

SMART FLOOR

Data-gedreven loopanalyse met Smart Floor

Ontwikkeling van een Neuraal Netwerk voor het voorspellen van valrisico

Augustus 2025



Abstract

Inleiding

Jaarlijks komt in Nederland 33% van de 65-plussers ten val, met vaak ernstige gevolgen. Om valincidenten te voorkomen is het vroegtijdig en betrouwbaar opsporen van ouderen met een valrisico essentieel. Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van een nieuw valrisico-voorspellingsmodel op basis van Machine Learning (Neuraal Netwerk (NN)). Het doel is een nauwkeuriger model te ontwikkelen ten opzichte van het huidige model gebruikt door Smart Floor. Bij de ontwikkeling van het NN zal ook de eventuele toegevoegde waarde van, voorheen nog niet gebruikte, inputvariabelen onderzocht worden.

Methode

In dit exploratief cohortonderzoek zijn in de periode van 02-2023 tot 05-2025, bij 461 65-plussers, 4852 voetstapsessies afgenomen door (geriatrie)fysiotherapeuten. Loopp parameters zijn gemeten met de Smart Floor, daarnaast is een POMA test afgenomen. Op basis van de data is een NN-model ontworpen, getraind en getest.

Resultaten

Het NN met loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie en Gait Stability Ratio (GSR) als inputvariabelen identificeerde personen met een verhoogd en hoog valrisico beter dan het huidige model (sensitiviteit 0.756 en 0.707 vs 0.663 en 0.593 respectievelijk). Daarnaast classificeerde het NN minder personen onterecht met een laag valrisico ten opzichte van het huidige model (specificiteit laag valrisico 0.932 vs 0.829).

Conclusie

Gebaseerd op de inzichten verkregen in dit onderzoek is gekozen voor de implementatie van het nieuw ontwikkelde NN met de inputvariabelen loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie en GSR. Dit model sluit het beste aan bij het doel van de Smart Floor, namelijk het identificeren van personen met een valrisico.

Inhoud

1. Inleiding.....	4
2. Methode.....	6
2.1 Design	6
2.2 Deelnemers	6
2.3 Dataverzameling	6
2.4 Data-analyse.....	8
3. Resultaten.....	11
3.1 Beschrijvende statistiek.....	11
3.2 Resultaten loopparameters	11
3.3 Neuraal Netwerk.....	12
3.3.1 Leeftijd en geslacht	13
4. Discussie.....	15
Dankwoord	18
Literatuur.....	19

1. Inleiding

Op 1 januari 2025 telde Nederland meer dan 3,7 miljoen inwoners ouder dan 65 jaar (1). Onder deze groep ouderen is vallen een veelvoorkomend en ernstig probleem. In Nederland komt jaarlijks 33% van de 65-plussers ten val. Dit heeft aanzienlijke gevolgen voor hun gezondheid, zelfstandigheid en de zorgkosten (2,3). Om valincidenten te voorkomen is het vroegtijdig en betrouwbaar opsporen van ouderen met een verhoogd valrisico, om vervolgens interventies toe te kunnen passen, essentieel.

Vanaf 2023 is valpreventie voor oudere inwoners een taak van de Nederlandse gemeenten. Dit is vastgelegd in het Integraal Zorg Akkoord (IZA) en het Gezond en Actief Leven Akkoord (GALA) (4,5). Gemeenten kunnen kiezen voor valpreventie door ketenaanpak, waarbij opsporen van het valrisico bij ouderen stap 1 is. De Smart Floor is een innovatief systeem dat door middel van een vloer met sensorfolie en een loopsensor objectief diverse loopparameters meet. Op basis van deze loopparameters wordt een valrisicoprofiel berekend (SF-VRP). Dit valrisicoprofiel kan gebruikt worden om de ouderen de juiste vervolgstappen binnen de ketenaanpak valpreventie aan te bieden. In augustus 2023 zijn de eerste gemeenten in Nederland begonnen met de inzet van een of meerdere Smart Floor vloeren in de ketenaanpak valpreventie. Op 1 augustus 2025 wordt in meer dan 150 Nederlandse gemeenten gebruik gemaakt van de Smart Floor.

Tot op heden is er gebruik gemaakt van een meervoudig regressiemodel voor het berekenen van de SF-VRP scores op basis van loopsnelheid, schrede-lengte en schrede-frequentie. De validiteit en betrouwbaarheid van het SF-VRP is vergeleken met de POMA, een veelgebruikte test voor het inschatten van valrisico bij ouderen (6-8). Smart Floor voert ieder jaar in samenwerking met verschillende hogescholen en zorginstellingen onderzoeken uit. De beschikbaarheid van een steeds grotere hoeveelheid data biedt de mogelijkheid voor onderzoek naar een nieuw voorspellingsmodel, met als doel een nauwkeurigere voorspelling van het valrisico.

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling en het testen van een nieuw voorspellingsmodel gebaseerd op Machine Learning, specifiek een 'Neuraal Netwerk (NN)'. Een NN is een algoritme geïnspireerd op de werking van het menselijk brein. Het bestaat uit verschillende lagen die met elkaar verbonden zijn en is in staat om complexe patronen en relaties in gegevens te herkennen. Waar een lineair regressiemodel uitgaat van een lineaire relatie tussen de inputvariabelen en de uitkomst, kan een NN ook niet-lineaire verbanden leggen op basis van trainingsdata. Dit maakt het mogelijk met een grotere nauwkeurigheid voorspellingen te doen van meerdere, mogelijk subtiel samenhangende, variabelen (9).

