



Av
Göran M Hägg
Mats Ericson
Per Odenrick

Inledning

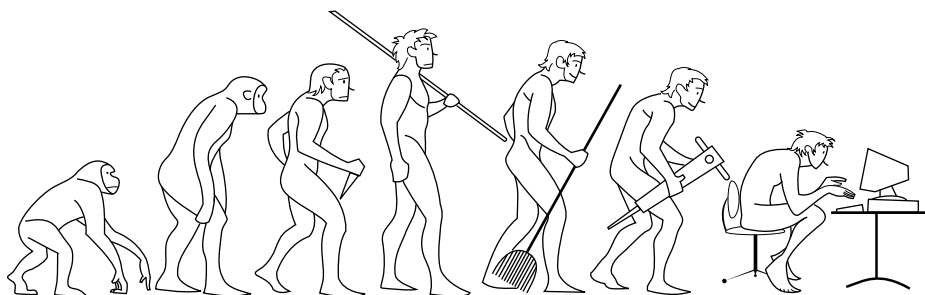
I detta kapitel behandlas huvudsakligen människans interaktion med omgivningen i mekaniska termer – mekaniskt arbete, krafter och moment – men även arbetsplatsens rumsliga utformning. Här finns många beröringspunkter med metod- och utvecklingskapitlen 9 och 10 där olika frågor rörande mätning av belastning och utveckling av arbetsplatser och verktyg tas upp. När det gäller risker för skador och besvär, som är ett mycket komplext område, är det ofrånkomligt att även komma in något på psykosociala aspekter.

I kapitlet används ett antal begrepp och benämningar på kunskapsområden som inledningsvis förtjänar att definieras. Med *arbetsfysiologi* avses de mänskliga fysiologiska processer som är en förutsättning för att människan ska kunna generera krafter och mekanisk energi. *Fysisk belastning* på människan förekommer av två olika slag: sådana belastningar där olika vävnader i kroppen passivt belastas av externa krafter och sådana där individen själv genererar krafter internt i kroppen. Den senare kategorin kan sedan indelas i en klass där mekanisk energi genereras (kraft utvecklas under rörelse) och sådana belastningar där endast kraft(er) upprätthålls utan rörelse och mekanisk energiutveckling. I det senare fallet krävs ändå intern energiomsättning för att upprätthålla muskelkraft(er). Det bör påpekas att även uppgiften att positionera och förflytta den egna kroppen ger upphov till fysisk belastning.

Ergonomi är ett internationellt begrepp med delvis olika innebörd i olika länder och kulturer. Inom International Ergonomics Association (IEA) har man emellertid enats om en bred definition av begreppet och denna innefattar i stort sett hela det område som denna bok berör. För att kunna bli *certifierad ergonom* enligt det europeiska *CREE-systemet* krävs en bred kompetens enligt den internationella definitionen. I Sverige har ergonomi bland gemene man ofta blivit liktydigt med de frågor som behandlas i detta kapitel, det vill säga människans interaktion med omgivningen i termer av krafter, moment och mekanisk energi. Detta beror sannolikt på att forskningen i Sverige varit särskilt omfattande och framgångsrik inom detta område. Den intresseorganisation som driver dessa frågor i Sverige, Ergonomisällskapet Sverige (ESS), verkar dock för att den breda internationella definitionen av ergonomi ska tillämpas även här och att de problemområden som tas upp i detta kapitel ska betecknas *belastningsergonomi*.

4.1 Människans och teknikens utveckling i otakt

Alltsedan den första idag kända tvåbenta människoliknande varelsen steg upp på sina ben för drygt 3,5 miljoner år sedan har den rent fysiska utvecklingen av kroppskonstitution och sinnesorgan i stort sett stått stilla. Människans utveckling från människoapa till dagens *homo sapiens* (den visa människan) i relation till teknikutvecklingen illustreras i figur 4.1. Det som framför allt skiljer fysiskt mellan dagens människa och våra tidiga anfäder är kraniets utseende, hjärnans storlek, bröstorgans form, hud och pigmentering. Förmodligen har också talförmågan förbättrats genom att talorganen utvecklats. De anpassningar som skett har främst inneburit ett förbättrat intellekt.



Figur 4.1. Människans utveckling från människoapa till dagens *homo sapiens* (den visa människan) i relation till den tekniska utvecklingen.

Människan har inte utvecklats särskilt mycket rent fysiskt de senaste 20 000 åren. Trots vissa kroppsskillnader mellan olika folkgrupper tillhör vi samma art – *homo sapiens*. För ungefär 10-12 000 år sedan började jorden brukas och 8 000 år senare är hälften av jordens befolkning jordbrukare. Den relativt snabba utvecklingen från jägare och samlare till jordbrukare har möjliggjorts genom kulturella förändringar. Några större genetiska förändringar som står i paritet med förändringarna i människans livsvillkor har dock inte skett. Detta skulle ha krävt en mycket längre tid.

Den tekniska utveckling som fortfarande pågår i accelererande takt, och som tog ordentlig fart i och med industrialismens början, ställer aldrig tidigare ställda krav på människan. Bland annat har vi i den industrialiserade delen av världen blivit något av ett sittande folk – *homo sedens* – den sittande människan. Flera av oss tillbringar en stor del av vår vakna tid sittande, övrig tid ligger vi ner för att vila och sova. Människorna i vår del av världen är ofta understimulerade eller onaturligt överstimulerade i arbetet ur fysisk och mental synpunkt. När vi belastar vår kropp så gör vi det ofta ensidigt och monotont på ett sätt som människan inte är skapad för.

De ensidiga belastningarna orsakas ofta av ökande specialisering, vilket torde vara en av de viktigaste orsakerna till flera av de arbetssjukdomar som idag drabbar befolkningen i den industrialiserade världen. Människorna som drabbas förstår inte alltid sambanden mellan sina besvär och de nya arbetsförhållandena. Människan behöver

omväxling och variation för att må bra, vilket är viktigt att komma ihåg när man utformar arbetsplatser och arbetsuppgifter. Utan att drastiskt ändra vårt sätt att leva och införa mer omväxlande belastningar både under arbete och fritid, kan vi sannolikt aldrig komma tillrätta med belastningssjukdomar vilka är vanligast i muskler, senor och leder.

4.1.1 Teknikutveckling – från muskelkraft till maskinkraft

Under de gångna årtusendena har våra förfäder i huvudsak levt i en naturlig miljö, deras existens berodde direkt på hur väl de kunde använda sina händer till att skaffa mat och benen till att förflytta sig. Under årens lopp har olika verktyg och hjälpmedel skapats för att göra livet lättare att leva.

Människan har i hög grad förändrat sin omgivande miljö från de första stappande stegen på två ben och till dagens samhälle. En majoritet av jordens befolkning omges idag av en stor mängd föremål som är skapade och tillverkade av människor. Utvecklingen av verktyg och hjälpmedel har till stor del styrts av hur ändamålsenliga de har varit för att fylla sin funktion. Ständiga förbättringar har gjorts i varje generation och har skett i vad man kan kalla en evolutionsprocess. Mänskligt arbete har huvudsakligen utförts med händerna, med eller utan hjälp av verktyg.

Den industriella revolutionen innebar att maskiner kunde börja användas och den fysiska belastningen på människan började minska. Tidigare genererade människan oftast själv den energi som krävdes i tillverkningsprocessen. Människan ersätts idag ofta av en maskin som driver verktygen, det vill säga energin kommer nu istället från externa källor. Parallellt med den industriella revolutionen har det skett en utveckling av hur det mänskliga arbetet organiseras. Denna utveckling, som beskrivs närmare i kapitel 3, har ofta inneburit att det har skapats ensidiga och monotona arbeten som på längre sikt ofta ger upphov till förslitningar och sjukdomstillstånd i leder och muskler. En vanligt använd term för detta är *ensidigt upprepat arbete*.

Den tekniska utvecklingen har löst många problem men nya problem har istället uppstått vad det gäller människans möjligheter att överleva. Under vissa perioder har den tekniska utvecklingen kännetecknats av en kamp mot naturen. Detta har emellertid inneburit att människan i vissa bemärkelser har bekämpat sig själv. Idag är fler människor medvetna om att utvecklingen måste ske utifrån en helhetssyn i samspel med naturen och egna biologiska förutsättningar. Denna utveckling avspeglas i att man idag talar om att anpassa maskinen och arbetet till människan och inte tvärtom. Genombrottet för detta synsätt kom när man under andra världskriget upptäckte att soldaterna inte klarade av att styra de nyutvecklade avancerade vapensystemen.

4.1.2 Belastningens tidsvariation och arbetets uppdelning

Rörelseapparaten måste belastas regelbundet för att upprätthålla sin rörlighet och kapacitet i lika stor utsträckning idag som för 20 000 år sedan. Det innebär att vi behöver en viss mängd belastning och att denna belastning är utspridd över tiden för att vi ska bibehålla vår fysiska kapacitet. Den industriella revolutionen har inneburit att vårt arbetskapital ibland utnyttjas enformigt för att passa in i en effektiv produktionsprocess. Den

ekonomiska processen har fått människan att anpassa sig till arbetet istället för tvärtom. Ett stort problem har varit att arbetsuppgifterna i produktionsprocessen har delats upp så att vissa människor gör det kreativa tänkandet, medan andra endast repetitivt utför några få inlärda arbetsrörelser. Detta har skapat ohälsa och otillfredsställelse med bland annat kroniska skador på rörelseapparaten som följd för dem som utför det fysiska arbetet. Samtidigt har de kreativa människorna berövats möjligheter till välbehövlig fysisk aktivitet.

4.2 Uppbyggnad och funktion hos andnings- och cirkulationsorganen

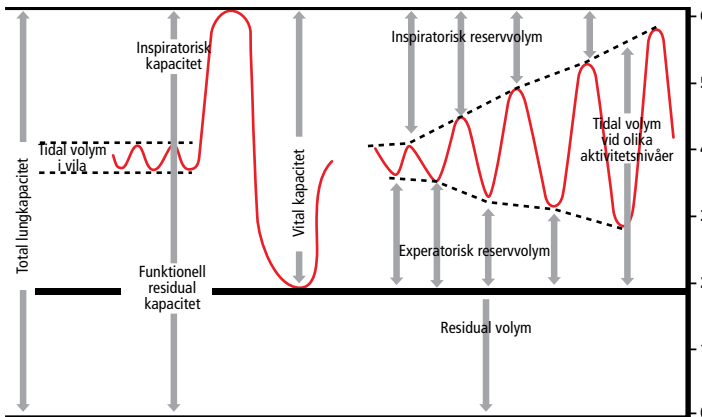
Andningsorganens främsta funktion är att tillåta utbyte av gaser mellan kroppen och omgivande luft. Framförallt syre tillförs kroppen och koldioxid avges via diffusion mellan luft och blod i lungornas alveoler. Cirkulationsorganen i sin tur har till uppgift att transportera dessa gaser samt näringsämnen och olika restprodukter till och från kroppens celler. Cirkulationsorganen fungerar också som ett transport- och signalsystem för olika ämnen, till exempel hormoner, mellan kroppens olika celler och organ. Generell kunskap om uppbyggnaden och funktionen av andnings- och cirkulationsorganen är viktig för förståelsen av stora delar av arbetsfysiologin, hur olika ämnen tas upp, transporteras, omsätts, deponeras och avges i kroppen.

4.2.1 Andningsorganen

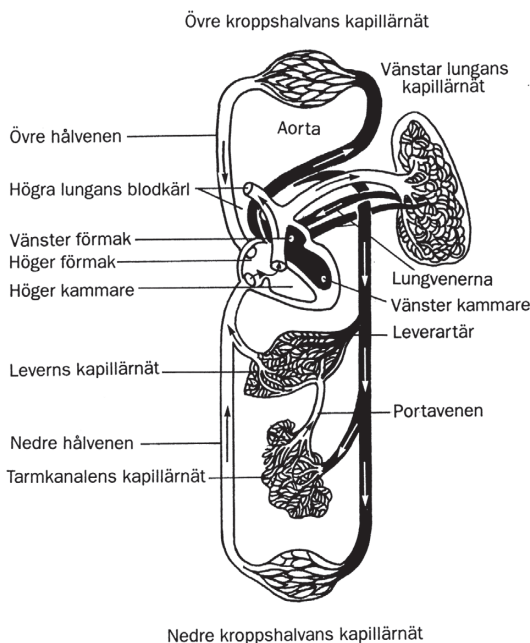
Luftvägarna delas anatomiskt in i en övre och en nedre del, där de *övre luftvägarna* omfattar munhåla, näsa, bihålor och svalg. De *nedre luftvägarna* består av luftstrupe (med struphuvud och stämband), bronker och lungor. Såväl de övre som de nedre luftvägarna är inklädda med *slemhinnor* över vilken transport av olika ämnen ständigt sker. Förutom gasutbytet har luftvägarnas slemhinnor två viktiga uppgifter: fukta inandningsluften och rensa den från luftföroreningar. Över slemhinnorna passerar också olika ämnen till och från blodbanorna. Den största ytan över vilken ämnestransport och gasutbyte kan ske finns längst ner i lungornas många små blåsor, *alveoler*. Ytan över vilken diffusion av gaser sker uppgår till 40–120 m². Luftvägarna är därför vanligen den viktigaste vägen för kroppsupptag av de olika kemiska ämnen som förekommer i vår arbetsmiljö. Överföring av kemiska ämnen till kroppen sker också via huden och mag-tarmkanalen.

Den gasvolym som lungorna rymmer (figur 4.2) vid maximal inandning kallas *totalvolym*. Den volym som blir kvar i lungorna vid maximal utandning kallas *residualvolym*. Totalvolym minus residualvolym utgör lungornas *vitalkapacitet*. Vitalkapaciteten uppgår hos vuxna normalt till mellan tre och sex liter. Den volym som man andas in och ut vid ett vanligt andetag benämns andetagvolym eller *tidalvolym*. De regelbundna förändringarna i volym vid andning åstadkoms av andningsmuskulaturen vid inandning och passivt av lungvävnadens elasticitet under utandning. Vid mycket hårt arbete eller maximal ventilation kan andningsmuskulaturen i främst bukväggen också hjälpa till med utandningen.

Andningsfrekvensen, som i vila normalt är 12–16 andetag per minut, styrs ifrån hjärnan. Det sker genom en integration av information ifrån olika delar av kroppen rörande bland annat pH och koldioxidhalt i blodet samt rörelser i bröstkorgen. Andningsfrekvensen kan givetvis också styras viljemässigt. Andningen regleras inte endast med avseende på frekvens utan också med avseende på mängden inandad luft. Regleringen av andningens frekvens och djup tillförsäkrar kroppen att tillräcklig syretillförsel och avgivande av koldioxid kan ske. Det som normalt primärt påverkar regulationen av andningen är koldioxidhalten (CO_2) i blodet. CO_2 påverkar pH i blod och hjärnvätska. Ändringar i blodets syrgashalt påverkar först i andra hand andningen.



Figur 4.2. Exempel på ett spirogram illustrerande olika andningsvolym. (Luthman et al., 1969.)



Figur 4.3. Systemkretsloppet (stora kretsloppet) och lungkretsloppet (lilla kretsloppet). Svart färg = arteriellt (syresatt) blod och vit = venöst (syrefattigare) blod (Åstrand, 1990).

4.2.2 Cirkulationsorganen

Blodkärl

Blodkärnen delas in i två kretslopp: *systemkretsloppet* och *lungkretsloppet* (figur 4.3). Lungkretsloppet avser de kärl som transporterar det syrefattiga blodet ifrån höger hjärtkammare till lungorna och därifrån till vänster förmak. Systemkretsloppet som går ut i hela kroppen delas in i en artär- och vensida med mellanliggande kapillärer. *Kapillärbädden* utgörs av alla de små tunna blodkärl i vilka utbyte av ämnen mellan kärl och omgivande vävnad kan ske.

Hjärtat

Hjärtat är det organ som genom mekaniskt arbete ständigt pumpar blodet runt i kroppens blodbanor. Man räknar med att ett människohjärta under en medellivstid slår uppåt tre miljarder slag. Hjärtat har en storlek som motsvarar ungefär en knuten hand. Förmaken samlar upp blodet som pumpas till hjärtat. Det syrefattiga blodet förs i systemkretsloppets vener till höger förmak och det syrerika blodet ifrån lungkapillärerna till vänster förmak. Ifrån respektive förmak fylls kamrarna med blod genom öppning och stängning av hjärtklaffar. Från vänster kammare pumpas det syresatta blodet ut i systemkretsloppet till hela kroppen.

Från den högra kammaren pumpas syrefattigt blod till lungorna för syresättning. Regleringen av hjärtats sammandragningar sker via två centrum för elektrisk aktivitet, *sinusknutan* och *AV-knutan*. Sinusknutan är belägen i övre delen av höger förmak och AV-knutan i väggen mellan de bägge förmaken. Sinusknutan, som normalt bestämmer hjärtats slagfrekvens, har en högre spontan urladdningsfrekvens än AV-knutan. När ett hjärtslag initieras i sinusknutan aktiveras förmaksmuskulaturen. Impulserna sprider sig sedan med fördröjning via AV-knutan till kamrarnas muskulatur. Vid skador på hjärtat kan detta retledningssystem skadas och olika former av hjärtrytmrubbningar, arytmier, uppstår. Urladdningsfrekvensen i sinusknutan påverkas av omgivande regler-system som känner av blodtryck och halt av CO₂ och pH i blodet. Ett friskt hjärta har via det autonoma nervsystemet kontakt med resten av kroppen och dess regler-system. Ett hjärta som arbetar på egen hand, utan påverkan ifrån resten av kroppen, leder till allvarliga störningar i cirkulationsapparaten. Hjärtats kontakt med det autonoma nervsystemet är kopplad till variationen i slagfrekvens, speciellt i vila. Hjärtan som varierar tiden mellan de olika slagen med stor spridning i intervallen kan ur åtminstone denna synvinkel anses vara friska.

Cirkulation och tryck

I vila pumpar hjärtat ungefär sex liter blod per minut. Vid maximal ansträngning kan *minutvolymen* uppgå till 30 liter. Det vi i dagligt tal menar med kondition är till stor del beroende av hjärtats förmåga att pumpa ut syrsatt blod till arbetande muskler. Blodtrycket i systemkretsloppet varierar och är i hjärtats vilofas, *diastole*, normalt cirka 8–11 kPa (60–83 mm Hg) *diastoliskt blodtryck*, och under hjärtats kontrak-

tionsfas, *systole*, normalt 16–20 kPa (120–150 mm Hg), *systoliskt blodtryck*. I lungkretsloppet är trycket mycket lägre, från 1,6 kPa (12 mm Hg) diastoliskt till 3,3 kPa (25 mm Hg) systoliskt blodtryck.

Artärdelen (artärer och arterioler) har elastiska kärl vars främsta uppgift är att på ett energimässigt effektivt sätt transportera blodet ut i kroppen. Artärerna och arteriolererna är elastiska och utvidgas därför med varje hjärtslags pulsvåg. Man kan själv känna pulsvågen genom att lägga fingrarna på halsen eller på insidan av handleden. Artärerna och de mindre arteriolererna kan aktivt dras samman (*konstriktion*) med glatt muskulatur och minska sin diameter. Konstriktion av kärlen med mindre diameter som följd, medför normalt en ökning av blodtrycket ute i kroppen. Detta kan vara nödvändigt när man till exempel reser sig upp från sittande eller liggande ställning. För vidmakthålla det arteriella flödet till hjärnan avges nervsignaler från det autonoma nervsystemet till artärsidans kärl att dra ihop sig. Därmed ökar blodtrycket och blodflödet till hjärnan säkerställs. Dessa kärl med kraftig kontraktionsförmåga kallas *resistanskärl*. Skulle blodtillförseln till hjärnan tillfälligt upphöra svimmar man. Detta är också vad som ibland sker hos stridspiloter som utsätts för höga accelerationer. Genom användning av en så kallad g-dräkt, där ett yttre tryck anbringas runt nedre delen av kroppen, förhindras blodet från att ansamlas i benen.

De venösa blodkärlen i systemkretsloppet är utrustade med *klaffar* som endast öppnar sig i flödesriktningen mot hjärtat. Med *klaffförsedda vener* och omgivande muskulatur kan, till exempel i nedre extremiteterna genom periodiskt muskelarbete, transport av blod ske under lågt tryck och hastighet tillbaka till hjärtats högra förmak, där hjärtat återfylls. Avsaknad av muskelaktivitet i benen, till exempel vid stillasittande arbete eller långa flygresor, ger ofta ben- och fotsvullnad. Det är på den venösa sidan som den största delen av blodvolymen är belägen. Genom påverkan på dessa venösa så kallade *kapacitanskärl* kan blodvolymen i omlopp, och därmed blodtryck och blodåterfyllning av hjärtat, varieras beroende på behov.

Syreupptag

Ur arbetsvetenskaplig synpunkt är cirkulationssystemets viktigaste funktion att transportera syrgas till arbetande muskler i kroppen. Cirkulationssystemets kapacitet är direkt avgörande för vår förmåga att klara av tungt arbete. Mekaniseringen av de flesta tunga arbetsuppgifter i den industrialiserade världen innebär att kraven i arbetslivet på det vi i dagligt tal kallar kondition kraftigt har minskat. Dock kvarstår krav på hög cirkulatorisk kapacitet i en del specifika yrken som till exempel brandmän. Nyligen genomförda undersökningar visar dock att specifika grupper med låg kapacitet, till exempel äldre otränade personer, ofta ligger på marginalen att till exempel klara ett tungt städarbete. En god cirkulatorisk kapacitet är också en grundläggande hälsopromoverande faktor.

