

DE BENODIGDE KNIJPKRACHTEN VOOR DAGELIJKSE TWEEHANDIGE TAKEN BIJ HET GEBRUIK VAN EEN LICHAAMSBEKRACHTIGDE ARMPROTHESE

Uijlenbroek, JM.(2014) Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool. In samenwerking met 3ME, Technische Universiteit Delft.

Samenvatting

Aanleiding: In Nederland wijzen 45% van de mensen die in aanmerking komen voor een armprothese de prothese af. De prothesen voldoen niet aan de eisen van de gebruikers. Zo worden lichaamsbekrachtigde armprothesen afgewezen omdat het uitvoeren van dagelijkse handelingen veel kracht kost voor de gebruiker.

Doel: Door de knijpkracht te bepalen die nodig is voor dagelijkse handelingen bij het gebruik van een lichaamsbekrachtigde armprothese wordt er meer bekend over de output die haalbaar moet zijn met een armprothese. Vervolgens kunnen prothesen worden aangepast, zodat de te benodigde knijpkrachten op een efficiëntere manier worden behaald.

Methode: 15 proefpersonen (8 mannen, 7 vrouwen, $23\text{ j} \pm 2$) hebben het prothesegebruik nagebootst met een prothesesimulator. Met rekstrookjes (FCA-1-111) is de knijpkracht voor de TRS VC Hook Grip 2SS en de Otto Bock VC 8K24(L) size 7 $\frac{3}{4}$ + binnenhandschoen bepaald. Dit werd gedaan voor 12 tweehandige taken.

Resultaten: De range van knijpkrachten voor dagelijkse handelingen ligt tussen 5.4 N (openen van een cremepotje) en 31.8 N (voor het aantrekken van een sport sok). De onderlinge verschillen tussen de Otto Bock hand en TRS-haak zijn op het gebied van benodigde knijpkrachten minimaal.

Conclusie: Wanneer men wat wil doen aan het hoge percentage afwijzingen van de lichaamsbekrachtigde armprothesen. Dan moet er voor worden gezorgd dat er met weinig activatiekrachten eenvoudig knijpkrachten tot 32 N kunnen worden gerealiseerd met de prothese.

Inleiding

In Nederland komt 1 op de 4480 inwoners in aanmerking voor een armprothese. Van deze groep gebruikt slechts 55% daadwerkelijk een armprothese [1,2]. Dit is weinig want in een ideale situatie zouden 100% van de mensen die in aanmerking komen voor een armprothese, een armprothese dragen. Een hoog percentage gebruikers betekent namelijk dat de prothesen voldoen aan de verwachtingen van de gebruikers. Dit is momenteel dus niet het geval. De groep die de prothese afwijst heeft hiervoor verschillende redenen. De redenen zijn echter meestal te groeperen in de drie C's: cosmetica, comfort en controle [3]. Een prothese moet er goed uitzien, comfortabel zitten en handelingen moeten eenvoudig uitgevoerd kunnen worden met de armprothese.

Wanneer een armprothese niet voldoet aan één of meerdere van deze eigenschappen dan wordt de armprothese afgewezen.

Lichaamsbekrachtigde armprothesen zijn prothesen die worden getypeerd door de controle die de gebruiker heeft over de armprothese. Doordat de armprothese via een bedieningskabel is verbonden aan een schouderharnas is het mogelijk om de armprothese aan te sturen door middel van eigen lichaamsbewegingen. Anteflexie van de arm aan de prothesekant, abductie van de arm aan de contralaterale kant of protractie van de schoudergordel aan contralaterale kant doen de prothese openen of sluiten. Ten opzichte van andere prothesen heeft een lichaamsbekrachtigde armprothese het voordeel dat er proprioceptieve feedback over de openingsstand en knijpkracht kan worden verkregen door de gebruiker [4]. Doordat de gebruiker meer controle heeft over de prothese zou de lichaamsbekrachtigde prothese in theorie veel beter zijn in het dagelijks gebruik dan andere prothesen.

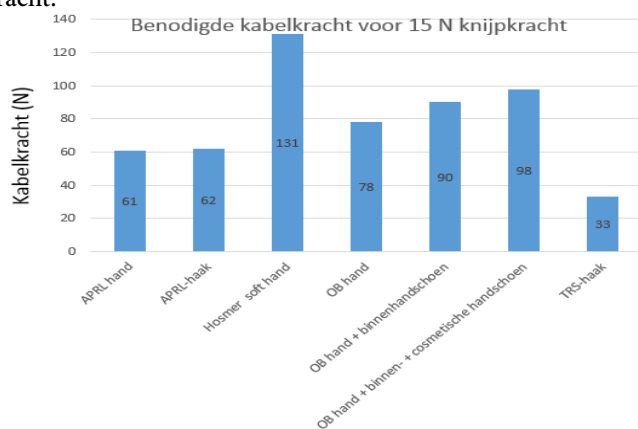
Het percentage afwijzingen van lichaamsbekrachtigde armprothesen is echter niet zo groot als bij andere prothesen [1]. Dit betekent dat blijkbaar ook de lichaamsbekrachtigde armprothesen niet naar behoren voldoen aan de verwachtingen van de prothesegebruikers. Een lichaamsbekrachtigde armprothese is effectief wanneer voorwerpen kunnen worden gegrepen met de prothese. De lichaamsbekrachtigde armprothesen die op dit moment worden gebruikt stellen de gebruiker in staat dit te doen. De manier waarop dit gebeurt is echter niet efficiënt. Voor het grijpen, verplaatsen en manipuleren van een voorwerp is knijpkracht nodig. De activatiekracht (input) die nodig is om deze knijpkracht (output) te realiseren is vaak te groot [3]. Het gevolg van een inefficiënte armprothese is dat de gebruiker snel vermoeid raakt of dat de prothese als oncomfortabel wordt ervaren. Dit leidt tot een hoog percentage afwijzingen [1].

Het doel van dit onderzoek is om een range van knijpkrachten te bepalen die nodig is voor het uitvoeren van dagelijkse tweehandige handelingen, bij het gebruik van een lichaamsbekrachtigde armprothese. De informatie die de range van knijpkrachten geeft is van belang bij het ontwerpen of herontwerpen van een handprothese. Wanneer vaststaat wat voor knijpkrachten er nodig zijn kan de prothese zo worden ontworpen dat dit op een efficiënte manier tot stand komt.

Op het moment is er nog vrijwel geen onderzoek gedaan naar de knijpkrachten die nodig zijn voor het uitvoeren van dagelijkse handelingen met een armprothese. Het laatste onderzoek dateert uit 1947 [5]. Dit onderzoek geeft aan dat een maximale knijpkracht van 34 N nodig is voor het aantrekken van een sok. Het herhalen van dit onderzoek is echter onmogelijk doordat de gebruikte methode onduidelijk is weergegeven.

Daarnaast is er eerder onderzoek gedaan naar knijpkrachten van de menselijke hand in dagelijkse handelingen, na het revalideren van een operatie. De patiënten werden getest op de knijpkracht die ze gebruikten bij functionele handelingen. De knijpkrachten van die gemeten handelingen liggen tussen de 1.4 N en 31.4 N [6]. Door onder andere verschil in contactoppervlak en aangrijpingspunten van de gezonde hand en de prothesehand, is het echter niet mogelijk om de knijpkrachten van de gezonde hand voor een armprothese te interpreteren.

In dit onderzoek zullen de knijpkrachten die nodig zijn bij dagelijkse handelingen, voor de Otto Bock hand en de TRS-haak, worden gemeten. Beide zijn twee actief sluitende protheses. Een actief sluitende armprothese zal sluiten bij activering via de bedieningskabel. Dit is te vergelijken met de werking van een pincet. De Otto Bock hand en de TRS-haak worden gebruikt omdat deze protheses voorhanden waren voor dit onderzoek. Het voordeel dat deze twee protheses met zich mee brengen volgt uit eerder onderzoek. Uit eerder onderzoek naar de activatiekracht die nodig is om 15N knijpkracht te realiseren blijkt dat de Otto Bock hand na de Hosmer hand (deze prothese was niet beschikbaar) één van de minst efficiënte lichaamsbekrachtigde armprotheses is en de TRS-haak de meest efficiënte armprothese is [3]. In figuur 1 is te zien dat bij een knijpkracht van 15N de TRS-haak 33N kabelkracht nodig is. Terwijl er bij de Otto Bock hand voorzien van binnenhandschoenen ruim 90N activatiekracht nodig is om 15N knijpkracht te realiseren. Door te meten met een efficiënte en een minder efficiënte prothese wordt duidelijk of het soort prothese invloed heeft op de grootte van de knijpkracht.



Figuur 1: De activatiekracht voor diverse actief sluitende handprotheses voor het realiseren van 15N knijpkracht. In dit onderzoek worden de OB hand+ binnenhandschoenen en de TRS-haak gebruikt.

