



# Kroppens sammansättning av betydelse för prestationen

## Kroppspletysmografi med BodPod ny mätstandard?

Många idrottare låter bestämma kroppssammansättningen, dvs proportionen fett-muskel, och använder framtaget resultat som styrinstrument i upplägningen av träning och kosthåll. Ett flertal metoder finns, alla med sina för- och nackdelar. Nu har en elegant metod kommit som på ett enkelt och förhoppningsvis tillförlitligt sätt mäter fett och fettfri massa i kroppen. Vi har tittat lite närmare på utrustningen (BodPod), och redovisar här erfarenheterna.



**ERIC POORTVLIET**  
FORSKARSTUD  
**ANITA HURDIG-  
WENNLÖF**  
FORSKARSTUD  
**AGNETA YNGVE**  
FORSKARSTUD  
PREVNUT VID  
NOVUM,  
STOCKHOLMS LÄNS  
LANDSTING OCH  
KAROLINSKA  
INSTITUTET

Kroppens sammansättning, exempelvis förhållandet mellan fettvävnad och muskulatur, är av betydelse i olika sammanhang och av helt olika anledningar. På befolkningsnivå är kroppssammansättningen en viktig bestämningsfaktor för sjuklighet och dödlighet. Fetma, ett begrepp som uttrycker en övermängd av fettväv i kroppen, har blivit ett folkhälsoproblem och förekomsten av fetma ökar i både industrialiserade länder och i utvecklingsländer.

På individnivå hör intresset av kroppssammansättning ofta ihop med uthållighetsidrotter. Överflödigt kroppsfett påverkar prestationen framför allt inom grenar som innebär förflyttning av den egna kroppsvikten. Många idrottare har därför låtit bestämma proportionen fett-muskel, och använt framtaget resultat som styrinstrument i upplägningen av träning och kosthåll.

Ett flertal metoder för bestämning av kroppssammansättning finns för såväl befolkningsstudier som för studier av enskilda individer. Basmåtten för kroppsmätningar (antropometri) är längd, vikt och omkretsmätningar.

Dessa är också de vanligaste förekommande variablerna vid epidemiologiska studier. Antropometriska mått som baseras på dessa värden är Body Mass Index (BMI = vikten i kg/ (längden i meter)<sup>2</sup>) samt midja-stuss kvoten. BMI och midja-stuss kvot används för att skatta förekomsten av övervikt och fetma hos stora grupper. BMI skiljer emellertid inte på vikt som beror på muskler och vikt som beror på fett. Det medför att många idrottare blir felaktigt klassificerade som överviktiga beroende på sin stora muskelmassa. För att särskilja muskelmassa från fettmassa krävs mer avancerade metoder.

I det följande redovisas översiktligt sådana metoder. Särskild uppmärksamhet ägnas kroppspletysmografi. Det är en nyligen introducerad metod, som är mycket enkel att tillämpa, och som kan komma att bli ny standard på området om det är så att den angivna precisionen håller i praktiken. Vi har testat denna metod mer ingående och redovisar här gjorda erfarenheter. Inledningsvis ges en översikt av tillgängliga metoder och de principer de arbetar efter.



### Direkt eller indirekt metod

Fett respektive fettfri andel av total kroppsmassa kan mätas enligt två huvudprinciper:

1. Direkt mätning genom kemisk analys av vävnadsprover. Helkroppsanalys kan endast utföras på avlidna, vilket minskar metodens användbarhet och validitet för levande och friska personer.
2. Indirekta mätningar är det vanligaste sättet att skatta total kroppssammansättning. Exempel på indirekta metoder är undervattensvägning (UVV), hudvecksmätningar, omkrestmätningar, impedansmätning (Bioelectrical Impedance Analysis, BIA) samt röntgenteknikerna DXA (dual-X-ray absorptiometry) och datortomografi (computer tomography, CT).

