



Het ontwerpen van een spalk voor een mallet finger

DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Samenvatting

Een mallet finger is een zeer veel voorkomend letsel. Tot op heden is de Stack spalk de meest gangbare manier om dit conservatief te behandelen. Deze spalk betreft echter een lomp stuk plastic dat ervoor zorgt dat de vinger niet goed meer te gebruiken is.

In dit onderzoek is er gezocht naar een alternatief voor deze spalk, waarmee de aangedane vinger gemakkelijker te gebruiken valt in het dagelijks leven.

Er is gevonden dat de spalk een moment tegen buiging moet kunnen bieden van omgerekend 5,9 kg. Waarbij de vinger goed in (hyper)extensie gehouden moet worden en de spalk te gebruiken is op alle vier de vingers. Hierbij is het wenselijk dat de spalk naar de vinger te maken is en dat de ingespalkte vinger te gebruiken is voor de herkenning van objecten/ondergronden.

Uit deze eisen en wensen kwamen vier concepten voort waarbij eentje de basis vormde voor het eindontwerp. Dit concept bestaat uit een thermoplastische plaat die op de dorsale zijde van de vinger wordt gelegd. Deze plaat loopt van de distale huidplooi van het PIP gewricht tot iets voorbij het uiteinde van de vinger. De spalk loopt tot aan de laterale zijden van de vinger waar de spalk een moment tegen buiging creëert. Het concept wordt vastgemaakt met twee circulaire stukken tape, één aan het proximale uiteinde van de spalk en één aan het distale uiteinde van de spalk.

Dit conceptuele eindontwerp is met een longitudinaal tape verbeterd, hierdoor staat de vinger nog beter in (hyper)extensie dan met het oorspronkelijke concept. Het eindontwerp betreft de thermoplastische plaat aan de dorsale zijde die tot lateraal van de vinger doorloopt. Deze wordt bevestigd met een tape in de lengterichting. Deze loopt over de spalk, via het vingertopje in de lengterichting terug over de palmaire zijde van de hand. Een circulair tape bij het proximale uiteinde van de spalk en een circulair tape bij de basis van de middelste phalanx.

Het eindontwerp is niet bestand tegen de berekende 5,9 kg aan buigbelasting. Het proximale circulaire tape scheurt bij een buigbelasting van ongeveer 3,7 kg. De Stack spalk wist bij dezelfde test een buigbelasting van slechts 3,1 kg te weerstaan. Hieruit komt voort dat, ondanks dat het eindontwerp een sterke spalk is, deze geen grote krachtstoten zal kunnen weerstaan.

Voorwoord

Hierbij wil ik graag Chris Riezebos bedanken, voor het wekelijks beoordelen van mijn voortgang.

En dat hij altijd kon lachen om mijn stomste fouten.

Zonder hem zou dit verslag niet zo zijn geworden zoals het nu is.

Rochus van der Doef, voor zijn op- en aanmerkingen.

De gipsverbandmeesters in het Spaarne ziekenhuis voor het opzetten van het project.

Amber Kossen, die ervoor heeft gezorgd dat u hier vrijwel geen spelfouten in vindt.

En als laatste wil ik Wouter Holsnijders bedanken, voor het helpen in wiskundige tijden.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Voorwoord	3
Inleiding.....	6
Probleemstelling.....	7
Doel	8
Wat is een mallet finger?	9
Anatomie	12
Bewegingen in de vinger	14
Onmogelijke posities	14
Bijeffecten	16
Koppeling.....	16
Mechanica	17
Stack spalk	19
Momentsarmen.....	20
Impulskracht.....	22
Moment tegen buiging.....	25
Eisen en wensen	30
Morfologische kaart	31
Concepten	32
Concept 1.....	32
Concept 2.....	33
Concept 3.....	35
Concept 4.....	36
Haptiek	37
Meetprotocol	38
Meetresultaten.....	39
Kardinale methode.....	41
Concept eindontwerp.....	42
Vormgeving	42
Verbetering.....	44
Meting	46
Aanpassing.....	47
Discussie	49
Conclusie	50

Eindontwerp	51
Literatuurlijst	52
Bijlagen	53
Bijlage 1	53
Bijlage 2	54

Inleiding

Een mallet finger, ook wel een 'bed opmaak vinger' of 'balvinger' genoemd, is een letsel waarbij het DIP gewricht niet meer actief kan worden geëxtendeerd. Dit kan voortkomen uit een botavulsie of een ruptuur van de strekpees van de vinger.

Wanneer iemand last heeft van een mallet finger is er eigenlijk maar één goede conservatieve behandeling. Dit gebeurt door middel van de Stack spalk. Deze wordt in veel ziekenhuizen gebruikt en wordt ook veelvuldig gebruikt als vergelijkingsmateriaal voor andere spalken.

Deze spalk heeft een goede reputatie wat functie betreft maar qua vorm is deze niet optimaal. Dit betreft namelijk een groot, lomp en dik stuk plastic voor om de vinger. Dit zorgt ervoor dat de vinger dagelijks niet meer gebruikt kan worden omdat men er geen gevoel in heeft.

Deze spalken worden overigens ook massaal gefabriceerd met verschillende maten, waardoor deze niet bij iedereen optimaal passen. Dit in combinatie met het dikke plastic zorgt ervoor dat de spalk flink uitsteekt, wat als gevolg kan hebben dat de patiënt met de spalk achter kleding blijft haken of iets dergelijks.

Hiervoor is het optimaal om een nieuwe spalk te bedenken die niet alleen op de persoon gemaakt kan worden, maar ook kleiner te maken dan de Stack spalk. Zodat de patiënt de vinger kan gebruiken bij simpele taken als een voorwerp aftasten of typen op de computer.

Probleemstelling

De Stack spalk heeft ondanks zijn goede functie een zeer disproportioneel ontwerp. Het plastic waar de spalk van gemaakt is, is zeer dik en doordat deze niet op de persoon gemaakt wordt sluit deze ook niet goed aan op de vinger. Dit heeft tot gevolg dat de spalk ver uitsteekt ten opzichte van de vinger. De spalk is vrijwel onvervormbaar, wat goed is voor het in extensie houden van de vinger.

De spalk wordt ook massa geproduceerd. Dit houdt in dat er een setje maten is dat gemiddeld genomen zou moeten passen. Dit zorgt ervoor dat de spalk nooit 100% past bij alle patiënten. Bij de ene patiënt zal dit ervoor zorgen dat deze de juiste lengte heeft maar niet de juiste diameter en vice versa. Ook is het 't geval dat het DIP gewricht meer uitsteekt dan de phalangeale botten. Hierdoor sluit de spalk relatief goed aan op het gewricht, maar niet zozeer op de phalanges.

Ondanks deze ogenschijnlijke minpunten geeft deze spalk een zeer goede genezingskans. Dit komt waarschijnlijk doordat de vinger degelijk wordt beschermd door de dikke plastic spalk. Omdat de vinger ook helemaal ingepakt zit is deze niet gemakkelijk te gebruiken met dagelijkse taken. Hierdoor wordt de vinger gedeeltelijk of geheel ontzien, wat de genezing bevordert.

Doel

Het doel van dit onderzoek is om een nieuwe spalk te ontwikkelen die op de persoon wordt gemaakt. Hierdoor is iedere spalk geheel afgestemd op de patiënt om een zo goed mogelijke genezingskans te bieden.

Hiervoor moeten eerst een paar deelvragen worden beantwoord:

1. wat houdt een mallet finger precies in;
2. wat is de oorzaak;
3. wat houdt het trauma in;
4. hoe wordt een mallet finger momenteel behandeld;
5. hoe zit de anatomie van de vinger in elkaar;
6. hoe werkt de vinger mechanisch;
7. hebben andere standen van de vingers/hand invloed op de genezing;
8. tot hoe ver moet de spalk lopen;
9. waar moet de spalk steun bieden?

Wanneer deze vragen beantwoord zijn, kan er worden gekeken naar een spalk. Hoe groot moet deze zijn en waar geeft deze idealiter steun? Met deze gegevens kunnen er spalken worden ontworpen die deze ideale eigenschappen bezitten.

Wat is een mallet finger?

Een mallet finger is een vinger waarvan het laatste kootje niet meer actief geëxtendeerd kan worden^{1,2,3,4,5,6,7}. De diagnose hiervan gebeurt voornamelijk klinisch¹. Dit wordt gedaan met de hand in rust en in flexie⁴. Hierna wordt de hand geïnspecteerd op sensatie⁴, met daarna een onderzoek naar de actieve bewegingen van de vingergewrichten^{4,6}. Dit wordt gevolgd door passieve bewegingen van de gewrichten⁴ en, indien mogelijk, door weerstand tegen bewegingen om de peesfunctie te inspecteren^{4,7}.

Patiënten klagen niet vaak over een mallet finger omdat weinig activiteiten een volledig geëxtendeerd eindkootje vereisen⁴.

Een mallet finger is een lastige aandoening om te behandelen⁴. Wanneer dit niet goed gedaan wordt kan dit leiden tot een permanente vergroeiing^{4,7}.

Trauma

Wanneer de mallet finger wordt veroorzaakt door een trauma kunnen er verschillende oorzaken zijn. Een mallet finger wordt ook nog wel eens een 'bed opmaak vinger' of een 'bal vinger' genoemd, want dit zijn de voornaamste oorzaken hiervan. Hierbij wordt het distale interphalangeale (DIP) gewricht plotseling geflecteerd over de transversale as wanneer de vinger gestrekt is^{1,3,4,5,6,7}. Wanneer dit gebeurt, komt er een groot moment te staan op een al aangespannen pees. Dit is vergelijkbaar met een Achillespeesruptuur. Een mallet finger door een trauma kenmerkt zich door het niet mogelijk zijn van actieve extensie, waarbij de vinger wel passief kan worden geëxtendeerd^{4,5,7}. In sommige gevallen komt het voor dat het proximale interphalangeale (PIP) gewricht in hyperextensie komt te staan bij een mallet finger^{1,5,7}.

Overigens worden mallet fingers niet alleen veroorzaakt doordat er een grote kracht op de vinger stond. Het gebeurt soms dat oudere mensen een mallet finger krijgen met relatief lichte krachten⁵. Ook komt het soms voor dat een mallet finger zich pas een paar dagen na het trauma kenbaar maakt⁵. Bij onderzoek hiernaar kan er een blauwe plek worden waargenomen dorsaal van het DIP gewricht^{4,6}. Het komt echter vaak voor dat deze trauma's geen blauwe plekken, zwelling of gevoeligheid teweeg brengen over het DIP gewricht⁴.

Een mallet finger heeft te allen tijde te maken met de laterale slippen van de extensor digitorum. De ED loopt over de vinger naar de laatste phalanges en verzorgt de extensie hiervan. Een trauma heeft meerdere gevolgen voor deze pees zoals hier onder staat beschreven:

1. de pees kan zijn uitgerekt^{1,6,7};
2. deels ingescheurd^{1,6,7};
3. compleet ingescheurd^{1,2,3,4,5,6,7};
4. een botavulsie van de insertie van de pees^{1,2,3,4,5,6,7}.

De verschillen in revalidatie tussen deze aandoeningen worden later beschreven.

Een mallet finger komt voornamelijk voor bij mannen⁷. Deze lopen over het algemeen ook grotere traumata op dan vrouwen⁵. De vingers die voornamelijk zijn aangedaan zijn de 3^e, 4^e en 5^e vinger^{5,7}. De wijsvinger is zeer zelden aangedaan⁵ en de duim nog minder vaak⁵. De dominante hand is tevens vaker aangedaan dan de niet-dominante hand⁷. Onderzoek toont aan dat 2% van alle sporttrauma's mallet fingers betreft⁷.

Er wordt een röntgenfoto gemaakt van de vinger om te zien of de mallet finger een botavulsie betreft of dat dit een tendogeen probleem betreft^{1,2,3,4}. Hierbij is het gunstiger om een botavulsie te hebben dan een tendogene ruptuur vanwege het grotere helingspotentieel van bot². Een mallet finger die veroorzaakt is door een botavulsie komt voor bij 1/3 van de mallet fingers^{4,6}.

Bij een trauma moet de patiënt goed worden onderzocht om elders letsel uit te kunnen sluiten⁴. Een mallet finger is over het algemeen 'zuiver'. Dit houdt in dat de huid intact blijft⁵. Een mallet finger met een geschaafde huid behoort ook tot deze categorie.

Behandeling

De meeste mallet fingers worden behandeld door middel van spalken^{1,2,5}. Hierbij wordt het DIP gewricht in extensie^{1,2,4,6,7} of lichte hyperextensie gespalkt^{3,4,5,6,7}. De vinger wordt in (hyper)extensie gespalkt omdat dit ervoor zorgt dat de extensiepees ontspant en de gescheurde einden of gebroken fragmenten dicht bij elkaar komen te liggen⁵.

Het verschilt per behandelaar over wat voor periode dit wordt gedaan. Als de mallet finger een botavulsie betreft moet er na het spalken een foto worden gemaakt ter bevestiging dat het gewricht nog zijn bedoelde vorm heeft, om een goede functie na de revalidatie te garanderen².

Hierbij wordt een periode van 6 tot 8 weken gehandhaafd met een volledige immobilisatie van het DIP gewricht^{1,2,3,4,5,6,7}. Wanneer het DIP gewricht binnen deze tijd geflecteerd raakt moet deze periode opnieuw gestart worden^{4,6}. Als er tijdens deze periode geflecteerd wordt is het mogelijk dat de vergroeide onderdelen weer los schieten⁷. Er is onderzocht dat de belangrijkste factor in het genezingsproces het meewerken van de patiënt is^{4,6,7}.

Hierna wordt nog een periode van twee weken tot een maand^{1,2,3,5,6,7} voorgeschreven het DIP gewricht in te spalken op risicomomenten^{4,7}. Deze momenten zijn tijdens het sporten^{4,6}, manueel werk⁴ of 's nachts tijdens het slapen^{1,2,3,4,5,6,7}.

Het spalken van een traumatische mallet finger kan succesvol zijn tot op 3 maanden na het trauma^{4,6}. Het PIP gewricht moet ongespalkt blijven^{2,3,4,6,7}. Wanneer dit niet wordt gedaan kan dit gewricht stijf raken, wat meer morbide is dan het oorspronkelijke letsel, is uit onderzoek gebleken². Hierbij stond het PIP gewricht in flexie en het DIP gewricht in extensie. Hieruit kwamen vergelijkbare resultaten als met een splint die alleen het DIP gewricht in extensie houdt⁷.

In een onderzoek op kadavers is onderzocht wat het flecteren van het PIP gewricht op de afstand tussen beide uiteinden van de gescheurde laterale slippen doet. Hieruit kwam voort dat het flecteren van het PIP gewricht hier geen invloed op had⁷. Dit is te verklaren doordat de centrale slip wordt meegetrokken wanneer het PIP gewricht geflecteerd wordt. Hierbij zullen de laterale slippen ook naar voren getrokken worden, waardoor de uiteindes hiervan effectief op eenzelfde afstand blijven.

De conservatieve behandelingen die gebruikt worden zijn dorsaal spalken^{2,3}, volair spalken² of een voorgefabriceerde Stack spalk^{2,3}. Hierbij is uit onderzoek gebleken dat de verschillende spalken eenzelfde resultaat geven in de genezingskans^{1,4,5,7}. Een belangrijke factor voor het kiezen van een spalk is de robuustheid hiervan^{4,5}. De voorkeur kan worden gegeven aan dorsaal spalken omdat dit de volaire zijde vrij laat³. Een geperforeerde spalk wordt aanbevolen omdat deze beter ademt dan bijvoorbeeld de Stack spalk die niet geperforeerd is. Een geperforeerde spalk biedt ademruimte, wat verweking van de huid tegen kan voorkomen^{5,7}.

Wanneer er wordt gekeken naar het gebruikte tape om de spalk te fixeren, wordt het aangeraden zijdetape te gebruiken. Zijdetape is zachter voor de huid dan ander tape als leukoplast. Hierdoor zijn er minder mensen allergisch voor zijdetape.

Wanneer het tape dat de spalk op zijn plek houdt vies wordt en hierdoor minder goed plakt wordt geadviseerd daar overheen te tapen met schoon tape³. Het wordt aanbevolen om de patiënten de vinger te laten 'luchten' wanneer de spalk wordt vervangen^{4,6}. Bij vervanging van de splint wordt het aangeraden om dit met assistentie te doen om de kans op het flexeren van het DIP gewricht te verkleinen^{4,6}. Tijdens het vervangen van de spalk is het handig de vinger op een tafel of ander plat oppervlak te houden om flexie tegen te gaan⁴. Over het vervangen en her aanbrengen van de spalk moeten de patiënt goed worden geïnformeerd⁵.

Wanneer de spalk wordt verwijderd, vergroot dit de kans dat de mallet finger terug komt³.

Er moet worden opgelet dat de bloedcirculatie niet wordt belemmerd wanneer het DIP gewricht in hyperextensie wordt gezet om het afsterven van weefsel te voorkomen^{2,6}.

De patiënt moet zorgen dat de spalk droog blijft. Het vocht dat tussen de spalk en de huid kan blijven zitten kan de huid doen verweken^{3,5,7}.

Er wordt geopereerd wanneer de conservatieve behandelingen geen effect hebben^{1,4,5,7}. Het wordt aanbevolen dit uit te stellen tot 6 maanden na het trauma om spontane verbeteringen de tijd te geven⁴. Er wordt beweerd dat van de 40% waarbij spalken niet werkt, bij de helft van deze patiënten in deze tijd de mallet finger spontaan geneest⁴.

Er wordt ook geopereerd wanneer de mallet finger een open wond betreft^{1,5,7}, de patiënt niet in staat is te werken met de spalk^{1,7} of, in het geval van een botavulsie, het afgebroken bot meer dan 1/3 van het gewrichtsoppervlak van het DIP gewricht betreft^{1,2,3,4,5,6,7}. Ook moet er worden geopereerd wanneer de distale phalanx volair ontworicht is^{2,4,7}. Verdere indicaties om te opereren zijn wanneer de vinger niet passief kan worden geëxtendeerd door zacht weefsel of bot dat in het gewricht zit^{4,6} en wanneer het afgebroken bot zich te ver heeft teruggetrokken⁴.

Bij een botavulsie van meer dan 1/3 van het gewrichtsoppervlak wordt operatief een K-draad gebruikt om het afgebroken bot te fixeren^{2,5,7}. Andere manieren van het fixeren met draden zijn ook veilig en effectief gebleken^{2,7}. Na de operatie moet door middel van een laterale röntgenfoto worden bevestigd dat het bot goed op zijn plek zit².

Een operatie kan complicaties teweeg brengen. Hierbij moet rekening worden gehouden met een kans op infectie^{4,5,7}, permanente nagel deformaties^{4,5,7}, een ongelijk gewrichtsoppervlak^{4,5,7}, het mislukken van het fixeren van het bot^{4,7}, uitstekende botdelen⁴, necrotische huid⁵ en een gelimiteerde flexie van het DIP gewricht⁵.

