

# Toetsing van de bijzondere functie-eis ‘energetische piekbelasting’; een vergelijking van vier testmethodes

Versie: 1.0, 1 maart 2017

Instituut Fysieke Veiligheid  
Facilitair Dienstencentrum  
Postbus 7112  
2701 AC Zoetermeer  
Zilverstraat 91, Zoetermeer  
www.ifv.nl  
info@ifv.nl  
079 330 46 00

### **Colofon**

Opdrachtgever: Brandweer Nederland  
Contactpersoon: Drs Ellen Buskens  
Titel: Toetsing van de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting';  
een vergelijking van vier testmethodes  
Datum: 1 maart 2017  
Status: Definitief  
Versie: 1.0  
Auteurs: Drs. Eric Mol  
Projectleider: Drs. Ronald Heus  
Review: Dr.ir. Ricardo Weewer en Dr. Jos Post  
Eindverantwoordelijk: Ing. Hans Versnel

# 1 Samenvatting

Sinds 1 januari 2011 vervangt het Periodiek Preventief Medisch Onderzoek (PPMO) officieel de standaard brandweerkeuring die tot op dat moment werd uitgevoerd. Inhoudelijk is het PPMO opgebouwd uit een fysiek deel en een medisch deel. Medewerkers van de brandweer met een bezwarende functie worden gekeurd op basis van vastgestelde bijzondere functie-eisen, conform de Wet Medische Keuringen (WMK, 1997). Dit gebeurt door middel van een aantal praktijk gerelateerde testen voor zowel het fysieke deel (de Brandweerttraplooptest (B-TLT) en de Brandbestrijdingstest (BBT)) als het medische deel (signaalvragenlijst en biometrische testen).

Brandweer Nederland heeft het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) opdracht gegeven een onderzoek uit te voeren om in het kader van toetsing van de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting' een validatie-onderzoek uit te voeren. In dit onderzoek worden drie (alternatieve) toets methoden gevalideerd ten opzichte van de oorspronkelijke Brandweerttraplooptest (B-TLT<sub>slang</sub>). Bij de B-TLT<sub>slang</sub> moeten kandidaten met medeneming van twee opgerolde slangen á 10 kg zo snel mogelijk, doch binnen de grenzen van veiligheid, via een vaste trap een hoogteverschil van 20 meter overbruggen. De drie alternatieve testen betreffen 1) de B-TLT<sub>lood</sub>, waarbij in plaats van twee slangen een loodgordel met een gewicht van 20 kg wordt gedragen, 2) de gewijzigde Stairmastertest (SMT), waarbij een traploopactiviteit werd gesimuleerd met behulp van een stationair traploopapparaat, de Stairmaster, terwijl de kandidaat een loodgordel draagt met een gewicht van 20 kg in plaats van twee slangen van dit gewicht en 3) de Queens College Step Test (QCST), een eenvoudig uit te voeren steptest, waarbij kandidaten gedurende 3 minuten met een stapfrequentie van 24 per minuut een 40 cm hoog stapbankje op en af stappen.

Ten behoeve van de validatie zijn experimenten met de inzet van proefpersonen uitgevoerd. Door middel van de experimenten is een antwoord gezocht op de volgende onderzoeksvragen:

- 1) Zorgt het dragen van een loodgordel voor een vergelijkbare energetische piekbelasting in vergelijking met het dragen van brandweerslangen tijdens het uitvoeren van de B-TLT?
- 2) Resulteert de gewijzigde SMT in een vergelijkbare energetische piekbelasting als de B-TLT<sub>slang</sub>?
- 3) Resulteert de QCST in een vergelijkbare energetische piekbelasting als de B-TLT<sub>slang</sub>?

Aan het onderzoek is deelgenomen door negen mannelijke proefpersonen. Allen waren ervaren brandweermensen die medisch en fysiek goedgekeurd zijn op basis van het PPMO. Voorafgaande aan de experimenten zijn de deelnemers schriftelijk geïnformeerd over doelstelling van en gang van zaken rondom de experimenten. Afspraken tussen deelnemers en onderzoekers zijn vastgelegd in een zgn. 'informed consent'<sup>1</sup>. Veilige deelname aan de experimenten is voorafgaande aan de metingen beoordeeld door middel van een Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q).

Verdeeld over twee meetdagen hebben de deelnemers vier testen uitgevoerd. De testen vonden plaats in de voertuigenhal van het IFV te Arnhem (SMT en QCST) en

<sup>1</sup> vrijwillig verkregen toestemmingsverklaring voor deelname aan een studie of interventieprogramma.

het noodtrappenhuis van het Pathé Theater in Arnhem (B-TLT<sub>slang</sub> en B-TLT<sub>lood</sub>). De deelnemers doorliepen de testen in een verschillende volgorde. Wanneer het meetschema daarom vroeg werden deelnemers met een pendelbusje van de ene naar de andere locatie vervoerd.

Bij het uitvoeren van de testen werden een aantal metingen gedaan; om de energetische piekbelasting van elk van de testen te bepalen is de zuurstofopname ( $VO_2$ ) gemeten. De tijdens inspanning via de ademhaling door het lichaam opgenomen hoeveelheid zuurstof is de standaard bij het bepalen van de energetische belasting van een taak. Door de zuurstofopnames van de deelnemers tijdens elk van de testen met elkaar te vergelijken werd het mogelijk verschillen en mate van overeenstemming tussen de testen te identificeren. Naast zuurstofopname is ook de hartslagfrequentie als inspanningsmaat gemeten en het aantal MET's ('*Metabole Equivalent van de Taak*') bepaald. Van laatstgenoemde maat zijn vanuit andere onderzoeken naar energetische belasting van brandweerwerk duidelijke referentiewaarden aanwezig.

Voor de metingen is een mobiel ademanalyseapparaat, de Cosmed K5, ingezet. Met dit apparaat is het mogelijk om samenstelling en hoeveelheid in- en uitgeademde lucht te meten tijdens het uitvoeren van de testen.

De deelnemers voerden drie van de vier testen uit in volledige uitrukkleding; bluspak, helm, handschoenen en laarzen. Ook droegen zij een ademtoestel en ademluchtfles met zich mee. Ademlucht was niet aangesloten via een volgelaatsmasker. In plaats daarvan droegen de deelnemers een bij het ademanalyseapparaat horend mondkapje. De QCST werd uitgevoerd in sportkleding zonder ademtoestel en ademluchtfles

De tijdens de metingen verzamelde gegevens zijn verwerkt en statistisch getoetst om verschillen en mate van overeenstemming tussen de testen te identificeren.

