

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

Afdeling der Werktuigbouwkunde

Vakgroep voor Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek en
Cybernetische Ergonomie

Schrijver: M.H. Danz

Titel: Belastbaarheid van de menselijke huid
op druk- en schuifkrachten.

Rapport nr: S 226

Datum: 12 juni 1985

Samenvatting:

In deze skriptie worden resultaten uit de literatuur op het gebied van de mechanische belastbaarheid van de menselijke huid behandeld. Daarbij wordt alleen gekeken naar die belastinggevallen, waarvan verwacht kan worden dat ze bij het dragen van pro- en orthesen zullen voorkomen: drukkracht (eventueel negatief) loodrecht op de huid en schuifkracht in het vlak van de huid.

Verder wordt ingegaan op de fenomenen die optreden bij deze belastingen.

De belangrijkste resultaten zijn dat de belastbaarheid bij drukkracht voornamelijk afhankelijk is van de duur van de belasting en van de plaats (de dikte en de samenstelling van de huid en onderliggende vervormbare weefsels).

Vakgroep voor Werktuigkundige
Meet- en Regeltechniek en
Cybernetische Ergonomie
Mekelweg 2
2628 CD DELFT

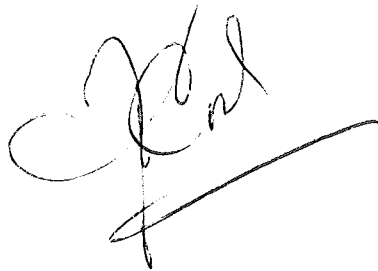
Skriptie-opdracht voor de heer M.H. Danz,
Diergaardesingel 90A, 3014 AH ROTTERDAM

Protesen en ortesen moeten aan het lichaam bevestigd worden.
Op de bevestigingsplaats -de fitting genoemd- worden het eigen
gewicht en de extern op de protese uitgeoefende krachten op het
lichaam overgedragen. *)


Voor een goed ontwerp van de fitting is het van belang de
maximaal toelaatbare, de langdurig verdraagbare en de comfortabele
huidbelasting te kennen.

Van U wordt verwacht na te gaan wat hierover in de literatuur
bekend is, zo mogelijk in afhankelijkheid van plaats op het
lichaam, onderliggend spierweefsel, gezondheid huidweefsel e.d.

Prof.Ir. J.C. Cool



*) En bedieningskrachten, bijvoorbeeld
bij elleboopsturing



ruimte voor aantekeningen

LITERATUUR

- Barton, A.A. 1976
The pathogenesis of skin wounds due to pressure
In: Bed sore biomechanics zie Kenedi, R.M. e.a.
(1976) p.p. 55-62
- Bennett, Leon / Kavner, David / Lee, Bok K. /
Trainor, Frieda A. 1979
Shear vs pressure as causative factors in skin
blood flow occlusion
In: Archives of physical medicine and rehabili-
tation
vol. 60 p.p. 309-314
- Brand, P.W. 1976
Pressure sores - the problem
In: Bed sore biomechanics zie Kenedi, R.M. e.a.
(1976) p.p. 19-23
- Coelho, M.B. / Kloosterhuis, G. 1965
Praktisch verklarend zakwoordenboek der genees-
kunde
Van Goor Zonen - Den Haag
- Cruickshank, C.N.D. 1976
The microanatomy of the epidermis in relation to
trauma
In: Bed sore biomechanics zie Kenedi, R.M. e.a.
(1976) p.p. 39-46
- Dinsdale, Sidney M. 1974
Decubitus ulcers: role of pressure and friction
in causation
In: Archives of physical medicine and rehabili-
tation
vol. 55 p.p. 147-152
- Guttmann, Sir Ludwig 1976
The prevention and treatment of pressure sores
In: Bed sore biomechanics zie Kenedi, R.M. e.a.
(1976) p.p. 153-159
- Hussain, Tafazzul 1953
An experimental study of some pressure effects
on tissues, with reference to the bed-sore problem
In: Journal of pathology and bacteriology
vol. 66 p.p. 347-358

Kenedi, R.M. / Cowden, J.M. / Scales, J.T. 1976
Bed sore biomechanics
The Macmillan Press Ltd.
London and Basingstoke
SBN 333 17865 3

Kosiak, M. 1961
Etiology of decubitus ulcers
In: Archives of physical medicine and rehabilitation
vol. 42 p.p. 19-29

Oomens, C. 1983
Mechanical modelling of soft tissues
In: Paradoks (Lustrum symposium T.H. Twente)
p.p. 122-129

Palmer, J.D.Keith 1979
Shear vs pressure measurement
In: Archives of physical medicine and rehabilitation
vol. 60 p.p. 614-615

Reddy, Narender P. / Cochran, George Van B. /
Krouskop, Thomas A. 1981
Interstitial fluid flow as a factor in decubitus
ulcer formation
In: Journal of biomechanics
vol. 14 p.p. 879-881

Reswick, J.B. / Rogers, J.E. 1976
Experience at Rancho Los Amigos Hospital with
devices and techniques to prevent pressure sores
In: Bed sore biomechanics zie Kenedi, R.M. e.a.
(1976) p.p. 301-310

Scales, J.T. 1976
Pressure on the patient
In: Bed sore biomechanics zie Kenedi, R.M. e.a.
(1976) p.p. 11-17

Ziegert, J.C. / Lewis, J.L. 1978
In-vivo mechanical properties of soft tissue
covering bony prominences
In: Journal of biomechanical engineering
vol. 100 p.p. 194-201

Referenties uit de literatuur:

- Brooks, B. 1922
Pathologic changes in muscle as a result of
disturbances of circulation
In: Arch. Surg.
vol. 5 p.p. 188-...
- Groth, K.E. 1942
Klinische Beobachtungen und experimentelle
Studien über die Entstehung des Dekubitus
In: Acta Chir Scand
(Suppl 76) vol. 87 p.p. 1-209
- Kiistala, U. 1972
In: Ann. Clin. Res.
vol. 4 p.p. 236-...
- Krouskop, T.A. / Reddy, N.P. / Spencer, W.A. /
Secor, J.W. 1978
Mechanisms of decubitus ulcer formation
In: Med. Hypotheses
vol. 4 p.p. 37-39
- van der Leun, J.C. / Lowe, L.B. / Beerens, E.G.J.
1974a
In: J. Invest. Derm.
vol. 62 p.p. 42-..
- van der Leun, J.C. / Beerens, E.G.J. / Lowe, L.B.
1974b
In: J. Invest. Derm.
vol. 63 p.p. 397-...
- Trumble, H.C. 1930
The skin tolerance of pressure and pressure sores
In: Austral. Med. J.
ii p.p. 724-...

1 Inleiding

Bij de sectie Instrumenten houdt men zich onder andere bezig met het ontwikkelen van prothesen en orthesen⁺ voor de bovenste extremiteiten, die respectievelijk dienen voor het vervangen en het ondersteunen van (delen van) de armen. Er kunnen zich problemen voordoen waar de huid in contact is met deze prothesen: al of niet ernstige beschadiging van de huid en/of onderliggende weefsels.

Om deze problemen op te kunnen lossen, is het nodig te weten in welke mate de huid bestand is tegen mechanische belasting, zoals die optreedt bij het dragen van prothesen.

