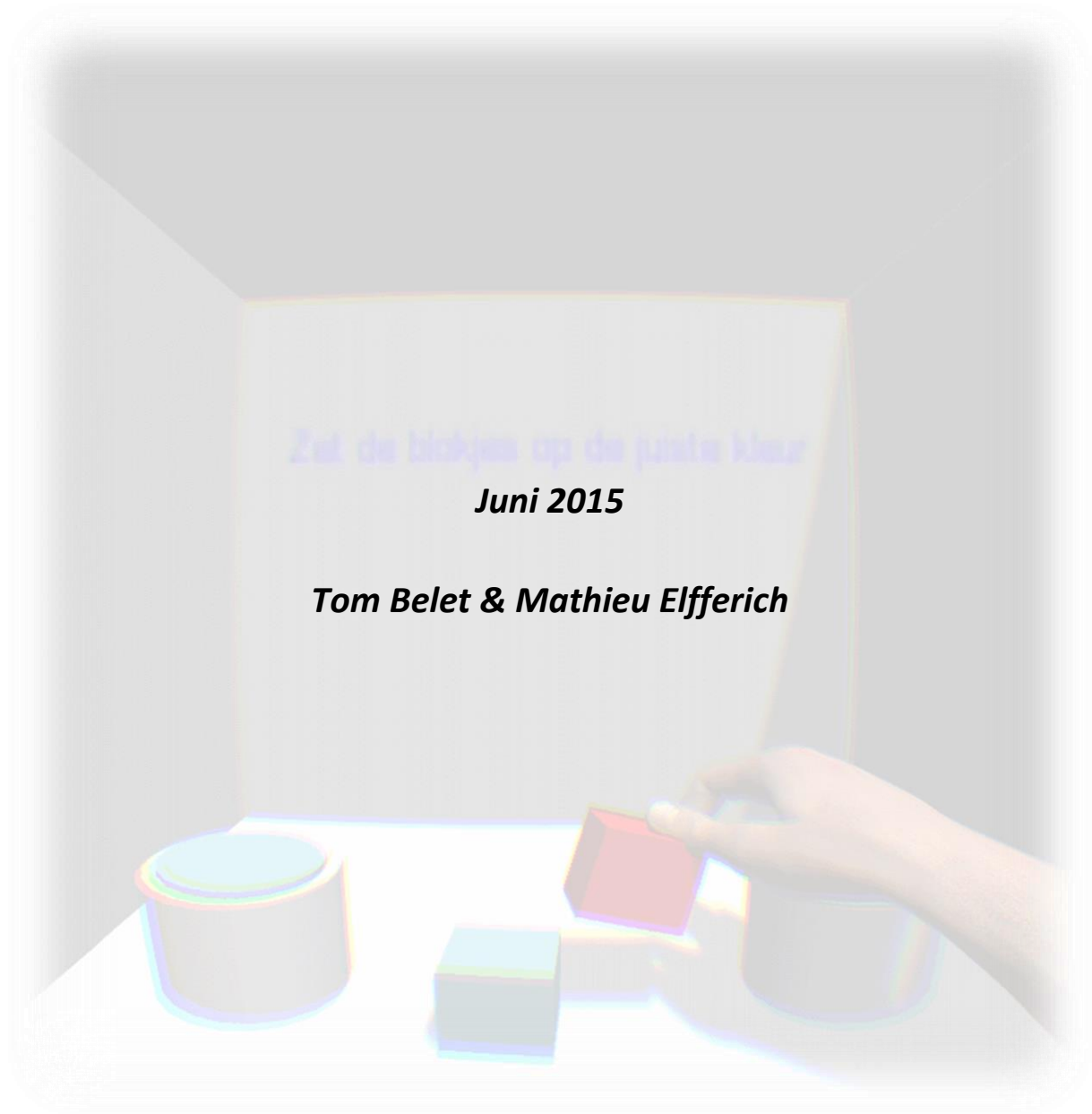


EEN ANDERE KIJK OP SPIEGELTHERAPIE

Van traditionele spiegeltherapie naar virtuele beleving



Opleiding Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool

Een andere kijk op spiegeltherapie

Van traditionele spiegeltherapie naar virtuele beleving

Onder begeleiding van:
Daphne Wezenberg en Hubert Meulman

Juni 2015
Tom Belet & Mathieu Elfferich

1. Voorwoord

Voor u ligt de scriptie “Een andere kijk op spiegeltherapie”. Hierin wordt beschreven hoe spiegeltherapie gedigitaliseerd wordt met behulp van de Oculus Rift en de Leap Motion. Deze scriptie is geschreven in het kader van het afstuderen aan de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hoge School. Deze scriptie is gemaakt in de periode maart tot en met juni 2015.

Wij bedanken iedereen die een bijdrage geleverd heeft aan het testen. Onze bijzondere dank gaat uit naar:

Daphne Wezenberg, scriptiebegeleidster, voor haar begeleiding tijdens het project en het nakijken van de scriptie.

Hubert Meulman, tweede lezer, voor het controleren van de scriptie.
Martijn van der Ent, docent, voor de introductie bij Eelco Sengers, fysio- en manueeltherapeut.
Eelco Sengers voor het maken van de connectie met Arjan Mulder en Fenke Aarsbergen.
Arjan Mulder, fysio- en manueeltherapeut, en Fenke Aarsbergen, ergotherapeut, voor de feedback op het programma.

Dank voor de kritische kijk, adviezen, aanwijzingen en feedback!

Wij wensen u veel leesplezier.

Tom Belet & Mathieu Elfferich

Den Haag, 8 juni 2015

2. Samenvatting

In deze scriptie wordt beschreven of het mogelijk is spiegeltherapie voor de hand te digitaliseren met behulp van de Oculus Rift en de Leap Motion. Er is hiervoor een programma gemaakt en daarna een meting gehouden om te onderzoeken of het programma een positief effect heeft. De hypothese was dat het programma een positief effect zou hebben en klachten van testpersonen zou verminderen, maar dat de patiënt wel zou moeten wennen aan de omgeving en de spiegeling van de hand.

In de literatuurstudie is onderzocht hoe spiegeltherapie werkt, welke patiënten hier gebruik van maken en hoe effectief het is. Het blijkt dat spiegeltherapie niet alleen werkt bij onderarmamputatiepatiënten, maar ook bij mensen met een hemiplegie of CRPS type 1. Spiegeltherapie heeft echter wel een aantal nadelen. Zo is het bereik van de spiegel afhankelijk van de grootte van de spiegel. Ook geldt: hoe groter de spiegel, hoe lastiger deze te vervoeren is. Bovendien is er een reële kans dat de patiënt gaat spieken, waardoor het effect van spiegeltherapie vrijwel meteen weg is. De effectiviteit van spiegeltherapie verschilt per aandoening.

Er is gekozen voor onderarmamputatiepatiënten als doelgroep omdat traditionele spiegeltherapie met name bij die doelgroep toegepast wordt en de gekozen apparatuur niet beïnvloed wordt door de geamputeerde hand.

Het ontwikkelde programma maakt gebruik van de Leap Motion en de Oculus Rift. Voordelen van de Leap Motion zijn, een groot meetbereik en het feit dat de Leap Motion geen gebruik maakt van sensoren op de arm. De Oculus Rift is het meest toegankelijk apparaat dat op de huidige markt te koop is. Tevens is, naast rotatie, translatie mogelijk met het beeld van de Oculus Rift.

Voor het ontwerpen van het programma is een lijst van eisen en wensen opgesteld. Hierin zijn ook de eisen en wensen van de therapeuten opgenomen. Vervolgens is er een ontwerpboom gemaakt waarin de keuzes zijn weergegeven.

Bij het ontwikkelen van het programma is een aantal programma-technische keuzes gemaakt. Deze keuzes vormden het fundament van het programma. Daarnaast leidden de wensen en eisen van de therapeuten ertoe dat het programma is opgesplitst in verschillende, zelfstandig functionerende toepassingen. Door een van de toepassingen te kiezen, stemt de therapeut het programma op de patiënt af. Voor deze scriptie zijn er twee toepassingen gemaakt waarvan er één gericht is op de fijne motoriek en de ander op de grove motoriek.

Voor de evaluatie is een test uitgevoerd met een patiënt met een vegetatief zenuwletsel. Bij het testen, gaf de patiënt voor de meting een waarde van 5 aan op een schaal van 1 tot 10, waarbij één staat voor verlamde functionaliteit en tien voor normale functionaliteit. Na het testen van het programma gaf de patiënt een waarde van zeven op dezelfde schaal aan. Uit deze test lijkt het programma een positieve werking te hebben op deze patiënt met een vegetatief zenuwletsel. Naast de kwantitatieve resultaten, gaf de patiënt aan dat het programma *zeer motiverend is*, vanwege de speelfactor.

Inhoud

3.	Inleiding	4
3.1	Spiegeltherapie	5
3.2	Spiegeltherapie en gaming	5
4.	Analysefase	7
4.1	Spiegeltherapie	7
4.1.1	Ontstaan van spiegeltherapie	7
4.1.2	Werking van spiegeltherapie	7
4.1.3	Doelgroep	9
4.1.4	Effectiviteit van spiegeltherapie	9
4.1.5	De keuze voor onderarmamputaties	12
4.1.6	Nadelen van spiegeltherapie	12
4.1.7	Digitaliseren van spiegeltherapie	12
4.2	Apparatuur keuze	13
4.2.1	Leap Motion	14
4.2.2	Oculus Rift	14
4.2.3	Voordelen Oculus Rift en Leap Motion	15
4.2.4	Beschikbare software	16
4.2.5	Unity3D	16
4.3	Input therapeuten	16
4.4	Randvoorwaarden, eisen en wensen	17
4.4.1	Randvoorwaarden	17
4.4.2	Eisen	17
4.4.3	Wensen	17
5.	Ontwerpfase	18
5.1	Ontwerpboom	18
5.1.1	Ontwerpboom: De black box	19
5.1.2	Ontwerpboom: Keuzes buiten de black box	21
5.2	De toepassingen	22
5.2.1	Optie 1: Toepassing Geel A	22
5.2.2	Optie 2: Toepassing Blauw A	23
6.	Evaluatie	24
6.1	Testmethode	24
6.2	Resultaten	24
6.3	Vergelijking met eisen en wensen	25
7.	Discussie	26
8.	Conclusie	27
9.	Bronnenlijst	28
10.	Bijlagen	30
10.1	Bijlage 1: Meetprotocol voor Spiegeltherapie, verschil tussen verschillende spiegelmethodes bij gezonde proefpersonen	30
10.2	Bijlage 2: Scripts	31
10.3	Bijlage 3: Meetprotocol voor Testen Virtual Therapy bij een Vegetatief Zenuwletsel, met Oculus Rift en Leap Motion	34
10.4	Bijlage 4: vragenlijst	35
10.5	Bijlage 5: Projectvoorstelplan	37

3. Inleiding

Er zijn de laatste jaren veel technologische innovaties tot stand gekomen. Op medisch gebied zijn er bijvoorbeeld verschillende protheses getest, die met gedachten (hersengolven) bestuurd kunnen worden. Ook hebben therapieën, die gebruik maken van elektronica, hun intrede gedaan in de revalidatie.

De innovatie in revalidatie heeft onder andere te maken met technische ontwikkelingen in de gaming industrie. Een belangrijk onderdeel van gaming is de besturing middels afstandsbedieningen, de zogenaamde 'controllers'. De ontwikkeling van deze controllers is de laatste jaren snel gegaan omdat er gezocht werd naar mogelijkheden om de speler nog meer in een game te betrekken. Zo is in 2006 de 'Wii-mote' op de markt gekomen¹. Dit is een apparaat dat eruit ziet als een tv-afstandsbediening, maar bedoeld is om games op de Wii spelcomputer te besturen. De gebruiker houdt de Wii-mote vast in de hand terwijl er bewegingen worden uitgevoerd. Het innoverende van de Wii-mote is het omzetten van bewegingen van de Wii-mote, bewogen door de speler, in vloeiende bewegingen en andere functies in het spel. Dit wordt gedaan door, in de Wii-mote geïntegreerde, versnellingssensoren. Het principe dat de persoon een controller in de hand houdt en bewegingen omzet naar acties op het scherm, was bij alle toen bestaande controllers onbekend. De Wii-mote is ook één van de apparaten die nu gebruikt worden in de revalidatie-sector. De Wii-mote is echter niet de enige technologische ontwikkeling op het gebied van gaming die gebruikt wordt binnen de revalidatie. De spelcomputer 'Xbox' kan, in combinatie met het zogenaamde sensorapparaat 'Kinect²', bewegingen van de speler meten om een spel te besturen. De speler gebruikt geen afstandsbediening, maar staat voor de Kinect. De Kinect is een apparaat dat infrarood licht uitzendt door middel van een infraroodcamera. Dit infrarode licht wordt weerkaatst door de speler, hierdoor kan de Kinect een skeletmodel vormen van de speler. Op deze manier kan de Kinect de bewegingen van de speler 'zien' en integreren in de game². De Kinect wordt steeds vaker gebruikt als revalidatiehulpmiddel waarbij de patiënt bepaalde oefeningen moet uitvoeren.

Een ander apparaat, dat van dezelfde methode gebruik maakt als de Kinect, is de 'Leap Motion'. Dit is een klein apparaatje dat met infrarood licht alleen de rotaties, translaties en posities van de hand meet³. De hand die gemeten wordt door de Leap Motion, wordt vergeleken met een handmodel dat geprogrammeerd is in de code. Als de overeenkomst tussen het gemeten object en het handmodel groot is, weet de Leap Motion dat er een hand boven de Leap Motion zweeft en meet het apparaat vervolgens de bewegingen van de hand. Momenteel wordt de Leap Motion vooral gebruikt voor het besturen van de computer zonder muis. Een muis heeft bewegingen in een plat vlak: vooruit/achteruit en links/rechts. De Leap Motion meet echter 3D en kan dus ook in de hoogte meten. Hierdoor wordt er een extra dimensie toegevoegd en kunnen ook gebaren gemaakt worden om bepaalde acties uit te voeren. De Leap Motion is een nieuwe ontwikkeling, maar heeft veel potentie en kan een ondersteuning zijn voor hand- en polstherapieën.

Een meer recente ontwikkeling is de 'Oculus Rift⁴'. Dit is een 'virtual reality bril' die voor ieder oog een eigen beeldscherm heeft. De Oculus Rift beschikt over meerdere versnellingssensoren die beweging waarnemen. Hierdoor kan de gebruiker rond kijken in de beelden die geprojecteerd worden op de beeldschermen⁴.

De bovenstaande innovaties zijn relatief nieuw en er worden steeds meer nieuwe mogelijkheden ontdekt. Omdat apparaten zoals de Wii-mote en de Kinect gericht zijn op bewegen worden de mogelijkheden onderzocht om deze toe te passen als revalidatiehulpmiddelen of zelfs als vervangers van huidige therapieën. Door goed opgezette onderzoeken worden de mogelijkheden binnen de revalidatie steeds duidelijker. Verschillende artikelen geven aan dat huidige apparaten geschikt kunnen zijn als revalidatie voor onder andere thuisgebruik vanwege de kosten en grootte van de systemen⁵⁻⁷.

In het onderzoek van Saposnik et al. (2010) wordt de effectiviteit van het revalideren na een beroerte met de Wii-mote vergeleken met het revalideren zonder Wii-mote⁸. Hieruit blijkt dat het revalideren

met de Wii-mote een grotere verbetering bij motorische revalidatie oplevert dan revalideren zonder Wii-mote.

Chang et al. (2011) onderzochten de mogelijkheid om een Kinect te implementeren bij fysieke revalidatie voor een motorische handicap. Het aantal correct uitgevoerde bewegingen was significant toegenomen in vergelijking met de eerder opgestelde gouden standaard. Daarnaast was de doelgroep geïnteresseerd in het gebruiken van de Kinect, zelfs na het experiment. Hun motivatie voor deelnemen in de behandeling werd verhoogd door de Kinect⁹.

3.1 Spiegeltherapie

Een van de gebieden waar relatief weinig literatuur over te vinden is, maar waar steeds meer onderzoek naar gedaan wordt, is de innovatie rond spiegeltherapie. Spiegeltherapie wordt vaak gebruikt om het gevoel van fantoomledematen tegen te gaan of fantoompijn te verlichten. Het gevoel van een fantoomledemaat houdt in dat patiënten een zeer realistisch gevoel hebben dat, ondanks dat het desbetreffende ledemaat geamputeerd is, er toch een arm of been aanwezig is. Het gevoel van een fantoomledemaat is een aandoening die bij ongeveer 70% van de mensen met een amputatie voor komt^{10,11}.

Er kan tevens fantoompijn ontstaan, dit uit zich als geprojecteerde pijn op een plek waar het geamputeerde ledemaat zat. Ook kunnen de fantoomledematen misvormd, langer of korter aanvoelen¹².

Bij spiegeltherapie wordt een spiegel naar de goede ledemaat gericht, terwijl de geamputeerde ledemaat aan de andere kant van de spiegel rust. Wanneer er in de spiegel gekeken wordt, wordt de illusie gewekt dat de ledematen aan beide kanten functioneren. Het beeld in de spiegel heeft een grotere invloed op het brein dan het gevoel van de fantoomledemaat of de fantoompijn. Dit principe wordt ook wel 'poort-theorie' genoemd en kan ook vergeleken worden met een poort. Het spiegelbeeld zorgt voor de opwekking van zintuiglijke receptie (signalen waargenomen door zintuigen) en sluit in zekere zin een poort waardoor de signalen van pijn (nociceptie) niet meer doorgegeven kunnen worden aan de hersenen. Het brein wordt dus eigenlijk gefoet door middel van de visuele prikkelsensatie. Onder anderen V.S. Ramachandran et al. (2009) en H. Flor et al. (2006) ondersteunen dit idee^{13,14}. Spiegeltherapie wordt niet alleen gebruikt bij het gevoel van fantoomledematen en fantoompijn, maar ook bij patiënten met het 'Complex Regionaal Pijn Syndroom' (CRPS – een chronische pijn-aandoening met o.a. zwellingen en krampen¹⁵) en 'Cerebro Vasculair Accident' (CVA – geknapt of verstopt bloedvat in de hersenen waardoor er een deel van de hersenen beschadigt of afsterft¹⁶).