Na het behandelen van een mallet finger, conservatief of operatief, heeft de patiënt meestal een actief extensieverlies van 5°-20° in het DIP gewricht^{1,2,5,7} met een matig verlies van de totale beweging². Dit kan worden verklaard doordat, in het geval van een botavulsie, de ruimte tussen de twee breuken wordt gevuld met nieuw bot. Of, in het geval van een peesruptuur, de ruimte tussen de twee uiteinden wordt overbrugd met littekenweefsel. Hierdoor wordt de werklengte van de pees langer dan deze was. Dit heeft als gevolg dat, wanneer de pees wordt aan gespannen, deze de vinger niet maximaal meer kan extenderen. Als er na het spalken een groter extensieverlies is dan 20°, wordt de revalidatieperiode verlengd tot wel twee maanden².

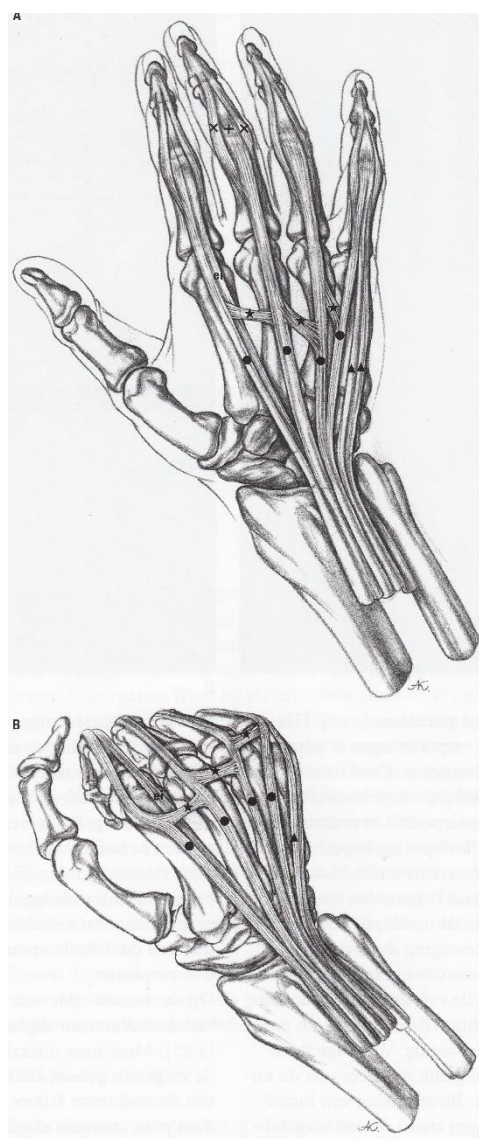
Anatomie

Bij een mallet finger zijn de laterale slippende van de insertiepees van de extensor digitorum aangedaan. Dit kan een tendogene ruptuur zijn, maar ook een botavulsie bij de insertie van de pees. Om de conservatieve genezing voorspoedig te laten verlopen is het van belang dat de uiteinden van de pees, of het bot, dicht bij elkaar komen te staan. Hiervoor moet een stand van de vinger worden gevonden die hiervoor zorgt.

In dit onderzoek wordt de extensor digitorum vanaf de basis van het caput metacarpale tot de insertie gevolgd. Hier wordt gekeken naar de kant waar deze pees langs de interphalangeale gewrichten (IP) loopt en welke pezen/spieren langs deze pees lopen en mogelijk invloed op deze pees hebben. Deze pezen/spieren worden apart behandeld om de invloed hiervan op de laterale slippende van de insertiepees te bepalen. Ook worden de antagonisten van deze pees bekeken.

Hierbij wordt er gekeken naar de 3^e vinger. De informatie van het verloop van de spieren wordt gehaald uit de Sobotta⁹ en Anatomie in vivo⁸.

De extensor digitorum (ED) heeft zijn origo op de radiale zijde van de epicondylus lateralis van de humerus⁸. Deze spier eindigt rond de basis, dorsaal van de radius en splitst zich hier op in vier pezen.



Deze pezen gaan dorsaal over de handwortelbenen ieder naar een vinger. Dit zijn vingers 2, 3, 4 en 5.

De ED loopt dorsaal over de metacarpus heen. Tegen de basis van de metacarpus worden de vier ED pezen met elkaar verbonden door middel van de connexus intertendineus. Dit is geïllustreerd in afbeelding 1.

De ED pees loopt na deze koppeling over de dorsale zijde van het metacarpophalangeale (MCP) gewricht. Hier komt deze uit aan de dorsale zijde van de proximale phalanx. Hier splitsen zich twee pezen af van de ED pees, dit gebeurt in de aponeurosis dorsalis. Er splitst een pees af aan de mediale en laterale zijde. De afsplitsingen van deze pees worden de laterale slippende genoemd. Doordat deze slippende mediaal en lateraal lopen kunnen deze niet alleen dorsaal van het PIP gewricht, maar ook lateraal lopen. Na deze afsplitsing wordt de doorzetting van de ED pees de centrale insertiepees slippende genoemd. Dit is schematisch getekend in afbeelding 1.

Op de plek waar de laterale slippende zich van de ED pees afsplitsen gebeurt er nog iets. Op dezelfde plek zijn er twee spiergroepen die zich aan de pees hechten. Dit zijn de interossei dorsales en de lumbricales. Deze hechten aan de pees door middel van de aponeurose. De aanhechting hiervan is verduidelijkt weergegeven in afbeelding 2.

De centrale slip insereert aan de basis van de middelste phalanx. De laterale slippende komen bij de basis van de middelste phalanx weer samen om verder te gaan als één pees. Vervolgens insereert deze pees aan de basis van de distale phalanx.

Afbeelding 1: Verloop ED pezen. Bron: Anatomie in vivo⁸.

De antagonisten van de ED zijn de flexor digitorum superficialis, die zijn insertie op de palmaire zijde van de middelste phalanx heeft, en de flexor digitorum profundus, die zijn insertie aan de palmaire zijde van de distale phalanx heeft.

Interossei dorsales

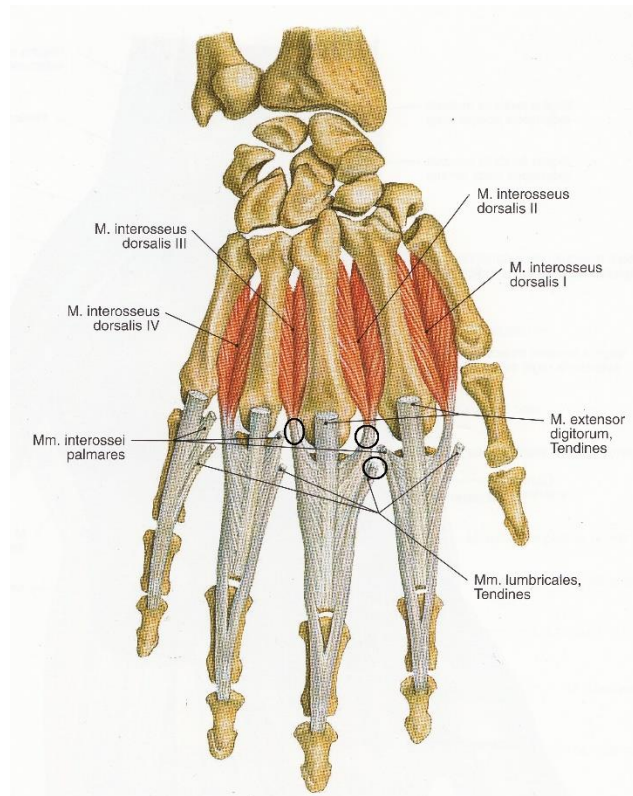
De interossei dorsales zijn met de ED pees verbonden door middel van de aponeurosis dorsalis. Deze spieren kunnen hierdoor dus zorgen voor een extensie van de interphalangeale gewrichten. Doordat deze spieren aan de zijden van de metacarpus lopen hebben deze ook een abducerend moment op de vinger.

Lumbricales

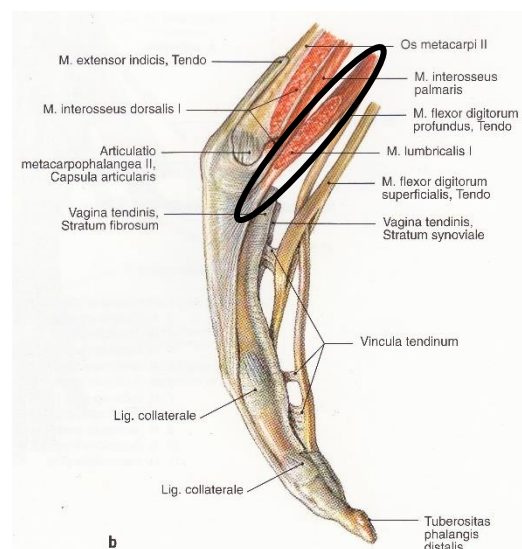
De lumbricales hebben hun origo op de pezen van de flexor digitorum profundus (FDP). Deze hechten hieraan ten hoogte van de basis van de metacarpus. De insertie vindt plaats aan de dorsale aponeurose. De spier loopt palmail van het MCP gewricht waardoor deze hierin flexie veroorzaakt bij contractie. Bij contractie trekt deze spier de FDP naar distaal waardoor deze zijn flecterend moment over de IP gewrichten verliest. Daarnaast trekt hij richting proximaal aan de aponeurosis dorsalis, waardoor er een extenderend moment in de IP gewrichten ontstaat. Het verloop van deze spier wordt weergegeven in afbeelding 3.

Connexus intertendineus

De connexus intertendineus (CI) zijn peesbanden die tussen de ED pezen lopen ter hoogte van de metacarpi. Deze banden helpen het tegengaan van de ED pezen in een dwarse richting⁸. Deze banden beïnvloeden de mate van individuele vingerbewegingen zoals later wordt uitgelegd.



Afbeelding 2: Verloop distale ED pees en aponeurosis met insererende handspiers. Bron: Sabotta⁹.

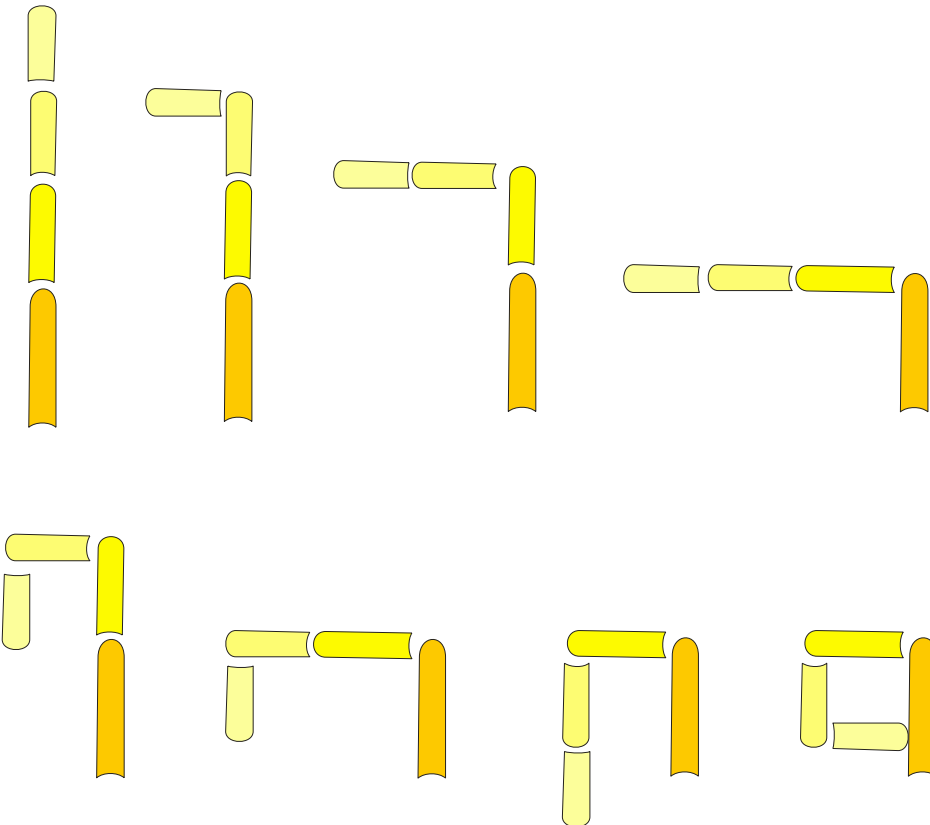


Afbeelding 3: Anatomie vinger, lateraal oogpunt. Bron: Sabotta⁹.

Bewegingen in de vinger

Er zijn allemaal posities denkbaar en mogelijk in de vinger. Er zijn echter een paar posities die over het algemeen niet mogelijk zijn of aparte bijeffecten hebben. Hier wordt er gekeken naar bewegingen die niet mogelijk zijn en waarom deze niet mogelijk zijn. Ook wordt er gekeken naar de bijeffecten in sommige posities.

Alle posities die mechanisch mogelijk zijn in de hand zijn weergegeven in figuur 1. Hier staat de oranje gekleurde staaf voor de metacarpus en de gele staafjes voor de phalanx. De informatie die hier wordt gegeven en de gebruikte figuren zijn ontleend uit een college van de heer C. Riezebos.

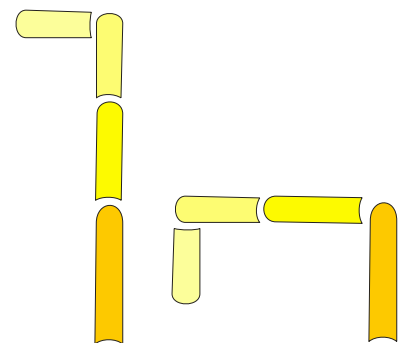


Figuur 1: Alle mechanisch mogelijke houdingen van de vinger. Het betreft 4 botten, van de metacarpale (donker geel) tot aan de distale phalanx (licht geel).

Onmogelijke posities

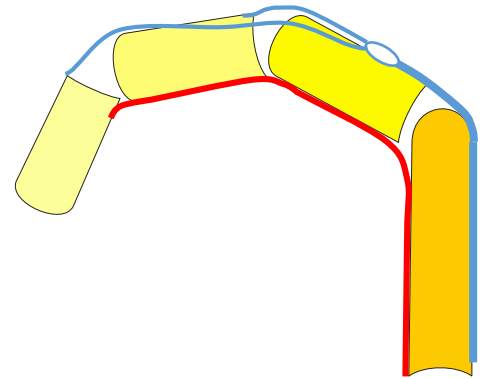
De onmogelijke posities komen voornamelijk voor door het onvermogen van geïsoleerde flexie in het DIP gewricht. De posities zijn illustratief weergegeven in figuur 2.

Beide bewegingen zijn niet mogelijk door de manier waarop de ED pees is opgebouwd. Doordat dit in feite één pees is die zowel de distale als de middelste phalanx extendeert, heeft deze niet de mogelijkheid om alleen de middelste phalanx in extensie te houden en de distale te laten flecteren.



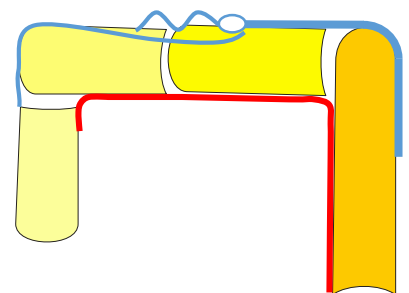
Figuur 2: Onmogelijke posities van de vinger. Het betreft 4 botten, van de metacarpale (donker geel) tot aan de distale phalanx (licht geel).

In figuur 3 wordt weergegeven hoe de slippen van de ED pees zich normaal verhouden ten opzichte van flexie. Hierin is de blauwe lijn de ED pees en de rode lijn staat voor de FDP pees. Hier staan zowel de centrale als laterale slippen onder spanning wanneer de FDP pees de vinger flecteert.



Figuur 3: Normale flexie in de vinger. De blauwe lijn staat voor de ED pees en de rode lijn voor de FDP pees.

In figuur 4 is een van de onmogelijke posities weergegeven. Hier staat het DIP gewricht geflecteerd terwijl het PIP gewricht in extensie staat. Het DIP gewricht wordt hier geflecteerd door de FDP en door deze flexie worden de laterale slippen naar distaal getrokken. Doordat de laterale slippen naar distaal worden getrokken, gebeurt dit ook met de aponeurose, waar de ED pees splitst in de centrale en laterale slippen. Doordat de FDP palmar van de vinger loopt, heeft deze ook een flecterend moment op het PIP gewricht. Om het flecterende moment in het PIP gewricht tegen te gaan, moet de centrale slip onder spanning komen te staan. Echter, doordat de aponeurose naar distaal is getrokken staat de centrale slip niet meer onder spanning. Er is geen enkele andere pees die extensie in het PIP gewricht kan verzorgen. Er staat hier dus een flecterend moment op een gewricht waar geen extenderende krachten in zitten. Hierbij gaat het dus om iets wat niet effectief bereikt kan worden. De vinger kan echter wel in deze stand worden gezet met behulp van externe krachten.



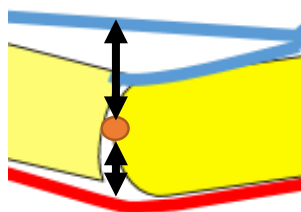
Figuur 4: onmogelijke positie. De laterale slippen van de ED staan strak en de centrale slip is ontspannen.

Er zijn echter altijd uitzonderingen op de regel. Er zijn mensen die in staat zijn het DIP gewricht te flecteren wanneer het PIP gewricht in extensie staat. Hiervoor is het wel van belang dat deze persoon in staat is het PIP gewricht te hyperextenderen.

Zoals hiervoor is uitgelegd moet de centrale slip onder spanning staan om het PIP gewricht in extensie te houden, iets wat niet lukt als het DIP gewricht in flexie staat.

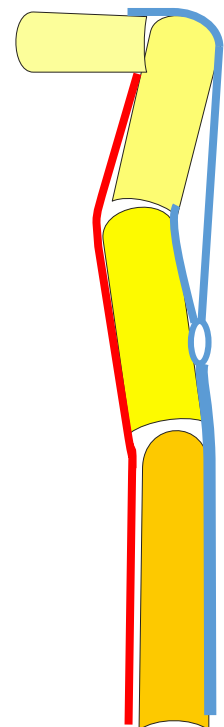
Als het PIP gewricht wordt gehyperextendeert komen de laterale slippen een beetje boven dit gewricht te zweven, dit fenomeen is weergegeven in figuur 5. Doordat de laterale slippen hier als het ware een verkorte weg nemen wordt de aponeurose minder naar dorsaal getrokken. Dit heeft ook als gevolg dat de centrale slip meer onder spanning komt te staan. Hiermee kan dit fenomeen worden verklaard.

Er is echter nog een andere school van denken die dit zou kunnen verklaren. In figuur 6 is het PIP gewricht van figuur 5 uitvergroot. Hierin is door middel van pijlen weergegeven wat de afstand van de pezen tot het geprojecteerde gewrichtscentrum is.



