

Kapitel 4

Kroppens energiomsättning

KAPITEL 4 Kroppens energiomsättning

Intro.....	2
Förbränningsprocesser (aeroba, med syre).....	4
Relativ maximal syreupptagning	6
Syreupptagning kan uttryckas på olika sätt	7
Spjälkningsprocesser (anaeroba, utan syre)	8
Nerv - muskelfunktion	10

Kroppens energiomsättning

Kroppens energi- eller ämnesomsättning, även kallad metabolism, är ett sammanfattande namn på de processer där näringsämnen tas upp, omvandlas, bryts ner i kroppen, omsätts till energi och/eller avlägsnas ur kroppen.

Kroppen behöver och använder en viss mängd energi under dygnet även när man är fysiskt inaktiv och befinner sig i vila. Det går således åt en hel del energi bara för att hålla kroppen i gång. Hur mycket energi som kroppens organ behöver i vila för att fungera på ett korrekt sätt kallas för basalomsättning eller basalmetabolism (engelska Basal Metabolic Rate, BMR). Basalmetabolismen varierar från person till person och påverkas bland annat av storleken på den aktiva kroppsmassan, träningsomfattning och träningsintensitet. Generellt är basalmetabolismen högre för män än för kvinnor.

Energiomsättning i vila är ungefär 75 kcal/timme och vid mycket hårt arbete omkring 1 500 kcal/timme för en person som har en syreupptagningsförmåga högre än 5 liter/minut (motsvarande elit inom konditionsgrenar).

Energi frigörs alltid – även i vila. Man brukar beräkna viloomsättningen till ca 1 kcal/kg kroppsvikt/h. Det innebär att en person på 70 kg har en dygnsomsättning i vila av cirka 1 700 kcal. Vid hårt arbete kan topptränade idrottsmän omsätta 20–25 kcal/minut. En timmes hårt arbete i det tempot, exempelvis längdskidåkning, kräver alltså 1 200–1 500 kcal/timme. Under ett Vasalopp på skidor förbrukar man cirka 7 000 kcal. Kvinnans energiomsättning ligger ungefär 10 % lägre än mannens beroende på mindre kroppsmassa och ett större lager av fettväv som har en relativt låg energiomsättning.

Matsmältningsapparaten

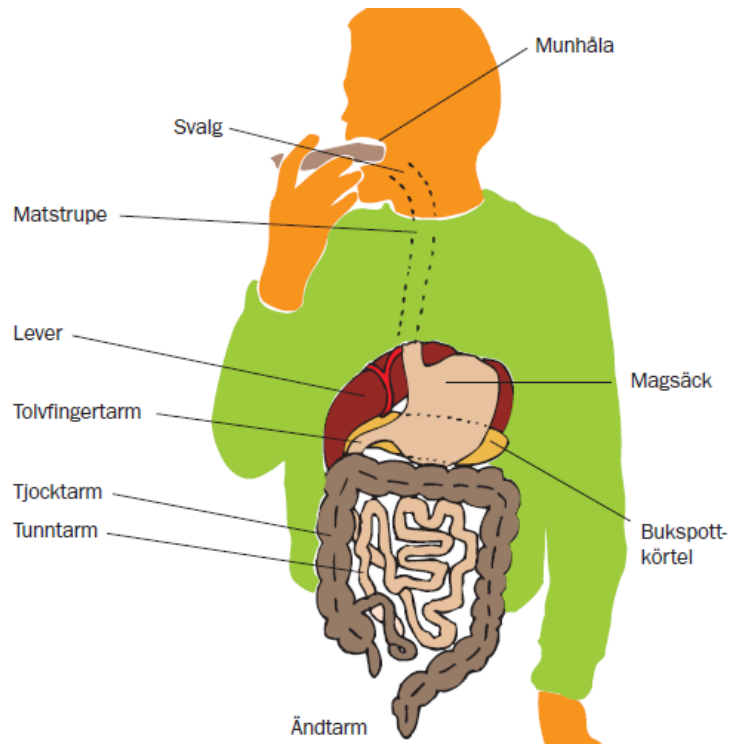
Matsmältningsapparaten ska bryta ned föda och ta upp näringsämnen. Födan passerar följande delar av matsmältningsapparaten:

Munhålan: Här sker en mekanisk och en begynnande kemisk sönderdelning av födan.