Als de spiegeltherapie werkt, neemt de sensatie van het hebben van een fantoomledemaat of de fantoompijn zelf af. Tevens helpt spiegeltherapie bij verkrampde of pijnlijke ledematen die wel nog aanwezig zijn¹⁰. Er kleeft echter ook een aantal nadelen aan de huidige vorm van deze therapie. De spiegel heeft een beperkt bereik; de arm kan alleen beperkte bewegingen maken, omdat de beweging anders buiten het bereik van de spiegel valt. Als de beweging buiten de spiegel valt, is het effect op het brein vrijwel meteen weg¹⁷. Daarbij is het gebruik en vervoer van de spiegel niet gemakkelijk door zijn grootte en gewicht, wat het lastig maakt de therapie op verschillende plekken toe te passen.

3.2 Spiegeltherapie en gaming

In de spiegeltherapie bestaan onderdelen die verbeterd kunnen worden, met name het meetbereik en de mogelijkheid tot vervoer van de spiegel. De huidige ontwikkelingen in controllers en virtual reality bieden hiervoor goede mogelijkheden. Zo is in een onderzoek van Murray et al. (2006) een test gedaan met amputatiepatiënten die last hadden van fantoompijn. Hierbij werden handschoenen met sensoren voor de handen gebruikt en sensoren voor de benen. Met de door de sensoren gemeten data, werden de posities van de geamputeerde ledematen gespiegeld en getoond. Uit dit onderzoek is door middel van vragenlijsten (McGill pijn vragenlijst) en pijn dagboeken naar voren gekomen dat virtual reality een hogere belevingsfactor heeft dan traditionele spiegeltherapie (de spiegeltherapie zoals die nu gebruikt wordt) en daardoor een geschikt hulpmiddel is bij het verminderen van fantoomledematen en fantoompijn¹⁷. Dit onderzoek maakte echter gebruik van

slechts vier proefpersonen en de generaliseerbaarheid is hierdoor niet hoog. Ook was de apparatuur die gebruikt werd niet gemaakt voor patiënten en dus zeer lastig thuis te gebruiken. De nadelen van de traditionele spiegeltherapie, technologische ontwikkelingen die toepasbaar zijn in de revalidatie en het onderzoek van Murray et al. vormen de aanleiding voor het maken van deze scriptie.

De Oculus Rift en de Leap Motion zijn apparaten die voor consumenten ontwikkeld worden of zijn. Hierdoor zijn deze apparaten makkelijker te bedienen, lichter en kleiner. Ook zijn de Oculus Rift en de Leap Motion te combineren met elkaar. Door de functies van de twee apparaten te combineren, ontstaat een goed platform voor revalidatiedoeleinden. De Leap Motion beschikt over een algoritme dat de coördinaten van de hand opslaat. Hierdoor is het mogelijk een hand te spiegelen. Omdat de Leap Motion alleen de hand kan meten, wordt het programma ontworpen voor patiënten met problemen aan de hand. Onderarmamputatiepatiënten zijn in eerste instantie het makkelijkst, omdat de Leap Motion de geamputeerde hand niet kan detecteren. Deze doelgroep is echter klein en andere doelgroepen, zoals CRPS en hemiplegie zijn ook interessant.

Een ander voordeel van de Leap Motion is dat de gebruiker geen last heeft van handschoenen of sensoren. De mogelijkheid tot rondkijken en rondlopen, kan de realiteitsbeleving vergroten en hierdoor de prikkelsensatie verhogen. De virtuele wereld waarin de patiënt geplaatst wordt, kan naar wens aangepast worden. Met een programma van de eerder genoemde onderdelen kan ook getest worden wat patiënten ervaren. Deze test zal in eerste instantie door specialisten gedaan worden. De specialisten kunnen een professionele mening vormen over het gemaakte programma en op die manier tips geven.

De uiteindelijke hoofdvraag is als volgt geformuleerd:

Hoe kan spiegeltherapie het beste gedigitaliseerd en verbeterd worden voor patiënten met onderarmamputaties?

De doelstelling is het ontwikkelen van een programma voor patiënten met onderarmamputaties, waarbij het mogelijk is de principes van spiegeltherapie te digitaliseren en tevens te verbeteren met behulp van de Oculus Rift en de Leap Motion. Ook wordt er getest of het gemaakte programma effect heeft. De hypothese is dat het programma effect heeft op de patiënt en dat de klachten verminderen. De patiënt zal echter wel moeten wennen aan het programma.

Deze scriptie gaat in de analysefase verder in op het ontstaan van spiegeltherapie en de patiënten die hier baat bij kunnen hebben. Ook wordt er gekeken hoe spiegeltherapie precies werkt en wat de effectiviteit is bij verschillende doelgroepen. Een lijst van eisen en wensen is opgesteld, hierna wordt het programma ontworpen met behulp van een keuzeboom. Uiteindelijk wordt er gemeten met een patiënt met een vegetatief zenuwletsel.

4. Analysefase

In de analysefase wordt er van verschillende onderwerpen literatuur gezocht. Onderwerpen die langskomen zijn onder andere spiegeltherapie en de werking ervan, de doelgroepen die gebruik maken van spiegeltherapie en de apparaten en software die geschikt zouden kunnen zijn voor het uiteindelijke eindproduct. Ook vorige onderzoeken met betrekking tot het digitaliseren van spiegeltherapie komen aan bod. Er worden randvoorwaarden en wensen uit de analysefase gehaald. De wensen komen vooral voort uit gesprekken met specialisten in hand en pols. De deelvragen die onderzocht worden in de analysefase zijn:

- Wat is de werking van spiegeltherapie?
- Voor welke doelgroepen wordt spiegeltherapie gebruikt en hoe effectief is het?
- Wat zijn de nadelen van spiegeltherapie?
- Welke eerdere onderzoeken zijn er gedaan naar het digitaliseren van spiegeltherapie?
- Welke apparatuur is geschikt voor het digitaliseren van spiegeltherapie?

4.1 Spiegeltherapie

4.1.1 Ontstaan van spiegeltherapie

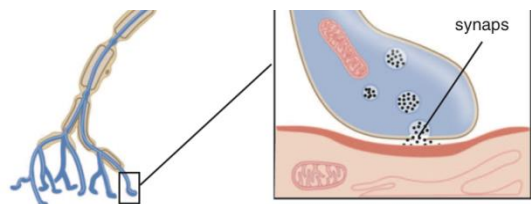
Spiegeltherapie, bedacht door Vilayanur Ramachandran (professor in de neurologie aan de Universiteit van California San Diego, USA), is voor het eerst beschreven bij patiënten met een amputatie en fantoompijn. Een amputatiepatiënt heeft fantoompijn als de geamputeerde arm een pijnsignaal lijkt te geven. Ramachandran gebruikte een zogenaamde 'mirror box', een doos met een spiegel erin, waarbij de spiegeling van de gezonde hand de illusie creëerde dat de fantoomhand bewoog. Volgens Ramachandran was het noodzakelijk om de therapie regelmatig te beoefenen, om zo voor een vermindering van fantoompijn en fantoomspasmes te zorgen. Dit vanwege het adapteren van de prikkelsensatie in de aangedane ledemaat over de tijd¹⁸⁻²¹.

4.1.2 Werking van spiegeltherapie

Om er achter te komen hoe spiegeltherapie pijn reduceert, is het noodzakelijk om te weten wat pijn is. Pijn is een sensatie die vanuit het brein komt en dient als een waarschuwing voor gevaar. Sensorische input van gevaar (nociceptie) is belangrijk, maar niet voldoende voor pijn. Spiegeltherapie is waarschijnlijk een manier om het brein te overtuigen dat alles precies is zoals het moet zijn. Dit remt de behoefte van het brein om pijn op te roepen. Alternatief kan spiegeltherapie een grote afleider zijn voor pijn: het afleiden is nog steeds de meest effectieve pijnstillert uit de natuur, een aai over de bol is hier een goed voorbeeld van. Een andere werking van spiegeltherapie is het omzetten van visuele prikkels tot een motorische actie, waardoor er een motorische herstel kan plaats vinden¹³. Spiegeltherapie werkt via de 'poorttheorie', die hier onder verder wordt uitgelegd.

4.1.2.1 Poorttheorie

Bij het bekijken van neurologische activiteit van onder andere nociceptie, wordt de sensitiviteit van neuronen voor prikkels sterk beïnvloed door stoffen die andere zenuwcellen in de buurt vrijmaken (glutamaat en aspartaat). Maar ook hormoonstoffen (GABA, enkefalines, serotonine, noradrenaline en adenosine) die aangemaakt worden, spelen een rol. Daarnaast speelt de stimulatie/remming van andere neuronen een grote rol bij nociceptie. Deze stimulatie/remming tussen neuronen loopt via synapsen en creëert een exciterende/inhiberende werking. De effecten van de bovengenoemde stoffen zorgen ervoor dat een neuron ontladend en een signaal afgeeft naar verderop gelegen neuronen (zie figuur 1A, (Booi, 2005)²²).



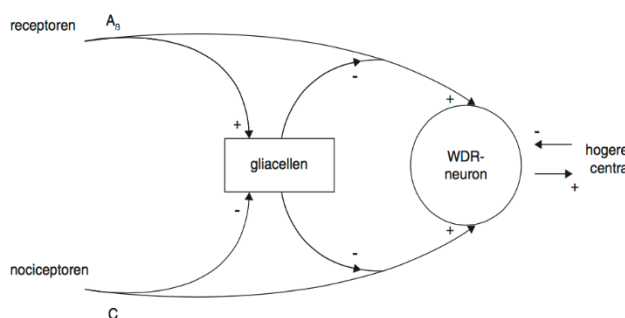
Figuur 1A - De synaps; transporteert stoffen voor een exciterend of inhiberend effect.

Overgenomen uit: *Lokale anesthesie in de tandheelkunde* door L.H.D.J. Booi, 2005, Houten, Nederland: Bohn Stafleu van Loghum.

Verwerking van informatie (onder andere nociceptie) wordt gedaan via de achterhoorn van het ruggenmerg, zie figuur 1B (Van der Pol, van Reekum & VonHögen [2011]²³). Volgens de 'poorttheorie' van de psycholoog Melzack en de neuroanatomist Wall (zie figuur 2, in het boek Anatomie en fysiologie), selecteert een schakelneuron ('wide dynamic range neuron, WDR') prikkels van dikke afferente A β -vezels (receptoren), of prikkels van dunne afferente C-vezels (nociceptoren). De WDR, in samenwerking met de gliacellen, laat dan de gekozen afferente vezels door. Gliacellen zorgen voor de inhiberende werking op de dunne en dikke vezels²⁴.

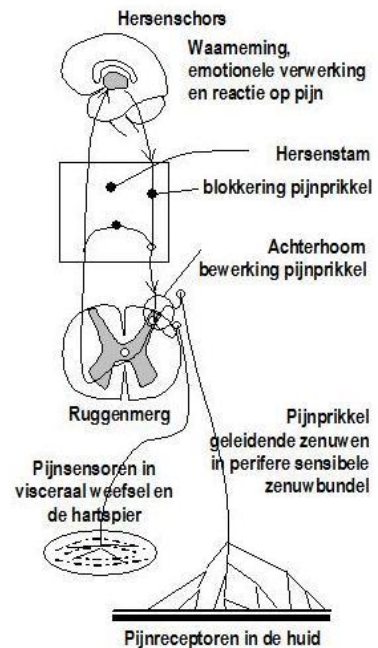
Zo kan het verschijnsel van het afnemen van de pijn bij bijvoorbeeld een kusje of wrijven over een pijnlijke plek verklaard worden: visuele receptoren beïnvloeden de nociceptoren. Dit geldt ook bijvoorbeeld bij het schaven van de knie, maar pas bij het zien van de wond pijn voelen.

Spiegeltherapie is een voorbeeld van het inhiberen van de nociceptoren door middel van het beïnvloeden van de visuele receptoren. Het kijken in de spiegel activeert visuele receptoren en hierdoor wordt de pijn onderdrukt. Voor het programma is het van groot belang dat de visuele input hoog is door middel van het spiegelen van de hand, zodat deze visuele prikkelsensatie de pijn onderdrukt.



Figuur 2 – Het principe van de poorttheorie. De nociceptoren verzorgen de signalen die veroorzaakt worden door pijn. De receptoren verzorgen signalen die bijvoorbeeld gezien worden. Doordat de signalen van de receptoren sterker zijn dan de signalen van de nociceptoren, wordt het WDR-neuron minder actief. Hierdoor wordt er in mindere mate een signaal naar de hersenen gezonden.

Overgenomen uit: *Medische fysiologie en anatomie* door M.J. Tervoot, I.J.D. Jüngen, 2012, Houten, Nederland: Bohn Stafleu van Loghum.



Figuur 1B - Schematische weergaven van het verloop van pijn. De pijn gaat via de achterhoorn naar de hersenschors. Een ander signaal kan zorgen voor een blokkering van de pijn prikkel. Overgenomen uit: "Perioperatieve pijnbestrijding" door S. Van der Pol, J. Van Reekum, L. VonHögen, 2011.

Eis 1: De hand moet gespiegeld worden in het programma

4.1.3 Doelgroep

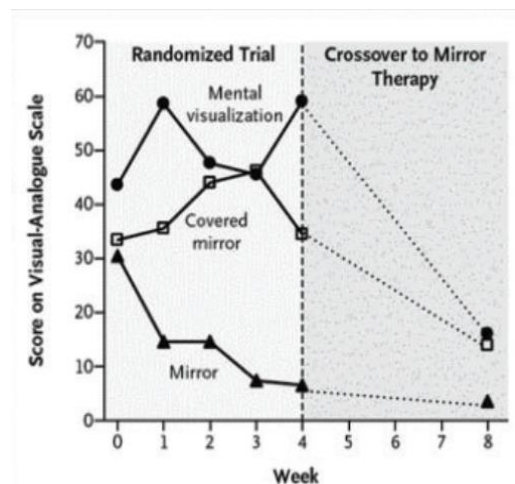
Meerdere onderzoeken tonen aan dat de positieve effectiviteit van spiegeltherapie niet alleen werkt bij amputatiepatiënten met fantoompijn, maar ook bij CRPS type-1 en hemiplegie. Spiegeltherapie wordt tegenwoordig dus niet alleen gebruikt bij van fantoomledematen en fantoompijn, maar ook bij patiënten met het 'Complex Regionaal Pijn Syndroom' (CRPS – een chronische pijnandoening met o.a. zwellingen en krampen), bij een hemiplegie (halfzijdige letsel/ verlamming) en recent bij 'Cerebro Vasculair Accident' (CVA – geknapt of verstopt bloedvat in de hersenen waardoor er een deel van de hersenen beschadigt of afsterft). Het programma kan, naast onderarmamputatiepatiënten, eventueel toegepast worden voor CRPS-patiënten, Hemiplegie-patiënten en CVA-patiënten.

4.1.4 Effectiviteit van spiegeltherapie

In de volgende paragraaf wordt beschreven hoe effectief spiegeltherapie is bij fantoompijn, hemiplegie en CRPS.

4.1.4.1 Fantoompijn

De opvallende positieve effecten van visuele spiegel feedback bij fantoompijn zijn al bevestigd door verschillende studies²⁵⁻²⁸. In het meest recente onderzoek van Chan et al., (2007) werden 22 patiënten getest met visuele spiegelfeedback²⁵. Van de 22 patiënten hebben achttien het onderzoek volledig afgerond. Zes patiënten werden behandeld met traditionele spiegeltherapie, zes anderen werden behandeld met een bedekte spiegel (de patiënten keken naar de goede ledemaat en bedachten de beweging voor de andere ledemaat) en de laatste zes werden behandeld met visualisatie (het inbeelden van bewegingen met de geamputeerde ledemaat). De 'mean visual-analogue scale' (VAS), zakte na vier weken van 30/100 naar 5/100 bij de spiegeltherapie-groep, bleef voor de bedekte spiegelgroep hetzelfde rond 30/100 ($P = 0.04$ vergeleken met de spiegeltherapie-groep) en steeg bij de visualisatiegroep van 40/100 naar 60/100 ($P = 0.002$ vergeleken met de spiegeltherapie-groep). Negen patiënten, van de bedekte spiegelgroep en de visualisatiegroep, werden daarna behandeld met spiegeltherapie. Na vier weken spiegeltherapie hadden de negen patiënten een reductie van 75% in pijn ($P = 0.008$ voor VAS score na 4 weken met spiegeltherapie vergeleken met de vorige vier weken met de bedekte spiegeltherapie of visualisatie), zie Fig. 3²⁵. Uit de resultaten blijkt dat de spiegeltherapie-groep een pijnreductie heeft van 25% op de VAS-schaal in vier weken. Om de efficiëntie van het programma te waarborgen moet het effect van het programma een minimale pijnreductie hebben van 25% op de VAS-schaal in vier weken.