Bij de ontwikkeling van het NN zal ook de eventuele toegevoegde waarde van voorheen nog niet gebruikte inputvariabelen onderzocht worden. Een maatstaf die gebruikt kan worden om de

stabiliteit van het looppatroon van ouderen te beoordelen is de Gait Stability Ratio (GSR). Deze ratio wordt berekend door de cadans (stappen per seconde) te delen door de loopsnelheid (m/s). In verschillende onderzoeken is een positieve significante associatie gevonden tussen de GSR en valincidenten, waarbij een hoge GSR-waarde geassocieerd wordt met een toename in de kans op vallen tot wel 78,2% (10,11). Daarom zal in dit onderzoek de GSR als mogelijke inputvariabele voor het NN worden onderzocht.

Een andere mogelijke inputvariabele die onderzocht zal worden is de schrede-tijd variabiliteit (STV). Deze waarde geeft het verschil in tijd tussen verschillende schreden weer. In een eenjarig prospectief onderzoek correleert de STV significant met factoren als kracht, balans, loopsnelheid, functionele status, mentale gezondheid en voorspelt het valincidenten (12). Ander onderzoek vond een significant hogere waarde van STV bij ouderen die al eens gevallen waren (13). In dit onderzoek zal daarom ook de STV als mogelijke inputvariabele worden onderzocht.

Normale veroudering gaat gepaard met de achteruitgang van verschillende fysiologische systemen zoals het bewegingsapparaat, het cardiovasculaire systeem, het gezichtsvermogen en het evenwichtsorgaan. Al deze veranderingen verhogen het risico op vallen (14). Daarnaast zijn leeftijdsgebonden aandoeningen zoals artritis, diabetes, een geschiedenis van cerebrovasculaire aandoeningen en verminderd zicht, significante voorspellers voor functionele beperkingen. Dit is weer sterk geassocieerd met een verhoogd risico op vallen (15). In een ander onderzoek is gevonden dat het aantal valincidenten onder vrouwen significant hoger is dan onder mannen (16). Hierom wordt onderzocht welk effect het toevoegen van de persoonskenmerken geslacht en leeftijd hebben op de validiteit van het NN.

De hypothese is dat een Neuraal Netwerk, getraind op de nieuwe uitgebreide dataset, het valrisico nauwkeuriger kan inschatten dan tot op heden mogelijk was met het meervoudige regressiemodel.

2. Methode

2.1 Design

Dit rapport beschrijft een exploratief cohortonderzoek. Voor het behalen van optimale methodologische kwaliteit worden STROBE (Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology) en de kwaliteitsrichtlijn van PTJ (Physical Therapy Journal) aangehouden (17).

De deelnemers worden geen gedragingen of handelingen opgelegd die de gebruikelijke levenswijze tijdelijk veranderen (18,19). Het onderzoek valt daarmee niet onder de Wet Medisch-Wetenschappelijk Onderzoek met mensen (WMO). Toetsing door een onafhankelijke toetsingscommissie is hierdoor niet nodig.

2.2 Deelnemers

Deelnemers zijn geïncludeerd en gemeten door vijf onderzoekspartners, namelijk de Posten, Archipel/Fysiotherapie Zuiderpark, Vitalis, Medifit Oss en de Fysioclub. Werving van deelnemers is gerealiseerd door de betrokken (geriatrie)fysiotherapeuten werkzaam bij de genoemde organisaties.

Deelnemers zijn geïncludeerd als zij ouder waren dan 65 jaar en een Functional Ambulation Categories (FAC) score ≥ 3 hadden. Deelnemers geworven door de Posten, Archipel/Fysiotherapie Zuiderpark en Vitalis wonen intramuraal, de andere deelnemers zijn zelfstandig thuiswonend. Deelnemers zijn geëxcludeerd bij een opvallend asymmetrisch gangpatroon (bijv. na CVA, beenamputatie, ...).

De deelnemers en, indien van toepassing, hun wettelijk vertegenwoordigers werden schriftelijk geïnformeerd. Bij deelname werd een Informed Consent ondertekend door de deelnemer of diens wettelijk vertegenwoordiger. Afhankelijk van de uitvoerende onderzoekspartner, stemmen de deelnemers door ondertekening van dit formulier in met eenmalige of maandelijks terugkerende dataverzameling. De metingen zoals hieronder beschreven, zijn afgenomen door een fysiotherapeut. Ook hebben de deelnemers middels schriftelijke toestemming aangegeven dat de onderzoeksgegevens voor toekomstig onderzoek mogen worden gebruikt.

2.3 Dataverzameling

2.3.1 Procedure

Dataverzameling heeft bij de genoemde organisaties in verschillende periodes plaatsgevonden, zie Tabel 1. Alle betrokken fysiotherapeuten hebben mondelinge en schriftelijke instructies gekregen over de werking en toepassing van de Smart Floor. Het aantal fysiotherapeuten per organisatie werd beperkt tot maximaal 2 om de interbeoordelaarsvariabiliteit te beperken.

Van alle deelnemers zijn demografische en relevante medische gegevens genoteerd. Tijdens een meetmoment werden, waar mogelijk gelijktijdig, zowel een Smart Floor-meting als een POMA-afname verricht, met een maximum van twee dagen verschil tussen beide metingen. Alle data zijn opgeslagen in de Smart Floor Vitaliteit omgeving. Sommige deelnemers hebben met tussenpozen van minimaal één maand meerdere meetmomenten gehad, met een maximum van zes meetmomenten. Deze hebben altijd plaatsgevonden op dezelfde meetlocatie met dezelfde procedure.

Data van eerder gedaan onderzoek zijn ook meegenomen in huidig onderzoek (20).