Svalg och matstrupe: Födan transporteras till magsäcken.

Magsäck: Födan bearbetas fortfarande mekaniskt men framför allt sker en kemisk sönderdelning. Födan kan finnas kvar upp till några timmar.

Tarmen: I den 3–5 m långa tunntarmen fullbordas sönderdelningen och här sker också uppsugningen (resorptionen) av näringsämnen. I tjocktarmen resorberas bland annat vatten.



Efter en måltid ökar energiomsättningen, eftersom matsmältningen kräver energi.

Låg yttertemperatur fordrar också högre energiomsättning för att bibehålla kroppsvärmen.

Vid muskelarbete

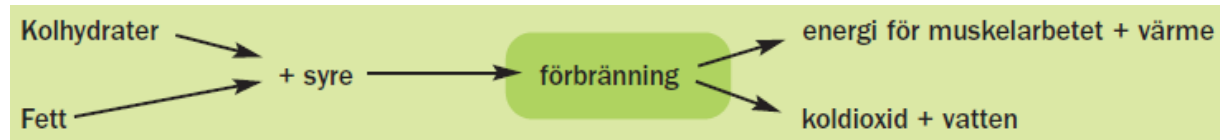
Muskelarbetet ger dock den avgjort största ökningen i energiomsättningen. En muskelkontraktion (muskelsammandragning) innebär att energi som är lagrad i muskeln omvandlas till mekaniskt arbete. Som mest blir dock bara 20–25 % av den producerade energin utnyttjad till mekaniskt arbete. Resterande 75–80 % blir värme, vilket resulterar i att kroppstemperaturen stiger. Sammanfattat innebär detta att endast högst en fjärdedel av den energi vi producerar går till det arbete vi ska utföra, resten går åt till värme.

Kroppen har alltså förmågan att vid hårt arbete öka energiproduktionen markant. Den enskilda muskelcellen kan vid maximalt arbete öka sin energiomsättning mer än 100 gånger vilomsättningen. I muskelcellen finns ett energirikt ämne, ATP (adenosintrifosfat), som genom nedbrytning kan leverera energi direkt till muskelarbetet. Eftersom ATP-mängden i musklerna är ytterst liten måste ATP snabbt byggas upp igen. För detta krävs energi, vilken kan frigöras i musklerna på följande två sätt:

- **Förbränningsprocesser (aeroba processer)**
Om syre finns tillgängligt: genom att kolhydrat och fett förbränns (aerob process = med syre).
- **Spjälkningsprocesser (anaeroba processer)**
Om syremängden är otillräcklig: genom att kolhydrater som är lagrade i musklerna som glykogen bryts ned – spjälkas – till energi och mjölksyra (anaerob process = utan syre). Obs att fett aldrig kan spjälkas.

Förbränningsprocesser (aeroba, med syre)

För att energi ska frigöras genom förbränning, krävs tillgång till syre och energirika ämnen. När energi frigörs bildas koldioxid och vatten, vilket kan beskrivas på följande sätt:

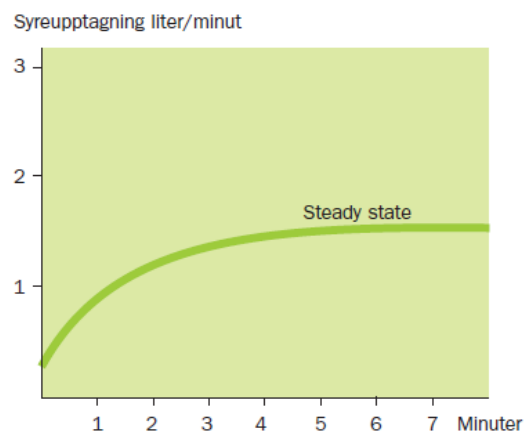


Muskelcellens energifrigöring är beroende av bland annat två faktorer: syre och energirika ämnen. Kravet på syre för muskulaturens energiomsättning ökar med stegrad fysisk aktivitet. Det innebär att ju mer man ökar löphastigheten när man springer, desto mer ökar syretransporten. Hög fart kostar mycket energi och därmed mycket syre.

