandet i fett 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.