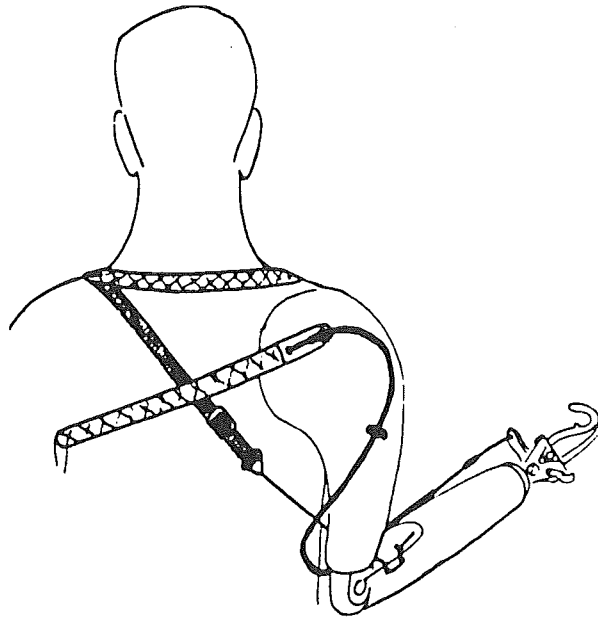


fig. 1.1 Een prothese die door middel van bandages gefixeerd en bediend wordt.

+ In dit verslag zal steeds over prothese gesproken worden, ook wanneer er sprake kan zijn van een orthese.

Bandages (fig. 1.1), die dienen om de prothese te fixeren of te bedienen, zullen een drukkracht uitoefenen op de huid; dit geldt ook voor prothesen die, eventueel klemmend, door aanpassing aan de geometrie van het betreffende lichaamsdeel aan het lichaam bevestigd worden (fig.1.2.). Naast deze kracht, loodrecht op de huid, zal er bijna altijd ook sprake zijn van een schuifkracht.

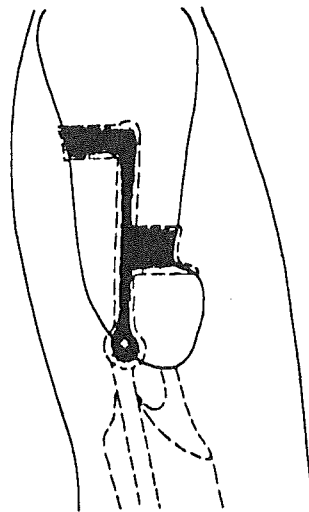


fig. 1.2 Een prothese die door een aangepaste geometrie gefixeerd wordt.

Er zijn ook prothesen die gefixeerd worden door de zuigende werking tussen de prothesekoker en de amputatiestomp (suction socket) (fig. 1.3.). Er zal in dit geval gesproken worden over negatieve drukkracht.

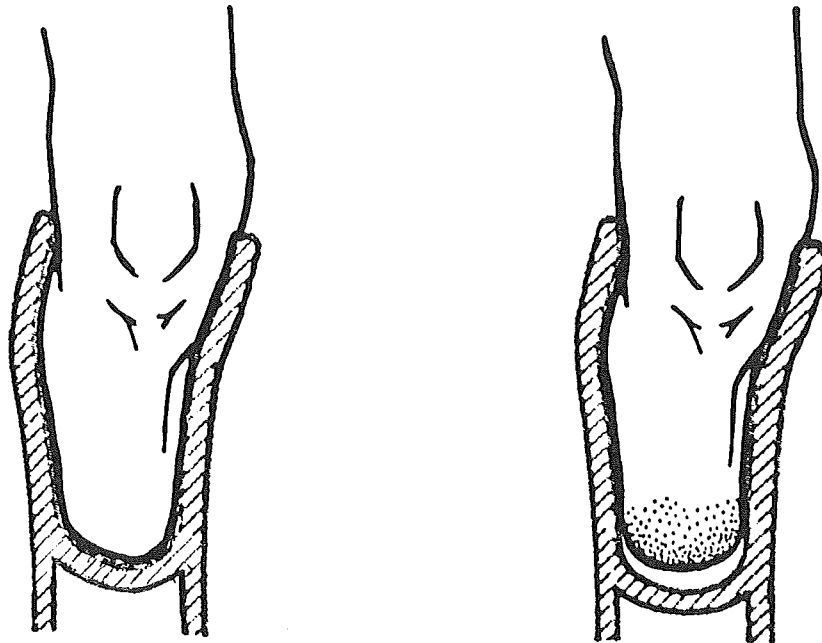


fig. 1.3 Een prothese die door onderdruk gefixeerd wordt.

Bij het aanbrengen van de prothese wordt de lucht tussen de stomp en de prothese weggedrukt (links). Wanneer de prothese omlaag wordt getrokken (rechts), kan er onderdruk ontstaan die de huid op negatieve drukkracht belast (gestippeld).

In dit verslag zal niet worden ingegaan op de belastbaarheid van de huid op trekkracht, in het vlak van de huid; deze lijkt door de grote soepelheid van de huid ten opzichte van het bot een ondergeschikte rol te spelen (fig. 1.4).

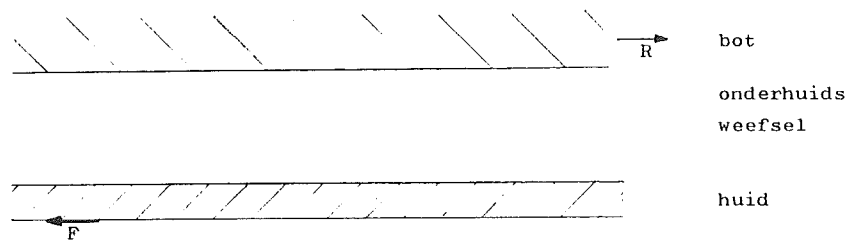


fig. 1.4 Krachten in het vlak van de huid.

Door de soepelheid van de huid zal, door een kracht F in het vlak van de huid, waarschijnlijk geen trekspanning in de huid ontstaan, maar een schuifspanning in de huid en onderliggende weefsels. Het bot kan de kracht verder doorvoeren (R).

Samenvattend kan gesteld worden dat dit verslag een verzameling gegevens behandelt omtrent druk- (eventueel ook negatieve) en schuifbelasting op de huid van de arm en de schoudergordel.

2 Het probleem: veel variabelen, verschillende kriteri
eria

Bij het bestuderen van artikelen die de mechanische belastbaarheid van de menselijke huid behandelen, treft men zeer grote verschillen aan.

Zo geeft Brand (1976) aan dat, wanneer de vinger-top gedurende enkele uren wordt belast met een konstante druk van 1,5 ... 2,5 kg/cm² (150 ... 250 kPa), er geen beschadiging optreedt.

In schril contrast hiermee staat de waarde die Reswick en Rogers (1976) geven voor weefsel over botuitsteeksels (tissue covering bony prominences): bij langdurige belasting zal bij een druk van 30 mm Hg (4,0 kPa) geen weefselafbraak plaats vinden.

Deze voorbeelden zijn bewust extreem gekozen, maar ze geven door hun grote ongelijkheid (faktor 50) aan dat het nodig is naar de omstandigheden te kijken.