De hoofdvraag van dit onderzoek: "Welke knijpkrachten moet een prothesegebruiker kunnen realiseren met zijn handprothese om goed te kunnen functioneren in dagelijkse tweehandige taken?" leidt tot een range van knijpkrachten. Deze range van knijpkrachten wordt bepaald door te kijken naar de kleinst en grootst gemeten knijpkracht uit de metingen. Tevens zullen de TRS-haak en de Otto Bock hand onderling met elkaar worden vergeleken om te kijken of het gebruik van een bepaalde prothese leidt tot verschillende knijpkrachten.

Methode

Proefpersonen en meetprotocol

Voor dit onderzoek zijn 15 studenten (8 mannen, 7 vrouwen 23 ± 2) gemeten. Alle proefpersonen waren rechtshandig en zijn dus getest op hun slechte hand (er werd gebruik gemaakt van een linker Otto Bock hand). Daarnaast ondervonden de proefpersonen geen neurologische of motorische problemen aan de bovenste extremititeit of torso.

De gemeten handelingen zijn een greep uit dagelijkse tweehandige handelingen. De handelingen zijn een selectie uit een lijst met functionele tweehandige handelingen die door ergotherapeuten worden gebruikt om kinderen met een aangedane hand te testen in het functioneren bij tweehandige handelingen [7]. De gemeten handelingen zijn:

- 1) Het afscheuren van een stuk van 50mm sporttape.
- 2) Het openen van een hangslotje.
- 3) Het verwijderen van een dop met kinderslot van een potje pillen.
- 4) Het verwijderen van een deksel van een bak roomijs.
- 5) Het slijpen van een potlood met een puntenslijper.
- 6) Een tandenborstel voorzien van tandpasta.
- 7) Een gevulde limonadefles openen.
- 8) Het openen van een klein potje crème.
- 9) Het inschenken van een plastic bekertje.
- 10) Een pasje uit een portemonnee halen.
- 11) Het aantrekken van een sportsok.
- 12) Het volledig pellen van een mandarijn.*

Specificaties van de handelingen zijn te vinden in bijlage I

De volgorde van de handelingen zijn per meting via randomisatie bepaald. Voor de start van iedere handeling bevonden het te gebruiken voorwerp, de gebruikte prothese en de hand van de proefpersoon zich op het bureau. Dit was de ruststand, de stand die na iedere uitvoering weer werd gerealiseerd. Vervolgens kreeg de proefpersoon de instructie hoe de handeling moest verlopen:

Uitvoeren van de handeling op eigen gekozen tempo: Na instructie van de onderzoeker voert de proefpersoon de handeling, vanuit ruststand, op eigen gekozen tempo uit. Wanneer de handeling volgens instructie is verlopen wordt de rustpositie weer hersteld. Vervolgens wordt de handeling nog vier maal herhaald.

Zo snel mogelijk uitvoeren: Na instructie van de onderzoeker voert de proefpersoon de handeling, vanuit ruststand, zo snel mogelijk uit. Dit wordt in totaal vijf maal gedaan, waarbij na elke herhaling de ruststand weer wordt bereikt.

Zo min mogelijk kracht: Na instructie van de onderzoeker voert de proefpersoon de handeling, vanuit ruststand, zo nauwkeurig mogelijk uit. Dit houdt in dat de proefpersoon zo min mogelijk kracht probeert te gebruiken voor het uitvoeren van de handeling. Dit brengt doorgaans een lagere snelheid met zich mee [6].

Iedere handeling werd uitgevoerd totdat het op iedere manier 5 maal correct werd uitgevoerd. Het volledige meetprotocol is te vinden in bijlage II.

* Voor het pellen van de mandarijn is slechts 1 herhaling op normaal tempo uitgevoerd per prothese.

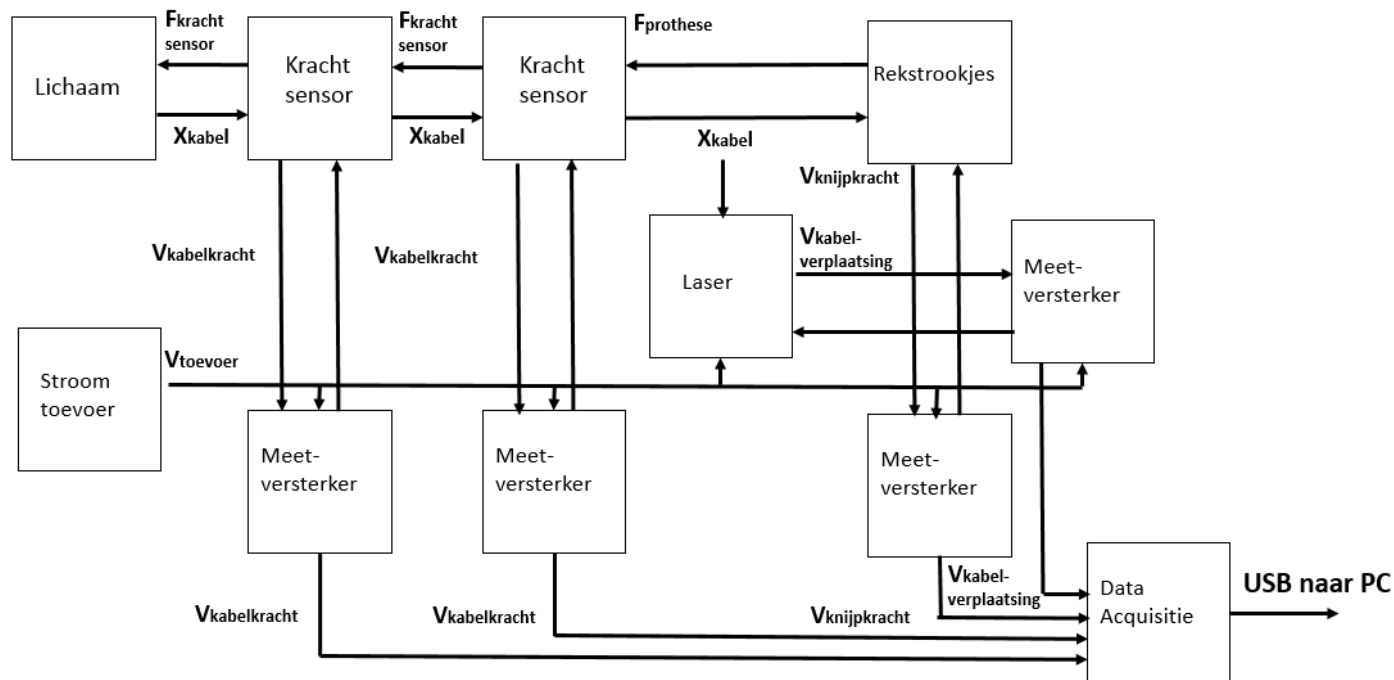
Er is tijdens dit onderzoek getest met een actief sluitende haak- en handprothese. De haakprothese is de aangepaste *TRS VC Hook Grip 2SS*. De duim van de haak is aangepast zodat er meer buiging optreedt dan in het origineel. Zo was het mogelijk met *rekstrookjes* (FCA-1-111) de knijpkrachten te bepalen. De tweede prothese is de *Otto Bock VC 8K24(L) size 7 ¾+ binnenhandschoen*. Ook bij deze prothese is de duim aangepast. Vervolgens werd de binnenhandschoen opengesneden om de prothese weer in de handschoen te kunnen plaatsen. Daarna is de handschoen geplakt om weer zijn oorspronkelijke functie te kunnen vervullen (bijlage III). Daarnaast is ook het *locking-mechanisme* verwijderd van de prothese [4]. Het locking-mechanisme zorgt er voor dat een bepaalde openingsstand van de prothese kan worden aangehouden zonder dat er kabelkracht dient te worden aangehouden. Deze functie belemmert echter de metingen doordat er voor het activeren en ontdoen van het locking-mechanisme verschil in de grootte van knijpkracht optreedt.

De prothesesimulator is een lengte verstelbare constructie gemaakt van thermoplast. De prothesesimulator bestaat uit twee onderarm kappen van thermoplast, daaraan zit een thermoplast U-profiel vast om de prothese te kunnen vastmaken. De elleboog van het proefpersoon wordt ondersteund door een kuipje van thermoplast. Hierdoor is pro- en supinatie van de onderarm niet meer mogelijk, hetgeen wat bij iemand met een armamputatie ook niet meer mogelijk is. (bijlage III)

Naast de knijpkrachten zijn er ook kabelkrachten en kabelverplaatsingen gemeten tijdens het onderzoek. Dit geeft de mogelijkheid om de verkregen data later in andere onderzoeken ook te kunnen gebruiken. Tevens geeft het tijdens data-analyse informatie over de knijpkrachten. Via een *Logitech 2MP C-600 webcam* zijn beelden vastgelegd van de metingen. In tabel 1 en figuur 2 is een schematisch overzicht te vinden van de complete meetopstelling.

