

Objektives Monitoring der zervikalen Dystonie

mittels synthetischer Daten und Deep Learning

Prof. Dr. Sebastian Fudickar





UNIVERSITÄT ZU LÜBECK



Nachwuchs-
forschungsgruppen



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



MOVEGroup: „Integration und Analyse von multimodalen Sensorsignalen und klinischen Daten zur Diagnostik und Erforschung von neurologischen Bewegungsstörungen“

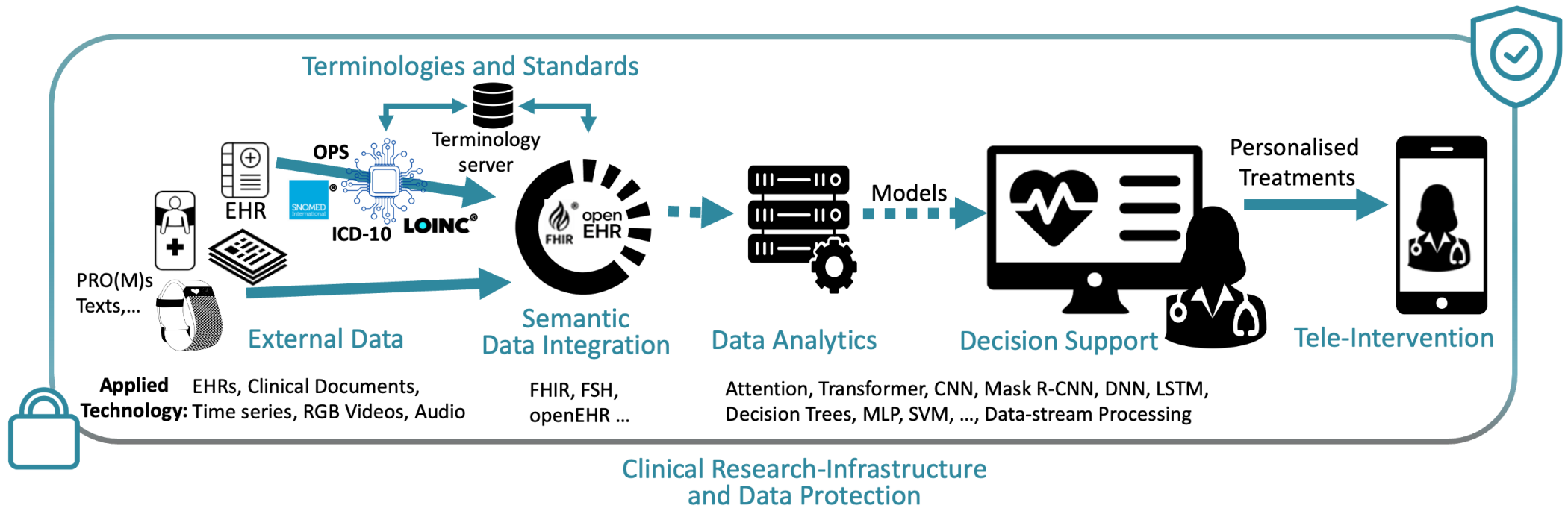
...in Kooperation mit:



UNIVERSITÄTSKLINIKUM
Schleswig-Holstein

INSTITUT
FÜR
SYSTEMISCHE
MOTORIKFORSCHUNG







Einführung

Einführung

• Definition

„**Dys**“ = falsch & „**tonie**“ = Spannung

„Dystonie ist eine Bewegungsstörung, die durch anhaltende oder intermittierende Muskelkontraktionen gekennzeichnet ist, die abnormale, sich oft wiederholende Bewegungen, Körperhaltungen oder beides verursachen.“