Bovenstaande verschillen laten zich verklaren door ongelijke lokatie, en daarmee ongelijke structuur en dikte van de huid en onderliggende weefsellagen, terwijl de uitspraken over de duur van de belasting ook tot verschillen kunnen leiden. Verder kunnen de vorm en de mechanische eigenschappen van het voorwerp, waarmee de huid belast wordt, aanleiding geven tot ongelijkheid. Als laatste kan het criterium genoemd worden dat de verschillende onderzoekers gebruiken. Dit geeft vooral problemen bij het vergelijken, wanneer zij al een fenomeen hebben gekozen, dat zij als bepalend zien voor de belastbaarheid.

Een duidelijk voorbeeld hiervan is, dat bij een bepaalde belasting, de bloedvaten dichtgedrukt worden (occlusie), waardoor er geen stofwisseling meer in het weefsel kan plaatsvinden. Hoewel dit fenomeen, zeker bij langere belasting, een belangrijke rol zal spelen, is het de vraag of dit de enige oorzaak van huidbeschadiging is. De drukbelasting die aanleiding geeft tot occlusie zal zeer sterk afhangen van de bloeddruk. In de haarvaten heerst een bloeddruk van 3,3 kPa (door velen genoemd) wat volgens Reswick en Rogers (1976) tot gevolg heeft dat de ischemiedruk (ischemie = bloedeloosheid) op 35 mm Hg (4,7 kPa) ligt. Wanneer occlusie het enige, of enig bepalende, fenomeen zou zijn, zou dit betekenen dat drukbelasting onder 4,7 kPa geen beschadiging zal toebrengen. Tot slot van dit hoofdstuk volgen twee overzichten die, ondanks hun onvolledigheid, mogelijkheden aangeven, waardoor ongelijkheid in de waarden voor de belastbaarheid kan zijn veroorzaakt.

Verschillende criteria voor te grote belasting van de huid:

- beschadiging van de huid
- occlusie (afsluiten van de bloedvaten door druk van buitenaf)
- blaarvorming
- beschadiging van de bloedvaten

- pijn
- jeuk

Enkele voorbeelden van omstandigheden die kunnen verschillen en daardoor aanleiding kunnen geven tot verschillende waarden van belastbaarheid:

- grootte van de belasting
- duur van de belasting
- structuur van de huid en onderliggende lagen afhankelijk van de lokatie en persoonlijke kenmerken (bijvoorbeeld leeftijd)
- temperatuur
- vochtigheid van de omgeving
- mate van doorbloeding (na amputatie)
- functioneren van de zenuwen (na amputatie)
- gaafheid van de huid (na amputatie) in verband met spanningen in de huid
- vorm en materiaaleigenschappen van het voorwerp dat in contact staat met de huid (stempel of prothese) (fig. 2.1)

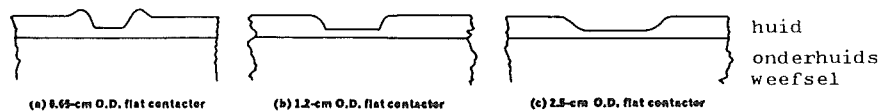


fig. 2.1 Verschillende vervormingen van de huid door gebruik van verschillende stempels.

De hier door Ziegert en Lewis (1978) geregistreeerde verschillen zijn veroorzaakt door verschillende stempeldiameters.

3 Belasting op drukkracht

Op het gebied van drukwonden is veel onderzoek verricht. In hoofdzaak richt men zich hierbij op bedlegerige patiënten; er wordt dan gesproken over decubitus (doorliggen).

Decubitus ontstaat meestal op karakteristieke plekken (fig. 3.1) (Barton, 1976), die onder het door Reswick en Rogers (1976) gehanteerde begrip "skin covering boney prominences" (huid over botuitsteeksels) geplaatst kunnen worden.

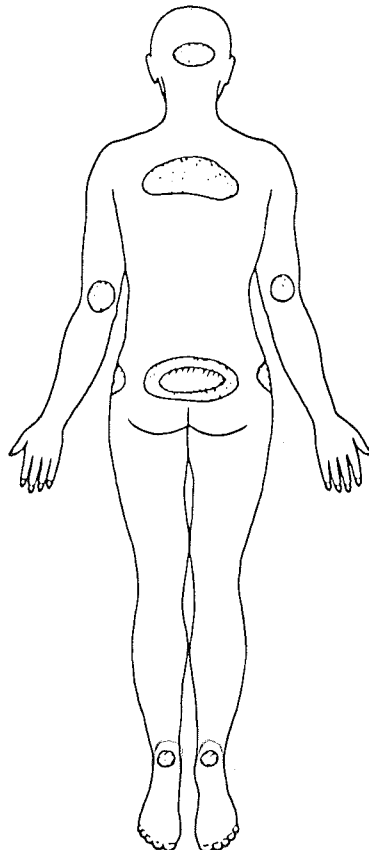


fig. 3.1 Plekken met gevaar voor weefselsterfte door drukbelasting bij bedlegerige patiënten (Barton, 1976).

De hiervan voor dit onderzoek in aanmerking komende plekken (hoofdstuk 1) zijn de ellebogen en de rugwervels tussen de schouderbladen. Bij het dragen van prothesen voor drukwonden eveneens gevoelige plekken zijn te vinden, waar een prothese aansluit op de huid die dicht op het bot ligt: rugzijden van de handen, polsen, onderarmen waar ellepijp en spaakbeen dicht onder de huid liggen, schouders, sleutelbeenderen, borstbeen en ribben.

Decubitus ontstaat bij bedlegerige patiënten die zich niet bewegen en zodoende de huid niet ontlasten. Dit komt doordat ze dit niet kunnen, door een verlamming of verdoving of doordat ze niet voelen dat het nodig is, ten gevolge van beschadigde zenuwen.

Deze, motorieke en receptieve, storingen kunnen ook bij mensen voorkomen die prothesen gebruiken, hetgeen de overeenkomst met decubitus groter maakt, maar ook kan de uitvoering van de prothese belemmeren dat de druk wordt weggenomen; de prothese heeft een te hard contactvlak of past niet of past niet meer bijvoorbeeld ten gevolge van het weer ontwikkelen van de spieren.

Guttman(1976) geeft aan dat de verschillende stadia, waarin weefselbeschadiging zich kan bevinden, te onderscheiden zijn door de mate van bloedeloosheid en de mate van infectie.

-1- Tijdelijk erytheem (rood worden van de huid) met enige mate van oedeem (overvloed aan weefselvloeistof).

- 2- Blijvende huidbeschadiging: verdergaand erytheem, congestie (overmatige bloedtoevoer), verkleuring en verharding van de huid. Na hemorragie (bloeding) kunnen zwarte blaren ontstaan. Beschadiging aan diepere lagen: afsterven en zweren.
- 3- Diep doordringende necrosie (afsterven): aantasting van onderhuidse weefsellagen (tot in het bot).
- 4- Zweren in botholte in verbinding met beurzen. Deze ontstaan wanneer de huid geneest, maar de wond in de onderliggende lagen niet verdwijnt.

Verdere stadia zijn specifiek voor de heupen en lijken, omdat ze ontstaan zijn bij grotere belasting (lichaamsgewicht), niet waarschijnlijk bij de in dit verslag bedoelde prothesen. Palmer (1979) geeft een andere verdeling.

