

DE DYNAMIEK VAN COMPRESSIETHERAPIE: DE WETTEN VAN LAPLACE EN PASCAL

J. Schuren, K. Mohr*

Compressie wordt algemeen beschouwd als de standaardbehandeling voor het veneuze ulcus cruris (NVDV, 2005). Compressie ondersteunt de veneuze bloedstroom richting hart en kan op diverse manieren worden uitgevoerd. De methode die het meest toegepast wordt, maakt gebruik van compressieverband. Een grote verscheidenheid aan materialen wordt beschreven (Cullum et al, 2002). Dit artikel behandelt de toepassing en relevantie van de natuurkundige wetten van Laplace en Pascal bij het gebruik van compressieverbanden. Middels een aantal onderzoeken zullen de principes van beide wetten gepresenteerd en beschouwd worden.

DE WET VAN LAPLACE

Pierre-Simon Laplace (1749-1827) beschreef een formule om het verband aan te geven tussen druk en spanning op ronde oppervlakken (Basford, 2002). Zijn formule wordt vaak gebruikt om de druk aan te geven die door compressieverbanden wordt bewerkstelligd. Thomas (2003) geeft een gemodificeerde berekening waarmee theoretisch de druk bepaald kan worden die uitgeoefend wordt door een comprimerend verband:

$$\text{druk (mmHg)} = \frac{\text{trekkracht (KgF)} \times \text{aantal lagen} \times 4620}{\text{omtrek (cm)} \times \text{breedte verband (cm)}}$$

DE WET VAN PASCAL

Blaise Pascal (1623-1662) heeft aangetoond dat een druk die op een vloeistof wordt uitgeoefend, zich in alle richtingen met dezelfde grootte zal voortplanten. In de traumatologie wordt deze natuurkundige wet vaak gebruikt bij de behandeling van schachtfracturen zoals die van tibia of humerus. Door middel van een verstelbare brace, worden de weke delen rond een fractuur gecompri-meerd en de hierdoor opgebouwde druk plant zich in alle richtingen gelijkmatig voort en stabiliseert zo de fractuur (Schuren et al, 1999).

MATERIAAL EN METHODEN

1. De wet van Laplace

THEORETISCHE DRUKWAARDEN

Met behulp van de formule van Thomas werd de druk berekend bij een beenomvang van 22, 27 en 33 cm. De trekkracht van vier verschillende verbandsystemen werd

bepaald met behulp van een tensile tester (Hounsfield Test Equipment, Croydon), waarbij de verschillende materialen uitgerekt werden tot de aanbevolen rek. Als in de gebruiksaanwijzing vermeld staat dat een bandage aangelegd dient te worden onder 50% rek, dan werd de kracht gemeten die nodig is om deze 50% te bewerkstelligen. Ook het aantal lagen in de berekening, komt van de aanbeveling uit de gebruiksaanwijzing.

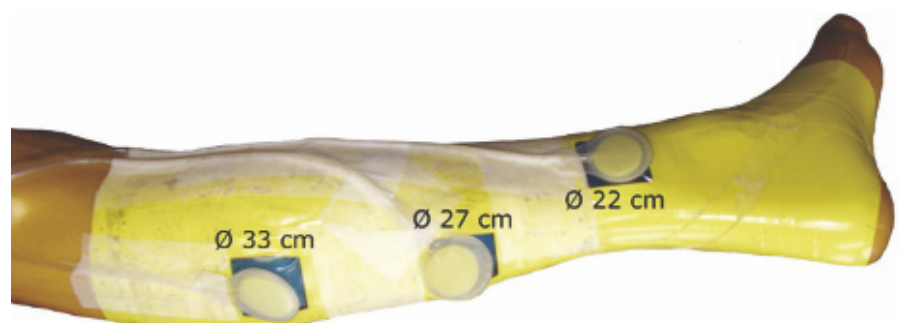
STUDIE 1

In deze studie (Collier en Schuren, 2007) werden 32 verpleegkundigen, ervaren in het gebruik van compressietherapie, uitgenodigd om het verband waar ze routinematig mee werken aan te leggen. Drie druksensoren (Kikuhime, MediTrade, Soro, Denmark) werden aangelegd op een kunstbeen. De omtrek van het been op de plaats van de sensoren was 22, 27 en 33 cm (figuur 1).

