

2016•2017  
FACULTEIT GENEESKUNDE EN LEVENSWETENSCHAPPEN  
*master in de revalidatiewetenschappen en de  
kinesitherapie*

## Masterproef

De effectiviteit van sensor-gebaseerde posturale feedback bij specifieke  
chronische lage rugpijn: een randomised controlled trial

Promotor :  
Prof. dr. Annick TIMMERMANS

Copromotor :  
De heer Thomas MATHEVE

Veerle Gielen , Gerard Pierreux

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de revalidatiewetenschappen  
en de kinesitherapie*

2016•2017  
FACULTEIT GENEESKUNDE EN  
LEVENSWETENSCHAPPEN  
*master in de revalidatiewetenschappen en de  
kinesitherapie*

## Masterproef

De effectiviteit van sensor-gebaseerde posturale feedback  
bij specifieke chronische lage rugpijn:  
een randomised controlled trial

Promotor :  
Prof. dr. Annick TIMMERMANS

Copromotor :  
De heer Thomas MATHEVE

Veerle Gielen , Gerard Pierreux

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de revalidatiewetenschappen  
en de kinesitherapie*





Tienen, België, 06/06/2017

G.P.

Neerpelt, België, 06/06/2017

V.G.

## **WOORD VOORAF**

Deze masterproef werd geschreven in het kader van de masteropleiding revalidatiewetenschappen en kinesitherapie aan de universiteit te Hasselt, België. Het onderzoek en het schrijven van dit manuscript werd door beide studenten verricht.

Graag willen wij iedereen bedanken voor de ondersteuning en de hulp bij het uitvoeren en rapporteren van dit wetenschappelijk onderzoek.

Eerst en vooral wensen we doctorandus T. Matheve te bedanken voor de begeleiding tijdens het onderzoek en de totstandkoming van deze scriptie. Daarnaast bedanken we alle deelnemers van het onderzoek die een inspanning hebben geleverd om zich te verplaatsen naar het onderzoekscentrum en tijd voor ons te maken. Bovendien gaat onze dank ook uit naar de lokale kinesitherapeuten (regio Neerpelt), zij verwezen participanten door naar ons onderzoek.

Tot slot zouden we ook graag onze ouders en alle anderen bedanken die ons gesteund hebben de afgelopen jaren en het mede mogelijk hebben gemaakt om deze masterproef tot een goed einde te brengen.



## SITUERING

Dit manuscript situeert zich in het musculoskeletale onderzoeksveld aan de universiteit te Hasselt. Het is een klein onderdeel uit een doctoraatstudie o.l.v. doctorandus Thomas Matheve. Het doel van deze doctoraatstudie is het vergelijken van een technologisch-ondersteunend en een conventioneel revalidatieprogramma bij chronische lage rugpijnpatiënten volgens het design van een randomised controlled trial (RCT).

Lage rugpijn is één van de meest voorkomende en limiterende musculoskeletale aandoeningen (Hoy et al., 2012). De specifieke chronische vorm van lage rugpijn (ACLRP), gediagnosticeerd bij 85% van de lage rugpijnpatiënten, is een vastgesteld socio-economisch probleem in de huidige maatschappij (Airaksinen et al., 2006). Kenmerkend voor deze aandoening is de verminderde lumbale bewegingscontrole waardoor de patiënt andere bewegings- en houdingspatronen vertoont (O'Sullivan, 2005). Oefeningen gericht op de bewegingscontrole van de lumbale regio zijn daardoor van toegevoegde waarde tijdens het revalidatieproces (Luomajoki, Kool, de Bruin, & Airaksinen, 2010; Macedo et al., 2012). Het aanleren van deze oefeningen kan moeizaam verlopen vanwege de verstoorde intrinsieke feedbackmechanismen (Brumagne, Cordo, Lysens, Verschueren, & Swinnen, 2000; Herbert, Heiss, & Basso, 2008).

Extrinsieke feedback zou een meerwaarde kunnen zijn in het aanleren van de bewegingscontrole. Het doel van deze studie is het onderzoeken van de effectiviteit van sensor-gebaseerde posturale feedback (sensorgroep), vergeleken met een conventionele vorm van feedback (spiegelgroep) en zonder feedback (controlegroep) bij patiënten met ACLRP inzake het verbeteren van de lumbale bewegingscontrole. Daarnaast wordt onderzocht of het leereffect overdraagbaar is van een analytische naar een functionele motorische taak.

In de lopende doctoraatstudie was het onderzoeksdesign al uitgewerkt. De onderzoeksvragen hebben we zelf opgesteld. De rekrutering en de metingen van zowel gezonde personen als patiënten met ACLRP werd gezamenlijk uitgevoerd, waarbij het volledige protocol door doctorandus Thomas Matheve afgenomen werd om bias te voorkomen. De dataverwerking werd door beide studenten afzonderlijk uitgevoerd. De data-analyse werd in overleg met de promotor uitgevoerd.





## **ABSTRACT**

**Achtergrond:** Tot op heden is niet geweten welke extrinsieke feedback(EF)-vorm het meest effectief is voor het aanleren van lumbale bewegingscontrole bij patiënten met specifieke chronische lage rugpijn (ACLRP).

**Doel van het onderzoek:** 1) Bepalen of sensor-gebaseerde posturale feedback effectiever is dan spiegelfeedback of geen feedback, inzake het aanleren van lumbale bewegingscontrole bij patiënten met ACLRP. 2) Bepalen of er een carry-over effect is van een analytische naar een functionele taak.

**Methode:** Na randomisatie voerden 41 patiënten met ACLRP een analytische taak uit met ofwel sensor-gebaseerde feedback, ofwel spiegelfeedback ofwel geen feedback. De lumbale range of motion werd gemeten d.m.v. inertiële sensoren geplaatst op L1 en S1. Het verschil in de gemiddelde waarden van de lumbale hoek van de analytische taak voor en na de interventie, toonde hiervan het leereffect aan. Het verschil in de gemiddelde waarden van de lumbale hoek van de functionele taak voor en na de interventie, stelt het carry-over effect van een analytische naar een functionele motorische taak vast. Een correlatie tussen de vooruitgang van een analytische naar een functionele taak werd berekend a.d.h.v. beide verschillen.

**Resultaten:** De sensor-gebaseerde feedback toonde een significant leereffect van de analytische taak vergeleken met de spiegelfeedback ( $p=0.02$ ) en geen feedback ( $p<0.01$ ). Enkel binnenin de sensor-gebaseerde feedback was er een significante verbetering van de analytische ( $p<0.01$ ) en functionele ( $p<0.01$ ) taak. Een significant carry-over effect was er bij de sensor-gebaseerde feedback in vergelijking met geen feedback ( $p=0.03$ ). Algemeen was er een significante correlatie ( $p< 0.01$ ) tussen de vooruitgang van de analytische en functionele taak in de gehele groep.

**Conclusie:** Sensor-gebaseerde posturale feedback is effectiever dan spiegel- of geen feedback voor het aanleren van lumbale bewegingscontrole bij patiënten met ACLRP. Daarnaast is er een significant verband tussen de vooruitgang van een analytische en een functionele taak voor de gehele groep.