Tabel 1: Overzicht periode dataverzameling per onderzoekspartner

Organisatie	Periode
Fysio Van der Knaap & Postmus*	02-2023 – 07-2023
Vitalis	04-2024 – 07-2024
Archipel/Fysiotherapie Zuiderpark	04-2024 – 10-2024
De Posten	06-2024 – 08-2024
De Fysioclub	09-2024 – 02-2025
Medifit Oss	11-2024 – 05-2025

**Eerder onderzoek*

2.3.2 Smart Floor

De Smart Floor bestaat uit een vloer met sensorfolie en een loopsensor met bewegingssensoren (8). De sensorfolie zit in de mobiele vloer of is aangebracht onder een bestaande vloer. De werking van beiden is hetzelfde. De loopsensor wordt om de enkel gedragen en interacteert tijdens het lopen met passieve RFID-tags in de sensorfolie van de vloer. De sensordata die door deze interactie worden gegenereerd, worden vervolgens overgebracht naar het Smart Floor-platform. Dit platform bepaalt loopparameters door de sensordata te analyseren en interpreteren. Deze loopparameters omvatten aspecten als loopsnelheid, schrede-frequentie en schrede-lengte. Smart Floor heeft een wereldpatent om op deze wijze bewegingsanalyses uit te voeren (International Publication Number WO 2018/088894 A1).

Bij het uitvoeren van een meting heeft de deelnemer op een eigen, comfortabele loopsnelheid over de Smart Floor gelopen. Afhankelijk van de lengte van de mobiele vloer (6m of 10m) heeft de deelnemer twee of één keer heen en weer gelopen. Bij het omdraaien is de deelnemer op de vloer gebleven. Als de organisatie gebruik heeft gemaakt van een vaste vloer, hebben de deelnemers over de vloer gelopen zonder om te keren. Als een deelnemer een loophulpmiddel gebruikt in het dagelijks leven, hebben zij dat ook tijdens de Smart Floor-meting en de POMA gebruikt.

De gebruikelijke werkwijze is dat van de vier ‘enkele reizen’ in de meting (bij een 6m vloer) er één ‘enkele reis’ wordt gekozen om SF-VRP over te berekenen. Dit is de meest representatieve ‘enkele reis’. Dit onderzoek heeft een aangepaste methode gehanteerd waarbij iedere ‘enkele reis’ is

opgeslagen. Deze 'enkele reis' wordt een voetstapsessie genoemd. Dit resulteert bij een meting met een correct uitgevoerd loopprotocol op een 6m vloer in vier voetstapsessies. Bij een 10m vloer wordt eenmaal heen en weer gelopen, dit levert twee voetstapsessies op.

2.3.3 POMA

De POMA is een veelgebruikt en aanbevolen meetinstrument voor het beoordelen van het valrisico bij ouderen (3,6,7). In eerder onderzoek is uitgebreid ingegaan op de validiteit van de POMA (20).

De POMA bestaat uit twee onderdelen: een balanstest en een gangtest. Beide onderdelen zijn ontworpen om de motorische vaardigheden van een persoon te beoordelen en potentiële valrisico's te identificeren. Het balans-onderdeel omvat negen taken, zoals zitten, staan en balansverstoringen. Het gang-onderdeel omvat zeven items, zoals initiatie van gang, staplengte en continuïteit. Elke taak of item wordt beoordeeld met een score van 0 tot 1 of 0 tot en met 2, waarbij 0 staat voor de meest ernstige beperking en 2 voor geen beperking.

De totale score van de POMA varieert van 0 (indicatie van ernstige mobiliteitsproblemen) tot en met 28 (volledige mobiliteit en balans), waarbij een lagere score duidt op een hoger risico op vallen. Tabel 2 toont de risicoverdeling die wordt gehanteerd (7,21-23).

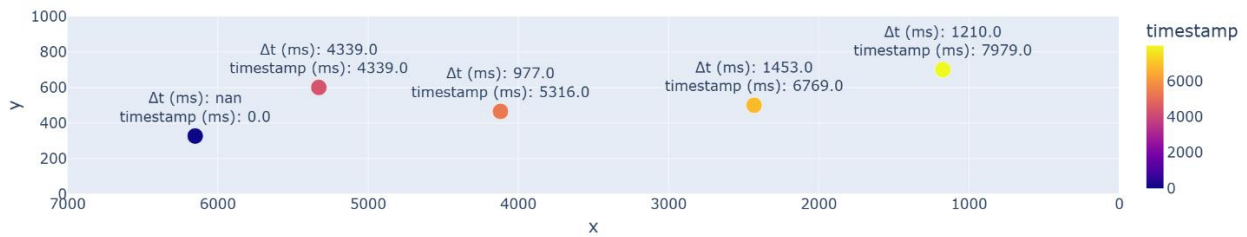
Tabel 2: Valrisico-categorieën

POMA-score	Valrisico-categorie
< 19	Hoog
≥ 19 – < 25	Verhoogd
≥ 25	Laag

2.4 Data-analyse

2.4.1 Data opschonen

Alle data zijn gecontroleerd. Aantoonbaar onjuiste data zijn verwijderd. Wanneer een deelnemer het loopprotocol van de Smart Floor verkeerd heeft uitgevoerd is dit te zien in de voetstapsessie. Een voorbeeld is stilstaan tijdens de meting, de tijd tussen twee voetstappen is dan groot. In Figuur 1 is een voetstapsessie te zien waarbij de tijd tussen schrede 1 en 2 ($\Delta t=4339\text{ms}$), aanzienlijk afwijkt van de tijd tussen de andere schreden ($\Delta t=977\text{ms}$, 1453ms en 1210ms). De betreffende voetstapsessie is in dit geval verwijderd en niet meegenomen in de analyse.