I vila är syreupptagningen 0,2–0,3 liter per minut. Men syrebehovet stiger snabbt när aktiviteten ökar. När man utför ett arbete med konstant effekt kommer syreupptagningen att öka under de första minuterna. Efter 5–6 minuter uppnår man ett jämviktsläge (steady state), där syreupptagningen motsvarar muskulaturens krav på syre. Vältränade personer når snabbare sitt steady state än otränade.

Figuren till höger visar när ett fysiskt arbete påbörjas måste en ökning av pulsen ske så att syreupptagningen motsvarar arbetets krav. Ökningen av syreupptagningen och därmed pulsen sker inom 5–6 minuter till dess att steady state uppnås.

Om effekten ytterligare gradvis ökar når syreupptagningen en nivå över vilken den inte kan höjas. Nivån motsvarar personens maximala syreupptagning. Den varierar för friska individer beroende på träningsstillstånd, ålder, kön och anlag.



När man utför ett arbete med konstant effekt ökar syreupptagningen och når ett jämviktsläge (steady state) efter 5-6 min, där syreupptagningen motsvarar muskulaturens krav på syre.

Bränsle till muskelarbete

De energirika ämnen som utnyttjas i cellerna som energigivande bränsle tillförs kroppen genom det vi äter och dricker. Dessa är kolhydrater, fett och protein.

Protein har normalt ringa betydelse för muskelns energiomsättning. Dess funktion är att tjäna som "byggmaterial" för uppbyggnaden av ny cellvävnad, för produktion av vissa hormoner mm. En tillförsel av 50–100 gram/dag är fullt tillräcklig. Som norm anges 0,8 gram/kg kroppsvikt. Vanligen rekommenderas att 15 % av kostens energiinnehåll ska utgöras av protein. Fysiskt aktiva personer

som behöver äta mycket får genom kosten i sig tillräckligt mycket protein så att denna "norm" oftast överskrids.

Kolhydrater och fett däremot levererar stora mängder kemiskt bunden energi, som muskeln normalt utnyttjar för sitt arbete. Vid lättare arbeten förbränns ungefär lika mycket fett som kolhydrater. När arbetsintensiteten ökar kommer kolhydratandelen att öka. I tävlingshastighet blir därför kolhydratdepåerna en begränsande faktor, eftersom dessa som regel tar slut efter 1,5–2 timmars hårt arbete. Speciell kolhydratuppladdning brukar därför göras inför maratonlopp och liknande.

Efter en måltid lagras nytillskottet av kolhydraterna som glykogen (=ett med stärkelse närbesläktat sockerämne) i muskler och lever. Glykogendepåernas storlek är totalt 300–500 gram, varav 50–70 gram finns i levern. Om dessa depåer är fyllda omvandlas födans kolhydrat till fett, som tillsammans med det fett som tillförts genom kosten lagras i kroppens fettdepåer.

Glykogenet kommer vid muskelarbetet att brytas ned i mindre energirika ämnen, antingen anaerobt till mjölksyra eller aerobt i mitokondrien.

Vid aerob förbränning i mitokondrien sker en fullständig förbränning där energi frigörs och koldioxid och vatten bildas.