Systemets maximala förmåga anges uttryckt som liter syrgas per minut ($\dot{V}O_{2max}$). Den maximala kapaciteten varierar från cirka 2 liter/minut hos en otränad individ med en topptränad idrottsman kan nå upp till 5–7 liter/minut. Den arbetande kroppens

behov av syrgas är bland annat relaterad till kroppsvikten. Ett mera rättvisande mått på den individuella konditionen är därför maximala syreupptagningsförmågan per kg kroppsvikt ($\dot{V}O_{2max}/kg$). Typvärden är 30–60 mlO₂/min x kg. Ett viktigt mått på belastningen i ett tungt arbete är på vilken andel av maximal kapacitet syreförbrukningen ligger, normalt uttryckt som procent av $\dot{V}O_{2max}$. En grundregel är att den under ett längre arbetspass i medeltal inte ska överskrida 35 % $\dot{V}O_{2max}$. Över detta gränsvärde tenderar metabolismen att bli alltmer anaerob med ökande mjölksyraansamling och oacceptabel trötthet som följd.

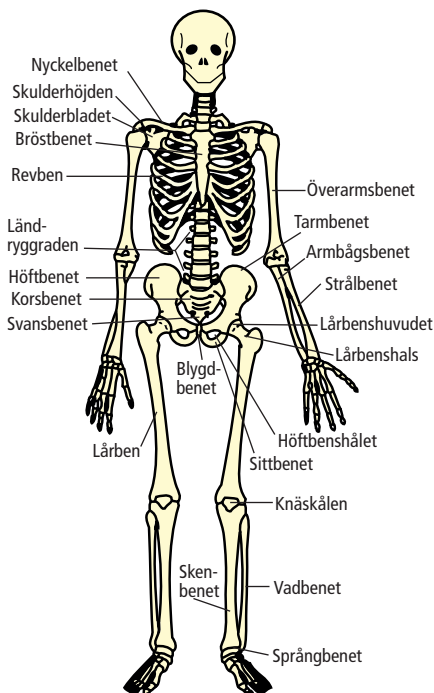
En vuxen människa i liggande vila kräver cirka 0,25 liter syrgas per minut för sin basala metabolism. Därvid ligger hjärtfrekvensen på vad som benämns vilopuls (storleksordningen 60 slag/minut). Vid en ökande belastning föreligger det en linjär relation mellan hjärtfrekvens och syreupptag nästan upp till maximal syreupptagningsförmåga och maximal hjärtfrekvens. Detta förhållande gör det tämligen enkelt att utifrån en enkel pulsmätning skatta den procentuella cirkulatoriska belastningen. Maximal hjärtfrekvens är ungefär 200 slag/minut vilken dock avtar med stigande ålder.

4.3 Uppbyggnad och funktion hos skelett, leder, muskler och nerver

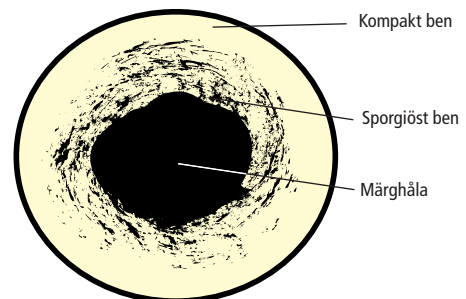
För att människan inte bara skall vara en oformlig klump med celler, har vi utrustats med *stöd- och bindvävnad*. En av definitionerna på biologiskt liv brukar vara möjligheten till rörelse. Rörelser åstadkoms av muskulaturen. Skelettet, bindväven, fettet, brosket, ligamenten, musklerna och en del av nerverna utgör tillsammans det vi kallar *rörelse- och stödjeorganen*. Förutom biomekaniska studier av rörelse- och stödjeorganen på makroskopisk nivå måste man förstå vad som händer på mikroskopisk cell-nivå. Människokroppen består av totalt cirka 10^{14} celler. De flesta sjukdomar uppstår genom påverkan på denna mikronivå. Detta är också fallet när det gäller så kallade *muskuloskeletala sjukdomar*, sjukdomar i rörelse- och stödjeorganen.

4.3.1 Skelett

Den vanliga bilden av skelettet (figur 4.4) som stelt och oformligt är inte helt riktig. Skelettet innehåller till exempel mycket blod och skall betraktas som en synnerligen föränderlig kroppsvävnad. Skelettets olika celler deltar i en kontinuerlig uppbyggnad och nerbrytning av skelettvävnaden. Ben består huvudsakligen av ett kalcifierat så kallat benmatrix i vilket olika typer av benceller är belägna. Oorganiskt material står för cirka 50% av torrvikten hos benmatrix. De dominerande ämnena är kalcium och fosfor. Det organiska materialet består huvudsakligen av proteinrika fibrer.



Figur 4.4. Skelett från den moderna människan, *homo sapiens*, sett framifrån. (Luthman et al., 1969: *Handbok i Ergonomi*.)



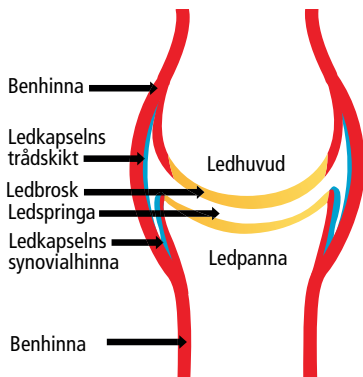
Figur 4.5. Tvärsnitt genom lårbenet (Luthman et al., 1969).

Skelettets *makroskopiska utformning* är resultatet av evolutionens olika krav på till exempel styrka, rörlighet och flexibilitet. De olika knölar och utskott som återfinns på skelettets olika enskilda ben är oftast fästen eller ursprung för muskler och ledband.

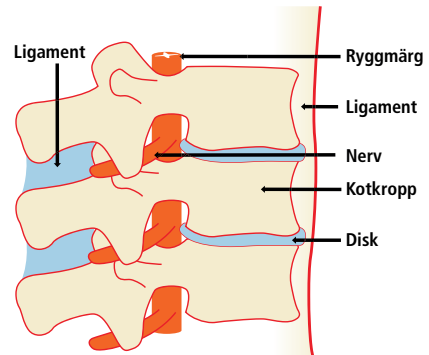
Det finns två huvudtyper av ben: *spongiöst* och *kompakt* ben. Spongiöst ben liknar fackverk av balkar (figur 4.5) och återfinns främst i ändarna av långa rörben, innerst i korta rörben utan mörghåla och i ryggkotpelaren. Kompakt ben som är hårdare än det spongiösa benet återfinns till exempel på ytan av de långa rörbenen och kraniet.

Det spongiösa benet är utformat så att stråkriktningen av balkarna på bästa sätt kan ta upp belastningen i skelettet. Riktningen på skelettets struktur och hållfasthetsgraden avgörs av i vilken riktning belastningarna normalt förekommer och hur stora de är. Vartefter de mekaniska belastningsförhållandena förändras kan skelettet ombildas; det kan försvagas eller förstärkas. Om man exempelvis av någon anledning skulle börja halta allvarligt och därmed belasta benen annorlunda så förändras stråk- och hållfasthetsriktningen i skelettet. Om belastningen ökar, kan skelettet också på några dagar och veckor markant öka mineraliseringen och därmed förbättra hållfastheten. Det är främst vid sällan förekommande och mycket höga momentana belastningar, transienta förlopp, som skelettet inte hinner med att förbättra hållfastheten och därmed går sönder. Om kroppen ges lite mer tid kan hållfastheten i benvävnaden normalt successivt öka med ökad belastning. Om belastningen uteblir så börjar hållfastheten omedelbart att försämrats. Till exempel har brottare genom sin idrott normalt en ökad hållfasthet i skelettet. I en studie av äldre, före detta brottare fann man dock att de inte hade någon högre hållfasthet i skelettet på äldre dagar jämfört med jämnåriga kontroller. Väl känt är också den minskade hållfasthet i skelettet som drabbar astronauter som vistas en längre tid i rymden på grund av avsaknaden av belastningar beroende på tyngdlöshet. Benvävnaden svarar mycket snabbt på förändrad belastning. Skelettet skall därför betraktas som plastiskt och inom vissa ramar föränderligt med avseende på mikroskopisk uppbyggnad och hållfasthet.

Om en ryggkota belastas repetitivt i axial riktning (uppiifrån och nedåt) 100 ggr med 60 procent av beräknad maximal hållfasthet så uppstår små, små benbrott i kotans benbalkar – mikrofrakturer. Ovanstående belastning motsvarar väl den belastning ryggens kotor utsätts för vid till exempel manuell snöskottning (med snöskyffel) av en garageuppfart täckt med tung blötsnö. Om dessa mikrofrakturer också ger upphov till smärtor eller orsakar ryggsjukdomar på längre sikt är ännu oklart. De kan också vara ett naturligt förekommande inslag i nybildningen och omformandet av benvävnaden.



Figur 4.6. Schematisk beskrivning av ledens uppbyggnad (Luthman et al., 1969).



Figur 4.7. Kotor och ryggmärg i ryggraden (Vogel och Hägg, 2004).

4.3.2 Bindväv

Bindväv har en trådig struktur och finns i tre olika former:

- *Lucker bindväv*, som är vit och bomullstussliknande och ingår i till exempel ledkapslar och hinnor.
- *Kollagen bindväv*, som består av längsgående oelastiska fibrer och ingår i till exempel senor och ligament.
- *Elastisk bindväv*, som består av längsgående elastiska fibrer och finns endast i ett av ryggradens längsgående ligament. Detta elastiska ligament håller ihop, förspänner och komprimerar ryggradens kotor och diskar.

4.3.3 Fettväv

Fettväv är guldfärgad med mjuk konsistens och består av bindvävsceller inlagrat fett. Det finns två typer av fettväv:

- *Byggnadsfett*, som till exempel finns under fotsulorna och fungerar som stötdämpare.
- *Depåfett*, som utgör en energireserv som lagras i underhuden och i buken. I fettväven ansamlas olika fettlösliga kemiska substanser.

4.3.4 Broskväv

Broskväv har en fast konsistens men kan ändå omformas, böjas och komprimeras. Det finns tre typer av broskväv:

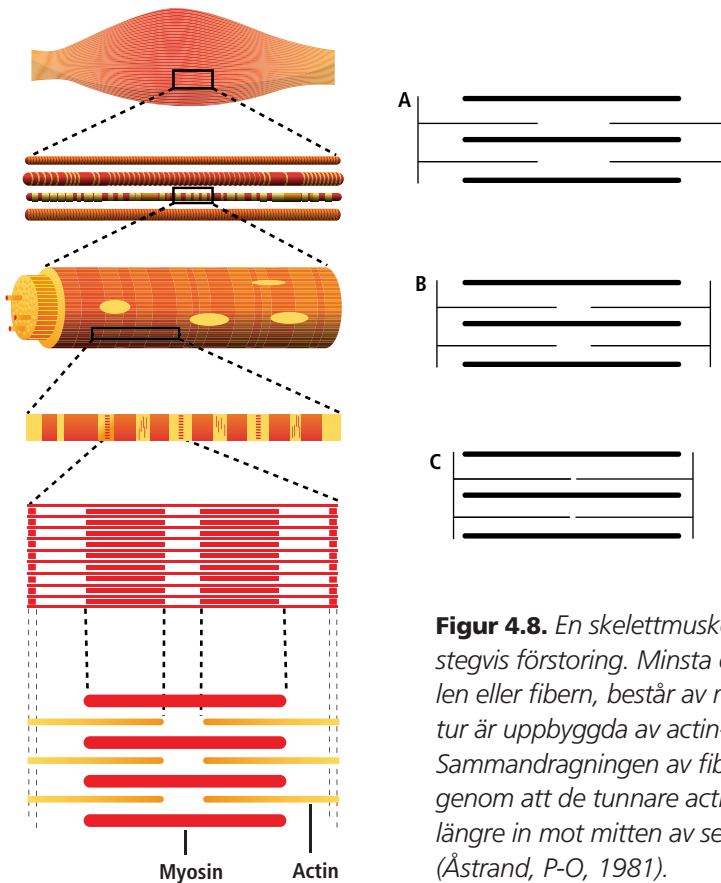
- *Hyalint brosk*, glasbrosk, som är vanligast i form av ledbrosk men ingår också i ytternäsan och struphuvudet.
- *Trådbrosk*, som är mjukare och trådigare än hyalint brosk och ingår i många av de fogar som förbinder olika skelettstycken med varandra. Det ingår till exempel också i ryggens mellankotskivor (diskar).
- *Elastiskt brosk*, som har elastiska egenskaper och ingår bland annat i ytterörat.

Det hyalina brosket som benvävnaden i kroppens leder bekläds av (figur 4.6) har som sin främsta funktion att verka stötdämpande och smörjande. Brosk tål mycket höga tryck och kan därefter återta sin ursprungliga form och funktion. Då brosket inte innehåller några blodkärl är det beroende av *diffusion* av ämnen till och ifrån ledvätskan och underliggande blodrikt ben. Men då brosk till största delen består av cellöst matrix är behovet av syre och näringsämnen mycket lågt i jämförelse med andra kroppsvävnader. Det är dock viktigt att poängtera att ledbrosket för att behålla sin goda stötdämpande och smörjande funktion, regelbundet behöver belastas och avlastas. Variationen i belastning säkerställer näringsdiffusionen. En del människor drabbas av olika sjukdomar (till exempel reumatism och artros) där brosket bryts ner och ledfunktionen drastiskt försämras. Vid onormalt höga belastningar kan brosket skadas irreversibelt. Broskvävnad återskapas inte. I framtiden kommer dock kanske skadat ledbrosk att kunna repareras med hjälp av transplantation.

En annan viktig broskvävnad i kroppen är de mellan kotorna liggande trådbrosk-skivorna – *mellankotskivorna* eller *diskarna* (figur 4.7). Dessa ger ryggkotpelaren en ökad rörlighet samtidigt som de fungerar som stötdämpare. Tack vare mellankotskivornas dämpande förmåga skakar det till exempel inte så mycket i huvudet när vi går. Mellankotskivan består av trådbrosk som i koncentriska ringar omger en mjuk gelatinös kärna (figur 4.16). När disken ibland går sönder på grund av överbelastning och den gelatinösa kärnan tränger ut uppstår ett *diskbråck*. Om den utträngande kärnan trycker på ryggmärgen eller nerverna i ryggen kan kraftiga smärtor uppstå, men även muskelförlamningar, känselbortfall eller funktionsstörningar i blåsa och tarm. Diskbråck utgör ungefär 5 procent av alla ryggsjukdomsfall. Diskbråck kan spontant läka men opereras ofta framgångsrikt. Diskarna förändras och åldras oftast ganska tidigt genom uttorkning med minskad dämpningsförmåga och ökad skörhet som följd. Rökning påskyndar degenerationen av diskarna genom en försämrad cirkulation.

4.3.5 Ligament

Ledband är ett annat namn för *ligament*. Ligamenten består av kollagen bindväv och har en mycket hög draghållfasthet. Dess uppgift är att begränsa, styra och stabilisera en leds rörlighet och därmed skydda andra ledstrukturer. Ligamenten tar också upp belastningar så att muskulaturen i vissa lägen kan avlastas. Vid upprätt sittande på en stol ändrar man sittställning då och då. Sittställningarna pendlar från en hösäcksliknande ställning med ryggen framböjd där ligamenten i ryggen belastas, till ett mer aktivt sittande i givakt där musklerna istället belastas. Belastningen kan i viss utsträckning styras att tas upp av musklerna eller ligamenten. I till exempel knäleden är det dock så att när man vid sträckning av knät aktiverar musklerna, belastas samtidigt också ledbanden inne i knät (korsbanden) för att stabilisera och styra knäledsrörelserna. Vissa leder, till exempel axelleden, har dock inga eller mycket svaga ligament varför endast musklerna och ledkapseln ger leden stabilitet. Detta ökar risken för överbelastning i dessa muskler på grund av en i stort sett kontinuerlig låggradig belastning.



Figur 4.8. En skelettmuskel i längdsnitt och stegvis förstoring. Minsta enheten, muskelcellen eller fibern, består av myofibriller som i sin tur är uppbyggda av actin- och myosintrådar. Sammandragningen av fibern sker segmentsvis genom att de tunnare actintrådarna glider allt längre in mot mitten av segmentet (A, B, C) (Åstrand, P-O, 1981).

4.3.6 Muskler

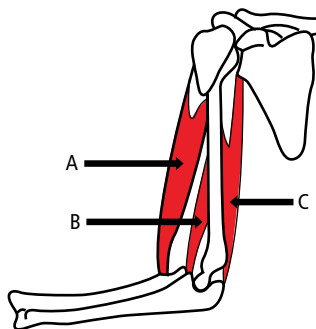
Skelettmuskulaturen utgör cirka 40–50 procent av den totala kroppsmassan fördelad på över 300 enskilda muskler. Muskelfibern (figur 4.8) som också kallas muskelcell är en 2–150 mm lång och 10–110 µm tjock, trådformad, mångkärnig cellbildning. I korta muskler löper muskelcellen genom muskelns hela längd, men i längre muskler slutar den tillspetsad i mitten av muskeln. I muskelcellens cellvätska ligger det flera cellkärnor samt ett flertal tvärstrimmiga kontraktila (sammandragningsbara) trådar, *myofibriller*, vilka består av kontraktila proteiner, actin- och *myosinfilament*. Det är den regelbundna anordningen av dessa proteiner (actin och myosin) som ger skelettmuskulaturen dess mikroskopiska tvärstrimmighet (figur 4.8).

Skelettmuskulaturen består huvudsakligen av två ämnesomsättningsmässigt och funktionellt olika typer av fibrer: *snabba* och *långsamma*. De snabba fibrerna blir normalt vita och ljusa vid mikroskopiförberedande färgning av muskelceller, medan de långsamma blir röda. Detta beror på att halten av olika enzymer i muskelfibrerna påverkar färgningen. De röda och långsamma fibrerna utnyttjas främst under långvarigt

arbete medan de vita och snabba fibrerna tas i anspråk vid stora kraftinsatser eller vid snabba och kortvariga rörelser. De snabba fibrerna tröttnas fortare än de långsamma beroende på en något annorlunda ämnesomsättning.

Muskeln har ett ursprung som definitionsmässigt normalt är belägen närmast bålén och ett fäste (huvud) som är beläget längre ut (perifert) på till exempel extremiteterna. Muskeln har i bägge ändar *senor*. Ursprunget kan dock vara mer eller mindre köttigt då muskelfibrerna nästan utgår direkt från benet eller mer senigt med en tydligt urskiljbar sena. Fästet utgörs oftast av en lång sena som fäster på den mer perifera ifrån bålén längst belägna skelettdelen. Muskeln kan förutom att vara i direkt förbindelse med skelettet också vara fästad vid bindvävshinnor som i sin tur är fästa vid skelettet.

De flesta muskler passerar förbi minst en led; *enledsmuskler* förbi en led, *flerledsmuskler* förbi två eller flera leder (figur 4.9). När muskeln kontraherar sig så att ursprung och fäste närmar sig varandra uppkommer en rörelse i det ledsystem som muskeln ingår i. Musklerna kan ha olika uppbyggnad och bestå av flera olika bukar. Muskelfibrerna kan också löpa i det närmaste längs med, eller mera snett mot muskelns längsriktning. Muskelns uppbyggnad och fiberriktningar avgör muskelns rent mekaniska prestanda. Draghållfastheten respektive maximal kraftutveckling är dock i stort densamma för alla muskler räknat per tvärsnittsarea vinkelrätt mot fiberriktningen.

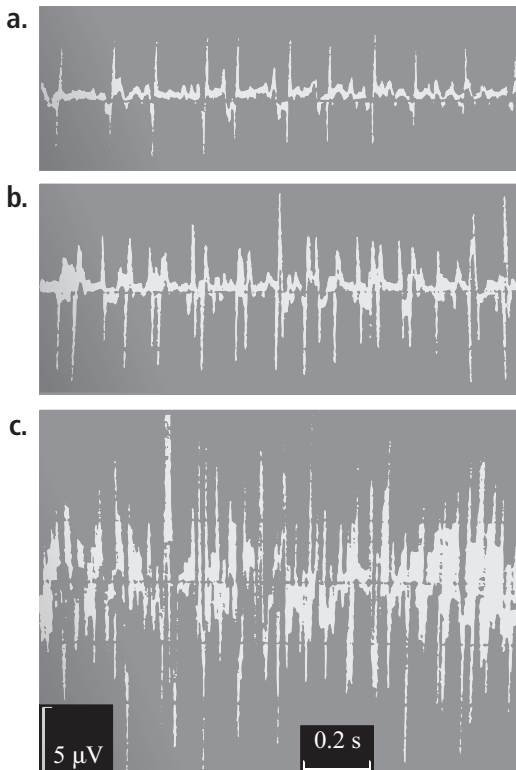


Figur 4.9. Schematisk beskrivning av musklers placering i överarmen.
A, C = flerledsmuskler; B = enledsmuskel
(Luthman et al., 1969).

Muskelns kontraktile element kontraherar sig som ett svar på nervimpulser ifrån centrala nervsystemet. En nervcell (ett *motoneuron*, figur 4.13) belägen i ryggmärgen styr ett mycket varierande antal (från 2 upp till cirka 800) muskelceller. För finmotorik, som i ögats muskler, är endast ett fåtal muskelceller kopplade till varje nervcell. För grövre motorik och kraftutveckling, till exempel i lårets knästräckarmuskler kan ungefär 800 muskelceller kopplas till varje nervcell. En nervcell och tillhörande muskelceller utgör en *motorisk enhet*. Ett motoneuron grenar i muskeln ut sig och respektive gren går in i respektive muskelfiber någonstans mitt på fibern, ungefär på samma ställe inom en motorisk enhet, en så kallad *innervationszon*. Då en nervimpuls når muskelcellerna förändras muskelcellens membran och genomsläpplighet för joner av olika slag. Det jonflöde som uppstår genererar elektriska spänningsförändringar av storleksordningen 100 mV som förflyttas längs muskelcellernas membran i bägge riktningar från innervationpunkten. Dessa benämns *aktionspotentialer*.