De verpleegkundigen werd gevraagd hun routinematig gebruikte verbandstelsysteem drie maal aan te leggen. De druk werd gemeten direct na de applicatie. De volgende compressiesystemen werden in deze studie onderzocht: Profore™ (Smith & Nephew Medical Limited, Hull, UK), Actico™ (Activa™ Healthcare Limited, Staffordshire, UK), zinklijmverband (Medicopaste™, GF Health Products, Atlanta, USA) in combinatie met Coban™ (3M™, St Paul, USA) en Rosidal K™ (Lohmann & Rauscher International, Rengsdorf, Duitsland). Vervolgens werd het gebruik van het 3M Coban 2 Lagen Compressie Systeem (3M, Neuss, Duitsland, hierna Coban 2-Lagen) gedemonstreerd. Ook dit verband werd drie maal aangelegd en de druk gemeten.

STUDIE 2

De tweede studie is een gecontroleerde laboratoriumstudie ter evaluatie van Coban 2-Lagen prototypes (Schuren en Mohr, 2008). De onderzochte materialen zijn gelijk in functie en samenstelling als het huidige systeem met minimale modificaties.



figuur 1: het gebruikte kunstbeen met sensorpositionering op 3 niveaus met elk een verschillende beenomvang.

In deze studie werden druksensoren (Gaeltec Ltd. Scotland) gebruikt die op de in studie 1 vermelde been-omvang gepositioneerd werden. Drie ervaren gipsverbandmeesters legden elk 40 verbanden aan op het hierboven beschreven kunstbeen.

STUDIE 3

Deze studie was hetzelfde van opzet als studie 2, behalve dat in deze studie acht verpleegkundigen met ervaring in compressietherapie elk 54 Coban 2-Lagen systemen met minimale modificaties aanlegden (Schuren en Mohr, 2008). Als in studie 2, werd de druk gemeten direct na het aanleggen.

