

Afstudeerscriptie

3ax - A whole new way of cycling

De invloed van een vernieuwd racefietspedaal de 3ax op de kinematica en de efficiëntie van een wielrenner tijdens het wielrennen

Farida Younis
Haagse Hogeschool, opleiding Bewegingstechnologie

Oktober 2013

De invloed van een vernieuwd racefietspedaal de 3ax op de kinematica en de efficiëntie op een wielrenner tijdens het wielrennen

Afstudeerscriptie

De Haagse Hogeschool

Opleiding Bewegingstechnologie

Johanna Westerdijkplein 75

Den Haag

Tel.: 070-4458300

Periode van onderzoek: maart 2013 – oktober 2013

Eerste begeleider: H.N. Meulman

Tweede begeleider: J.J.F. van Dam

Student: F.Y. Younis (09043209)

In opdracht van het Expertise Centrum Bewegingstechnologie

Voorwoord

Deze scriptie is geschreven als afstudeeropdracht voor de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hogeschool. Het onderwerp van het geschreven scriptie valt onder onderzoek. Ik heb bewust voor onderzoek gekozen, omdat mijn interesses in mijn laatste jaar daarin toenam. Tijdens het kiezen van een onderwerp kwam ik via een docent in contact met eerder gemaakte onderzoeken over de 3ax pedalen. De makers van de pedalen hebben eerder gevraagd of studenten dit wilde onderzoeken, maar de gemaakte onderzoeken waren onvoldoende om er een conclusie uit te trekken. Aan mij is via het ECBT gevraagd om hier verder mee te gaan. De makers willen graag weten hoe de verschillende bewegingsuitslagen van de wielrenners veranderen wanneer ze met de 3ax fietsen. Ik ga dan ook kijken wat voor invloed de pedalen op de wielrenners hebben. Het resultaat zal voor het verder ontwikkelen van de pedalen zeer van belang zijn.

Het uitvoeren van dit onderzoek en het schrijven van deze scriptie was een totale nieuwe ervaring voor mij. Niet alleen het schrijven van de scriptie was een leerproces voor mij, maar ook het hele onderzoek omheen. Daarom wil ik graag alle deelnemers bedanken die proefpersonen waren voor mijn onderzoek. Het hele onderzoek was niet gelukt zonder mijn begeleiders Hubert Meulman en Joris van Dam. Daarbij wil ik graag Rienk van de Slikke en Mark Schrauwen bedanken voor hun hulp tijdens het schrijven van een Matlab-programma. Als laatst wil ik mijn familie, vrienden en medestudenten bedanken die mij tijdens mijn hele afstudeerperiode hebben gesteund en geholpen met van alles.

Graag wens ik u veel plezier toe met het lezen van mijn scriptie.

Farida Younis

Den Haag, oktober 2013

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Inhoudsopgave	4
Samenvatting	5
1 Inleiding.....	6
1.1 Probleemstelling.....	6
1.2 De kinematica	7
1.2.1 Horizontale verplaatsing	7
1.2.2 In- en eversie	8
1.3 De efficiëntie	9
1.4 Gewenning.....	9
1.5 Relatie tussen de kinematica en de efficiëntie.....	9
1.6 Deelvragen	9
2 Methode.....	11
2.1 Materiaal	11
2.2 Design	11
2.3 Meetinstrumenten.....	12
2.3 Uitkomstmaten	13
2.5 Data-analyse.....	14
2.6 Statistiek	15
3 Resultaten.....	16
3.1 De kinematica	16
3.1.1 Het verschil van de horizontale verplaatsing van de knie	16
3.1.2 In- en eversie	17
3.2 De efficiëntie	18
3.3 Van iedere conditie de regressielijnen en de verhoudingen tussen de horizontale verplaatsing en de HF	19
4 Discussie en conclusie	21
4.1 Deelvragen	21
4.2 Beperkingen van het onderzoek.....	24
4.3 Opvallende bevindingen	25
4.4 Aanbevelingen vervolgonderzoek	26
6 Literatuurlijst.....	27
Bijlage	28
Bijlage I: Meetprotocol	28
Bijlage II: Horizontale verplaatsing van de knie.....	34
Bijlage III: In- en eversie	35

Samenvatting

Inleiding

De makers van het vernieuwde racefietspedaal, de 3ax, beweren dat de knieklachten door het toevoegen van een extra bewegingsvrijheid (de in- en eversie) verdwijnen. In dit onderzoek wordt er gekeken wat de invloed is van de 3ax op de kinematica: de horizontale verplaatsing van de knie in frontale vlak en het maximale gebruik van in- en eversie. De positie van het pedaal, in maximaal in- en eversie, wordt gevisualiseerd in een trapcyclus. En naar de invloed van de 3ax op de efficiëntie: het verband tussen het oplopen van de hartfrequentie op verschillende wattages. Daarnaast wordt er na een gewenningsperiode van twee weken bekeken hoe dit de kinematica en efficiëntie beïnvloed.

Methode

Dit onderzoek bestaat uit een nul- en eindmeting met daartussen een gewenningsperiode van twee weken. De kinematica worden geregistreerd door middel van het optisch traceren van de markers met een Optitrack-v120 3D camera. De hartfrequentie tijdens een submaximaaltest op de Ergobike Premium 8i wordt vastgelegd met behulp van een Polar-horloge.

Resultaten

De horizontale verplaatsing van de knie, van de eindmeting, is gemiddeld genomen van (conventioneel) 3,919 cm naar (3ax) 3,849 cm verminderd. Een vermindering van 1,85%. De verplaatsing van de knie verandert gemiddeld van (3ax nulmeting) 4,013 cm naar (3ax eindmeting) 3,849 cm, een vermindering van 4,94%. En van conventioneel uit de nulmeting verandert het van 3,965 cm naar (3ax eindmeting) 3,849 cm, een vermindering van 3,04%. Gemiddelde ligt de hartfrequentie hoger tijdens het fietsen met de 3ax in de eindmeting ten opzichte van beide pedalen uit de nulmeting.

In de nulmeting vindt een maximale inversie van $2,75^\circ$ voor 66,6% plaats in kwadrant IV. In de eindmeting vindt een maximale inversie van $1,82^\circ$ voor 52,4% plaats in kwadrant IV. In de nulmeting vindt een maximale eversie van $1,02^\circ$ voor 63,4% plaats in kwadrant II en in de eindmeting vindt een maximale eversie van $2,15^\circ$ voor 42,9% plaats in kwadrant III. Alle pedalen, behalve de conventionele pedalen van de eindmeting, geven een daling weer van de horizontale verplaatsing van de knie naar mate de hartfrequentie toeneemt.

Discussie + conclusie

De toevoeging van een bewegingsvrijheid heeft alleen baat na gewenning. De horizontale verplaatsing van de knie wordt, na de gewenningsperiode met de 3ax, met 1,85% verminderd in vergelijking met de conventionele pedalen. Na de gewenningsperiode verandert de 3ax deze met 4,94% in vergelijking met de 3ax in de nulmeting. De significante verschillen waren minimaal, maar wanneer er naar de knie gekeken wordt, dient er ook rekening gehouden te worden met de tarsale bewegingen van het onderbeen. Dit geeft duidelijker het effect van de 3ax op de kinematica weer. Het opschuiven van de maximale eversie van kwadrant II naar III heeft te maken dat in de trapcyclus gezien, de maximale beweging optreedt bij 180° . Dat is het meest caudale deel van het pedaal ten opzichte van de wielrenner. De maximale eversie valt net of in kwadrant II of in kwadrant III. Het handiger worden in het gebruik van de pedalen, geef na de gewenningsperiode een toename van de eversie met 117%. Eversie heeft meer effect op de vermindering van de horizontale verplaatsing van de knie dan de inversie. De significante verschillen in de efficiëntie zijn niet accuraat. De grens van aëroob naar anaëroob is gezet op 175 bpm, terwijl er een aantal wielrenners zijn geweest die dit niet haalde. De gemiddelde hartfrequentie is hierdoor beïnvloed. De gevonden verschillen waren echter minimaal, waardoor geconcludeerd wordt dat de 3ax de efficiëntie van de wielrenner niet beïnvloedt.

1 Inleiding

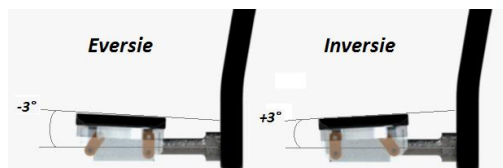
Blessures door het beoefenen van een bepaalde sport, komt bij de één vaker voor dan bij de ander. De meest voorkomende blessures bij wielrenners zijn knieblessures (16,5%) ^{1,2}. Hierbij komt chondromalacie patella (patellofemorale pijn) het meeste voor. Dit is pijn aan de knieschijf, de patella. Een mogelijke oorzaak is de disbalans tussen de mediale en de laterale quadriceps ². De disbalans, de retinaculum van de m. vastus lateralis trekt bijvoorbeeld harder aan de patella dan de retinaculum van m. vastus medialis, zorgt ervoor dat de patella niet goed over de oppervlakte van de femurcondylen beweegt. Over deze oppervlakte beweegt de patella tijdens extensie en flexie van de knie. De verhoogde spanning in de retinaculum is een verklaring voor de patellofemorale pijn ³. Disbalans tussen de quadriceps in de wielrennerij kan verschillende oorzaken hebben, namelijk trainingsfouten en/of slechte zitpositie ⁴. Deze trainingsfout kan onder andere liggen aan het feit dat de schoenen aan de pedalen zijn vast geklikt. Door het vast klikken van de schoen wordt de enkel beperkt in zijn beweging, in dit geval de beweging van het onderste spronggewricht. Het onderste spronggewricht zorgt voor de in- en eversie, het bewegen van de voetzool naar mediaal of lateraal. Het bovenste spronggewricht zorgt voor de dorsaal- en plantairflexie, het op en neer bewegen van de voet. Het in- of everteren van de voet op de pedalen beïnvloedt het kniegewricht, namelijk de balans tussen de mediale en de laterale quadriceps ^{2,5}. Echter is de enkel niet volledig beperkt, er is namelijk speling tussen de schoen en het pedaal. Dit komt doordat de klikker aan de onderkant van de schoen niet volledig past op het pedaal, maar ook de voet in de schoen heeft nog de mogelijkheid om te bewegen.

Speciaal is er voor de wielrenners met deze klachten door 3ax-cycling ⁶ een nieuw soort pedaal ontwikkeld, namelijk de 3ax (figuur 1).

Dit is een pedaal met een extra vrijheidsgraad. De wielrenner zit vast geklikt aan de 3ax, maar is in staat om 3° te inverteren en 3° te everteren (figuur 2). Het onderste spronggewricht is weer vrij om te bewegen. Volgens de makers van de 3ax past de 3ax door dit mechanisme zich aan ieder lichaam aan.



figuur 1: De 3ax



figuur 2: De eversie en inversie van de 3ax bedraagt 3 graden in beide richtingen ⁶

1.1 Probleemstelling

Doordat niet iedereen identiek is aan elkaar, zal het effect van de 3ax, door de bewegingsvrijheid die het biedt, per persoon verschillen. Wat gebeurt er met de beweging van de knie? Zal de 3ax ook ervoor zorgen dat men efficiënter kan fietsen? In dit onderzoek wordt bekeken wat het effect van de 3ax op een wielrenner is. Specifiek wordt er gekeken naar de verandering in de kinematica van de knie in het frontale vlak en hoe het de efficiëntie tijdens het fietsen verandert (zie 1.2 voor de uitleg over de kinematica en 1.3 voor de uitleg over de efficiëntie). Uit de probleemstelling vloeit een concrete hoofdvraag voort, namelijk:

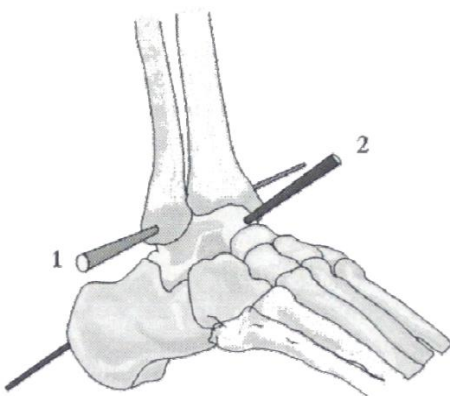
Wat is, tijdens het fietsen, de invloed van de 3ax op de kinematica en de efficiëntie van de wielrenner in vergelijking met de conventionele pedalen?

Voordat de hoofdvraag beantwoordt wordt, wordt er eerst duidelijk gekeken wat de kinematica en de efficiëntie inhouden. Daarna worden de deelvragen opgesteld.