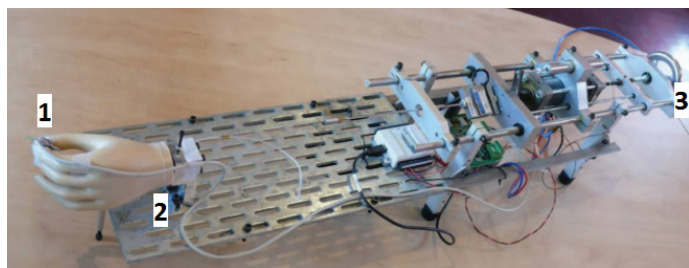
Tabel 1: Specificaties van de sensoren in de meetopstelling

Onderdeel	Omschrijving
Krachtsensor	S-Beam load cells 445N
Rekstrookjes	Strain gauges FCA-1-11
Laser	ILD 1300-20(000) laser displacement sensor 100mm
Meetversterker	Analog signal conditioner CPJ (board version)
Data-aquisitie	NI USB-6008: 12-Bit, 10ks/s Low-Cost Multifunction DAQ
Webcam	Logitech 2MP webcam C-600



Figuur 2: Schematisch overzicht meetopstelling: F=kracht, X=verplaatsing, V=volt, *webcam is niet weergegeven.

Voor het bepalen van de betrouwbaarheid en validiteit van de te meten knijpkrachten is een statische test op een trekbank uitgevoerd. De prothese werd ingeklemd op de trekbank [3]. Door het spannen van de kabel via het bedieningswiel sluit de prothese (figuur 3). De knijpkrachtsensor die tijdens de test werd gegrepen is voorafgaand aan de meting geijkt. De sensor is gegrepen totdat er 15N door de sensor werd waargenomen. Dit is 5 maal gebeurt voor openingsstanden van 10, 20 en 30 mm van de prothese.



figuur 3: Trekbank met 1=knijpkrachtsensor, 2= Otto Bock hand, 3= Bedieningswiel

Middels een Cronbach's alpha test in SPSS werd de ICC, de maat voor betrouwbaarheid, bepaald. Dit is gebeurd door per prothese alle 15 waarden voor de drie openingsstanden met elkaar te vergelijken. Waarbij is gekeken hoe homogeen de gemeten waardes zijn. In een ideale situatie zouden 15 gelijke waardes worden gemeten. Een ICC van ≥ 0.7 [8,9] betekent dat de knijpkrachten betrouwbaar zijn, en bij een herhaalde meting nog een keer zo worden gemeten.

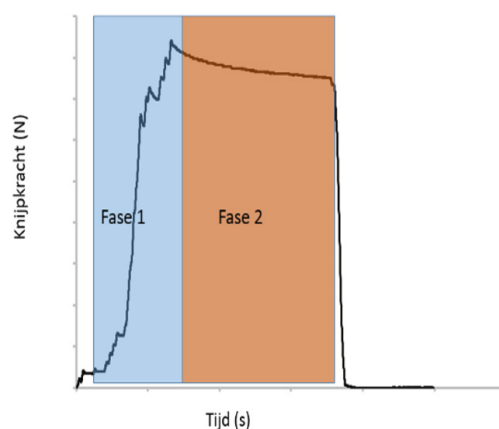
Voor het bepalen van de validiteit is het verband tussen de gemeten knijpkrachten tussen de knijpkrachtsensor en de prothese onderzocht. Dit is gedaan aan de hand van een Pearson test in SPSS. Er bestaat een verband tussen beide wanneer er een waarde die dicht bij 1 ligt wordt gevonden. Indien het getal echter dicht bij 0 ligt is er een hoge mate van correlatie, wat in dit geval betekent dat de gemeten knijpkrachten niet valide zijn.

Data-analyse

Uit trialmetingen is gebleken dat bij het aangrijpen op een voorwerp knijpkracht wordt gemeten alvorens het voorwerp daadwerkelijk is vastgepakt. Het ontstaan van deze knijpkracht komt voort uit de interne kracht die de handschoen levert op de hand en overwonnen moet worden wanneer de openingsstand van de hand kleiner wordt. Deze kracht is gemiddeld 4.2N (± 0.1). Voorafgaand aan de data-analyse is iedere bepaalde kracht daarom verminderd met 4.2N om tot een knijpkracht te komen.

Daarnaast is de data gefilterd met een *Butterworth filter* [10]. Uit trialmetingen bleek dat er ruis optrad in de signalen van de knijpkracht. Deze ruis ontstaat doordat de voltageverschillen die de rekstrookjes meten maximaal versterkt worden door de meetversterkers. Een lichte ruis heeft hierdoor een grotere impact dan wanneer er geen meetversterkers worden gebruikt. Door het gebruik van de low-pass filter is het signaal ontdaan van deze ruis. Met een cut-off van 20 Hz, werden snelheidsveranderingen die niet lichaamseigen zijn gefilterd [11,12].

Om te bepalen welke range van knijpkrachten nodig is in het vervullen van dagelijkse tweekhandige taken bij het gebruik van een lichaambekrachtigde handprothese waren een aantal waarden uit de meting van belang. De knijpkrachten die tijdens het grijpen, verplaatsen en manipuleren van een voorwerp worden gemeten kennen meerdere fases [6]. De eerste fase is de kracht die direct plaatsvindt tijdens het aangrijpen op het voorwerp, dit kenmerkt zich in een toename van de knijpkracht. Van belang was om te na te gaan of de maximale waarde van deze toename in de knijpkracht een overschatting van de benodigde knijpkracht voor de handeling was. De tweede fase in het signaal van de knijpkracht is de daadwerkelijk benodigde knijpkracht voor de handeling. Fase 2 komt ten einde wanneer de handeling is voltooid en dit is het moment wanneer een grote afname in het signaal van de knijpkracht ontstaat. Op dit moment opent het proefpersoon de prothese. In figuur 5 is schematisch te zien hoe de knijpkrachten tijdens een handeling verlopen.



figuur 5: Schematische weergave van de knijpkracht. Met in fase 1 de maximale piek van de knijpkracht. Wat een overschatting van de handeling is. In fase 2 is de gemiddeld benodigde knijpkracht voor de handeling te zien.

Met de verzamelde knijpkrachten van alle proefpersonen zijn de volgende krachten bepaald:

- De gemiddelde piek in de knijpkrachten (fase 1). Voor iedere handeling is per meetmethode voor beide prothesen de hoogste piek bepaald.
- De gemiddelde benodigde knijpkracht (fase 2). Voor iedere handeling per meetmethode voor beide prothesen.
- Vervolgens geeft het verschil tussen de piek in de knijpkracht en de benodigde knijpkracht de overschatting weer van de handeling weer.

De uiteindelijk range van knijpkrachten die een prothesegebruiker moet kunnen realiseren is als volgt bepaald. De ondergrens van de range is de gemiddelde knijpkracht over alle proefpersonen, voor de lichtst gebleken handeling. Gemeten bij één van de twee prothesen bij de lichtst gebleken meetmethode. De bovengrens van de range is de gemiddelde piek van de knijpkracht voor de zwaarst gebleken handeling. Gemeten bij één van de twee prothesen bij de zwaarst gebleken meetmethode.

Resultaten

Betrouwbaarheid en validiteit

De betrouwbaarheid voor de knijpkracht gemeten door de Otto Bock hand heeft een ICC= 0.81. De knijpkracht gemeten door de TRS-haak heeft een ICC= 0.73. Voor beide protheses blijkt een sterk verband te bestaan tussen de knijpkracht die is bepaald door de knijpkrachtsensor en de knijpkracht die is bepaald door de protheses. Voor de Otto-Bock hand $r=0.87$ en de TRS-haak $r=0.80$.

Gemiddelde knijpkrachten per prothese

Tabel 2: De gemiddelde piek in de knijpkracht en de gemiddelde benodigde knijpkracht per handeling voor de Otto Bock hand. De kracht per handeling komt tot stand door de 5 herhalingen per meetmethode voor alle proefpersonen bij elkaar te middelen. Voor het pellen van de mandarijn geldt dit niet, hier is het gemiddelde over één herhaling van alle proefpersonen bij elkaar genomen.