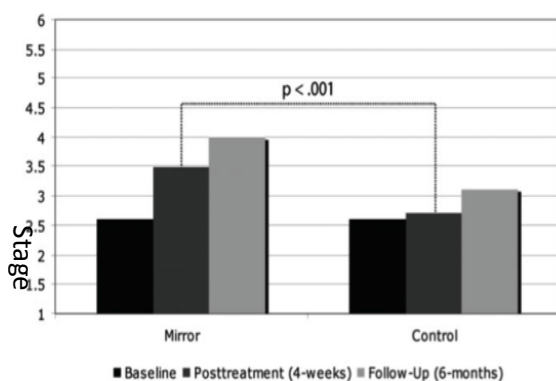
Figuur 3 - De pijnscore tegenover de week. Het is duidelijk te zien dat de pijnscore (VAS) afneemt naarmate spiegeltherapie wordt toegepast. Hierbij worden de visualisatiegroep (indenken van ledemaat met ogen dicht), de bedekte spiegelgroep (indenken van ledemaat met ogen open) en de spiegeltherapiegroep getest. Overgenomen uit: "Mirror Therapy for Phantom limb pain" door B.L. Chan et al. 2007, The New England Journal of Medicine, 357, 2206.

Eis 2: Het programma is bedoeld voor Onderarmamputatiepatiënten, maar moet ook geschikt gemaakt worden voor CRPS-type 1-, hemiplegie- en CVA-patiënten.

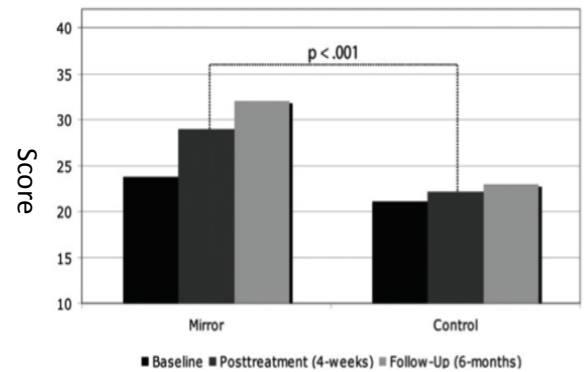
Eis 3: Het effect van het programma moet voor een minimale pijnreductie zorgen van 25% op de VAS-schaal in 4 weken.

4.1.4.2 Hemiplegie

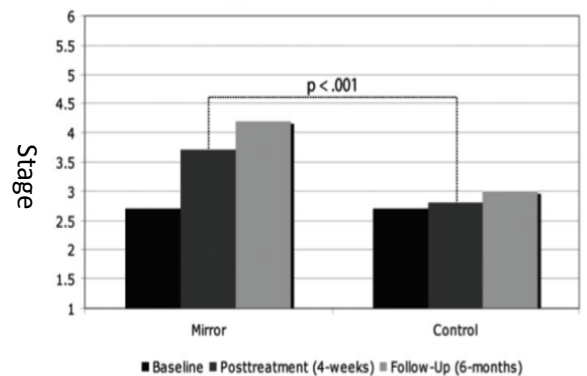
Zoals eerder werd gezegd, wordt spiegeltherapie steeds vaker toegepast bij mensen met een hemiplegie. In een onderzoek van Yavuzer et al., (2008) werden 40 patiënten, met een hemiplegie tot twaalf maanden na hun beroerte in de bovenste extremiteit, willekeurig gekoppeld aan spiegeltherapie of een placebo therapie (een therapie niet gebaseerd op geneeskrachtige middelen of methodes)²⁹. De handen en armen werden bij beide therapieën, met een bedekte wand tussen de handen, bewogen. Alle proefpersonen kregen daarnaast ook de gebruikelijke therapie. Uit de studie blijkt dat de onderzochte groep die spiegeltherapie had gedaan, statistisch een significante verbetering liet zien in de Brunnstrom stage (één tot zes, waarbij stage één totaal geen beweging bij de aangedane kant heeft en stage zes bijna normale tot normale beweging en coördinatie heeft) en 'the functional independence measure' ook wel FIM score (uniformeel scoresysteem waar het onafhankelijk functioneren met een handicap wordt getoetst), ten opzicht met de controle groep, zie Fig. 4A-C²⁹. Uit de resultaten blijkt dat de 17 patiënten, die spiegeltherapie deden, na vier weken een verhoging hadden van één stage bij motorisch herstel van de hand op de Brunnstrom-schaal (van 2,5 naar 3,5). Bij het motorisch herstel van de arm hadden de patiënten na vier weken een verhoging van één stage op de Brunnstrom-schaal (van 2,7 naar 3,7). Voor de FIM-score was er een verhoging van vijf punten bij dezelfde patiënten in vier weken. Om de efficiëntie van het programma te waarborgen moet het effect van het programma een minimale verhoging hebben van één stage op Brunnstrom-schaal en een minimale verhoging hebben van vijf punten op de FIM-score, dit in vier weken.



Figuur 4C - Spiegeltherapie voor beroerte, hemiplegie – Motorische herstel van de hand met Brunnstrom stage toetsing. Een hogere stage betekend een betere functionaliteit van de hand van de patiënt.
Overgenomen uit: "Mirror Therapy improves hand function in subacute stroke: A randomized controlled trial" door G. Yavuzer et al. 2008, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 89, 393.



Figuur 4A – Spiegeltherapie voor beroerte, hemiplegie – Hand gerelateerde functionering met FIM-score toetsing. Een hogere score betekend een betere functionaliteit van de hand van de patiënt.
Overgenomen uit: "Mirror Therapy improves hand function in subacute stroke: A randomized controlled trial" door G. Yavuzer et al. 2008, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 89, 393.



Figuur 4B – Spiegeltherapie voor beroerte, hemiplegie – Motorische herstel van de arm met Brunnstrom stage toetsing. Een hogere score betekend een betere functionaliteit van de hand de patiënt.
Overgenomen uit: "Mirror Therapy improves hand function in subacute stroke: A randomized controlled trial" door G. Yavuzer et al. 2008, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 89, 393.

4.1.4.3 CRPS-1

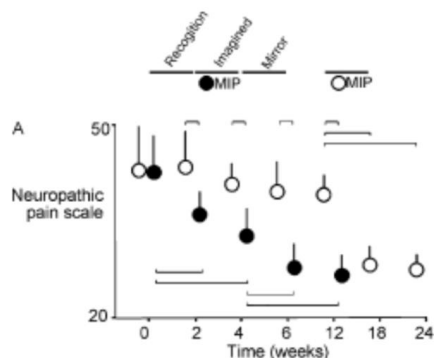
Complex regionale pijn syndroom type 1 (CRPS type-1) is een syndroom met corticale afwijkingen die vergelijkbaar zijn met fantoompijn en het effect na een beroerte.

Voor CRPS zijn nog niet veel onderzoeken gedaan met spiegeltherapie, de meest overtuigende studie is een placebo- en spiegeltherapie studie door McCabe et al. (2003). Patiënten met recente (acht weken of minder) CRPS lieten significant positief resultaat zien met spiegeltherapie. De controlegroep liet geen significant resultaat zien, patiënten met chronische CRPS (langer dan één jaar) lieten ook geen positief resultaat zien met spiegeltherapie³⁰.

Wat echter wel bleek, uit het onderzoek van McCabe et al., was het feit dat de waargenomen pijnreductie van visuele feedback de temperatuur veranderde van de aangedane plekken op de huid. Zulke temperatuur veranderingen kunnen niet bewust gedaan worden door de patiënt zelf. Dit fenomeen is het eerste bewijs dat fysiologische veranderingen bereikt kunnen worden door middel van visuele feedback, in de aangedane ledemaat³⁰.

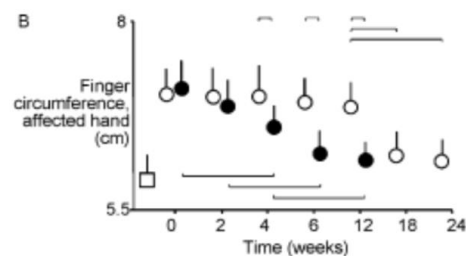
In een onderzoek van Moseley et al. (2004) werden dertien chronische CRPS type-1 patiënten willekeurig voor een MIP (motor imagery program) geplaatst of kregen een standaard behandeling (controle groep). Het onderzoek laat zien dat, wanneer MIP wordt toegepast bij CRPS type-1 patiënten, er een positiever resultaat wordt behaald.

MIP bestaat uit twaalf weken recognitie van de ledematen (links en rechts onderscheiden), visualisatie van de missende ledemaat en spiegeltherapie. Na twaalf weken werd de controlegroep overgeplaatst naar MIP. Bij de MIP-groep was er met de F-test een significant effect van $F(1,11) = 57$, $P < 0.01$ en een effectwaarde van ongeveer 25 punten op de neuropathische pijn schaal (NPS) (zie figuur 5A³¹). De behandeling moet minstens twee maal uitgevoerd worden voor een reductie van 50%. De vingeromtrek van de aangedane hand nam af van 7 cm naar 6 cm (zie figuur 5B³¹). Het effect van de MIP-behandeling was hetzelfde voor de overgeplaatste controlegroep³¹. Om de efficiëntie van het programma te waarborgen moet het effect van het programma een minimale reductie hebben van 25 punten op de NPS, tevens moet de aangedane hand een minimale reductie hebben van 1 cm voor de vingeromtrek, dit in twaalf weken.



Figuur 5A – Neuropathische pijn schaal, bij CRPS type 1 (zwart is Motor Imagery Program [MIP]-groep en wit is controlegroep) over het aantal weken. Na twaalf weken is de controlegroep overgezet naar het MIP-programma. Bij de MIP groep is direct een daling te zien, bij de controlegroep een daling nadat spiegeltherapie werd toegepast (na twaalf weken).

Overgenomen uit: "Grated Motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: A randomized controlled trial" door G.L. Moseley, 2004, Pain, 108, 192.



Figuur 5B – Vingeromtrek van aangedane hand bij CRPS type 1 (zwart is Motor Imagery Program [MIP]-groep en wit is controlegroep) over het aantal weken. Na twaalf weken is de controlegroep overgezet naar het MIP-programma. Bij de MIP groep is direct een daling te zien, bij de controlegroep een daling nadat spiegeltherapie werd toegepast (na twaalf weken).

Overgenomen uit: "Grated Motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: A randomized controlled trial" door G.L. Moseley, 2004, Pain, 108, 192.

4.1.5 De keuze voor onderarmamputaties

Fantoompijn komt voor bij 90% van de amputatiepatiënten³². Spiegeltherapie heeft tot nu toe vooral succes bij patiënten bij wie een hand of een arm is geamputeerd¹⁸. Omdat het product een digitalisering is van spiegeltherapie met de Leap Motion, zullen onderarmamputatiepatiënten als doelgroep worden gekozen. Dit vanwege de goede resultaten van onderzoeken bij patiënten met onderarmamputaties en de sensorregistratie van de Leap Motion^{33,34}.

Voor het testen van het prototype, zal er vooral gekeken worden naar onderarmaandoeningen. Dit vanwege gebrek aan onderarmamputatiepatiënten.

4.1.6 Nadelen van spiegeltherapie

Er kleeft een aantal nadelen aan de huidige vorm spiegeltherapie. Het beperkte bereik van spiegelen heeft als gevolg dat een ledemaat alleen beperkte bewegingen kan maken. Dit heeft te maken met dat de beweging anders buiten het bereik van de spiegel valt. Wanneer er geen spiegeling meer plaats vindt, zal het effect op het brein wegvallen³⁵. Een ander geval is dat de patiënt soms geneigd is om te gaan spieken achter de spiegel, ook dan zal het effect van de therapie op het brein wegvallen. Deze nadelen kleven minder of niet bij gebruik van de Oculus Rift en Leap Motion. Dit wordt verder uitgelegd in paragraaf 'Voordelen Oculus Rift en Leap Motion'.

4.1.7 Digitaliseren van spiegeltherapie

Het vertalen van spiegeltherapie naar virtual reality is al eerder onderzocht³⁵⁻³⁷. Zo hebben Murray et al. gebruik gemaakt van een virtual reality bril en sensoren op de benen of armen om verschillende amputatiepatiënten spiegeltherapie te laten meemaken in een virtuele wereld. De gegevens van de sensoren op de armen of benen werden gebruikt om de virtuele ledemaat weer te geven³⁵. In een ander onderzoek van Murrey et al. werden drie casussen onderzocht waarbij een patiënt een ledemaat miste. Ook hierbij werd een virtual reality bril gebruikt, evenals sensoren op de benen of armen³⁶. Rothgangel A. (2012) is bezig met een project waarbij tablets worden gebruikt als spiegel. De patiënt houdt de tablet boven bijvoorbeeld het niet geamputeerde onderbeen dat gespiegeld wordt. Vervolgens ziet de patiënt twee benen³⁷.

4.2 Apparatuur keuze

Er zijn verschillende apparaten beschikbaar voor het digitaliseren van spiegeltherapie. De te kiezen apparaten moeten minimaal de volgende zaken kunnen uitvoeren: het meten van de hand en het beeld tonen als virtual reality. Voor het meten van de hand zijn verschillende opties mogelijk. Er kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van een handschoen met sensoren. Een studententeam (QuadSquad) uit Oekraïne is bezig met het ontwikkelen van een handschoen die gebarentaal kan omzetten in tekst³⁸. Deze handschoenen zijn gevuld met sensoren die de buiging van de vingers meten, een kompas, accelerometer en gyroscoop om de positie van de hand in de ruimte vast te stellen. Zulk soort handschoenen meten nauwkeurig de positie en stand van de hand. Een bekend programma dat dit ook doet heet de 'cyberglove'. In de handschoenen kunnen 'rekstrookjes' gebruikt worden. Rekstrookjes zijn sensoren die buiging kunnen meten door de rek aan de binnen en buitenkant van het strookje te meten. Is de rek aan de binnenkant kleiner dan de rek aan de buitenkant, dan wordt buiging geregistreerd. Een ander systeem dat gebruikt kan worden is de Kinect. De Kinect is een camera die infrarood licht uitzendt. Dit licht wordt weerkaatst door het object en opgevangen door sensoren geïntegreerd in de camera. De software van Kinect ziet het hele lichaam maar kan aangepast worden om alleen de hand te zien. Tot slot is er de Leap Motion, een apparaatje dat gebruik maakt van hetzelfde infrarode systeem als de Kinect, maar is gemaakt en geoptimaliseerd alleen voor de hand.

Er is een aantal manieren om virtual reality te realiseren. Een van de manieren om virtual reality te creëren, is met behulp van schermen om een persoon heen (ook wel 'CAVE' genoemd)³⁹. Doordat de schermen volledig om de personen heen geplaatst zijn, geeft dit een gevoel van een andere realiteit. Een andere manier waarop virtual reality verwezenlijkt kan worden is met 'Head Mounted Displays' (HMD). HMD's zijn brillen die op het hoofd gezet worden. Twee schermen komen voor de ogen waarop de virtuele wereld geprojecteerd wordt. Er zijn verschillende versies van HMD's waarvan een deel met een standaard mobiele telefoon als scherm werkt. De telefoon wordt in de HMD geschoven en de HMD wordt opgedaan. Andere HMD's krijgen een direct beeld van een aangesloten computer of laptop. HMD's worden gebruikt voor verschillende doeleinden, zoals oefeningen in het leger, wetenschap en gaming. Een van de meest bekende HMD's van deze tijd is de Oculus Rift die momenteel in de ontwikkelingsfase is.

Er is besloten om gebruik te maken van de Leap Motion en de Oculus Rift. Met de Leap Motion is het mogelijk om de hand nauwkeurig te meten zonder dat er sensoren of handschoenen bevestigd hoeven te worden aan de hand. De Oculus Rift is de meest toegankelijke virtual reality bril die nu gekocht kan worden. Ook kunnen de Leap Motion en de Oculus Rift aan elkaar gekoppeld worden.

Randvoorwaarde 1: Er moet gebruik gemaakt worden van de Leap Motion Randvoorwaarde 2: Er moet gebruik gemaakt worden van de Oculus Rift

4.2.1 Leap Motion

Zoals eerder gezegd is de Leap Motion, te zien in figuur 6 (Product, 2015)⁴⁰ een klein kastje van 7,6 x 3,0 x 1,3 cm. De infrarode straling die uitgezonden wordt, weerkaatst op de handen en wordt opgevangen door de Leap Motion. Hierdoor kan de Leap Motion de positie bepalen van de hand met een snelheid van maximaal 120 frames per seconde. Er is een standaard handmodel geprogrammeerd in de Leap Motion. Dit handmodel wordt vergeleken met alles wat er boven de Leap Motion komt. Als dit een hand is, wordt er een overeenkomst gedetecteerd en wordt de hand gemeten. Omdat er ook in de hoogte bewogen kan worden, geeft dit een extra dimensie voor besturing. In het coördinatensysteem dat gebruikt wordt voor de Leap Motion is y omhoog/omlaag, z naar voren/naar achteren en x naar links/naar rechts⁴⁰. Bekende programma's zoals Google Earth kunnen al bestuurd worden, programma's om Windows en Mac te besturen zijn ook beschikbaar. Tevens zijn er games speciaal ontwikkeld voor de Leap Motion. Al deze programma's kunnen gebruikt worden met het bewegen van de hand boven de Leap Motion en bepaalde gebaren, zoals grijpen, wijzen en klemmen met de duim en wijsvinger. Ook het tonen van een aantal vingers, een bepaalde positie van de hand of vegen, zijn ondersteund.



Figuur 6- De Leap Motion controller.
Opgehaald van developer.leapmotion.com:
<https://www.leapmotion.com/Product>

4.2.2 Oculus Rift

De Oculus Rift is een virtual bril die ervoor zorgt dat de gebruiker in een virtuele wereld terecht komt. De Oculus Rift werkt met behulp van twee beeldschermen die vlak voor de ogen geplaatst zijn. De beelden die op beide beeldschermen getoond worden, verschillen een fractie van elkaar. In de hersenen worden deze beelden samengevoegd tot één geheel. Doordat de beelden verschillen, zie figuur 7 (Kemen, [2013]⁴¹) van elkaar ontstaat er in de hersenen een stereoscopisch beeld waarin diepte gezien kan worden.