Jonflödet startar en kemisk reaktion där adenosintrifosfat, ATP reduceras till adenosindifosfat och adenosinmonofosfat (ADP och AMP). Den frigjorda energin omvandlas via de kontraktila proteinerna *actin* och *myosin* till mekanisk energi genom att actin- och myosinfilamenten drar ihop sig i förhållande till varandra. Kontraktionen sker likformigt i alla fibrer inom den motoriska enheten och varar cirka 0,1 sekund.

Aktionspotentialerna som uppstår vid muskelkontraktionen kan detekteras med elektroder, antingen intramuskulärt eller på huden över muskeln. Detta benämns *elektromyografi* (EMG). Med hudelektroder är signalamplituderna av storleksordningen 20–200 μV och representerar summan av aktiviteten i många aktiva motoriska enheter som illustreras i figur 4.10. EMG-signalen kan användas praktiskt som ett mått på muskelaktiviteten och är en etablerad metod för belastningsergonomisk utvärdering. Mera om denna tillämpning finns att läsa i kapitel 9.



Figur 4.10 a–c. Kraftuppsyggning i en muskel illustrerad med hjälp av EMG. Skallangivelser i bild c (Hägg, 1991).

- a.** Ultralåg kontraktion. En aktiv motorisk enhet.
- b.** Låg kontraktion. Flera aktiva motoriska enheter.
- c.** Måttlig kontraktion. Många aktiva motoriska enheter.

Det antal motoriska enheter och den frekvens med vilken nervimpulserna avfyras avgör kraftutvecklingen i muskeln. Regulation av kraften sker alltså genom en förändring i frekvens och rekrytering. Det senare illustreras med EMG i figur 4.10. Olika motoriska enheter har normalt osynkroniserade reptitionsfrekvenser. Endast under extrema förhållanden är samtliga motoriska enheter inom en muskel aktiverade samtidigt. Kraftregulationen sker normalt efter bestämda mönster som baseras på tidigare

inlärning och motorisk utveckling. I många fall behöver inte sättet att röra musklerna påverkas viljemässigt. Att ha en väl utvecklad kroppskänedom, koordination och arbetsteknik har sannolikt en stor betydelse för att förhindra uppkomsten av skador i rörelseapparaten.

Den maximala kraftutvecklingen i en muskel avgörs som tidigare nämnts av muskelns arkitektur (tvärsnittsarea, fiberriktning och form med mera) men också av sammansättningen av fibrer (långsamma och snabba) och dess motoriska nervkontroll.

Kraftutvecklingen i en muskel skall skiljas ifrån kraftutvecklingen i en led där flera muskler samverkar i *synergi*. Dels finns de muskler som utför själva rörelsen, *agonister*, dels de muskler som motverkar och stabiliserar rörelsen, *antagonister*. En aktivering av antagonisterna minskar nettot av den maximala kraft- och momentutvecklingen över leden. Musklerna motverkar varandra. En viss antagonistaktivering är oftast nödvändig för optimal kontroll av en rörelse. Belastningen på själva leden är beroende av aktiviteten i såväl agonister som antagonister. Båda bidrar till kompressions- och skjuvkrafter över leden. I början av ett inlärningsförlopp av en ny rörelse är antagonistaktiviteten större för att successivt minska allteftersom inläringen fortskrider. I vissa fall kan i ett energioptimerat slutstadium av inläringen kontrollen vara helt *ballistisk*, det vill säga att agonisterna enbart initierar rörelsen med en väl avvägd acceleration. Såväl agonister som antagonister kan sedan vara helt passiva under själva rörelsen.

I belastningsergonomiska sammanhang uttrycks ofta muskelbelastningen i procent av maximal kontraktionskapacitet och uttrycks som procent av MVC (Maximal Voluntary Contraction = maximal viljemässig kontraktion).

De enskilda musklernas längd samt dess momentarmar i förhållande till ledens rörelsecentrum påverkar också maximala styrkan (figur 4.11). Musklerna har oftast sin största kraftförmåga i ett något utsträckt läge. Om muskeln blir för kort eller allt för lång så avtar kraftutvecklingsförmågan.

Muskeln består förutom av muskelfibrer också av senor i vardera ändarna samt mellan muskelfibrerna belägna bindvävshinnor. Muskeln består således av aktiva och passiva komponenter. Rörelseenergin kan tillfälligt lagras i de passiva komponenterna. Detta utnyttjas till exempel vid vanlig gång där energi upptagen i hälsenan och vadmuskulaturen under hälisättningen kort därefter kan avges under frånskjutet och avstampet med foten.

4.3.7 Biomekaniska beräkningar

Biomekanik är en disciplin som tillämpar metoder och principer från mekaniken på biologiska material. Tillämpningar finns inom bland annat sjukvård, idrott, produktutveckling och inom arbetslivet. Ett exempel inom belastningsergonomins tillämpningsområde är studier av hur krafter verkar på olika strukturer i människans kropp. Inom belastningsergonomin används biomekanisk analys mest för att utvärdera belastningar vid manuellt arbete. Exempel på sådana situationer är att lyfta, bära, skjuta, dra eller enbart en kroppsställning som innebär en belastning från kroppens egenvikt

och där yttre last har liten inverkan. Biomekaniska beräkningar är användbara speciellt vid jämförelser mellan olika arbetssituationer. Metoden är speciellt användbar för att visa på förbättringar när en arbetsplats förändras eller för att identifiera de mest belastande momenten i ett arbete.

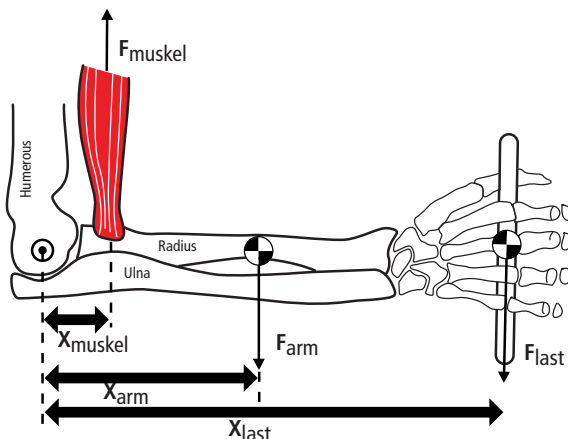
Redan i utformningsstadiet av en arbetsplats är det möjligt att beräkna vilka krafter som kommer att verka på kroppens olika strukturer. Det ligger då nära till hands att man vill jämföra med eventuella rekommenderade nivåer, referensvärden eller gränsvärden. I andra fall är det också möjligt att jämföra resultaten med uppmätta maximala muskelstyrkor hos en population. Det är emellertid väsentligt att använda flera parallella metoder för att också fånga upp personens upplevelse av belastningen och eventuella besvär.

Principer för beräkningar

Principen för att göra biomekaniska beräkningar är att man först gör en mekanisk förenklad modell för det man vill beräkna. Sådana biomekaniska modeller ger en approximativ beskrivning av verkligheten. Förenkling är nödvändig för att inte göra modellen alltför matematiskt komplicerad. Exempel på vanliga förenklingar är:

- Kroppssegmenten betraktas som stela kroppar, det vill säga ingen deformation sker som ändrar kraftfördelningen i kroppen.
- Lederna är friktionslösa. Friktionskoefficienten i en normal led är 0,005.
- Kroppssegmentens massa, tyngdpunktens läge och musklernas momentarmslängder hämtas från statistiska antropometritabeller.
- Det yttre vridmomentet tas upp av en muskel eller muskelgrupp och den aktuella muskelgruppen har endast en kraftriktning.
- Ingen antagonistiskt verkande muskelkraft förekommer.
- Betydelsen av stödkrafter förenklas.

Beräkningen av krafter och moment förutsätter att statisk jämvikt råder, det vill säga att accelerationskrafterna är noll och alla krafter balanserar ut sig mot varandra. Vridmomentet omkring en punkt beräknas som produkten mellan kraften och det vinkelräta avståndet mellan rotationscentrum och kraftens aktionslinje (figur 4.11).



Figur 4.11. Schematisk beskrivning av krafter och momentarmar för momentbalansen över armbågen vid lyft av ett föremål. Det genererade muskelmomentet ($F_{\text{muskel}} \times X_{\text{muskel}}$) balanseras av summan av lastens moment ($F_{\text{last}} \times X_{\text{last}}$) och momentet som uppkommer på grund av underarmens egen vikt ($F_{\text{arm}} \times X_{\text{arm}}$).

Som framgår av figur 4.11 måste armens och handens egenvikt bestämmas, eftersom de utgör ett vridande moment. Även positionen av armens och handens tyngdpunkter måste bestämmas. Sådana data erhålls ur tabellverk som representerar genomsnittliga värden för en population.

Biomekaniska modeller används i den belastningsergonomiska forskningen och på arbetsplatser för att förebygga besvär från rörelseorganen. Även relativt enkla tvådimensionella statiska helkroppsmodeller leder ofta till omfattande ekvationssystem som det krävs många räkneoperationer för att lösa. Dagens persondatorer har väsentligt förenklat användningen av biomekaniska modeller. Datoriserade modeller möjliggör simulering av belastningsprofiler i olika arbetsställningar. Indata till modellerna i form av geometriska avstånd eller vinklar fås från mätningar på bilder av kroppsställningar skapade med kamera- eller videoteknik. Beräkningar kan göras i tre dimensioner då tredimensionella vektorer införs vilket gör beräkningarna betydligt mer komplicerade. Förekommer en rörelse med hastighetsändring av kroppssegmenten uppstår accelerationskrafter. Detta innebär att jämviktsekvationerna måste kompletteras med termer som beskriver tröghetskrafterna. I realiteten använder man datorbaserade modeller för sådana beräkningar eftersom de blir för omfattande att beräkna manuellt.

En begränsning är att de beräknade krafterna är approximativa, bland annat beroende på att beräkningarna bygger på populationsdata, ej endast data från den individ som beräkningarna utförs på. Vidare innebär förenklingen att man beräknar en statisk situation som är en underskattning av de krafter som uppstår i verkliga dynamiska arbetsmoment. Är rörelsen långsam och utan ryck kan ibland en dynamisk beräkning approximeras med en serie av statiska beräkningar under förloppet. Biomekaniska beräkningar ger endast ögonblicksvärden på belastningen av de strukturer man räknar på, och ger dålig vägledning om hur tröttande ett arbete är eller hur belastande det upplevs.

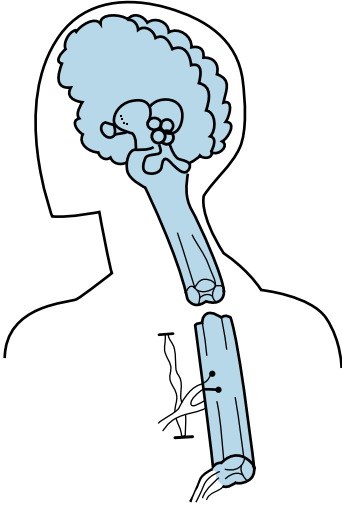
Sambanden mellan belastningar och besvär kan bland annat utredas med biomekaniska och epidemiologiska undersökningar. Man har till exempel påvisat en viss ökad risk för ryggbesvär i arbeten där den biomekaniskt beräknade kompressionskraften på ländryggen uppgår till 2500–4500 N och en väsentligt ökad risk när kompressionskraften överstiger 4500 N.

Beräkningar i sagittalplanet (se 4.3.9) under statiska förhållanden, med symmetriska kroppsställningar utan vridningar eller sidoböjningar, är enklast att genomföra. Inga andra krafter än tyngdkraften påverkar, och kroppspositionen behöver endast anges i ett plan. För att ange positioner i tre dimensioner behövs speciella metoder och beräkningarna blir omfattande. Vid dynamisk analys måste kroppsrorelsen registreras kontinuerligt och alla accelerationer måste mätas. Detta är ofta endast möjligt i laboratorium.

Vid analys av befintliga arbeten måste kroppsställning och alla krafter som verkar på händerna eller annat ställe på kroppen, typ ryggstöd på en stol, mätas. Krafterna kan registreras med olika typer av dynamometrar eller specialutformade kraftgivare. Kroppsställningar kan också observeras direkt och noteras på papper eller via tangentbord till en bärbar dator. Noggrannheten blir då väsentligt sämre än om kroppsställningen mäts från ett fotografi.

4.3.8 Nerver

Nervsystemet uppdelas i en central och en perifer del (figur 4.12). Det centrala nervsystemet, CNS, består av storhjärnan, lillhjärnan, hjärnstammen samt ryggmärgen. Det perifera nervsystemet består huvudsakligen av de nervtrådar (axoner) som utträder ifrån ryggmärgen och för information både till och från CNS.



Figur 4.12. Centrala nervsystemet, CNS (blått) och perifera nervsystemet, PNS (vitt).

Det finns flera olika sätt att indela nervsystemet. Delar av nervsystemet uppdelas i *motoriska* och *sensoriska* nerver. De motoriska nerverna ombesörjer signaltransporten till kroppens muskler (*efferent* signalflöde). De sensoriska nerverna för information till hjärnan ifrån kroppens olika sinnesorgan (*afferent* signalflöde). En del av nervsystemet kan vi aktivt, viljemässigt påverka, till exempel i form av nervimpulser till musklerna. Vi har en annan del av nervsystemet som vi normalt viljemässigt inte kan påverka – det *autonoma nervsystemet*. Detta styr och påverkar basala kroppsfunctioner som kroppstemperatur, blodtryck, hjärtfrekvens, andning, njurfunktion et cetera.

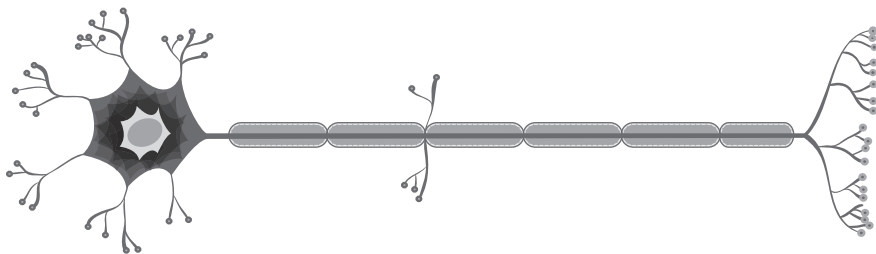
Det autonoma nervsystemet indelas i två huvudsakligen motverkande delar: *sympatiska* och *parasympatiska systemet*. Det sympatiska systemet utnyttjar vi till exempel för att mobilisera olika kroppsresurser vid akut fara eller stress – ”fight or flight system”. Vid ett sympatikuspåslag aktiveras de sympatiska nerverna. Detta ökar omsättningen av olika stresshormoner, ökar hjärtfrekvensen och blodtrycket, frigör blodsocker samt omdirigerar blodflödet från huden till muskulaturen. Parasympatikus verkar däremot i motsatt riktning och dämpar bland annat puls och blodtryck.

Krav och utmaningar i livet påverkar högre hjärncentra genom varseblivning, tänkande och emotioner. Detta påverkar i sin tur *hypothalamus*, belägen i den mellersta delen av hjärnan. Hypothalamus sänder nervsignaler till *binjurarna* (belägna strax intill och ovanför njurarna) via det sympatiska nervsystemet. Via *hypofysen* (belägen på hjärnans undersida) frisätts steroidhormoner som också påverkar binjurarna. Från binjurarnas märg (kärna) frisätts till blodet stresshormonerna *adrenalin* och *norad-*

renalin. Från binjurarnas bark (omgivande skal) frisätts stresshormonet *kortisol*. Genom att mäta halten av dessa stresshormoner i blodet fås ett *psykobiologiskt mått* på graden av stress. Stresshormonerna kan också mätas i urin eller saliv (kortisol) varvid ett mer integrerat stressmått baserat på en längre tid erhålls. Mätning av hormonhalter i avsikt att mäta graden av stress innehåller dock många metodologiska problem. De främsta är att hormonhalterna är mycket olika mellan individer och dessutom ofta varierar kraftigt över dygnet.

Utsöndringen av kortisol är främst relaterat till olust och osäkerhet i nya och obekanta situationer. Kortisol bidrar till att upprätthålla kroppens försvar mot påfrestningar och motverkar inflammationer. Adrenalin- och noradrenalinutsöndringen sammanhänger med stressreaktionens emotionella intensitet. Denna utsöndring är mer dynamisk medan kortisolutsöndringen förändras långsammare. Obehag, ångslan, ilska eller upprymdhet ger till exempel högre halter av adrenalin och noradrenalin. Även andra hormoner (tillväxthormon, könshormon och sköldkörtelhormon) påverkas av olika former av stress.

Som ett exempel på den viljemässiga styrningen av kroppen kan man ta de motoriska nervceller vilka styr musklerna i fötterna (figur 4.13). Nervcellens kärna är belägen i ryggmärgen, i nivå med övre delen av ländryggen. Nervcellens utåtförande utskott (efferent axon) går tillsammans med andra axoner i ischiasnerven (tjock som ett lillfinger) ut ur ryggmärgskanalen i nedre ländryggen, löper vidare ner på lårets baksida och ut till en muskel som styr till exempel en tårörelse. Denna nervcell med omgivande cellmembran har alltså ett utskott som kan vara upp till en meter långt.

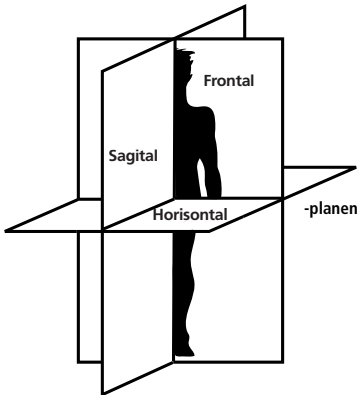


Figur 4.13. Principskiss över en perifer nervcells (neurons) byggnad. Till vänster: cellkärnan med inåtgående nervtrådar (dendriter). I mitten: nervcellens fränförande tråd (axon). Till höger: nervträdens uppdelning med synapser i kontakt med skelettmuskulaturen (Jonsson, 1984).

4.3.9 Några viktiga anatomiska regioner och begrepp

Terminologi

När man skall orientera sig i människans anatomi är det nödvändigt att känna till några basala anatomiska begrepp. De tre huvudplanen benämnes *frontal-*, *horisontal-* och *sagitalplanen*. Planen definieras utifrån den stående människan och de två

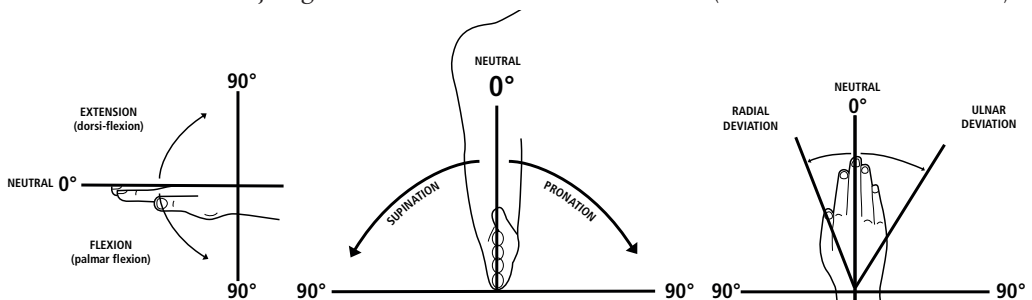


Figur 4.14. Namnen på de tre anatomiska planen.

förstas definitioner framgår tämligen självklart ur benämningarna. Sagittalplanet är då följaktligen det vertikala plan som skär genom kroppen framifrån/bakifrån, vinkelrätt mot de båda föregående. Se figur 4.14.

Medialt/lateral betecknar lägen närmare respektive längre ifrån en central lodlinje i frontalplanet. *Cranialt/caudalt* är motsvarande beteckningar för lägen i bålen närmare huvudet respektive svanskotorna. *Ventralt/dorsalt* beskriver lägen i bålen närmare buken respektive ryggen. *Proximalt/distalt* är allmänna begrepp för att beskriva lägen nära respektive långt ifrån basen för till exempel en extremitet.

En *flexion* är en ledböjning in mot kroppen medan en *extension* innebär en sträckning av leden ut från kroppen. I vissa leder blir denna definition svårtolkad. Sålunda talar man om en överarmsflexion när man för fram överarmen i sagittalplanet medan motsvarande extension motsvarar en bakåtföring i samma plan. Här talar man också om *adduktion* respektive *abduktion* när överarmen förs in mot respektive ut från kroppen i frontalplanet. För handleden innebär en flexion att handleden böjs åt handflatan medan en böjning åt andra hållet benämns extension (ibland även dorsalflexion).

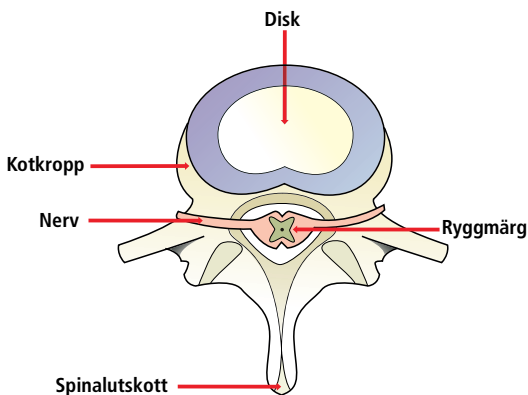


Figur 4.15. Rörelsebenämningar för hand/underarm (Rowe et al., 1965).

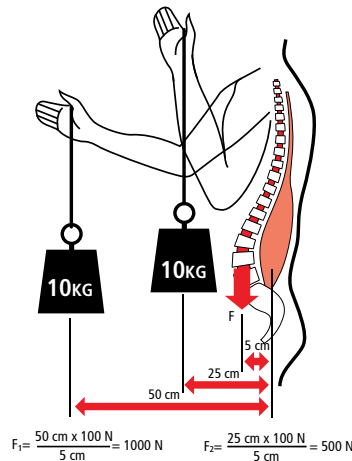
En rörelse av handleden i det vinkelräta planet benämns generellt för en *deviation*. Dessa riktningar har fått sina beteckningar efter namnen på de två underarmsbenen. Sålunda kallas en deviation åt lillfingersidan för *ulnardeviation* och åt tumsidan för *radialdeviation*. Handen och handleden kan också roteras och det benämns *pronation* (inåttrotation) och *supination* (utåttrotation). Se figur 4.15.

Ryggraden

Ryggraden bär upp bålens, armarnas och huvudets vikter samt de yttre laster som läggs på externt på dessa kroppsdelar. Ryggraden är uppbyggd av tre ihopväxta svanskotor, korsbenet, fem ländryggskotor (*lumbalregionen*), tolv brösttryggskotor (*thoracalregionen*) samt sju halskotor (*cervicalregionen*). Mellan kotorna ligger diskar som stötupptagande element. Kotorna ledar även mot varandra i *facettederna*. Kotorna hålls samman av ligament. Genom hela kotpelaren löper ryggmärgen med nervförgreningar mellan varje kotpar (figur 4.7 och 4.15). Kotpelaren stagas upp av flera muskelgrupper varav den viktigaste, *musculus erector spinae*, löper på ryggsidan på var sin sida om spinalutsikten. Denna motverkar att bålen faller framåt och balanserar också de moment som uppkommer av lyfta föremål. Eftersom avståndet mellan kotornas och muskelns mittpunkter bara är cirka 5 cm medan avståndet till ett lyft föremål ofta är många gånger större, ger även måttliga bördor upphov till höga krafter i ryggmuskulaturen och därmed också på ryggdiskarna som måste ta upp dessa krafter (figur 4.17). Dessa belastningar är oftast störst längst ner i lumbalregionen varför risken för diskbräck är störst här. Vid ett diskbräck flyter en del av diskens inre mjuka del ut och kan trycka på nervgrenar eller själva ryggmärgen med smärta, känselbortfall och/eller partiella förlamningar som följd.



Figur 4.16. Tvärsnitt genom ryggraden (Vogel och Hägg, 2004).



Figur 4.17. Belastningen på lägsta lumbaldisken vid två olika lyftavstånd (Åstrand, 1990).

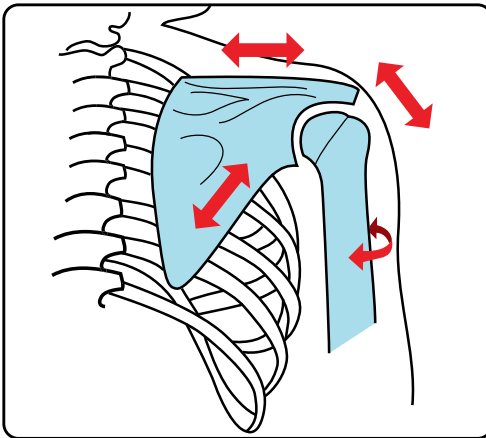
Skuldran

Axelleden präglas av sin stora rörlighet där överarmen kan positioneras inom ett tvådimensionellt vinkelrum som är större än en halvsfär. Till detta kommer att överarmen (och därmed också underarmen) skall kunna roteras i mer än 180 grader. Axelleden är därför en kulle men på grund av de stora kraven på rörlighet är den fördjupning

i skulderbladet i vilken överarmens ledkula vilar mycket grund. Detta medför i sin tur att denna benstruktur ger förhållandevis små bidrag till ledstabiliteten som istället måste kompenseras med ligament och aktiv muskelstabilisering. (Jämför höftleden som har en förhållandevis djup ledgrop.)

Ett stort antal muskler verkar över axelleden. Bland dessa märks den så kallade rotatorkuffen som består av fyra djupt liggande muskler runt ledkulan. Dessa har alla, var för sig, en specifik funktion när det gäller armens rörlighet men sammantaget har dessa muskler också en viktig funktion för att stabilisera leden vid alla typer av arm/handaktiviteter.

Man kan lätt missledas att tro att axelledens ledgrop sitter väl fixerad mot bålen, men så är inte fallet. Ledgropen är en del av skulderbladet som utgör själva fundamentet för hand/armsystemet och är en komplex benstruktur som också är rörlig, främst uppåt-nedåt men även framåt-bakåt. Se figur 4.18. Det har en fast ledkoppling till övriga bålen på bålens framsida via nyckelbenet som ledar mot skulderbladet och bröstbenet. På ryggen hålls skulderbladet på plats av bland annat den stora *kappmuskeln* (*musculus trapezius*). Olika delar av kappmuskeln har olika och till och med delvis motsatta funktioner. Den övre delen som löper upp mot halsen stabiliserar och höjer skulderbladet, mittdelen stabiliserar det i sidled medan den nedre delen drar det nedåt. Den övre delen av trapeziusmuskeln är en mycket vanlig lokalisering för arbetsrelaterad muskelsmärta. Skulderbladet stabiliseras också av flera andra muskler.



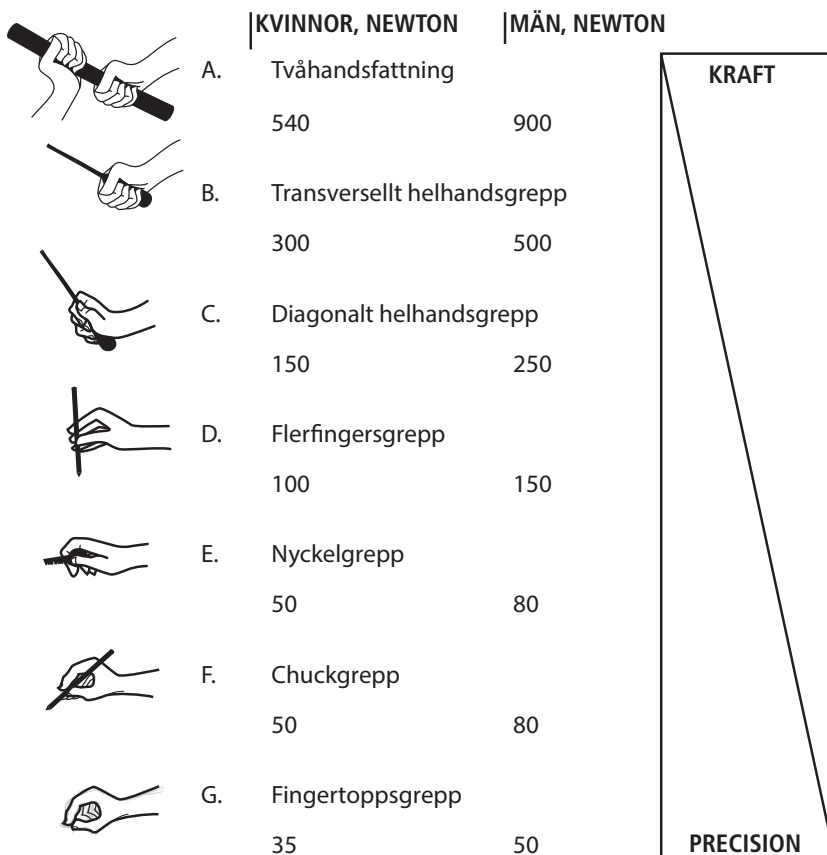
Figur 4.18. Rörlighet i överarm och skulderblad (Vogel och Hägg, 2004).

Hand-arm

Handen utgör ett mycket komplext och flexibelt gripverktyg med ett stort antal funktionella modaliteter, allt ifrån att utveckla stora gripkrafter och/eller överföra stora krafter till omgivningen till att utföra uppgifter med extremt stora krav på precision i tid, rum och kraft. Till detta kommer att handen är en av våra viktigaste förmedlare av känslor genom smekningar et cetera, och dessutom spelar en viktig roll i kroppsspråket för att tydliggöra vad vi vill förmedla i en muntlig framställning.

Handens komplexa funktionalitet är naturligtvis beroende av en långt utvecklad anatomi och neuromuskulär kapacitet men inte minst också beroende av en hög sensorisk kapacitet. Den rika information som handens känselorgan förmedlar till centrala nervsystemet är i själva verket en förutsättning för den komplexa funktionen som uppnås i samspelet mellan motorik och sensorik. Utan möjlighet att identifiera form, ytstruktur, och läge på ett föremål som vi griper med handen är den motoriska förmågan av mycket begränsat värde.

Handens fingrar rörs med hjälp av två huvudgrupper av muskler, de externa och de interna. Den interna muskulaturen är lokaliserad till olika delar av handen och svarar för den finmotoriska positioneringen av fingrar och tumme. De externa musklerna är belägna i underarmen och svarar för den större kraftutvecklingen både vid sträckning och böjning. Kraften överförs via långa senor över handleden. Böjarsenorna löper genom den trånga karpaltunneln (se även 4.8.3).



Figur 4.19. Klassificering av grepp typer enligt Wikström et al., (1991). Ungefärliga maximala krafter för män och kvinnor samt det relativa förhållandet mellan kraft och precision i greppet visas också.

Flera klassificeringar av handens komplexa funktionalitet i olika grepp typer finns publicerade. I figur 4.19 visas den klassifikation som togs fram inom det omfattande svenska handverktygsprojektet i slutet av 1980- och början av 1990-talet. Här visas också ungefärliga gripkrafter för män och kvinnor samt det relativa förhållandet mellan kraft och precision i greppet.

Underarmens anatomi ska tillgodose flera olika krav på kraftutveckling och rörlighet. Den strukturella stabiliteten skapas av två ben, *radius* och *ulna*. Vid en vridning av underarmen (*prosupination*) roterar radius mot ulna i en rotationsled vid armbågen. Ett stort antal muskler skall generera grip- och sträckkrafter till fingrarna, böja och stabilisera handleden i två plan (flexion/extension och deviation) samt rotera underarmen. Undantaget senfästena vid armbågen och själva handleden så är denna komplexa struktur vanligtvis tämligen fri från besvär och skador.

4.4 Energiomsättning och verkningsgrad

4.4.1 Energigivande substanser

Den föda vi äter och dricker tillför kroppen ämnen för såväl energitillförsel som uppbyggnad och reparation av kroppens celler. Av en typisk västerlänningss diet bidrar kolhydraterna i medeltal till 53 procent av energin (varav 9 procent från alkohol), fett 35 procent, protein 12 procent. Kolhydrater är alltså det viktigaste ämnet för energileverans i normal föda. För fattiga människor i till exempel tropikerna består födan upp till 90 procent av kolhydrater medan för mer välbeställda västerlänningar utgör kolhydraterna ofta ner till 40 procent av energin i födan. Ingen av dessa extremer är dock önskvärda ur fysiologisk synpunkt.

4.4.2 Energileverans, energiomvandling och verkningsgrad

Generellt kan man säga att kroppen utnyttjar en mängd olika kemiska lagringsformer för energi. De största energidepåerna utgörs av fett, kolhydrater (glukos och glykogen) och protein. Dessa skiljer sig ifrån varandra genom olika energilagringstäthet, olika tillgänglighet (mängd och omsättningstid), samt med avseende på andra kroppsfunktioner, till exempel som byggstenar i vävnaderna (protein och fett). Energin används förutom till mekaniskt muskelarbete också till att upprätthålla olika grundläggande cellfunktioner, exempelvis transport av ämnen inom och mellan kroppens celler. Energiomsättningen i cellen sker via ett antal mellansubstanser i flera alternativa komplexa processer som inte närmare ska beröras här. Slutstadiet adenosintrifosfat (ATP) är dock det gemensamma målet och är den substans ur vilken den slutliga energifrisättningen sker.

Lagrad energi i form av *glykogen* finns i lever och muskulatur. Fett lagras huvudsakligen under huden och fördelas något olika till olika anatomiska regioner beroende på kön. Hos män lagras det i större utsträckning i buken medan det mera styrs till lår och satesregionen hos kvinnor. Kvinnor har också i medeltal större fettlager än män.

Det centrala nervsystemet (CNS) står för ungefär 1/5 av kroppens energiomsätt-

ning. CNS har dock inga egna energireserver utan är helt beroende av en kontinuerlig energitillförsel via blodet. Vid plötsliga förändringar av blodsockerhalten (till exempel vid diabetes) kan CNS-funktionen snabbt försämrats med medvetlöshet (koma) och död som yttersta konsekvenser.

Energiomsättningen i olika organ är mycket varierande beroende på aktivitet. Den största dynamiken uppvisar musklerna. Dessa har normalt ett glykogenlager som är tillfredsställande för all dagliga aktiviteter. Vid hårt fysiskt arbete kan muskeldepåerna uttömmas, men energitillförseln kan hållas igång via blodcirkulationen från lagrat glykogen i levern och från lagrat fett. Frigörning och förbränning av fett är dock en långsammare process som dock kan tränas upp (till exempel hos långdistansidrottare). Vid extrema påfrestningar kan försörjningen av energi äventyras med allvarliga följder för centrala funktioner. En åtgärd för att förebygga detta är att bygga upp kolhydratförråden maximalt genom att före en långvarig hög belastning (till exempel Vasaloppet) kolhydratladda med kolhydratrik kost. När alla kolhydratlager är fyllda omvandlas överskottet till fett. Vid långvarig svält bryts även proteinstrukturer ner för att säkra energitillförseln. Vid proteinomvandlingen bildas ammoniak som en fastande person kan känna smak av i munnen.

Den basala energiomsättningen sker som en oxidation tillsammans med syre (*aerob* omsättning). Slutprodukterna är koldioxid och vatten. Vid hög energiomsättning kan syrebrist uppstå på grund av otillfredsställande cirkulation och energiomsättningen kan då ske utan närvaro av syre (*anaerob* omsättning). Detta gäller dock bara för kolhydrater och proteiner. Fett kan inte förbrännas anaerobt. Vid anaerob förbränning bildas också mjölksyra som försurar cellmiljön och kan ge smärta. Mjölksyra kan vid senare närvaro av syre frigöra ytterligare energi.

Av den kemiskt bundna energin övergår stora delar till termisk energi och bidrar till att hålla kroppstemperaturen runt 37 grader. Vid muskelarbete frisätts minst 75 procent av energin i form av värme och återstoden, mindre än 25 procent i form av mekaniskt arbete. Detta kan jämföras med en bilmotor där verkningsgraden är av samma storleksordning. Människans verkningsgrad blir beräknad på detta vis mindre än 25 procent. Räknar man verkningsgraden som maximalt mekaniskt arbete i förhållande till energin tillförd genom födan blir verkningsgraden betydligt lägre. Varken energiupptaget i mag-tarmkanalen eller omsättningen i vävnaderna är fullständig.

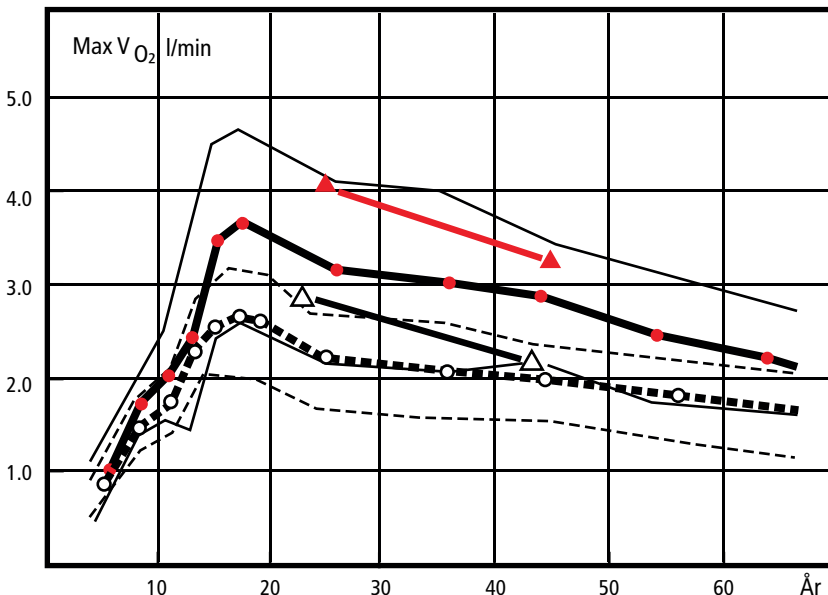
Tyngre fysiskt arbete kräver självklart större energimängder i förhållande till fysiskt lättare arbete. Om kosten är eftersatt kan effektiviteten, uppmärksamhetsförmågan och därmed säkerheten i arbetet bli lidande. Som ett praktiskt exempel kan nämnas att en del svenska verkstadsföretag uppmärksammat att dess yngre personal ofta inte äter någon frukost innan de kommer till arbetet tidigt på morgonen. I avsikt att förbättra personalens förmåga till effektivt arbete bjuder man därför på frukosten, serverad på arbetet. Inom transportsektorn (förararbete) har kostens betydelse också uppmärksamats. Vid studier av till exempel lokal varudistribution med lastbil fann man att de flesta trafikolyckorna inträffade mellan 13.30 och 15.00. Genom att med olika medel tillse att förarna åt en ordentlig lunch kunde antalet olyckor kraftigt reduceras.

4.5 Biologisk variation

4.5.1 Ålder

Rent fysiskt står människan på sin topp vid 20–25 års ålder. Därefter försämras de flesta kroppsfunktioner successivt. Muskelstyrka, syreupptagningsförmåga och skelettets hållfasthet är exempel på funktioner som försämras med ökad ålder. Sinnesfunktioner som till exempel syn och hörsel försämras också. Detta innebär normalt att riskerna för att förvärva olika typer av arbetsrelaterade sjukdomar ökar ju äldre man blir. I vissa tunga arbeten är det i Sverige mycket ovanligt att gå i pension vid den ålder som gäller för branschen. Många tvingas sluta i förtid på grund av skador och sjukdomar eller för att de helt enkelt inte längre orkar hålla ett tillräckligt högt arbetstempo. När man till exempel inte längre klarar tempot och därmed drar ner ett eventuellt gruppäckord så ser kanske också många yngre arbetskamrater att man helst slutar.

Ett flertal fysiska prestationsmått sjunker från maximal kapacitet i 25-årsåldern. Syreupptagningsförmågan sjunker med åldern huvudsakligen på grund av stelare vävnader i hjärta och kärl samt en sjunkande maximal hjärtfrekvens (figur 4.20). Maximala kraften har i sextioårsåldern reducerats med cirka 25 procent (figur 4.21). Gränsen för maximal axiell belastning (utan risk för skador) på ryggradens kotor halveras (ifrån cirka 6 kN till 3 kN) för personer över 60 år i jämförelse med personer under 40 år.



Figur 4.20. Maximal syreupptagningsförmåga som funktion av ålder. Medelvärden (feta linjer) och \pm två standardavvikelser (tunna linjer) för 350 normala personer. Heldragna linjer och (•) män, Streckade linjer och (◊) kvinnor. (Δ) och (▲) visar medelvärden för samma grupper kvinnor och män med 20 års intervall (Åstrand, 1990).

Den mest märkbara antropometriska effekten när vi åldras är att mellankotsskivorna i ryggraden trycks ihop. Detta innebär att kroppslängden minskar med åren, det vill säga att vi krymper. Krympningen ökar märkbart i 40-årsåldern och är större hos kvinnor än hos män. Krympningen gör även att äldre människor får en mer hop-sjunken kroppsställning. Kroppsvikten ökar i medeltal upp till cirka 50–60 års ålder men minskar sedan. Det senare beror främst på att muskelmassan minskar. Även den mekaniska hållfastheten försämras i ben, muskler, muskelfästen, senor och ligament. Ledrörligheten begränsas också med ökande ålder.

Den åldersrelaterade minskningen i fysisk kapacitet innebär i många yrken idag inget hinder för att utöva yrket. Dock finns det fortfarande fysisk tunga arbeten där så är fallet, till exempel byggnadsarbete och tyngre städarbete. Ett starkt verksamhetsskäl till att behålla äldre arbetskraft så länge det går är att de ofta har för verksamheten viktiga kunskaper och erfarenheter. Olika typer av organisatoriska lösningar såsom arbetsrotation kan vara en utväg. Det finns även i många fall hjälpmedel att tillgripa. Åldersförändringarna kan också fördröjas med lämplig träning.

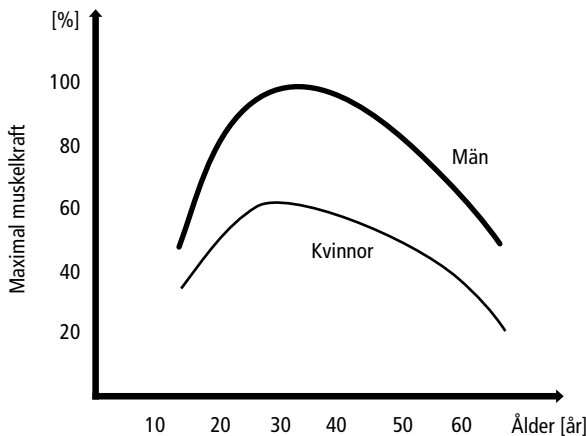
Den mentala kapaciteten påverkas också av stigande ålder både till det bättre och sämre. Rent allmänt går kognitiva processer långsammare, reaktionstiden ökar och korttidsminnet blir sämre. Dock förbättras ofta olika typer av intelligens, samarbetsförmåga och informellt lärande, sannolikt relaterat till en gradvis ökande livserfarenhet. Dessa senare positiva effekter är lätta att förbise när man diskuterar äldre i arbetslivet.

4.5.2 Kön

Man skiljer mellan begreppen kön och genus, på engelska sex och gender. Kön betecknar de rent ärftliga biologiska faktorerna och genus står mer för de förvärvade egenskaperna som skapas utifrån vårt kulturella sammanhang. Skillnader i fysisk kapacitet föreligger i medeltal mellan män och kvinnor enligt nedan. Det ska dock betonas att detta är medelvärden och fördelningarna överlappar varandra så att till exempel vissa kvinnor har större muskelkraft än vissa män.

- Kvinnor har cirka 70–80 procent av männens maximala syreupptagningsförmåga (figur 4.20)
- Kvinnor har cirka 50–80 procent av männens maximala muskelstyrka, där störst skillnad återfinns i de övre extremiteterna, till exempel handgreppsstyrka (figur 4.21)
- Kvinnor har längre muskulär uthållighet (tid) vid samma relativa muskelbelastning (procent MVC). Motsatsen gäller däremot om belastningen är densamma i absoluta tal.
- Kvinnor har mindre kropps mått än männen. Medelvärdena för olika kropps mått skiljer sig dock inte procentuellt lika mycket då kvinnor har en annan kroppsform än män. Sålunda är till exempel den procentuella skillnaden i handbredd större än för handlängd.

Det finns vissa yrken som ställer vissa absoluta krav på fysisk kapacitet, till exempel i olika funktioner inom räddningstjänsten. Det finns dock ingen anledning att generellt utesluta kvinnor från dessa yrken. Dock är det naturligt att en större andel män ofta uppfyller ställda krav. När det gäller utformning av olika verktyg har dessa av tradition ofta utformats utifrån mäns mått och kapacitet vilket gjort det svårare för kvinnor att använda dem. En del seriösa verktygstillverkare har dock på senare år tagit hänsyn till detta och utvecklat verktyg i olika storlekar.



Figur 4.21. Muskelkraftens beroende av ålder och kön (Grandjean, 1980).

4.6 Begrepp och definitioner inom belastningsergonomi

4.6.1 Helkropps- och lokal belastning

Vad gäller begreppen *halkropps-* och *lokal belastning* avses främst en uppdelning i omfattning och lokalisation av fysisk belastning på kroppen. Helkroppsbelastning kan även benämnas *global* belastning. Yrkesarbeten som ger en hög *halkroppsbelastning* anses vara de arbeten som kraftigt engagerar stora delar av kroppens muskulatur såsom vid vissa uppgifter inom räddningstjänsten eller lastnings- och lossningsarbete. Dessa ställer därför ofta krav på cirkulatorisk kapacitet. Med *lokal belastning* avses främst att belastningen omfattar avgränsade delar av kroppen och då oftast övre extremiteterna. Belastningen på enskilda strukturer kan vara hög men den totala belastningen är låg eller måttlig med inga eller ringa krav på cirkulationsapparaten. De allra flesta manuella yrkesarbeten faller idag inom den senare kategorin.

Fysiska belastningar kan i vissa fall medföra skador på kroppens vävnader och organ. En hög total belastning vid hårt fysiskt arbete kan ge skador på såväl cirkulationsorganen som lokalt i enskilda leder och muskler. Lokala belastningar orsakar normalt skador enbart inom sitt lokala verkningsområde, till exempel tennisarmbåge,

musarm et cetera. Även avsaknaden av tillräckligt stora och regelbundet återkommande belastningar – *underbelastning* kan som tidigare nämnts nedsätta kroppens fysiska prestationsförmåga och mekaniska hållfasthet.

4.6.2 Statisk och dynamisk belastning

Begreppet *statisk belastning* avser en *långvarig kontinuerlig belastning* utan variation i vare sig muskellängd eller kraft. Belastningen är både *isometrisk* och *isoton*. Effekterna av något högre statiska belastningar är nedsatt blodcirkulation och oftast uttalad trötthet och smärta, främst från muskulaturen. Mycket låga statiska belastningar ger dock ofta inga akuta besvär. På lång sikt uppstår emellertid som ett resultat av all form av statisk belastning ofta olika former av besvär och sjukdomar i leder och muskulatur. När en belastning inte längre är isoton och/eller isometrisk säges den vara dynamisk. Ett i mekanisk mening dynamiskt arbete, till exempel i form av att arbeta med armarna framåt- och utåtförda och med olika rörelser manövrera spakarna i en grävmaskin, innebär dock för musklerna i skuldran en i stort sett konstant och oförändrad kraftutveckling. Ett skenbart dynamiskt arbete är därför ofta, i arbetsfysiologisk mening, statiskt.

4.6.3 Trötthet och återhämtning

Trötthet kan under arbete ofta förekomma tillsammans med smärta ifrån olika kroppsdelar eller organ. Trötthet och smärta utgör ofta en varning om att kroppens resurser börjar bli uttömda eller att risk för kroppsskada föreligger. Det vi i dagligt tal kallar trötthet är ett komplext fenomen som kan härledas till ett flertal olika fysiologiska processer och den trötthet vi upplever utgör ofta en kombination av dessa. De trötthetstyper som diskuteras här är trötthet direkt utlöst av långvarig fysisk belastning och som hänför sig till den neuromuskulära och cirkulatoriska apparaten. Vidare behandlas mental trötthet som uppkommer på grund av mental belastning och ska skiljas från sömnhet.

Med återhämtning menas att de olika fysiologiska systemen avlastas och uppkomna obalanser återställes i balans (homeostas). Återhämtningen minskar tröttheten och ökar arbetskapaciteten. Tiden till full återhämtning varierar, beroende på uttröttningsgrad och vilket system det gäller, från några minuter upp till dygn.

Cirkulatorisk trötthet uppkommer vid tungt kroppsarbete, speciellt när belastningen överskrider cirka 35 procent $\dot{V}O_{2max}$ (*anaerob tröskel*). Härvid ansamlas bland annat mjölksyra i hela cirkulationssystemet.

Vid *lokal trötthet* sker en mjölksyraansamling i en specifik muskel eller muskelgrupp, oftast på grund av strypt cirkulation förorsakad av statisk kontraktion, och är förknippad med smärta och muskelsvaghet. Ett exempel på lokal fysisk muskeltrötthet kan man lätt själv få genom att hålla armen rakt ut åt sidan så länge man kan. Efter bara några minuter kommer man att bli trött i skuldrans muskler. Om man fortsätter hålla armen utåtförd ytterligare en stund känner man snart smärta ifrån skuldran. Förr eller senare tvingas man ta ner armen på grund av en intensiv lokal trötthet och smärta. I dagens arbetsliv förekommer ofta långvariga statiska kontraktioner på

mycket låg nivå. Dessa ger oftast inga akuta trötthetssymptom men utgör sannolikt en risk för skada på längre sikt (se nedan i avsnitt 4.7.2).

En extrem form av muskulär trötthet uppkommer när muskelns lager av glykogen är uttömda. Den grundläggande muskelfysiologiska definitionen av trötthet innebär en oförmåga att generera full kraft. Även den nervösa delen av det neuromotoriska systemet kan drabbas av trötthetssymptom, bland annat i form av darrningar (*tremor*).

Lokal muskulär trötthet orsakas bland annat av förändringar i skelettmuskulaturen genom uttömmande av energireserver och upplagring av mjölksyra, vilket minskar arbetskapaciteten. Under återhämtningen återställs energireserverna och mjölksyran transporteras bort och omvandlas.

Mental trötthet orsakas av uttröttningsfenomen i centrala nervsystemet. Typiska symptom är långsammare informationsöverföring, försämrad tanke- och beslutsförmåga och försämrad sensorisk funktion. Exempel på situationer som orsakar mental trötthet är:

- Långvarigt arbete med stor mental koncentration och extrem uppmärksamhet.
- Monoton arbete.
- Buller, dålig belysning och icke komfortabla temperaturförhållanden.
- Konflikter, oro eller brist på intresse.
- Sjukdom, smärta eller febern.

Mental trötthet kan (till skillnad från muskulär) försvinna i stort sett omedelbart genom att den tröttande verksamheten tas bort, omgivningsförhållandena förändras, personen försätts i alarmberedskap genom hot om fara och rädsla, förnyat intresse genom ny information eller förändring av känsloläge.

4.6.4 Belastningens variation

Under lång tid har man inom belastningsergonomin främst inriktat sig på att minska belastningens *amplitud* (storlek). Efterhand har olika typer av hjälpmedel införts för att minska den nödvändiga kraftinsatsen. Tyngden på bördor i form av verktyg och material har också successivt reducerats. Dagens arbetsliv karaktäriseras i allt högre grad av långvariga låga belastningar och det har blivit alltmer uppenbart att också *varaktigheten* (tiden) och frekvensen, och därmed variationen av belastningen, är av stor betydelse för hur snabbt trötthet och smärta i rörelse- och stödjeorganen uppträder. I många fall är belastningen så låg att den som drabbas av besvär inte förstår kopplingen till den skadliga exponeringen. Ensidigt upprepat arbete har blivit ett ofta använt begrepp i Arbetsmiljöverkets belastningsergonomiföreskrift (AFS 1998:1) och är något som måste undvikas. Trötthet och smärta övergår i längden ofta till kroniska besvär och sjukdomar. Arbeten måste utformas så att de ger *belastningsvariation* med omväxlande lätta och tunga belastningar med tillräckligt många och långa mellanliggande pauser. Pauserna bör innehålla moment av total avslappning av muskulaturen. Tiden för återhämtning avgörs av pausernas karaktär. Ett flertal försök har gjorts att etablera generella gränsvärden och rekommendationer för arbete/pausförhållan-

den. Problematiken är dock oerhört komplex och kanske är det så att varje specifik situation måste bedömas utifrån sina unika förhållanden. I AFS 1998:1 ges dock en bedömningsmodell för när ensidigt upprepat arbete kan anses föreligga.

4.7 Påverkan av olika belastningar på människan – normaltillstånd, hälsorisker och komfort

De belastningar som i detta avsnitt främst avses är de fysiska belastningarna på kroppen. Belastningarna kan vara av olika karaktär vad avser amplitud, frekvens och varaktighet. Fördelningen av olika belastningar över längre såväl som kortare tidsperioder är också av intresse för bedömning av belastningarnas påverkan på prestation och hälsa.

Generellt sett bör noteras att människan behöver såväl belastning som vila för att vidmakthålla kroppens olika funktioner. Människan är anpassad för omväxlande tyngre och lättare fysisk aktivitet. Vi behöver också varierande mental belastning och sociala kontakter för att behålla normal funktion och hälsa. Ges kroppen tid och möjlighet att anpassa sig till nya fysiska belastningsförhållanden kan den (inom vissa gränser) snabbt anpassa sig. Genom fysisk träning i arbete eller på fritid kan kroppens arbetskapacitet relativt snabbt ökas. Grunddimensioneringen av andnings- och cirkulationsorgan beror dock främst på ärftliga faktorer men utvecklas och befästs huvudsakligen under ungdomsåren, varför yttersta gränsen för den maximala förmågan hos vuxna är olika, även om utgångsläget under ungdomen i form av fysisk förmåga och ålder mellan olika individer är i stort detsamma.

Det måste finnas en balans mellan belastningarnas olika karakteristika, återhämtning och individens fysiska och mentala förutsättningar. I unga år har människan normalt en stor anpassningsförmåga och reservkapacitet. Vid ökad ålder minskar individens möjligheter till anpassning. Behovet av anpassning av miljön till människan, istället för tvärtom, accentueras. Det är dock viktigt att belastningarna och kraven på människan ej helt försvinner. Utan yttre krav och stimulus förtvinar i stort sett varje mänskligt organsystem och funktion.

4.7.1 Andning och cirkulation

De arbetsrelaterade sjukdomar och besvär som normalt uppträder i andningsorganen är ofta orsakade av kemisk påverkan i arbetsmiljön. Personer som arbetar i miljöer med olika kemiska hälsorisker ökar ofta sin exponering för kemiska ämnen genom en ökad fysisk arbetsbelastning och därmed ökat intag av kontaminerad luft.

Några tänkbara orsaker till arbetsrelaterade sjukdomar i *cirkulationsorganen* (hjärta- och kärl) är till exempel:

- Mycket tungt fysiskt arbete.
- Mentalt krävande arbeten med liten grad av egen-kontroll.
- Aktiv eller passiv rökning.
- Rikligt intag av alkohol och felaktig kost.

Ofta samvarierar olika livsstilsförhållanden (rökning, alkohol, motion, matvanor et cetera) med olika sorters yrken. Hälsan har ofta en stark koppling till såväl sociala förhållanden som till typ av yrken. De sjukdomar som kan förekomma i cirkulationsorganen och som kan tänkas ha en relation till förhållanden i arbetet är till exempel åderförkalkning, hjärtinfarkt, kärlkramp, vita fingrar.

Lätt fysiskt arbete

Personer med lätt fysiskt yrkesarbete bör försöka ägna en del av sin fritid åt att röra på sig genom regelbundna promenader, jogging et cetera. Många försöker också hålla igång på fritiden med olika sporter och andra fritidsaktiviteter, allt efter förmåga och intresse. Problemet är dock bara att dylika fritidsaktiviteter ur fysiologisk synpunkt oftast förekommer alltför sällan och säsongsbetonat. Vi behöver en i stort sett daglig motion för att behålla konditionen och den fysiska förmågan. Stillasittande utan benrörelser ger också ofta upphov till ben- och fotsvullnad.

Det har länge varit omtvistat om regelbunden fysisk motion och idrottsaktiviteter verkligen ger en hälsobefrämjande effekt. Huruvida en eventuellt förbättrad hälsa beror av den fysiska aktiviteten i sig eller andra samtidiga förändringar i livstilen kan vi här låta vara osagt. Att till exempel rökning och snusning i de flesta fall ger negativa hälsoeffekter är däremot vetenskapligt oomtvistat. Allmänna förändringar av livsstilen, inkluderande ökad varierad fysisk aktivitet bidrar därför ofta positivt till hälsan.

Tungt fysiskt arbete

Sedan flera årtionden har man i Sverige rekommenderat att kroppsarbete inte ska ha en tyngd större än att man vid kontinuerligt arbete under en arbetsdag överskrider 35 procent av sin maximala fysiska arbetsförmåga (syreupptag). I tunga fysiska arbeten är detta ungefär den belastningsnivå vilken man vid fritt val själv väljer att lägga sig på. För att orka med att arbeta en hel arbetsdag kan man endast tillfälligt ligga på högre belastningsnivåer.

Man har i finska och svenska studier undersökt personer med lång anställning i tunga arbeten som rimligen borde få en god träning i arbetet och därmed en fysisk kapacitet som ligger över genomsnittet i befolkningen. Det visar sig dock vara tvärtom så att sådana personer i medeltal har sämre kapacitet än genomsnittet. Förklaringen är sannolikt att träningen pågår under en för stor del av dagen utan tillräcklig tid för återhämtning och uppbyggnad varför resultatet blir en nedbrytning istället för uppbyggnad. En idrottare skulle aldrig fysträna åtta timmar om dagen. Slutsatsen är alltså att tunga arbetsmoment måste varvas med lättare.

4.7.2 Skelett, leder, senor, nerver och muskler

Det vi kallar *belastningsskador* uppkommer till övervägande delen i muskler och senor. I engelskspråkig litteratur används ofta begreppen Work Related Musculoskeletal Disorders (WRMD) (arbetsrelaterade muskuloskeletala besvär) eller Cumulative Trauma Disorders (CTD) (skador orsakade av upprepade belastningar).

Plötsliga överbelastningar på rörelse- och stödjeorganen innebär ofta frakturer i skelettet, söndertrasat ledbrosk, avslitna ledband (ligament) och muskelsenor, bristningar i muskelfibrerna och så vidare. Dessa plötsliga och ofta transienta belastningar orsakar en momentan överbelastning med mekaniska vävnadsskador som följd.

En plötslig oväntad belastning på ryggen i en oväntad riktning kan ge upphov till vad vi i dagligt tal kallar ryggskott. Uppkomstmekanismerna är här oklara men sannolikt handlar det om mycket små förskjutningar av kotor i ryggen på grund av otillräcklig beredskap i stabiliserande muskler i ryggen. Förskjutningarna förorsakar smärta som i sin tur ger muskelaktivitet utlöst genom smärtreflexer. En stor del av ryggproblematiken har i övrigt tillskrivits belastningen på ryggdiskarna. Den enda objektivt påvisbara skadan på disken är diskbräck som dock bara kan ses i cirka fem procent av alla ryggpatienter. Epidemiologisk forskning visar emellertid att återkommande tunga lyft är en riskfaktor för ryggbesvär och att dessa risker mångdubblas vid sneda eller vridna arbetsställningar.

Ofta förekommande, *repetitiva belastningar* inom hållfasthetsgränserna för enstaka belastningar ger dock på grund av sin repetitivitet skador liknande dem som uppstår vid plötsliga och kraftiga transienta belastningar. Skador i form av olika irritations-tillstånd och inflammationer kan också uppstå. Ett vanligt sjukdomstillstånd är olika former av senfästesinflammationer. Genom upprepade, relativt kraftiga belastningar på muskulaturen kan irritation och inflammation i muskelsenornas ursprung eller infästning i skelettet uppkomma, så kallade *tendinit*. En i arbetslivet vanlig senfästesskada är den så kallade *tennisarmbågen*. I arbeten som innebär statisk och/eller repetitiv aktivisering av handledsextensorna kan tennisarmbåge uppstå. I sådana arbetsuppgifter ingår även kraftgreppet om till exempel en hammare som kräver stabilisering av handleden. Risken för sådana muskelskador beror bland annat på graden av repetitivitet och kraftinsats. Hög repetitivitet eller hög kraft ökar risken för skador. Förekomsten av samtidigt hög grad av *repetitivitet* och *kraftinsats* har en negativ *synergieffekt* med mångdubblade risker för armbågs- och handskador. Skador i fingrarna och i handlederna är också vanliga till följd av repetitiva och/eller kraftiga mekaniska belastningar.

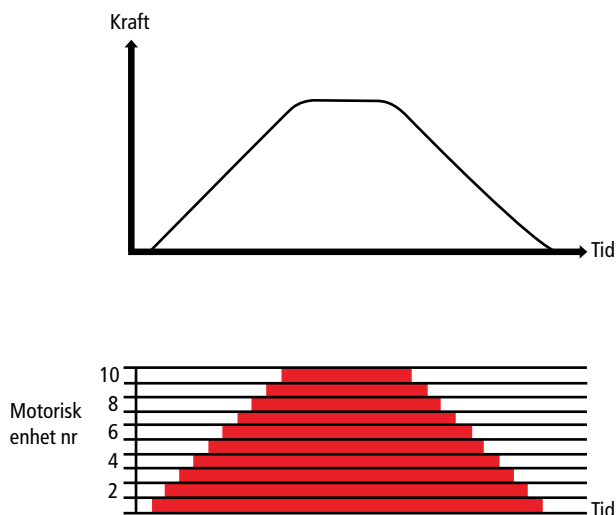
Inte bara senfästen utan även senan i sig kan drabbas av tendinit. En kassisk lokalisation är senan till supraspinatusmuskeln i axelleden som lyfter överarmen uppåt/utåt. *Supraspinatus-tendinit* är vanlig i yrken där man arbetar med lyfta armar. En annan vanlig lokalisation är senan till den muskel som lyfter tummen, *abductor pollicis*. Denna tendinit har fått ett speciellt namn efter sin upptäckare, *de Quervain*. Den folkliga benämningen SMS-tumme börjar idag bli välkänd, speciellt i den yngre generationen. Ytterligare ett ställe där tendinit är vanlig är handleden där flera av senorna som ger de stora krafterna till fingrarna löper genom en trång kanal, karpaltunneln, I detta trånga utrymme sker också ofta en kronisk tryckstegring som är relaterad till yrkesarbete. Denna tryckstegring drabbar inte bara senorna utan också den nerv som går genom karpaltunneln, *medianusnerven*, med känselbortfall, kraftlöshet och domningar i handen som följd. Detta tillstånd har fått namnet *karpaltunnelsyndrom*. Arbetsrelaterade riskfaktorer är böjd handled speciellt i kombination med hög gripkraft.

Lätt fysiskt arbete

Trots minskade belastningsnivåer i många yrken under de senaste årtiondena har förekomsten av besvär från rörelseorganen ökat dramatiskt, speciellt under 1980-talet. Vi vet idag att även fysiskt mycket lätta arbeten kan innebära stora risker för skador i framför allt muskulaturen. Arbeten på en så låg statisk belastningsnivå som 2–5 procent av maximal muskelstyrka har visat sig ge objektiva (i mikroskopiska muskelprover och med elektromyografi) verifierbara sjukliga förändringar, främst i *kappmuskeln* (*musculus trapezius*) som stabiliserar skulderbladet och hela armen men även i vissa underarmsmuskler. Förändringarna kan påvisas hos alla med smärta men förekommer även ibland hos smärfria personer. Det som karaktäriserar de låga belastningarna som ger denna typ av muskelskador är att de förekommer nära nog konstant under hela arbetsdagen, till exempel vid kontinuerligt datorarbete eller körning av entreprenadmaskin. Få tillfällen ges till fullständig muskelavslappning.