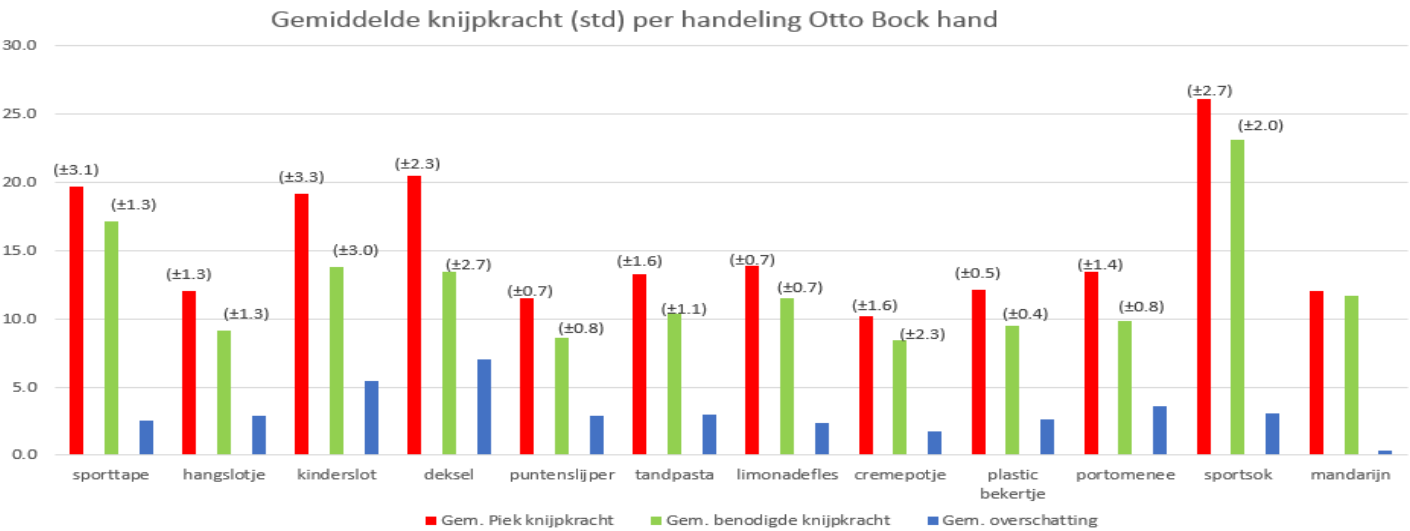
Otto Bock hand

Handeling	Gemiddelde piek in de knijpkracht (N) (Std)			Gemiddelde benodigde knijpkracht (N) (Std)		
	Normaal	Nauwkeurig	Snel	Normaal	Nauwkeurig	Snel
Het afscheuren van een stuk sporttape.	20.2 (±0.8)	15.6 (±1.0)	23.2 (±1.6)	18.8 (±1.0)	15.7 (±1.9)	16.8 (±0.3)
Het openen van een hangslotje.	12.1 (±0.9)	10.4 (±0.3)	13.6 (±0.7)	8.8 (±0.6)	7.8 (±0.4)	10.9 (±0.6)
Het verwijderen van een dop met kinderslot van een potje pillen.	21.5 (±0.9)	14.6 (±1.3)	21.5 (±0.9)	15.0 (±2.0)	9.6 (±0.9)	16.7 (±0.5)
Het verwijderen van een deksel van een bak roomijs.	19.7 (±0.6)	18.1 (±1.2)	23.5 (±1.4)	13.3 (±0.7)	10.1 (±0.4)	16.8 (±0.4)
Het slijpen van een potlood met een puntenslijper.	12.0 (±0.6)	10.5 (±0.5)	12.0 (±0.6)	9.0 (±0.4)	7.5 (±0.5)	9.3 (±0.5)
Een tandenborstel voorzien van tandpasta.	14.3 (±0.5)	11.0 (±0.8)	14.6 (±1.3)	10.1 (±0.4)	9.1 (±0.5)	11.8 (±1.1)
Een gevulde limonadefles openen.	13.7 (±1.2)	13.2 (±1.2)	14.8 (±0.4)	11.2 (±1.0)	10.9 (±1.3)	12.5 (±0.4)
Het openen van een klein potje crème.	10.3 (±1.0)	8.2 (±0.3)	12.1 (±0.6)	8.5 (±0.5)	5.6 (±0.2)	11.3 (±0.2)
Het inschenken van een plastic bekertje.	11.9 (±0.8)	11.6 (±0.6)	12.8 (±1.9)	8.9 (±0.9)	9.5 (±0.3)	10.0 (±0.4)
Een pasje uit een portemonnee halen.	13.6 (±1.6)	11.6 (±0.9)	15.1 (±0.9)	9.6 (±0.9)	9.0 (±1.0)	10.9 (±1.3)
Het aantrekken van een sportsok.	26.8 (±1.7)	22.6 (±1.2)	29.0 (2.8)	23.1 (±1.3)	20.6 (±1.6)	25.6 (±2.3)
Het volledig pellen van een mandarijn.	12.0 (±1.2)			11.7 (±1.0)		

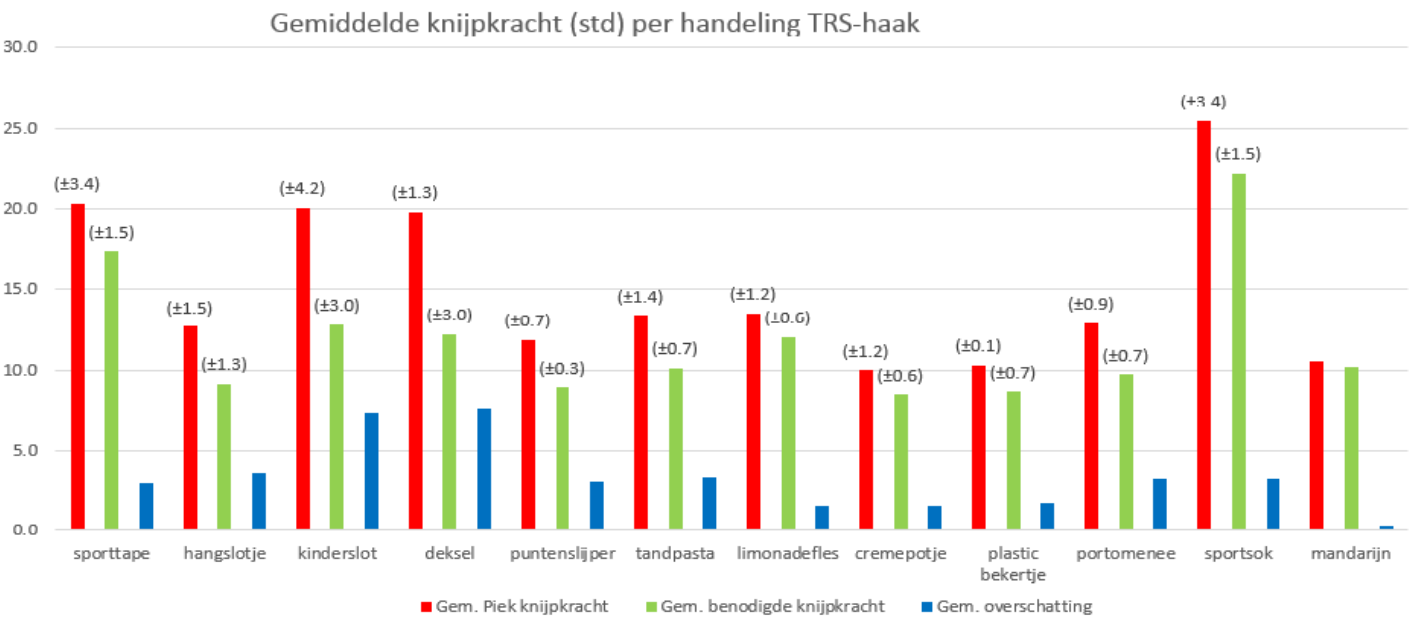
Tabel 3: De gemiddelde piek in de knijpkracht en de gemiddelde benodigde knijpkracht per handeling voor de TRS-haak. De kracht per handeling komt tot stand door de 5 herhalingen per meetmethode voor alle proefpersonen bij elkaar te middelen. Voor het pellen van de mandarijn geldt dit niet, hier is het gemiddelde over één herhaling van alle proefpersonen bij elkaar genomen.

TRS-haak

Handeling	Gemiddelde piek in de knijpkracht (N) (Std)			Gemiddelde benodigde knijpkracht (N) (Std)		
	Normaal	Nauwkeurig	Snel	Normaal	Nauwkeurig	Snel
Het afscheuren van een stuk sporttape.	21.4 (±0.2)	15.8 (±0.9)	23.8 (±1.2)	18.4 (±1.2)	15.2 (±1.4)	18.5 (±0.9)
Het openen van een hangslotje.	13.1 (±0.4)	10.7 (±0.6)	14.2 (±0.7)	8.8 (±0.6)	7.8 (±0.4)	10.9 (±0.6)
Het verwijderen van een dop met kinderslot van een potje pillen.	21.3 (±0.4)	14.4 (±1.6)	24.5 (±1.3)	14.0 (±1.3)	8.6 (±1.2)	15.7 (±0.5)
Het verwijderen van een deksel van een bak roomijs.	19.7 (±0.9)	18.2 (±1.0)	21.5 (±1.2)	11.3 (±0.4)	9.1 (±0.8)	16.2 (±0.6)
Het slijpen van een potlood met een puntenslijper.	12.6 (±0.3)	10.9 (±0.7)	12.1 (±0.8)	9.0 (±0.8)	8.5 (±0.4)	9.1 (±0.7)
Een tandenborstel voorzien van tandpasta.	14.1 (±0.3)	11.4 (±0.6)	14.6 (±0.2)	10.8 (±0.4)	9.1 (±0.6)	10.4 (±1.2)
Een gevulde limonadefles openen.	13.2 (±1.4)	12.2 (±1.4)	15.2 (±0.9)	12.2 (±1.1)	11.2 (±1.3)	12.6 (±0.8)
Het openen van een klein potje crème.	10.1 (±1.1)	8.4 (±0.6)	11.4 (±0.6)	8.3 (±0.7)	7.7 (±0.4)	9.2 (±0.5)
Het inschenken van een plastic bekertje.	10.4 (±0.5)	10.1 (±0.2)	10.4 (±1.0)	8.2 (±0.9)	8.1 (±0.8)	9.6 (±0.9)
Een pasje uit een portemonnee halen.	13.2 (±1.1)	11.6 (±0.5)	13.8 (±0.6)	9.4 (±0.7)	9.0 (±0.8)	10.7 (±1.1)
Het aantrekken van een sportsok.	27.8 (±1.2)	20.6 (±1.4)	27.9 (1.9)	23.0 (±1.1)	20.1 (±1.2)	23.6 (±2.1)
Het volledig pellen van een mandarijn.	10.5 (±1.1)			10.2 (±0.9)		