Fett finns lagrat både i muskler och fettdepåer; midja, höft, underhud etc. När depåfett utnyttjas som bränsle inleds processen med att det bryts ned till fria fettsyror. Dessa kommer därefter att transporteras med blodet till de arbetande muskelcellerna och där utnyttjas i förbränningsprocesserna. Den energi som frigörs vid förbränningsprocesserna kommer på ett komplicerat biokemiskt sätt att överföras till de sammandragande delarna av muskelfibrerna för att där möjliggöra muskelns mekaniska arbete.

Vid låg intensitet (promenad) använder muskeln övervägande fett som energikälla. Då intensiteten ökar (jogging, löpning), ökar bidraget från kolhydrater men fett fortsätter att användas. Vid maximal intensitet förbränns mest kolhydrater men även fett utgör en del av energikällan. Observera att vid hög intensitet är det totala energibidraget från fett större än vid lugn promenad, räknat per tidsenhet.

Förbränningsmotorn

Syre samt bränsle i form av energirika ämnen behövs således för muskelcellens förbränningsprocesser. Vad är det då som avgör kapaciteten på "förbränningsmotorn" hos den enskilda personen?

Det som direkt bestämmer hur stora energimängder som frigörs aerobt är människans förmåga att transportera syre ut till mitokondrierna. Ju mer syre som kan levereras och förbrukas per tidsenhet, desto mer energi frigörs.

För varje liter syrgas som deltar i förbränningsprocesserna frigörs 4,7–5,1 kcal. Den lägre siffran gäller då bränslet uteslutande är fett. Den högre gäller kolhydrat. Detta innebär att då kolhydrat används får vi mer energi för varje liter förbrukat syre.

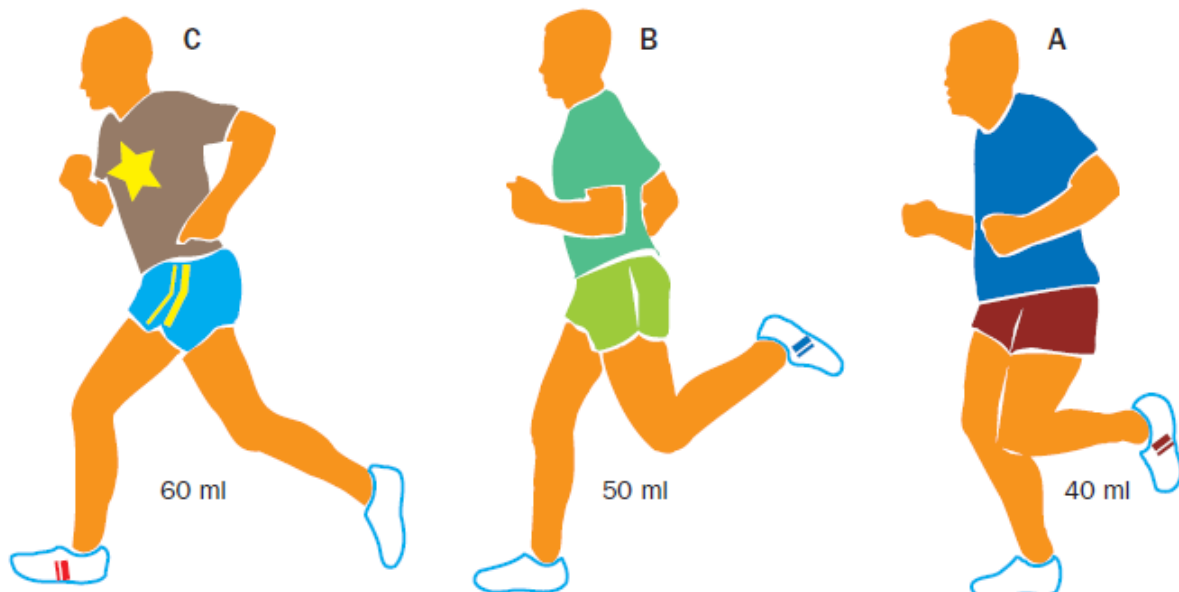
Relativ maximal syreupptagning

I många sammanhang används den energi som frigjorts genom förbränningsprocesserna till att med muskelarbete förflytta den egna kroppen. Löpning är ett sådant exempel. Här bör motoreffekten uttryckas i förhållande till kroppens vikt. Man talar då om relativ maximal syreupptagning. Ska två personer springa med en viss hastighet är det lätt att förstå att den som väger mest måste ha en "starkare motor". Låt oss ta ett exempel:

A väger 50 kg, B väger 75 kg och båda har 2,5 l/min i absolut maximal syreupptagning. Båda har alltså samma maximala "motoreffekt" och kan frigöra lika stora energimängder. Eftersom B har 25 kg mer att transportera (vilket kostar energi) kan hen inte hålla lika hög löphastighet som A. Detta gäller då löptiden är längre än 2–3 min. Med hänsyn till detta är ett bättre sätt att uttrycka maximal syreupptagning i milliliter per kilo kroppsvikt och minut, ml/kg/min = relativ maximal syreupptagning.

- A får relativ maximal syreupptagning 50 ml/kg/min.
- B får relativ maximal syreupptagning 33 ml/kg/min.

Följande exempel belyser hur relativ maximala syreupptagning inverkar på prestationsförmågan vid löpning, se figur nedan. Tre motionärer brukar träffas för att gemensamt springa en bana på 3 km.



A har 40 ml/kg/min i uppmätt maximal syreupptagning. B's uppmätta maximala syreupptagning är 50 ml/kg/min och C's uppmätta maximala syreupptagning är 60 ml/kg/min.

B tar som vanligt täten och har efter 1 kilometers löpning valt ett tempo som "kostar" honom 45 ml/kg/min. Han tycker att det är ganska jobbigt och klarar banan med vissa svårigheter. A upptäcker omgående att tempot är för högt och kommer efter.

C upplever tempot i långsammaste laget – han ökar successivt farten. I förhållande till sin maximala kapacitet kommer B att utnyttja 90 % ($45/50 = 90\%$) av sin maximala förmåga. Detta innebär hög puls och hög mjölksyraproduktion.

C däremot utnyttjar bara 75 %, varvid obetydligt med mjölksyra bildas. Han skulle troligen kunna fortsätta flera kilometer med samma fart. A däremot har inte alls kapacitet för denna fart och samlar därför redan från start på sig mjölksyra.

Syreupptagning kan uttryckas på olika sätt

Som framgått av ovanstående kan syreupptagningen uttryckas på två sätt:

- liter/min
- ml/kg/min

Ibland brukar man förenklat säga att syreupptagning uttryckt i liter/min är ”motorstyrkan” eller ”aerob kapacitet”. I vissa situationer kommer ”motorstyrkan” att vara helt avgörande, vilket gäller när kroppsvikten inte behöver lyftas, till exempel vid rodd, paddling, simning och andra arbeten med överkroppen. Till viss del gäller det även vid cykling på plan mark eller stakning på längdskidor.

Tabellen nedan visar syreupptagning och energiförbrukning vid olika former av fysisk aktivitet.

	Syreupptagning l/min	Effekt (watt)	kcal/min
Sömn	0,25	–	1
Kontorsarbete	0,5–0,75	20–40	2,5–4
Lugn promenad 4 km/timme			
Lätt industriarbete			
Hushållsarbete	0,9	50	4,5
Gång 7 km/timme			
Trädgårdsarbete			
Manuellt arbete	1,5	100	7,5
Gång i trappor			
Tungt industriarbete			
Löpning 9 km/timme	2,1	150	11
Löpning 11 km/timme	2,8	200	14
Löpning 13 km/timme			
Gång i trappor med 15 kg packning	3,5	250	17
Tävlingsfart längdskidåkning			
Löpning, rodd, simning	4,2	300	21
Tävlingsfart elitnivå, längdskidåkning			
Löpning cirka 20 km/timme	5,0	350	25