Bewegungsstörung



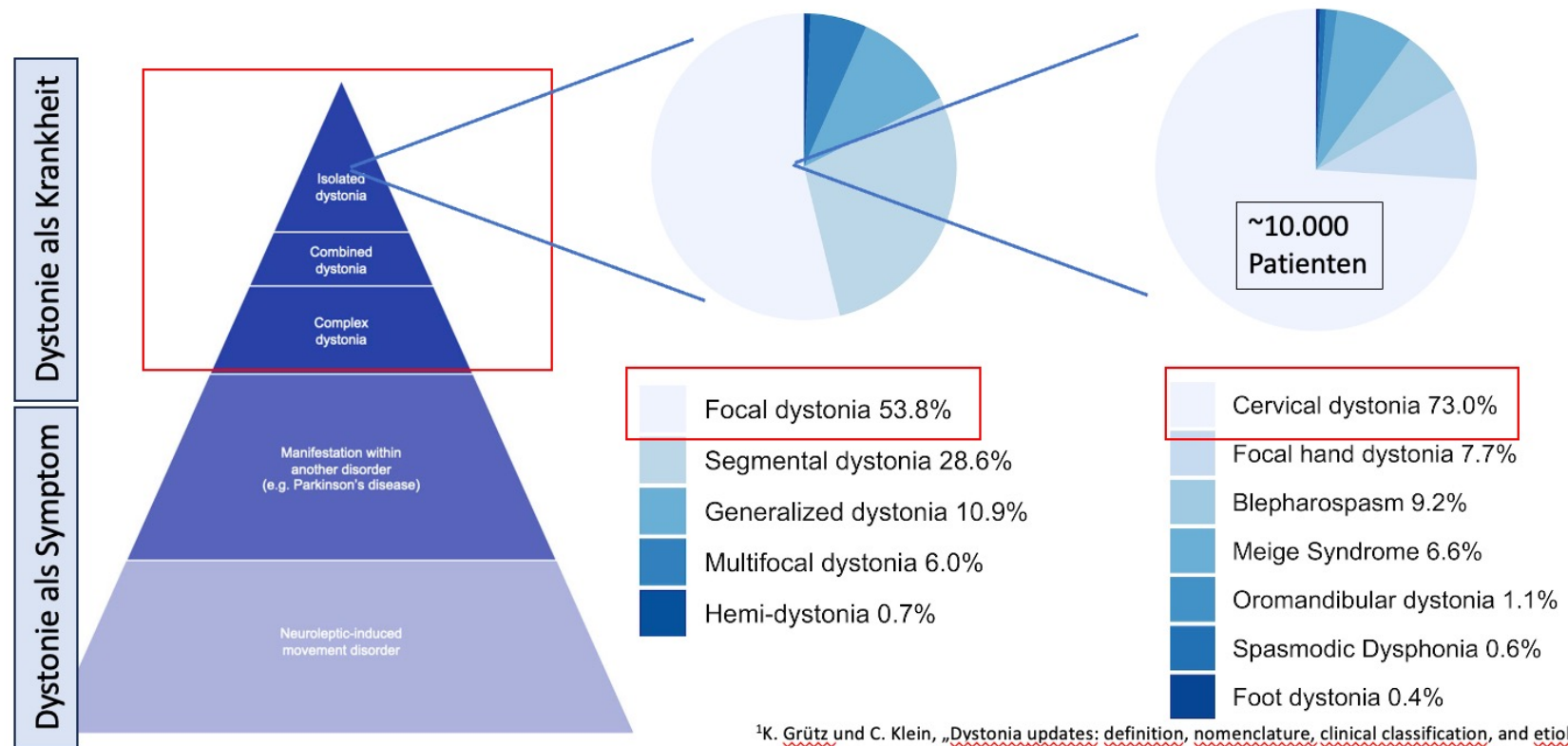
Neurologische Erkrankung



- MRT normal
- Labordiagnose normal
- Symptome visuell erfasst

Einführung

• Klassifikation der Dystonien



¹K. Grütz und C. Klein, „Dystonia updates: definition, nomenclature, clinical classification, and etiology“
²eigene Daten DysTract Dystonie Register

Einführung

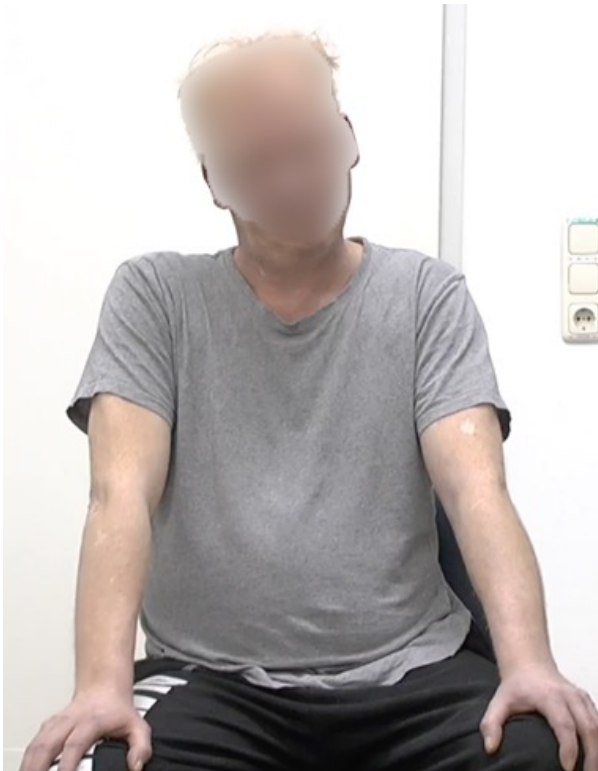


Abb.: Patient mit zervikaler Dystonie (Laterocolis)

Botulinumtoxin-A-Injektionen

- Therapie der 1. Wahl
- Chemische Denervation der von Dystonie betroffenen Muskulatur durch intramuskuläre BT-Injektion
- Effekt / Erfolg der Therapie abhängig von Auswahl der Muskeln + zielgerichteter Injektion
- 50% Verbesserung der abnormalen Kopfhaltung
- Üblich: alle 3-4 Monate

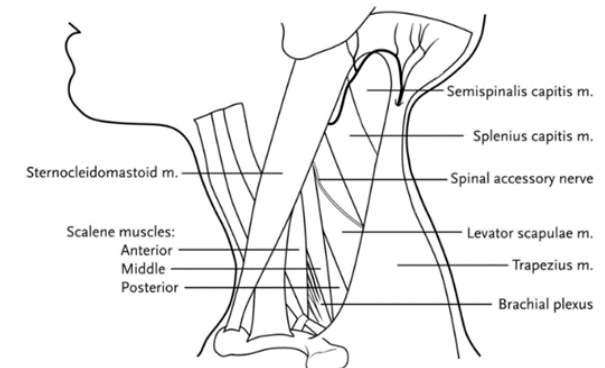


Abb.: Häufige Injektionsstellen bei zervikaler Dystonie. Entnommen aus einem TWSTRS-Formular zur klinischen Dokumentation.

