



Afstudeerscriptie

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Onderzoek naar het voortbewegen van een sportrolstoel bij het rolstoeltennis, waarbij twee type buisprofielen van de hoepel met elkaar worden vergeleken.

Onderzoekers: F. Bos, Ir. J. Koopman, Dr. M.A.M. Berger, Dr. S. de Groot, A.E. Hoekstra MSc

Naam: Femke Bos

Werkveld: Praktijk gericht onderzoek

Begeleiders vanuit BT:

1^{ste} begeleider: Jorine Koopman

2^{de} begeleider: Monique Berger

Afstudeerperiode: maart - juni 2014

Inleverdatum: 18 juni 2014

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inleiding	4
Introductie	4
Voorafgaand onderzoek.....	5
Vraagstelling	6
Hypothese	6
Methode.....	7
Proefpersonen.....	7
Locatie en testdagen.....	7
De hoepels.....	8
Experimentele test	9
Veld testen	14
Vragenlijsten	15
Statistische verwerking.....	16
Resultaten	17
Experimentele test	17
Veld testen	20
Vragenlijsten: de vragen na elk testonderdeel	21
Discussie	22
Factoren die de resultaten mogelijk hebben beïnvloed.....	24
Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.....	25
Conclusie.....	26
Literatuurlijst.....	27
Bijlagen	29
Bijlage 1: De mechanische weerstand instellen op de rolstoelergometer	29
Bijlage 2: De vervaardigde voetensteun	30
Bijlage 3: De vervaardigde verbindingsbeugel.....	30
Bijlage 4: De vragenlijst tijdens het uitvoeren van de testen	31
Bijlage 5: De vragenlijst achteraf in te vullen door de proefpersonen.....	33
Bijlage 6: Overzichtstabellen van de resultaten	40
Bijlage 7: Meetprotocol Experimentele test.....	43
Bijlage 8: Geschreven MATLABscript voor de dataverwerking van de rolstoelergometer	48
Bijlage 9: Aanmelding Onderzoek Ethische Commissie Bewegingswetenschappen.....	54
Bijlage 10: Toestemmingsverklaringformulier (informed consent).....	58
Bijlage 11: Brief aan proefpersonen om deel te nemen.....	59
Bijlage 12: Projectvoorstel.....	60

Samenvatting

Doelstelling: Onderzocht is of een hoepel met vierkant buisprofiel (VB-hoepel) effectiever is voor het rolstoeltennis dan de huidige hoepel met een cirkelvormig buisprofiel (CB-hoepel).

Methode: In het onderzoek hebben 11 (sub)top rolstoeltennissers deelgenomen. Het onderzoek bestond uit een experimentele test op de rolstoelergometer van de Vrije Universiteit in Amsterdam. De te onderzoeken parameters waren: het geleverde vermogen, de gereden snelheid en de timing van de krachtlevering. Daarnaast is er een rolstoelvaardigheidentest afgenomen in de tennishal De Schaapskooi in Bommel. Daarbij is de gereden snelheid en manoeuvreerbaarheid onderzocht.

Resultaten: De proefpersonen vertoonden veel variatie in de behaalde resultaten. Bij de VB-hoepel was het negatieve vermogen (de P_{negS} $p=0,001$ en de P_{negE} $p=0,009$) bij het uitvoeren van sprints met tennisracket significant lager. Daarnaast was bij het uitvoeren van de sprints zonder tennisracket het te leveren piekvermogen (totaal $P_{o_{piek}}$ $p=0,017$) en de maximumsnelheid (v_{max} $p=0,026$) significant lager. In de andere parameters zijn geen significante verschillen aangetoond.

Discussie: De resultaten met de VB-hoepels hebben in dit onderzoek voor de meeste proefpersonen niet tot betere resultaten geleid. Wellicht dat na een trainingsperiode de resultaten met de VB-hoepels beter waren geweest. Daarnaast was de diameter van het buisprofiel van de VB-hoepels groter, waardoor het lastig was voor de spelers om het tennisracket in combinatie met de hoepel vast te houden.

Conclusie: Er is zeker potentie dat in de toekomst een optimalere hoepel ontwikkeld kan worden ter vervanging van de reguliere CB-hoepel. Echter in het onderzoek heeft de VB-hoepel voor de meeste proefpersonen niet tot betere resultaten geleid.

Inleiding

Introductie

De paralympische sport is de afgelopen jaren sterk toegenomen. In 1960 is in Rome de eerste Paralympische Spelen georganiseerd. Toen namen 400 atleten deel, afkomstig uit 23 landen. Dit aantal is in Londen 2012 toegenomen tot 4301 atleten, afkomstig uit 164 landen (De Groot et al., 2014). De paralympische sport is professioneler geworden. De toegenomen media-aandacht zorgt voor vergroting van de kansen voor een professionele paralympische atleet. Er zijn op internationaal gebied verscheidene ontwikkelingen geweest op het vlak van paralympische sporten en wetenschappelijk onderzoek. Dit heeft onder andere geleid tot vele innovaties in het ontwerp van de sportrolstoel. Alle innovaties kunnen een voorsprong opleveren die beslissend zijn in de strijd om winst en verlies.

In dit onderzoeksproject wordt gefocust op de paralympische sport: het rolstoeltennis. In Nederland is het rolstoeltennis onder andere bekend geworden door Esther Vergeer, één van de meest succesvolle sporters uit de geschiedenis. Zeven keer wist Esther Vergeer goud te halen op de Paralympische Spelen. In 2013 eindigde haar tenniscarrière (Esther Vergeer, 2014). Ook op dit moment draait Nederland hoog mee in de top van het rolstoeltennis. Er wordt op verschillende vlakken vanuit de Nederlandse Tennisbond (KNLTB) geïnvesteerd in het rolstoeltennis: onder andere door het maken van wedstrijdanalyses, het ontwikkelen van vaardigheidstesten en het optimaliseren van de sportrolstoel. Dit om het rolstoeltennis naar een nog hoger level te krijgen.

De Franse rolstoeltennisser Stéphane Houdet beweegt de rolstoel voort met een hoepel met een vierkant buisprofiel. Vanuit de KNLTB ligt er de vraag of de hoepel van Stéphane Houdet een positief effect heeft op het voortbewegen bij het rolstoeltennis. Er is een onderzoek opgesteld, waarbij specifiek voor het rolstoeltennis wordt onderzocht of een hoepel met vierkant buisprofiel effectiever is dan de huidige hoepel met een cirkelvormig buisprofiel. Het onderzoek is opgezet in samenwerking met: de opleiding Bewegingstechnologie van de Haagse Hogeschool (HHS), de Faculteit der Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit (VU) Amsterdam, CASA Reade Amsterdam en NOC*NSF.

Voorafgaand onderzoek

Rolstoelonderzoek

Het optimaliseren van de prestaties bij rolstoelsporten is afhankelijk van een combinatie van factoren tussen de gebruiker, de rolstoel en de interactie tussen die twee (Mason et al., 2012). Verschillende onderzoeken zijn uitgevoerd voor het optimaliseren van factoren die invloed hebben op het rolstoelrijden. Onderzocht is onder andere de zithoogte (Van der Woude et al., 1989), de voor/achter positie ten opzichte van de wielas (Masse et al., 1992), de camberstand van de wielen (Tsai et al., 2012), de hoepelvormgeving, hoepelgrootte en het oppervlakte materiaal van de hoepel (Van der Woude et al., 2003, Van der Linden et al., 1996). De individuele fine-tuning van de rolstoel leidt tot betere sportprestaties (Van der Woude et al., 2006). Voor deze fine-tuning is een multidisciplinaire aanpak noodzakelijk zodat de efficiëntie, de veiligheid/gezondheid, het comfort en de sportprestaties per individu optimaal zijn (Mason et al., 2012).

Specifiek onderzoek naar de hoepel

Bij een groep ongetrainde rolstoelgebruikers is onderzocht of er verschil is in aandrijftechniek als er een verschil is in hoepelvormgeving en het oppervlaktemateriaal (Van der Woude et al., 2003). De geteste hoepels in dit onderzoek waren: een standaard verchroomde hoepel en drie verchroomde hoepels met een rubberschuimlaag. Het contactoppervlak en de dikte van de rubberschuimlaag verschilde per hoepel. Er zijn geen significante verschillen aangetoond in de fysieke inspanning, mechanische efficiëntie (ME) en techniek parameters. De ME is de verhouding tussen het mechanisch geleverde vermogen en het totaal geleverde metabole vermogen (Van der Woude et al., 2003).

In een ander onderzoek is bij valide proefpersonen onderzocht wat het effect is van de diameter en de vormgeving van het buisprofiel van de hoepel. In dit onderzoek is een hoepel met een ovaal buisprofiel (diameter van 25 bij 30 mm) vergeleken met een cirkelvormig buisprofiel (diameter van 18 bij 18 mm). De hoepel met de grootste diameter en de ovale vormgeving vertoonde een significant hogere ME en een licht verhoogd vermogen. Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen de vormgeving van de hoepel en de richting van de krachtlevering. Het blijkt dus dat een vormaanpassing van de hoepel een effect heeft op de ME en het geleverde vermogen (Van der Linden et al., 1996).

Onderzoek rolstoeltennis

Tijdens een wedstrijd bij het rolstoeltennis worden er veel korte sprints uitgevoerd. Deze sprints worden afgewisseld met het voortbewegen op een submaximaal inspanningsniveau en rustperiodes (Diaper et al., 2009). De specifieke bewegingspatronen bij de wedstrijden zijn: starten, sprinten, remmen en draaien. Deze bewegingspatronen komen overeen met die van andere rolstoelsporten, zoals rolstoelbasketbal en rolstoelrugby. Echter het voortbewegen van de sportrolstoel bij het rolstoeltennis onderscheidt zich, doordat bij deze sport tijdens het voortbewegen een tennisracket in de hand wordt vastgehouden. Door het vasthouden van het racket wordt de techniek die nodig is om de hoepel voort te bewegen beperkt, hierdoor is de effectieve duwkracht op de hoepel minder (Goosey-Tolfrey et al., 2005).

Onderzoek naar de krachtlevering

Uit onderzoek blijkt dat de krachtrichting op de hoepel mechanisch niet optimaal wordt uitgevoerd. De meest optimale krachtrichting is tangentieel aan de hoepel, echter de krachtlevering is meer naar beneden gericht (Veeger et al., 1993). Wanneer de proefpersoon wordt geleerd de krachtlevering effectiever op de hoepel te richten (meer tangentieel aan de hoepel) dan daalt de efficiëntie van de krachtlevering significant (De Groot et al., 2002). Het blijkt dus dat de meest effectieve krachtlevering, vanuit mechanisch standpunt, niet direct de meest efficiënte manier is in termen van energiekosten.

In ander onderzoek is onder andere de timing van de krachtlevering onderzocht. 70 gezonde mannen hebben een 12-minuten durende test (intervalblokken van 4 minuten, met 2 minuten rust) op een rolstoelergometer uitgevoerd. De deelnemers vertoonde significante veranderingen in de timing van de krachtlevering. De krachtlevering ging gedurende de test vorderde over in een langzamer bewegingspatroon (lagere duwfrequentie) met minder vermogensverlies (Vegter et al., 2014).

Onderzoekslocaties

De meeste onderzoeken zijn uitgevoerd op een tredmolen of op een rolstoelergometer (Niesing et al., 1990) om zo goed gestandaardiseerd te kunnen meten. Daarnaast is er tegenwoordig een verschuiving van lab-gerelateerd onderzoek naar veld-gerelateerd onderzoek. Veldtesten bieden de mogelijkheid tot het verkrijgen van resultaten die dichterbij de werkelijke sportprestatie komen (Goosey-Tolfrey et al., 2013).

Vraagstelling

Voor het onderzoek is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

Heeft bij het rolstoeltennis een hoepel met een vierkant buisprofiel effect op het voortbewegen van de sportrolstoel?

Voor het beantwoorden van deze onderzoeksvraag is een aantal deelvragen opgesteld:

- 1. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel effect op het negatieve vermogen en de geleverde arbeid per slag?*
- 2. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel een effect op de timing van de krachtlevering?*
- 3. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel effect op het te leveren piekvermogen en de maximale snelheid tijdens de sprint?*
- 4. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel een effect op de manoeuvreerbaarheid en sprint op de tennisbaan?*

Hypothese

Er is voorafgaand aan het onderzoek een aantal hypothesen opgesteld. Deze hypothesen zijn gebaseerd op het feit dat bij een hoepel met een vierkant buisprofiel het tennisracket met extra wrijving tegen de hoepel wordt aangeklemd, zie figuur 1. Hierdoor zal de grip beter zijn, waardoor er minder kracht nodig is tijdens de aandrijving om het tennisracket vast te houden.



Figuur 1: Het tennisracket kan met extra wrijving tegen de vlakke zijde van de hoepel met het vierkante buisprofiel worden vastgehouden.

De opgestelde hypothesen zijn:

- 1. Bij het gebruik met een hoepel met een vierkant buisprofiel zal er minder vermogensverlies optreden, dit resulteert bij submaximale inspanning in een lager te leveren arbeid per slag.*
- 2. Er treden veranderingen op in de timing van de krachtlevering. Bij de hoepel met vierkant buisprofiel neemt bij submaximale inspanning de duwfrequentie af. Bij de sprint neemt de duwfrequentie dan juist toe.*
- 3. Bij een hoepel met een vierkant buisprofiel zal de krachtlevering op de hoepel effectiever worden gericht, dit resulteert in een hoger piekvermogen en een hogere maximumsnelheid tijdens de sprint test.*
- 4. Een hoepel met vierkant buisprofiel heeft een positief effect heeft op de gereden snelheid en de manoeuvreerbaarheid op de tennisbaan.*

Methode

Proefpersonen

Proefpersonen waren 11 (sub)top rolstoeltennissers in de leeftijd van 14-36 jaar. 5 proefpersonen hebben aan zowel aan de experimentele test als aan de veld testen deelgenomen. In tabel 1 is een overzicht van de algemene gegevens van de proefpersonen. De proefpersonen hadden geen blessures aan de schouder en/of pols. Voorafgaand aan de testen is de procedure van het onderzoek aangegeven. Er is gevraagd of de proefpersonen de dag voor de testen geen zware krachttraining wilden verrichten, zodat de uitkomsten van het onderzoek niet worden beïnvloed door vermoeidheid. Voorafgaand aan het onderzoek hadden de proefpersonen een informed consent ingevuld. Het onderzoek is goedgekeurd door de ethische commissie van Bewegingswetenschappen aan de VU in Amsterdam, ECB protocol 2014-26.

Tabel 1: De algemene gegevens van de proefpersonen die hebben deelgenomen aan het onderzoek.

	Experimentele test	Veld testen
Aantal proefpersonen	10	7
Geslacht	5 vrouw 5 man	2 vrouw 5 man
Leeftijd	23 (6,92)	22 (6,83)
Lichaamsgewicht	62,3 (13,70) kg	64,2 (15,56) kg
Slaghand	9 rechtshandig, 1 linkshandig	6 rechtshandig, 1 linkshandig
Niveau (aantal proefpersonen)		
Nationale jeugd	2	2
Internationale jeugd	5	3
A selectie senioren	3	2

Locatie en testdagen

De testen in het onderzoek waren verdeeld over drie dagen.

Experimentele test

Op één testdag zijn testen uitgevoerd in een experimentele setting. De testen zijn uitgevoerd op de rolstoelergometer van de VU in Amsterdam, Faculteit der Bewegingswetenschappen.

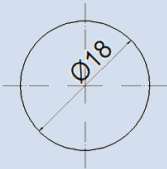
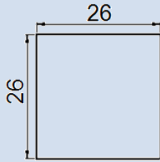
Veld testen

Op twee andere testdagen is een rolstoelvaardigheidentest (speciaal ontwikkeld voor het rolstoeltennis) uitgevoerd. Deze rolstoelvaardigheidentest is net ontwikkeld en wordt op dit moment in een ander onderzoek getest op betrouwbaarheid en validiteit. De testen van de rolstoelvaardigheidentest hebben plaatsgevonden in de tennishal De Schaapskooi in Bemmelen. Op de eerste testdag is de test door de proefpersonen uitgevoerd met de hoepels met een cirkelvormig buisprofiel (de eigen hoepels van de proefpersoon) en op de tweede testdag is de test uitgevoerd met de hoepels met een vierkant buisprofiel.

De hoepels

Er is voor de testen gebruik gemaakt twee soorten hoepels: hoepels met een cirkelvormig buisprofiel (CB-hoepels) en hoepels met een vierkant buisprofiel (VB-hoepels). De eigenschappen van de hoepels zijn weergegeven in tabel 2. De CB-hoepel is de hoepel die in het rolstoeltennis gebruikt wordt. De VB-hoepel is een prototype, vervaardigd door Motion Mattters (Nederland). Bij de testen op de rolstoelergometer is gebruik gemaakt van 27 inch hoepels. Bij de rolstoelvaardigheidentest is gebruik gemaakt van 26 inch hoepels.

Tabel 2: De eigenschappen van de hoepels: type hoepel, formaat, buisprofiel en materiaalsoort.

	CB-hoepel	VB-hoepel
Hoepels		
Formaat	26 & 27 inch	26 & 27 inch
Diameter hoepel	26 inch: 0,585 meter 27 inch: 0,61 meter	26 inch: 0,595 meter 27 inch: 0,63 meter
Buisprofiel		
Materiaal	Aluminium	Carbon (koolstofvezels) + bovenzijde tennisgrip

Experimentele test

Testprotocol

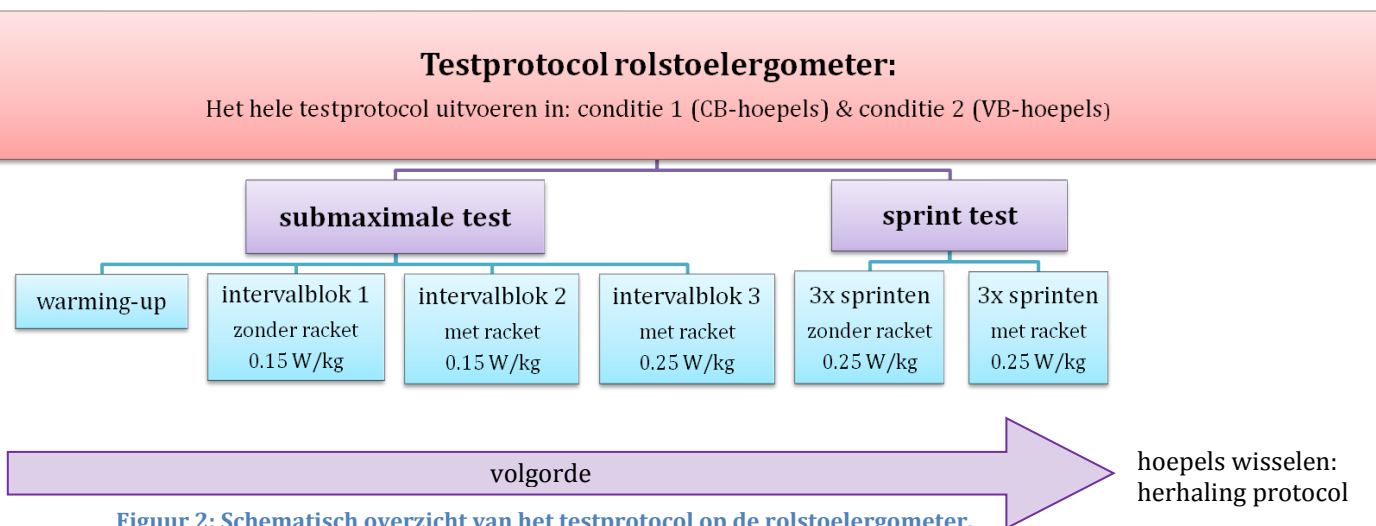
Alle testen zijn uitgevoerd in de volgende condities:

- Conditie 1: De CB-hoepels aan beide zijden.
- Conditie 2: De VB-hoepels aan beide zijden.

In deze condities (conditie 1 & conditie 2) is volgens een gestandaardiseerd protocol een tweetal testen op de rolstoelergometer uitgevoerd:

- Een submaximale test
- Een sprint test

De proefpersoon is gevraagd de testen met een zo natuurlijk mogelijk bewegingspatroon uit te voeren. Na het testprotocol in één van de twee condities te hebben uitgevoerd is een rustperiode van minimaal 10 minuten ingelast. In deze rustperiode zijn de hoepels verwisseld, daarna is het testprotocol herhaald met de andere hoepels. De volgorde van de condities (1 of 2) uit het testprotocol is gerandomiseerd: bij de ene proefpersoon is gestart met de CB-hoepels en bij een andere proefpersoon met de VB-hoepels om zo een potentieel leereffect tegen te gaan. In figuur 2 is het testprotocol schematisch weergegeven. In de tekst wordt het testprotocol verder verduidelijkt. Voor onderbouwing van de ingestelde mechanische weerstanden, zie bijlage 1.



