

Energiomsättning i kroppen sker både med och utan syre

Foto samtliga bilder: Artur Forsberg



ARTUR FORSBERG

CENTRUM
FÖR
IDROTTSFORSKNING

I människan sker en ständig energiomsättning. Även om kroppen till synes ligger livlös måste inre organ, matsmältning, andning m.m. fungera. Denna viloomsättning, basalmetabolism (BMR) hos

en vuxen motsvarar grovt 4 kJ (1 kcal) per kilo kroppsvikt och minut. Ett uttryck för denna process är att vi normalt har en kroppstemperatur på 37 grader. Genom att öka muskelaktiviteten kan energiomsättningen kan öka uppemot 25 gånger. Detta sker till största delen som förbränning av kroppens energipåer, fett och kolhydrater. Genom att mäta syreupptagningen kan man bestämma storleken på kroppens energiomsättningen vid aktuell aktivitet.

Största delen av energiomsättningen sker som förbränning med syrets hjälp, aerob process. Men energiomsättning kan även ske utan syres närvaro s.k. spjälkning eller anaerob process som ett extra "bidrag" vid starter, tempo-höjningar och extremt tunga arbeten. Energin finns lagrad i kolhydrater och fett. Den kan frigöras i en kemisk nedbrytningsprocess. Slutsteget är att framställa fosfater (ATP) som muskeln direkt kan använda vid arbete, muskelkontraktion. Även protein kan användas som energikälla i extrema fall då de två andra "bränslena" tagit slut t.ex. vid långvarig svält. Tillståndet blir dock allvarligt eftersom det



Bild 5. Uppsamling av utandningsluft just avslutad efter ett försök på rullskidåkning.

är den egna muskelmassan som utgör proteinförrådet. Är energiintaget större än den energimängd som förbrukas lagras överskottet som fett. Övervikt är en stor riskfaktor för hälsan och ett ökande folkhälsoproblem i Västvärlden.

Aerob energiomsättning

Förbränningen sker i mitokondrien och förutsätter tillgång på syre O_2 , som transporteras dit via lungor och blodomlopp.

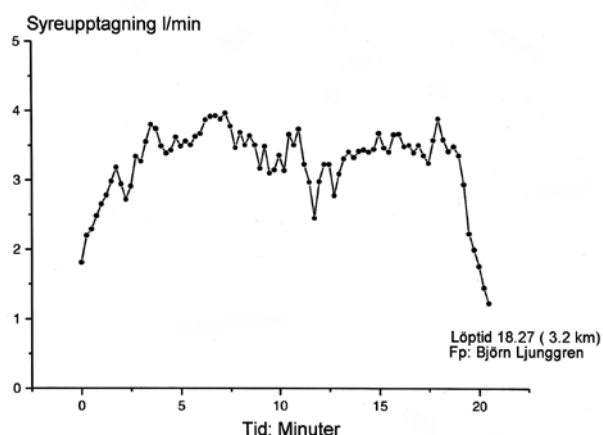
Syret finns i luften och utgör 20.9%. Största delen av luften utgörs av kväve N_2 med ca 78%. Den lilla resterande delen är koldioxid CO_2 , ädelgaser och vattenånga. Syret i inandningsluften binds till blodet i lungorna. De röda blodkropparnas hemoglobinnmängd (g/l) avgör hur mycket syre som kan bindas. Hjärtats pumpförmåga är bestämmande för den mängd blod som pumpas ut. En ökning kan ske från vilovärden på ca 5 l/min upp till över 40 l/min hos mycket vältränade. Ökningen sker genom att både hjärtfrekvens och slagvolym ökar. Via hjärta och blodomlopp transporteras det syresatta blodet ut till arbetande organ. Muskulaturen är det organ som kan öka energiomsättningen mest. Cirkulationens kapacitet och muskelns träningsgrad avgör hur mycket syre som kan omsättas. Syret är nyckeln till kroppens energidepåer.

Särskilt konditionsträning innebär att cirkulationskapaciteten ökar och muskeln erbjudas mer syre. Det innebär att energiomsättning och därmed kaloriförbrukning kan ligga på mycket högre nivå. Arbetsförmågan ökar. Den övre arbetsförmågan begränsas av individens maximala syreupptagning. En god kondition är med andra ord en bra förutsättning för att höja sin energiomsättning och vid behov kunna gå ned i vikt.