1.2 De kinematica

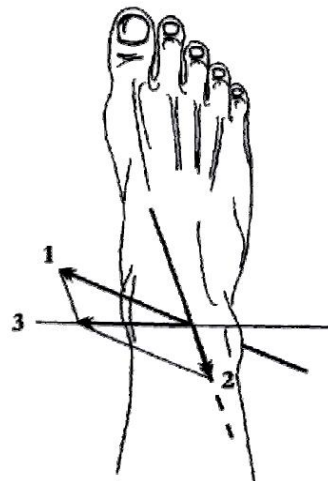
1.2.1 Horizontale verplaatsing

Men kan zich afvragen waarom de vrijheid in het bewegen van het onderste spronggewricht zo van belang is? Het dorsaal- en plantairflecteren van de voet gaat altijd in combinatie met in- en eversie. De as van het bovenste spronggewricht loopt niet zuiver frontaal, maar gaat van craniaal/mediaal/ventraal naar caudaal/lateraal/dorsaal (zie figuur 3). Dit geldt ook voor de as van het onderste spronggewricht, alleen staat dit ten opzichte van het bovenste spronggewricht meer naar craniaal, lateraal en ventraal. Tijdens het fietsen zijn de wielrenners, vanaf sagittaal gezien, constant zuiver aan het dorsaal- en plantairflecteren. Om de beweging van de trapper te volgen zou een zuivere frontale as t.o.v. het lichaam nodig zijn in de enkel om deze beweging te laten uitvoeren. Dit is niet alleen een beweging vanuit het bovenste spronggewricht, maar gaat in combinatie met het onderste spronggewricht (in- en eversie). Door beide assen bij elkaar op te tellen, kan deze zuivere as gecreëerd worden (figuur 4).



figuur 3:

1. Principiële as richting van het bovenste spronggewricht
2. Principiële as richting van het onderste spronggewricht ⁷

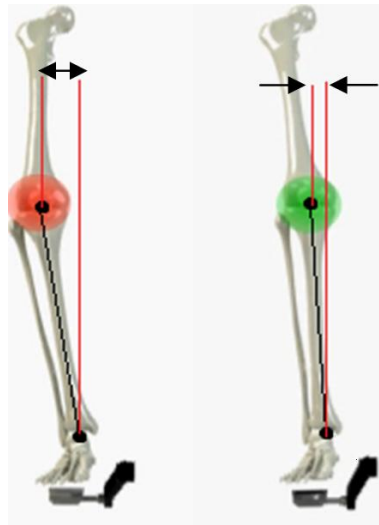


figuur 4:

1. As van het bovenste spronggewricht
2. As van het onderste spronggewricht
3. Samengestelde frontale as ⁷

Dit wordt nader toegelicht: wanneer er aan iemand wordt gevraagd om dorsaal te flecteren met zijn voet ten opzichte van zijn onderbeen, zal zijn voet gaan exoroteren en abducen. Dat komt door de scheve as van het bovenste spronggewricht. Wanneer zijn voet wordt gefixeerd, zal het onderbeen ten opzichte van de voet voorover kantelen, endoroteren en abducen. Dit alleen als er vanuit het bovenste spronggewricht wordt bekeken. Inversie is een combinatie van endorotatie, adductie en een lichte plantairflexie. Het onderbeen zal door de inversie gaan exoroteren en adducen ten opzichte van de voet, wanneer de voet wordt gefixeerd. Bij de gefixeerde situatie zullen de inversie componenten (exorotatie en adductie) de dorsaalflexie componenten (endorotatie en abductie) opheffen. Zo ontstaat er een zuivere dorsaalflexie. Wanneer het onderste spronggewricht geblokkeerd is, kan deze compensatie niet gecreëerd worden. Het was al duidelijk dat het onderbeen, door de dorsaalflexie, zal gaan abducen wanneer de voet gefixeerd wordt. Dit kan ergens anders in het lichaam ook opgeheven worden, namelijk in het kniegewricht. Het femur zal ten opzichte van de tibia flecteren en exoroteren⁷. Tijdens het fietsen is dit te zien aan de horizontale verplaatsing van de knie.

In dit onderzoek zal gekeken worden naar de verandering in de horizontale verplaatsing van de knie in frontaal vlak. De makers van de 3ax beweren dat deze vermindert tijdens het fietsen met de 3ax (zie figuur 5).



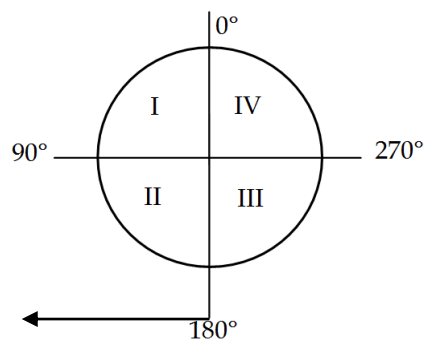
figuur 5: Horizontale verplaatsing van de knie wanneer er met conventionele pedalen (links) en 3ax (rechts) wordt gefietst ⁶

Aan de hand van de verkregen informatie kan de volgende hypothese opgesteld worden:

Door de +3° en -3° extra bewegingsvrijheid in de 3ax zal de horizontale verplaatsing van de knie tijdens het fietsen met de 3ax minder zijn ten opzichte van de horizontale verplaatsing van de knie tijdens het fietsen met de conventionele pedalen.

1.2.2 In- en eversie

De maximale in- en eversie die optreedt tijdens het fietsen is tevens een uitkomstmaat van de kinematica. De makers willen graag weten wat de maximale uitslag van de in- en eversie is van een wielrenner die met de 3ax fietst. Dit zal een bijdrage leveren aan het verder uitwerken van het huidige conceptmodel, het aanpassen van de 3° in- en eversie. De positie van de 3ax, in een trapcyclus, wanneer deze in maximaal in- en eversie staat is ook een gewenst resultaat. In figuur 6 staat een werkelijke trapcyclus.



figuur 6: De vier kwadranten van de trapcyclus in sagittaal vlak. De pijl wijst naar ventraal.

Dit is de weg die de trapper, sagittaal gezien, aflegt. Deze trapcyclus is verdeeld in vier kwadranten. De maximale in- en eversie tijdens het fietsen wordt in deze trapcyclus gevisualiseerd. Van 0 tot 90 graden zal de wielrenner in de heup retroflecteren, in de knie extenderen en in de enkel plantairflecteren⁸. De hoek van de enkel bij 90° is groter dan bij

0°. Enkel is geplantairflecteerd. Hierboven werd al verteld dat voor plantairflexie het onderste spronggewricht evertteert. Verwacht wordt dat de wielrenners aan het einde van het plantairflecteren (in kwadrant II) het meest gebruik gaan maken van de eversie. Hypothese hiervan luidt: *De eversie zal het meest plaats vinden in kwadrant II.*

1.3 De efficiëntie

Naast de kinematica wordt onderzocht wat de 3ax doet met de prestatie van de wielrenner. Het is nog onduidelijk of deze bewegingsvrijheid niet ten koste gaat van de efficiëntie van het fietsen. Onder efficiëntie wordt het verband tussen de hartfrequentie (HF) en de belasting (in Watt) bedoeld. De HF is een eenvoudige maat voor het meten van conditie en prestatie, het is namelijk een indicator voor de hoogte van de belasting tijdens het inspannen⁸. Met behulp van een submaximaaltest kan de HF in beats per minute (bpm) gemeten worden. In het begin van een submaximaaltest begint een proefpersoon te fietsen op een lage wattage. Om ongeveer 3 á 4 minuten wordt de wattage met een aantal Watt verhoogd. De wielrenner fietst totdat zijn hartslag 175 bpm bedraagt. Hierdoor blijven de inspanningsprocessen op aëroob niveau⁹. De grens van aëroob naar anaëroob wordt het omslagpunt genoemd. Deze grens wordt gezet op een HF van 175 bpm (100%). De afgelegde weg van aëroob naar anaëroob wordt onderverdeeld in drie zones: D1, D2 en D3. De duurtrainingen gehouden in deze zones bepaald op welk niveau de sporters trainen¹⁰.

Het is niet de bedoeling dat de 3ax de wielrenner in zijn prestatie hindert. Het verschil van HF op hetzelfde wattage, tijdens het fietsen met de 3ax in vergelijking met het fietsen met de conventionele pedalen, wordt naar aanleiding hiervan vergeleken. **In dit onderzoek wordt er specifiek gekeken wat het verschil in mate van de HF is tijdens het fietsen met de 3ax en de conventionele pedalen.** Echter het meten van alleen de HF is niet een directe indicator voor het bepalen van de intensiteit. De HF is namelijk zeer beïnvloedbaar, denk maar aan de weersomstandigheden, de conditie van de wielrenner op dat moment of stress. Hiervoor brengt een zuurstofmeting veel meer waarde in. Wanneer er wordt gekozen voor deze zuurstofmeting (maximaaltest) is het niet mogelijk om een wielrenner achter elkaar te meten. Dit is fysiek niet mogelijk. Daarom wordt er gekozen voor een submaximaaltest. Er is een mogelijkheid dat er geen verschil tussen de HF van beide pedalen te vinden is. Daarom luidt de hypothese hiervan: *Er zal geen significant verschil in efficiëntie zijn tussen de conventionele en de 3ax pedalen.*

1.4 Gewenning

Wanneer een wielrenner voor het eerst met de 3ax fietst, moet zijn lichaam hieraan wennen. Het is van belang dat hier de gelegenheid voor is. Daarom is er naast de submaximaaltest ook een gewenningsperiode van twee weken. Dit houdt in dat de wielrenner eerst onervaren getest wordt (zowel met de conventionele pedalen als de 3ax). Vervolgens krijgt de wielrenner een set van de 3ax mee naar huis. Na twee weken hiermee getraind te hebben, wordt er weer een submaximaaltest met zowel de 3ax als met de conventionele pedalen gehouden. Op de conventionele pedalen werken de bewegingskrachten anders op het lichaam. Zodra er met de 3ax wordt gefietst is de enkel instaat om te inverteren. Inversie van de enkel gaat altijd gekoppeld met een exorotatie van het onderbeen. Deze koppeling heet het tarsale mechanisme ¹¹. De wielrenner moet wennen aan de verandering van zijn beweging. De hypothese luidt: *Door adaptatie, in coördinatie, van het lichaam op de 3ax, zal de tweede test betere resultaten gaan geven dan de eerste test.*

1.5 Relatie tussen de kinematica en de efficiëntie

De invloed van de verandering van de horizontale verplaatsing op de HF wordt ook achterhaald. Het meest ideale resultaat zal zijn, dat de vermindering van de horizontale verplaatsing resulteert een gemiddelde verlaging van de HF op de desbetreffende wattages, waardoor het bereiken van de anaërobe drempel langer bedraagt.

1.6 Deelvragen

De meetvariabelen in- en eversie en de horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae zullen een uitspraak doen over de verandering van de kinematica tijdens het fietsen met de 3ax in vergelijking met de conventionele pedalen. Het

verschil of gelijkheid van de HF tijdens het fietsen, 3ax of conventioneel, op hetzelfde wattage zal een uitspraak doen over de efficiëntie van de 3ax.

De hoofdvraag wordt beantwoord met behulp van deze deelvragen:

1. Wat is het verschil in de kinematica tussen het fietsen met de 3ax en het fietsen met conventionele pedalen?
2. Wat is de wielrenner zijn maximale in- en eversie per belastingsstap van de oplopende wattages?
3. Waar in de trapcyclus bevindt de 3ax zich tijdens de maximale in- en eversie per belastingsstap van de oplopende wattages?
4. In hoeverre verandert de efficiëntie tijdens het fietsen met de 3ax in vergelijking met de conventionele pedalen?
5. Hoe heeft een gewenningsperiode van twee weken invloed op de kinematica en de efficiëntie?
6. Is er een relatie tussen de verandering in de kinematica en de efficiëntie?

2 Methode

2.1 Materiaal

De proefpersonen die zullen deelnemen aan het onderzoek, betreffen allen ervaren wielrenners. Ze gaan fietsen met de conventionele pedalen en met de 3ax. Er gaan in totaal 10 wielrenners aan dit onderzoek meedoen, 1 daarvan is een vrouw. Iedere wielrenner krijgt een kort gesprek waarin ze vertellen of ze last hebben van hun knie, hoe vaak er getraind wordt per week en hoeveel km er per training wordt afgelegd (zie tabel 1). De wielrenners voldoen aan de volgende eisen:

- Onervaren met de 3ax.
- Minstens 1 x per week trainen (aantal km is niet van belang).
- Tijd hebben om twee weken te fietsen met de 3ax.

tabel 1: Gegevens van de wielrenners

Geslacht	N	Gem. leeftijd	Training per week	Aantal km per training	Last van knie
Mannen	9	33,5	4	50	2 van de 9
Vrouwen	1	25	4	50	Geen last
Totaal	10	32.6	4	50	2 van de 10

2.2 Design

Voor één wielrenner ziet het gehele onderzoek er als volgt uit. De submaximaaltesten worden gehouden op de *Ergobike Premium 8i* en zijn gecombineerd met het traceren van de markers door de *Optitrack-V120: Trio*:

- Nulmeting:
 - Submaximaaltest op de 3ax.
 - Submaximaaltest op de conventionele pedalen.
- Gewenningsperiode van twee weken:
 - Hierin fietsen de wielrenners twee weken met de 3ax
- Eindmeting:
 - Submaximaaltest op de 3ax.
 - Submaximaaltest op de conventionele pedalen.