## 1 INLEIDING

Lage rugpijn is wereldwijd één van de meest voorkomende musculoskeletale aandoeningen (Hoy et al., 2012). In België is 29% van de ziektedagen te wijten aan lage rugpijn (van Zundert & van Kleef, 2005). Negentig procent van de patiënten met acute lage rugpijn herstelt binnen de zes weken, de overige 10% evolueert naar een chronisch stadium (Krismer & van Tulder, 2007; Manchikanti, Singh, Falco, Benyamin, & Hirsch, 2014). Deze chroniciteit is een indicator voor hoge gezondheidszorgkosten (Bons et al., 2017) waarin kinesitherapie een groot aandeel heeft (Dagenais, Caro, & Haldeman, 2008).

Slechts bij 10 à 15% van patiënten die lijden aan chronische lage rugpijn kan er een specifieke patho-anatomische oorzaak gevonden worden (Krismer & van Tulder, 2007). Bij de overgrote meerderheid van de patiënten is dit niet het geval, zij krijgen de diagnose “aspecifieke chronische lage rugpijn (ACLRP)” (Krismer & van Tulder, 2007).

Om deze heterogene groep van patiënten met ACLRP in meer homogene subgroepen te kunnen onderverdelen, bestaan er verschillende classificatiesystemen (CS), elk met hun eigen filosofie (Karayannis, Jull, & Hodges, 2012). De grootste subgroep in de klinische praktijk bestaat uit patiënten met verminderde bewegingscontrole (O’Sullivan, 2005; Shirley Sahrman, 2002). Deze verminderde bewegingscontrole kan leiden tot veranderde houdings- en bewegingspatronen die een rol kunnen spelen in het ontstaan en persisteren van lage rugpijn (Luomajoki, Kool, de Bruin, & Airaksinen, 2008; S. Sahrman, 2002). Bijgevolg wordt aangenomen dat specifieke oefeningen ter verbetering van de bewegingscontrole aangewezen zijn voor deze patiënten (Luomajoki et al., 2010; Macedo et al., 2014; O’Sullivan, 2005; Saragiotto et al., 2016).

Het aanleren van lumbale bewegingscontrole kan moeizaam verlopen bij deze patiënten omwille van verstoorde intrinsieke feedbackmechanismen (Brumagne et al., 2000; Herbert et al., 2008). **Extrinsieke feedback (EF)** kan daarom een zinvolle toevoeging zijn in de behandeling van patiënten met verminderde bewegingscontrole (Henry & Teyhen, 2007; Magnusson, Chow, Diamandopoulos, & Pope, 2008).

In de hedendaagse klinische praktijk geeft de therapeut vaak externe feedback, of wordt er een spiegel gebruikt tijdens het aanleren van de bewegingscontrole. Echter, de behandelende therapeut is niet altijd aanwezig (bijv. in een thuissituatie), en hoewel het gebruik van spiegels een goed ingeburgerde feedbackmethode is tijdens kinesitherapie (Lin, Lo, Lin, & Chen, 2012), is er een gebrek aan effectiviteit inzake het aanleren van de bewegingscontrole. Daarom zijn er de laatste jaren technologische systemen ontwikkeld om de patiënt beter te kunnen ondersteunen bij het uitvoeren van de oefentherapie. Er zijn verschillende systemen voorhanden om extrinsieke feedback te voorzien (Ribeiro, Sole, Abbott, & Milosavljevic, 2011b) zoals [1] inertieële sensoren (Dekker-van Weering, Vollenbroek-Hutten, & Hermens, 2012; Donatell et al., 2005; Hugli et al., 2015; Kent, Laird, & Haines, 2015), [2] Pressure Biofeedback Unit (PBU)-systemen (Azevedo et al., 2013) en [3] systemen gebaseerd op camera's (Gilmore & Spaulding, 2007).

Recentelijk gaat er meer aandacht naar het gebruik van inertieële sensoren in de revalidatie omwille van de compact- en de draagbaarheid (Giggins, Persson, & Caulfield, 2013). In tegenstelling tot PBU- en camera-gebaseerde systemen bieden de inertieële sensoren de mogelijkheid om functionele activiteiten uit te voeren in een natuurlijke (niet labo-gebonden) omgeving (Li, Cai, Lee, & Lai, 2016). Het is noodzakelijk om taakspecifiek te werken tijdens het aanleren van een motorische taak (Shumway-Cook & Woollacott, 2017), om zo het carry-over effect naar de dagelijkse activiteiten te vergroten.

Daarom wordt in dit onderzoek de effectiviteit van sensor-gebaseerde posturale feedback nagegaan, in vergelijking met de effectiviteit van feedback d.m.v. een spiegel of geen feedback op de bewegingscontrole bij patiënten met ACLRP. Bijkomend wordt onderzocht of de leereffecten overdraagbaar zijn van een analytische naar een functionele motorische taak.

## 2 METHODE

### 2.1 Participanten

De participanten werden gerekruteerd via kinesitherapeuten en huisartsen in de regio Limburg en de afdeling “Fysische geneeskunde en revalidatie” van het Virga Jessa ziekenhuis te Hasselt. Ook werd er gezocht naar participanten via kennissen en familie van de onderzoekers.

#### 2.1.1 *Inclusie- en exclusiecriteria*

De inclusiecriteria voor deze studie zijn de volgende:

1. Personen tussen de 18 en 65 jaar oud;
2. Personen die lijden aan specifieke chronische lage rugpijn (ACLRP). Dit wil zeggen dat de klachten langer dan drie maanden aanwezig zijn (Balague, Mannion, Pellise, & Cedraschi, 2012);
3. Begrijpen van de Nederlandse taal.

De exclusiecriteria voor deze studie zijn de volgende:

1. Spinale chirurgie in het verleden;
2. Specifieke stabilisatietraining van de lumbale wervelzuil gedurende het afgelopen jaar;
3. Ernstige onderliggende aandoeningen (zoals neurologische of inflammatoire aandoeningen);
4. Problemen van het bewegingsapparaat die het heffen of voorover buigen belemmeren;
5. Zwangerschap;
6. Uitstralende klachten door zenuwwortelcompressie (radiculopathie);
7. Een Bodymass index (BMI)  $\geq 30$ .

## 2.2 Medische ethiek

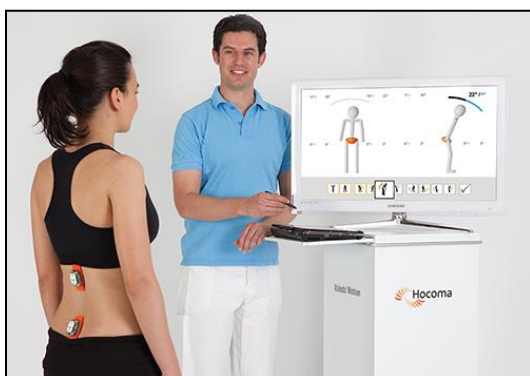
Deze studie werd goedgekeurd door de Commissie Medische Ethiek van de Universiteit Hasselt en de Medische Ethische Toetsingscommissie van het Jessa Ziekenhuis gelegen te Hasselt.

## 2.3 Procedure

Alle participanten startten met een vragenlijst om sociodemografische informatie te verzamelen. Daarnaast werden ook de Tampa Schaal voor Kinesiofobie (TSK), de Roland Morris Disability Questionnaire (RMDQ), de visuele analoge schaal (VAS) voor de intensiteit van de huidige rugpijn en de gemiddelde rugpijn van de afgelopen zeven dagen afgenomen. Nadien werden de inertieële sensoren van het Valedo®Motion systeem (versie 1.2, Hocoma, Zwitserland) op het lichaam van de participant bevestigd.

### 2.3.1 Valedo motion

De lumbar research tool van het Valedo®Motion toestel (figuur 1) werd gebruikt om de lumbale kinematica te meten én om feedback te geven bij de sensorgroep. Volgens Bauer et al. (2015) is de Valedo®Motion een valide meetinstrument om de bewegingen in de primaire bewegingsrichtingen te meten (Bauer, Rast, Ernst, Kool, et al., 2015). Het systeem bestaat uit drie draadloze inertieële sensoren die via bluetooth geconnecteerd worden met een computer. De sensoren bevatten elk een tri-axiale gyroscoop, magnetometer en een accelerometer waarmee, tot op 0,1° nauwkeurigheid gemeten kan worden (figuur 2). De sampling rate werd op 50 hertz (Hz) geplaatst. Voorafgaand aan elk meetonderzoek werden de sensoren gekalibreerd ten opzichte van het magnetische noorden.



Figuur 1 Valedo®Motion toestel



Figuur 2 De inertieële sensoren

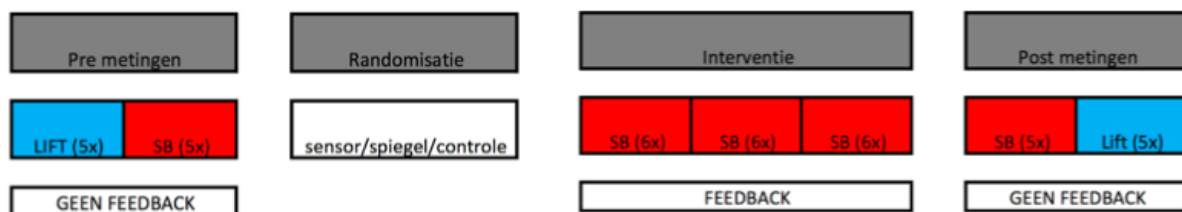
De sensoren werden in staande positie en d.m.v. dubbelzijdige tape aangebracht ter hoogte van processus spinosi L1 en S2 alsook 20 cm boven de laterale femurcondyl (figuur 3).



**Figuur 3** Plaatsing van de sensoren

### 2.3.2 Meetprotocol

Het meetprotocol (figuur 4) bestond uit twee motorische controletaken, eerst een functionele taak (LIFT) en daarna een analytische taak (standing bow). De lumbale kinematica kan op een zeer betrouwbare manier gemeten worden tijdens deze twee taken (ICC SB= 0.89, ICC LIFT= 0.92 (Matheve et al., *under review*)).

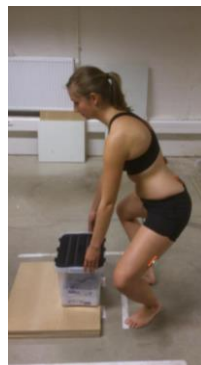


**Figuur 4** Meetprotocol (SB=Standing bow)



### 2.3.2.1 Lift

Frontaal voor de participant werd een doos van 3 kilogram geplaatst op 15 cm afstand van de hallux (figuur 5). De doos werd zo gepositioneerd dat de bovenrand op gelijke hoogte stond met de markering 10 cm onder de basis van de patella. De participant kreeg de instructies om ontspannen achter de markering op de grond te gaan staan en recht voor zich uit te kijken (startpositie). Naderhand werd er gevraagd om de doos op te tillen via de handvaten, recht te komen, de doos weer neer te zetten en vervolgens terug te keren naar de startpositie. Tijdens de gehele beweging werd gevraagd om de lumbale curvatuur te behouden (niet naar lumbale flexie/extensie te bewegen) (figuur 5). Na de instructies werd deze taak één maal gedemonstreerd door de hoofdonderzoeker. Onmiddellijk hierna werd de patiënt gevraagd om deze taak vijf maal uit te voeren op een zelf gekozen snelheid (LIFTpre).



Figuur 5 Lift



Figuur 6 Standing bow (SB)

### 2.3.2.2 Standing bow (SB)

Frontaal voor de participant werd een krukje geplaatst op 15 cm van de hallux (figuur 6). In het midden van het zitvlak van de kruk werd d.m.v. tape een markering aangebracht. De kruk werd zo gepositioneerd dat de bovenrand op gelijke hoogte stond met de markering 10 cm boven de patella. De participant kreeg de instructies om met de voeten achter de markering te gaan staan en een lichte knieflexie ( $\pm 20^\circ$ ) aan te nemen (startpositie). Daarna kreeg de participant de aanwijzingen om voorover te buigen in de heupen, de aangegeven markering op het krukje aan te tikken met de vingers van beide handen en vervolgens weer recht te komen naar de startpositie. Er werd gevraagd om tijdens het uitvoeren van deze beweging de lumbale curvatuur te behouden (niet naar lumbale flexie/extensie te bewegen) (figuur 6). Na deze instructies werd deze taak één maal gedemonstreerd door de hoofdonderzoeker. Onmiddellijk hierna werd de patiënt gevraagd om deze taak vijf maal uit te voeren op een zelf gekozen snelheid (SBpre).

### 2.3.3 Premetingen en randomisatie

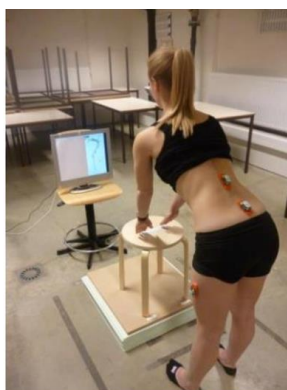
Na de baseline-metingen (LIFTpre en SBpre) werden de participanten gerandomiseerd d.m.v. gesloten en sequentieel genummerde enveloppen. De onderzoeker trok telkens de volgende enveloppe met daarin de toegewezen interventie: sensor-, spiegel- of controlegroep.

### 2.3.4 Interventie

De onderzoeker noch de participant waren geblindeerd tijdens de interventie. De participanten voerden de SB-taak (SBtrial) uit in drie trials van zes herhalingen. Tussen de trials kregen ze één minuut rust. Tijdens de interventie was enkel de toegepaste vorm van extrinsieke feedback verschillend per groep.

#### Sensorgroep:

Deze groep kreeg extrinsieke feedback via het Valedo®Motion systeem. Frontaal voor de participant werd een computerscherm geplaatst (figuur 7). Via dit scherm werd visuele feedback voorzien d.m.v. een avatar (figuur 8). De participant kreeg eerst uitleg over de werking van de avatar. Een groen blokje in de buik van de avatar gaf de positie van de lage rug aan. Indien het groen blokje anterior of posterior uit de avatar bewoog, wilde dit aangeven dat de curvatuur van de lumbale wervelkolom niet behouden bleef. Naderhand werd uitgelegd hoe de positie van de lage rug, dus ook de positie van het groen blokje kon worden gewijzigd d.m.v. een bekkenkanteling. De correcte uitvoering van de bekkenkanteling werd vooraf gedemonstreerd.



**Figuur 7** Sensor-gebaseerd posturaal feedbacksysteem



**Figuur 8** Visuele feedback avatar

### **Spiegelgroep:**

Een verschuifbare spiegel werd rechts van de participant gepositioneerd zodat de wervelkolom duidelijk zichtbaar was (figuur 9). De participant kreeg de informatie dat de positie van de lage rug kon worden gewijzigd d.m.v. een bekkenkanteling. Ook hier werd de correcte uitvoering van een bekkenkanteling eerst gedemonstreerd.



**Figuur 9** Spiegelfeedback

### **Controlegroep:**

Deze groep kreeg geen enkele vorm van feedback. De participant kreeg dezelfde uitleg als de sensor- en spiegelgroep, meer bepaald dat de positie van de lage rug kon worden gewijzigd d.m.v. een bekkenkanteling. De correcte uitvoering van een bekkenkanteling werd hier ook gedemonstreerd.

#### *2.3.5 Postmetingen*

Tijdens de postmetingen werd eerst de standing bow (SBpost) vijf keer uitgevoerd zonder enige vorm van extrinsieke feedback. Hierna werd de lift (LIFTpost) vijf keer uitgevoerd, ook zonder extrinsieke feedback.

Na de kinematische metingen gaven de participanten een score op een visuele analoge schaal (VAS) m.b.t. de intensiteit van hun rugpijn, de angst voor schade en de bruikbaarheid van de verkregen feedback tijdens het oefenen. Dit laatste werd enkel bevraagd bij de feedbackgroepen (sensor- en spiegelgroep).

## 2.4 Kinematische data acquisitie en analyse

Tijdens de pre- en postmetingen werd de lumbale kinematica in het sagittale vlak gemeten door de verplaatsing van de L1-sensor ten opzichte van de S1-sensor in het sagittale vlak te berekenen. Als de L1-sensor naar anterior roteerde t.o.v. de S1-sensor werd dit gezien als een flexie en was de waarde positief. Als de L1-sensor posterieur roteerde t.o.v. de S1-sensor werd dit gezien als een extensie, de waarde was negatief.

De maximale deviatie van de startpositie werd voor elke herhaling berekend. Nadien werd op basis van vijf herhalingen een gemiddelde van de lumbale hoekveranderingen berekend zowel voor de pre- als de postmetingen van de analytische en functionele taak.

## 2.5 Uitkomstmaten

### 2.5.1 Primaire uitkomstmaten

Lumbale kinematica: Het verschil in gemiddelde waarden van de lumbale hoek tussen SBpre en SBpost werd gebruikt om het leereffect van elke vorm van feedback toegepast tijdens een analytische taak te meten. Het verschil in de gemiddelde waarden van de lumbale hoek tussen LIFTpre en LIFTpost werd gebruikt om het carry-over effect van een analytische naar een functionele motorische taak te meten. Het verschil in de gemiddelde waarden van de lumbale hoek tussen de SBpre en SBpost en tussen de LIFTpre en LIFTpost werd gebruikt om de correlatie tussen de vooruitgang van de SB en de LIFT te berekenen.

### 2.5.2 Secundaire uitkomstmaten

Er waren drie secundaire uitkomstmaten. Deze werden bevroegd d.m.v. een visuele analoge schaal na de interventie.

(A) Intensiteit van rugpijn tijdens de interventie: De range van de score lag tussen 0 “helemaal geen pijn” en 10 “ergst denkbare pijn”.

(B) Angst voor schade tijdens de interventie: De range van de score lag tussen 0 “helemaal geen angst” en 10 “zeer veel angst”.

(C) Bruikbaarheid van de verkregen feedback tijdens de interventie: De range van de score lag tussen 0 “niet zinvol” en 10 “zeer zinvol”.

## **2.6 Data- analyse**

De data van elke participant werden onafhankelijk door beide auteurs verwerkt met SPSS, versie 24 (Chicago, IL).

De verdeling van elke variabele werd berekend met de Shapiro-Wilk test.

Als de variabele normaal verdeeld was, werd een one-way ANOVA toegepast om na te gaan of er een verschil was tussen de groepen, met een Tukey-test voor eventuele post-hoc analyse. Een gepaarde t-test werd gebruikt voor intra-groepsverschillen.

Indien de data niet normaal verdeeld waren, werd de Kruskal-Wallis toegepast voor een vergelijking tussen de drie groepen, en de Mann-Whitney U-test voor de vergelijking tussen twee groepen (bruikbaarheid van de feedback). Effect sizes (Cohens' d) werden berekend voor de inter-groepsverschillen in de lumbale kinematica.

De correlatie tussen de vooruitgang in SB en LIFT werd berekend via de Pearson-correlation coëfficiënt.

### 3 RESULTATEN

#### 3.1 Baseline

Er waren geen significante verschillen in baseline karakteristieken tussen de groepen (tabel 1).

**Tabel 1**

Baseline metingen: sociodemografische data, vragenlijsten, kinematische metingen

	Controle (n=14)		Spiegel (n=14)		Sensor (n=13)		p-waarde
	GEM	SD (±)	GEM	SD (±)	GEM	SD (±)	
<i>Sociodemografische data</i>							
Leeftijd (jaren)	44.5	11.7	33.6	9.7	38.7	16.8	0.11 <sup>a</sup>
Lengte (m)	1.8	0.1	1.7	0.1	1.7	0.1	0.84 <sup>b</sup>
Gewicht (kg)	77.9	12.8	70.9	11.5	74.3	14.2	0.36 <sup>b</sup>
Geslacht (m/v)	5/9		8/6		8/5		0.35 <sup>c</sup>
<i>Vragenlijsten</i>							
VASpre	3.5	1.8	3.0	1.8	3.2	2.2	0.66 <sup>a</sup>
VAS7d	4.8	1.3	4.4	1.7	4.2	1.4	0.59 <sup>b</sup>
Ontstaan rugpijn (jaren)	16.4	12.4	13.4	12.4	8.3	5.9	0.26 <sup>a</sup>
TSK	37.1	5.8	34.6	7.5	36.2	8.7	0.65 <sup>b</sup>
RMDQ	7.1	3.8	6.6	5.1	5.4	4.0	0.41 <sup>a</sup>
<i>Kinematische metingen</i>							
SBpre (°)	17.2	7.0	16.8	5.7	15.0	7.4	0.67 <sup>b</sup>
LIFTpre (°)	22.8	8.1	20.9	7.5	20.0	8.8	0.65 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Kruskal-Wallis test tussen groepen,

<sup>b</sup>One-Way ANOVA test tussen groepen,

<sup>c</sup>Chi-Square test tussen groepen,

GEM= gemiddelde; SD= Standaarddeviatie; VASpre= Visuele analoge schaal voor pijn, vlak voor de interventie; VAS7d= Visuele analoge schaal voor pijn, laatste week voor interventie; TSK= Tampa Schaal voor Kinesiofobie; RMDQ=Roland Morris Disability Questionnaire; SBpre= Standing Bow premeting; LIFTpre= Lift premeting.

## 3.2 Effect van feedback op bewegingscontrole (SB)

### 3.2.1 Intra – groepsverschillen

Binnen de sensorgroep was er een significante verbetering ( $p < 0.01$ ) van de gemiddelde maximale lumbale hoek tussen de pre- en postmeting voor de analytische motorische taak (tabel 2).

**Tabel 2**

Intra-groepsverschillen SB – Gemiddelde waarden van ROM met standaarddeviaties (°)

	SBpre		SBpost		p-waarde
	GEM	SD(±)	GEM	SD(±)	
<i>SB</i>					
Controle	17.2	7.0	16.9	7.5	0.82 <sup>a</sup>
Spiegel	16.8	5.7	15.0	2.9	0.19 <sup>a</sup>
Sensor	15.0	7.4	7.0	4.7	<0.01 <sup>a*</sup>

<sup>a</sup> Resultaten van gepaarde t-test.

GEM= Gemiddelde; SD= Standaarddeviatie; SB= standing bow

### 3.2.2 Inter – groepsverschillen

Er was een significant verschil tussen de groepen ( $F=6.57$ ,  $p < 0.01$ ). De post-hoc test (Tukey) toonde aan dat er een significant verschil was in de lumbale hoekverandering in de sensorgroep vergeleken met de spiegelgroep ( $p=0.02$ ) en controlegroep ( $p < 0.01$ ) (tabel 3).

**Tabel 3**

Inter-groepsverschillen SB – Verschil (°)

	Verschil (°)	p-waarde	ES
<i>SB</i>			
Controle - spiegel	1.56 <sup>a</sup>	0.76	0.33
Spiegel - sensor	6.22 <sup>b</sup>	0.02*	0.95
Sensor - controle	7.78 <sup>c</sup>	<0.01*	1.22

ES= effectsize; SB= standing bow; <sup>a</sup> controle = spiegel; <sup>b</sup> spiegel < sensor; <sup>c</sup> sensor > controle

### 3.2.2.1 Intensiteit van rugpijn, angst voor schade en de bruikbaarheid van de feedback

Er was geen significant verschil tussen de groepen voor de intensiteit van rugpijn ( $p=0.47$ ) en de angst voor schade ( $p=0.17$ ) tijdens het oefenen. De bruikbaarheid van de feedback was niet significant verschillend ( $p=0.30$ ) tussen de spiegel- en sensorgroep (tabel 4).

**Tabel 4**

Inter-groepsverschillen secundaire uitkomstmaten

	Controle (n=14)		Spiegel (n=14)		Sensor (n=13)*		p-waarde
	GEM	SD( $\pm$ )	GEM	SD( $\pm$ )	GEM	SD( $\pm$ )	
Intensiteit rugpijn (0-10)	3.4	2.0	2.7	2.9	2.6	2.7	0.47* <sup>a</sup>
Angst voor schade (0-10)	0.7	1.4	2.1	3.3	0.3	0.9	0.17* <sup>a</sup>
Bruikbaarheid FB (0-10)	n.v.t.		6.5	3.5	7.8	2.6	0.30* <sup>b</sup>

\*1 ontbrekende data in de sensorgroep

<sup>a</sup> Resultaten van Kruskal-Wallis test

<sup>b</sup> Resultaten van Mann-Whitney U-test

GEM= Gemiddelde; SD= Standaarddeviatie; FB= feedback; n.v.t.= niet van toepassing



### 3.3 Carry-over effect (LIFT)

#### 3.3.1 Intra – groepsverschillen

Er was een significant verschil ( $p < 0.01$ ) van de gemiddelde maximale lumbale hoek binnen de sensorgroep voor de functionele motorische taak (tabel 5).

**Tabel 5**

Intra-groepsverschillen LIFT – Gemiddelde waardes van ROM met standaarddeviaties (°)

	LIFTpre		LIFTpost		p-waarde
	GEM	SD(±)	GEM	SD(±)	
<i>LIFT</i>					
Controle	22.8	8.1	22.1	10.9	0.62 <sup>a</sup>
Spiegel	20.9	7.5	19.2	4.7	0.21 <sup>a</sup>
Sensor	20.0	4.7	13.6	8.3	<0.01 <sup>a*</sup>

<sup>a</sup> Resultaten van gepaarde t-test.

GEM= Gemiddelde; SD= Standaarddeviatie

#### 3.3.2 Inter – groepsverschillen

Er was een significant verschil tussen de groepen ( $F=3.81$ ,  $p=0.03$ ). De post-hoc test (Tukey) toonde een significant verschil ( $p=0.03$ ) aan tussen de sensor- en de controlegroep (tabel 6).

**Tabel 6**

Inter-groepsverschillen LIFT – Verschil (°)

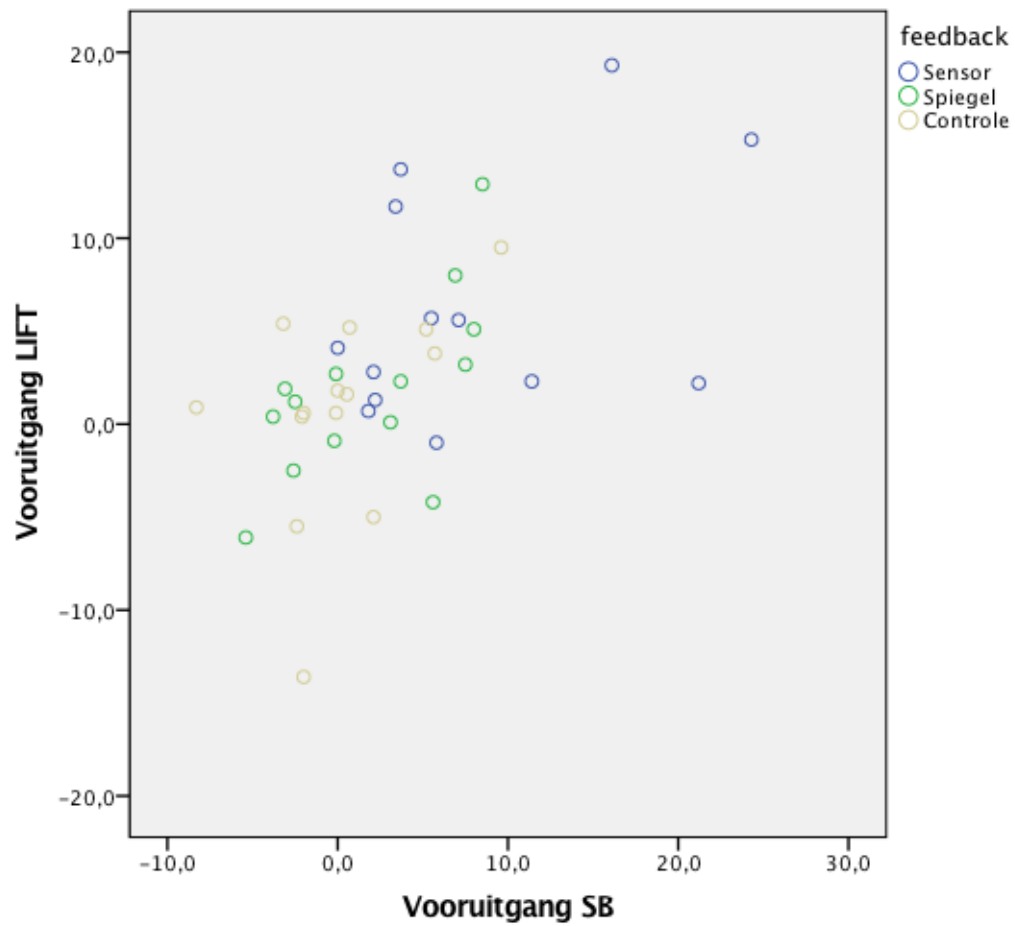
	Verschil (°)	p-waarde	ES
<i>LIFT</i>			
Controle - spiegel	0.95 <sup>a</sup>	0.90	0.18
Spiegel - sensor	4.72 <sup>b</sup>	0.09	0.83
Sensor - controle	5.67 <sup>c</sup>	0.03*	0.93

ES= effectsize

<sup>a</sup> controle = spiegel; <sup>b</sup> spiegel = sensor; <sup>c</sup> Sensor > controle

### 3.3.3 Correlatie tussen de vooruitgang op SB en LIFT

Er was een significante correlatie te zien tussen de vooruitgang in SB en LIFT voor de drie groepen ( $\rho = 0.57$ ,  $p < 0.01$ ). Deze wordt weergegeven in figuur 10.