2. De wet van Pascal

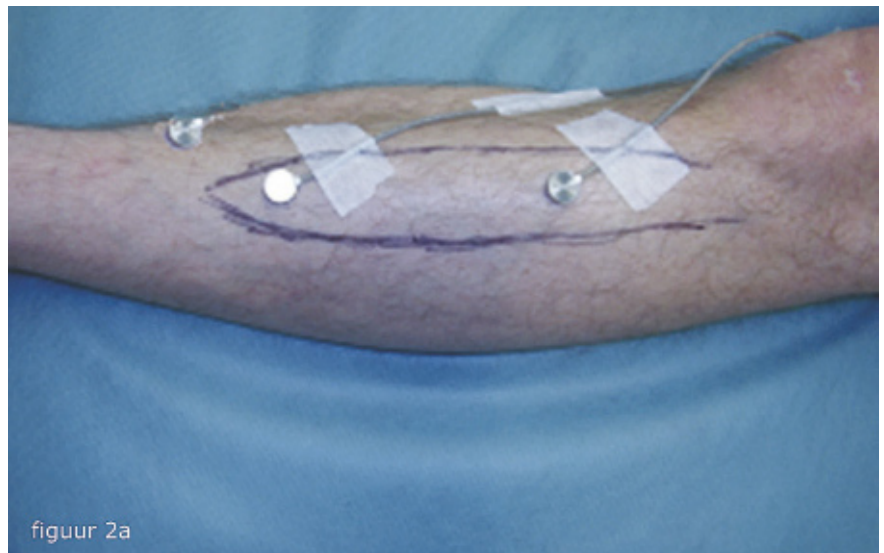
STUDIE 4

De effecten van voortplanting van druk in een gecomprimeerd onderbeen werden onderzocht in een gecontroleerde laboratoriumstudie om Coban 2-Lagen prototypes te evalueren (Schuren, 2008). De studie werd goedgekeurd door de ethische commissie van Freiburger Ethik-Kommission GmbH, Duitsland en 3M's Institutionele Review Board. Drie Gaeltec druksensoren werden gefixeerd op de onderbenen van twaalf gezonde vrijwilligers (6 vrouwelijk en 6 mannelijk). Twee sensoren werden geplaatst op de musculus tibialis anterior, de derde op de B1 positie (figuur 2a). Vervolgens werden 18 compressieverbanden aangelegd (figuur 2b) met een hoge rigiditeit (statische rigiditeitsindex >10: Partsch et al, 2008). Na het aanleggen van elk verband werd een bloeddrukmanchet aangelegd over de meest proximale sensor. De twee distale sensoren werden niet door de manchet bedekt (figuur 2c). Vervolgens werd de bloeddrukmanchet gradueel opgepompt en registratie op de drie sensoren vond plaats tijdens 0, 20, 40, 60, 80 en 100 mmHg angewende druk.

RESULTATEN

Theoretische drukwaarden

De som van alle individuele lagen bepaalde de uiteindelijke drukwaarden. Figuur 3 toont dat alle verbanden een graduele compressie laten zien. Uiteraard is dit geen verrassend



figuur 2a



figuur 2b



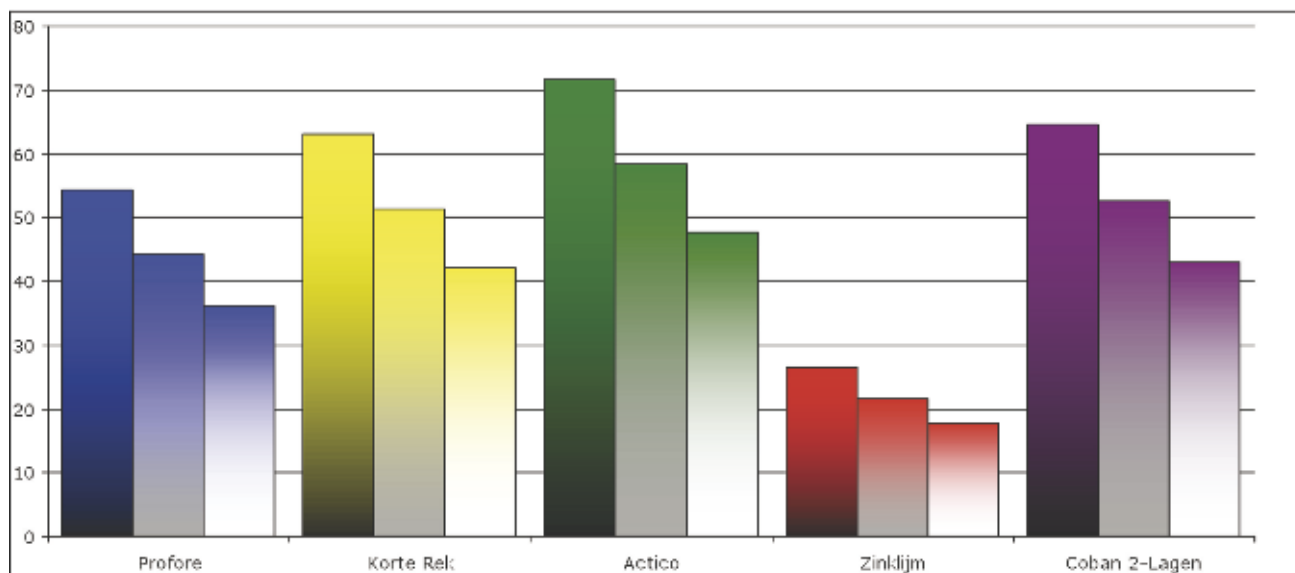
figuur 2c

Figuur 2 a, b, c:

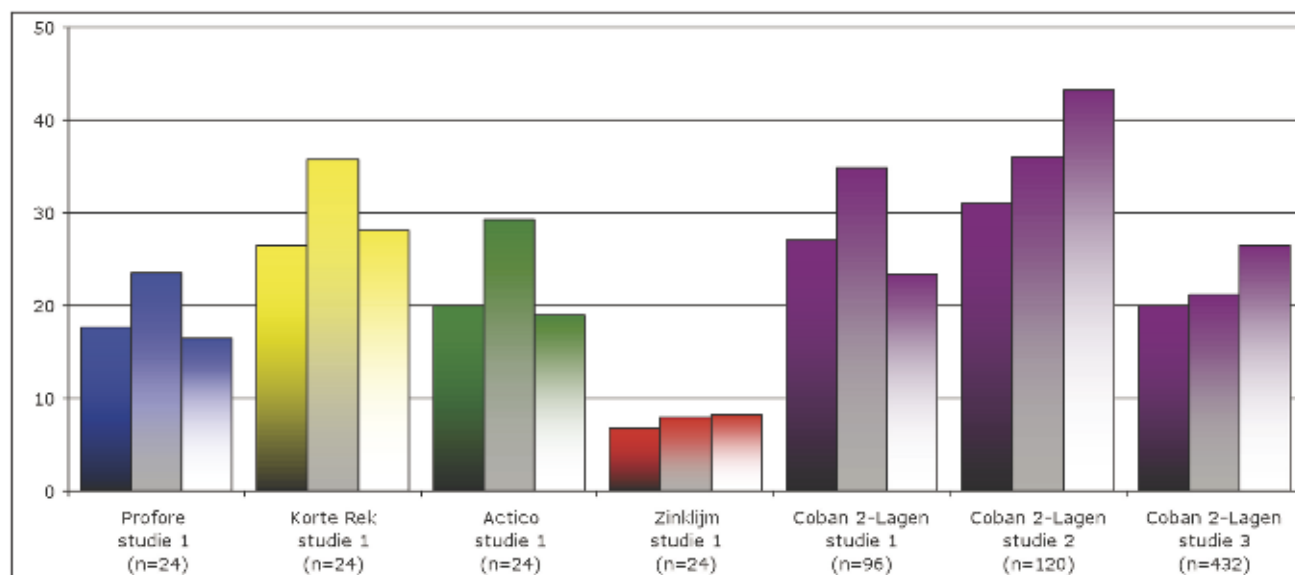
a: de positionering van de drie druksensoren, proximaal en distaal op de musculus tibialis anterior en op B1.

b: het aangelegde compressieverband met gemarkeerd de positionering van de sensoren.

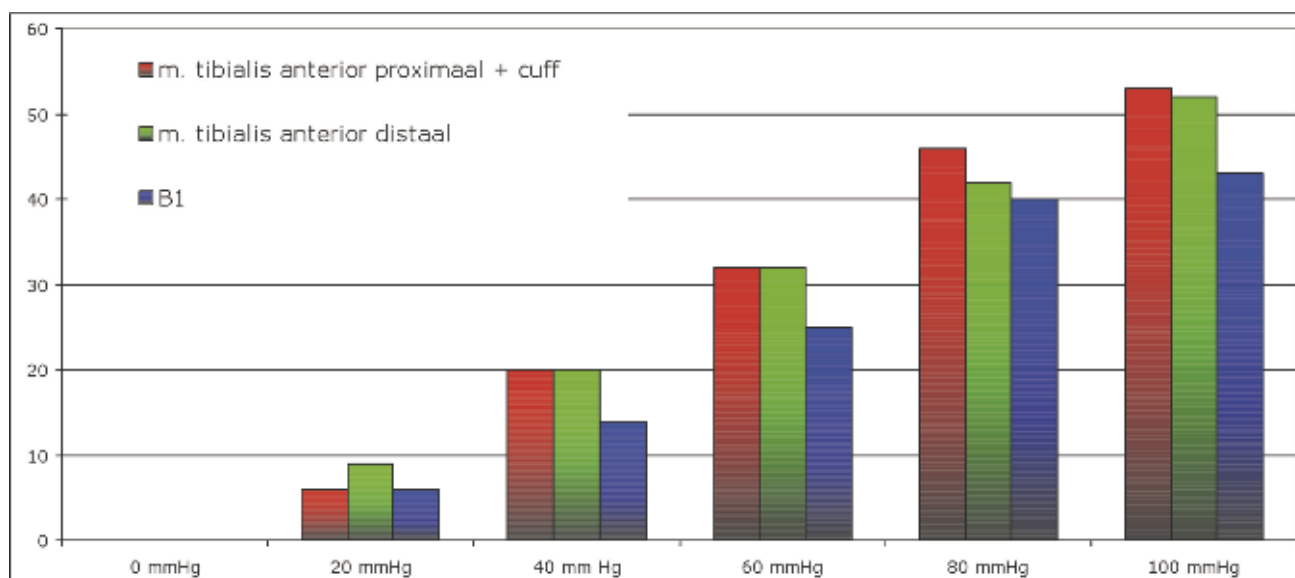
c: de bloeddrukmanchet over de proximale sensor, de twee andere sensoren blijven ruim distaal van de manchet.