In lijn met de resultaten van deze studie worden de volgende conclusies getrokken:

- De energetische piekbelasting op basis van de zuurstofopname ( $VO_2$ ) en 'Metabole Equivalent van de Taak' (MET) bij uitvoering van de brandweertaplooptest met een loodgordel, is significant lager dan wanneer de brandweertaplooptest met twee opgerolde slangen wordt uitgevoerd. Beide testen kunnen voor wat betreft energetische piekbelasting niet met elkaar worden vergeleken.
- Gebaseerd op de zuurstofopname ( $VO_2$ ) werd geen statistisch significant verschil gevonden tussen de oorspronkelijke brandweertaplooptest en de gewijzigde Stairmastertest. Dit verschil werd wel gevonden voor de 'Metabole Equivalent van de Taak' (MET).
- Op basis van de zuurstofopname ( $VO_2$ ) en 'Metabole Equivalent van de Taak' (MET) is geen statistisch significant verschil gevonden tussen de oorspronkelijke brandweertaplooptest met twee opgerolde slangen en de Queens College Step Test.
- Wanneer de energetische belasting bij de oorspronkelijke brandweertaplooptest, uitgedrukt als zuurstofopname, wordt gezien als 'gouden standaard' of 'benchmark' is de mate van overeenstemming in energetische belasting het grootste voor de Queens College Step Test.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Methode</b>	<b>8</b>
3.1	Deelnemers	8
3.2	Testen	8
3.3	Metingen	9
3.4	Gegevensverwerking en statistische analyse	11
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>12</b>
4.1	Deelnemers	12
4.2	Fysiologische maten	12
4.3	Tijdsduur	14
4.4	De B-TLT <sub>slang</sub> als 'gouden standaard'	14
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>16</b>
5.1	Energieverbruik: zuurstofopname (VO <sub>2</sub> )	16
5.2	Metabolic Equivalent of Task (MET)	18
5.3	De B-TLT <sub>slang</sub> als 'gouden standaard'	18
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Dankwoord</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Geraadpleegde literatuur</b>	<b>21</b>

## 2 Inleiding

Sinds 1 januari 2011 vervangt het Periodiek Preventief Medisch Onderzoek (PPMO) officieel de standaard brandweerkeuring die tot op dat moment werd uitgevoerd. Inhoudelijk is het PPMO opgebouwd uit een fysiek deel en een medisch deel. Medewerkers van de brandweer met een bezwarende functie worden, conform de Wet Medische Keuringen (WMK, 1997), gekeurd op basis van vastgestelde bijzondere functie-eisen. Dit gebeurt door middel van een aantal praktisch uitvoerbare testen voor zowel het fysieke deel (de Brandweertraplooptest en de Brandbestrijdingstest) als het medische deel (signaalvragenlijst en biometrische testen).

Brandweer Nederland heeft het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) opdracht gegeven om in het kader van toetsing van de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting' een validatie-onderzoek uit te voeren. In dit onderzoek worden drie (alternatieve) toets methoden gevalideerd ten opzichte van de oorspronkelijk Brandweertraplooptest (B-TLT). Bij de B-TLT moeten deelnemers met medeneming van twee opgerolde slangen á 10 kg zo snel mogelijk, doch binnen de grenzen van veiligheid, via een vaste trap een hoogteverschil van 20 meter overbruggen. Omdat de B-TLT niet op alle PPMO-testlocaties kon worden afgenomen, is een alternatieve traplooptest geïntroduceerd, de Stairmastertest (SMT). De Stairmaster (StairMaster Gauntlet 8 Series, Stair Master Ltd, Hertfordshire, UK) is een stationair apparaat waarmee een traploopactiviteit kan worden gesimuleerd. Door Plat et al. (2013) is een onderzoek uitgevoerd of de SMT is te gebruiken als alternatief voor de B-TLT om energetische piekbelasting in kaart te brengen. De resultaten van het uitvoeren van zowel de B-TLT als de SMT door een groep proefpersonen werden in de studie van Plat et al. met elkaar vergeleken op basis van de criteria zoals die zijn beschreven in de op dat moment geldende protocollen voor beide testen.

In het najaar van 2015 heeft, na het stilleggen van de uitvoering van de SMT door de I-SZW ten gevolge van veiligheidsproblemen, een modificatie van de Stairmaster plaatsgevonden. Ook is een verandering in de uitvoering van de test doorgevoerd, nl. in plaats van medeneming van twee opgerolde slangen dragen deelnemers een loodgordel met een overeenkomstig gewicht van 20 kg. Naar aanleiding van deze veranderingen is de vraag gerezen of de gewijzigde SMT de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting' op een valide wijze wordt getoetst. Het doel van deze studie is validatie van de gewijzigde SMT ten opzichte van de oorspronkelijke Brandweertraplooptest.

Om deze doelstelling te behalen zijn de volgende vraagstellingen geformuleerd:

- 1) Zorgt het dragen van een loodgordel voor een vergelijkbare energetische piekbelasting in vergelijking met het dragen van brandweerslangen tijdens het uitvoeren van de B-TLT?
- 2) Resulteert de gewijzigde SMT in een vergelijkbare energetische piekbelasting als de B-TLT?

Naast de SMT en de TLT is gekeken naar een bestaande, alternatieve test om de energetische piekbelasting te meten.

Als toevoeging bij dit onderzoek wordt de Queens College Step Test (QCST) als alternatieve methode om de energetische piekbelasting te bepalen gevalideerd tegen de B-TLT. Op basis hiervan is een derde vraagstelling geformuleerd:

3) Resulteert de QCST in een vergelijkbare energetische piekbelasting als de B-TLT?

# 3 Methode

## 3.1 Deelnemers

De onderzoekspopulatie bestond uit 9 mannelijke deelnemers (leeftijd  $47,2 \pm 12,3$  jr; lichaamslengte  $1,82 \pm 0,07$  m; lichaamsgewicht  $83,0 \pm 13,6$  kg; BMI  $24,9 \pm 2,5$ ). Allen hadden ervaring met repressief brandweerwerk en waren hiervoor medisch en fysiek goedgekeurd op basis van het Periodiek Preventief Medisch Onderzoek (PPMO). Allen waren voorafgaande aan de metingen schriftelijk en mondeling geïnformeerd over doel van en de gang van zaken tijdens de metingen. Een toestemmingsverklaring (*'informed consent'*) is ondertekend door zowel de deelnemer als de onderzoeksleider. Voor aanvang van de metingen is tevens een Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) (Warburton et al., 2011) ingevuld door de deelnemers.

## 3.2 Testen

Om de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting' te toetsen zijn binnen het PPMO twee testen beschikbaar: de Brandweertaplooptest (B-TLT) en de Stairmastertest (SMT). Naast deze testen hebben de deelnemers de Queens College Step test (QCST) uitgevoerd. Dit is een gestandaardiseerde steptest die internationaal regelmatig wordt gebruikt om de energetische belastbaarheid/aerobe capaciteit van brandweermensen (Perroni et al., 2015) te toetsen.

### 3.2.1 Brandweertaplooptest (B-TLT)

In dit experiment is de B-TLT in twee varianten uitgevoerd: de oorspronkelijke B-TLT met twee slangen á 10 kg, 52 mm, dubbel opgerold en de later geïntroduceerde B-TLT met een loodgordel (Tech Weight Harness, Beaver Sports, Huddersfield, UK) á 20 kg. Deelnemers kregen de opdracht om zo snel mogelijk, doch binnen de grenzen van veiligheid, via een vaste trap een hoogteverschil van 20 meter te overbruggen. Hiervoor moesten, op basis van een tredelhoogte van 0,18 m,  $20/0,18 = 112$  treden worden gelopen. Na elk trapdeel van 15 treden draaiden de deelnemers rechtsom om het volgende trapdeel te bereiken.