- 1- Verbleken.
- 2- Hyperemie (zeer sterke doorbloeding na bloedeloosheid).
- 3- Ontsteking.
- 4- Zweren.
- 5- Diepe beschadiging van het weefsel.

3.1 Belasting op konstante drukkracht.

In het volgende overzicht zijn de waarden aangaande de belastbaarheid op konstante druk van de verschillende onderzoekers gebundeld.

Per onderzoek staan achtereenvolgens aangegeven:

- naam van de onderzoeker(s) (jaar van publikatie)
 - het onderzochte criterium
 - de gegeven waarde(n) (omgerekend in kPa).
- Bennett e.a. (1979)
occlusie boven
100 ... 120 mm Hg (13 ... 16 kPa)
 - Brand (1976)
beschadiging na enkele uren boven
50 ... 200 g/cm² (5 ... 20 kPa)
geen beschadiging vingertop onder
1,5 ... 2,5 kg/cm² (150 ... 250 kPa)
 - Guttman (1976)
occlusie boven
80 mm Hg⁺ (11 kPa)
 - Reswick en Rogers (1976)
weefselafbraak na lange tijd
 over botuitsteeksels niet onder
 30 mm Hg (4 kPa)
 dikke weefsellagen (dijen) niet onder
 100 mm Hg (13 kPa)
 - Scales (1976)
huid niet geschikt voor belasting (enkele uren) boven
40 mm Hg (5 kPa)
vaten dicht en pijn vanaf
80 mm Hg⁺ (11 kPa)

Omtrent de variabelen wordt weinig vermeld; soms de plaats (al of niet globaal) en een ruime opmerking over de duur. In dit verband kan herhaald worden dat occlusie na verloop van "enige tijd" zal resulteren in weefselbeschadiging. Over het aspect tijd is onderzoek gedaan door Hussain (1953) bij ratten en door Kosiak (1961) bij honden. Reswick en Rogers (1976) vonden bij mensen een zelfde beeld: hoe groter de belasting, hoe korter de duur van de belasting kan zijn zonder te resulteren in beschadiging van het weefsel (fig. 3.2).

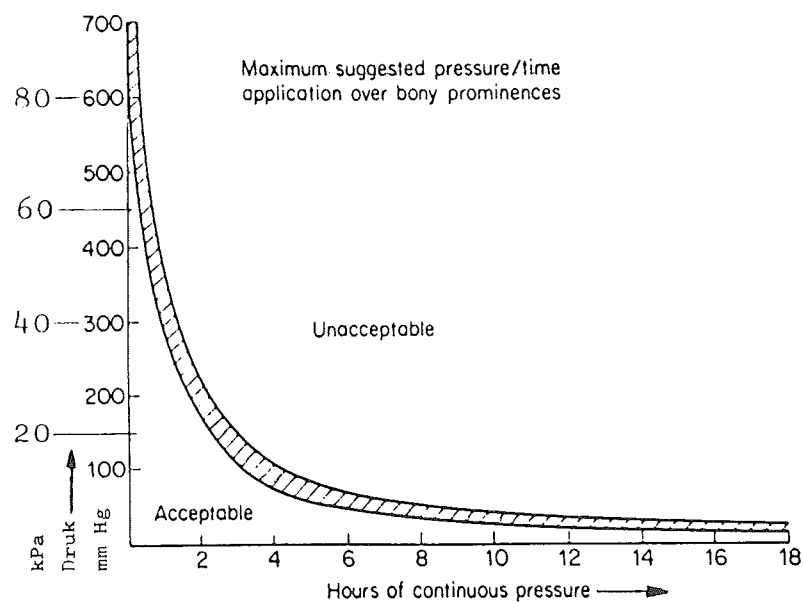


fig. 3.2 De toelaatbaarheid van een drukbelasting is afhankelijk van de duur van die belasting (Reswick en Rogers, 1976). Deze weergave geldt specifiek voor weefsel over botuitsteeksels.

3.2 Belasting op konstante negatieve drukkracht.

Deze literatuurstudie omvat slechts één artikel waarin aanwijzingen worden gegeven omtrent belasting op negatieve druk, en wel van de hand van Cruickshank (1976).

Hierin wordt gegeven dat blaarvorming niet optreedt bij een druk tussen 0 en -50 mm Hg⁺ (tussen 0 en -6 kPa), maar wel bij -250 mm Hg⁺⁺ (-33 kPa).

Het criterium blaarvorming is gekozen, omdat dit het zichtbare resultaat is van het lostrekken van de epidermis (opperhuid) van de derma (huid).

+ gebaseerd op Kiistala (1972)

++ gebaseerd op Van der Leun e.a. (1974a, 1974b); deze waarde heeft betrekking op de onderarm

3.3 Belasting op wisselende drukkracht.

→ Vermoeding f dus

Het enige voor dit literatuuronderzoek bruikbare cijfermateriaal werd gevonden in het artikel van Brand (1976).

In dit onderzoek wordt aangegeven, dat beschadiging aan de top van de vinger optreedt bij 5000 ... 15000 wisselingen van een druk van $1,5 \text{ kg/cm}^2$ (150 kPa). Ter vergelijking wordt in ditzelfde artikel vermeld, dat geen beschadiging optreedt bij een konstante druk van $1,5 \dots 2,5 \text{ kg/cm}^2$ (150 ... 250 kPa).

3.4 Belasting op wisselende negatieve drukkracht.

Onder de beschouwde literatuur bevindt zich geen enkel artikel, waarin cijfermateriaal aangaande deze belastingvorm wordt gegeven.

Belasting op schuifkracht

Zoals in hoofdstuk 1 geschetst, zal de mechanische belasting van de huid bij het dragen van een prothese in de praktijk naast een drukkracht ook bestaan uit een schuifkracht. (Ook andersom zal het niet vaak voorkomen dat er wel sprake is van een schuifkracht en niet van een drukkracht.) Veel onderzoekers geven aan dat er bij belasting van de huid meestal ook een schuifkracht zal zijn en wijzen op de belangrijke invloed van die schuifkracht.

In slechts twee van de bestudeerde artikelen wordt hieromtrent cijfermateriaal gegeven: dat van Dinsdale (1974) en dat van Bennett e.a. (1979). Dinsdale beschrijft onderzoek bij varkens, maar omdat verder geen beschrijving is gevonden van met name de gevolgen van wisselende drukkracht in combinatie met schuifkracht is dit onderzoek toch nader bekeken. Hierbij kan vermeld worden dat de huid van een varken die van de mens het meest benadert (Dinsdale, 1974).

Dinsdale noemt de volgende overeenkomsten:

- 1- dikte
- 2- opbouw: dezelfde lagen; één uitzondering:
de stratum lucidum ontbreekt bij
het varken
- 3- vervlochten vatenstelsel
- 4- aanwezigheid van papillen (knobbelvormige
elementen)
- 5- huidcellen worden ongeveer even oud
- 6- betrekkelijk weinig beharing
- 7- vergelijkbare temperatuurregeling

Omdat de opzet van deze twee onderzoeken sterk verschilt (onderwerp, soorten belasting, criterium) zullen ze afzonderlijk behandeld worden en niet per belastingvorm.