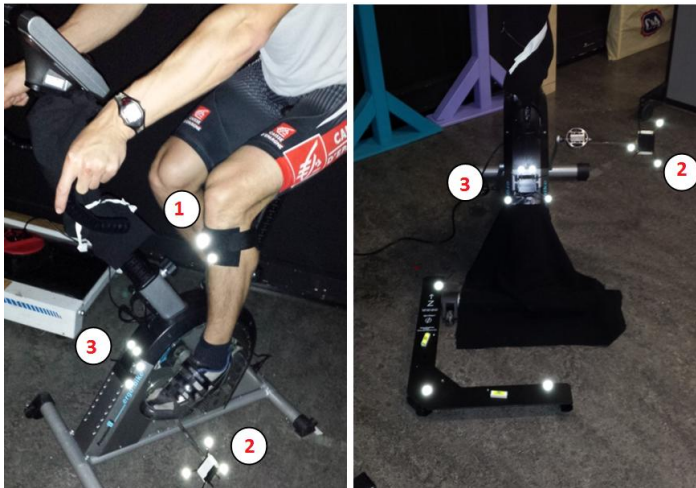
De data van de nul- en eindmetingen wordt verkregen door de testen te gaan houden in de bewegingslab van de Haagse Hogeschool. De gewenningsperiode wordt in de wielrenner zijn eigen tijd gehouden.

Plaatsing van de markers

In plaats van de knie wordt in het onderzoek gekeken naar de tuberositas tibiae, omdat dit botpunt het makkelijk maakt om een marker op te plaatsen en alsnog de baan van de knie kan visualiseren.

Een cluster van minimaal drie reflecterende markers, op de tuberositas tibiae, wordt gezien als één marker. Dit houdt in dat de wielrenner een cluster van drie losse markers op zijn onderbeen krijgt. De markers worden op een klittenband geplaatst. Één marker bevindt zich precies op de tuberositas tibiae en de andere twee daar schuin (links en recht) onder. Doordat ze op een stuk klittenband zijn geplaatst, blijven ze altijd op de zelfde positie (figuur 7).

Van de wielrenner wordt alleen het linker been/pedaal gemeten. Aan het linkerpedaal zit een verlengstuk met aan het uiteinde een bevestigingsblok waarop een “rigid body” wordt geplaatst. Een rigid body is een plastic plaatje waaraan maximaal 6 markers geplaatst kan worden (zie nogmaals figuur 7). De camera zal van iedere belastingsstap alleen de laatste tien seconden filmen. In Matlab kan de spreiding van de horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae en de mate van de in- en eversie, van het aantal cycli gedurende deze tien seconden, geplot worden. Dit wordt in kopje 2.5 *Data analyse* nader toegelicht.



figuur 7: Plaatsing van de markers Tuberositas tibiae (1), pedaal (2), fiets (3)

Submaximaaltest

De wielrenners fietsen een ingesteld protocol dat ingesteld staat in de fietsergometer. Dit begint op 50 Watt en zal om de drie minuten verhoogd worden met 40 watt. Er wordt gekozen voor de drie minuten, zodat de wielrenners op elk wattage hun steady state bereiken. De verhoging van 40 Watt wordt gekozen. Het is namelijk de bedoeling dat de HF van de wielrenners stijgt, maar niet te hoog omdat er binnen drie minuten de steady state bereikt dient te worden. Er wordt twee keer op de fietsergometer gefietst. Namelijk een keer met de 3ax en andere keer met de conventionele pedalen. Om goed uit te rusten en de volgende meting niet te beïnvloeden wordt tussendoor er een pauze van drie kwartier gehouden. Dit wordt gedaan gezien de tijd.

Met behulp van de Polar RS400 wordt de HF het gehele meettraject gemeten. Later wordt het gemakkelijk terug te vinden wat de HF op elk belastingsstap was.

De metingen met de camera, de fietsergometer en de Polar lopen synchroon.

2.3 Meetinstrumenten

Proefpersoon

- Wielrenkleding
- SPD- SL, wielrenschoenen (de 3ax heeft plaatjes voor elke schoen)

Camera

- Opitrack- V120: Trio 3D camera
- Kabel aansluiting computer
- Adapter aansluiting computer en camera

Test

- Ergobike Premium 8i met ingebouwd protocol
- Verlengkabel
- Polar RS400 horloge
- Polar borstband
- Uitlees-usb
- Computer met de volgende software: Tracking Tools, Matlab en IBM SPSS Statistics
- Rest van de kabels en calibration square
- Markers, cluster van drie op een klittenband en twee "rigidbody" markers.

Zie figuur 8 voor de meetopstelling met de bijbehorende meetinstrumenten.



figuur8: Meetopstelling 1: Ergobike Premium 8i met markers op de fiets en pedaal. 2: Calibration square. 3: Optritrack- V120: Trio 3D

In bijlage I: *Meetprotocol* vindt u alle informatie betreft de plaatsing van de materialen en het instellen van de apparatuur.

2.3 Uitkomstmaten

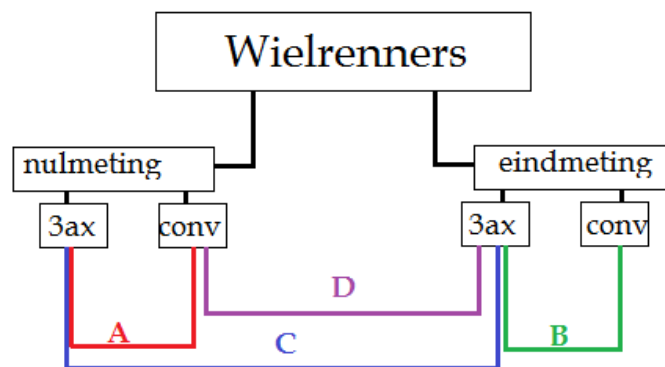
In figuur 9 staat welke resultaten met elkaar worden vergeleken. Deze verschillende vergelijkingen zijn benoemd met A, B C en D. Er wordt per vergelijking twee condities met elkaar vergeleken.

A: Vergelijking tussen de 3ax en de conventionele pedalen, beide van de nulmeting

B: Vergelijking tussen de 3ax en de conventionele pedalen, beide van de eindmeting

C: Vergelijking tussen de 3ax van de nulmeting en de 3ax van de eindmeting

D: Vergelijking tussen de conventionele pedalen van de nulmeting en de 3ax van de eindmeting



figuur 9: Overzicht van de vergelijkingen, zie tekst voor toelichting

1. Horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae in frontaal vlak

Bij iedere vergelijking wordt per wielrenner zijn laagste en hoogste gefietste wattage bekeken. Hier wordt gekeken wat het (significante) verschil van de horizontale verplaatsing in cm is ($P \leq 0,05$). De verschillen worden vervolgens uitgedrukt in procenten.

2. In- en eversie

In de trapcyclus wordt per wattage van iedere wielrenner gevisualiseerd in welk kwadrant de maximale in- en eversie van de 3ax zich bevindt. Dit wordt gedaan tijdens het fietsen met de 3ax in de nulmeting en met de 3ax in de eindmeting. Om te kijken of er meer of minder gebruik wordt gemaakt van de in- en eversie na de gewenningsperiode, wordt er bekeken hoeveel dit in procent verschilt. Hieruit kan geconcludeerd wat voor effect de gewinning heeft op de mate van de in- en eversie. Er wordt hier alleen gekeken naar de wielrenner zijn laagste, middelste en hoogste gefietste wattage.

3. Oplopen van de HF op de verschillende wattages van de submaximaaltest

Van iedere vergelijking (A, B, C en D) wordt van de gemiddelde HF van de wielrenners een regressieanalyse gemaakt. De HF wordt uitgezet tegen de oplopende wattages van de submaximaaltest. De correlatie coëfficiënt die hieruit komt zal laten zien hoe deze met elkaar correleren (meer in 2.6 statistiek hierover). De maximale HF van 175 wordt onderverdeeld in de drie trainingszones (tabel 2). Van iedere conditie wordt per wattage vastgelegd in welke zone dit plaatsvindt. Per vergelijking wordt bekeken of deze verschillen significant zijn.

tabel 2: Op aerobe drempel (AD) gebaseerde trainingszones

Zone	HF% t.o.v. AD	HF (bpm) t.o.v. AD
H	<70	< 122,50
D1	71 - 85	124,25 - 148,75
D2	86 - 95	150,50 - 166,25
D3	96 - 100	168 - 175
W	> 100	> 175
H = herstelperiode >H is aëroob		
W = intensief training >W is anaëroob		

4. Relatie tussen de horizontale verplaatsing en de HF

Van iedere wielrenner wordt er van elk conditie een grafiek geplot met de horizontale verplaatsing uitgezet tegen de stijgende HF. Zo wordt er bepaald of er een verband bestaat tussen de horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae en de bijbehorende HF tijdens het fietsen op de 3ax (in zowel de nul- als eindmeting). De correlatie coëfficiënt laat zien hoe sterk ze correleren. Alleen het resultaat van de 3ax is van belang, maar ook het verloop van de regressielijn van de 3ax ten opzichte van de conventionele pedalen zijn van belang om een uitspraak hierover te doen. Als het zelfde verband ook voorkomt bij conventionele pedalen, dan is het verband niet van belang. Van iedere conditie wordt de verhouding tussen de horizontale verplaatsing met de bijbehorende HF ook bekeken. Dit wordt gedaan door bij iedere stap de horizontale verplaatsing te delen door zijn bijbehorende HF. Per vergelijking wordt bekeken of deze verschillen in verhouding significant zijn.

2.5 Data-analyse

Alle data verkregen van de Tracking Tools software wordt uitgelezen met Matlab. Deze wordt gefilterd met een tweede orde Butterworth, vierde orde lowpass (zero phase).

Om de positie veranderingen van makers te kunnen traceren, wordt de positie in een coördinatiestelsel gezien als een punt. Het beschrijven van een punt kan door een vector vanuit een vastgelegde oorsprong. In dit geval is de vastgelegde oorsprong de marker op fiets. Dit is namelijk een vastpunt wat niet beweegt tijdens het testen. Door van te voren de grond te kalibreren is er vastgesteld dat het assenstelsel er als volgt uitziet (zie figuur 10).



figuur 10: Gekozen assenstelsel met als in de oorsprong de fietsmarker

Van het pedaal wordt de mate van in- en eversie bepaald. Dit wordt door eerst een vaste punt van het pedaal te vinden. Vanuit de oorsprong (fiets) worden de coördinaten van het pedaal achterhaald. Met behulp van een op maat geschreven programma wordt in Matlab deze hoeken achterhaald. Om de positie van de marker van de tuberositas tibiae te bepalen, wordt er voorafgaand de test een referentie meting gehouden. De wielrenner komt los van de zadel en zal recht op een conventioneel pedaal gaan staan. Hierdoor wordt de rechte positie van zijn knie bepaald. Van de marker op de tuberositas tibiae hoeft alleen vanuit de oorsprong de horizontale verplaatsing in cm uitgerekend te worden. Matlab kan de positie van de tuberositas tibiae uitzetten tegenover het aantal gefilmde seconden. De totale spreiding van deze data, is de uitkomstmaat voor de horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae.

De HF wordt uitgelezen met Polar Pro Trainer. Deze geeft de HF tegenover de tijd weer in een tabel. Deze tabel wordt exporteert als tekstbestand om later beide tabellen met elkaar te vergelijken.

2.6 Statistiek

Met behulp van de Levene's test kan er achterhaald worden hoeveel de horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae per vergelijking bedraagt. Deze toets voor onafhankelijke groepen geeft voor alle belastingsstappen de gemiddelde spreiding en de standaarddeviatie. Daarbij geeft het ook de P-waarde of ze significant aan elkaar zijn of niet.

De oplopende HF van zowel de 3ax als conventioneel wordt geplot tegenover de oplopende wattages van de submaximaaltest. De grafiek laat zien waar de HF ligt van beide testen op de zelfde wattage. Met de regressieanalyse wordt er gekeken hoeveel de R^2 -waarde bedraagt. De R^2 -waarde tussen -1 en +1 laat zien hoe sterk de correlatie is tussen deze twee variabelen. $R^2=1$ voor een perfecte correlatie. P-waarde laat zien of de verschillen significant zijn.

Om te kijken of de oplopende wattages tijdens het fietsen invloed heeft op de gemiddelde horizontale verspreiding (van 3ax en conventioneel), zullen deze tegenover elkaar geplot worden. De R^2 -waarde hieruit geeft aan hoe sterk deze variabelen correleren.