Värdena gäller för en ”normalindivid” bortsett från längdskidåkning och löpning som gäller för tränade idrottare. Watt anger motsvarande effekt på cykelergometer. I andra situationer, exempelvis löpning, längdskidåkning (särskilt uppför) eller trappgång kommer ”motorstyrkan” i förhållande till kroppsvikten att vara mest betydelsefull = relativ maximal syreupptagning. Beroende på vilket arbete som utförs eller vilken idrottssituation som avses kommer ”motorstyrkan” eller relativ maximal syreupptagning att få olika stor betydelse. Ta till exempel längdskidåkning. I utförsbacken är det en fördel om åkaren är tung. På plan mark, när skidorna glider lätt, kommer denne att staka med överkroppen, är motorstyrkan, det vill säga syreupptagning i liter/minut, avgörande. I uppförsbacken däremot, när kroppen ska lyftas uppför, blir syreupptagningen uttryckt som ml/kg/min betydligt mer avgörande.

En kombination av båda uttrycksätten kanske då blir riktigare. När man bedömer maximala syreupptagning ska hänsyn tas till syreupptagningen uttryckt både i liter/min och ml/kg/min. Det kan alltså vara så att någon får en beräknad maximal syreupptagning i liter per minut som klassas som hög, men beroende på hög kroppsvikt kan den relativa maximala syreupptagningen hamna på låg.

När man bedömer en persons maximala syreupptagning ska hänsyn tas till syreupptagning uttryckt både i liter/min och ml/kg/min.

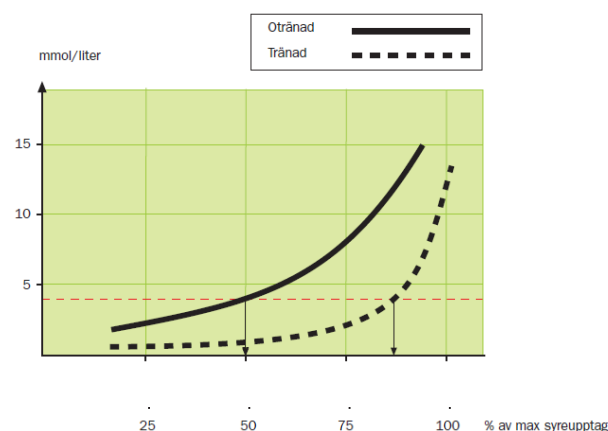
Spjälkningsprocesser (anaeroba, utan syre)

När syretransportapparaten (lungor, hjärta, blodkärl) klarar att försörja de arbetande muskelcellerna med tillräckligt mycket syresatt blod kan förbränningsprocesserna fortgå utan störningar. Ibland är dock syretransporten till arbetande muskler otillräcklig. Detta inträffar dels när arbetet kräver mer energi än vad som maximalt kan klaras genom förbränningsprocesserna, dels vid statiskt arbete.

Samma gäller då ett muskelarbete startas. Andning och hjärtverksamhet hinner inte komma i gång tillräckligt fort, utan energi måste frigöras på annat sätt. Då griper spjälkningsprocessen in som hjälpmotor, varvid glykogen spjälkas under upptagande av vatten och energi bildas. Som biprodukt bildas mjölksyra och ett överskott av vätejoner (H+) som gör muskeln sur och försvårar vidare processer.