**Figuur 10** Correlatie vooruitgang SB en LIFT



## 4 DISCUSSIE

Het doel van deze studie was het onderzoeken van de effectiviteit van sensor-gebaseerde posturale feedback tijdens het aanleren van lumbale bewegingscontrole bij patiënten met ACLRP. De sensor-gebaseerde posturale feedback wordt vergeleken met een conventionele feedbackvorm (spiegel) en met een controlegroep zonder feedback. Daarnaast werd onderzocht of de leereffecten van een analytische motorische taak overdraagbaar zijn naar een functionele motorische taak.

### 4.1 Effecten op de analytische bewegingstaak

Er werd enkel binnen de sensorgroep een significant leereffect aangetoond. Verder was sensor-gebaseerde posturale feedback effectiever dan de spiegelfeedback of geen feedback (controlegroep) om de bewegingscontrole te verbeteren.

Een belangrijk motorisch leerprincipe is de externe focus van aandacht, een vorm van feedback die de aandacht van de patiënt leidt naar de uitkomstmaat van de beweging (Hodges et al., 2013; Ribeiro, Sole, Abbott, & Milosavljevic, 2011a; Wulf, Chiviakowsky, Schiller, & Ávila, 2010). In het voorliggend onderzoek werd in de sensorgroep de externe focus van aandacht bijgestaan door een visueel doel, meer bepaald het groen blokje in de buik van de avatar dat de curvatuur van de lage rug aangaf. Indien het groen blokje anterior of posterior bewoog, wilde dit aangeven dat de curvatuur van de lumbale wervelkolom niet behouden bleef. In tegenstelling tot de sensorgroep werd de externe focus van aandacht in de spiegelgroep niet bijgestaan door een visueel doel. Dit visueel doel, samengaan met de externe focus van aandacht, kan een mogelijke verklaring zijn waarom de spiegelgroep geen significant leereffect vertoont vergeleken met de sensorgroep. Bovendien kan het visueel doel, oftewel het groen blokje, een extra stimulus zijn om een verhoogd bewustzijn te creëren voor het aanleren van lumbale bewegingscontrole. Het visueel doel moet wel overzichtelijk blijven, want overmaat aan informatie heeft een negatief effect op het aanleren van een vaardigheid (Huang, Wolf, & He, 2006).

In tegenstelling tot het huidige onderzoek, wordt het continu en onmiddellijk aanreiken van EF niet aangeraden (Ribeiro et al., 2011a). De reden is dat patiënten afhankelijk worden van de EF en hierdoor de eigen intrinsieke feedbacksystemen negeren (Ranganathan & Newell, 2009). Nochtans wordt bovenstaand gegeven in vraag gesteld als er sprake is van verstoring

van de intrinsieke feedbackmechanismen zoals bij patiënten met ACLRP. Dit kan bevestigd worden door het leereffect bij de sensorgroep. Mogelijks hebben de effecten van het toegepast motorisch leerprincipe (de externe focus van aandacht via een visueel doel) de overhand genomen, waardoor het negatieve effect van continue en onmiddellijke extrinsieke feedback wordt overschaduwd. Ook dit kan een verklaring bieden waarom de sensorgroep effectiever is bevonden vergeleken met de spiegelgroep.

Voor de secundaire uitkomstmaten werd er geen significant verschil aangetoond tussen de drie groepen voor “intensiteit van rugpijn” en “angst voor schade” tijdens het oefenen. Eveneens werd voor “bruikbaarheid van feedback” geen significant verschil aangetoond tussen beide feedbackgroepen.

In tegenstelling tot het onderzoek van Wand et al. (2012) heeft de visualisatie van de rug in het voorliggend onderzoek geen significant effect op de intensiteit van pijn. In het onderzoek van Wand et al. (2012) konden de patiënten de rug zien langs achter (door de spiegelconstructie), terwijl de patiënten in het voorliggend onderzoek enkel de rug van de zijkant konden zien. De positionering van de spiegel in het huidige onderzoek kon dus mogelijks een negatieve invloed hebben op het visualiseren van de rug tijdens de uitvoering. Dit kan een verklaring zijn waarom er geen significant effect was op de intensiteit van pijn in het voorliggend onderzoek.

Het ervaren van pijn of pijn-gerelateerde angst tijdens het uitvoeren van een bewegingstaak kan een invloed hebben op de bewegingspatronen van patiënten met ACLRP (Bauer, Rast, Ernst, Oetiker, et al., 2015; Thibodeau, Fetzner, Carleton, Kachur, & Asmundson, 2013). In voorliggend onderzoek is de intensiteit van pijn en de angst voor schade tijdens het uitvoeren van de oefeningen niet significant verschillend tussen de groepen. Deze aspecten zouden dan ook geen invloed mogen hebben op de gevonden verschillen in verbetering van de bewegingscontrole tussen de groepen.

Er werd geen significant verschil aangetoond voor de bruikbaarheid van beide feedbacksystemen. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de patiënten niet bewust werden van de vooruitgang op de analytische taak. Dit kan een invloed gehad hebben op het antwoord betreffende de bruikbaarheid van de feedbackvorm.

## 4.2 Carry-over effect

Het carry-over effect van een analytische naar een functionele taak kan worden aangetoond door een significante verbetering van de resultaten tussen de LIFTpre- en LIFTposttest. Enkel binnenin de sensorgroep werd een significant carry-over effect aangetoond. Daarnaast toonde het sensor-gebaseerde posturale feedbacksysteem een significant carry-over effect aan vergeleken met de controlegroep. Ook is er een trend naar significantie vergeleken met de spiegelgroep ( $p=0.09$ ). Algemeen werd een significante correlatie aangetoond tussen de vooruitgang van de SB en de LIFT in alle groepen.

Enkel de sensorgroep toont vooruitgang op de LIFT taak. Toch kan er niet verondersteld worden dat de sensor-gebaseerde posturale feedback effectiever is om een carry-over effect te verkrijgen, vergeleken met de andere groepen. In tegenstelling tot de sensorgroep, vertoont de spiegelgroep gemiddeld geen verschil op de SB en zal vervolgens ook geen verschil aantonen op de LIFT. Toch toont de correlatie aan dat als er vooruitgang is op de SB, er ook vooruitgang is op de LIFT. Er mag dus niet geconcludeerd worden dat de sensor-gebaseerde posturale feedback effectiever is voor een carry-over effect van een analytische naar een functionele motorische taak vergeleken met andere vormen van extrinsieke feedback of geen feedback (controlegroep).