Einführung

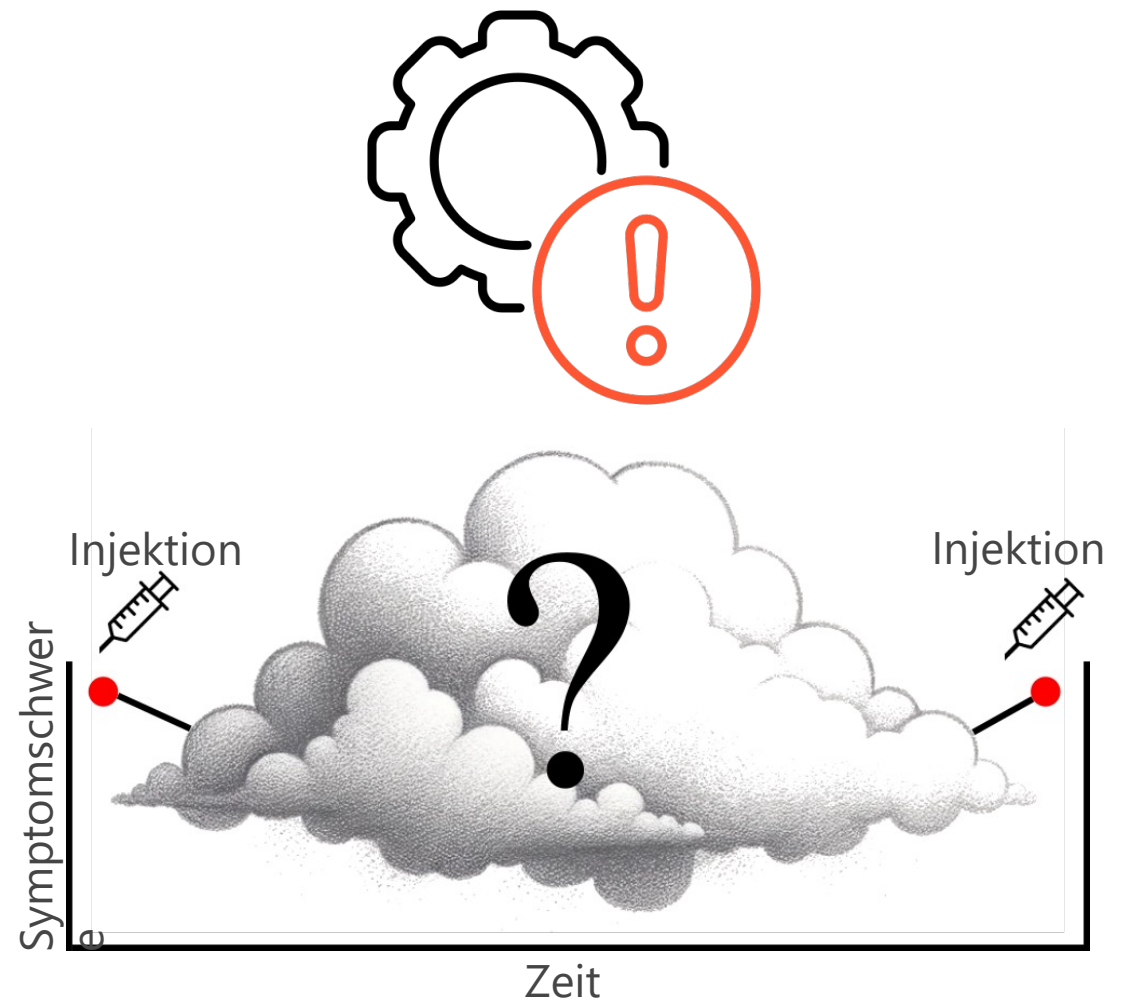
Unklarer Symptomverlauf

- Unklar, was zwischen Injektionen passiert
- Symptomschwere nicht engmaschig erfasst

Geringe Adhärenz

- 30-46% brechen Therapie ab
- Gründe nur teilweise bekannt [6,7,8]

Klinische Ratings



Einführung

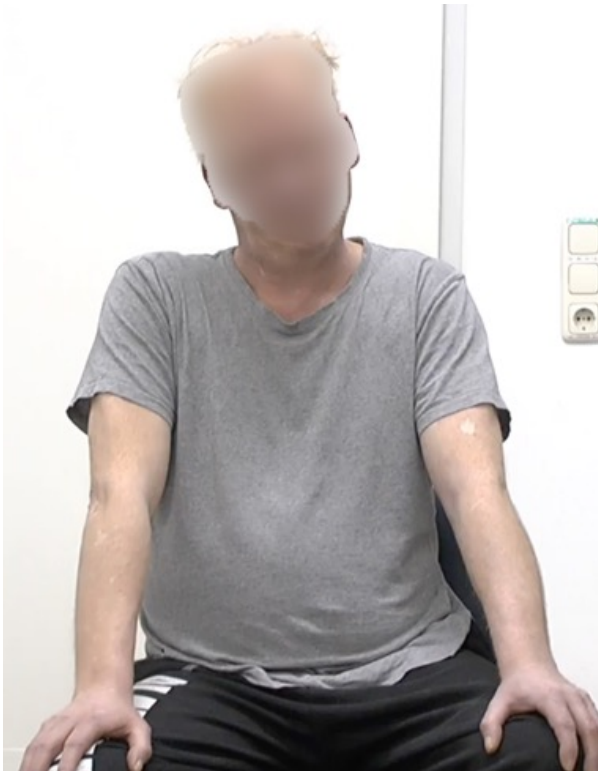


Abb.: Patient mit zervikaler Dystonie (Laterocollis)

Bewertungs-Scala



- Dreiteiliger Score
 - Bewegungsstörung
 - Grad der Behinderung
 - Schmerzen
- In klinischen Studien etabliert