Figuur 1: Voorbeeld voetstapsessie met een meetfout

In totaal zijn 67 voetstapsessies verwijderd, de opgeschoonde dataset bevat 4852 voetstapsessies.

2.4.2 Beschrijvende statistiek

Na het opschonen van de data is vanuit de demografische gegevens en de meetresultaten beschrijvende statistiek uitgevoerd. De numerieke variabelen zijn gecontroleerd op normaliteit en onderzocht op uitschieters met behulp van histogrammen, QQ plots en Kolmogorov-Smirnov testen. Voor normaal verdeelde continue data worden gemiddelde waarden met standaardafwijking (SD) gepresenteerd. Bij niet-normaal verdeelde continue data geven mediaan met interkwartielafstand (IQR) een betere beschrijving van de data. Categorische data zijn weergegeven met absolute aantallen en percentages voor de verschillende categorieën.

Iedere voetstapsessie heeft een bijbehorende POMA-score. De verdeling van de voetstapsessies per valrisico-categorie is te zien in Tabel 3.

Tabel 3: Aantal voetstapsessies per valrisico-categorie

Valrisico-categorie	Voetstapsessies (n)
Laag	3239
Verhoogd	1186
Hoog	427

Correlaties zijn bij normaal verdeelde data berekend met de Pearson (r) test en de Spearman (R) test is gebruikt bij niet-normaal verdeelde data. Alle betrouwbaarheidsintervallen (BI) zijn vastgesteld op 95%. Interpretatie van de correlatiecoëfficiënten is als volgt: 0.00-0.09 verwaarloosbaar; 0.10-0.39 zwak; 0.40-0.69 matig; 0.70-0.89 sterk; 0.90-1.00 erg sterk (24).

Om verschillen tussen groepen aan te tonen is de ANOVA test gebruikt voor normaal verdeelde data, met als post hoc toets Tukey HSD. Voor niet-normaal verdeelde data zijn de Kruskal Wallis test met post hoc Man-Whitney U met Bonferroni-correctie gebruikt.

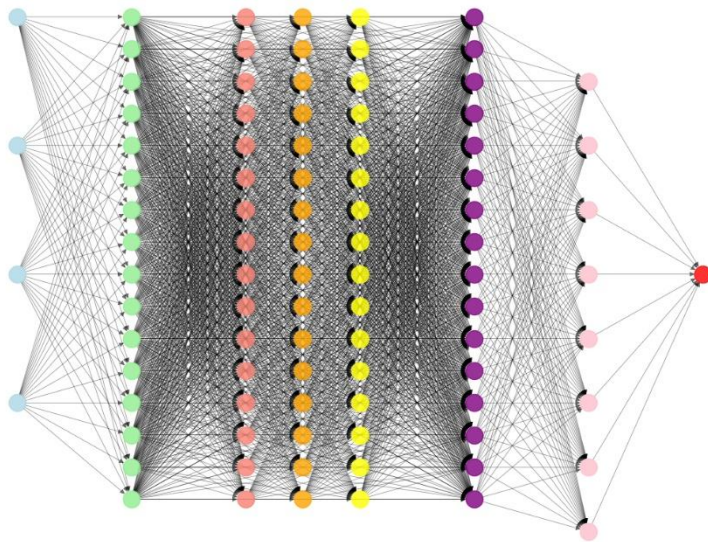
Voor alle resultaten geldt een p-waarde van <0.05 als statistisch significant (25).

2.4.3 Neuraal Netwerk

Uit intern onderzoek is gebleken dat, met de beschikbare hoeveelheid data, een NN geschikt is voor het voorspellingsmodel van het valrisico (Figuur 2) (9). Verschillende inputvariabelen zijn getest door middel van trainingsdata en testdata. Deze inputvariabelen zijn direct gemeten variabelen of zijn berekend vanuit direct gemeten variabelen. De inputvariabelen met de grootste correlatie met de POMA-score zijn gebruikt voor het uiteindelijke voorspellingsmodel. Naast loopparameters zijn de persoonskenmerken 'leeftijd' en 'geslacht' getest als extra inputvariabelen.

Het NN is getraind door gebruik te maken van een 'train-test split', waarbij de dataset is opgesplitst in twee delen. Een 'train' deel is gebruikt om het model te optimaliseren. Het andere deel is een 'test' deel dat is gebruikt om de performance te evalueren en te controleren op overfitting. Voor dit onderzoek is een 'split' van 80% train en 20% test gebruikt.

De validiteit van verschillende varianten van het nieuw ontwikkelde model zijn vergeleken met het huidige SF-VRP model. Een veelgebruikte maat hiervoor is sensitiviteit en specificiteit. Sensitiviteit geeft aan in welke mate een test of methode correct de positieve resultaten identificeert. In dit onderzoek is dat het percentage dat correct in de risicocategorie wordt ingedeeld. Specificiteit laat de mate van correct negatieve resultaten zien. Iemand die niet in een bepaalde categorie hoort, is daar ook niet ingedeeld. De sensitiviteit en specificiteit van het model zijn vergeleken met de POMA, ingedeeld in de valrisico-categorieën zoals benoemd in Tabel 2. Hierbij is de One-vs-All methode gebruikt (26).



Figuur 2: Voorbeeld Neuraal Netwerk

3. Resultaten

3.1 Beschrijvende statistiek

In totaal hebben 468 personen deelgenomen aan dit onderzoek, met een totaal van 4919 voetstapsessies. Na het opschonen van de data zijn 461 deelnemers meegenomen voor analyse, met in totaal 4852 voetstapsessies. Reden voor exclusie zijn meetfouten en verkeerd uitvoeren van het loopprotocol geweest. Zie Tabel 4 voor een overzicht van het aantal geïncludeerde deelnemers per onderzoekspartner. In Tabel 5 staan demografische kenmerken.

