

# Het effect van schoenontwerp op de drukverdeling plantair onder de neuropathische voet.

Orthopaedisch en semi-orthopaedisch schoeisel kan het risico op een ulcus aan de neuropathische voet significant verminderen. Hierbij wordt aangenomen, op basis van ervaringen met bepaalde gipstechnieken, dat drukreductie een belangrijke rol speelt. Tot op heden bestaat nog steeds geen consensus over welk type therapeutische schoen de drukken aan de onderzijde van de voet het meest vermindert. Dit komt voornamelijk door het feit dat er nog weinig exacte gegevens bestaan over het (bio)mechanische samenspel tussen de voet en de schoen in het algemeen. De klinische praktijk heeft ons geleerd dat ook binnen Nederland bij orthopaedische schoentechnici nogal uiteenlopende ideeën bestaan omtrent de meest effectieve schoen. Het doel van deze studie was derhalve om het effect van schoenontwerp op de dynamische drukverdeling onder de neuropathische voet te bestuderen.

Door: Stephan Praet, sportarts i.o./bewegingswetenschapper, Máxima Medisch Centrum, Veldhoven en Jan Willem Louwerens, orthopaedisch chirurg, Sint Maartenskliniek, Nijmegen

## Methoden

Proefpersonen werden geselecteerd op het aanwezig zijn van perifere sensorische neuropathie d.m.v. Semmes-Weinstein monofilamenten. De proefpersonen mochten geen voetulcus hebben, alsmede geen andere belangrijke voetafwijkingen. Andere exclusie criteria waren ziekten zoals reumatoïde artritis of ernstig perifere vaatlijden. Tien vrouwelijke proefpersonen werden geïncludeerd. Zes verschillende schoentypen opgesplitst in 3 groepen werden getest. De indeling

was op basis van hakhoogte, kantel- of buig-as locatie en bovenmateriaal. De technische specificaties zijn terug te vinden in tabel 1.

Figuur 1 geeft de verschillende schoentypen weer. Groep A omvatte 2 klassieke damesschoenen, een model zonder en een model met een EVA-voetbed welke was afgewerkt met een PPT-laag. Groep B bestond uit 2 PolyUrethaan zgn. Xtra-depth schoenen met aan de bovenzijde van de schoen een flexibel materiaal. In beide schoentypen werd hetzelfde EVA-



Figuur 1: Afbeelding van de diverse schoenmodaliteiten en voetbed, opgesplitst naar A: confectie-schoeisel; B: semi-orthopaedisch schoeisel; C: zgn. "volledig" orthopaedisch schoeisel (individueel aangemeten), welke werden gebruikt ten behoeve van de drukmetingen.

voetbed gebruikt. Ook deze 2 modellen waren in biomechanisch opzicht verschillend qua hakhoogte en afwikkelfoer. Groep C betrof 2 handgemaakte orthopaedische maatschoenen waarvan 1 met een lage en 1 met een hoge schacht. Beide modellen hadden dezelfde afwikkelfoer met een afwikkelpunt op 65% van de schoenlengte (vanaf de hak gemeten) en een afwikkelhoek van 23 graden. Voor beide modellen werd dezelfde individuele leest gebruikt zodat ook hetzelfde individuele voetbed gebruikt kon worden.

De differentiatie naar schachthoogte werd expliciet meegenomen in dit onderzoek omdat dit in de praktijk dikwijls discussie oplevert tussen schoentechnicus en voorschrijvende arts. Voor patiënten levert de hogere schoen frequent klachten en ongemak op. De schoen wordt ook zwaarder.

## Metingen en Data-analyse

Het insole footscan systeem van RScan International werd gebruikt om de plantaire drukken binnenin het schoeisel te meten. Met behulp van 0.2 mm dunne flexibele druksensoren werden drukmetingen verricht bij de 10 vrouwelijke proefpersonen bij een constante wandelsnelheid. De verschillende schoenen werden in willekeurige volgorde getest en om een zo betrouwbaar mogelijk beeld te krijgen werd elk schoentype tweemaal gemeten. Data analyse van 3 representatieve stappen van de rechter voet werden uitgevoerd. Contact oppervlak, maximum druk, druktijdsintegraal en belastingsverandering in 9 standaard voetgebieden werden middels de software bepaald. Figuur 2 laat de indeling zien van de verschillende voetgebieden. Variantie-analyse werd gebruikt voor de statistische toetsing (significantie niveau  $p < 0.05$ ).