Figuur 2: Schematisch overzicht van het testprotocol op de rolstoelergometer.

De submaximale test

Warming-up/Oefensessie: Er is gestart met een warming-up van 1 minuut op een snelheid van 1.0 m/s. De mechanische weerstand is ingesteld op 0.15 W/kg. Het gewicht is bepaald door de optelling van het gewicht van de proefpersoon en het gewicht van de sportrolstoel. Het gewicht van de sportrolstoel is bij alle proefpersonen ingesteld op 8 kg. De proefpersoon kon op een beeldscherm de doelsnelheid in beeld zien. De opdracht was om de doelsnelheid gemiddeld aan te houden. Na de warming-up is een rustperiode van 30 seconden ingelast.

Intervalblok 1: In het eerste intervalblok is gedurende 3 minuten zonder racket gereden. De snelheid is ingesteld op 1.5 m/s en de mechanische weerstand op 0.15 W/kg. Na het intervalblok is een rustperiode van 2 minuten ingelast.

Intervalblok 2: Het tweede intervalblok is uitgevoerd met een racket in de slaghand. De instellingen zijn gelijk gehouden aan intervalblok 1. Na het intervalblok is weer een rustperiode van 2 minuten ingelast.

Intervalblok 3: Het derde intervalblok is een herhaling van intervalblok 2, waarbij de mechanische weerstand is verhoogd naar 0.25 W/kg, maar de doelsnelheid 1.5 m/s is gebleven.

Na deze intervalblokken is een rustperiode van 3 minuten ingelast, zodat de proefpersoon niet nog vermoeid is van de submaximale test voordat aan de sprint test wordt begonnen. Na deze rustperiode is vervolgens gestart met de sprint test.

De sprint test

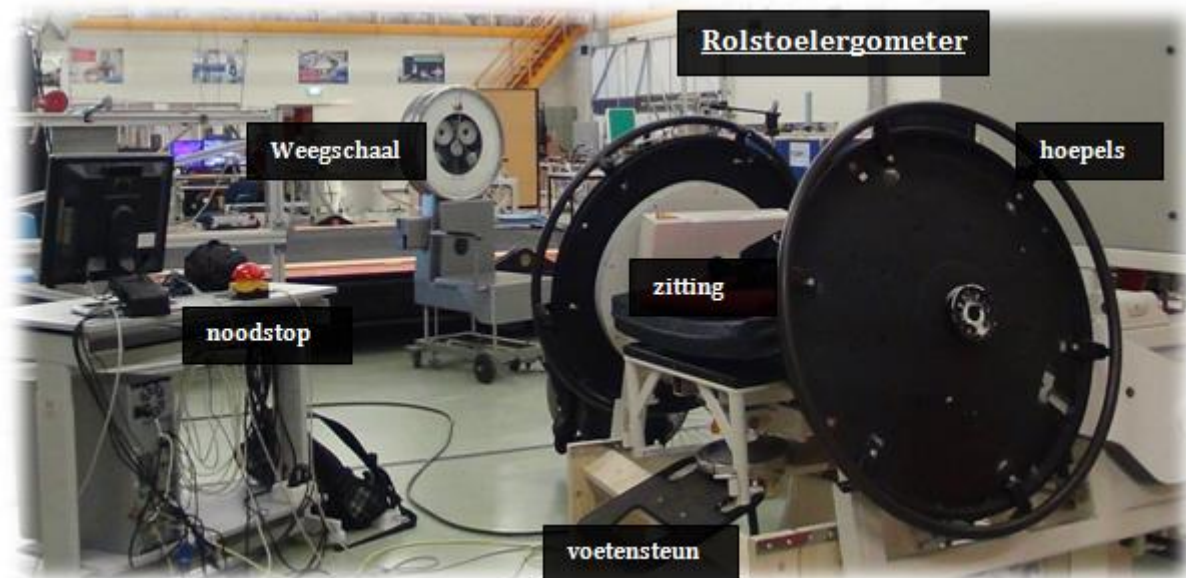
In de sprinttest is de proefpersoon gevraagd een sprint uit te voeren. Daarbij is het protocol als volgt opgesteld:

- *Inrijden.*
De proefpersoon rijdt op een rustig tempo (doelsnelheid van 1.5 m/s), zodat niet vanuit stilstand wordt gestart met de sprint. De tijdsduur van het inrijden is 30 seconden.
- *Sprinten.*
De tijdsduur van de sprint is 10 seconden. De proefpersoon is gevraagd een sprint op maximale snelheid uit te voeren. De start van de sprint is aangegeven op het beeldscherm voor de proefpersoon, doordat de doelsnelheid verspringt naar de 4 m/s.
- *Het laten uitdraaien van het wiel van de rolstoelergometer.*
Hiermee is voor de veiligheid voorkomen dat wanneer de proefpersoon maximale kracht levert, het wiel niet opeens stopt met draaien. De tijdsduur is ingesteld op 10 seconden.

Dit protocol is 6 keer uitgevoerd per conditie: 3x zonder racket en 3x met racket. De mechanische weerstand is bij de sprinttest ingesteld op 0.25 W/kg. Het protocol is deels gebaseerd op het sprintprotocol dat is uitgevoerd door rolstoeltenissers in het onderzoek van Diaper et al. (2009).

Onderzoekopstelling

In figuur 3 is de onderzoekopstelling weergegeven. De proefpersoon is op de VU gewogen voor het instellen van de mechanische weerstand. Voor de veiligheid is er dichtbij de onderzoeker een noodstop geplaatst, zodat op elk moment gestopt kon worden met de meting. In bijlage 2 is de vervaardigde voetensteun weergegeven. Daarnaast is in bijlage 3 de vervaardigde verbingsbeugel weergegeven, die is gebruikt om de hoepels te bevestigen op de rolstoelergometer.



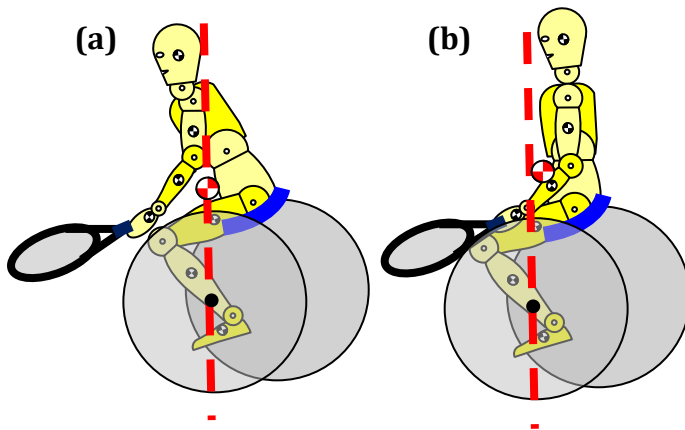
Figuur 3: De onderzoekopstelling op de VU voor het uitvoeren van de testen op de rolstoelergometer.

De rolstoelergometer

De rolstoelergometer meet het moment op de as van de wielen (M_{as}) en de gereden snelheid (v). Het geleverde moment wordt aan beide zijden gemeten met één momentsensor. De samplefrequentie van de rolstoelergometer is ingesteld op 100Hz. De data van de rolstoelergometer worden doorgestuurd naar de computer. Verdere technische specificaties van de rolstoelergometer zijn uitgebreid beschreven in Niesing et al., 1990.

De zithouding instellen

De zithouding is per proefpersoon aangepast, daarbij zijn de instellingen zo veel mogelijk gebaseerd op de zithouding in eigen sportrolstoel tijdens het rolstoeltennis. In de sportrolstoel bevindt de tennisser zich in een actieve houding. In deze houding is de romp geflecteerd en is de hoek tussen de benen in de range van 90° tot 45° . Daarnaast valt in rechtopzittende houding de projectie van het lichaamszwaartepunt (Z_p) achter de wielas, zie figuur 4 (Tennisbond, 2014). In tabel 3 zijn de opgestelde criteria voor het instellen van de zithouding op de rolstoelergometer weergegeven.



Figuur 4: De zithouding van in de sportrolstoel bij het rolstoeltennis.

(a) De actieve zithouding in de sportrolstoel.

(b) De zithouding die wordt gebruikt voor het positioneren van de proefpersoon op de rolstoelergometer. De projectie van het Z_p achter wielas.

Tabel 3: De opgestelde criteria voor instellingen van de juiste zithouding op de rolstoelergometer.

De voor/achter positie t.o.v. de wielas	De projectie van het lichaamszwaartepunt (Z_p) valt in rechtopzittende houding achter de wielas.
De zithoogte	Bij afhangende armen bevindt de handpalm zich op de wielas. Daarnaast is de hoogte bij de proefpersoon aangepast naar eigen voorkeur.
De zitting	De zitting is horizontaal gepositioneerd, daarbij is de rugleuning onder een hoek van 90° met de zitting gepositioneerd.
Voetensteun	Er is een voetensteun vervaardigd. De hoogte en de kanteling worden ingesteld naar voorkeur van de proefpersoon. Voor verdere details, zie bijlage 2.
Straps (=gordels)	Er is gebruik gemaakt van een heup- en voetenstrap. En wanneer noodzakelijk een extra strap om de bovenbenen.
De camberstand	De camberstand is maximaal ingesteld op 12°

Dataverwerking

De data van de metingen van de rolstoelergometer zijn verwerkt in MatlabR2009b. Verdere verwerking heeft plaats gevonden in Excel2010 en SPSS versie 22®. Per proefpersoon zijn verschillende parameters geanalyseerd. Deze parameters zijn in tabel 4 weergegeven. Per variabele zijn de gemiddeldes en de standaarddeviaties per test over de groep berekend.

Submaximale test

In de submaximale test is gebruik gemaakt van de data van de laatste minuut per intervalblok. In deze minuut rijdt de proefpersoon op een steady-state inspanningsniveau. De gemiddelde en standaarddeviaties van de parameters over de groep uit tabel 4 zijn berekend.

Sprint test

Bij de sprint test zijn de data vanaf de eerste duwfase tot vijf seconden later geanalyseerd. Er is gebruik gemaakt van het gemiddeldes van de laatste twee sprints, de eerste sprint is beschouwd als oefensessie. Vervolgens is het gemiddelde piekvermogen, het gemiddelde minimale vermogen voor en na de duwfase, de maximale snelheid en de gemiddelde tijdsduur van de verschillende cycli geanalyseerd.

Tabel 4: De verschillende parameters die zijn geanalyseerd bij de experimentele test.

De parameters	Grootheid	Eenheid
Het moment op de wielas	Mas	Nm
Het totale vermogen	Po	Watt
Minimale vermogen voor de duwfase (= vastpakken hoepel)	PnegS	Watt
Minimale vermogen na de duwfase (= loslaten hoepel)	PnegE	Watt
De geleverde arbeid per slag	W	Joule
De gereden snelheid	v	m/s
De tijdsduur van de verschillende cycli	Cyclus _{tijd} , Duw _{tijd} , Herstel _{tijd}	Sec.
De duwfrequentie	freq _{duw}	Slagen/min.

Het moment op de wielas

Het moment op de wielas (Mas) is gemeten tijdens het rolstoelrijden. Vervolgens is het Mas gefilterd met een 2^{de} orde Butterworth filter, de afsnijfrequentie is ingesteld op 10 Hz. De instellingen zijn gebaseerd op eerder onderzoek dat met de rolstoelergometer is uitgevoerd (Van der Woude et al., 2003). Daarnaast is er een offsetcorrectie toegepast. Deze offsetcorrectie zorgt ervoor dat elke meting rondom de nullijn wordt uitgebalanceerd, zodat de gehele duwfases kan worden gedetecteerd. De duwfases zijn geregistreerd door een periode van een continue positief moment van minimaal 3 Nm. Vanaf daar is er per sample teruggegaan totdat het signaal de 0 Nm bereikt, zodat de daadwerkelijke starts en eindes van elke duwfase zijn gedetecteerd. In deze periode (de duwfase) is er de gehele tijd contact tussen de hand/racket en de hoepel geweest.

Het vermogen

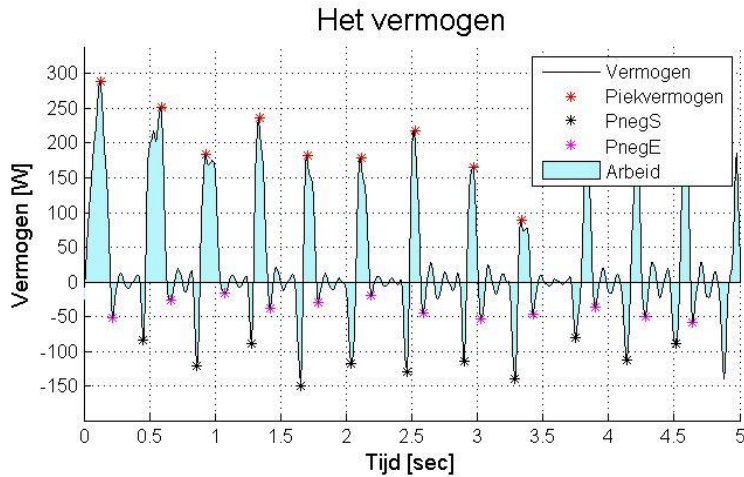
Met het moment (Mas), de gereden snelheid (v) en de radius van de hoepel (R_{hoepel}) met behulp van in formule 1 het geleverde vermogen (Po) berekend (Van der Woude et al., 2003). Per duwfase zijn de PnegS en de PnegE gedetecteerd, zie figuur 5. Deze zijn berekend door vanaf de nullijn per sample terug/vooruit te gaan naar het minimale vermogen vooraf/achteraf de duwfases. Bij een lagere PnegS en PnegE is er meer vermogensverlies.

$$(1) \quad P_o = M_{as} * v * R_{hoepel}^{-1} [W]$$

De geleverde arbeid per slag

De geleverde arbeid (W) is de integraal van het geleverde vermogen, zie figuur 5. De berekening voor de arbeid is weergegeven in formule 2.

$$(2) \quad W = \int \bar{F} \cdot \overline{ds} \quad [J]$$

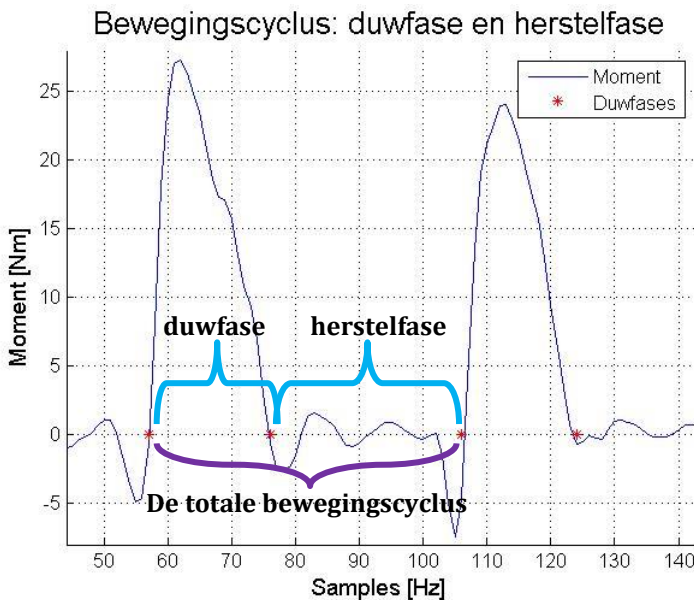


Figuur 5: Het verloop van het vermogen tijdens de sprint test. De piekvermogens, PnegS en PnegE worden gedetecteerd. De arbeid is de integraal van het vermogen.

De gereden snelheid

De gereden snelheid (v) is gemeten tijdens het rolstoelrijden.

De timingparameters



Figuur 6: Weergave van de bewegingscyclus en de bijbehorende duw- en herstelfases.

De tijdsduur van de cycli

Het rolstoelrijden is een cyclische handeling. De totale cyclus is opgebouwd uit een duwfase en een herstelfase, zie figuur 6 voor verduidelijking. De herstelfases zijn de periodes tussen de duwfases. De tijdsduur van de verschillende cycli zijn bepaald: duwtijd, hersteltijd en de totale cyclustijd.

De duwfrequentie

De duwfrequentie (freq_{duw}) bij de testen berekend met formule 3.

$$(3) \quad \text{freq}_{\text{duw}} = \frac{\text{aantal duwfases}}{\text{tijd}} \quad [\text{slagen/min.}]$$

Veld testen

In de rolstoelvaardigheidentest zijn de rolstoelvaardigheden, die van belang zijn bij het rolstoeltennis, getest. Deze test is ontwikkeld door studenten van Bewegingswetenschappen & Bewegingstechnologie in samenwerking met de Tennisbond. Ondanks de verschillen de testdagen, zijn de overige omstandigheden tijdens de testen zoveel mogelijk gelijk gehouden. De bandenspanningen van de sportrolstoelen zijn bij beide testdagen gelijk gehouden. De bandenspanning is vastgesteld op 7.5 Bar.

Testprotocol

De totale test bestaat uit een aantal verschillende onderdelen. De onderdelen hebben betrekking op het testen van de snelheid en wendbaarheid op de tennisbaan. De test bestaat uit de volgende onderdelen: een sprint test, een service-sprint test, een wendbaarheid test en een wendbaarheid-snelheid test, zie tabel 5. Alle testonderdelen zijn drie keer met racket uitgevoerd. Per testonderdeel is het gemiddelde van de drie uitgevoerde metingen berekend. De tijdsduur per onderdeel is gemeten met snelheidspoortjes (MuscleLab™ 4010). Alleen bij het onderdeel service-sprint is de tijdsduur met stopwatch gemeten, de tijd is gestart van af het moment dat de bal werd geslagen.

Tabel 5: De verschillende testonderdelen van de rolstoelvaardigheidentest.

Onderdelen	Test omschrijving	Parcours
Sprint test	Een sprint van 10 meter, met een splittijd bij de 5 meter.	
Service-sprint test	Service + sprint van 5 meter in de aangegeven richting. De sprint wordt in drie richtingen uitgevoerd.	
Wendbaarheid test	In deze test draait de proefpersoon steeds een rondje om de middelste pylon en de een buitenste pylon tot alle buitenste pylons zijn geweest. Er wordt gestart met pylon C, gevolgd door D,E,F.	
Wendbaarheid-snelheid test	Een parcours uitgezet op de halve tennisbaan. Het parcours bestaat uit een slalom en een aantal korte sprints.	

Dataverwerking

De data van de veld testen zijn verwerkt in Excel2010 en SPSS versie 22®. Per proefpersoon is per testonderdeel de tijd geregistreerd. Aan de hand van de tijdsduur zijn de uitkomstmaten wendbaarheid en snelheid geanalyseerd. In tabel 6 zijn deze parameters weergegeven.

Tabel 6: De parameters die is geanalyseerd bij de veld testen.

De parameters	Grootheid	Eenheid
Sprint 5 meter	Tijd	Sec.
Sprint 10 meter	Tijd	Sec.
Service-sprint Rechts	Tijd	Sec.
Service-sprint Midden	Tijd	Sec.
Service-sprint Links	Tijd	Sec.
Wendbaarheid	Tijd	Sec.
Wendbaarheid-snelheid	Tijd	Sec.

Vragenlijsten

Vragen na elk testonderdeel

Na elk testonderdeel bij zowel rolstoelergometer als de rolstoelvaardigheidentest is een aantal korte vragen gesteld. Deze vragen hadden betrekking op: de grip op de hoepel, de inspanningsactiviteit en de wendbaarheid.

RPE Schaal	
0	Rust
1	Zeer Rustig
2	Rustig
3	Redelijk
4	Pittig
5	Zwaar
6	
7	Zeer Zwaar
8	
9	Zeer Zeer zwaar
10	Maximaal

De gestelde vragen zijn:

1. *Hoe heb je de test ervaren?*
2. *Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?*
3. *Hoe ervaar je het uitvoeren van een bocht?*
4. *Hoe wendbaar ben je tijdens de test?*

De inspanningsactiviteit (vraag één) is beantwoord aan de hand van een RPE schaal van 0-10, zie figuur 7. De overige vragen zijn beantwoord aan de hand van een score van 1-5. De opzet van de vragenlijst is te vinden in bijlage 4.

Figuur 7: De RPE schaal van 0-10.

Vragenlijst achteraf

Na afloop van alle testdagen is er een open vragenlijst afgenomen. Daarin is onder andere gevraagd welke buisprofiel (cirkelvormig of vierkant) de voorkeur van de proefpersoon heeft. Verder is naar ideeën/suggesties voor het ontwerp van de hoepel gevraagd, die mogelijk kunnen leiden tot een optimale hoepelaandrijving van de sportrolstoel. De vragenlijst is te vinden in bijlage 5.