Figuur 6: Uitvergroot PIP gewricht van figuur 5. Met momentsarmen van de ED pees en de FDP pees.

Hierin is te zien dat de laterale slippen een stuk verder van het gewrichtscentrum staan dan de FDP pees. Het zou hier dus ook mogelijk kunnen zijn dat de laterale slippen het PIP gewricht in hyperextensie houden doordat deze een grotere momentsarm hebben dan de FDP pees.

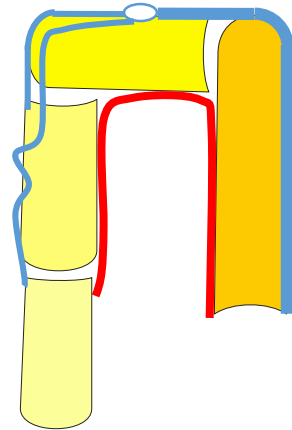


Figuur 5: Hyperextensie van het PIP gewricht. Het DIP gewricht kan nu actief worden geflecteerd.

Bijeffecten

Bij sommige posities van de vingers komen er bepaalde verschijnselen voor. Dit is wanneer het MCP gewricht en het PIP gewricht geflecteerd staan, maar het DIP gewricht in extensie staat.

In deze stand staat de centrale slip van de ED pees aangespannen, maar de laterale slippen zijn hier ontspannen. Hierdoor is het niet mogelijk de distale phalanx actief te extenderen. Het effect hiervan is dat het eindkootje gebogen kan worden door een externe kracht zonder dat dit kan worden tegengegaan. Een verduidelijking hiervan is te zien in figuur 7.



Figuur 7: Bijeffect vinger. Het PIP gewricht is geflecteerd en het DIP gewricht staat in extensie. De centrale slip van de ED pees is aangespannen terwijl de laterale slippen ontspannen zijn.

Koppeling

Buiten de manier waarop de ED pees de middelste en distale phalanx innerveert zijn er andere gedeeltes van de pees die aandacht verdienen. Dit zijn de connexus intertendineus.

De ED pezen zitten ter hoogte van de metacarpus met elkaar verbonden door dwarsverbindingen, de connexus intertendineus. Deze zorgen ervoor dat de pezen niet verschuiven. Naast de ED pezen zijn ook de flexor digitorum profundus (FDP) pezen onderling verbonden. Deze pezen hebben net als bij de ED pezen hun oorsprong in een enkele spier. Hiernaast zitten er in de carpaal tunnel verbindingen tussen de FDP pezen¹⁰.

Deze verbindingen tussen de pezen hebben tot gevolg dat het niet mogelijk is om individuele vingers hele andere posities aan te laten nemen. Dit is voornamelijk aanwezig in de 3^e, 4^e en 5^e vinger¹⁰.

De mate van de invloed verschilt per gewricht. Wanneer er wordt gekeken naar flexie in de gewrichten van de 4^e vinger terwijl de 3^e vinger geëxtendeerd staat, vallen een paar dingen op.

De flexie in het MCP gewricht is bijna volledig. Echter is het voor de laatste paar graden nodig het MCP van de 3^e vinger te flecteren.

Het PIP gewricht van de 4^e vinger is vrijwel volledig te flecteren wanneer de complete 3^e vinger is gestrekt.

Wanneer men probeert het DIP gewricht van de 4^e vinger te flecteren heeft deze standaard het probleem dat het DIP gewricht mee flecteert. Echter, wanneer het DIP gewricht van de 4^e vinger wordt geflecteerd gaat het DIP gewricht van de 3^e vinger (en hierbij ook het PIP gewricht) automatisch mee.

De vraag is nu welke bewegingen er beperkt worden als het DIP gewricht in extensie is gespalkt.

Zoals hiervoor is beschreven heeft het MCP alleen een beperking in uitersten. Hier kunnen de vingers onderling goed van elkaar variëren, maar uiterste standen kunnen ten opzichte van elkaar niet worden gehaald.

Hetzelfde geldt voor het PIP gewricht. Deze kunnen onderling andere standen aannemen ten opzichte van elkaar. Alleen zijn twee uiterste standen van naburige vingers niet mogelijk.

Het DIP gewricht is een ander verhaal. Zoals hiervoor beschreven is het niet mogelijk het DIP gewricht van de middelvinger te flecteren zonder dat die van de ringvinger mee gaat. Dit werkt averechts met de spalk. Wanneer het DIP gewricht van de middelvinger zit ingespalkt is het niet mogelijk het DIP gewricht van de ringvinger te flecteren. Omgekeerd werkt dit beter, met een ingespalkt DIP gewricht van de ringvinger is het DIP gewricht van de middelvinger bijna volledig te flecteren.

De overige vingers ondervinden geen invloed als een naburig DIP gewricht is ingespalkt.

Mechanica

Voordat de mechanica wordt bekeken is het van belang uit te zoeken over hoeveel gewrichten de spalk aangelegd moet worden. Vooralsnog is dat er slechts één, namelijk het DIP gewricht, maar is dit wel voldoende?

Er is een positie die de vinger nu wel aan kan nemen die het niet kon wanneer de laterale slippen nog intact waren. Dit is het actief flecteren van het DIP gewricht wanneer het PIP gewricht in extensie staat. Deze situatie is verduidelijkt in figuur 8.

Wanneer deze stand van de vingers bij een gezond persoon wordt geforceerd resulteert dit in strak staande laterale pezen en een ontspannen centrale pees. Wanneer de laterale slippen zijn onderbroken kan het PIP gewricht worden geëxtendeerd door de centrale slippen, zonder dat de laterale slippen het DIP gewricht in extensie strekken. Nu kan de FDP pees het DIP gewricht flecteren zonder weerstand.

Dit is als revalidatiehouding niet wenselijk, omdat de uiteinden van beide breuken ver uit elkaar liggen.

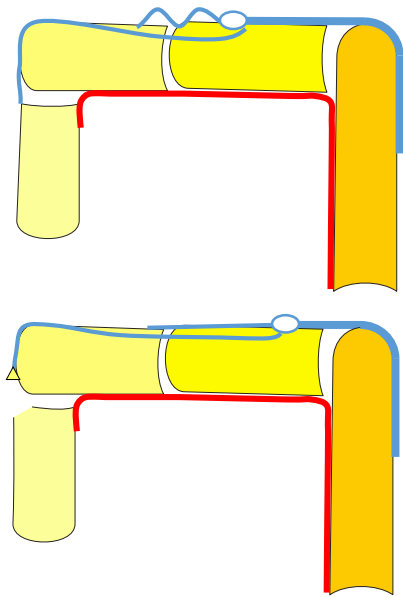
Uit de anatomie is naar voren gekomen dat de ED pezen rond de metacarpus met elkaar zitten verbonden door middel van de connexus intertendineus. Door deze banden hebben de pezen onderling invloed op elkaar. Hierdoor is het niet mogelijk om twee buurvingers in verschillende uiterste standen te zetten. Deze band trekt dan vervolgens aan de ED pees, waardoor deze naar distaal of proximaal getrokken kan worden.

De interossei dorsales en de lumbricales hebben hun insertie op de ED pees door middel van de aponeurosis. Hierdoor zal de aponeurosis naar dorsaal worden getrokken wanneer deze spieren worden aangespannen. Deze spannen aan wanneer de vingers worden gespreid, of bij het strekken van de vingers.

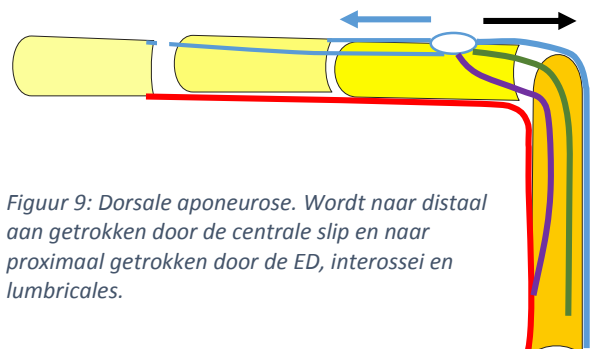
Bij een mallet finger zijn alleen de laterale slippen aangedaan. Doordat deze zijn onderbroken op de plek waar deze nog twee slippen zijn, deze zijn samengevoegd in één slip, of dat het bot waar de pees aan hecht is afgebroken. De centrale slip zit nog vast aan de middelste phalanx. Wanneer er aan de pees wordt getrokken door tensie van de ED spier, de connexus, de interossei of lumbricales zal de centrale slip altijd onder spanning komen.

Deze centrale slip speelt een grote rol in de manier van spalken. Deze houdt de aponeurosis op een vaste afstand ten opzichte van zijn insertie. Hierdoor blijven ook de laterale slippen op een vaste afstand ten opzichte van de insertie van de centrale slip. Het maakt dus niet uit wat voor bewegingen het MCP gewricht maakt of wat voor krachten de aponeurose naar dorsaal zou kunnen trekken. Door de centrale slip blijft deze op eenzelfde afstand.

Dit is verduidelijkt weergegeven in nevenstaand figuur (9). Hier is de laterale slip onderbroken. Er wordt aan de aponeurosis getrokken door de interossei, lumbricales en de ED pees. De aponeurosis wordt hier op zijn plek gehouden door de centrale slip.



Figuur 8: Boven; Geforceerde situatie, centrale slip is ontspannen. Onder; actieve situatie, laterale slippen zijn los en centrale slip staat gespannen.



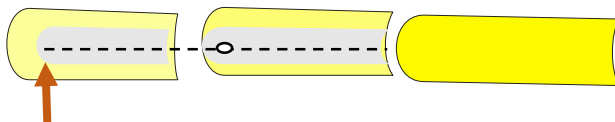
Figuur 9: Dorsale aponeurose. Wordt naar distaal aan getrokken door de centrale slip en naar proximaal getrokken door de ED, interossei en lumbricales.

Dan resteert de vraag over de houding van het PIP gewricht. Zoals is beschreven en weergegeven in figuur 7, is het gunstig dit gewricht in flexie te houden. Door deze flexie is er als het ware een overmaat aan laterale slip. Hierdoor is het vrij zeker dat de uiteinden van een breuk dicht bij elkaar komen te liggen. Studie heeft aangetoond dat het spalken van het PIP gewricht in flexie voor ernstige aandoeningen kan zorgen in dit gewricht². Er is ook aangetoond dat het verschil tussen het wel en niet spalken van het PIP gewricht weinig invloed heeft op het uiteindelijke resultaat⁷. Echter blijft het nog de vraag wat de oorzaak is dat de revalidatie eenzelfde periode betreft.

Het is mogelijk dat het letsel niet sneller heelt dan dat het al doet en dat dit daarom niet uitmaakt.

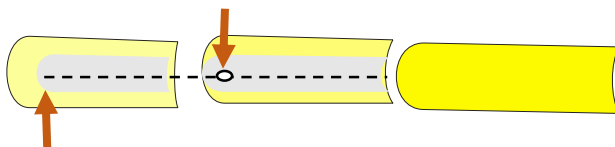
Een andere school van denken kan een verklaring zoeken in de robuustheid van de spalk. Bij flexie van het PIP gewricht staat de vinger in een zeer ongunstige positie. De hand zou hierbij nog wel gebruikt kunnen worden voor simpele doeleinden als het strikken van veters, iets waar je maar twee vingers voor nodig hebt. Doordat de hand nog werd gebruikt, zou het kunnen dat er tegen de vinger aan gestoten werd, waardoor er alsnog een kleine flexie in het DIP gewricht werd geforceerd. Dit zijn echter speculaties die zonder grondig onderzoek niet te achterhalen zijn.

Het DIP gewricht moet in extensie of in hyperextensie worden gehouden. Om dit te kunnen bewerkstelligen moet het middelste gewricht vast staan en de distale phalanx naar dorsaal worden geduwd. Dit wordt gedaan door aan de palmaire zijde een druk uit te oefenen tegen de distale phalanx. Dit is geïllustreerd in tekening 1.



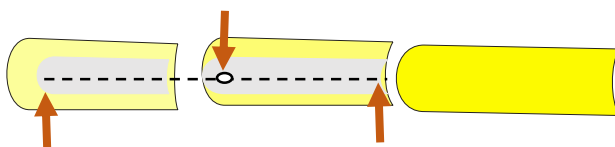
Tekening 1: Druk van palmar op de distale phalanx.

Wanneer de distale phalanx in hyperextensie wordt gehouden door deze palmaire kracht, is het nodig om het middelste gewricht te stabiliseren. Als er alleen palmar tegen de distale phalanx wordt geduwd zal alleen de vinger omhoog worden geduwd. Om dit tegen te gaan is het nodig om ook dorsaal een kracht naar palmar te richten. Deze heeft de optimale plek boven het rotatiecentrum van het DIP gewricht. Dit is weergegeven in tekening 2.



Tekening 2: Druk van palmar op de distale phalanx en van dorsaal ter hoogte van het DIP gewricht.

Als de spalk zo in elkaar wordt gezet werkt deze echter nog niet, de spalk blijft op deze manier niet vast zitten aan de vinger. Hiervoor is er nog een kracht nodig die palmar aangrijpt naar dorsaal. Deze grijpt aan proximaal op de middelste phalanx. Dit is weergegeven in tekening 3.



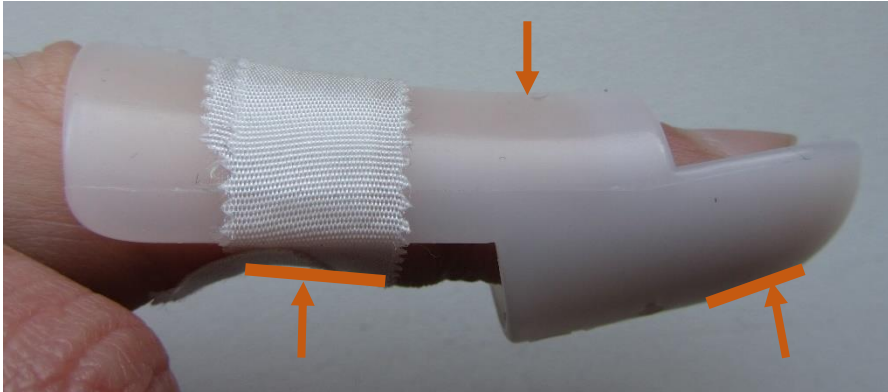
Tekening 3: Druk van palmar op de distale phalanx, druk van dorsaal ter hoogte van het DIP gewricht en druk van palmar op de middelste phalanx.

Met deze drie krachten wordt het DIP gewricht in extensie of hyperextensie gehouden.

Stack spalk

De Stack spalk wordt bij uitstek gebruikt bij het revalideren wanneer er sprake is van een mallet finger. Om een spalk over het DIP gewricht goed te laten werken zijn er drie drukpunten nodig. Twee aan de volaire zijde, en eenje aan de dorsale zijde.

De Stack spalk werkt volgens de methode die hiervoor is benoemd. De Stack spalk is weergegeven in afbeelding 4. Zoals is te zien zit er aan de distale/dorsale zijde een opening ter grootte van de nagel.



Afbeelding 4: Stack spalk met de drie drukpunten.

De reden dat er distaal een gat zit, is om aanpassingen te kunnen maken aan de mate van extensie of eventueel andere aanpassingen. Niet iedere vinger heeft eenzelfde extensie/hyperextensie. Sommige personen hebben slechts een extensie van 0°, maar anderen kunnen gemakkelijk 10° hyperextenderen. Dit kan zelfs bij één persoon per vinger verschillen. Er kan via dit gat gemakkelijk een dik stuk vilt of iets dergelijks worden geplakt op de plek waar de vinger op rust. Door dit te doen is het mogelijk de vinger verder te laten extenderen dan de spalk oorspronkelijk zou doen.

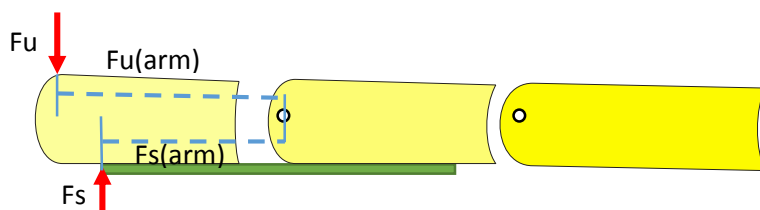
Aan de palmaire/proximale zijde van de spalk zit ook een gat. Deze is gemaakt zodat, door middel van een circulair tape, de vinger goed is te forceren tegen de dorsale zijde van de spalk.

Momentsarmen

Er is beredeneerd dat het alleen nodig is om het DIP gewricht in te spalken en het PIP gewricht vrij te laten. Met deze redenatie kan er een mechanisch model worden gemaakt. Er moet een moment tegen flexie komen in het DIP gewricht. Om dit te realiseren is het nodig om op drie plekken druk uit te oefenen. Het is wenselijk om een zo groot mogelijke momentsarm te maken. Door een grote momentsarm te creëren hoeft er effectief minder kracht geleverd te worden dan wanneer er sprake is van een kleine momentsarm. Dit wordt bevestigd door de hefboomformule:

$$Fu * Fu(arm) = Fs * Fs(arm)$$

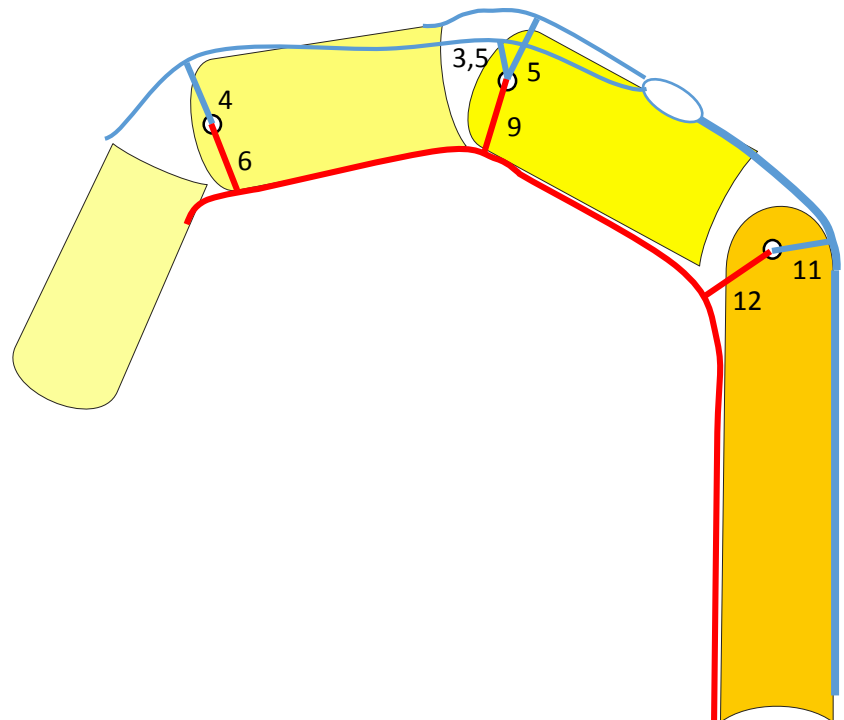
Hier is F_u de grootte van de uitwendige kracht en $F_u(arm)$ de armlengte van deze kracht. F_s staat voor de kracht die de spalk moet leveren en $F_s(arm)$ de armlengte van deze kracht. Hiermee kan worden berekend hoe groot het moment tegen buigen moet zijn dat de spalk moet kunnen weerstaan. Dit is weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: Schematische vinger met geprojecteerde- momentsarmen en gewrichtsassen. Een uitwendige kracht (F_u) en drukpunt spalk.