Voorafgaande aan beide varianten van de B-TLT kregen de deelnemers een geprotocolleerde instructie van één van de onderzoekers.

### 3.2.2 Stairmastertest (SMT)

De SMT is uitgevoerd op een voor de SMT gemodificeerde StairMaster (StairMaster Gauntlet 8 Series, Stair Master Ltd, Hertfordshire, UK) volgens het protocol zoals dat sinds september 2015 is voorgescreven (Brandweer Nederland, 2016). Dus met een loodgordel in plaats van twee slangen. Volgens een geprotocolleerde instructie moesten de deelnemers, na het bepalen van de stapfrequentie, 100 treden (tredelhoogte 0,20 m) lopen. Deze kwamen overeen met een verticale stijging van 20 meter. Het was toegestaan om, in geval van een balansverstoring, de armsteunen vast te pakken.



### 3.2.3 Queens College Step Test (QCST)

Bij de QCST moesten de deelnemers gedurende drie minuten en volgens een door een metronoom, een hulpmiddel om het tempo aan te geven, opgelegd stapfrequentie van 24 stappen per minuut, een 40 cm hoge stapbank op en af stappen volgens het ritme OP-OP-AF-AF. Dit gebeurde na een geprotocolleerde instructie door de onderzoeksleider. Hoewel in deze studie niet van toepassing, kan de QCST op basis van de hartslagfrequentie die 20 seconden na het einde van de test is bereikt ( $HF_{\text{eind}}$ ), een goede inschatting maken van de maximale zuurstofopname capaciteit ( $VO_2\text{-max}$ ) (Abdossaleh & Ahmadi, 2013).

### 3.2.4 Uitvoering van de testen

Beide varianten van de B-TLT zijn uitgevoerd in het trappenhuis van het Pathé Theater in Arnhem. De SMT en QCST zijn uitgevoerd in de voertuigenhal van het Instituut Fysieke Veiligheid in Arnhem. Bij het uitvoeren van de B-TLT en SMT droegen alle deelnemers hun eigen uitrusting incl. helm, handschoenen en uitrukklaarzen. Ook droegen zij een ademluchttoestel en -fles. Deze waren niet aangesloten via een volgelaatsmasker. Deelnemers droegen tijdens de B-TLT en SMT dezelfde onderkleding. De QCST werd, volgens het gestandaardiseerde protocol ervan, uitgevoerd in sportkleding: T-shirt met korte mouwen, korte sportbroek en sportschoenen. In figuur 1 is een impressie gegeven van de uitgevoerde testen.



Figuur 1: Impressie van de uitgevoerde testen. Van links naar rechts B-TLT<sub>slang</sub>, B-TLT<sub>lood</sub>, SMT en QCST

## 3.3 Metingen

### 3.3.1 Fysiologische maten

Tijdens elk van de vier testen zijn o.a. de volgende fysiologische parameters gemeten: zuurstofopname ( $VO_2$ ), kooldioxideproductie ( $VCO_2$ ) en hartslagfrequentie (HF). Aan de hand van  $VO_2$  en  $VCO_2$  is het respiratoir quotiënt (RQ) berekend. Het RQ is de verhouding tussen afgestane  $CO_2$  en opgenomen  $O_2$ . Een RQ van 1 wordt gezien als de waarde waarbij het lichaam gaat 'verzuren'. Ook is, als maat voor de hoeveelheid energie die moet worden vrijgemaakt om de testen uit te voeren, het aantal MET's bepaald; 1 MET ('*Metabolic Equivalent of Task*') komt overeen met de energie die nodig is voor de activiteit 'rustig zitten' (Ainsworth et al., 2011). MET-waarden voor brandweerwerk variëren van 6 tot 16 (Sothmann et al., 1992; Malley et al., 1999; Kerrigan & Mos, 2016).

De metingen zijn uitgevoerd met een mobiel ademanalyse-systeem (Cosmed K5, Rome, Italy) (Figuur 2). Voorafgaande aan en halverwege de metingen is het systeem gekalibreerd met behulp van ijkgas met een bekende samenstelling (5%  $CO_2$  en 16%  $O_2$ ) t.b.v. de gaskalibratie, een 3 liter pomp t.b.v. de volumekalibratie

en is een zgn. 'CO<sub>2</sub>-scrubber' gebruikt om de sample-lijn van de Cosmed K5 te ontdoen van restanten CO<sub>2</sub> die de metingen negatief kunnen beïnvloeden. HF is gemeten via een Cosmed-borstband die de waarden via ANT+ synchroon doorstuurt naar de Cosmed K5 waar ze werden opgeslagen.



Figuur 2: Deelnemer uitgerust het Cosmed K5 ademanalyse-systeem.

Als primaire effectmaat voor energetische piekbelasting is in deze studie zuurstofopname (VO<sub>2</sub>) gehanteerd. Binnen de inspanningsfysiologie is het direct meten van zuurstofopname de meest geëigende methode om de energetische belasting van fysiek inspannende activiteiten te kwantificeren (Kenney et al., 2015). Deze methode wordt ook in brandweergelateerd inspanningsfysiologisch onderzoek gebruikt (Williams-Bell et al., 2009). Waarden voor VO<sub>2</sub>, MET en RQ zijn berekend als gemiddelden over de laatste 20 seconden van elke test (Williams-Bell et al., 2009).

In lijn met de protocollen voor de B-TLT en SMT is de hartslagfrequentie gemeten aan het einde van de test (HF<sub>eind</sub>) en gerelateerd aan de leeftijdsafhankelijke maximale hartslagfrequentie (HF-max). Wanneer HF<sub>eind</sub> groter of gelijk was aan 85% van HF-max (85%HF-max) was er sprake van een energetische piekbelasting (Brandweer Nederland, 2015; 2016). HF-max is daarbij bepaald aan de hand van de formule:  $207 - (0,7 \times leeftijd)$  (Gellish et al., 2007).

### 3.3.2 Tijdsduur

Voor de twee varianten van de B-TLT en de SMT is de stopwatch functionaliteit van een mobiele telefoon gebruikt. De tijdsduur werd door twee onderzoekers, onafhankelijk van elkaar bijgehouden. Ten behoeve van het stapritme van de QCST werd gebruik gemaakt van een metronoom in de vorm van een mobiele applicatie (B'Metronome, BestMetronome.com).

### 3.3.3 Experimenteel ontwerp en protocol

Er is gebruik gemaakt van een 'binnen proefpersoon design'; alle deelnemers hebben alle vier de testen uitgevoerd. Om volgorde-effecten te voorkomen zijn de testen gerandomiseerd aangeboden. De testen zijn uitgevoerd op twee meetdagen, waarbij deelnemers op elke van beide meetdagen twee testen uitvoerden. De tweede meetdag vond plaats minimaal drie weken na de eerste. Per meetdag voorzag het schema in een hersteltijd van twee uur tussen twee testen. In geval van testuitvoering op twee meetlocaties, werden de deelnemers met een pendelbusje

vervoerd van de ene naar de andere locatie. Op een meetdag mochten de deelnemers naar behoefte water drinken en werden ze voorzien van een standaard lunch (twee hartig belegde broodjes, een flesje vruchtensap, een mandarijn en een zoete versnapering).