figuur 3: de theoretisch graduele compressie volgens de berekening van Thomas.



figuur 4: de gemeten drukwaarden in de drie studies op het kunstbeen.



figuur 5: procentuele drukveranderingen onder het compressieverband bij graduele inflatie van de bloeddrukmanchet.

resultaat, de enige veranderende factor in de formule is de beenomvang. Geheel volgens de wet van Laplace veroorzaakt een toename in beenomvang een afname in druk.

STUDIE 1

Verdeeld over de vijf systemen, werden in totaal 192 verbanden aangelegd. Daadwerkelijke graduele compressie werd waargenomen bij 2 Profore systemen (8.3%), 1 korte rekverband (4.2%), 1 Actico applicatie (4.2%), 2 zinklijmverbanden (8.3%) en 7 Coban 2-Lagen (13.5%). De gemiddelde waarden van alle applicaties is grafisch weergegeven in figuur 4.

STUDIE 2

Graduele compressie werd bereikt in 9 van 120 applicaties (7.5%). De gemiddelde waarden van alle applicaties is grafisch weergegeven in figuur 4.

STUDIE 3

Graduele compressie werd bereikt in 31 van 432 applicaties (9.1%). De gemiddelde waarden van alle applicaties is grafisch weergegeven in figuur 4.

STUDIE 4

Het onderzoek met de bloeddrukmanchet werd uitgevoerd bij 12 gezonde vrijwilligers die elk 18 verschillende verbanden aangelegd kregen. In totaal werden 216 metingen verricht. De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 5. Aangezien bij elke sensor een verschillende uitgangswaarde werd gemeten, zijn de veranderingen, die optraden door het opblazen van de manchet, niet weergegeven in mmHg maar in procentuele veranderingen. Duidelijk is te zien dat de sensoren die niet onder de bloeddrukmanchet liggen (distaal op de m. tibialis anterior en op B1), drukveranderingen laten zien die de stijging van de sensor onder de manchet (proximaal op de m. tibialis anterior) volgen bij elke 20 mmHg verhoging.