## Resultaten

Tabel 2 en figuur 3 laten de gemiddelde piekdrukken zien voor de verschillende standaard voetgebieden. Onder de hiel

konden geen belangrijke verschillen in drukparameters worden aangetoond, behalve een ietwat lagere druk onder de postero-mediale hiel (R2) bij het dragen van schoencategorie B. Onder de laterale midvoet (R5) werden in dezelfde schoencategorie B significant lagere drukken gemeten. Het tegenovergestelde effect was zichtbaar onder het mediale voetgewelf. De belangrijkste verschillen werden echter gevonden onder de centrale voorvoet (R8) bij het gebruik van het orthopaedisch maatschoeisel. Hierin zijn de piekdrukken met gemiddeld 35 tot 50% afgenomen. Opvallend was dat onder de mediale voorvoet geen significante verschillen werden gevonden.

De resultaten laten eveneens zien dat het effectieve contactoppervlak significant toeneemt wanneer een EVA-voetbed wordt gebruikt. Deze toename in contactoppervlak trad ook op bij de orthopaedische maatschoenen met hoge schacht. Dit is toch opvallend aangezien hetzelfde voetbed werd gebruikt in de orthopaedische maatschoenen met lage schacht.

Niet afgebeeld maar wel vermeldenswaard is de bevinding dat de verschillende drukparameters (maximum druk, druktijdsintegraal en belastingsverandering) steeds hetzelfde beeld gaven onder de specifieke risicogebieden. Dit betekent feitelijk dat alle drukparameters gebruikt zouden kunnen worden om een schoenontwerp effect te evalueren.

Nadere analyse liet ook zien dat op indivi-



Figuur 2: Meetgebieden (zgn "masks") R1 t/m R9 onder de voet gebruikt voor de drukanalyse

	A-sm 1	A-sm 2	B-sm 3	B-sm 4	C-sm 5	C-sm 6
<b>Schoentype Merksnaam</b>	Oxford-style vdHammen	Xtra Depth Oxford Bimakon 3116	Semi-Orthopaedic X-Sensible Flex	Semi-Orthopaedic X-Sensible 'High'	Orthopaedic Shoe Rocker Bottom	Orthopaedic Shoe Rocker Bottom
<b>Slijtagezool</b>	Rubber	Rubber	Rubber	Rubber	Rubber	Rubber
<b>Tussenzool</b>	Leather	Rubber	PolyUrethane (PU)	PolyUrethane (PU)	Ethyl Vinyl Acet. (EVA)	Ethyl Vinyl Acet. (EVA)
<b>BovenMateriaal</b>	Leather	Leather	X-Flex®	X-Sensible®	Leather	Leather
<b>Inlegzool</b>	-	Supronorm®	Supronorm®	Supronorm®	individueel obv gipsmal	individueel obv gipsmal
materiaal	-	Bidensity EVA	Bidensity EVA	Bidensity EVA	Ethyl Vinyl Acetate	Ethyl Vinyl Acetate
verstijvingsmateriaal	-	-	-	-	M.O material (3 mm)	M.O material (3mm)
toplayer	-	PPT (3mm)	PPT (3mm)	PPT (3mm)	PPT (3mm)	PPT (3mm)
<b>Zool kenmerken</b>	Effect. Hakggt	22 mm	33 mm	20 mm	30 mm	28 mm
	Afwikkelpunt	61.5 %	67.5%	63%	60%	65%
	Teenspronghoek	5 grad.	10 grad.	5 grad.	8 grad.	23 grad.
<b>Schachthoogte</b>	Laag	Laag	Laag	Half-Hoog	Laag	Hoog

tabel 1: Technische beschrijving van het schoeisel en voetbed zoals afgebeeld in figuur 1.