De Oculus Rift wordt ondersteund door meerdere programma's, vooral games. Games die momenteel in ontwikkeling zijn, hebben meestal geïntegreerde ondersteuning, terwijl bestaande games ondersteuning voor de Oculus Rift implementeren. Ook zijn er externe programma's, zoals Vireio Perception, die een aantal games kunnen transformeren voor een Oculus Rift. De Oculus Rift waarmee gewerkt wordt is de Development kit 2 (DK2). Deze heeft minder vertraging bij het rondkijken (het blijven hangen van het beeld) en hierdoor een verminderde misselijkheidsfactor. Een camera is meegeleverd met de Oculus Rift, deze wordt voor de bril geplaatst. Er zitten infrarode lampjes op de Oculus Rift, deze worden opgepikt door de camera. Hierdoor kan de camera meten of de oculus dichterbij komt of opzij gaat. Hierdoor kan ook translatie worden berekend (naar voren/achter/opzij bewegen).



Figuur 7- Een frame van een vliegsimulator. De beelden corresponderen voor beide ogen.
Opgehaald van youtu.be:
<https://www.youtube.com/watch?v=2LPPdV2Md1c>

4.2.3 Voordelen Oculus Rift en Leap Motion

Als de Leap Motion en de Oculus Rift aan elkaar gekoppeld zijn, levert dit als voordeel op dat de “FOV” (Field of View, het gezichtsveld) van de Leap Motion groter is dan die van de Oculus Rift. De FOV van de Leap Motion is 150 graden breed en 120 graden diep, met een gemiddelde van 135 graden. De gemiddelde FOV van de Oculus Rift is 100 graden. Het voordeel hiervan is dat de handen, gemeten met de Leap Motion, zelfs buiten het kijkbereik van de Oculus Rift gemeten worden. De Leap Motion heeft hierdoor een groter meetbereik dan de FOV van de Oculus Rift, zie figuur 8 (12 FAQs VR developer mount, 2015)⁴².

In vergelijking met traditionele spiegeltherapie waar het meetbereik/de bewegingsvrijheid gelimiteerd is door de afmetingen van de spiegel, heeft de Leap Motion een groter meetbereik. De spiegel staat bij spiegeltherapie het meest mediaal ten opzichte van het lichaam. Hierdoor is het niet mogelijk om een grote anteflexie- en adducerende beweging uit te voeren, omdat de patiënt anders zijn hand door de spiegel moet bewegen. Tevens geeft het op hebben van de Oculus Rift-bril geen neiging tot spieken omdat de bril het zicht van de gebruiker volledig afsluit van de visuele buitenwereld.



Figuur 8- De FOV (Field Of View) van de Leap Motion controller ten opzichte van de FOV van de Oculus Rift.
Opgehaald van [blog.leapmotion.com](http://blog.leapmotion.com/12-faqs-vr-developer-mount/): <http://blog.leapmotion.com/12-faqs-vr-developer-mount/>

4.2.4 Beschikbare software

De software die gebruikt gaat worden, moet kunnen communiceren met de Leap Motion. Ook moet de Oculus Rift te implementeren zijn in de software. De Leap Motion is te gebruiken in combinatie met C++, C#, Unity 3D, Objective-C, Java, Python, JavaScript en Unreal Engine. Voor de Oculus Rift zijn standaard implementaties beschikbaar voor Unity 3D en Unreal Engine. Unity 3D en Unreal Engine lijken sterk op elkaar. Unity 3D werkt vooral met een visuele interface, maar geeft ook toegang tot code (JavaScript en C#). Unreal Engine heeft ook een visuele interface, maar is meer codegericht (C++).

De uiteindelijke keus is gevallen op Unity 3D, vanwege de mogelijkheid tot het gebruiken van verschillende codes. De Leap Motion en de Oculus Rift kunnen goed geïntegreerd worden in Unity 3D en de uitgebreide documentatie geeft goede informatie.

4.2.5 Unity3D

Unity3D is een ontwikkelplatform dat vaak gebruikt wordt voor games. Er zijn twee belangrijke onderdelen in Unity3D: de code en drop-in UI (omgeving waarin objecten kunnen worden toegevoegd). Unity 3D is opgeemaakt uit twee delen: een grafische omgeving en code. De grafische omgeving geeft de mogelijkheid om een omgeving te maken met verschillende 3D modellen. Ook kubussen, ballen en vlakken kunnen geïmplementeerd worden. Andere functies zijn het kiezen en toepassen van verschillende texturen en materialen, het toevoegen van codes aan objecten en het implementeren van audio.

Unity 3D komt met een programma om code te schrijven, MonoDevelop. Unity 3D kan twee 'talen' implementeren, C# en Javascript. De code die gebruikt wordt, is over het algemeen gericht op het voltooien van doelen. Denk hierbij aan het verplaatsen van een object op commando of het voltooien van een bepaalde opdracht. Zoals eerder gezegd, kan de code aan een object gekoppeld worden. Hierdoor kan er een universele code geschreven worden die op meerdere objecten toegepast kan worden.

4.3 Input therapeuten

Om een goed programma te maken, is het belangrijk dat er een goede communicatie is met de therapeuten. Zij zijn immers de specialisten die kennis van en ervaring met spiegeltherapie hebben en de patiënten begeleiden met hun behandeling/revalidatie. Daarom is er een samenwerking aangegaan met twee therapeuten die gespecialiseerd zijn op het gebied van hand en pols klachten. Deze therapeuten maken beiden af en toe gebruik van spiegeltherapie, maar geven de voorkeur aan andere therapieën. Het opzetten van de opstelling wordt als een gedoe beschouwd en de patiënt heeft mogelijkheid tot spieken, wat ook af en toe gebeurde. De therapeuten gaven als suggestie de focus te leggen op ADL (algemene dagelijkse levensverrichtingen) taken. De therapeuten kwamen met ideeën waaronder: alledaagse omgevingen te maken (aanrecht, tafel, tuin). Daarnaast gaven de therapeuten ook een lijst met andere taken: inschenken (knoeien en opruimen), ramen zemen, het openen van een prullenbak, een koelkast openen, brief in de bus stoppen en tiptoetsen gebruiken. Deze ideeën kunnen gebruikt worden om verschillende niveaus te creëren. Dit soort opdrachten wordt gedaan met een aantal basisbewegingen zoals grijpen, wijzen en roteren. Het is belangrijk rekening te houden met het type beweging dat de patiënt moeilijk vindt. Dit kunnen grove bewegingen met de hand zijn, of kleine bewegingen met de vingers. Het programma zal zich vooral richten op ADL-taken/bewegingen, inclusief interacties met objecten. Hierbij is het pakken van objecten met duim en wijsvinger een belangrijke beweging die ook toegepast wordt in de traditionele vorm van spiegeltherapie.

Randvoorwaarde 3: Er moet gebruik gemaakt worden van het programma Unity 3D

Eis 4: De oefeningen moeten verdeeld zijn in verschillende categorieën (grote motoriek en fijne motoriek)

Eis 5: De virtuele hand moet in staat zijn om objecten op te kunnen pakken met de duim en wijsvinger

4.4 Randvoorwaarden, eisen en wensen

Hieronder worden de randvoorwaarden, eisen en wensen weergegeven die voortvloeiden uit de analysefase.

4.4.1 Randvoorwaarden

1. Er moet gebruik gemaakt worden van de Leap Motion.
2. Er moet gebruikt gemaakt worden van de Oculus Rift.
3. Er moet gebruik gemaakt worden van het programma Unity 3D.

4.4.2 Eisen

1. De hand moet gespiegeld worden.
2. Het programma kan, naast onderarmamputatiepatiënten, toegepast worden voor CPRS-patiënten, Hemiplegie-patiënten en CVA-patiënten.
3. Het effect van het programma moet een minimale pijnreductie hebben op onderarmamputatiepatiënten van 25% op de VAS-schaal in vier weken.
4. De oefeningen moeten verdeeld zijn in verschillende categorieën (grote motoriek en fijne motoriek).
5. De virtuele hand moet in staat zijn om objecten op te kunnen pakken met de duim en wijsvinger.

4.4.3 Wensen

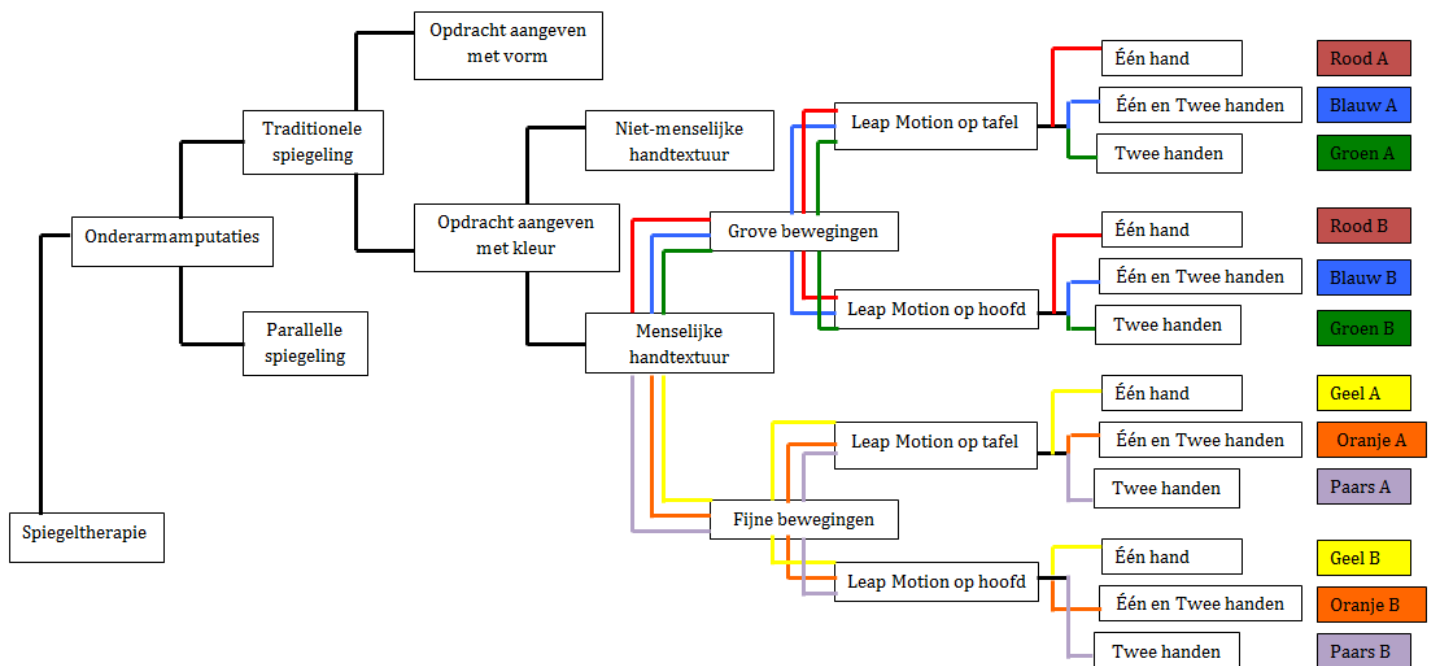
1. Het programma moet de mogelijkheid hebben tot het uitvoeren van ADL taken.
2. Het programma moet de patiënt in een herkenbare omgeving plaatsen.
3. Het programma moet alleen de aangedane hand virtueel weergeven.
4. Het programma moet in staat zijn om de vingers te spreiden.
5. Het programma moet in staat zijn om een wijsvingergebaar te weergeven.
6. De pro-en supinatie moeten aanwezig zijn.

5. Ontwerpfase

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe het programma tot stand is gekomen. Bij het maken van een digitaal ontwerp dienen zich vele keuzes aan vanwege de vele mogelijkheden die binnen een digitaal ontwerp mogelijk zijn. Naast keuzes met betrekking tot het daadwerkelijk programmeren, moeten er ook keuzes gemaakt worden over het uiterlijk van het programma en de bijbehorende oefeningen. Er wordt daarom gebruik gemaakt van een iteratief proces. Regelmatig wordt na een bepaalde periode het programma ter controle getest. De uitkomsten van die testen bepalen welke onderdelen behouden worden en welke onderdelen aanpassingen behoeven.

5.1 Ontwerpboom

Er wordt gebruik gemaakt van een ontwerpboom. Hierin worden de mogelijkheden weergegeven die gebruikt kunnen worden voor het programma. Er wordt echter slechts een aantal toepassingen gekozen en ontwikkeld. Gezien de beschikbare tijd komen hier niet alle keuzes naar voren. De ontwerpboom bestaat uit twee delen. Het eerste deel, de 'black box' bestaat uit een aantal vaste keuzes die van belang zijn voor de verdere werking van het programma, dit is in figuur 9 weergegeven met de zwarte lijnen. Deze keuzes worden later uitgelegd. Het tweede deel bestaat uit een aantal keuzes die uiteindelijk door de therapeuten zelf kunnen worden gemaakt. Hierbij wordt gekeken naar de condities van de patiënt en vervolgens wordt bepaald welk onderdeel van het programma daar het beste bij past. Deze keuzes zijn weergegeven in figuur 9 met de gekleurde lijnen. De door de keuzes ontstane paden resulteren in verschillende toepassingen, bijvoorbeeld toepassing 'Geel A'.



Figuur 9 – De keuzeboom. In de tekstvakjes is aangegeven wat de keuzes zijn. De zwarte verbindingen tussen deze vakjes tonen de keuzes aan die al gemaakt zijn en waar de therapeuten geen keus in hebben. De gekleurde routes tonen de keuzes aan die bij de therapeuten liggen. Uiteindelijk monden deze keuzes uit in verschillende toepassingen, bijvoorbeeld toepassing 'Geel A'.

5.1.1 Ontwerpboom: De black box

De keuzes gemaakt in de black box staan vast en kunnen niet gekozen worden door de therapeut. De keuzes die aan de orde komen zijn de spiegelmethode, de manier van aangeven van de opdracht en de handtextuur.

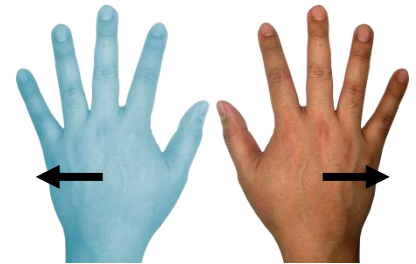
5.1.1.1 Spiegelingsmethode

Het belangrijkste onderdeel van het programma is de spiegeling van de handen. Deze gaat, net zoals bij traditionele spiegeltherapie, zorgen voor het voor de gek houden van het brein. Er kunnen vele soorten spiegelingen toegepast worden, waaronder de 'traditionele spiegeling' en de 'parallele spiegeling'. De translatie van de hand kan gespiegeld worden door het globale assenstelsel aan te passen, terwijl de rotatie niet aangepast kan worden omdat deze met een lokaal assenstelsel werkt.

Bij de traditionele spiegeling wordt een echte spiegel nagebootst; Als de leidende hand (de hand die door de Leap Motion geregistreerd wordt) naar rechts beweegt, zal de gespiegelde hand (de hand die door het programma gegenereerd wordt) naar links bewegen. Dit is te zien in figuur 10A (texture: hands, 2015)⁴³. De rotaties van de hand zijn in radiaal- en ulnairabductie, en pro- en supinatie gespiegeld. Bij de parallele spiegeling, te zien in figuur 10B⁴³, zijn alleen de rotaties van de hand gespiegeld, maar alle translaties zijn gelijk. Als de leidende hand naar lateraal beweegt zal de gespiegelde hand ook naar lateraal bewegen.

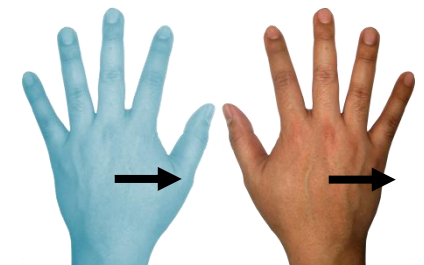
5.1.1.1.1 Tussenmeting

Om te bepalen welke spiegelmethode het beste is, is er een tussenmeting gedaan met een test met studenten. Het doel van deze test was niet om de effectiviteit van het programma te meten, maar om te kijken welke spiegelmethode de meeste cognitieve belasting vergde. Als de persoon er langer over doet, betekent dat er meer cognitieve belasting er voor nodig is. Er is een testprogramma gemaakt waarbij drie blokjes opgestapeld moesten worden. Hierbij werd een dubbeltaak gegeven, een taak die tegelijkertijd gedaan moest worden met de initiële opdracht. Er is gemeten hoelang de persoon deed over de taak met de voorkeurs- en niet-voorkeurshand (zie bijlage 1). Uit de test bleek dat de methode waarbij de traditionele spiegel werd nagebootst het langst duurde. De parallele spiegelmethode nam het minste tijd in beslag en had de voorkeur, wellicht omdat de cognitieve belasting hier minder was. Voor het programma moet het van belang zijn dat de cognitieve belasting hoog is, dit kan inhouden dat de hersenen een grotere overtuiging hebben dat de aangedane hand daadwerkelijk bewogen wordt. Om deze reden is er gekozen voor de traditionele spiegeling. In grafiek 1 zijn de resultaten weergegeven.



Figuur 10A - Als de leidende hand (rechts) naar rechts beweegt, zal de gespiegelde hand (links) naar links bewegen.

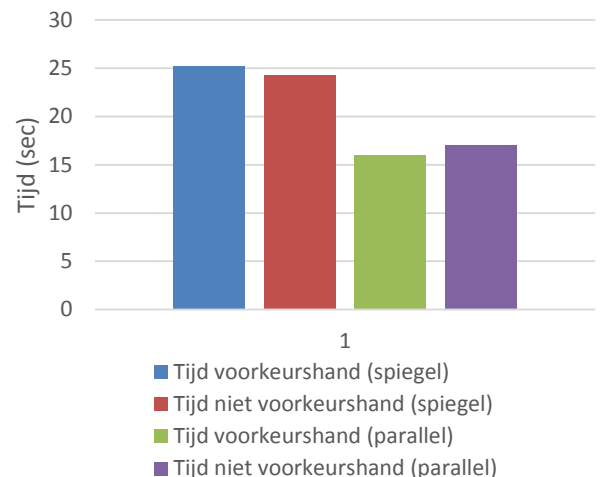
Aangepast van pngimg.com:
<http://www.pngimg.com/img/people/hands>



Figuur 10B - Als de leidende hand (rechts) naar rechts beweegt, zal de gespiegelde hand (links) naar links bewegen.

Aangepast van pngimg.com:
<http://www.pngimg.com/img/people/hands>

Tijd per spiegelmethode



Grafiek 1- In de bovenstaande grafiek staat de gemiddelde tijd die de proefpersonen nodig hadden om drie blokjes op elkaar te plaatsen. De grafiek is onderverdeeld in twee spiegelingen die met de voorkeurs- en niet-voorkeurshand uitgevoerd zijn.

5.1.1.2 Aangeven van de opdracht

Met het aangeven van de opdracht wordt de manier bedoeld waarop de opdrachten naar de patiënt worden gecommuniceerd. Ook moet duidelijk zijn welke bewegingen nodig zijn om de opdracht tot een goed einde te brengen. Er wordt in tekst weergegeven wat er verwacht wordt van de patiënt, maar dit moet ook intuïtief aanvoelen. Verschillende methodes kunnen hierop toegepast worden. Zo kunnen bijvoorbeeld vormen gebruikt worden om aan te duiden welke objecten verplaatst worden. Een vierkant blokje moet dan op een vierkante houder geplaatst worden. Er is gekozen om kleuren te gebruiken. Objecten die dezelfde kleur hebben moeten op een of andere manier gecombineerd worden door oppakken, schuiven of gooien.



Figuur 11- Een menselijke hand (links) en een niet-menselijke hand (rechts) in Unity 3D.

De handen die in de omgeving geprojecteerd worden, kunnen aangepast worden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen menselijke handen en niet-menselijke handen. Beide 'soorten' handen beschikken over beweegbare vingers en pols. In afbeelding 11⁴⁴ zijn twee voorbeelden te zien van de verschillende handen. Om een zo groot mogelijke prikkelstimulus te krijgen is gekozen voor een menselijke hand. De volgende keuze is of alleen de hand of ook de onderarm zichtbaar wordt. Ook hier is, voor een maximale prikkelstimulus, de hand met onderarm gekozen. Ook kan de kleur van de huid van de hand gekozen worden.

5.1.1.3 Het wisselen van levels en andere functies

Als er gewisseld moet worden van levels, kan dit vervelend overkomen voor de patiënt. De wisselingen komen vrij plotseling en het beeld staat een moment stil. Daarom is gekozen voor 'vervagen', het langzaam zwart worden van het beeld, van het eerdere level en het 'verschijnen', vanuit een zwart beeld naar het beeld van het nieuwe level. Ook is er een aantal functies toegevoegd. Deze functies zijn hieronder weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 – De toetsen en acties die gemaakt zijn voor in het programma.

TOETS	FUNCTIE
'R'	Het herstarten van een level
'ESC'	Het afsluiten van het programma
'D'	Het veranderen van de huid van de hand
'A'	Het terug veranderen van de huid van de hand
'SHIFT' + 'RECHTER PIJLTJESTOETS'	Doorgaan naar het volgende level forceren
'SHIFT' + 'LINKER PIJLTJESTOETS'	Een level terug

Deze functies zijn er om bepaalde acties makkelijker en gebruikersvriendelijker te maken. Zo kan de 'huid', de textuur van de hand, makkelijk veranderd worden en kan een ander level geforceerd worden als de oefening lastig blijkt.

5.1.2 Ontwerpboom: Keuzes buiten de black box

De keuzes buiten de black box kunnen gemaakt worden door de therapeut. Deze keuzes bepalen de kleur van de huid van de hand(en), of de oefening met één of twee handen gedaan wordt en of de oefening gericht wordt op fijne of grove motoriek.

5.1.2.1 Fijne en grove bewegingen

Een van de belangrijkste keuzes die door de therapeut gemaakt moet worden, is de soort beweging. Als de hand in zijn geheel naar mediaal of lateraal bewogen wordt, of de hand beweegt naar anterior of posterior, dan wordt dit als grove beweging beschouwd. Dit traint de grove motoriek. Fijne bewegingen trainen de fijne motoriek en bestaan uit het extenderen en flexeren en het spreiden en sluiten van de vingers. Fijne motoriek voor de pols bestaat uit extensie en flexie, evenals mediale en laterale abductie. De grijpbeweging is een voorbeeld van een beweging die veel gebruikt wordt bij spiegeltherapie om de fijne motoriek te trainen. De Leap Motion herkent een grijpbeweging waarbij de wijsvinger naar de duim bewogen wordt. Als de vingers vrijwel gesloten zijn, kan een object opgetild worden, zie figuur 12 (texture: hands, 2015)⁴⁴.



Figuur 12 – Het grijpen met duim wijsvinger.
opgehaald van pngimg.com:
<http://www.pngimg.com/img/people/hands>

5.1.2.2 Een of twee handen

In het programma is het mogelijk twee handen of één hand weer te geven. Als er twee handen weergegeven worden, is één hand de leidende hand die gemeten wordt, terwijl de andere hand een gespiegelde versie van de leidende hand is. Als één hand wordt weergegeven komt alleen de gespiegelde hand in beeld. De keuze één of twee handen, heeft vooral invloed op de opdrachten die uitgevoerd kunnen worden. Met één hand kunnen er interacties met objecten uitgevoerd worden. Zo kan een blokje opgepakt of verschoven worden. Met twee handen gaat dit lastiger, aangezien de andere hand vaak in de weg zit. Als er namelijk een object in het midden opgepakt moet worden, gaat niet alleen de leidende hand naar het midden, maar ook de gespiegelde hand. Vervolgens zullen beide handen het object proberen op te pakken. Hierdoor weet het programma niet welke hand de actie daadwerkelijk moet uitvoeren. Het vermoeden is dat, als de oefening met één hand wordt uitgevoerd, een grotere prikkelsensatie ontstaat. Vermoedelijk doordat de aandacht gevestigd wordt op de gespiegelde hand, die er in werkelijkheid niet meer is. De patiënt wordt gedwongen te denken en te handelen alsof de bestuurde hand daadwerkelijk de aangedane hand is. Dit werkt zoals traditionele spiegeltherapie, volgens de eerder genoemde poorttheorie. Omdat er een beeld van een goede hand is ontstaan, ontstaat in de hersenen de perceptie dat de aangedane hand daadwerkelijk 'genezen' is. Als er echter twee handen in beeld komen, waarvan er een gespiegeld is, kunnen er andere opdrachten gedaan worden. Het tegenhouden van een bal of het balanceren van een balk zijn voorbeelden van opdrachten die alleen met twee handen gedaan kunnen worden. Hierbij moet de patiënt wel het idee hebben dat beide handen echt nodig zijn bij de beweging, anders zal de gebruiker zich concentreren op de leidende hand.

5.1.2.3 De handkleur

De handkleur is in te stellen door de therapeut en kan afgesteld worden op de handkleur van de persoon. Deze keuze kan in elk programma op elk moment veranderd worden en kan dus niet vooraf ingesteld worden. Er zijn drie verschillende kleuren: blank, getint en donker. Als de kleur is ingesteld, blijft deze hetzelfde gedurende het programma geldig, tenzij deze bewust veranderd wordt door de therapeut.

5.1.2.4 De plaatsing van de Leap Motion

De Leap Motion kan op twee manieren geplaatst worden. Een manier is op een tafel geplaatst voor de persoon, de andere manier is op de Oculus Rift. Aan beide manieren zijn voor- en nadelen verbonden. Aangezien de Leap Motion het beste bewegingen als grijpen en het maken van een vuist kan registreren, als de palm van de hand naar de Leap Motion toe is gericht, moet de hand zich aanpassen aan de rotatie van de Leap Motion. Als de Leap motion op de bril is geplaatst, is deze $\pm 90^\circ$ gekanteld, dus moeten de handen dezelfde rotatie hebben om ervoor te zorgen dat de Leap Motion de acties goed kan registreren. Als de Leap Motion op de tafel ligt werkt deze het best als de positie van de handen horizontaal is. Als de Leap Motion op de bril is bevestigd, werkt de Leap Motion dus het beste als de handen verticaal worden gehouden. Een nadeel van de plaatsing op de tafel is echter dat de Leap Motion een vast bereik heeft. Als de Leap Motion op de Oculus Rift bevestigd is, kan dit bereik groter worden doordat de Leap Motion mee beweegt met de Oculus Rift.

Beide manieren hebben dus voordelen en nadelen. Per soort opdracht wordt gekozen welke plaats van de Leap Motion het meest geschikt is. De plaats van de Leap Motion bepaalt dus de opdrachten.

5.2 De toepassingen

De toepassingen zijn onderdelen van het programma die ontwikkeld worden op basis van de ontwerpboom. In dit hoofdstuk worden twee verschillende toepassingen getoond die ontwikkeld zijn. De overige toepassingen zijn niet ontwikkeld, maar zijn mogelijkheden die ontwikkeld kunnen worden. Deze keuzes zijn ontstaan door de wensen van therapeuten. De toepassingen kunnen gemaakt zijn voor verschillende aandoeningen, zo kunnen fijne motoriek en grove motoriek geoefend worden. Voor de code die gebruikt is voor het programma wordt verwezen naar bijlage 2.

5.2.1 Optie 1: Toepassing Geel A

Toepassing Geel A is voor mensen met problemen met fijne motoriek. De Leap Motion wordt op de tafel geplaatst. Met deze combinatie kan de patiënt de fijne motoriek oefenen. De verschillende opdrachten die gemaakt zijn voor toepassing Geel A zijn hieronder weergegeven.

5.2.1.1 Opdracht 1

Opdracht 1 bestaat uit twee blokjes die op twee verschillende pilaren geplaatst moeten worden (zie figuur 13). De blokjes hebben een eigen kleur en moeten met de juiste kleur gecombineerd worden. De blokjes kunnen opgepakt worden met een grijpbeweging. Deze beweging wordt uitgevoerd door de duim en wijsvinger naar elkaar toe te bewegen. Als het blokje is vastgepakt, kan de speler het blokje draaien en bewegen. Als beide blokjes op de goede gekleurde vakken staan, wordt de volgende opdracht weergegeven.



Figuur 13 - De eerste scene. De gekleurde blokjes moeten op de goede pilaren komen.

5.2.1.2 Opdracht 2

In deze opdracht is het de bedoeling dat een lichtblauw blokje in een rode 'brievenbus' komt. Het lichtblauwe blokje kan opgepakt worden met duim en wijsvinger en vervolgens bewogen en geroteerd worden. Als het blokje in de brievenbus wordt losgelaten, wordt het volgende level geladen (zie figuur 14).



Figuur 14 - De tweede scene. Het lichtblauwe blokje moet in de rode brievenbus gegooid

5.2.1.3 Opdracht 3

De derde opdracht is gelijk aan de eerste opdracht, te zien in figuur 15. Het verschil is echter dat deze blokjes niet opgepakt kunnen worden met een grijpbeweging. In plaats daarvan moeten de blokjes opgepakt worden met de wijs- en middelvinger. De vingers worden onder een dwarsbalkje geplaatst. Als de vingers dichtgeknepen worden, kan het blokje opgetild maar niet gerooteerd worden.

5.2.1.4 Opdracht 4

De vierde opdracht bestaat uit een muur met vijf rode blokjes (zie figuur 16). De bedoeling is om alle blokjes uit de muur te duwen, zodat ze naar beneden vallen. De blokjes kunnen niet vastgepakt worden, maar als er met de hand tegenaan bewogen wordt, zullen ze bewegen. De bedoeling is om de blokjes met één vinger een voor een uit de muur te duwen. Als alle blokjes uit de muur en op de grond gevallen zijn, is de oefening klaar.

5.2.2 Optie 2: Toepassing Blauw A

Toepassing Blauw A is meer gericht op mensen met problemen met grove

motoriek. De bewegingen die gemaakt worden, zijn hierbij grof en bestaan voornamelijk uit het transleren van de onderarm en bovenarm. Er is hierbij gekozen om de Leap Motion op de tafel te zetten en hierbij zijn opdrachten ontworpen met één of twee handen.

5.2.2.1 Opdracht 1

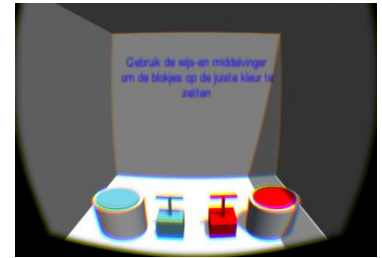
De eerste opdracht is het optillen van een balk. Deze opdracht wordt met beide handen uitgevoerd waarbij het van belang is dat de balk in balans is. De balk kan niet vastgepakt worden maar kan alleen transleren naar boven en onder en naar links en rechts. De balk moet van onder benaderd worden en vervolgens rustend op de handpalmen naar boven worden gebracht. Als de balk de rode plank aanraakt, wordt de volgende opdracht geladen (zie figuur 17).

5.2.2.2 Opdracht 2 en 3

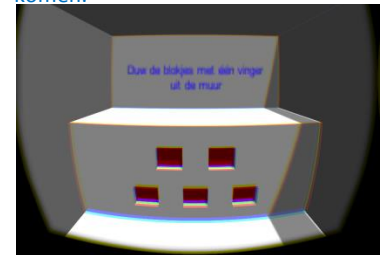
De tweede en derde opdracht zijn hetzelfde maar gespiegeld. De opdracht is om een aantal blokjes in een bak te vegen, zie figuur 18. Dit kan gedaan worden door de hand te kantelen zodat deze verticaal staat en vervolgens de blokjes te schuiven. De opdrachten verschillen qua richting. In de tweede opdracht moeten de blokjes naar een bak aan de rechterkant geschoven worden, terwijl de bak in de derde opdracht aan de linkerkant is. Ieder blokje kan eventueel opgepakt worden met duim en wijsvinger.

5.2.2.3 Opdracht 4

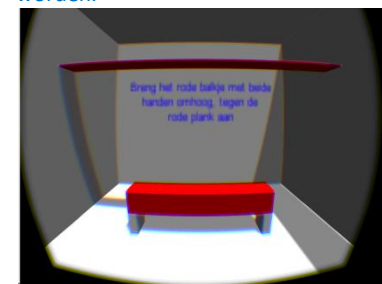
De vierde opdracht bestaat uit een muur van blokjes en een bal. In de muur zit één rood blokje dat uiteindelijk op de grond moet vallen, zie figuur 19. De muur kan omgegooid worden met een bal, die geduwd kan worden door de hand. Ook kan de bal opgepakt en gegooid worden. Zodra het rode blokje op de grond valt, is de opdracht voltooid.



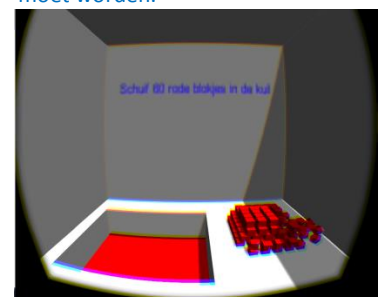
Figuur 15 - De derde opdracht. De blokjes moeten op de goede pilaren komen.



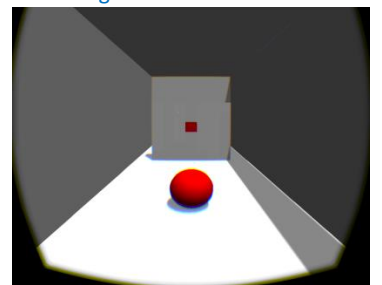
Figuur 16 - De vierde opdracht. De blokjes moeten uit de muur geduwd worden.



Figuur 17 - De eerste opdracht waarbij een balk omhoog getild moet worden.



Figuur 18 - De tweede opdracht waarbij de blokjes in de kuil moeten worden geschoven.



Figuur 19- In de vierde opdracht moet het rode blokje op de grond vallen. Dit kan door de bal te slaan.

6. Evaluatie

Er is een test uitgevoerd om de werking van het programma te testen. Het testprogramma bestond uit de twee toepassingen die hierboven beschreven zijn. Tijdens de test is gekeken of de klachten van de patiënt afnamen. Omdat er weinig onderarmamputatiepatiënten zijn, is er een meting uitgevoerd met een patiënt met een vegetatief zenuwletsel die last heeft van motorische beperkingen, irritatiegevoel, hevig zweten en verkleuringen bij het bewegen van de aangedane hand.

6.1 Testmethode

Om de meting goed en efficiënt te kunnen uitvoeren is er een meetprotocol opgesteld, voor het testen van het programma Virtual Therapy bij een patiënt met vegetatief zenuwletsel. In bijlage 3 staat het meetprotocol weergegeven.

