

1998:29

Fysisk arbetsförmåga hos brandmän

Krav och testning

Désirée Gavhed
Ingvar Holmér

ARBETSLIVSRAPPORT

ISSN 1401-2928

ENHETEN FÖR ARBETSMEDICIN
ENHETSCHEF: PER MALMBERG



Arbetslivsinstitutet

Förord

Denna skrift är ett resultat av en rapport som sammanställdes på uppdrag av och med stöd av enheten för medicinska frågor vid Arbetarskyddsstyrelsen med anledning av revideringen av rök- och kemdykföreskriften AFS 1986:6, som nu föreligger som kungörelse AFS 1995:1. Den ursprungliga rapporten har uppdaterats och omarbetats för att publiceras som Arbetslivsrapport. Rapporten är en genomgång av litteraturen gällande fysiska krav för och fysisk belastning under räddningsarbete, främst rök- och kemdykning samt en genomgång av metoder som kan vara lämpliga för testning av den fysiska arbetsförmågan hos räddningspersonal i synnerhet, men även hos andra personalgrupper med fysiskt krävande arbeten.

Ett tack till Ulf Bergh, som givit värdefulla synpunkter på manuset under bearbetningen av denna rapport.

Ingvar Holmér

Innehåll

1. Bakgrund	1
1.1 Definitioner	2
2. Fysisk arbetsförmåga	3
2.1 Krav på syreupptagningsförmåga	3
2.2 Mätning av syreförbrukning vid arbete	4
2.3 Syreförbrukningen i relation till kroppsmassa och bördor	6
2.4 Belastning från skyddsutrustningen	7
2.5 Sammanfattning av kravet på syreupptagningsförmåga	7
2.6 Krav på rörelseorganen	8
2.6 Värmebelastning	10
2.7 Könsspekter	11
2.8 Variation i brandmannens fysiska arbetsförmåga	12
2.9 Fysisk träning och ålder	12
3. Arbetsprov	14
3.1 Tröskeltester	14
3.2 Maximalt test	15
3.2.1 Sammanfattande kommentarer om maximalt test	16
3.3 Submaximala tester för indirekt bestämning av maximal syreupptagningsförmåga	16
3.3.1 Kommentarer om indirekta metoder för bestämning av V_{O_2max}	17
3.4 Beskrivning och värdering av olika redskap/metoder för arbetsprov	17
3.4.1 Cykelergometer	18
3.4.2 Rullband	20
3.4.3 Step-bänk	22
3.4.4 Simulerat brandmansarbete	25
3.4.5 Löptest på bana	26
3.4.6 Trappgång	28
3.4.7 Gång utan börda	28
3.4.8 Roddmaskin	28
3.5 Uppföljning av fysisk arbetsförmåga ("konditionskontroll")	29
3.6 Värmetest	30
3.7 Rekommendationer och krav i andra länder	30
3.8 Avslutande diskussion om testning av fysisk arbetsförmåga	31
3.9 Rekommendationer för testning av rökdykares fysiska arbetsförmåga/syreupptagningsförmåga	33
3.10 Informationskällor	34
4. Sammanfattning	35
5. Summary (Sammanfattning på engelska)	36
6. Referenser	37

1. Bakgrund

Säkerhetsföreskrifter för rökdykning och kemdykning regleras i Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse om rökdykning AFS 1995:1 (2). Den som rök- eller kemdyker ska vid en årlig läkarkontroll godkännas för sådana arbetsuppgifter. Den fysiska arbetsförmågan ska testas med arbetsprov vart femte år. Personal över 40 år ska genomgå arbetsprov vartannat år och personal över 50 år minst varje år. Kravet för att få rök- eller kemdyka är att testpersonen klarar sex minuters arbete på cykelergometer med 200 W bromseffekt alternativt på rullband på hastigheten $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ och 8° motlut.

Cykelergometern har sedan länge använts vid arbetsprov av både arbetsfysiologiska och praktiska skäl. Metoden baseras på att den mekaniska verkningsgraden vid cykelarbete varierar tämligen lite mellan olika individer (153). Det innebär att energikravet under cykling mot en bestämd bromseffekt är i stort sett konstant, oavsett vem som utför arbetet. Metoden är enkel att använda och kostnaderna för anskaffning och underhåll av en cykelergometer är förhållandevis låga. Arbetsprovet kan genomföras av utbildade testledare på de enskilda arbetsplatserna.

Sedan införandet av fysiska prestationskrav enligt Arbetarskyddsstyrelsens föreskrift AFS 1986:6 (1) har testmetodiken kritiserats både av personal inom räddningstjänsten och av forskare. Arbetsprov på cykelergometer har ansetts alltför lite likna rök- och kemdykningsarbetet. Eftersom förflyttning av kroppsmassan (och skyddsutrustning) bidrar till den totala syreförbrukningen vid rök- och kemdykning (33, 42, 47, 92, 107, 128), har det ansetts att den borde ingå som en belastande faktor vid ett arbetsprov. Alternativa testmetoder, såsom rullbandstest och step-test har föreslagits och ansetts vara mer relevanta för brandmansarbete än cykelergometertest. År 1995 infördes därför rullbandstest som en alternativ testmetod i AFS 1995:1 (2).

Syftet med föreliggande arbete är att på basis av en litteraturgenomgång och personliga kontakter ge en översikt över och värdering av olika typer av arbetsprov för bestämning och testning av fysisk arbetsförmåga hos framför allt brandmän. Flera av de beskrivna metoderna för bestämning av fysisk arbetsförmåga lämpar sig även för andra yrkesgrupper med fysiskt krävande arbeten.

1.1 Definitioner

Arbetsprov	Undersökning av kroppens funktionella anpassning till ett fysiskt arbete av definierad intensitet och varaktighet.
Submaximalt arbetsprov	Arbetsprov under vilket belastningen hålls på sådan nivå att den funktionella anpassning som krävs underskrider den testade individens maximala kapacitet.
Maximalt arbetsprov	Arbetsprov under vilket belastningen ökas till eller bibehålls på sådan nivå att den funktionella anpassning som krävs motsvarar eller överskrider den testade individens kapacitet.
Simulerad rökdykning	Arbetsprov eller övning utförd med fullständig skyddsutrustning i realistiska arbetssituationer, i vissa fall under värmebelastning.
Fysisk arbetsförmåga	En persons förmåga att utveckla kraft, uthållighet och snabbhet vid muskelarbete.
Maximal syreupptagningsförmåga, V_{O_2max}	Det högsta uppmätta värdet på kroppens förmåga att ta upp och använda syrgas från inandad luft med normalt luftryck vid arbete med stora muskelgrupper under optimala förhållanden. Värdet anges i $l \cdot min^{-1}$ eller $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ kroppsvikt.
Högsta möjliga, "peak" syreupptagningsförmåga, V_{O_2peak}	Det högsta uppmätta värdet på kroppens förmåga att ta upp och använda syrgas från inandad luft under aktuella förhållanden vid arbete med gällande muskelgrupper. Värdet anges i $l \cdot min^{-1}$ eller $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ kroppsvikt. Värdet kan överskridas av V_{O_2max} vid ett annat typarbete och under andra betingelser.
Aerob kapacitet	Annan beteckning för maximal syreupptagningsförmåga.
Anaerob kapacitet	Kroppens förmåga att utveckla effekt vid arbete utan syrekrävande processer.
SE	"Standard error". Skattning av variationen i medelvärdet som kan förväntas om man tar upprepade stickprov från en population. $SE=SD/\text{roten ur antalet stickprov}$.
SD	Standardavvikelse. Representerar en medelavvikelse av alla observationer från medelvärdet.

2. Fysisk arbetsförmåga

2.1 Krav på syreupptagningsförmåga

Brandmansarbetet innebär både fysisk och mental belastning. Det fysiska arbetet innefattar bl.a. förflyttningar av den egna kroppsmassan, skyddsutrustning och bördor på plan mark och uppför stegar, trappor och i terräng och hantering av verktyg, redskap, maskiner och släckutrustning. Detta ställer krav på energileverans, muskelstyrka och hjärt-kärl-system.

Den fysiska belastningen (arbetstyngden) bestäms av det mekaniska arbete som ska utföras. För enstaka arbetsuppgifter, t. ex. att lyfta bördor, kan detta kvantifieras. Det är emellertid, som framgår senare, nästan omöjligt att på detta sätt få en uppfattning om den totala fysiska belastningen. Ett bra sätt, om än komplicerat och resurskrävande, är att bestämma individens syreförbrukning under arbete. Syreförbrukningen under arbete som inte är maximalt avspeglar väl det energetiska kravet (dvs den yttre fysiska belastningen). Vid en omsättning av 1 l syre i organismen frigörs ca 21 kJ. Energiförbrukningen är direkt relaterad till syreförbrukningen, men vid arbetsmoment med mycket höga energikrav bidrar också anaeroba (icke syrekrävande) energigivande processer. En viss individvariation förekommer eftersom arbetssättet och arbetstekniken också påverkar verkningsgraden i arbetet (dvs hur effektivt utvecklade muskelkraft kan utnyttjas i mekaniskt arbete). Vid arbeten nära och på maximal nivå utnyttjar musklerna, som nämnts, även icke syrekrävande energikällor (anaerob energi). Den anaeroba kapaciteten är visserligen individuell, men ändå mycket begränsad, vilket snabbt leder till trötthet och utmattning. Ju högre den aeroba kapaciteten är, desto tyngre kan man arbeta utan att den anaeroba kapaciteten behöver tas i anspråk.

Den fysiska belastningen i samband med räddningsarbete är hög. Arbetets krav på personalen varierar av naturliga skäl med dess innehåll och svårighetsgrad. I sin mest belastande form kan enskilda arbetsmoment kräva att individen utnyttjar sin maximala aeroba kapacitet och under korta extremt belastande moment behövs både maximal aerob och maximal anaerob kapacitet. Den enskilde brandmannens kroppsliga förutsättningar och arbetsinstruktioner sätter gränsen för arbetstyngden i många fall. En grupp brandmän med låg fysisk arbetsförmåga skulle utföra arbetet mindre effektivt eller/och med en väsentligt högre belastning än en grupp som har hög fysisk arbetsförmåga (eller inte klara arbetet alls). Personalens fysiska arbetsförmåga utgör därför en väsentlig bestämmande faktor för organisationen av mer krävande räddningsarbete, t.ex. rökdykning. Detta är i praktiken bakgrunden till att reglerna för rökdykning innehåller krav på en viss dokumenterad fysisk arbetsförmåga uppmätt vid ett kontrollerat arbetsprov.

2.2 Mätning av syreförbrukning vid arbete

Det är svårt att formulera några direkt objektiva krav på rökdykares fysiska arbetsförmåga andra än att den bör vara hög. Därför har man försökt fastställa krav genom att mäta belastning och medföljande påfrestning på individen under olika former av räddningsarbete, såväl i verkligheten som under simulering.

Problemet har behandlats av flera författare. De flesta har mätt lungventilation och/eller hjärtfrekvens för att skatta syreförbrukningen under simulerad rökdykning och därtill relaterade arbetsuppgifter, se sammanställning tabell 1. På detta sätt beräknade Zylberstein (151) syreförbrukningen under simulerad rökdykning vara $1,9 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ och Lusa och medförfattare erhöll en skattning på $2,4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (95). Lemon och Hermiston (88) mätte syreförbrukningen vid fyra typiska arbeten: stegklättring, slangdragning, personräddning och steguppresning. Dessa arbetsuppgifter krävde en syreupptagning på 2,44, 2,55, 2,53 resp. $2,30 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, vilket motsvarade 60-80 % av de studerade brandmännens $V_{O_2\text{max}}$. Vid andra studier med liknande arbetsuppgifter uppmättes mellan 85 och 100 % av maximal hjärtfrekvens (30, 41, 97, 136). I en studie av simulerad rökdykning av Davis och Dotson (39) krävdes omkring 97 % av beräknad $V_{O_2\text{max}}$. Von Hallmeyer och medförf. (145) uppmätte hjärtfrekvens och skattade syreförbrukningen till $1,9 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ under liknande arbeten. Høgskilde et al (72) beräknade syreupptagning från luftåtgång till värdet $3,6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($43 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) under rökdykning. Variationerna i resultaten kan bero på metodik, försöksprotokoll, fysisk kapacitet i gruppen och dess motivation.

Danielsson & Bergh (34) mätte kroppens effektutveckling hos heltidsanställda brandmän under rökdykning. Rökdykningen omfattade två livräddningar och en släckning. Tempot i arbetet styrdes av en instruktör. Effektutvecklingen motsvarade syreupptagningen $2,1 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($25 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Brandmän som klarat en rökdykningsuppgift omfattande två livräddningar och en släckning hade i genomsnitt $3,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($42 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) bland heltidare och $3,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($40 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) bland deltidare. Denna undersökning visade också att bland dem som precis klarade testet i AFS 1995:1, vilket för en 80 kilos person kräver ca $3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($37 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), var andelen som klarade rökdykningsuppgiften knappt 60 %. Bland dem som hade mer $41 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ klarade ca 85 % detta rökdykningstest.

Tabell 1. Medelvärden av uppmätt och beräknad syreupptagning resp. andel av maximal hjärtfrekvens (maxHF) och maximala syreupptagningsförmåga (V_{O_2max}) vid simulerat och verkligt brandmansarbete. Variationsvidden anges inom parentes där denna rapporterats i källreferensen.

Författare	Syreförbrukning alt hjärtfrekvens	Syreförbrukning ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	Typ av arbete /mätt variabel
Danielsson och Bergh (34)	$2,1 l \cdot min^{-1}$	25	Simulerad rökdykning/ V_{O_2} direkt mätning
Davis (41)	91,8 % av max HF, max.värde 97 % av maxHF	39,6	Arbetsrelaterade tester/ Hjärtfrekvens
Gilman och Davis (55)		28,0	Verklig uttryckning Hjärtfrekvens
Gledhill och Jamnik (57)		16,8-44,0	Arbetsrelaterade tester/ V_{O_2}
Holmér och medförf. (69)	$2,9 l \cdot min^{-1}$ (1,9-4,1) $l \cdot min^{-1}$	36,1 (20,7-55,1)	Arbetsrelaterade tester/ V_{O_2}
Høgskilde et al. (72)	$3,6 l \cdot min^{-1}$	43	Simulerad rökdykning /Luftförbrukning
Lemon och Hermiston (88)	60-80 % av maxHF, $2,30-2,55 l \cdot min^{-1}$		Arbetsrelaterade tester/ V_{O_2} , hjärtfrekvens
Louhevaara (92)	54-75 % av V_{O_2max} , 76-86 % av maxHF		Simulerad rökdykning/ Hjärtfrekvens
Louhevaara (90)	49-99 % av maxHF, 75-90 % av V_{O_2max}		Arbetsrelaterade tester/ Hjärtfrekvens
Lusa (96)	$2,4 l \cdot min^{-1}$ (1,8-4,3), 79 % av maxHF (66-90), 60 % av V_{O_2max} (41-101)	22-55	Simulerad rökdykning/ Hjärtfrekvens, lungventilation
Manning och Griggs (97)	70-100 % av maxHF		Arbetsrelaterade tester/ Hjärtfrekvens
Sothmann och medförf. (131, 133)	$2,5 l \cdot min^{-1}$ (1,7-3,7), 58-94 % av V_{O_2max}	30,5 (23,5-49,3)	Arbetsrelaterade tester/ V_{O_2}
Sothmann och medförf. (132)		25,6	Verklig uttryckning/ Hjärtfrekvens
Söderlind (136)	85-100 % av maxHF		Simulerad rökdykning/ Hjärtfrekvens
Von Hallmeyer (145)	$1,9 l \cdot min^{-1}$		Arbetsrelaterade tester/ Hjärtfrekvens
Zylberstein (151)	$1,9 l \cdot min^{-1}$	24,4	Simulerad rökdykning/ Lungventilation

2.3 Syreförbrukningen i relation till kroppsmassa och bördor

En väsentlig del av belastningen vid rök- och kemdykningsarbete orsakas av horisontella och vertikala förflyttningar med tung skyddsutrustning (47, 57) och tidvis med extra bördor. Det är därför viktigt att individen har en hög kapacitet att utveckla effekt per kg förflyttad massa. Brandmannens egen muskelmassa bör dock inte vara för liten. Även kroppsmassan i sig bör inte vara för liten, då den fungerar som motvikt och understöd vid vissa arbetsmoment, såsom släckning och inbrytning i byggnader. Skyddsutrustning och bördor innebär en större relativ ökning av kravet på syreupptagningsförmåga hos lättare individer. Övervikt innebär å andra sidan en onödig "börda", som minskar den relativa effektutvecklingen. Övervikt sänker den fysiska arbetsförmågan och har en negativ effekt på förmågan att utföra simulerad rökdykning (40).