De indirekta metoderna kan delas upp i fältmässiga metoder (hudvecksmätningar och BIA) samt laboratoriemässiga metoder (UVV, DXA, CT). Alla metoder bygger på den principiella indelningen av total kroppsmassa i avgränsade enheter ”compartments” t.ex. fettmassa, fettfri massa, benminerale, proteiner, vatten etc.

#### Compartiment-modellen

Beräkningarna för olika metoder bygger på modeller där kroppen delas in i olika antal fack (compartments), vilket också ger modellernas benämningar, dvs två-, tre-compartimentmodell o.s.v. Två-compartimentmodellen är den äldsta modellen. Den delar in kroppen i fettmassa respektive fettfri massa. Man antar att tätheten, densiteten, för fett är  $0.900 \text{ g/cm}^3$  vid  $37^\circ \text{ C}$ , medan fettfri massa har densiteten  $1.100 \text{ g/cm}^3$ . Fettet har en relativt homogen sammansättning medan den fettfria massan är mycket heterogen och består av vatten, fett, protein, mineraler och övriga ämnen. Detta innebär att det är en betydande risk för variationer inom samma individ beroende på aktuell vätskebalans. Dessutom finns skillnader framför allt i benmineralinnehåll mellan befolkningsgrupper, åldersgrupper och grupper med särskilda sjukdomstillstånd, t.ex. osteoporos.

Tre-compartimentmodellen tar med i beräkningen ytterligare en komponent i den fettfria kroppsmassan, exempelvis vatten, mineral eller protein, och justerar den antagna specifika vikten för FFM så att den bättre avspeglar de faktiska förhållandena. Teoretiskt förhål-

ler det sig naturligtvis så att ju fler komponenter i FFM som kan mätas i stället för att antas till ett schablonvärde, ju högre precision bör skattningen av FM och FFM få. Användandet av multi-compartmentmodeller, genom att kombinera tre eller fler metoder (UVV, BIA, DXA), skulle ytterligare kunna reducera de fel som antagna värden medför. Som alltid är det emellertid så att varje metod kräver sin utrustning, undersökningstid och testledare med kunskap och erfarenhet, vilket medför att resurserna begränsar kombinationsmöjligheterna. Vanligtvis används UVV, BIA och hudvecksmätningar, metoder som bygger på två-compartments modellen.

#### Undervattensvägning – en våt standard

Undervattensvägning, hydrodensimetri, är den vanligaste täthetsmätningssmetoden. Metoden är validitets- och reliabilitetsprövad och anses av många att vara referensmetoden för skattning av kroppssammansättning. UVV innebär en nedsänkning av hela kroppen i vatten och ger genom den undanträngda vattenvolymen en direkt mätning av kroppsvolymen enligt Archimedes princip: När en kropp sänks ned i vatten förlorar den lika mycket i tyngd som den undanträngda vattenmängden väger. Volymen av den nedsänkta kroppen beräknas med hjälp av vattnets densitet som är temperaturberoende (tabellvärden finns). När man har både vikt och volym beräknas kroppens densiteten som vikt/volym.

Testpersonen vägs uppe i luften samt helt nedsänkt i vatten, vattnets densitet korrigeras för aktuell temperatur. Volymen av innesluten luft i lungorna korrigeras för, antingen genom ett tabellvärde baserat på ålder och kroppslängd eller att residualvolymen är känd genom tidigare utförd spirometriundersökning med heliumspädning eller kväveutsköljningsteknik. Volymen av innesluten gas i mag-tarmkanalen bidrar också till viktminskningen i vatten, men den volymen mäts aldrig utan antas oftast vara 100 ml.

