

Cellens energi- produktion

I en celle foregår der mange processer, som bruger energi. Transport- (se natrium-kalium-pumpen) og synteseprocesser (se proteinsyntesen) er eksempler. Fra blodet kan cellerne i kroppen blive forsynet med energirige molekyler, fx glukose og fedtsyrer. Energien i molekylerne sidder i de kemiske bindinger, men energien kan ikke tages direkte fra disse molekyler og bruges til de energikrævende processer i cellen. Cellen må først flytte energien over i andre molekyler, hvor det primære molekyle er adenosintrifosfat (ATP), og ATP kan så levere energien videre til de energikrævende processer. Dannelsen af ATP sker i mitokondrierne, hvorefter ATP-molekylerne kan diffundere rundt i cellen og levere energi for derefter at skulle ind i mitokondrierne igen for at opsamle energi (fig. 2.8).

Figur 2.8 ATP's vej rundt i cellen.

Dannelsen af ATP sker inde i mitokondrierne. Herefter diffunderer ATP ud til et sted i cellen, hvor der er brug for energi, fx som vist til en natrium-kalium-pumpe. ADP diffunderer ind i mitokondriet, hvor det igen kan laves til ATP.

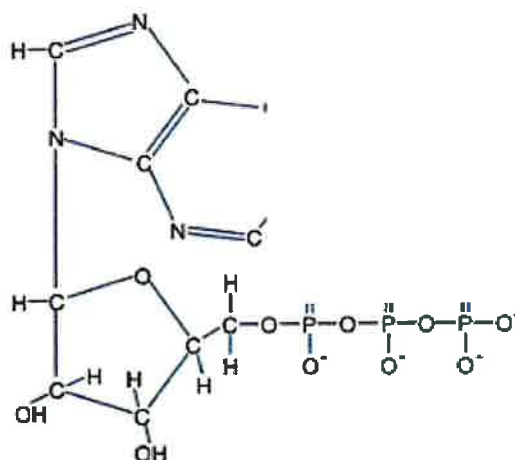
I venstre hjørne er opbygningen af et ATP-molekyle vist. ATP-molekylet består af tre fosfatgrupper koblet til adenosin. De mest energirige bindinger er mellem de tre fosfatgrupper.

Na/K-pumpe

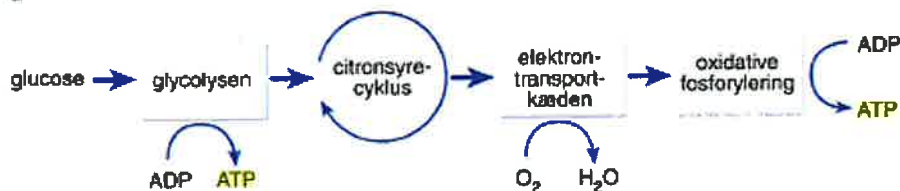
cellemembr

mitokondrie

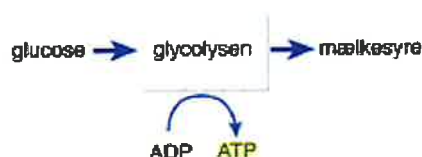
Ophavsret



a



b



• **Figur 2.9** Dannelsen af ATP ud fra glukose. (a) Dannelsen af ATP ud fra glukose sker normalt ved tilstedeværelsen af ilt (aerobt). Processen starter med glykolysen efterfulgt af citronsyrecyklus, elektrontransportkæden og til sidst den oxidative fosforylering. I glykolysen dannes en lille smule ATP, mens den afgørende dannelse af ATP sker i den oxidative fosforylering. Ilt bruges i elektrontransportkæden. (b) Hvis der ikke er ilt til stede, kan en lille produktion af ATP ske anaerobt. Det er kun den lille dannelse, der sker i glykolysen, som kan opretholdes ved, at der dannes mælkesyre.

• Dannelse af ATP ud fra
• fedtsyrer og aminosyrer

• Hvis cellerne i stedet for glukose bruger
• fedtsyrer eller aminosyrer til at danne
• ATP, er de indledende processer forskelli-
• ge fra glykolysen, men i citronsyrecyklus
• er processerne de samme. Fedtsyrerne
• omdannes først ved en proces kaldet
• beta-oxidation, og aminosyrer kan, af-
• hængigt af hvilken aminosyre der er ud-
• gangspunktet, omdannes og på forskelli-
• ge trin indgå i processerne.