Statistische verwerking

Met SPSS versie 22® zijn de hoepelcondities met elkaar vergeleken. Gemiddeldes en standaarddeviaties over de groep zijn berekend. Er is onderzocht of er significante verschillen aanwezig zijn tussen de condities. De significantie level is ingesteld op $p < 0.05$.

Experimentele testen

Er zijn gepaarde t-toetsen uitgevoerd om te onderzoeken of er tussen beide hoepelcondities significante verschillen zijn tussen de hoepels wat betreft de parameters: vermogen, snelheid en timingsparameters. Dit is per intervalblok uitgevoerd. Daarnaast is met de nonparametische Wilcoxon-test het aantal proefpersonen dat betere resultaten heeft behaald met de VB-hoepel onderzocht.

Veld testen

Er is een gepaarde t-toets uitgevoerd om te onderzoeken of er tussen beide condities een significant verschil is in de tijdsduur van de testen. Daarnaast is met de nonparametische Wilcoxon-test het aantal proefpersonen dat betere resultaten heeft behaald met de VB-hoepel onderzocht.

Vragen na elk testonderdeel

Er is met een gepaarde t-toets onderzocht of er tussen beide condities een significant verschil is in de gestelde vragen (grip op de hoepel, de inspanningsactiviteit en de wendbaarheid).

Resultaten

Experimentele test

Voor alle proefpersonen was het mogelijk het gehele testprotocol uit te voeren.

Submaximale test

Vermogen, arbeid en snelheid

In tabel 7 is voor de slaghand het geleverde vermogen (P_o), het negatieve vermogen (P_{negS} en P_{negE}), de geleverde arbeid per slag (W) en de gereden snelheid (v) tijdens de submaximale test weergegeven. De vermogens zijn gemiddeld iets lager uitgevallen dan de opgelegde vermogens van 0,15 en 0,25 W/kg. Dit is terug te zien in de snelheid, ook de opgelegde doelsnelheid van 1,5 m/s is gemiddeld lager (1,4 m/s) uitgevallen.

Bij alle drie de intervalblokken liggen de vermogens voor beide hoepelcondities (VB-hoepels en CB-hoepels) dichtbij elkaar. In de tabel is te zien dat in intervalblok 1 en 2 het vermogen hoger is bij de CB-hoepels en in intervalblok 3 is het vermogen hoger bij de VB-hoepels. De gereden snelheid is tijdens alle intervalblokken bij de VB-hoepels gemiddeld iets hoger.

Het negatieve vermogen ligt in alle intervalblokken bij de VB-hoepels gemiddeld lager. Het verschil is niet significant. Daarnaast is de gemiddelde arbeid per slag hoger bij de VB-hoepels. Ook dit verschil is niet significant.

Tabel 7: De geleverde vermogens [W], arbeid [J] en gereden snelheid [m/s] van de slaghand (rackethand) tijdens de submaximale test. Per variabele zijn de gemiddeldes, standaarddeviaties en significantie waarden voor de drie intervalblokken weergegeven. Daarnaast is ook het totale vermogen (slaghand + niet slaghand) weergegeven.

	Intervalblok 1 (zonder racket 0.15 W/kg)			Intervalblok 2 (met racket 0.15 W/kg)			Intervalblok 3 (met racket 0.25 W/kg)		
	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.
P_o	4,79 (1,09)	4,75 (1,07)	0,91	4,77 (1,22)	4,73 (0,66)	0,87	7,73 (2,37)	7,80 (1,42)	0,88
Totale P_o	9,56 (2,15)	9,52 (2,15)	0,92	9,74 (2,28)	9,15 (1,01)	0,25	15,74 (4,02)	15,45 (2,66)	0,18
P_{negS}	-3,30 (4,89)	-6,02 (10,8)	0,20	-13,65 (7,66)	-15,14 (6,34)	0,57	-11,82 (5,90)	-13,60 (7,08)	0,56
P_{negE}	-3,80 (2,58)	-5,80 (4,24)	0,08	-7,43 (3,56)	-10,01 (5,78)	0,19	-8,86 (3,93)	-11,43 (6,22)	0,17
W	5,51 (1,26)	6,14 (2,34)	0,43	6,03 (1,60)	6,07 (0,96)	0,93	8,85 (3,00)	9,33 (1,63)	0,47
v	1,43 (0,11)	1,47 (0,15)	0,36	1,39 (0,21)	1,41 (0,13)	0,62	1,34 (0,29)	1,38 (0,15)	0,58

Timing

Er hebben veranderingen plaats gevonden in de timing, zie tabel 8. Gemiddeld is de cyclustijd in alle drie de intervalblokken langer. Er zijn geen significante verschillen aangetoond. In intervalblok 1 is de toename in cyclustijd het grootst. Daarnaast zijn de significantie-waardes in intervalblok 3 het laagst. De toegenomen cyclustijd is terug te zien in een langere hersteltijd en een afname in duwfrequentie. De duwtijden zijn daarentegen in beide condities gemiddeld gelijk gebleven.

Tabel 8: De timingparameters (cyclustijd, duwtijd, hersteltijd [sec.], duwfrequentie [Hz]) van de slaghand tijdens de submaximale test. Per variabele zijn de gemiddeldes, standaarddeviaties en significantie waardes voor de drie intervalblokken weergegeven.

	Intervalblok 1 (zonder racket 0.15 W/kg)			Intervalblok 2 (met racket 0.15 W/kg)			Intervalblok 3 (met racket 0.25 W/kg)		
	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.
Cyclustijd	1,06 (0,16)	1,16 (0,28)	0,26	1,07 (0,23)	1,08 (0,17)	0,73	1,01 (0,19)	1,09 (0,21)	0,13
Duwtijd	0,27 (0,07)	0,26 (0,08)	0,41	0,20 (0,03)	0,20 (0,02)	0,50	0,23 (0,02)	0,23 (0,02)	0,91
Hersteltijd	0,79 (0,14)	0,90 (0,30)	0,20	0,86 (0,21)	0,88 (0,16)	0,66	0,78 (0,17)	0,86 (0,19)	0,11
Duw_{freq}	56,6 (8,93)	53,6 (13,89)	0,47	58,2 (17,87)	56,3 (9,45)	0,58	60,4 (12,65)	55,6 (9,77)	0,14

Omdat in de intervalblokken geen significante verschillen zijn gevonden tussen de parameters, is ter verduidelijking van de individuele resultaten in tabel 9 het aantal proefpersonen weergegeven dat in het voordeel is/geen verschil vertoont bij het gebruik van de VB-hoepels.

Tabel 9: Weergegeven zijn de verhoudingen van de verschillende parameters tussen de VB-hoepels en CB-hoepels bij de submaximale test. Het aantal proefpersonen dat voordeel heeft /geen verschil vertoont met de VB-hoepel is ten opzichte van de 10 proefpersonen weergegeven. Er is alleen gekeken naar de slaghand.

	Intervalblok 1 (zonder racket)	Intervalblok 2 (met racket)	Intervalblok 3 (met racket)
PnegS_{VB-hoepel} ≥ PnegS_{CB-hoepel}	5	2	5
PnegE_{VB-hoepel} ≥ PnegE_{CB-hoepel}	2	5	4
W_{VB-hoepel} ≤ W_{CB-hoepel}	5	6	6
Duw_{freq} VB-hoepel ≤ Duw_{freq} CB-hoepel	7	5	8

Sprint test

Vermogen en maximale snelheid

In tabel 10 is het geleverde piekvermogens (P_{piek}), het negatieve vermogen (PnegS en PnegE) en de maximaal gereden snelheid (v_{max}) tijdens de sprint test weergegeven. In de tabel staan de resultaten van de sprint met een tennisracket in de slaghand en de resultaten van de sprints zonder tennisracket.

Te zien is dat het totale piekvermogen ($p = 0,017$) en maximale snelheid ($p = 0,026$) bij de sprints zonder tennisracket bij de VB-hoepels significant lager liggen. Daarentegen zijn de gemiddelde piekvermogens bij de sprints met tennisracket hoger, maar niet significant. Dit geldt ook voor de behaalde maximale snelheid. Ter verduidelijking van de individuele resultaten is in tabel 11 het aantal proefpersonen weergegeven dat een hoger piekvermogen en een hogere snelheid heeft behaald bij het gebruik van de VB-hoepels. Daarin is te zien dat bij de sprint met tennisracket drie proefpersonen een hoger vermogen en een hogere snelheid hebben gehaald met de VB-hoepels. Van deze drie proefpersonen presteerde er twee duidelijk veel beter bij het gebruik van de VB-hoepels, hierdoor is het gemiddelde piekvermogen hoger uitgevallen bij de VB-hoepels met tennisracket. Wanneer wordt gekeken naar de sprints zonder tennisracket is er één proefpersoon die een hoger vermogen en hogere snelheid behaalde met de VB-hoepels.

Het negatieve vermogen (P_{negS} en P_{negE}) is gemiddeld voor alle sprints lager bij de VB-hoepels. Bij de sprints met tennisracket zijn de verschillen tussen de hoepelcondities (CB-hoepels versus VB-hoepels) significant: de P_{negS} ($p = 0,001$) en de P_{negE} ($p = 0,009$). Bij de sprints zonder racket zijn de verschillen niet significant meer, P_{negS} ($p = 0,071$) en P_{negE} ($p = 0,199$).

Tabel 10: De piekvermogens [W], de negatieve vermogens [W] en de maximale snelheden [m/s] van de slaghand tijdens de sprint test. Per variabele zijn de gemiddeldes en standaarddeviaties voor de sprints zonder tennisracket en de sprints met tennisracket weergegeven.

	Sprints: zonder racket (0.25 W/kg)			Sprints: met racket (0.25 W/kg)		
	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.
$P_{o_{piek}}$	311,0 (133,8)	287,8 (115,6)	0,034	228,0 (105,4)	240,3 (106)	0,49
Totaal $P_{o_{piek}}$	594,3 (244,5)	543,5 (207,2)	0,017	484,5 (195,8)	490,6 (182,4)	0,77
P_{negS}	-28,65 (13,1)	-36,66 (14,7)	0,071	-36,85 (14,8)	-66,83 (15,6)	0,001
P_{negE}	-32,01 (4,56)	-38,54 (16,8)	0,199	-19,27 (13,3)	-28,61 (7,95)	0,009
v_{max}	3,40 (0,34)	3,35 (0,32)	0,026	2,74 (0,61)	2,79 (0,41)	0,67

Tabel 11: Het aantal proefpersonen dat een hoger piekvermogen, hogere snelheid, minder vermogensverlies en een hogere duwfrequentie hebben behaald met de VB-hoepel is ten opzichte van de 10 proefpersonen weergegeven. Er is alleen gekeken naar de slaghand.

	Sprints (zonder racket)	Sprints (met racket)
$P_{o_{piek}} \text{ VB-hoepel} \geq P_{o_{piek}} \text{ CB-hoepel}$	1	3
$v_{max} \text{ VB-hoepel} \geq v_{max} \text{ CB-hoepel}$	1	3
$P_{negS} \text{ VB-hoepel} \geq P_{negS} \text{ CB-hoepel}$	3	1
$P_{negE} \text{ VB-hoepel} \geq P_{negE} \text{ CB-hoepel}$	4	1
$Du_{w_{freq}} \text{ VB-hoepel} \geq Du_{w_{freq}} \text{ CB-hoepel}$	2	5

Timing

In tabel 12 is te zien dat bij de timing de gemiddelde cyclustijd bij de VB-hoepels hoger is. Bij de sprints met tennisracket is bij zeven proefpersonen de duwtijd afgenomen, daardoor is de hersteltijd dus extra toegenomen. De verschillen zijn niet significant.

Tabel 12: De timingparameters (cyclustijd, duwtijd, hersteltijd [sec.], duwfrequentie [Hz]) van de slaghand tijdens de sprint test. Per variabele zijn de gemiddeldes, standaarddeviaties en significantie waarden voor de sprints zonder tennisracket en de sprints met tennisracket weergegeven.

	Sprints: zonder racket (0.25 W/kg)			Sprints: met racket (0.25 W/kg)		
	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.
Cyclus _{tijd}	0,47 (0,06)	0,49 (0,06)	0,06	0,48 (0,08)	0,52 (0,17)	0,39
Du _w _{tijd}	0,15 (0,01)	0,16 (0,02)	0,37	0,15 (0,02)	0,15 (0,02)	0,25
Herstel _{tijd}	0,31 (0,05)	0,33 (0,04)	0,11	0,32 (0,06)	0,37 (0,15)	0,27
Du _w _{freq}	129,8 (15,6)	124,5 (17,0)	0,07	128,5 (20,9)	123,2 (28,8)	0,53

Veld testen

In tabel 13 is van de veld test per testonderdeel de gemiddelde tijdsduur weergegeven. Te zien is dat bij bijna alle testonderdelen de gemiddelde tijdsduur bij de CB-hoepels korter is. Alleen bij de Service-Sprint Links is de gemiddelde tijdsduur bij de VB-hoepels korter. Echter, te zien is dat de standaarddeviaties bij de VB-hoepels groter zijn. De verschillen in tijdsduur tussen de testonderdelen zijn niet significant. In tabel 14 zijn de individuele resultaten verduidelijkt. In deze tabel is het aantal proefpersonen weergegeven dat een kortere tijdsduur had met de VB-hoepels. Ondanks dat de tijdsduur bij de VB-hoepel gemiddeld langer was, waren niet alle proefpersonen ook daadwerkelijk langzamer met de VB-hoepels.

Tabel 13: De tijdsduur [sec.] van de testonderdelen van de veld test. Per onderdeel is het gemiddelde, de standaarddeviatie en de significantie waarde weergegeven.

Testonderdelen	Veld test		
	Conditie 1 CB-hoepels	Conditie 2 VB-hoepels	Sig.
Sprint 5 meter	2,01 (0,23)	2,16 (0,22)	0,17
Sprint 10 meter	3,39 (0,29)	3,56 (0,36)	0,16
Service-sprint Rechts	2,83 (0,23)	2,90 (0,32)	0,39
Service-sprint Midden	2,84 (0,25)	2,88 (0,27)	0,16
Service-sprint Links	3,05 (0,17)	2,87 (0,28)	0,30
Wendbaarheid	17,76 (1,24)	17,94 (1,43)	0,26
Wendbaarheid-snelheid	19,81 (1,27)	19,89 (1,70)	0,77

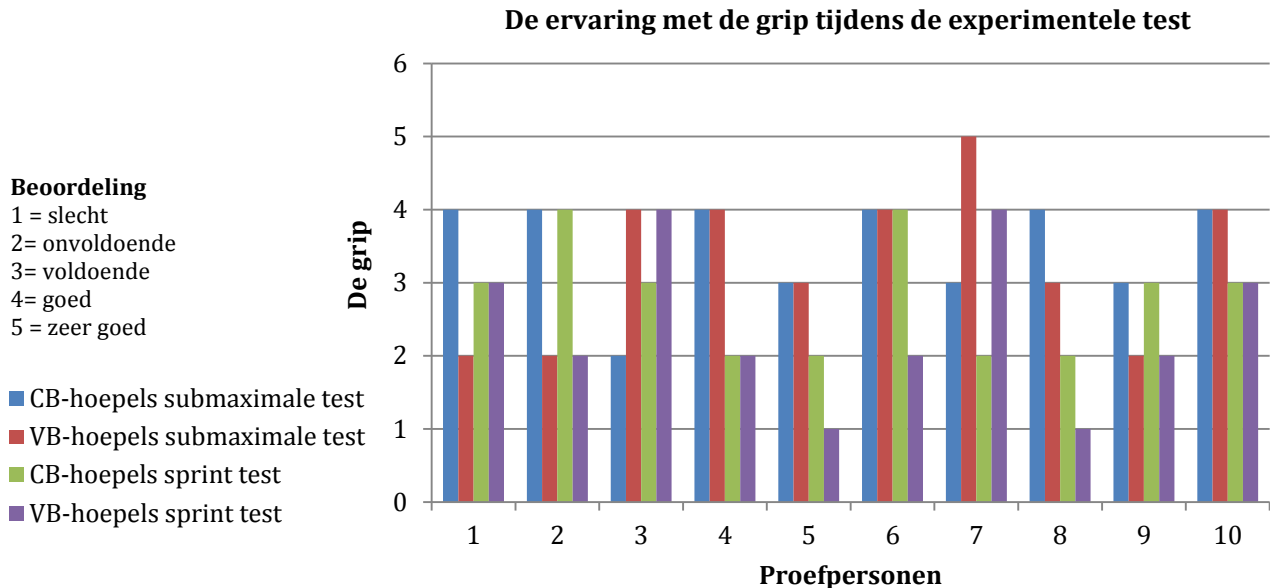
Tabel 14: Het aantal proefpersonen (ten opzichte van de 7 proefpersonen die hebben deelgenomen) dat de testonderdelen met de VB-hoepels in een kortere tijd heeft uitgevoerd is weergegeven.

Onderdelen	Aantal proefpersonen
Sprint 5 meter VB-hoepel ≤ Sprint 5 meter CB-hoepel	2
Sprint 10 meter VB-hoepel ≤ Sprint 10 meter CB-hoepel	3
Service-sprint Rechts VB-hoepel ≤ Service-sprint Rechts CB-hoepel	3
Service-sprint Midden VB-hoepel ≤ Service-sprint Midden CB-hoepel	2
Service-sprint Links VB-hoepel ≤ Service-sprint Links CB-hoepel	4
Wendbaarheid VB-hoepel ≤ Wendbaarheid CB-hoepel	2
Wend-Snelheid VB-hoepel ≤ Wend-Snelheid CB-hoepel	3

Vragenlijsten: de vragen na elk testonderdeel

Experimentele test

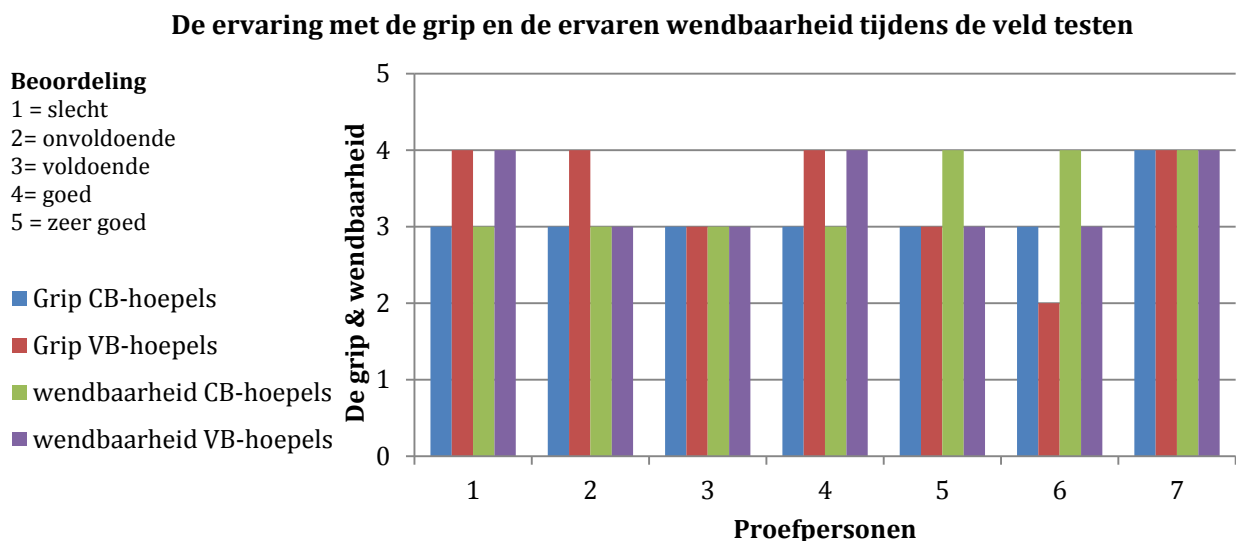
In figuur 8 zijn de individuele resultaten van de ervaringen met de grip op de hoepel bij de experimentele test weergegeven. Te zien is dat de CB-hoepels gemiddeld beter scoren. Bij beide testen is de grip op de VB-hoepels door twee proefpersonen als beter ervaren. Verder is te zien dat de grip op de VB-hoepels tijdens de sprint test door twee proefpersonen als zeer slecht ervaren is. De inspanning van de experimentele test is op de RPE-schaal gemiddeld als pittig (cijfer 4) ervaren. De resultaten liggen dichtbij elkaar, maar gemiddeld zijn de testen met de CB-hoepels als minder inspannend ervaren. In de bijlage 6 zijn de individuele resultaten van de RPE-scores weergegeven.