De correlatie tussen de vooruitgang van de SB en de LIFT in alle groepen kan verklaard worden aan de hand van een motorisch leerprincipe dat aangewezen is tijdens het oefenen inzake de lumbale bewegingscontrole (Hodges et al., 2013). Dit motorisch leerprincipe is taaksegmentatie. Het opdelen van een taak helpt de patiënt om elke deeltaak te beheersen vooraleer de volledige taak aangeleerd wordt. Belangrijk hierbij is dat de deeltaak in verband gebracht wordt met het uiteindelijke doel (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Daarnaast is het ook van belang dat de patiënt door deze specifieke deeltaken bewust gemaakt wordt van het aanleren van de bewegingscontrole (Hodges et al., 2013). In het voorliggend onderzoek is de SB voorafgaand aan de LIFT uitgevoerd, dit is gebaseerd op het principe taaksegmentatie. Dit principe werd in alle groepen toegepast en kan vervolgens een verklaring geven waarom er een correlatie aangetoond werd tussen de vooruitgang van de SB en de LIFT in de gehele groep.

### **4.3 Limitaties en sterktes van het onderzoek en aanbeveling voor vervolgonderzoek**

Voorafgaand aan het meetprotocol was de kalibratie en het uitmeten van de inertiële sensoren tijdrovend. Daarnaast was het onmogelijk om zowel de patiënt als de therapeut te blinderen tijdens de interventie. Ook kon er geen besluit geformuleerd worden betreffende de lange termijneffecten aangezien er geen follow-up toegepast werd. Ten slotte werd de sensor-gebaseerde extrinsieke feedback niet in een thuissituatie toegepast. Uit onderzoek is gebleken dat het gebruik van dit feedbacksysteem niet altijd gemakkelijk is, bijvoorbeeld tijdens de opstart van het systeem en de kalibratie van de sensoren (Hugli et al., 2015), wat mogelijks een barrière zou kunnen vormen voor het gebruik in de klinische praktijk.

In voorliggend onderzoek zijn de toegepaste inertiële sensoren (Valedo®Motion, Hocoma, Zwitserland) valide en betrouwbaar bevonden voor het meten van de bewegingscontrole in het sagittale vlak (Bauer, Rast, Ernst, Kool, et al., 2015). Ook de uitgevoerde motorische taken in voorliggend onderzoek zijn betrouwbaar (Matheve et al., *under review*). Tijdens de data-analyse zijn beïnvloedende factoren (geslacht, BMI, frequentie en duur van de huidige episode LRP) in acht genomen. Deze zouden de bewegingscontrole kunnen beïnvloeden (Bauer, Rast, Ernst, Oetiker, et al., 2015). Echter, in het voorliggend onderzoek was er geen verschil tussen de groepen, met als gevolg dat in het huidige onderzoek deze factoren geen invloed hadden op de bewegingscontrole. Daarnaast zijn er geen nadelige effecten gerapporteerd voor, tijdens of na het onderzoek.

Tot op heden wordt sensor-gebaseerde posturale feedback weinig geïntegreerd in de klinische praktijk om de bewegingscontrole aan te leren bij patiënten met ACLRP. Een aanbeveling kan zijn om deze vorm van extrinsieke feedback toch te integreren in de taakgeoriënteerde revalidatie van ACLRP.

Toekomstige studies zouden de lange termijneffecten van sensor-gebaseerde posturale feedback kunnen onderzoeken. Bovendien kunnen deze zich ook richten op gecombineerde bewegingen in de verschillende bewegingsvlakken. Daarnaast is wetenschappelijk onderzoek dat gericht is op het vergelijken van verschillende feedbacksystemen vereist inzake het aanleren van de bewegingscontrole bij patiënten met ACLRP.

## 5 CONCLUSIE

De sensor-gebaseerde posturale feedback is de meest effectieve vorm van extrinsieke feedback, in vergelijking met spiegelfeedback en geen feedback voor het aanleren van de lumbale bewegingscontrole bij patiënten met aspecifieke chronische lage rugpijn tijdens een analytische taak. Bovendien vertoont de sensor-gebaseerde posturale feedback een significant overdraagbaar effect van een analytische naar een functionele motorische taak.

Er is een significante correlatie te zien in de vooruitgang van de analytische en functionele taak in de gehele groep, wat mogelijks te wijten kan zijn aan het motorisch leerprincipe taaksegmentatie.

Toekomstige studies in dit vakgebied kunnen deze motorische leerprincipes integreren en eventueel een follow-up toepassen om langetermijneffecten te kunnen bepalen. Daarnaast is er meer onderzoek vereist naar het gebruik van sensor-gebaseerde posturale feedback in de thuissituatie.





## REFERENTIELIJST

- Airaksinen, O., Brox, J. I., Cedraschi, C., Hildebrandt, J., Klaber-Moffett, J., Kovacs, F., ... Zanolì, G. (2006). Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *European Spine Journal : Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 15 Suppl 2, S192-300. <https://doi.org/10.1007/s00586-006-1072-1>
- Azevedo, D. C., Lauria, A. C., Scarpelli Pereira, A. R., Andrade, G. T., Ferreira, M. L., Ferreira, P. H., & Van Dillen, L. (2013). Intraexaminer and interexaminer reliability of pressure biofeedback unit for assessing lumbopelvic stability during 6 lower limb movement tests. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 36(1), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.12.008>
- Balagué, F., Mannion, A. F., Pellise, F., & Cedraschi, C. (2012). Non-specific low back pain. *Lancet (London, England)*, 379(9814), 482–491. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60610-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60610-7)
- Bauer, C. M., Rast, F. M., Ernst, M. J., Kool, J., Oetiker, S., Rissanen, S. M., ... Kankaanpää, M. (2015). Concurrent validity and reliability of a novel wireless inertial measurement system to assess trunk movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 25(5), 782–790. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.06.001>
- Bauer, C. M., Rast, F. M., Ernst, M. J., Oetiker, S., Meichtry, A., Kool, J., ... Kankaanpää, M. (2015). Pain intensity attenuates movement control of the lumbar spine in low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 25(6), 919–927. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.10.004>
- Bons, S., Borg, M., Van den Donk, M., Koes, B., Kuijpers, T., Ostelo, R., ... Verweij, H. (2017). *NHG-standaard Aspecifieke lage rugpijn*.
- Brumagne, S., Cordo, P., Lysens, R., Verschueren, S., & Swinnen, S. (2000). The role of paraspinal muscle spindles in lumbosacral position sense in individuals with and without low back pain. *Spine*, 25(8), 989–994.

- Dagenais, S., Caro, J., & Haldeman, S. (2008). A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *The Spine Journal: Official Journal of the North American Spine Society*, 8(1), 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2007.10.005>
- Dekker-van Weering, M. G. H., Vollenbroek-Hutten, M. M. R., & Hermens, H. J. (2012). Do Personalized Feedback Messages about Activity Patterns Stimulate Patients with Chronic Low Back Pain to Change their Activity Behavior on a Short Term Notice? *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(2), 81–89. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9181-6>
- Donatell, G. J., Meister, D. W., O'Brien, J. R., Thurlow, J. S., Webster, J. G., Fellow, L., & Salvi, F. J. (2005). A simple device to monitor flexion and lateral bending of the lumbar spine. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 13(1), 18–23. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2005.843446>
- Giggins, O. M., Persson, U. M., & Caulfield, B. (2013). Biofeedback in rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
- Gilmore, P. E., & Spaulding, S. J. (2007). Motor learning and the use of videotape feedback after stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 14(5), 28–36. <https://doi.org/10.1310/tsr1405-28>
- Henry, S. M., & Teyhen, D. S. (2007). Ultrasound imaging as a feedback tool in the rehabilitation of trunk muscle dysfunction for people with low back pain. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 37(10), 627. <https://doi.org/10.2519/jospt.2007.2555>
- Herbert, W. J., Heiss, D. G., & Basso, D. M. (2008). Influence of feedback schedule in motor performance and learning of a lumbar multifidus muscle task using rehabilitative ultrasound imaging: a randomized clinical trial. *Physical Therapy*, 88(2), 261–269. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060308>
- Hodges, P., Van Dillen, L., McGill, S., Brumagne, S., Hides, J., & Moseley, L. (2013). Integrated clinical approach to motor control interventions in low back and pelvic pain. Elsevier Churchill Livingstone (Edinburgh).

- Hoy, D., Bain, C., Williams, G., March, L., Brooks, P., Blyth, F., ... Buchbinder, R. (2012). A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis and Rheumatism*, 64(6), 2028–2037. <https://doi.org/10.1002/art.34347>
- Huang, H., Wolf, S. L., & He, J. (2006). Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 3, 11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-3-11>
- Hugli, A. S., Ernst, M. J., Kool, J., Rast, F. M., Rausch-Osthoff, A.-K., Mannig, A., ... Bauer, C. M. (2015). Adherence to home exercises in non-specific low back pain. A randomised controlled pilot trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(1), 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2014.11.017>
- Karayannis, N. V, Jull, G. A., & Hodges, P. W. (2012). Physiotherapy movement based classification approaches to low back pain: comparison of subgroups through review and developer/expert survey. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13, 24. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-24>
- Kent, P., Laird, R., & Haines, T. (2015). The effect of changing movement and posture using motion-sensor biofeedback, versus guidelines-based care, on the clinical outcomes of people with sub-acute or chronic low back pain-a multicentre, cluster-randomised, placebo-controlled, pilot trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 16(1), 131. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0591-5>
- Krismmer, M., & van Tulder, M. (2007). Strategies for prevention and management of musculoskeletal conditions. Low back pain (non-specific). *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*, 21(1), 77–91. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2006.08.004>
- Li, R., Cai, Z., Lee, W., & Lai, D. T. H. (2016). A wearable biofeedback control system based body area network for freestyle swimming. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2016*, 1866–1869. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591084>
- Lin, S.-I., Lo, C.-C., Lin, P.-Y., & Chen, J.-J. J. (2012). Biomechanical assessments of the effect of visual feedback on cycling for patients with stroke. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(4), 582–588. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.03.009>

- Luomajoki, H., Kool, J., de Bruin, E. D., & Airaksinen, O. (2008). Movement control tests of the low back; evaluation of the difference between patients with low back pain and healthy controls. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *9*, 170. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-9-170>
- Luomajoki, H., Kool, J., de Bruin, E. D., & Airaksinen, O. (2010). Improvement in low back movement control, decreased pain and disability, resulting from specific exercise intervention. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology : SMARTT*, *2*, 11. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-2-11>
- Macedo, L. G., Latimer, J., Maher, C. G., Hodges, P. W., McAuley, J. H., Nicholas, M. K., ... Stafford, R. (2012). Effect of motor control exercises versus graded activity in patients with chronic nonspecific low back pain: a randomized controlled trial. *Physical Therapy*, *92*(3), 363–377. <https://doi.org/10.2522/ptj.20110290>
- Macedo, L. G., Maher, C. G., Hancock, M. J., Kamper, S. J., McAuley, J. H., Stanton, T. R., ... Hodges, P. W. (2014). Predicting response to motor control exercises and graded activity for patients with low back pain: preplanned secondary analysis of a randomized controlled trial. *Physical Therapy*, *94*(11), 1543–1554. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140014>
- Magnusson, M. L., Chow, D. H., Diamandopoulos, Z., & Pope, M. H. (2008). Motor control learning in chronic low back pain. *Spine*, *33*(16), E532-8. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31817dfd9a>
- Manchikanti, L., Singh, V., Falco, F. J. E., Benyamin, R. M., & Hirsch, J. A. (2014). Epidemiology of low back pain in adults. *Neuromodulation: Journal of the International Neuromodulation Society*, *17 Suppl 2*, 3–10. <https://doi.org/10.1111/ner.12018>
- O’Sullivan, P. (2005). Diagnosis and classification of chronic low back pain disorders: maladaptive movement and motor control impairments as underlying mechanism. *Manual Therapy*, *10*(4), 242–255. <https://doi.org/10.1016/j.math.2005.07.001>
- Ranganathan, R., & Newell, K. M. (2009). Influence of augmented feedback on coordination strategies. *Journal of Motor Behavior*, *41*(4), 317–330. <https://doi.org/10.3200/JMBR.41.4.317-330>
- Ribeiro, D. C., Sole, G., Abbott, J. H., & Milosavljevic, S. (2011a). Extrinsic feedback and management of low back pain: A critical review of the literature. *Manual Therapy*, *16*(3), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.12.001>

- Ribeiro, D. C., Sole, G., Abbott, J. H., & Milosavljevic, S. (2011b). Extrinsic feedback and management of low back pain: A critical review of the literature. *Manual Therapy, 16*(3), 231–9. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.12.001>
- Sahrmann, S. (2002). *Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes*. <https://doi.org/September 4, 2001>
- Sahrmann, S. (2002). *Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes*. St. Louis London: Mosby.
- Saragiotto, B. T., Maher, C. G., Yamato, T. P., Costa, L. O. P., Menezes Costa, L. C., Ostelo, R. W. J. G., & Macedo, L. G. (2016). Motor control exercise for chronic non-specific low-back pain. *The Cochrane Database of Systematic Reviews, (1)*, CD012004. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012004>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice*. *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice*.
- Thibodeau, M. A., Fetzner, M. G., Carleton, R. N., Kachur, S. S., & Asmundson, G. J. G. (2013). Fear of injury predicts self-reported and behavioral impairment in patients with chronic low back pain. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society, 14*(2), 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2012.10.014>
- van Zundert, J., & van Kleef, M. (2005). Low back pain: from algorithm to cost-effectiveness? *Pain Practice: The Official Journal of World Institute of Pain, 5*(3), 179–189. <https://doi.org/10.1111/j.1533-2500.2005.05303.x>
- Wand, B. M., Tulloch, V. M., George, P. J., Smith, A. J., Goucke, R., O'Connell, N. E., & Moseley, G. L. (2012). Seeing it helps: movement-related back pain is reduced by visualization of the back during movement. *The Clinical Journal of Pain, 28*(7), 602–608. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e31823d480c>
- Wulf, G., Chiviacowsky, S., Schiller, E., & Ávila, L. (2010). Frequent external focus feedback enhances motor learning. *Frontiers in Psychology, 1*, 190. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00190>



# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**De effectiviteit van sensor-gebaseerde posturale feedback bij specifieke chronische lage rugpijn: <br />een randomised controlled trial**

Richting: **master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie-revalidatiewetenschappen en kinesitherapie bij musculoskeletale aandoeningen**

Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Gielen, Veerle**

**Pierreux, Gerard**