In nevenstaande figuur (11) is weergegeven wat de gemiddelde grootte is van de momentsarmen van de vingerpezen ten opzichte van het gewricht in mm.

Hier is te zien dat de pees van de FDP bij alle gewrichten een grotere momentsarm heeft dan de ED pees. Het vastpakken van objecten betreft een groot gedeelte van de handfunctie. Hiervoor is het niet alleen nodig grote spieren te hebben, maar ook de momentsarm is hier van belang. Naast het feit dat de FDP een grotere momentsarm heeft en hierdoor meer kracht kan uitoefenen, loopt er naar de middelste phalanx de FDS. Hierdoor zijn er dus twee spieren die de flexie regelen ten opzichte van één extensor.



Figuur 11: Momentsarmen van vingerpezen volgens Carpentier Alting

De vingerkootjes kunnen sterk verschillen in lengte. Dit is niet alleen verschillend per persoon, maar ook per vinger. Dit is onderzocht door B. Alexander en K. Viktor¹¹. De resultaten van hun bevindingen zijn weergegeven in tabel 1. Hierin is te zien wat de gemiddelde lengtes zijn van de phalanges en wat de variatie hierin is.

Tab. I. The lengths of phalanges, metacarpals and soft tissues of the distal phalanges.

Finger	tip – soft tissues of the tip of the distal phalanx (mm)	pd–distal phalanx (mm)	pm–medial phalanx (mm)	pp–proximal phalanx (mm)	m–metacarpal (mm)
I	5.67±0.61	21.67±1.60		31.57±3.13	46.22±3.94
II	3.84±0.59	15.82±2.26	22.38±2.51	39.78±4.94	68.12±6.27
III	3.95±0.61	17.40±1.85	26.33±3.00	44.63±3.81	64.60±5.38
IV	3.95±0.60	17.30±2.22	25.65±3.29	41.37±3.87	58.00±5.06
V	3.73±0.62	15.96±2.45	18.11±2.54	32.74±2.77	53.69±4.36

Values are presented as arithmetic mean ± SD.

Tabel 1: Lengte van de phalanges volgens B. Alexander en K. Viktor¹¹.

In de tabel is te zien dat de gemiddelde lengte van de distale phalanx 17,4 mm bedraagt en de lengte van de middelste phalanx gemiddeld 26,33 mm. Met deze informatie kan theoretisch worden berekend wat voor kracht de spalk zou moeten kunnen verdragen.

Impulskracht

De vinger is zeer onderhevig aan stoten. Dit is een van de grootste oorzaken van een mallet finger. Het is hiervoor dus van belang om te bepalen in welke richtingen deze stootkrachten lopen, waar ze aanvangen en hoe groot deze krachten zijn.

Wanneer deze waarden zijn bepaald, kan door middel van momentsarmen worden berekend wat voor moment de spalk moet kunnen leveren en in welke richting.

In het volgende voorbeeld wordt een impulsmoment berekend door middel van een tennisbal. Hierbij wordt een tennisbal tegen een blok hout gegooid terwijl dit wordt gefilmd. Dit is gefilmd met een Canon PowerShot SX 230 met 240 frames per seconde. Deze bal is drie keer tegen het blok aan gegooid tijdens het filmen.

In Kinovea (versie 0.8.15, Creative Commons Attribution 3.0) zijn deze beelden bewerkt. In Kinovea kan een bepaald aantal pixels een afstand worden toegewezen. Hierdoor kan met referentiepunten waartussen de afstand bekend is worden berekend wat de lengtes van andere onderdelen zijn.

Wanneer de bal beweegt, wordt er met twee opeenvolgende beelden gekeken wat de verplaatsing is van de bal. Door dit te vermenigvuldigen met de framerate kan de snelheid worden berekend.

In afbeelding (5) is de bal weergegeven net voor de impact. De referentiepunten zijn twee lijnen op het houten blok die 5 cm van elkaar af zitten. Op het eerste frame wordt een bepaald punt genomen en hiervan wordt de hoogte gemarkeerd. Bij het tweede frame wordt de hoogte van hetzelfde punt gemarkeerd. Er wordt een lijn getrokken tussen deze twee markeringen, door middel van de referentiepunten kan worden berekend hoeveel cm de bal zich heeft verplaatst.

Stuiter 1:

2,56 cm/frame

Stuiter 2:

3,17 cm/frame

Stuiter 3:

2,56 cm/frame

Gemiddelde stuiterhoogte: $\frac{2,56+2,56+3,17}{3} = 2,76\text{ cm}$

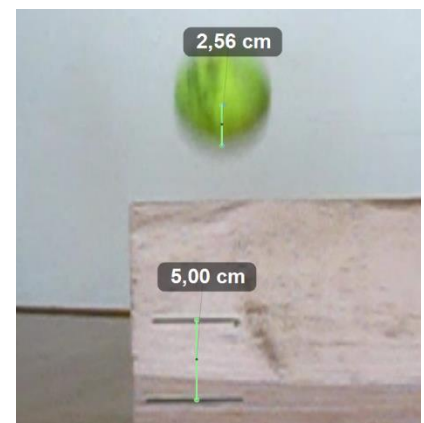
De bal beweegt gemiddeld 2,76 cm/frame.

2,76 cm = 0,0276 meter

Per frame (f) verplaatst de bal zich gemiddeld 0,0267 m. Door dit te vermenigvuldigen met het aantal frames per seconde wordt de snelheid berekend.

$$\frac{m}{s} = \frac{m}{f} * \frac{f}{s} = \frac{0,0276m}{f} * 240 \frac{f}{s} = 6,624 \text{ m/s}$$

De tennisbal weegt 56 gram.



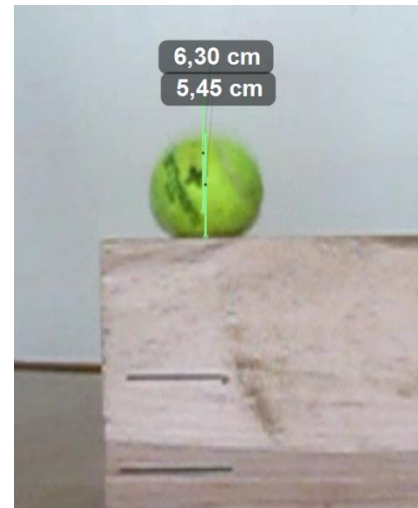
Afbeelding 5: Screenshot uit Kinovea. Referentiepunt en het hoogteverschil van de bal door middel van twee frames.

Indeuking bal

Om de indeuking van de tennisbal te berekenen is de diameter van de bal opgemeten en dit is als referentie gebruikt. Vervolgens is de hoogte van de bal opgemeten tijdens de impact. De bal zelf heeft een diameter van 6,3 cm. Met dit als referentie had de bal tijdens de impact een hoogte van 5,45 cm.

$$6,3 - 5,45 = 0,85 \text{ cm}$$

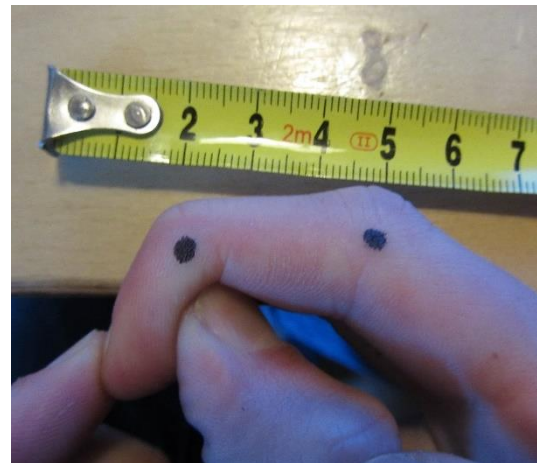
De indeuking van de bal bedraagt 0,85 cm.



Afbeelding 6: Indeuking bal. Hoogte voor de impact als referentie met als uitkomst hoogte tijdens impact.



Afbeelding 7: Vinger in extensie met referentiemaat.



Afbeelding 8: Vinger geforceerd geflecteerd met referentiemaat.

De totale remweg die de bal heeft is de indeuking van de bal plus de remweg die de vinger kan maken. De indeuking van de bal is 0,85 cm en de remweg die de vinger kan leveren is ongeveer 1,5 cm.

$$0,85 + 1,5 = 2,35 \text{ cm}$$

De totale remweg van de bal is 2,35 cm.

Er zijn twee verschillende manieren voor het berekenen van de impulskracht, door middel van twee berekeningen.

1.

$$F = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{s}$$

Deze formule is afgeleid uit verschillende formules. Het ombouwen van deze formules is te zien in bijlage 1.

De volgende data is al bekend:

De massa van de bal is 0,056 kg = m

De snelheid van de bal is 6,6 m/s = v

De remweg van de bal is 0,0235 meter = s

$$F = \frac{\frac{1}{2} * 0,056 * 6,6^2}{0,0235} = 51,9 \text{ Newton}$$

Vervolgens wordt de kracht in Newton omgerekend naar kg.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{51,9}{9,81} = 5,3 \text{ kg}$$

2.

$$a = \frac{V_0^2 - V_t^2}{2 * St}$$

Deze formule is voortgekomen uit twee formules die zijn samengevoegd. Het samenvoegen van deze formules is te zien in bijlage 2.

De volgende data is bekend:

De beginsnelheid van de bal is 6,6 m/s = V₀

De eindsnelheid van de bal is 0 m/s = V_t

De remweg van de bal is 0,0235 meter = St

$$a = \frac{6,6^2 - 0^2}{2 * 0,0235} = 926,8 \text{ m/s}^2$$

Dit wordt vervolgens omgerekend naar Newton.

Het gewicht van de bal is 0,056 kg

$$F = m * a = 0,056 * 926,8 = 51,9 \text{ Newton}$$

Dit wordt omgerekend naar kg.

$$m = \frac{F}{a} = \frac{51,9}{9,81} = 5,3 \text{ kg}$$

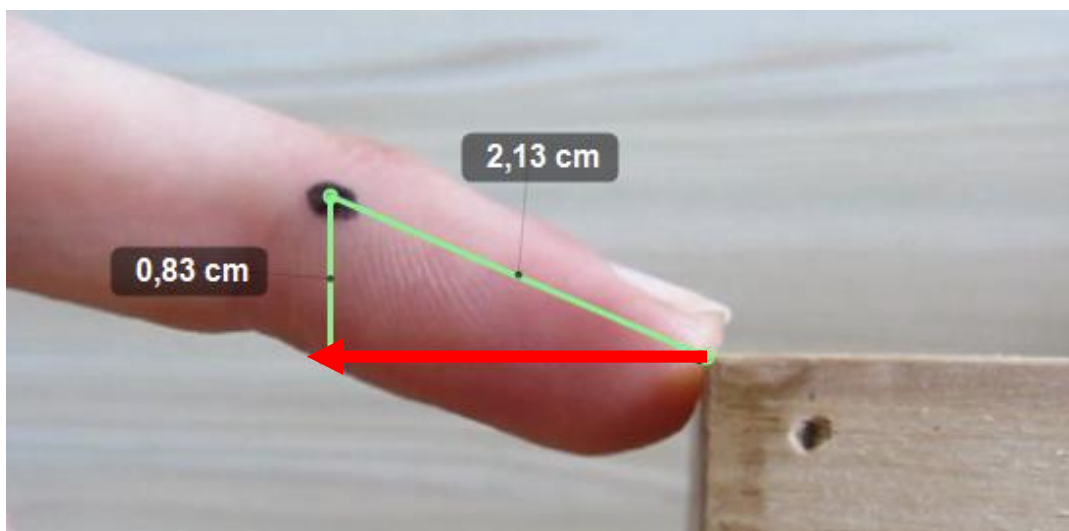
Moment tegen buiging

Wanneer er naar een bepaald object wordt gegrepen komt het nogal eens voor dat de oog-hand coördinatie niet altijd even accuraat is. Het gebeurt nog wel eens dat je met je vinger per ongeluk iets lager zit dan verwacht. Hierdoor kan je met je vinger tegen het object aan stoten. Deze kans wordt vergroot wanneer er een spalk om de vinger heen zit die de vinger als het ware groter maakt dan deze eigenlijk is.

Er wordt dus naar een object gegrepen. Hiervoor worden de vingers niet volledig gestrekt. Als er goed op de beweging wordt gelet valt er op dat de gewrichten in de vinger niet volledig zijn geëxtendeerd. Dit is met een spalk echter niet het geval. Door de spalk staat het DIP gewricht in extensie of zelfs in hyperextensie.

Het stoten van de vinger tegen een object is geïllustreerd weergegeven in afbeelding 9.

In deze afbeelding is het DIP gewricht geprojecteerd door middel van een stip op de huid. De pijl geeft de krachtrichting aan. De waarde van de schuine lijn representeert de huiddikte van de vinger plus de gemiddelde lengte van de distale phalanx¹¹. In Kinovea is deze waarde gegeven aan de schuine lijn. De lijn die loodrecht op de krachtrichting staat geeft de momentsarm weer van de kracht ten opzichte van het gewricht. De gemiddelde lengte van de distale phalanx plus de huiddikte is 2,13 cm. door dit als referentie te gebruiken kan de lengte van de momentsarm worden berekend.



Afbeelding 9: Stoten van de vinger tegen object. Met krachtrichting en momentsarmen.

De positie waarin mensen hun vingers houden, de snelheid waarmee ze iets willen pakken en de kracht die ze erachter zetten is per persoon verschillend.

Voor deze berekening wordt de op pagina 24 berekende impulskracht genomen, dus 5,3 kg. Om dit te bepalen is er op een vergelijkbare manier op een weegschaal gedrukt. Een keer waarbij er op de nagel werd gedrukt, en een keer waarbij er net onder de nagel (dus op het vingertopje) wordt gedrukt. Wanneer er loodrecht op de phalanx wordt gedrukt kan er een erg grote kracht worden geleverd. Deze kracht gaat echter door de assen van het DIP gewricht heen waardoor er geen flecterend moment optreedt. Wanneer er met een lichte buiging wordt gedrukt komen daar twee resultaten uit. Als er met de nagel wordt gedrukt kan er ongeveer 1400 gram aan duwkracht worden geleverd voordat de nagel pijnlijk dubbel klappt. Wanneer er wordt geduwd met het vingertopje kan er een kracht worden geleverd die vergeleken kan worden met een gewicht van 1800 tot 2000 gram. Voor dit onderzoek wordt het grootste gewicht, dus 2000 gram, gehanteerd.

Er is in de afbeelding te zien dat de krachtrichting onder het geprojecteerde gewricht door loopt. Hierdoor is er een flecterend moment in het gewricht. Voor de lengte van de distale phalanx is gebruik gemaakt van de gemiddelde lengte die is bepaald door B. Alexander en K. Viktor¹¹. Dit is 2,13 cm en hieruit komt een momentsarm van 0,83 cm.

Zoals hiervoor besproken kan er bij een flexie in het DIP gewricht alleen een kracht worden geleverd loodrecht op de phalanx.

In de volgende berekening wordt er loodrecht op de phalanx kracht uitgeoefend om een zuiver moment te leveren tegen de buiging. Hier grijpt deze kracht idealiter aan op het einde van de phalanx om een zo groot mogelijke arm te hebben. Deze is gemiddeld 17,4 mm¹¹.

Door middel van de hefboomformule kan hier worden berekend wat voor kracht de spalk moet kunnen leveren. De stootkracht betreft 5,3 kg (F_u) met een momentsarm van 8,3 mm ($F_u(\text{arm})$) tegen een arm van 17,3 mm ($F_s(\text{arm})$) van de spalk.

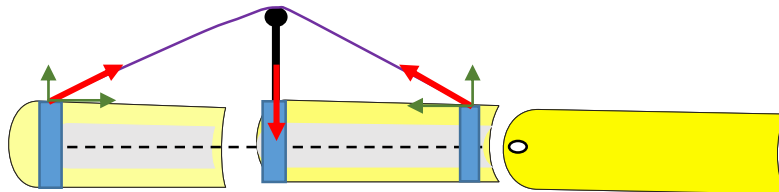
$$F_u * F_u(\text{arm}) = F_s * F_s(\text{arm}) \rightarrow 5,3 * 8,3 = F_s * 17,3$$

$$F_s = \frac{43,99}{17,3} = 2,54 \text{ kg}$$

De spalk moet een kracht leveren van 2,54 kg tegen buiging.

Dit is echter het geval wanneer het DIP gewricht licht staat geflecteerd. Wanneer het DIP gewricht in extensie of hyperextensie staat wordt de momentsarm, en daarbij de kracht die de spalk moet leveren, kleiner.

Als er een constructie wordt gebouwd waardoor het moment tegen buigen onder een hoek staat, vormt er een ander scenario. In de volgende tekening (4) is weergegeven hoe deze constructie in elkaar zit.



Tekening 4: Spalk constructie voor een schuin moment, inclusief krachtrichtingen.

Hier staat de paarse lijn voor een kabel die van proximaal op de middelste phalanx, over een afstandshouder, naar distaal van de distale phalanx loopt. De afstandshouder staat recht boven het DIP gewricht en zit vast met een blauwe band. De kabel zit aan beide zijden ook vast met een blauwe band. De krachtrichting is aangegeven door middel van een rode pijl. Deze is bij de aanhechtingen van de kabels ontbonden in twee verschillende krachtrichtingen, loodrecht op de phalanx en parallel aan de phalanx.

Dit betekent dat maar een gedeelte van de kracht die wordt geleverd door de kabel omgezet wordt in een moment tegen buiging. Om hier een gemakkelijk voorbeeld van te maken wordt aangenomen dat de kabel in een hoek van 45 graden staat ten opzichte van de phalanx.

Zoals hiervoor is berekend moet er een loodrecht moment van omgerekend 0,96 kg geleverd worden tegen buiging. Voor deze berekening wordt gebruik gemaakt van de cosinus:

$$\cos B = \frac{\text{aanliggend}}{\text{schuin}} \rightarrow \cos(45) = \frac{2,54}{\text{schuin}}$$

$$\text{schuin} = \frac{2,54}{\cos(45)} = 4,84 \text{ kg}$$

Zoals in bovenstaande berekening is te zien, zal er bij een moment tegen buigen die onder een hoek staat een grotere kracht geleverd moet worden ten opzichte van een parallel moment, met eenzelfde momentsarm.

Hiermee kan worden gesteld dat het efficiëntste moment tegen buigen loodrecht op de phalanx staat. Hierdoor is het niet wenselijk een constructie te creëren zoals weergegeven in tekening 4.

Een dergelijk grote constructie is onwenselijk gezien deze ver uitsteekt van de vinger, wat de kans op incidenteel stoten kan vergroten.

Er is nog een andere manier van stoten die niet zo vaak voor komt als de vorige, maar nog wel eens wil gebeuren. De persoon is aan het lopen en loopt langs een tafel. De arm hangt slap langs het lichaam, maar de vinger stoot net tegen de rand van de tafel aan. Dit is weergegeven in afbeelding 10.

Hier is wederom in Kinovea berekend wat de momentsarm is.

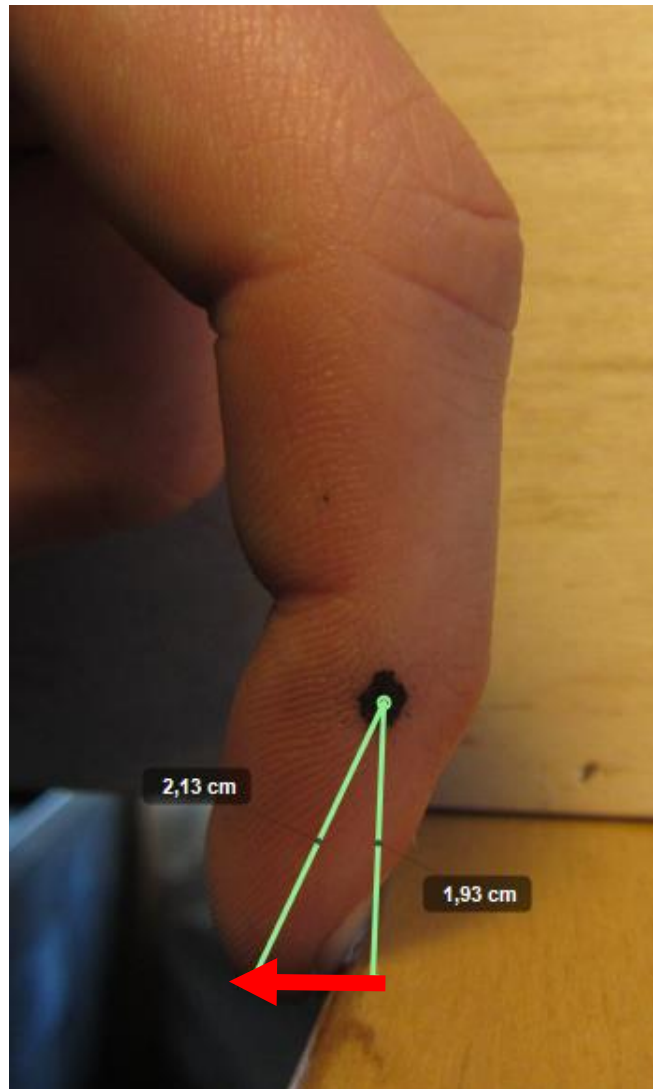
Er wordt gewerkt met een impulskracht van 5,3 kg (F_u) zoals is berekend op pagina 24. De stootkracht grijpt aan met een momentsarm van 19,3 mm ($F_u(\text{arm})$), en de spalk heeft een momentsarm van 17,3 mm ($F_s(\text{arm})$).

$$F_u * F_u(\text{arm}) = F_s * F_s(\text{arm}) \rightarrow 5,3 * 19,3 = F_s * 17,3$$

$$F_s = \frac{102,3}{17,3} = 5,9 \text{ kg}$$

In deze situatie moet de spalk een moment tegen buigen van omgerekend 5,9 kg hebben. Dit is echter wanneer het DIP gewricht niet volledig geëxtendeerd is. Wanneer dit wel het geval is wordt de momentsarm groter, waardoor ook de kracht die de spalk moet leveren groter wordt.

Bij deze berekening is niet in acht genomen dat de ED over het algemeen niet strak gespannen staat bij zo'n impact. Dit zou wel kunnen gebeuren door een eventuele reflex. Wat ook buiten beschouwing is gelaten in deze berekening is dat, in combinatie met een spalk, het PIP gewricht nog wel kan flecteren. Het is dus goed mogelijk dat, wanneer de vinger tegen de tafel aan stoot met een spalk, er maar weinig kracht nodig is door de spalk doordat het PIP gewricht flecteert.



Afbeelding 10: Stoot tegen tafel. Inclusief krachttrichting en momentsarmen.



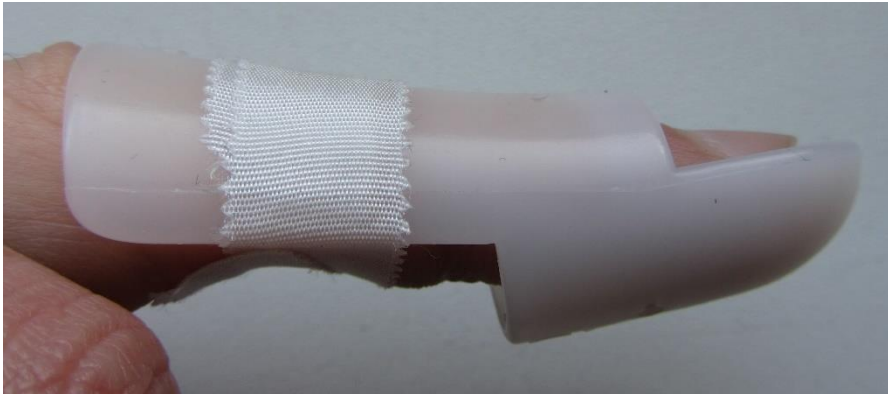
Afbeelding 11: Vinger tegen druksensor.

Dit is gemeten door middel van een krachtmeter. De vinger werd ter hoogte van het DIP gewricht aan de dorsale zijde tegen de druksensor aan gelegd. Het DIP en PIP gewricht stonden licht geflecteerd. In deze positie werd tegen de sensor aangedruwd. Dit is verduidelijkt weergegeven in afbeelding 11.

Uit deze test kwam voort dat de maximale kracht die op deze manier geleverd werd slechts rond de 2 kg lag. Dit betekent dat, wanneer de spalk de kracht kan weerstaan, de centrale slip over het PIP gewricht de zwakste schakel is.

In de vorige berekeningen is te zien wat voor kracht tegen buiging de spalk theoretisch zou moeten kunnen weerstaan. Echter is het handig om te meten wat voor moment tegen buigen de Stack spalk kan leveren. Dit is de meest gebruikte spalk en hierdoor dus een goed product om de concepten mee te vergelijken.

Om dit te meten is een Stack spalk op de vinger gedaan zoals te zien is in afbeelding 12. Hier is de Stack spalk bevestigd met een circulair tape aan de proximale zijde van de spalk.



Afbeelding 12: Stack spalk.

Er wordt gebruikt gemaakt van een krachtmeter om te bepalen hoe groot het moment tegen buigen is.

In afbeelding 13 is weergegeven hoe er tegen de druksensor wordt aangedrukt. Er drukt een vinger tegen de palmaire zijde van de middelste phalanx aan. Dit wordt gedaan om buiging in het PIP gewricht tegen te gaan.

De spalk is bestand tegen 3,1 kg aan buigbelasting. Wanneer er harder wordt gedrukt scheurt het tape. Het betrof één enkele laag tape.

Er wordt gebruik gemaakt van Silkafix zijdetape. Deze tape is zwakker dan bijvoorbeeld Leukoplast, maar wordt gebruikt omdat deze zacht is voor de huid. Er zijn meer mensen allergisch voor Leukoplast dan voor Silkafix.

Het is van belang om te meten met Silkafix zijdetape omdat dit de zwakste soort is.

Uit deze test komt naar voren dat de Stack spalk slechts 3,1 kg aan kracht tegen buiging kan leveren. Dit is bijna de helft van de 5,9 kg die hiervoor berekend is.



Afbeelding 13: Stack spalk tegen druksensor.

Eisen en wensen

De spalk moet voldoen aan de volgende eisen:

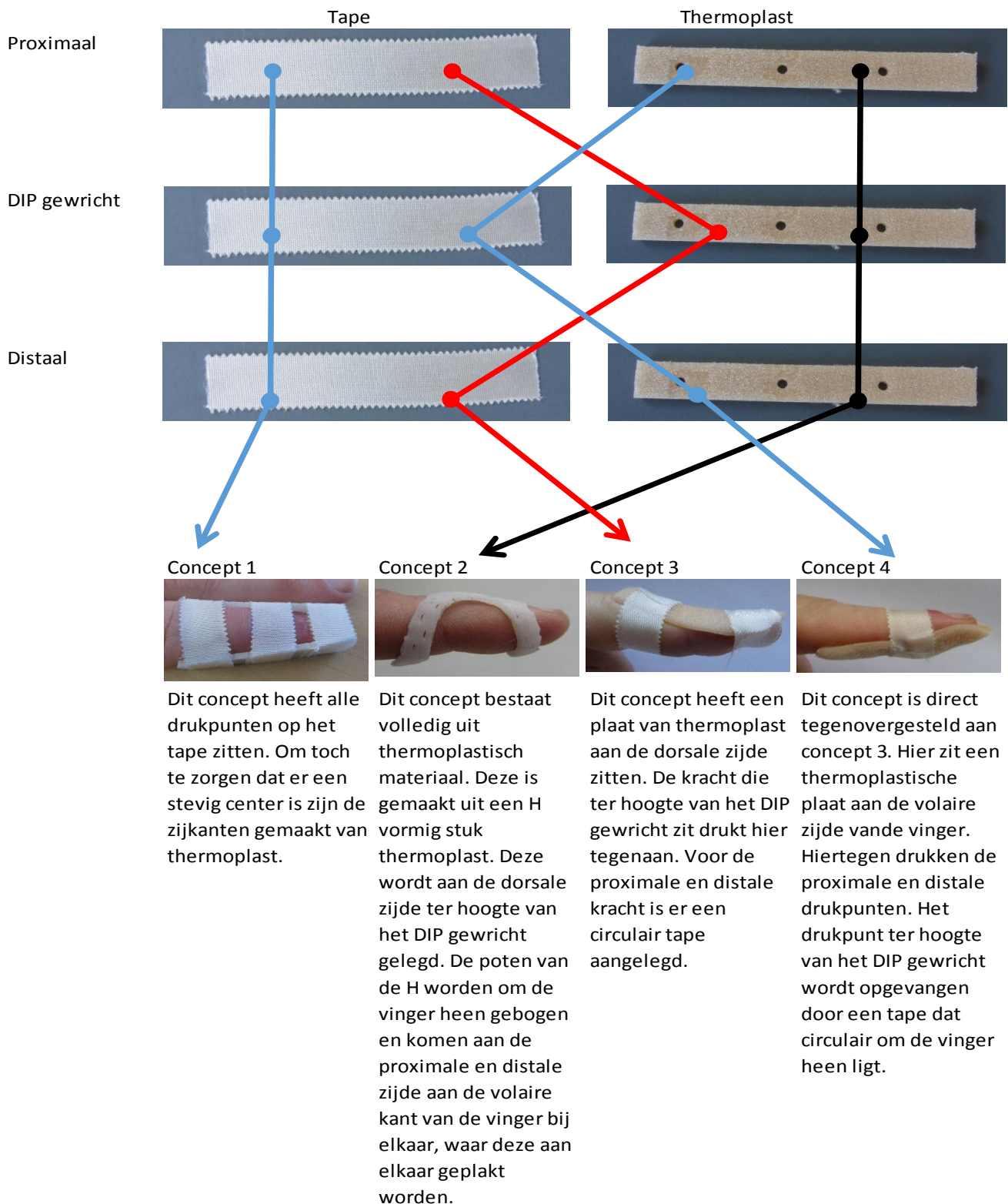
- Vinger in extensie/hyperextensie houden
- Moet op alle vier de vingers passen
- Bestand zijn tegen een buigbelasting van 5,9 kg

Wensen:

- De spalk mag niet te ver uitsteken ten opzichte van de huid
- Geen drukplekken
- Vinger te gebruiken ter herkenning van objecten/ondergrond (sensibele informatie)
- De verschuiving van de spalk/vinger in de spalk is minimaal
- De robuustheid van de spalk
- De spalk is naar de vinger te maken

Morfologische kaart

In de morfologische kaart wordt een ontwerp bedacht door verschillende eigenschappen te combineren. Hierbij is de spalk opgedeeld in drie secties. Deze secties representeren ieder een plek waar er een kracht aan grijpt. Dit is dus proximaal op de middelste phalanx aan de ventrale zijde, ter hoogte van het DIP gewricht aan de dorsale zijde en distaal op de distale phalanx aan de ventrale zijde.



Concepten

Concept 1

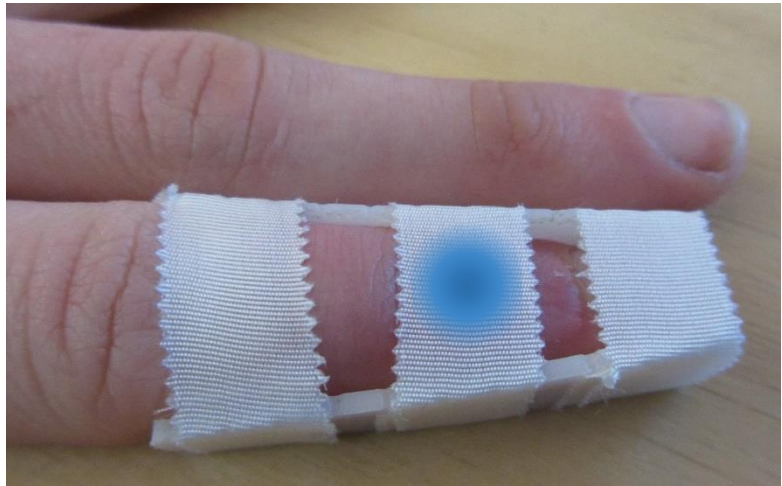
In nevenstaande afbeelding (14) is een andere spalkconstructie weergegeven. Hierbij zijn aan de laterale zijden plaatjes gepositioneerd. Deze plaatjes zijn door middel van tape aan de vinger bevestigd.

In de afbeelding eronder (15) is de laterale zijde gefotografeerd.

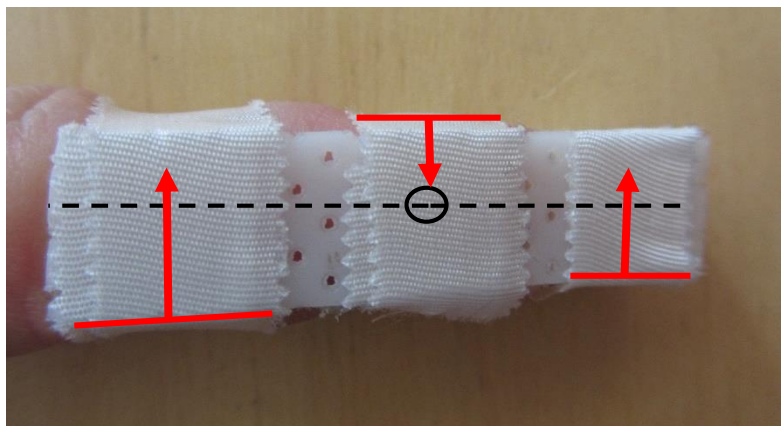
Wanneer de vinger wilt buigen zal er druk worden uitgeoefend op het tape, dat deze kracht door zal spelen naar de plastic plaatjes op de zijkant. En gedeelte van deze overbrenging gaat verloren in de mogelijke rek die optreedt in het tape. Er is in afbeelding 15 door middel van een blauwe stip weergegeven hoe de druk wordt uitgeoefend. Hierbij is alleen op het DIP gewricht een drukpunt te zien omdat de krachten op de andere twee tapes zich op de palmaire zijde bevindt.

De plaatjes hebben op deze manier een heel hoog moment tegen buigen. Omdat deze ook aan de voorkant een stuk uitsteken zal er bij stoten geen contact zijn tussen het object en de vinger. De spalk zal echter bij ieder stuk waar deze vast getaped zit, naar proximaal aan de huid trekken. Hierdoor zal deze spalk erg goed werken tegen buigen.

Het nadeel van deze spalk is dat deze aan de laterale zijden klemmt. Dit geeft een zeer onprettig gevoel in de vinger.



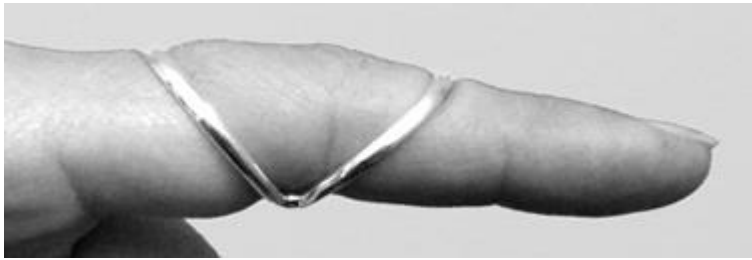
Afbeelding 14: Concept 1. Laterale platen thermoplast met tape over de drukpunten.



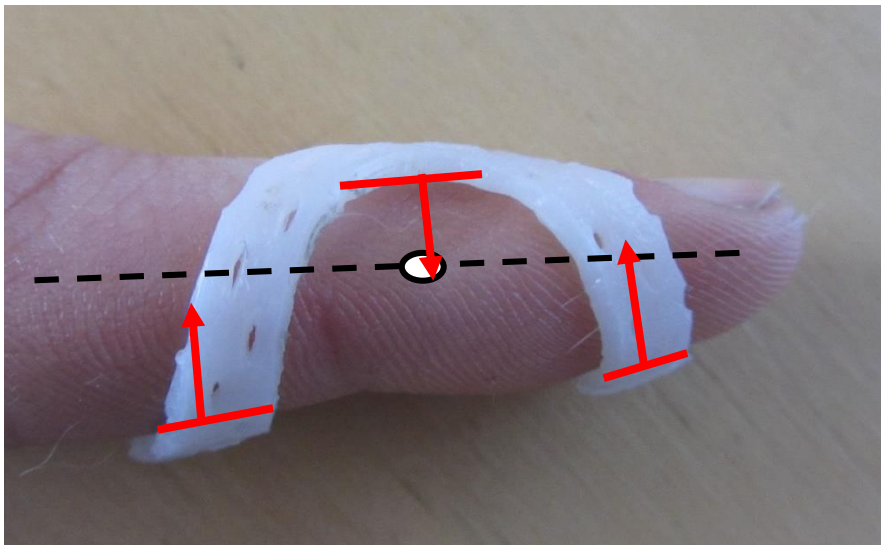
Afbeelding 15: Concept 1 van lateraal. Geprojecteerde gewrichtsas en drukplekken met krachtrichtingen.

Concept 2

Bij artritis in de vingers komt een swan-neck geregeld voor. Hierbij hyperextendeert het PIP gewricht. Om dit tegen te gaan is er een zeer elegante orthese ontwikkeld, deze is te zien in afbeelding 16.



Afbeelding 16: Orthese voor swan-neck deformatie. Bron: Google.



Afbeelding 17: Concept 2, een op de swan-neck orthese gebaseerde spalk. Met geprojecteerde gewrichtsas, drukplekken en de krachtrichtingen.

Deze orthese werkt direct tegenovergesteld aan de Stack spalk, en op het PIP gewricht in plaats van het DIP gewricht. Met deze orthese is het de bedoeling dat er niet wordt gehyperextendeert.

In de afbeelding hierboven (17) is te zien hoe deze orthese eruit zal zien op het DIP gewricht. Het gaat hierbij om een model die gemaakt is van thermoplastisch materiaal. Met deze constructie wordt er direct druk uitgeoefend op de orthese zelf. Deze orthese is los weergegeven in afbeelding 18 om een goede indruk te geven over hoe deze er uit ziet.

De spalk staat direct in contact met de huid, hierdoor is er een directe overbrenging van de kracht. Doordat het een klein ontwerp is valt deze ook niet heel erg op en steekt deze ook niet ver uit van de huid. Wanneer deze spalk van staal wordt gemaakt zoals in afbeelding 16 zal deze ook zeer sterk zijn. Het nadeel hiervan is dat, bij een stootbelasting, de kracht van de vinger op een klein balkje wordt overgedragen, wat pijnlijk kan zijn. Dit kan opgelost worden door het contactoppervlak te vergroten van de spalk.



Afbeelding 18: Concept 2

Thermoplastisch materiaal is van zichzelf geen buigvast materiaal, tenzij dit erg dik is. Het model dat is gemaakt voor afbeeldingen 17 en 18 is niet stijf genoeg om buiging tegen te gaan. Wanneer er geflecteerd wordt in het DIP gewricht zal het gedeelte van de spalk die dorsaal van het geprojecteerde gewrichtsas staat buigen. Dit is tegen te gaan door het moment tegen buigen op deze plek te vergroten. Dit kan worden gedaan door de thermoplast op deze plek verder door te laten lopen naar de laterale zijden.

Wanneer de spalk van staal gemaakt wordt is echter de optie op deze op maat te maken voor de patiënt niet meer mogelijk. Deze zullen dus vooraf gefabriceerd moeten worden.

Concept 3

In nevenstaande afbeelding (19) is een alternatieve spalkconstructie weergegeven. Deze werkt door middel van een thermoplastische plaat aan de dorsale zijde van de vinger. Deze plaat is aan de vinger bevestigd door middel van een tape die over de lengte loopt, en via de voorkant van de vinger aan de palmaire zijde weer terug gaat. Er wordt ook gebruik gemaakt van een circulair tape aan de proximale zijde.

In afbeelding 19 is tevens weergegeven hoe de krachten

lopen. Aan de proximale zijde wordt er tegen het tape aan gedrukt. Dit tape draagt deze belasting over aan de spalk. Doordat het tape vrij stug is, zit er weinig rek in. Het tape zorgt er tevens voor dat er geen laterale verschuiving van de spalk ten opzichte van de huid is.

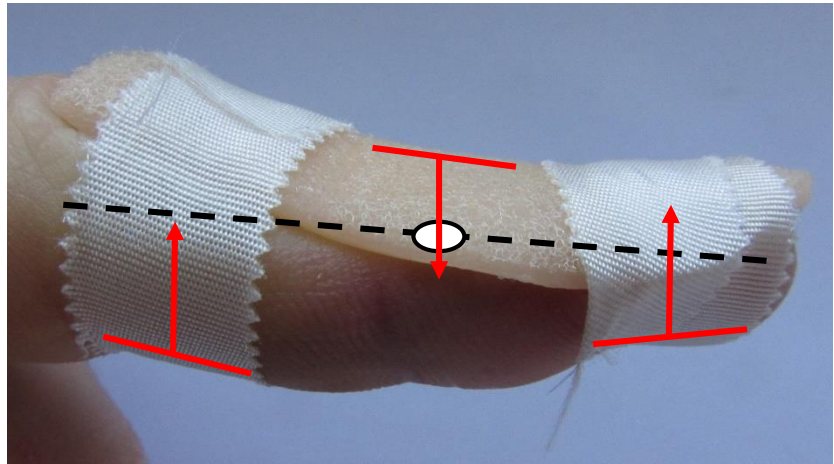
Doordat de spalk aan de dorsale zijde tegen de huid aan zit, verzorgt deze het moment naar palmair. Omdat de spalk aan de laterale zijden loopt heeft deze een groot moment tegen buigen rond het DIP gewricht.

Aan de distale zijde wordt de kracht net als aan de proximale zijde opgevangen door het tape, die de kracht door speelt aan de spalk.

Doordat de spalk doorloopt aan de zijden van de vinger zit deze er tussen vastgeklemd. Hierdoor kan de spalk niet naar lateraal verschuiven.

De spalk is gemaakt van thermoplastisch materiaal. Hierdoor vormt de spalk zich compleet naar de vinger. Dit resulteert in een grote drukverdeling van de spalk tegen de vinger. Ook zorgt dit ervoor dat per persoon de beste positie qua extensie of hyperextensie kan worden benut.

Het nadeel aan deze spalk is dat de spalk lichtelijk naar proximaal en distaal kan verschuiven door de huidverschuiving.



Afbeelding 19: Concept 3. Thermoplastische plaat aan de dorsale zijde, met tape aan de middelste- en distale phalanx. Inclusief gewrichtsas, drukplekken en krachtrichtingen.



Afbeelding 20: Concept 2 van palmair en dorsaal.

Concept 4

In nevenstaande afbeelding (21) is een spalk constructie weergegeven die compleet tegengesteld is aan concept 3. In dit geval zit de thermoplast aan de palmaire zijde van de vinger en zit deze vast met een circulair tape ter hoogte van de gewrichts-as van het DIP gewricht.

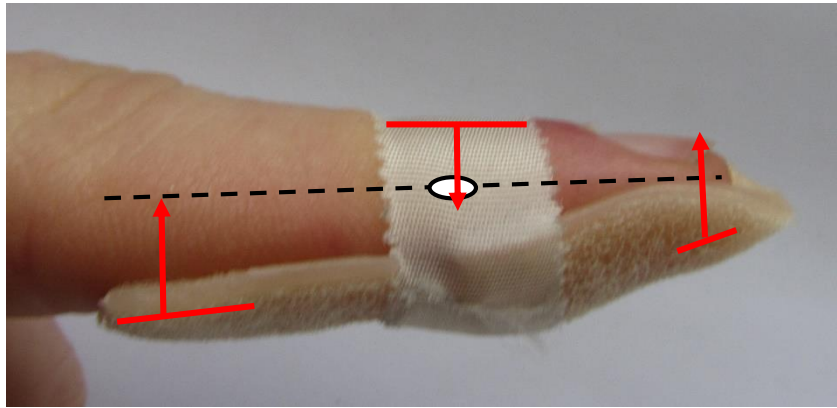
Doordat de vinger in direct contact staat met de spalk worden de krachten die proximaal en distaal naar

dorsaal wijzen direct opgevangen door de spalk. De kracht die ter hoogte van het DIP gewricht wordt opgevangen door het tape. Het tape geeft de kracht vervolgens door aan de spalk. Het tape is vrij stug en er zit vrijwel geen rek in.

Doordat de spalk ter hoogte van het DIP gewricht lichtelijk aan de laterale zijden van de vinger is gebogen levert dit een groot moment tegen buigen op.

Doordat er gebruik wordt gemaakt van thermoplastisch materiaal is de spalk compleet te vormen naar de vinger. Hierdoor wordt de druk die wordt uitgeoefend op de spalk goed verspreid. Het andere voordeel is dat de vinger kan worden vastgezet in de, voor die persoon zijnde, optimale positie.

Het nadeel van deze spalk is dat deze gevoelig is voor verschuiving van de spalk doordat deze maar met één tape vast zit. Dit kan worden voorkomen door circulair tape aan te brengen om de distale en proximale phalanx.



Afbeelding 21: Concept 4, thermoplastische plaat aan de palmaire zijde met circulair tape ter hoogte van het DIP gewricht. Inclusief rotatiecentrum, drukplekken en krachtrichtingen.



Afbeelding 22: Concept 4 van palmar en dorsaal.

Haptiek

Idealiter is het mogelijk om met de vinger in de spalk te kunnen voelen of er iets wordt aangeraakt en verschillende ondergronden van elkaar te kunnen onderscheiden. De vingers worden bij uitstek gebruikt om verschillende ondergronden van elkaar te onderscheiden. De revalidatie wordt aangenamer voor patiënten wanneer de vinger gebruikt kan worden.

De volaire zijde van de vinger wordt gebruikt voor het identificeren van verschillende ondergronden. De vingertoppen hebben zeer kleine receptieve velden, met een diameter van ongeveer 2 mm¹². Hierdoor hebben de vingertoppen een gigantisches discriminierend vermogen.

Wanneer de wijsvinger is aangedaan kan deze met de Stack spalk niet goed benut worden. Dit komt doordat er bij deze spalk een zeer dik stuk plastic over de volaire zijde van de vinger en de vingertop zit.

Bij de verscheidene concepten zijn er verschillende materialen die de volaire zijde van de vinger bedekken. De vraag is hierbij wat het verschil is tussen een tape op de vinger en een stuk plastic wanneer er verschillende ondergronden met elkaar wordt vergeleken.

Tape is een zeer zacht en flexibel materiaal dat direct op de huid zit geplakt. Door deze eigenschappen zijn kleine oneffenheden in het te betasten oppervlak door het tape voelbaar.

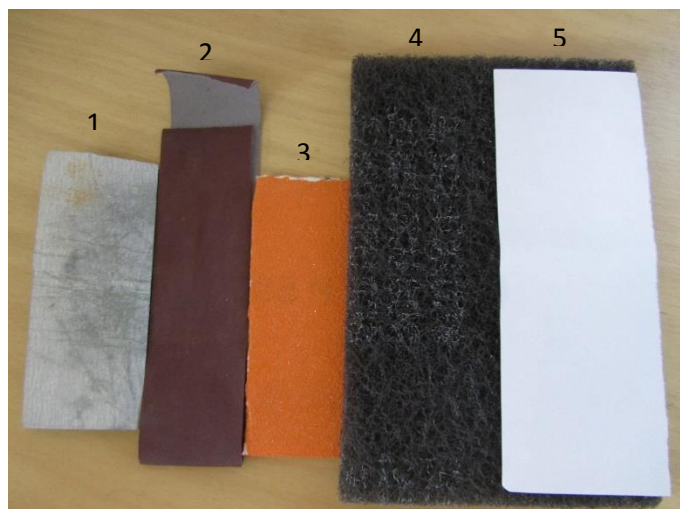
Plastic of thermoplast is een hard materiaal dat niet gemakkelijk te buigen is. Wanneer er met een spalk, waarbij thermoplast op de volaire zijde van de vinger zit, over een oppervlak wordt gewreven zijn de kleine oneffenheden niet te voelen. Dit komt doordat de spalk in zijn geheel hierover heen glijdt zonder dat deze oneffenheden erdoorheen worden gedrukt. Wanneer er met de rand van de spalk over een oneffen oppervlak wordt gewreven zal deze rand de oneffenheden oppakken. Het is in dit geval niet te voelen door sensibele receptoren in de vinger, maar door middel van standsveranderingen in het gewricht.

Om dit aan te tonen is er een klein onderzoek gedaan met verschillende ondergronden. Er worden telkens twee ondergronden naast elkaar gelegd en de proefpersoon moet aangeven welke ondergrond het ruwste is. Dit wordt gedaan met conceptspalk 3 (tape over de volaire zijde) en met de Stack spalk. Deze ondergronden zijn te zien in afbeelding 23.

De ondergronden komen langs in willekeurige volgorde en er wordt per keer genoteerd welk ondergrond het ruwste aanvoelt.

De gebruikte ondergronden zijn:

1. schuurpapier (P320);
2. schuurpapier (P150);
3. schuurpapier (P50);
4. schuurspons (zeer ruw);
5. papier (glad).



Afbeelding 23: Verschiede ondergronden, met van links naar rechts; schuurpapier P320, schuurpapier P150, schuurpapier P50, schuurspons en papier.

Meetprotocol

1. De proefpersoon komt binnen en de Stack spalk wordt bij diegene aangedaan.
2. De proefpersoon gaat aan de tafel zitten en doet zijn/haar ogen dicht gedurende de meting.
3. De verschillende ondergronden worden om de beurt in paren neergelegd met de volgende combinaties:
 - a. ondergrond 5 en 4,
 - b. ondergrond 4 en 3,
 - c. ondergrond 1 en 5,
 - d. ondergrond 3 en 1,
 - e. ondergrond 1 en 2.

De volgorde waarin deze paren worden neergelegd is variabel.

4. De proefleider pakt de vinger van de proefpersoon vast waar de spalk aan zit. De gespalkte vinger wordt vervolgens over het eerste oppervlak gegleden. Dit gebeurt door de vinger in een rechte lijn van distaal naar proximaal over het oppervlak te bewegen. Hierna wordt de vinger opgetild en word hetzelfde bij de tweede ondergrond gedaan. Als de proefpersoon erom vraagt kan deze handeling herhaald worden.
5. De proefpersoon kiest welke ondergrond hij/zij het ruwst vind. Dit wordt genoteerd door de onderzoeker met een eventuele opmerking van de proefpersoon.
6. De handelingen van onderdelen 4 en 5 worden herhaald tot alle ondergrond paren gedaan zijn.
7. De Stack spalk wordt afgedaan en vervangen door concept 3.
8. Onderdelen 3 t/m 6 worden herhaald.
9. De proefpersoon mag zijn/haar ogen openen.
10. Er wordt aan de proefpersoon gevraagd welke van de twee spalken deze prettiger vond en waarom.

Bij proef a moet het verschil worden gevoeld tussen een stuk papier en een schuurspons, waarbij de schuurspons het ruwst is.

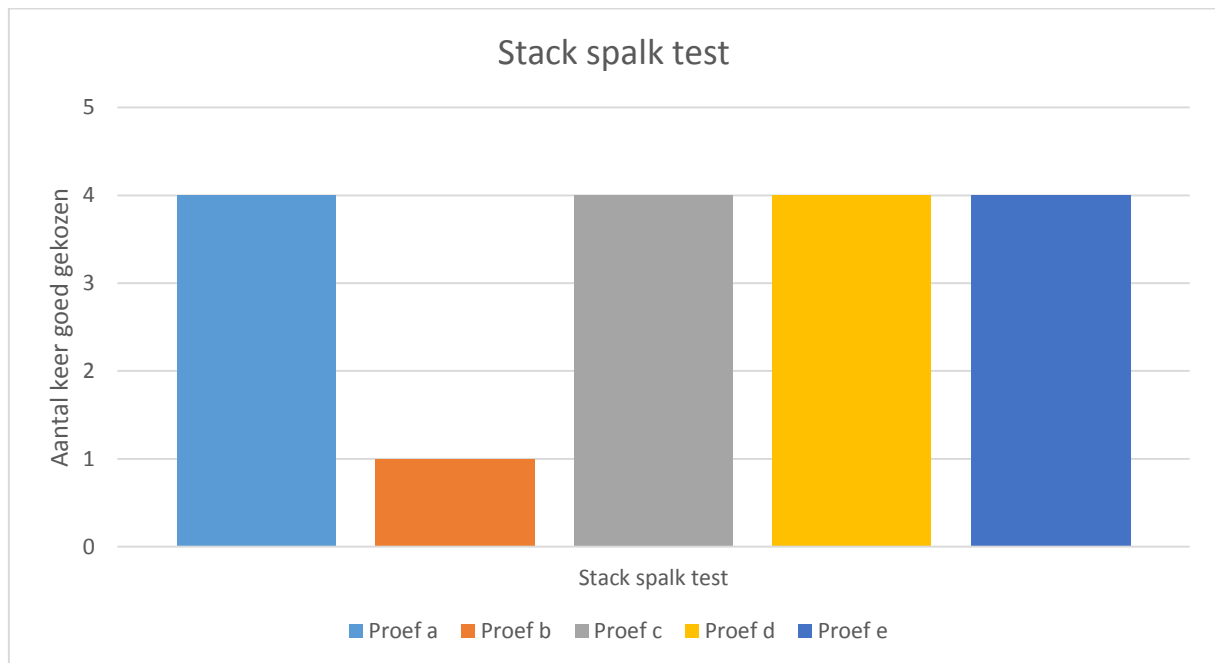
Bij proef b moet het verschil worden gevoeld tussen de schuurspons en P50 schuurpapier, waarbij de schuurspons het ruwste is. De ruwheid van de schuurspons zit hem in de dimensie terwijl het schuurpapier ruw is aan het oppervlak. Bij deze test is het van belang dat de diepte goed moet worden gevoeld.

Bij proef c moet het verschil worden gevoeld tussen P320 schuurpapier en een stuk papier, waarbij het schuurpapier het ruwste is.

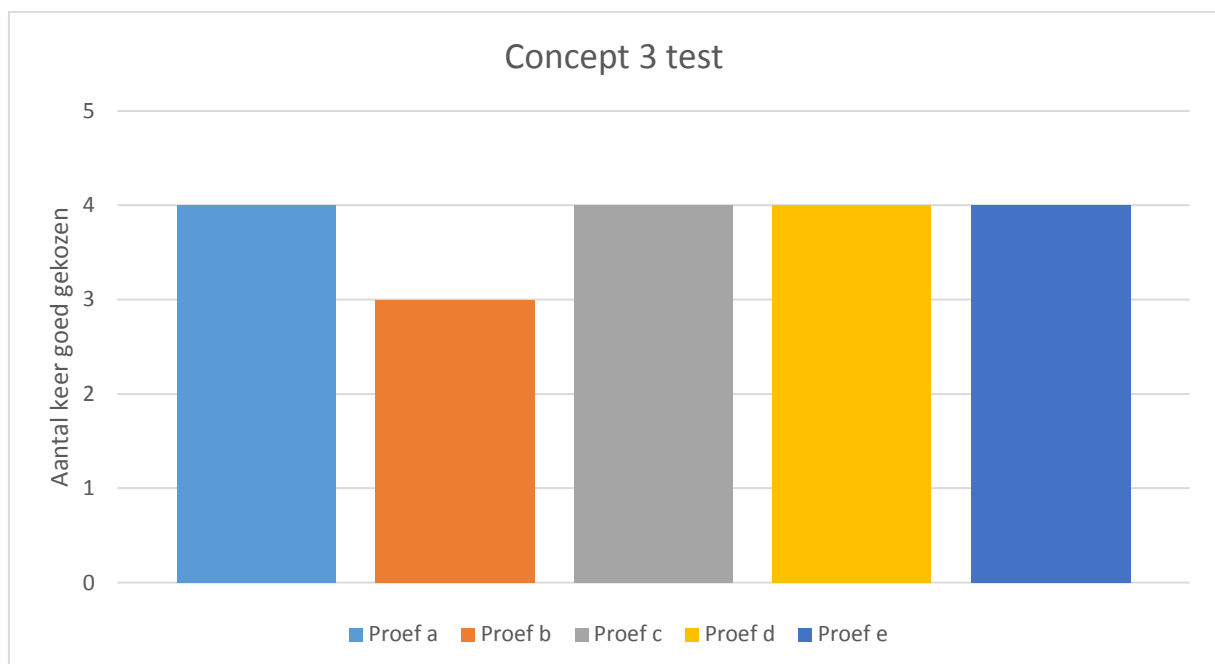
Bij proef d moet het verschil worden gevoeld tussen P50 schuurpapier en P320 schuurpapier, waarbij het P50 schuurpapier het ruwste is.