Figuur 8: De individuele resultaten van de ervaringen met de grip op de hoepel bij de experimentele test.

Veld testen

In figuur 9 zijn de individuele resultaten van de ervaring met de grip en de ervaren wendbaarheid bij de veld test weergegeven. Bij de VB-hoepels zijn er drie proefpersonen die de grip op de hoepel als beter hebben ervaren. Daarnaast zijn er twee proefpersonen die de wendbaarheid met de VB-hoepels beter hebben beoordeeld. De testonderdelen zijn ervaren als redelijke (cijfer 3) tot zware inspanning (cijfer 5). In de bijlage 6 zijn de individuele resultaten van de RPE-scores weergegeven.



Figuur 9: De individuele resultaten van de ervaringen met de grip en de ervaren wendbaarheid bij de veld test.

Discussie

De vraag van de KNLTB was of de hoepel van Stéphane Houdet (VB-hoepel) een positief effect heeft op het voortbewegen van de sportrolstoel bij het rolstoeltennis. Wanneer wordt gekeken naar de resultaten blijkt op dit moment dat de VB-hoepel voor de meeste proefpersonen niet tot betere resultaten leidt. Echter er is bij alle testen een aantal proefpersonen die wel beter presteren met de VB-hoepels. Terugkomend op de onderzoeksvragen worden de resultaten nader bekeken.

1. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel effect op het negatieve vermogen en de geleverde arbeid per slag?

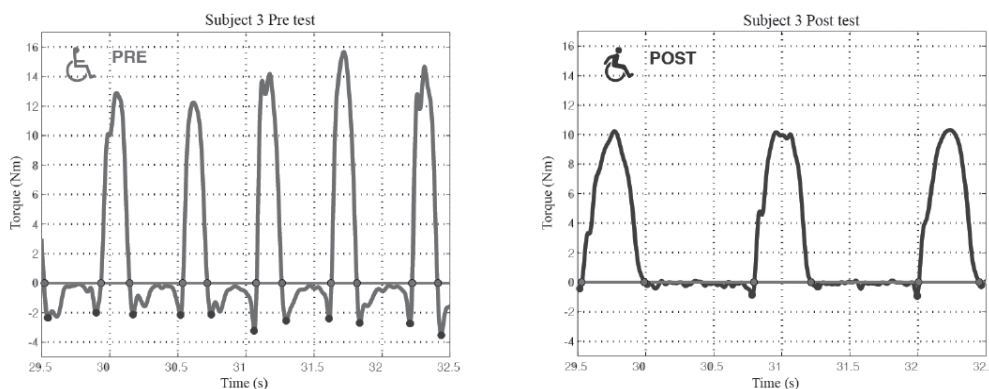
Bij de submaximale test bleek dat het gemiddelde negatieve vermogen bij de VB-hoepels lager was. De resultaten waren niet significant. Het negatieve vermogen (PnegS -3,3 W en PnegE -3,8 W) was bij de test met CB-hoepels in intervalblok 1 (zonder tennisracket) nagenoeg in overeenstemming met met eerdere onderzoeken. In het onderzoek van Van der Wouden et al., 2003 was het gemiddelde negatieve vermogen: PnegS -2,9 W en PnegE -4,1 W. Het onderzoek van Vegter et al., 2014 toonde aan dat de valide proefpersonen gedurende een 12-minuten submaximale test (intervalblokken van 3 minuten) tot minder vermogensverlies leidt. Het gemiddeld negatieve vermogen in intervalblok 3 was voor de PnegS -5,5 W en voor de PnegE -2,8 W. De geleverde arbeid was gemiddeld lager dan in het onderzoek van Vegter et al., 2014. In intervalblok 1 (zonder tennisracket) was de geleverde arbeid bij de CB-hoepels 5,51 J. In het onderzoek van Vegter et al., 2014 was de geleverde arbeid per slag in intervalblok 1 gemiddeld 7,67 J.

Bij de sprint test was het negatieve vermogen met tennisracket significant lager bij de VB-hoepels (de PnegS $p = 0,001$ en de PnegE $p = 0,009$). De resultaten van het negatieve vermogen zijn duidelijk lager dan de resultaten zonder tennisracket: CB-hoepel PnegS -36,85 en PnegE -19,27 en voor de VB-hoepels PnegS -66,83 en PnegE -28,61. Het niet direct goed kunnen plaatsen van het tennisracket op de VB-hoepel, heeft tot extra vermogensverlies geleid. Daarbij moet er rekening worden gehouden met het feit dat de proefpersonen voor deelname aan het onderzoek geen ervaring hadden met de VB-hoepels. Er is dus sprake van een trainingseffect dat niet in het onderzoek is meegenomen.

2. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel een effect op de timing van de krachtlevering?

Gebleden is dat bij de submaximale test in alle intervalblokken bij de VB-hoepels de gemiddelde duwfrequenties zijn gedaald (geen significante resultaten). De proefpersonen gingen over in een rustiger bewegingspatroon, waarbij de hersteltijd en cyclustijd toenamen. In intervalblok 1 (zonder tennisracket) waren de verschillen in toegenomen cyclustijd en hersteltijd het grootst. De duwfrequenties in intervalblok 1 (CB-hoepels 56,6 en VB-hoepels 53,6) zijn gemiddeld lager dan de resultaten uit de onderzoeken van Van der Linden et al., 1996 en Vegter et al., 2014. Echter deze onderzoeken waren uitgevoerd met valide proefpersonen. Daarbij toonde het onderzoek van Vegter et al., 2014 aan dat de proefpersonen gedurende een 12-minuten submaximale test (intervalblokken van 3 minuten) overgingen in een langzamer bewegingspatroon met een lagere duwfrequentie. De gemiddelde duwfrequentie in intervalblok 3 was 62,2. In het onderzoek van Van der Linden et al., 1996 lagen de gemiddelde duwfrequenties tussen de 64,0 tot 76,2. De proefpersonen hadden daarbij op de volgende snelheden gereden: 1,11, 1,39 en 1,67 m/s.

Ook de verschillen in de andere timingparameters (duwtijd, hersteltijd, cyclustijd) waren niet significant. Na een trainingsperiode zullen de veranderingen in timing waarschijnlijk toenemen. In de trainingsstudie van De Groot et al., 2014 vertoonden de proefpersonen significante veranderingen in de timing van de krachtlevering: lagere duwfrequentie, langere duwtijd en langere cyclustijd, zie figuur 10. Mogelijk dat de een dergelijke VB-hoepel in een later stadium ook voor andere doeleinden: ADL (algemeen dagelijks leven) of andere rolstoelsporten effectiever in kan worden gezet.



Figuur 10: Het moment op de wielas. Een voorbeeld van de veranderingen voor en na een trainingsperiode van drie weken. Te zien zijn:

- een lagere duwfrequentie
- langere duwtijd
- langere cyclustijd
- voor en na de duw minder momentverlies.

(De Groot et al., 2014)

Bij de sprint test is de gemiddelde duwfrequentie bij de VB-hoepels afgenomen. Dit was het gevolg van een toegenomen hersteltijd, duwtijd en cyclustijd. Voor het juist plaatsen van het tennisracket op de VB-hoepels was meer tijd nodig dan bij de CB-hoepels. Hierdoor hebben de proefpersonen geen optimale piekvermogens en maximumsnelheden kunnen behalen.

3. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel effect op het te leveren piekvermogen en de maximale snelheid tijdens de sprint?

Gebleken is dat de meeste proefpersonen met de VB-hoepels een lager piekvermogen en lagere maximumsnelheid hebben behaald. Bij de sprints zonder racket was dit verschil significant (totaal P_{piek} $p = 0,017$ en v_{max} $p = 0,026$). De behaalde piekvermogens komen bij de sprints zonder tennisracket nagenoeg overeen met de piekvermogens uit het onderzoek van Roeleveld et al., 1994. In het onderzoek van Roeleveld et al., 2014 was het gemiddelde piekvermogen 331,5 W. In dit onderzoek was het gemiddelde piekvermogen zonder tennisracket 311,0 W. Er moet rekening mee worden gehouden de mechanische weerstand bij het onderzoek van Roeleveld et al., hoger was ingesteld: 0.75 of 1.0 N/kg, waarbij de snelheid niet boven de 3 m/s kwam. In dit onderzoek was de mechanische weerstand bij de sprint test lager ingesteld (0,25 W/kg). Door het instellen van een lagere weerstand is er bij de sprints zonder tennisracket gemiddeld een hogere maximumsnelheid (3,4 m/s) behaald. Het instellen van de lagere weerstandswaarde is uitgevoerd, om de weerstand zo dicht mogelijk bij de ondervonden weerstand met eigen sportrolstoel overeen te laten komen.

Bij de sprints met tennisracket was het verschil tussen de hoepelcondities voor het piekvermogen en de maximumsnelheid niet significant. Drie proefpersonen hebben met de VB-hoepels een hoger piekvermogen en hogere maximumsnelheid behaald. In tabel 15 zijn de individuele resultaten van deze drie proefpersonen weergegeven. Te zien is dat proefpersoon één het grootste verschil heeft vertoond in de maximumsnelheid en het piekvermogen. Bij het rolstoeltennis maakt deze proefpersoon normaal gesproken vanwege een beperkte handfunctie gebruik van een hoepel met een extra rubberen coatinglaag. De CB-hoepel had geen coatinglaag, het was dus voor deze proefpersoon niet mogelijk met de CB-hoepels de maximale snelheid te behalen. Daarentegen had de VB-hoepel een tennisgrip, waardoor proefpersoon één hiermee beter presteerde. Proefpersoon twee heeft ook beter gepresteerd met de VB-hoepels. Een verklaring hiervoor kan zijn dat deze proefpersoon grote handen heeft en daardoor dus makkelijk de VB-hoepel kon vasthouden. De diameter van het buisprofiel van de VB-hoepel was namelijk groter dan bij de CB-hoepel.

Tabel 15: De drie proefpersonen die tijdens de sprint test met tennisracket een hogere maximumsnelheid en een hoger piekvermogen hebben behaald zijn weergegeven. Bij PP1 en PP2 zijn de verschillen het grootst.

Sprints met tennisracket	Maximale snelheid		Piekvermogens	
	Conditie 1 (CB-hoepels)	Conditie 2 (VB-hoepels)	Conditie 1 (CB-hoepels)	Conditie 2 (VB-hoepels)
PP1	1,35	2,31	51,64	166,22
PP 2	2,97	3,19	350,01	457,59
PP3	2,86	3,09	158,94	178,26

4. Heeft een vierkant buisprofiel van de hoepel van een sportrolstoel een effect op de manoeuvreerbaarheid en sprint op de tennisbaan?

Bij de veld test is gebleken dat de proefpersonen de testonderdelen gemiddeld langzamer uitvoerden met de VB-hoepels. Het verschil is niet significant geweest. Per testonderdeel is er een aantal proefpersonen dat sneller is geweest met de VB-hoepels. Verder is gebleken dat het remmen met de VB-hoepels lastig was, het leverde veel klachten van de handen op (branderig gevoel). Vooral de tennisgrip aan de bovenzijde van de VB-hoepel werd erg warm. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een slechte warmtegeleiding van het materiaal (carbon). De rolstoeltennissers Stéphane Houdet maakt tijdens het rolstoeltennis gebruik van handschoenen, mogelijk dat met het gebruik van handschoenen de manoeuvreerbaarheid op de tennisbaan toeneemt.

Factoren die de resultaten mogelijk hebben beïnvloed

Er zijn vele factoren die invloed kunnen hebben gehad op de onderzoeksresultaten, zie tabel 16 en 17. Het is niet duidelijk in hoeverre deze factoren de testresultaten hebben beïnvloed. Bij de experimentele test hebben deze factoren invloed gehad op de resultaten ten opzichte van een meting met eigen sportrolstoel. Echter het heeft geen effect gehad op de verschillen tussen de resultaten van de CB- en VB-hoepel, omdat de meting voor beide hoepels gestandaardiseerd uitgevoerd is.

Tabel 16: Factoren die bij de experimentele test mogelijk invloed hebben gehad op de onderzoeksresultaten.

	Rolstoelergometer	Sportrolstoel	Mogelijke invloed op de testresultaten
Zithouding	Standaard setting	Op individuele sporter aangepast	Mogelijk is de maximumsnelheid lager dan met eigen sportrolstoel.
Hoepelafstand t.o.v. de middenlijn zitting 	330 mm	+/- 240 mm	Hoepelafstand technisch niet kleiner instelbaar: spieractivatie niet geheel overeenkomstig.
Hoepelformaat	27 inch	26, 25 inch	Gebruikte hoepels groter dan dat de proefpersonen gewend zijn. Technisch kleiner niet haalbaar, dan hoepelafstand nog groter.
Banden	Banden verwijderd voor plaatsing hoepels	Banden op de wielen	Bij de veld test geobserveerd dat proefpersonen soms gebruik maken van de banden.
Camberstand	12°	22°	Technisch niet kleiner mogelijk: daardoor de positie van het tennisracket op de hoepel niet geheel overeenkomstig met sportrolstoel.

Tabel 17 : Factoren die bij de veld testen mogelijk invloed hebben gehad op de onderzoeksresultaten.

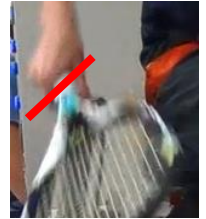
	Mogelijke invloed op de testresultaten
Wiel en hoepel	26 inch wiel met VB-hoepel is vergeleken met wiel met CB-hoepel van eigen sportrolstoel. Eén proefpersoon heeft op eigen sportrolstoel 25 inch wielen en 25 inch hoepels.
Stopwatch	Het testonderdeel service-sprint is uitgevoerd met stopwatch. Daardoor kan de reactietijd van degene die de stopwatch heeft bediend invloed hebben gehad op de resultaten.
Pionnen	Er is geen rekening gehouden met het wel of niet tegen een pion aanrijden.
Snelheidspoortjes	Bij één proefpersoon storing van de apparatuur tijdens de metingen met de VB-hoepels bij de testonderdelen sprint en wendbaarheid. Daardoor deze testonderdelen met stopwatch gemeten.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Zoals aangegeven is de VB-hoepel op dit moment voor het rolstoeltennis nog niet optimaal. Al is geconstateerd dat:

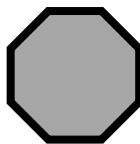
- Het tennisracket wordt meestal schuin op de hoepel gelegd, zie figuur 11.
- De positie van het tennisracket op de hoepel wisselt per persoon en is afhankelijk van de gereden snelheid.
- De hoepel en het tennisracket worden soms vastgehouden in combinatie met het wiel.

Figuur 11: Het tennisracket is schuin op de hoepel gepositioneerd.



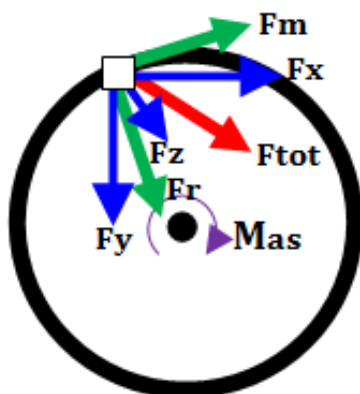
Er is zeker potentie dat in de toekomst een optimalere hoepel ontwikkeld kan worden ter vervanging van de reguliere CB-hoepel. Voor vervolgonderzoek worden er onderstaand een aantal aanbevelingen aangegeven, die kunnen leiden tot een optimalere hoepel.

- Aan de hand van videoanalyses meer inzicht krijgen in de plaatsing van het tennisracket op de hoepel. Daarbij de verschillende duwtechnieken die worden gebruikt tijdens het voortbewegen van de sportrolstoel onderzoeken.
- Wanneer er meer inzicht is in de positie van het tennisracket op de hoepel, onderzoek doen naar optimalere vormgeving (zie figuur 12) en grootte van de diameter van het buisprofiel van de hoepel.



Figuur 12: Aanbeveling: een 8-hoeksbuisprofiel
De proefpersoon heeft meer mogelijkheid het tennisracket in zijn/haar voorkeursstand te positioneren.

- Onderzoek uitvoeren naar geschikter materiaal voor de hoepel, dat minder klachten aan de hand geeft. Het Carbon geleidt de warmte niet genoeg.
- Onderzoek uitvoeren naar de meest effectieve duwtechniek in combinatie met het tennisracket voor het voortbewegen van de sportrolstoel.
- In vervolgonderzoek kunnen de krachtrichtingen op de hoepel nader worden onderzocht. Voor verduidelijking van de krachtrichtingen, zie figuur 13. Met de doelstelling de tangentiële kracht (F_m) zo optimaal mogelijk te benutten.



Figuur 13: De krachtrichtingen op de hoepel.

Legenda

F_m : de tangentiële krachtlevering.
 F_x, F_y, F_z : de componenten van de totale krachtlevering (F_{tot}).
 F_r : de krachtlevering richting de wielas.
 M_{as} : het moment op de wielas.

☐ **Aangrijpingspunt krachtlevering**

Conclusie

De resultaten van dit onderzoek hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de innovatie op het gebied van rolstoeltennis. Er is zeker potentie dat in de toekomst een optimalere hoepel ontwikkeld kan worden ter vervanging van de reguliere CB-hoepel. Echter in dit onderzoek heeft de VB-hoepel bij het voortbewegen van de sportrolstoel niet tot betere resultaten geleid. De vooraf gestelde hypothesen waren:

- 1. Bij het gebruik met een hoepel met een vierkant buisprofiel zal er minder vermogensverlies optreden, dit resulteert bij submaximale inspanning in een lager te leveren arbeid per slag.*
- 2. Er treden veranderingen op in de van de timing van de krachtlevering. Bij de hoepel met vierkant buisprofiel neemt bij submaximale inspanning de duwfrequentie af. Bij de sprint neemt de duwfrequentie dan juist toe.*
- 3. Bij een hoepel met een vierkant buisprofiel zal de krachtlevering op de hoepel effectiever worden gericht, dit resulteert in een hoger piekvermogen en een hogere maximumsnelheid.*
- 4. Een hoepel met vierkant buisprofiel heeft een positief effect heeft op de gereden snelheid en de manoeuvreerbaarheid op de tennisbaan.*

Deze hypothesen dienen verworpen te worden. Het negatieve vermogen was tegen de verwachting in bij de VB-hoepel tijdens de sprint test met tennistracket significant (de P_{negS} $p=0,001$ en de P_{negE} $p=0,009$) lager. Het niet direct goed kunnen plaatsen van het tennistracket op de VB-hoepel heeft tot extra vermogensverlies geleid. Daarnaast was bij de sprints zonder tennistracket het piekvermogen en de maximumsnelheid met de VB-hoepels significant lager (totaal P_{piek} $p=0,017$ en v_{max} $p=0,026$). In de behaalde resultaten zit wel veel variatie tussen proefpersonen. Dit geldt voor alle hypothesen. Training met een nieuwe hoepel kan voor het rolstoeltennis tot betere resultaten gaan leiden.