### 3.4 Gegevensverwerking en statistische analyse

De gegevens zijn verwerkt met behulp van het statistische softwarepakket SPSS v24 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL). Om inzicht te krijgen in het verschil in energetische piekbelasting ( $VO_2$ ) tussen de vier gebruikte testen is een herhaalde metingen variantieanalyse uitgevoerd.

Een variantieanalyse, ook wel ANOVA (*'analysis of variance'*) genoemd, wordt uitgevoerd wanneer men op zoek is naar verschillen tussen de effecten van meerdere onafhankelijke variabelen op een bepaalde effectmaat. Dat zijn in dit geval de vier testen die worden onderzocht op hun effect op energetische piekbelasting. In geval van een statistisch significant effect, bijvoorbeeld een hogere of lagere energetische belasting, dat vooral wordt veroorzaakt door de aard van de test en niet door toeval, is een zgn. Bonferroni post-hoc test uitgevoerd om onderlinge verschillen tussen de vier testen te evalueren. Dus, met een ANOVA wordt bekeken of er overall een significant verschil is tussen de testen. Als dat het geval is, is met een Bonferroni post-hoc test gekeken waar dat verschil zit; is dat bijvoorbeeld tussen test 1 en test 2, of tussen 1 en 3 etc.

Het significantieniveau is, zoals gebruikelijk is in dit soort onderzoeken, gesteld op een  $p \leq 0,05$ . Dit betekent dat de kans dat een gevonden verschil wordt veroorzaakt door toeval kleiner of gelijk is dan 1 op 20.

# 4 Resultaten

In deze studie is op basis van fysiologische parameters gekeken naar verschillen tussen vier testen waarmee de bijzondere functie-eis 'energetisch piekbelasting' wordt getoetst; de brandweertraplooptest (B-TLT) met twee opgerolde slangen á 10 kg als extra last, de B-TLT met een loodgordel van 20 kg als extra last en de Stairmastertest (SMT) met een loodgordel van 20 kg. Als extra test is de Queens College Step Test (QCST) in de vergelijking meegenomen. Steptesten als de QCST worden internationaal gebruikt om de aerobe capaciteit van brandweermensen te bepalen.

## 4.1 Deelnemers

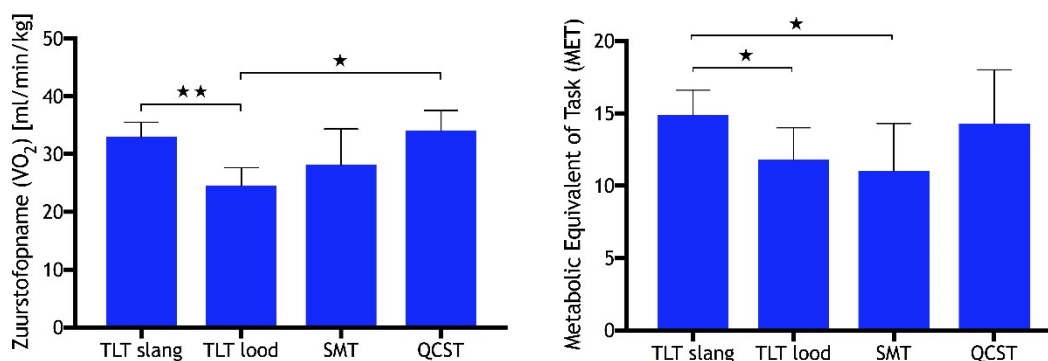
De onderzoekspopulatie bestond uit 9 mannelijke deelnemers (leeftijd  $47,2 \pm 12,3$  jr; lichaamslengte  $1,82 \pm 0,07$  m; lichaamsgewicht  $83,0 \pm 13,6$  kg; BMI  $24,9 \pm 2,5$ ).

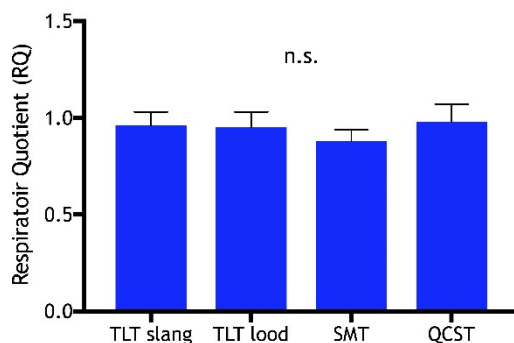
## 4.2 Fysiologische maten

In Tabel 1 en Figuur 3 zijn de resultaten weergegeven van fysiologische metingen. De resultaten zijn gepresenteerd als gemiddelden (M) ( $\pm$  standaarddeviatie (SD)) op groepsniveau. Standaarddeviatie is een maat voor de spreiding rondom het gemiddelde.

Tabel 1: Resultaten van de fysiologische parameters per test op groepsniveau (M  $\pm$  SD)

	VO <sub>2</sub> [ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	METS	RQ
<b>B-TLT<sub>slang</sub></b>	33,0 $\pm$ 2,5	14,9 $\pm$ 1,7	0,96 $\pm$ 0,07
<b>B-TLT<sub>lood</sub></b>	24,6 $\pm$ 3,1	11,8 $\pm$ 2,2	0,95 $\pm$ 0,08
<b>SMT</b>	28,2 $\pm$ 6,2	11,0 $\pm$ 3,3	0,88 $\pm$ 0,06
<b>QCST</b>	34,1 $\pm$ 3,5	14,3 $\pm$ 3,7	0,98 $\pm$ 0,09





Figuur 3: Resultaten van de fysiologische parameters per test op groepsniveau ( $M \pm SD$ ). n.s. = niet significant, ★ =  $p < 0,05$ , ★★ =  $p < 0,01$ .

Een herhaalde metingen variantieanalyse (ANOVA) is, na toetsing op normaliteit, uitgevoerd om de nulhypothese, nl. 'er is voor wat betreft energetische piekbelasting geen verschil tussen de testen (B-TLT<sub>slang</sub>, B-TLT<sub>lood</sub>, SMT en QCST)', te evalueren.

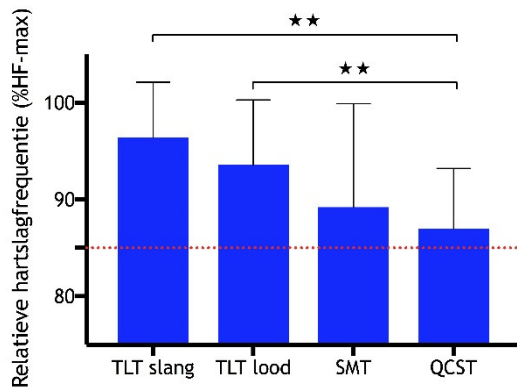
De resultaten van de ANOVA laten zien dat er een significant statistisch effect is voor het soort test;  $F(3,6)=17,23$ ,  $p=0,02$ . Dit betekent dat de nulhypothese kan worden verworpen. Post hoc toetsing met Bonferroni correctie liet zien dat er significante verschillen waren voor de primaire effectmaat zuurstofopname ( $VO_2$ ) tussen B-TLT<sub>slang</sub> en B-TLT<sub>lood</sub> ( $p=0,00$ ), B-TLT<sub>lood</sub> en QCST ( $p=0,01$ ). Dit betekent dat de verschillende testen verschillende zuurstofopnames laten zien die kunnen worden toegeschreven aan de aard van de test.