Syreupptagningen vid brandmansarbete relaterat till kroppsmassan har mätts av flera forskare, se tabell 1. Sothmann och medförf. (131, 133) mätte syreförbrukningen under simulerat släckningsarbete till i medeltal $2,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ eller $31 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Man konstaterade att det var liten sannolikhet att brandmän med en syreupptagningsförmåga under $33,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ skulle klara sina arbetsuppgifter.

Hjärtfrekvensen hos brandmän mättes under uttryckningar av Gilman och Davis (55) och Sothmann och medförf. (se ref (132)). Baserat på dessa mätningar skattades V_{O_2} till 28,0 resp. 25,6 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ kroppsmassa. Kilbom (77) kom fram till att en maximal V_{O_2} på minst $3,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ krävdes för att klara rökdykning, vilket senare bekräftades av Davis och medförf. (38) samt Louhevaara och medförf. (90, 92). Jacobs (73), Doolittle och Kaiyala (46) samt Sparks (134) angav alla $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ som en lämplig lägsta gräns för maximal V_{O_2} . Baserat på en serie undersökningar av brandmansarbete ansåg Davis och medförf. att gränsen borde vara minst $36 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (41) och O'Connell och medförf. kom till slutsatsen att $39 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ krävdes för att klättra på stege med skyddskläder och utrustning (107).

Gledhill och Jamnik (57) mätte bl.a. syreförbrukning under ett stort antal typiska arbetsuppgifter. Dessa krävde i medeltal $16,8\text{-}44,0 \text{ ml } O_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, varav de högsta kraven ($34\text{-}44 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) ställdes på att bära utrustning uppför höga stegar. Övriga aktiviteter krävde mindre än $35 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Aktiviteterna pågick kort tid, så de uppmätta nivåerna på V_{O_2} var inte i "steady-state" och återspeglar inte kravet fullständigt. En viss andel anaerob energileverans förekom därför med stor sannolikhet, vilket innebär att energikravet var ytterligare något högre än uppmätt. Koncentrationerna av mjölksyra (laktat), var följaktligen höga i blodet, särskilt vid slangdragning, klättring och bärande av dummydocka (7-10 mM i medeltal). Stödda på sina resultat drog Gledhill och medförf. (57), samstämmigt med flera nämnda författare, slutsatsen att $V_{O_2\text{max}}$ behövde vara $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ hos nyrekryterade brandmän.

Relativt nyligen gjorde vi direkt mätning av syreupptagningen hos 15 brandmän i fullt larmställ som utförde olika arbetsrelaterade moment i en bana utan yttre

värmebelastning (klättring på stege, förflyttning i trappor och på rasmassor med börda) (69). De uppmätta värdena på V_{O_2} i dessa försök ($21-55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) överensstämde väl med de som Gledhill och Jamnik rapporterade. Emellertid uppmätte vi betydligt högre värden i det mest energikrävande momentet i vår studie, som var att gå uppför trappor med 20 kg börda. Skillnaden berodde sannolikt till stor del på olika mätmetoder. De använde s.k. Douglas-teknik, där utandningsluften från flera andetag blandas, medan vi analyserade utandningsluft från ett andetag i taget. Då steady-state inte har uppnåtts, avspeglar den senare tekniken steady-state-värdet bättre. Andra orsaker till skillnader i värden mellan de två studierna kan vara variation mellan de undersökta grupperna, hur bördan bars och arbetsmomentens typ och längd. I det tyngsta momentet i vår studie mättes den lägsta V_{O_2} ($33,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) hos den som hade längst tid på banan. V_{O_2} var negativt korrelerad med tiden ($r=0,74$) (ju längre tid desto lägre V_{O_2}). Detta indikerade att man arbetade på ungefär samma relativa belastning, dvs anpassade arbetstakten till sin egen kapacitet.

Danielsson och Bergh studerade kraven på effektutveckling hos räddningsmän vid livräddning och slangdragning (34). Effektutvecklingen i medeltal var 447 W (varierade mellan 50-90 % av maximal effekt utvecklade på cykelergometer) då en 82 kilo tung docka med lufttuber släpades 20 m utefter ett horisontellt plan. Under bärning av två slanglådor à 32 kg var effektutvecklingen 1125 W (85 % av maximal aerob effekt). Ju högre kroppsvikten var, desto högre var den maximalt utvecklade arm- och benefekten vid test med ergometer.

2.4 Belastning från skyddsutrustningen

Den skyddsutrustning som krävs vid rök- och kemdykningsarbete innebär en ökad fysisk belastning för brandmannen genom att syreförbrukningen blir större framför allt på grund av utrustningens vikt. Utrustningen kan också innebära viss rörelseinskränkning. I studier med luftapparat (SCBA) och skyddskläder ökade V_{O_2} under submaximalt arbete med $0,3-1,3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (47, 68, 91, 107, 128). En minskning av $V_{O_2\text{max}}$ med 20 % under liknande omständigheter har rapporterats (92, 112). Dahlbäck och Jorfeldt (33) fann en 10 % minskning av den fysiska arbetsförmågan vid användning av oxygenapparat under gång på rullband. För brandmän iförda idrottskläder och andningsapparat ökade syrekravet med $1,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, till $2,1 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, då de fick gå och bära två slanglådor, jämfört med gång utan börda (139). Ergonomiska aspekter beskrivs i en översiktsartikel av Guidotti (60), i vilken också hjärt-lungfunktion, energiförbrukning, värmepåverkan och psykologisk stress vid brandmansarbete diskuteras.

2.5 Sammanfattning av kravet på syreupptagningsförmåga

Enligt de ovan genomgångna studierna (tabell 1) var syreupptagningen mellan ca 17 och $55 \text{ ml } O_2\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ kroppsvikt ($1,7-4,1 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) under släcknings- och

räddningsarbete. Kravet på rök- och kemdykningspersonal att kunna uppnå en syreförbrukning på minst $2,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ i AFS 1995:1 (motsvarande ca $39 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ för en person på 72 kg) tycks därmed ha ett bra stöd i rapporterade undersökningar. I några undersökningar (57, 69, 131) överskreds detta värde i några moment. Det är mycket svårt att bedöma om de studerade grupperna kan sägas vara representativa för gruppen brandmän i Sverige.

Redovisade resultat avspeglar i många fall endast en relativ belastning, eftersom den undersökta personalens fysiska arbetsförmåga sätter taket för belastningens absoluta storlek som tidigare påpekats. I en undersökningsgrupp (räddningskår) med genomsnittligt hög fysisk arbetsförmåga kommer kraven att uppmätas som större (men kan upplevas lika) än i en grupp med lägre arbetsförmåga. Med "fri" arbetstakt utför personalen i den första kåren förmodligen mer arbete än den senare. Mot denna bakgrund är det svårt att jämföra publicerade data, som inte samtidigt redovisar värden på $V_{O_2\text{max}}$ (totalt och relativt). Kravet i Arbetarskyddsstyrelsens föreskrift att kunna prestera en effekt motsvarande en syreupptagning på minst $2,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, torde därför avspegla den faktiska arbetsförmågan hos de brandmän som deltog i de här refererade studierna. Dessa brandmän representerade därmed hela yrkeskåren i de undersökningar som ligger till grund för det satta svenska kravet. Huruvida detta kan anses tillfredsställande och tillräckligt från säkerhetssynpunkt kan diskuteras.

Den samlade fysiologiska belastningen på brandmannen utgörs av:

- energikrav för förflyttning av egen kroppsvikt, skyddskläder och skyddsutrustning och av bördor
- värmebelastning och åtföljande cirkulatoriska krav
- krav på muskelstyrka

2.6 Krav på rörelseorganen

Brandmansarbetet ställer också krav på muskelstyrka, rörlighet, koordination och balans. Att studera arbetsrelaterade rörelser ger en viss vägledning om vilka muskelgrupper som belastas mest. Bålstyrka har identifierats som viktigast både för arbetsutövning men också för att reducera risken för ryggskador (28).

Det har gjorts vissa försök att kvantifiera kravet på muskelstyrka. Vid en studie av att bära två slanglådor krävdes ca 40 % av maximal viljemässig muskelkontraktion (MVC) i händerna hos brandmän (139) under 3-4 min. Då två personer bar en person som väger 73 kg utan bår krävdes för den bakre bäraren 9-41 % av MVC för olika muskelgrupper i överkropp och händer/armar och för den främre i medeltal 23 % av MVC i armbågsledens muskler (139). Eftersom dessa arbetsuppgifter innebar statisk muskelkontraktion, måste sådant bärarbete betecknas som mycket tungt. Lusa och medförf. (94) visade att en typisk arbetsuppgift för brandmän, såsom att hantera en motorsåg, innebar en stor

belastning på det muskuloskeletala systemet och underströk betydelsen av muskelstyrka och bra arbetsteknik.

Gledhill och Jamnik gjorde en arbetsanalys och mätte massan hos utrustning som hanterades av brandmän och krafter som utövades vid typiska arbetsuppgifter (57). Massan (utöver skyddsklädernas och luftapparatens 22 kg) varierade mellan 4 kg (slägga) och 111 kg (stege). "Krafterna" angavs som vikter som varierade mellan 36 och 68 kg (slangmatning). De vanligaste uppgifterna som krävde muskelkraft och muskulär uthållighet var att

- lyfta och bära
 - dra, trycka och släpa
- att hantera föremål framför kroppen, t.ex. stege och pump

Lusa och medförf. (94) analyserade de arbetsuppgifter som brandmän ansåg ställa störst krav på muskelstyrka. Dessa var i nämnd ordning:

- röja med tunga manuella maskiner/verktyg
- användning av hydrauliska verktyg
- förflytta en skadad person
- rökdykning
- takarbete

På samma sätt rangordnade brandmännen arbetsuppgifter med krav på koordination:

- takarbete
- resa bärbar stege mot brandplats
- rökdykning
- uppsättning av stege och rövning

Doolittle och Kayiala rekommenderade ett styrketest för brandmän med utgångspunkt från kinesiologisk analys av typiska brandmannauppgifter. Man skulle minst klara bänkpress resp. armböjning (biceps "curl") 19 gånger med 27,5 kg vikt, benböjning 20 gånger med 54 kg vikt utöver kroppsvikten och drag med ryggmuskulaturen ("latissimusdrag") 30 gånger med 34 kg vikt (46). Dessa styrkemoment ansågs motsvara flera av de vanliga arbetsuppgifterna ur biomekanisk och anatomisk synvinkel. De vikter som föreslogs baserades på den utrustning som måste lyftas och hanteras under brandmansarbetet. Antalet gånger vikterna ska lyftas baserades på ett samband mellan antal "repetitioner" och % av maximal kraft. De föreslagna kraven har emellertid inte validerats. Muskulär uthållighet har rekommenderats att mätas med höftböjningar (situps) (18, 41). Testresultatet begränsas då till att gälla främst magmuskulerns uthållighet, vilket bara är en av många muskelgrupper som engageras under det verkliga arbetet. Ländryggsrörlighet rekommenderas att mätas genom att försökspersonen sitter på

golvet, fäller fram överkroppen och sträcker armarna framåt med utsträckta fingrar (18, 21). Låg rörlighet och liten styrka tycks vara förenad med ökad risk för ländryggsbesvär (29). Ländryggsbesvär rapporterades vara orsak till 30 % av alla arbetsskadekostnader för brandmän i Los Angeles, USA (29).

En kartläggning av dynamisk och statisk muskelstyrka hos 44 aktiva brandmän (20- 51 år) visade att det presterade vridmomentet tenderade att vara positivt korrelerat till kroppsvikten (140). Åldersgruppen 40-51 år hade lägre styrka än grupperna 20-29 och 30-39 år. Förmodligen var kroppsvikten och ålder korrelerade och därmed var vridmomentet snarare en funktion av ålder. Den äldsta gruppen tycktes också vara långsammare.

2.6 Värmebelastning

En aspekt som knappast berörts i diskussionen kring kraven på fysisk arbetsförmåga, är förmågan att tåla arbete under hög värmebelastning. Utöver den energetiska belastningen tillkommer värmebelastning, dels genom kroppens ökade värmeproduktion vid arbete, dels från externa värmekällor.

Värmebelastningen medför ett ökad hudblodflöde, vilket möjliggörs genom att hjärtfrekvensen ökar och blodkärlen i huden vidgas. Kroppens värmeavgivning genom konvektion och strålning minskas dock på grund av skyddsklädernas isolation men också på grund av den tidvis negativa temperaturgradienten från kroppen till den varma omgivningen. Svettavdunstning hindras också på grund av klädernas höga ångmotstånd. Hudtemperaturer på 36,7 °C (147), 38,0 °C (117) och högre (47, 128) har uppmätts på brandmän som arbetat i skyddsutrustning. Upp till 41,1 °C medelhudtemperatur rapporterades av Bennett och medförf. hos brandmän under ett brandbekämpningstest ombord på ett fartyg(16). Kroppstemperaturen (rektaltemperatur) var mellan 38,4 och 41,6 °C efter ca 25 minuters arbete i värme. Romet och Frim (117) mätte en ökning av kroppstemperaturen på 1,3 °C efter en 20 minuters insats. Vid gång på rullband med skyddsutrustning i värme, 41,8 °C, rapporterades en ökning av rektaltemperaturen med 0,6 °C under 15 min (128), respektive en ökning med 2,2 °C under en timme i omgivningstemperaturen 45,0 °C (47) hos försökspersoner.

Det är känt att god fysisk arbetsförmåga ger en förbättrad värmeterans i form av partiell acklimatisering (56, 106, 108, 110, 126). Det innebär att personen klarar en given värmebelastning med mindre påfrestning. Värmeteransen varierar mellan individer och påverkas också starkt av värmebelastningens art och regelbundenhet. Värmeteransen kan förbättras genom acklimatisering, vilket resulterar i en ytterligare fysiologisk anpassning (sänkt rektaltemperatur, ökad svettning (118, 149) och lägre saltkoncentration i svetten (78)). Vid en studie i varm klimatkammare observerades att deltidsanställda brandmän hade något sämre värmeterans än heltidsanställda vid givna betingelser, trots att grupperna hade lika hög maximal syreupptagningsförmåga, 3.6 l·min⁻¹(53). Detta kan bero på att det förelåg skillnader i frekvens av värmeexponering och träning.