BESCHOUWINGEN

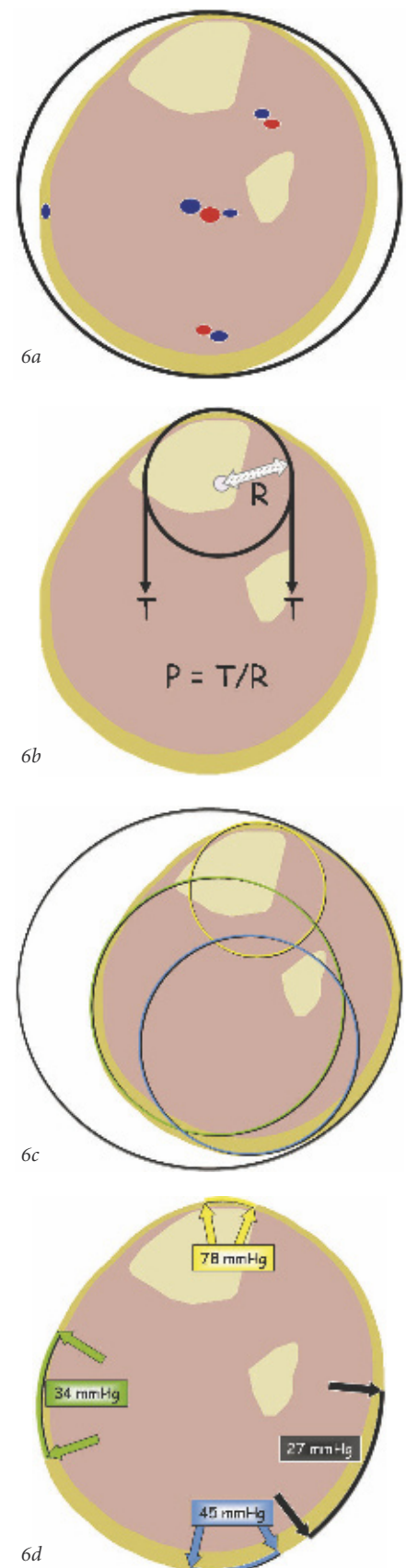
1. De wet van Laplace

In de literatuur wordt veelvuldig beschreven dat een druk van onge-

veer 40 mmHg rond het enkelgewricht, gradueel afnemend naar ongeveer 17 mmHg op de grootste kuitomtrek, de ideale drukverdeling is ter genezing van veneuze ulcera van het onderbeen (Moore, 2002). Het originele Charing Cross vierlagen systeem is ontwikkeld om een graduele 40-17 compressie te bewerkstelligen (Moffatt et al, 1993). Blair et al (1988) stellen dat, vanwege de veranderende radius van enkel naar kuit, deze graduele compressie automatisch zal optreden, vooropgesteld dat tijdens het aanleggen dezelfde spanning en overlapping wordt aangehouden. Daarnaast wordt gesteld dat een foute spanning in een van de vier lagen gecorrigeerd wordt door de andere lagen. Veelvuldig wordt aangenomen dat een correct aangelegd compressieverband deze graduele drukwaarden bewerkstelligt. Bij de haalbaarheid, en derhalve de relevantie van deze drukwaarden voor de effectiviteit van compressietherapie, kunnen de nodige vraagtekens gezet worden. De eigenschappen van de materialen, alsook de grootte en vorm van het been, waren vaste factoren in de studies 1, 2 en 3 van dit artikel. Men zou derhalve kunnen aannemen dat de formule van Thomas met vertrouwen gebruikt kan worden om de drukwaarden te berekenen. Worden er desondanks afwijkende drukwaarden gemeten, dan kunnen deze verklaard worden door de enige niet gecontroleerde factor, de aanlegtechniek.

Bij het aanleggen van compressiekousen is deze aanlegtechniek echter geen variabele factor meer. Wertheim et al (1999) konden echter geen graduele compressie waarnemen bij drukmetingen onder compressiekousen bij gezonde vrijwilligers.

De verschillen in resultaten tussen de in dit artikel vermelde metingen



figuur 6 a, b, c, d:

a: de dwarsdoorsnede door het onderbeen laat zien dat een been geen perfecte cirkel is.

b: de wet van Laplace weergegeven in het onderbeen; de wet kan toegepast worden op dat gedeelte van het onderbeen dat een perfect raakvlak heeft met de cirkel waarvan de radius genomen is.

c: in de dwarsdoorsnede van het onderbeen kunne vele cirkels getrokken worden, elk met hun specifieke raakvlak.

d. theoretische waarden die berekend zijn voor elke specifieke cirkel.

in figuur 4 enerzijds en de theoretische waarden in figuur 3 anderzijds, zouden verklaard kunnen worden door een significant verschil tussen de wet van Laplace en de formule van Thomas. In de wet van Laplace is de radius van een cirkel de bepalende factor, terwijl Thomas in zijn formule de omtrek gebruikt om de te verwachte druk te bepalen. Het menselijke been heeft echter, net als het kunstbeen dat in de beschreven studies gebruikt werd, geen consistent gebogen structuur en derhalve ook geen constante radius (figuur 6a en 6b).