4.1 Het onderzoek van Bennett e.a. (1979).

Bennett e.a. beschouwen verschillende combinaties van konstante druk en schuifspanning met het oogmerk de invloed van de schuifspanning op de bloedstroom uit te drukken in een fiktieve druk. De metingen worden verricht met een apparaatje, dat weergeeft hoe groot druk, schuifspanning en bloedstroom zijn, wanneer de proefpersoon dit zelf tegen de huid (hier de muis van de duim) drukt.

De werkwijze is als volgt.

Bij geringe schuifspanning wordt gekeken hoeveel druk nodig is om de bloedstroom te halveren.

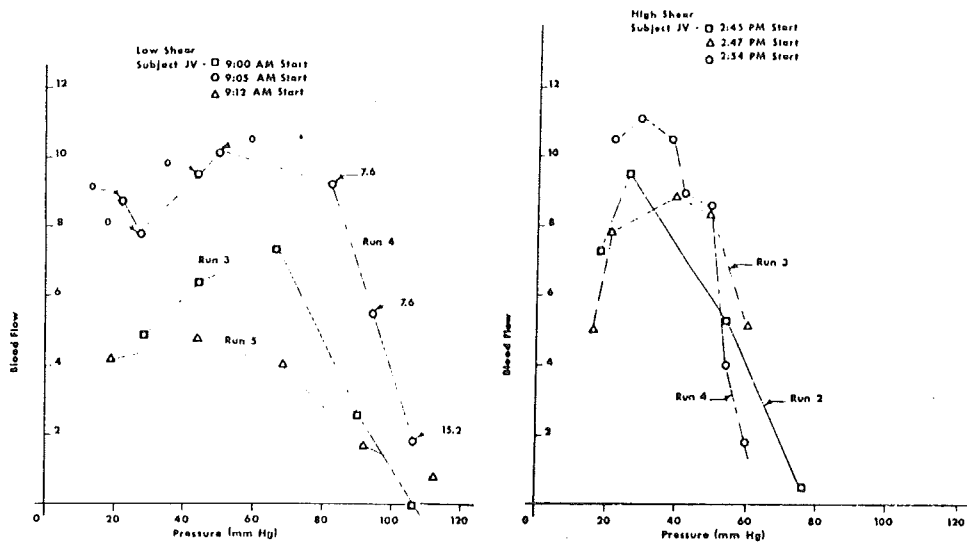
Vervolgens wordt dit gedaan voor grote schuifspanning. Na op deze manier enkele metingen te hebben verricht, wordt er gemiddeld; men vindt voor de betreffende proefpersoon: 88 mm Hg druk bij een schuifspanning van 31 g/cm^2 heeft dezelfde invloed op de bloedstroom als 71 mm Hg druk bij een schuifspanning van 77 g/cm^2 .

Hieruit wordt gekonkludeerd: 1 mm Hg druk komt overeen met $2,7 \text{ g/cm}^2$ schuifspanning (fig. 4.2).

Dit wordt ook bij andere proefpersonen gedaan; het gemiddelde van de vier proefpersonen is:

1 mm Hg druk komt overeen met een schuifspanning van $2,6 \text{ g/cm}^2$ (fig. 4.2).

Na schuifspanning en druk in dezelfde dimensies te hebben uitgedrukt, komt men tot de volgende uitspraak: 1 eenheid van druk komt overeen met 1,91 eenheden schuifspanning.



- Raw data, pressure vs blood flow, low shear condition. Note variation in blood flow readings, all obtained from the same subject within an elapsed time of 15 minutes. Flagged points (run 4) give accompanying shear load (g/cm^2).

- Raw data, pressure vs blood flow, high shear condition. Note tendency to occlude at a lower pressure reading (60 to 80mmHg) than comparable low shear condition values (100 to 120mmHg).

fig. 4.1 Enkele metingen van Bennett e.a. bij proefpersoon J.V.

Zowel druk, schuifspanning als bloedstroom worden geacht tussen de aangegeven waarden lineair te verlopen.

Pressure-Shear Relationship at 50% Flow

Subject	Sex	Age	Low Shear Mode (Halved Blood Flow)		High Shear Mode (Halved Blood Flow)		1 Unit Pressure equals units Shear	
			Pressure	Shear	Pressure	Shear		
1	M	44	88	31	71	77	2.7	
2	M	50	138	11	98	134	3.1	
3	F	25	76	12	47	77	2.2	
4	M	22	83	11	54	77	2.3	
All pressure units - mmHg								2.6
All shear units - g/cm^2								(ave)

fig. 4.2 Het gemiddelde van de gemiddelden van de metingen van de vier proefpersonen wordt door Bennett e.a. gebruikt om de schuifspanning uit te drukken in een fiktieve druk.

Uit de beschrijving valt op te maken dat de resultaten met de nodige reserve bekeken moeten worden; er is steeds uitgegaan van lineair verloop en ook hier is het de vraag of de lokatie (muis van de duim) representatief is en of het gekozen criterium (occlusie) het juiste is.

4.2 Het onderzoek van Dinsdale (1974) bij varkens.

Dinsdale heeft enkele tests gedaan om de invloed van schuifspanning op weefselbeschadiging te bepalen. De grootte van deze schuifspanning wordt niet gegeven.

De schuifkracht ontstaat door de huid 2,54 cm te verplaatsen, en wel zes maal per kwartier heen en terug in het vlak van de huid.

Dinsdale realiseert dit door een "webbing" (weefsel) tussen de huid en de stempel aan te brengen en dit vervolgens te verplaatsen nadat de drukkracht op de stempel is ingesteld.

De resultaten zijn:

-1- voor: verlamde varkens

 konstante drukkracht

 belastingduur van 3 uur

- a. zonder schuifspanning geen weefselbeschadiging onder 480 mm Hg (64 kPa)
- b. met schuifspanning meer kans op weefselbeschadiging dan zonder
- c. boven 500 mm Hg (67 kPa) heeft schuifspanning geen invloed meer (drukkracht alleen is dan al voldoende om schade te veroorzaken)

-2- voor: gezonde varkens

 wisselende drukkracht

 belastingduur van 5 x 3 x 1,5 uur

 (5 dagen, 3 periodes van 1,5 uur,

 waartussen rustperiodes van 1 uur)

- a. zonder schuifspanning is 290 mm Hg (39 kPa) nodig voor beschadiging
- b. met schuifspanning kan 45 mm Hg (6 kPa) al voldoende zijn voor beschadiging

De metingen worden verricht op het weefsel dat de doornen van de wervels achter het darmbeen bedekt.

Het feit dat de metingen zijn verricht bij varkens en de willekeurige belastingvorm maken dat dit onderzoek voor deze literatuurstudie alleen kwalitatief van waarde is.

5 Het model van Oomens (1983)

Er zijn slechts enkele artikelen gevonden met bruikbare, konkrete meetgegevens en -resultaten. Men kan daarom stellen dat er behoefte is aan meer onderzoeken.

Daarnaast kan getracht worden een model te ontwikkelen om meer inzicht te krijgen in de belastbaarheid van de huid en verband te leggen tussen de verschillende onderzoeken.