2.7 Könsaspekter

Få kvinnor arbetar inom räddningstjänsten, som traditionellt varit helt mansdominerad. Generellt har kvinnor lägre maximal syreupptagningsförmåga än män. En liten andel av den kvinnliga befolkningen (framför allt yngre vältränade kvinnor) har förutsättningar att klara det fysiska kravet i AFS 1995:1. Andelen kvinnor med tillräckligt stor muskelstyrka i överkroppen för att klara brandmansarbetets krav är förmodligen betydligt lägre. Kvinnors fysiska förutsättningar för släcknings- och räddningsarbete har i viss mån studerats. Överkroppsstyrka, arm- och handstyrka var väsentligt lägre hos kvinnor (n=34) som deltog i rekryteringen till Stockholms brandförsvaret 1997 jämfört med män (n=48) vid rekrytering 1994 (7). Kraven för armhävningar nåddes av 12 % av kvinnorna, jämfört med 75 % av männen, för hävning i räck 10 %, resp. 96 % och för handgrepp 0 % resp. 100 %. Samtliga hade klarat rullbandstestet i AFS 1995:1.

Misner och medförfattare (104) undersökte prestationen hos vältränade män och kvinnor som utförde 9 arbetsrelaterade uppgifter. Kvinnorna presterade i medeltal sämre än männen, men en undergrupp av kvinnorna presterade nästan lika bra i vissa övningar. Skillnaderna i prestation hänfördes främst till mindre fettfri kroppsmassa (kroppsmassa – kroppsfettets vikt). Kvinnorna presterade betydligt sämre än männen (de använde längre tid) i test som innebar slag med slägga, men också vid gång i trappor med börda på ryggen och i handen samt vid hantering av bärbar stege. Vid upprepning av testen förbättrades kvinnornas prestation relativt sett mer än männens. I en följdstudie av Misner (103) observerades att benstyrkan kunde förutsägas väl av fettfri kroppsmassa, men inte av några andra kroppsmått.

Sedan 1993 har JämO haft kontakt med brandförsvaret beträffande förhållandet att få kvinnor arbetar som brandmän. Ett utredningsarbete gällande könsneutraliteten i rekryteringstester för brandmän har initierats av JämO. Ett projekt påbörjades vid Stockholms Brandförsvaret 1996 för att försöka klargöra vilka tester som kan avgöra en kvinnas lämplighet att arbeta som brandman i utryckningstjänst. Åtta kvinnor (utvalda ur en grupp om 85 sökande) utbildades i tio veckor och tjänstgjorde 6 månader vid olika brandstationer i Stockholm. Ett antal tester genomfördes under projektet. Som en del av projektet bedömdes projektdeltagarnas funktion som brandmän av arbetsledare. Sambandet mellan rekryteringstesterna och dessa bedömningar var svaga. Antalet deltagare var dock få och möjligheterna att delta i rökdykningar var så begränsade att inga slutsatser som kan generaliseras kunde dras. Flera av kvinnorna ansågs behöva större tekniska färdigheter och överkroppsstyrka för att klara vissa arbetsmoment (52). Under projektets senare del, efter intensiv träning, hade samtliga de styrkeprov som krävdes för att få rökdyka klarats (52), dvs. 35 armhävningar under en minut, 8 "häv i räck" i följd, 35 "sit-ups" under en minut och 25 benböjningar med 40 kg. Alla klarade också de rökdykningsprov som ingick i projektet "Brandman 2000" (Stockholms Brandförsvaret, pers. kommunikation). Kvinnorna använde

längre tid än männen för arbetsuppgiften, vilket åtminstone delvis kan förklaras av stora skillnader i vana av rökdykning. Ett liknande projekt, med andra urvalsmetoder, har genomförts i Västerås. Av dessa kvinnor klarade ingen det nämnda rökdykningstestet (Sundqvist, pers. kommunikation).

I regleringen av krav på personal som använder luftapparat i Tyskland har man skilda krav för män och kvinnor och för ålder (3).

2.8 Variation i brandmannens fysiska arbetsförmåga

En aspekt som få undersökare berört är den tidsvariation i aerob kapacitet, som kan uppkomma beroende på variation i träningsintensitet, sjukdomsperioder m.m. Variationen kan i extrema fall uppgå till 20-30 % (152). Även andra faktorer kan påverka effektutvecklingen negativt. Rökning sänker V_{O_2} peak med 5-15 % (49). Rökare hade sämre fysisk arbetsförmåga än icke-rökare i en studie på 184 brandmän (50). Nämnda förhållanden är viktiga att känna till för såväl den enskilde som för arbetsledare. Vid rekrytering av brandmän anses också en "överkapacitet" vara nödvändig med tanke på den normala sänkningen av den fysiska arbetsförmågan med stigande ålder och som en säkerhetsmarginal (38).

2.9 Fysisk träning och ålder

För att upprätthålla den fysiska arbetsförmågan vid nyanställning av brandmän, krävs naturligtvis fortlöpande fysisk träning. Med åldern minskar den fysiska arbetsförmågan i både sammansatta populationer (25, 51, 101) och hos brandmän (27, 77, 121, 133). Nedgången kan bero på både central cirkulatorisk försämring (minskad maximal hjärtfrekvens, slagvolym och syreupptagning) (132) och på minskad muskelmassa och försämrade förmåga att shunta blod till arbetande muskler (81). Livsstilen tycks ha större betydelse för nedgången i fysisk kapacitet än åldrandet i sig (25, 81, 133). Muskelstyrkan minskar med åldern (84, 142, 143, 150), vilket leder till lägre maximal kraft, effekt och hastighet. Muskelstyrkan kan dock bibehållas och till och med förbättras med fysisk träning även i högre ålder (44, 71, 74, 80, 101).

Fysisk träning på arbetstid ingår i den heltidsanställdes brandmannens arbetsuppgifter. Detta ska uppfattas som både en rättighet och en skyldighet. Med rättighet menas då förmånen att på betald arbetstid få hålla sin kropp i trim och upprätthålla god fysisk arbetsförmåga för god hälsa och livskvalitet. Med skyldighet menas att träningens uppläggning och regelbundenhet måste vara sådan att varje enskild brandman ges möjlighet att bibehålla den fysiska arbetsförmåga som fanns vid nyanställningen (givetvis med hänsyn till normal åldersregression) och i vissa fall förbättra den fysiska arbetsförmåga som krävs för yrkesmässig rökdykning (dvs Arbetarskyddsstyrelsens krav). För att detta ska kunna ske och för att stimulera fysisk träning, bör kontroller av fysisk arbetsförmåga utföras regelbundet. Ett antal olika träningsprogram för brandmän

med positiv effekt på den fysiska arbetsförmågan har föreslagits i den internationella litteraturen (14, 20, 109, 111). Önskvärt vore att även deltidsanställda brandmän skulle kunna träna på arbetstid, då samma krav ställs på dem vid insatser.

3. Arbetsprov

Arbetsprov har utformats för olika ändamål:

- A. indirekt eller direkt bestämning av individens maximala syreupptagningsförmåga,
- B. bedömning av förändringar av individers fysisk arbetsförmåga genom upprepad testning,
- C. klinisk testning av hjärt-kärlfunktion samt
- D. samlad bedömning av förmågan att utföra fysiskt krävande arbetsuppgifter.

Arbetsprov av den typ som diskuteras i detta kapitel faller under kategori A och i viss mån B. Klinisk testning av hjärt-kärl-funktion (punkt C) ingår i AFS 1995:1. Det kliniska arbetsprovet kan i tillämpliga fall kombineras med arbetsprovet för bedömning av fysisk arbetsförmåga i kungörelsen, men har alltså ett annat syfte.

Arbetsprov för att testa den maximala syreupptagningsförmågan kan utföras på flera principiellt olika sätt:

- tröskeltest
- maximalt test
- submaximalt test

Arbetsprov kan också utföras som kombinationer av dessa sätt. Olika metoder kan användas för att utföra tester, t.ex. cykling på ergometercykel. För att ett arbetsprov ska ge ett rättvisande resultat måste vissa kriterier uppfyllas. Stora muskelgrupper måste engageras, metoden måste ha god reproducerbarhet, dvs. ska ge samma resultat vid upprepade testningar av samma individ, och variationen i syreupptagning mellan individer vid en bestämd belastning ska vara så låg som möjligt.

3.1 Tröskeltester

Tröskeltest innebär i detta fall att individen ska arbeta en bestämd tid på en bestämd belastning eller utföra ett bestämt arbete. I det fall individen inte fullföljer arbetsprovet godkänns denne inte.

Testpersonen bör värma upp ett par minuter på en relativt låg belastning.

Tröskeltest kan utföras på flera sätt, vilka beskrivs nedan. Praktiska för- och nackdelar enligt författarna anges under respektive metod. En sammanställning av tröskeltesterna ur praktiskt hänseende återfinns i tabell 2. Funktionella egenskaper hos testerna är sammanställda i tabell 3.

Nu gällande arbetsprov för rökdykare är utformade som tröskeltest. Syftet med arbetsprovet är att visa om brandmannen har tillräcklig kapacitet att prestera en effektutveckling motsvarande en syreupptagning på minst $2,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Denna nivå motsvarar syreförbrukningen vid cykling med 200 W bromseffekt eller vid gång på rullband med larmutrustning i $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ och 8° motlut. Arbetsprovets belastning avser vidare också att innefatta en minimal säkerhetsnivå för alla rökdykare. I litteraturen finner man få alternativa tester för motsvarande ändamål. Tröskeltest av liknande typ ställer i dessa fall i allmänhet större krav. Love and Graveling (93) menade att hjärtfrekvensen vid ett arbetsprov bör ligga på 80-90 % av skattad maximal nivå: "Testpersonerna bör känna att de har genomgått ett någorlunda tungt test med samma relativa intensitet för alla och att ett eller flera index ska kunna ge testledaren tillfredsställande information om nivån för den fysiska arbetsförmågan." (författarnas översättning).

För ett tröskeltest gäller ytterligare/andra kriterier än vid arbetsprov för bestämning av maximal syreupptagningsförmåga. Ett tröskeltest ska utformas så att den fysiska belastningen är standardiserad och väldefinierad, för att undvika att bedömningen av testet är subjektivt. Det är en fördel om tröskeltestet är enkelt att utföra och innebär rimliga kostnader. Ett tröskeltest för brandmän bör avspegla arbetskrav vid rök- och kemdykningsarbete.

Vissa av ovanstående krav och rekommendationer är av naturliga skäl svåra att uppfylla samtidigt. Har man väl bestämt sig för ett visst arbetsprov medför det kompromisser avseende såväl kostnader som relevans.

3.2 Maximalt test

Maximalt test innebär att individen utför ett arbete, vanligen med gradvis ökande tyngd, med en så hög relativ belastning att det leder till oförmåga att fortsätta arbetet efter en kort tid ($<15 \text{ min}$). Resultatet från det maximala testet anger följaktligen den största kapacitet individen har vid den utförda arbetsformen. I de fall då testet innebär att individen kan utnyttja hela sin aeroba förmåga och förhållandena i övrigt är optimala mäts den maximala syreupptagningsförmågan, i andra fall mäts s.k. " $\text{V}_{\text{O}_2\text{peak}}$ ", dvs individen kan uppnå ett högre värde i ett maximaltest med en annan arbetsform. Ibland mäts enbart maximal arbetstid eller högsta klarade belastning vid ett maximal-test.

Flera nedan beskrivna metoder kan användas. Direkt bestämning av syreupptagningsförmågan kan göras genom s.k. Douglassäck-metodik (152) eller med datoriserad mät- och analysutrustning. Av praktiska skäl lämpar sig stationära metoder (dvs. olika typer av ergometrar och motordrivna rullband) bäst om mätning av syreupptagningsförmågan ska göras. Hur maximala test utförs praktiskt beskrivs i flera publikationer (5, 23, 61, 99, 152).

Ett test för att mäta maximal syreupptagningsförmåga måste uppfylla särskilda kriterier. Testet ska ske vid normalt lufttryck. Testets utformning måste vara sådan att en stor andel av individens muskelmassa engageras. Den sista belastningsökningen under testet får inte höja syreupptagningen med mer än 5 % eller $2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Om denna "platå" inte har nåtts, betecknas värdet som V_{O_2} peak. Det uppmätta värdet på syreupptagningsförmågan kan underskridas vid ett maximalt test p.g.a. att förhållandena inte är optimala. Oftast utvecklas störst effekt hos tränade individer vid den arbetsformen som denne är mest tränad i. Test på rullband med gradvis lutningsökning har i många fall visat sig vara ett bra sätt att uppnå maximal syreupptagning.

Maximala tester bör alltid ledas av erfarna testledare och bör ske under läkarövervakning.

Ett annat mått på maximal fysisk arbetsförmåga kan vara att tiden till utmattning (individens avbryter arbetet då han/hon inte orkar mer) mäts vid användning av ett standardiserat protokoll. Resultatet vid ett sådant test kan användas för jämförelse av individer eller av individen vid olika tillfällen.

3.2.1 Sammanfattande kommentarer om maximalt test

Vid maximal testning erhålls omkring 10 % lägre syreupptagningsvärden på ergometercykel jämfört med om testet utförs på rullband (5, 62, 100, 105, 152) och ca 2 % lägre vid step-test (5, 62, 100, 105, 152, 154). Tränade cyklister har dock lika eller högre syreupptagningsvärden på cykel än på rullband (114, 135, 152). En jämförelse av maximal syreupptagningsförmåga uppmätt med en elektrisk stegergometer visade signifikant lägre V_{O_2} max (ca 7%) än uppmätt vid löpning på rullband (15). Testerna utfördes med gradvis ökad stegfrekvens på steg-ergometern och med gradvis ökad hastighet och lutning på rullbandet.

Mätning av V_{O_2} max görs som nämnts bäst med en stationär utrustning. För ett test där tiden används som jämförelsemått på maximal prestation kan valfri metod som nämnts användas. Optimal tid för testet är 5-10 minuter exklusive uppvärmning i ca 10 minuter. Maximala tester bör alltid utföras av kompetenta testledare under kontrollerade former och med läkarövervakning. Denna typ av test kan göras i samband med EKG-registrering vid tjänstbarhetsbedömning av rökdykare.

3.3 Submaximala tester för indirekt bestämning av maximal syreupptagningsförmåga

Submaximalt test innebär att individen testas under arbete med en eller två belastningsnivåer som klart understiger dennes maximala arbetsförmåga. Ett sådant test kan användas för skattning av individens maximala syreupptagningsförmåga genom att t.ex. hjärtfrekvensen mäts två till tre belastningar och extrapoleras till maximal hjärtfrekvens. Bestämningarna kan ske med hjälp av s.k. nomogram, tabeller eller enbart ekvationer (8). Ett submaximalt

test kan också användas för att följa den fysiska arbetsförmågan hos en individ under en tidsperiod.

Ett mått på en testmetods användbarhet är bl.a. hur väl den förutsäger den maximala syreupptagningsförmågan hos en individ. I den mån sådana valideringsstudier gjorts, finns de refererade under respektive rubrik. En sammanställning och värdering av metoderna ges i tabell 3.