Klinische Bewertung

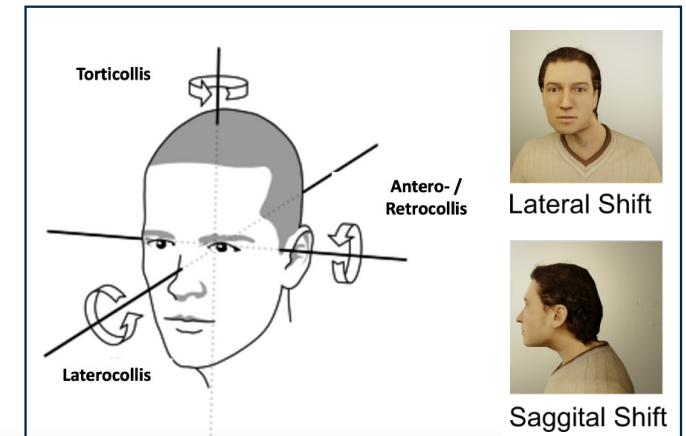


Abb.: Drei Rotationsachsen und Haltungsveränderungen.

Zusätzlich dynamische Komponenten

- Zeit, in der der Kopf in der Mittellinie gehalten werden kann
- Bewegungsumfang
- Dauer

Einführung

• Präzision der klinischen Ratings

Bisher: niedrige Interrater-Reliabilität (IRR) bekannt
 Neu: Vergleich mit **objektivem "Ground Truth"** (Avatare)

TWSTRS Rating-Studie

- 41 Teilnehmer mit Dystoniepatienten-Kontakt
- Bewertung von 100 Bildern von Patienten mit zervikaler Dystonie

A

100/100 To be annotated

B

Turns right or left (Yaw)

Upper Level

Lower Level

Turns up or down (Pitch)

Upper Level

Lower Level

Lateral tilt right or left (Roll)

Upper Level

Lower Level

C

Torticollis (Turn, left or right)

0. None^[1]

1. Slight [full 1/4 range, 1°-22°]^[2]

2. Mild [1/4 - 1/2 range, 23°-45°]^[1]

3. Moderate [1/2 - 3/4 range, 46°-67°]^[4]

4. Severe [3/4 range, 68°-90°]^[1]

Laterocollis (Tilt, left or right)

0. None^[4]

1. Mild [1°-15°]^[1]

2. Moderate [16°-35°]^[1]

3. Severe [36°-90°]^[1]

Shoulder Elevation

0. Absent^[1]

1. Present^[1]

Anterocollis (Head down)

0. None^[4]

1. Mild downward deviation of chin^[1]

2. Moderate downward deviation (approximately 1/2 possible range)^[1]

3. Severe (chin approximates chest)^[4]

Retrocollis (Head up)

0. None^[4]

1. Mild backward deviation of vertex with upward deviation of chin^[1]

2. Moderate backward deviation (approximately 1/2 possible range)^[1]

3. Severe (approximates full range)^[4]

Lateral shift

0. Absent^[4]

1. Present^[4]

Sagittal shift

0. Absent^[4]

1. Present^[4]

Abb.: Annotations-Oberfläche; dient als Grundlage für Datenerhebung. A: Avatarbilder, die zu Annotieren sind, B: Slider um nach dem Cap-Col-Konzept zu annotieren. C: Kategorische TWSTRS annotation.

Einführung

- Präzision der klinischen Ratings
- **Erkennungsrate (TPR):**
 - Rotationsbewegungen: **75–85 %**
 - Shift-Bewegungen: nur **54–57 %**
- **Inter-Rater Reliabilität (IRR):**
 - Variabel: **0,30 bis 0,77**
- **Fazit: Klinische Skalen nur mäßig zuverlässig**

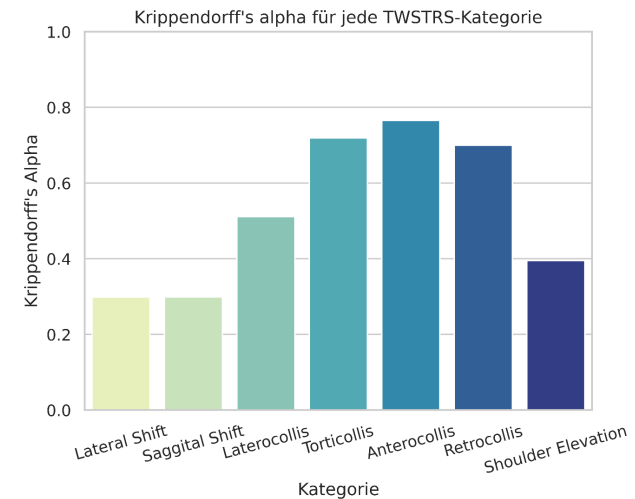
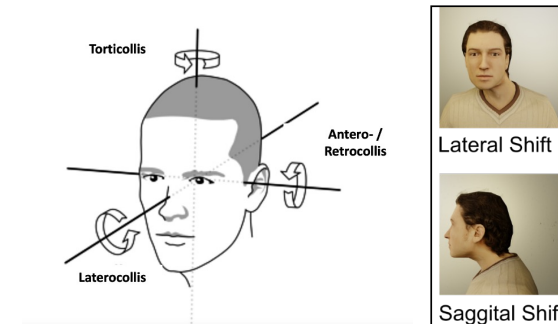


Abb.: Krippendorff's Alpha für Einschätzungen der Unterkategorien des TWSTRS.