Helkroppsdensiteten,  $D$ , beräknas sedan enligt  $D = \text{kroppsmassa/volym}$ . Andelen kroppsfett beräknas därefter enligt någon av de empiriska formler som finns för förhållandet mellan fettinnehåll och helkroppsdensitet. Den mest använda formeln är den framtagen av Siri:  $\text{Kroppsfett} = 495/D - 450$  (1)

Nackdelarna med UVV är att den är tidskrävande, kräver speciell anläggning för utrustningen samt är tämligen

besvärlig för testpersonen. För många grupper är det svårt eller rent av omöjligt att genomföra UVV på grund av de praktiska svårigheterna, exempelvis vid undersökning av gamla personer, hjärtpatienter, kraftigt överviktiga eller individer med andra handikapp. Metodens fördelar är att den kan ge reproducerbara resultat för helkroppsdensitet, men det kräver att både testperson och testledare är vana vid metoden.

#### Hudvecksmätningar – snabbt, billigt men ganska trubbigt

Hudvecksmätning är en snabb och billig metod att skatta andel kroppsfett genom att anta att hudveckens tjocklek speglar total fettmassa. Genom jämförelser av UVV och hudvecksmätningar har köns- och åldersspecifika regressionsekvationer skapats för att beräkna helkroppsdensitet. Från den beräknade helkroppsdensiteten beräknas sedan andelen kroppsfett utifrån nämnda empiriska formler.

Begränsningarna med metoden ligger främst i att det är betydande skillnader både inom individ och mellan individer i hur fettdepåerna är fördelade. Det ger skillnader i resultat beroende på vilka anatomiska punkter som väljs som mätpunkter, men ställer också stora krav på testledarens precision och handlag. Aktuell vätskebalans påverkar också resultatet och patienter med ödem får falskt för höga fettvärden p.g.a. att hudvecken innehåller mer vätska än normalt.

#### Bioimpedansmätning – mätning ”mot strömmen”

Bioelektrisk impedansmätning (BIA), baseras på förhållandet mellan olika vävnaders elektriska motstånd. Kroppens vatten har det lägsta motståndet, medan benminerale och fetter har det högsta motståndsvärdet. Metoden kräver att man placerar elektroder på väldefinierade anatomiska punkter, vanligtvis på händer och fötter. Det finns prediktionsformler för skattning av totalvatten från BIA-värden för olika elektriska mätfrekvenser samt för extracellulärt respektive intracellulärt vatteninnehåll. Genom att anta att fettfri kroppsmassa innehåller ca. 73% vatten erhålls ett indirekt mått på kroppens sammansättning. BIA-system är enkla att handha, inte alls påfrestande för testpersonen, relativt billiga samt portabla. Metodens huvudsakliga begränsning utgörs av det starka beroendet av hur vattnet är fördelat i kroppen, vilket emellertid varierar med



Bild 1. Foto: Michael Brannäs

ålder, kön, biologisk rastillhörighet och mängden kroppsfett.

### Kroppspletysmografi – ett torrt alternativ

Kroppsvolymen kan även bestämmas genom mätning av tryck-volymförhållanden i luft. Medan undervattensmätning mäter kroppsvolymen genom den undanträngda vattenmängden (water-displacement) mäter kroppspletysmografi kroppsvolymen genom den undanträngda luftvolymen (air displacement). Tekniken är inte ny, men har utvecklats till smidigare system. Nyligen kom BodPod ut på marknaden, just för sådan bestämning av kroppssammansättning (2). BodPod består av en äggformad kammare med sittplats för en person inuti (Bild 1). "Ägget" är av glasfiber och har en genomskinlig fönsterdel på frontluckan.

Pletysmografen består av två kamrarna (Figur 1). Försökspersonen sitter i den främre kammaren som man går in