3.3.1 Kommentarer om indirekta metoder för bestämning av V_{O_2max}

Vid en jämförelse av flera submaximala tester var variationskoefficienten vid prediktion av V_{O_2max} större vid rullbandstest (14,9 %) än vid step- och cykeltest (12,5 resp. 12,7 %), främst beroende på en större variation i verkningsgrad mellan försökspersonerna (125). Varierande styrka i sambanden mellan uppmätt och predicerat V_{O_2max} vid olika tester har rapporterats i nedan refererade studier (se avsnitt 3.4). Dessa skillnader kan bl.a. bero på skillnader mellan de undersökta gruppernas träningsgrad, ålder och om de haft någon övning på testutrustningen. Flera av valideringarna har gjorts med relativt få försökspersoner (10-15 individer), vilket kan bidra till variationer i resultaten.

Uppmätt hjärtfrekvens har ett begränsat värde vid prediktion av maximal syreupptagningsförmåga, bl.a. på grund av den stora variationen mellan individer. Dessutom påverkas hjärtfrekvensen i hög grad av stress och temperatur, vilka kan variera mellan testtillfällena. Om man har möjlighet att korrigera för individens maximala hjärtfrekvens eller ålder kan felet reduceras vid test där hjärtfrekvensen ligger till grund för bestämningen av för maximal syreupptagningsförmåga. För konditionskontroll, då individen jämförs med sig själv, ger standardiserade tester en bra noggrannhet i resultatet.

De submaximala tester som innebär belastningar närmare individens max har visat sig vara mer pålitliga än andra (24). Å andra sidan kräver dessa tester en högre grad av motivation, varför en högre variation i resultaten vid dessa tester kan förväntas.

Sammanfattningsvis kan sägas att man måste acceptera en viss risk för över- eller underskattning av en individ då man använder submaximala tester för bestämning av V_{O_2max} . Endast ett korrekt utfört maximalt test med direkt bestämning av V_{O_2max} kan ge ett säkert värde. För uppföljning av individer har submaximala tester ett bra värde (se "Uppföljning av fysisk arbetsförmåga").

3.4 Beskrivning och värdering av olika redskap/metoder för arbetsprov

De metoder som har använts mest för bedömning av aerob kapacitet är: cykelergometri, gång eller löpning på rullband, step-test, löptest och simulerad rökdykning/arbets specifika tester. Beskrivningar och värdering av de olika arbetsproven följer. En sammanfattning ges i tabell 2.

Tabell 2. Sammanfattning av praktiska egenskaper hos tröskeltester för brandmän med olika metoder.

Testmetod	Fördelar	Nackdelar
Cykelergometer-test	Välbeprövad metodik. Lätt att ställa in belastningen. Verkningsgrad ganska lika för olika personer. Ganska lätt att flytta och transportera (Bra träningsredskap)	Belastningskontroll (takt) mindre god med mekanisk cykel Regelbunden kalibrering krävs Inte arbetsspecifikt
Rullbandstest	Hänsyn tas till kropps massa och ev. utrustning Relativt arbetsspecifikt. Lätt att använda. (Bra träningsredskap)	Relativt dyrt Stor variation i verkningsgrad Svårt att flytta och transportera
Steptest	Enkel och billig utrustning Ganska arbetsspecifikt. Hänsyn tas till kropps massa och ev utrustning Lätt att flytta och transportera	Belastningskontrollen osäker (stegtakt) Stor variation i verkningsgrad Svårighet att utföra med skyddsutrustning
Simulerat brandmansarbete	Arbetspecifikt test Värdefullt test av flera arbetsrelaterade egenskaper och av utrustning Hänsyn tas till kropps massa och ev. utrustning	Resurskrävande Teknikberoende Stor variation i verkningsgrad Svårigheter med standardisering och jämförbarhet mellan kårer
Löptest på bana	Billigt test Enkelt att utföra Hänsyn tas till kropps massa	Teknikberoende Mindre arbetsspecifikt testmetod Stor variation i verkningsgrad Svårigheter med standardisering och jämförbarhet mellan kårer (löparbana)

3.4.1 Cykelergometer

En cykelergometer kan ställas in så att testpersonen arbetar mot en viss bromskraft. Cykelergometrar förekommer med både mekanisk och elektriskt kontrollerad bromskraft. Båda typerna kan användas för testning. Effekten ändras något snabbare och mer precist på en elektriskt bromsad ergometercykel än på en mekaniskt bromsad cykel med svänghjul. Bromseffekten hos en mekanisk cykel bestäms delvis av trampfrekvensen. Takthållningen är därför kritisk och en metronom måste användas. Arbetet kan mätas med stor noggrannhet. Vid arbete på cykelergometer är den mekaniska verkningsgraden ganska lika hos olika individer (ca 22-23 %) och därmed krävs ungefär samma syreupptagning vid en bestämd bromseffekt (± 7 % på standardbelastningen 200 W). Dock bör träning på

cykel ske före testtillfället eftersom det finns en viss träningseffekt, dvs verkningsgraden ökar något (37, 116).

Belastningen 200 W på ergometercykel som ingår i det föreskrivna arbetsprovet i AFS 1995:1, kräver, som nämnts, en syreupptagning på $2,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$.

Ett välbeprövat och okomplicerat submaximalt test för bestämning av maximal syreupptagningsförmåga i Sverige är Åstrands cykelergometer-test (153). Belastningarna på ergometern väljs vanligen så att hjärtfrekvensen ligger mellan 120 och 170 slag $\cdot\text{min}^{-1}$. Testpersonen får arbeta 6 minuter. Under testet mäts hjärtfrekvensen efter 4, 5 och 6 min arbete på varje belastning. Med hjälp av dessa mätningar och ett nomogram (se nedan), kan den maximala syreupptagningsförmågan skattas med ålderskorrektur. I valideringsstudier av Åstrands cykelergometertest har man rapporterat korrelationskoefficienter (r) mellan uppmätt och predicerat $V_{O_2\text{max}}$ på 0,58-0,95 (24, 35, 43, 63, 64, 119, 153). Ett relativt stort metodfel i skattningen av maximal syreupptagningsförmåga kan dock fås. Denna kan reduceras om man har möjlighet att korrigera för individens maximala hjärtfrekvens. Enligt några författare är variationskoefficienten (c.v.) vid prediktion av $V_{O_2\text{max}}$ med cykelergometer 12-13 % (87, 116).

Legge och Bannister presenterade ett reviderat nomogram, i vilket den absoluta hjärtfrekvensen i Åstrands nomogram ersatts med "delta hjärtfrekvens", dvs differensen mellan hjärtfrekvensen vid cykling mot en viss bromskraft och hjärtfrekvensen vid cykling utan bromskraft. Detta nomogram gav en korrelationskoefficient (r) på 0,98 jämfört med det äldre nomogrammet som gav $r=0,80$. Variationskoefficienten vid bestämning av $V_{O_2\text{max}}$ i denna studie var bara 4,9%. Eftersom försöksgruppens ålder var begränsad till 20-29 år återstår att undersöka om nomogrammet fungerar bra även för äldre individer. Om så är fallet, skulle behovet av mer resurskrävande maximaltester minska dramatiskt.

American College of Sports Medicine (ACSM) utvecklade ett annat cykelergometertest, beskrivet i Guidelines for Exercise testing and Prescription (5). Detta test har undersökts vidare och befunnits leda till en systematisk underskattning av $V_{O_2\text{max}}$ med ca $0,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (83). Man har i flera studier funnit att predicerat $V_{O_2\text{max}}$ ofta blir underskattat hos otränade individer med submaximala cykeltester (62, 148, 152). Prediktionerna stämmer sannolikt bäst med en grupp individer som överensstämmer med dem som ingått i originalmaterialet till Åstrands-testet (dvs. tränade unga individer). Greiwe och medförf. fann däremot att 85 % av de predicerade $V_{O_2\text{max}}$ -värdena var överskattade vid en studie på 15 män och 15 kvinnor (59). Enligt Åstrand (152) överskattas vältränade individer oftare.

3.4.1.1 Fördelar

- Utrustningen är enkel att underhålla och innebär en ganska låg anskaffnings- och underhållskostnad beroende på om ergometercykeln är mekaniskt eller elektriskt bromsad.

- En cykelergometer är förhållandevis enkel att flytta och transportera, vilket innebär att testledaren kan utföra arbetsprov på olika arbetsplatser.
- För konditionskontroll (se "Uppföljning av fysisk arbetsförmåga"), då individen jämförs med sig själv, kan cykelergometer med fördel användas.
- Cykelergometern är ett bra träningsredskap, inte minst vid rehabilitering av skador.
- Cykelergometern fungerar även bra vid medicinska undersökningar, såsom arbets-EKG, blodtryck och blodprov, eftersom testpersonen sitter ganska stilla med överkroppen under cyklingen.

3.4.1.2 Nackdelar

- Metoden är inte arbetsspecifik som tröskeltest för brandmän framför allt eftersom kroppsmassan avlastas.
- Vid testning med mekaniskt bromsad cykel krävs att takten hålls för att belastningen ska bli den riktiga. Det kan i vissa fall vara svårt för testpersonen att hålla takten, särskilt då arbetet upplevs som tungt. Vid bedömning om individen klarade det stipulerade arbetsprovet, kan detta leda till osäkerhet och oenighet mellan testledare och testperson.
- Cykling kan ganska lätt ge upphov till lokal muskeltrötthet, exempelvis hos individer som är ovana vid cykling och/eller har relativt liten muskelmassa och vid högre bromskraft. Vid maxtest på elektrisk cykel kan problem uppstå vid den högsta belastningen, eftersom bromskraften ökar med lägre frekvens. Om individen inte orkar hålla tillräckligt hög frekvens kan bromskraften bli så stor att den inte kan övervinnas trots att den maximala syreupptagningen inte faktiskt nås.
- Regelbunden kalibrering av cykeln krävs. Den är enkel att utföra på mekanisk ergometercykel, men något mer omständlig på elektriskt bromsad cykel.

Sammanfattningsvis lämpar sig cykelergometern väl för indirekt bestämning av V_{O_2max} , för maximaltest och för medicinska undersökningar, men har betydande nackdelar vid tröskeltest för brandmän.

3.4.2 Rullband

Vid rullbandstest används ett motordrivet rullband. För de flesta tester måste bestämda hastigheter och lutningsvinklar på bandet vara möjliga att åstadkomma. En eller två ledstänger ska finnas på sidan av bandet som stöd om testpersonen kommer ur balans. Dessa får dock inte användas som stöd under testet eftersom det minskar belastningen och därmed påverkar syreupptagningen. Ett nödstopp ska också vara tillgängligt för både testpersonen och testledaren. Kalibrering av rullbandets hastighet och lutning måste göras för att testet ska vara standardiserat och ge jämförbara resultat (66). Träning på rullbandet bör ske innan testning eftersom en viss träningseffekt kan finnas (37, 116).

Variationen i syreförbrukning på en bestämd hastighet och lutning är något högre än vid cykling på ergometercykel, vilket framför allt kan förklaras av

varierande kroppsvikt, men också teknik. Vid Göteborgs Brandförsvaret utfördes syreupptagningsmätningar på brandmän som gått på rullband på hastigheten $5,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ och en bandlutning på 7° med larmutrustning (vikt ca 25 kg) men utan andningsapparat, och på cykelergometer med 200 W bromseffekt (opublicerade data 1992). Variationskoefficienten i V_{O_2} på rullbandet var 12 % och 6,4 % på cykelergometern.

Vid testning kan testpersonen gå eller springa och vara iförd skyddskläder eller bara gymnastikkläder, beroende på vilket syfte man har med testet. Rullband kan användas för tröskeltest, maxtest och för indirekt bestämning av syreupptagningsförmåga.

Enligt det föreskrivna tröskeltestet i AFS 1995:1 ska testpersonen, efter uppvärmning på en hastighet mellan 4 och $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ utan lutning eller med liten lutning av bandet, gå 6 minuter med hastigheten $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ och med 8° lutning. Vid arbetsprov för brandmän används skyddskläder ("larmställ") och annan arbetsutrustning (luftapparat m.m.), totalt 24 kg. Om vikten på utrustningen understiger 24 kg ska den kompletteras med ballast upp till totalvikten om 24 kg. Emellertid bör gymnastikskor ersätta skyddsstövlar vid gång på rullband. Detta arbetsprov bygger på det test som Smolander och medförf. har utarbetat för finska brandförsvaret (130). Det experimentella protokollet innebar en konstant lutning på 8° och stegvis ökande hastighet: 3, 3,5, 4, $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (4 min på varje hastighet). Den sista belastningen krävde $3,0 \text{ SE } 0,1 \text{ l } O_2 \cdot \text{min}^{-1}$ (variationsvidd: 2,5 till $3,4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) eller $36,4 \text{ SE } 1,0 \text{ ml } O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (variationsvidd: 31 till 41). Totaltiden var 24 min och skattningen av ansträngning på Borgs RPE-skala (från 6 till 20) (16) var i medeltal 13,6 (SE 0,4). De testade individerna hade en $V_{O_2\text{max}}$ på 51 (SD 6) $\text{ml } O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Rekommendationerna för rökdykare i Finland är att de ska genomföra 5 minuter på den högsta hastigheten, alternativt cykla 6 minuter på 200 W.

Rullband har använts vid indirekt bestämning av maximal syreupptagningsförmåga med hjälp av hjärtfrekvensmätning (116, 125), laktatmätning (36, 65) eller sluttid (13, 22, 137). Hjärtfrekvensen och syreupptagningen på en given belastning minskar med träning på rullband (125). Detta beror sannolikt på att verkningsgraden vid muskelarbete på rullband uppvisar en relativt stor variation som minskar vid inläring av att gå på rullband. Korrelationen var låg ($r=0,21$) mellan uppmätt hjärtfrekvens under ett konstant arbete på rullband (6 min , $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 7° lutning) och uppmätt $V_{O_2\text{max}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) enligt Robertshaw och medförf. (116). En bättre överensstämmelse mellan skattat och uppmätt $V_{O_2\text{max}}$ finns dock efter att träning har skett (125). Bestämning av maximal syreupptagningsförmåga grundat på laktatmätning kräver att arbetet sker på en relativt hög belastning (motsvarande $V_{O_2} > 35 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) som kan vara svår att förutsäga och dessutom innebära maximal belastning för många individer. Bortsett från detta ger metoden en avvikelse från direkt uppmätt $V_{O_2\text{max}}$ på rullband på 6 %, vilken kan betraktas som relativt liten i jämförelse med andra metoder.

Ett testprotokoll som innebär gång på rullband med konstant hastighet, 5,3 km·h⁻¹, med start på 2 % motlut och en höjning med 1% varje minut i 15 minuter utvecklades av Balke (13). Predicerat V_{O₂}max med Balkes rullbandstest visade sig vara ganska väl korrelerad med V_{O₂}max uppmätt vid test på rullband (r= 0,77) i en valideringsstudie av Burke (24).