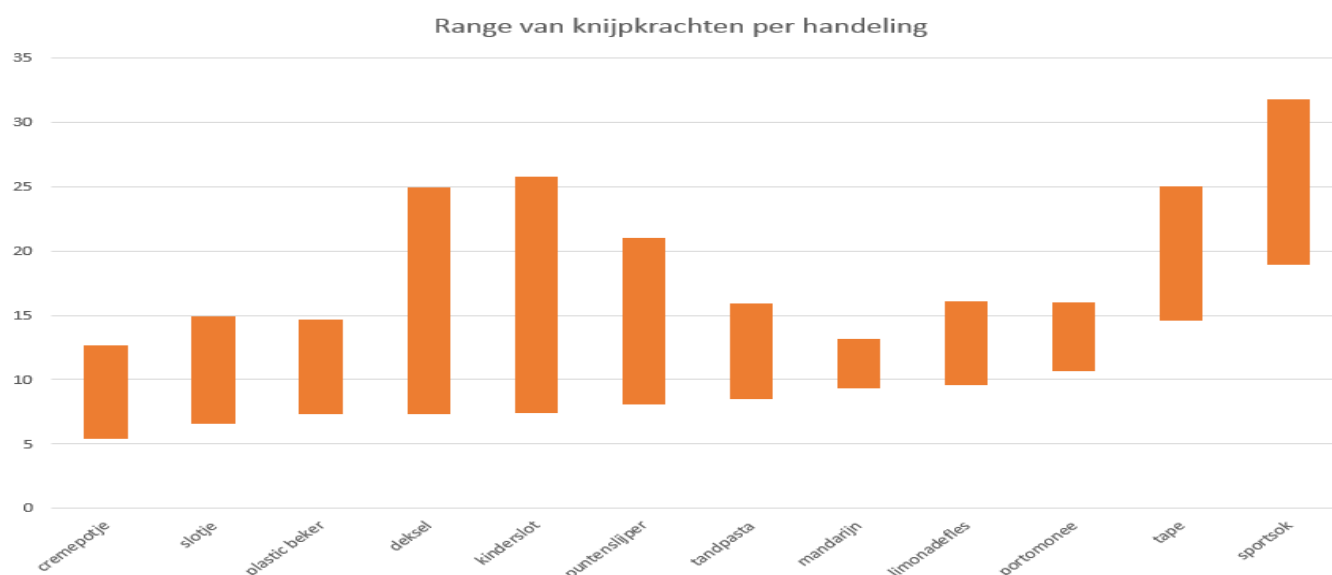


figuur 6: gemiddelde knijpkrachten per handeling voor de Otto Bock hand. Het gemiddelde komt tot stand door de drie meetmethodes (normaal, zo min mogelijk kracht, zo snel mogelijk) van alle proefpersonen bij elkaar te nemen. De gemiddelde overschatting is het verschil tussen de gemiddelde piek van de knijpkracht en de gemiddelde benodigde knijpkracht.



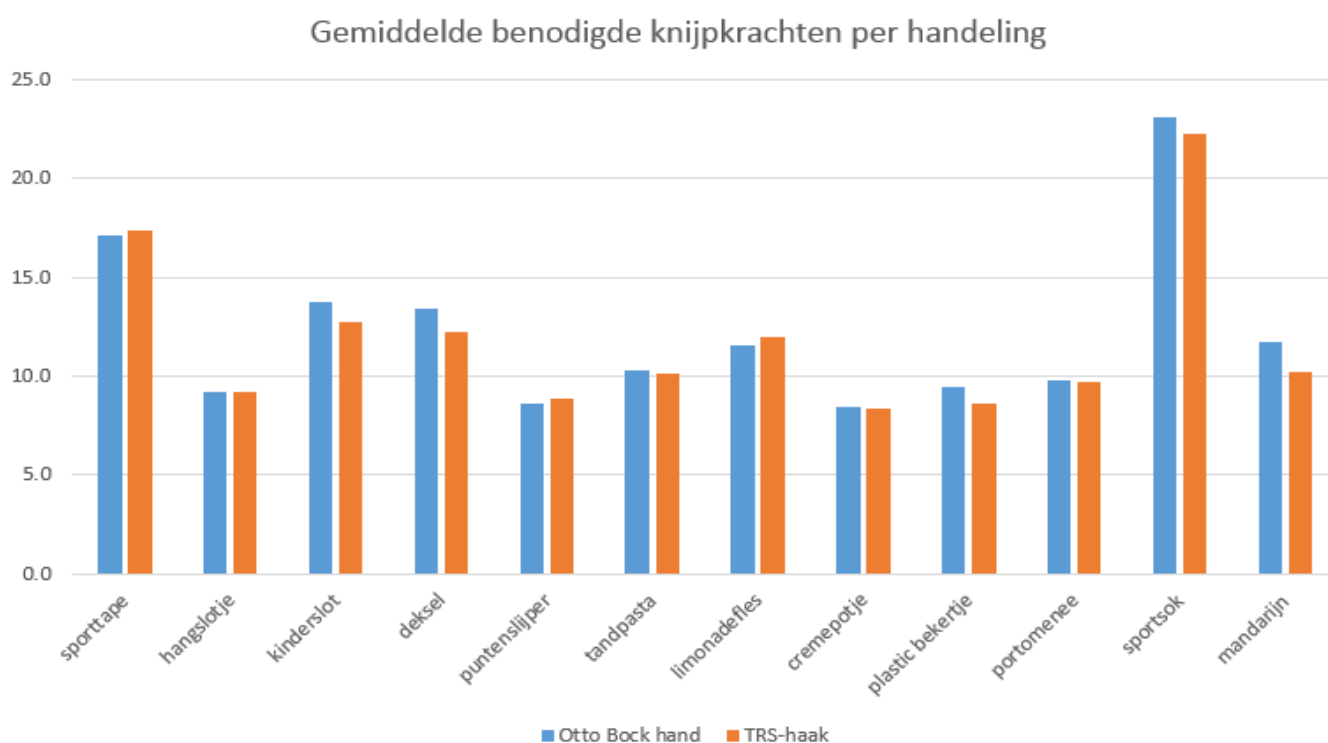
figuur 7: gemiddelde knijpkrachten per handeling voor de TRS-haak. Het gemiddelde komt tot stand door de drie meetmethodes (normaal, zo min mogelijk kracht, zo snel mogelijk) van alle proefpersonen bij elkaar te nemen. De gemiddelde overschatting is het verschil tussen de gemiddelde piek van de knijpkracht en de gemiddelde benodigde knijpkracht.

Totale range van knijpkrachten per handeling



figuur 8: Totale range van knijpkrachten per handeling. De range komt tot stand door de gemiddeldes van beide protheses bij elkaar te nemen. Per handeling wordt de range gevormd door het laagste gemiddelde voor de handeling (benodigde knijpkracht voor het nauwkeurig uitvoeren van een handeling) als ondergrens van de range. De bovengrens van de range bestaat uit het hoogst gemeten gemiddelde (de piek van de knijpkracht voor het zo snel mogelijk uitvoeren van een handeling).

Gemiddelde benodigde knijpkrachten voor beide protheses



figuur 9: De gemiddelde benodigde knijpkrachten van beide protheses naast elkaar. Waardoor het verschil tussen beide protheses is te zien.

Discussie

Betrouwbaarheid en validiteit

Met een ICC= 0.81 voor de Otto Bock hand en ICC= 0.73 voor de TRS-haak kan worden gesteld dat bij een herhaling van de meting dezelfde waardes worden gemeten. Een betrouwbaar meetinstrument heeft een ICC ≥ 0.7 [8,9], voor beide protheses ligt dat hierboven. De ICC voor de TRS-haak valt wel lager uit dan de Otto-Bock hand, dit is te verklaren doordat de ruis in het signaal van de TRS-haak groter was dan die bij de Otto Bock hand. Waardoor de homogeniteit van de data kleiner werd, hetgeen wat de ICC beïnvloedt.

Er is een sterk verband te zien wanneer de knijpkrachtsensor van de trekbank wordt vergeleken met de sensoren van de protheses $r=0.87$ voor de Otto Bock hand en $r=0.80$ voor de TRS-haak. Hieruit is op te maken dat de sensoren van de protheses vaak meten wat de knijpkrachtsensor ook meet. De sensoren van de protheses zijn dus valide voor het meten van de knijpkracht.