Er werd een test uitgevoerd waarbij gekeken werd naar de VAS-score voor irritatiegevoel, voor- en achteraf en subjectieve feedback voor het programma. Hiermee kon een indicatie gegeven worden van de klachten van de persoon en of deze afnamen of toenamen. Deze uitgangsmaten zijn verwerkt in een vragenlijst, zie bijlage 4. Het Oculus Rift DK2-pakket was binnen 5 minuten opgezet, waardoor de patiënt zo snel mogelijk getest kon worden. De patiënt beantwoordde eerst vraag 1 van de vragenlijst. De patiënt zette vervolgens de Oculus Rift op en heeft vijf tot tien minuten de tijd gehad om te wennen aan de Oculus Rift en Leap Motion. Vervolgens werd de eerste scene gestart en werd de stopwatch gestart. Toen alle scenes voltooid waren, werd de stopwatch gestopt en werd de tijd genoteerd. Als laatste werden alle vragen van de vragenlijst beantwoord.

6.2 Resultaten

De patiënt gaf na tien minuten aan dat zij gewend was aan de Oculus Rift en de Leap Motion. Vooraf werd gevraagd om vraag 1 van de vragenlijst in te vullen. De stopwatch werd gestart en vervolgens zijn er acht scenes doorlopen waarvan één scene, na vele herhalingen, overgeslagen werd. Na 28 minuten was de patiënt klaar met het testen van het programma.

Vooraf gaf de patiënt op een schaal van 1 tot 10 een score van 5 aan. In deze schaal staat 1 voor verlamde functionaliteit en 10 voor normale functionaliteit.

Na het testen van het programma, gaf de patiënt aan dat ze het gevoel had dat de hand soepeler geworden was, ondanks dat ze deze niet gebruikt had. Ze gaf na het testen een waarde van 7 op de schaal van 1 tot 10 van motorische functionaliteit.

Tijdens het meten kreeg de patiënt transpiratie van haar aangedane hand, terwijl deze niet actief was. Eerder vond dit fenomeen alleen plaats wanneer er met de aangedane hand bepaalde revalidatieoefeningen werden gedaan, zoals het knijpen in een balletje.

Uit de test met deze individuele patiënt, kan gesteld worden dat het programma een positieve werking kan hebben op patiënten met een vegetatief zenuwletsel. Naast de kwantitatieve resultaten, gaf de patiënt aan dat het programma *“zeer motiverend is”*, vanwege de speelfactor. Ze kon echter haar bril niet ophouden en ze gaf aan dat ze bij één ‘scene’ moeite had met het diepteverhaal. Hierdoor moest ze vaak haar hele arm gebruiken en werd ze vermoeid in haar schouder. In vergelijking met traditionele spiegeltherapie vond de patiënt het programma moeilijker, maar toch uitdagender. Ook vond de patiënt het programma prettiger, omdat er geen mogelijkheid was om te spieken en door het spelelement was de patiënt geconcentreerder bezig.

De therapeuten vonden het veelbelovend dat de patiënt zo hevig reageerde op het programma, echter vonden ze wel dat het programma zich meer moest richten op ADL-taken en herkenbare omgevingen. Ook misten de therapeuten verschillende moeilijkheidsgraden tussen de opdrachten.

6.3 Vergelijking met eisen en wensen

Het programma voldoet aan alle eisen. De hand wordt gespiegeld in het programma met behulp van de Leap Motion en de Oculus Rift. Er zijn meerdere toepassingen die grove en fijne motoriek trainen. De hand die weergegeven wordt, is in staat om objecten te kunnen oppakken met duim en wijsvinger. Daarnaast toont de test aan dat het programma in staat is om patiënten, die geen amputatie hebben, te helpen. Het is nog niet bekend of het programma bij onderarmamputatiepatiënten een pijnreductie van 25% op een VAS-schaal kan bereiken in vier weken.

Het programma voldoet nog niet aan alle wensen van de therapeuten. Het programma is wel in staat om alleen de aangedane hand weer te geven. Het programma bevat tevens een opdracht waarbij de patiënt gevraagd wordt de vingers te spreiden en te sluiten. Ook bevat het programma een opdracht waarbij de patiënt gevraagd wordt een wijzende beweging met de hand te maken.

Het programma heeft echter geen herkenbare omgeving en de pro- en supinatiebewegingen zijn nog niet verwerkt in de opdrachten van het programma.

7. Discussie

Het programma is ontworpen naar aanleiding van de nadelen van spiegeltherapie en technologische ontwikkeling die toepasbaar is binnen de revalidatie. Met behulp van de Oculus Rift, Leap Motion en Unity3D is er een programma ontworpen om spiegeltherapie te digitaliseren en verbeteren. Uit de testresultaten blijkt dat de onderzochte patiënt met een vegetatief zenuwletsel profijt heeft van het programma. Dit blijkt uit een verhoging van twee punten op de schaal van 1 tot 10 voor functionaliteit. Voor de test gaf de patiënt een waarde van 5 aan, na de test een waarde van 7. Dit is een verbetering van 20%. Hoewel het programma ontworpen is voor mensen met een onderarmamputatie, lijkt het toch een positief effect te hebben op iemand met een vegetatief zenuwletsel, die lijdt aan een motorische beperking.

De doelstelling van dit project, het ontwikkelen van een programma voor patiënten met een onderarmamputatie, waarmee het mogelijk is om de principes van te spiegeltherapie te digitaliseren en tevens te verbeteren met behulp van de Oculus Rift en Leap Motion, is behaald. Van de twaalf mogelijke toepassingen zijn er twee ontwikkeld. Hiermee is het ontwikkelen van een programma waarin spiegeltherapie gedigitaliseerd is, gelukt. Tevens zijn er in het programma oefeningen verwerkt die een hoge prikkelstimulatie geven, hetgeen bij traditionele spiegeltherapie niet het geval is. Daarnaast is een aantal nadelen van traditionele spiegeltherapie geminimaliseerd. Nadelen zoals beperkte bewegingsruimte en het spieken naar de aangedane ledemaat zijn in het programma verholpen. Het vervoeren en het opstellen van het programma is tevens makkelijker en sneller dan bij traditionele spiegeltherapie (vanwege de grote spiegel).

Voor het vervolgon ontwerp is het van belang dat alle toepassingen die uit de ontwerpboom komen, worden ontwikkeld. Alle toepassingen moeten in één programma worden samengevoegd zodat de therapeut vanuit één programma kan kiezen. Ook moeten er herkenbare omgevingen, zoals een keuken of huiskamer, gemaakt worden waarin de patiënt zich thuis voelt. Tegelijkertijd kunnen ook ADL taken ontwikkeld worden zoals het inschenken van water en het openen van een deur of lade. Er moeten meer opdrachten geïntegreerd worden in het programma, waarbij het belangrijk is dat de pro- en supinatie beweging ook gebruikt wordt. Er moeten verschillende moeilijkheidsgraden geïmplementeerd worden. Bovendien moet het programma uitgebreid worden met een duidelijk menu. Hiermee kan de therapeut een keuze maken tussen verschillende toepassingen en de moeilijkheidsgraad.

Uit vervolgonderzoek zal moeten blijken of het gemaakte programma effectiever klachten vermindert dan de traditionele spiegeltherapie en op die manier een bijdrage kan leveren binnen de revalidatie. Hierbij is het belangrijk dat er een betrouwbare vergelijking gemaakt wordt tussen traditionele spiegeltherapie en de virtuele therapie. De traditionele spiegeltherapie moet op een andere dag getest worden dan de virtuele therapie, op die manier beïnvloeden de therapieën elkaar niet. Ook kan er een vergelijking gemaakt worden met de waardes uit de literatuur. Bij onderarmamputatiepatiënten moet voor en na beide therapieën de pijn bepaald worden doormiddel van de VAS-schaal. Voor patiënten met hemiplegie moeten de Brunnstrom schaal en de FIM score bepaald worden voor en na de therapieën. Voor CRPS-type 1 geldt dat de NPS schaal ingevuld moet worden voor en na de therapieën. Volgens de literatuur moet er een gemiddelde pijnreductie voor onderarmamputatiepatiënten van 25% zijn op de VAS schaal, een toename van 1 stage bij de Brunnstrom schaal en een verhoging van vijf punten op de FIM score voor hemiplegiepatiënten en een verlaging van 25 punten op de NPS schaal voor CRPS-type 1 patiënten.

Als de gemeten waardes van de virtuele therapie hoger zijn dan de gemeten waardes bij traditionele spiegeltherapie of de waardes uit de literatuur is de virtuele therapie effectiever dan de traditionele spiegeltherapie.

8. Conclusie

Aan het begin van het project was de vraag of spiegeltherapie gedigitaliseerd en verbeterd kon worden en of het voldeed aan de eisen en wensen van de therapeuten.

De doelstelling was dan ook: het ontwikkelen van een programma voor patiënten met onderarmamputaties waarbij het mogelijk is de principes van spiegeltherapie te digitaliseren en te verbeteren met behulp van de Oculus Rift en de Leap Motion.

De doelstelling is behaald. Er is een programma ontworpen dat voldoet aan de eisen en een deel van de wensen die opgesteld zijn aan het eind van de literatuurstudie. De resultaten van een pilotmeting bij één persoon tonen aan dat er een positief effect optreedt bij één patiënt met een bewegingsbeperking. De eerder opgestelde hypothese blijkt waar te zijn. Er trad een vermindering van pijn op, de patiënt moest echter lang wennen aan het programma.

Het beperkte aantal onderarmamputatiepatiënten maakte dat deze groep niet getest kon worden. Er moet dus uitgebreid vervolgonderzoek plaatsvinden met onderarmamputatiepatiënten, patiënten met CRPS-type 1 en Hemiplegie- en CVA-patiënten, waarin er een vergelijking gemaakt wordt met spiegeltherapie. Het huidige programma is een basis om verder uitgebouwd te worden. Zo kunnen er grafische verbeteringen ontwikkeld worden, met name wat betreft de omgeving en de werking van het programma kan verder geperfectioneerd worden.

9. Bronnenlijst

1. *Wii Remote*. (2015, Januari 17). Opgeroepen op Januari 28, 2015, van Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote
2. Zhang, Z. (2012) Microsoft Kinect sensor and its effect. *IEEE MultiMedia*, 19, 4–10.
3. Leap Motion Controller. Opgehaald van: <https://www.leapmotion.com> (accessed on 19 February 2014).
4. *Sensor fusion keeping it simple* (2013, Mei 22). Opgeroepen op Februari 1, 2015: <https://www.oculus.com/blog/sensor-fusion-keeping-it-simple/>
5. Chang, C.-Y., Lange, B., Zhang, M., Koenig, S., Requejo, P., Somboon, N., Rizzo, A. A. (2012). Towards pervasive physical rehabilitation using microsoft Kinect. *Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 159-162). San Diego: IEEE.
6. Pastor, I., Hayes, H. A., & Bamberg, S. J. (2012). A feasibility study of an upper limb rehabilitation system using Kinect and computer games. *Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 1286-1289). San Diego: IE
7. Leder, R. S., Azcarate, G., Savage, R., Savage, S., Sucar, L. E., Reinkensmeyer, D., Molina, A. (2008). Nintendo Wii remote for computer simulated arm and wrist therapy in stroke survivors with upper extremity hemiparesis. *Virtual Rehabilitation* (p. 74). Vancouver: IEEE.
8. Saposnik, G., Teasell, R., Mamdani, M., Hall, J., McIlroy, W., Cheung, D., et al. (2010). Effectiveness of Virtual Reality Using Wii Gaming Technology in Stroke Rehabilitation. *Stroke*, 1-8
9. Chang, Y., Chen, S., Huang, J. (2011). A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities (p. 2569).
10. S.S. pain 7 graded motor imagery (2014). Opgeroepen op Februari 1, 2015: <http://www.pharmac.health.nz/assets/ss-pain-7-graded-motor-imagery-maria-polaczuk.pdf>
11. Kooijman, C.M. (2000) Phantom pain and phantom sensations in upper limb amputees: an epidemiological study, 2-15.
12. Giummarra, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2007). Central mechanisms in phantom limb perception: The past, present and future. *Elsevier*, 1-14.
13. Ramachandran, V. S. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain* 132, 1697.
14. Flor H, Diers M, Christmann C, Koeppe C. (2006). Mirror illusions of phantom hand movements brain activity mapped by fMRI. *NeuroImage*, 31, 159.
15. *Wat is Complex Regionaal Pijnsyndroom (CRPS)?* (sd). Opgehaald van TREND: <http://www.trendconsortium.nl/crps/wat-is-crps>.
16. *Wat is een TIA en wat is een CVA?* (2012, April 25). Opgehaald van Beroerte Adviescentrum: http://www.beroerteadviescentrum.nl/patienten/wat_is_een_tia_en_wat_is_een_cva.
17. Murray, Craig D. et al. (2006). Investigating the efficacy of a virtual mirror box in treating phantom limb pain in a sample of chronic sufferers. *Brain*, 5(3): 227.
18. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society*, 263(1369), 377-86.
19. Ramachandran VS, Altschuler EL, Stone L, Al-Aboudi M, Schwartz E, Siva N. (1999). Can mirrors alleviate visual hemineglect? *Medical Hypotheses*, 52(4), 303-305.
20. Ramachandran VS, Hirstein W. (1998). The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. *Brain*, 121, 1603-1630.
21. Ramachandran VS. (2005). Plasticity and functional recovery in neurology. *Clinical Medicine*, 5(4). 368-373.
22. Booiij, L. (2005). Pijn en prikkelgeleiding. In J. Baart, & H. Brand, *Lokale anesthesie in de tandheelkunde* (pp. 1-18). Bohn Stafleu van Loghum.
23. van der Pol, S., van Reekum, J., & Vonhögen, L. (2011, December). *PZT - Perioperatieve Pijnbestrijding*.
24. Tervoort, M.J. Jüngen, I.J.D. (2012). *Medische Fysiologie en Anatomie*. Houten, Nederland: Bohn Stafleu van Loghum, Anatomie en fysiologie (pp. 21)
25. Chan BL, Witt R, Charrow AP, Magee A, Howard R, Pasquina PF, et al. (2007). Mirror therapy for phantom limb pain. *New England Journal Medicine*, 357, 2206–2207.
26. MacLachlan M, McDonald D, Waloch J. (2004). Mirror treatment of lower limb phantom pain: a case study. *Disability and Rehabilitation*, 26, 901–904.

27. Sumitani M, Miyauchi S, McCabe CS, Shibata M, Maeda L, Saitoh Y, et al. (2008). Mirror visual feedback alleviates deafferentation pain, depending on qualitative aspects of the pain: a preliminary report. *Rheumatology*, 47, 1038–1043.
28. Darnall BD. (2009). Self-delivered home-based mirror therapy for lower limb phantom pain. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 88, 78–81.
29. Yavuzer G, Selles R, Sezer N, Sütbeyaz S, Bussmann JB, Köseoğlu F, et al. (2008). Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Archives Physical Medicine Rehabilitation*, 89, 393–398.
30. McCabe CS, Haigh RC, Ring EF, Halligan PW, Wall PD, Blake DR. et al. (2003). A controlled pilot study of the utility of mirror visual feedback in the treatment of complex regional pain syndrome (type 1). *Rheumatology*, 42, 97–101.
31. Moseley, G.L. (2004). Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomized controlled trial. *Pain*, 108, 192-8.
32. Melzack R. (1990). Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends in Neuroscience*, 13, 88-92.
33. *Leap hand* (2014), opgehaald van developer.leapmotion.com:
https://developer.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap_Hand.html
34. *Leap tracking* (2014), opgehaald van developer.leapmotion.com:
https://developer.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap_Tracking.html
35. Craig D. Murray et al. (2006). Investigating the efficacy of a virtual mirror box in treating phantom limb pain in a sample of chronic sufferers. *International Journal on Disability and Human Development*, 5(3), 227.
36. Murray, C., Howard, T., Patchick, E., Caillette, F., Kulkarni, J., & Bamford, C. (2007). The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality. *Disability & Rehabilitation*, 1465-1469.
37. Rothgangel, A., Braun, S., Schulz, R., Kraemer, M., de Witte, L., Beurskens, A., & Smeets, R. (2015). *The PACT trial: PATient Centered Telerehabilitation: Effectiveness of software-supported and traditional mirror therapy in patients with phantom limb pain following lower limb amputation: protocol of a multicentre randomised controlled trial*. Heerlen: Elsevier B.V
38. *Slimme handschoen zet gebarentaal om in spraak*. (2012, September 19). Opgehaald van [engineersonline.nl](http://www.engineersonline.nl/nieuws/id20367-slimme-handschoen-zet-gebarentaal-om-in-spraak-video.html): <http://www.engineersonline.nl/nieuws/id20367-slimme-handschoen-zet-gebarentaal-om-in-spraak-video.html>
39. Cruz-Neira, C., Sandin, D., & DeFanti, T. (1993). Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. *Computer graphics and interactive techniques*, 135-142.
40. *Product*. (2015). Opgehaald van Leap Motion: <https://www.leapmotion.com/Product>
41. Kemen, B. (2013, May 22). *Outerra + Oculus Rift Test 2 - MiG 29 flight* [Video]. Opgehaald van <https://www.youtube.com/watch?v=2LPPdV2Md1c>
42. *12 FAQs VR developer mount*. Opgeroepen 1 Juni, 2015:
<http://blog.leapmotion.com/12-faqs-vr-developer-mount/>
43. *Texture: Hands*. (sd). Opgeroepen op Mei 21, 2015, van pngimg:
<http://www.pngimg.com/img/people/hands>
44. Unity (Versie 4.6.f1)[Computerprogramma]. San Francisco: Unity Technologies ApS

10. Bijlagen

10.1 Bijlage 1: Meetprotocol voor Spiegeltherapie, verschil tussen verschillende spiegelmethodes bij gezonde proefpersonen