Tabel 4: Overzicht inclusie deelnemers

Organisatie	Aantal deelnemers geïncludeerd (n)	Aantal metingen per deelnemer
Vitalis	44	1
De Posten	50	1
Archipel/Fysiotherapie Zuiderpark	28	1 - 16
Van der Knaap & Postmus	185	1 - 6
Medifit Oss	50	1 - 6
De Fysioclub	104	1
<i>Totaal</i>	<i>461</i>	

Tabel 5: Demografische kenmerken

Geslacht	Aantal deelnemers	Leeftijd (jaar)
	n (%)	Mediaan [IQR]
Man	174 (37.7%)	79.5 [9.75]
Vrouw	287 (62.3%)	81.0 [12.00]
<i>Totaal</i>	<i>461</i>	<i>81.0 [11.00]</i>

3.2 Resultaten loopparameters

De voetstapsessies zijn verdeeld in de risicocategorieën van het POMA-resultaat behorende bij die voetstapsessie, zoals deze eerder zijn benoemd (Tabel 3) (23). Tabel 6 toont het gemiddelde of de mediaan van de loopparameters gemeten met de Smart Floor voor de drie risicocategorieën.

Loopsnelheid heeft een sterke correlatie met de POMA-score ($r=0.74$, 95% BI 0.72-0.75), evenals schrede-lengte ($r=0.73$, BI 0.72-0.74) en GSR ($r=-0.74$, BI -0.75- -0.72). Schrede-frequentie heeft een zwakke correlatie met de POMA-score ($r=0.38$, BI 0.36-0.41). De correlatie tussen STV en POMA is zwak ($R=-0.12$, BI -0.15- -0.10). Alle correlaties zijn statistisch significant ($p<0.05$). Zie Tabel 6.

Alle loopparameters verschillen significant tussen de drie valrisico-categorieën ($p<0.05$). Post hoc testen tonen aan dat de significante paarsgewijze verschillen tussen elk van de groepen bestaan ($p<0.001$).

Tabel 6: Resultaten loopparameters per valrisico-categorie

	Hoog risico (n=427)	Verhoogd risico (n=1186)	Laag risico (n=3239)	Correlatie-coëfficiënt vs. POMA (95% BI)
<i>Normaal verdeelde parameters</i>				
Loopsnelheid (m/s)	0.47 (0.15)	0.71 (0.16)	1.00 (0.18)	0.74* (0.72-0.75)
Schrede-lengte (m)	0.65 (0.19)	0.89 (0.18)	1.16 (0.17)	0.73* (0.72-0.74)
Schrede- frequentie (/s)	0.75 (0.16)	0.80 (0.12)	0.88 (0.09)	0.38* (0.36-0.41)
GSR	1.71 (0.58)	1.19 (0.30)	0.90 (0.14)	-0.74* (-0.75--0.72)
<i>Niet-normaal verdeelde parameters</i>				
STV (s)	0.16 [0.17]	0.14 [0.08]	0.13 [0.04]	-0.12* (-0.15--0.10)

Hoog risico: POMA <19; Verhoogd risico: POMA ≥19 – <25; Laag risico: POMA≥25

GSR=Gait Stability Ratio; STV=schrede-tijd variabiliteit

Normaal verdeelde data: Pearson (r), niet-normaal verdeelde data: Spearman (R)

*p<0.001

3.3 Neuraal Netwerk

Vanuit de resultaten van de loopparameters zijn twee varianten van het NN met elkaar vergeleken.

De varianten bevatten de volgende inputvariabelen:

Variant 1: Loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR

Variant 2: Loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie

Door de zwakke correlatie tussen STV en POMA is besloten deze niet als inputvariabele mee te nemen.

Om de prestatie te beoordelen zijn Variant 1 en Variant 2, en het huidige voorspellingsmodel getest op validiteit. Zie Tabel 7 voor een overzicht van de sensitiviteit en specificiteit, vergeleken met de POMA-score, ingedeeld in valrisico-categorieën.

Tabel 7: Validiteit verschillende NN-varianten met loopparameters en huidig model ten opzichte van de POMA

	Sensitiviteit	Specificiteit
Variant 1: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR		
• Laag (n=3239)	0.662	0.932
• Verhoogd (n=1186)	0.756	0.670
• Hoog (n=427)	0.707	0.957
Variant 2: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie		
• Laag (n=3239)	0.690	0.921
• Verhoogd (n=1186)	0.742	0.692
• Hoog (n=427)	0.686	0.958
Huidig: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie (meervoudige logistische regressie)		
• Laag (n=3239)	0.785	0.829
• Verhoogd (n=1186)	0.663	0.765
• Hoog (n=427)	0.593	0.970

Variant 1 heeft geresulteerd in de hoogste sensitiviteit voor zowel de verhoogd-risico groep (0.756) als de hoog-risico groep (0.707). De sensitiviteit voor de laag-risico groep is het hoogst in het huidige model. Variant 1 heeft daarnaast geresulteerd in de hoogste specificiteit voor de laag-risico groep (0.932). De hoogste specificiteit voor de verhoogd-risico groep werd behaald door het huidige model (0.765). Voor de hoog-risico groep lag de specificiteit in alle varianten hoog (>0.95).