Invloed van de manier waarop een handeling wordt uitgevoerd

Verondersteld wordt dat de manier van het uitvoeren van de handeling invloed heeft op de grootte van de knijpkracht (normaal, snel of met zo min mogelijk kracht). In tabel 2 en 3 is duidelijk te zien dat wanneer de instructie wordt gegeven om de handeling normaal of met zo min mogelijk kracht uit te voeren de knijpkracht altijd lager ligt dan wanneer handelingen snel moet worden uitgevoerd. De overschatting blijkt voor beide protheses veel groter wanneer de handeling snel moet worden uitgevoerd. De grootte van de overschatting die tot stand komt door het verschil tussen de gemiddelde piek in de knijpkracht en de gemiddelde benodigde knijpkracht wordt dus beïnvloed door de snelheid waarmee een handeling wordt uitgevoerd.

De duur van een handeling bij het normaal uitvoeren is gemiddeld (zonder het pellen van de mandarijn) 6 seconde. Wanneer een handeling snel wordt uitgevoerd ligt dit gemiddelde lager namelijk op 4 seconde. Wanneer een handeling met zo min mogelijk kracht wordt uitgevoerd duurt een handeling gemiddeld ook langer dan bij de andere methodes, namelijk 7seconde.

Een persoon die een handeling snel uitvoert overschat de kracht die nodig is voor de handeling sneller. Het snel uitvoeren kost de persoon daarom ook meer kracht. Dit is een verschijnsel dat zowel bij de Otto Bock hand als de TRS-haak optreedt.

De invloed van de prothese op de gebruikte knijpkrachten

Eerder is vermeld dat er in dit onderzoek gemeten werd met een efficiënte (TRS-haak) en een minder efficiënte (TRS-haak) handprothese. Op de grootte van de knijpkracht heeft de efficiënte weinig invloed zoals in figuur 9 is te zien. De grootte van de benodigde knijpkracht verschilt weinig van elkaar. In vervolgstudies is het echter wel van belang om te kijken of de kabelkrachten ook daadwerkelijk groter zijn bij de Otto Bock hand, en daarmee de Otto Bock hand ook minder efficiënt is voor meerdere handelingen.

Daarnaast is de in dit artikel benoemde “benodigde knijpkracht” eigenlijk de kracht die de prothesegebruiker verwacht nodig te hebben. In het vervolg moet gekeken worden of bij een statische test waarbij het voorwerp wordt geklemd door de trekbank de daadwerkelijk benodigde knijpkracht verschilt van de door de gebruiker verwachte knijpkracht. Wellicht wordt het verschil tussen beide protheses in dat geval wel groter.

Totale range van knijpkrachten

Uit figuur 8 komt de totale range van knijpkrachten die nodig is voor het uitvoeren van alle handelingen tot stand. De ondergrens van deze range, 5.4 N voor het openen van een potje creme, is gemeten bij het gebruik van de Otto Bock hand. Dit is de gemiddelde kracht die de proefpersonen denken nodig te hebben voor het openen van het potje, wanneer wordt gevraagd dit zo nauwkeurig mogelijk te doen.

De bovengrens van de range is bepaald door de gemiddeld hoogst gemeten piek in de knijpkracht. Ook deze knijpkracht is gemeten bij het gebruik van de Otto Bock hand, bij het aantrekken van een sportsok. De gemiddelde piek van de knijpkracht is 31.8 N.

Resultaten ten opzichte van eerdere onderzoeken

Uit eerder onderzoek blijkt dat er in dagelijkse situaties maximaal 34 N nodig is voor het uitvoeren van dagelijkse handelingen. Dit is ook gemeten bij het aantrekken van een sok [5]. In dit onderzoek is er echter maar 31.8 N gemeten voor het aantrekken van de sok en dit is ook nog de maximale piek van de knijpkracht. Er zit maar liefst 6 N verschil tussen wat de gebruiker in dit onderzoek nodig denkt te hebben voor het aantrekken van de sok (26 N) en het eerdere onderzoek. Het eerdere onderzoek is echter verouderd, en de protheses zijn ten op zichte van die tijd wellicht verbeterd. Waardoor het vertrouwen van de gebruiker bij het gebruik van de prothese groter kan zijn en er daardoor op vertrouwt de handeling met minder kracht uit te voeren.

De range van knijpkrachten in dit onderzoek lijkt wel overeen te komen met range van knijpkrachten die de gezonde hand nodig heeft voor het uitvoeren van dagelijkse handelingen [6]. 31.8 N ten opzichte van 31.4 N. Maar er zit een verschil in de handelingen, de handelingen in dit onderzoek zijn tweehandig. Waarbij de prothesehand het voorwerp vaak stabiliseerde. Het eerdere onderzoek bestaat voornamelijk uit eenhandige handelingen, waardoor alle kracht door één hand moet worden geleverd.

Evaluatie van het onderzoek

De in dit onderzoek geteste handelingen zijn tweehandig en zoals van te voren werd aangenomen zit er een duidelijk verschil in grootte van knijpkrachten tussen lichte en zwaardere taken. Sommige handelingen zijn echter te complex voor de meeste proefpersonen. Het afscheuren van de sport-tape is voor veel gebruikers te moeilijk, en moet vaak opnieuw om tot 5 correct uitgevoerde herhalingen te komen. Wanneer een handeling zo veel moeite kost kiest de gebruiker waarschijnlijk voor een andere oplossing. Bijvoorbeeld door de tape af te knippen. Dit is dus een zwakke handeling voor het onderzoek.

Bij het openen van potjes en flesjes is er geen rekening gehouden met de afname van wrijving tussen de dop en de fles/pot naarmate het voorwerp vaker is geopend. De invloed die de afname van de wrijving heeft kan de grootte van benodigde knijpkracht doen verlagen.

Door de diameter en het gewicht van het plastic bekertje dat gevuld moest worden was het mogelijk om de beker te klemmen in de Otto Bock hand zonder dat er kabelkracht werd geleverd. De knijpkracht die daardoor tot stand kwam was de kracht die het voorwerp op de duim leverde en niet de knijpkracht die de persoon moest leveren met de prothesehand. De gevallen waarbij de kabelkracht gelijk aan 0 N was en dus geen knijpkracht ontstond zijn uit de data verwijderd. Dit ging om 17 gevallen.

De handelingen zijn wel eenvoudig herhaalbaar. Hetgeen wat niet het geval is in de volledige lijst waaruit de handelingen voornamelijk zijn geselecteerd [7]. De daarin voorkomende handelingen zijn taken die in een groot onderzoek veel geld zouden kosten. Bijvoorbeeld het openen van een zak met chips. Het is een tweehandige taak, maar voor dit onderzoek zouden per proefpersonen 30 zakken chips moeten worden geopend. Daarnaast is gebleken dat iedere handeling ook tweehandig moest worden uitgevoerd door de proefpersonen. Dit onderzoek levert dus een lijst op met handelingen die daadwerkelijk tweehandig moeten worden uitgevoerd.

De proefpersonen is gevraagd welke prothese ze zouden kiezen wanneer ze daadwerkelijk een amputatie zouden hebben. Ze kozen allemaal voor de TRS-haak, omdat ze het uitvoeren van de handelingen met de Otto Bock hand als zwaarder bevonden. Tijdens de metingen was ook waar te nemen dat de proefpersonen meer moeite hadden bij het uitvoeren van de handelingen met de Otto Bock hand.

De kracht die wordt bepaald door de rekstrookjes bij het aangrijpen op een voorwerp alvorens het voorwerp te raken is 4.2 N. Dit is kracht die nodig blijkt om de interne kracht op de binnenhandschoen te overwinnen. In dit onderzoek is dit van de gemeten krachten afgehaald om tot een knijpkracht te komen. Bij voorwerpen met grotere diameters (vanaf 40mm) is de hand minder ver gesloten en is de kracht op de handschoen ook lager dan 4.2N. Het is dan ook onjuist om bij grotere diameters 4.2N van de totale kracht af te halen om tot een knijpkracht te komen. De waarde die van het totaal is afgetrokken is bij die handelingen daarom ook handmatig bepaald, deze waarde was voor alle proefpersonen wel gelijk.

Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek: "Welke knijpkrachten moet een prothesegebruiker kunnen realiseren met zijn handprothese om goed te kunnen functioneren in dagelijkse tweehandige taken?" kan worden beantwoord:

- De laagst gemeten knijpkracht is namelijk 5.4 N voor het openen van een potje creme. Deze knijpkracht is gemeten bij het zo nauwkeurig mogelijk uitvoeren van de handeling met de Otto Bock hand en vormt de ondergrens van de range.

- De hoogst gemeten knijpkracht is 31.8 N voor het aantrekken van een sportsok met de Otto Bock hand. Dit is gemiddeld hoogst gemeten piek in de knijpkracht wanneer de handeling zo snel mogelijk wordt uitgevoerd.