3 Resultaten

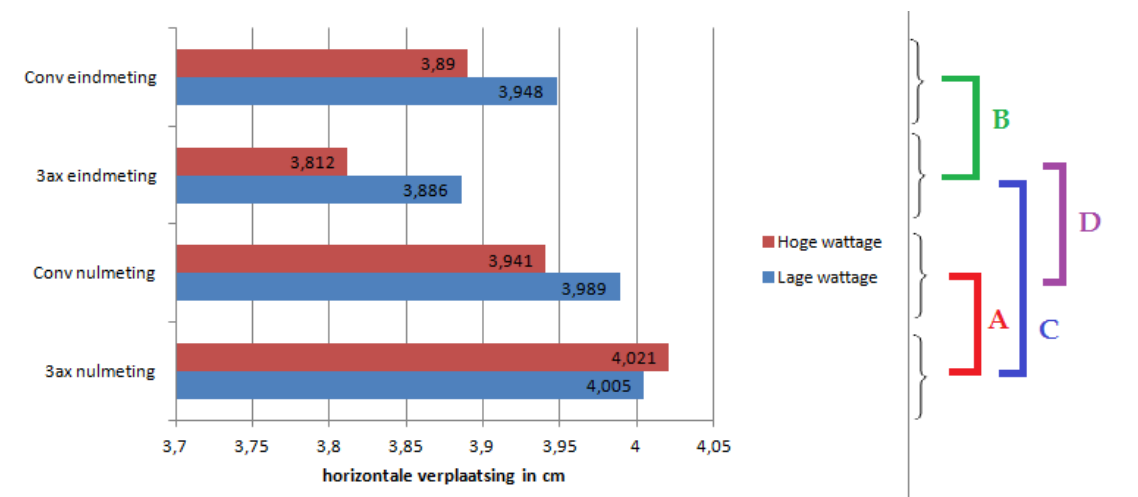
Bij 7 van de 10 proefpersonen zijn goede vergelijkbare resultaten. De overige 3 hebben door technische meetfout of door afzeggen van de test geen tweede meting gehad.

3.1 De kinematica

3.1.1 Het verschil van de horizontale verplaatsing van de knie

In het onderstaande figuur staan de gemiddelde horizontale verplaatsingen van de knie, tijdens het fietsen op de pedalen in zowel de nul- als eindmeting. Er is alleen gekeken naar de laagst gefietste wattage en hoogst gefietste wattage. Een overzicht van de horizontale verplaatsing van alle wielrenners en het verschil in cm is te vinden in bijlage II: *Horizontale verplaatsing van de knie*.

Rechts van figuur 11 staan de verschillende vergelijkingen die worden gemaakt. Uitkomsten van deze vergelijking zijn te vinden in tabel 3. Op A na, zijn er bij alle vergelijkingen significante verschillen gevonden.



figuur 11: Horizontale verplaatsing in cm, op de laagste en hoogste wattage, van alle wielrenners tijdens de verschillende condities.

tabel 3: Resultaten van de vergelijkingen A, B, C en D. Gemiddelde horizontale verplaatsing in cm en verschillen in cm en procent

Vergelijking	Gemiddelde horizontale verplaatsing in cm	Vershil (cm)	Vershil (%)
A	3ax (nulmeting): 4,013	0,073	1,80
	Conv (nulmeting): 3,965		
B*	3ax (eindmeting): 3,849	0,071	1,85
	Conv (eindmeting): 3,919		
C*	3ax (nulmeting): 4,013	0,190	4,94
	3ax (eindmeting): 3,849		
D*	3ax (eindmeting): 3,849	0,117	3,04
	Conv (nulmeting): 3,965		
*Resultaten significant (P<0,05)			
Nulmeting: n=10			
Eindmeting: n=7			

A: De horizontale verplaatsing van de knie is in de nulmeting 0,073 cm meer geworden zodra er gefietst wordt met de 3ax t.o.v. de conventionele pedalen. De horizontale verplaatsing is vergroot met 1,80%. Dit verschil was niet significant.

B: De horizontale verplaatsing van de knie is in de eindmeting 0,071 cm minder geworden zodra er gefietst wordt met de 3ax t.o.v. de conventionele pedalen. De horizontale verplaatsing is verminderd met 1,85%.

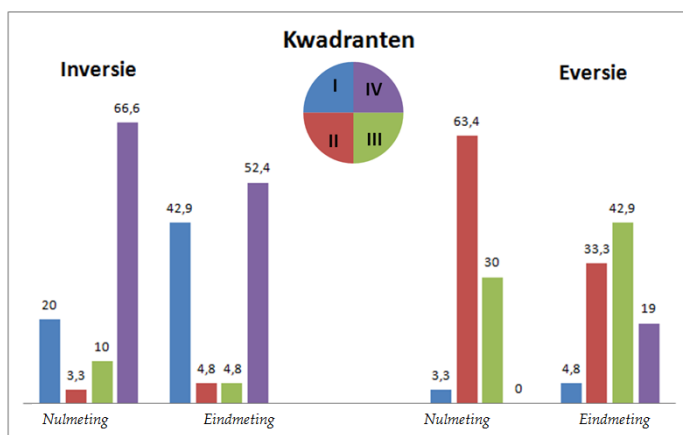
C: De horizontale verplaatsing van de knie is 0,190 cm minder geworden als er gefietst wordt met de 3ax na de gewenningsperiode t.o.v. het fietsen met de 3ax voor de gewenningsperiode. De horizontale verplaatsing is verminderd met 4,94%.

D: De horizontale verplaatsing van de knie is 0,117 cm minder geworden als er gefietst wordt met de 3ax na de gewenningsperiode t.o.v. het fietsen met de conventionele pedalen voor de gewenningsperiode. De horizontale verplaatsing is verminderd met 3,04%.

3.1.2 In- en eversie

3.1.2.1 De positie van de 3ax in de kwadranten van de trapcyclus

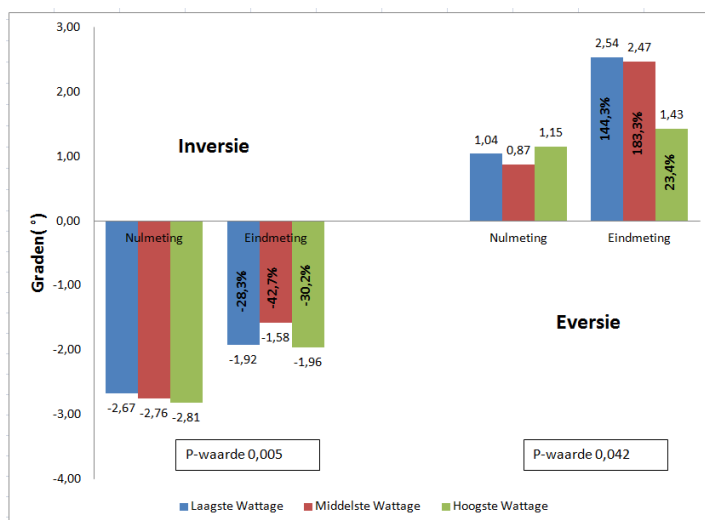
De positie van de 3ax tijdens maximale inversie en is duidelijk verdeeld (zie figuur 12). De inversie komt meer voor in **kwadrant I** (nulmeting 20%, eindmeting 42.9%) en **IV** (nulmeting 66.6%, eindmeting 52.4%). De eversie komt meer voor in **kwadrant II** (nulmeting 63.4%, eindmeting 33.3%) en **III** (nulmeting 30%, eindmeting 42.9%). In figuur 22 in de *bijlage III: In- en eversie* staan alle ingevulde trapcyclussen van iedere wielrenner.



figuur 12: De mate van in- en eversie per kwadrant in procent. Dit zowel in de nul- als eindmeting.

3.1.2.2 Maximale in- en eversie op laagste, middelste en hoogste wattage

De mate van in- en eversie is niet gelijk aan elkaar. In de nulmeting wordt er meer gebruik gemaakt van de inversie dan de eversie. De maximale inversie bedraagt 2,75 graden en de maximale de eversie bedraagt 1,02 graden. In figuur 13 is te zien dat er gemiddeld na de trainingsperiode 34% minder gebruik wordt gemaakt van de inversie, maar dat er gemiddeld 117% meer gebruik wordt gemaakt van de eversie. Beide resultaten hebben een significant verschil.



figuur 13: Van alle metingen het gemiddelde gebruik van de in- en eversie (in graden) in zowel de nul- als eindmeting. Bij de eindmeting staat erbij vermeld hoeveel dit in procent is veranderd

Een totaal overzicht van de in- en eversie van de wielrenners, het bijbehorende kwadrant en het verschil in graden en procent is te vinden in tabel 10 in *bijlage III: In- en eversie*.

3.2 De efficiëntie

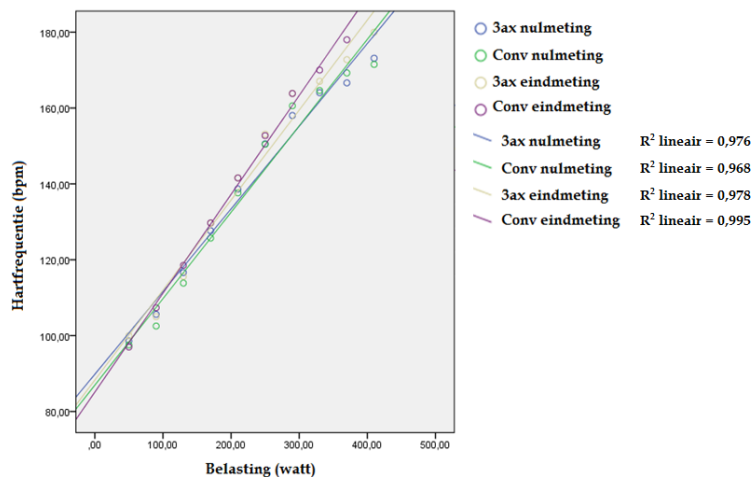
In tabel 4 staat per meting op zowel de 3ax als de conventionele pedalen de gemiddelde HF in bpm van de wielrenners tijdens de submaximaaltest. Daarnaast staat vermeld in welke zone de wielrenners gemiddeld fietsen.

tabel 4: Van iedere conditie de gemiddelde HF in bpm van alle wielrenners op de oplopende wattages

Gemiddelde HF van nulmeting n=10					Gemiddelde HF van eindmeting n=7			
Wattage	3ax	Zone	Conventioneel	Zone	3ax	Zone	Conventioneel	Zone
50	98,58	H	97,55	H	99,96	H	97,00	H
90	105,60	H	102,53	H	105,00	H	107,36	H
130	116,63	H	113,85	H	115,61	H	118,54	H
170	127,65	H	125,70	H	129,64	H	129,71	H
210	138,65	D1	137,63	D1	141,61	D1	141,57	D1
250	150,55	D1	150,45	D2	153,11	D2	152,71	D2
290	158,03	D2	160,58	D2	163,88	D2	163,83	D2
330	164,04	D2	164,63	D2	167,06	D3	170,00	D3
370	166,63	D3	169,25	D3	172,75	D3	178,00	W
410	173,13	D3	171,50	D3	180,00	W	*	*

* Meting gestopt, geen data

In figuur 14 is de gemiddelde stijging van de HF van alle wielrenners uitgezet tegen de oplopende wattages van de submaximaaltest. Elke regressielijn heeft een R^2 -waarde boven de 0,9. Dat wil zeggen, dat de HF en de oplopende wattages ($R=1$) sterk correleren.

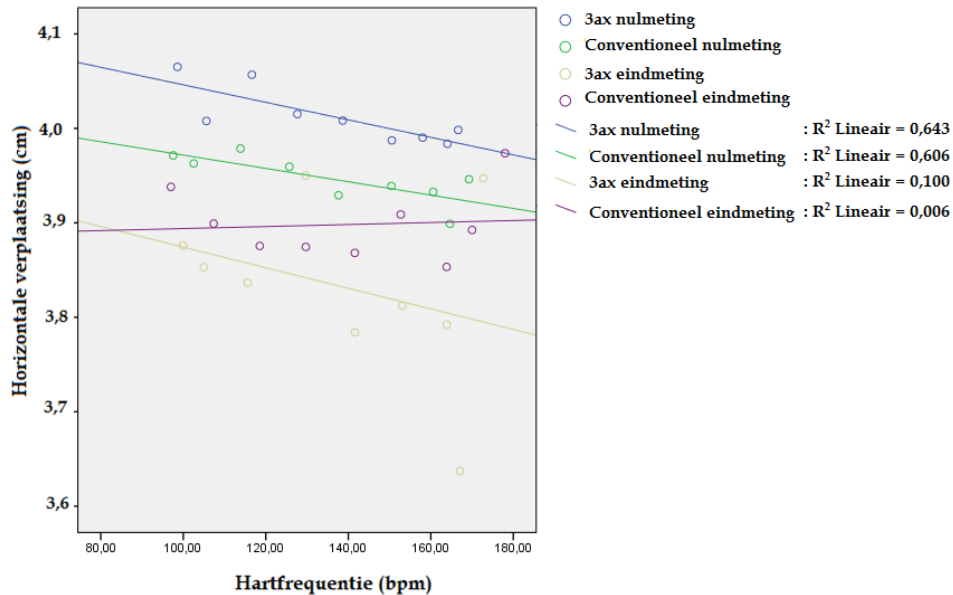


figuur 14: De oplopende HF's van de nul- en eindmeting uitgezet tegen de oplopende wattages van de submaximaaltest.