Bij proef e moet het verschil worden gevoeld tussen P320 schuurpapier en P150 schuurpapier, waarbij P150 het ruwste is. In deze test moet goed het verschil worden gevoeld tussen twee oppervlaktes die bijna even ruw zijn.

Meetresultaten



Grafiek 1: Gevoelstest Stack spalk. Er is getest met 4 personen.



Grafiek 2: Gevoelstest concept 3. Er is getest met 4 personen.

In grafiek 1 is weergegeven hoe vaak er goed is gekozen in de verschillende proeven wanneer er gebruik werd gemaakt van de Stack spalk. Hier is te zien dat 4 van de 4 mensen bij proef a, c, d en e het ruwste oppervlak hebben gekozen. Bij proef b was er slechts 1 proefpersoon die het ruwste oppervlak wist aan te wijzen.

Bij proef b moest het verschil worden gevoeld tussen P50 schuurpapier en de schuurspons, waarbij de schuurspons het ruwste is. De schuurspons is het ruwste door de dimensie van het oppervlak. Terwijl het schuurpapier plat is. 3 van de 4 proefpersonen konden met de Stack spalk niet de diepere dimensie voelen die zich in de schuurspons bevindt.

Alle proefpersonen gaven mee dat ze met de Stack spalk geen direct gevoel in de vinger hadden. De manier van voelen werd beschreven als 'resonantie' of 'oppervlakteverschil'. Het verschil werd gevoeld door de trillingen die de spalk maakte wanneer deze over een oppervlakte heen wreef.

Doordat het P50 schuurpapier de spalk meer liet resoneren dan de schuurspons werd deze door merendeel van de proefpersonen als ruwste gekozen. De diepte die in de schuurspons zit werd niet gevoeld.

In grafiek 2 is weergegeven hoe vaak er goed is gekozen in de verschillende proeven wanneer er gebruik werd gemaakt van concept 3. Hier is te zien dat 4 van de 4 mensen bij proef a, c, d en e het ruwste oppervlak wisten te herkennen. Echter kon slechts 1 persoon bij proef b niet de ruwste ondergrond aanwijzen. Deze proefpersoon was niet in staat om door het tape de diepere structuur van de schuurspons te achterhalen.

Met concept 3 gaven alle proefpersonen mee dat ze goed door het tape konden voelen.

Bij de vraag welke van de twee spalken het prettigst was zeiden 3 van de 4 proefpersonen dat zij concept 3 de prettigste spalk vonden. Een proefpersoon gaf als reden dat deze hiermee gewone dagelijkse handelingen kon verrichten en ondergronden kon voelen. Een andere proefpersoon zei dat deze op de computer kon blijven werken met concept 3 terwijl diegene niet het idee had hetzelfde te kunnen doen met de Stack spalk.

Degene die aangaf de Stack spalk het prettigst te vinden koos deze omdat deze steviger was. Ook was diegene niet onder de indruk van het vele gebruik van tape dat nodig is bij concept 3.

Uit deze test komt voort dat er met beide spalken verschillende ruwheden van elkaar kunnen worden onderscheiden. Bij de Stack spalk gebeurt dit door middel van resonantie van de spalk en bij concept 3 wordt de ondergrond door het tape heen gevoeld.

Met proef b kan worden aangetoond dat met de Stack spalk personen niet in staat zijn om diepere structuren in een oppervlak waar te nemen. Terwijl dit wel gedaan kon worden met concept 3.

Wanneer er naar de test in het algemeen wordt gekeken kan er niet duidelijk worden aangetoond dat er met concept 3 beter kan worden gevoeld dan met de Stack spalk. Bij bijna alle testen kon de ruwste ondergrond worden aangewezen met beide spalken.

Uit feedback van de proefpersonen kwam naar voren dat merendeel concept 3 zou willen gebruiken bij revalidatie door de betere gevoelsperceptie.

Door de feedback van de proefpersonen wordt er gekozen om tape alsnog te beschouwen als een beter materiaal om ondergronden door te voelen.

Kardinale methode

	Waarde	Stack spalk	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4
Eisen						
Vinger in extensie houden	3	3	3	3	3	3
Alle vier de vingers	3	3	3	3	3	3
Bestand tegen 5,9 kg buigkracht	3	3	3	1	3	3
Wensen						
Niet ver uitsteken t.o.v. huid	1	1	1	3	3	3
Geen drukplekken	2	2	1	2	3	3
Sensibele informatie doorgeven	1	1	3	2	3	1
Verschuiving van de spalk	2	2	1	1	2	2
Robuustheid spalk	2	3	2	1	2	2
Naar de vinger te maken	1	2	2	3	3	3
Totaal		45	41	37	50	48

Concept eindontwerp

Vormgeving

Uit de kardinale methode komt concept 3 als beste voort. Echter zijn hier nog aanpassingen aan te maken om deze beter te maken.

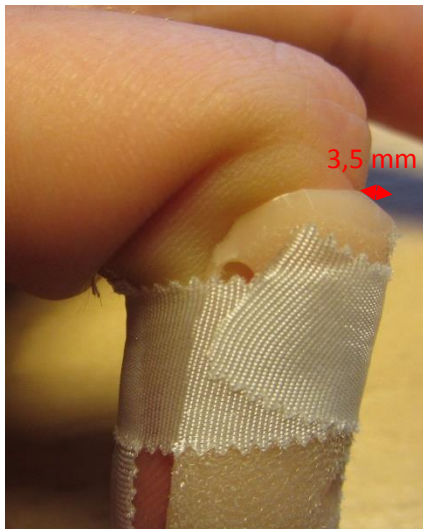
De vorm van de spalk is een zeer belangrijk onderdeel. Door de manier waarop het thermoplast aan de laterale zijden loopt verkrijgt deze een groter moment tegen buigen dan dat een platte plaat thermoplast oorspronkelijk bezit. Echter moet dit ook niet te groot zijn om functionaliteit in de vinger te kunnen behouden.

Omdat de spalk ook aan de laterale zijden zit, schuren de buurvingers hier tegenaan. Het is dus wenselijk om de spalk ronde vormen te geven. Wanneer dit niet wordt gedaan is het mogelijk dat de buurvingers tegen de hoeken van de spalk aan komen en dat deze gaan irriteren.

In afbeelding 24 is te zien hoe ver de spalk naar proximaal reikt. De spalk begint vanaf de meest distale huidplooi. Deze huidplooi geeft weer hoe het DIP gewricht zich verhoudt ten opzichte van de huid. Dit zorgt ervoor dat de proximale rand van de spalk niet tegen het gewricht aan zal duwen wanneer het PIP gewricht in extensie staat.



Afbeelding 24: Dorsaal/proximale zijde van het conceptuele eindontwerp.



Afbeelding 25: Proximale/laterale zijde van het conceptuele eindontwerp.

van de spalk ongeveer 3,5 mm van de huid af zit. Door deze geringe afstand blijft de spalk niet gemakkelijk achter kleding hangen. In afbeelding 26 is duidelijk te zien dat de spalk vrij dicht tegen de huid aan zit.

In afbeelding 25 is de laterale zijde te zien van het proximale gedeelte van de spalk. Hierin is te zien dat dit gedeelte van de spalk is afgerond. Hierdoor steekt de spalk niet in de vinger zelf, dit is tevens prettig voor de naburige vingers.

Het circulaire tape zit iets distaler dan de proximale rand van de spalk. Dit is gedaan omdat het tape zich anders aan de palmaire zijde in de huidplooi bevindt. Dit belemmert de flexie in het PIP gewricht en geeft een onprettig gevoel. Door het tape op deze hoogte om de vinger te doen, zit het tape distaler dan de huidplooi. Het tape belemmert niet bij de flexie en snijdt niet in de huidplooi.

Er is te zien dat de spalk dorsaal vrij dicht tegen de huid aan zit.

Er is gemeten dat de buitenkant



Afbeelding 26: Conceptuele eindontwerp vanaf proximaal.

In afbeelding 27 is het conceptuele eindontwerp van lateraal weergegeven. Distal is te zien dat de spalk iets verder loopt dan de vinger zelf. Wanneer er tegen een plat oppervlak wordt gestoten zal de spalk hier tegenaan komen. Deze zal de schok doorgeven door over de lengte van de spalk de schok te veranderen in een huidverschuiving. Doordat de schok over een groter oppervlak wordt verdeeld geeft dit een prettigere ervaring dan een stoot tegen de vingertop.

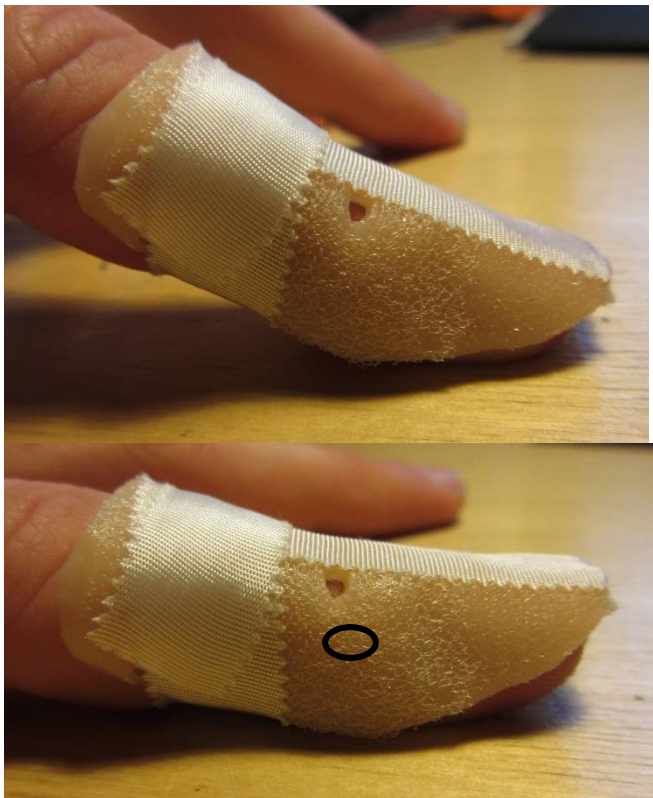


Afbeelding 27: Conceptuele eindontwerp van lateraal.

De spalk is zo ontworpen dat de thermoplast lateraal zo ver mogelijk door loopt om zo een groter moment tegen buigen te creëren. In afbeelding 28 is te zien hoe de spalk valt wanneer de vinger zich op een oppervlakte bevindt.

In de afbeeldingen is te zien dat, wanneer de vinger op de ondergrond wordt gelegd, er aan de proximale en distale kant een redelijke ruimte over is tussen de ondergrond en de spalk. de ruimte is overgelaten zodat de vingertop de ondergrond kan aftasten zonder dat de spalk hierbij de ondergrond raakt.

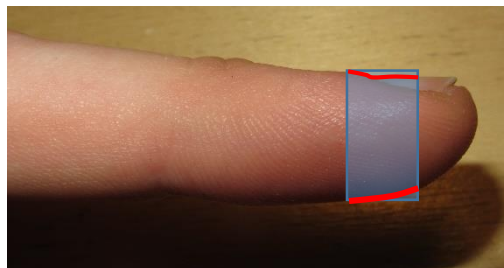
Rond het DIP gewricht steekt de laterale zijde van de spalk verder maar palmair. In afbeelding 28 is de gewrichtsas weergegeven. De spalk raakt hier de ondergrond net niet. Dit is gedaan omdat het moment tegen buigen rond het DIP gewricht het grootst moet zijn.



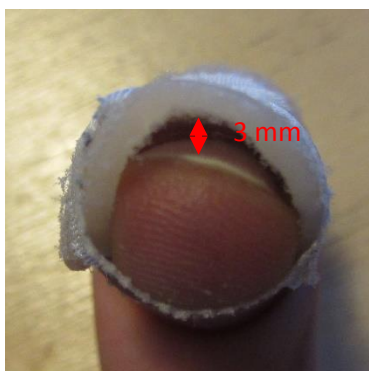
Afbeelding 28: Conceptuele eindontwerp van lateraal. De vinger rust op de grond. In het onderste plaatje is de gewrichtsas van het DIP gewricht geprojecteerd.

Verbetering

Het conceptuele eindontwerp zit met twee circulaire tapes vast. Het voorste tape is, vanwege de manier waarop het tape is aangelegd, niet goed in staat om de distale phalanx tegen de spalk aangedrukt te houden. De dikte van de vinger wordt geleidelijk minder naarmate je verder naar distaal gaat. Aan de proximale zijde van het tape zit de vinger goed vast gedrukt, maar aan de distale zijde blijft er ruimte over. Dit is weergegeven in afbeelding 29. Hierin is een vinger afgebeeld. De blauwe rechthoek staat voor de pleister en de rode lijnen laten zien hoe de huid loopt. Er is te zien dat de rode lijnen spits toelopen richting distaal. Dit resulteert in speling die de distale phalanx minder goed in extensie houdt. Dit wordt versterkt door de indrukking van de huid.



Afbeelding 29: Vinger van lateraal met contourlijnen.



Afbeelding 30: Vinger met het conceptuele eindontwerp gezien van distaal. Er zit 3 mm tussen de spalk en de nagel.

In afbeelding 30 is dit van vooraf te zien. Hier is de speling tussen de nagel en spalk ongeveer 3 mm. Dit is gemeten door middel van een schuifmaat.

Om dit op te heffen is het mogelijk om een tape aan te leggen over de lengte-as van de vinger. Deze loopt over de spalk, over de voorkant van de vinger en vervolgens aan de palmaire zijde van de vinger terug. Dit is te zien in afbeelding 31.

Het tape loopt van de spalk naar de voorkant van de vinger en vervolgens over de palmaire zijde. Dit heeft als bijkomend voordeel dat de momentsarm tegen buigen is verlengd ten opzichte van het circulaire tape. Nu is het mogelijk om de totale lengte van de distale phalanx plus de huidlaag te benutten.



Afbeelding 31: Conceptuele eindontwerp van dorsaal, lateraal en palmair met longitudinaal tape.

Wanneer er aan het vingertopje naar dorsaal wordt getrokken door het tape is er sprake van huidverschuiving. Om te meten hoeveel dit is, is er in het midden van het tape een gaatje gemaakt waardoor de ruimte tussen de spalk en nagel gemeten kan worden. Dit is ongeveer 1,5 mm.

Dit resulteert in een afstandsvermindering van;

$$3 - 1,5 = 1,5 \text{ mm}$$

Dit lijkt niet veel, maar de vinger is ook niet heel erg lang. Door middel van een inverse sinusberekening kan worden berekend hoeveel graden dit in het DIP gewricht is. De lengte van de distale phalanx is 21,3 mm

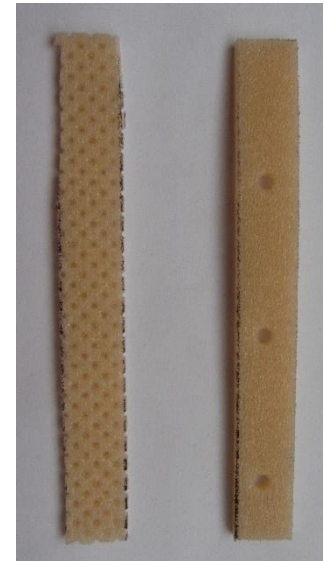
$$\text{hoek} = \sin^{-1} \left(\frac{\text{overstaand}}{\text{aanliggend}} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1,5}{21,3} \right) \approx 4^\circ$$

Het tape over de lengte-as van de vinger resulteert in een extra extensie van ongeveer 4 graden.



Afbeelding 32: Vinger met het conceptuele eindontwerp gezien van ditstaal. Met longitudinaal tape slechts 1,5 mm tussen de nagel en spalk.

Uit de kardinale methode komt concept 3 als beste voort. Echter zijn hier nog aanpassingen aan te maken om deze beter te maken. Een van deze aanpassingen is de materiaalkeuze. Er zijn twee diktes thermoplast beschikbaar in het Spaarne ziekenhuis. Met een dikte van 1,75 mm en 2,35 mm. De thermoplast met een dikte van 1,75 mm is geperforeerd, hierbij zitten de gaten 3 mm uit elkaar met een gat ter grote van 0,5 mm. De thermoplast met een dikte van 2,35 mm is ook geperforeerd, hierbij zitten de gaten 1,8 cm uit elkaar met een gat ter grote van 2,5 mm. Beide thermoplasten zijn afgewerkt met een zachte laag. Deze twee typen thermoplast zijn te zien in afbeelding 33.



Afbeelding 33: Twee diktes thermoplast.

Het voordeel van de dunne thermoplast is dat deze dichter op de huid zit en hierdoor minder kans heeft om achter kledingstukken of dergelijke te hangen. Deze heeft ook als voordeel dat deze zeer fijn is geperforeerd. Hierdoor kan de huid onder de spalk goed ademen. Wanneer dit niet gebeurt, kunnen smetplekken voorkomen.

De dikke thermoplast heeft als voordeel dat deze steviger is. Dit komt doordat deze 0,6 mm dikker is en omdat deze niet ernstig is geperforeerd. Hierdoor is deze thermoplast stugger dan de dunne variant. Dit resulteert ook in een stevigere spalk.

De spalk haalt zijn stevigheid voornamelijk uit de vorm waarin deze is gebogen. Hierdoor gaat het dus niet alleen om de mate van dikte van de gebruikte thermoplast, maar ook om de, van lateraal gezien, hoogte van de spalk.

Om deze stevigheid te controleren wordt deze op buiging belast tegen een krachtsensor. Dit wordt loodrecht aan de meest distale zijde van de spalk gedaan om het moment zo groot mogelijk te maken. In afbeelding 34 is te zien hoe de spalk tegen de druksensor staat. Hier werd er weer met de vinger tegen de palmaire zijde van de middelste phalanx gedrukt om buiging in het PIP gewricht te voorkomen. Zoals is berekend moet de spalk bestand zijn tegen een buigbelasting van 5,9 kg.



Afbeelding 34: Conceptuele eindontwerp getest tegen buiging.

Meting

Bij de meting waren bij zowel de spalk van het dikke alsmede het dunne materiaal niet de zwakke plek. Bij beide spalken scheurde het tape voordat de spalk kon vervormen.

Het tape van de dikke spalk scheurde bij een belasting van 3,76 kg en het tape van de dunne spalk scheurde bij een belasting van 3,7 kg. Deze waarden liggen niet ver bij elkaar vandaan. Er wordt verwacht dat de vorm van de spalk hiervoor verantwoordelijk is.