Validation of clinical ratings of cervical dystonia using computer-generated avatars DOI:
[10.1016/j.parkreldis.2025.107975](https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2025.107975) IM FOCUS DAS LEBEN

Einführung

Unklarer Symptomverlauf

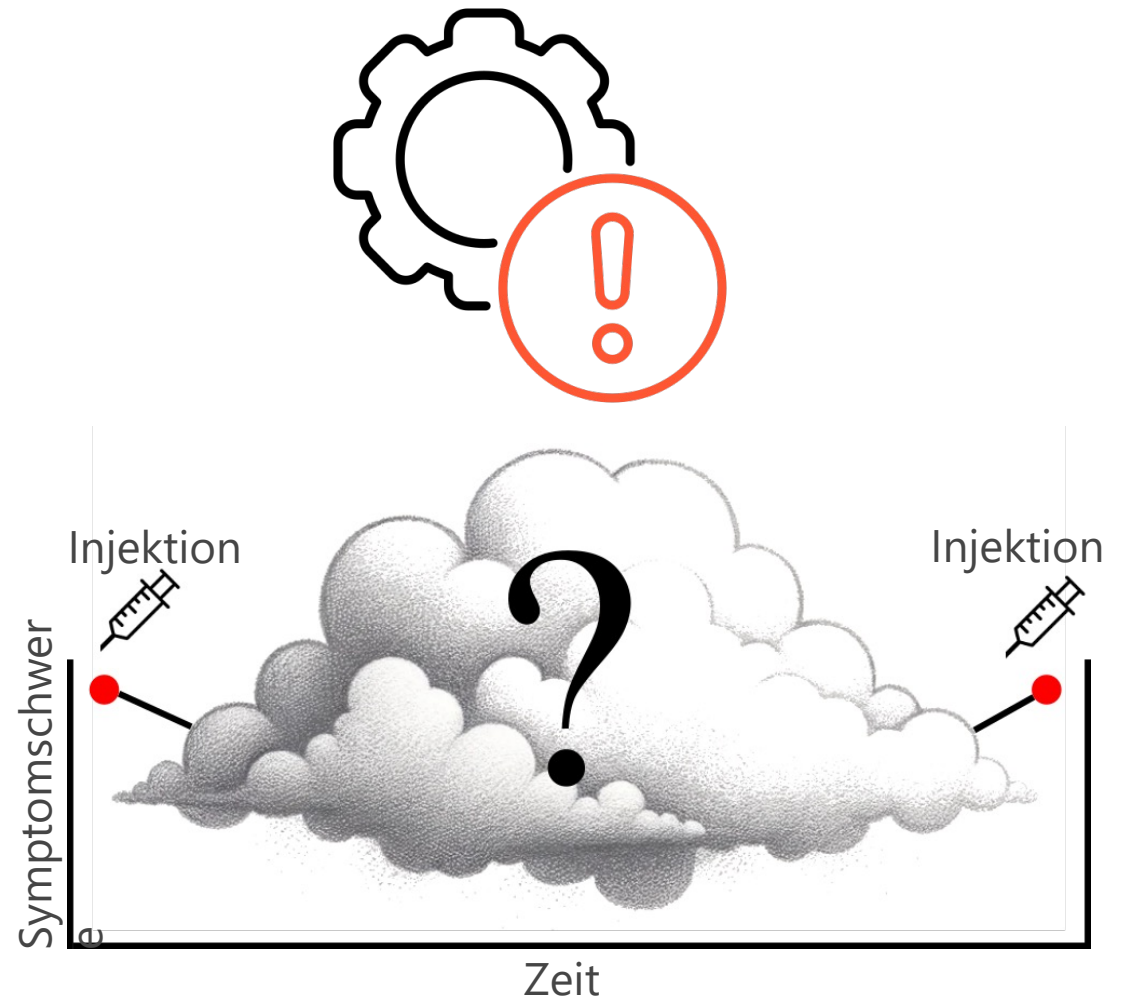
- Unklar, was zwischen Injektionen passiert
- Symptomschwere nicht engmaschig erfasst

Geringe Adhärenz

- 30-46% brechen Therapie ab
- Gründe nur teilweise bekannt

Unpraktikable klinische Ratings

- Subjektiv, zeitaufwändig
- IRR tlw. gering belastbar





Ansatz

Ansatz

Engmaschiges Online-Monitoring:

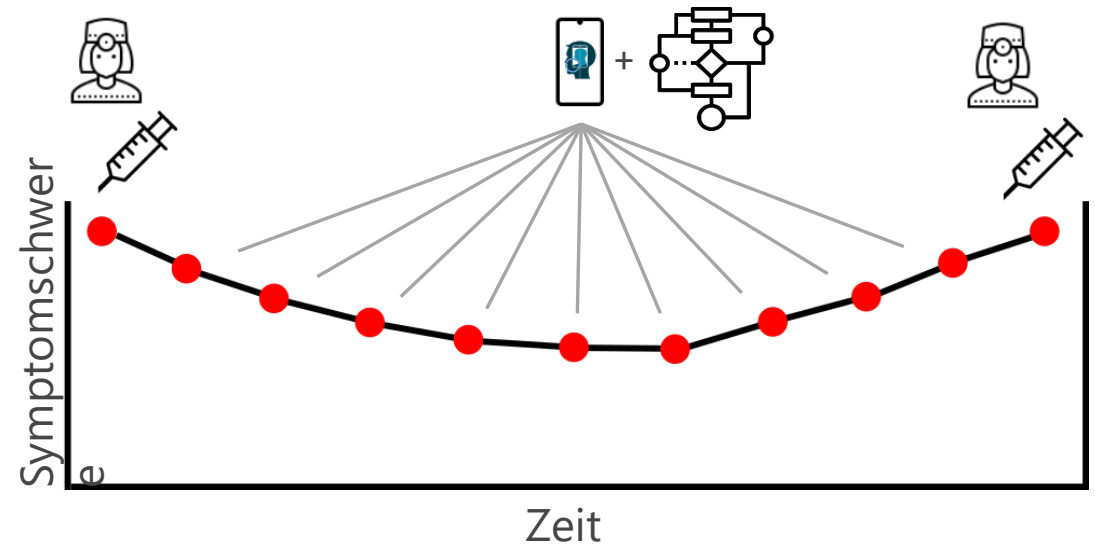
- Häusliches Video-basiertes Monitoring mittels **Smartphone App** zur Videoaufzeichnung

Patientennutzen:

- Bessere Selbsteinschätzung.
- Individuellere Behandlung/Anpassung.