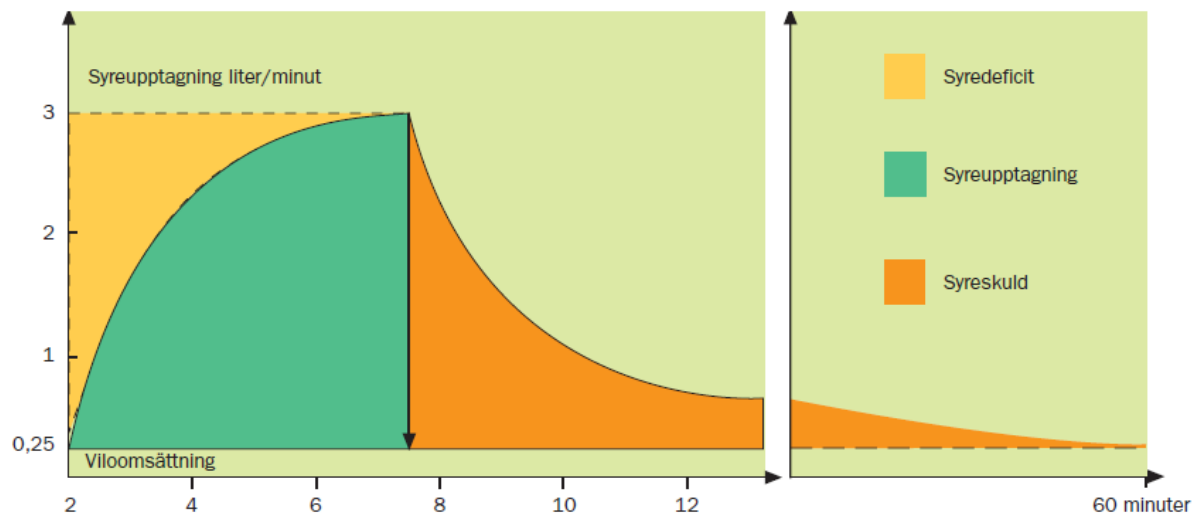


Figuren visar att vid lättare träning bildas ingen eller lite mjölksyra. Då syrekravet motsvarar 50–80 % av max syreupptagning ökar mjölksyran markant både för otränade och tränade. Motionsträning bör därför ligga under denna nivå. Elit kan dock klara 90 % utan större mjölksyraansamling. En nivå som används för att bestämma lämplig träningsfart är mjölksyratröskeln, som sätts till 4 mmol/liter och mäts i blodet.



Kort arbetstid

Denna motor arbetar således oberoende av syre och kan starta omedelbart med full effekt. Effekten kan dessutom vara uppemot 10 gånger större än förbränningsmotorns. Arbetstiden är dock tyvärr ganska kort, eftersom ny energi inte hinner frigöras tillräckligt fort. Dessutom kommer mjölksyra att samlas i musklerna och ganska snabbt framkalla smärta. Man måste då sänka tempot eller avbryta arbetet. Den bildade mjölksyran tas till viss del upp av blodet för att transporteras till lever, muskler eller hjärta. På dessa ställen kommer en del av mjölksyran att förbrännas, en annan del att byggas upp till nytt glykogen. En person som arbetar hårt kommer att ha förhöjd puls och syreupptagning en tid efter arbetets slut. Denna extra syreupptagning efter ett hårt muskelarbete kallas syreskuld. Det submaximala testet på cykelergometer blir därför inte korrekt om du skulle sänka en effekt som du felaktigt valt för hög från början.



Figuren visar ett arbete som kräver syreupptagningen 3 liter/minut påbörjas. Det tar viss tid för lungor, hjärta, blodomlopp och muskler att komma i gång. Energiomsättning som inte kan ske med hjälp av syre (aerobt) måste då ske med spjälkningsprocessen och mjölksyra bildas (anaerob process), så kallad syredeficit (syreunderskott). Den syreupptagning som motsvarar arbetets krav tar cirka 5–6 minuter att uppnå. När arbetet avslutas fortsätter vi att andas häftigt och måste ”städa upp” i kroppen efter ansträngningen. Syreskulden är då cirka dubbelt så stor som den energi vi behövde i arbetets början. En förhöjd ämnesomsättning kan finnas kvar uppemot en timme efter riktigt hårda arbeten. En anaerob energiprocess är alltså kostsam för kroppen och därför bör man i tävlingsammanhang försöka hålla ett jämnt tempo, även om man av taktiska skäl ibland behöver göra ryck. Kroppens viloomsättning för att hålla de basala livsprocesserna i gång (kroppstemperatur 37 grader) är 0,25–0,30 liter/minut hos vuxna.