Tussen vergelijking A (3ax t.o.v. conventioneel uit de nulmeting) en B (3ax t.o.v. conventioneel uit de eindmeting) zijn geen significante verschillen gevonden. Tussen vergelijking C (3ax nulmeting t.o.v. 3ax eindmeting) en D (3ax eindmeting t.o.v. conventioneel nulmeting) zijn de verschillen wel significant.

3.3 Van iedere conditie de regressielijnen en de verhoudingen tussen de horizontale verplaatsing en de HF

Hier wordt bekeken hoe de horizontale verplaatsing reageert naarmate de HF toeneemt. Om te kijken of er verschil is tussen de 3ax en conventionele pedalen worden alle condities samen geplot. Zie figuur 15.



figuur 15: De gemiddelde horizontale verplaatsing van de knie uitgezet tegen de gemiddelde oplopende HF.

Alle condities, behalve als er op de conventionele pedalen in de eindmeting gefietst wordt, geven een daling weer van de horizontale verplaatsing naar mate de HF toeneemt. Van iedere conditie is de verhouding van horizontale verplaatsing en HF op iedere stap bekeken. In tabel 5 staan de verhoudingen vermeld.

tabel 5: Verhouding tussen horizontale verplaatsing en HF

Stap	Nulmeting n=10		Eindmeting n=7	
	3ax	Conventioneel	3ax	Conventioneel
1	0,041237	0,040711	0,038776	0,040599
2	0,037953	0,03865	0,036694	0,036319
3	0,034784	0,034946	0,033186	0,032694
4	0,031455	0,031499	0,030469	0,02987
5	0,02891	0,028549	0,026721	0,027323
6	0,026485	0,026182	0,024898	0,025596
7	0,02525	0,024491	0,023139	0,02352
8	0,024285	0,023683	0,021773	0,022896
9	0,023995	0,023316	0,02285	0,022324
10	0,023523	0,022651	*	*

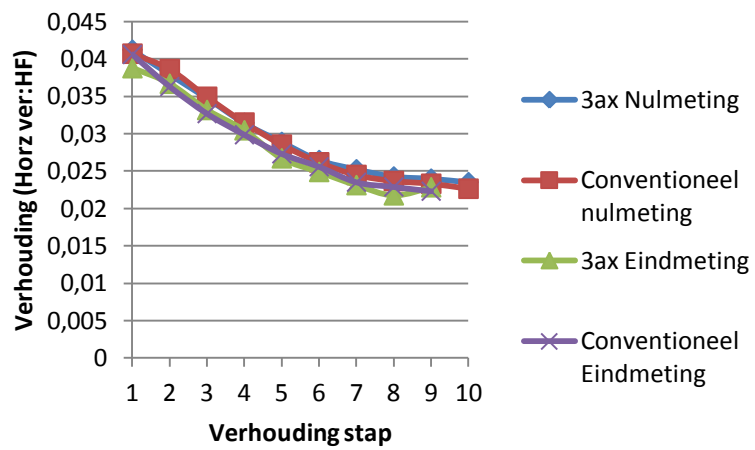
Significante verschillen tussen ($P \leq 0,05$):

- 3ax Nulmeting en 3ax Eindmeting (vergelijking C)

- 3ax Eindmeting en Conventioneel Nulmeting (vergelijking D)

*Geen data

Als er weer terug gekoppeld wordt naar de gemaakte vergelijkingen, dan zijn tussen de verhoudingen van vergelijking C en D significante verschillen gevonden. De uitkomsten van tabel 3 worden weergegeven in figuur 16. De gevonden verschillen niet extreem.



figuur 16: Van iedere conditie de verhoudingen van de horizontale verplaatsing met de HF genomen op iedere stap.

4 Discussie en conclusie

Het doel van het onderzoek is om achter te komen wat voor invloed de 3ax pedalen hebben op de kinematica en de efficiëntie een wielrenner. De wielrenners worden op verschillende condities getest. Onervaren in de nulmeting fietsen de wielrenners op de 3ax, maar ook op de conventionele pedalen. Na een gewenningsperiode van twee weken, gaan de wielrenners weer op zowel de 3ax als de conventionele pedalen fietsen.

Met de conditie *onervaren* worden de resultaten van de nulmeting bedoeld. Met de conditie *ervaren* worden de resultaten van de eindmeting bedoeld.

Aan de hand van deze verschillende situaties worden er vier vergelijkingen opgesteld:

- A (tussen de 3ax en de conventionele pedalen in de nulmeting),
- B (tussen de 3ax en de conventionele pedalen in de eindmeting),
- C (tussen de 3ax in de nulmeting en de 3ax in de eindmeting) en
- D (tussen de conventionele pedalen in de nulmeting en de 3ax in de eindmeting).

De opgestelde deelvragen kunnen met behulp van de verkregen resultaten beantwoord worden en daarmee worden de opgestelde hypothesen bevestigd of ontkracht. Met de antwoorden van de deelvragen is de hoofdvraag te beantwoorden. Verder worden de beperkingen van het onderzoek besproken, welke bevindingen zijn opgevallen en als laatst worden er een aantal aanbevelingen voor een vervolgonderzoek gegeven.

4.1 Deelvragen

Voorafgaand dit onderzoek zijn er zes deelvragen opgesteld (blz. 10). Deze worden om de beurt behandeld.

1. Wat is het verschil in de kinematica tussen het fietsen met de 3ax en het fietsen met conventionele pedalen?

De verschillen, op vergelijking A na, zijn significant. De gevonden verschillen in cm zijn minimaal. Doordat deze verschillen minimaal zijn, worden de uitslagen van de horizontale verplaatsing van de knie ernstig beïnvloedt door de kleinste invloeden van buitenaf. Deze beperkingen worden besproken in 4.2. De resultaten worden wel opgenomen om een conclusie uit het onderzoek te trekken. Hier wordt bekeken naar het verschil in procenten. De verschillen in cm en de bijbehorende horizontale verplaatsing in cm, staan in de al eerder vertoonde tabel 3.

In vergelijking A fietsen de wielrenners onervaren met de 3ax. Dit wordt vergeleken met het fietsen met de conventionele pedalen. Er is te zien dat de horizontale verplaatsing met 1,8% vergroot. Dat is mogelijk doordat dit de eerste keer is dat de wielrenners fietsen met de 3ax. De extra bewegingsvrijheid kan nog een niet betrouwbaar gevoel geven aan de wielrenners. De gevonden verschil is niet significant.

Alleen ervaring met de 3ax geeft een vermindering van de horizontale verplaatsing van de knie. De horizontale verplaatsing, tijdens het fietsen met de 3ax na de gewenningsperiode, neemt met 1,85% af vergeleken met de conventionele pedalen na de gewenningsperiode (vergelijking B). Vergeleken met de 3ax voor de gewenningsperiode neemt de horizontale verplaatsing zelfs meer af, dit met 4,94% (vergelijking C). Als laatst is er ook bekeken of dit ervaren fietsen met de 3ax een vermindering van horizontale verplaatsing geeft vergeleken met de conventionele pedalen voor de gewenningsperiode (vergelijking D). Hier is het verminderd met 3,04%.

Er kan opgevat worden dat alleen ervaring met de 3ax baat heeft bij het verminderen van de horizontale verplaatsing van de knie. Om een uitspraak te doen of dit ook gekoppeld gaat met blessure vermindering, is niet direct te doen. Er is alleen gekeken in frontaalvlak, maar als er een uitspraak gedaan wilt worden over de knie, moet er ook gekeken worden naar bewegingen ten opzichte van de femur. Eerder in de kinematica werd vermeld dat inversie gekoppeld gaat met exorotatie van het onderbeen, de tarsale mechanisme. Wanneer het voor een wielrenner mogelijk is om in- en

eversie uit te voeren, gaat dit in combinatie met het exo- en endoroteren van het onderbeen. Als uitkomstmaat is het van belang om te weten of een wielrenner inderdaad (meer) gaan exo- en endoroteren zodra er gefietst wordt met de 3ax. Dat de gevonden verschillen minimaal zijn, betekend niet dat de 3ax niet werkt. Mogelijk is dat de frictie die speelt als er wordt gefietst met conventionele pedalen, wegvalt als er wordt overgestapt naar de 3ax.

De opgestelde hypothese “Door de +3° en -3° extra bewegingsvrijheid in de 3ax zal de horizontale verplaatsing van de knie tijdens het fietsen met de 3ax minder zijn ten opzichte van de horizontale verplaatsing van de knie tijdens het fietsen met de conventionele pedalen” kan deels hiermee bevestigd worden. In de nulmeting klopt het niet, maar in de eindmeting klopt het wel.

2. Wat is de wielrenner zijn maximale in- en eversie per belastingsstap van de oplopende wattages?

Per wielrenner is er bekeken wat zijn maximale in- en eversie op zijn hoogste, middelste en laagste gefietste wattage bedraagt. Er wordt niet gekozen voor alle belastingsstappen, omdat dit anders teveel resultaten geeft. In *bijlage III: in- en eversie*, staat in tabel 6 van iedere wielrenner de maximale in- en eversie. In figuur 13 staat een schematische weergaven van het aantal maximale in- en eversie maar hier in tabel 6 staan de waarden nogmaals vermeld.

tabel 6: De gemiddelde maximale in- en eversie (°) van de wielrenners op zijn laagste, middelste en hoogste gefietste wattage van zowel de nul- als eindmeting

Wattage	Inversie(°) *		Eversie(°) *	
	Nulmeting †	Eindmeting ‡	Nulmeting †	Eindmeting ‡
Laag	2,67	1,92	1,04	2,54
Midden	2,76	1,58	0,87	2,47
Hoog	2,81	1,96	1,15	1,43
Gemiddeld	2,75	1,82	1,02	2,15

* De gevonden verschillen waren significant ($P \leq 0,05$)

† n = 10

‡ n = 7

Gemiddeld gezien werd er in de nulmeting 2,75° inversie en 1,02° eversie gebruikt. In de eindmeting was dit 1,82° inversie en 2,15° eversie. Het oplopen van de wattages heeft verder geen invloed op de mate van in- en eversie. Er is geen trend hierin te vinden.

Inversie is een component van dorsaalflexie en eversie is een component van plantairflexie. In de nulmeting is meer sprake van dorsaalflexie, dan plantairflexie. Dit wordt vervolgens veranderd in de eindmeting, hier is er namelijk meer sprake van plantairflexie (eversie). Voordat hier verder op ingegaan wordt, wordt eerst de volgende deelvraag beantwoord.

3. Waar in de trapcyclus bevindt de 3ax zich tijdens de maximale in- en eversie per belastingsstap van de oplopende wattages?

In de nulmeting bevindt de eversie voor 63,4% in kwadrant II. Daarnaast komt voor 30% het meest voor in kwadrant III. Na de trainingsperiode vindt de eversie voor 42,9% plaats in III, op de tweede plaats komt kwadrant II met 33,3%.

Voor de inversie geldt het tegenovergestelde. De inversie vindt in de nulmeting voor 66,6% plaats in kwadrant IV, daarnaast voor 20% in kwadrant I. In de eindmeting vindt het nog steeds het meest plaats in kwadrant IV, namelijk 52,4%. Voor 42,9% in kwadrant I.

Dat het maximale gebruik van eversie opschuift naar het andere kwadrant heeft te maken met het volgende. Uit de gevisualiseerde trapcyclus van iedere wielrenner in de *bijlage III: In- en eversie*, figuur 22, is te zien dat de maximale eversie rond de 180° afspeelt. Dit kan toevallig soms net in kwadrant II of kwadrant III vallen. De resultaten van het gebruik van in- en eversie zijn allemaal redelijk logisch. Als er sagittaal naar een wielrenner wordt bekeken is te zien dat de enkel in kwadrant I en IV dorsaalflecteert. Dorsaalflexie gaat in combinatie met inversie. Wielrenners waren

onervaren met de 3ax geneigd meer gebruik te maken van dorsaalflexie in vergelijking met plantairflexie. Zodra ze de extra vrijheidsgraad doorhadden, begon er meer gebruik gemaakt te worden van de eversie (plantairflexie). Terugkijkend naar de resultaten van de horizontale verplaatsing van de knie, is te zien dat deze werd verminderd zodra de wielrenners ervaring hadden met de 3ax. Eversie heeft meer invloed op het verminderen van de horizontale verplaatsing dan de inversie.

De hypothese “*De eversie zal het meest plaats vinden in kwadrant II*” is hiermee bevestigd, weliswaar komt de eversie in de eindmeting wel meer voor in kwadrant III, maar in beide gevallen rond je 180° van de trapcyclus.