Klinischer Nutzen:

- Bessere Kenntnis über kurzfristige Therapiewirkung und Symptomverläufe
- Objektive Symptom-Einschätzung
- Erzeugung eines standardisierten Datensatzes



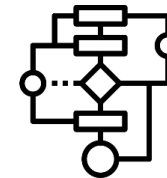
Ansatz



Smartphone-

App

App die eine protokollierte Videoaufnahme durchführt, um Symptome gezielt sichtbar zu machen



Algorithmus

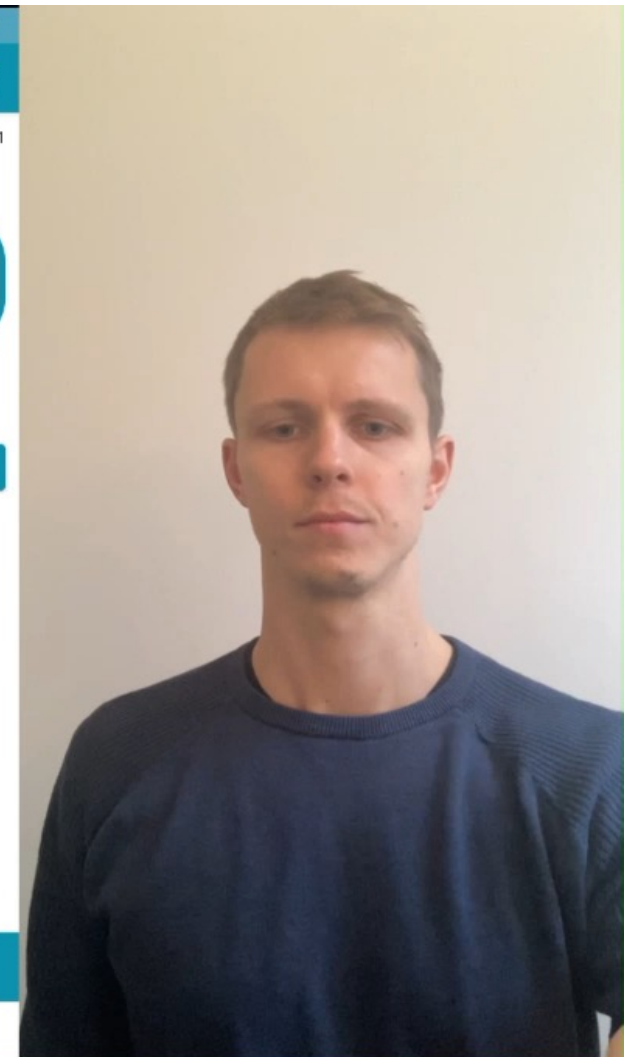
Datengetriebener Algorithmus zur TWSTRS-Schweregrad-Einschätzung von zervikaler Dystonie



Smartphone-App

Smartphone-App

- Videoassessment



Smartphone-App

1. Querschnittsstudie

10 Probanden

On-site

G-MAUQ Fragebogen

Freie Diskussion für Verbesserungspotential

Ergebnisse:

GMAUQ:

75% "stimme zu" oder "stimme voll zu" zu Fragen bzgl.

- Benutzerfreundlichkeit
- Schnittstelle und Zufriedenheit
- Nützlichkeit

Am geringsten bewertet: „Ich fühle mich wohl dabei, diese App in sozialen Situationen zu verwenden.“

Android App for Symptomatic Monitoring of Cervical
Dystonia: Design and Usability Study DOI:
10.5220/0012465300003657

2. Longitudinale Studie

11 Probanden

12 Wochen mit Wöchentliche Videoaufnahme

GMAUQ nach 2 Wochen

Ergebnisse:

GMAUQ:

- Benutzerfreundlichkeit höher bewertet
- Nützlichkeit niedriger bewertet

74% aller vorgesehenen Aufnahmen durchgeführt.
3/11 brachen Studie unmittelbar ab

Usability and adherence evaluation of a smartphone
app for home-based symptom monitoring of cervical
dystonia
DOI: 10.1177/20552076251344515