De Stack spalk kon slechts 3,1 kg aan buigbelasting verdragen voordat daar het tape begon te scheuren. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de laterale zijden van concept 3 verder naar palmar reiken, of dat de laterale zijden dichter tegen de huid aan liggen.

Aanpassing

Zoals hiervoor is berekend is de spalk zoals deze nu is nog niet bestand tegen 5,9 kg aan buigbelasting. De zwakke plek hierbij was echter het proximale circulaire tape. Om dit op te lossen moet er worden gekeken naar andere materialen om het tape mee te vervangen.

Het conceptuele eindontwerp wordt op zijn plek gehouden door het tape dat de spalk met de huid verbindt. Dit tape voorkomt dat de spalk over de huid gaat schuiven en daardoor misschien zelfs van de vinger af glijdt.

Om een aanpassing aan de spalk te maken die dit kan voorkomen moet er worden gekeken naar de bouw van de vinger. In afbeelding 35 is een röntgenfoto van een vinger te zien. Hierin is te zien dat de basis van de middelste phalanx een stuk smaller is dan bij het DIP en PIP gewricht. In de afbeelding is tevens met blauwe lijnen de contouren van de basis van de middelste phalanx weergegeven. Wanneer de contouren van de spalk de contouren van het bot door de huid heen nabootsen zal de spalk hier klemmen. Dit voorkomt dat de spalk van de vinger af kan glijden. Het nadeel van deze manier is dat dit niet bij iedereen zal werken. Er zullen mensen zijn waarbij deze versmalling in mindere mate aanwezig is, of mensen die een hele dikke huidlaag op de vingers hebben. Hierdoor zal de spalk in mindere mate blijven klemmen.

Doordat de laterale zijden van het conceptuele eindontwerp vrij ver doorlopen maakt deze ook gebruik van de versmalling in de middelste phalanx.

Het circulaire tape dat nu proximaal om de vinger en spalk heen zit is niet sterk genoeg om de berekende buigbelasting te weerstaan. Een optie hiervoor zou kunnen zijn dat er meerdere lagen tape worden gebruikt om het sterker te maken, maar er kan ook worden gekeken naar andere materialen.

Er zijn weinig materialen die geen rek hebben in de lengterichting en voor een dussdanig doel kan worden gebruikt.

Klittenband is een materiaal dat zeer trekvast is in de lengterichting en waar ook vrijwel geen rek in zit. Het is dus zeer goed mogelijk om de spalk circulair vast te maken door middel van klittenband. Echter is klittenband vrij dik. Hierdoor zou de afstand waarop de spalk van de huid staat toenemen. Door deze toename is het makkelijker om met de spalk ergens achter te haken. Het klittenband zal dus ook aan de laterale zijden uitsteken. Hier komt deze in contact met de buurvingers die er tegenaan wrijven, dit kan gaan irriteren aan de buurvingers.

Een ander probleem is dat het klittenband een vrij groot oppervlak nodig heeft om trekvast te zijn in de lengterichting. Hierdoor is het niet mogelijk om klittenband voor een dussdanig klein doeleinde te gebruiken.



Afbeelding 35: Röntgen van vinger met botcontouren.

Een materiaal waar aan gedacht kan worden is touw. Dit is zeer trekvast en (indien van natuurlijke producten gemaakt) ademt goed. Het nadeel is dat het touw kan verschuiven. Deze kan proximaal van de spalk af glijden of distaal naar het DIP gewricht, waar deze geen moment tegen buigen meer creëert. Het touw kan worden vastgelijmd aan de spalk waardoor deze niet meer verschuift.

Hiervoor zou een plat touw genomen moeten worden dat, door het grote oppervlak wat in contact staat met de huid, niet aan de palmaire zijde in de huid zal snijden wanneer er een grote kracht op staat. Het touw zal dan aan de bovenkant moeten worden vast geknoopt en met lijm worden bevestigd aan de spalk.

Het touw is vrij plat waardoor deze niet ver van de huid uitsteekt. Het touw wordt door middel van secundelijm aan de spalk geplakt. Dit is zeer snel droog en heeft een sterke verbinding. Het nadeel van deze manier van verbinden is dat wanneer het touw niet strak genoeg zit, of te strak zit het niet gemakkelijk kan worden aangepast.



Afbeelding 36: Conceptuele eindontwerp waarbij het proximale tape is vervangen door touw.

Het circulaire proximale tape vervangen met touw zorgt ervoor dat er een stevigere verbinding ontstaat. Echter heeft deze manier ook zijn nadelen. Het touw moet in één keer goed worden aangelegd. Te strak of te los en er moet een nieuwe spalk worden gemaakt omdat het touw niet meer van de spalk af komt. Een ander euvel is het vastlijmen van het touw. Dit moet gebeuren wanneer de spalk al aan de vinger van de patiënt zit. Hierdoor bestaat de kans dat de lijn door een van de vele gaten in contact komt met de huid, waardoor de spalk aan de huid wordt gelijmd.

Klittenband is voor de spalk geen gewenst bevestigingsmateriaal gezien de dikte hiervan. De spalk zal ver van de huid uitsteken, waardoor de kans groot wordt dat deze ergens achter haakt.

Touw zal zeer goed als bevestiging van de spalk kunnen worden gebruikt. Het is zeer trekvast en de geringe dikte zorgt ervoor dat deze niet ver uitsteekt boven de huid. Echter is de bevestiging hiervan niet wenselijk. Het touw moet er in één keer goed omheen, te strak of te los maakt het ernaar dat er een nieuwe spalk gemaakt moet worden. Het vastlijmen van het touw aan de spalk wanneer de spalk op de huid ligt is een riskante onderneming waarbij de spalk aan de vinger gelijmd zou kunnen worden. Dit maakt ernaar dat het vast tapen van de spalk de meest voordelige manier is om de spalk aan de vinger te bevestigen.

Discussie

Het tape van het conceptuele eindontwerp scheurt wanneer er een moment tegen buigen op staat van 3,7 kg. Dit is minder dan de berekende 5,9 kg die de spalk zou moeten kunnen houden. Theoretisch is het mogelijk om de spalk te laten klemmen aan de versmalling van de basis van de middelste phalanx. Het voelt niet vervelend aan wanneer hier aan de zijkant van de vinger geklemd wordt. Dit zou kunnen worden gedaan door middel van touw, dit steekt niet ver uit van de huid en is zeer trekvast. Het touw snijdt ook niet in de huid. Het probleem met het vastlijmen van touw is dat dit in één keer goed moet gebeuren, wanneer het te strak of los zit zal de spalk opnieuw worden gemaakt. Het is ook de vraag in hoeverre de spalk blijft klemmen. Bij mensen met smalle vingers waarbij de versmalling goed aanwezig is valt de spalk goed te klemmen. Bij een persoon die wat dikkere vingers heeft, of waarbij de versmalling in mindere mate aanwezig is, is het nog maar de vraag of de spalk daar goed blijft klemmen. Doordat het zeer onduidelijk is hoe goed de spalk blijft zitten bij verschillende mensen wanneer er alleen gebruik wordt gemaakt van de klemming, is taping de veiligste methode. Het tape zorgt dat de spalk goed op zijn plek blijft zitten. Hierbij maakt de dikte van de vinger niet uit, hierdoor is dit de betrouwbaarste methode voor verschillende vingermaten. Het probleem met het tape is dat de spalk hiermee niet in staat is de berekende kracht tegen buiging te kunnen weerstaan. Hierdoor zou de spalk niet bestand zijn tegen een initiële harde stoot op de vinger.

Een mallet finger houdt in dat er een stuk bot is afgebroken of een pees is gescheurd. Omdat het hier toch om een dergelijk groot letsel gaat wordt het afgeraden met zo'n vinger te sporten en het stoten in het dagelijks leven te vermijden. Het is dus niet van belang dat de spalk grote buigbelastingen kan verduren, gezien deze vermeden moeten worden. De spalk moet stevig genoeg zijn om eventuele stoten te kunnen weerstaan.

Omdat er geen dusdanig grote buigbelastingen worden verwacht biedt het tape naar inzicht voldoende weerstand.

Uit de test komt voort dat het conceptuele eindontwerp een hoger moment tegen buigen heeft dan de Stack spalk. Gezien de Stack spalk zich over de jaren heeft bewezen als betrouwbare en stevige spalk wordt de bewering versterkt dat het conceptuele eindontwerp zich in combinatie met tape goed zal houden in het dagelijks leven.

Het ontwerp van het eindontwerp zoals deze in het kopje vormgeving is beschreven is de ideale vorm voor deze spalk. De vinger kan zo ver worden ge(hyper)extendeert als nodig is. De laterale zijden zorgen voor een groot moment tegen buiging. Deze lopen ver naar palmar rond het DIP gewricht, maar in mindere mate bij de uiteinden. Dit komt doordat het buigmoment rond het DIP gewricht stukken groter is dan aan de uiteinden.

Er zijn twee goede thermoplasten waarmee gewerkt kan worden. Deze hebben beide een zachte laag over het oppervlak, dit voelt prettig aan op de huid. In combinatie met de perforatie zorgt dit ervoor dat het zweet weg kan en dat er geen smetplekken ontstaan. Het dunne thermoplast is sterk geperforeerd, dit bevordert de luchtverfrissing tussen de huid en de spalk. Dit is minder het geval bij de dikke spalk gezien deze een stuk minder is geperforeerd. Er is berekend dat de zwakke plek van de spalk het tape is. Hierdoor zijn beide thermoplasten even goed voor het doeleinde. De dunne thermoplast is echter meer geperforeerd en is dunner. Hierdoor steekt deze minder uit ten opzichte van de huid en de grote perforatie zorgt voor een goede luchtverversing.

De dunne thermoplast heeft dus betere eigenschappen voor dit doeleinde.

Conclusie

Het eindontwerp heeft een radicaal ander ontwerp dan de Stack spalk. Waarbij de Stack spalk een zeer lomp stuk plastic is dat om de vinger geschoven moet worden, is het eindontwerp een spalk gemaakt van dunne thermoplast die aansluit op de vinger.

Het thermoplast zorgt ervoor dat de spalk naar de vorm van de vinger kan worden gemaakt. Hierdoor worden de drukpunten over grote oppervlakken verdeeld. Doordat het thermoplast zeer fijn is geperforeerd kan de huid goed ademen waardoor eventuele smetplekken kunnen worden voorkomen. Doordat de palmaire zijde van de vinger slechts bedekt is met tape zorgt dit ervoor dat de vinger gebruikt kan worden om gemakkelijk ondergronden af te tasten.

De mate van extensie van de vinger kan ook worden bepaald met deze spalk. Elke vinger kan in zijn meest geëxtendeerde of hyperextenderende stand worden gezet om zo een optimale genezing te kunnen waarborgen. Doordat de vinger in zijn grootst mogelijke extensie/hyperextensie wordt gehouden, zitten de uiteinden van de breuken zo dicht mogelijk bij elkaar. Dit zou kunnen resulteren in een kortere genezingsperiode.

Uit de analyse is naar voren gekomen dat er na revalidatie een extensieverlies voor komt van 5° tot 20° in het DIP gewricht. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat de Stack spalk de vinger niet genoeg extendeert of hyperextendeert. Hierdoor zit er een ruimte tussen de breuken die moet worden opgevuld met littekenweefsel. Dit resulteert in effectief langere laterale slippen waardoor er een verlies van extensie optreedt in het DIP gewricht. Met het conceptuele eindontwerp kan er worden gezorgd dat het DIP gewricht zo ge(hyper)extendeert mogelijk staat, waardoor het extensieverlies tot een minimum kan worden beperkt.

De spalk is echter niet in staat om de berekende piekkracht tegen buiging te kunnen weerstaan. Dit komt omdat het circulaire tape scheurt bij een dusdanig grote belasting. De spalk weet echter meer drukkracht te weerstaan dan dat de Stack spalk aan kon met eenzelfde tape. Dit betekent dat, ondanks dat de spalk zelf zeer stevig is, deze niet bestand is tegen eventuele harde stoten.

Als voortzetting van dit onderzoek zal dit concept moeten worden getest. Uit deze testen zal naar voren komen of het eindontwerp eenzelfde genezingskans biedt als de Stack spalk. Hierbij zal gekeken kunnen worden naar de mate van extensieverlies.

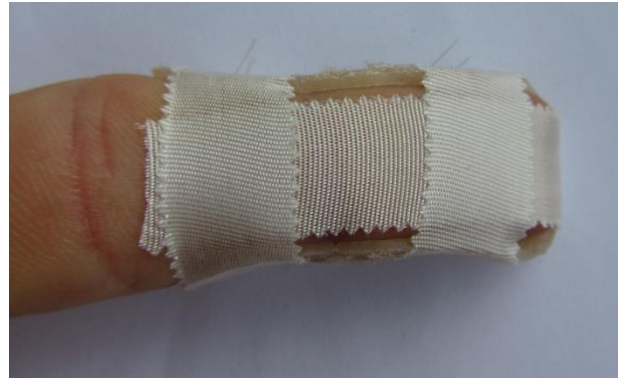
Eindontwerp

Het eindontwerp is te zien in afbeeldingen 37, 38 en 39. Deze is tot stand gekomen door alle goede eigenschappen van concept 3 te behouden en andere gedeeltes te verbeteren.

De spalk wordt gemaakt van thermoplast met een dikte van 1,75 mm met een zeer fijne perforatie.

De spalk loopt over de dorsale zijde van de vinger. Deze begint vanaf de meest distale huidplooi boven het PIP gewricht en steekt aan het uiteinde iets uit ten opzichte van de vinger. Aan de laterale zijden gaat de spalk tot vrij palmair door rond het DIP gewricht. De laterale zijden worden kleiner bij de uiteinden van de spalk omdat het buigmoment hier minder groot is dan bij het DIP gewricht. Er moet worden gezorgd dat wanneer de vinger plat op een oppervlak wordt gelegd, de spalk deze niet raakt.

De spalk wordt aan de vinger bevestigd door middel van drie stroken tape. Het eerste tape wordt aan de dorsale zijde van de spalk geplakt in de lengterichting. Deze loopt vervolgens over de vingertop en aan de palmaire zijde weer terug tot aan het PIP gewricht. Vervolgens wordt er een circulair tape aangebracht aan het proximale uiteinde van de spalk. Hierop moet worden gelet dat deze aan de palmaire zijde niet in het PIP gewricht snijdt. Het laatste tape is een circulair tape dat ter hoogte van de basis van de distale phalanx wordt geplakt.



Afbeelding 37: Eindontwerp van palmair.



Afbeelding 38: Eindontwerp van lateraal.



Afbeelding 39: Eindontwerp van dorsaal.

Literatuurlijst

- 01) Yeo, C., Sebastin, S., & Chong, A. (2010). Fingertip injuries. *Singapore Med*, pp. 78-87.
- 02) Oetgen, M. E., & Dodds, S. D. (2007, December 11). Non-operative Treatment of common finger injuries. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, pp. 97-102.
- 03) Cheung, K., Hatchell, A., & Thoma, A. (2013, Juni-Juli). Approach to traumatic hand injuries for primary care physicians. *Canadian Family Physician*, 59, pp. 614-618.
- 04) Anderson, D. (2011, Januari-Februari). Mallet finger, Management and patient compliance. *Australian Family Physician*, 40, pp. 47-48.
- 05) Handoll, H., & Vaghela, M. (2004). Interventions for treating mallet finger injuries (Review). *The Cochrane Library*(3).
- 06) Leggit, J. C., & Meko, C. J. (2006, Maart 1). Acute Finger Injuries: Part I. Tendons and Ligaments. *American Family Physician*, 73, pp. 810-816.
- 07) Cheung, J. P., Fung, B., & Ip, W. Y. (2012). Review on mallet finger treatment. *Hand Surgery*, pp. 439-447. doi:10.1142/S0218810412300033
- 08) Gerritsen, B. J., & Heerkens, Y. F. (2008). *Anatomie in vivo van het bewegingsapparaat*. Elsevier Gezondheidszorg.
- 09) Putz, R., & Pabst, R. (2006). *Sabotta, Atlas van de menselijke anatomie. Deel 1, Hoofd, hals, bovenste extremiteit*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum.
- 10) Riezebos, C. (2005). Vingers: koppelingen tussen structuren en functies. *Versus, tijdschrift voor fysiotherapie*(3), 150-183.
- 11) Alexander, B., & Viktor, K. (2010). Proportions of hand segments. *Int. J. Morphol*, 28(3), 755-758.
- 12) Burgerhour, W., Mook, G., Morree, J., & Zijlstra, W. (2006). *Fysiologie, Leerboek voor paramedische opleidingen*. Maarssen: Elsevier Gezondheidszorg.

Bijlagen

Bijlage 1

Gegeven formules:

$$E(kin) = \frac{1}{2} m * v^2$$

$$E = m * a * s$$

$$F = m * a$$

Samenvoegen:

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2 = m * a * s$$

Samenvoegen:

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2 = F * s$$

Vereenvoudigen:

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2 = F * s$$

$$\frac{1}{2} * m * v^2 = F * s$$

Omschrijven:

$$F = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{s}$$

Bijlage 2

Gegeven formules:

$$Vt = V0 - a * t$$

$$St = V0 * t - \frac{1}{2} * a * t^2$$

Omschrijven:

$$Vt = V0 - a * t \rightarrow t = \frac{V0 - Vt}{a}$$

Samenvoegen:

$$St = V0 * \left(\frac{V0 - Vt}{a} \right) - \frac{1}{2} * a * \left(\frac{V0 - Vt}{a} \right)^2$$

Vereenvoudigen:

$$St = V0 * \left(\frac{V0 - Vt}{a} \right) - \frac{1}{2} * a * \left(\frac{V0^2 - V0Vt - V0Vt + Vt^2}{a^2} \right)$$

$$St = V0 * \left(\frac{V0 - Vt}{a} \right) - \frac{1}{2} * \left(\frac{V0^2 - V0Vt - V0Vt + Vt^2}{a} \right)$$

$$St = \left(\frac{V0^2 - V0Vt}{a} \right) - \left(\frac{\frac{1}{2} * V0^2 - \frac{1}{2} * V0Vt - \frac{1}{2} * V0Vt + \frac{1}{2} * Vt^2}{a} \right)$$

$$St = \frac{V0^2 - V0Vt}{a} - \frac{\frac{1}{2} * V0^2 - \frac{1}{2} * V0Vt - \frac{1}{2} * V0Vt + \frac{1}{2} * Vt^2}{a}$$

$$St = \frac{V0^2 - V0Vt - \frac{1}{2} * V0^2 + \frac{1}{2} * V0Vt + \frac{1}{2} * V0Vt - \frac{1}{2} * Vt^2}{a}$$

$$St = \frac{V0^2 - \frac{1}{2} * V0^2 - \frac{1}{2} * Vt^2}{a}$$

$$St = \frac{\frac{1}{2} * V0^2 - \frac{1}{2} * Vt^2}{a}$$

Omschrijven:

$$a = \frac{\frac{1}{2} * V0^2 - \frac{1}{2} * Vt^2}{St}$$

Vereenvoudigen:

$$a = \frac{V0^2 - Vt^2}{2 * St}$$