Voor de effectmaat MET werden significante verschillen gevonden tussen B-TLT<sub>slang</sub> en B-TLT<sub>lood</sub> ( $p=0,02$ ) en B-TLT<sub>slang</sub> en SMT ( $p=0,02$ ). Het respiratoir quotiënt (RQ) liet geen verschil zien tussen de testen.

Voor de beoordeling van het testresultaat van resp. de B-TLT en SMT wordt de hartslagfrequentie aan het einde van test ( $HF_{\text{eind}}$ ) gerelateerd aan de leeftijdsafhankelijke maximale hartslagfrequentie ( $HF_{\text{max}}$ ). Wanneer  $HF_{\text{eind}}$  groter of gelijk was aan 85% van  $HF_{\text{max}}$  was er sprake van een energetische piekbelasting. In Tabel 2 en Figuur 4 zijn per test gemiddelde ( $\pm SD$ ) als ook minimale en maximale waarde weergegeven van de ratio  $HF_{\text{eind}}$  en  $HF_{\text{max}}$ .

Tabel 2: Gemiddelde en standaarddeviatie ( $M \pm SD$ ), minimale en maximale waarde (Bereik) van de relatieve hartslagfrequentie (% $HF_{\text{max}}$ ) aan het einde van de test.

	M ± SD [%]	Bereik [%]
<b>B-TLT<sub>slang</sub></b>	96,4 ± 5,7	88,4 – 105,4
<b>B-TLT<sub>lood</sub></b>	93,6 ± 6,7	83,7 – 103,6
<b>SMT</b>	89,2 ± 10,7	65,9 – 104,2
<b>QCST</b>	87,0 ± 6,2	74,2 – 94,0



Figuur 4: Gemiddelde en standaarddeviatie ( $M \pm SD$ ) van de relatieve hartslagfrequentie aan het einde van de test. De rode stippelijijn representeert het criterium 85%HF-max.  $\star\star = p < 0,01$ .

Hoewel de gemiddelde waarden voor %HF-max voor elk van de vier testen hoger waren dan het criterium 85%HF-max, verschilden de waarden voor B-TLT<sub>slang</sub> en B-TLT<sub>lood</sub> significant ( $p < 0,01$ ) ten opzichte van die van de QCST. Op individueel niveau zijn de percentages van de deelnemers dat voldoet aan voornoemd criterium als volgt: B-TLT<sub>slang</sub> 100% (9 van de 9), B-TLT<sub>lood</sub> 89% (8 van de 9), SMT 78% (7 van de 9), en QCST 67% (6 van de 9).

### 4.3 Tijdsduur

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de voor elk van de testen benodigde tijdsduur. Gegeven de opgelegde tijdsduur van drie minuten voor de QCST is weergave van de benodigde tijdsduur niet van toepassing.

Tabel 3: Gemiddelde en standaarddeviatie ( $M \pm SD$ ), minimale en maximale waarde (Bereik) van de voor de test benodigde tijd

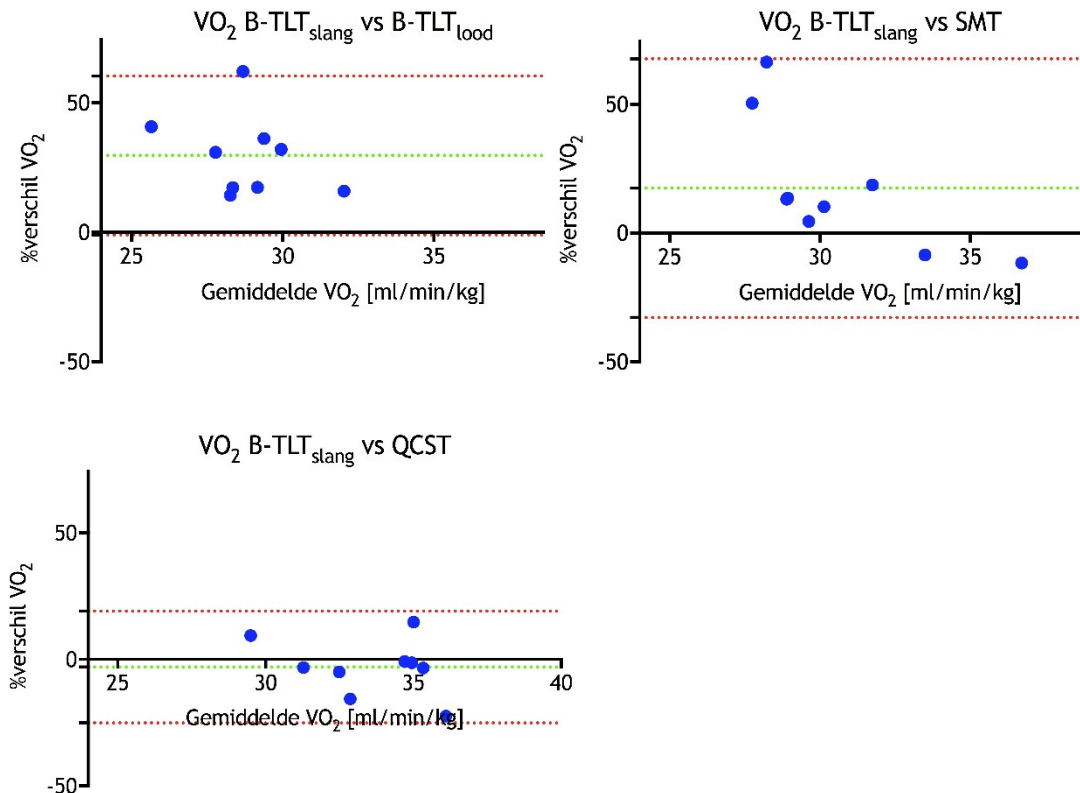
	$M \pm SD$ [seconden]	Bereik [seconden]
B-TLT <sub>slang</sub>	78,7 ± 8,1	71,0 – 97,4
B-TLT <sub>lood</sub>	75,2 ± 6,6	78,0 – 81,9
SMT	71,5 ± 5,0	74,7 – 7,7
QCST	n.v.t.	n.v.t.

Om het verschil in tijdsduur tussen B-TLT<sub>slang</sub> en B-TLT<sub>lood</sub> te evalueren is een tweezijdige Student t-toets uitgevoerd. Deze laat zien dat er geen statistisch significant verschil ( $p = 0,11$ ) is in tijdsduur tussen beide testen. Op basis van het in de B-TLT en SMT protocollen genoemde slagingscriterium voor de tijdsduur van beide testen ( $> 2$  minuten), wijzen de resultaten uit dat alle proefpersonen binnen deze norm zijn gebleven.

