

# *Samenvatting*

---

*Kunnen hoge precisie-eisen  
in het werk leiden tot RSI?*

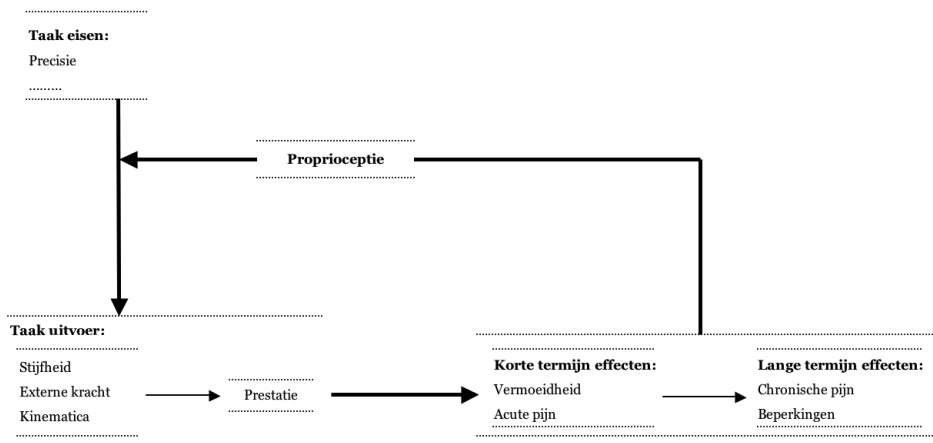
---

## Kunnen hoge precisie-eisen in het werk leiden tot RSI?

---

### Samenvatting

Er zijn aanwijzingen dat het uitvoeren van fijn-motorische hand-arm taken, ofwel taken met hoge precisie-eisen, één van de mogelijke oorzaken is van klachten aan de nek, schouders, armen en/of handen, in de volksmond ook wel RSI genoemd. Hoe hoge precisie-eisen in (werk-) taken tot het ontstaan van RSI zouden kunnen leiden beschrijft het Precisie-Pijn Model, dat centraal staat in dit proefschrift (zie figuur 1 en hoofdstuk 1). Het Precisie-Pijn Model veronderstelt dat bij hoge precisie-eisen, de stijfheid (weerstand tegen bewegen) in het eindpunt, bijvoorbeeld een pen of computermuis die wordt vastgehouden, verhoogd moet worden om de nauwkeurigheid van werken te verhogen. Dit kan gedaan worden door spieren aan weerszijde van de gewrichten gelijktijdig harder aan te spannen (co-contractie) of door de wrijving met de ondergrond te verhogen, bijvoorbeeld door tijdens schrijven harder op de pen te drukken. Als de taak voor langere tijd moet worden uitgevoerd, kan de toegenomen spieractiviteit ervoor zorgen dat vermoeidheid of acute pijn ontstaat. Vermoeidheid heeft een verminderde proprioceptie – het gevoel van positie en beweging van onze ledematen zonder dat we ernaar hoeven te kijken – tot gevolg. Hierdoor is het nog moeilijker nauwkeurig te werken en zal de stijfheid verder moeten toenemen. Verhogen van de stijfheid is niet de enige manier om aan hogere precisie-eisen te voldoen. Hogere precisie-eisen kunnen ook zorgen voor een andere bewegingsuitvoering (kinematica) en het is mogelijk dat taken met verhoogde krachten worden uitgevoerd als de proprioceptieve informatie ontoereikend is om de beweging te sturen. Hogere spieractiviteit voor het verhogen van de stijfheid en om de hogere krachten te kunnen leveren zouden opnieuw de vermoeidheid kunnen versnellen en een vicieuze cirkel kunnen veroorzaken. Het voortduren van deze vicieuze cirkel zou kunnen leiden tot chronische pijn, wat de nodige beperkingen met zich mee kan brengen.



**Figuur 1**

*Het Precisie-Pijn Model.*

In dit proefschrift zijn enkele stappen in het Precisie-Pijn Model onderzocht. Hierbij stonden de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Leidt een verhoging van de precisie-eisen tot een aangepaste kinematica en tot een verhoogde stijfheid?
- Leidt vermoeidheid tot een verminderde nauwkeurigheid van werken?
- Hebben mensen met RSI een verminderde proprioceptie en werken ze minder nauwkeurig dan mensen zonder RSI?
- Voeren mensen met RSI taken met hoge precisie-eisen uit met een verhoogde stijfheid of meer kracht?
- Kan langdurig werken met hoge precisie-eisen gerelateerd worden aan het ontstaan van RSI?

Om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvragen zijn verschillende experimentele studies uitgevoerd.

## **Bij hoge precisie-eisen wordt de kinematica aangepast en de stijfheid verhoogd**

Allereerst is in **hoofdstuk 2** onderzocht wat het effect is van hoge precisie-eisen op de taakprestatie en spieractiviteit in de nek, schouder en arm tijdens het uitvoeren van een gesimuleerde kraantaak met een joystick. Bovendien is onderzocht of het aanpassen van de grootte van het handvat van de joystick en de overbrengingverhouding tussen de joystick en de beweging van de kraan (display-control gain; een hoge display-control gain wil zeggen dat een kleine beweging van de joystick een grote beweging van de kraan tot gevolg heeft) een positief effect hebben op de prestatie en spieractiviteit

van de kraanmachinist. Acht gezonde ervaren kraanmachinisten bestuurden met een joystick een kraan die zichtbaar was op een beeldscherm en kregen de opdracht met de kraan zo snel en zo nauwkeurig mogelijk een last tussen twee containers heen en weer te verplaatsen (Figuur 2). Bij hoge precisie-eisen, waarbij de last in kleinere containers geplaatst moest worden, werd de last minder vaak verplaatst, terwijl het aantal gemaakte fouten gelijk bleef. Wanneer met een joystick met een kleiner handvat werd gewerkt of wanneer met een hogere display-control gain werd gewerkt was de prestatie op de taak hoger, dat wil zeggen de last werd vaker verplaatst, terwijl de spieractiviteit niet hoger was. Precisie-eisen hebben in de gesimuleerde kraantaak dus geen effect op spieractiviteit, in tegenstelling tot wat op basis van het Precisie-Pijn Model verwacht wordt. Dit is waarschijnlijk het directe gevolg van het feit dat bij hoge precisie-eisen de taak langzamer uitgevoerd wordt. Geadviseerd wordt om in de praktijk een joystick met een klein handvat te gebruiken en de display-control gain te optimaliseren naar de precisie-eisen in het werk.

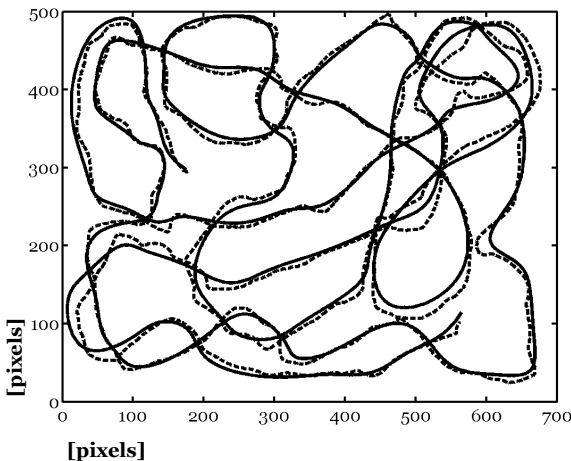


**Figuur 2**

*De onderzoeksofstelling zoals gebruikt in de studie van hoofdstuk 2. De kraanmachinist voert een gesimuleerde kraantaak uit met een joystick.*

In **hoofdstuk 3** is het effect van precisie onderzocht op taakprestatie, kinematica en stijfheid in een volgtaak op de computer. In de volgtaak werd met de cursor, die aangestuurd kon worden door met een pen over een tablet te bewegen, een doel gevolgd, terwijl het doel met een constante snelheid op een voor de proefpersoon onvoorspelbaar traject over het beeldscherm bewoog (Figuren 3 en 4). Tijdens het volgen van het doel bewegen proefpersonen nooit met een constante snelheid met de pen, maar fluctueert de snelheid van bewegen. Als maat voor de kinematica is in deze studie de grootte en de duur van deze snelheidsfluctuaties berekend. Als maat voor de stijfheid is de spieractiviteit in de onderarm en de druk van de pen op het tablet gemeten. Zesentwintig gezonde proefpersonen voerden de volgtaak uit waarin zowel een groot als een

klein doel gevolgd werd. Tijdens het volgen van het kleine doel waren de gemiddelde afstand tot het doel en de standaard deviatie van deze afstand significant kleiner dan bij het grote doel en de proefpersonen bleven meer achter het midden van het doel “hangen”. Ook de kinematica was anders bij het volgen van het kleine doel, met grotere snelheidsfluctuaties van een kortere duur en waren zowel de druk op de pen en de co-contractie in de onderarm toegenomen. Deze verhoogde co-contractie trad niet alleen op in de arm waarmee de taak werd uitgevoerd, maar ook in de arm die tijdens de taak ogenschijnlijk rustig naast het tablet op tafel lag. De conclusie is dat bij hogere precisie-eisen de kinematica aangepast wordt en de stijfheid in de arm verhoogd wordt.



**Figuur 3**

Voorbeeld van de volgtaak; met de doorgetrokken lijn het traject van het doel en de stippellijn het traject van de cursor van een willekeurige proefpersoon.

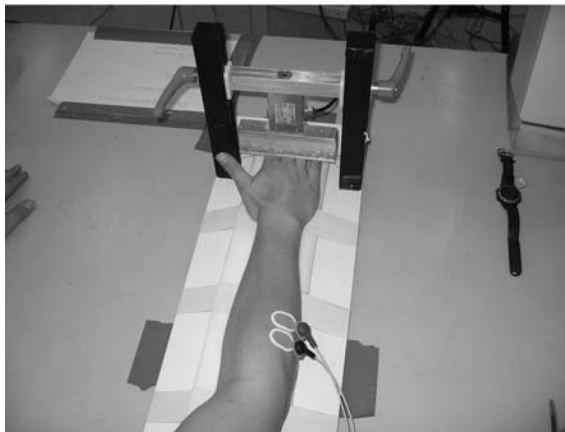


**Figuur 4**

De onderzoekopstelling zoals gebruikt in hoofdstukken 3 en 5. De proefpersoon voert een volgtaak uit op de computer met een pen en een tablet.

### **Bij lokale spier-vermoeidheid wordt minder nauwkeurig gewerkt**

In **hoofdstuk 4** is gebruik gemaakt van dezelfde volgtaak als in hoofdstuk 3 om het effect van lokale spierversmoeidheid op taakprestatie en spieractiviteit in de onderarm te onderzoeken. Elf gezonde vrouwelijke proefpersonen voerden de volgtaak uit met een computermuis, één keer voor en één keer direct na een vermoeidheidsprotocol waarbij de strekkers van de pols vermoeid werden (Figuur 5). Na het vermoeidheidsprotocol bleek het percentage van de tijd dat de cursor op het doel is in de eerste helft van de volgtaak significant lager, maar in de tweede helft van de taak hetzelfde als voor het vermoeidheidsprotocol. De gemiddelde afstand tot het doel en de standaarddeviatie van deze afstand waren beide significant groter na het vermoeidheidsprotocol. De verminderde taakprestatie ging gepaard met hogere pieken in de spieractiviteit in de strekker van de pols (*M. extensor carpi radialis*), terwijl het statische en mediane niveau niet aangedaan waren. De resultaten van deze studie laten zien, dat als gevolg van lokale spierversmoeidheid minder nauwkeurig gewerkt kan worden. In tegenstelling tot wat verwacht wordt op basis van het Precisie-Pijn Model, worden de negatieve effecten van vermoeidheid op de taakprestatie niet gecompenseerd door een algehele toename van de spieractiviteit, maar vindt een selectieve toename van de piek spieractiviteit in de onderarm extensor spier plaats.



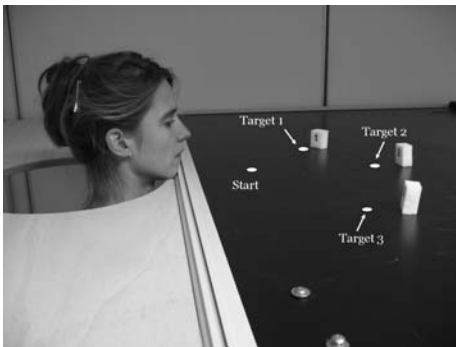
**Figuur 5**

*De opstelling voor het vermoeidheidsprotocol in hoofdstuk 4, waarin de strekkers van de onderarm vermoeid worden.*

### **Mensen met RSI voeren een taak met hoge precisie-eisen minder nauwkeurig uit vermoedelijk als gevolg van een verminderde proprioceptie. De kinematica en de stijfheid zijn vergelijkbaar als bij mensen zonder RSI.**

In de studie in **hoofdstuk 5** hebben drieëntwintig proefpersonen met RSI en zesentwintig gezonde proefpersonen een 2D aanwijkstraak uitgevoerd om te onderzoeken of

de nauwkeurigheid van het positiegevoel (als indirecte maat voor proprioceptie) bij mensen met RSI verschilt van mensen zonder RSI. Voor de aanwijstaak werden de proefpersonen geïnstrueerd om doelen die bovenop een plaat zichtbaar waren aan de onderzijde van de plaat aan te wijzen, zonder dat ze hierbij hun arm en hand konden zien (Figuur 6). Bovendien voerden beide groepen proefpersonen dezelfde volgtaak uit als in hoofdstukken 3 en 4 gebruikt werd met een pen op een tablet. Met deze volgtaak is onderzocht of taakprestatie, kinematica (grootte en duur van snelheidsfluctuaties), stijfheid (spieractiviteit en pendruk) en ervaren belasting veranderd zijn in mensen met RSI. De nauwkeurigheid van het positiegevoel en de prestatie op de volgtaak bleken verminderd bij mensen met RSI in vergelijking tot de mensen zonder RSI, terwijl de kinematica, de spieractiviteit en de pendruk in de volgtaak hetzelfde waren voor beide groepen. De mensen met RSI ervoeren de taak wel als fysiek inspannender, terwijl de mentale inspanning door beide groepen hetzelfde ervaren werd. De nauwkeurigheid van positiegevoel en de prestatie op de volgtaak waren gecorreleerd, wat impliceert dat een verminderde proprioceptie de onderliggende reden is van de afgenomen prestatie op de volgtaak bij de mensen met RSI. Mensen met RSI blijken echter niet te compenseren voor deze verminderde taakprestatie door het aanpassen van de kinematica of door het verhogen van de stijfheid.



**Figuur 6**

*De opstelling van de 2D aanwijstaak, zoals gebruikt in hoofdstuk 5, waarmee de nauwkeurigheid van het positiegevoel getoetst wordt.*

## **Tijdens het optillen van een beker gebruiken mensen met RSI grotere knijpkrachten**

In hoofdstuk 6 is onderzocht wat het effect is van RSI op de knijpkracht en het aanpassen van de knijpkracht tijdens het optillen en het vasthouden van een voorwerp met de voorkeurshand. Eenentachtig mensen met RSI, tweeëndertig mensen die

RSI hebben gehad maar klachtenvrij zijn op het moment van meten en negenendertig mensen zonder RSI tilden vijf keer een voorwerp op (beker van 300 gram) en hielden deze gedurende vijf seconden vast (Figuur 7). Mensen met RSI gebruikten een significant hogere knijpkracht dan mensen zonder RSI tijdens zowel het optillen als het vasthouden van de beker, terwijl de verticale versnelling tijdens het optillen gelijk was. Na de eerste poging pasten alle proefpersonen hun maximale knijpkracht aan en gebruikten tijdens de volgende pogingen minder kracht, hoewel de knijpkracht wel steeds significant hoger was bij de mensen met RSI. De hogere knijpkrachten van de mensen met RSI lijken het meest waarschijnlijk het gevolg van een verminderde nauwkeurigheid van tactiele informatie.



**Figuur 7**

*Knijpkracht en aanpassing van de knijpkracht zijn gemeten tijdens het optillen en vasthouden van een beker in hoofdstuk 6.*

## **Werk met hoge precisie-eisen kan gerelateerd worden aan het ontstaan van hand-arm klachten**

Computerwerk kan gezien worden als werk met hoge precisie-eisen. Om te kijken of het veelvuldig uitvoeren van werk met hoge precisie-eisen gerelateerd kan worden aan het ontstaan van RSI is gekeken of de duur van computerwerk gerelateerd kon worden aan het ontstaan van hand-arm en nek-schouder klachten. In **hoofdstuk 7** is hiertoe een systematisch literatuuronderzoek uitgevoerd. Er is systematisch gezocht naar artikelen met een risicoschatter voor de duur van computer gebruik, met een uitkomstmaat gerelateerd aan hand-arm en nek-schouder klachten en een longitudinaal design. Negen relevante artikelen werden geselecteerd, waarvan zes beoordeeld werden als



kwalitatief hoogstaand. Matig bewijs is gevonden voor een positieve associatie tussen de duur van muisgebruik en hand-arm klachten. Voor deze associatie is een indicatie voor een dosis-respons relatie gevonden, dat wil zeggen dat bij langer muisgebruik steeds meer klachten worden gerapporteerd. Voor nek-schouder klachten is de conclusie dat er onvoldoende bewijs is voor de associatie met totale duur computergebruik, duur muisgebruik en duur toetsenbordgebruik. Risicoschatters zijn over het algemeen sterker voor de hand-arm regio dan voor de nek-schouder regio, en sterker voor duur muisgebruik dan voor duur totaal computergebruik of duur toetsenbordgebruik.

## Conclusies

Op basis van de resultaten van dit proefschrift in combinatie met gegevens uit de literatuur kan geconcludeerd worden dat voor een deel van het Precisie-Pijn Model bewijs is gevonden. In overeenstemming met het Precision-Pain Model is gevonden dat:

- 1) hogere precisie-eisen leiden tot een hogere stijfheid (hogere spieractiviteit) in combinatie met veranderingen in de kinematica;
- 2) proprioceptie en het vermogen nauwkeurig te werken (taakprestatie op taken met hoge precisie-eisen) zijn verminderd bij mensen met vermoeide armspieren en mensen met RSI;
- 3) hoge precisie-eisen geassocieerd kunnen worden met hand-arm klachten.

De selectieve toename van de piek spieractiviteit in proefpersonen met vermoeide armspieren bij het uitvoeren van taken met hoge precisie-eisen en de toegenomen knijpkracht tijdens het optillen van een voorwerp zouden de vicieuze cirkel in het Precisie-Pijn Model kunnen sluiten. Echter, een algemene toename van stijfheid in (computer) taken met hoge precisie-eisen is niet gevonden bij mensen met RSI in vergelijking met mensen zonder RSI zoals door het Precisie-Pijn Model verondersteld wordt. Daarom kan geconcludeerd worden dat het bewijs voor het sluiten van de vicieuze cirkel, zoals voorgesteld in het Precisie-Pijn Model beperkt is.

## Wat betekenen de resultaten van het onderzoek voor de praktijk?

Mensen met RSI voeren taken met hoge precisie-eisen minder nauwkeurigheid uit. Als een vermindering van de nauwkeurigheid in taken niet wordt toegelaten, is het waarschijnlijk dat mensen met RSI taken langzamer uitvoeren. Zowel minder nauwkeurig als langzamer werken kan leiden tot een verminderde inzetbaarheid en geschiktheid van mensen met RSI in arbeidstaken met hoge precisie-eisen. Ook mensen die vermoeid zijn laten een verminderde nauwkeurigheid op taken met hogeprecisie-eisen zien. Dit betekent dat ook het ontstaan van vermoeidheid bij het uitvoeren van deze taken moet worden voorkomen omdat anders de prestatie op de taak vermindert.

Kortom, reden genoeg om te trachten de precisie-eisen in werktaken naar beneden te brengen of het uitvoeren van deze taken te vergemakkelijken. Daartoe zijn in **hoofdstuk 9** aanbevelingen gedaan. De meeste oplossingen zijn onderzocht voor de interactie met computers, maar zijn ook toepasbaar voor andersoortige taken waarin invoermiddelen worden gebruikt, zoals het gebruik van joysticks op kranen. (Computer) werk met hoge precisie-eisen kan gemakkelijker gemaakt worden door iconen of cursors te gebruiken die vergroten als ze in elkaars nabijheid zijn, door het gebruik van invoermiddelen met feedback mechanismen die bijvoorbeeld gaan trillen of geluid maken als de cursor bij het doel is. Bovendien kan de prestatie op taken met hoge precisie-eisen verbeterd worden door het optimaliseren van de display-control gain, de optimale locatie van iconen op het scherm vast te stellen en het optimaliseren van de fysieke eigenschappen van het invoermiddel. Een voorbeeld van het laatste is dat met een joystick met een klein handvat een taak met hoge precisie-eisen sneller uitgevoerd kan worden dan met een joystick met een groot handvat, zoals in hoofdstuk 2 van dit proefschrift geconcludeerd werd.

a



b



**Figuur 8**

*Met een joystick met een klein handvat (a) kan een taak met hoge precisie-eisen sneller uitgevoerd worden dan met een joystick met een groot handvat (b).*