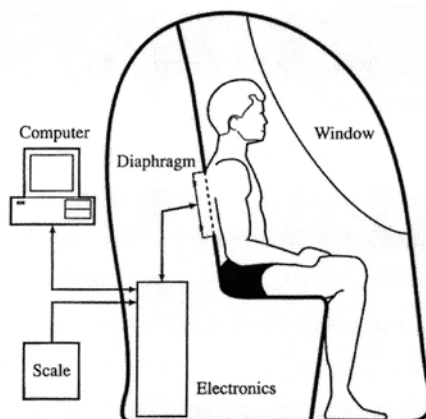
i genom frontluckan. Under mätning är passagen tät genom elektromagnetisk låsning. Den bakre kammaren innehåller mätinstrumenten, tryckgivare, ventilationssystem och andningskretsar. Tryckvariationerna inne i BodPod skapas genom ett rörligt membran

mellan främre och bakre kammaren som styrs av ett elektroniskt servosystem. Volymvariationerna som skapas är lika stora (350 ml) i båda kamrarna, men har olika riktning. Tryckvariationerna som skapas genom de kända volymvariationerna ger  $P_1$  och  $V_1$  och sätts in i Boyle's lag (nedan) för att räkna ut volym.

*Boyle's lag:  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$  där  $P$  = tryck och  $V$  = volym.*

Boyle's lag fastställer att, under konstant temperatur (isotermal), är produkten av tryck och volym konstant, och därmed att ökad volym ger lägre tryck och *vice versa*.

*Poisson's lag  $P_1/P_2 = (V_2/V_1)^\gamma$  beskriver förhållandet mellan tryck och volym under inneslutna temperaturförändringar (adiabatiska förhållanden, dvs inget temperaturutbyte med omgiv-*



Figur 1. Diagram av BodPod



ningen). När trycket ökar får gasmolekylerna mer kinetisk energi och temperatur, och  $y$  är en faktor för aktuell temperatur vid specifikt tryck och volym. I praktiken innebär dessa lagar att luft under konstant temperatur är lättare att komprimera, kräver mindre tryckförändring. För en given gasvolym och en given tryckförändring, blir alltså tryckförändringen lägre vid konstant temperatur än under adiabatiska förhållanden.

En viktig bidragande faktor till isothermala förhållanden i testkammaren är luftvolymen i lungorna under normalandning, medelvärdet av den thorakala (thorax = bröstkorget) gasvolymen (TGV). Utan korrektion för TGV underskattas kroppsvolymen med ca 40% av TGV beroende på de isothermala förhållandena i lungorna, vilket medför en överskattning av kroppsdensitet och därmed en underskattning av andelen fettmassa. Bestämning av TGV görs med standardiserade lungfysiologiska mätningar som bygger på principen att registrera tryckförändringarna från andningsrörelser mot ett slutet membran i ett andningssystem. Dessa tryck-volymmätningar utförs i omedelbar anslutning till mätningarna av kroppsvolym, fortfarande sittande kvar inne i BodPod. Ett alternativ till mätning av TGV är att prediktera enligt följande formel:

$$TGV = \text{funktionell residuallkapacitet (FRK)} + \frac{1}{2} \text{tidalvolym (TV)}$$

Köns- och åldersspecifika prediktionsformler finns för FRK och TV

Ytterligare bidrag till isothermala förhållanden är testpersonens kroppsyta. Luft nära hud, hår och ev. kläder motstår temperaturförändringar (isolerar). Påverkan från dessa faktorer minskas genom att mätningarna sker med minimalt med kläder, helst åtsittande underkläder eller baddräkt, samt att huvudhår komprimeras med en badmössa. Felkällan som beror på luftvolym nära kroppsytan benämns "body surface artifact" (SAA) och korrigeras bort genom att en faktor multipliceras med beräknad kroppsyta (3).