Smartphone-App

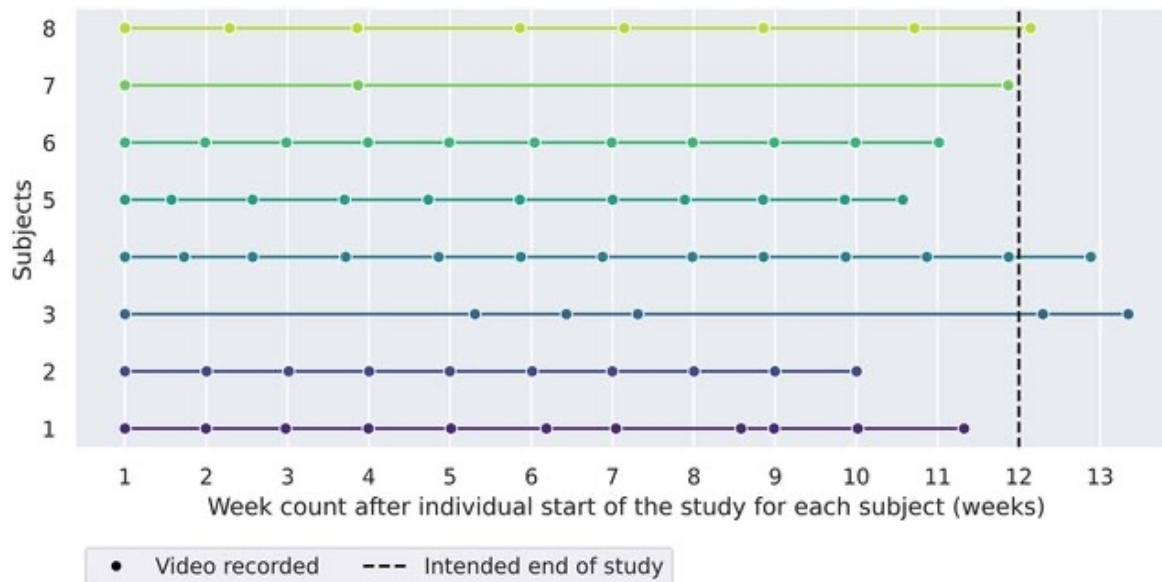


Abb.: Video-Aufzeichnungen pro Studienteilnehmer innerhalb 12-wöchiger Studienphase.

2. Longitudinale Studie

11 Probanden
12 Wochen mit Wöchentliche Videoaufnahme
GMAUQ nach 2 Wochen

Ergebnisse:

GMAUQ:

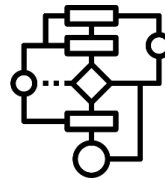
- Benutzerfreundlichkeit höher bewertet
- Nützlichkeit niedriger bewertet

74% aller vorgesehenen Aufnahmen durchgeführt.
3/11 brachen Studie unmittelbar ab

Usability and adherence evaluation of a smartphone app for home-based symptom monitoring of cervical dystonia

DOI: 10.1177/20552076251344515

IN FOCUS DAS LEBEN



Algorithmische TWSTRS-Einschätzung

Algorithmische TWSTRS-Einschätzung

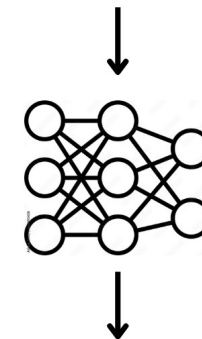
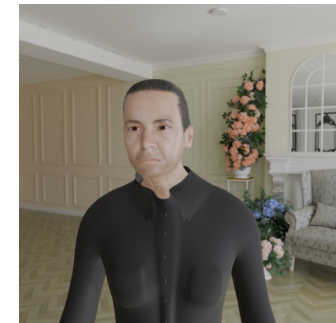
Ziel: TWSTRS-Items aus Bildern automatisch vorhersagen

Input: Front-/Seitenansichten des Patienten

Output: Rotationen & Shifts als TWSTRS-Scores

Probleme:

- Rotations-Items: Gut lösbar per Headpose Estimation (Yaw/Pitch/Roll)
- Shift-Items: Schwierig – seltene Subtypen, komplexe Muster
- Bisher: Keine Studie liefert stabile Ergebnisse für Shifts



Torticollis
Laterocollis
Antero-/Retrocollis
Lateral Shift
Sagittal Shift

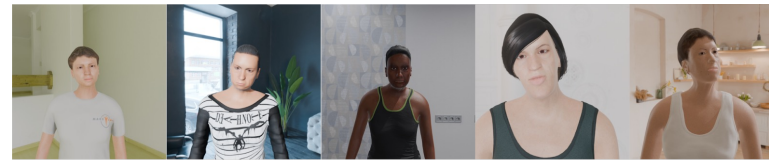
Algorithmische TWSTRS-Einschätzung

- Preprocessing: Kopf-/Hals-Crop basierend auf Segmentation und Keypoints
- Rotationen: Headpose (Yaw/Pitch/Roll) → transparentes Mapping (z. B. Yaw=32° → Torticollis=2)
- Shifts:
 - Pretraining auf synthetischen Avataren → Evaluierung auf realen Bildern
- Evaluation:
 - Synthetic Ground Truth: Accuracy/TPR
 - Reale Daten: Korrelation & MAE ggü. Expert:innen
- Risiken:
 - Domain-Gap → Domain-Randomization, Dimensionsreduktion mittels Segmentation Maps
 - Label-Noise → Rater-Mittelwerte

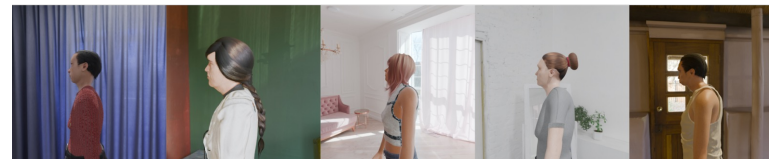
Algorithmische TWSTRS-Einschätzung



Abb.: Synthetisierung von „geriggten“ Avatarmodelle



Front-view images for lateral shift estimation



Side-view images for sagittal shift estimation

Abb.: Beispielhafte synthetisierte Avatarbilder des Trainingsdatensatzes

Trainingsdatensatz: ~15000 Front-Bilder, ~10000 Seitenbilder mit diversen Symptomen