In een dwarsdoorsnede door het onderbeen kunnen een groot aantal radii worden waargenomen (figuur 6c). Theoretisch kan, gebruikmakend van de wet van Laplace, voor elk van deze radii een andere druk worden berekend (figuur 6d). Dit betekent dat de uiteindelijke druk die gemeten wordt, afhankelijk is van de specifieke radius waarop een sensor gepositioneerd wordt, in plaats van een waarde die afhankelijk is van de omtrek waarop deze sensor gepositioneerd is. Overigens beschrijft Thomas (2003) dat de positionering van druksensoren kritisch is en derhalve experimentele waarden niet altijd overeenkomen met de waarden uit zijn formule. De compressieverbanden in de drie beschreven studies werden aangelegd onder volledig gecontroleerde omstandigheden, een gefixeerd been, ervaren bandagisten en vaste sensorposities. Desondanks werden de met de formule van Thomas berekende drukken slechts in 53 van 744 applicaties (7.1%) waargenomen. Recent werd door Rabe et al (2008) voorgesteld drukmetingen te verrichten in toekomstige studies. Daarnaast is er een toenemende belangstelling in de statische rigiditeitsindex van compressiesystemen te bepalen. Hiemee wordt het verschil in druk aangegeven tussen de liggende en staande positie, gemeten op de zogenaamde B1-positie. Deze index is een geschikte methode om de fysische eigenschappen en effectiviteit van compressiesystemen te bepalen (Partsch et al, 2008). Drukmetingen blijven derhalve belangrijk om tij-

dens vergelijkend onderzoek een indruk te geven over gebruikte compressiesystemen.

Vanwege de relatief lage kosten van de benodigde apparatuur wordt het meten van druk bij compressietherapie steeds populairder. Het gebruik van deze apparatuur is aan te bevelen ter bepaling van de rigiditeit en effectiviteit van aangelegde systemen. Ook voor trainingsdoeleinden wordt het gebruik van deze apparatuur steeds vaker gebruikt om de reproduceerbaarheid van aangewende compressie te onderwijzen (Moore 2002). Drukmeting wordt echter vaak incorrect gebruikt om verbanden aan te leggen die voldoen aan bepaalde theoretische waarden.

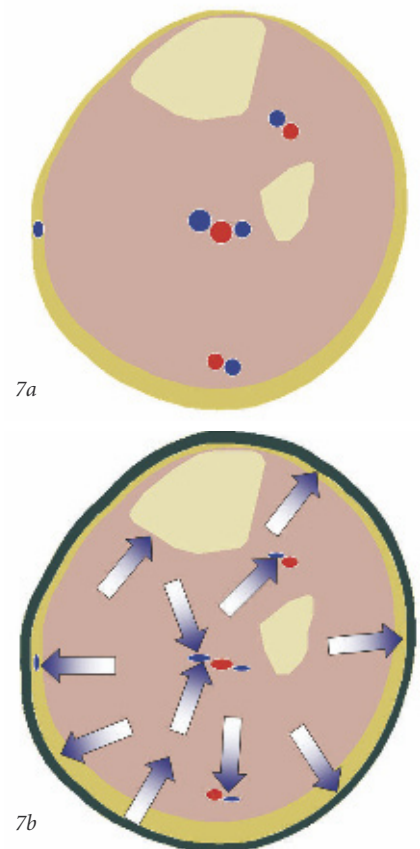
2. De wet van Pascal

Verbanden met een hoge statische rigiditeitsindex geven na het aanleggen het effect van een niet rekbare tweede huid. Dit betekent dat de door de spieren opgebouwde druk tijdens functionele activiteiten tegen een rigide buis werkt en de druk in deze gesloten cylinder verhoogt. Het gevolg van deze drukverhoging kan vergeleken worden met het leegknijpen van een tube waarbij de enige opening in dit gesloten systeem de spuitmond is. In het onderbeen zijn dit de bloedvaten (figuur 7a).

