

THERMISCH COMFORT VAN DE NIEUWE GEVECHTSLAARS

ISSN=1639

Waarom een nieuwe laars?

De huidige gevechtslaars M66 van de Koninklijke Landmacht veroorzaakt nogal wat klachten bij de gebruikers. De twee belangrijkste daarvan zijn het inleken van water en het optreden van koude voeten. Ook is de pasvorm niet optimaal, wordt de voering kapotgelopen, treden zweetvoeten op, slijt de zool snel en veroudert de binnenzool door de inwerking van zweet zodanig dat de laars bij drogen sterk vervormt¹. Tenslotte is er ook nog een psychologisch probleem: veel gebruikers geloven dat de laars van plastic of van geperst karton vervaardigd is en hebben daardoor weinig vertrouwen in de degelijkheid.

In het kader van het project PSU-80 is de gevechtslaars één van de artikelen die hoge prioriteit gekregen hebben bij de vervanging. Door een groep deskundigen van Bata Nederland BV, verschillende TNO-laboratoria, DMKL en IGDKL is een nieuwe laars ontworpen die zoveel mogelijk de bovenstaande bezwaren ondervangt (fig. 1).

In de nieuwe laars is een aantal eigenschappen verwerkt waaraan veel zorg is besteed. Zo is er een nieuwe leest en een nieuw maatsysteem (met bijbehorende meetapparatuur), zijn de gebruikte materialen technisch van hoge kwaliteit, is de waterdichtheid ook na langdurig gebruik bevredigend en ziet de laars er degelijk en stoer uit². Ook ten

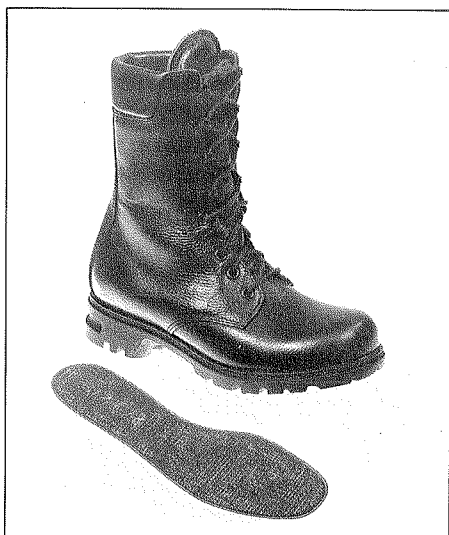


Fig. 1. De nieuwe gevechtslaars M90 met aangevulcaniseerde zool.

door W.A. Lotens, F.J.G. van de Linde en R. Heus

aanzien van de koude voeten is er veel gedaan. Het lag natuurlijk voor de hand om voor de nieuwe laars van beter isolerende materialen gebruik te maken; om verschillende redenen is gekozen voor iets meer isolatie in de kap, en veel meer in de zool. Of dit het koudevoetenprobleem zal oplossen was nog maar de vraag; aan de andere kant kan men daarmee ook andere problemen in huis halen, zoals te warme (en dus zweet-) voeten in de zomer, een groter gewicht en wellicht andere mechanische eigenschappen. Het was dus niet op voorhand duidelijk of de gekozen oplossing ook de goede was. Het uitproberen van zo'n oplossing is een zeer tijdrovende zaak, niet in de laatste plaats vanwege de lange levertijden van het hulpgereedschap voor de productie van een laars. Daarom is gekozen voor het verrichten van laboratoriumonderzoek parallel aan de ontwikkeling van de laars. Het doel van dat onderzoek was om een inzicht te krijgen in de combinatie van factoren die tot koude voeten leiden en de invloed van de isolatie hierop.

Warmtehuishouding van de voet

Aangezien in voeten geen belangrijke hoeveelheden spierweefsel voorkomen is de voet voor zijn warmtetoever vrijwel geheel aangewezen op de doorbloeding. In evenwichtstoestand, dat wil zeggen als de voettemperatuur constant is, is de hoeveelheid warmte die via het bloed toestroomt even groot als de warmte die via de huid de voet verlaat. In principe moet het dus mogelijk zijn voettemperaturen te voorspellen als de doorbloeding en de isolatie (van de laars) bekend zijn. Die isolatie is vrijwel onafhankelijk van de voettemperatuur, maar de doorbloeding niet: koude voeten laten minder doorbloeding toe dan warme voeten. Er treedt een soort vicieus proces op waarin koude voeten minder warm bloed toelaten, daardoor nog kouder worden en nog minder bloed toelaten, tot de voeten tenslotte als dood materiaal afkoelen. Aan dit proces komt

pas een eind als de voeten op vrijwel de omgevingstemperatuur gekomen zijn, of als ze zo koud geworden zijn (10°C) dat "cold induced vasodilation" optreedt. Dit is een beschermingsmechanisme dat schoksgewijs de doorbloeding even openzet zodat de voettemperatuur rond ca. 10°C blijft schommelen³.

De voettemperatuur zelf speelt dus een belangrijke rol in de doorbloeding, maar welke factoren doen er nog meer mee? In de eerste plaats de centrale lichaamstemperatuur. Handen en voeten maken deel uit van het centrale thermoregulatiemechanisme waarbij hun doorbloeding wordt vergroot als de lichaamskern behoefte heeft aan koeling, en verkleind als de kern koud is. De veneuze structuur is daar ook aan aangepast. Er is een diepliggende veneuze laag die net als elders in het lichaam parallel loopt met de arteriën, en een oppervlakkig liggende veneuze laag die met de diepliggende samenkomt boven de elleboog- en kniegewrichten. Het is de oppervlakkige veneuze laag die bij de thermoregulatie betrokken is en waarvan de doorbloeding een enorm regelbereik kent: vrijwel dicht in de kou, tot zo'n 10 l/m^2 per minuut bij warme lichaamskern en verwarmde huid. Onder normale omstandigheden bedraagt de doorbloeding zo'n $0,5\text{ l/m}^2$ per minuut. De centrale aansturing van de doorbloeding bestaat uit twee componenten, de centrale lichaamstemperatuur en de gemiddelde huidtemperatuur. Wyss e.a.⁴ constateerden dat beide stimuli onafhankelijk aan de doorbloeding bijdragen, maar niet in gelijke mate: de gevoeligheid voor de centrale lichaamstemperatuur is wel zeven keer zo groot als voor de gemiddelde huidtemperatuur. Omdat in de praktijk de variaties in de laatste veel groter zijn, betekent dit toch dat beide stimuli van nagenoeg gelijk belang zijn. Daarmee zijn de belangrijkste variabelen bekend die de doorbloeding bepalen. Een volgende vraag is hoeveel warmte door het bloed wordt afgegeven. Bij oppervlakkige beschouwing lijkt het

Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
Artikel ontvangen juni 1989.

alsof het vanuit de kern aanstromende bloed afkoelt van de centrale lichaamstemperatuur tot aan de perifere temperatuur en dus het equivalent van die temperatuursprong aan warmte heeft afgestaan. Dat is op zichzelf wel juist, alleen is niet alle warmte afgestaan aan de omgeving, maar een gedeelte ook aan het terugkerende bloed. Dit verschijnsel staat bekend als "counter-current heat exchange" en vermindert de effectiviteit van het warmtetransport. Raman en Vanhuyse⁵ hebben dit effect onderzocht en kwamen tot de conclusie dat de effectiviteit zo'n 60% bedraagt voor de (hand)temperaturen tussen 40 en 15° C. Daaronder neemt de effectiviteit sterk af.

Deze gegevens zijn gebruikt om een kwantitatief model op te stellen⁶ waarin de warmtestromen worden uitgerekend en als resultaat daarvan de voettoemperatuur. Daartoe is de voet opgedeeld in een passieve kern, die een constante, geringe doorbloeding kent (diepe veneuze systeem) en een actief geregelde huid (fig. 2). Het model berekent de voettoemperatuur als functie van de tijd, de schoenisolatie, de buitentemperatuur, de gemiddelde huidtemperatuur en de centrale lichaamstemperatuur.

Tot nu toe zijn geen studies verricht waarin alle variabelen integraal en kwantitatief zijn onderzocht, en dan ook nog speciaal voor de voeten. De hier gegeven beschrijving is in feite bijengesprokkeld uit diverse, niet volledig op elkaar aansluitende studies. Zo zijn de doorbloedingsmetingen van Wyss e.a.⁴ uitgevoerd bij hoge temperaturen en is eenvoudig in te zien dat hun beschrijving niet valide is voor lagere temperaturen. De in het model gegeven operationele beschrijving is een compromis dat zo goed mogelijk aan alle randvoorwaarden voldoet. Of het ook echt een goede beschrijving is kan alleen experimenteel geverifieerd worden. Daarom werd in een aantal nauwkeurig gecontroleerde experimenten nagegaan of de voorspellingen ook kwantitatief kloppen.

Voettoemperatuur-experimenten

Om het model te toetsen werd een vijftal experimenten bij mensen uitgevoerd, waarin de schoenisolatie, de omgevingstemperatuur, de huidtemperatuur en de centrale lichaamstemperatuur werden

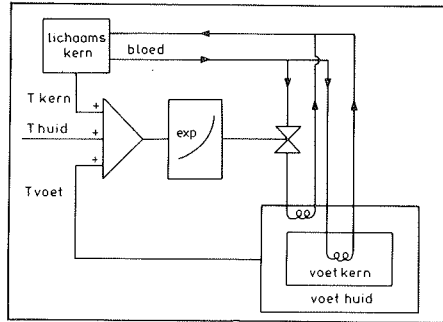


Fig. 2. Schematische weergave van het model. De toevoer van warm bloed naar de huid wordt gecontroleerd door de centrale lichaamstemperatuur, de gemiddelde huidtemperatuur en de voettoemperatuur.

gevarieerd. De gemiddelde huidtemperatuur en de centrale lichaamstemperatuur werden nauwkeurig constant gehouden door middel van een biofeedback methode. De proefpersonen kregen de opdracht om trapjes te lopen in een zodanig tempo dat hun centrale lichaamstemperatuur, die ze zelf op een monitor konden waarnemen, op de streefwaarde bleef. In de praktijk bleek het mogelijk om hiermee binnen 0,1° C afwijking te blijven. De proefleider gaf ondertussen aanwijzingen over de kleding die ze moesten dragen en hield daarmee de huidtemperatuur binnen een afwijking van 0,7° C, wat qua nauwkeurigheid gelijkwaardig is aan de bovengenoemde 0,1° C voor de centrale lichaamstemperatuur.

De schoenisolatie werd gevarieerd door aan de oude gevechtsslaars een gewezen kunststof inlegzool toe te voegen, alsmede een isolatielaagje aan de loopzool (zoolisolatie), en door een slobkous toe te voegen (kapisolatie). De laatste is een ruimvallende dunne hoes die van de rand van de zool tot onder de knie reikt.

De vijf experimenten waren op het volgende gericht:

- 1 de afkoeling van de voeten bij omgevingstemperaturen van -15 tot +15° C en bij twee niveaus van isolatie;
- 2 de afkoeling van de voeten bij 0° C met en zonder zool- en kapisolatie;
- 3 de zweetaccumulatie bij zool- en kapisolatie bij 0° C en bij 25° C;
- 4 de afkoeling van de voeten bij 0° C bij twee centrale lichaamstemperaturen en twee gemiddelde huidtemperaturen;
- 5 het effect van koudegewinning bij 10

achtereenvolgende dagen van koudeblootstelling.

In fig. 3 worden de resultaten voor wat betreft de voettoemperaturen samengevat. De nummers in de grafiek komen overeen met de nummering van de experimenten. Zoals uit de figuur blijkt is er een sterke correlatie tussen de berekende en de gemeten voettoemperaturen. Voor een deel is de suggestie mooier dan de werkelijkheid, omdat in het model isolatiewaarden zijn ingevoerd die zijn geschat op grond van dezelfde data. Gezien het feit dat het aantal vrijheidsgraden in de experimenten veel groter is dan in het model mag worden aangenomen dat het model een behoorlijke beschrijving geeft. Een ander belangwekkend resultaat is het verband tussen voettoemperatuur en ervaren discomfort. Globaal blijkt het discomfort één stap toe te nemen (bijv. van "comfortabel koel" naar "oncomfortabel koel" of van "oncomfortabel koel" naar "koud") als de voet 4° C in temperatuur daalt. De neutrale temperatuur ligt ongeveer bij 32° C. Op deze beoordeling werkt echter een psychologische factor in: hoe meer kou men gewend is, hoe minder gauw men het koud vindt. Vooral in het vijfde experiment kwam dat tot uiting. Er waren geen tekenen van fysiologische adaptatie, maar het discomfort nam af. De experimenten zijn in detail beschreven door Lotens e.a.⁷.

De nieuwe gevechtsslaars

Het voettoemperatuurmodel maakt het mogelijk om de effecten van diverse

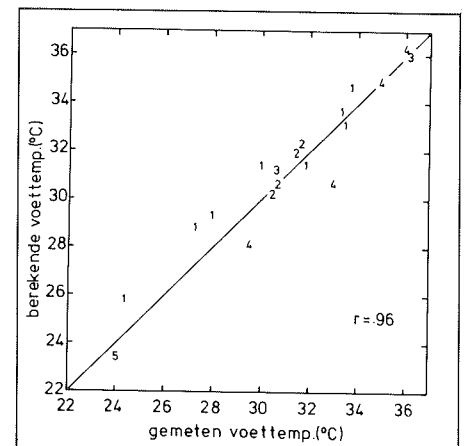


Fig. 3. De gemeten vs. de berekende voettoemperaturen voor de verschillende condities in de vijf experimenten. De gemeten waarden zijn het gemiddelde over groepen van vier proefpersonen.

invloeden op de voettoemperatuur in te schatten. Zo blijkt in de eerste plaats dat personen in rust, ook al zijn ze warm gekleed, in de kou op den duur altijd koude voeten zullen krijgen. Veel isolatie in de laars vertraagt het proces, maar kan het niet stoppen. Is de persoon ook nog onvoldoende gekleed, zodat hij een koude huid krijgt, dan is er helemaal geen kruid tegen gewassen. Voor warme voeten is een warm lichaam dus een eerste vereiste en eigenlijk komt schoenisolatie op de tweede plaats. De beste manier om een warm lichaam te krijgen is om (evt. periodiek) arbeid te verrichten. Het effect daarvan op de voettoemperatuur is zo sterk, dat de voeten dan vrijwel altijd warm worden en bij flink geïsoleerde laarzen zelfs hinderlijk warm. Dan gaan de voeten zweeten en ontstaat mogelijk ook een vochtprobleem. Schoenisolatie is pas echt belangrijk in de tussensituatie, bij lichte arbeid. Dan kan de isolatie het verschil uitmaken tussen comfortabel of niet.

Bij de constructie van de nieuwe laars is met dit gegeven rekening gehouden. Enerzijds is meer isolatie gewenst, anderzijds moet dat niet overdreven worden omdat het effect beperkt is en omdat dan bij arbeid of in de zomer zweetvoeten ontstaan. Er is een compromis gezocht door de zool van extra isolatie te voorzien in de vorm van een dikkere tussenzool en een Saran (geweven kunststof) inlegzool en door de kap slechts matig te isoleren, voornamelijk door een dikkere kwaliteit overvoeringleder.

Dankzij het model kon de evaluatie van de nieuwe laars heel efficiënt gebeuren

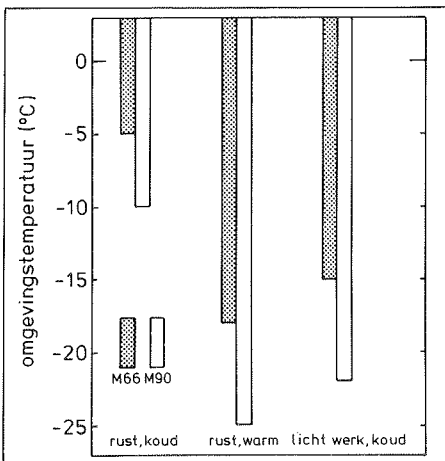


Fig. 4. De onderzijde van het temperatuurgebied waarin de nieuwe gevechtslaars geen "ontoelaatbaar" discomfort geeft, voor verschillende omstandigheden, berekend met het model.

door een beknopt experiment uit te voeren en op basis daarvan voorspellingen met het model te doen. Daaruit blijkt dat onder een variëteit van omstandigheden de nieuwe gevechtslaars pas bij een 5° C lagere buitentemperatuur vergelijkbare klachten geeft met die van de huidige gevechtslaars (fig. 4). In termen van weer-statistieken is dit een zeer significante verbetering.

Er werd echter ook geconstateerd dat de zweetaccumulatie in warmte met de nieuwe gevechtslaars groter is. Dat is op zichzelf niet gunstig, maar hier komt de reden naar voren waarom voor de Saran inlegzool is gekozen. Deze heeft namelijk een vochtregulerende werking. Zweet dat door de voet wordt geproduceerd, verdampt en diffundeert door de open structuur van de inlegzool naar de binnenzool van de laars. Omdat deze koeler is dan de voet slaat het vocht daar neer en kan niet in vloeibare vorm naar de voet terugkeren omdat de Saran zool geen vloeistoftransport toelaat. Effectief blijft dus de sok droog en uit de experimenten is gebleken dat dat bepalend is voor de vochtsensatie. Meer zweetaccumulatie betekent dus niet meer zweetvoeten (fig. 5).

Dragers van de laarzen die van dit mechanisme niet op de hoogte zijn hebben de neiging om de Saran inlegzool door een sportzooltje te vervangen omdat dat wat zachter is. Daarmee gaat de goede werking uiteraard verloren. Voorlichting hierover is dus gewenst.

Nieuwe gevechtslaars pure winst?

Zoals ook uit de operationele beproeving is gebleken is de nieuwe gevechtslaars op een groot aantal punten een verbetering ten opzichte van de oude. Vooral de degelijkheid, de vormvastheid, de waterdichtheid, het thermisch comfort en het loopcomfort zijn toegenomen. Daarvoor is echter ook een prijs betaald: de laars is zwaarder geworden (300 g) en het inlopen duurt langer (totaal 2-4 weken). Het eerste telt vooral bij de infanterie. In termen van fysieke arbeid is extra gewicht op de (lopende) voeten veel belastender dan wanneer het aan de romp gedragen wordt. Volgens schatting⁸ is het gewicht van de laarzen gelijkwaardig aan zo'n 4 kg op de romp. Verwacht wordt dat deze extra belasting door trainingseffecten en gewenning op den duur geen klachten meer zal geven. De bovengenoemde nadelen gelden in

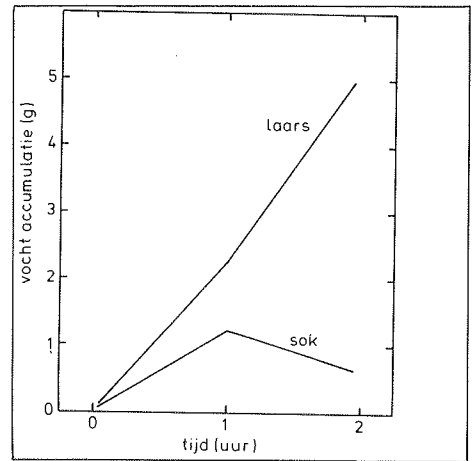


Fig. 5. Bij gebruik van de Saran inlegzool neemt weliswaar de vochtaccumulatie in de laars gestaag toe, maar bereikt de sok een evenwichtstoestand.

versterkte mate voor de kleine voetmaten. Technisch is het niet mogelijk om voor de kleine maten dunnere materialen te gebruiken zodat deze schoenen relatief stijf en zwaar zijn. In hoeverre het nodig zal blijken om hiervoor een andere laars te gaan voeren zullen de praktijkervaringen uit moeten wijzen. Die ervaringen starten eind 1990 met de invoering van de nieuwe laars.

Summary

THERMAL COMFORT OF THE NEW ARMY BOOT

A new combat boot has been designed for the Dutch army. Special attention was paid to the problem of cold feet. An analysis of the thermoregulation of feet, resulting in a descriptive model of foot temperature, showed that with increased sole insulation, feet stay warm at 5° C lower environmental temperature. During field trials, such soles - including a woven synthetic insole - proved effective in the prevention of cold and also of perspiring feet.

Literatuur

1. Lotens, W.A.: Wat mankeert er aan de huidige KL gevechtslaars? Memo IZF 1986-M11, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg (1986).
2. Lotens, W.A.: Samenvattende rapportage evaluatie gevechtslaars M90. Memo IZF 1988-M33, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg (1988).
3. Lewis, T.: Observations upon the reactions of the vessels of the human skin to cold. Heart 1930 (15) 177-208.
4. Wyss, C.R., G.L. Brengelman, J.M. Johnson, L.B. Rowell, M. Niederberger: Control of skin blood flow, sweating, and heartrate: role of skin vs. core temperature. J Appl Physiol 1974 (36) 726-733.
5. Raman, E.R., V.J. Vanhuysse: Temperature dependence of the circulation pattern in the upper extremities. J Physiol 1975 (249) 197-210.
6. Lotens, W.A.: A simple model for foot temperature simulation. Rapport IZF 1989-8, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg (1989).
7. Lotens, W.A., F.J.G. van de Linde, R. Heus: Fysiologische effecten van schoenisolatie. Rapport IZF 1989-7, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg (1989).
8. Soule, R.G., R.F. Goldman: Energy cost of loads carried on the head, hands or feet. J Appl Physiol 1969 (27) 687-690.