Den så kallade *Askungehypotesen* erbjuder en förklaringsmodell som beskriver varför dessa låga belastningsnivåer kan vara skadliga. Denna hypotes är ännu ej helt verifierad men det finns visst stöd för den från flera studier. Modellen baserar sig på det faktum att kraftregleringen i en muskel huvudsakligen sker genom rekrytering/aktivering av ett lämpligt antal *motoriska enheter* (ME, se Muskler, 4.3.6, ovan). Man kunde redan på 1960-talet visa att det under strikt isometriska laboratorieförhållanden finns en permanent rekryteringsordning av ME när kraften ökas och denna gäller även i omvänd ordning när kraften avvecklas (figur 4.22). Detta innebär att de ME som rekryteras först vid kraftuppbyggnaden förblir aktiverade under längst tid (*askungeenheter*). Det finns också forskningsresultat som visar att specifika muskelfibrer skadas vid långvarigt lågintensivt statiskt arbete. Askungehypotesen säger alltså att dessa skadade fibrer tillhör askungeenheter, eftersom de arbetar längst tid (först upp sist i säng). Hur arbetsfördelningen mellan olika ME ser ut under mera verklighetsnära och mer eller mindre dynamiska belastningsförhållanden är fortfarande inte helt klarlagt. Flera forskningsresultat visar dock att det under till exempel datormusarbete finns ME som förblir kontinuerligt aktiva under långa tider och därmed sannolikt löper risk att skadas: En praktisk konsekvens av denna hypotes är att man regelbundet måste uppnå total muskelavslappning för att avlasta askungefibrerna. Man talar här vid EMG-undersökningar om gaps. Hur ofta detta måste ske och hur långa pauserna bör vara finns det idag dåligt underlag för i forskningen, men en kvalificerad gissning är att det handlar om 10–20 sekunders paus var 5–10:e minut.

Det finns flera andra delvis komplementära hypoteser kring hur dessa skador uppstår, men dessa är mera komplicerade. De berör bland annat de mycket komplexa mekanismerna för cirkulationsreglering, reglering av muskelaktivitet och signalering av smärta i centrala nervsystemet. Det skulle föra för långt i detta sammanhang att tränga in i denna fysiologi.



Figur 4.22. Rekrytering av motoriska enheter i en muskel under en tänkt arbetscykel. Den undre delen av figuren visar hur motoriska enheter successivt rekryteras och aktiveras (rödton) när kraften (övre delen av figuren) ökar. När kraften sedan minskar avvecklas rekryteringen i omvänd ordning (Hägg, 1988).

Epidemiologisk forskning har pekat ut flera faktorer som samvarierar med besvär och sjukdomar i nacke och skulderområdet och de viktigaste är:

- **Arbetsställning.** Lyfta armar och böjd nacke ökar risken för besvär och sjukdomar.
- **Arbets teknik.** Olika individer löser samma uppgift på olika sätt med olika riskfullt belastningsmönster som följd.
- **Arbetstakt och ackordslön.** En hög arbetstakt och ackordsstress ökar risken.
- **Arbetsstillfredsställelse och arbetsinnehåll** har stor betydelse där låg tillfredsställelse med arbetet, små möjligheter till påverkan, dålig trivsel med arbetskamrater och arbetsledare samt hög upplevd arbetsbelastning och stress är viktiga riskfaktorer.
- **Fysisk träningsgrad och hög muskelstyrka** har inte visat sig ha någon skyddande effekt mot muskuloskeletala besvär och sjukdomar i nacke- och skulderområdet förekommande i samband med lättare fysiskt arbete. Att vara allmänt vältränad kan dock medföra andra positiva effekter. Bland annat ökar de relativa halterna av kroppsegna morfomer (endorfiner), vilket kan minska upplevelsen av smärta och besvär.
- **Kroppsmått.** Att vara för kort eller för lång i förhållande till arbetsplatsens fysiska mått ökar risken.
- **Synergonomiska förhållanden** där olika former av ökade synkrav ofta innebär både sämre arbetsställningar och spänningar i muskulaturen.
- **Ålder.** Ökad ålder ger ökad risk.
- **Kön.** I nästan all skadestatistik är kvinnor överrepresenterade när det gäller lätt manuellt arbete. Man har velat förklara detta med att kvinnor har lägre muskelstyrka än män men den förklaringen håller inte. En trovärdigare förklaring är att kvinnor, trots att de har samma yrkesbeteckning som män, ofta inte gör samma arbetsuppgifter. Kvinnor tenderar att ha de mera repetitiva och monotona uppgifterna. En annan förklaring som det nu i stort sett råder konsensus om i forskarvärlden är att kvinnor lättare än män ådrar sig belastningsskador vid samma relativa belastningsnivåer.

Vi förknippar kanske inte i första hand lätt fysiskt arbete med besvär i ländryggen. Dock leder långvarigt vriden och/eller böjd rygg ofta till ryggbesvär på grund av belastningen från den egna kroppstyngden. Att vi i den industrialiserade delen av världen generellt sitter så mycket är också en riskfaktor. Här kan nämnas att den sittställning med rät vinkel i höftleden som fortfarande kan ses i äldre rekommendationer måste avskrivas. I stället bör stolen utformas så att vinkeln i höften blir öppnare (100–120°). Vid sittande i fordon tillkommer förekomsten av helkroppsvibrationer som ökar risken för ryggskador.

Till de ovan beskrivna riskfaktorerna för såväl nack- och skulderbesvär som ryggbesvär kan fogas att förhållanden i hemmet och på fritiden säkert också är av betydelse. Det bör här också framhållas att kunskaperna kring de bakomliggande biologiska sjukdomsmekanismerna fortfarande är begränsade.

Tungt fysiskt arbete

I tyngre fysiskt arbete har högre muskelstyrka oftast visat sig ha en skyddande effekt mot utvecklingen av muskuloskeletala besvär. Generellt kan man däremot säga att tungt fysiskt arbete normalt innebär en ökad risk för skador i det muskuloskeletala systemet. Ett av de mer dominerande hälsoproblemen är olika former av ryggbesvär.

Vad som orsakar ryggont i arbetslivet är fortfarande inte helt klarlagt men tunga lyft är en klar riskfaktor och denna risk förvärras i vridna och/eller framåtböjda kroppsställningar. Den mest diskuterade strukturen i ryggen är mellankotskivorna eller diskarna. På grund av ryggradens geometriska förhållanden uppstår det mycket höga krafter på diskarna (storleksordningen 2000 N) redan vid måttliga bördor i handen. Detta beror på att ryggmuskulaturen har en mycket kort momentarm (cirka 5 cm) att verka på för att balansera det belastande momentet, vars hävarm är det horisontella avståndet från kotpelaren till det lyfta föremålet. Mera om detta återfinns i kapitel 9 och figur 4.17.

Forskningen kring ryggsjukdomar och arbete försvåras av att:

- Mindre än 10 procent av ryggpatienterna kan säkert diagnostiseras, det vill säga att det hos de flesta inte går att objektivt verifiera vad det är som är fel och gör ont.
- Symtom av smärta ifrån ryggen går ganska snart spontant över. Ungefär 60 procent av de som är sjukskrivna för besvär i ryggen återgår till arbetet inom en vecka. I stort sett oavsett typ av medicinsk behandling tillfrisknar de flesta inom några veckor.

Detta gör att det är svårt att till ingenjörer ge konklusiva och tillförlitliga belastningsergonomiska råd vid utformning av produkter och produktionssystem. Att undvika arbetsmoment med kraftiga och ofta förekommande framåtböjningar eller vridningar av kroppen torde dock vara en rimlig åtgärd.

4.7.3 Vibrationsexponering

Vibrationsexponering (se även kapitel 5) delas in i helkroppsvibrationer och hand/armvibrationer.

Helkroppsvibrationer som i första hand uppkommer i olika typer av fordon och är en bidragande orsak till ryggbevär hos fordonsförare. Hand/armvibrationer uppkommer vid användningen av vibrerande handverktyg (se 4.8.4). Akut exponering kan ge upphov till domningar, känselbortfall och kraftlöshet i handen. Om vibrationsdosen över tid är för stor (se kapitel 5) finns risk för att användaren drabbas av *Raynauds syndrom*. Detta innebär att man drabbas av attacker av *vita fingrar* då cirkulationen i fingrarna helt upphör och känseln faller bort. Detta sker normalt inte vid själva vibrationsexponeringen utan uppkommer vid kyla (till exempel arbete i kallt vatten) men även rökning kan utlösa en attack. Utsatta yrkesgrupper är plåtslagare, skogsarbetare som använder motorsåg men även tandläkare (vibrationsexponering från borsten).

4.7.4 Komfort

Begreppet *komfort* används ofta, framför allt i marknadsföringssammanhang, dock utan att man har någon klar definition av vad begreppet egentligen står för. Vetenskapliga undersökningar har visat att komfort är ett komplext begrepp som byggs upp av ett flertal olika faktorer såsom upplevelser av avslappning och allmänt välbefinnande. Begreppet grundar sig huvudsakligen på subjektiva upplevelser men även fysiska förhållanden ingår. I detta sammanhang är kanske begreppet *diskomfort* mera intressant att diskutera. Det står klart att diskomfort inte utgör en direkt motsats till komfort utan att begreppen delvis speglar olika kvaliteter. Komfort och diskomfort påverkas av distinkt skilda variabler. Avsaknad av diskomfort behöver nödvändigtvis inte leda till komfort. Flera exempel finns också på att upplevd momentan komfort inte behöver utesluta senare diskomfort och även allvarigare besvär. Viktigt att notera är också att upplevelserna av såväl komfort som diskomfort ingalunda är statiska utan varierar över tid.

Diskomfort är en upplevelse i kroppen av olämplig fysisk belastning. Diskomfort bör därför ses som ett första steg i en progression som går vidare över besvär och värk till skada. Dessa första tecken är därför viktiga som en signal till förändring av arbetsställningar eller andra förhållanden (se även följande avsnitt). Som tidigare påtalats är variation av den fysiska belastningen grundläggande för ett hälsosamt arbete. Det är därför angeläget att studera uppkomst av diskomfort och att vidta förändringsåtgärder när diskomfort föreligger.

4.7.5 Åtgärder vid besvär

En grundläggande mening med smärta är att signalera till individen: "Gör inte så här igen!" Det fungerar bra när vi lägger handen på en het platta eller när vi får akut ryggvärk direkt efter ett för tungt lyft. Vid många av de lågintensiva monotona belastningar som har kommit att dominera vårt moderna arbetsliv är tyvärr dock inte denna

funktionalitet lika välfungerande. Smärtan som dessa belastningar ger upphov till är diffus, kommer smygande och utvecklas under lång tid. Det är heller inte ovanligt att smärtan kulminerar efter arbetets slut. Det är därför mycket svårare att veta vilken belastning det är som förorsakar besvären och vad man ska göra för att förbättra situationen. Att förstå sambandet mellan två skeenden kallas *attribution*. Vid monotont eller ensidigt upprepat arbete är det vanligt att utsatta individer attribuerar sina besvär på ett felaktigt sätt och därför vidtar fel åtgärder eller inga åtgärder alls. Ett exempel är snabbköpskassörskor. Många av dessa menar att deras skulder/nackbesvär beror på tunga lyft av enstaka varor som förekommer ganska sällan medan den verkliga orsaken sannolikt ligger i det monotona upprepade hanterandet av lätta varor och för långa tjänstgöringspass i kassan.

En person som befinner sig i början av en besvärskarriär är ofta obefogat optimistisk angående sina besvär. "Det går över efter helgen" eller "...efter semestern" är vanliga attityder som gör att åtgärder på arbetsplatsen inte vidtas. Samtidigt vet vi att chansen att bli kvitt besvär och värk är mycket större om åtgärder sätts in på ett tidigt stadium. Andra vanliga attityder som motverkar en förändring av arbetsförhållandena är: "Jag som är så ung och stark klarar allt!" eller "I det här jobbet får man acceptera att man får ont." I det senare fallet blir värken en tveklaktig del i yrkesidentiteten.

Som arbetsledare och chef har man ett stort ansvar att fortlöpande följa upp hälsoläget hos medarbetarna. Det är då viktigt att ta tidiga signaler om besvär och värk på allvar och vidta tidiga åtgärder för att förhindra mänskligt lidande och för verksamheten kostsamma sjukskrivningar, produktionsstörningar och kompetensförluster. Detta är också andemeningen i Arbetsmiljöverkets portalföreskrift om systematiskt arbetsmiljöarbete (AFS 2001:1). Mera om kostnader för sjukskrivning och vinster vid arbetsmiljöinvesteringar finns i kapitel 12.

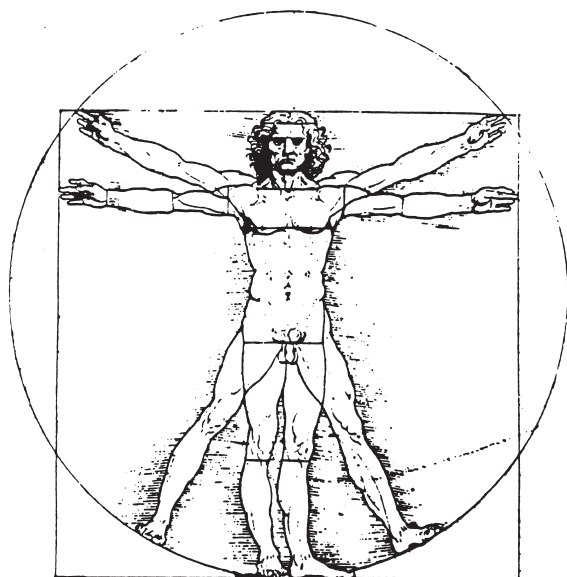
För närvarande finns det en trend att tackla alla hälsoproblem på arbetet med individuella insatser såsom olika typer av fysisk träning. Detta kan ha flera allmänt positiva effekter på hälsan men när det gäller belastningsbesvär och skador så förebygger det endast skador som förorsakas av tyngre belastningar och då endast om träningen är specifikt avpassad för arbetsbelastningen ifråga. Lätt konditionsträning kan dock lindra värken från redan uppkomna skador.

4.8 Fysisk utformning av arbetsplatser och verktyg

Varje dag använder vi föremål och hjälpmedel som är, eller bör vara, utformade efter människans fysiska egenskaper och dimensioner. Exempel på sådana föremål är stolar, bord och verktyg. Det är även mycket viktigt att hela arbetsplatser är utformade efter människans egenskaper. Dålig anpassning påverkar vår hälsa, välbefinnandet och säkerheten negativt. Även arbetets effektivitet och kvalitet påverkas negativt av en dåligt utformad arbetsplats. En arbetsplatsutformning måste inledas med en grundlig analys av arbetsuppgiften och de verktyg som ska användas. Det är viktigt att den som ska utföra arbetet i möjligaste mån medverkar vid arbetsplatsens utformning.

4.8.1 Grundläggande antropometri

Vid dimensionering av arbetsplatsen är det nödvändigt att ha tillgång till data om människans mått, så kallade antropometriska data. Inom *antropometrin* beaktas människans mått och proportioner, kroppsställningar, räckvidder, rörelseutrymme och liknande. Muskelstyrka samt tyngdpunkter hos olika kroppssegment och tröghetsmoment ingår också. Ordet kommer från grekiskans *anthropos*: mänisko- och *metons*: mått. Albert Dürer (1471–1528) anses vara den förste som empiriskt och med vetenskapliga metoder försökte kartlägga människans mått och fysiska egenskaper. Människans mått och proportioner har emellertid intresserat människan långt tidigare. Redan år 15 f Kr pekade den romerske arkitekten Vitruvius på att människokroppens proportioner är estetiskt tilltalande och bör ligga till grund för utformningen av våra hus. Stor möda lades ner på att undersöka vilka lagar som styrde dessa proportioner, bland annat diskuterades det så kallade gyllene snittet. En välkänd bild från dessa diskussioner är Leonardo da Vincis (1452–1519) teckning som ofta använts som symbol för ergonomi (figur 4.23).



Figur 4.23. Teckning av Leonardo da Vinci (1452–1519) ofta använd som symbol för ergonomi.

De flesta av människokroppens dimensioner är statistiskt normalfördelade över en population, vilket gör att fördelningen av en dimension hos en population kan beskrivas av endast två mått, medelvärde och standardavvikelse. Kroppsvikt och muskelstyrka är däremot exempel på variabler som inte helt följer en normalfördelning. De har ofta en positiv skevhet. Mera om detta i avsnitt 9.7. Ett tecken på skevhet i en fördelning är att 50:e percentilen (medianen) skiljer sig från medelvärdet. I tabell 4.1 kan man notera att detta gäller för vissa variabler.

När man står inför en designuppgift får man överväga om man ska använda sig av i litteraturen tillgängliga data eller inhämta egna. Detta är naturligtvis helt beroende på vilka som ska använda det system som utformas. Data för stora befolkningsgrupper finns tillgängliga uppdelade på ett flertal olika etniska grupper. Boken Bodyspace är ett standardverk inom området (Pheasant och Haslegrave, 2005). I den tyska industristandarden DIN finns också data att hämta. När man använder sig av tidigare inhämtade data ska man beakta att de flesta populationers kroppslängder har ökat med storleksordningen tio millimeter per tio år under 1900-talet. Detta gäller då proportionellt även för andra mått. Överhuvudtaget bör man noga överväga hur redan tillgängliga data har samlats in och i vilken utsträckning de är relevanta för den egna problemställningen. Det är också viktigt att notera att statistiska parametrar för ett antropometriskt mått som saknas i en tabell inte kan erhållas genom addition/subtraktion av tillgängliga data för andra mått. Det bör vidare påpekas att om ett mått för en individ ligger på en viss percentil innebär detta nödvändigtvis inte att individens övriga mått ligger på samma percentil. Metoder för att samla in antropometriska data för specifika grupper finns beskrivna i avsnitt 9.7.

Data över förmågan att generera kraft i olika leder och arbetsställningar finns till viss del publicerade (se Mital och Kumar, 1998, för en översikt). Tyvärr återfinns publicerade data bara för de vanligast förekommande rörelserna och för stora västerländska folkgrupper. Man tvingas därför ofta att göra egna mätningar.

Intressant i detta sammanhang är också förhållandena mellan längd-, yt- och volymyskala. Om en kropps längdmått till exempel dubblas ökar ytan kvadratisk med fyra gånger den ursprungliga medan volymen (och därmed vikten) ökar kubiskt till åtta gånger den ursprungliga. Detta leder till intressanta konsekvenser för förhållandet mellan muskelstyrka och kroppsvikt. Muskelkraften är proportionell mot muskelns tvärsnittsarea som ökar kvadratisk medan vikten ökar kubiskt. En lång person måste alltså ha relativt kraftigare muskulatur för att ha samma relativa kraft i förhållande till kroppsvikten.

När man använder sig av antropometriska data vid utformningen av arbetsplatser är det normalt att man utgår från olika percentiler i materialet. När det handlar om utrymme väljer man ofta att designa för 95:e percentilen, det vill säga 95 procent av en normalpopulation ska kunna få plats i det aktuella utrymmet. Generellt bör man naturligtvis dimensionera en arbetsplats eller utrustning så att alla, till exempel både kvinnor och män, kan använda den. Praktiska och ekonomiska begränsningar gör dock att detta i många fall är omöjligt. När det gäller verktyg kan man överväga att tillverka olika storlekar.

4.8.2 Tillämpad antropometri

Följande överväganden och begrepp med tillhörande villkor är grundläggande när antropometrin ska tillämpas:

1. Design för de största individerna

Rörelseutrymme: Vid utformning av arbetsplatser är det nödvändigt att det finns tillräckligt med utrymme för till exempel armar och ben. Detta är ett villkor med gräns åt endast ett håll och vanligen väljer man här måtten hos den 95:e percentilen. I vissa sammanhang med speciella krav när det gäller anpassning till populationen eller vid tekniska eller ekonomiska begränsningar kan det dock vara aktuellt att sätta denna gräns såväl högre som lägre.

2. Design för de minsta individerna

Räckvidd: Räckviddsmått bestämmer maximala avstånd och storlekar för till exempel placering av manöverdon. Detta är ett villkor med en gräns där man lämpligast väljer den 5:e percentilen av en population, det vill säga 95 procent av populationen når reglaget i fråga.

3. Design för alla

Ofta är den tilltänkta användarpopulationen diffus och innefattar både kvinnor och män med stor variationsvidd och olika mått. Detta ökar behovet av justerbarhet av designen och lämpliga gränser kan vara 5:e och 95:e percentilen. Detta innebär dock att 10 procent av en allmän population inte passar in. Ett exempel är höjden på arbetsbordet vid stående arbete.

4. Design för medelindividen

Det ökande medvetandet om variationerna i människans mått, och vikten av att anpassa verktyg, utrustning och miljöer utifrån detta, har lett till allt större möjligheter till flexibel inställning och anpassning. Detta är naturligtvis en positiv utveckling men den totala anpassbarheten i varje sammanhang får ses som en utopi. Därför måste man ibland av ekonomiska och praktiska skäl välja att anpassa designen till den tänkta populationens medel- eller medianvärdet.

5. Design för funktionshinder och speciella populationer

Det är en allmän ambition i samhället att i möjligaste mån göra det tillgängligt även för grupper med olika typer av funktionshinder. Detta kan leda till speciella krav såsom utrymme för en rullstol eller större dimensioner på till exempel vattenkranar. Gravida kvinnor är ett exempel på en grupp individer där speciella utrymmeskrav måste beaktas.