Literatuurlijst

Wetenschappelijke artikelen

- De Groot, S., Veeger, H. E. J., Hollander, A. P., & Van der Woude, L. H. V. (2002). Consequence of feedback-based learning of an effective handrim wheelchair force production on mechanical efficiency. *Clinical Biomechanics* , 219-226.
- De Groot, S., Vegter, R. J. K., Vuijk, C., Van Dijk, F., Plaggenmarsch, C., Sloots, M., Stolwijk-Swüste, J., Woldring, F., Tepper, M. & Van der Woude, L. H. V. (2014). Wheel-I: development of a wheelchair propulsion laboratory. *J Rehabil Med 2014 Preview*, 1-11.
- Diaper, N. J., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2009). A physiological case study of a paralympic wheelchair tennis player: reflective practise. *Journal of Sports Science and Medicine* , 300-307.
- Goosey-Tolfrey, V. L., & Leicht, C. A. (2013). Field-based physiological testing of wheelchair athletes. *Sports Medicine* , 77-91.
- Goosey-Tolfrey, V. L. , & Moss, A. D. (2005). Wheelchair velocity of tennis players during propulsion with and without the use of racquets. *Human Kinetics* , 291-301.
- Mason, B. S. , Van der Woude, L. H. V., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2012). The Ergonomics of Wheelchair Configuration for Optimal Performance in the Wheelchair Court Sports. *Sports Medicine* , 23-38.
- Masse, L. C. , Lamontagne, M., & O'riain, M. D. (1992). Biomechanical analysis of wheelchair propulsion for various seating positions. *J. Rehabil. Res. Dev.* , 12-28.
- Niesing, R., Eijskoot, F., Kranse, R., Den Ouden, A. H., Storm, J., Veeger, H. E. J., Van der Woude, L. H. V., & Snijders, C. (1990). Computer controlled wheelchair ergometer. *Med. Biol. Eng. Comp.* , 329-383.
- Roeleveld, K., Lute, E., Veeger, H. E. J., & Van de Woude, L. H. V. (1994). Power Output and Technique of Wheelchair Athletes. *Adapted physical activity quarterly* , 71-85.
- Tsai, Chung-Ying, Chien-Ju, Lin., Yueh-Chu, Huang., Po-Chou, Lin., & Fong-Chin, Su (2012). The effects of rear-wheel camber on the kinematics of upper extremity during wheelchair propulsion. *BioMedical Engineering*.
- Van der Linden, M. L., Valent, L., Veeger, H. E. J., & Van der Woude, L. H. V. (1996). The effect of wheelchair handrim tube diameter on propulsion efficiency and force application (tube diameter and efficiency in wheelchairs). *IEEE Transactions on rehabilitation enigeering* , 123-132.
- Van der Woude, L. H. V., De Groot, S., & Janssen, T. J. W. (2006). Manual wheelchairs: research and innovation in sports and daily life. *Science & Sports* , 226-235.
- Van der Woude, L. H. V., Formanoy, M., & De Groot, S. (2003). Hand rim configuration: effects on physical strain and technique in unimpaired subjects? *Medical Engineering & Physics* , 765-774.
- Van der Woude, L. H. V., Veeger, H.E.J., Rozendal, R. H., & Sargeant, T. J. (1989). Seat height in handrim wheelchair propulsion. *J. Rehabil. Res. Dev.* , 31-50.
- Van der Woude, L. H. V., Veeger, H. E. J., Dallmeijer, A. J., Janssen, T. W. J., & Rozendaal, L. A. (2001). Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion. *Medical Engineering & Physics* , 713-733.
- Van der Woude, L. H. V., Veeger, H. E. J., Rozendal, R. H., Van Ingen Schenau, G. J., Rooth, F., & Van Nierop, P. (1988). Wheelchair racing: effects of rim diameter and speed on physiology and technique. *Med Sci Sports Exerc* , 492-500.
- Vegter, R. J. K., De Groot, S., Lamothe, C. J., Veeger, H. E. J., & Van der Woude, L. H. V. (2014). Initial Skill Acquisition of Handrim Wheelchair Propulsion: A New Perspective. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 104-113.

Overige documentatie

Esther Vergeer / Esther Vergeer Foundation, www.esthvergeer.nl, bekeken op 5-8-2014

De Groot, S., Houdijk, H., Hettinga, F., Jannssen T. W. J., Plaggenmarsch, C., & Dekker, R. (2014). 5th international state-of-the-art congress 'rehabilitation: mobility, exercise & sports' : a brief introduction. *Program Book rehabilitation: mobility, exercise & sports*, 28-29.

Bascou, J. (2012). THESE: ANALYSE BIOMÉCANIQUE POUR LA COMPRÉHENSION ET L' AMÉLIORATION DU FAUTEUIL ROULANT DANS SON APPLICATION AU TENNIS DE HAUT NIVEAU, Arts et Métiers ParisTech - Centre de Paris. *École doctorale n° 432 : Science des métiers de l'ingénieur* , 1-336.

Bijlagen

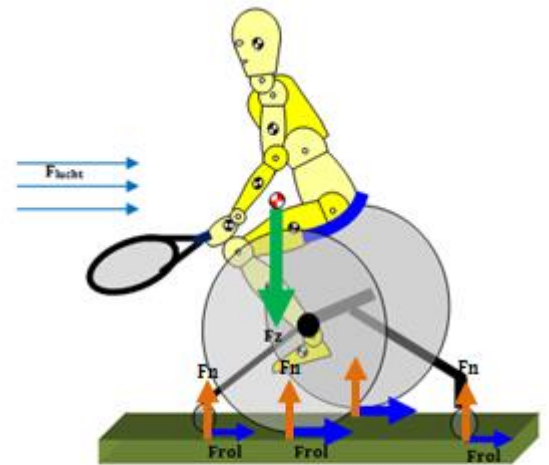
Bijlage 1: De mechanische weerstand instellen op de rolstoelergometer

Freebody diagram weerstandskrachten

Tijdens het rolstoeltennis ondervindt de sportrolstoel verschillende weerstandskrachten: rolweerstand (F_{rol}), zwaartekracht (F_z), normaalkracht (F_n) en luchtweerstand (F_{lucht}). In figuur 14 is een freebody diagram van deze krachten weergegeven.

Frol op het tennisveld

In eerder onderzoek naar een optimale zitpositie bij het rolstoeltennis is aangetoond dat de totale rolweerstand (F_{rol}) bij het rolstoeltennis varieert tussen de 4 en 5 Newton (Bascou, 2012). In dit onderzoek heeft de toptennisser Stéphane Houdet meerdere sprints uitgevoerd. De maximale snelheid van Stéphane Houdet tijdens deze sprints was 3,6 m/s. Door het instellen van een lage weerstandswaarde kunnen hoge snelheden worden behaald, die vergelijkbaar zijn met de snelheden die worden gereden tijdens het rolstoeltennis (Diaper et al., 2009).



Figuur 14: Freebody diagram van de weerstandskrachten op de sportrolstoel. De rolweerstand (F_{rol}), de zwaartekracht (F_z), de normaalkracht (F_n) en de luchtweerstand (F_{lucht}) zijn weergegeven.

Mechanische weerstand rolstoelergometer

Op de wielen van de rolstoelergometer is een mechanische weerstand opgelegd. Deze mechanische weerstand is gebaseerd op de F_{rol} op het tennisveld. De mechanische weerstand is ingesteld aan het lichaamsgewicht van de proefpersoon. Het lichaamsgewicht van de proefpersoon is op de VU gemeten. Om de mechanische weerstand zo dicht mogelijk in de buurt van de weerstandswaarde op de tennisbaan te laten overeenkomen is de mechanische weerstand laag ingesteld: 0.15 W/kg. De opgelegde belasting is verduidelijkt in een voorbeeldsituatie in tabel 3. Dit voorbeeld geeft een indicatie voor de opgelegde mechanische weerstand. De opgelegde weerstand is in het voorbeeld iets hoger dan de F_{rol} op het tennisveld (6.8 i.p.v. 5 Newton). Echter de luchtweerstand is verwaarloosd, hierdoor is het verschil in weerstand met de praktijk minimaal.

De submaximale test is ook uitgevoerd met een mechanische weerstandswaarde van 0.25 W/kg. Bij een hogere weerstandswaarde kost het rolstoelrijden namelijk meer energie en is het wellicht mogelijk grotere verschillen te constateren tussen de te onderzoeken parameters (vermogen, kracht, snelheid).

De sprint test is ook uitgevoerd op de weerstandswaarde van 0.25 W/kg. Dit is voor een sprint test bewust laag ingezet, immers op de tennisbaan wordt geen hogere weerstand ondervonden. In eerder onderzoek op de rolstoelergometer is bij sprinttesten een hogere weerstand opgelegd. Bij het instellen van een hogere weerstandswaarde kan namelijk een hoger vermogen worden gehaald (Roeleveld et al., 1994).

Tabel 18: Een voorbeeldsituatie, waarin de opgelegde mechanische weerstand op de rolstoelergometer is verduidelijkt.

Gegevens:

Gewicht proefpersoon: 60 kg } massa: 68 kg
Gewicht rolstoel: 8 kg }
Weerstandswaarde 0.15 W/kg

(1) $P_o = \text{Weerstand} \cdot \text{massa(kg)} \quad [\text{W}]$

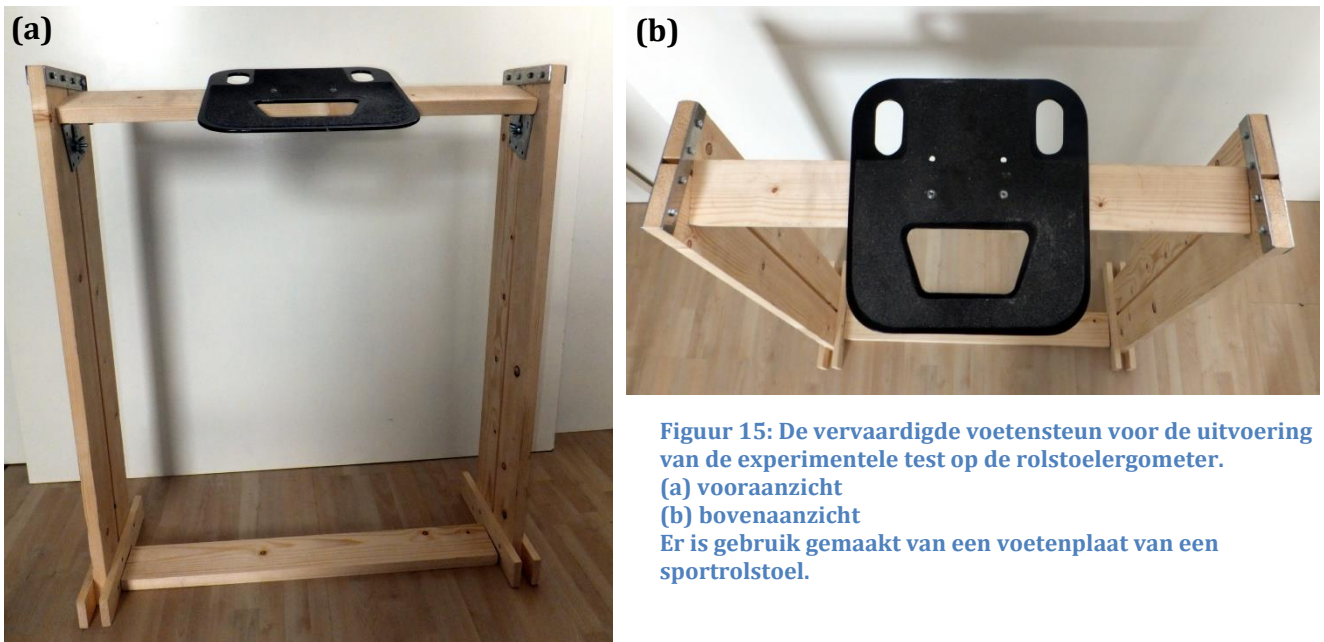
Voorbeeld: 1. $P_o = 0.15 \cdot 68 = 10.2 \quad [\text{W}]$

(2) $F_{rol} = P_o / v \quad [\text{N}]$

Voorbeeld: 1. $F_{rol} = \frac{10.2}{1.5} = 6.8 \quad [\text{N}] \rightarrow$
5 [N] tennisveld

Per wiel $F_{rol} = \frac{6.8}{2} = 3.4 \quad \text{N}$

Bijlage 2: De vervaardigde voetensteun

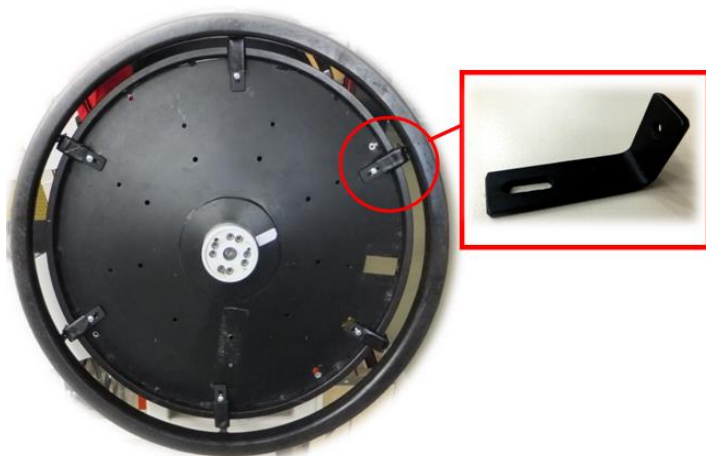


Figuur 15: De vervaardigde voetensteun voor de uitvoering van de experimentele test op de rolstoelergometer.
(a) vooraanzicht
(b) bovenaanzicht
Er is gebruik gemaakt van een voetenplaat van een sportrolstoel.

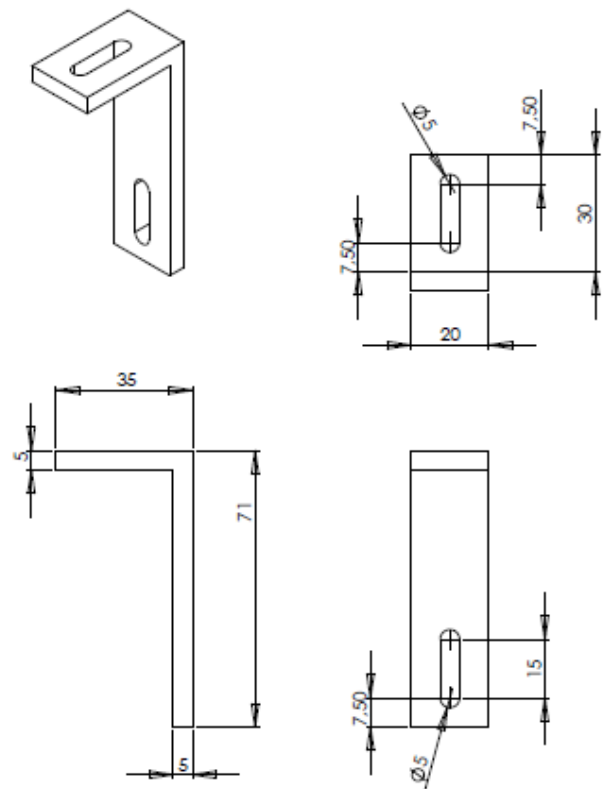
Bijlage 3: De vervaardigde verbidingsbeugel

Bevestiging van de hoepels op de rolstoelergometer

De 27 inch hoepels zijn aan beide zijden bevestigd op de rolstoelergometer. De hoepels zijn groter dan de standaard hoepels (24 inch) die worden gebruikt voor onderzoek met de rolstoelergometer. Hierdoor valt hoepel buiten de bevestigingsplaat, zie figuur 16. Om de hoepels goed te kunnen bevestigen zijn 12 beugels (35 x 71 x 20 mm) vervaardigd, zie figuur 17. De hoepel is op 6 punten verbonden met de bevestigingsplaat. In onderstaande figuur de bouwtekening weergegeven.



Figuur 16: De bevestigingsbeugels tussen de hoepels en de verbidingsplaat van de rolstoelergometer.



Figuur 17: De bouwtekening van de bevestigingsbeugel.

Bijlage 4: De vragenlijst tijdens het uitvoeren van de testen

Experimentele test (VB-hoepels & CB-hoepels)

Submaximaal test

1. Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?

- 1 = zeer slecht
- 2 = onvoldoende
- 3 = voldoende
- 4 = goed
- 5 = zeer goed

2. Hoe heb je de test ervaren?

RPE Schaal van 1 – 10.

Sprint test

3. Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?

- 1 = zeer slecht
- 2 = onvoldoende
- 3 = voldoende
- 4 = goed
- 5 = zeer goed

4. Hoe heb je de test ervaren?

RPE Schaal van 1 – 10.

RPE Schaal

0	Rust
1	Zeer Rustig
2	Rustig
3	Redelijk
4	Pittig
5	Zwaar
6	
7	Zeer Zwaar
8	
9	Zeer Zeer zwaar
10	Maximaal

Veld testen (VB-hoepels & CB-hoepels)

Sprint test: 5/10 meter

5. Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?

- 1 = zeer slecht
- 2 = onvoldoende
- 3 = voldoende
- 4 = goed
- 5 = zeer goed

6. Hoe heb je de test ervaren?

RPE Schaal van 1 – 10.

Service + sprint test (rechtdoor 90° bocht)

7. Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?

- 1 = zeer slecht
- 2 = onvoldoende
- 3 = voldoende
- 4 = goed
- 5 = zeer goed

8. Hoe heb je de test ervaren? RPE Schaal van 1 – 10.

9. Hoe ervaar je het uitvoeren van een bocht?

- 1 = heel moeilijk
- 2 = moeilijk
- 3 = goed te doen
- 4 = makkelijk
- 5 = heel makkelijk

Wendbaarheid test (Spider)

10. Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?

- 1 = zeer slecht
- 2 = onvoldoende
- 3 = voldoende
- 4 = goed
- 5 = zeer goed

11. Hoe heb je de test ervaren?

RPE Schaal van 1 – 10.

12. Hoe wendbaar ben je tijdens de test?

- 1 = slecht
- 2 = matig
- 3 = redelijk
- 4 = goed
- 5 = heel goed

Combinatie test: Illinois

13. Hoe ervaar je de grip op de hoepel bij het uitvoeren van deze test?

- 1 = zeer slecht
- 2 = onvoldoende
- 3 = voldoende
- 4 = goed
- 5 = zeer goed

14. Hoe heb je de test ervaren?

RPE Schaal van 1 – 10.

15. Hoe wendbaar ben je tijdens de test?

- 1 = slecht
- 2 = matig
- 3 = redelijk
- 4 = goed
- 5 = heel goed

Het optimaal voortbewegen van een tennisrolstoel

Vragenlijst Onderzoek

Onderzoek naar het voortbewegen van een sportrolstoel bij het rolstoeltennis, waarbij twee type buisprofielen van de hoepel met elkaar worden vergeleken.

Naam proefpersoon:



Algemene vragen

Datum	Testdag rolstoelvaardigheden: Testdag rolstoelergometer:
Geslacht	Man/vrouw
Voornaam	
Achternaam	
Geboortedatum	
Lichaamslengte	
Lichaamsgewicht	Meten op de VU:
Slaghand	Links/rechtshandig
Aantal trainingsuren per week	
Mobiele nummer	
E-mailadres	

Vragen over de hoepel

(vierkant vs. cirkelvormig buisprofiel)

Deze open vragen beantwoorden aan de hand van alle uitgevoerde testen tijdens het onderzoek:

- *De testen op de rolstoelergometer*
- *De testen in de rolstoelvaardighedentest*

Vraag 1

Welke hoepel zou je kiezen voor het rolstoeltennis? Geef daarbij je verklaring.

vierkant buisprofiel / cirkelvormig buisprofiel

Welk **cijfer** zou je **de hoepels in totaliteit** geven?

Beoordeling op een **schaal van 1 tot 10**, waarbij 10 de hoogste score is.

Type hoepel	Cijfer
vierkant buisprofiel	
cirkelvormig buisprofiel	

Vraag 2

Met welke hoepel heb je de meeste grip tijdens het rolstoelrijden? Geef daarbij je verklaring.

vierkant buisprofiel / cirkelvormig buisprofiel

Welk **cijfer** zou je de hoepels geven als je alleen kijkt naar **de grip op de hoepel**?

Beoordeling op een **schaal van 1 tot 10**, waarbij 10 de hoogste score is.

Type hoepel	Cijfer
vierkant buisprofiel	
cirkelvormig buisprofiel	

Vraag 3

Welke hoepel is comfortabeler tijdens het rolstoelrijden? Geef daarbij je verklaring.

vierkant buisprofiel / cirkelvormig buisprofiel

Welk **cijfer** zou je de hoepels geven als je alleen kijkt naar **het comfort van de hoepel** tijdens het rolstoelrijden?

Beoordeling op een **schaal van 1 tot 10**, waarbij 10 de hoogste score is.

Type hoepel	Cijfer
vierkant buisprofiel	
cirkelvormig buisprofiel	

Vraag 4

Met welke hoepel bent je het meest wendbaar op de tennisbaan? Geef daarbij je verklaring.

Welk **cijfer** zou je de hoepels geven als je alleen kijkt naar **wendbaarheid** tijdens het rolstoelrijden?

Beoordeling op een **schaal van 1 tot 10**, waarbij 10 de hoogste score is.

Type hoepel	Cijfer
vierkant buisprofiel	
cirkelvormig buisprofiel	

Vraag 5

Wanneer uit het onderzoek blijkt dat de hoepel met het vierkante buisprofiel geschikter is voor het rolstoeltennis, zou u dan ook deze hoepel gaan gebruiken?

ja/nee

Vraag 6

Heeft u ideeën/suggesties over het ontwerp van de hoepel, die kunnen leiden tot een optimale aandrijving voor het rolstoeltennis?

Overige opmerkingen:

Bijlage 6: Overzichtstabellen van de resultaten

Overzichtstabel van de van de submaximale test op de rolstoelergometer

Tabel 21: De resultaten van de submaximale test voor alle drie de intervalblokken. Per variabele zijn de gemiddeldes en standaarddeviaties voor de slaghand en niet-slaghand weergegeven.