Hjernens stofskifte

At hjernen og nervecellerne helst vil have glukose som energikilde har længe været god latin. Men slet så enkelt er det ikke. Ny forskning har nemlig vist at hjerne-cellerne også udnytter laktat.

Den menneskelige hjerne udgør omkring 2 % af den totale kropsvægt, men står for omkring 20 % af det daglige energiforbrug. Størstedelen af hjernens energiforbrug går til at etablere og viderebringe nerveimpulser og til at sende transmitterstoffer mellem de enkelte nerveceller. Desuden anvender Na^+/K^+ -pumperne energi på at genoprette ner-

vecellernes homeostase mht. fordeling af ionerne.

Hjernens støtteceller, *astrocytter*, bruger energi på at hjælpe nervecellerne med at opretholde den kemiske nerve-transmission. Astrocytterne er stjerneformede gliaceller, astro betyder stjerne. I den menneskelige hjerne er der mange flere astrocytter end nerveceller, og de ligger tæt sammen.

Både nerveceller og astrocytter optager glukose fra blodet. Nervecellerne respirerer glukosen under iltforbrug i deres mitokondrier.

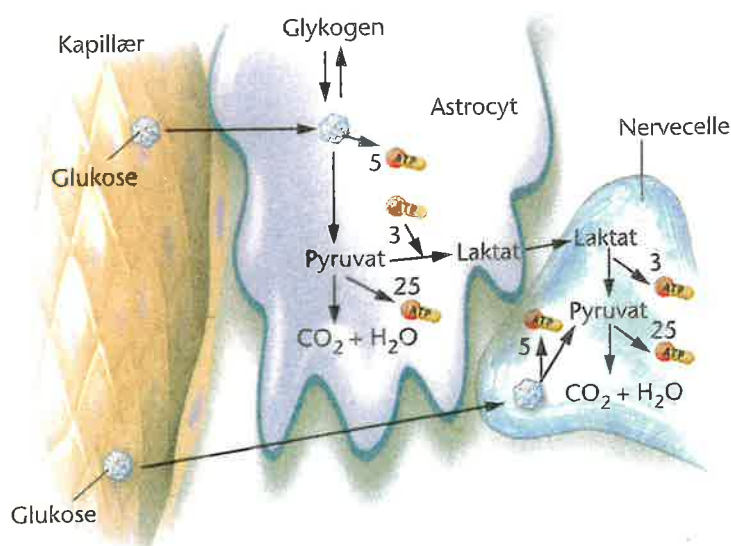
I astrocytterne kan glukosen nedbrydes til pyruvat der enten kan respireres til gavn for deres egen energiforsyning, eller reduceres til laktat. Alternativt kan astrocytterne opmagasinere glukosen i form af glykogen, der også fungerer som energilagere for nervecellerne.

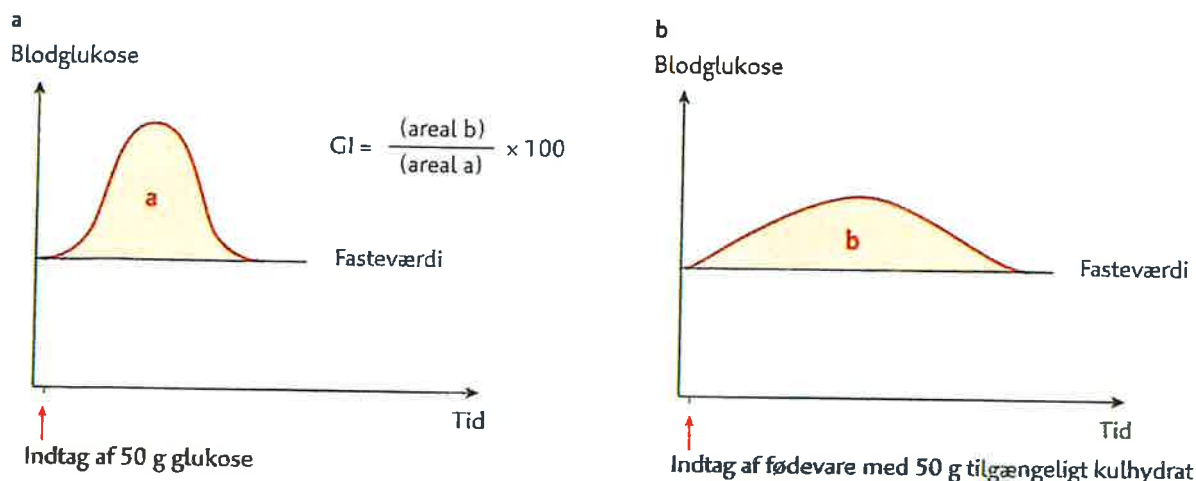
Astrocytterne sender laktat til nervecellerne hvor det omdannes til pyruvat, der respireres. På den måde fungerer astrocytterne på flere måder som energi-