3.3.1 Leeftijd en geslacht

Naast de toevoeging van loopparameters, zijn twee modelvarianten onderzocht met als inputvariabelen leeftijd en geslacht. Een laatste variant bevat zowel leeftijd als geslacht.

Variant 3: Loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR, leeftijd

Variant 4: Loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR, geslacht

Variant 5: Loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR, leeftijd, geslacht

Ook van deze varianten van het NN is de validiteit getest en vergeleken met het huidige voorspellingsmodel. In Tabel 8 staat een overzicht van de sensitiviteit en specificiteit, vergeleken met de POMA-score, ingedeeld in valrisico-categorieën.

Tabel 8: Validiteit verschillende NN-varianten met loopparameters en persoonskenmerken en Variant 1 ten opzichte van de POMA

	Sensitiviteit	Specificiteit
Variant 3: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR, leeftijd		
• Laag (n=3239)	0.650	0.937
• Verhoogd (n=1186)	0.761	0.659
• Hoog (n=427)	0.698	0.956
Variant 4: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR, geslacht		
• Laag (n=3239)	0.666	0.927
• Verhoogd (n=1186)	0.758	0.674
• Hoog (n=427)	0.710	0.959
Variant 5: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR, leeftijd, geslacht		
• Laag (n=3239)	0.687	0.931
• Verhoogd (n=1186)	0.758	0.693
• Hoog (n=427)	0.710	0.957
Variant 1: loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie, GSR		
• Laag (n=3239)	0.662	0.932
• Verhoogd (n=1186)	0.756	0.670
• Hoog (n=427)	0.707	0.957

De waardes van de sensitiviteit en specificiteit van Variant 3, 4 en 5 zijn bij alle risicogroepen vergelijkbaar met die van Variant 1.

4. Discussie

Het doel van dit onderzoek is om een nieuw valrisico-voorspellingsmodel (SF-VRP) te ontwikkelen, gebaseerd op Machine Learning, specifiek een Neuraal Netwerk (NN). Het hoofddoel van dit nieuwe model is om ouderen met een verhoogd of hoog valrisico correct te identificeren. Hiertoe zijn allereerst verschillende varianten met verschillende loopparameters als inputvariabelen getest en vergeleken. Vervolgens is de invloed van persoonskenmerken op het model onderzocht.

Loopparameters

Allereerst is onderzocht in welke mate verschillende loopparameters correleren met de score van de POMA. Hierbij is een sterke correlatie gevonden tussen de loopsnelheid, schrede-lengte en de GSR met de POMA-score. Ook is er een significante zwakke correlatie tussen schrede-frequentie en de POMA-score. Deze sterke correlaties zijn in vorig onderzoek van Smart Floor ook gevonden en worden hier nogmaals bevestigd (8). Deze loopparameters zijn onderdeel van het meervoudige regressiemodel dat tot op heden werd gebruikt om de SF-VRP score te berekenen. De hoge correlatie van de GSR met de POMA-score is in lijn met bestaande literatuur waarin een hogere GSR wordt geassocieerd met een toename van de kans op vallen (10,11). Daarom is ervoor gekozen de GSR te testen als mogelijke extra inputvariabele voor het Neurale Netwerk.

Het doel van het SF-VRP is het correct identificeren van ouderen met een verhoogd of hoog valrisico. Het NN met als inputvariabelen loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie en GSR (Variant 1) slaagt hier het beste in, met een sensitiviteit van 0.756 en 0.707 voor verhoogd en hoog-valgevaarlijke personen respectievelijk. Dit betekent dat dit model het grootste aantal personen, die volgens de POMA een verhoogd en hoog valrisico hebben, correct voorspelt. De sensitiviteit voor laag valrisico van Variant 1 (0.662) is lager dan die van het huidige model (0.785) en van Variant 2 (0.690). Dit wijst erop dat het model met GSR voor personen met een laag valrisico strenger is in de beoordeling van SF-VRP dan het huidige model en het model zonder GSR. De specificiteit voor laag valrisico van Variant 1 (0.932) is hoger dan die van het huidige model (0.829) en Variant 2 (0.921). Dit betekent dat bij Variant 1, 93% van de personen die geen laag valrisico hebben volgens de POMA, ook door het model niet als laag valrisico worden geclassificeerd.

Het hoofddoel van het model is het correct identificeren van personen met een risico op vallen, daarom is dit een belangrijke factor geweest in de keuze voor Variant 1 als het uiteindelijke model.

Hoewel in bestaande literatuur de schrede-tijd variabiliteit (STV) valincidenten lijkt te voorspellen (12), had deze in dit onderzoek een zwakke correlatie met de POMA-score. Een mogelijke verklaring hiervoor is het lage aantal opeenvolgende schreden waaruit de voetstapsessies

bestaan. Waar de personen in het bovengenoemde onderzoek een paar honderd schreden maakten, bestaat een onafgebroken voetstapsessie op de Smart Floor meestal uit 4 tot 6 schreden. Hierom is er besloten de STV niet mee te nemen als inputvariabele voor het Neurale Netwerk.

Persoonskenmerken

In verschillende onderzoeken wordt leeftijd in verband gebracht met valrisico (14,15). Hierbij zou een toename van leeftijd samengaan met een verhoging van het valrisico. Een variant van het NN met als extra inputvariabele 'leeftijd' is getest en vergeleken met Variant 1. Sensitiviteit en specificiteit waren vergelijkbaar tussen beide varianten. De oorzaak hiervan kan mogelijk liggen in de andere inputvariabelen die in het model zijn meegenomen. Een hogere leeftijd gaat namelijk veelal samen met een lagere loopsnelheid, kleinere schrede-lengte en hogere schrede-frequentie (27,28). Doordat deze loopparameters gemeten worden en al als inputvariabelen van het model dienen, is de toevoeging leeftijd wellicht overbodig.

In onderzoek is verschil in valincidenten tussen verschillende geslachten gevonden, waarbij er meer valincidenten plaats hebben gevonden onder vrouwen (16). In dit onderzoek is daarom de invloed van de inputvariabele 'geslacht' onderzocht. Het vergelijken van deze variant van het NN met Variant 1 gaf een overeenkomstige validiteit.

Als laatste is een variant van het model met zowel 'leeftijd' als 'geslacht' getest en vergeleken. Ook deze gaf vergelijkbare waardes van sensitiviteit en specificiteit als Variant 1.

Het implementeren van persoonskenmerken in het voorspellingsmodel is een uitdaging. Gebruikers moeten voor iedere persoon die gemeten wordt kenmerken als geslacht en leeftijd invullen. Dit vraagt voor velen een wijziging van het huidige werkproces. Dit in combinatie met de vergelijkbare validiteit van de varianten met en zonder persoonskenmerken, heeft tot de beslissing geleid voor het model zonder persoonskenmerken te kiezen.

Sterke en zwakke punten

Een sterk punt van huidig onderzoek is het hoge aantal gevalideerde metingen. Met meer dan 4800 datapunten kon Machine Learning gebruikt worden om het nieuwe model te ontwikkelen. Door de uitvoering van de metingen door (geriatrie)fysiotherapeuten is de kans op beoordelaarsbias verkleind. Er is sprake van een heterogene dataset door de inclusie van zowel thuiswonende deelnemers als verpleeghuisbewoners.

Op dit moment is er geen gouden standaard voor het inschatten van iemands valrisico (6). De POMA is een veelgebruikt instrument en bevat zowel elementen voor de balans als de gang (7). In toekomstig onderzoek zou het interessant kunnen zijn om verschillende valrisico-testen met elkaar en met de SF-VRP score te vergelijken, met als doel het model verder te ontwikkelen.

Verschillende onderzoeken tonen aan dat het tijdstip van de dag invloed kan hebben op de posturale controle en het gangpatroon (29,30). Bij een klein aantal deelnemers (n=2) kon de POMA niet direct na de Smart Floor meting worden afgenomen. De periode tussen POMA en Smart Floor bedroeg maximaal twee dagen. Deze deelnemers zijn bekend bij de geriatriefysiotherapeut. Er is gecontroleerd dat zowel de POMA-score als de uitkomst van Smart Floor overeenkwam met de subjectieve beoordeling van het valrisico van de betreffende geriatriefysiotherapeut.

Momenteel wordt de Smart Floor in meer dan 150 Nederlandse gemeente ingezet. Daarom heeft de implementatie van het nieuw ontwikkelde NN directe praktische waarde. De resultaten laten zien dat het nieuwe model beter presteert dan het huidige algoritme, met name in het correct identificeren van personen met een verhoogd of hoog valrisico. In de praktijk zal deze verhoogde nauwkeurigheid bijdragen aan een effectievere valpreventie. De overstap naar het nieuwe voorspellingsmodel zal niet alleen de betrouwbaarheid van de Smart Floor verhogen, maar ook de meerwaarde voor zorg- en welzijnsprofessionals versterken.

Conclusie

Gebaseerd op bovenstaande inzichten is gekozen voor implementatie van het nieuw ontwikkelde valvoorspellingsmodel, SF-VRP, met de loopparameters loopsnelheid, schrede-lengte, schrede-frequentie en Gait Stability Ratio als inputvariabelen. Dit model sluit naar verwachting het beste aan bij het doel van de Smart Floor, namelijk het identificeren van personen met een valrisico.

Dankwoord

Wij willen graag al onze onderzoeks-partners bedanken voor hun inzet bij het verzamelen van de data de afgelopen jaren. Wij hebben een prettige samenwerking ervaren bij het opzetten en uitvoeren van de projecten op de verschillende locaties.

Daarnaast willen we Pipple bedanken voor het controleren van de statistiek en data-analyses, en voor de adviezen rondom de verslaglegging.

Dankzij jullie hulp zijn we weer een stapje dichterbij een vitale toekomst!

Team Smart Floor

Literatuur

1. cbs visualisatie bevolking leeftijd ouderen - Google Zoeken [Internet]. [cited 2023 Jul 17]. Available from: https://www.google.com/search?q=cbs+visualisatie+bevolking+leeftijd+ouderen&rlz=1C1GCEA_enNL1055NL1056&oq=cbs+visualisatie+bevolking+leeftijd+ouderen&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIGCAEQRRhA0gEINzgyMmowajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8
2. Infographic Valongevallen 65-plussers | VeiligheidNL [Internet]. [cited 2025 Jul 9]. Available from: <https://www.veiligheid.nl/kennisaanbod/infographic/infographic-valongevallen-65-plussers>
3. Montero-Odasso M, Van Der Velde N, Martin FC, Petrovic M, Tan MP, Ryg J, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: a global initiative. *Age Ageing* [Internet]. 2022 Sep 1 [cited 2025 Aug 21];51(9). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36178003/>
4. GALA - Gezond en Actief Leven Akkoord | Rapport | Rijksoverheid.nl [Internet]. [cited 2025 Jul 9]. Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/01/31/gala-gezond-en-actief-leven-akkoord>
5. Integraal Zorgakkoord: “Samen werken aan gezonde zorg” | Rapport | Rijksoverheid.nl [Internet]. [cited 2025 Jul 9]. Available from: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/09/16/integraal-zorgakkoord-samen-werken-aan-gezonde-zorg>
6. Preventie van valincidenten bij ouderen. Federatie Medisch Specialisten. 2017;
7. Tinetti ME. Performance-Oriented Assessment of Mobility Problems in Elderly Patients. *J Am Geriatr Soc*. 1986;34(2):119–26.
8. Drost K, Lefeber F, Dierkx R. Smart Floor - Een innovatief meetinstrument voor valrisico bij ouderen. *Nederlands Tijdschrift voor Geriatriefysiotherapie*. 2020 Dec;19–28.
9. Lecun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature* [Internet]. 2015 May 27 [cited 2025 Jul 9];521(7553):436–44. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26017442/>
10. Nascimento M de M, Gouveia ÉR, Gouveia BR, Marques A, Martins F, Przednowek K, et al. Associations of Gait Speed, Cadence, Gait Stability Ratio, and Body Balance with Falls in Older Adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol 19, Page 13926 [Internet]. 2022 Oct 26 [cited 2025 Jul 30];19(21):13926. Available from: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/21/13926/htm>
11. Cromwell RL, Newton RA. Relationship between Balance and Gait Stability in Healthy Older Adults. *J Aging Phys Act* [Internet]. 2004 [cited 2025 Jul 30];12(1):90–100. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15211023/>
12. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet].