Meetprotocol voor Spiegeltherapie, verschil tussen verschillende spiegelmethodes bij gezonde proefpersonen	
Benodigdheden	1 Laptop; Mac/Windows 1x Oculus Rift DK2-pakket - Oculus Rift DK2 - USB-Kabel - HDMI-Kabel 1x Leap Motion-sensor pakker - Leap Motion-sensor - USB-Kabel - Test-app/programma 1 stopwatch
Werkwijze – voorbereiding	- willekeurige inloten van proefpersoon in groep - Invoeren gegevens proefpersoon in Excel - Voornaam - Geboortedatum: [dd/mm/jjjj] - Voorkeurshand - Groep
Werkwijze – voorbereiding spiegeltherapie Virtual Reality	- Laat de proefpersoon de Oculus Rift op doen - Start programma/test app op - Licht de proefpersoon in wat er gedaan gaat worden. - Laat de proefpersoon 1 minuut wennen aan de spiegelhand Start spiegeltherapie Virtual Reality op voor voorkeurshand en niet-voorkeurshand
Werkwijze – uitvoering	- Laat de proefpersoon plaatsnemen op de aangegeven plek - Laat de proefpersoon de Oculus Rift opzetten - Positioneer de handen met handpalmen gericht en boven de leap-motion “Start” de stopwatch - Laat de proefpersoon de kubussen stappelen in orde van kleur, <u>met voorkeurs en niet-voorkeurshand</u> - Rood, blauw en groen (beneden naar boven). - Laat, tijdens het stapelen van de kubussen, de proefpersoon één van de volgende <u>dubbeltaken uitvoeren</u> 1: 100-7 aftellen (in negatief verder) 2: 200-6 aftellen (in negatief verder) 3: 167-4 aftellen (in negatief verder) 4: 182-8 aftellen (in negatief verder) “Stop” de stopwatch - Noteer de tijd-waarde [sec] in Excel. - Laat de proefpersoon 1 minuut rusten voor de volgende oefening “Switch” de spiegeltherapie-methode “Start” de stopwatch - Laat de proefpersoon de kubussen stappelen in orde van kleur, <u>met voorkeurs en niet-voorkeurshand</u> - Rood, blauw en groen (beneden naar boven). - Laat, tijdens het stapelen van de kubussen, de proefpersoon één van de volgende <u>dubbeltaken uitvoeren</u> 1: 100-7 aftellen (in negatief verder) 2: 200-6 aftellen (in negatief verder) 3: 167-4 aftellen (in negatief verder) 4: 182-8 aftellen (in negatief verder) “Stop” de stopwatch - Noteer de tijd-waarde [sec] in Excel. - Laat de proefpersoon de Oculus Rift afdoen.
Uitgangsmaten	tijd-data [sec]

10.2 Bijlage 2: Scripts

10.2.1 Algemene functies

```
#pragma strict
var OVRCameraController : Transform;

function OnGUI(){
    if(Input.GetKeyDown(KeyCode.R)){
        Application.LoadLevel(Application.loadedLevel);
        MultipleObjectCollisionFade.count = 0;
        Button1Scene1.button1 = 0;
        Button2Scene1.button2 = 0;
    }
}

function Update(){
    if(Input.GetKeyDown(KeyCode.Escape)){
        Application.Quit();
    }
    if(Button1Scene1.button1 == 1){
        if(Button2Scene1.button2 == 1){
            OVRCameraController.GetComponent(fadeInOut).changeLevelFade = true;
            OVRCameraController.GetComponent(fadeInOut).fade = true;
            Button1Scene1.button1 = 0;
            Button2Scene1.button2 = 0;
        }

        if(Input.GetKey(KeyCode.RightShift)){
            if(Input.GetKey(KeyCode.RightArrow)){
                Application.LoadLevel(Application.loadedLevel+1);
                MultipleObjectCollisionFade.count = 0;
            }
        }

        if(Input.GetKey(KeyCode.RightShift)){
            if(Input.GetKey(KeyCode.LeftArrow)){
                Application.LoadLevel(Application.loadedLevel-1);
                MultipleObjectCollisionFade.count = 0;
            }
        }
    }
}
```

10.2.2 Script voor het 'faden'

```
#pragma strict
var blackoutCubeL : Transform;
var blackoutCubeR : Transform;
var fade : boolean;
var changeLevelFade : boolean;
var levelToLoad : String;
private var fadeToDarkTimer : float;
private var fadeToLightTimer : float;
private var startColor : Color;
private var endColor : Color;
private var changingLevel : boolean;

function Start () {
    startColor = Color(0, 0, 0, 0);
    endColor = Color(0, 0, 0, 1);
    fadeToDarkTimer = 0;
    fadeToLightTimer = 0;
    fade = false;
    changingLevel = false;
}

function Update () {
    if (fade == true || changeLevelFade == true) {
        if (blackoutCubeL.renderer.material.color == startColor) {
            fadeToDarkTimer = 0;
        }
        fadeToDarkTimer += Time.deltaTime;
        blackoutCubeL.renderer.material.color = Color.Lerp(startColor, endColor, fadeToDarkTimer);
        blackoutCubeR.renderer.material.color = Color.Lerp(startColor, endColor, fadeToDarkTimer);
        if (blackoutCubeL.renderer.material.color == endColor && changingLevel == false) {
            if (changeLevelFade == true) {
                changingLevel = true;
                Application.LoadLevel(Application.loadedLevel+1);
            }
        }
    }
    else {
        if (blackoutCubeL.renderer.material.color == endColor) {
            fadeToLightTimer = 0;
        }
        fadeToLightTimer += Time.deltaTime;
        blackoutCubeL.renderer.material.color = Color.Lerp(endColor, startColor, fadeToLightTimer);
        blackoutCubeR.renderer.material.color = Color.Lerp(endColor, startColor, fadeToLightTimer);
    }
}
```

10.2.3 Script voor het laden van de volgende opdracht met een één object

```
#pragma strict
var OVRCameraController : Transform;

function OnCollisionEnter (col : Collision) {

    if (col.gameObject.name == "InteractionObject") {
        OVRCameraController.GetComponent(fadeInOut).changeLevelFade = true;
        OVRCameraController.GetComponent(fadeInOut).fade = true;
    }
}
```

10.2.4 Script voor het laden van de volgende opdracht met meerdere object

```
#pragma strict
var OVRCameraController : Transform;
static var count : int;

function OnCollisionEnter (col : Collision) {
    if (col.gameObject.name == "InteractionObject") {
        count = count+1;
        if(count == 60){
            OVRCameraController.GetComponent(fadeInOut).changeLevelFade = true;
            OVRCameraController.GetComponent(fadeInOut).fade = true;
        }
        Destroy(this);
    }
}
```

10.2.5 Scripts voor twee 'knoppen' die ingedrukt moeten worden

10.2.5.1 Knop 1

```
#pragma strict
static var button1 : int;

function OnCollisionEnter (col : Collision) {
    if (col.gameObject.name == "InteractionObject1") {
        button1 = 1;
        Debug.Log(button1);
    }
}

function OnCollisionExit (col : Collision) {
    if (col.gameObject.name == "InteractionObject1") {
        button1 = 0;
        Debug.Log(button1);
    }
}
```

10.2.5.2 Knop 2

```
#pragma strict
static var button2 : int;

function OnCollisionEnter (col : Collision) {
    if (col.gameObject.name == "InteractionObject2") {
        button2 = 1;
        Debug.Log(button2);
    }
}

function OnCollisionExit (col : Collision) {
    if (col.gameObject.name == "InteractionObject2") {
        button2 = 0;
        Debug.Log(button2);
    }
}
```

10.3 Bijlage 3: Meetprotocol voor Testen Virtual Therapy bij een Vegetatief Zenuwletsel, met Oculus Rift en Leap Motion

Meetprotocol voor Testen Virtual Therapy bij een Vegetatief Zenuwletsel, met Oculus Rift en Leap Motion

Benodigdheden

- ✚ 1x Oculus Rift DK2-pakket
 - Oculus Rift DK2
 - USB-Kabel
 - HDMI-Kabel
- ✚ 1x Leap Motion-sensor pakker
 - Leap Motion-sensor
 - USB-Kabel
- ✚ 1x laptop
- ✚ 1x bureau
- ✚ 1x stoel
- ✚ 1x stroomkabel
- ✚ 1x timer
- ✚ Proefpersoon

Werkwijze – voorbereiding

- ✚ Oculus Rift preparaat stellen, samen met de Leap motion en de Laptop
- ✚ Start het programma op
- ✚ Kies de gewenste kwaliteit voor grafische weergave
 - Fast-good is gewenst
- ✚ Kies de hoogste resolutie
 - 1920x1080p is gewenst
- ✚ Druk op start
- ✚ Laat de proefpersoon plaats nemen op de stoel, achter de laptop
- ✚ Zet de bril op bij de proefpersoon of laat de proefpersoon het zelf doen
- ✚ Start meting uitvoering
 - Zet de timer aan

Werkwijze – uitvoering

- ✚ Na vijf tot tien minuten wennen met de Oculus Rift en Leap motion, kan er op spatie gedrukt worden om de eerste scene te laden.
- ✚ Scene 1; Leg aan de proefpersoon uit dat de blokken op juiste kleur gestapeld moeten worden, door middel van de “pinch-greep”.
- ✚ Scene 2; Leg aan de proefpersoon uit dat het rode blokje in de blauwe brievenbus moet.
- ✚ Scene 3; Leg aan de proefpersoon uit dat de rode balk, met de twee geprojecteerde handen, omhoog geduwd moet worden tegen de balk aan.
- ✚ Scene 4; Leg aan de proefpersoon uit dat de blokken op de juiste kleur gestapeld moeten worden, door middel van het spreiden van de vingers en het blokje op de hand laten hangen.
- ✚ Scene 5; Leg aan de proefpersoon uit dat alle rode blokjes in de bak geschoven moeten worden.
- ✚ Scene 6; hetzelfde principe als scene 5, maar dan aan de andere kant van de bak.
- ✚ Scene 7; Leg aan de proefpersoon uit dat de rode blokken in de muur ingeduwd moeten worden, door middel van de wijsvinger.
- ✚ Scene 8; Leg aan de proefpersoon uit dat de rode bal het rode blokje, in de muur, omver moet duwen. Dit door middel van het stoten of slaan tegen de rode bal.

Uitgangsmaten

- Vragenlijst
 - Feedback van programma
 - VAS-score

10.4 Bijlage 4: vragenlijst

Vragenlijst virtuele therapie

Deze vragenlijst is bedoeld voor het evalueren van een nieuwe therapie waarmee u kennis gaat maken. Er wordt hierbij een speciale bril opgedaan. De therapie kan te allen tijden gestopt worden en de bril te allen tijden afgedaan. Na de virtuele therapie wordt een aantal vragen gesteld.

Voor de virtuele therapie

Leeftijd:

Geslacht: M/V

Hoe erg is de pijn, zijn de klachten of zijn de beperkingen op dit moment? Zet een streepje op de schaal hieronder.

Ondraaglijke klachten		Geen klachten
-----------------------	--	---------------

Na de virtuele therapie

Er wordt nu een aantal vragen gesteld over de virtuele therapie.

Hoe erg is de pijn, zijn de klachten of zijn de beperkingen na de virtuele therapie? Zet een streepje op de schaal hieronder.

Ondraaglijke klachten		Geen klachten
-----------------------	--	---------------

Was het duidelijk wat er gedaan moest worden in elk level?

- ☐ Ja, ik had hier geen problemen mee
- ☐ Ja, maar soms was het niet meteen duidelijk
- ☐ Sommige levels niet
- ☐ Nee

Zo nee, welke levels waren niet duidelijk?

Voelde de algemene bewegingen (het bewegen van de arm en hand) intuïtief aan?

- ☐ Ja, de bewegingen waren intuïtief
- ☐ Ja, maar dit had even gewenning nodig
- ☐ Nee, er was ook geen verbetering merkbaar

Voelde de beweging waarmee objecten gepakt konden worden intuïtief aan?

- ☐ Ja, de bewegingen waren intuïtief
- ☐ Ja, maar dit had even gewenning nodig
- ☐ Nee, er was ook geen verbetering merkbaar

Geef hieronder aan in hoeverre u misselijkheid ervoer (0 = geen last, 10 = zeer erge last):

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Geef hieronder aan in hoeverre u duizeligheid ervoer (0 = geen last, 10 = zeer erge last):

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Virtuele therapie en spiegeltherapie

Er wordt nu een aantal vragen gesteld over het verschil tussen virtuele therapie en spiegeltherapie.

Welke therapie vond u prettiger en waarom?

- ☐ Virtuele therapie
- ☐ Spiegeltherapie

Omdat:

Welke therapie helpt volgens u het beste en waarom?

- ☐ Virtuele therapie
- ☐ Spiegeltherapie

Omdat:

Welke therapie was het leukst en waarom?

- ☐ Virtuele therapie
- ☐ Spiegeltherapie

Omdat:

Hebt u nog overige opmerkingen of toevoegingen? Deze kunt u hier kwijt:

Projectvoorstelplan

Een virtuele sprong voor spiegeltherapie



Naam: Tom Belet
Studentnummer: 11049049
E-mail: tom.belet@hotmail.com
Behaalde studiepunten (+stage2): 152/157
Datum 18-12-2014

Naam: Mathieu Elfferich
Studentnummer: 10100636
E-mail: mathieu11@hotmail.com
Behaalde studiepunten (+stage2): 151/157
Datum 18-12-2014

Onderwerp: Een virtuele sprong voor spiegeltherapie

Werkveld: Revalidatie

Beroepsrol: Ontwerper en analyse/onderzoeker

Extern project (J/N): Nee

Verklarende woordenlijst

Wii-mote: Een afstandbediening voor de Wii spelcomputer waarbij versnellingssensoren bewegingen van de speler meten en overbrengen naar het spel.

Kinect: Een onderdeel van de Xbox dat doormiddel van infrarood licht de speler detecteert en overbrengt naar het spel.

Oculus Rift: een virtueel reality bril die computerbeelden projecteert op een scherm direct voor de ogen.

Leap Motion: een IR-sensor (infrarood) die handen registreert en projecteert.

Complex Regionaal Pijn Syndroom (CRPS): CRPS is een chronische pijnandoening waarbij pijn, kleurveranderingen en temperatuurschommelingen kenmerkend zijn. Zwelling, bewegingsbeperkingen, een ander zweetpatroon en verkramping van handen en voeten komen ook voor¹.

Cerebro Vasculair Accident (CVA): Bij een CVA krijgt een deel van de hersenen te weinig zuurstof, waardoor het desbetreffende deel disfunctioneert. Een CVA wordt ook wel een beroerte genoemd en er zijn twee vormen: een herseninfarct en een hersenbloeding².

Unity-programma: Een softwareprogramma voor het ontwerpen van games, dat de integratie van de Leap Motion en de Oculus Rift mogelijk maakt.

Inleiding

Of het nou auto's zijn of games, alles om ons heen ontwikkelt zich. Zo zijn er in de loop der jaren elektrische auto's op de markt gekomen en veel verschillende soorten games. Een belangrijk onderdeel van gaming is het besturen van het spel. De ontwikkeling van 'controllers' (afstandsbedieningen die worden gebruikt om het spel te besturen) is de laatste jaren met een sneltreinvaart gegaan. Zo is in 2006 de 'Wii-mote' op de markt gekomen³. Dit is een apparaat dat eruit ziet als een tv-afstandbediening, maar is bedoeld om spellen op de Wii mee te besturen. De gebruiker houdt de Wii-mote vast in de hand terwijl er bewegingen worden uitgevoerd. De uitgevoerde bewegingen worden omgevormd naar acties in het spel. Dit gebeurt door verschillende versnellingssensoren die in de Wii-mote verwerkt zijn. De Wii-mote is in de laatste jaren preciezer geworden en heeft aansluitbare controllers gekregen. De spelcomputer xbox kan ook bewegingen meten van de persoon om een spel te besturen maar doet dit met een infrarode camera. De speler heeft geen afstandsbediening maar moet voor de 'Kinect' gaan staan. De Kinect is een apparaat dat infrarood licht uitzendt. Dit infrarode licht wordt weerkaatst door de speler, hierdoor kan de Kinect een skeletmodel vormen van de speler. Op deze manier kan de Kinect bewegingen van de speler zien en integreren in het spel⁴. Een ander apparaat dat van dezelfde methode gebruik maakt als van de Kinect is de 'Leap Motion'. Dit is een klein apparaatje dat met infrarood licht alleen de hand meet⁵. Dit wordt vooral gebruikt voor het besturen van de computer. Een recentere ontwikkeling is de Oculus Rift. Dit is een 'virtual reality' bril die twee beeldschermen vlak voor de ogen heeft. De Oculus Rift beschikt over meerdere versnellingssensoren die beweging waarnemen. Hierdoor kan de gebruiker rond kijken in de wereld die geprojecteerd wordt op de beeldschermen⁶.

Sinds de Wii-mote en de Kinect bestaan, wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van de twee. In het onderzoek van Saposnik et al. wordt de effectiviteit van het revalideren van een beroerte met de Wii-mote vergeleken met het revalideren zonder Wii-mote. Hieruit bleek dat het revalideren met Wii-mote een verbetering opleverde ten opzichte van zonder Wii-mote⁷. Chang et al. onderzochten de mogelijkheid om een duurder en geavanceerder systeem, zoals de OptiTrack, te vervangen voor de Kinect. Uit de resultaten van dit onderzoek bleek dat de Kinect een goede revalidatiemethode kan zijn voor klinisch en huiselijk gebruik en dus een goedkopere vervanger voor de OptiTrack⁸.