			Intervalblok 1 (zonder racket)		Intervalblok 2 (met racket)		Intervalblok 3 (met racket)	
			VB-hoepels	CB-hoepels	VB-hoepels	CB-hoepels	VB-hoepels	CB-hoepels
Vermogen [W]	Po	slaghand(SD)	4,75 (1,07)	4,79 (1,09)	4,73 (0,66)	4,77 (1,22)	7,80 (1,42)	7,73 (2,37)
		niet-slaghand(SD)	4,77 (1,12)	4,78 (1,14)	4,83 (1,05)	4,97 (1,21)	7,66 (1,76)	8,01 (5,73)
	PnegS	slaghand(SD)	-6,02 (10,8)	-3,30 (4,89)	-15,14 (6,34)	-13,65 (7,66)	-13,60 (7,08)	-11,82 (5,90)
		niet-slaghand(SD)	-4,43 (7,19)	-2,91 (3,71)	-5,06 (6,43)	-4,99 (5,49)	-4,07 (4,27)	-4,58 (4,24)
	PnegE	slaghand(SD)	-5,80 (4,24)	-3,80 (2,58)	-10,01 (5,78)	-7,43 (3,56)	-11,43 (6,22)	-8,86 (3,93)
		niet-slaghand(SD)	-5,21 (4,70)	-4,40 (3,35)	-4,93 (2,44)	-4,93 (2,98)	-5,55 (2,92)	-5,70 (3,21)
Arbeid [J]	W	slaghand(SD)	6,14 (2,34)	5,51 (1,26)	6,07 (0,96)	6,03 (1,60)	9,33 (1,63)	8,85 (3,00)
		niet-slaghand(SD)	6,03 (2,88)	5,66 (1,20)	5,69 (1,77)	6,28 (1,86)	9,08 (3,03)	9,05 (2,89)
Snelheid [m/s]	v	slaghand(SD)	1,47 (0,15)	1,43 (0,11)	1,41 (0,13)	1,39 (0,21)	1,38 (0,15)	1,34 (0,29)
		niet-slaghand(SD)	1,48 (0,16)	1,44 (0,10)	1,48 (0,13)	1,47 (0,12)	1,46 (0,11)	1,45 (0,13)
Kracht [N]	Fm	slaghand(SD)	3,25 (0,69)	3,29 (0,49)	3,38 (0,40)	3,35 (0,42)	5,67 (0,73)	5,69 (0,80)
		niet-slaghand(SD)	3,25 (0,69)	3,29 (0,57)	3,28 (0,57)	3,34 (0,57)	5,32 (1,22)	5,50 (0,93)
Timing (sec.)	cyclustijd	slaghand (SD)	1,16 (0,28)	1,06 (0,16)	1,08 (0,17)	1,07 (0,23)	1,09 (0,21)	1,01 (0,19)
		niet-slaghand(SD)	1,15 (0,34)	1,11 (0,13)	1,10 (0,32)	1,15 (0,28)	1,12 (0,30)	1,06 (0,27)
	duwtijd	slaghand (SD)	0,26 (0,08)	0,27 (0,07)	0,20 (0,02)	0,20 (0,03)	0,23 (0,02)	0,23 (0,02)
		niet-slaghand(SD)	0,26 (0,060)	0,27 (0,06)	0,23 (0,04)	0,23 (0,06)	0,27 (0,03)	0,26 (0,05)
	herstel tijd	slaghand (SD)	0,90 (0,30)	0,79 (0,14)	0,88 (0,16)	0,86 (0,21)	0,86 (0,19)	0,78 (0,17)
		niet-slaghand(SD)	0,89 (0,35)	0,83 (0,16)	0,88 (0,32)	0,91 (0,27)	0,85 (0,31)	0,80 (0,26)
	duwf req	slaghand(SD)	53,6 (13,89)	56,6 (8,93)	56,3 (9,45)	58,2 (17,87)	55,6 (9,77)	60,4 (12,65)
		niet-slaghand(SD)	55,2 (15,83)	54,0 (6,73)	57,5 (15,08)	54,2 (16,36)	55,4 (12,21)	58,9 (15,10)

Overzichtstabel van de resultaten van de sprint test op de rolstoelergometer

Tabel 22: De resultaten van de sprint test voor de sprint met en zonder racket. Per variabele zijn de gemiddeldes en standaarddeviaties voor de slaghand en niet-slaghand weergegeven.

			Sprints (zonder racket)		Sprints (met racket)	
			<i>VB-hoepels</i>	<i>CB-hoepels</i>	<i>VB-hoepels</i>	<i>CB-hoepels</i>
Vermogen [W]	P_opiek	slaghand (SD)	287,8 (115,6)	311,0 (133,8)	240,3 (106,0)	228,0 (105,4)
		niet-slaghand (SD)	255,7 (91,6)	283,3 (110,7)	250,3 (76,4)	256,5 (90,4)
	P_{negS}	slaghand (SD)	-36,66 (14, 7)	-28,65 (13,1)	-66,83 (15,6)	-36,85 (14,8)
		niet-slaghand (SD)	-26,39 (14,6)	-20,10 (3,85)	-35,42 (12,7)	-21,42 (5,95)
Kracht [N]	P_{negE}	slaghand (SD)	-38,54 (16,8)	-32,01 (4,56)	-28,61 (7,95)	-19,27 (13,3)
		niet-slaghand (SD)	-26,06 (7,61)	-25,37 (6,03)	-26,87 (5,20)	-23,60 (3,55)
	F_mpiek	slaghand (SD)	101,6 (33,3)	109,3 (37,3)	104,3 (34,6)	99,5 (27,6)
		niet-slaghand (SD)	91,28 (26,9)	100,3 (31,0)	88,97 (21,4)	83,65 (30,8)
Snelheid (m/s)	v_{max}	slaghand (SD)	3,35 (0,32)	3,40(0,34)	2,79 (0,41)	2,74 (0,61)
		niet-slaghand (SD)	3,30 (0,34)	3,36 (0,35)	3,26 (0,31)	3,29 (0,32)
	Cyclustijd	slaghand (SD)	0,49 (0,06)	0,47 (0,06)	0,52 (0,17)	0,48 (0,08)
		niet-slaghand (SD)	0,41 (0,04)	0,49 (0,05)	0,47 (0,06)	0,46 (0,06)
Timing (sec.)	Duw_{tijd}	slaghand (SD)	0,16 (0,02)	0,15 (0,01)	0,15 (0,02)	0,15 (0,02)
		niet-slaghand (SD)	0,14 (0,02)	0,17 (0,01)	0,15 (0,02)	0,16 (0,02)
	Herstel_{tijd}	slaghand (SD)	0,33 (0,04)	0,31 (0,05)	0,37 (0,15)	0,32 (0,06)
		niet-slaghand (SD)	0,26 (0,03)	0,31 (0,04)	0,31 (0,4)	0,30 (0,04)

Overzichtstabellen RPE-scores tijdens de testen

Tabel 23: De individuele resultaten van de ervaren RPE-waardes tijdens de experimentele test zijn weergegeven. Daarnaast is het gemiddelde resultaat van de groep weergegeven. Er is onderscheid gemaakt voor de submaximale test en de sprint test.

	Submaximale test		Sprint test	
	RPE CB-hoepels	RPE VB-hoepels	RPE CB-hoepels	RPE VB-hoepels
pp1	3	3	4	4
pp2	5	9	3	4
pp3	3	3	4	4
pp4	3	3	6	6
pp5	3	4	4	5
pp6	4	4	4	4
pp7	3	3	4	5
pp8	4	5	6	6
pp9	3	3	4	5
pp10	4	3	3	3
Gemiddelde RPE	3,5	4	4,2	4,6

Tabel 24: De individuele resultaten van de ervaren RPE-waardes tijdens de veld testen zijn weergegeven. Daarnaast is het gemiddelde resultaat van de groep weergegeven.

Proefpersoon nr.	RPE CB-hoepels	RPE VB-hoepels
pp1	3	4
pp2	3	3
pp3	3	3
pp4	3	3
pp5	4	3
pp6	4	5
pp7	4	4
Gemiddeldes	3,4	3,4

Meetprotocol testen op de rolstoelergometer

- 1) Submaximaal test op de rolstoelergometer
- 2) Sprint test op de rolstoelergometer

Voorbereidingen

Voordat de proefpersoon arriveert, moet het benodigde materiaal al klaargezet zijn. De rolstoelergometer moet minstens een half uur voor de meting worden aangezet.

De hoepels moeten op de juiste manier zijn bevestigd op de rolstoelergometer met de vervaardigde beugels. De camera met statief staat goed gepositioneerd.

Testmateriaal

- Rolstoelergometer
- Computer
- Wiel met hoepel met vierkant buisprofiel
- Schroeven/beugels bevestiging hoepel
- schroevendraaier
- Camera + statief
- Voetensteun
- Labtop
- Hartslagband + Polar horloge
- Vragenlijsten/ Borgscore kaart
- Drinkbekers + water
- Stopwatch

Proefpersoon meenemen

- Tennisracket
- Sport kleding

Uitvoering

Lichaamsgewicht wegen

Op de VU wordt het gewicht van de proefpersoon gewogen (zitweegschaal).

Instellingen software op de rolstoelergometer

Op de computer het bijbehorende protocol instellen aan de hand van een job-file. De weestand (**Frol en Fwiel**) worden ingesteld aan de hand van het lichaamsgewicht van de proefpersoon. Met Excel document weerstanden berekenen. De weerstanden vervolgens aanpassen in de job-files.

Uitleg aan proefpersoon

Voordat er wordt begonnen wordt de het hele verloop van de test uit aan de proefpersoon nogmaals uitgelegd. Als er geen vragen zijn van de deelnemer, kan er worden begonnen. De proefpersoon wordt gevraagd de testen met een zo natuurlijk mogelijk bewegingspatroon. De test wordt in twee condities uitgevoerd.

- **Conditie 1:** de hoepels met het cirkelvormige buisprofielen aan beide zijden: CB-hoepels.
- **Conditie 2:** de hoepels met het vierkante buisprofiel aan beide zijden: VB-hoepels.

Proefpersoon zithouding instellen op de rolstoelergometer

De proefpersoon wordt geholpen in de ergometer plaats te nemen.

Instellingen zitpositie

- **De zitpositie:** het lichaamszwaartepunt (Zp) valt in rechtopzittende houding niet voorbij de wielas. De rugleuning is onder een hoek van 90^0 met de zitting gepositioneerd.
- **De zithoogte:** bij afhangende armen bevindt de handpalm zich op de wielas.
- **De camberstand:** maximaal instellen op 12^0 .
- **Voetensteun:** de juiste hoogte en kanteling instellen, naar voorkeur proefpersoon. De **voeten** vastmaken **met gordel**
- **Heupgordel** vastmaken.

Hartslagband om doen

1. Maak de elektroden van de borstband vochtig met water.
2. Zorg dat het zendgedeelte in het midden van de borst zit net onder de borstspieren, bij vrouwen onder de BH beugel.
3. Doe het Polar horloge om en druk op start, nr. 5 uit figuur. Wacht tot het horloge onderaan in het scherm een hartslag weergeeft en het hartje gaat knipperen.



Video opnames

Alle testen worden gefilmd. De camera wordt in sagitaal van de rolstoelergometer geplaatst, zodat de aandrijving in zijn geheel zichtbaar is.

- **Aanzetten video camera, voordat de proefpersoon gaat starten met de testen.**

Test starten

De warming-up/oefensessie is om aan even aan de rolstoelergometer te wennen voordat de test begint. Vervolgens wordt het protocol doorlopen. Gestart wordt met de submaximaal test, volgens tabel 1. Vervolgens wordt met de sprint test verder gegaan. Tussen beide testen is een rustperiode van 10 minuten.

Sprint test:

Er wordt afgeteld, zodat de sprint op het juiste moment wordt gestart.

Vragenlijsten/Borgscore kaart

Na elke test (per conditie) wordt aan de proefpersoon gevraagd de intensiteit van de inspanning te beoordelen op een borgscore kaart. En er wordt een vraag gesteld over de grip op de hoepels.

Stopcriteria

De proefpersoon kan op elk moment tijdens het onderzoek stoppen met deelname. En de deelname is op geheel vrijwillige basis.

Stoppen:

De rolstoelergometer heeft een noodstop/noodschakelaar en die zal altijd binnen handbereik is voor de onderzoeker en proefpersoon. Mocht er iets misgaan dan kan de rolstoelergometer direct worden stilgelegd.

Afronding

De proefpersoon wordt uit de rolstoelergometer geholpen en wordt bedankt voor de inzet. De proefpersoon kan douchen/omkleden.

Alle bestanden/data van de testen wordt op USB-stick gezet. De hartslagdata wordt uitgelezen. En de filmopnamen wordt op de computer gezet.

1. Het protocol submaximaal test

Een overzicht van de test is weergegeven in tabel 1.

Tussen beide testen 5 minuten rust

2. Het protocol sprint test

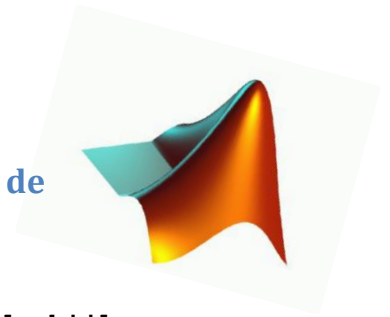
Een overzicht van de test is weergegeven in tabel 2.

Tijdsduur van beide protocollen samen is 25 minuten.

Na het uitvoeren van beide protocollen, worden de testen herhaald met de andere hoepel. Tussendoor 10 minuten rust. In deze periode worden de hoepels verwisseld.

s u b m a x i m a l t e s t	Tabel 6: Overzicht van het protocol: CB-hoepels en VB-hoepels.			
	Onderdeel	Duur	Snelheid	Weerstand (Frol)
	Warming-up/oefensessie (conditie 1)	1 min.	1.0 m/s	0.15 W/kg
	Rustperiode	30 sec.	0 m/s	
	Intervalblok 1 (conditie 1) Zonder racket	3 min.	1.5 m/s	0.15 W/kg
	Rustperiode	2 min.	0 m/s	
	Intervalblok 2 (conditie 1) Met racket	3 min.	1.5 m/s	0.15 W/kg
	Rustperiode	2 min.	0 m/s	
	Intervalblok 3 (conditie 1) Met racket	3 min.	1.5 m/s	0.25 W/kg
	Borgscore kaart & Vraag grip op de hoepel afnemen			
s p r i n t t e s t	Rust Drinken toegestaan	3 min.	0 m/s	
	Rustig tempo rijden	30 sec.	1.0 m/s	0.25 W/kg
	Sprint 1 (conditie 1) Zonder racket	7 sec.	Sprint	
	Wiel uitdraaien	10 sec.		
	Rustig tempo rijden	30 sec.	1.0 m/s	0.25 W/kg
	Sprint 2 (conditie 1) Zonder racket	7 sec.	Sprint	
	Wiel uitdraaien	10 sec.		
	Rustig tempo rijden	30 sec.	1.0 m/s	0.25 W/kg
	Sprint 3 (conditie 1) Zonder racket	7 sec.	Sprint	
	Wiel uitdraaien	10 sec.		
	Borgscore kaart & Vraag grip op de hoepel afnemen			
	Rustig tempo rijden	30 sec.	1.0 m/s	0.25 W/kg
	Sprint 1 (conditie 1) Met racket	7 sec.	sprint	
	Wiel uitdraaien	10 sec.		
	Rustig tempo rijden	30 sec.	1.0 m/s	0.25 W/kg
	Sprint 2 (conditie 1) Met racket	7 sec.	sprint	
	Wiel uitdraaien	10 sec.		
	Rustig tempo rijden	30 sec.	1.0 m/s	
	Sprint 3 (conditie 1) Met racket	7 sec.	sprint	0.25 W/kg
	Wiel uitdraaien	10 sec.		
	Borgscore kaart & Vraag grip op de hoepel afnemen			
	Rust Drinken toegestaan Hoepels wisselen: herhaling protocol conditie 2	10 min.	0 m/s	

Bijlage 8: Geschreven MATLABscript voor de dataverwerking van de rolstoelergometer



Alleen de code voor de rechterzijde van de rolstoelergometer is als bijlage toegevoegd (de code voor de linkerzijde berust op hetzelfde principes).

```
clear variables
close all
format compact % gegevens in de command window compact weergeven
format short g % data weergeven in minder wetenschappelijke notatie

%% Nabewerking data (eerste deel overgenomen uit handleiding rolstoelergometer)
% Set file name without extension (also used for image file of plot).
f = ['MyPreciousData'];
% Read data from file.
fid = fopen(['sprintenVierkantJeroen4.txt']); % kiezen textbestand
fscanf (fid, '%s', 1); % Skip text string.
VelocitySensorLeftSlope = fscanf (fid, '%f', 1);
VelocitySensorLeftIntercept = fscanf (fid, '%f', 1);
fscanf (fid, '%s', 1);
VelocitySensorRightSlope = fscanf (fid, '%f', 1);
VelocitySensorRightIntercept = fscanf (fid, '%f', 1);
fscanf (fid, '%s', 1);
MomentSensorLeftSlope = fscanf (fid, '%f', 1);
MomentSensorLeftIntercept = fscanf (fid, '%f', 1);
fscanf (fid, '%s', 1);
MomentSensorRightSlope = fscanf (fid, '%f', 1);
MomentSensorRightIntercept = fscanf (fid, '%f', 1);
fscanf (fid, '%s', 1);
MotorLeftSlope = fscanf (fid, '%f', 1);
MotorLeftIntercept = fscanf (fid, '%f', 1);
fscanf (fid, '%s', 1);
MotorRightSlope = fscanf (fid, '%f', 1);
MotorRightIntercept = fscanf (fid, '%f', 1);
fscanf (fid, '%s', 1);
WheelRadius = fscanf (fid, '%f', 1);

% Read the column names.
fscanf (fid, '%s', 1);
ColumnNames = fscanf (fid, '%s', 1);
eval (['ColumnNames = char(', ColumnNames, ');']); % Convert cell array to string array.
[Ncols, n] = size (ColumnNames);

% Read the numerical data into a matrix.
Data = fscanf (fid, '%f', inf);
Data = reshape (Data, Ncols, []); % Elements are taken columnwise.

% Assign column data to variables with names of the columns.
for i = 1 : Ncols
eval ([deblank(ColumnNames(i,:)), ' = Data(:,', num2str(i), ');']);
end
```

%% Vanaf hier eigen (Femke) geschreven code

%% De radius van de hoepel

% Radius aanpassen aan de hoepel
% hoepel 27 inch rond, Diameter = 0,61 meter
% hoepel 27 inch vierkant, Diameter = 0,63 meter (is dus niet exact gelijk)
WheelRadius = 0.63/2; % WheelRadius aanpassen

%% Samplefrequentie rolstoelergometer.

fs = 100;

%% Te analyseren data

% Data inkorten submaximale test: per intervalblok analyseren
% bij submaximaal test, alleen de data van de laatste minuut gebruiken

Tijd = Time(end-6000:end);
Intervalblok = BlockNumber(end-6000:end);
SnelheidRechts = VelocityRight(end-6000:end);
SnelheidLinks = VelocityLeft(end-6000:end);
MomentLinks = MomentLeft(end-6000:end);
MomentRechts = MomentRight(end-6000:end);

% Data inkorten sprint test: 30 seconden inrijden weglaten, laatste 10 seconden
wiel uitrijden weglaten, zodat alleen de sprint van 7 seconden wordt meegenomen in de
data

Tijd = Time(end-1700:end-1000);
Intervalblok = BlockNumber(end-1700:end-1000);
SnelheidRechts = VelocityRight(end-1700:end-1000);
SnelheidLinks = VelocityLeft(end-1700:end-1000);
MomentLinks = MomentLeft(end-1700:end-1000);
MomentRechts = MomentRight(end-1700:end-1000);

%% Het Moment

% Offset bepalen, het moment op de nullijn plaatsen
nullijn = 0;
schalingR = ginput(1); % nullijn bepalen en daar de offset vanaf trekken.
datalijnR = schalingR(1,2); % ginput 1 = correctie voor datalijn, zodat deze om de
nullijn kan worden geplaatst.
verschilR = nullijn-datalijnR;
MomentRechts = MomentRechts+verschilR; % hetzelfde principe voor de linkerzijde.