- 2001 [cited 2025 Jul 30];82(8):1050–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11494184/>
13. Hausdorff JM, Edelberg HK, Mitchell SL, Goldberger AL, Wei JY. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly failers. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet]. 1997 [cited 2025 Jul 30];78(3):278–83. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9084350/>
 14. Segev-Jacobovski O, Herman T, Yogev-Seligmann G, Mirelman A, Giladi N, Hausdorff JM. The interplay between gait, falls and cognition: Can cognitive therapy reduce fall risk? *Expert Rev Neurother* [Internet]. 2011 Jul [cited 2025 Aug 13];11(7):1057–75. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21721921/>
 15. Dunlop DD, Manheim LM, Sohn MW, Liu X, Chang RW. Incidence of functional limitation in older adults: The impact of gender, race, and chronic conditions. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet]. 2002 [cited 2025 Aug 13];83(7):964–71. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12098157/>
 16. Smith A de A, Silva AO, Rodrigues RAP, Moreira MASP, Nogueira J de A, Tura LFR. Assessment of risk of falls in elderly living at home. *Rev Lat Am Enfermagem* [Internet]. 2017 [cited 2025 Aug 13];25. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28403333/>
 17. Physical Therapy Journal. https://academic.oup.com/ptj/pages/Author_Guidelines#Article%20Types%20and%20Manuscript%20Preparation. Author Guidelines.
 18. Centrale Commissie Mensgebonden Onderzoek (CCMO). <https://www.ccmo.nl/onderzoekers/wet-en-regelgeving-voor-medisch-wetenschappelijk-onderzoek/uw-onderzoek-wmo-plichtig-of-niet>. Uw onderzoek: WMO-plichtig of niet?
 19. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0009408/2022-07-01> [Internet]. 2022. Wet medisch-wetenschappelijk onderzoek met mensen.
 20. Smart Floor. Smart Floor Valrisico-Test (SF-VRT) als meetinstrument voor periodieke valrisicovoorspelling van thuiswonende ouderen. 2023;
 21. Kegelmeyer DA, Kloos AD, Thomas KM, Kostyk SK. Reliability and validity of the tinetti mobility test for individuals with Parkinson disease. *Phys Ther*. 2007 Oct;87(10):1369–78.
 22. De Backer FMJ. UNCO-MOB 2.1. 2018.
 23. Senden R, Savelberg HHCM, Grimm B, Heyligers IC, Meijer K. Accelerometry-based gait analysis, an additional objective approach to screen subjects at risk for falling. *Gait Posture* [Internet]. 2012 Jun [cited 2023 Jul 13];36(2):296–300. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22512847/>
 24. Schober P, Schwarte LA. Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesth Analg* [Internet]. 2018 May 1 [cited 2025 Jul 31];126(5):1763–8. Available from: https://journals.lww.com/anesthesia-analgesia/fulltext/2018/05000/correlation_coefficients_appropriate_use_and.50.aspx

25. Baarda Ben, Bakker Esther, Fischer Tom, Julsing Mark, Vianen R van. Basisboek methoden en technieken : kwantitatief praktijkgericht onderzoek op wetenschappelijke basis. 2021;403.
26. Rocha A, Goldenstein SK. Multiclass from binary: Expanding One-versus-all, one-versus-one and ECOC-based approaches. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst* [Internet]. 2014 Feb [cited 2025 Aug 21];25(2):289–302. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24807029/>
27. Cruz-Jimenez M. Normal Changes in Gait and Mobility Problems in the Elderly. *Phys Med Rehabil Clin N Am* [Internet]. 2017 Nov 1 [cited 2025 Aug 13];28(4):713–25. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29031338/>
28. Boyer KA, Johnson RT, Banks JJ, Jewell C, Hafer JF. Systematic review and meta-analysis of gait mechanics in young and older adults. *Exp Gerontol* [Internet]. 2017 Sep 1 [cited 2025 Aug 13];95:63–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28499954/>
29. Gribble PA, Tucker WS, White PA. Time-of-day influences on static and dynamic postural control. *J Athl Train*. 2007;42(1):35–41.
30. Jorgensen MG, Rathleff MS, Laessoe U, Caserotti P, Nielsen OBF, Aagaard P. Time-of-day influences postural balance in older adults. *Gait Posture* [Internet]. 2012 Apr [cited 2025 Aug 13];35(4):653–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22390960/>