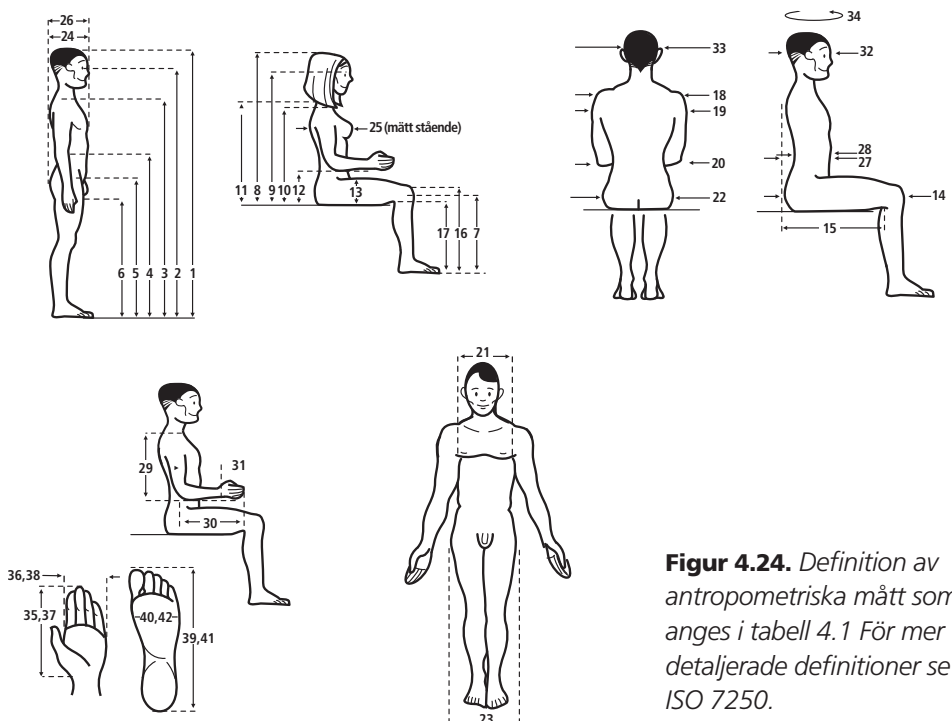
Antropometriska mått brukar delas in i två klasser: strukturella (statiska) och funktionella (dynamiska) data.

Strukturella (statiska) data

Strukturella (statiska) data beskriver dimensioner och avstånd mellan anatomiska kännemärken i standardiserade kroppsställningar. Exempel på sådana dimensioner är kroppslängd i stående ställning och längden av kroppssegment. Även kroppsvikt brukar hänföras till denna klass.

Strukturella antropometriska data anges oftast i två standardiserade kroppsställningar: stående med fötterna ihop och armarna längs sidorna, sittande med över- och underarm samt lårben och underben i rät vinkel. I båda fallen är huvudet riktat rakt fram. För att kunna göra tillförlitliga jämförelser mellan olika grupper är de flesta mått angivna för naket tillstånd, det vill säga utan skor, kläder eller annan utrustning. I det praktiskt tillämpade fallet är det emellertid viktigt att ta hänsyn till vad personen ifråga bär på sig i form av kläder och utrustning.

En förteckning av data för några olika mått hos en svensk population visas i figur 4.24 och tabell 4.1. Data kommer från en undersökning gjord på ett representativt urval av dagens svenskar. Mått för andra populationer och mått från specifika kroppsdelar finns i den rekommenderade litteraturen.



Figur 4.24. Definition av antropometriska mått som anges i tabell 4.1 För mer detaljerade definitioner se ISO 7250.

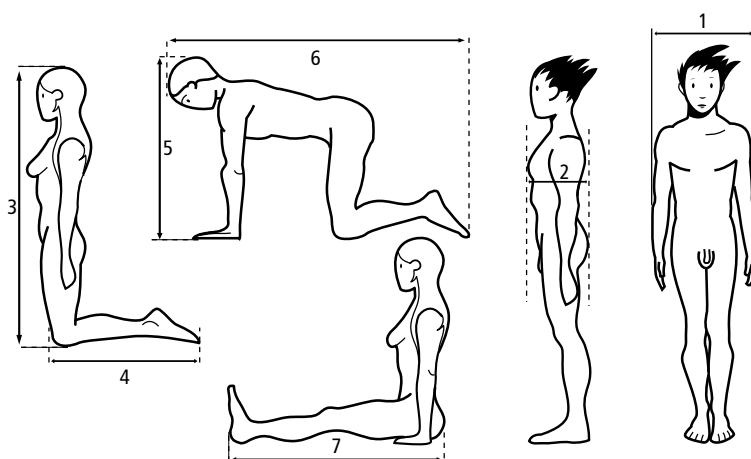
Tabell 4.1. Antropometriska mått i mm samt vikt för svenska vuxna enligt figur 4.24.
Data anges som 5:e, 50:e och 95:e percentilen, medelvärde och standardavvikelse.
Tabellen bygger på data från Hanson et al., Applied Ergonomics, 2008.

Dimension	Män					Kvinnor				
	5%	50%	95%	M	s	5%	50%	95%	M	s
1. Kroppslängd	1669	1779	1902	1792	70	1562	1673	1789	1674	68
2. Ögonhöjd	1562	1657	1778	1665	68	1446	1553	1668	1553	66
3. Skulderhöjd	1333	1459	1548	1454	66	1252	1357	1468	1359	63
4. Armbågshöjd	1020	1108	1181	1104	56	957	1044	1130	1042	52
5. Höfthöjd	920	999	1086	1002	53	843	934	1018	933	52
6. Skrevhöjd	693	810	899	803	56	696	776	837	772	43
7. Tibiahöjd	391	452	511	452	34	359	406	451	407	25
8. Sitthöjd	883	946	1006	944	36	832	892	949	892	35
9. Ögonhöjd i sittande	757	816	874	814	39	710	762	820	766	33
10. Skulderhöjd i sittande	557	607	668	608	33	521	577	624	575	29
11. Höjd till 7:e halskotan i sittande	592	678	737	675	37	585	632	673	634	27
12. Armbågshöjd i sittande	195	238	292	240	28	192	238	285	238	27
13. Lårtjocklek	129	158	184	157	16	126	145	173	147	15
14. Längd: länd-knä	565	613	667	613	32	539	596	644	594	32
15. Längd: länd-knäveck	451	493	545	496	29	431	477	522	478	30
16. Knähöjd	505	556	603	554	31	468	521	568	522	31
17. Knäveckshöjd	437	491	534	486	32	397	444	500	447	28
18. Skulderbredd över acromion	362	395	436	396	23	327	356	388	357	19
19. Skulderbredd över deltoideus	437	478	520	476	27	390	425	467	425	23
20. Bredd armbågar	423	535	628	536	59	381	444	538	450	47
21. Bröstkorgsbredd	295	345	415	347	34	256	304	342	303	24
22. Höftbredd sittande	326	387	445	391	35	367	416	463	414	30
23. Höftbredd stående	309	362	403	363	28	333	372	413	370	24
24. Bröstkorgsdjup, stående	194	243	295	242	32	162	190	220	191	17
25. Bröstkorgsdjup vid bröstvårten	198	246	294	248	31	176	241	295	238	37
26. Kroppsdjup, stående	186	241	343	251	45	183	223	280	226	25
27. Djup, länd – buk, sittande	171	259	362	262	62	206	253	345	258	39
28. Bukdjup, sittande	204	237	351	250	46	191	227	317	235	38
29. Längd skuldra - armbåge	336	370	404	370	20	304	341	376	341	20
30. Längd armbåge - fingertopp	422	487	524	484	27	392	436	479	437	26
31. Längd armbåge - handled	239	286	317	284	20	215	252	284	251	21
32. Huvuddjup	185	200	210	200	8	178	190	200	189	8
33. Huvudbredd	144	155	165	154	7	140	146	155	147	5
34. Huvudomfång	551	581	605	581	16	535	555	578	556	14
35. Handlängd, höger	178	193	210	193	9	165	179	194	179	9
36. Handbredd, höger	80	87	98	87	5	71	78	86	78	4
37. Handlängd, vänster	178	194	212	194	9	165	179	195	179	9
38. Handbredd, vänster	80	85	96	86	5	70	78	87	78	5
39. Fotlängd, höger	245	266	286	265	15	223	243	263	242	12
40. Fotbredd, höger	93	101	112	101	6	84	91	101	92	5
41. Fotlängd, vänster	248	266	289	266	13	224	243	264	243	12
42. Fotbredd, vänster	90	100	111	100	6	83	90	100	91	5
43. Vikt (kg)	57	75	103	78	13	50	64	80	65	11

Funktionella (dynamiska) data

Funktionella (dynamiska) *data* beskriver önskvärt rörelseutrymme och räckvidd i speciella situationer. Dessa mått anger vilken frihet det finns att välja olika kroppsställningar och rörelsemönster i dessa situationer och anger också vilka säkerhetsmarginaler som är lämpliga för att inte slå i utstående föremål et cetera. Här kan också inkluderas socialt betingade krav vid interaktion med andra människor.

De funktionella data som redovisas i litteraturen gäller oftast speciella arbetssituationer och är endast användbara i den redovisade situationen. Det är emellertid möjligt att med matematiska modeller extrapolera utifrån de data som finns om kroppens länkar, till exempel armar, ben och bål. I figur 4.25 och tabell 4.2 redovisas data för nödvändigt utrymme vid olika arbetsställningar.



Figur 4.25. Definition av utrymmesmått i olika kroppsställningar som anges i tabell 4.2 (Pheasant och Haselgrave, 2005).

Tabell 4.2. Utrymmesmått för olika kroppsställningar i mm enligt figur 4.25 för en blandad vuxenpopulation. Data anges som 5:e, 50:e och 95:e percentilen och standardavvikelse (Pheasant och Haselgrave, 2005).

Dimension	Män				Kvinnor			
	5%	50%	95%	s	5%	50%	95%	s
1. Maximal kroppsbredd	480	530	580	30	355	420	485	40
2. Maximalt kropps djup	255	290	325	22	225	275	325	30
3. Höjd vid knästående	1210	1295	1380	51	1130	1205	1285	45
4. Benlängd vid knästående	620	685	750	40	575	630	685	32
5. Kryphöjd	655	715	775	37	605	660	715	33
6. Kryplängd	1215	1340	1465	75	1130	1240	1350	66
7. Längd vid sittande: länd-fotsula	985	1070	1160	53	875	965	1055	55

Kroppsställningar

Relationen mellan arbetsplatsens utformning och kroppens dimensioner bestämmer vilken kroppsställning som intas vid ett arbete. Hur mycket kroppsställningen är begränsad bestäms av hur mycket kontakt det finns mellan personen i fråga och omgivningen. Kontakten kan vara fysisk, som till exempel stol, sits eller arbetsbänk, och visuell, som till exempel bildskärm och visarinstrument.

För att undvika belastande kroppsställningar kan följande rekommendationer tjäna som underlag:

- Gör det möjligt att kunna variera kroppsställning så mycket som möjligt.
- Undvik framåtlutad ställning på huvudet och kroppen.
- Eftersträva att överarmarna hålls intill kroppen. Händer över axelhöjd får endast förekomma under korta tidsperioder.
- Undvik vridna och asymmetriska ställningar.
- Undvik kroppsställningar som innebär att lederna måste hållas i sina ytterlägen under en längre tid.
- Använd lämpligt stöd för ryggen vid alla sittarbetsplatser.
- Vid bruk av stor muskelkraft bör den kroppsdel som utövar kraften befinna sig i den position som ger den största kraften.
- Undvik höga tryck på känslig mjukvävnad när stöd används.

Det finns exempel på arbetsplatsutformningar där arbetet kan utföras med en acceptabel kroppsställning men att detta kräver tidsödande omvägar eller krånglig hjälputrustning. Tyvärr leder detta oftast till att dessa tänkta arbetssätt ignoreras och det snabbare men ofördelaktigare arbetssättet anammats. En bra arbetsställning ska alltså kunna intas naturligt utan tidsödande extramoment.

Kroppsställningar och styrka

Den muskelkraft som är möjlig att utveckla i ett visst arbetsmoment är ofta mer beroende av vilken kroppsställning personen i fråga intar än av den individuella förmågan att utveckla kraften. Den möjliga kraftutvecklingen bestäms ibland av andra faktorer än muskelstyrkan. Vid lyftarbete, och när man skjuter eller drar ett föremål påverkas kraftutvecklingen av kroppens vikt och jämvikt samt friktionen mellan underlaget och fötterna.

Stående arbete

En individs kroppsställning bestäms i hög grad av på vilken höjd över golvet som det manuella arbetet utförs. Om arbetshöjden är för hög måste armarna hållas i ett högt läge och därmed utsätts skuldrans muskler för en oönskad statisk belastning. En hög arbetshöjd gör det också besvärligare att utöva krafter som är riktade nedåt, till exempel att trycka på maskindelar med fingrarna. Om arbetshöjden är för låg måste kroppen och huvudet böjas framåt, vilket ökar belastningen på musklerna i ryggen och nacken.

Det är viktigt att skilja mellan arbetshöjden och arbetsytans höjd. Arbetshöjden kan vara avsevärt högre än arbetsytan när verktyg eller annan utrustning används. Följande rekommendationer bör följas för arbetshöjden:

- Precisionsarbete: 50–100 mm *över* armbågshöjd. Avlastning av armarna rekommenderas.
- Lätt manuellt arbete: 50–100 mm *under* armbågshöjd
- Tungt arbete, speciellt om det kräver nedåtriktade krafter: 150–400 mm *under* armbågshöjd
- I samtliga fall bör en stabil fotställning kunna intas.

Om arbetet innebär lyft så ska dessa i möjligaste mån kunna genomföras med böjda knän, i framåtriktad ställning utan kroppsvridning eller ryggböjning och med stabilt brett fotavstånd.

Sittande arbete

Att vi i den industrialiserade delen av världen generellt sitter så mycket har utpekats som en anledning till den höga förekomsten av ryggbesvär. Vid sittande arbetsställningar är det viktigt att upprätthålla svanken, det vill säga inbuktningen av ländryggen, som är naturlig vid stående. Detta bör åstadkommas utan att musklerna behöver aktiveras. När man sitter med rät vinkel mellan underbenen och lårbenen samt mellan lårbenen och bålvrids höft- och bäckenbenet bakåt vilket reducerar svanken. Detta sker eftersom musklerna på lårets baksida sträcks. Den rekommenderade sittställningen med rät vinkel i höftleden som fortfarande lever kvar i vissa sammanhang måste alltså avskrivas.

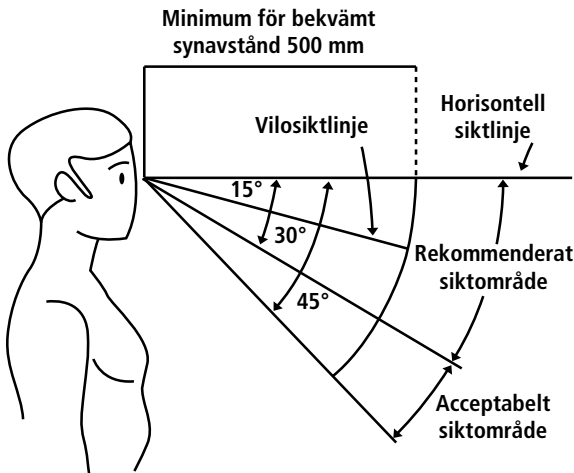
Sittandet är kanske den arbetsställning som har varit mest undersökt när det gäller komfort. Det är viktigt att notera att momentan subjektiv komfort inte garanterar långsiktig besvärsfrihet. Variation är även här ett nyckelord. En norsk ergonom har myntat uttrycket ”Din bästa sittställning är din nästa”. Det måste också finnas en naturlig koppling mellan sittställningen, stolen och arbetsuppgifterna. Ett arbete som innebär höga krav på uppmärksamhet och/eller armrörlighet kräver en upprätt sittställning. Om perioderna av sittande inte är alltför långa kanske ett ryggstöd bara är i vägen och en arbetsstol av sadeltyp kan vara lämplig (till exempel för tandläkare).

Följande rekommendationer bör följas för acceptabelt sittande i arbete:

- Vinkeln mellan sitsen och ryggstödet ska vara cirka 100–120°.
- Ryggstödet ska följa ryggradens kurvatur.
- Sitsen ska inte vara lägre eller djupare än nödvändigt.
- Ryggstödet ska finnas som avlastningsstöd vid vila, även om det inte används vid arbete.
- Stolen får inte inskränka möjligheterna till nödvändiga arbetsrörelser.
- Generellt bör en bra arbetsstol tillåta så stor variation i sittställning som möjligt. Möjlighet att med enkla justeringar av arbetsbordet som alternativ kunna utföra ett arbete stående bör också finnas där så är möjligt. Reglagens funktion måste vara lättbegripliga för att bli använda.

Huvudets ställning och synkrav

Huvudets och nackens position bestäms i hög grad av arbetets synkrav och placeringen av de objekt som ska observeras. Undersökningar har visat att den vilsammaste siktlinjen går 15° under den horisontella siktlinjen. Det vinkelområde som de flesta föredrar omfattar cirka 30° under horisontallinjen. Området kan utökas om nacken böjs något framåt. Det rekommenderade siktområdet sammanfattas i figur 4.26.



Figur 4.26. Rekommenderat siktområde (Pheasant och Hasselgrave, 2005).

4.8.3 Arbetsplatsutformning

Förararbetsplatser

En förararbetsplats bestäms i hög grad av hur de viktigaste manöverdonen är placerade i förhållande till förarstolen. En fordonsstol ska genom sin utformning uppmåna, locka och inbjuda användaren till att välja ergonomiskt goda sittställningar och gärna ändra inställning ofta. Förarstolen bör vara så utformad att sitsen lutar bakåt 10–15° och att ryggstödet också lutar bakåt så att det bildar en vinkel mot sitsen på 105–110°. Stolen bör vara försedd med reglerbart svankstöd, både i horisontell och vertikal led. Möjligheter att justera vinkel och höjd på nackstödet påverkar komforten positivt och förmodas även medföra positiva konsekvenser för förebyggande av nackskador (whip-lash). Den bästa benställningen fås med lårbenet 10–15° över horisontalplanet och knäet böjt med 60–70°. Det viktigaste reglaget är ratten, som bör vara 400–450 mm i diameter. Rattaxeln bör bilda 50–60° vinkel mot underlaget. Sekundära reglage ska placeras så att även en liten förare kan nå dem. De viktigaste och mest använda reglagen ska placeras på ett räckviddsavstånd som är bekvämt, så att de kan användas under god kontroll. Reglagen bör också placeras på ställen där de förväntas vara och man bör också beakta i vilken sekvens de normalt används.

Kontors- och datorarbetsplatser

Den som arbetar på en kontorsarbetsplats är i fysisk kontakt med omgivningen i tre punkter: golvet, stolsitsen och skrivbordet med tangentbord och mus. En modern kontorsarbetsplats bör erbjuda flera enkla justeringsmöjligheter av stol och bord, och som även möjliggör snabb växling till stående arbete. En detaljerad beskrivning hur en sådan kan utformas ges på www.av.se/teman/datorarbete/forebygg/mobler/fordjupning.aspx

För rekommendationer kring tangentbord och mus, se avsnitt 4.8.4.

Bildskärmen ska vara justerbar i höjddled och placeras strax under ögonhöjd. Den ska även vara tiltbar för att kunna placeras vinkelrät mot synlinjen och för att undvika reflexer från rummets belysning. En manuskriphållare ska finnas i samma höjd som bildskärmen när sådana arbetsuppgifter är aktuella.

Arbetsplatsutformning för funktionshindrade

Människor med grava funktionshinder, till exempel när både armar och ben är förlamade, kräver utrustning och hjälpmedel som är personligt anpassade. Det är viktigt att komma ihåg att även enkla tekniska lösningar, som till exempel olika stöd för kroppen, kan betyda mycket för att lindra funktionshindret. En stor del av de funktionshindrade utgörs av människor som nästan kan uppnå normal funktion, till exempel personer med ryggbesvär. Dessa kan ibland vara en känslig indikator på hur bra en arbetsplats är utformad. Man kan till och med säga att om det finns ett behov av hjälpmedel för en lätt funktionshindrad person är det ett tecken på att arbetsplatsen är dåligt utformad.

Det finns idag krav på att varje ”arbetsgivare ska organisera och bedriva verksamhet för arbetsanpassning och rehabilitering”. Den arbetsinriktade rehabiliteringen syftar till att återge arbetsförmåga och möjligheter att återgå till sitt tidigare arbete till den som drabbats av sjukdom, till exempel genom att införa tekniska hjälpmedel och på andra sätt anpassa arbetsplatsen.

4.8.4 Handhållna verktyg

Bruket av handverktyg är lika gammalt som människans historia. Vissa forskare har till och med hävdat att det är bruket av verktyg som gör människoarten unik. Även om denna definition inte håller så är det uppenbart att bruket av handverktyg spelat en avgörande roll för människosläktets utveckling. Genom årtusendena har ett mycket stort antal verktyg utvecklats för mer eller mindre specialiserade ändamål. Möjligen är det så att denna mångfald redan har nått sin kulmen i det moderna västerländska samhället i och med att helt automatiserade maskiner och datorkraft ersätter gamla manuella framställningstekniker. Den nya maskinella tillverkningen är oftast överlägsen ur kostnadssynpunkt men då ofta på bekostnad av kvalitet och estetiska värden.

Betecknande för verktygsutvecklingen fram till den industriella revolutionen var att brukarna till stor del själva tillverkade sina verktyg eller stod i nära kontakt med

den som gjorde det (till exempel bysmeden). Utvecklingen skedde alltså med tät återföring av brukarsynpunkter, vilket innebär att många traditionella handverktyg genom en lång iterativ utvecklingsprocess har fått en god funktionell utformning.

I och med den industriella revolutionen förändrades dessa förhållanden. Avståndet mellan brukare och tillverkare ökade i flera hänseenden och den tidigare täta återkopplingen av brukarsynpunkter minskade avsevärt. Detta gäller då inte minst helt nya typer av verktyg som nya material och teknologier kräver/erbjuder. Det är dessutom ofta så att inköp av verktyg görs av inköpare som med dåliga ergonomiska kunskaper och en bristande kontakt med slutanvändarna i organisationen i alltför stor utsträckning väljer verktyg enbart efter pris.

Storlek, form

Frågan vilken storlek och form ett verktyg ska ha sönderfaller i ett antal delfrågeställningar. Förutom de rent funktionsspecifika aspekterna kan man dela in anpassningen till människan i optimal överföring av kraft och moment, komfort, kontroll över verktyget, skaderiskminimering samt möjlighet till afferent återföring av verktygets exakta läge och arbetsförhållanden (till exempel variationer i varvtal med mera). I en genomtänkt design signalerar också formen avsett grepp, kraftkrav och användningssätt. För ett verktyg avsett för många olika arbetsuppgifter kan dock en alltför specialiserad utformning i onödan begränsa användningsområdena.

Den tilltänkta brukargruppen bör noga övervägas vid val och design av verktyg. Könsaspekten är här viktig. Även lättare handverktyg har av slentrian ofta utformats med mannen som norm trots att många kvinnor idag använder dessa verktyg i arbetet (figur 4.27).



Figur 4.27. *Mannen har ofta utgjort norm för utformning av handhållna maskiner som annars skulle kunna användas av kvinnor (Sperling, 1990).*

När det gäller komfort och besvär gäller huvudprincipen att kraften ska fördelas över så stor yta som möjligt för att ge lägsta möjliga yttryck.

Individuell anpassning av verktygets storlek och form är naturligtvis önskvärd men svår att realisera med rimlig ekonomi vid industriell produktion. Udda tillämpningar

förekommer dock, till exempel vid tävlingsskytte där en formgjuten pistolkolv formad efter skyttens hand är standard. En stor kontaktyta mellan verktyg och hand är speciellt viktig när stora krav ställs på kraft i kombination med precision för att maximal stabilitet ska uppnås.

En stor kontaktyta för afferent återföring av information om verktygets exakta position och arbetets förlopp (typ av vibrationer, varvtal et cetera.) är ofta av stor betydelse. Till exempel är ett ovalt handtag på en hammare funktionellt viktigt för att man ska känna av verktygets orientering.

Vikt

En allmän princip är naturligtvis att ett verktyg ska vara så lätt som möjligt för att tillföra så liten extra belastning som möjligt. Undantag från denna regel är när verktygets massa är av betydelse för funktionen, som i exemplet hammare och yxa. Baserat på ett antal välgrundade studier, rekommenderas en maximal vikt (buren av operatören) av 1.75 kg för precisionsverktyg och 2.3 kg för övriga verktyg.

Av minst lika stor betydelse som själva massan är fördelningen av densamma. Tyngdpunkten bör normalt ligga så nära handleden som möjligt för att ge minsta möjliga belastande moment på densamma. Undantag är även här verktyg som av dynamiska funktionsskäl bör ha sin tyngdpunkt långt från handen (hammare och yxa).

Kraftöverföring och friktion

När ett roterande moment runt ett handtag ska överföras från eller till handen begränsas dess storlek av att handen glider mot handtaget, vilket beror på att friktionen som uppnås mellan huden och ytan på handtaget inte är tillräcklig. Denna friktion är beroende av materialet i handtaget och dess struktur men även av eventuell förekomst av svett, olja, fett, smuts och dylikt.

En undersökning av betydelsen av mikrostrukturen i ytan av materialet har visat att låg profil på mikrostrukturen ger högre friktionsvärden och att polerade blanka ytor ger den högsta friktionen. Trä däremot har endast 15 procent av friktionen hos plexiglas. Fukt har visat sig höja friktionen hos porösa material och sänka den för icke porösa material. Svett ökar friktionen något medan olja och fett minskar den.

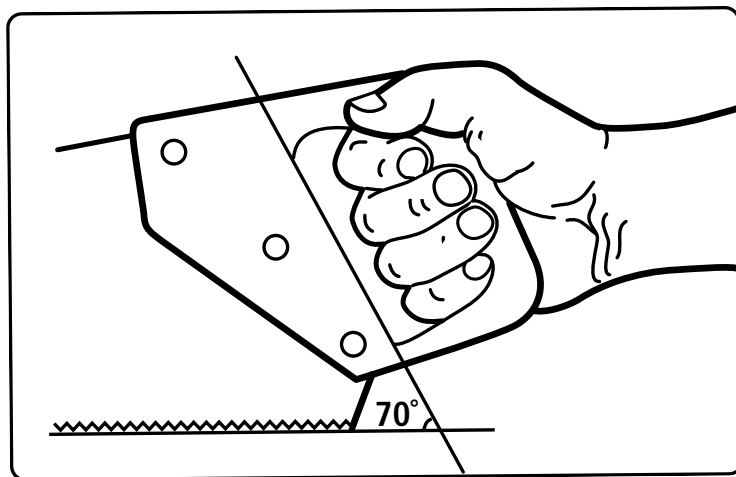
En annan aspekt på kraftöverföring och kraftfördelning är hårdheten i materialet. Ett mjukt material fördelar kraften över en större yta och föredras oftast vid en subjektiv värdering. Ett mjukare handtag innebär dock oftast att man ökar gripkraften för att bibehålla kontrollen över verktyget. Valet av handtagsmaterial spelar också roll för överföring av vibrationer till handen.

Arbetsställning

Utformning av ett handverktyg får ofta konsekvenser för den arbetsställning som användaren måste inta för att använda detsamma. I huvudsak bör tre kroppsdelar beaktas: rygg, överarm och handled.

Utformningen bör vara sådan att man i möjligaste mån undviker böjd och vriden rygg genom anpassning av arbetshöjder och längd och form på skaft och dylikt. Vidare bör statiska positioner med lyft överarm, såväl framåt som utåt, undvikas. Det bör dock påpekas att skuldermuskulaturen måste aktiveras statiskt vid krav på precision i handen även när överarmen befinner sig intill bålen under förutsättning att underarmen/handleden inte har något stöd.

Extrema handledsvinklar har identifierats som riskfaktorer för olika typer av handledsbesvär. Handledsställningen är ofta direkt beroende av verktygets utformning i kombination med arbetsuppgiften och därför har ett antal designförslag presenterats, i första hand gällande knivar, hammare, tänger och filar, vilka reducerar handledsvinkeln vid användning. För handtag till sågar och andra pistolliknande verktyg ska en naturlig handställning eftersträvas, vilket innebär att handtaget vinklas cirka 70° gentemot arbetsriktningen (figur 4.28).



Figur 4.28. Naturlig handställning för såg (Jonsson, 1977).

Vibrationsöverföring

Verktygsutformningen har stor betydelse för överföringen av vibrationer till människan. Genom en lämplig utformning av handtaget kan vibrationsöverföringen reduceras avsevärt. Härvidlag måste dock en avvägning göras eftersom dessa åtgärder kan leda till att handtaget blir sladdrigt och man förlorar nödvändig kontroll över verktyget (se även kapitel 5). En god översikt av vibrationsproblematiken vid handverktygsanvändning ges i boken *Power Tool Ergonomics* (Lindqvist och Skogsberg, 2007).

Yttryck

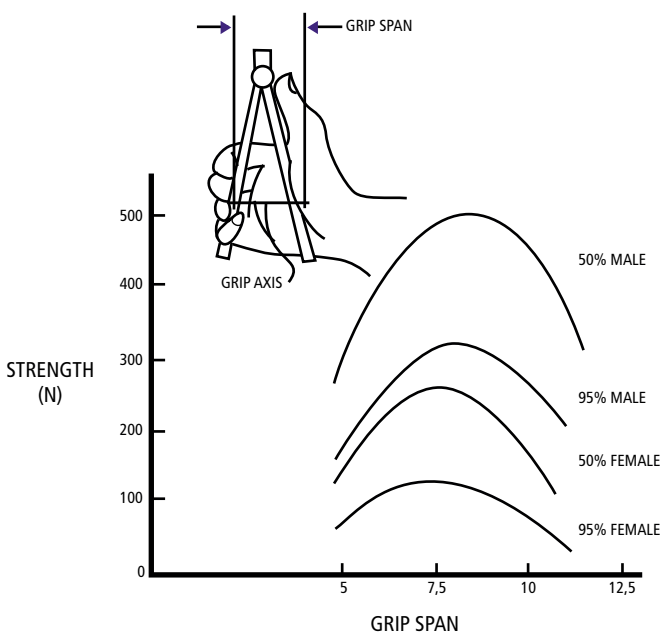
Vid alldaglig hantering av föremål och verktyg ligger trycknivåerna inom området 10–100 kPa. När större krafter ska överföras stiger trycket och extrema nivåer på upp till 1 000 kPa har uppmätts vid maximala prestationer. Blodcirkulationen i huden

i handflatan upphör vid ett yttryck på cirka 50 kPa. För att vävnadsskada ska uppstå måste cirkulationen dock vara strypt i flera timmar. Högsta subjektivt accepterade trycknivå i handflatan under längre verktygsanvändning för kvinnor respektive män är ungefär 100 respektive 200 kPa. Vid ett tryck av cirka 400–500 kPa börjar de flesta människor uppleva smärta (*pressure pain threshold, PPT*). Den tryckkänsligaste delen av handflatan är tumvalken. Praktiska konsekvenser av detta är att skarpa kanter och rillor inte får förekomma på ytor i kontakt med handen.

Skänkelverktyg

En basal frågeställning när det gäller skänkelverktyg är hur stort avståndet mellan skänklarna ska vara för att optimal kraftutveckling och överföring till verktygets käftar ska erhållas. Ett flertal undersökningar har genomförts med parallella skänklar och de flesta finner ett optimum mellan 45–70 mm skänkelavstånd beroende på handstorlek. Mätningar med vinklade skänklar så som de är orienterade i ett skänkelverktyg är färre. I en klassisk undersökning av Fitzhugh, som refereras i många textböcker, redovisas percentilkurvor av maximalvärden för män och kvinnor som funktion av skänkelavståndet enligt figur 4.29. I verktyg av typen häftpistoler ökar kraften linjärt med det krympande avståndet mellan skänklarna, vilket är en dålig anpassning till kurvorna i figur 4.29. Praktisk forskning har visat att det är fullt möjligt att konstruera en bättre anpassad häftpistol som resulterar i betydligt lägre belastning på hand/arm med oförändrad output. Tyvärr har tillverkarna ännu ej tillämpat denna kunskap.

Ett riktvärde för kraftkraven är att de inte bör överskrida 30 procent MVC vid långvarigt bruk.



Figur 4.29.
Greppstyrka kring
skänkelverktyg
som funktion av
avståndet (Chaf-
fin, Andersson och
Martin, 1999).

Slående verktyg

Grundprincipen för slående verktyg är att ett huvud med en viss massa accelereras till en viss hastighet vilket ger huvudet en viss rörelseenergi. Vid den stöt som uppkommer när huvudet möter sitt föremål bör så stor del som möjligt av huvudets rörelseenergi överföras till föremålet (till exempel hammare/spik) eller avancera verktyget (till exempel en yxa) in i föremålet. Huvudet på en yxa som ska användas av män bör inte vara tyngre än 2,75 kg. Optimal tyngd för en kvinna ligger sannolikt lägre.

Skärande verktyg

Professionell användning av knivar förekommer mestadels inom livsmedelsbranschen (fiskrensning, slakteri och styckning, restaurang). Arbetet är ofta förknippat med hög repetitivitet, monoton och stora krafter vilket gör att en optimal utformning av verktygen är av extra stor vikt. En nyckelfråga när det gäller utformningen av en kniv är vinkeln mellan knivblad och skaft. Detta handlar till stor del om att minimera avvikelser från neutral handledsvinkel. En optimal knivutformning blir därför starkt relaterad till arbetsställning och uppgift. Försök har gjorts i USA med en pistolliknande utformning av en kniv, bland annat avsedd för kycklingslakt. Denna utformning ger en bättre handledsställning. Det visar sig dock att det är svårt att få acceptans hos brukarna för en sådan utformning. En förklaring till detta kan vara att man sannolikt har en bättre kontroll över knivens läge med nedvinklad hand (ulnardevierad). Detta innebär alltså en konflikt mellan belastningsergonomiska och funktionella krav.

Skruvmejslar

Den grundläggande funktionen hos en skruvmejsel är att på ett optimalt sätt överföra ett vridande moment som genereras i fingrar/underarm/armar (tvåhandsgrepp förekommer) till en skruv med god kontroll och feedback. Det maximalt möjliga överförda momentet ökar principiellt med diametern på handtaget upp till maximal greppvidd. Med undantag för de största skruvmejslarna gäller att överfört moment ska optimeras, inte maximeras, eftersom ett för högt moment kan förstöra såväl mejsel som skruv och/eller de med skruven förbundna föremålen. En manshand klarar med en stor skruvmejsel maximalt av att generera ett moment av storleksordningen 5–6 Nm.

För i första hand mindre och längre skruvar finns också ett behov av att med hög hastighet och lågt moment skruva i/ur desamma. Detta åstadkommer man genom att utforma ett område på skaftet (oftast närmast klingan) med liten diameter, vilket ger snabb rotation vid rullning mellan tumme och pekfinger.

Handtag för handhållna maskiner

Tre huvudtyper av handtag kan urskiljas: pistolhandtag, rak skruvdragare (in-line-handtag) och handtag för vinkelmutterdragare. Förutom dessa huvudtyper finns det ett stort antal specialkonstruerade handtagstyper för olika maskiner. För tyngre maskiner och maskiner med höga kraftkrav är tvåhandsfattning en nödvändighet.

Vid roterande maskiner är en viktig uppgift hos handtaget att på skonsammaste sätt till användaren överföra det genererade vridmoment. Principiellt sett bör därför handens angreppspunkt ligga så långt ifrån rotationscentrum som möjligt för att maximera momentarmen.

När det gäller pistolgreppet rekommenderas för en man ungefärliga dimensionerna 50x35x120 mm. Man ska dock komma ihåg att kvinnor kan använda dessa verktyg, vilket kan motivera en reduktion av de två första måtten med 10–20 procent. Vinkeln mot verktygets arbetsriktning bör vara 70°–80°, vilket tidigare har illustrerats i figur 4.28.

I en rak skruvdragare är motorn inbyggd i själva greppet och verktyget är vanligen fjädrande upphängt för att föras ner mot arbetsstycket. En rekommenderad diameter är 35 mm. Om dragmomenten är stora kan en större diameter övervägas men verktyget kan då bli svårt att greppa för användare med små händer. En annan lösning kan vara att komplettera med ett handtag vinkelrätt mot rotationsaxeln.

För vinkelmutterdragare är det enda kriteriet vad det gäller diameter att handtaget så bra som möjligt ska fördela krafterna som uppkommer vid sluttrycket över greppytan. Detta ryck är i många fall stort. I gengäld bör skaftets längd vara så stor som är praktiskt möjligt för att ge maximal momentarm, vilket minskar kraftpåkänningen. Rycket som uppstår i slutfasen av åtdragningen av ett skruvförband ger ofta upphov till belastningsbesvär i de övre extremiteterna. Ett sätt att eliminera rycket är att förse maskinen med ett mothåll som anbringas mot någon oftast specialdesignad del av arbetsstycket.

I en speciell klass av roterande maskiner, impulsmaskiner, minskar rycket avsevärt. Nackdelar är att det är svårt att kontrollera dragmomentets storlek och att de genererar mera buller och vibrationer.

Den mest problematiska av alla vinkelmaskiner är sannolikt vinkelslipen genom sina höga vibrationsnivåer och vanliga förekomst. Vibrationerna genereras inte enbart av själva slipfunktionen utan uppkommer också på grund av ofullständigheter i den cirkulära geometrin hos slipskivan och icke helt centrerad montering av slipskivan. Dessa faktorer måste därför beaktas vid anskaffning och montering av slipskivor. Vibrationsdämpande handtag kan också ge en viss lindring av vibrationerna (se även kapitel 5).

Tangentbord

Utformningen av de tangentbord vi normalt ser i datorsammanhang är långt ifrån optimerad ur ergonomisk synvinkel. De alfanumeriska tangenternas placering i fyra raka rader och dess inbördes ordning (QWERTY-tangentbordet) har huvudsakligen sitt ursprung i tekniska begränsningar hos de första konstruktionerna av den mekaniska skrivmaskinen vid 1800-talets slut. Trots att dessa tekniska begränsningar sedan åtskilliga decennier är fullständigt eliminerade lever QWERTY-designen ändå kvar i kraft av en stark tradition. Den huvudsakliga invändningen mot denna utformning är att handlederna tvingas in i en ulnardevierad arbetsställning, vilket utgör en riskfaktor.

Vidare är den inbördes placeringen av bokstäverna inte optimal i förhållande till respektive användningsfrekvenser och sekvenser (olika i olika språk). Den traditionella uppvinklingen av tangentbordet ger även en icke önskvärd extension i handleden.

För att möjliggöra en arbetsställning med raka handleder har ett antal alternativa konstruktioner med mer eller mindre stora avsteg från konventionell design tagits fram. En stark tradition och högre kostnader gör dock att den gammaldags QWERTY-designen fortfarande dominerar.

De mekaniska egenskaperna hos själva tangenten har också varit föremål för ingående studier. Erforderlig kraft för att aktivera en tangent ligger vid moderna tangentbord på 0,5–1 N. Dessa låga krafter utgör sannolikt inte något belastningsergonomiskt problem i sig. När det gäller funktion, acceptans och komfort är känslan i tangenten av större vikt. Denna subjektiva kvalitet byggs upp av det komplexa samspelet mellan kraft/tid-förloppet vid anslag och ljudet som alstras.

Ytterligare en viktig aspekt av tangentbordsutformningen är dess bredd som får konsekvenser för möjligheterna till mushantering. Konventionella tangentbord med numerisk tangentsats till höger om ordinarie tangenter är oftast för breda, speciellt för smalaxlade kvinnor. En placering av musen alltför långt åt sidan medför oacceptabel utföring av överarmen. Detaljerad information kring dessa förhållanden återfinns på websidan www.av.se/teman/datorarbete/forebygg/mobler/fordjupning.aspx.

Pekstyrdon

Införandet av ett grafiskt användarinterface med tillhörande pekanordning (mus, styrkula et cetera) för användaren innebar att datorns användarvänlighet ökade avsevärt och har bidragit till att datorn kunnat bli var mans verktyg. Den nya styrtekniken ställde samtidigt nya krav på manuell färdighet och innebar en mycket mera statisk belastningssituation för hand/arm jämfört med styrning via tangentbord. Det är därför inte konstigt att den nya styrtekniken har givit upphov till ett stort antal nya fall av belastningsskador och besvär med den alldagliga benämningen musarm. Det finns dock inget som tyder på att detta skulle vara någon ny specifik åkomma utan får ses som en kombination av redan etablerade diagnoser och besvärstyper.

Musstyrning ger upphov till fysiska belastningar på hand/arm/skuldra, vilka är beroende av styrdonets tekniska utformning i komplext samspel med placering, förekomst av handleds/underarmsstöd, arbetsteknik, bordshöjd och sittställning. Man kan vid traditionell musstyrning urskilja två skilda arbetstekniker. Antingen för man musen med hela armen med i stort sett stel handled eller så vilar man handleden på underlaget (eller ett handledsstöd) och styr musen med handledsdeviation (i sidled) och fingermanipulation (i höjddled). Den första varianten som torde vara den vanligaste ger högre belastning på skuldermuskulaturen men liten handledsbelastning på grund av neutral position. Skulderbelastningen kan dock minskas genom adekvat stöd för underarmen. Den senare varianten ger lägst skulderbelastning men ger i gengäld hög handledsbelastning på grund av frekventa handledsdeviationer ut mot extremlägena. Många individer tillämpar en kombination av dessa båda tekniker.

Sedan den ursprungliga musen introducerades har det presenterats ett stort antal alternativa tekniska lösningar som minskar/varierar den fysiska belastningen på hand/armssystemet. Vanligast torde vara styrkula och mouse-trapper. Den senare styrs med tummarna och monteras strax nedanför mellanslagstangenten på tangentbordet. En variant av den traditionella musen har utvecklats där man håller i ett upprättstående handtag, vilket eliminerar den pronerade handställningen. Denna lösning förutsätter dock styrning med hela armen eftersom möjligheten till fingermanipulation för styrning inte existerar. Andra alternativ är muspennan och pekplattan.

Styrning med styrkula påminner i belastningshänseende mycket om musstyrning enligt handledsmetoden relaterad ovan. Armen avlastas till stor del medan handledsbelastningen är hög. Handledsextensionen är oftast något högre med styrkula. Detta är dock till stor del beroende av höjden på eventuellt handledsstöd.

Den traditionella musen är långt ifrån optimal i sin utformning ur ergonomisk synpunkt. Dess snabba genomslag har dock redan gjort det svårt att introducera bättre alternativ (jämför med QWERTY-tangentbordet ovan).