Nerv–muskelfunktion

Muskelstyrka

En muskel kan arbeta på olika sätt. Man skiljer mellan dynamisk styrka och statisk (isometrisk) styrka.

Med dynamisk styrka menas att muskeln utvecklar spänning genom att förkortas eller förlängas. En rörelse uppstår. Man talar om koncentrisk kontraktion, till exempel att lyfta någonting. Muskeln arbetar då genom förkortning. Då muskeln arbetar men samtidigt förlängs, exempelvis vid ett nedhopp, talar man också om excentrisk styrka.

Statisk styrka däremot innebär att muskeln spänns, men längden förblir oförändrad, till exempel störtloppsåkarens lårmuskler.

Alla dessa typer av muskelaktivitet kan vara av maximal- eller uthållighetskaraktär.

Ett exempel på maximal dynamisk styrka kan man hämta från tyngdlyftningen. Att pressa så mycket man orkar innebär maximal dynamisk styrka, det vill säga största möjliga kraftinsats under kort tid och där musklerna arbetar under längdförändring.

Att på raka armar hålla stången stilla i några få sekunder är däremot statisk styrka.

Kanotisten utför ett dynamiskt uthållighetsarbete med armmuskulaturen. En seglare som hänger flera minuter utanför relingen för att hålla sin båt på rätt köl engagerar bukmuskulaturen med statisk uthållighet.

Teknik

Vid allt muskelarbete är det viktigt att muskulaturen utnyttjas effektivt, det vill säga arbetar på ett ändamålsenligt sätt. Det är detta som ligger bakom begreppet teknik. När en person utför en helt ny rörelse är musklerna ovana vid arbetet. I de berörda musklerna aktiveras bara ett mindre antal motoriska enheter. Samtidigt kopplas andra muskelgrupper in, vilkas aktivitet kanske motverkar den önskade rörelsen eller inte fyller någon funktion. Precisionen och snabbheten blir då dålig – utförandet klumpigt och stelt. Samspelet (koordinationen) mellan nervsystem och muskler fungerar tillfredsställande. Vill man nå maximum för en viss rörelses effektivitet, antingen det gäller en idrottslig- eller yrkesprestation, krävs lång träning med ständig upprepning av exakt den rörelse man vill lära in. Rätt muskelfibrer, rätt antal motoriska enheter ska kopplas in och ur. Detta är en träningseffekt. Denna process under vilken rörelsen blir allt mindre medveten och avspänd genom att centrala nervsystemets viljekontroll kopplas bort kallas baning. Full effektivitet i en rörelse nås först när den är helt inbanad och automatisk. Ett speciellt koordinationsmönster har tränats in, det vill säga arbetsmaskinen, främst delar av hjärnan, bland annat lillhjärnan, har programmerats för ett visst arbete. När denna programmeringsprocess är färdig, är det mycket svårt att åstadkomma någon ändring. Om man exempelvis tränat in ett tekniskt moment på ett felaktigt sätt, är detta alltså svårt att rätta till.

Rörelseekonomi

Vi har tidigare konstaterat att all muskelrörelse kostar energi. Denna kan mätas som förbrukning av syre. Detta tillämpas inom arbetsliv och idrott för att studera en rörelses utförande. Om syreupptagningen mäts på två motionärer som väger lika mycket och springer med samma fart kommer den som har bäst teknik att ha den lägsta energiåtgången. Man talar om rörelseekonomi (jämför med en bils bensinförbrukning). Det är alltså inte bara en fråga om vilken maximal syreupptagning en person har, utan för att kunna prestera bra måste även rörelseekonomin vara den bästa tänkbara. Teknikträning borde därför vara viktig både i arbetsliv och idrott. Inom vissa idrotter skiljer sig rörelseekonomin ganska mycket mellan olika utövare, till exempel vid löpning, längdskidåkning, simning och paddling. Vid cykling, däremot, är skillnaden obetydlig även vid en jämförelse mellan elit och motionär. Av denna anledning är cykelergometern ett bra standardiserat testredskap.