		Categorie A		Categorie B		Categorie C	
Schoen Modaliteit:		A-sm 1	A-sm 2	B-sm 3	B-sm 4	C-sm 5	C-sm 6
P-max (N/cm <sup>2</sup> ) Gebied		Gemid ± SEM	Gemid ± SEM	Gemid ± SEM	Gemid ± SEM	Gemid ± SEM	Gemid ± SEM
Postero-Lat Hiel	R1	31.1 ± 5.6	20.4 ± 1.6	23.9 ± 2.4	21.8 ± 1.8	24.3 ± 2.2	25.5 ± 2.3
Postero-Mediale Hiel	R2	28.5 ± 3.2	20.3 ± 1.9	23.0 ± 2.5	18.7 ± 1.7 <sup>*1,3</sup>	21.1 ± 1.9	23.5 ± 1.7
Antero-Laterale Hiel	R3	20.9 ± 2.8	23.8 ± 1.6	24.0 ± 1.6	25.3 ± 2.1	21.4 ± 2.5	20.9 ± 1.2
Antero-Mediale Hiel	R4	18.2 ± 2.3	22.4 ± 2.6	21.1 ± 2.3	22.6 ± 3.0	20.9 ± 2.2	19.4 ± 1.6
Laterale Midvoet	R5	15.7 ± 2.0	13.5 ± 1.4	10.2 ± 0.9 <sup>*</sup>	10.1 ± 0.9	12.2 ± 0.9	12.0 ± 1.3
Mediale Midvoet	R6	6.2 ± 1.1	7.9 ± 0.7	7.8 ± 0.9	8.3 ± 0.7 <sup>*A</sup>	9.2 ± 0.9	9.6 ± 0.6 <sup>*A</sup>
Laterale voorvoet	R7	16.8 ± 5.5	11.7 ± 1.3	13.6 ± 1.8	13.5 ± 1.1	9.9 ± 1.2	9.4 ± 1.2
Centrale voorvoet	R8	28.8 ± 4.4	31.3 ± 2.1	27.3 ± 2.5	30.0 ± 1.9	15.6 ± 1.8	17.6 ± 1.7 <sup>*A,B</sup>
Mediale voorvoet	R9	26.4 ± 5.2	25.9 ± 2.7	23.6 ± 2.6	23.8 ± 1.6	23.2 ± 2.5	20.9 ± 2.3
Totale Kontakt (cm <sup>2</sup> ) Oppervlak		103.5 ± 3.0	108.2 ± 2.6 <sup>*1</sup>	106.9 ± 2.2 <sup>*1</sup>	108.0 ± 2.1 <sup>*1</sup>	108.3 ± 2.5 <sup>*</sup>	110.8 ± 2.5 <sup>*1,2,3,4,5</sup>

Tabel 2: Gemiddelde (+/- SEM) piekdrücken en totaal kontakt oppervlak voor de verschillende gebieden onder de voetzool. De lichtgrijs gemarkeerde getallen tonen de significante verschillen tussen de schoenmodaliteiten (aangegeven door het desbetreffende getal). De onderstreepte getallen tonen de significante drukverschillen tussen de schoencategorieën. (aangegeven door de desbetreffende hoofdletter)

duale schaal hetzelfde type voetbed duidelijk verschillende effecten kan hebben afhankelijk van het voettype en schoenmodel. Correlatie berekeningen gaven aan dat een hoge basisdruk sterk samenhangt met een grote drukreductie in categorie B en C schoeisel (Pearson's correlatiecoëfficiënt circa -0.90) hetgeen betekent dat hoe hoger de druk, des te groter het effect van een schoen-zool voorziening.

## Discussie

Onze onderzoeksresultaten maken duidelijk dat de orthopaedische maatschoenen met een afwikkelpunt het meest effectief zijn om druk onder de voorvoet te reduceren.

Echter, hierbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat de grootste winst kan worden bereikt bij patiënten met de hoogste basisdrukken. Dit betekent in de praktijk dus ook dat het belangrijk is om te meten bij wie deze drukken sterk verhoogd zijn. Als vorm van screening zou

dit zowel een blootvoetse meting als een meting in de schoen mogen zijn. Het was opvallend dat tussen de klassieke dameschoenen geen significante verschillen bleken te bestaan qua drukdynamica, ondanks het significante verschil in contact oppervlak.