En fullständig mätning innehåller mätning av den okorrigerade kroppsvolymen, beräkning av SAA, och mätning eller skattning av TGV. Både SAA och TGV används för att korrigera den uppmätta, okorrigerade kroppsvolymen till beräknad kroppsvolym enligt följande:

$$\text{Kroppsvolym (L)} = \text{uppmätt okorrigerad kroppsvolym (L)} - \text{SAA (L)} + 0.40 \times \text{TGV (L)}$$

För varje testperson görs en tvåpunktskalibrering med tom mätkammar och med hjälp av en 50-liters kalibreringscylinder. Först mäts kammaren tom, därefter sätts den kända 50-litersvolymen in så att en regressionsekvation kan beräknas utifrån registrerad tryckförändring som funktion av känd volymsförändring. Efter kalibreringen görs två registreringar för testpersonen. Om båda försöken registreras med högst 150 ml skillnad, medelvärdet beräknas registreringarna och ges ut som resultat. Skiljer värdena mer än 150 ml krävs att ytterligare en registrering genomförs. Två registreringar tar ca. 45 sekunder, och försökspersonen ombads att sitta så still som möjligt under den tiden. Resultaten visas kontinuerligt på data monitorn (Bild 2).

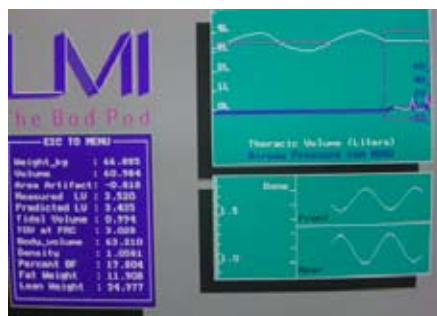


Bild 2

Som pletysmografisk metod är BodPod betydligt enklare att utföra än UVV, skillnaden ligger framför allt i bekvämligheten för försökspersonerna. Därmed minskar risken för den felkälla som svårigheter att klara av mätmomenten eller dåligt samarbete mellan försöksperson och testledare innebär.

#### Testning av BodPod; Material och Metod

Ännu är metoden endast lite testad för validitet, reliabilitet och jämförelse med

andra metoder för skattning av kroppssammansättning. Enheten för preventiv näringslära har en BodPod-utrustning och har också undersökt dess validitet och reproducerbarhet i två separata studier utförda på totalt 57 friska vuxna personer (4).

#### Test-retest reliabilitet

Reliabiliteten uppmättes genom att upprepa BodPod-mätningarna med 48 timmar mellanrum för 20 friska vuxna (10 kvinnor och 10 män), alla anställda vid Novum Research Centre i Hudinge (Tabell 1). Testpersonerna ombads att avstå från fysisk träning samt kostintag två timmar innan testet. Varje test bestod av en beräkning av kroppsdensiteten med hjälp av skattad TGV, och en beräkning med hjälp av uppmätt TGV.

#### Validitetsstudie

Validiteten, giltigheten, kontrollerades genom att jämföra BodPod-resultaten med en mer etablerad metod, DXA (Lunar DPX-L, software version 1.3). Alla tester genomfördes vid Falu Lasarett på 40 friska vuxna, 20 kvinnor och 20 män. All försökspersoner var deltagare i hälsoprojekt vid hälsocentret. De flesta av männen deltog i ett forskningsprojekt som syftade till att förbättra den fysiska statusen hos officerare. Alla försökspersoner var informerade om försökets praktiska genomförande och målsättning. De enda instruktionerna som gällde för DXA-undersökningen var att alla metallföremål skulle avlägnas.

#### Statistisk analys

Analysarbete har genomförts med SPSS för Windows, version 9.0. Reliabilitetsdata för BodPod testades med parat t-test och korrelationsanalys. Som precisionsmätt beräknades tekniskt fel enligt  $(Sd^2/2n)^{1/2}$ , där  $d$  är skillnaden mellan de två upprepade försöken och  $n$  är antalet parvis observationer. Multipel regressionsanalys användes för att jämföra resultaten mellan BodPod och DXA.