Dit houdt in dat de totale range voor het uitvoeren van dagelijkse tweehandige handelingen tussen 5.4 N en 31.8 N ligt. Wanneer men er voor wil zorgen dat het hoge percentage afwijzingen van handprothesen daalt, dan moet het realiseren van 32 N knijpkracht met een zo laag mogelijke activatiekracht moeten worden gerealiseerd.

Ook kan geconcludeerd worden dat het verschil tussen de TRS-haak en Otto Bock hand in de grootte van knijpkracht nauwelijks verschilt voor de gemeten handelingen en op basis van de grootte van knijpkracht daarom geen betere prothese kan worden aangewezen. Dit kan pas wanneer en nog naar de efficiëntie van de prothesen wordt gekeken.

Tot slot is gebleken dat wanneer een handeling sneller wordt uitgevoerd de proefpersonen ook een grotere knijpkracht gaan gebruiken dan wanneer de handeling op een normaal tempo wordt uitgevoerd. De hypothese dat de snelheid waarop een handeling wordt uitgevoerd leidt tot een hogere knijpkracht kan hierdoor worden bevestigd.

Aanbevelingen

- De signalen van de rekstrookjes zijn maximaal versterkt voor de TRS-haak. Wanneer er in vervolgstudies wordt gezorgd dat er nog meer buiging in de duim van de prothese optreedt. Dan zal er minder versterkt hoeven te worden, waardoor de ruis in het signaal ook afneemt. Het is dan mogelijk dat er geen low-pass filter gebruikt hoeft te worden, waardoor meer data bewaard blijft.

- Wanneer er in vervolgstudies dieper wordt ingegaan op de handelingen moet er rekening worden gehouden met de afname in wrijving tussen voorwerpen naarmate een voorwerp vaker gebruikt wordt. Tenzij blijkt dat de afname van wrijving niet leidt tot lagere knijpkrachten. Dit moet daarvoor ook wel eerst worden getest.

- Er is in dit onderzoek niet gekeken of Otto Bock hand daadwerkelijk minder efficiënt was dan de TRS-haak. De proefpersonen gaven wel aan dat het uitvoeren van handelingen met de Otto Bock hand moeizamer was dan met de TRS-haak. Dit voorspelt dat de kabelkrachten die nodig zijn voor het realiseren van de knijpkrachten hoger zijn. In een nieuw onderzoek kan worden nagegaan of dit klopt aan de hand van de relatie tussen gemeten knijpkracht en kabelkracht.

- 1) Biddis, E. Chau, T. (2007). Upper limb prosthesis use and abandonement: A survey of the last 25 years. *Prosthetics and Orthethics Internatinonal*, Vol. 31(3), p. 236:57
- 2) Biddis, E. Beaton, D. Chau, T.(2007). Consumer design priorities for upper limb prosthetics, Vol. 2, No. 6, p 346:357
- 3) Smit, G. Plettenburg, DH. (2010). Efficiency of voluntary closing hand and hook prostheses. *Prosthet Orthot Int*, p. 34: 411
- 4) Hichert, M. (2010), Feedback in voluntary closing arm prostheses, Investigation of optimal force feedback in shoulder controlled arm prosthesis operation.
- 5) Keller, AD. Taylor, CL. Zahm, V. (1947) Studies to determine the functional requirements for hand and arm prosthesis. Los Angeles: Department of engineering, University of California
- 6) Smaby, N. Johanson, ME. Baker, B. (2004). Identification of key pinch forces required to complete functional tasks, *Journal of Rehabilitation Research & Development*, Vol.41, p. 215:224
- 7) CHEQ. (2011). Children's hand-use experience questionnaire [Vragenlijst]. Geraadpleegd op <http://www.cheq.se/questionnaire>
- 8) Cortina, JM. (1993). What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of Aplied Psychohology*, Vol.78, No. 1 p. 98:104
- 9) Godfrey, A. Conway, R. Meagher, D. Olaighin, G. (2008). Direct measurement of human movement by accelerometry. *Medical Engineering & Physics*, Vol. 30, p. 1364:1386
- 10) Koray, S. (2007). Adaptive usage of the Butterworth digital filter. *Journal of Biomechanics*, Vol. 40, No. 13, p. 2934:2943
- 11) Salmelin, R. (1995) Hamalainen M, Kajolam M, Hari R. Functional segretation of movement-related rhythmic activity in the human brain, *NeuroImage* 2, p. 237:243
- 12) Babiloni, C. Babiloni, F. Carducci, F.Cincotti, F. Coccozza, G. (2002). Human cortical electroencephalography (EEG) rhythms during the observation of simple aimless movements. *NeuroImage* 17, p. 559:572

Bijlage I Specificaties van de handelingen

Handeling	Specifiactie Gewicht (g)	Afmetingen (mm)	Doorsnedes	Functie prothesehand
Tape afscheuren (50mm) (1)	40	h= 45	Ø50mm	vastpakken van rolletje tape
Slotje openmaken	68	l=35, b=5, h=70		slotje vastpakken
Potje met kinderslot openen	62	h= 200	Ødop 43mm Øpot 70mm	dop vastpakken
Ijsbak openen	47	l=160 b=125 h=65		deksel vastpakken en optillen
Potlood slijpen (puntenslijper)	28	h=60	Ø40mm	puntenslijper vastpakken
Tandpasta op een borstel (2)	100	h=140		tandpasta pakken en erin knijpen
Limonade fles openen	112	h=200	Ødop 43mm Øfles70mm	fles vastpakken
cremepotje openen	38	h=45	Ødop 43mm	deksel vastpakken
Eigen sok aantrekken (3)				sok vastpakken en omhoogtrekken
Bekertje inschenken (beker) (4)	4	h 100mm	Ø40-70mm	bekertje vastpakken
Pasje uit portomenee	150	l=150, b=55, h=100		portomenee vastpakken
Mandarijn pellen(5)				mandarijn vasthouden

1)Om de invloed van het afnemen van de diameter bij het herhaaldelijk afscheuren van tape zo veel mogelijk te voorkomen is het volgende gedaan: Een asje van een rolletje tape is voorzien van twee lagen tape. Om er vervolgens een stuk tape van 5x 50 mm omheen te doen. De gebruiker scheurt nu elke handeling ongeveer op een gelijke diameter een stuk tape af.

2)De tandpastatube neem af in gewicht en vorm naarmate van herhaaldelijk gebruik. In dit onderzoek werd een tube gebruikt totdat de helft van het gewicht van het startgewicht was gebruikt. Hierna werd een nieuwe tube gebruikt.

3)De proefpersonen namen een eigen sportsok mee voor het onderzoek

4)Het gewicht van het bekertje wordt hoger naarmate het wordt gevuld.

5)De mandarijnen verschillen per keer van gewicht en diameter.



30 minuten voor de meting

Voordat de meting kan worden gestart moet alle apparatuur worden aangesloten. Eerst zullen de sensoren aan de meetversterkers worden gekoppeld, om vervolgens de meetversterkers aan de voeding aan te sluiten. Dit zijn de rekstrookjes, de laser en de twee krachtopnemers. Er staat nu spanning op de sensoren. De sensoren moeten eerst een half uur warm kunnen worden om te voorkomen dat de metingen worden belemmerd door het opwarmen van de sensoren.

Zowel het data-acquisitie kastje als de webcam worden aangesloten op de laptop. Het data-acquisitie kastje wordt tevens aangesloten op zijn voeding. Alles is nu aangesloten, laat de opstelling nu 30 minuten rusten.

Voorbereiden van de proefpersoon

Ieder proefpersoon dat deelneemt aan de test is voorafgaand aan de testdag ingelicht over de het verloop van het onderzoek. Op de testdag zelf dient de proefpersoon akkoord te tekenen voor het afnemen van de test, en de daarbij behorende handelingen.

De prothesesimulator moet worden vastgemaakt. Het schouderharnas wordt omgedaan om de rechter schouder van het proefpersoon. Eventueel moet de maat worden versteld. Vervolgens wordt de prothesekoker vastgemaakt met het klittenband om de linkerarm van het proefpersoon.

Als laatst moet een van de twee handprotheses worden bevestigd aan de simulator. Nu is de simulator klaar voor gebruik.