4. In hoeverre verandert de efficiëntie tijdens het fietsen met de 3ax in vergelijking met de conventionele pedalen?

In vergelijking A en B zijn er geen significant verschil gevonden tussen het fietsen met de conventionele pedalen en de 3ax in de nulmeting. Wel is er tussen de vergelijking C en D een significant verschil gevonden. Namelijk dat de HF van de wielrenner hoger ligt als er ervaren gefietst wordt met de 3ax in vergelijking met het onervaren fietsen. Bij vergelijking D ligt de HF, na de trainingsperiode, van de 3ax hoger dan de HF tijdens het fietsen met de conventionele pedalen.

De maximale HF is gezet op 175 bpm. Dit is niet voor iedere wielrenner zijn maximale HF. Hoe ouder je wordt hoe lager deze wordt. Om er van uit te gaan dat iedereen een maximale HF van 175 bpm heeft, is een foute aanname geweest. Het is zelfs voorgekomen dat een aantal wielrenners niet eens bij de 175 kwamen. Doordat van iedere wielrenner een gemiddelde is genomen, wordt het gemiddelde HF sterk beïnvloed door de wielrenners die niet tot 175 bpm kwamen. Als er toch wordt gekeken naar de verschillende trainingszones is er wel te zien dat er na de gewenningsperiode gemiddeld de wielrenners een stap eerder bij D3 kwamen dan voor de gewenningsperiode. Dit heeft te maken doordat er in de nulmeting getest werd met 10 wielrenners en in de eindmeting met maar 7 wielrenners. Dit kan een reden zijn dat de gemiddelde HF van deze 7 wielrenners afwijkt van de gemiddelde HF van de wielrenners uit de nulmeting. Als er naar gemiddelde van de HF gekeken worden, zijn deze verschillen minimaal. Er kan geconcludeerd worden dat de HF tijdens het fietsen met de 3ax niet beïnvloed wordt in vergelijking met het fietsen met de conventionele pedalen.

De hypothese: “*Er zal geen significant verschil in efficiëntie zijn tussen de conventionele en de 3ax pedalen*” is hierbij bevestigd.

5. Hoe heeft een gewenningsperiode van twee weken invloed op de kinematica en de efficiëntie?

In vergelijking B, C en D worden de verschillende variabelen van de 3ax na de trainingsperiode vergeleken.

Tussen de horizontale verplaatsing van de knie zijn de gevonden verschillen significant. Ervaring met de 3ax verlaagt deze in vergelijking met de conventionele pedalen met 1,85%. In vergelijking het onervaren fietsen met de 3ax verlaagt de horizontale verplaatsing van de knie met 4,94%. Het is zo dat de horizontale verplaatsing van de knie minder wordt als er ervaren gefietst wordt met de 3ax vergeleken bij de andere drie condities. Het adapteren in coördinatie speelt hier een belangrijk rol in. Wielrenners worden “handiger” in het gebruik van de extra bewegingsvrijheid van de 3ax. De horizontale verplaatsing wordt alleen minder als er goed gebruik wordt gemaakt van de eversie. Er wordt namelijk in de eindmeting, vergeleken met de nulmeting, 117% meer gebruik gemaakt van de eversie dan de inversie, die verlaagd wordt met 30%. Plantairflexie (waarvan eversie een component van is) heeft meer baat bij het verminderen van de horizontale verplaatsing van de knie. Al eerder vermeld bij de eerste deelvraag, hoeft dit niet te betekenen dat dit resulteert met een vermindering van de blessures.

De gevonden verschillen van de HF op de submaximaaltest zijn niet significant. De HF wordt niet beïnvloed door de gewenningsperiode.

De verbeteringen in horizontale verplaatsing van de knie bevestigen de opgestelde hypothese: *"Door adaptatie van het lichaam op de 3ax, zal de tweede test betere resultaten gaan geven dan de eerste test"*. De HF wordt door adaptatie niet beïnvloed.

6. Is er een relatie tussen de verandering in de kinematica en de efficiëntie?

Wanneer de horizontale verplaatsing wordt uitgezet tegenover de bijbehorende oplopende HF, is te zien dat de horizontale verplaatsing afneemt als de HF toeneemt. Behalve bij de conventionele pedalen van de eindmeting is het effect andersom. De resultaten van de conventionele pedalen zijn niet van belang, er wordt alleen gekeken naar de relatie die te vinden is bij de 3ax pedalen. De relatie die hiermee bevestigd wordt, is dat de horizontale verplaatsing afneemt als de wielrenner meer inspant. Dit heeft te maken dat op het begin de wielrenner eerst moet wennen aan het de 3ax. Verder tijdens de submaximaaltest focust de wielrenner meer op de zwaarte van de belasting. De wielrenner fiets dan natuurlijker met de 3ax, omdat hij zijn aandacht er niet meer op gevestigd heeft. De afnemende daling van de 3ax en conventionele pedalen in de nulmeting is bijna identiek aan elkaar, het enige verschil is dat de horizontale verplaatsing van de conventionele pedalen gemiddeld lager ligt dan de 3ax. De verhouding tussen de horizontale verplaatsing en de bijbehorende HF op iedere stap van deze twee pedalen (vergelijking A) hebben geen significant verschil. Alleen in vergelijking C en D zijn significante verschillen gevonden. Het effect van het afnemen van de horizontale verplaatsing en de bijbehorende HF wordt beïnvloed door te gaan fietsen ervaren te gaan fietsen met de 3ax. De horizontale verplaatsing van de knie begint namelijk al vanaf het begin al lager in vergelijking met de rest. Ook in verhouding met de rest is er een sterkere daling van regressielijn te vinden.

De hoofdvraag kan naar aanleiding van de deelvragen beantwoord worden. In eerste instantie heeft de 3ax geen invloed op de kinematica van de wielrenner. Ondanks dat er gebruik gemaakt wordt van de in- en eversie, is er ten opzichte van de conventionele pedalen geen significant verschil in de horizontale verplaatsing van de knie. Na een gewenningsperiode van twee weken heeft de 3ax wel invloed op de wielrenner, namelijk dat de horizontale verplaatsing van de knie wordt verminderd. In beide situaties blijft de gemiddelde HF van de wielrenners ongewijzigd. De 3ax heeft hier geen invloed op.

4.2 Beperkingen van het onderzoek

Submaximaaltest:

Zoals te zien is heeft de 3ax geen effect op de HF. Als er toch verschillen gevonden zijn, is het maar de vraag hoe accuraat deze verschillen zijn. Aangezien de HF gemakkelijk beïnvloed wordt door invloeden van buitenaf.

Pedalen:

-Materiaal: Het prototype van de 3ax waarmee de wielrenners hebben gefietst bleek een aantal fouten te hebben. Een aantal schroefjes ging tijdens het fietsen los. Daarbij is het pedaal van staal gemaakt en het plaatje onder de schoen van aluminium. Hierdoor wordt het pedaal ook zwaarder dan een normaal fietspedaal. Zie figuur 17 voor de huidige 3ax pedalen in vergelijking met normale SPD-SL pedalen, merk Shimano.

-Speling: Het plaatje klikte de eerste keren van gebruik niet perfect op het pedaal. Op gegeven moment ging het aluminium slijten waardoor het wel paste, maar hierdoor kwam er meer speling tussen het pedaal en plaatje. De data-analyse laat zien dat de conventionele ook geringe in- en eversie vertonen, dat komt dus door die speling.

-Maximale in- en eversie: Het is de bedoeling dat er maximaal naar beide kanten 3 graden bewogen kan worden, maar naar beide kanten toe kan het pedaal meer dan 4 graden bewegen. Dit was overig bij iedere pedaal anders, ze waren niet allemaal identiek aan elkaar.



figuur 17: De huidige 3ax-pedalen en daarnaast normale SPD-SL pedalen van Shimano.

Camera:

De v120 camera is zeer gevoelig voor reflecterende delen in het filmgebied. Alles moet zo perfect mogelijk afgedekt worden. Voor de fiets was dit geen groot probleem, maar de pedalen glommen heel erg. Dit is grotendeels afgeplakt met tape, maar er bleef nog steeds ruis opgenomen te worden. De ruis is voor grotendeels uit gefilterd in Matlab, maar om nauwkeuriger te werkt te gaan, dient de camera zo min mogelijk ruis te registreren.

Potentiële meetfouten:

Markers op de tuberositas tibiae zijn geplakt op een stuk klittenband, wat weer bevestigd is op het onderbeen. De band kan door bewegen gaan schuiven op de huid. De geringste foutmarge kan invloed hebben op de uitslagen van de horizontale verplaatsing van de knie. Deze waren immers ook minimaal. Daarbij kan een voet van de wielrenner in zijn schoen ook nog bewegen. Hierin wordt er ook een geringe in- en eversie uitgevoerd. Daarnaast is alleen de linkerknie gefilmd. Het is goed mogelijk dat er in de linkerknie niks te vinden is, maar dat de wielrenner wel klachten heeft aan zijn rechter knie. Het is veel interessanter om naar de rechterknie te kijken in plaats van de linkerknie.

4.3 Opvallende bevindingen

De wielrenners hadden zelf ook nog een mening over de pedalen. Wielrenner 3 en 4 voelde degelijk verschil tijdens het fietsen. Beide gaven ook aan dat hun knieklachten totaal niet meer aanwezig waren tijdens het fietsen met de 3ax in de gewenningsperiode. Wat ook opvallend was aan deze twee, was dat hun nulmeting betere resultaten gaven dan hun eindmeting. Terwijl het bij de rest precies andersom was. Hun uitslagen worden in de volgende tabel weergegeven.

tabel 7: Resultaten van de horizontale verplaatsing van de knie in cm van wielrenner 3 en 4

Wielrenner	Nulmeting (3ax - Conv)	3ax (Nulmeting) – 3ax (Eindmeting)
3	-0,01	-0,085
4	0,16	-0,05

Zoals bij deelvraag 1 werd vermeld, is dat de vermindering van de horizontale verplaatsing niet direct uitspraak doet over het bepalen of het knieblessures afneemt. Het kan zijn dat bij hun de horizontale verplaatsing vergroot is, maar dat het wel de frictie die opspeelt bij de knie wegneemt. Vandaar dat deze wielrenners aangaven dat hun knieklachten waren afgenomen. Van de rest van de wielrenners wordt de horizontale verplaatsing in de nulmeting vergroot, maar dit hoeft dan ook niet te betekenen dat de 3ax de kans op blessures vergroot.

Verder was het opvallend te zien dat er na de gewenningsperiode meer gebruik werd gemaakt van de eversie in tegenstelling tot de inversie (en in tegenstelling tot de nulmeting). Het is een niet verwacht resultaat, maar dit kan zeker inbreng dienen tijdens het vastleggen van een vervolgonderzoek. Er verandert meer in de bewegingsuitslagen van de enkel en de knie, meer dan alleen de vermindering van de horizontale verplaatsing van de knie in het frontale vlak.

4.4 Aanbevelingen vervolgonderzoek

Voor een vervolgonderzoek is het aan te raden te gaan testen met het officiële prototype, wat niet uit staal en aluminium is vervaardigd. Er kan alleen vanaf één kant in geklikt worden. Voor een ontwerp van een nieuw prototype kan deze een asymmetrische vorm hebben, waardoor het gemakkelijk wordt om te zien is wat de onderkant en bovenkant is.

De eerder vermelde frictie wat opgeheven is door de in- en eversie kan nader onderzocht worden. Er is nu alleen naar de horizontale verplaatsing in het frontale vlak gekeken. Wanneer de in- en eversie weer toegestaan is, zal dit door het tarsale mechanisme altijd in combinatie van een ex- en endorotatie gaan. Als er alleen wordt gekeken naar het onderbeen kan er door het plaatsen van een stokje op de patella geregistreerd worden hoeveel deze exo- en endorotatie bedraagt. De veranderingen van de bewegingen in het transversale vlak en om de longitudinale as dienen hier als uitkomstmaat. Zo kan ook bepaald worden of de 3ax inderdaad verandering brengt aan de kinematica.

De fietsergometer waar nu op gereden werd, heeft andere maten in verhouding met de eigen fiets van de wielrenner. Wellicht kan er gebruik gemaakt worden van een taxy fietstrainer, zodat de wielrenner zijn eigen fiets hieraan kan bevestigen. Zo weet de onderzoeker absoluut zeker dat er het gehele onderzoeksprocedure de wielrenner op dezelfde fiets rijdt.

De huidige wielrenners hadden niet allemaal last van hun knie. Het is wel mogelijk dat er bij deze wielrenners ook verschillen gevonden kan worden, maar het effect wordt groter als de wielrenners daadwerkelijk klachten hebben. Voor een vervolgonderzoek is het raadzaam specifiek alleen wielrenners te kiezen die last hebben van hun knieën.