	Testtillfälle 1	Testtillfälle 2
	Medelvärde ± SD	Medelvärde ± SD
Ålder	32.2 ± 7.7	32.2 ± 7.7
BMI	23.2 ± 2.2	23.2 ± 2.2
Kroppsfett (skattad TGV) (%)	26.9 ± 7.7	26.7 ± 7.7
Kroppsfett (uppmätt TGV) (%)	29.8 ± 6.5	29.7 ± 6.6

TGV = Thorakal Gasvolym (gasvolym i bröstkorget)

Tabell 1. Medelvärde och standardavvikelse för undersökta kroppsmått vid två olika testtillfällen (n = 20)



### Experimentell design

DXA- och BodPod-mätningarna utfördes separat av två erfarna testledare. Testerna utfördes enligt bruksanvisningarna från leverantörerna, både för kalibreringsförfarande och för utförande av mätprocedurer. Alla tester genomfördes under en vecka och samma försöksperson genomförde båda testerna under samma dag med ca. 30 minuters mellanrum mellan testerna. Halva gruppen mättes först med BodPod och andra halvan utförde DXA-mätningen först.

### Resultat

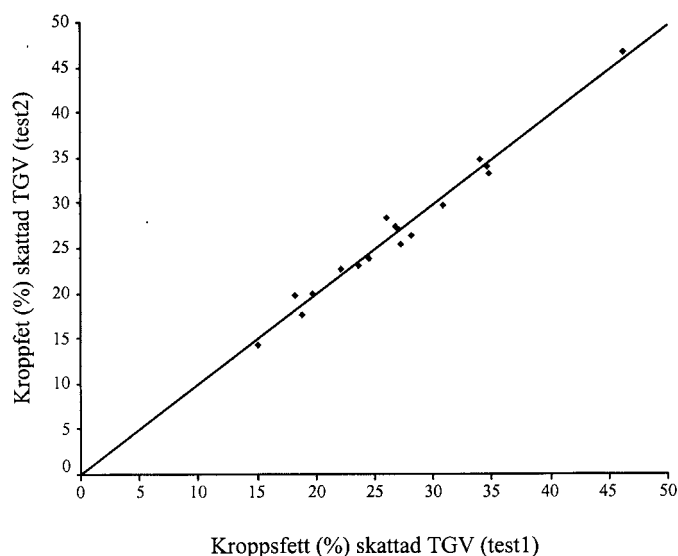
#### Reliabilitet

Medelvärde för andel kroppsfett för försök 1 ( $26.9\% \pm 7.7\%$ ) skilde inte från försök 2 ( $26.7\% \pm 7.7\%$ ) vid användandet av predikterad TGV. Inte heller vid användandet av uppmätt TGV förlåg någon signifikant skillnad mellan försök 1 och försök 2 ( $29.8\% \pm 6.5\%$  respektive  $29.7\% \pm 6.6\%$ ). Korrelationskoefficienten mellan de två försöken var mycket hög ( $r = 0.99$ ) för både predikterat värde och uppmätt värde av TGV (Figur 2)

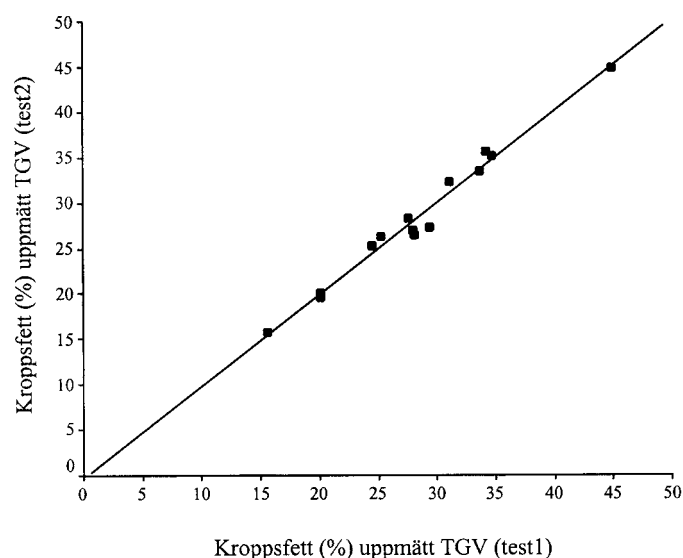
Det tekniska felet mellan de två försöken var  $0.81\%$  för skattad TGV och  $1.06$  för uppmätt TGV. Resultaten indikerar god överensstämmelse på gruppnivå för såväl skattad TGV och uppmätt TGV. Den individuella variationen mellan skattad respektive uppmätt TGV i försök 2 var  $-0.61 \pm 1.44\%$  (från  $-2.6\%$  till  $1.8\%$ ). Av samtliga försökspersoner låg omkring  $80\%$  ( $78\%$ ) inom  $\pm 2\%$  kroppsfett mellan de båda försöken för både skattad och uppmätt Tgv.