Hoe meer de druk in een tube wordt opgebouwd, hoe groter de kracht waarmee een vloeistof eruit geperst zal worden. Worden deze krachten opgebouwd binnen een gecomprimeerd onderbeen, dan zijn de effecten eender. Vanwege de hoge rekbaarheid van de huid, die normaal deze compressie verzorgt, worden veel van deze krachten geabsorbeerd. Een compressieverband met een hoge rigiditeitsindex weet deze krachten binnen het systeem te houden waardoor deze optimaal benut worden om onder andere insufficiënte veneuze en lymfatische systemen te ondersteunen (figuur 7b).

CONCLUSIES

- Het wijdverbreide geloof dat correct aangelegde compressieverbanden graduele en van distaal naar proximaal afnemende druk bewerkstelligen, is puur gebaseerd op



figuur 7 a, b:

a: dwarsdoorsnede van het onderbeen
b: wanneer spieractiviteit de druk opbouwt binnen de middels compressie afgesloten ruimte, dan zal volgens de wet van Pascal deze druk zich gelijkmatig voortplanten binnen deze ruimte en zo de veneuze afvoer ondersteunen.

theoretische wiskundige berekeningen.

- De uiteindelijke druk op elk willekeurig punt wordt voornamelijk bepaald door de radius van de cirkel waarop compressie wordt aangewend en niet door de omtrek van het been op het niveau van dat specifieke punt.
- De dynamiek van effectieve compressietherapie wordt verklaard door de wet van Pascal, die stelt dat druk die wordt uitgeoefend (functionele activiteiten) op een vloeistof (een spier of spiergroep) in een gesloten container (fascia muscularis en compressieverband), zich onverminderd in alle richtingen zal voortplanten.

***Jan Schuren, Kay Mohr, 3M
Deutschland GmbH, Medical Markets
Laboratory, Neuss, Duitsland.**

LITERATUUR

- Basford JR. The law of Laplace and its relevance to contemporary medicine and rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 1165-1170.
- Blair SD, Wright DD, Backhouse CM, Riddle E, McCollum CN. Sustained compression and healing of chronic venous ulcers. *BMJ* 1998; 297(6657): 1159-1161.
- Collier M, Schuren J. Ease of use and reproducibility of five compression systems. *J Wound Care* 2007; 3M Supplement: 8-10.
- Cullum N, Nelson EA, Fletcher AW, Sheldon TA. Compression for venous leg ulcers (Cochrane Review). In: *The Cochrane Library*, Issue 3, 2002. Oxford: Update Software.
- Moffatt CJ, Dickson D. The Charing Cross high compression four-layer bandage system. *J Wound Care* 1993; 2(2): 91-94.
- Moore Z. Compression bandaging: are practitioners achieving the ideal sub-bandage pressures? *J Wound Care* 2002; 11(7): 265-268.
- Nederlandse Vereniging voor Dermatologie en Venereologie (NVDV). Richtlijn diagnostiek en behandeling van het ulcus cruris venosum. Van Zuiden Communications B.V. Alphen aan den Rijn 2005.
- Partsch H, Clark M, Mosti G, Steinlechner E, Schuren J, et al. Classification of compression bandages: practical aspects. *Dermatol Surg* 2008; 34: 600-609.
- Rabe E, Partsch H, Jünger M, Abel M, Achhammer I, et al. Guidelines for clinical studies with compression devices in patients with venous disorders of the lower limb. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2008; 35: 494-500.
- Schuren J, Milne EL, Zych GA, Sarmiento A, Latta LL. Fracture stability in tibia braces: an analysis in anatomic specimens. *AAOS Annual Meeting Proceedings* 1999: 96-98.
- Schuren J, Mohr K. The efficacy of Laplace's equation in calculating bandage pressure in venous leg ulcers. *Wounds UK* 2008; 4(2): 38-47.
- Schuren J. An in-vitro evaluation of 3M Coban 2 Layer Compression System prototypes. 3M Medical Markets Laboratory Europe; 2008: data on file.
- Thomas S. The use of the Laplace equation in the calculation of sub-bandage pressure. *EWMA Journal* 2003; 3(1): 21-23.
- Wertheim D, Melhuish J, Williams R, Lane I, Harding K. Movement-related variation in forces under compression stockings. *Eur J Endovasc Surg* 1999; 17: 334-337.