Dit impliceert feitelijk dat de afwikkelpuntvoorziening het verschil in effectiviteit van een voetbed bepaalt. Schoenmodaliteit 1 (vd Hammen, linksboven afgebeeld in figuur 1) was een schoen met een volledige zoolondersteuning en een relatief korter afwikkelpunt met een minder steile teensprong.

Waarschijnlijk geeft de combinatie van deze eigenschappen ten opzichte van schoenmodaliteit 2 (Bimakon 3116, rechtsboven afgebeeld in figuur 1) bij de gemiddelde neuropathische voet toch minder flexie in de metatarsofalangeale gewrichten tijdens de afzetfase. Uit onze metingen blijkt in ieder geval dat een bepaalde combinatie van hakhoogte,

afwikkelpunt en teensprong het (normaliter) drukreducerende effect van een EVA voetbed volledig teniet kunnen doen.

Ondanks het feit dat de populaire X-sensible modellen vaak worden voorgeschreven voor de neuropathische voet gaven de door ons gebruikte modellen bij onze meting gemiddeld gezien geen significante drukreductie ten opzichte van de klassieke damesschoenen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er nogal flinke individuele verschillen waren: bij de helft van de proefpersonen zagen we bij de individuele drukmetingen weldegelijk enig drukreducerend effect onder de voorvoet. Dit pleit derhalve voor een controle drukmeting binnen in de schoen om te beoordelen of dergelijke semi-orthopaedische schoenen wel doen wat hiermee beoogd wordt.

Tussen de orthopaedische schoenvoorziening met een lage en hoge schacht bestaat er een significant verschil in con-

tactoppervlak. Dit is waarschijnlijk terug te voeren op een ietwat andere afwikkeling waarbij de voet meer proneert. Echter de drukken in de zogenaamde "Rocker" schoen met lage schacht waren hierbij al dusdanig gereduceerd dat in de hoge schacht voorziening dit niet leidde tot een verdere significante vermindering van de verticale druk onder de voorvoet.

Aangezien we met ons meetsysteem geen afschuifkrachten konden meten is het echter nog steeds goed mogelijk dat de orthopaedische schoen met een hoge schacht het in de praktijk toch beter doet door het reduceren van deze afschuifkrachten. Tot op heden is er echter nog geen systeem op de markt waarmee de klinische ervaring uit de praktijk zou kunnen worden onderbouwd. Dit brengt ons bij het volgende punt. Er wordt gesuggereerd dat de drukreductie gevonden in hardloepschoeisel zijn terug te voeren op de schokabsorberende eigenschappen van dergelijk schoeisel. (Perry et al, 1995; Kastenbauer, 1998) Onze resultaten suggereren dat de drukreductie in een hardloepschoen eenvoudigweg zou kunnen worden verklaard uit de gunstige afwikkellijn waarmee dergelijk schoeisel meestal is uitgerust.

## Concluderend

Op basis van bovenstaande studieresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1) Hoge risico patiënten zijn het best geholpen met een maatschoen met optimale afwikkelvoorziening in combinatie met een adequaat voetbed contact.
- 2) Drukmetingen kunnen worden gebruikt om te differentiëren tussen patiënten die een optimale drukreductie behoeven.
- 3) Insole drukmeetsystemen kunnen een orthopaedische schoentechnicus helpen bij het evalueren van een therapeutisch schoencorrectie voor een neuropathische voet.

## Literatuur

- Spencer, S. Pressure relieving interventions for preventing and treating diabetic foot ulcers (Cochrane Review). Cochrane Database of Systematic Reviews (4). 2000. Oxford: Update Software.
- Perry JE, Ulbrecht JS, Derr JA, Cavanagh PR: The use of running shoes to reduce plantar pressures in patiënten who have diabetes. J Bone Joint Surg Am 77:1819-1828, 1995
- Kastenbauer T, Sokol G, Auinger M, Irsigler K: Running shoes for relief of plantar