#### Validitet

Resultaten från DXA visade signifikant lägre andel kroppsfett jämfört med BodPod, ( $29.9\% \pm 8.8\%$  vs  $33.4\% \pm 9.1\%$ ,  $P < 0.001$ ), medelavvikelsen för skillnaden var  $3.5\% \pm 3.2\%$  (95% KI  $2.2\% - 4.8\%$ ) (Tabell 2). Variansanalysen visade att andelen kroppsfett hos män var mer underskattat än hos kvinnor. Värdena för 20% av samtliga testpersoner låg inom  $\pm 2\%$  skillnad i beräknat kroppsfett mellan BodPod och DXA (bland kvinnorna låg 30% av dem inom  $\pm 2\%$ , bland männen var 10% av dem inom  $\pm 2\%$ ). Detta visas i Figur 3 där medelvärdet av de två metoderna visas mot differensen mellan dem, s.k. Bland-Altman-plot. Medelvärdet för skillnaden mellan metoderna var för män  $4.5\% \pm 3.2\%$  (95% KI  $3.0\% - 6.1\%$ ,  $P < 0.001$ ), och för kvin-



Figur 2a Korrelationen mellan två teststillfällen med skattad thorakal gasvolym (TGV)

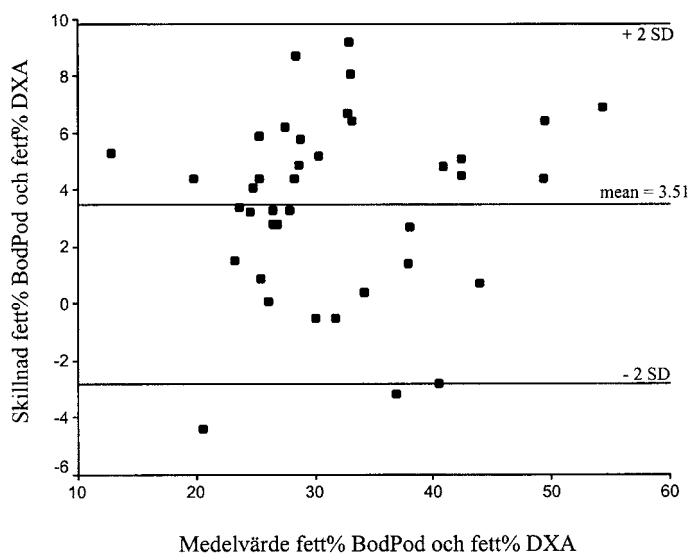


Figur 2b Korrelationen mellan två teststillfällen med uppmätt thorakal gasvolym (TGV)

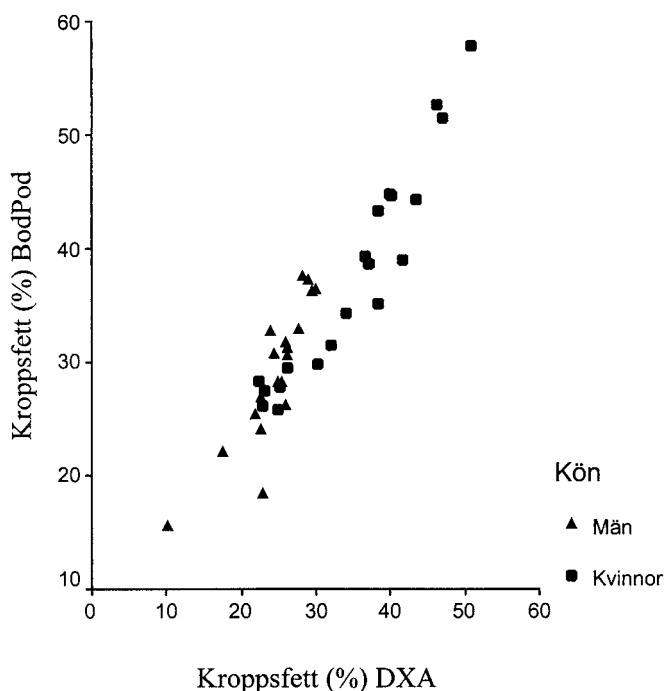
	Alla n = 39	Kvinnor n = 20	Män n = 19
	Medelvärde $\pm$ SD	Medelvärde $\pm$ SD	Medelvärde $\pm$ SD
Ålder	42.3 $\pm$ 7.7	41.9 $\pm$ 9.7	32.8 $\pm$ 5.1
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	27.7 $\pm$ 5.0	27.0 $\pm$ 5.7	28.4 $\pm$ 4.0
Kroppsfett (skattad TGV) (%)	33.4 $\pm$ 10.0	37.3 $\pm$ 10.8	29.3 $\pm$ 7.2
Kroppsfett (uppmätt TGV) (%)	33.4 $\pm$ 9.1	37.6 $\pm$ 9.6	29.0 $\pm$ 6.2
Kroppsfett (DXA) (%)	29.9 $\pm$ 8.8	35.1 $\pm$ 8.8	24.5 $\pm$ 4.6

TGV = Thorakal Gasvolym (gasvolym i bröstkorget); DXA = Dual-X-ray Absorptiometry (röntgenteknik)

Tabell 2. Kroppsfett BodPod (skattad och uppmätt TGV) och DXA



Figur 3 Bland-Altman plot för beräknat kroppsfett från BodPod och DXA



Figur 4 Korrelation mellan beräknat kroppsfett från DXA och BodPod

nor  $2.5\% \pm 2.9\%$  (95% KI 1.2% - 3.9%,  $P < 0.001$ ).

Korrelationen mellan BodPod och DXA var hög och visas i Figur 4, Pearson's korrelationskoefficient,  $r = 0.94$ .

### Slutsatser

Resultaten visar att BodPod är en pålitlig metod för att beräkna andel kroppsfett båda vid användandet av skattad TGV och uppmätt TGV. Inga signifikanta skillnader förelåg, varken på grupp nivå eller på individnivå. Metoden är också visad att vara av värde (valid) för beräkning av andelen kroppsfett eftersom resultaten från BodPod korrelerar mycket starkt med resultaten från DXA-L över ett relativt stort mätområde för andelen kroppsfett hos friska vuxna personer. Vi fann emellertid ett signifikant lägre värde för andel kroppsfett beräknat med DXA-L än med BodPod, med större avvikelse för män än för kvinnor. Det är inte klarlagt om denna skillnad beror på ett falskt för lågt värde från DXA-L eller ett falskt för högt värde från BodPod, eller en kombination av båda varianterna. Ytterligare studier ska ägnas åt att studera orsakerna till individvariationer i BodPod-beräkningarna.

### Referenser

1. Siri W. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, editors. *Techniques for measuring body composition*. Washington: National Academy of Science/National Research Council, 1961:223-4.
2. Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1692-7.
3. Dubois D, Dubois E. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med* 1916;17:863-71.
4. Nyhem, G. Comparison of an air displacement plethysmograph (BodPod) with dual-energy X-ray absorptiometry in adults: validity and reliability. Master's Thesis in Public Health Sciences at Karolinska Institutet, *Preventive Nutrition and Physical Activity Reports* 2000;10.