Spiegeltherapie

Op veel gebieden binnen de revalidatie vindt dus innovatie plaats. Een van de gebieden waar relatief weinig innovatie plaatsvindt is spiegeltherapie. Spiegeltherapie wordt vaak gebruikt om het gevoel van fantoomledematen tegen te gaan of fantoompijn te verlichten. Een fantoomledemaat is een aandoening die bij $70\% \pm 10\%$ voorkomt bij mensen met een amputatie.⁹⁻¹⁰ Patiënten hebben een zeer realistisch gevoel dat, ondanks dat het desbetreffende ledemaat geamputeerd is, er toch een arm of been zit. Er kan fantoompijn ontstaan, pijn op een plek waar het geamputeerde ledemaat zat. Ook kunnen de fantoomledematen misvormd zijn, of langer of korter worden¹¹. Bij spiegeltherapie wordt een spiegel naar de goede ledemaat gericht, terwijl de ledemaat waaraan de amputatie is uitgevoerd aan de andere kant van de spiegel rust. Als er in de spiegel gekeken wordt, wordt de illusie gewekt dat de ledematen aan beide kanten functioneren. Deze optische illusie onderdrukt de fantoomledemaat via het 'poorten' van sensorische input naar het brein, wat ook verondersteld is in andere studies¹²⁻¹³. Spiegeltherapie wordt niet alleen gebruikt bij fantoomledematen en fantoompijn, maar ook bij patiënten met het Complex Regionaal Pijn Syndroom (CRPS – een chronische pijn-aandoening met o.a. zwellingen en krampen) en Cerebro Vasculair Accident (CVA – een (halfzijdige) verlamming)².

Als de spiegeltherapie werkt neemt de sensatie in de fantoomledemaat of de (fantoom)pijn af ¹². Er kleeft echter ook een aantal nadelen aan de manier van werken. Zo is er een grote spiegel nodig voor optimaal effect. Zo'n spiegel is niet makkelijk mee te nemen of te verplaatsen. Hierdoor is er ook maar een beperkt meetbereik, namelijk de grootte van de spiegel en hierdoor is de bewegingsvrijheid klein. De arm kan maar beperkte bewegingen maken, anders valt de beweging buiten de spiegel ¹⁴.

Spiegeltherapie en gaming

In de spiegeltherapie blijkt dus een aantal factoren te zijn die verbeterd kunnen worden. De huidige ontwikkelingen in controllers en virtual reality bied hiervoor een goede oplossing. Zo is in een onderzoek van Murray et al. een test gedaan met amputatiepatiënten die last hadden van fantoompijn. Hierbij werden handschoenen met sensoren voor de handen gebruikt, en sensoren voor de benen. Met die waardes werden de posities van de geamputeerde ledematen gespiegeld en getoond. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat virtual reality een hogere belevingsfactor heeft en daardoor een goede helper is bij het verminderen van fantoomledematen en fantoompijn ¹⁴. Dit onderzoek maakte echter gebruik van slechts vier proefpersonen en de betrouwbaarheid is hierdoor niet hoog. Ook was de apparatuur die gebruikt werd niet gemaakt voor patiënten en dus zeer lastig thuis te gebruiken. De Oculus Rift en de Leap Motion zijn te combineren met elkaar en aan elkaar te bevestigen. De bevestiging vindt plaats door de Leap Motion op de Oculus Rift te plakken zodat de Leap motion zich ter hoogte van de ogen bevindt. Door ook de functies van de twee apparaten te combineren ontstaat er een goed platform voor revaliderende technieken. De Leap Motion beschikt over een algoritme dat de coördinaten van de hand op slaat. Hierdoor is het zeer goed mogelijk een hand te spiegelen, daarom wordt het project beperkt tot spiegeltherapie voor patiënten met een onderarm amputatie. Een ander voordeel van de Leap Motion is dat de gebruiker geen last heeft van handschoenen of sensoren. Het meetbereik van de Leap Motion is groter dan het kijkveld van de Oculus Rift ¹⁵. Hierdoor blijft de arm in de simulatie gespiegeld terwijl de arm zelfs uit beeld is van de Oculus Rift. Ook is er de mogelijkheid tot rondkijken en rondlopen. Dit kan de realiteitsbeleving vergroten en hierdoor de prikkelsensatie verhogen. De virtuele wereld waarin de patiënt geplaatst wordt kan aangepast worden naar wens. Met een applicatie met de eerder genoemde onderdelen kan ook getest worden, met bijvoorbeeld een subjectieve vragenlijst, hoe de ervaring is. Dit geeft de mogelijkheid om een vergelijking te maken met de traditionele spiegeltherapie en de gemaakte applicatie. De uiteindelijke hoofdvraag wordt dan:

Kan de spiegeltherapie worden vertaald naar een gebruikersvriendelijke digitale wereld en heeft de applicatie een verbeterd effect tegenover spiegeltherapie?

Als doelstelling wordt er een applicatie gemaakt waarbij het mogelijk is om de principes van spiegeltherapie te digitaliseren met behulp van de Oculus Rift en de Leap Motion doormiddel van een gebruikersvriendelijke programma. Vervolgens wordt deze applicatie getest bij studenten om vervolgens met onderarmamputatie-patiënten te testen.

De subdoelen die behaald moeten worden zijn:

- Het maken van een pakket met Virtual Therapy systeem voor patiënten. Dit pakket omvat:
 - o Handleiding
 - o Software (Oculus Rift/Leap Motion/Unity programma)
- Het maken van verschillende uitvoerbare opdrachten voor de patiënt
- Testen van het programma op studenten
 - o Enquête gericht op studenten

Het is van belang dat bij het ontwerpen en onderzoeken beschikking is over een Oculus Rift en een Leap Motion. Ook moet er een computer beschikbaar zijn met het besturingssysteem Windows 7, Windows 8 Mac OS 10.8 of hoger of Ubuntu 12.04 LTS en minstens drie usb-poorten (waarvan twee voorzien van stroom) ¹⁶.

Vooronderzoek

Er zijn verschillende programma's bekeken om te bepalen waarin het beste geprogrammeerd kan worden. Het programma dat gekozen is heet Unity en is een programma voor ontwikkelaars van games. Vervolgens is gekeken of er een softwarematige connectie mogelijk is tussen de Oculus Rift en de Leap Motion in Unity.

Zoals gebleken uit de inleiding is er ook een literatuurstudie gedaan over vorige onderzoeken. Hieruit bleek dat virtual reality een goede invloed kan hebben op fantoomledematen/fantoompijn. Bij deze onderzoeken is echter geen rekening gehouden met de gebruikersvriendelijkheid. Tijdens deze literatuurstudie zijn ook belangrijke waardes van de Oculus Rift en de Leap motion opgezocht.

Analyse

Er zijn een aantal deelvragen geformuleerd. Er wordt hierbij gekeken naar wat er belangrijk is te weten voordat er wordt begonnen aan het ontwerpen van het programma en de bijbehorende onderdelen. De deelvragen zijn:

- Hoe kan het programma het best opgebouwd worden? Voor het beantwoorden van deze vraag wordt een literatuuronderzoek uitgevoerd en onderzoek gedaan naar kijkgemak, kleurcombinaties en patronen.
- Wat voor opdrachten zijn het best te gebruiken voor een optimale verbetering van de patiënt? Hiervoor wordt er contact opgenomen met een therapeut om te praten over spiegeltherapie en een sessie bij te wonen.
- Hoe wordt er een vergelijking gemaakt tussen de gemaakte applicatie en traditionele spiegeltherapie? Er wordt gebruik gemaakt van eigen metingen onder studenten. De studenten moeten na afloop van het testen een subjectieve vragenlijst invullen om hun realiteitsbeleving te bepalen.

Ontwerpfase

Tijdens de ontwerpfase wordt er een programma ontworpen dat geschikt is voor de Oculus Rift en de Leap Motion. Dit programma wordt ontworpen en geschreven in Unity. Allereerst wordt de code van de Leap Motion verder uitgewerkt. Zo worden de vectoren van de gezonde hand gespiegeld. Op die manier kan de hand aan de aangedane kant gesimuleerd worden. Als dit goed en vloeiend werkt wordt een basisomgeving gemaakt. Hierbij wordt gekeken naar kleuren, texturen en vormen. De omgeving moet prettig zijn om in te werken en aanpasbaar zijn. Vervolgens wordt de hand in de omgeving gesimuleerd. Zo is een eerste basis gelegd voor het uiteindelijke programma. Een tweede stap is het vormen van objecten waarmee een interactie kan uitgevoerd worden. Dit maakt het mogelijk simpele opdrachten te kunnen geven. De objecten zullen in eerste instantie ballen, balken en blokken zijn maar kunnen uiteindelijk geavanceerder en gedetailleerder worden. Het basisprogramma bestaat uiteindelijk uit een 'echte' hand en een gesimuleerde hand, een omgeving en objecten. Het programma kan in de loop van het project aangepast en verbeterd worden. Tijdens de Ontwerpfase is het handig om contact te houden met een therapeut. Deze kan feedback geven op het programma en mogelijk tips geven voor de opdrachten die uitgevoerd kunnen worden.

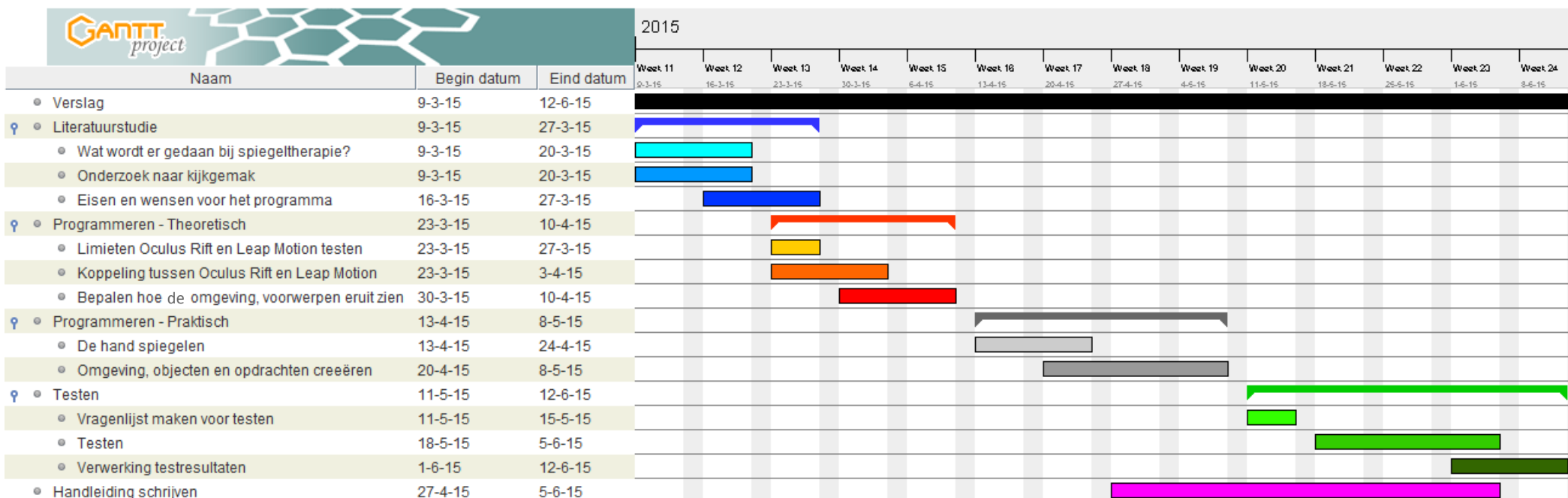
Testen

Een ander doel van het project is het meten van de efficiëntie van het programma. Dit wordt gedaan doormiddel van een meting onder de studenten. Er wordt meerdere studenten gevraagd de Oculus Rift op te doen en één hand achter de rug te houden. Hierdoor is er maar één hand in beeld en kan de andere hand gesimuleerd worden. Na een aantal aanwijzingen en instructies kan de persoon oefeningen doen, interacteren met de omgeving. De exacte oefeningen en interacties zullen voortkomen uit de literatuurstudie. Na de test wordt gevraagd een subjectieve vragenlijst in te vullen waarin gevraagd wordt naar de realiteit van de test en het gevoel in de 'afwezige' arm. Dit zal gebeuren met een schaal waarbij gevraagd wordt welk cijfer het beste past bij de gevoelservaring. De data van de test zal worden ingevoerd in SPSS, met een lay-out voor een mogelijke 'test-retest'-lay-out. Het is handig om de test meerdere keren uit te voeren met de studenten, maar eventueel ook met de patiënten. Parameters kunnen dan getoetst worden op de betrouwbaarheid en validiteit. Een ICC-toetsing zal uitgevoerd worden voor de betrouwbaarheid.

Bronnenlijst

1. *Wat is Complex Regionaal Pijnsyndroom (CRPS)?* (sd). Opgehaald van TREND: <http://www.trendconsortium.nl/crps/wat-is-crps>
2. *Wat is een TIA en wat is een CVA?* (2012, April 25). Opgehaald van Beroerte Adviescentrum: http://www.beroerteadviescentrum.nl/patienten/wat_is_een_tia_en_wat_is_een_cva
3. *Wii Remote*. (2015, Januari 17). Opgeroepen op Januari 28, 2015, van Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote
4. Zhang, Z. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE MultiMedia* 2012, 19, 4–10.
5. Leap Motion Controller. Available online: <https://www.leapmotion.com> (accessed on 19 February 2014).
6. *Sensor fusion keeping it simple* (2013, Mei 22). Opgeroepen op Februari 1, 2015: <https://www.oculus.com/blog/sensor-fusion-keeping-it-simple/>
7. Saposnik, G., Teasell, R., Mamdani, M., Hall, J., McIlroy, W., Cheung, D., et al. (2010). Effectiveness of Virtual Reality Using Wii Gaming Technology in Stroke Rehabilitation. *Stroke*, 1-8
8. Chang, C.-Y., Lange, B., Zhang, M., Koenig, S., Requejo, P., Somboon, N., et al. (2012). Towards Pervasive Physical Rehabilitation Using Microsoft Kinect. *Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, (pp. 1-4). San Diego, CA
9. S.S. pain 7 graded motor imagery (2014). Opgeroepen op Februari 1, 2015: <http://www.pharmac.health.nz/assets/ss-pain-7-graded-motor-imagery-maria-polaczuk.pdf>
10. Kooijman, C.M. Phantom pain and phantom sensations in upper limb amputees: an epidemiological study 2000, 33, 2-15
11. Giummarra, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2007). Central mechanisms in phantom limb perception: The past, present and future. *Elsevier*, 1-14.
12. V. S. Ramachandran. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function, 2009; 132; 1697
13. Flor H, Diers M, Christmann C, Koeppel C. Mirror illusions of phantom hand movements brain activity mapped by fMRI. *NeuroImage* 2006; 31: S159.
14. Craig D. Murray et al. Investigating the efficacy of a virtual mirror box in treating phantom limb pain in a sample of chronic sufferers, 2006; 5(3): 227
15. Leap Motion for virtual reality (2014). Opgeroepen Februari 1 2015: <https://www.leapmotion.com/product/vr>
16. Giummarra, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2007). Central

Planning



Persoonlijke leerdoelen afstudeerfase

Leerdoelen Tom

- **Communicatie**
 - o Ik wil mijn communicatie verbeteren door verschillende contacten te leggen met, therapeuten, patiënten en de bedrijven van de Oculus Rift en de Leap Motion
- **Programmeren**
 - o Ik wil leren in een ander programma te programmeren zodat ik meer ervaring krijg in code. Ook wil ik leren apparaten te koppelen zodat er waardes doorgestuurd kunnen worden naar de computer (en andersom).
- **Management**
 - o Ik wil zelf een project managen waarbij het om een eigen onderwerp en een eigen planning gaat.

Evaluatie leerdoelen Tom

- **Communicatie**
 - o Ik heb meerdere contacten gelegd met therapeuten. Ook heb ik contact gelegd met patiënten. Met het bedrijf achter Leap Motion is ook gecommuniceerd voor het oplossen van problemen.
- **Programmeren**
 - o Ik heb veel geleerd over Unity en mijn kennis uitgebreid met kennis over Javascript en C#. Ik heb geleerd de Leap Motion met de Oculus Rift te combineren via Unity.
- **Management**
 - o Ik heb mezelf aan een strakke planning gehouden. Omdat het een eigen project was, was het belangrijk dat bepaalde onderdelen af waren voordat er verder gegaan kon worden. Ik heb me streng gehouden aan deadlines zodat het project vloeiend verliep.

Leerdoelen Mathieu

Communicatie

- Communicatief wil ik mij verbeteren met betrekking tot contact op leggen en alles goed bij te houden in een planning/agenda.

Zelfstandig

- Zelfstandig wil ik mij verrijken door het ontwikkelen van een product en tevens op de markt te brengen.

Programmeren

- Bij het programmeren wil ik me verrijken in een ander programma. Dit wil ik doen zodat ik meer ervaring heb op andere gebieden dan alleen Matlab. Ook is het van belang om meerdere hardware-kennis te hebben op andere gebieden.

Evaluatie leerdoelen Mathieu

Communicatie

- Ik heb meerdere contacten gemaakt en direct gemaild volgens de mondelinge afspraak. Tevens is alles in een agenda gedaan bij elke afspraak.

Programmeren

- Via contacten proberen we het product, wat ik samen heb vervaardigd met Tom, nu op de markt te zetten.

Management

- Tijdens het vervaardigen van het product is er gebruikt gemaakt van Unity3D, C# en Javascript. Deze programma's waren nodig om te kennen. Hierbij heb ik de globale kennis van die programma's onder de knie. Het is eigenlijk makkelijker dan Matlab.