Hermiston och Faulkner (67) utvecklade ett alternativt submaximalt rullbandstest för bestämning av maximal syreupptagningsförmåga baserat på en multipel regressionsmetod. I den resulterande ekvationen för fysiskt aktiva individer ingick ålder, fettfri kroppsmassa, hjärtfrekvens under testet, koldioxidkoncentration i utandningsluften, tidalvolym och respiratorisk kvot. Korrelationskoefficienten för sambandet mellan predicerat och uppmätt V_{O₂}max var 0,90 och felet (angett som 100 · observerat värde-beräknat värde/observerat värde) var 2 %, SD 8 %. En stor nackdel med detta test är att det kräver relativt stora resurser (gasanalysutrustning, spirometer) jämfört med de flesta andra submaximala tester.

3.4.2.1 Fördelar

- Testning på rullband med skyddsutrustning är ett arbetsspecifikt tröskeltest för brandmän som innebär att individens och utrustningens massa påverkar belastningen. Dessutom får testpersonen arbeta under den rörelseinskränkning som skyddsutrustningen medför.
- Testet är lätt att använda både för testledaren och för testpersonen.
- Testet leder sällan till lokal muskeltrötthet.
- Rullbandet kan med fördel användas som träningsredskap och för kontroll av fysisk arbetsförmåga.

3.4.2.2 Nackdelar

- Ett rullband som kan regleras i höjdlängd är relativt dyrt. Rullband för brandmansprov kan dock ha ett par fasta lutningar.
- Relativt utrymmeskrävande.
- Rullbandets motor kräver underhåll.

<p><u>Sammanfattningsvis</u> kan rullband med fördel användas för tröskeltest för brandmän och för maximaltest. Indirekt bestämning av V_{O₂}max på rullband är en osäker metod.</p>

3.4.3 Step-bänk

Vid testning på bänk bestäms belastningen förutom av den förflyttade massan också av stegfrekvensen upp på och ner från bänken. Takthållningen är därför kritisk och en metronom måste användas och följas. Ganska nyligen har olika typer av steg-ergometrar börjat saluföras som möjligen kan användas för arbetsprov. Steptest lämpar sig dåligt som kliniskt arbetsprov p.g.a. rörelsen upp och ner som ger mycket muskelstörningar på signalerna vid EKG-registrering.

Ett standardiserat tröskeltest med stepbänk för brandmän skulle eventuellt kunna utformas så att larmställ med skyddsstövlar utbyta till gymnastikskor, alt. gymnastikkläder används och extravikter bärs, t.ex. i en "mag"- och rygsäck med ca 25 kg motsvara skyddsutrustningen för att underlätta rörelsen. Efter uppvärmning vid låg stegfrekvens, skulle testpersonen få gå upp och ner en bestämd tid i bestämd takt på en bänk med viss höjd. Dock saknas tillräckligt underlag för att bestämma bänkhöjd och stegfrekvens för ett tröskeltest för brandmän med samma belastning som anges i ASS föreskrift.

Ett maximalt test kan ske med en stadig bänk som testpersonen går upp och ner på med gradvis ökande stegfrekvens och ev. höjning av bänken till utmattning. Metoden används sällan för maximala tester. En svårighet är att välja en optimal kombination av förflyttad massa, stegfrekvens och bänkhöjd för att uppnå en effekt där maximal syreupptagningsförmåga utnyttjas. Det är också lätt att snubbla när maximalt arbete närmar sig, varför ett räcke bör finnas till hands. En annan obeprövad metod skulle kunna vara att använda en elektrisk stegmaskin där belastningen höjs med jämna mellanrum till utmattning.

Step-test har använts för indirekt bestämning av fysisk arbetsförmåga främst med hjälp av hjärtfrekvensmätning (4, 19, 32, 45, 98, 120, 123, 141, 146). Ett submaximalt test utförs t.ex. under 6 minuter på en eller två bänkhöjder, varvid hjärtfrekvensen mäts. Belastningarna väljs så att hjärtfrekvensen ligger mellan 120 och 150 slag·min⁻¹.

Step-test uppvisade enligt Shephard samma variationskoefficient för effekten som cykelergometri vid bestämning av V_{O_2max} (12,5 resp. 12,7 %) (125). Den steghöjd som användes vid jämförelsen var 22,9 cm. Arbetet motsvarade en effekt på 50-130 W beräknat för en man med 70 kg kroppsvikt. Thomas och medförf. (138) rapporterade stora skillnader i variationskoefficienten för syreupptagningen på en given arbetsbelastning, mellan 9 och 23 %, i en grupp på 121 kvinnor och män. Den större variationen berodde sannolikt på att gruppen var sammansatt av individer i åldrarna 15-69 år och med mycket varierande kroppsmassa, 48-108 kg. De rapporterade även en stor dagsvariation inom individerna.

Ett nomogram framtaget av Margaria (98) för skattning av V_{O_2max} baserat på hjärtfrekvens under step-test, validerades med V_{O_2max} på rullband. Harrison och medförf. erhöll en mycket god korrelation ($r=0,95$) vid skattning av V_{O_2max} med hjälp av nomogrammet (63). Ett annat step-test för indirekt bestämning av V_{O_2max} som utvecklades av Shahnavaz (123) där steghöjden anpassades till benlängden hade lägre korrelation ($r=0,80$) med V_{O_2max} på rullband (63). Verkningsgraden tycks vara oberoende av bänkhöjden (125). Ett annat step-test, s.k. Harvard Pack Test/Step Test (129) har använts bl.a. inom den brittiska räddningstjänsten i kolgruvor. Testpersonen har 1/3 av kroppsvikten extra på ryggen, stiger upp och ner 40 cm 30 gånger/min med hjälp av ett räcke. Ett index (HPI) beräknas på uthållighetstiden och hjärtfrekvensen efter arbete. Som gräns för t.ex. gruvräddningstjänst i S Wales sattes 75 (som betecknades som "bra" fysisk arbetsförmåga) (93). Robertshaw och medförf. fann dock låg korrelation, $r=0,26$, mellan HPI och uppmätt V_{O_2max} (mmol·min⁻¹·kg⁻¹ kroppsvikt). De

rapporterade också att sambandet mellan ett step-test (6 min, 32 cm höjd, 20 steg/min) baserat på hjärtfrekvens och uppmätt V_{O_2} max hos 101 brandmän var lågt ($r=0,26$) (116). En annan jämförelse mellan V_{O_2} max uppmätt på rullband och predicerat V_{O_2} max med Harvard step test gav tämligen låg korrelation, $r=0,55$ (24). De Vries och Klafs (43) fann inget samband alls ($r=-0,008$) mellan Harvard-testet och V_{O_2} max mätt i $l \cdot \text{min}^{-1}$ på cykelergometer, men en god korrelation ($r=0,77$) med V_{O_2} max mätt i $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Om ett räckel används vid gång upp och ner på bänken sker en viss avlastning av kroppsmassan. Detta stöd kan ha använts olika mycket i de olika studierna och påverkade sannolikt hjärtfrekvensen följaktligen olika.

Variationer i effekt hos step-test ger stor osäkerhet vid användning av beskrivna metoder vid indirekt bestämning av V_{O_2} max hos enskilda individer, särskilt hos individer som avviker från de grupper som mest undersökts, dvs. friska unga, normalviktiga individer.

Elektroniska stegmaskiner har, som nämnts, de senaste åren introducerats på marknaden. Olika nivåer av energiförbrukning eller effekt kan förinställas. Teoretiskt sett skulle sådana maskiner kunna användas för olika typer av testning. Syreförbrukningen vid arbete på en elektrisk steg-ergometer har rapporterats vara oberoende av stegfrekvensen, vilken är kritisk vid "mekanisk" step-test för att ge en standardiserad arbetstyngd (70). Det var däremot av betydelse om försökspersonerna höll sig i ergometerns räckel. Syreupptagningen sjönk då signifikant. Ett mycket lätt stöd av räckel gav emellertid ingen skillnad i syreupptagning jämfört med utan stöd. Variationen i syreförbrukning mellan individer och inom individen var vid stegerometri lika stor som vid rullbandstest, dvs variationskoefficienten var ca 10 % (70). Ett allvarligt problem vid användningen av elektriska stegerometrar är att producentens angivelse av effekt rapporterats vara 0,8-1,6 Met ($46-93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) lägre än uppmätt (26).

3.4.3.1 Fördelar

- Enkel och billig utrustning, som är lätt att flytta och inte kräver mycket underhåll.
- Testet kräver inte så mycket träning för att kunna utföras av testpersonen.
- Arbetsspecifik, då kroppsmassa och skyddsutrustning ingår som belastande faktor.
- Lätt att kalibrera.

3.4.3.2 Nackdelar

- Kräver att takten hålls för att belastningen ska bli standardiserad, vilket är samma kritiska problem som på mekaniskt bromsad cykelergometer.
- Det kan vara ganska svårt att stiga upp och ner med full skyddsutrustning på och hålla balansen hela tiden.
- Testet ger ofta svår träningsvärk.

Sammanfattningsvis är step-testet en osäker metod för indirekt bestämning av V_{O_2max} framför allt för individer som avviker från de grupper som mest undersökts, dvs. friska unga, normalviktiga individer. Det saknas tillräckligt underlag för ett step-test för brandmän. Step-test är lämpligt för konditionsuppföljning av enskilda individer.

3.4.4 Simulerat brandmansarbete

Testet utförs med full larmutrustning inklusive luftmask och luftapparat. Testet kan utföras i ett övningshus eller på ett övningsområde. En bana med olika arbetsmoment som kan ingå vid rökdykning anläggs, där varje delmoment ska utföras i bestämd ordning. Arbetsmomenten kan bestå av t.ex. klättring på stege, slangdragning och räddning av dummydocka.

Testet kan utformas som ett tröskeltest, där varje moment ska utföras på en viss tid. Hittills har dock inget test av detta slag som motsvarar de krav på syreupptagningsförmåga som ställs i AFS 1995:1 utarbetats. För att ett sådant test ska ge samma ungefärliga medelbelastning för olika individer behövs träning på ingående arbetsmoment som är teknikberoende. Ett standardiserat arbetsspecifikt test är dock ett lämpligt komplement till det nuvarande arbetsprovet på cykelergometer för brandmän både vid rekrytering och som uppföljning.

Ett "batteri" av olika arbetsspecifika övningar som utförs på ett standardiserat sätt kan utföras som ett maximaltest. Det utförs då på kortast möjliga tid med full larmutrustning inklusive luftmask och luftapparat. Testet kan utföras som det ovan beskrivna tröskeltestet, med skillnaden att ingen paustid tillåts. Tiden för utförd test kan användas för bedömning av den "totala" prestationsförmågan inklusive syreupptagningsförmåga.

Schonfeld och medförf. menade att laboratorietestning har många fördelar framför arbetsspecifika tester, bl.a. kan de väl förutsäga utfallet av ett fälttest, och enkla fysiska tester kan användas för fastställande av den fysiska arbetsförmågan (122). De studerade brandmän, som fick genomföra ett antal standardiserade typiska arbetsuppgifter. Korrelationskoefficienten mellan de olika testen och uppmätt V_{O_2max} var tämligen låg, mellan 0,32 och 0,63, det sistnämnda värdet gällde trappgång. Louhevaara och medförfattare (89) fann att bara ca 34 % av den relativa hjärtfrekvensen förklarades av V_{O_2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), vilket kan förväntas eftersom hjärtfrekvensen i hög grad påverkas av bl.a. värmebelastning, stress och arbetstakt.

Misner och medförf. (104) fick korrelationskoefficienter mellan 0,37 och 0,95 vid återtestning av sju arbetsspecifika tester. Slangkoppling och steglyft hade lägst repeterbarhet, $r=0,37$, resp. 0,58. De undersökte också sambandet mellan arbetsrelaterade och traditionella fysiska tester (102). De fick låga korrelationer i allmänhet, $r < 0,40$. Längdhopp från stillastående hade bäst korrelation (0,45-0,57) med tre arbetsrelaterade tester (gång uppför trappor, hinderbana och lyfta-bära docka).

Sambandet mellan prestationen vid enkla fysiska tester och arbetsspecifika moment har studerats otillräckligt, liksom sambandet mellan tester och prestation under verkligt arbete. De verkliga arbetssituationerna är sammansatta av många olika typer av krav som inte fullständigt kan avspeglas i enklare tester. Det är därför olämpligt att enbart använda enkla fysiska tester vid rekrytering.

En möjlighet som erbjuds vid laboratorietestning i motsats till mätning i "fält" är kontroll av klimatet. Arbetsprovet kan genomföras under konstanta klimatförhållanden, antingen dessa är normala eller innebär värmebelastning. Fördelen med det sistnämnda är att arbetsprovet blir ännu mer realistiskt i förhållande till arbetssituationen. Det tar hänsyn till såväl fysisk arbetsförmåga som värmeförmåga. I viss mån provas värmeförmågan, om arbetsprovet utförs med full skyddsutrustning. Provet måste dock vara av en viss varaktighet. En nackdel är dock att ett prov i värme kräver extra resurser i form av lokal, värmekälla och reglerutrustning. På vissa av Räddningstjänstens övningsanläggningar kan klimatet kontrolleras i viss utsträckning.

3.4.4.1 Fördelar

- Ett sammansatt test med arbetsrelaterade moment, såsom simulerad rökdykning, är arbetsspecifikt.
- Förutom utvärdering av den fysiska arbetsförmågan erhålls också annan information (t.ex. lämplighet vid rekrytering, övning, man kan se hur arbetstekniken hos brandmannen kan förbättras)

3.4.4.2 Nackdelar

- Testet är resurskrävande (tar längre tid och mer planering än tidigare nämnda test, engagerar troligen fler ledare och övningshus eller motsvarande faciliteter krävs).
- Olika utrustning förekommer hos olika räddningskåror, vilket kan medföra problem att standardisera ett tröskeltest för brandmän.

Sammanfattningsvis saknas tillräckligt underlag för ett tröskeltest för brandmän. Testmetoden är dock bra som ett komplement till andra tester av fysisk arbetsförmåga. Metoden är inte lämplig för indirekt bestämning av V_{O_2max} .

3.4.5 Löptest på bana

Löptest utförs i allmänhet på en preparerad löparbana på slät mark eller i terräng med idrottskläder och löparskor. Ett tröskeltest utformas så att en viss medelhastighet på en bestämd distans ska överskridas för godkännande. Det vetenskapliga underlaget kan inte betraktas som tillräckligt för att förorda löptest som arbetsprov i ASS föreskrift.

Ett maximalt löptest utförs på en bana, där en viss sträcka följaktligen löps på kortast möjliga tid. Löptest innebär vanligtvis maximal ansträngning och bör därför övervakas kontinuerligt, vilket kan vara svårt om en terrängbana används.

Den beräknade hastigheten vid ett löptest kan användas för bedömning av maximal syreupptagningsförmåga med hjälp av framtagna tabellverk. "Coopers" löptest, som innebär att testpersonen ska tillryggalägga en så lång sträcka som möjligt under 12 minuter, visade hög korrelation med V_{O_2max} i $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ($r=0,90$) hos försökspersoner (24, 31). Alla försökspersoner i respektive studie genomförde testet på samma bana. En studie som inkluderade flera olika banor skulle förmodligen ge lägre korrelationer. Burke hade unga försökspersoner mellan 17 och 30 år. I Coopers studie ingick personer upp till 52 år, men medelåldern var 22 år, som i Burke's studie. Man vet alltså inte om sambandet är lika starkt för en äldre population. Försökspersonerna var alla välmotiverade, vilket har stor betydelse för studiens utfall.