Oomens schrijft over zijn werk aan een dergelijk model, dat de mechanika van de huid beschrijft. Hij geeft aan dat de huid uit de volgende hoofdkomponenten bestaat:

- netwerk van collageen en elastine vezels
- amorfe grondsubstantie met daaraan gebonden water
- vrije vloeistof

Andere componenten zoals bloedvaten, klieren, zenuwen en haren worden geacht een te verwaarlozen invloed op de mechanika van de huid te hebben. Het is wel de bedoeling dat de bloedcirculatie in het model wordt opgenomen om de rol van occlusie te kunnen beschouwen.

In het model worden de elastine en collageen vezels en de amorfe grondsubstantie met het gebonden water gezien als poreuze vaste stof, waarin zich een vrij beweegbare vloeistof bevindt.

De onderhuidse zachte weefsels hebben eenzelfde structuur en kunnen daarom op dezelfde wijze (met aangepaste variabelen) worden beschreven.

Omdat de, veel ingewikkelder te beschrijven, spiervezels nog niet in het model zijn opgenomen, is het model alleen bruikbaar om zachte weefsels (huid en onderhuids weefsel) over botuitsteeksels te beschrijven.

Aan het model wordt de eis gesteld dat bij het beschrijven rekening kan worden gehouden met

- grote (tot 50 %) vervormingen
- tijdsafhankelijkheid (in verband met kruip, relaxatie, invloed van reksnelheid)
- niet-lineariteit van het weefsel
- complexe geometrieën
- anisotroop gedrag en inhomogeniteiten.

Deze eisen maken het model dermate ingewikkeld, dat gebruik gemaakt wordt van numerieke oplossmethoden (onder andere de eindige elementen methode).

In de bijlage worden de resultaten van een testprogramma getoond voor een eenvoudig belastinggeval.

Het model zal zeker het inzicht rond de problematiek van de belasting van de huid kunnen vergroten, zodat ook de fenomenen, die bij weefselafbraak aan de orde zijn, op hun waarde kunnen worden beoordeeld.

Voordat het model zover is ontwikkeld, dat er direkt in de praktijk bruikbare resultaten worden verkregen, zal echter nog veel energie in dit projekt gestopt moeten worden.

6 De fenomenen

Om nu, zonder model, meer inzicht te krijgen in de problemen rond de belastbaarheid van de huid, lijkt het zinvol nader in te gaan op de fenomenen.

In de volgende paragrafen worden de door de diverse onderzoekers genoemde fenomenen per belastinggeval bekeken.

6.1 Fenomenen bij belasting op drukkracht.

Er worden in de bestudeerde literatuur vier fenomenen genoemd die weefselbeschadiging bij belasting op drukkracht zouden veroorzaken.

- occlusie van de bloedvaten (veel genoemd); eventueel uitgebreid met occlusie van de lymfhevaten (Reddy e.a., 1981⁺)
- interstitieel vloeistoftransport (Reddy e.a., 1981): beschadiging aan vaste componenten door de weggeperste vloeibare
- directe beschadiging van de vaste componenten (Dinsdale, 1974⁺⁺); in extreme vorm: snijden
- beschadiging van de bloedvaten (Kosiak, 1961⁺⁺⁺)

Vaak verdedigen onderzoekers de keuze van hun fenomeen door een andere, met name occlusie, (ten dele) te weerleggen. Voor het weerleggen van occlusie als enig fenomeen gebruiken Reddy e.a. de volgende redentatie.

Wanneer bij een bepaalde druk p_0 volledige occlusie optreedt, heeft verder verhogen van de druk van buitenaf geen effect meer (fig. 6.1, gestippeld). Dit is in tegenspraak met het door onder andere Reswick en Rogers (1976) gevonden verband (fig. 6.1, getrokken lijn). Er is hierbij van uitgegaan dat occlusie "binnen een bepaald gebied" bij één bepaalde druk optreedt, wat voor min of meer statische gevallen en dunne weefsellagen over bot zal gelden (bijlage: fig. 4).

+ gebaseerd op Krouskop e.a. (1978)

++ gebaseerd op Groth (1942)

+++ gebaseerd op Brooks (1922)

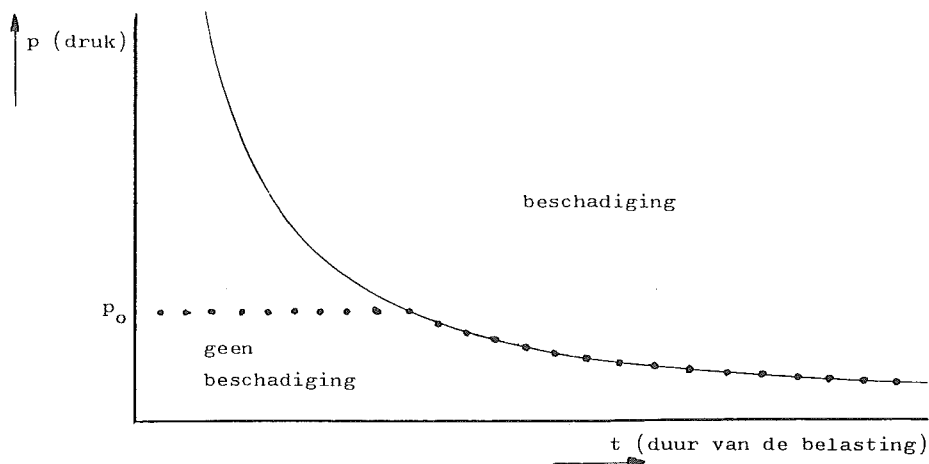


fig. 6.1 Belastbaarheid van de huid op konstante drukkracht.

- : volgens Reswick en Rogers
- • • • : wanneer alleen occlusie invloed zou hebben op de weefselbeschadiging; bij p_0 vindt volledige occlusie plaats en bij iedere $p > p_0$ zal beschadiging optreden

Wanneer er echter sprake is van een dikkere weefsellaag zal de occlusie niet overal tegelijk zijn intrede doen: sommige bloedvaten ondervinden, door de spreiding van de drukkracht, minder druk en zullen pas bij grotere belasting dichtgedrukt worden. Het gebied met occlusie wordt dus groter met toenemende belasting. Tegelijkertijd neemt de stofwisseling af waardoor de kans op weefselbeschadiging vergroot wordt.

Reddy e.a. (1981) ontwikkelen een formule voor het drukverloop bij interstitieel vloeistoftransport ten gevolge van externe belasting en vinden $\text{druk} \times \text{tijd} = \text{konstant}$. Dit verband is hetzelfde als de relatie die Reswick en Rogers (fig. 6.1) vinden, maar als bewijs voor het optreden van dit fenomeen kan het niet gezien worden.

Het fenomeen van directe mechanische beschadiging van de gebonden componenten van het weefsel zou kunnen optreden bij snelle, dus grote (Reswick en Rogers, fig. 6.1), belasting.

De vloeibare componenten bieden hierbij meer weerstand tegen vervorming, zodat de vaste componenten minder goed kunnen wijken en worden beschadigd.

Beschadiging van bloedvaten kan zich uiten door het zichtbaar worden van bloed in het weefsel. Aan de zichtbaarheid kan het echter ontbreken en ook kan men zich voorstellen dat beschadigingen optreden zonder dat het bloed de vaten verlaat.

Samenvattend kan gesteld worden dat meestal geen echt bewijs te vinden is, dat een bepaald fenomeen weefselbeschadiging veroorzaakt.