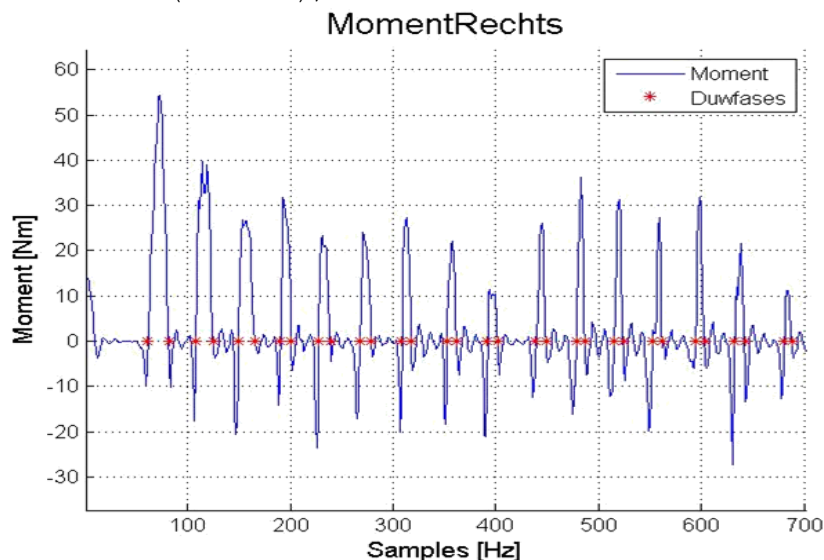
%% Filteren van het moment (gegevens overgenomen uit onderzoek van S. de Groot)

%Algemene waarden voor alle filters gebruikt
afsnijdfrequentie = 10; %afsnijfrequentie
orde = 2; % n-de orde Butterworth filter
sampleHz = 50; % samplefrequentie
% Het filter toepassen
[B,A]=butter(orde,afsnijdfrequentie/(sampleHz/2));
MomentRechts= filtfilt(B,A,MomentRechts); % ook voor linkerzijde

%% Duwfases bepalen: Rechts

```
% Door het instellen van een grenswaarde wordt een deel van de data in de duwfase
gemist.
% Daarom wordt de grens naar beneden gebracht tot de nullijn wordt gesneden, zodat
de gehele duwfase wordt gedetecteerd.
grens = 3; % vanaf deze grens naar de 0-lijn toe gaan, om de exacte duwfases te
bepalen.
p=0;
DuwRechts=[]; % deze waarde opgegeven, omdat anders ~isempty(e) geen logische waarde
kan retourneren.
i=1;% de eerste sample van de momenten, vanaf hier de pieken in de code gaan zoeken.
while i<length(MomentRechts)
    if MomentRechts(i)>grens && MomentRechts(i+1)>MomentRechts(i)
        for ii=i:-1:1 % stapgrootte -1, 1 samp
            if MomentRechts(ii)<=0
                p=p+1;
                DuwRechts(p,1)=ii;
                break
            end
        end
    end
    if ~isempty(DuwRechts)
        for jj=i:length(MomentRechts)
            if MomentRechts(jj)<=0
                p=p+1;
                DuwRechts(p,1)=jj;
                break
            end
        end
    end
    i=jj;
end
end
i=i+1;
end

% laatste rijnummer weghalen als deze oneven is, zodat er altijd intervallen
ontstaan.
IndexDuwRechts = find(DuwRechts); % de indexen van de kolommen
logic = mod(IndexDuwRechts,2); % werken met oneven en even indexen van de
kolomnummer (0 = even, 1 = oneven)
if logic(end) == 1 % wanneer de laatste rijnummer oneven is deze weghalen, kan geen
interval meer worden gemaakt.
    DuwRechts = DuwRechts(1:end-1);
end
```



```

% data in intervallen plaatsen voor de verdere analyses.
IndexDuwRechts = find(DuwRechts); % de indexen van de kolommen
logic = mod(IndexDuwRechts,2); % werken met oneven en even indexen van de
kolomnummer (0 = even, 1 = oneven)
k1 = DuwRechts(logic == 1,1);
k2 = DuwRechts(logic == 0,1);
DuwRechts = [k1 k2];

%% 5 vanaf start tot 5 seconden later analyseren
DuwRechts = DuwRechts(all(DuwRechts<=(500+DuwRechts(1,1)),2),:);

% aantal samples per duwfase % Alle duwperiodes afgaan
for i = 1:size(DuwRechts)
    AantalSamplesDuwRechts(i,1) = DuwRechts(i,2)-DuwRechts(i,1);
end

%% bij de sprint vanaf eerste duwfase tot 5 seconden later analyseren
% % start duwfases aangeven
iStartR = DuwRechts(1,1);
iStartL = DuwLinks(1,1);
DuwRechts = (DuwRechts-DuwRechts(1,1))+1;
DuwLinks = (DuwLinks-DuwLinks(1,1))+1;
SnelheidRechts = SnelheidRechts(iStartR:iStartR+500);
SnelheidLinks = SnelheidLinks(iStartL:iStartL+500);
MomentRechts = MomentRechts(iStartR:iStartR+500);
MomentLinks = MomentLinks(iStartL:iStartL+500);

TijdRechts = 0:0.01:5;
TijdLinks = 0:0.01:5;

SnelheidRechts = SnelheidRechts/3.6; % omschrijven naar meter/seconden
SnelheidLinks = SnelheidLinks/3.6; % omschrijven naar meter/seconden

%% Het vermogen
% het totaal geleverde Vermogen berekenen = (Moment*snelheid)/radiuswiel
VermogenRechts = (MomentRechts.*SnelheidRechts.*(WheelRadius^-1));

% filteren
[B,A]=butter(orde,afsnijdfrequentie/(sampleHz/2));
VermogenRechts = filtfilt(B,A,VermogenRechts);

% Gemiddelde en standaarddeviaties, voor alle parameters is het gemiddelde bepaald.
GemiddeldeVermogenRechts = mean(VermogenRechts);
StdVermogenRechts = std(VermogenRechts);

% inladen Excel formaat, is voor alle parameters is dit op dezelfde wijze
uitgevoerd.
naam = {'GemVermogenR'; 'stdVermogenR'; 'GemVermogenL'; 'stdVermogenL'};
celldata = cellstr(naam);
dataVermogen =
{GemiddeldeVermogenRechts; StdVermogenRechts; GemiddeldeVermogenLinks; StdVermogenLinks
};
GegevensVermogen(1,:) = [celldata];
GegevensVermogen(2,:) = [dataVermogen];

% sprint 1: Data wegschrijven in Excel file.
DataVermogen = xlswrite('C:\Users\My
Asus\Documents\MATLAB\MetingenErgometerPP1\vermogen.xls',GegevensVermogen,'BLAD1');

```

TIMING:

%% Tijdsduur van de duwfases

```
DuwtijdRechts = (AantalSamplesDuwRechts)/fs; %tijd in seconden
% Duwfrequenties van de duwfases(aantal duw/min.)
DuwfrequentieRechts = (60*length(DuwRechts))/5;% Bij de sprint.
DuwfrequentieRechts = length(DuwRechts); Bij de submaximale test.
```

%% Cycli bepalen (bestaat uit duwfases en herstelfases)

```
% intervallijst met de periodes van de cyclus
% cyclus wordt gedetecteerd van de start van de duwfase tot de nieuwe start
% van de volgende duwfase
% de -1 is noodzakelijk omdat de laatste duwfase niet meer kan worden
% meegenomen als cyclus. Fases zijn gedefinieerd van start tot start.
for i = 1:size(DuwRechts)-1
    CyclusRechts(i,1) = DuwRechts(i,1);
    CyclusRechts(i,2) = DuwRechts(i+1,1);
end
% aantal samples per cyclus
for i = 1:size(CyclusRechts)
    AantalSamplesCyclusRechts(i,1) = CyclusRechts(i,2) - CyclusRechts(i,1);
end
```

%% Tijdsduur van de cycli

```
% op dezelfde wijze als duwfases
CyclustijdRechts = (AantalSamplesCyclusRechts)/fs; %tijd in seconden
```

%% Tijdsduur van de herstelfase

```
HersteltijdRechts = CyclustijdRechts - DuwtijdRechts(1:end-1);
```

%% De geleverde arbeid in de cycli

```
for i = 1:size(CyclusRechts)
    ArbeidRechts{i,1} =
cumtrapz(VermogenRechts(CyclusRechts(i,1):CyclusRechts(i,2)))*(1/fs)'; % Data van
arbeid
    TotaleArbeidRechts(i,1) = max(ArbeidRechts{i}); % totaal geleverde arbeid per
cyclus
end
```

%% De PnegS berekenen: Rechts (is vastpakken hoepel) = negatief vermogen

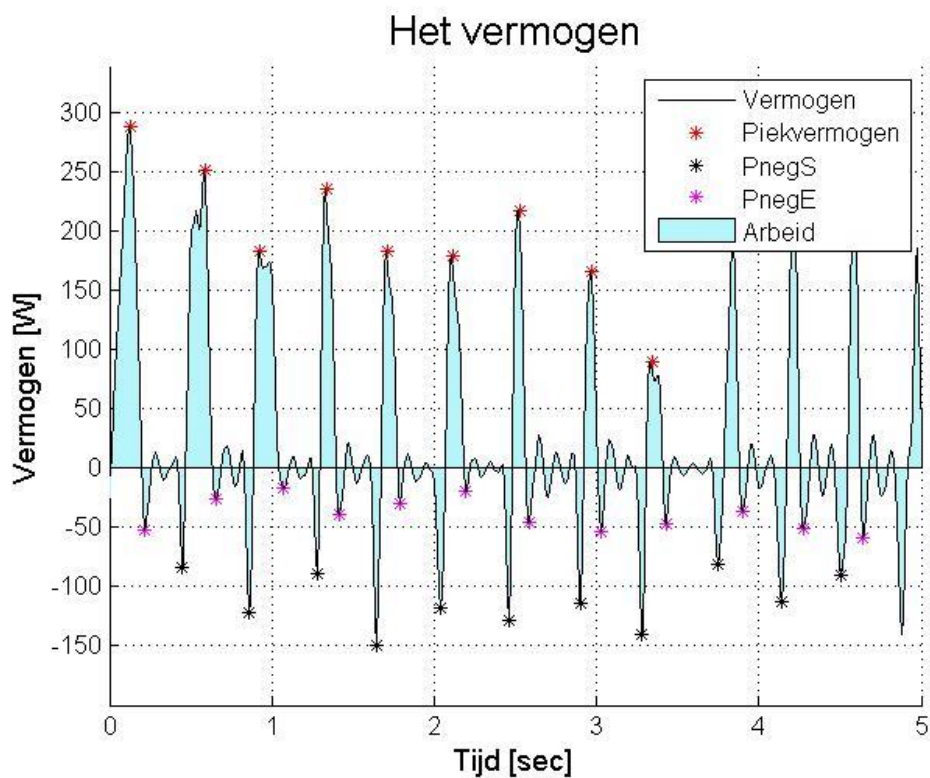
```
g=DuwRechts(:,1);% Rechts
i=1;
p=0;
PnegsRechts=[];
while i<=size(g,1);
    for ii=g(i):-1:1
        if VermogenRechts(ii)>=VermogenRechts(ii+1);
            p=p+1;
            PnegsRechts(p,1) = ii+1; % kolom 1 rijnummers
            PnegsRechts(p,2) = VermogenRechts(ii+1); % kolom 2 y-waardes
            break
        end
    end
    i=i+1;
end
```

%% De PnegE berekenen: Rechts (is loslaten hoepel) = negatief vermogen

```
c = DuwRechts(:,2);
i=1;
p=0;
PnegRechts=[];
while i<=size(c,1);
    for ii=c(i):1:size(VermogenRechts)
        if VermogenRechts(ii)>=VermogenRechts(ii-1);
            p=p+1;
            PnegRechts(p,1)=ii-1;
            PnegRechts(p,2)=VermogenRechts(ii-1);
            break
        end
    end
    i=i+1;
end
```

%% De PiekVermogens voor de sprints in de duwfase

```
for i =1:size(DuwRechts)
    VermogenDuwfaseRechts{i} = VermogenRechts(DuwRechts(i,1):DuwRechts(i,2))'; %
    Data van vermogen in de duwfases
    [PiekvermogenRechtsDuwfases(i,1),IndPiekR(i,1)] = max(VermogenDuwfaseRechts{i});
end
```



Bijlage 9: Aanmelding Onderzoek Ethische Commissie Bewegingswetenschappen

A. Algemeen/Administratief

1. Betreft deze aanmeldingen een project of een programma?
O project, met titel: *Onderzoek naar het voortbewegen van een sportrolstoel bij het rolstoeltennis, waarbij twee type buisprofielen van de hoepel met elkaar worden vergeleken.*
2. Naam van eerst verantwoordelijke onderzoeker: Thomas Janssen
3. Plaats van uitvoering van het aangemelde onderzoek: VU, Amsterdam (faculteit Bewegingswetenschappen), Tennishal Centre Point, Almere en Tennishal De Schaapskooi, Bemmeloord
4. Wie voert het onderzoek uit? Femke Bos (student Bewegingstechnologie)

B. Onderzoek

5. Wat is de vraagstelling van het onderzoek (graag korte omschrijving)?

Er wordt onderzocht of het vierkante buisprofiel van de hoepel, aan de zijde van het tennisracket, van een sportrolstoel een positief effect heeft op de aandrijving tijdens het rolstoeltennis.

6. Beschrijf het belang van het onderzoek en de beoogde toepassing van de resultaten.

Dit onderzoek is van groot belang in de voorbereidingen voor het rolstoeltennis richting de paralympische Spelen van Rio in 2016. Bij succes gaan de topspelers van Nederland gebruik maken van een hoepel met een vierkant buisprofiel.

7. Welk soort variabelen worden in het onderzoek gemanipuleerd?

Onderzocht wordt de krachtlevering en de timing van de krachtlevering tijdens submaximale inspanning op de rolstoelergometer. Daarnaast wordt het te leveren vermogen onderzocht tijdens sprints op de rolstoelergometer. De tijd wordt gemeten tijdens specifieke rolstoeltennisvaardigheden in de tennishal.

8. Welk soort variabelen worden in het onderzoek gemeten en hoe worden deze gemeten?

De rolstoelergometer

De krachten op de hoepel worden gemeten.

Het moment op de wielas wordt gemeten om het totale vermogen te berekenen.

De meting wordt gefilmd om de techniek te analyseren.

In de tennishal

Er wordt door de proefpersonen een rolstoelcircuit afgelegd. De tijdsduur per onderdeel wordt gemeten.

9. Is voor het verkrijgen van gegevens medewerking van een arts noodzakelijk?

nee

Indien “ja”, dan moet dit onderzoek door een METC worden getoetst.

C. Proefpersonen

10. Hoe en waarop worden proefpersonen geselecteerd?

Het onderzoek wordt uitgevoerd met (sub)top rolstoeltennissers in de leeftijdsgroep 15-36 jaar. De proefpersonen hebben geen blessures aan de schouder en/of pols.

11. Zijn de proefpersonen:

- a. Jonger dan 12 jaar? *nee*
- b. Twaalf jaar en ouder, maar jonger dan 18 jaar? *ja*
- c. Ouder dan 70 jaar? *nee*
- d. Wilsbekwaam (in staat tot het geven van geïnformeerde toestemming)? *ja*

12. Doen de proefpersonen aan het onderzoek mee **nadat** zij (en/of ouders/verzorgers indien de proefpersoon jonger dan 18 jaar en/of wilsonbekwaam is) volledig over de aard, doelstelling, methodes en risico's van het onderzoek zijn voorgelicht?

ja

Indien “nee”, hier een (korte) toelichting geven. Indien “ja”, op welke wijze?

13. Geven de proefpersonen (en/of ouders/verzorgers indien de proefpersoon jonger dan 18 jaar en/of wilsonbekwaam is) voor aanvang van het onderzoek een schriftelijke toestemming?

ja

Indien “nee”, hier een toelichting geven:

14. Worden de proefpersonen achteraf in kennis gesteld van de aard en doelstelling van het onderzoek?

nvt.

15. Hoe is gewaarborgd dat feitelijk verzet van de proefpersoon gesignaleerd wordt en dat er rekening mee wordt gehouden?

De proefpersoon kan op elk moment tijdens het onderzoek stoppen met deelname. En de deelname is op geheel vrijwillige basis. Op elk moment is de proefleider vlakbij de proefpersoon waarbij de proefleider in de gaten houdt of de proefpersoon wel of niet wil doorgaan.

16. Ontvangen de proefpersonen een beloning voor hun deelname aan het onderzoek? *ja*

Indien “ja”, specificeer dan aard en omvang van de beloning:

De proefpersonen krijgen een kleine attentie als dank voor deelname.

17. Wordt de proefpersonen duidelijk gemaakt dat zij te allen tijde hun medewerking aan het onderzoek kunnen opzeggen?

ja

18. Worden persoonsgegevens gecodeerd? *ja*

N.B.: Om de anonimiteit van de proefpersonen te waarborgen is codering van de gegevens een vereiste (zie Toelichting).

Zo “ja”, wie heeft de sleutel van deze code? De uitvoerster van het onderzoek (Femke Bos) en de onderzoekers (Thomas Janssen, Jorine Koopman en Monique Berger (bewegingstechnologie), Sonja de Groot (Reade); nb dit zijn niet de coaches/trainers van de spelers)

19. Wie heeft toegang tot de brondocumenten en eventuele andere tot de persoon herleidbare gegevens?

Alleen de betrokken onderzoekers (Femke Bos, Thomas Janssen, Jorine Koopman, Monique Berger, Sonja de Groot).

20. Hebben de proefpersonen inzage in hun eigen gegevens als zij daarom verzoeken? *ja*

Indien “nee”, hier een korte toelichting geven:

D. Belasting en risico's

21. Beschrijf de belasting voor de proefpersonen in termen van tijd, lichamelijke belasting en psychische/mentale belasting.

Tijdsduur

De proefpersoon wordt gevraagd twee dagdelen vrij te maken voor het onderzoek.

Dag 1: testen op de rolstoelergometer op de VU in Amsterdam.

Dag 2: het uitvoeren van een rolstoelcircuit in de tennishal Centre Point in Almere

Lichamelijke belasting

Er worden submaximale testen uitgevoerd en sprinttesten. De geleverde inspanning tijdens deze testen is door de proefpersoon, getrainde (sub)rolstoeltennissers, goed uit te voeren.

Psychische/mentale belasting

De testen worden uitgevoerd bij gezonde proefpersonen met een beperking (rolstoeltennissers). De mentale belasting is minimaal, hoogstens dat de proefpersonen zichzelf extra druk op leggen om de testen goed te willen uitvoeren.

22. Zijn er, voor de proefpersonen, risico's verbonden aan het onderzoek? Kan het onderzoek negatieve gevolgen hebben voor de deelnemende proefpersonen?

nee

Indien “ja”, hier een toelichting geven:

23. Worden er ter bescherming van de proefpersonen speciale voorzorgsmaatregelen genomen?

ja

Indien “ja”, een korte toelichting geven:

De rolstoelergometer heeft een noodstop en die zal altijd in de buurt van de tester en proefpersoon worden gelegd. Mocht er iets misgaan dan kan de ergometer direct worden stilgelegd.

Datum indiening: 20 maart 2014
(inclusief onderzoeksbeschrijving en toestemmingsverklaringsformulier)

Handtekening eerst verantwoordelijke onderzoeker(s):

N.B.: De aanvraag dient te worden ondertekend door alle onder 2) genoemde eerst verantwoordelijke onderzoekers.



Oordeel van Ethische Commissie Bewegingswetenschappen:

- ☐ Goedgekeurd: ☐
- ☐ Goedgekeurd onder voorwaarde(n) (zie toelichting in brief)
- ☐ Niet goedgekeurd (zie toelichting in brief): ☐

Datum oordeel:

Handtekening:

Naam:

Bijlage 10: Toestemmingsverklaringformulier (informed consent)

Titel onderzoek: Onderzoek naar het voortbewegen van een sportrolstoel bij het rolstoeltennis, waarbij twee type buisprofielen van de hoepel met elkaar worden vergeleken.

Verantwoordelijke onderzoekers:

Dr. S. de Groot, Ir. J. Koopman, Prof.dr. T.W.J. Janssen, Dr. M.A.M. Berger

In te vullen door de deelnemer

Ik verklaar op een voor mij duidelijke wijze te zijn ingelicht over de aard, methode, doel, belasting en mogelijke risico's van het onderzoek. Ik weet dat de gegevens en resultaten van het onderzoek alleen anoniem en vertrouwelijk aan derden bekend gemaakt zullen worden. Mijn vragen zijn naar tevredenheid beantwoord.

Ik begrijp dat film-, foto-, en videomateriaal of bewerking daarvan uitsluitend voor analyse en/of wetenschappelijke presentaties zal worden gebruikt.

Ik stem geheel vrijwillig in met deelname aan dit onderzoek. Ik behoud me daarbij het recht voor om op elk moment zonder opgaaft van redenen mijn deelname aan dit onderzoek te beëindigen.

Naam deelnemer:

Datum: Handtekening deelnemer:

In te vullen door de ouder/verzorger (indien deelnemer jonger is dan 18 jaar)

Ik stem hierbij in met deelname van mijn zoon/dochter.