leverandører til nervecellerne, se figur 18. Læs mere om respirationsprocessen i en biokemibog.

I tilfælde af langvarig sult ændres hjerne-cellernes stofskifte, så op til 75 % af energien skaffes ved at omsætte ketonstoffet acetoacetat, der dannes i leveren. Resten kommer fra glukose, se side 189 f.

Figur 18. Figuren viser hvordan astrocytterne er i stand til at omdanne glukose til laktat som nerveceller derefter kan omsætte under ATP-produktion.





Figur 124. Beregning af glykæmisk indeks, GI. Et antal forsøgspersoner får målt deres blodglukoseværdi efter en nats faste. Herefter spiser de 50 g glukose, og deres blodglukoseværdier følges i to timer. Stigningen beregnes ud fra det areal af kurven der ligger over deres fasteværdi (a). GI beregnes nu som den stigning i blodglukose som den pågældende fødevarer bevirker i forhold til indtaget glukose (b). Et GI på over 70 betegnes som højt, mens et GI under 55 er lavt.

Opfyldning af glykogen-depoterne før en konkurrence

Kroppens glykogendepoter rækker til ca. 2 timers hårdt intensivt arbejde. Glykogendepoterne vil også tømmes, selv om man ikke er særlig aktiv, hvis man ikke indtager kulhydrat i et døgn eller mere. Når lagrene er ved at være tømte, taler man om at man er gået sukkerkold. Musklerne begynder at ryste, benene føles tunge, og man kan føle sig svimmel. Den eneste måde at fylde dem op på, er at indtage rigelige mængder kulhydrat. I dagene inden en konkurrence og indtil ca. 3 timer før, skal man derfor indtage mad, hvor kulhydratindholdet udgør minimum 55 % af energien. Generelt bør de kulhydrater man spiser, have et lavt GI. Det tager 3-4 timer før maden er fordøjet og glukosen er optaget og omdannet til glykogen. Skal man fx konkurrere om eftermiddagen, skal man altså sørge for at spise et solidt kulhydratrigt måltid til morgenmad. Man skal her spare på protein- og fedtindtaget da det forsinker fordøjelsen.

Det tager ca. 20 timer at fylde tømte depoter op. Hvis man dyrker langvarig, intensiv træning hver dag, kan det altså være svært at nå at få dem fyldt op fra dag til dag. Genopbygningen går dog hurtigere end normalt hvis depoterne

Fødevarer	GI
Glukose	100
Sukker	68
Appelsin	42
Appelsinjuice	53
Bananer	30 (umodne)-54 (modne)
Rosiner	64
Kartofler	57 (nye kogte)-85 (bagte)
Bønner, grønne	38
Linser, røde tørrede	18
Ris	32-74
Pasta	45
Havregryn	42
Cornflakes	84
Franskbrød	70
Flerkornsbrød	45
Rugbrød	58
Mælk, skummet	32

Figur 125. GI kan variere meget i den enkelte fødevarer alt efter modenhed, tilberedning mv.

Optagelse af kulhydrater, glykæmisk indeks

For at fylde glykogendepoterne op, skal man indtage kulhydrater. Som beskrevet er der forskel på hvor hurtigt de forskellige kulhydrater optages. Glukose der jo ikke skal fordøjes, optages meget hurtigt efter det er spist. Allerede inden for et kvarter vil blodsukkeret begynde at stige. Det stimulerer dannelsen af hormonet insulin, hvis vigtigste funktion er at igangsætte en transport af glukose fra blodet og ind i cellerne. Derved kan cellerne få den nødvendige energi, og man undgår at blodsukkeret stiger for meget. Insulin stimulerer desuden omdannelsen af glukose til glykogen og hæmmer cellernes frigivelse af fedt, se figur 123.

For at sammenligne hvor hurtigt de forskellige typer kulhydrater optages, har man indført begrebet glykæmisk indeks

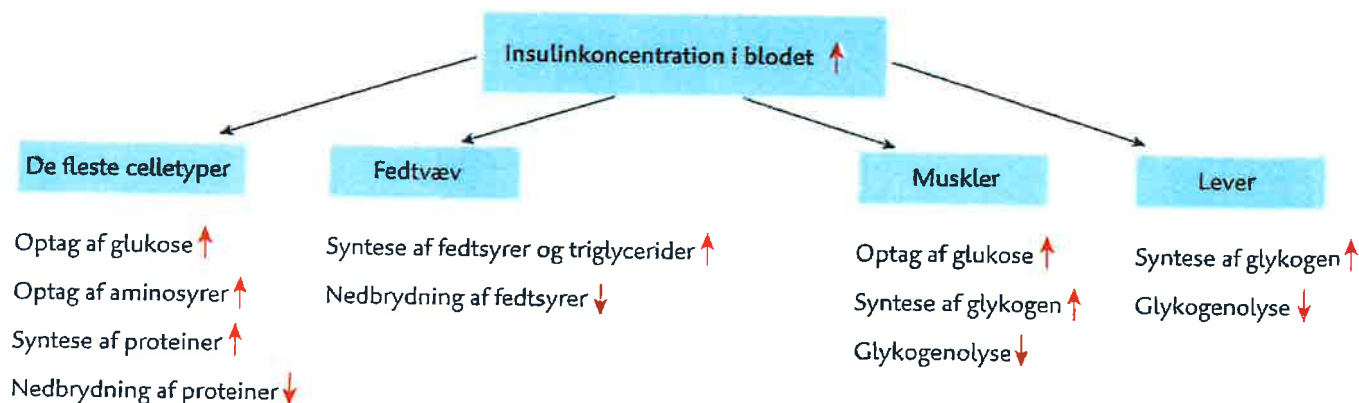
(GI). GI betegner den stigning i blodsukkeret som den givne madvare har i forhold til den stigning, som glukose medfører, se figur 124. Madvarer med højt GI fører altså til en hurtig stigning i blodsukkeret. Det kan medføre at den efterfølgende insulinproduktion bliver for høj, og at der derfor transporteres for meget glukose ind i cellerne. Resultatet kan blive at blodsukkeret falder for meget. Spiser man derimod en kost der indeholder flere madvarer med lavt GI, vil blodsukkeret lettere holde sig stabilt. Desværre er det ikke så nemt at finde ud af, hvilke kulhydrattyper der optages langsomt eller hurtigt. GI-værdien afhænger desuden af flere andre ting, fx vil fibre nedsætte GI. Spiser man fedt sammen med kulhydrat, vil det også hæmme optagelsen af kulhydrat i blodet. Figur 125 giver eksempler på madvarer med forskelligt GI.

Figur 123. Insulins funktion. Insulin stimulerer optagelsen af glukose i de fleste celletyper og påvirker desuden opbygningen af glykogen, triglycerider og proteiner.

Glukose optages i cellerne vha. særlige transportproteiner, der indbygges i cellemembranen. Der findes forskellige glukosetransportører, der benævnes GLUT 1-4.

Efter et måltid vil den stigende insulin koncentration få mængden af GLUT-4 til at stige, så cellerne kan optage glukose fra blodet. Når musklerne er aktive og trækker sig sammen, vil der tilsvarende indbygges flere glukosetransportører uafhængigt af insulinmængden. Fysisk aktivitet forbedrer altså muskelcellernes evne til at optage glukose.

En anden type glukosetransportører, Glut-1 sikrer at der kan optages en begrænset mængde glukose, selvom blodsukkerniveauet er lavt. Det sikrer fx at nerveceller og røde blodceller altid kan optage glukose.



først er helt tømte. En tømning af glykogendepoterne stimulerer nemlig det enzym, der bruges ved omdannelse af glukose til glykogen. Skal man konkurrere flere dage i træk, anbefales det dog at spise ekstra meget kulhydrat, ca. 60 energiprocent.

I nogle udholdenhedsidrætter forsøger mange at fylde glykogenlagrene ekstra op ved en eller anden form for 'kulhydratkur' eller 'carbo loading'. En traditionel sukkerkur påbegyndes ca. 6 dage før en konkurrence og starter med at glykogendepoterne mere eller mindre tømmes ved 1,5-2 timers træning. De efterfølgende dage trappes der helt eller delvist ned for træningen samtidig med at der indtages meget store mængder kulhydrat. I ekstreme tilfælde startes perioden med at man i de første par dage ikke spiser kulhydrat for yderligere at stimulere den efterfølgende glykogenpåfyldning. Resultatet er at musklernes indhold af glykogen kan stige fra normalt ca. 1,7 g glykogen til 4-5 g glykogen pr. 100 g muskel. Der er dog undersøgelser, der viser at en mere simpel kur med et kulhydratindtag på ca. 70 % i 3 dage inden konkurrence har samme effekt. Den store ulempe ved den fyldning af glykogendepoterne er til gengæld at hvert gram glykogen samtidig binder 2,7 g vand. Benene kan derfor føles mere tunge, og det kan virke hæmmende for præstationen.

Det er ikke alle idrætter hvor der er mulighed for at spise undervejs, så her kan det være en ekstra fordel at indtage lidt kulhydrater ca. 1 time inden aktiviteten. Det er fristende at spise noget sødt eller drikke saft, juice eller lignende, men mad med højt GI er ikke hensigtsmæssigt på dette tidspunkt. Det vil få

insulinproduktionen til at stige, med efterfølgende fare for at ens blodsukker bliver for lavt, når man skal i gang med aktiviteten. Da frigivelsen af fedtsyrer fra depoterne samtidig hæmmes, vil det yderligere kunne resultere i for hurtig tømning af glykogendepoterne.

Under konkurrencen

Skal man konkurrere mere end en time, vil man så vidt muligt indtage kulhydrater undervejs. De fleste konkurrencer slutter med en form for spurt, hvor en del af energitilførslen bliver anaerob. Det kan ikke lade sig gøre hvis der ikke er tilstrækkeligt kulhydrat som brændstof, så det er vigtigt at modvirke tømningen af glykogendepoterne. Det kulhydrat man indtager under aktiviteten, skal være hurtigt optageligt, altså med et højt GI. I praksis er det ofte energidrikke/energibarer, bananer eller lignende. Mens man er aktiv, vil kroppen have et højt niveau af adrenalin og noradrenalin. Det forhindrer insulinmængden i at stige, selvom blodsukkeret stiger. Man risikerer derfor ikke at der transporteres for meget glukose ind i cellerne. Muskelcellerne kan godt optage glukose uden insulin, når de er aktive.

Efter konkurrencen

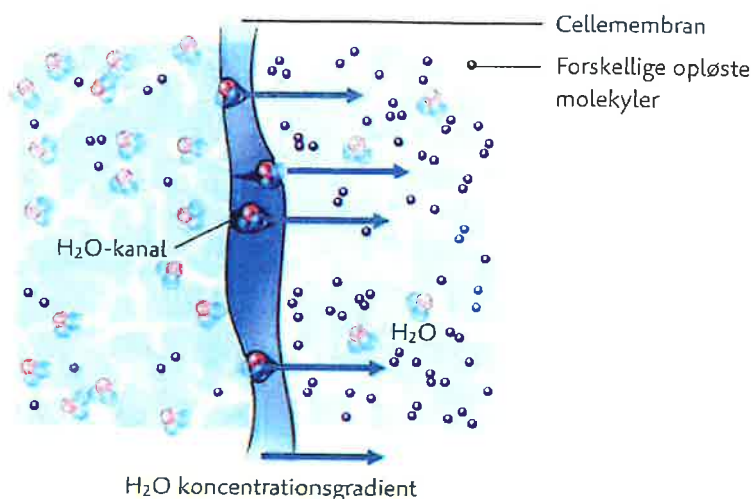
Umiddelbart efter en konkurrence skal man spise kulhydrater med højt GI, så glukosen bliver optaget så hurtigt som muligt. Man bør indtage ca. 1 g kulhydrat pr. kg legemsvægt. Derudover anbefaler mange at man indtager protein samtidigt, da det fremmer genopbygningen af muskelmassen. Genopbygningen øges yderligere af at insulin også stimulerer denne proces. Mager mælk evt. som kakaomælk der inde-