En annan typ av löptest utvecklades av Léger och medförfattare (85, 86). En 20 meters löpsträcka tillryggaläggs fram och tillbaka. Första sträckans hastighet är i genomsnitt $8,5 km \cdot h^{-1}$ och ökas med $0,5 km \cdot h^{-1}$ varje minut. Löphastigheten under den sista löpsträckan används för skattning av V_{O_2max} . V_{O_2max} uttryckt i $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ visades vara korrelerad med maximal löphastighet ($r=0,84$, c.v.=11,4 %) (85, 86). Varken kön eller löpunderlag i deras studie (asbest eller gummi) påverkade resultaten (85). En valideringsstudie påvisade en korrelationskoefficient mellan predicerat och mätt V_{O_2max} 0,90 och variationskoefficienten 9,6 % (86).

Harrison och medförf. (63) validerade ett 2-mile (3,2 km) test på 400 meters löpbana (=8 varv) utvecklat av Ribisl och Kachadorian (113). Korrelationskoefficienten mellan beräknad och mätt V_{O_2max} var hög i båda studierna, 0,94-0,96.

Ett ytterligare löptest har utvecklats av George och medförf. med syfte att vara submaximalt (54). Längden är 1 mile ($\approx 1,6 km$). Hjärtfrekvensen mättes och en regressionsanalys användes för att bestämma V_{O_2max} . Vid validering mot ett rullbandstest med direkt mätning fick man $r=0,93$ (c.v. = 7,0) för V_{O_2max} mätt i $l \cdot min^{-1}$ och något lägre för V_{O_2max} mätt i $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (c.v. = 6,6).

Cooper-testet kräver okuperad terräng. Övriga refererade tester kräver tillgång till löparbana. Det är inte tillräckligt undersökt hur väl Cooper-testet fungerar i olika terräng och för personer över 30 år.

3.4.5.1 Fördelar

- Löptest är billiga eftersom de inte kräver någon speciell utrustning.
- Metodiken är enkel. Endast tidtagning och uppmätning av sträckan behöver ske.

3.4.5.2 Nackdelar

- I många fall saknas lämplig löparbana i anslutning till brandstationen, vilket innebär förflyttning av de som ska testas.
- Väder och vindförhållandena måste vara hyggliga vid utomhustest. Snö och halka omöjliggör testning vintertid.
- Olika löpbana kan ha olika underlag och karaktär (t.ex. olika terräng), vilket gör att testet inte kan standardiseras för hela landet.
- Testet kan inte betraktas såsom arbetspecifikt för brandmän.

Sammanfattningsvis saknas tillräckligt underlag för ett tröskeltest för brandmän. Testmetoden är dock bra för konditionsuppföljning och för skattning av V_{O_2max} , åtminstone för individer under 30 år.

3.4.6 Trappgång

Ett trappgångstest togs fram vid Helsingborgs Brandförsvaret i samarbete med Arborelius, se kompendium (48). Testpersonerna fick utan rast och utan att hålla i trappträcken gå uppför trappor i ett flervåningshus. Testet var ämnat att ge ett arbete om 20000 kpm. Testpersonerna fick bära 33 kg vikter i bärsele samt en luftapparat som vägde 17 kg, skyddskläder och yxa. De skulle sedan gå i trappor 10 gånger till 12 m höjd. Vid beräkning av arbetet som skulle genomföras antogs kroppsvikten vara 75 kg, vilket innebär att den utförda mängden arbetar olika för personer med avvikande kroppsvikt. Ingen tidtagning gjordes, vilket innebär att effekten högst sannolikt var olika för olika individer. Hjärtfrekvensen mättes efter 7, 10 och 12 varv. Maximalt "tillåten" hjärtfrekvens var 195-200, vilket förmodligen innebär maximal hjärtfrekvens för samtliga testpersoner. Detta trappgångstest innebär sannolikt maximal ansträngning och kräver övervakning.

3.4.7 Gång utan börda

Kline (79) utformade ett gångtest över 1,6 km (1 mile) på 183 män och 207 kvinnor, varav den ena gruppen utgjorde en valideringsgrupp. På basis av en ekvation uppbyggd av sluttid, hjärtfrekvens under sista fjärdedelen av testet, ålder, kön, och kroppsvikt kunde V_{O_2max} förutsägas. Korrelationskoefficienten mellan beräknat V_{O_2max} och V_{O_2max} uppmätt på rullband var 0,93 och felet 0,32 $l \cdot min^{-1}$. Harrison utvärderade ett gångtest på rullband, där man gick 8 minuter på 3, 5 och 7 $km \cdot h^{-1}$ uppför en 1 % lutning (63). Hjärtfrekvensen användes för bestämning av V_{O_2max} med regressionsanalys. Korrelationen mellan predicerat och uppmätt V_{O_2max} med rullbandstest var 0,81 för 3 $km \cdot h^{-1}$ och 0,76 för 5 $km \cdot h^{-1}$. Den högsta gånghastigheten gav icke-signifikant korrelation ($r=0,71$). Variansen var mycket hög i alla gångtest och konfidensintervallet stort.

Testet är sannolikt inte lämpligt för brandmän, särskilt med hänsyn tagen till att korrelationen mellan predicerat och uppmätt V_{O_2max} tycktes vara låg för värden över 2,8 $l \cdot min^{-1}$.

3.4.8 Roddmaskin

En rodd-ergometer har prövats som ett nytt sätt att indirekt bestämma V_{O_2max} (82). Hjärtfrekvensen mättes hos 25 roddare och icke-roddare och utgjorde underlag för ett nomogram. Intensiteten var dock hög, 80-90 % av maximal hjärtfrekvens vid det submaximala testet. V_{O_2max} överskattades med ca 0,2

$l \cdot \text{min}^{-1}$ i den undersökta gruppen. Förmodligen krävs mycket träning på roddmaskin för att resultaten ska vara reproducerbara. Testet behöver studeras mer för att avgöra om det är möjligt att använda som ett tröskeltest för brandmän.

Tabell 3. Sammanfattning av funktionella egenskaper hos de vanligare tröskeltesterna för brandmän.

*= mindre bra, **= bra, ***= mycket bra. Träning förutsätts ha föregått testet.

Tröskeltest-metod	Arbetsrelevans	Engagerar stora muskelgrupper	Syrekrav lika mellan individer
Cykelergometer	*	**	***
Rullbandstest ¹	**	***	**
Step-test	**	***	**
Arbetsrelaterat test	***	***	*
Löptest på bana	*	***	*

¹ Som beskrivet i texten

3.5 Uppföljning av fysisk arbetsförmåga (“konditionskontroll”)

Konditionskontroll av alla brandmän bör ske regelbundet, förslagsvis var sjätte månad, vilket även rekommenderas av Adams och medförf. (6). Denna kontroll har som syfte att upptäcka svackor i den fysisk arbetsförmågan, men kan samtidigt stimulera fysisk träning.

Kontrollen utförs på en eller ett par submaximala belastningar (se indirekt bestämning av maximal syreupptagningsförmåga under respektive testrubrik). Ergometercykel är att föredra på grund av den goda reproducerbarheten, men rullband och step-bänk kan också användas. Belastningen (bromskraften på cykelergometer, resp. hastighet och lutning på rullband och stegfrekvens och höjd på step-bänk) väljs så att hjärtfrekvensen ligger mellan 120 och 150 slag $\cdot\text{min}^{-1}$. Om individens maximala hjärtfrekvens är känt hög kan det högsta värdet överskridas något. Flera olika typer av protokoll kan användas för konditionskontroll (5). För att resultaten ska bli jämförbara, måste betingelserna dock vara lika vid varje testtillfälle (kroppsvikten + klädernas vikt på rullband och step-bänk, typ av kläder samt omgivningstemperatur). Vid konditionskontroll är det lämpligast att använda gymnastikkläder. Värdet på hjärtfrekvensen under de sista 2 minuterna, under s.k. steady-state, kan sedan jämföras mellan konditionskontrollerna. Hjärtfrekvensen mäts manuellt (vilket kan vara svårt vid löpning eller step-test) eller med hjälp av elektronisk utrustning. Det förekommer några olika typer av sådan mätutrustning på marknaden, bl.a. telemetriskt pulsbälte med armbandsklocka eller sensorer som sätts på fingertopp eller på örsnibben.

Testresultaten från submaximal testning bör inte jämföras mellan individer. Den relativa belastningen för individer med olika maximal syreupptagningsförmåga kommer att vara olika och därmed deras hjärtfrekvens

vid slutbelastningen. Eftersom det förekommer variationer i maximal hjärtfrekvens mellan individer kommer resultaten inte att vara jämförbara. Även verkningsgraden kan skilja mellan individer och olika typer av arbeten.

I AFS 1995:1 finns anvisningar om medicinsk undersökning rök- och kemdykare för att avgöra om individens hälsa är tillräckligt god för sådant arbete. Denna undersökning ska innefatta arbetsprov med registrering av EKG (elektrokardiogram). Om submaximala konditionstester utförs på samma belastning och med samma testutrustning (cykelergometer, rullband osv) som vid arbetsprovet med EKG-registrering och hjärtfrekvensen under tröskeltestet i AFS 1995:1 kan värdena jämföras.

3.6 Värmetest

Brandmannen som rök- och kemdyker bör tåla värmebelastning bra. Värmebelastning på individen under arbete är inte enbart orsakad av den yttre miljön i form av hög lufttemperatur, värmestrålning och luftfuktighet. Den orsakas också av de dåliga förutsättningar för värmeavgivning som finns i brandsituationen, dvs brandmannens relativt höga värmeproduktion under tungt arbete i kombination med skyddskläder som släpper igenom lite värme och ånga från huden till omgivningen. Ett värmetoleranstest vid framför allt rekrytering kan vara värdefullt att införa för att utesluta direkt värmekänsliga individer. Förslag på denna typ av tester har givits av flera författare (9-12, 75, 76, 127).

Människan kan fysiologiskt och mentalt förbättra sin värmetålighet med hjälp av värmeträning (värmeacklimatisering), åtminstone vid längre tids vistelse i varma miljöer. Förutsättningarna för förbättring av den fysiologiska anpassningen vid sådan extrem och relativt kortvarig värmebelastning som brandmannen tidvis utsätts för vid rök- och kemdykning är emellertid inte särskilt väl studerad. De intervaller som individen utsätts för sådan typ av värme har troligen stor betydelse för om anpassning kan ske. Sannolikt ger regelbunden värmeträning som efterliknar arbetssituationens betingelser en viss förbättring av värmetoleransen även vid denna typ av värmeexponering i skyddskläder. Täta bastubad kan därför rekommenderas, helst i kombination med fysisk träning. Eftersom den fysiologiska anpassningen förloras om inte individen utsätts för värme måste värmeträningen ske under hela det aktiva yrkeslivet. Regelbunden simulerad rökdykning i värme är givetvis också ett bra sätt att öva inför arbetssituationen.

3.7 Rekommendationer och krav i andra länder

I Finland rekommenderas att brandmän ska kunna genomföra gång på rullband i 5 minuter på hastigheten $4.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ och med en lutning på 8° iförd larmutrustning med en totalvikt på 25 kg eller cykling på ergometercykel med 200 W bromseffekt i 6 minuter.

Det rekommenderade kravet på syreupptagningsförmåga vid nyrekrytering av brandmän är i Storbritannien $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ eller $3,3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (115). Man rekommenderar också att man använder step-test vid övrig testning i kombination med styrketest. Det step-test som används vid rekrytering och testning av brandmän har 40 cm bänkhöjd för män och 33 cm för kvinnor. Takten 45 steg/min ska hållas under 5 minuter, varefter testpersonen får vila i en stol. Hjärtfrekvensen mäts under återhämtning i 15 sekunder efter avslutat arbete. Tabellverk används för att bestämma maximal syreupptagningsförmåga (124), korrigerat för ålder.

Ett screening-test för rekrytering av brandmän har tagits fram i Kanada (58). I detta rekommenderas en minimal $V_{O_2\text{max}}$ på $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Ett poängsystem utarbetades där testpersonen får olika poäng för olika prestation vid sit-ups och simulerade typiska brandmannauppgifter, test av $V_{O_2\text{max}}$ (ergometer eller rullband, det senare rekommenderades), sammansättning och fördelning av kroppsfett samt grad av bålflexion.

Rekommendationer för syreupptagningsförmåga vid anställningstester har tagits fram i USA av Sothmann och medarbetare (132, 133). De menade att den maximala syreupptagningsförmågan skulle vara minst $41 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ för nyanställning.

I Tyskland finns reglering av krav på personal som använder luftapparat (3). Män ska klara att cykla på ergometer med belastningen $3 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ kroppsvikt (240 W för 80 kg) under 39 års ålder, kvinnor $2,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ (150 W för 60 kg), män över 40 år $2,1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ (170 W för 80 kg) och kvinnor över 40 år $1,8 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ (110 W för 60 kg).

Vogelsang och Ulmer (144) rekommenderade cykelergometri för brandmän enbart i samband med EKG-registrering med syfte att utesluta kardiovaskulära risker och inte som metod för bestämning av fysisk kapacitet. En belastning som gav 170-195 hjärtslag $\cdot\text{min}^{-1}$ skulle användas. Vogelsang och Ulmer föreslog att alla brandmän skulle ha obligatorisk fysisk träning under arbetstiden, vilket skulle regleras i en särskild träningsföreskrift gällande brandmän i hela Tyskland. Dessutom rekommenderades dagliga korta övningar med full larmutrustning (inkl. luftapparat).

3.8 Avslutande diskussion om testning av fysisk arbetsförmåga

Det föreliggande tröskeltestet i AFS 1995:1 för fysisk arbetsförmåga anger en miniminivå på individens syreupptagningsförmåga. Denna ska framför allt betraktas som en säkerhetsnivå som har som syfte att förhindra att individer med en fysisk arbetsförmåga som underskrider rökdykningens krav utsätts för en onödig hälsorisk eller livsfara under fysiskt tunga insatser. Enligt Arbetarskyddsstyrelsen har man efter införandet av AFS 1985:6 reducerat antalet olyckor inom brandförsvaret betydligt.

Det fysiska kravet för utförandet av olika typer av räddningsarbete, inklusive rökdykning, kan i många fall innebära en högre syreupptagningsförmåga än den

angivna miniminivån. Dessutom krävs viss statisk och dynamisk muskelstyrka, (särskilt i ben, överkropp, armar och händer), snabbhet, koordination, balans och värmetolerans.

Det är viktigt att säkerställa att den anställda räddningspersonalen har den allsidiga fysiska arbetsförmåga som krävs för att utföra räddningsarbetet på ett säkert och bra sätt. Därför är ett kompletterande arbetsprov, som innefattar testning av de beskrivna fysiska egenskaperna, värdefullt vid rekrytering. Även för regelbunden uppföljning är sådana tester viktiga. Fortfarande saknas dock tillräcklig kunskap om vilken muskelstyrka, snabbhet osv. som brandmansarbetet kräver. Detta behöver utredas vidare (17).

Man bör också ta hänsyn till den normala sänkning av den fysiska arbetsförmågan med ålder, så att rekryteringskraven tillräckligt överstiger de krav som ställs på äldre räddningspersonal.

3.9 Rekommendationer för testning av rökdykares fysiska arbetsförmåga/ syreupptagningsförmåga

Efter denna genomgång av olika typer av arbetsprov rekommenderas följande testrutiner:

A. Tröskeltest

Dagens alternativa arbetsprov bibehålls enligt AFS 1995:1 av praktiska skäl.