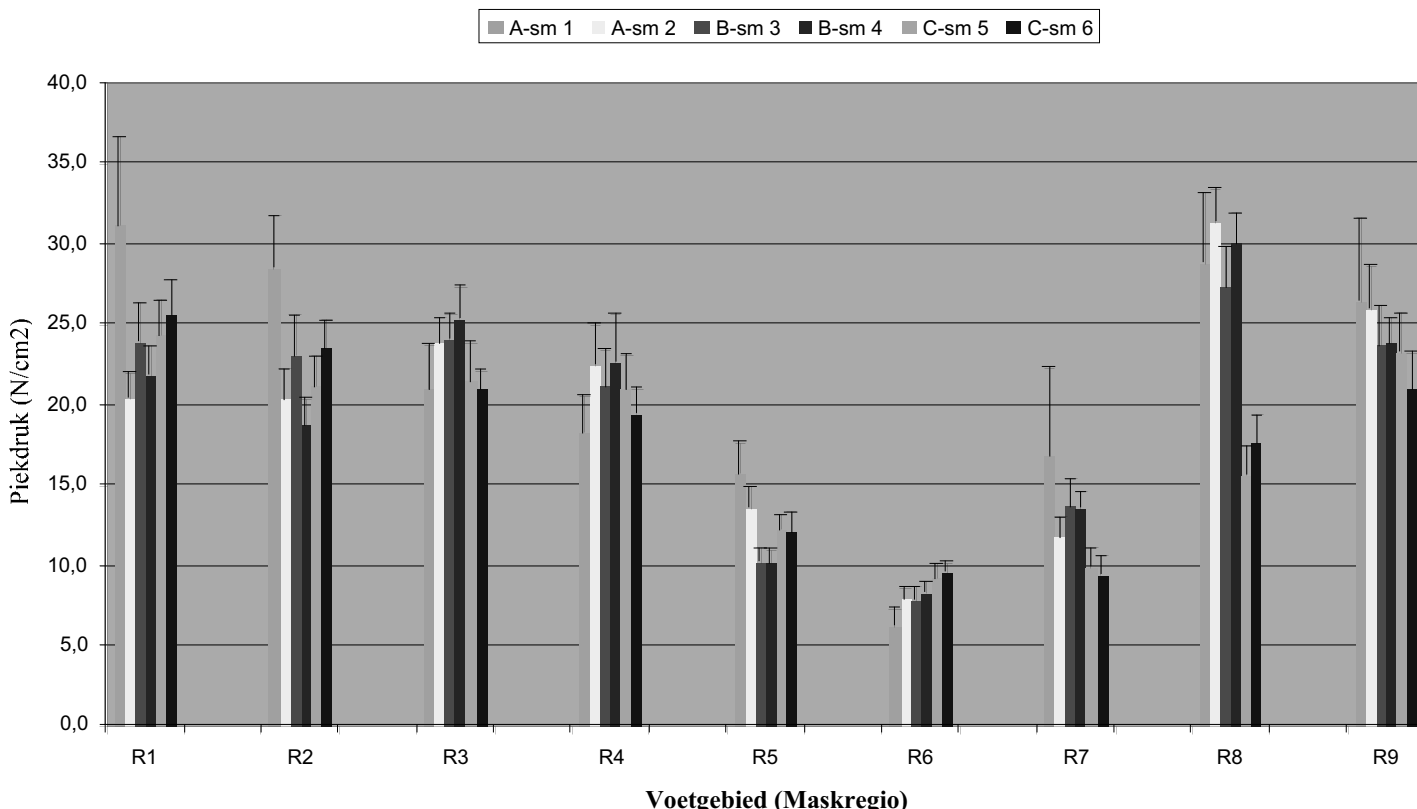
pressure in diabetic patiënten. Diabet Med 15:518-522, 1998

Praet S.F.E. and Louwerens J.W. The Influence of Shoe Design on Plantar Pressures in Neuropathic Feet Diabetes Care 26: 441-445, 2003.

## Dankwoord

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door een onderzoekssubsidie # U980092 van het OFOM en de materiële en/of personele en/of financiële steun van de volgende bedrijven: G. In der Maur Orthopedie b.v. (Utrecht), Firma Bimakon B.V. (Drunen), Schrijver Orthopedie (Utrecht), Voetkwadraat B.V. (Veghel) en RScan International (Olen, België).

### Gemiddelde Piekdrukken (+/- SEM)



Figuur 3 : Gemiddelde piekdrukken (+/- SEM) voor de verschillende schoenmodaliteiten (sm1-6)