Naam ouder/verzorger:

Datum: Handtekening ouder/verzorger:

In te vullen door de uitvoerende onderzoeker

Ik heb een mondelinge en schriftelijke toelichting gegeven op het onderzoek. Ik zal resterende vragen over het onderzoek naar vermogen beantwoorden. De deelnemer zal van een eventuele voortijdige beëindiging van deelname aan dit onderzoek geen nadelige gevolgen ondervinden.

Naam onderzoeker:

Datum: Handtekening onderzoeker:

Het optimaal voortbewegen van een tennisrolstoel

Betreft deelname aan Onderzoek:

‘Onderzoek naar het voortbewegen van een sportrolstoel bij het rolstoeltennis, waarbij twee type buisprofielen van de hoepel met elkaar worden vergeleken’

Beste sporter,

Voor de meesten van jullie is het vast bekend dat de topspeler Stéphane Houdet speelt met een hoepel met een afgeplat buisprofiel. Er wordt verwacht dat met deze hoepel het voortbewegen van de sportrolstoel efficiënter is. In een onderzoek wordt onderzocht of een afgeplat buisprofiel een positief effect heeft op het geleverde vermogen en de krachtlevering bij het voortbewegen van de sportrolstoel.

Dit onderzoek is een samenwerking van de KNLTB met NOC*NSF, de VU, Reade, en de Haagse Hogeschool en is van groot belang in de voorbereidingen richting de paralympische Spelen van Rio in 2016. Bij succes gaan de topspelers van Nederland gebruik maken van een hoepel met een afgeplat buisprofiel. Dit kan leiden tot medailles voor Nederland!

Voor deelname zijn de volgende criteria opgesteld:

- De drie testdagen beschikbaar te zijn.
- Eigen tennisracket mee te nemen, ook naar de VU.
- In de tennishal worden de wielen met de nieuwe hoepel op jouw stoel bevestigd.
- Geen blessures aan schouder en/of pols.
- Geen explosieve krachttraining verrichten de dag voor de metingen.

Voor de uitvoering van het onderzoek hebben we ervaren rolstoeltennissers nodig. Daarom willen we focussen op de T2T en T2C groepen. Het onderzoek vindt plaats op drie testdagen. Op twee testdagen: **17 mei en 7 juni** worden er metingen verricht tijdens de zaterdagtraining in Bommel. Voor het onderzoek dien je beide dagen aanwezig te zijn. Train je niet in Bommel op zaterdag, dan wordt je speciaal voor die trainingsdagen uitgenodigd.

De metingen op de VU vinden op één van de volgende dagen plaats: **6 mei, 8 mei, 9 mei, 12 mei, 13 mei of 14 mei**. De in te plannen tijdstippen zijn: 10.00 uur, 13.00 uur of 15.00 uur. Graag één van deze dagen met voorkeurtijd opgeven door een e-mail te sturen naar Femke Bos.

We verwachten jullie medewerking in dit onderzoek en lever zo een fantastische bijdrage aan de innovatie van je sport!

Met vriendelijke groet,

Femke Bos
Student Bewegingstechnologie
Tel. 06-22008224
e-mail: femkebos92@gmail.com

& Marc Kalkman, Aldo Hoekstra en Elmy van Tok
KNLTB
e-mail: video.support@knltb.nl

Bijlage 12: Projectvoorstel

Concept projectplan onderzoekopzet: Rolstoeltennis

Naam: Femke Bos

Studentnummer: 10006281

e-mail: femkebos92@gmail.com

Behaalde studiepunten in de modules 9 t/m 12: 142pt

Datum: 25 jan. 2013

1. Onderwerp

Werkveld: Rolstoeltennis (onderzoek)

Beroepsrol: onderzoeker (ECBT)

Voorlopige titel

Onderzoek naar het voortbewegen van een sportrolstoel bij het rolstoeltennis, waarbij twee type buisprofielen van de hoepel met elkaar worden vergeleken.

2. Probleemstelling

Aanleiding

Het voortbewegen van de sportrolstoel bij rolstoeltennis wordt gekenmerkt door specifieke bewegingspatronen zoals: starten, sprinten, remmen en draaien. Deze bewegingspatronen komen overeen met die van andere rolstoelsporten, zoals rolstoelbasketbal en rolstoelrugby. Echter het voortbewegen van de sportrolstoel bij het rolstoeltennis onderscheidt zich doordat bij deze sport tijdens het voortbewegen een racket in de hand wordt vastgehouden. Door het vasthouden van het racket tijdens de aandrijving wordt de techniek die nodig is om de hoepel voor te bewegen beperkt. Deze techniek bestaat uit: de richting van krachtlevering, de timing van krachtlevering en de bewegingsuitslagen van de gewrichten. Door deze beperking in de techniek wordt de effectieve duwkracht op de hoepel verminderd (V.L. Goosey-Tolfrey, 2005).

Een vermindering van techniek leidt tot een lagere mechanische efficiëntie (ME). Het rolstoelrijden is van nature al een inefficiënte manier van voortbewegen. De ME bereikt nauwelijks de 10% (H.E.J. Veeger, 1992).

De richting van de krachtlevering is één van de aspecten van de techniek die kan leiden tot een vermindering van de ME. Uit onderzoek blijkt dat de richting van de krachtlevering op de hoepel niet tangenciaal aan de hoepel is, maar meer naar beneden wordt gericht (Veeger, 1993).

Om de fysieke inspanning, ME en techniek mogelijk te optimaliseren zijn er verschillende onderzoeken uitgevoerd met betrekking op het materiaal en vormgeving van de hoepels. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd op een rolstoelergometer (R. Niesing, 1990). Er is onderzocht bij een groep ongetrainde rolstoelgebruikers of er verschil is in het oppervlakte materiaal dat om de hoepel heen is geplaatst. Dit onderzoek heeft geen significante verschillen aangetoond in fysieke inspanning, ME en techniek (L.H.V. van der Woude, 2003). Er is onderzocht wat het effect is van de diameter van de hoepel bij valide proefpersonen (M.L. van der Linden, 1996). Significante verschillen zijn er gevonden in de fysieke inspanning (zuurstofverbruik, hartslag, ME) bij afnemende diameter van de hoepel. Naast variatie in grootte van de diameter van de hoepel is onderzocht of er verschil is in vormgeving van de hoepel. Dit is onderzocht met twee type buisprofielen: een ovaal buisprofiel en een cirkelvormig buisprofiel. Er is gebleken dat het gebruik van een hoepel met ovaal buisprofiel een positief effect heeft op de ME. (M.L. van der Linden, 1996).

De diameter van de hoepel is bij rolstoelsporten een belangrijke factor. Als vervolg op voorgaande onderzoeken wordt in dit onderzoek een afgeplat buisprofiel vergeleken met een cirkelvormig buisprofiel. Tijdens de metingen wordt het tennisracket door de proefpersoon vastgehouden, zodat de invloed van het racket wordt meegenomen.

Doelstellingen

De volgende doelstellingen opgesteld om te onderzoeken in dit onderzoek.

- Onderzoeken of een afgeplatte hoepel bij het rolstoeltennis een positief effect heeft op de mechanische efficiëntie van de aandrijving bij submaximale inspanning
- Onderzoeken of een afgeplatte hoepel effect heeft op de techniek van de krachtlevering: de grootte/richting van de krachtlevering, de timing van krachtlevering, de optredende handmomenten bij submaximale inspanning

Hypothese

Verwacht wordt dat het voortbewegen van de sportrolstoel met een afgeplat buisprofiel van de hoepel een effectief effect heeft op de ME en de uitvoering van de techniek. Deze verwachting is gebaseerd op de positienering van het racket. Bij een afgeplat buisprofiel van de hoepel kan het racket makkelijker tegen de hoepel worden vastgehouden tijdens het voortbewegen van de rolstoel. Hierdoor is de verwachting dat de krachtrichting van de aandrijving effectiever worden gericht.

Onderzoeksvragen

Hoofdvraag

Heeft een afgeplatte vormgeving van de hoepel van een sportrolstoel een positief effect op de aandrijving tijdens het rolstoeltennis?

Deelvragen

1. Heeft de afgeplatte vormgeving van de hoepel van een sportrolstoel een positief effect op de mechanische efficiëntie (ME) van de aandrijving bij submaximale inspanning?
2. Heeft de afgeplatte vormgeving van de hoepel van een sportrolstoel een positief effect de krachtlevering, timing van de krachtlevering, optredende handmomenten bij submaximale inspanning?

Extra inventarisatie vragen:

3. Zijn er extra handschoenen nodig bij de aandrijving met de afgeplatte hoepel?
4. Hoe houden de rolstoeltennissers het racket vast tijdens de voortbeweging van de rolstoel?
5. Waarom speelt Houdet met een afgeplatte hoepel?

Extra optie onderzoek:

Onderzoek uitvoeren bij maximaaltest (1 of 2 maximale slagen).

Zijn de uitkomsten van bovenstaande vragen vergelijkbaar bij maximale inspanning?

Betrokken partijen/personen

Vanuit de HHS (ECBT)

Het project zal worden begeleid vanuit de studie Bewegingstechnologie, contactpersonen: Monique Berger & Jorine Koopman.

Vanuit de rolstoeltennisbond

Het project wordt vanuit rolstoeltennisbond door Aldo, Elmy en Mark Kalkman begeleid. In samenwerking met de rolstoeltennisbond wordt geholpen proefpersonen te zoeken. Er moet nog wel zekerheid zijn betreft de beschikbaarheid van de hoepels.

Vanuit Reade en de VU

Vanuit Reade is er contact met Sonja de Groot en Thomas Janssen. Vanuit de VU is toegezegd dat de rolstoelergometer te gebruiken is (via Dirk Jan Veeger). Sonja zal begeleiden in het onderzoek. Zij kan mogelijk ondersteunen in het gebruik van de apparatuur. Wellicht dat het meten van de vaardigheidstesten aan de hand van een rolstoelcircuit in de sporthal van Reade kan plaats vinden?

Verwacht Resultaat

Het eindresultaat is een scriptie met de opbouw van een artikel. In de scriptie zullen de analyses met verdieping worden uitgewerkt. Indien resultaten interessant genoeg zijn, is een opzet voor een artikel mogelijk.

3. Methode (experimenteel onderzoek)

Eerste opzet van het onderzoek

Doelgroep

De doelgroep van het onderzoek bestaat uit minimaal 5 (sub)top rolstoeltennissers. De leeftijdsgroep bestaat uit proefpersonen van 18-30 jaar. Alle proefpersonen zijn gezond en hebben geen klachten aan de schouder en pols.

Doelgroep verzamelen:

In samenwerking met Aldo, Elmy en Sonja zal er naar proefpersonen worden gezocht.

Meetprotocol

Rolstoelergometer

Voor het onderzoek wordt er gebruik gemaakt van de rolstoelergometer van de VU. De proefpersoon zal per type buisprofiel (cirkel vs. afgeplat) twee keer een 4-min submaximale intervalblok afleggen. De volgorde van de metingen worden per individu gerandomiseerd. Het vermogen dat wordt opgelegd wordt per blok iets verhoogd: 0.15, 0.25 en 0,4 W/kg. Er wordt een snelheid van 1.11 m/s opgelegd. De opgelegde vermogens en snelheden zijn gebaseerd op eerder literatuurstudies. De snelheid wordt gepresenteerd op het scherm voor de proefpersoon. De proefpersonen worden gevraagd een natuurlijk bewegingspatroon te gebruiken in de buurt van de opgelegde snelheid. Tussen elk intervalblok is een rustperiode van 2 min. ingelast.

Rolstoelcircuit

Naast de metingen op de rolstoelergometer van de VU wordt er een rolstoelcircuit afgelegd in de sporthal van Reade. Met een stopwacht wordt de tijdsduur bepaald over verschillende neergezette onderdelen in het circuit. Het eindresultaat is de totale tijdsduur van alle circuit onderdelen samen. Per onderdeel kan ook gekeken worden naar de afgelegde tijd.

Meten

Tijdens de testen wordt de hartslag gemeten met een Polar horloge. De zuurstofopname en RER-waardes worden gemeten met de COSMED/Ocxycon. De COSMED wordt gekalibreerd voor elke proefpersoon. De mechanische efficiëntie wordt gemeten aan de hand de gemiddelde van de zuurstofopname en vermogen van de laatste minuut van het intervalblok. Onderstaande de formule voor het berekenen van de ME, Po is het totale vermogen, Pi het mechanische vermogen.

$$ME = \frac{P_i}{P_o} * 100 \text{ [%]}$$

Het totale vermogen Po wordt berekend aan de hand van de radius van het wiel, het moment op de as van het wiel, ω de hoeksnelheid en v de lineaire snelheid aan het wiel (L.H.V. van der Woude, 2003).

$$P = M \times \omega \text{ [W]}$$

$$\omega = \frac{V}{R} \text{ [deg/sec]}$$

$$\text{Power Output (P)} = M \times V \times R^{-1} \text{ [W]}$$

Het meten van de techniek krachten en momenten wordt uitgevoerd met de rolstoelergometer. De samplefrequentie is ingesteld op 100Hz. De gemiddelde van de parameters krachtgrootte/richting en timing van de laatste minuut worden berekend. De piekkrachten en gemiddelde krachten op de hoepel tijdens de duwfase worden gemeten in drie richtingen (Fx,Fy,Fz). De krachten worden in de verwerking gefilterd met een Butterworth filter. De totale kracht wordt berekend volgens de volgende formule:

$$F_{tot} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \text{ [N]}$$

De effectieve kracht wordt berekend aan de hand van het geleverde moment en de radius van het wiel. Aan de hand daarvan wordt de effectieve breuk (FEF) van de totale krachtsvector (Ftot) kan worden berekend.

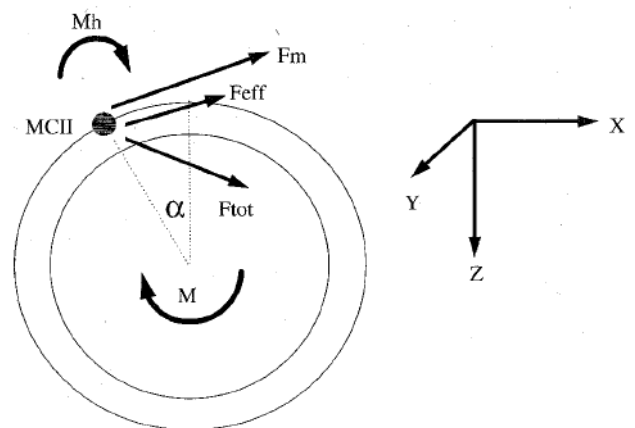
$$F_m = \frac{M}{R} \text{ [N]}$$

$$FEF = \frac{F_m}{F_{tot}} * 100 \text{ [%]}$$

De krachtcomponent tangentiaal aan de hoepel Feff kan worden berekend aan de hand het gebruik van de hoek en de componenten Fx,Fy en Fz. Vervolgens kan met het geleverde moment op het wiel en de effectieve kracht het moment van hand worden berekend, zie figuur. (M.L. van der Linden, 1996).

$$F_{eff} = F_x \cos(\alpha) + F_y \sin(\alpha) * \sin(\beta) + F_z \sin(\alpha) * \cos(\beta) \text{ [N]}$$

$$M_h = M_{wiel} - F_{eff} * R \text{ [Nm]}$$



Figuur 2: free body diagram van de krachten op de hoepel.

Dataverwerking

De verwerking van de data zal plaats vinden in Excel, Matlab en SPSS. Wellicht dat er een Matlab programma wordt geschreven voor de berekeningen. In SPSS zal aandacht worden besteed aan de statische berekeningen.

Statistiek

Waarschijnlijk wordt er een regressie-analyse uitgevoerd tussen de verschillende parameters.

4. Voorlopige literatuurlijst

- H.E.J. Veeger, L. v. (1992). Effect of handrim velocity on mechanical efficiency in wheelchair propulsion. *Med Sci Sports Exerc* , 100-107.
- L.H.V. van der Woude, M. F. (2003). Hand rim configuration: effects on physical strain and technique in unimpaired subjects? *Medical Engineering & Physics* , 765-774.
- M.L. van der Linden, L. V. (1996). The effect of wheelchair handrim tube diameter on propulsion efficiency and force application (tube diameter and efficiency in wheelchairs). *IEEE Transactions on rehabilitation engineering* , 123-132.
- R. Niesing, F. E. (1990). Computer controlled wheelchair ergometer. *Med. Biol. Eng. Comp.* , 329-383.
- V.L. Goosey-Tolfrey, A. M. (2005). Wheelchair velocity of tennis players during propulsion with and without the use of racquets. *Human Kinetics* , 291-301.
- Veeger, H. (1993). Biomechanics of propulsion technique. Ergonomics of manual wheelchair propulsion. *State of Art. COMAC BME. Amsterdam, IOS Press, L.H.V. van der Woude, P.M. Meijs, B.A. van Grinten, Y.A. de Boer* .

5. Planning

Onderstaand een globaal schema gemaakt van mijn planning voor het afstuderen. Uiteraard zal er gedurende de afstudeerperiode overleg momenten worden gepland. Komende donderdag (6 febr.) eerste inventarisatiegesprek in Almere.

Sonja met u kan ik het beste afspreken hoe en wat met de metingen en wat een goede planning is lijkt me. De metingen zou ik waarschijnlijk samen met Yannick willen uitvoeren, wel is nog even afwachten wat Yannick nu precies gaat meten.

Schema met globale planning

	Projectplan presentaties	8 febr.	opmerkingen
Week 1: 10-16 maart	Start afstuderen Inlezen literatuur overleg	10 maart	
Week 2: 17-23 maart	Inlezen literatuur, Meetprotocol opzetten Training rolstoeltennis bekijken?		
Week 3: 24-30 maart	Meetprotocol opzetten		
Week 4: 31-6 april	Testmetingen op de VU		
Week 5: 7-13 april	Testmetingen op Reade		
Week 6: 14-20 april	Proefpersonen compleet		
Week 7: 21-27 april	Congres Rehabilitation: Mobility, Exercise & Sports	23-25 april	
Week 8: 28-4 april	Start metingen		
Week 9: 5-11 mei	Metingen		
Week 10: 12-18 mei	Metingen		
Week 11: 19-25 mei	Eind metingen		
Week 12: 26-1 juni	Verwerking		
Week 13: 2-8 juni	Verwerking		
Week 14: 9-15 juni	Afronding verslag		
Week 15: 16-19 juni	Inleveren afstudeerwerk	19 juni	
	Start eindgesprekken	28 juni	
	Uitreiking diploma's		

6. Persoonlijke leerdoelen afstudeerfase

Beroepsspecifieke Competenties

Competentie 1: Testen en Onderzoeken

Ik kan op basis van een probleemstelling een onderzoek opzetten en uitvoeren op bewegingstechnologisch gebied.

Leerdoelen:

Ik wil zelfstandig aan een onderzoek kunnen werken op bewegingstechnologisch gebied. In het afstuderen ga ik met een onderzoeksvraag aan de slag. Daarbij doorloop ik de gehele cyclus die bij onderzoek komt kijken: analyse, metingen uitvoeren, resultaatverwerking en evaluatie en communicatie met andere betrokkenen. In mijn 4^{de} jaars stage (McRoberts) heb ik mijn focus specifiek gelegd op het stukje signaalverwerking.

Acties:

Er is een onderzoeksvraag opgesteld vanuit de rolstoeltennisbond waar ik mee aan de slag ga.

Evaluatie leerdoel aan het eind van het afstuderen:

Algemene Beroepsgerichte Competenties

Competentie 2: Communicatie

Ik kan me mondeling en schriftelijk goed en duidelijk uitdrukken.

Leerdoelen:

In samenwerking met meerdere betrokkenen kan ik tot een goed resultaat komen. De juiste vragen stellen om zo tot betere resultaten te komen. Zeker wanneer ik vastloop zowel mondeling en schriftelijk dit kunnen uitleggen welke stap ik het beste kan nemen.

Acties:

Mijn bevindingen tijdens het onderzoek tijdig communiceren naar de mede collega's en samen tot nieuwe stappen komen voor het vervolg.

Evaluatie leerdoel aan het eind van het afstuderen:

Algemene Persoonlijke Competenties

Competentie 2: initiatief & aanpassingsvermogen

Ik toon initiatief en kan me snel aanpassen aan veranderende werkomgevingen, en kan op basis van doorzettingsvermogen prestatiegericht werken.

Leerdoelen:

Ik zal tijdens mijn afstuderen op verschillende plekken werken, zowel op school, op de VU en Reade (als dat mogelijk is). Dit kan wellicht onrustig zijn, waardoor mij doel is vooral flexibel te blijven en te kijken naar de mogelijkheden die er zijn.

Acties:

Goede afspraken maken hoe en wanneer te gaan meten.

Evaluatie leerdoel aan het eind van het afstuderen: