

Stapzekerheid met de Cue2walk

De effectiviteit van een innovatief, draagbaar hulpmiddel om freezing en vallen te verminderen bij inwoners van de gemeente Den Haag met de ziekte van Parkinson of met Parkinsonisme

Auteurs

Demi Zoetewei¹, PhD; Eva Schokkenkamp¹, MSc; Martijn van der Ent¹, MSc; Sander Minnoye¹, MSc; Bart van Trigt¹, PhD; Floor Waardenburg^{1*}, MSc

Affiliaties

¹ Cue2Walk International B.V., Den Haag, Nederland.

Correspondentiegegevens

* Floor Waardenburg

Email: floor@cue2walk.nl

Telefoon: +31 (0) 70 701 33 97

Abstract

Introductie. Valincidenten vormen een belangrijke oorzaak van verlies aan zelfstandigheid en hoge zorgkosten bij mensen met Parkinson(isme). Freezing of gait (FOG) is verantwoordelijk voor circa 65% van de vallen, met name tijdens draaien. Cueing (ritmische signalen) is een bewezen strategie om FOG te verminderen, maar moeilijk toepasbaar in het dagelijks leven. De Cue2Walk is een draagbaar hulpmiddel dat ritmische signalen aanbiedt om FOG te voorkomen of te doorbreken.

Doel. Het doel van deze studie was te onderzoeken of vier weken gebruik van de Cue2Walk de ernst van FOG kan verminderen bij mensen met Parkinson(isme) in de gemeente Den Haag, en daarmee kan bijdragen aan valpreventie.

Methode. In totaal voltooiden 22 deelnemers het implementatietraject. De primaire uitkomstmaat was de subjectieve ernst van FOG (NFOG-Q). Secundaire uitkomstmaten waren het aantal vallen, valangst, mobiliteit (inclusief klinische testen), kwaliteit van leven en gebruiksvriendelijkheid.

Resultaten. Na vier weken gebruik werd een significante verbetering gevonden op de ernst van Freezing (NFOG-Q, effectgrootte $d = 0.67$, $p = 0.013$), overeenkomend met een vermindering van 14.3%. De frequentie van FOG tijdens draaien nam duidelijk af. Er werden geen significante effecten gevonden op vallen, valangst, mobiliteitstesten of kwaliteit van leven, maar functioneren onder stressvolle omstandigheden verbeterde wel significant. Van de deelnemers gaf 68,2% aan de Cue2Walk te willen blijven gebruiken en vond 68.1% het apparaat gebruiksvriendelijk.

Conclusie. De Cue2Walk kan subjectieve FOG in het dagelijks leven verminderen en lijkt daarmee een veelbelovende aanvulling op valpreventieprogramma's voor mensen met Parkinson(isme). Hoewel directe effecten op valreductie nog niet zijn aangetoond, suggereren de resultaten dat slimme cueing kan bijdragen aan meer veiligheid en zelfvertrouwen.

Introductie

Valincidenten bij ouderen vormen een substantieel maatschappelijk probleem, met grote gevolgen voor zowel zelfredzaamheid en kwaliteit van leven als voor zorguitgaven [1]. In 2023 bedroegen de directe medische kosten van vallen bij ouderen circa 1,4 miljard euro [2]. Ter vermindering van dit risico wordt vanuit gemeenten en zorgverzekeraars ingezet op de Ketenaanpak Valpreventie. Deze algemene interventies sluiten echter onvoldoende aan voor mensen met de ziekte van Parkinson (PwP) of vergelijkbare aandoeningen (Parkinsonismen), die door verstoringen in de motorische aansturing een disproportioneel verhoogd valrisico kennen [3–7]. De huidige programma's richten zich met name op algemene risicofactoren, maar gaan voorbij aan de onderliggende oorzaak van veel valincidenten bij PwP, namelijk freezing of gait (FOG) [8].

FOG is het meest invaliderende symptoom van Parkinson en wordt gedefinieerd als het plotselinge onvermogen om effectieve stappen te initiëren of voort te zetten ondanks de intentie om dit wel te doen [8]. Ongeveer de helft van de PwP ervaart FOG, dat verantwoordelijk is voor circa 65% van de valincidenten in deze groep [9–11]. FOG treedt met name op tijdens draaien en verhoogt daarmee de kans op ernstige letsels, zoals heupfracturen [12]. Naast de lichamelijke gevolgen gaat FOG gepaard met angst, onzekerheid en een verminderde kwaliteit van leven [13–16]. Het verminderen van FOG zou dus een essentieel aangrijpingspunt moeten zijn voor valpreventie bij PwP.

Dopaminerge medicatie is vaak onvoldoende effectief voor FOG [17], waardoor niet-medicamenteuze strategieën noodzakelijk zijn. Een bekende behandeling is cueing: het gebruik van externe signalen, zoals auditieve, tactiele of visuele prikkels, om het lopen bewust aan te sturen [18,19]. Vaak gaat het hierbij om ritmische signalen, die bewezen effectief zijn in het verminderen van FOG. De toepassing in de dagelijkse praktijk is echter beperkt: effecten verdwijnen vaak na afloop van training en continu aanbieden van signalen kan leiden tot gewenning [18,20–22].

Om cueing praktisch toepasbaar te maken in het dagelijks leven is de Cue2walk ontwikkeld: een draagbaar hulpmiddel dat signalen aanbiedt wanneer dit nodig is, bijvoorbeeld bij starten, draaien of het passeren van een deuropening [23–26]. Activatie kan handmatig plaatsvinden via een hakstamp of knopdruk, of automatisch wanneer een FOG-episode wordt gedetecteerd [27]. Om gebruikers te leren hoe zij de Cue2walk effectief in dergelijke situaties kunnen inzetten, wordt het apparaat in interventievorm aangeboden in de thuissituatie, met een begeleid implementatietraject van gemiddeld vier tot zes weken.

In het kader van de Ketenaanpak Valpreventie, werd onderzocht of de Cue2walk-interventie de ernst van FOG verbeteren bij mensen met Parkinson(ismen) in de gemeente Den Haag. De primaire uitkomstmaat was de subjectieve ervaring van de ernst van FOG. Secundaire uitkomstmaten omvatten het aantal vallen, valangst, FOG-triggers, mobiliteit, kwaliteit van leven en gebruikservaringen. Daarnaast werd het effect onderzocht op klinisch geobserveerde FOG en de duur van enkele klinische testen, zowel vóór en na de interventie als met en zonder cueing. Hiermee werd inzicht verkregen in de vraag of de Cue2walk een waardevolle aanvulling kan zijn op bestaande valpreventiestrategieën.

Methode

Studieverloop

Deze trainingsstudie bestond uit 3 meetmomenten: een baseline thuismeting met looptesten (T0), een telefonische evaluatie na 14 dagen (T14) en een herhaling van de T0-meting na 28 dagen (T28). Alle deelnemers ontvingen begeleiding van een implementatiespecialist voor het leren gebruiken en toepassen van de Cue2walk in het dagelijks leven. Indien meer tijd nodig was, kon T28 worden uitgesteld. Deze aanpak weerspiegelt het reguliere implementatieproces, waarin doorgaans 4–6 weken begeleiding nodig is. Het onderzoek vond volledig plaats in de thuissituatie van de deelnemers, deels fysiek en deels digitaal.

Deelnemers

In totaal werden 23 personen met de ziekte van Parkinson of parkinsonisme gerekruteerd via lokale media en verwijzingen van zorgverleners. Tijdens een fysieke of online intake met een implementatiespecialist werd de geschiktheid vastgesteld. Hierbij werd de Patiënt-Specifieke Klachten (PSK)-vragenlijst afgenomen, waarin werd bepaald in welke mate de deelnemers moeilijkheden ervaarden in 8 verschillende FOG-provocerende situaties (zie **Supplement S1**). Inclusiecriteria waren: (1) > 1x per dag loopverstoringen zoals freezing of festinatie, (2) een score ≥ 5 op minstens 1 item van de PSK-vragenlijst, (3) het vermogen tot gebruik van ritmische cueing als compensatiestrategie, en (4) voldoende cognitief vermogen om compensatiestrategieën te leren. Criteria 3 en 4 werden vastgesteld op basis van klinisch oordeel. Exclusie criterium was onvoldoende beheersing van de Nederlandse taal.

Personalisatie van de Cue2walk

De Cue2walk is een draagbaar apparaat dat via een beenband op het caput fibulae wordt bevestigd en ritmische auditieve en/of tactiele signalen kan genereren (**figuur 1**). Activatie van de cues kan plaatsvinden via een hakstamp, knopdruk of automatische detectie van een freezing-episode. De cueing stopt na 7–15 signalen om gewenning te voorkomen. Het apparaat heeft een batterijduur van circa 22 uur, wat neer komt op een volledige dag gebruik.

Instellingen konden gepersonaliseerd worden via een smartphone-app, uitsluitend nodig voor configuratie en eventuele aanpassingen van de instellingen. De personalisatie omvatte: (1) bepaling van het looppatroon (15s lopen), (2) instellen van detectiegevoeligheid, (3) bepalen van loopritme (bpm) en aantal signalen, en (4) aanpassen van intensiteit van geluid en trillingen. Het gemeten looppatroon werd gebruikt om het freezing-detectiealgoritme te personaliseren.



Figuur 1: De Cue2walk.

Implementatie van de Cue2walk

Deelnemers ontvingen de Cue2walk minstens drie dagen vóór T0 per post, samen met een technische handleiding en oefenboek. Het oefenboek bestond uit 4 modules: (1) achtergrondinformatie, (2) leren gebruiken, (3) leren toepassen, (4) dagelijks gebruik. De deelnemers ontvingen tevens instructies voor het downloaden van de Cue2walk-app op hun eigen smartphone.

Drie dagen voorafgaand aan T0 nam de implementatiespecialist telefonisch contact op met de deelnemer ter verificatie van materiaalontvangst en installatie van de applicatie. Deelnemers werden geïnstrueerd te starten met modules 1 en 2 van het oefenboek en de Cue2walk te personaliseren. Indien dit niet zelfstandig lukte, werd dit na afloop van T0 uitgevoerd. Tijdens T0 werden de basisvaardigheden (aan- en uitzetten, opladen, positioneren) gecontroleerd. Gedurende de interventieperiode vond digitale en telefonische begeleiding plaats, gericht op het leren gebruiken van het apparaat (module 2), het toepassen in moeilijke situaties, op basis van de PSK-scores (module 3), en een stapsgewijze opbouw van de draagtijd tot dagelijks gebruik (module 4). Oefeningen werden ondersteund door een oefenboek inclusief tips en video's.

Protocol

De fysieke metingen (T0 en T28) werden uitgevoerd in de thuissituatie en hadden beide een duur van ~1,5 uur. De meting op T0 werd gestart na ondertekening van een geïnformeerd toestemmingsformulier. Medicatie werd ingenomen volgens het gebruikelijke schema (de klinische ON-medicatie fase), om de dagelijkse situatie zoveel mogelijk te weerspiegelen en metingen werden indien mogelijk op hetzelfde tijdstip uitgevoerd variatie in medicatie-effecten te minimaliseren. Vragenlijsten werden vooraf ingevuld en gecontroleerd op volledigheid tijdens de metingen. Op T14 werd telefonisch de PSK vragenlijst afgenomen.

Klinische looptesten:

1. Timed-Up & Go (TUG): opstaan, 3 m lopen, 180° draaien, teruglopen en gaan zitten [28]. De duur van de TUG werd opgemeten met een stopwatch. Dit was steeds 2x uitgevoerd met uitzondering van de cueing conditie (1x met cueing).
2. Vier meter looptest (4MW): 6 m lopen op eigen tempo; middelste 4 m gemeten met een stopwatch [33]. Dit was steeds 2x uitgevoerd, met uitzondering van de cueing conditie (1x met cueing).
3. 360° draaien: 1 min rondjes draaien (40×40 cm kader), wisselend van richting. Deze taak wordt wetenschappelijk beschouwd als de meest betrouwbare FOG-provocerende taak [25,29].

Op T0 werden alle testen zonder cueing uitgevoerd en werden de Hoehn & Yahr-schaal [30] en Montreal Cognitive Assessment (MoCA) [31] afgenomen. Op T28 werden alle testen herhaald, zowel zonder als met cueing (volgorde afgewisseld, met een tussenpauze). Bij de cueing conditie droegen de deelnemers hun persoonlijke Cue2walk en konden ze zelf kiezen hoe en wanneer ze de Cue2walk activeerden.

Meetapparatuur

Alle testen werden opgemeten met een videocamera en de testen zonder cueing werden tevens opgemeten met de Cue2walk (accelerometer + gyroscoop).

Uitkomstmaten

Primaire uitkomstmaat:

- De subjectieve ernst van FOG: de New-Freezing of Gait-Questionnaire (NFOG-Q) [32].

Secundaire uitkomstmaten o.b.v. vragenlijsten:

- De PSK-vragenlijst (gebaseerd op [33])
- Het aantal valincidenten
- Valangst: de Modified Gait Efficacy Scale (MGES) [34]
- Kwaliteit van leven: de EuroQol 5-Dimensie 5-Niveaus (EQ-5D-5L) [35]
- Gebruikerservaringen (enkel op T28): aangepaste System Usability Scale (SUS) [36].

Daarnaast waren er enkele klinische uitkomsten op basis van de looptesten. De mate van FOG werd bepaald tijdens de 360° draaitaak door middel van video annotaties met de software Elan en de laatste definities van FOG [37–39]. Dit is gebruikt om de wetenschappelijke gouden standaard “percentage time frozen” (%TF) te bepalen, de duur van FOG ten opzichte van de duur van de taak [26,39,40,40,41]. De 360° draaitaak is de meest gevoelige en betrouwbare taak om FOG uit te lokken en op te meten [25,26]. Andere klinische uitkomstmaten waren de duur (stopwatch gegevens) van de TUG en 4MW.

Statistische analyse

Alle analyses zijn uitgevoerd in JASP (versie 0.19.3). Vragenlijsten zijn vergeleken tussen baseline (T0) en follow-up (T28). De PSK-vragenlijst hebben we ook op 4 tijdstippen vergeleken (intake, T0, T14 en T28) om de betrouwbaarheid van de baseline en vroege effecten te evalueren. %TF tijdens 360° draaien en de duur van TUG en 4MW zijn vergeleken tussen T0 en T28 (zonder cueing) en tussen cueing condities op T28; outliers zijn vooraf verwijderd voor stopwatch gegevens.

Normaal verdeelde data zijn weergegeven als gemiddelde (SD) en geanalyseerd met gepaarde t-toetsen of repeated measures ANOVA; niet-normaal verdeelde data als mediaan (IQR) en geanalyseerd met de Wilcoxon Signed Rank test. Post-hoc analyses zijn gecorrigeerd met Holm. Effectgroottes zijn berekend met Cohen's *d* (parametrisch) of matched rank biserial correlation (niet-parametrisch) en geïnterpreteerd als klein (≥ 0.2), middelgroot (≥ 0.5) of groot (≥ 0.8). Resultaten werden als significant beschouwd bij $p < 0.05$.

Resultaten

Deelnemers

In totaal namen 23 deelnemers deel aan de studie. Eén deelnemer stopte voortijdig met de studie (drop-out), wat resulteerde in een analysegroep van N=22. Deze persoon had reeds veel last van stress als gevolg van de diagnose, het aanleren van een nieuwe compensatie strategie bleek op dit moment te veel. De deelnemer heeft aangegeven in de toekomst graag een nieuwe poging te doen wanneer de stress minder hoog is.

Van de deelnemers hadden 18 de diagnose ziekte van Parkinson en 4 een Parkinsonisme. **Tabel 2** toont de baselinekarakteristieken uitgesplitst per groep. Bij 18 deelnemers werd FOG geobserveerd tijdens de metingen (definitieve freezers), bij 3 deelnemers werd FOG alleen

gerapporteerd maar niet geobserveerd (mogelijke freezers), en bij 1 deelnemer werd geen FOG gerapporteerd of geobserveerd (mogelijke non-freezer). Deze indeling volgt de meest recente definities [37], ermee rekening houdende dat patiënten FOG niet altijd goed zelf kunnen identificeren. De “mogelijke non-freezer” werd geïncludeerd ondanks afwezigheid van FOG, omdat tijdens de intake werd ingeschat dat de cue2walk het looppatroon zou kunnen verbeteren.

Tabel 2: Descriptieve gegevens op baseline

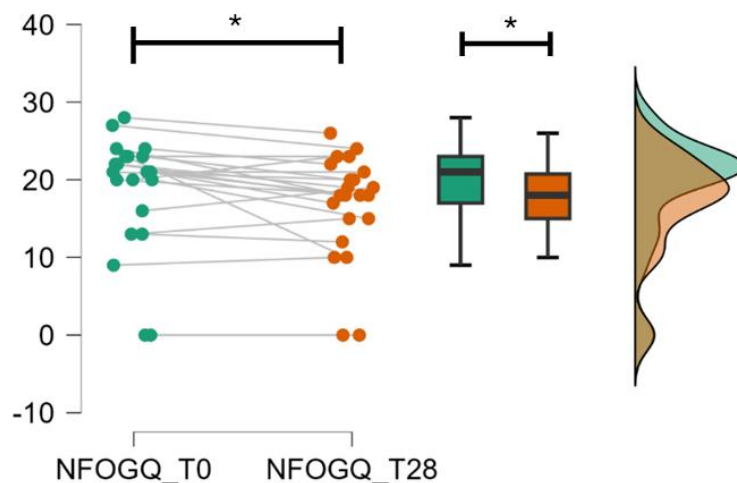
	Parkinson (n=18)	Parkinsonisme (n=4)
Leeftijd (jaren) ¹	73.3 (4.20)	70.8 (7.89)
Geslacht (man/vrouw) ³	13/5	3/1
Ziekte duur sinds diagnose (jaren) ²	8.00 (9.25)	1.50 (4.00)
Hoehn & Yahr (ziekte fase 1/2/2.5/3/4) ³	0/3/5/9/1	0/0/0/2/2
LEDD ²	1102 (585)	0.00 (22.7)
DBS stimulator (ja/nee) ³	4/14	0/4
Freezer status (definitieve freezer/mogelijke freezer/ mogelijke non-freezer) ³	13/4/1	4/0/0
NFOG-Q score ²	21.0 (9.00)	22.5 (4.00)
Aantal vallen afgelopen 7 dagen (0/1/2 keer) ³	12/5/1	3/1/0
MoCA score ¹	24.1 (3.75)	22.8 (3.30)

LEDD: Levodopa Equivalent Daily Dose. DBS: deep brain stimulator. NFOG-Q: new freezing of gait questionnaire. MoCA: Montreal Cognitive Assessment. Gegevens zijn uitgedrukt als gemiddelde (SD)¹, bij een niet-normale verdeling als mediaan (IQR) (gemarkeerd met ²), of als aantallen (gemarkeerd met ³).

Primaire uitkomstmaat: ernst van FOG

Om te onderzoeken of de Cue2walk invloed had op de ernst van FOG, werd de NFOG-Q vergeleken tussen T0 en T28. Deze vragenlijst meet de ernst van FOG in de voorafgaande maand, waardoor de score op T28 betrekking heeft op de periode waarin deelnemers de Cue2walk gebruikten. De totaalscore nam significant af (effectgrootte=0.67, p=0.013), overeenkomend met een mediane reductie van 14.3% (**figuur 2, tabel 3**).

Het grootste effect werd gevonden bij de frequentie van FOG tijdens draaien (item 3; effectgrootte=1.00, p=0.008). Op T0 rapporteerden 13 deelnemers dagelijks meer dan één episode, tegen 6 deelnemers op T28. Voor de invloed van FOG op dagelijkse activiteiten (item 9) werd een trend gevonden (effectgrootte=0.667, p=0.076). Voor de overige items werden geen significante verschillen vastgesteld.



Figuur 2: Individuele NFOG-Q scores en verdeling op T0 en T28.

Vallen, valangst, fysieke activiteit en kwaliteit van leven

Om te onderzoeken of de Cue2walk invloed had op het aantal vallen, valangst, fysieke activiteit en kwaliteit van leven, werden respectievelijk het aantal gerapporteerde vallen, de MGES, de PASE en de EQ-5D-5L vergeleken tussen T0 en T28 (**tabel 3**). Geen van deze maten liet significante verschillen zien (vallen: $p=0.588$; MGES: $p=0.322$; PASE: $p=0.538$; EQ-5D-5L: $p=0.660$).

Tabel 3: Effecten van de Cue2walk op subjectieve uitkomstmaten (vragenlijsten)

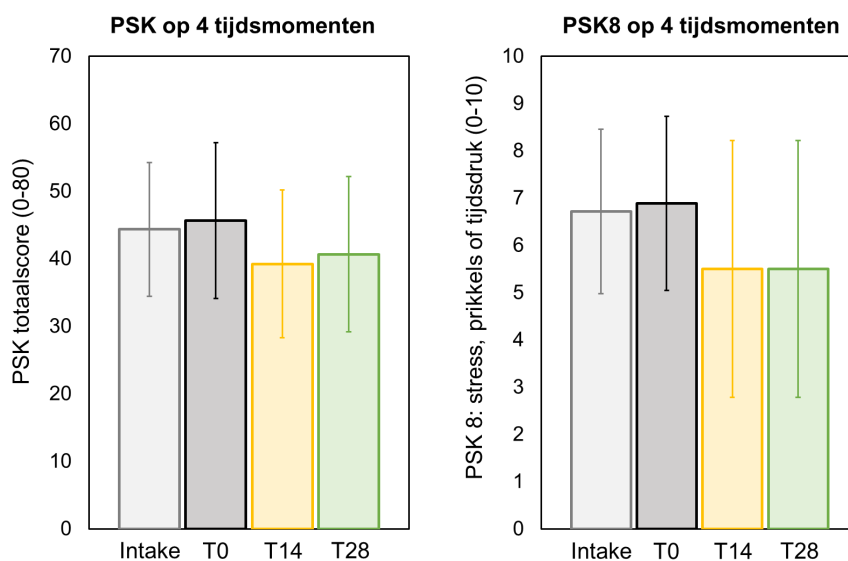
Vragenlijsten	Data		Statistisch verschil	
	T0	T28	Effectgrootte	p-waarde
NFOG-Q score ²	21.0 (6.00)	18.0 (5.75)	0.67	0.013*
- NFOG-Q 3: # FOG tijdens draaien ²	4.00 (1.00)	3.00 (2.00)	1.00	0.008*
Aantal vallen (#) ²	0.00 (1.00)	0.00 (0.00)	0.25	0.588
EQ-5D-5L score ¹	6.82 (3.47)	6.59 (3.75)	0.10	0.660
PSK score ¹	45.0 (11.0)	41.3 (11.6)	0.26	0.232
- PSK 8: handelen onder stress ¹	6.77 (1.77)	5.64 (1.97)	0.48	0.036*
MGES score ¹	51.8 (17.1)	54.3 (19.0)	0.17	0.469
PASE score ²	68.1 (65.8)	51.5 (66.2)	0.06	0.850

Gegevens zijn uitgedrukt als gemiddelde (SD)¹ of bij een niet-normale verdeling als mediaan (IQR) (gemarkeerd met ²). Sub-items van vragenlijsten zijn geïnccludeerd in de tabel bij significant effecten. Significante effecten zijn gemarkeerd met een asterisk (*).

Patiënt-specifieke klachten (PSK)

Om te onderzoeken of de Cue2walk invloed had op patiënt-specifieke klachten, werd de PSK-vragenlijst vergeleken tussen T0 en T28. Deze vragenlijst brengt in kaart welke situaties deelnemers als het meest lastig en FOG-provocerend ervaren. De totaalscore verschilde niet significant ($p=0.232$), maar item 8 verbeterde wel significant (effectgrootte=0.48, $p=0.036$).

De PSK werd daarnaast vergeleken op intake, T0, T14 en T28. Hierbij werd geen significant tijdseffect gevonden voor de totaalscore ($p=0.163$) of item 8 afzonderlijk ($p=0.084$). In de scores was wel zichtbaar dat T14 en T28 lager lagen dan intake en T0 (**figuur 3**).



Figuur 3: Totaalscore en item 8 van de PSK-vragenlijst op intake, T0, T14 en T28. Item 8: “hoe moeilijk was lopen met tijdsdruk, prikkels of stress?”

Motorische testen op T0 en T28

Freezing tijdens draaien (%TF)

Om te onderzoeken of de Cue2walk invloed had op %TF tijdens een 360° draai, werd T0 vergeleken met T28. Er werd geen significant verschil gevonden ($p=0.262$, effectgrootte=0.42; **figuur 4**).

Uitvoeringstijd TUG en 4MW

Om te onderzoeken of de Cue2walk invloed had op de uitvoeringstijd van de TUG en 4MW, werden T0 en T28 vergeleken. Beide maten lieten geen significante verschillen zien (TUG: $p=0.119$, effectgrootte=0.43; 4MW: $p=0.294$, effectgrootte=0.33).

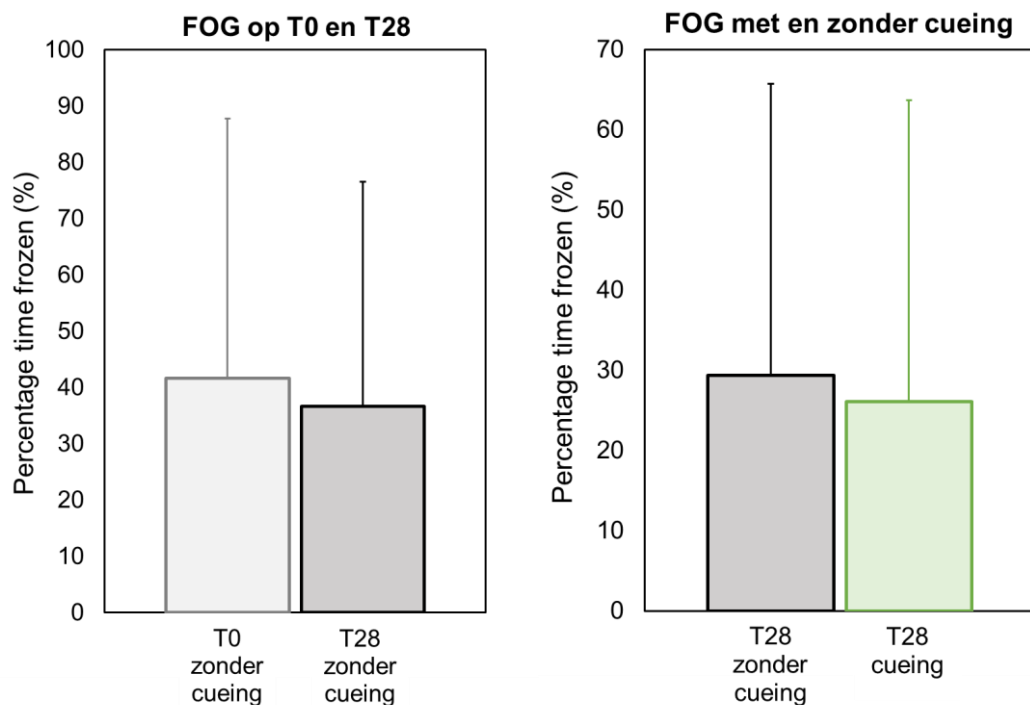
Motorische testen met en zonder cueing

Freezing tijdens draaien (%TF)

Om te onderzoeken of cueing invloed had op %TF tijdens een 360° draai, werden op T28 de condities met en zonder cueing vergeleken. Er werd geen significant verschil gevonden ($p=0.529$). Deze analyses waren gebaseerd op een kleinere dataset ($N=15$), omdat de cueing conditie later werd toegevoegd en het protocol soms werd ingekort. Zoals te zien in **figuur 4** was %TF gemiddeld lager met cueing dan zonder cueing.

Uitvoeringstijd TUG en 4MW

Om te onderzoeken of cueing invloed had op de uitvoeringstijd van de TUG en 4MW, werden op T28 de condities met en zonder cueing vergeleken. Voor de 4MW werd geen significant verschil gevonden ($p=0.209$). Bij de TUG werd daarentegen een significant langere uitvoeringstijd gevonden in de cueing conditie ($p=0.017$, effectgrootte=0.65).



Figuur 4: %TF tijdens 360° draaien bij T0 en T28 (zonder cueing) en op T28 (met en zonder cueing).

Gebruikerservaringen

Om de gebruikerservaring te evalueren, werd op T28 een aangepaste versie van de SUS afgenomen. Van de deelnemers gaf 68.2% aan de Cue2walk te willen blijven gebruiken, voelde 40.9% zich zekerder tijdens het lopen en vond 68.1% het apparaat gebruiksvriendelijk. Slechts 22.7% van de deelnemers gaf aan dat er veel geleerd moest worden om de cue2walk te gebruiken en dacht hulp nodig te hebben van een technisch persoon. Het meest genoemde verbeterpunt betrof de moeilijk in te drukken aan-/uitknop.

Discussie

In dit onderzoek, uitgevoerd in het kader van de Ketenaanpak Valpreventie, is onderzocht of vier weken gebruik van de Cue2walk in het dagelijks leven de ernst van FOG en gerelateerde uitkomstmaten kan verbeteren bij mensen met Parkinson(isme) in de gemeente Den Haag. De belangrijkste bevinding is dat de subjectieve ernst van FOG significant afnam volgens de gevalideerde NFOG-Q [32], met name op de frequentie van FOG tijdens draaien. Dit is klinisch relevant, aangezien draaien de meest voorkomende trigger is voor FOG [24–26,29,42] en een belangrijk risico vormt voor valincidenten en heupfracturen [12]. Daarnaast zagen we een verbetering in het lopen onder stress, prikkels of tijdsdruk (PSK item 8), en rapporteerde 40.9% van de deelnemers zich zekerder te voelen bij gebruik van de Cue2walk. Hoewel directe effecten op valreductie, valangst of kwaliteit van leven niet significant waren, suggereren de resultaten dat de Cue2walk kan bijdragen aan meer veiligheid en zelfvertrouwen.

Met deze studie wordt nieuwe kennis toegevoegd over de toepasbaarheid van de Cue2walk in de dagelijkse praktijk. Eerder onderzoek liet zien dat het FOG-detectie-algoritme van de Cue2walk een hoge nauwkeurigheid heeft (sensitiviteit 89%, specificiteit 93%) [27] en dat langdurige gebruikers het apparaat gebruiksvriendelijk vinden en een verbetering in kwaliteit van leven rapporteren [43]. Voorlopige resultaten van een grotere, nog niet-gepubliceerde analyse (N=101) wijzen bovendien op significante verbeteringen op alle items van de PSK-vragenlijst na 14 dagen gebruik van de Cue2walk. In de huidige studie werd dit effect op de totale PSK-score niet gevonden, waarschijnlijk door de kleinere steekproefomvang. Wel lieten onze resultaten zien dat gebruik van de Cue2walk in een begeleide implementatieperiode kan leiden tot een subjectieve vermindering van FOG, waarmee niet alleen de technische validiteit [27] en de langdurige gebruikerservaring [43] bevestigd, maar ook een klinisch effect is aangetoond.

Deze bevindingen sluiten aan bij eerdere literatuur die de effectiviteit van cueing aantoonde [18,44]. De RESCUE-trial liet in 2007 zien dat fysiotherapie met ritmische cueing FOG met gemiddeld 5.5% verminderde [18], terwijl wij een afname van 14.3% vonden. Ook de DeFOG-trial toonde aan dat een draagbaar cueing-apparaat, dat signalen gaf op basis van FOG-detectie, FOG-ernst kon reduceren tijdens een provocerend protocol [44]. Interessant is dat de DeFOG-studie een effect vond op %TF, maar niet op de NFOG-Q, terwijl in de huidige studie juist een significante verbetering op de NFOG-Q werd aangetoond. De DeFOG studie had een grotere steekproefgrootte, waardoor we op beide uitkomsten meer significante verbeteringen zouden verwachten dan in de huidige studie. Een verklaring kan liggen in de interventieverschillen: in DeFOG werd cueing uitsluitend geactiveerd na detectie van FOG, terwijl de Cue2walk ook preventief kon worden geactiveerd bij verwachte triggers (zoals starten of draaien). Hierdoor konden episodes mogelijk voorkomen worden, in plaats van alleen doorbroken, waardoor minder

FOG werd ervaren tijdens de interventie. Wetenschappelijk onderzoek is erg gefocust op FOG-detectie [45], terwijl het waarschijnlijk lastiger is voor veel patiënten om uit een FOG-episode te komen wanneer ze al vast staan dan om deze te voorkomen. Bovendien blijft FOG-detectie erg uitdagend vanwege de heterogeniteit van FOG [45–48]. Meer onderzoek is nodig om verschillen tussen zelf-geactiveerde en automatisch-geactiveerde cues systematisch te vergelijken.

Vergelijkbaar met DeFOG [44], vonden wij geen significante verbeteringen in de duur van klinische testen (4MW, TUG) zonder cueing na de interventie, wat in lijn is met literatuur waaruit blijkt dat cueing-effecten verdwijnen zodra de signalen worden weggenomen [44]. PwP blijven dus afhankelijk van het gebruik van cueing als hulpmiddel in het dagelijkse leven. De langere TUG-duur mét cueing kan verklaard worden door de tijd die nodig is voor activatie van de Cue2walk en het feit dat het cue-ritme soms bewust lager werd ingesteld dan het normale looptempo. Dit hoeft niet negatief te zijn, aangezien meer stabiliteit belangrijker kan zijn dan snelheid.

Een opvallende bevinding was de verbetering in het lopen onder stressvolle omstandigheden. Wetenschappelijk is er aangetoond dat er een sterke associatie is tussen stress en FOG [15,49] en dat angst ook een trigger kan zijn van FOG [50–52]. Tegelijkertijd kan aandacht (nauw verweven met stress) FOG juist verminderen [53,54]. Het leren gebruiken van een nieuw apparaat kan aanvankelijk stressvol zijn, wat in ons onderzoek leidde tot één drop-out. Het uiteindelijke doel is echter dat de Cue2walk juist zekerheid biedt in lastige situaties. De huidige resultaten, inclusief de positieve gebruikerservaringen, ondersteunen dat de Cue2walk kan bijdragen aan meer vertrouwen en veiligheid.

De Cue2walk werd door de meeste deelnemers als gebruiksvriendelijk ervaren (68.1%), wat in lijn is met eerder onderzoek [43]. Ongeveer een vijfde vond het apparaat aanvankelijk complex, maar dit is relatief laag voor een doelgroep die vaak moeite heeft met digitale hulpmiddelen [55–57]. De begeleiding door een implementatiespecialist lijkt hierin cruciaal. In tegenstelling tot Van der Laan et al. (2025) [43], die retrospectief verbeteringen in kwaliteit van leven vonden bij langdurige gebruikers, zagen wij geen significante veranderingen na één maand. Dit kan te maken hebben met de gevoeligheid van de vragenlijsten of met de korte follow-upduur. Het lopende onafhankelijke kosteneffectiviteitsonderzoek (NCT06416345) bij 84 deelnemers zal hierover meer duidelijkheid geven.

Sterke punten van deze studie zijn het prospectieve design en de gestructureerde implementatiebegeleiding, waarmee de toepasbaarheid in de praktijk goed kon worden onderzocht. Beperkingen zijn het ontbreken van een controlegroep en blinde metingen, de aanwezigheid van missende data en de relatief kleine steekproef. Daarnaast heeft de NFOG-Q een beperkte test-hertestbetrouwbaarheid [58] en was de studie uitgevoerd door onderzoekers verbonden aan Cue2walk, waardoor volledige onafhankelijkheid ontbrak.

Dit onderzoek laat zien dat de Cue2walk kan bijdragen aan een subjectieve vermindering van FOG, vooral tijdens draaien, en dat gebruikers zich zekerder voelen bij het lopen in uitdagende situaties. De Cue2walk werd over het algemeen goed verdragen en gebruiksvriendelijk gevonden. Voor mensen met Parkinson(isme) die FOG ervaren, lijkt de Cue2walk daarmee een veelbelovende aanvulling op bestaande valpreventiestrategieën. Toekomstig onderzoek met grotere steekproeven, een controlegroep en langere follow-up is nodig om de effectiviteit en kosteneffectiviteit definitief vast te stellen.

Belangen

De auteurs van dit artikel zijn werkzaam bij Cue2walk international B.V. en hebben daarmee een inhoudelijk belang bij de resultaten van dit artikel. Er zijn echter geen directe financiële prikkels verbonden aan de uitkomst van het onderzoek. We streven naar een objectieve en transparante weergave, ondersteund door wetenschappelijke standaarden en samenwerking met onafhankelijke partners.

Subsidies

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de gemeente Den Haag.

Referenties

- [1] Hartholt KA, van Beeck EF, Polinder S, van der Velde N, van Lieshout EMM, Panneman MJM, et al. Societal Consequences of Falls in the Older Population: Injuries, Healthcare Costs, and Long-Term Reduced Quality of Life. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2011;71.
- [2] Centraal Bureau Statistiek (CBS). Bevolkingsstatistiek 2014–2023. n.d.
- [3] Wu T, Hallett M, Chan P. Motor automaticity in Parkinson's disease. *Neurobiol Dis* 2015;82:226–34. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2015.06.014>.
- [4] Kalia L V., Lang AE. Parkinson's disease. *The Lancet* 2015;386:896–912. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61393-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61393-3).
- [5] Okuma Y. Freezing of Gait and Falls in Parkinson's Disease. *J Parkinsons Dis* 2014;4:255–60. <https://doi.org/10.3233/JPD-130282>.
- [6] Bohnen NI, Kanel P, Zhou Z, Koeppe RA, Frey KA, Dauer WT, et al. Cholinergic system changes of falls and freezing of gait in Parkinson's disease. *Ann Neurol* 2019;85:538–49. <https://doi.org/10.1002/ana.25430>.
- [7] Hoehn MM, Yahr MD. Parkinsonism: onset, progression, and mortality. *Neurology* 1967;17:427–42. <https://doi.org/10.1212/WNL.17.5.427>.
- [8] Nutt JG, Bloem BR, Giladi N, Hallett M, Horak FB, Nieuwboer A. Freezing of gait: Moving forward on a mysterious clinical phenomenon. *Lancet Neurol* 2011;10:734–44. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70143-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70143-0).
- [9] Zhang WS, Gao C, Tan YY, Chen S Di. Prevalence of freezing of gait in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *J Neurol* 2021;268:4138–50. <https://doi.org/10.1007/s00415-021-10685-5>.
- [10] Okuma Y, Silva de Lima AL, Fukae J, Bloem BR, Snijders AH. A prospective study of falls in relation to freezing of gait and response fluctuations in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord* 2018;46:30–5. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2017.10.013>.
- [11] Pelicioni PHS, Menant JC, Latt MD, Lord SR. Falls in parkinson's disease subtypes: Risk factors, locations and circumstances. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:2216. <https://doi.org/10.3390/ijerph16122216>.
- [12] Cumming RG, Klineberg RJ. Fall frequency and characteristics and the risk of hip fractures. *J Am Geriatr Soc* 1994;42:774–8. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1994.tb06540.x>.

- [13] Walton CC, Shine JM, Hall JM, O'Callaghan C, Mowszowski L, Gilat M, et al. The major impact of freezing of gait on quality of life in Parkinson's disease. *J Neurol* 2015;262:108–15. <https://doi.org/10.1007/s00415-014-7524-3>.
- [14] Moore O, Peretz C, Giladi N. Freezing of gait affects quality of life of peoples with Parkinson's disease beyond its relationships with mobility and gait. *Movement Disorders* 2007;22:2192–5. <https://doi.org/10.1002/mds.21659>.
- [15] Pimenta M, Moreira D, Nogueira T, Silva C, Pinto EB, Valenca GT, et al. Anxiety independently contributes to severity of freezing of gait in people with Parkinson's disease. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences* 2019;31:80–5. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.17090177>.
- [16] Herman T, Shema-Shiratzky S, Arie L, Giladi N, Hausdorff JM. Depressive symptoms may increase the risk of the future development of freezing of gait in patients with Parkinson's disease: Findings from a 5-year prospective study. *Parkinsonism Relat Disord* 2019;60:98–104. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2018.09.013>.
- [17] Tosserams A, Fasano A, Gilat M, Factor SA, Giladi N, Lewis SJG, et al. Management of freezing of gait — mechanism-based practical recommendations. *Nat Rev Neurol* 2025. <https://doi.org/10.1038/s41582-025-01079-6>.
- [18] Nieuwboer A, Kwakkel G, Rochester L, Jones D, Van Wegen E, Willems AM, et al. Cueing training in the home improves gait-related mobility in Parkinson's disease: The RESCUE trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2007;78:134–40. <https://doi.org/10.1136/jnnp.200X.097923>.
- [19] Rubinstein TC, Giladi N, Hausdorff JM. The power of cueing to circumvent dopamine deficits: A review of physical therapy treatment of gait disturbances in Parkinson's disease. *Movement Disorders* 2002;17:1148–60. <https://doi.org/10.1002/mds.10259>.
- [20] Ginis P, Nackaerts E, Nieuwboer A, Heremans E. Cueing for people with Parkinson's disease with freezing of gait: A narrative review of the state-of-the-art and novel perspectives. *Ann Phys Rehabil Med* 2018;61:407–13. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.08.002>.
- [21] Sweeney D, Quinlan LR, Browne P, Richardson M, Meskell P, Ólaighin G. A technological review of wearable cueing devices addressing freezing of gait in Parkinson's disease. *Sensors* 2019;19:1277. <https://doi.org/10.3390/s19061277>.
- [22] Cosentino C, Putzolu M, Mezzarobba S, Cecchella M, Innocenti T, Bonassi G, et al. One cue does not fit all: A systematic review with meta-analysis of the effectiveness of cueing on freezing of gait in Parkinson's disease. *Neurosci Biobehav Rev* 2023;150:105189. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105189>.
- [23] Conde CI, Lang C, Baumann CR, Easthope CA, Taylor WR, Ravi DK. Triggers for freezing of gait in individuals with Parkinson's disease: a systematic review. *Front Neurol* 2023;14:1326300. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1326300>.
- [24] Rahman S, Griffin HJ, Quinn NP, Jahanshahi M. The factors that induce or overcome freezing of gait in Parkinson's disease. *Behavioural Neurology* 2008;19:127–36. <https://doi.org/10.1155/2008/456298>.

- [25] D’Cruz N, Seuthe J, De Somer C, Hulzinga F, Ginis P, Schlenstedt C, et al. Dual Task Turning in Place: A Reliable, Valid, and Responsive Outcome Measure of Freezing of Gait. *Movement Disorders* 2022;37:269–78. <https://doi.org/10.1002/mds.28887>.
- [26] Zoetewei D, Ginis P, Goris M, Gilat M, Herman T, Brozgol M, et al. Which Gait Tasks Produce Reliable Outcome Measures of Freezing of Gait in Parkinson’s Disease? *J Parkinsons Dis* 2024;14:1163–74. <https://doi.org/10.3233/JPD-240134>.
- [27] van der Laan M, van Wegen EEH, Keijser JAN, Minnoye ALM, van Zutven R, de Groot V, et al. Performance of a Personalized Smart Cueing Device to Detect Freezing of Gait in Parkinson’s Disease. Submitted to *J Park Dis* [under Review] 2025.
- [28] Podsiadlo, D; Richardson S. The Timed Up and Go: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. *J Am Geriatr Soc* 1991.
- [29] Mancini M, Smulders K, Cohen RG, Horak FB, Giladi N, Nutt JG. The clinical significance of freezing while turning in Parkinson’s disease. *Neuroscience* 2017;343:222–8. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.045>.
- [30] Goetz CG, Poewe W, Rascol O, Sampaio C, Stebbins GT, Counsell C, et al. Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: Status and recommendations. *Movement Disorders* 2004;19:1020–8. <https://doi.org/10.1002/mds.20213>.
- [31] Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, et al. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc* 2005;53:695–9. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>.
- [32] Nieuwboer A, Rochester L, Herman T, Vandenberghe W, Emil GE, Thomaes T, et al. Reliability of the new freezing of gait questionnaire: Agreement between patients with Parkinson’s disease and their carers. *Gait Posture* 2009;30:459–63. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.07.108>.
- [33] Beurskens AJ, de Vet HC, Kökeb AJ, Lindeman E, van der Heijden GJ, Regtope W, et al. A patient-specific approach for measuring functional status in low back pain. *J Manipulative Physiol Ther* 1999;22:144–8. [https://doi.org/10.1016/S0161-4754\(99\)70127-2](https://doi.org/10.1016/S0161-4754(99)70127-2).
- [34] Newell AM, VanSwearingen JM, Hile E, Brach JS. The Modified Gait Efficacy Scale: Establishing the Psychometric Properties in Older Adults. *Phys Ther* 2012;92:318–28. <https://doi.org/10.2522/ptj.20110053>.
- [35] Herdman M, Gudex C, Lloyd A, Janssen M, Kind P, Parkin D, et al. Development and preliminary testing of the new five-level version of EQ-5D (EQ-5D-5L). *Quality of Life Research* 2011;20:1727–36. <https://doi.org/10.1007/s11136-011-9903-x>.
- [36] Brooke J. SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval Ind* 1995;189.
- [37] Gilat M, Nonnekes J, Factor SA, Bloem BR, Nutt JG, Giladi N, et al. Moving forward: an updated definition of freezing of gait. Submitted to *Nature Reviews Neurology* [under Review] 2025.
- [38] ELAN (version 5.5) 2019.

- [39] Gilat M. How to Annotate Freezing of Gait from Video: A Standardized Method Using Open-Source Software. *J Parkinsons Dis* 2019;9:821–4. <https://doi.org/10.3233/JPD-191700>.
- [40] Morris TR, Cho C, Dilda V, Shine JM, Naismith SL, Lewis SJG, et al. A comparison of clinical and objective measures of freezing of gait in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord* 2012;18:572–7. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2012.03.001>.
- [41] Lewis S, Factor S, Giladi N, Nieuwboer A, Nutt J, Hallett M. Stepping up to meet the challenge of freezing of gait in Parkinson's disease. *Transl Neurodegener* 2022;11:1–12. <https://doi.org/10.1186/s40035-022-00298-x>.
- [42] Van Dijsseldonk K, Wang Y, Van Wezel R, Bloem BR, Nonnekes J. Provoking freezing of gait in clinical practice: Turning in place is more effective than stepping in place. *J Parkinsons Dis* 2018;8:363–5. <https://doi.org/10.3233/JPD-181332>.
- [43] van der Laan M, Rietberg MB, van der Ent M, Waardenburg F, de Groot V, Nonnekes J, et al. User Experiences of the Cue2walk Smart Cueing Device for Freezing of Gait in People with Parkinson's Disease. *Sensors* 2025;25:4702. <https://doi.org/10.3390/s25154702>.
- [44] Zoetewei D, Herman T, Ginis P, Palmerini L, Brozgol M, Thumm PC, et al. On-Demand Cueing for Freezing of Gait in Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial. *Movement Disorders* 2024;39:876–86. <https://doi.org/10.1002/mds.29762>.
- [45] Pardoel S, Kofman J, Nantel J, Lemaire ED. Wearable-sensor-based detection and prediction of freezing of gait in parkinson's disease: A review. *Sensors* 2019;19:5141. <https://doi.org/10.3390/s19235141>.
- [46] Cockx H, Nonnekes J, Bloem BR, van Wezel R, Cameron I, Wang Y. Dealing with the heterogeneous presentations of freezing of gait: how reliable are the freezing index and heart rate for freezing detection? *J Neuroeng Rehabil* 2023;20:53. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01175-y>.
- [47] Yang PK, Filtjens B, Ginis P, Goris M, Nieuwboer A, Gilat M, et al. Automatic Detection and Assessment of Freezing of Gait Manifestations. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 2024;32:2699–708. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2024.3431208>.
- [48] Bansal SK, Basumatary B, Bansal R, Sahani AK. Techniques for the detection and management of freezing of gait in Parkinson's disease - A systematic review and future perspectives. *MethodsX* 2023;10:102106. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102106>.
- [49] Witt I, Ganjavi H, MacDonald P. Relationship between Freezing of Gait and Anxiety in Parkinson's Disease Patients: A Systemic Literature Review. *Parkinsons Dis* 2019;2019:1–24. <https://doi.org/10.1155/2019/6836082>.
- [50] Ehgoetz Martens KA, Ellard CG, Almeida QJ. Does anxiety cause freezing of gait in Parkinson's disease? *PLoS One* 2014;9:e106561. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106561>.
- [51] Economou K, Quek D, MacDougall H, Lewis SJG, Ehgoetz Martens KA. Heart rate changes prior to freezing of gait episodes are related to anxiety. *J Parkinsons Dis* 2021;11:271–82. <https://doi.org/10.3233/JPD-202146>.

- [52] Taylor NL, Wainstein G, Quek D, Lewis SJG, Shine JM, Ehgoetz Martens KA. The Contribution of Noradrenergic Activity to Anxiety-Induced Freezing of Gait. *Movement Disorders* 2022;37:1432–43. <https://doi.org/10.1002/mds.28999>.
- [53] Mancini M, Bloem BR, Horak FB, Lewis SJG, Nieuwboer A, Nonnekes J. Clinical and methodological challenges for assessing freezing of gait: Future perspectives. *Movement Disorders* 2019;34:783–90. <https://doi.org/10.1002/mds.27709>.
- [54] Tosserams A, Bloem BR, Ehgoetz Martens KA, Helmich RC, Kessels RPC, Shine JM, et al. Modulating arousal to overcome gait impairments in Parkinson's disease: how the noradrenergic system may act as a double-edged sword. *Transl Neurodegener* 2023;12:15. <https://doi.org/10.1186/s40035-023-00347-z>.
- [55] Ellis TD, Earhart GM. Digital Therapeutics in Parkinson's Disease: Practical Applications and Future Potential. *J Parkinsons Dis* 2021;11:S95–101. <https://doi.org/10.3233/JPD-202407>.
- [56] Esper CD, Valdovinos BY, Schneider RB. The Importance of Digital Health Literacy in an Evolving Parkinson's Disease Care System. *J Parkinsons Dis* 2024;14:S181–9. <https://doi.org/10.3233/JPD-230229>.
- [57] De Vleeschhauwer J, Broeder S, Janssens L, Heremans E, Nieuwboer A, Nackaerts E. Impaired Touchscreen Skills in Parkinson's Disease and Effects of Medication. *Mov Disord Clin Pract* 2021;8:546–54. <https://doi.org/10.1002/mdc3.13179>.
- [58] Hulzinga F, Nieuwboer A, Dijkstra BW, Mancini M, Strouwen C, Bloem BR, et al. The New Freezing of Gait Questionnaire: Unsuitable as an Outcome in Clinical Trials? *Mov Disord Clin Pract* 2020;7:199–205. <https://doi.org/10.1002/mdc3.12893>.

Supplement S1: de Patiënt-Specifieke Klachten (PSK)-vragenlijst

PSK-vragenlijst

Uw klachten hebben invloed op de activiteiten en bewegingen die u dagelijks doet en moeilijk te vermijden zijn. De gevolgen van deze klachten zijn voor iedereen verschillend. Beantwoord de volgende vragen door een kruisje te zetten bij het cijfer dat het beste past. Zet geen kruisjes tussen de getallen in. U mag deze vragenlijst invullen op basis van uw ervaringen in de afgelopen maand.

1. Hoe moeilijk was weglopen vanuit staande positie?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

2. Hoe moeilijk was weglopen vanuit zittende positie?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

3. Hoe moeilijk was lopen door een vernauwing?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

4. Hoe moeilijk was een deur openen en deze passeren?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

5. Hoe moeilijk was lopen op een veranderende ondergrond?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

6. Hoe moeilijk was draaien op de plaats?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

7. Hoe moeilijk was bewegen in een kleine ruimte?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk

8. Hoe moeilijk was lopen met tijdsdruk, prikkels en/of stress?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Geen enkele moeite

Onmogelijk