### 4.4 De B-TLT<sub>slang</sub> als ‘gouden standaard’

Bij de invoering van het PPMO was de B-TLT<sub>slang</sub> de test om de bijzondere functie-eis ‘energetische piekbelasting’ te toetsen. Om de mate van overeenstemming voor wat betreft de effectmaat  $VO_2$  tussen enerzijds de ‘gouden standaard’ of ‘benchmark’ B-TLT<sub>slang</sub> en anderzijds de gewijzigde dan wel alternatieve tests B-TLT<sub>lood</sub>, SMT en QCST te bepalen zijn Bland-Altman-plots gemaakt (Altman & Bland, 1983). In onderstaande figuur 5 zijn Bland-Altman plots weergegeven van de

mate van overeenstemming van de primaire effectmaat  $VO_2$  tussen  $B-TLT_{slang}$  en resp.  $B-TLT_{lood}$ , SMT en QCST. De groene stippellijn representeert de gemiddelde waarde van het percentage verschil in  $VO_2$ , de rode stippellijnen de boven- en ondergrenzen van het 95% betrouwbaarheidsinterval, de bandbreedte waarbinnen 95% van de puntenwolk valt. Op de X-as is de gemiddelde waarde van  $VO_2$  voor  $B-TLT_{slang}$  en resp.  $B-TLT_{lood}$ , SMT en QCST weergegeven, de Y-as het percentage verschil tussen de  $VO_2$ -waarde voor de  $B-TLT_{slang}$  en resp.  $B-TLT_{lood}$ , SMT en QCST. In geval van optimale overeenstemming tussen de waarde voor  $VO_2$  voor de  $B-TLT_{slang}$  en resp.  $B-TLT_{lood}$ , SMT en QCST liggen de waarden per deelnemer, afgebeeld als de blauwe punten, op of zo dicht mogelijk rondom de groene stippellijn en is de afstand tussen de rode stippellijnen zo klein mogelijk. En bovendien moet het gemiddelde (de groene stippellijn) zo dicht mogelijk bij nul liggen



Figuur 5: Bland-Altman plots voor de effectmaat  $VO_2$  voor  $B-TLT_{slang}$  vs  $B-TLT_{lood}$ , SMT en QCST.

Te zien is dat verschil  $VO_2$  voor  $B-TLT_{slang}$  vs QCST (-3,0%) aanzienlijk lager is dan die voor resp.  $B-TLT_{lood}$  (29,7%) en SMT (17,4%). Bovendien is de spreiding, gerepresenteerd door de rode stippellijnen, ook het laagste voor  $B-TLT_{slang}$  vs QCST.

# 5 Discussie

In dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen vier testen die de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting' kunnen toetsen. Het kunnen leveren van een 'energetische piekbelasting' is één van de bijzondere functie-eisen van repressief brandweerwerk (Sluiter et al., 2010). De testen zijn resp. de Brandweertraplooptest met slangen (B-TLT<sub>slang</sub>), de Brandweertraplooptest met loodgordel (B-TLT<sub>lood</sub>), de Stairmastertest met loodgordel (SMT) en de in de internationale brandweerpraktijk regelmatig gebruikte Queens College Step Test (QCST). De vergelijking is gemaakt op de fysiologische effectmaten zuurstofopname (VO<sub>2</sub>), Metabolic Equivalent of Task (MET) en Respiratoir Quotiënt (RQ), waarbij VO<sub>2</sub> als primaire effectmaat is genomen.

Uit de statistische analyse is gebleken dat er een hoofdeffect is voor zuurstofgebruik (VO<sub>2</sub>) als effectmaat voor energetische belasting. Dat wil zeggen dat er een verschil is of verschillen zijn tussen de onderzochte testen. Om er achter te komen waar dat verschil zit zijn onderlinge, paarsgewijze vergelijkingen gemaakt tussen elk van de testen. Figuur 1 laat zien dat er voor de effectmaten zuurstofgebruik (VO<sub>2</sub>) en MET (Metabolic Equivalent of Task) statistische significante verschillen zijn gevonden. Dit in tegenstelling tot de effectmaat respiratoir quotiënt (RQ). Wanneer de relatieve hartslagfrequentie (%HF-max) wordt beschouwd, wordt geconstateerd dat deze voor beide B-TLT's significant hoger is dan voor de QCST, maar voor alle testen gemiddeld hoger dan het door Brandweer Nederland gehanteerde criterium van 85%HF-max.

## 5.1 Energieverbruik: zuurstofopname (VO<sub>2</sub>)

Het algemene beeld is dat de hoogste waarden voor elk van de effectmaten worden gevonden voor de B-TLT<sub>slang</sub> en de QCST. Het zuurstofgebruik bij de oorspronkelijke B-TLT<sub>slang</sub> is significant hoger dan de alternatieve B-TLT waarbij een loodgordel wordt gebruikt om het gewicht van de slangen te simuleren. Het zuurstofgebruik zoals gemeten bij de QCST is eveneens significant hoger dan dat bij de B-TLT<sub>lood</sub>. Zuurstofgebruik bij inspanning is groter naarmate er meer/grotere spieren/spiergroepen worden aangesproken (Kenney et al., 2015). Door de slangen uit de oorspronkelijke B-TLT (en ook SMT) te vervangen door een loodgordel is het de hoeveelheid spiermassa die nodig is bij het dragen van de slangen afgenomen. Immers, de armen dragen niet meer bij aan het uitvoeren van die taak. Deze reductie in bijdragende spiermassa verklaart mogelijk het verschil in zuurstofverbruik tussen B-TLT<sub>slang</sub> en B-TLT<sub>lood</sub> als ook de lagere VO<sub>2</sub>-waarde bij de SMT. De lagere waarde bij de SMT ten opzichte van beide B-TLT's heeft na toetsing niet geleid tot een significant effect. Dit is wellicht toe te schrijven aan de relatief grote spreiding (SD) (6,2 ml/min/kg) die resp. 2,5 en 2,0 keer zo groot is als beide B-TLT's.

Van de vier bestudeerde testen is de SMT de enige test waarbij de deelnemer te maken heeft een door een apparaat, de Stairmaster, opgelegde stapfrequentie. Dit maakt het voor de individu onmogelijk een voor hem prettig tempo te kiezen en daarin gedurende de inspanning te variëren of wel de test 'in te delen' voor wat betreft het energieverbruik; de deelnemer kan niet z'n eigen pacing-strategie (Hettinga, 2010) bepalen. 'Forced pacing', als tegenhanger van deze 'self pacing', maakt een taak fysiek veeleisender dan het geval is bij 'self pacing' (Lander et al., 2009). 'Self pacing' stelt iemand in staat om op basis van zelf waargenomen (lokale)



vermoeidheid, bijvoorbeeld in de benen, z'n tempo/inspanning te reguleren (Smits et al., 2014). Zo lijkt het erop dat lokale vermoeidheid, veelal ervaren als 'verzuring' van de bovenbenen, zoals veelal wordt waargenomen bij het uitvoeren van de SMT, een beperkende factor is voor de zuurstofopname. Dit heeft tot gevolg dat het behalen van een hogere zuurstofopname bij de SMT wordt beperkt. Bij beide B-TLT's kan lokale vermoeidheid gereguleerd worden door aanpassing van het bewegingstempo, maar ook door een kort herstelmoment bij de verplaatsing van het ene trapdeel naar het volgende.

Bij de QCST wordt het staptempo aangegeven door een metronoom en niet door een apparaat zoals bij de SMT de Stairmaster. Dit laat enige ruimte voor regulatie van het tempo zonder dat de testpersoon wordt 'gestraft' met een balansverstoring en/of val. Evenals bij de beide B-TLT's zijn er bij de QCST korte herstelmomenten in de neergaande fase.

Volgens het protocol van de gewijzigde SMT (Brandweer Nederland, 2016) is het toegestaan om, indien noodzakelijk, bijvoorbeeld in geval van een balansverstoring, de zijleuningen (kortdurend) vast te pakken. Bij afname van de SMT ten behoeve van deze studie is geconstateerd en bijgehouden, dat dit in vijf van de negen gevallen is voorgekomen. In een studie van Howley et al. (1992) is aangetoond dat gebruik van de zijleuningen bij het uitvoeren van een submaximale test op een Stairmaster leidt tot een verminderd energieverbruik. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat dit verschil is gevonden op basis van het vergelijken van twee trials waarbij bij de ene trial een testpersoon gedurende de hele trial gebruik maakte van de leuning en bij de tweede trial helemaal niet. Hoewel in de huidige studie niet gemeten, zijn de contacten met de leuning relatief kortdurend geweest en dus niet continu.

Fysisch gezien is er verschil tussen de B-TLT en SMT; in geval van de B-TLT wordt het lichaamszwaartepunt (LZP) over een verticale afstand van 20 meter omhoog verplaatst. Hiervoor moet arbeid tegen de zwaartekracht in verricht worden. De energie die hiervoor moet worden vrijgemaakt, potentiële of zwaarte-energie, is gelijk aan de te verplaatsen massa 'm' (lichaamsgewicht + extra last)  $\times$  de gravitatieversnelling 'g' (gravitatieversnelling,  $9,81 \text{ m/s}^2$ )  $\times$  'h' (hoogte, 20 m). Ofwel  $E_{\text{pot}} = m \times g \times h \text{ [J]}$ . Wanneer voor de extra last een gewicht van 15 (kleding en uitrusting) en 20 kg (slangen resp. loodgordel) wordt genomen en het gemiddelde gewicht van de deelnemers 83,0 kg is, geldt dat de vrij te maken potentiële energie  $118 \times 9,81 \times 20 = 23,2 \text{ kJ}$  is. Omdat bij de SMT het LZP min of meer op dezelfde plaats blijft, is de geleverde arbeid bij de SMT gelijk aan 0 (nul). Bij de QCST is de potentiële energie aan het einde van de test ook gelijk aan 0 (nul), ware het niet dat per stap het LZP 0,40 m in verticale richting is verplaatst. Dit komt overeen met een potentiële energie van  $118 \times 9,81 \times 0,40 = 463 \text{ J}$ . Over de test genomen wordt dit  $24 \times 3 \text{ minuten} = 72$  keer herhaald.

De in dit onderzoek bestudeerde testen betreffen zgn. sub maximale inspanningstesten. Dat betekent dat deelnemers niet tot volledige uitputting zijn gebracht. Een dergelijke maximale inspanning levert de maximale zuurstofopnamecapaciteit ( $VO_2\text{-max}$ ) van de deelnemer op. Om de maximale energetische belastbaarheid van brandweermensen te toetsen wordt internationaal veelal een  $VO_2\text{-max}$  waarde van 42 ml/min/kg gehanteerd (NFPA, 2007; Siddall et al., 2016).  $VO_2\text{-max}$  is internationaal vaak onderdeel van de testbatterij die de fysieke capaciteit van brandweermensen toetst. De gemiddelde waarden uit deze studie voor  $VO_2$  voor resp. de B-TLT<sub>slang</sub> en QCST zijn 33,0 en 34,1 ml/min/kg en daarmee rond 80% van minimaal vereiste  $VO_2\text{-max}$ . Voor B-TLT<sub>lood</sub> en SMT, met  $VO_2$ -waarden van resp. 24,6 en 28,2 ml/min/kg betreft het percentage van de  $VO_2\text{-max}$  resp. 58 en 67%.

## 5.2 Metabolic Equivalent of Task (MET)

De gevonden gemiddelde waarden ( $\pm$  SD) voor de effectmaat MET komen met resp. 14,9 (1,7) (B-TLT<sub>slang</sub>), 11,8 (2,2) (B-TLT<sub>lood</sub>), 11,0 (3,3) (SMT) en 14,3 (3,7) (QCST) goed overeen met de MET-waarden die in de literatuur worden genoemd voor verschillende brandweertaken (o.a. Kerrigan & Moss, 2016). Niet geheel onlogisch is het beeld waarbij de hoogste waarden worden gevonden bij de B-TLT<sub>lood</sub> en QCST, waarbij de verschillen tussen B-TLT<sub>slang</sub> enerzijds en B-TLT<sub>lood</sub> en SMT anderzijds significant zijn. Dit wijst dus op een hogere energetische belasting voor de B-TLT<sub>slang</sub> dan voor B-TLT<sub>lood</sub> en SMT.

## 5.3 De B-TLT<sub>slang</sub> als 'gouden standaard'

Wanneer de resultaten voor de effectmaat VO<sub>2</sub>, zoals gemeten tijdens de B-TLT<sub>slang</sub>, worden gezien als 'gouden standaard' of 'benchmark' voor toetsing van de bijzondere functie-eis 'energetische piekbelasting' en de resultaten van de drie andere testen hiermee worden vergeleken, kan uit figuur 3 worden opgemaakt dat de QCST het kleinste verschil van -3,0% met een SD van 11,3% ten opzichte van de B-TLT<sub>slang</sub> laat zien. Ook het 95% betrouwbaarheidsinterval is het kleinste bij de QCST. Dit betekent dat de QCST voor wat betreft de effectmaat VO<sub>2</sub> ten opzichte van de B-TLT<sub>lood</sub> en de SMT de grootste mate van overeenstemming met de B-TLT<sub>slang</sub> laat zien.

# 6 Conclusies

Het doel van deze studie was validatie van de gewijzigde Stairmastertest ten opzichte van de oorspronkelijke Brandweertaplooptest.

Om deze doelstelling te behalen zijn de volgende vraagstellingen geformuleerd:

- 1) Zorgt het dragen van een loodgordel bij de B-TLT voor een vergelijkbare energetische piekbelasting in vergelijking met het dragen van brandweerslangen tijdens het uitvoeren van de B-TLT?
- 2) Resulteert de gewijzigde SMT in een vergelijkbare energetische piekbelasting als de oorspronkelijke B-TLT?

Naast de SMT en de TLT is gekeken naar een bestaande, alternatieve test om de energetische piekbelasting te meten.

Als toevoeging bij dit onderzoek wordt de Queens College Step Test (QCST) als alternatieve methode om de energetische piekbelasting te bepalen gevalideerd tegen de oorspronkelijke B-TLT. Op basis hiervan is een derde vraagstelling geformuleerd:

- 3) Resulteert de QCST in een vergelijkbare energetische piekbelasting als de oorspronkelijke B-TLT?