EKG-registrering görs antingen i kombination med arbetsprovet eller helt separat på cykelergometer eller rullband. En enhetlig metod är dock att föredra för testning av fysisk arbetsförmåga i framtiden. För detta förordas rullbandstest på grund av bättre relevans för brandmansarbetet. Det ställda kravet på syreupptagningsförmåga får ses som en säkerhetsnivå, som helst bör överskridas med marginal.

B. Uppföljning av den fysiska arbetsförmågan

Tröskeltestet kompletteras med ett enkelt och standardiserat test av fysisk arbetsförmåga (företrädesvis cykelergometer) på en till två submaximala belastningar. Detta bör genomföras minst två gånger per år eller vid misstanke om försämrad fysisk arbetsförmåga (efter period av sjukdom, skada eller annan fysisk inaktivitet).

Vid detta test mäts hjärtfrekvensen som mått på belastningen. Skattning av V_{O_2} max kan göras vid ergometertest om beprövad metod används. Varje person jämförs endast med sig själv. Testet ger också den enskilde individen en god fingervisning om konditionen och effekten av den fysiska träningen. Testresultaten bör dokumenteras och arkiveras för uppföljning. En sådan dokumentation kan vara värdefull för att studera samband mellan faktiska förutsättningar och tröskeltester. Det rekommenderas också att räddningskårerna har tillgång till enkel utrustning för mätning av hjärtfrekvens, som kan användas för att mäta individens maximala hjärtfrekvens. Den maximala hjärtfrekvensen kan användas för korrektion vid skattning av V_{O_2} max med submaximalt ergometertest, vilket minskar metodfelet betydligt.

C. Test av muskulär kapacitet.

Utformning av ett sådant test bör utredas.

D. Test av värmetålighet.

Behovet av ett särskilt test eller träning av värmetåligheten bör utredas.

3.10 Informationskällor

Litteratursökning gjordes i databaserna Medline, CISILO, NIOSHTIC och ARBLINE. Personliga kontakter togs med personer inom räddningstjänsten och med forskare inom området. Flera brev med förfrågan om alternativa testmetoder skickades också till utländska brandmyndigheter och forskare, men endast några svar erhöles. Ca 190 referenser, som rör fysisk arbetsförmåga/testning har studerats. Omkring fyrtio av dessa anknyter till området, men beskriver inte testmetodik eller dylikt som berörts i denna rapport.

4. Sammanfattning

Désirée Gavhed och Ingvar Holmér. Fysisk arbetsförmåga hos brandmän: Krav och testning. *Arbetslivsrapport* 1998;29:1-46.

En litteraturoversikt har gjorts om fysiska krav på brandmän och metoder för testning av aerob kapacitet. Rapporten fokuserades framför allt på olika testers lämplighet som 'tröskeltest' (en test där en förbestämmd belastning ska klaras) för brandmän med avseende på låg variation i energikrav och relevans i brandmansarbetet hos respektive testmetod. Olika typer av arbetsprov och testmetoder beskrevs. Rapporten diskuterar också arbetets krav och kontroll av fysisk arbetsförmåga hos brandmän.

De submaximala testmetoder som har beskrivits och studerats tidigare i litteraturen och som kan ha relevans för brandmän, är framför allt cykelergometri, rullbandstest, step-test, arbetsrelaterat test och löptest på bana. Med hänsyn taget till brandmannens situation och testets egenskaper, förordas rullbandstest för testning av brandmän. I jämförelse med cykeltestet, i vilket kroppsmassan och utrustningens massa avlastas, är rullbandstest mer arbetsrelaterat. Som ett komplement till rullbandstest föreslås ett arbetsspecifikt test. Vid rekrytering av brandmän anses ett sådant test vara värdefullt.

Nyckelord: arbetsprov, brandmän, cykelergometri, fysisk kapacitet, löptest, rullband, step-test, syreupptagning, testning, utvärdering.

5. Summary (Sammanfattning på engelska)

Désirée Gavhed och Ingvar Holmér. Physical capacity in firefighters: Demands and testing. *Arbetslivsrapport* 1998;29:1-46.

The physical demands on the fireman and submaximal methods for testing physical work capacity (aerobic capacity) have been surveyed in the literature. The report is focused on the suitability of different tests to act as a 'threshold' test (i.e. a test in which a given time on a given workload must be completed) with special reference to low variation in energy cost and relevance to the firemen work tasks. Different types of physical work capacity tests are described. The report also discusses physical work capacity demands and monitoring of firemen fitness.

The submaximal test methods which have been described and studied earlier in the literature and which may have relevance to the fireman's work, are mainly: bicycle ergometry, treadmill tests, step-tests, job-related test and track running tests. With reference to the work situation of the firemen a treadmill method is recommended for threshold testing of firemen. The treadmill test showed an acceptable low level of variation in the oxygen consumption at a given workload. Contrary to the cycle ergometer test, in which the body mass relieved and the mass of the equipment does not put a load on the individual, the treadmill test is more job-related. It is also very suitable for fitness training. As a complement a job-specific test is suggested. At recruitment such a test is of value.

Keywords: bicycle ergometry, evaluation, firemen, oxygen consumption, physical work capacity, running test, step-test, testing, treadmill.

6. Referenser

1. AFS 1986:6 Rökdykning. Arbetskyddsstyrelsen, 1986 (1986:6).
2. AFS 1995:1 Rökdykning. Arbetskyddsstyrelsen, 1995 (1995:1).
3. Berufsgenossenschaftlicher Grundsatz 26. Institut für Arbeitswissenschaften der Ruhrkohle AG, 1994
4. Canadian Standardized Test of Fitness (CSTF). Operations Manual. 3 ed. Ottawa, Canada: 1986.
5. ACSM. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. (4th ed.) Philadelphia: Lea and Febiger, 1991.
6. Adams TD, Yanowitz FG, Chandler S, Specht P, Lockwood R, Yeh MP. A study to evaluate and promote total fitness among fire fighters. *J Sports Med* 1986;26:337-345.
7. Andersson A-C. Kvinnor i utryckningsstyrka. Stockholms Brandförsvär, 1997
8. Andersson G, Forsberg A, Malmgren S. Konditionstest på cykel. Testledarutbildning. Farsta: SISU Idrottsböcker, 1997:120. .
9. Armstrong LE, Hubbard RW, Christensen EL, De Luca JP. Evaluation of a temperate-environment test of heat tolerance in prior heatstroke patients and controls. *Eur J Appl Physiol* 1990;60:202-208.
10. Armstrong LE, Hubbard RW, DeLuca JP, Christensen EL, Kraemer WJ. Evaluation of a temperate environment test to predict heat tolerance. *Eur J Appl Physiol* 1987;56:384-389.
11. Armstrong LE, Szlyk PC, Sils IV, De Luca JP, O'Brien C, Hubbard RW. Prediction of the exercise-heat tolerance of soldiers wearing protective overgarments. *Aviat Space Environ Med* 1991;62:673-677.
12. Avellini BA, Shapiro Y, Fortney SM, Wenger CB, Pandolf KB. Effects on heat tolerance of physical training in water and on land. *J Appl Physiol* 1982;53:1291-1298.
13. Balke B, Ware RW. An experimental study of physical fitness of Air Force personel. *US Armed Forces Med J* 1959;10:675-688.
14. Barnard RJ, Anthony DF. Effect of health maintenance programs on Los Angeles City firefighters. *J Occup Med* 1980;22(10):667-669.
15. Ben-Ezra V, Verstraete R. Stair climbing: an alternative exercise modality for firefighters. *J Occup Med* 1988;30(2):103-105.
16. Bennett BL, Hagan RD, Banta G, Williams F. Physiological responses during shipboard firefighting. *Aviat Space Environ Med* 1995;66:225-231.
17. Bergh U, Danielsson U, Gavhed D, Holmér I, Smolander S. Rökdykning - delprojekt 1. *Människa och miljö*. Räddningsverket, 1998 (under tryckning).
18. Bernauer EM, Bonanno J. Development of physical profiles for specific jobs. *J Occup Med* 1975;17:27-33.
19. Brouha L. The step test: A simple method of measuring physical fitness for muscular work in young men. *Res Quart* 1943;14:31-36.
20. Brown A, Cotes JE, Mortimore IL, Reed JW. An exercise training programme for firemen. *Ergonomics* 1982;25(9):793-800.
21. Brownlie L, Brown S, Diewert G, et al. Cost-effective selection of fire fighter recruits. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17, 6:661-666.
22. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* 1973;85:546-562.
23. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 1983;55:1558-1564.

24. Burke EJ. Validity of selected laboratory and field test of physical working capacity. *Res Quart* 1976;47(1):95-104.
25. Buskirk ER, Hodgson JL. Age and aerobic power: The rate of change in men and women. *Federation Proceedings* 1987;46(5):1824-1829.
26. Butts NK, Dodge C, McAlpine M. Effect of stepping rate on energy costs during StairMaster exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(3):378-382.
27. Byrd R, Collins M. Physiological characteristics of fire fighters. *Am Corr Ther J* 1980;34(4):106-109.
28. Cady LD, Bishoff DP, O'Connel ER, Thomas PC, Allan JH. Strength and fitness and subsequent back injuries in firefighters. *J Occup Med* 1979;21:269-272.
29. Cady LD, Thomas PC, Kawasky MS. Program for increasing health and physical fitness of fire fighters. *J Occup Med* 1985;27(2):110-114.
30. Christensen R, Hallen J, Medbø JI, Røynealand O, Waage J, Sejersted OM. *Fysisk funksjonsbelastning insatspersonell Statoil*. Statens arbeidsmiljøinstitutt, Oslo, 1990 (HD 1002/90 FOU).
31. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. *JAMA* 1968;203, 3:135-138.
32. Cotes JE, Dicken C, Evans DL, et al. Prediction of Harvard Pack Index from the result of an 11 min progressive exercise test and anthropometric measurements in coalminers. *Ergonomics* 1979;22(12):1353-1361.
33. Dahlbäck G, Jorfeldt L. *Fysisk och mental prestationsförmåga vid användandet av oxygenapparater för rökdykare*. Avd för klinisk fysiologi, Regionsjukhuset, 581 85 Linköping, 1982 (Sammanfattn nr 503).
34. Danielsson U, Bergh U. *Fysiska krav på befattningar inom räddningstjänsten*. FOA, 1997 (R-97-00549-720-SE).
35. Davies CT. Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J Appl Physiol* 1968;24:700-706.
36. Davies CTM. The oxygen-transporting system in relation to age. *Clin Sci* 1972;42(1):1-13.
37. Davies CTM, Tuxworth W, Young JM. Physiological effects of repeated exercise. *Clin Sci* 1970;39:247-258.
38. Davis PO, Biersner RJ, Barnard RJ. Medical evaluation of fire fighters. *Postgrad Med* 1982;72(2):241.
39. Davis PO, Dotson CO. Heart rate responses to fire fighting activities. *Ambul Electrocardiol* 1978;(1):15-18.
40. Davis PO, Dotson CO. Physiological aspects of fire fighting. *Fire Techn* 1987;:280-291.
41. Davis PO, Dotson CO, SantaMaria DL. Relationship between simulated fire fighting and physical performance measures. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14(1):65-71.
42. Davis PO, Santa Maria DL. Quantifying the human energy costs: a laboratory experiment. *Md Fire Res Bull* 1975;4(1).
43. de Vries H, Klafs C. Prediction of maximal oxygen intake from submaximal tests. *J Sports Med* 1965;5:207-214.
44. de Vries HA. Physiological effects of an exercise training regimen upon men aged 52-88. *J Gerontol* 1970;25:325-336.
45. Donaldson SM, Johnson GR, Campbell MJ, Evans DL, Saunders MJ, Cotes JE. Cardiac frequency during stepping exercise and during treadmill walking as guides to the Harvard Pack index of physical fitness. *Ergonomics* 1980;23:469-473.
46. Doolittle TL, Kaiyala K. A generic performance test for screening firefighters. In: Asfour SS, ed. *Trends in Ergonomics/Human Factors IV*. ed. North-Holland: Elsevier Science Publishers B V, 1987: 603-610. vol IV).
47. Duncan HW, Gardner GW, Barnard RJ. Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat. *Ergonomics* 1979;22, 5:521-527.

48. Egebrandt M, Relefors H. *Hur man mäter fysisk kapacitet hos brandpersonal. Räddningstjänsten.*
49. Ekblom B, Huot R. Response to submaximal and maximal exercise at different levels of carboxyhemoglobin. *Acta Physiol Scand* 1972;86:474-482.
50. Flodmark BT. Rökning sänker brandmäns prestationsförmåga. *Arbete-människa-miljö* 1990;(3):209-211.
51. Fuchi T, Iwaoka K, Higuchi M, Kobayashi S. Cardiovascular changes associated with decreased aerobic capacity and aging in long-distance runners. *Eur J Appl Physiol* 1989;58:884-889.
52. Gavhed D, Torgén M, Högman L, et al. *Kvinnor som brandmän. Utvärdering av rekrytering, grundutbildning och praktik vid Stockholms brandförsvär.* Arbetslivsinstitutet, 1998 (1998:4).
53. Gavhed DCE, Holmér I. Thermoregulatory responses of firemen to exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol* 1989;59:115-122.
54. George JD, Vehrs PR, Allsen PE, Fellingham GW, Fisher AG. VO₂max estimation from a submaximal 1-mile track jog for fit college-age individuals. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(3):401-6.
55. Gilman W, Davis P. Fitness requirements for firefighters. *Nat Fire Protect Assoc J* 1992;.
56. Gisolfi CV. Influence of acclimatization and training on heat tolerance and physical endurance. In: Hales JRS, Richards DAB, ed. *Heat stress: Physical exertion and environment.* ed. Elsevier Science Publishers B.V., 1987: 355-366.
57. Gledhill N, Jamnik VK. Characterization of the physical demands of firefighting. *Can J Spt Sci* 1992;17(3):207-213.
58. Gledhill N, Jamnik VK. Development and validation of a fitness screening protocol for firefighter applicants. *Can J Spt Sci* 1992;17(3):199-206.
59. Greiwe JS, Kaminsky LA, Whaley MH, Dwyer GB. Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(9):1315-20.
60. Guidotti TL. Human factors in firefighting: ergonomic-, cardiopulmonary-, and psychogenic stress-related issues. *Int Arch Occup Environ Health* 1992;64:1-12.
61. Hale T, Armstrong N, Hardman A, Jakeman P, Sharpe C, Winter E. *Position statement on the physiological assessment of the elite competitor, 2nd edition.* British Association of Sport Sciences (Sports Physiology Section), Leeds, 1988
62. Harrison M, Brown G, Cochrane L. Maximal oxygen uptake; Its measurement, application and limitations. *Aviat Space Environ Med* 1980;51(10):1123-1127.
63. Harrison M, DL B, Brown G, Cochrane L. A comparison of some indirect methods for predicting maximal oxygen uptake. *Aviat Space Environ Med* 1980;51(10):1128-1133.
64. Hartung GH, Krock LP, Crandall CG, Bisson RU, Myhre LG. Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal exercise testing in aerobically fit and nonfit men. *Aviat Space Environ Med* 1993;64(8):735-40.
65. Helgerud J. *Fysisk testing ved sesjon - Forsvarets tredemølletest lærestoff og brukerbekrivelse.* Norges Idrettshøgskole/Forsvarets avdeling, 1989 (3/89).
66. Hellerstein HK. Specifications for exercise testing equipment. *J Occup Med* 1979;21:828-832.
67. Hermiston R, Faulkner JA. Prediction of maximal oxygen uptake by a step-wise regression technique. *J Appl Physiol* 1971;30:833-837.
68. Holmér I, Arvidsson S. Arbete i gasskyddsdräkt. *Arbete och Hälsa* 1975;7.
69. Holmér I, Gavhed D, Carlsson D, Kuklane K, Nilsson H. *Belastningsstudier av rökdykning vid extrem strålningsvärme.* Arbetslivsinstitutet, 1997
70. Howley ET, Colacino DL, Swensen TC. Factors affecting the oxygen cost of stepping on an electronic stepping ergometer. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(9):1055-1058.