Het lijkt dat de verschillende fenomenen, in bepaalde mate, afhankelijk van de belastingvorm en de geometrie, naast elkaar een bijdrage zullen leveren.

Zolang niet meer bekend is omtrent de mate van het optreden van de fenomenen, is het verstandig alleen de over-all metingen (beschadiging ten gevolge van belasting) te gebruiken. Hierbij kan, ter controle, wel bekeken worden of occlusie (het enige in de meetresultaten voorkomende fenomeen) niet optreedt.

6.2 Fenomenen bij belasting op negatieve drukkracht.

Weefselbeschadiging bij belasting op negatieve drukkracht uit zich in de vorm van blaren, die het losraken van de epidermis van de derma zichtbaar maken (Cruickshank, 1976).

Metingen die hierop zijn gebaseerd geven een duidelijk over-all beeld (beschadiging ten gevolge van de belasting), maar zijn pas geschikt om de belastbaarheid vast te leggen, wanneer men zeker weet dat er geen andere vormen van beschadiging (minder goed zichtbaar, dieper in het weefsel liggend) ten gevolge van overbelasting kunnen optreden. Zolang die zekerheid niet bestaat, is er behoefte aan meer literatuur op het gebied van belasting op negatieve drukkracht. Daarnaast kan men ook hier meer inzicht verwachten door gebruik te maken van het model van Oomens (1983).

6.3 Fenomenen bij belasting op schuifkracht.

Bij de belasting op schuifkracht kunnen er twee situaties ontstaan met ieder zijn eigen fenomenen.

- 1- Het belastend voorwerp neemt de huid niet mee, maar wrijft er overheen.
- 2- Het belastend voorwerp neemt het huidoppervlak wel mee: de verplaatsing moet door vervorming van de huid of onderliggende weefsels opgevangen worden.

ad 1 Deze situatie zal ontstaan als er tevens sprake is van geringe belasting op drukkracht (eventueel negatief).

Dit lijkt de situatie die Cruickshank (1976) beschrijft; hij noemt twee fenomenen:

- blaarvorming in de opperhuid ten gevolge van de warmteontwikkeling bij het wrijven (fig. 6.2)
- erosie: het wegschuren van cellen van de epidermis (fig. 6.3).

Vesicle

A vesicle, or small blister, is a sharply circumscribed lesion containing transparent free serous fluid.

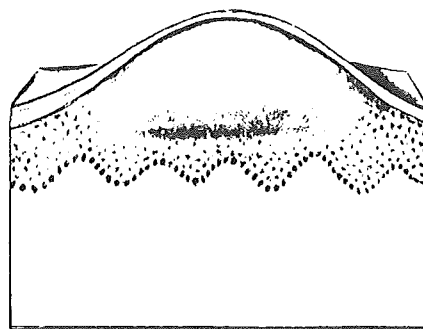


fig. 6.2 Blaarvorming in de opperhuid.

Erosion
An erosion is a superficial defect
or loss in the epidermis.

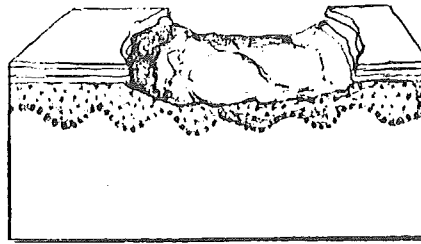


fig. 6.3 Erosie.

ad 2 Het huidoppervlak volgt bij deze situatie de, relatieve, verplaatsing van het belastend voorwerp. Dit verklaart dat er meer overeenkomst is met de fenomenen die bij belasting op drukkracht worden aangegeven.

De fenomenen zijn:

- occlusie (Bennett, 1979)
- beschadiging van de bloedvaten (Barton, 1976)
- trombose (Barton, 1976): doordat haarvaten platgedrukt worden, breken de, zich hierin bevindende, bloedplaatjes; er ontstaat stolling, waardoor verstopping kan optreden.

Het lijkt waarschijnlijk dat deze extreme vormen ook in combinatie kunnen optreden. Dit zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn, wanneer er wel voldoende drukkracht is om de huid mee te nemen, maar de relatieve verplaatsing zó groot is, dat de vervormbare weefsellagen niet voldoende vervormd kunnen worden om die verplaatsing te volgen.

Al de genoemde fenomenen komen plausibel over. Het is echter ook hier moeilijk aan te geven in welke mate en onder welke omstandigheden een bepaald fenomeen zal optreden.

Als voorbeeld het volgende.

Dinsdale (1974) vindt geen significante verschillen in de bloedstroom ten gevolge van schuifspanning. Bennett (1979) daarentegen laat zien dat schuifspanning wel degelijk invloed heeft op de bloedstroom en de druk waarbij occlusie plaatsvindt (fig. 4.1).

Ook bij schuifspanning lijkt het daarom zinnig, met behulp van het model dat Oomens (1983) ontwikkelt, te bekijken hoe het optreden van de verschillende fenomenen beïnvloed wordt door wijziging van de variabelen.

7 Konklusies

- 1- Er zijn weinig cijfermatige resultaten gevonden.
- 2- Deze resultaten waren, door de vele variabelen, moeilijk te vergelijken. Vaak waren deze variabelen (omstandigheden) niet bekend.
- 3- Tijd en lokatie (plaats op het lichaam) waren de belangrijkste variabelen.
Bij konstante drukkracht:
 - grens van de belastbaarheid wordt gegeven door $\text{druk} \times \text{tijd} = \text{konstant}$ (fig. 3.2)
 - dikte van de vervormbare weefsels heeft grote invloed.
- 4- Reswick en Rogers (1976) geven als enigen aan, hoe de belastbaarheid cijfermatig van de tijd afhangt (fig. 3.2), echter alleen voor konstante drukkracht en dunne weefsellagen over botuitsteeksels.
- 5- Van geen van de genoemde fenomenen is aangetoond dat het van overheersende invloed is.
- 6- Er bestaat behoefte aan een model:
 - om de gevonden resultaten te kunnen vergelijken
 - om meer inzicht te krijgen (bijvoorbeeld in welke mate een fenomeen optreedt)
 - uitgaande van de resultaten een uitspraak te kunnen doen over de belastbaarheid in een gegeven situatie.

Bijlage

Enkele resultaten van een test met het model van Oomens (1983).

De kenmerken van het model zijn beschreven in hoofdstuk 5.