holder både kulhydrat og protein, bruges af mange til genopfyldning af depoterne.

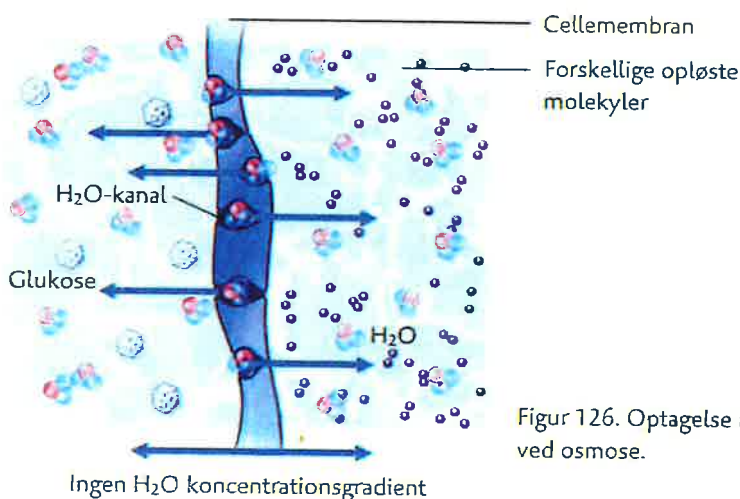
Væske og energidrik

I udholdenhedsidrætter er det lige så vigtigt at starte med en optimal væskebalance, som med fyldte glykogendepoter. Det anbefales derfor at man drikker ca. ½ L væske inden man går i gang med en aktivitet, hvis den varer mere end en time. Undervejs bør man også indtage væske, ca. 150-250 mL pr. kvarter. Man bør ikke drikke mere væske, end man kan nå at optage fra fordøjelsessystemet. Normalt kan man optage ca. 1 L vand i timen. Hvis man konkurrerer under meget varme forhold hvor man sveder mere end 1 L/time, er det derfor vigtigt at have drukket rigeligt op til konkurrencen.

Som nævnt, vil indtag af vand ofte blive suppleret med energidrikke. Her er det vigtigt at sukkerindholdet ikke er for højt. Hvis energidrikken fx indeholder for meget glukose, vil den høje koncentration af glukosemolekyler medføre en høj osmolaritet (antal opløste molekyler pr. L væske). De mange opløste molekyler vil modvirke vandoptagelsen, se figur 126. I praksis vil en sukkerkoncentration på 5-8 % være passende, vt. suppleret med lidt salt for at modvirke salttabet fra sveden. Mange energidrikke indeholder såkaldte maltodextriner i stedet for glukose. Det er delvist nedbrudt stivelse, altså små kæder af sammenhængende glukosemolekyler. De sikrer at energidrikken ikke får så høj osmolaritet og giver mere energi pr. molekyle. Da maltodextrinerne har et højt GI, vil de hurtigt nedbrydes og optages som glukose i blodet.



a. H₂O optages passivt gennem særlige kanaler i cellemembranen. Transporten foregår altid fra en høj H₂O-koncentration mod en lavere koncentration.



Figur 126. Optagelse af H₂O ved osmose.

b. Efter indtag af en koncentreret sukkeropløsning, vil den relative H₂O-koncentration være så lav, at der ikke er en tilstrækkelig koncentrationsgradient til at optage vandmolekylerne.