71. Häkkinen K, Häkkinen A. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1995;35(3):137-146.
72. Høgskilde S, Mikkelsen S, Nürnberg B, Henriksen O, Carl P. *Røkdykkere og fysisk belastning*. Københavns brannvæsen, Koprslægeenheden, 1997
73. Jacobs DT. *Physical fitness and the fire services*. National Fire Protection Association, 1976
74. Kasch FW. The effects of exercise on the aging process. *Physiol Sportsmed* 1976;4:64-69.
75. Kenney WL, Lewis DA, Anderson RK, Kamon E. A simple exercise test for the prediction of relative heat tolerance. *Am Ind Hyg Assoc* 1986;47(4):203-206.
76. Kielblock AJ. Heat acclimatization with special reference to heat tolerance. *International Symposium on the Physiology of stressful environments*. Japan: , 1986: 1-13.
77. Kilbom Å. Physical work capacity of firemen with special reference to demands during firefighting. *Scand J Work Environ Health* 1980;(6):48-57.
78. Kirby CR, Convertino VA. Plasma aldosterone and sweat sodium concentrations after exercise and heat acclimation. *J Appl Physiol* 1986;61, 3:967-970.
79. Kline G, Porcari J, Hintermeister R, et al. Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19:253-9.
80. Kohrt WM, Morgan DW, Bates B, Skinner JS. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19(1):51-55.
81. Lakatta EG, Gerstenblith G. Cardiovascular disorders. In: Evans JG, Williams TF, ed. *Oxford textbook of geriatric medicine*. ed. Oxford, New York, Tokyo: Oxford University Press, 1992: 274.
82. Lakomy HK, Lakomy J. Estimation of maximum oxygen uptake from submaximal exercise on a Concept II rowing ergometer. *J Sports Sci* 1993;11(3):227-32.
83. Lang P, Latin RL, Berg KE, Mellion M. The accuracy of the ASCM cycle ergometry equation. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:272-276.
84. Larsson L, Karlsson J. Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol Scand* 1978;104:129-136.
85. Léger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂max. *Eur J Appl Physiol* 1982;49:1-12.
86. Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences* 1988;6:93-101.
87. Legge BJ, Banister EW. The Åstrand-Ryhming nomogram revisited. *J Appl Physiol* 1986;61, 3:1203-1209.
88. Lemon PWR, Hermiston RT. The human energy cost of fire fighting. *J Occup Med* 1977;8:558-562.
89. Louhevaara V, Lusa S, Soukainen J, Tulppo M, Tuomi P, Kajaste T. Evaluation of a test drill for the assessment of the firefighters' work. In: Lotens WA, Havenith G, ed. *The Fifth International Conference on Environmental Ergonomics*. Maastricht: TNO Institute for Perception, Soesterberg, The Netherlands, 1992: 88-89.
90. Louhevaara V, Soukainen J, Lusa S, Tulppo M, Tuomi P, Kajaste T. Development and evaluation of a test drill for assessing physical work capacity of fire-fighters. *Int J Ind Erg* 1994;13(2):139-146.
91. Louhevaara V, Tuomi T, Korhonen O, Jaakola J. Cardiorespiratory effects of respiratory protective devices during exercise in well-trained man. *Eur J Appl Physiol* 1984;52:340-345.
92. Louhevaara V, Tuomi T, Smolander J, Korhonen O, Tossavainen A, Jaakola J. Cardiorespiratory strain in jobs that require respiratory protection. *Int Arch Occup Environ Health* 1985;55:195-206.
93. Love RG, Graveling RA. *Physical fitness of mines rescue workers*. Institute of Occupational Medicine, 1988 (TM/88/08).

94. Lusa S, Louhevaara V, Smolander J, Kinnunen K, Korhonen O, Soukainen J. Biomechanical evaluation of heavy tool-handling in two age groups of fireman. *Ergonomics* 1991;34(12):1429-1432.
95. Lusa S, Louhevaara V, Smolander J, Kivimäki M, Korhonen O. Firefighters' physiological strain in the tasks with protective equipment and the assessment of their aerobic work capacity. In: Mäkinen H, ed. *Nokobetef IV: Quality and usage of protective clothing*. Kittilä, Finland: , 1992: 88-93.
96. Lusa S, Louhevaara V, Smolander J, Kivimäki M, Korhonen O. Physiological responses of firefighting students during simulated smoke-diving in heat. *Am Ind Hyg Assoc J* 1993;54(5):228-231.
97. Manning JE, Griggs TR. Heart rates in firefighters using light and heavy breathing equipment: Similar near-maximal exertion in response to multiple work load conditions. *J Occup Med* 1983;25(3):215-218.
98. Margaria R, Aghemo P, Rouelli E. Indirect determination of maximal O₂-consumption in man. *J Appl Physiol* 1965;20:1070-3.
99. McConnell TR. Practical considerations in the testing of VO₂ max in runners. *Sports Med* 1988;5:57-68.
100. McKirnan MD, Froelicher VF. Exercise testing and exercise prescription for special cases. In: Skinner J, ed. *General Principles for exercise testing*. ed. 1988: 3-19.
101. Meredith CN. Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *J Appl Physiol* 1989;66(6):2844-2848.
102. Misner JE, Boileau RA, Plowman SA. Development of placement tests for firefighting. *Applied Ergonomics* 1989;20(3):218-224.
103. Misner JE, Boileau RA, Plowman SA, et al. Leg power characteristics of female firefighter applicants. *J Occup Med* 1988;30(5):433-437.
104. Misner JE, Plowman SA, Boileau RA. Performance differences between males and females on simulated firefighting tasks. *J Occup Med* 1987;29(10):801-805.
105. Myles WS, Toft RJ. A cycle ergometer test of maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol* 1982;49:121-129.
106. Nadel ER, Pandolf KB, Roberts MF, Stolwijk JAJ. Mechanisms of thermal acclimation to exercise and heat. *J Appl Physiol* 1974;37, 4:515-520.
107. O'Connell ER, Thomas PC, Cady LD, Karwasky RJ. Energy costs of simulated stair climbing as a job-related task in fire fighting. *J Occup Med* 1986;28(4):282-284.
108. Pandolf KB, Cadarette BS, Sawka MN, Young AJ, Francesconi RP, Gonzalez RR. Thermoregulatory responses of middle-aged and young men during dry-heat acclimation. *J Appl Physiol* 1988;65(1):65-71.
109. Pipes T. Physiological responses of fire fighting recruits to high intensity training. *J Occup Med* 1977;19(2):129-132.
110. Piwonka RW, Robinson S, Gay VL, Manalis RS. Preacclimatization of men to heat by training. *J Appl Physiol* 1965;26(3):379-383.
111. Puterbaugh JS, Lawyer CH. Cardiovascular effects of an exercise program: A controlled study among firemen. *J Occup Med* 1983;25(8):581-586.
112. Raven PB, Davis TO, Shafer CL, Linnebur AC. Maximal stress test performance while wearing self-contained breathing apparatus. *Occup Health Saf* 1977;19:802-806.
113. Ribisl PM, Kachadorian WA. Maximal oxygen intake prediction in young and middle-aged males. *J Sports Med* 1969;9:17-22.
114. Ricci J, Léger LA. VO₂max of cyclists from treadmill, bicycle ergometer and velodrome tests. *Eur J Appl Physiol* 1983;50(2):283-289.
115. Riddell D, Matthews D. *Joint working party on appointment provisions*. Fire Brigades Union, 1988 (2235).

116. Robertshaw SA, Reed JW, Mortimore IL, Cotes JE, Afacan AS, Grogan JB. Submaximal alternatives to the Harvard Pack index as guides to maximal oxygen uptake (physical fitness). *Ergonomics* 1984;27(2):177-185.
117. Romet TT, Frim J. Physiological responses to fire fighting activities. *Eur J Appl Physiol* 1987;56:633-638.
118. Rowell LB. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev* 1974;54:75-159.
119. Rowell LB, Taylor HL, Wang Y. Limitations to prediction of maximal oxygen intake. *J Appl Physiol* 1964;19:919-927.
120. Ryhming I. A modified Harvard step test for the evaluation of physical fitness. *Arbeitsphysiologie* 1953;15:235-250.
121. Saupe K, Sothmann M, Jassenof D. Aging and the fitness of fire fighters: The complex issues involved in abolishing mandatory retirement ages. *American Journal of Public Health* 1991;81(9):1192-1194.
122. Schonfeld MA, Doerr DF, Conventio VA. An occupational performance test validation program for fire fighters at the Kennedy space center. *J Occup Med* 1990;32(7):638-643.
123. Shahnava H. Influence of limb length on a stepping exercise. *J Appl Physiol* 1978;44:346-349.
124. Sharkey BJ. *Physiology of fitness*. Champaign, Illinois: Mountain Press Publishing Co., 1979 Human Kinetics.
125. Shephard RJ. The relative merits of the step test, bicycle ergometer, and treadmill in the assessment of cardio-respiratory fitness. *Int Z angew Physiol einschli Arbeitsphysiol* 1966;23:219-230.
126. Shvartz E, Shapiro Y, Magazanik A, et al. Heat acclimation, physical fitness, and responses to exercise in temperature and hot environments. *J Appl Physiol* 1977;43(4):678-683.
127. Shvartz E, Shibolet S, Meroz A, Magazanik A, Shapiro Y. Prediction of heat tolerance from heart rate and rectal temperature in a temperate environment. *J Appl Physiol* 1977;43(4):684-688.
128. Sköldström B. Physiological responses of fire fighters to workload and thermal stress. *Ergonomics* 1987;30, 11:1589-1597.
129. Sloan AW. The Harvard step test of dynamic fitness. *Triangle (En)* 1962;5:358-363.
130. Smolander J, Lusa S, Louhevaara V, Koski T, Uusimäki H, Korhonen O. Evaluation of a job-related treadmill test for the assessment of fire-fighters' work capacity. In: Karwowski W, Yates JW, ed. *Advances in industrial ergonomics and safety III*. Taylor&Francis, 1991: 505-512.
131. Sothmann M, Saupe K, Raven P, et al. Oxygen consumption during fire suppression: error of heart rate estimation. *Ergonomics* 1991;34(12):1469-1474.
132. Sothmann MS, Landy F, Saupe K. Age as a bona fide occupational qualification for firefighting. *J Occup Med* 1992;34(1):26-33.
133. Sothmann MS, Saupe KW, Jassenof D, et al. Advancing age and the cardiorespiratory stress of fire suppression: Determining a minimum standard for aerobic fitness. *Human Performance* 1990;3(4):217-236.
134. Sparks PJ. *Minimum medical standards for firefighters*. Association of Washington Cities, 1987
135. Stromme SB, Ingjer F, Meen HD. Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Appl Physiol* 1977;42(6):833-837.
136. Söderlind T. *Relativ pulsbelastning hos rökdykare under standardiserad rökdykningsövning*. Arbetsmiljöinstitutet, 1991.
137. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 1955;8:73-80.

138. Thomas SG, Weller IMR, Cox MH. Sources of variation in oxygen consumption during a stepping task. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(1):139-144.
139. Tönnes M, Behm M, Kilbom Å. Krav på muskelstyrka och uthållighet vid tunga bärmoment i brandmannens arbete. *Arbete och Hälsa* 1986;24.
140. Tönnes M, Hägg G, Finn L, Kilbom Å. Dynamisk och statisk muskelstyrka hos brandmän. *Arbete och Hälsa* 1982;36.
141. van der Merwe GW, van der Heever JAJ, van der Walt WH. A submaximal cardiorespiratory test for the assessment of work capacity. *J Res Sport, PE and Recr* 1980;(3):36-47.
142. Vanderwoort AA, McComas AJ. Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol* 1986;61:361-367.
143. Viitasalo JTAE, P.%A Leskinen,A.-L.%A Heikkinen,E. Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31-35, 51-55 and 71-75 years. *Ergonomics* 1985;28, 11:1563-1574.
144. Vogelsang H-C. Zur Notwendigkeit einer ausreichenden körperlichen Leistungsfähigkeit bei Atemschutzgeräteträgern der Feuerwehren. *Zbl Arbeitsmed* 1986;36:197-203.
145. von Hallmeyer A, Klingbeil M, Köhn-Seyer G, et al. Physische und psychische belastungskomponenten in der tätigkeit des feuerwehrmannes. *Z ges Hyg* 1981;27(3):191-194.
146. Weller IM, Thomas SG, Corey PN, Cox MH. Prediction of maximal oxygen uptake from a modified Canadian aerobic fitness test. *Can J Appl Physiol* 1993;18(2):175-88.
147. White MK, Hodous TK. Reduced work tolerance associated with wearing protective clothing and respirators. *Am Ind Hyg Assoc J* 1987;48, 4:304-310.
148. Williford HN, Sport K, Wang N, Olsen MS, Blessing D. The prediction of fitness levels of United States Air Force officers: validation of cycle ergometry. *Mil Med* 1994;159(3):175-178.
149. Wyndham CH. The physiology of exercise under heat stress. *Ann Rev Physiol* 1973;35:193-220.
150. Young A. *Muscle function in old age*. New issues in neuroscience; 1989, vol 1.
151. Zylberstein M. *Fysisk belastning under rökdykning*. Arbetarskyddsstyrelsen, 1973 (488/72).
152. Åstrand P-O, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw-Hill, 1986.
153. Åstrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (Physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol* 1954;7:218-221.
154. Åstrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol* 1961;16:977-981.

Arbetslivsinstitutet

Centrum för arbetslivsforskning

Arbetslivsinstitutet är nationellt centrum för forskning och utveckling inom arbetsmiljö, arbetsliv och arbetsmarknad. Kunskapsuppbyggnad och kunskapsanvändning genom utbildning, information och dokumentation samt internationellt samarbete är andra viktiga uppgifter för institutet.

Kompetens för forskning, utveckling och utbildning finns inom områden som

- arbetsmarknad och arbetsrätt,
- arbetsorganisation
- belastningsskador,
- arbetsmiljöteknik,
- hälsoeffekter av det nya arbetslivets psykosociala problem,
- arbetsmedicin, allergi, påverkan på nervsystemet,
- kemiska riskfaktorer och toxikologi.

Totalt arbetar omkring 400 personer vid institutet. Forskning och utbildning sker i samarbete med bl a universitet och högskolor.

Arbetslivsrapporterna är utgivna av Arbetslivsinstitutet.
Ytterligare exemplar kan beställas från:

Förlagstjänst
Arbetslivsinstitutet
171 84 Solna

Tel: 08-730 98 00, Fax: 08-730 98 88, E-mail: forlag@niwl.se

Arbetskyddsstyrelsens tryckeri 1998
ISSN 1401-2928