In lijn met de resultaten van deze studie worden de volgende conclusies getrokken:

- De energetische piekbelasting op basis van de zuurstofopname ( $VO_2$ ) en Metabolic Equivalent of Task (MET) bij uitvoering van de brandweertaplooptest met een loodgordel, is significant lager dan wanneer de brandweertaplooptest met twee opgerolde slangen wordt uitgevoerd. Beide testen kunnen voor wat betreft energetische piekbelasting niet met elkaar worden vergeleken.
- Gebaseerd op de zuurstofopname ( $VO_2$ ) werd geen statistisch significant verschil gevonden tussen de oorspronkelijke brandweertaplooptest en de gewijzigde Stairmastertest. Dit verschil werd wel gevonden voor de Metabolic Equivalent of Task (MET).
- Op basis van de zuurstofopname ( $VO_2$ ) en Metabolic Equivalent of Task (MET) is geen statistisch significant verschil gevonden tussen de brandweertaplooptest met twee opgerolde slangen en de Queens College Step Test.
- Wanneer de energetische belasting bij de oorspronkelijke brandweertaplooptest, uitgedrukt als zuurstofopname, wordt gezien als 'gouden standaard' of 'benchmark' is de mate van overeenstemming in energetische belasting het grootste voor de Queens College Step Test.

# 7 Dankwoord

Aan dit onderzoek hebben veel mensen een waardevolle bijdrage geleverd. Op de eerste plaats gaat veel dank uit naar de deelnemers die vanuit het hele land naar Arnhem zijn gekomen om de testen uit te voeren. Daarbij werd naast een inspanning voor de test ook veel geduld van ze gevraagd. Als onderzoeksteam hebben we dit zeer op prijs gesteld. Voor allen gold dat het de eerste keer was dat ze deelnamen aan een dergelijk onderzoek. Het was fijn te merken dat allen zich voor een volgende keer weer beschikbaar hebben gesteld om zo bij te dragen aan de verdere ontwikkeling van hun vak en het veilig en gezond uitoefenen ervan. Dank gaat ook uit naar de collega's van de Facilitaire Dienst van het IFV voor het vervoeren van de deelnemers van de ene naar de andere meetlocatie. Het management van het Pathé Theater te Arnhem bedanken we voor hun gastvrijheid en facilitering tijdens de metingen in hun noodtrappenhuis. Tenslotte, voor de bemensing van de meetteams hebben de volgende collega's meegewerkt: Régis Flohr, Ronald Heus, Ellen Buskens, Richard van Diesen en Lyda Kistemaker. Allen dank voor jullie inzet. Een speciaal woord van dank gaat naar Gerben Vermeulen voor zijn assistentie tijdens de metingen.

# 8 Geraadpleegde literatuur

Abdossaleh, Z. & F. Ahmadi (2013). Assessment of the Validity of Queens Step Test for Estimation Maximum Oxygen Uptake ( $VO_2$ -max). *International Journal of Sport Studies* 3(6), 617-22

Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R., Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M.C. and Leon, A.S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 43(8): 1575–81

Altman, D.G. & J.M. Bland (1983). Measurement in Medicine: the Analysis of Method Comparison Studies. *The Statistician* 32, 307-317

Brandweer Nederland (2015). Testprotocol en scoreformulier Brandweertaplooptest (onderdeel PPMO), versie 3.0, 8 oktober 2015

Brandweer Nederland (2016). Testprotocol en scoreformulier Brandweerstairmastertest (onderdeel PPMO), versie 3.1, 23 augustus 2016

Gellish, R.L., B.R. Goslin, R.E. Olson, A. McDonald, G.D. Russi and V.K. Moudgil (2007). Longitudinal Modeling of the Relationship between Age and Maximal Heart Rate. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(5): 822-829

Hettinga, F.J. (2010). The importance of pacing. *Journal of Physiology* Vol. 108, 464

Howley, E.T., D.L. Colasino & T.C. Swensen (1992). Factors affecting the oxygen cost of stepping on an electronic stepping ergometer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 24(9): 1055-58.

Kenny, W.L., J.H. Willmore and D.L. Costill (2015). Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, Champaign, Ill. USA

Kerrigan, D. and J. Moss (2016). *Firefighter Functional Fitness – The Essential Guide to Optimal Firefighter Performance and Longevity*, Firefighter Toolbox LLC

Lander, P.J., R.J. Butterly and A.M. Edwards (2009). Self-paced exercise is less physically challenging than enforced constant pace exercise of the same intensity: influence of complex central metabolic control. *Br J Sports Med* 2009;43:789–795

Malley K.S., Goldstein A.M., Aldrich T.K., Kelly K.J., Weiden M., Coplan N., Karwa M.L., Prezant D.J. (1999) Effects of fire fighting uniform (modern, modified modern, and traditional) design changes on exercise duration in New York City Firefighters. *J Occup Environ Med*. 41(12):1104–1115

National Fire Protection Association (2007). *NFPA 1582; Standard on comprehensive medical program for fire departments*. Quincy, MA: National Fire Protection Association

Plat, M.-C.J., M.H.W. Frings-Dresen en J.K. Sluiter (2013). Onderzoek naar de brandweerstairmastertest als vervanger van de brandweerttraplooptest. Coronel Instituut voor Arbeid en Gezondheid, Academisch Medisch Centrum, Universiteit van Amsterdam.

Perroni, F., Guidetti, L., Cignetti, L. and Baldari, C. (2015) Absolute vs Weight-Related Maximum Oxygen Uptake in Firefighters; Fitness Evaluation with and without Protective Clothing and Self-Contained Breathing Apparatus among Age Group. *PLOS ONE*, March 12

Siddal, A.G., R.D. Stevenson, P.F. Tumer, K.A. Stokes and J.L. Bilzon (2016). Development of role-related minimum cardiorespiratory fitness standards for firefighters and commanders. *Ergonomics*, 2016 Oct;59(10):1335-1343

Sluiter, J.K., Plat, M.J., Frings-Dresen, M.H.W. (2010). *PPMO (Periodiek Preventief Medisch Onderzoek) voor repressief brandweerpersoneel – I Testprotocol, II Schriftelijke vragen, III Sleutelvragen en testen, IV Interventiehandleiding bedrijfsarts, V Beoordeling*. Coronel Instituut voor Arbeid en Gezondheid, Academisch Medisch Centrum, Universiteit van Amsterdam

Smits, B.L.M., G.J. Pepping and F.J. Hettinga (2014). Pacing and Decision Making in Sport and Exercise: The Roles of Perception and Action in the Regulation of Exercise Intensity. *Sports Medicine* Jun;44(6):763-75

Sothmann M.S., Saupe K., Jasenof D., Blaney J. (1992) Heart rate response of firefighters to actual emergencies. Implications for cardiorespiratory fitness. *J Occup Med*. 34(8):797–800

Warburton, D.E.R., V.K. Jamnik, S.S.D. Bredin, D.C. McKenzie, J. Stone, R.J. Shephard and N. Gledhill (2011). Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance: an introduction. *Appl Physiol Nutr Metab*. Jul;36 Suppl 1:S1-2

Williams-Bell, F.M., R. Villar, M.T. Sharratt and R.L. Hughson (2009). Physiological Demands of the Firefighter Candidate Physical Ability Test, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2009, Mar; 41(3):653-62