Voor de test is uitgegaan van:

- het zachte weefsel (huid + onderhuids weefsel) wordt ondersteund door een vlakke ondergrond (bot)
- het zachte weefsel heeft een konstante dikte van 7 mm
- het zachte weefsel wordt belast met een oneindig lang (in z-richting, loodrecht op het papier) gedachte cilindrische stempel
- vanaf het tijdstip $t=0$ is de belasting $F = -0,2$ N (tekenkeuze omgekeerd vergeleken met die in de rest van deze skriptie)
- geen wrijving tussen stempel en weefseloppervlak
- de randen bij $y=0$ mm (huidoppervlak) en $y=7$ mm (grens met bot) zijn ondoordringbaar voor vloeistof
- de weefselvloeistof passeert het vlak $x=0$ mm niet (symmetrie); het vlak $x=28$ mm kan wel gepasseerd worden

Op de volgende pagina's staat afgebeeld:

fig. 2 beginsituatie met ingetekend netwerk

fig. 3 verloop van de vloeistofdruk in de tijd voor $y = (-?)3$ mm

fig. 4 verloop van de vloeistofdruk en vervorming in de loop van de tijd

fig. 5 vervorming van het netwerk

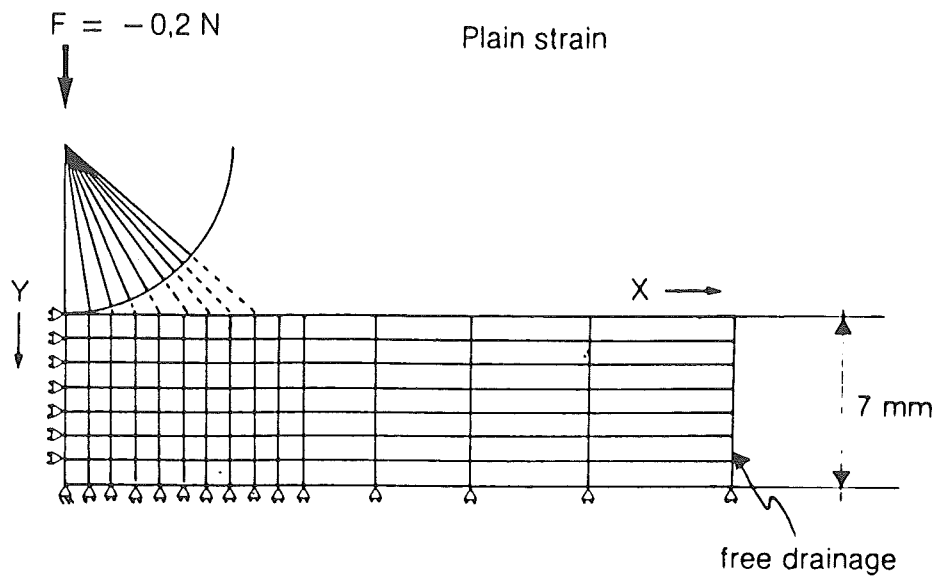


Fig. 2. Undeformed mesh

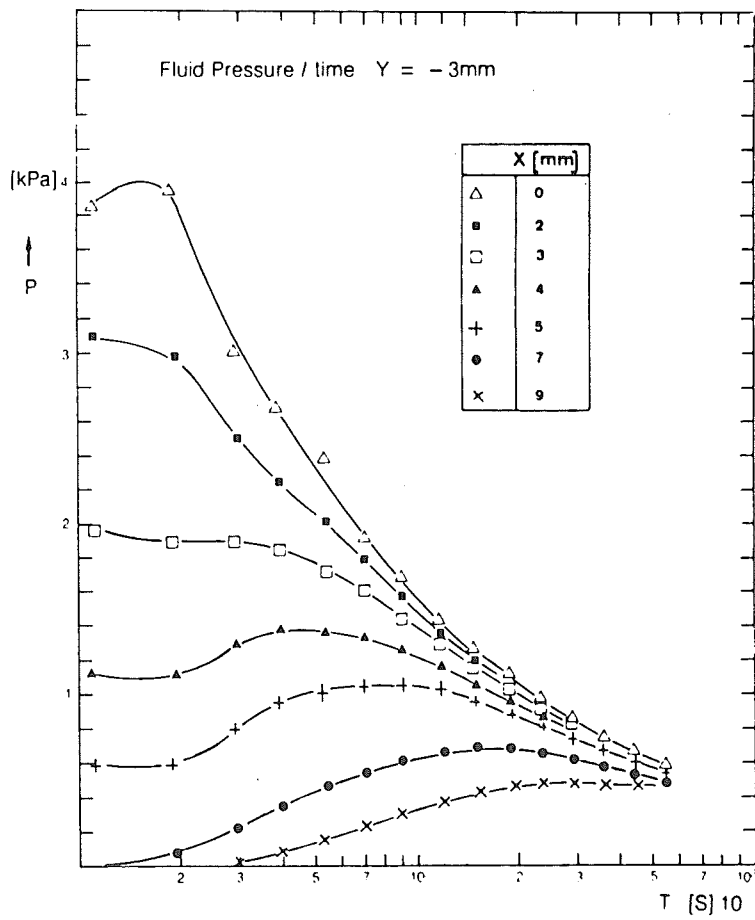
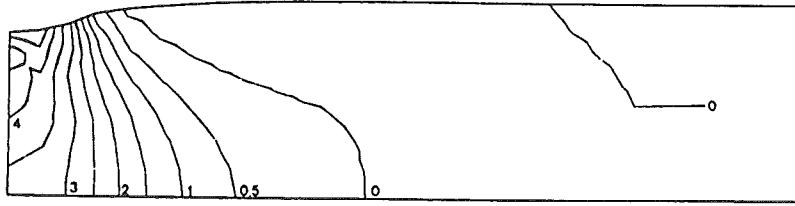
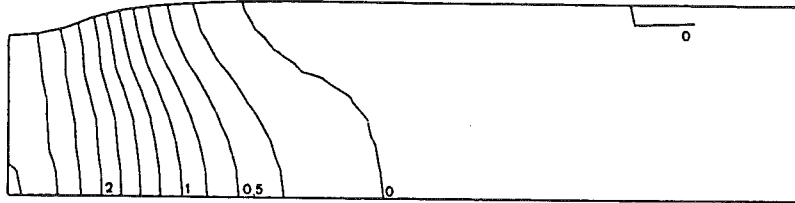


Fig. 3

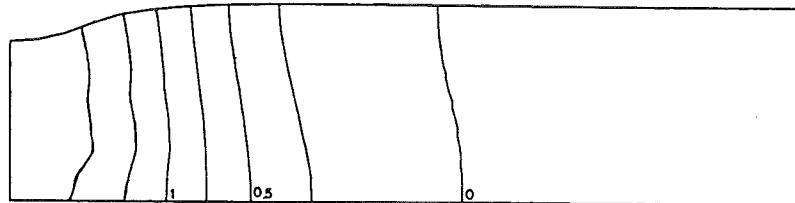
Pressure in kPa



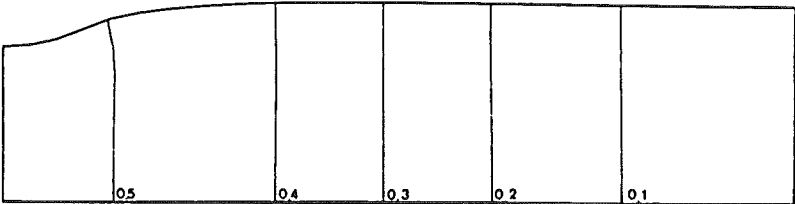
T = 19 S



T = 53 S



T = 117 S



T = 553 S

Fig. 4. Deformation and fluid pressure at various times

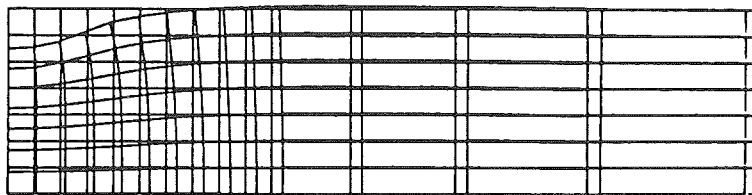


Fig. 5. Deformed mesh