Training van het proefpersoon

- 1) proefpersoon neemt plaatst aan het bureau
- 2) Afstellen webcam op de prothesesimulator, gezicht van het proefpersoon niet in beeld brengen.
- 3) Start de meting in labview
- 4) Kijk of de rekstrookjes, laser, en krachtopnemers signaal geven, en of er beeld te zien is op het scherm van de webcam. (beginscherm labview)
- 5) Werken alle sensoren? Ga verder met stap 6, werken de sensoren niet, stop de meting en begin bij stap 3.
- 6) Start de meting in Labview
- 7) Proefpersoon vragen om tennisbal op te pakken, en weer neer te leggen zonder dat hij wegrolt.
- 8) Herhaal 7, maar nu zo snel mogelijk. Ga vervolgens naar stap 9
- 9) Herhaal 7, maar vraag nu de tennisbal zo nauwkeurig mogelijk op te pakken. Ga vervolgens naar stap 10
- 10) Proefpersoon vragen om een flesje op te pakken, open te draaien, en weer neer te zetten
- 11) Herhaal 10, maar nu zo snel mogelijk. Ga vervolgens naar stap 12
- 12) Herhaal 10, maar vraag nu de handeling zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren. Ga vervolgens naar stap 13.
- 13) Etc. Stop de meting in Labview

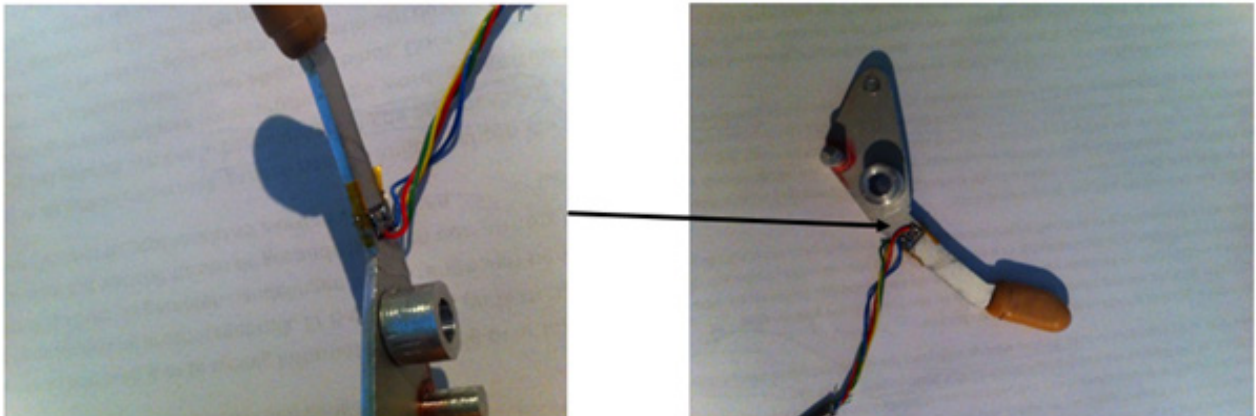
Officiële meting

- 1) Proefpersoon plaats laten nemen aan het bureau
- 2) Start de meting in labview
- 3) Kijk of de rekstrookjes, laser, en krachtopnemers signaal geven, en of er beeld te zien is op het scherm van de webcam. (beginscherm labview)
- 4) Werken alle sensoren? Ga verder met stap 5, werken de sensoren niet, stop de meting en begin bij stap 2.
- 5) Vraag proefpersoon om handeling 1 uit te voeren (zie bijlage 1)
- 6) Herhaal stap 5 nog 4x, ga vervolgens naar stap 7.
- 7) Vraag proefpersoon om handeling 1 zo snel als mogelijk uit te voeren.
- 8) Herhaal stap 7 nog 4x, ga vervolgens verder met stap 9
- 9) Vraag proefpersoon om stap 5 zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren. Dit houdt in met zo min mogelijk knijpkracht, ga vervolgens verder met stap 10.
- 10) Herhaal stap 9 nog 4x, ga vervolgens verder met stap 11.
- 11) Handeling 1 is nu voorbij
- 12) Vraag proefpersoon om handeling 2 uit te voeren (zie bijlag x)
- 13) Herhaal stap 12 nog 4x, ga vervolgens verder met stap 14
- 14) Vraag proefpersoon om handeling 2 zo snel als mogelijk uit te voeren
- 15) Herhaal stap 14, ga vervolgens verder met stap 16
- 16) Vraag proefpersoon om stap 12 zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren. Dit houdt in met zo min mogelijk knijpkracht, ga vervolgens verder met stap 17.
- 17) Herhaal stap 16 nog 4x, ga vervolgens verder met stap 18.
- 18) Handeling 2 is nu voorbij
- 19) Etc.
- 20) Indien 17 handelingen zijn voltooid stop de meting in labview.
- 21) Ontkoppel de proefpersoon van de prothesesimulator. Rust
- 22) Plaats nu de andere handprothese
- 23) Verbind het proefpersoon weer met de prothesesimulator.
- 24) Herhaal stap 2 t/m 20
- 25) De meting is nu klaar, ontkoppel het proefpersoon.

Wanneer een handeling niet correct wordt uitgevoerd, wordt de herhaling opnieuw gedaan.

Bijlage III Specificaties van de prothesesimulator

Van beide prothesen, Ottobock VC handprothese en de TRS-haak, is de duim aangepast zodat er meer buiging optreedt dan in de originele duim. Zoals in figuur 10a,b is te zien zijn in de uitsparingen van de duim rekstrookjes geplaatst. Deze meten de doorbuiging, waaruit de knijpkracht kan worden afgeleid. In figuur 10c is de herstellende binnenhandschoen te zien.



figuur 10a: De aangepaste Otto Bock duim

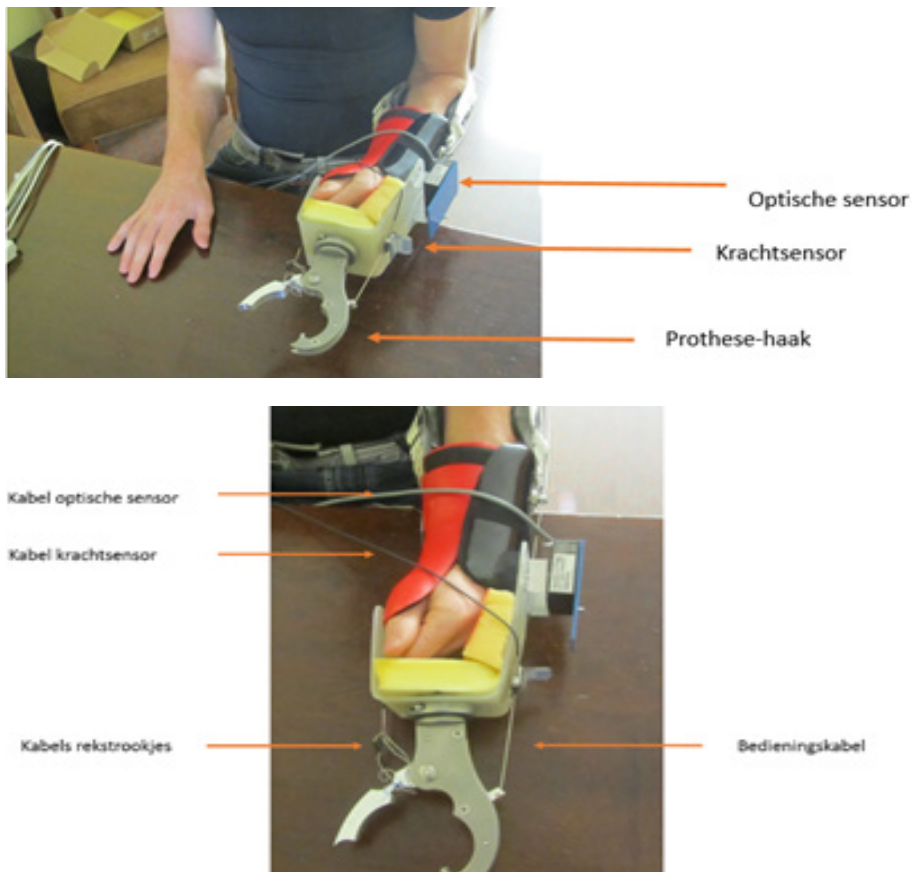


figuur 10c: De aangepaste Otto Bock duim in de geplakte binnenhandschoen.

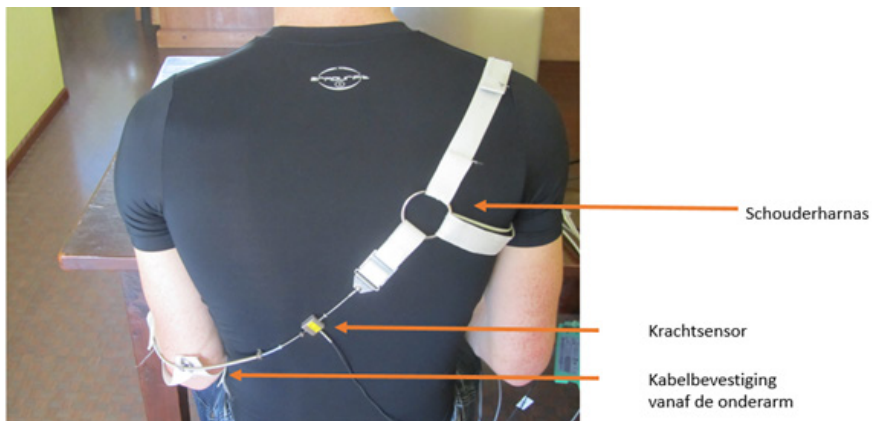


figuur 10b: De aangepaste TRS Duim

De prothesesimulator is te zien in figuur 11a,b. Deze bestaat uit twee thermoplastkappen (rood en zwart). Één transparant u-profiel van thermoplast waaraan de prothese kan worden bevestigd.



figuur 11a&b: de prothesesimulator



figuur 12: Het schouderharnas