Het bereik van aërobe drempel naar anaërobe drempel is zeer groot. Echter voor het vinden van een verschil in HF, dient de anaërobe drempel wel bereikt te worden tijdens het fietsen met de verschillende pedalen. Nu kwamen een aantal wielrenners niet in de buurt van hun maximale hartslag. Voor een vervolgonderzoek dient er van te voren bepaald te worden wat de maximale HF van de betreffende wielrenner bedraagt. Dit kan gedaan worden met behulp van de formule van Tanaka: $Hf_{max} = 208 - (0,7 * leeftijd)$. Vervolgens worden de verschillende trainingzones: D1, D2 en D3 bepaald. Het registreren van de oplopende HF in de bijbehorende zone wordt hierdoor accurater. Iedere wielrenner dient met zichzelf vergeleken te worden, het verschil in tijd in het bereiken van de anaërobe drempel zal uitspraak doen over de efficiëntie van de 3ax. Immers, hoe langer het duurt voordat deze drempel bereikt wordt, hoe efficiënter de 3ax is. Voor het nog nauwkeuriger meten, kan er ook een zuurstofmeting gehouden worden voor het analyseren van de vo2-max. Gasanalyse is namelijk ook een maat voor het bepalen van de inspanning.

6 Literatuurlijst

1. Holmes, J.C, Prular, Al.L., Whalen, N.J. 1991 *Cycling knee injuries*. Cycling science 3. Pp 11-14.
2. Liem, N., Janssen, I., Brands, C. (juli 2011) *Dynamisch onderzoek bij wielrenner* van <http://www.sportzorg.nl/upload/Files/Dynamisch%20onderzoek%20bij%20wielrenner.pdf>.
3. Lagerberg, A., (2006) *Kinematica van het patellofemorale gewricht*. Versus Tijdschrift voor Fysiotherapie 24(6), Pp 251-267
4. Liem, N., Janssen, I. (september 2011) *Quadriceps expansie syndroom bij professionele wielrenner* van <http://sportpodotherapie.com/sites/default/files/publicaties/quadriceps-expansie-syndroom-bij-wielrenner-podosophia-5-2011.pdf>.
5. Colin S, Gregersen ML, Hull NA. (Juni 2006) *How Changing the Inversion/Eversion Foot Angle Affects the Nondriving Intersegmental Knee Moments and the Relative Activation of the Vastii Muscles in Cycling*. Journal of Biomechanical Engineering 9, pp 128 - 391
6. Van Eijk, S. (2012) 3ax pedalen, Geraadpleegd op 25 maart 2013, <http://www.3ax-cycling.com>
7. Holstein, H. van, Koes, E. (1999) *Beperking van het onderste spronggewricht en knieklachten*. Versus Tijdschrift voor Fysiotherapie 17(4), Pp 220-236.
8. Oonk, H.N., (2005) Bio Statica. Den Haag: Henric Graaff van Ijssel
9. Morree, J.J. de, Jongert, M.W.A., Poel, G. van der (2011) *Inspanningsfysiologie, oefentherapie en training*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum
10. Smit, A., (2011) *Het kwantificeren en sturen van trainingsbelasting, de herkomst van trainingszones (deel 1)*. Sportgericht 75(4), pp 1 - 7
11. Riezebos, C., Lagerberg, A. (1998) *Inversietrauma van de enkel: ontstansmechanismen, risicofactoren en preventie*. Versus Tijdschrift voor Fysiotherapie 16(1), pp 16- 47

Bijlage

Bijlage I: Meetprotocol

In dit onderzoek wordt het verband tussen de kinematica en efficiëntie vastgelegd van de 3ax pedalen. Nieuwe onderzoekers behoren zich aan dit protocol te houden indien ze het onderzoek willen herhalen. De 3ax zijn speciaal aangepaste pedalen met een in- en eversie beweging. Voor het vastleggen van het verband, zijn er een aantal testen nodig met wielrenners. Een test die o.a. wordt gehouden is de submaximaaltest. De proefpersoon zal gaan fietsen totdat zijn hartslag 175 bpm bedraagt. Tegelijkertijd wordt de kinematica van het onderbeen en het pedaal vastgelegd. Dit wordt gedaan met behulp van Optritrack- V120: Trio 3D camera.

Algemene informatie proefpersoon

Voorafgaand de test zal proefpersoon dit gaan invullen.

.....

Naam:

Leeftijd:

Gewicht:

Lengte:

Hoe vaak fietst u per week?

... per week

Hoeveel km fiets u per keer?

... per km/keer

Beperkingen

Heeft u last van uw knieën tijdens het fietsen?

Ja / Nee

Heeft u ooit een knieblesure gehad door het fietsen

Ja / Nee

Overige beperkingen?

.....

.....

Nadat proefpersoon twee weken met de 3ax heeft gefietst, zal hij/zij deze vragen moeten beantwoorden.

Heeft u tijdens het fietsen met de 3ax last van uw knieën gehad?

Ja / Nee

Hoeveel km heeft u gemaakt op de 3ax

... km

Hoe beviel de 3ax pedalen u?

.....

.....

.....

Zou u de 3ax willen aanschaffen wanneer het op de markt is?

Ja / Nee

.....

Algemene beschrijving meetopstelling

I. Benodigdheden

Proefpersoon

- Wielrenkleding
- SPD- SL, wielrenschoenen (de 3ax heeft plaatjes voor elke schoen)

Camera

- Opitrack- V120: Trio 3D camera (figuur 8)
- Kabel aansluiting computer
- Adapter aansluiting computer en camera

Test

- Ergobike Premium 8i met ingebouwd protocol
- Verlengkabel
- Polar RS400 horloge
- Polar borstband
- Uitlees-usb
- Computer met de volgende software: Tracking Tools, Matlab en IBM SPSS Statistics
- Rest van de kabels en calibration square (figuur 8)
- Markers, cluster van drie op een klittenband en twee "rigidbody" markers

II. Plaatsing materialen:

Elke wielrenner wordt apart getest. Zie figuur 18 voor een overzicht van de plaatsing van de materialen. De V120 camera is zeer gevoelig voor reflectie of weerkaatsing van het licht. Zorg daarom dat het meetlokaal beperkt licht doorlaat. Gebruik zwarte afschermwanden. De glimmende delen van de fiets zijn afgedekt met zwarte stof. Het licht van het lokaal kan ook uitgezet worden. Zorg dat het niet te donker wordt, zodat uzelf niks meer kunt zien.

De V120 camera wordt in een hoek van 45 graden geplaatst. Hiernaast staat gelijk de computer met het softwareprogramma Tracking Tools geopend. Zorg dat uzelf niet in beeld komt.

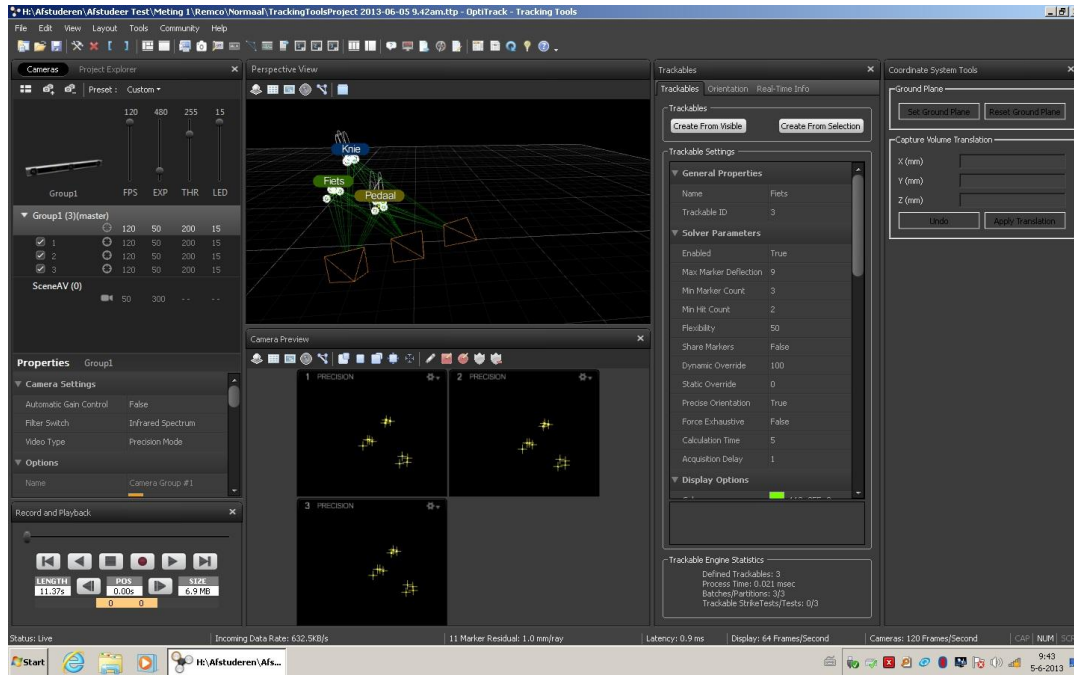


figuur 18: Meetopstelling 1: Fietsergometer met markers op de fiets en pedaal. 2: calibration square. 3: V120 camera

III. Instelling

Optitrack instellen:

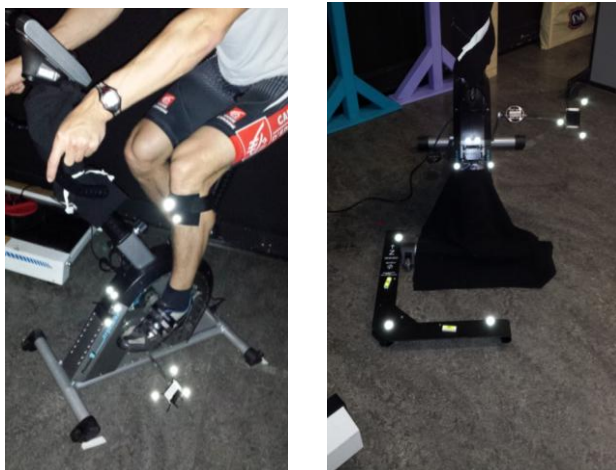
Open het programma Tracking Tools (figuur 19). Als eerst moet de grond gekalibreerd worden. Dit wordt gedaan met behulp van de calibration square. Plaats de calibration square zo voor de fiets dat de drie punten van zijn markers zichtbaar zijn in het Tracking Tools programma. Klik op Tools, vervolgens op Coördinate System Tools. Klik eerst op Reset Ground Plane en vervolgens op Set Ground Plan. Tijdens het kalibreren mag alleen de calibration square zichtbaar zijn. Nu ziet u de camera van positie veranderen. Vervolgens moeten de markers geregistreerd worden. Plaats een rigidbody marker op de fiets. Dit is nodig voor de referentie. Plaats het andere rigidbody op het uiteinde van het verlengstuk van het linker 3ax pedaal. Laat wielrenner alvast zitten op de fiets en plaats de



figuur 19: Tracking Tools. Van links naar rechts: - Onderin record functie - midden de camera beelden met geselecteerde markers - Trackables functie om markers naam te geven - Coordinate system tools voor het kalibreren van de grond

klittenband met de 3 markers ter hoogte van zijn tuberositas tibiae (figuur 20).

Met behulp van Trackables kan elke marker een naam geven. Selecteer de markers omstebeurt om ze te benoemen. Geef de markers de naam van het object waarop ze zijn geplaatst. Links onderin kunt u op record (rode knop) drukken voor het opnemen van beeldmateriaal, druk nogmaals op het rode knopje om de opname te stoppen.



figuur 20: Plaatsing van de markers

Polar instelling:

Hang het horloge aan het stuur of laat de wielrenner hem zelf omdoen zodat u zelf ook mee kunt kijken wat de hartslag bedraagt. Dit is nodig om in de gaten te houden wanneer de hartslag 175 bpm bereikt, zodat de test afgerond kan worden. Klik op het rode knopje van het horloge om hartslag te zoeken. Klik pas nog een keer op het rode knopje wanneer de test begint. Dit doet u synchroon met het starten van fietsergometer.

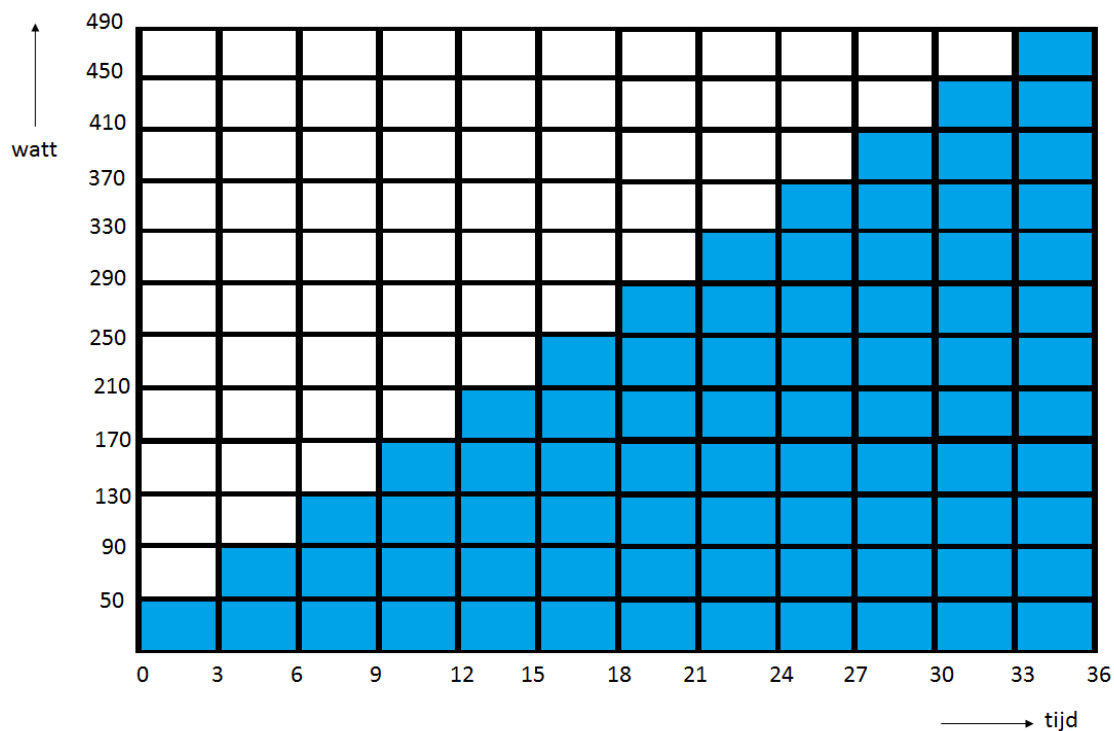
Fietsergometer instellen:

Met behulp van het ingebouwde protocol FARIDA (figuur 21) zal de submaximaaltest gehouden worden. Laat de wielrenner eerst vijf minuten warm fietsen. Druk op de middelste ronde knop om protocol te laten starten.

Per wielrenner dient de zit- en stuurhoogte genoteerd te worden, zie tabel 5.

tabel 8: Invultabel fietsinstellingen per proefpersoon

Proefpersoon code	Zithoogte	Stuurhoogte	Overige opmerkingen



figuur 21: Protocol ingesteld op de fietsergometer

IV. Uitvoering

Tijdens het testen dient u de volgende stappen op te volgen, voor een zo goed mogelijk verloop van de zaken. Noteer alle relevante gegevens van de wielrenner (zadel hoogte etc.).

- Voer op de conventionele pedalen de referentiemeting van de knie uit. Laat de wielrenner recht op het pedaal staan.
- Laat de wielrenner vijf minuten warm fietsen (op conventioneel of 3ax). Dit wordt niet onder het protocol gedaan. Pas wanneer de vijf minuten voorbij zijn zal (door te klikken op de grote ronde knop van de

ergometer) het protocol gestart worden. Tegelijkertijd na deze vijf minuten wordt ook het Polar horloge gestart. Om de drie minuten zal de wattage opgehoogd worden met 40 watt.

- Elke belastingstap duurt drie minuten. Film met Tracking Tools de laatste **10 seconden** van iedere belastingsstap. Sla het bestand op en extract het volgens als een .c3d bestand. Om de posities van de markers te bepalen wordt dit bestand uitgelezen in Matlab.
- Wanneer de HF van de wielrenner 175 bpm bedraagt, stopt de test. Klik hiervoor op de fiets op Menu en vervolgens op Yes. Laat de wielrenner uitfietsen totdat zijn hartslag op 120 bpm komt. Dit is belangrijk zodat het hart de verandering makkelijker kan verwerken.
- Met behulp van de USB-aansluiting kan de data van de Polar uitgelezen worden op de computer. Dit wordt gedaan met het programma Polar protrainer.

Bijlage II: Horizontale verplaatsing van de knie

tabel 9: Op laagste en hoogste gefietste wattage per wielrenner de horizontale verplaatsing van de tuberositas tibiae in cm en het verschil in cm, van de nul- en eindmeting

		Nulmeting		Eindmeting		Vergelijking verschil in cm			
		3ax	Conv	3ax2	Conv2	A	B	C	D
Wielrenner	Wattage					Conv-3ax	Conv2-3ax2	3ax-3ax2	Conv-3ax2
1	90	4,05	4,01	3,89	4,01	-0,04	0,12	0,16	0,12
	250	3,97	3,88	3,84	3,88	-0,09	0,04	0,13	0,04
2	50	4,45	4,17	4,29	4,22	-0,28	-0,07	0,16	-0,12
	330	4,44	4,21	4,25	4,24	-0,23	-0,01	0,19	-0,04
3	50	3,86	3,89	3,95	3,98	0,03	0,03	-0,09	-0,06
	290	3,86	3,81	3,94	3,85	-0,05	-0,09	-0,08	-0,13
4	50	4,13	4,27	4,25	4,58	0,14	0,33	-0,12	0,02
	250	4,03	4,21	4,01	4,42	0,18	0,41	0,02	0,02
5	50	4,04	3,95	*	*	-0,09	*	*	*
	330	3,93	4,04	*	*	0,11	*	*	*
6	50	3,99	3,99	*	*	0	*	*	*
	450	3,95	3,86	*	*	-0,09	*	*	*
7	50	4,00	3,78	*	*	-0,22	*	*	*
	330	3,95	3,73	*	*	-0,22	*	*	*
8	50	4,01	3,66	3,66	3,67	-0,35	0,01	0,35	0
	330	4,08	3,72	3,72	3,74	-0,36	0,02	0,36	0
9	50	3,84	4,23	3,94	3,95	0,39	0,01	-0,1	0,29
	370	4,18	4,14	3,95	3,97	-0,04	0,02	0,23	0,19
10	90	4,18	3,94	3,22	3,23	-0,24	0,01	0,96	0,72
	370	3,82	3,81	3,10	3,13	-0,01	0,03	0,72	0,71

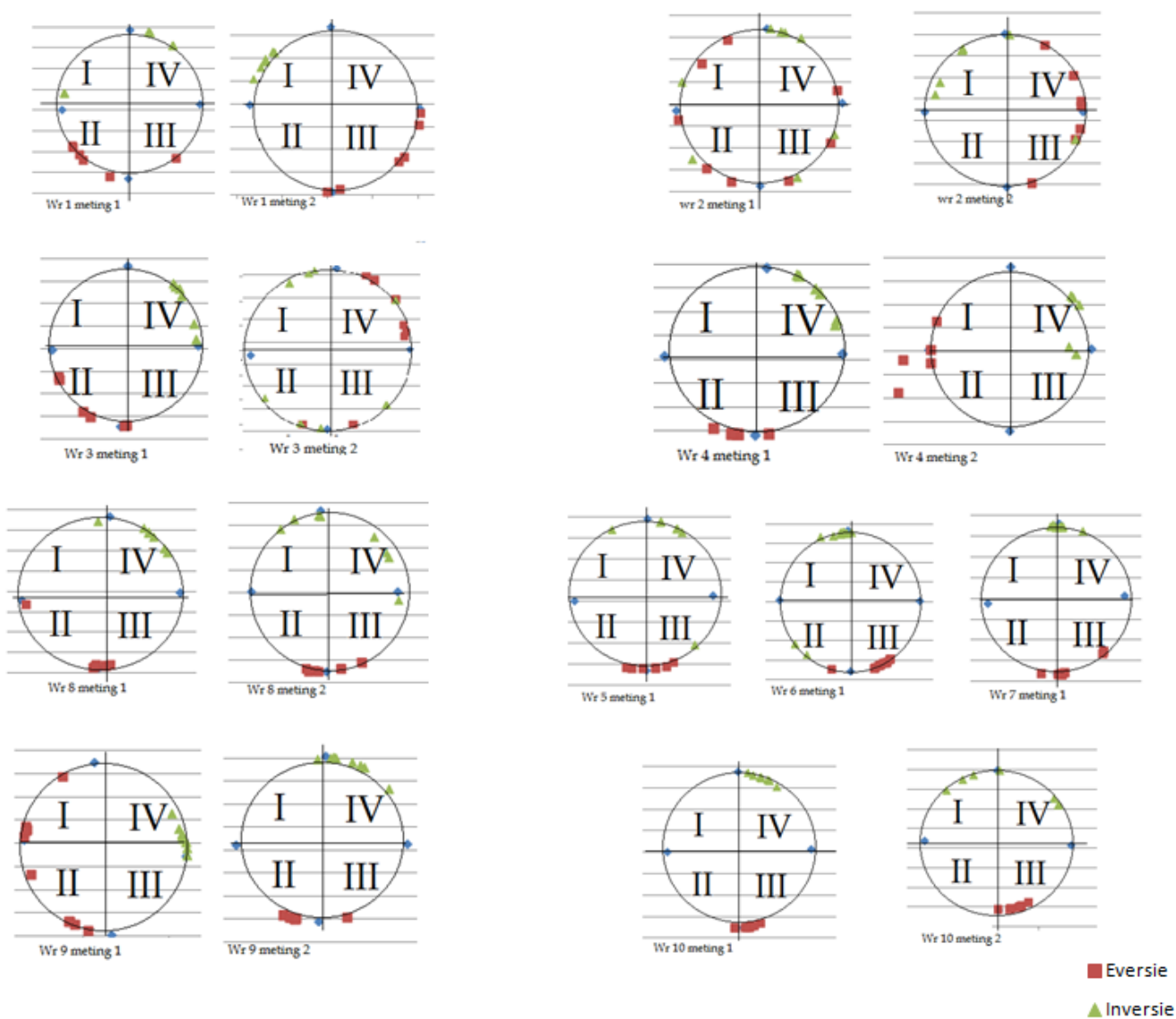
* Geen tweede meting gehad, geen data

Bijlage III: In- en eversie

tabel 10: De maximale in- en eversie op laagste, middelste en hoogste gefietste wattage per wielrenner van de nulmeting en de eindmeting. Het kwadrant van de maximale in- en eversie

Nulmeting		Eindmeting				Verschil(%) en (°)			
		Watt		Max, Inversie (°)		Kwadrant		Max, Eversie (°)	
		Watt	Max, Inversie (°)	Kwadrant	Max, Eversie (°)	Kwadrant		Max, Eversie (°)	
Wielr,	Watt	Max, Inversie (°)	Kwadrant	Max, Eversie (°)	Kwadrant	Inversie (%)	Inversie (°)	Eversie (%)	Eversie (°)
1	50	-1,41	IV	1,63	II	26	0,36	-0,6	-0,01
	130	-2,55	IV	0,92	II	-6,9	-0,18	32	0,29
	250	-3,32	IV	1,55	II	53	1,76	-99	-1,54
2	50	-4,24	I	3,75	III	-68	-2,88	-29	-1,08
	170	-2,70	III	2,34	II	-76	-3,34	19	0,44
	330	-1,40	III	3,43	II	-53	-0,74	-98	-3,37
3	50	-2,94	IV	1,60	II	-20	-0,60	83	1,33
	170	-1,77	IV	2,18	II	-30	-0,53	91	1,99
	290	-2,50	IV	1,82	II	1,8	0,04	-81	-1,47
4	50	-1,98	IV	0,79	III	-32	-0,64	251	1,98
	130	-2,04	IV	1,04	II	38	0,79	4	0,04
	250	-3,14	IV	0,70	II	-29	-0,93	10	0,67
5	50	-4,34	III	0,21	II	*	*	*	*
	170	-4,22	I	0,25	III	*	*	*	*
	330	-5,92	IV	0,49	III	*	*	*	*
6	50	-0,69	I	2,31	III	*	*	*	*
	210	-0,16	I	2,86	II	*	*	*	*
	450	-0,88	II	1,179	III	*	*	*	*
7	50	-1,67	I	0,56	III	*	*	*	*
	170	-2,95	IV	0,53	III	*	*	*	*
	330	-0,96	I	1,79	III	*	*	*	*
8	50	-1,07	IV	1,39	III	55	0,59	-38	-0,53
	170	-2,13	IV	0,23	II	-59	-1,26	83	1,08
	330	-0,72	IV	1,54	II	-75	-0,54	9	0,14
9	50	-4,33	IV	-1,06	II	-26	-1,14	530	5,62
	210	-4,72	IV	-1,07	II	-39	-1,83	535	5,75
	410	-4,88	IV	-0,31	I	-38	-1,85	1591	4,94
10	90	-4,04	IV	-0,78	II	-57	-2,30	404	3,15
	210	-4,32	IV	-0,57	II	-95	-4,09	456	2,61
	370	-4,39	IV	-0,63	II	-99	-4,36	398	2,51

* Geen tweede meting gehad, geen data



figuur 22: Uit de nul- en eindmetingen van alle wielrenners hun in- en eversie in de trapcyclus
De aantal in- en eversie's dat niet in een kwadrant vallen, zijn toch opgenomen in de resultaten. Het dichtbijzijnde kwadrant van de in- en eversie wordt als kwadrant gekozen