Genom att aktivera stora muskelgrupper kan ökningen av syreupptagningen ske från vilovärden på 0.2 – 0.3 l/min till uppemot 6-7 l/min för elitidrottare i konditionsgrenar, dvs. en ökning med 25-30 gånger. I vår normala dagliga verksamhet utför vi aktiviteter som motsvarar ungefär 0.5 – 1.0 l/min

Att mäta syreupptagning

Mätning av syreupptagning bygger på att man kan bestämma syrefraktionerna i utandningsluft och lungventilationen (l/min). Skillnaden har kroppen förbrukat. Då in- och utandningsluftens volym är i det närmaste lika kan



Figur1. Figuren visar variation av syreupptagning under en kortare orienteringstävling med 3 kontroller. Efteråt kan analyseras varför syreupptagningen varierat vid flera tillfällen.



Bild 2. Mätning av blodmjölksyra med ett stick i fingret i samband med intervallträning. Obs. Utrustning för att samtidigt kunna mäta syreupptagning.



Bild 3 Analys av syre från utandningsluft i masspektrometer. Kalibreringsgaser är nödvändiga.



Bild 4. Mätning av syreupptagning med Douglas säck-metodik. Projekt att bära ryggsäck.



Bild 5. Mätning av syreupptagning on-line.

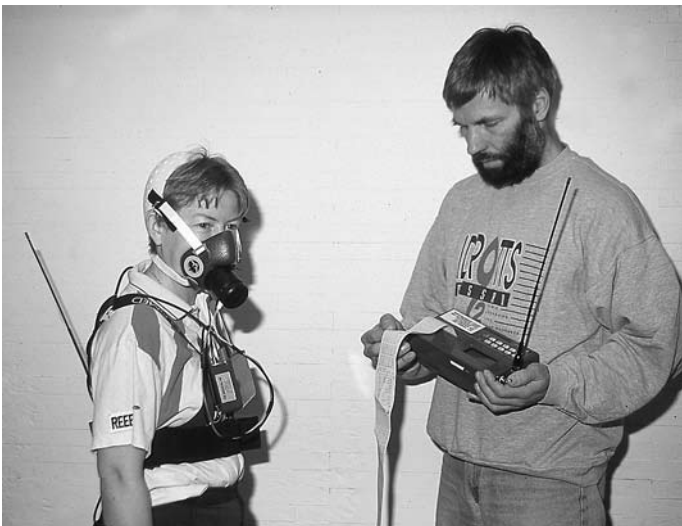


Bild 6. Ventilationen mäts via en bärbar flödesmätare och samtidigt analyseras syrgasprocenten. Mätdata kan telemetrisk överföras upp till 200-300 m till en mottagare som kopplad till en datorenhet möjliggör direkt avläsning av syreupptagningen.

som regel beräkningen görs på utandningen.

Som tidigare sagts är syrehalten i inandningsluften ca 20.9 %. Syrehalten i utandningsluften däremot varierar mellan 16-18 %, beroende på fysisk aktivitet och intensitet. Kroppen förbrukar alltså ca 3-5 %. Vid förbränningen framställs energi till muskelarbetet samtidigt som värme

utvecklas. Dessutom bildas koldioxid och vatten som vi andas ut. I inandningsluften är koldioxidhalten ca 0.03 % och i utandningsluften varierar den mellan 3-4 %. Vattenånga utgör en ringa andel. Ju exaktare dessa ingående gaser kan analyseras desto högre exaktighet på bestämningen. En viktig förutsättning för noggranna bestämningar är regelbunden kalibrering av analysutrustningen. Aktuella och säkrade kalibreringsgaserna måste tillhandahållas.

Nästa steg i beräkningen av syreupptaget är att mäta ventilationen. Två olika metoder är vanliga. Dels on-line systemet där utandningsluften via ett munstycke och en slang går direkt till en flödesmätare kopplad till en dator för beräkning. Flera olika principer för flödesmätare finns. Resultaten kan kontinuerligt ses på en skärm och både försöksledare och försöksperson kan följa förloppet (bild 5). Det andra mer klassiska sättet är den s.k.

Douglas säck-metodiken där all utandningsluft samlas upp i speciella säckar (bild 4). All andning sker via munnen. En näsklämma används för att undvika läkage. Den insamlade luften töms i en spirometer och luftvolymen mäts. Samtidigt tas gasprov för analys (bild 3). På detta sätt kommer gasprov och ventilation att matchas samtidigt.

Ventilationen uttrycks i l/min och

beräknas som kvoten mellan insamlad luftvolym och den tid som försökspersonen ventilerat i säcken. I vila är ventilationen 5-10 l/min och kan vid mycket extrema idrottsprestationer uppgå till över 200 l/min. Då luftvolym och gasprov mäts efter avslutat försök, kan ingen feedback fås under själva försöket. Å andra sidan kan analysen ske utan stress och görs med hög noggrannhet. Man brukar ibland kalla Douglas säck-metoden för syreupptagningens "guldstandard".

Storleken på säckarna gör att uppsamlingstiden vid hårda arbeten blir 40-60 sek i varje säck. Som regel brukar man fylla 2-4 säckar under ett försök. Med denna metod är därför bestämningar under kortvariga arbetstoppar eller syreupptagning som "breath by breath" begränsad. Däremot fås mycket säkra och stabila värden under steady-state. Generellt kan sägas att genom mätning av syrgasåtgången kan man få en mycket bra uppfattning om hur stor energiomsättningen är.

Den insamlade luftens volym är också beroende av temperatur, lufttryck och fuktighet. Ju varmare luft desto större volym. En omräkning måste göras till STPD, standard temperature, pressure and dryness. Efter dessa omräkningar kan man i princip säga att syreupptagets storlek utgörs av *produkten av ventilation l/min och förbrukat syre*. Det bör också påpekas att denna metod som baseras på utandningsluften avser individens totala syreupptagning d.v.s. även basalmetabolismen ingår. Den kan ej heller användas för att mäta syreupptaget över enskilda muskelgrupper t.ex. enbart benen hos en löpare eller armarna på en simmare.

Vid bestämning av individens maximala syreupptagning måste stora muskelgrupper engageras som vid t.ex. längdåkning, rodd eller löpning. Arbetet bör gradvis stegras under åtminstone 6-7 minuter och vara av maximal karaktär de sista 2-3 minuterna då uppsamling av luften sker i flera säckar. Ett kriterium på att maximal syreupptagning nåtts är att den ej längre ökar trots ökad arbetsbelastning, s.k. leveling off.

Bärbar utrustning

Som regel vill man studera energiomsättning i samband med yrkesutövning eller i idrottssammanhang, s.k. fältstudier. Mätningarna blir då vanligare att utföra än i laboratoriemiljö. Douglas säck-metoden har använts sedan



Bild 7. Douglas säck-metodikken under användning vid undersökningar av mountain bike cykling i "fält".

maximal. Vid ren fettförbränning är RQ 0.7.

Anaerob energiomsättning

I vissa situationer sker energiomsättningen även anaerobt (utan syre). Som slutprodukt i denna process bildas mjölksyra (laktat). Framför allt sker detta vid intensiva arbeten, snabba tempohöjningar eller vid statiskt arbete. Vid anaerobt arbete kan givetvis inte energiomsättningen bestämmas via andningen. Mjölksyran kan däremot studeras i muskel eller blod. Mjölksyran bildas i muskeln och transporteras sedan ut till blodbanan via de minsta kapillärerna. Med hjälp av biopsiteknik där en liten muskelbit hämtas ut och analyseras kan muskelmjölksyra bestämmas. Dessa mätningar kan vara obehagliga för individen och utförs därför sällan, då det innebär ett mindre kirurgiskt ingrepp i muskeln (bild 8).

Betydligt vanligare är därför att man mäter mjölksyrhalten i blodet, varvid man får en någorlunda spegling av vad som skett i muskeln. Detta görs med ett enkelt stick, oftast i fingret (bild 2). Mjölksyran i blodet stiger någon till några minuter efter det att ett hårt arbete avslutats för att sedan sjunka. Detta innebär att man bör göra flera bestämmningar. Genom att enbart mäta mjölksyrhalten har man begränsade möjligheter att bestämma den totala anaeroba energiproduktionen. Däremot kan man få en bra bild



Bild 8. Biopsitagning i lårmuskeln. Uttagen muskelbit fryses omedelbart till minus 80 grader för senare analys.

början av 1900-talet. Men utrustningens vikt, storlek samt den möjliga tiden för insamling av luft gör metoden begränsad. Ett stort antal studier finns dock publicerade där olika träningsformer och idrottsgrenar har kunnat analyserats med avseende på energiomsättning t.ex. löpning, skidåkning, simning, vattenskidåkning, ishockey, kanot, rodd m.m.. (bild 1, 7 och 9).

Under de senaste 15 åren har olika bärbara system utvecklats. Syftet är att få fram lättare utrustning med simultan registrering som också möjliggör insamling under längre perioder. Överföring av data med telemetrisk teknik är under utveckling och har prövats i olika sammanhang (bild 6). Detta innebär att man kan följa en individ under t.ex. delar av en arbetsdag, en fotbollsmatch eller en orienterare under en tävling. (fig 1). Den nedbantade utrustningen har dock ännu ej fått samma prestanda som de stationära utrustningarna. För framtida forskning och utveckling av träningsmodeller är behovet stort. Särskilt vad avser att mäta och analysera individers tekniska utförande t.ex. löpekonomi, åkekonomi måste standardiserade mätningar med hög noggrannhet kunna utföras i "fält".

Respiratorisk kvot

Varje liter förbrukat syre omsätter en energimängd av ca 20 kJ (5 kcal). Vid förbränning av kolhydrater fås 21 kJ (5.05 kcal) och vid förbränning av fett 19 kJ (4.7 kcal). Förenklat brukar sägas att kolhydrater är något "högoctanigare". Arbetets intensitet, varaktighet och karaktär samt olika metabola enzymesystems träningsgrad avgör vilket energislåg som används. Vid måttligt intensiva arbeten förbränns fett och kolhydrater samtidigt.

Man får alltså ut mer energi för varje liter förbrukat syre om kolhydrater används som bränsle. Inom prestationsidrotter blir det därför synnerligen väsentligt att ha tillgång på kolhydrater. Utveckling av olika modeller för kolhydratuppladdning har blivit en följd av detta.

För att göra exakta bestämmningar av energiåtgången via mätning av syreupptagningen måste man därför bestämma hur stor andel som kommer från fett respektive kolhydrater. Detta sker genom att räkna ut kvoten mellan koldioxidhalten i utandningsluften och upptaget syre. Den erhållna kvoten kallas respiratorisk kvot (RQ). Då den är 1.0 föreligger ren kolhydratförbränning. Arbetsintensiteten är då som regel

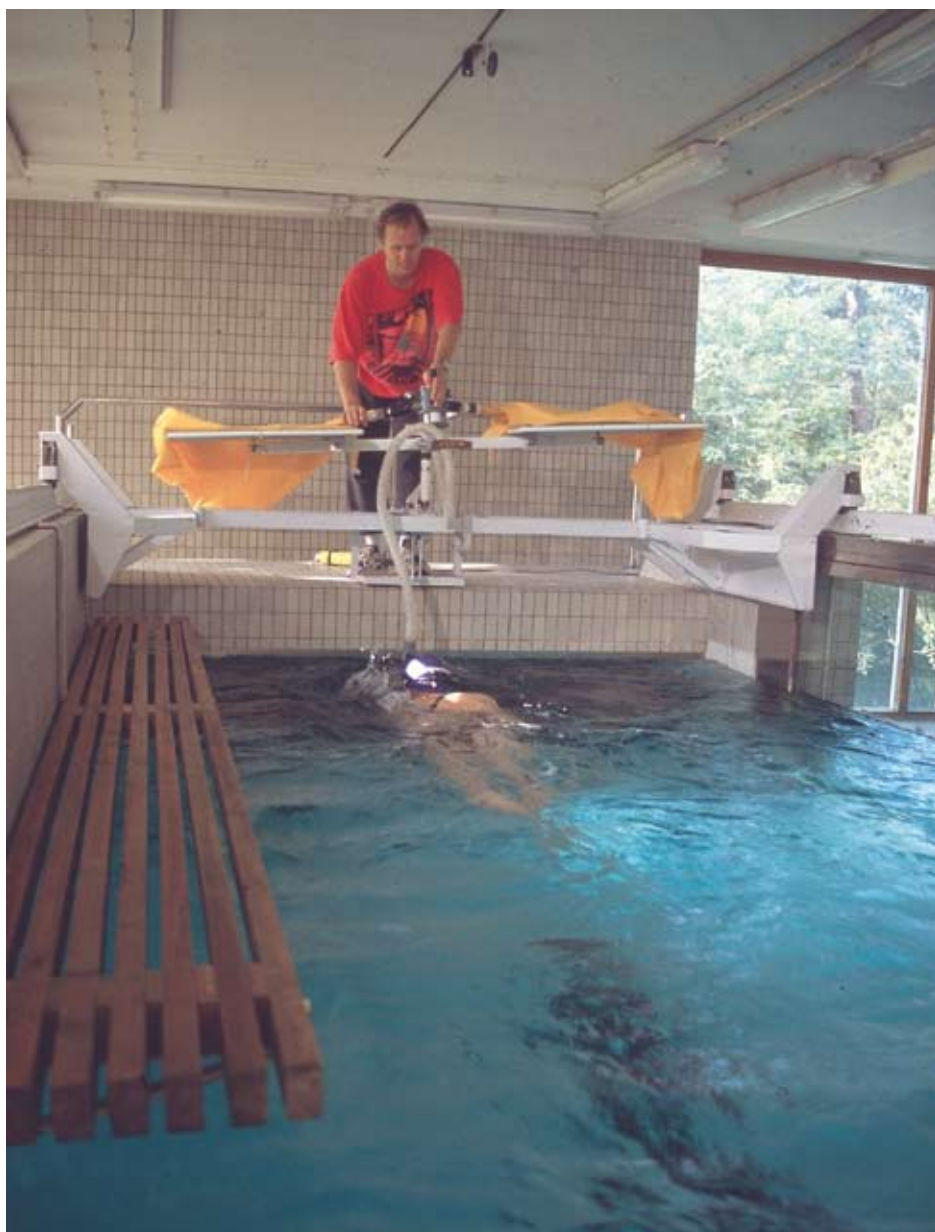


Bild 9. Mätning av syreupptagning under simning i GIH-badets simränna, där det cirkulerande vattnets hastighet kan förinställas.

Biomekaniska analysmöjligheter från videoinspelningar finns i ett flertal datasystem. Med dessa som grund kan stil och teknik diskuteras. Även djupare analyser avseende krafter, tyngdpunktsförändringar och accelerationer kan utföras. Men först när dessa analyser kan kopplas till samtida energimätningar kan en validering ske och betydligt större möjligheter kommer att finnas till fördjupade tekniska resonemang.

Inom arbetslivet där tunga moment och arbetsbelastningar förekommer, kan mätning av syreupptagning användas för att värdera arbetets fysiologiska belastning t.ex. brandmän, militärer. Även för att kunna utföra kravprofiler för olika yrken och sätta upp gränser för de anställdas fysiska förutsättningar kan mätningar av syreupptagning vara till hjälp. Regelbundna tester och uppföljning av personal är av betydelse.

I samband med program för viktsreduktion finns klara behov av bestämmningar för att kunna ge råd vad gäller energiintag och energiåtgång för olika aktiviteter. Denna möjlighet torde kunna ha ett stort pedagogiskt värde.

Just nu diskuteras ämnet Idrott och hälsa i skolan. Långsiktiga studier med avseende på syreupptagning och kondition behövs för att kunna utvärdera de förändringar som skett (och kommer att ske) inom skolans undervisning. När livsstilsfrågor och hälsoaspekter diskuteras är individens fysiska kapacitet mätt som syreupptagning en av flera väsentliga parametrar.

Referenser

- Andersson G. Forsberg A. Malmgren S. Konditionstest på cykel, SISU idrottsböcker 1999
 Ekblom B. m.fl. Kost & Idrott. SISU 1992
 Forsberg A., Saltin B. Konditionsträning i teori och praktik, Idrottens forskningsråd 1988.
 Foxdal P. Metodhandbok, Laktatmätning för uthållighetsidrotter, Olympisk Support 1997
 Åstrand P-O Textbook of work Physiology, Mc Graw-Hill book company 1986

av hur det anaeroba bidraget varierat under en aktivitet eller träningspass om ett flertal prover tas.

Härmed inses att i arbeten och vid idrottsprestationer där intensiteten varierar och arbetstiden är kort är möjligheten till exakta bestämmningar av energiomsättningen begränsade. Vid långvariga ej maximala arbeten däremot är tillgänglig metodik god för att tillförlitliga bestämmningar skall kunna göras.

Flera användningsområden

Beräkningar av energiomsättningens storlek har sina uppenbara användningsområden. Inom idrotten är kunskapen om energibehovet stort i samband med måltider och kostuppladdningar inför träning och tävling. Ett särskilt informationsbehov finns inför de stora evenemang som Vät-

tern runt, Vasaloppet där den breda allmänheten deltagar. Dessutom finns ibland behov att följa en idrottsmans energistatus över längre tid för att undvika bristsituationer och överträning.

Att mäta den maximala syreupptagningen hos idrottare ger också en bra nivå på deras fysiska kapacitet. Ett mycket högt samband föreligger inom vissa idrotter mellan prestation och maximal syreupptagning. Genom att göra s.k. maxtester med några månaders mellanrum kan man följa individens konditionsutvecklingen. Man försöker även använda testresultaten för att utvärdera olika träningsprogram och planera kommande träning.

Teknikanalyser är av stor betydelse för att utveckla idrotten. Begrepp som rörelseekonomi är i många sammanhang avgörande för prestationen.



Nyligen publicerad doktorsavhandling vid Sahlgrenska universitetssjukhuset Göteborg

Regulation of Vascular Function by Fluid Mechanical Forces

av Li-ming Gan

Populärvetenskaplig sammanfattning

Våra blodkärl är ett viktigt transportsystem för distribution av syre och näringsämnen till kroppens olika organ, t ex hjärna och hjärta. Ett väl fungerande kärlnätverk är därför avgörande för vår överlevnad. För att hålla detta system öppet och fritt från åderförkalkning och blodproppar, är kärlväggen utrustad med en rad olika försvarsmekanismer mot flödes hinder. Förutom så kallade glatta muskelceller, som genom kontraktion eller relaxation kontrollerar blodgenomströmningen, finns det dessutom ett tunt cellager som utgör en barriär mellan blodflödet och kärlväggen. Dessa så kallade endotelceller har visat sig spela en nyckelroll för det livsviktiga försvaret mot olika typer av flödes hinder genom att producera ämnen som motverkar bildning av blodproppar och som styr reglering av blodflödet samt nybildning och ombyggnad av nya blodkärl.

Kärlväggen utsätts för tre olika typer av biomekaniska krafter: 1) Shear stress är den friktionskraft som blodflödet utövar på kärlväggen framför allt endotelceller, och verkar i flödets riktning; 2) intraluminalt tryck är den kompressionskraft som blodtryck utgör och verkar i vinkelrätt riktning mot kärlväggen; 3) tensionskraften är den spänningskraft som verkar längs hela kärlväggen och är sekundärt genererad av blodtrycket. Man har sedan länge anat att det kunde förekomma samspel mellan blodflödet och kroppens blodkärl. Man känner t ex till att högt blodtryck kan leda till ökad styvhet och även åderförkalkning i blodkärlen, vilket ofta är förenat med ökad risk för hjärtinfarkt. Man vet också att akuta hjärtinfarkter brukar uppstå efter stressituationer, då både blodtryck och blodflödes hastighet kan öka. Dessutom vet man att i ett och samma kärl-

träd, brukar åderförkalkning uppstå över kärlförgreningar, där blodflödet drabbas av virvelbildningar och andra ojämnheter i flödet.

Orsakssambanden bakom dessa observationer är dock ofullständigt kända framför allt beroende på att det ej funnits några adekvata experimentella modeller. Tidigare data har ofta varit baserade på antingen epidemiologiska undersökningar eller cellkulturstudier, vilket gör att den viktiga länken mellan cellulära mekanismer och beteende av ett intakt kärl har saknats. Detta manade oss till att utveckla en helt ny datoriserad kärlperfusionsmodell, i vilken effekter av blodtryck och shear stress kan studeras i detalj.

Med hjälp av denna experimentella modell har vi kartlagt hur några av kärlväggens viktigaste aktörer regleras av biomekaniska krafter. Endotelceller producerar kväveoxid (NO) som vidgar kärlen och motverkar att blodplättar klottrar ihop sig och bildar blodproppar. Dessutom motverkar NO åderförkalkningsprocessen. Som motverkande system bildar kärlväggen ett annat ämne, endotelin-1 (ET-1), som är kraftigt kärlsammanslagande och stimulerar tillväxt av glatta muskelceller. ET-1 är förknippad med en rad sjukdomstillstånd, såsom hjärtsvikt och högt blodtryck. Förutom dessa lokalt verkande substanser, producerar kärlväggen även ämnen som bygger om och bygger till kärlsystemet (angiogenes). En av dessa är "vascular endothelial growth factor" (VEGF) som spelar en viktig roll i kärlnybildningsprocessen.

I våra studier har vi använt navelsträngsvener från frivilliga donatorer direkt efter normala vaginala förlossningar. Kärlen perfunderades under olika tidsperioder under välkontrollerade förhållanden och biomekaniska

stimuli, och olika celltyper preparerades därefter fram för analys av protein och genuttryck. Vi undersökte också hela kärlets beteende under experimenten som ett funktionellt mått.

Våra resultat talar för att ökad shear stress leder till att kärlväggens förmåga att producera kväveoxid ökar och därmed förbättras blodflödet. Denna effekt leder, tillsammans med kväveoxidens blodplättshämmande effekt, till ett ökat försvar mot blodproppar och åderförkalkning. Förhöjt blodtryck därmed orsakar ökad produktion av ET-1, som ger kärlsammanslagning och i det långa loppet väggförtjockning. Dessutom förefaller en isolerad ökning av shear stress utan metabola förändringar leda till en minskad produktion av VEGF, vilket kan innebära minskad kärltäthet. Detta skulle kunna leda till blodtrycksstegring i ett längre perspektiv. Vi har också i den sista studien funnit att mekaniska krafter påverkar flera viktiga så kallade "snabba tidiga gener", som troligen ansvarar för att överföra andra gener.

Sammanfattningsvis har jag under detta avhandlingsarbete utvecklat en ny datoriserad kärlperfusionsmodell, och med vars hjälp man systematiskt kan kartlägga samspelet mellan kärlväggen och blodflöde/tryck. Akuta och kroniska förändringar i blodflöde/tryck i samband med t ex stress, högt blodtryck och fysisk träning förefaller ha påtagliga effekter på kärlväggens vitala funktioner. Ökad kunskap om dessa samband kan bidra till en större förståelse av vanliga och allvarliga sjukdomstillstånd, såsom högt blodtryck, hjärt- och hjärninfarkt samt åderförkalkning. På sikt kan dessa kunskaper komma att generera nya behandlingsmetoder.



Idrottshögskolan i Stockholm inbjuder till fortbildningskurs i

IDROTTSMEDICIN

för alla idrottslärare eller motsvarande under tre helger höstterminen 2001: 13-14 okt, 27-28 okt samt 10-11 nov.

Kursen ger såväl teoretiska som praktiska kunskaper om de vanligt förekommande akuta och överbelastningsskador; dess orsaker, symptom, undersökningsfynd, behandling och förebyggande åtgärder. Skador hos såväl barn som vuxna; motionärer och elit tas upp.

Målsättningen med kursen är att man som ledare skall känna sig säker vid handläggningen då olika skador uppstår.

I kursen ingår repetition av relevanta anatomiska kunskaper samt diagnos- och behandlingsåtgärder för olika idrottsskador samt nya behandlingsrön.

- Även vissa sjukdomslära moment tas upp, samt dess konsekvenser för träning och tävling, såsom allergi, astma, ätstörningar och akutsjukvård.
- Såväl teoretisk som praktisk undervisning i massage ges samt kunskaper hur det kan användas i skolan.
- Specifika kunskaper i olika töjningsövningar erhålls liksom forskningsrön om vanligt förekommande träningsövningar för buk- och ryggmuskulatur, samt muskel- och senskador - dess skademekanismer och rehabilitering.
- Praktisk rygghälsa i skolan ingår.

Samtliga som undervisar i Idrott och Hälsa, från lågstadiet till gymnasiet är välkomna. Kostnad: 2800:- vilket betalas senare i höst. Det går bra att endast delta vid två av de tre helgerna (samma pris).

Intresseanmäl Er redan nu (*dock senast 3 sept*), via epost till eva.andersson@ihs.se eller brevledes till Eva Andersson, Idrottshögskolan, Box 5626, 114 86 Stockholm, tel 08/402 22 53.

Ni hälsas hjärtligt välkomna av oss kursansvariga lärare på Idrottshögskolan: Eva Andersson leg. läkare, Kristjan Oddsson leg. naprapat och Carl Askling leg. sjukgymnast.