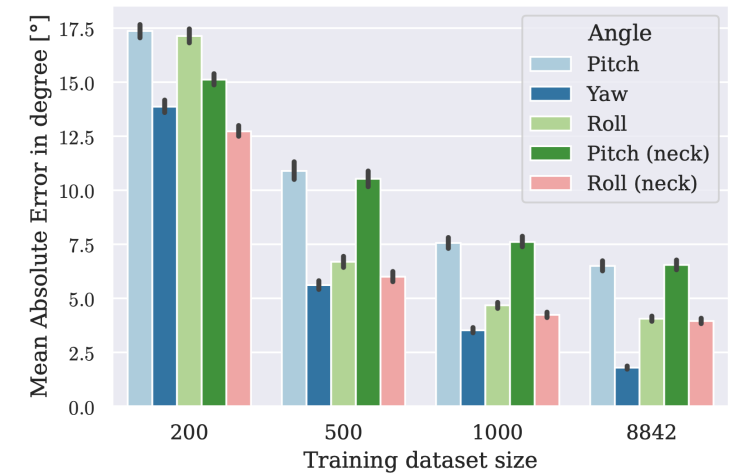
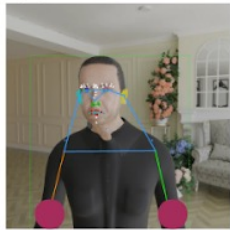


Abb.: Mittlerer absoluter Fehler in Bezug zur Größe des Trainings Datensatzes

Extended Head Pose Estimation on Synthesized Avatars for Determining the Severity of Cervical Dystonia, DOI: 10.5220/0011677600003414

Algorithmische TWSTRS-Einschätzung

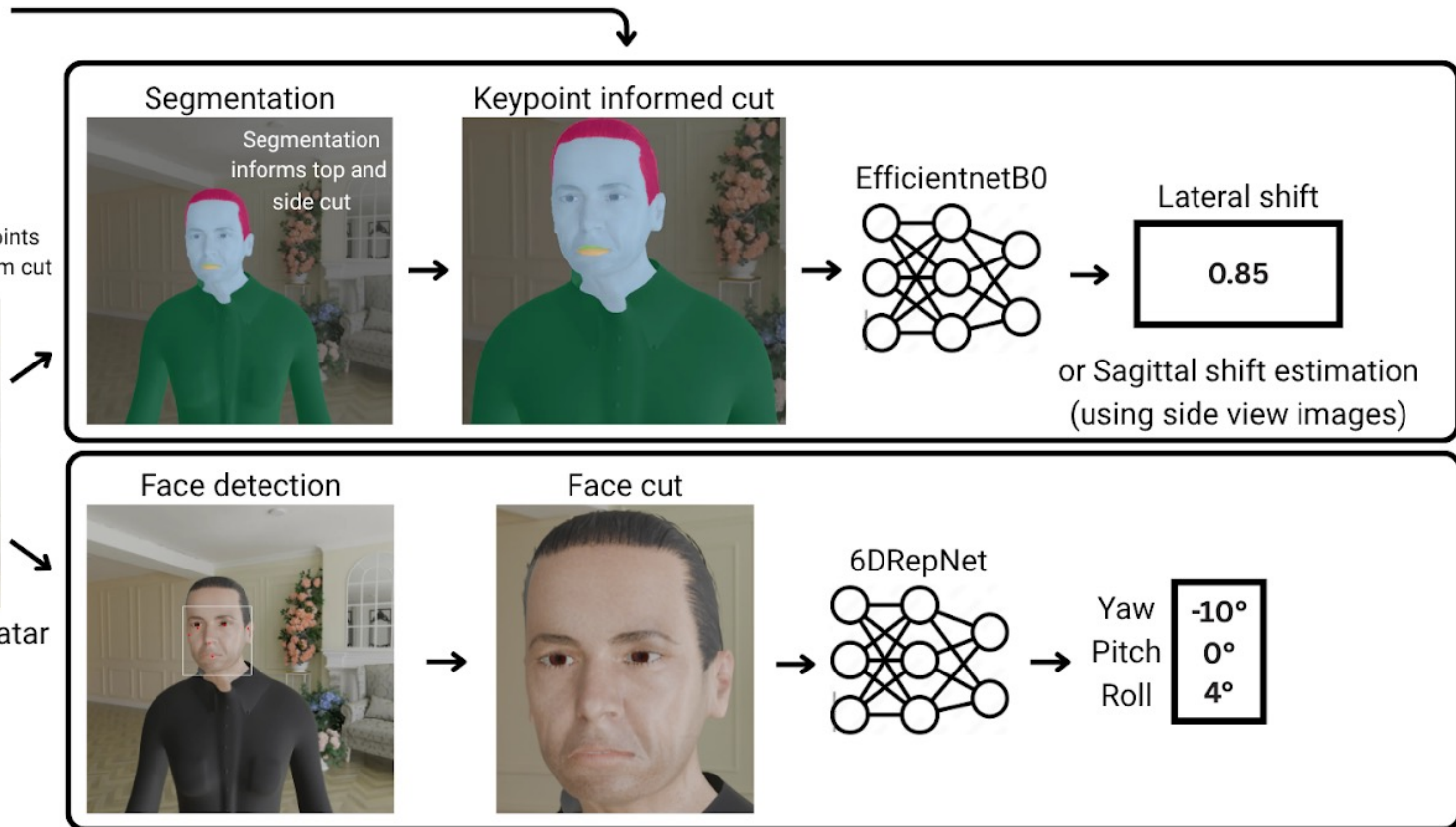
Keypoint Detection



Elbow keypoints
inform bottom cut



Synthetically generated Avatar
(or real image)



Evaluation

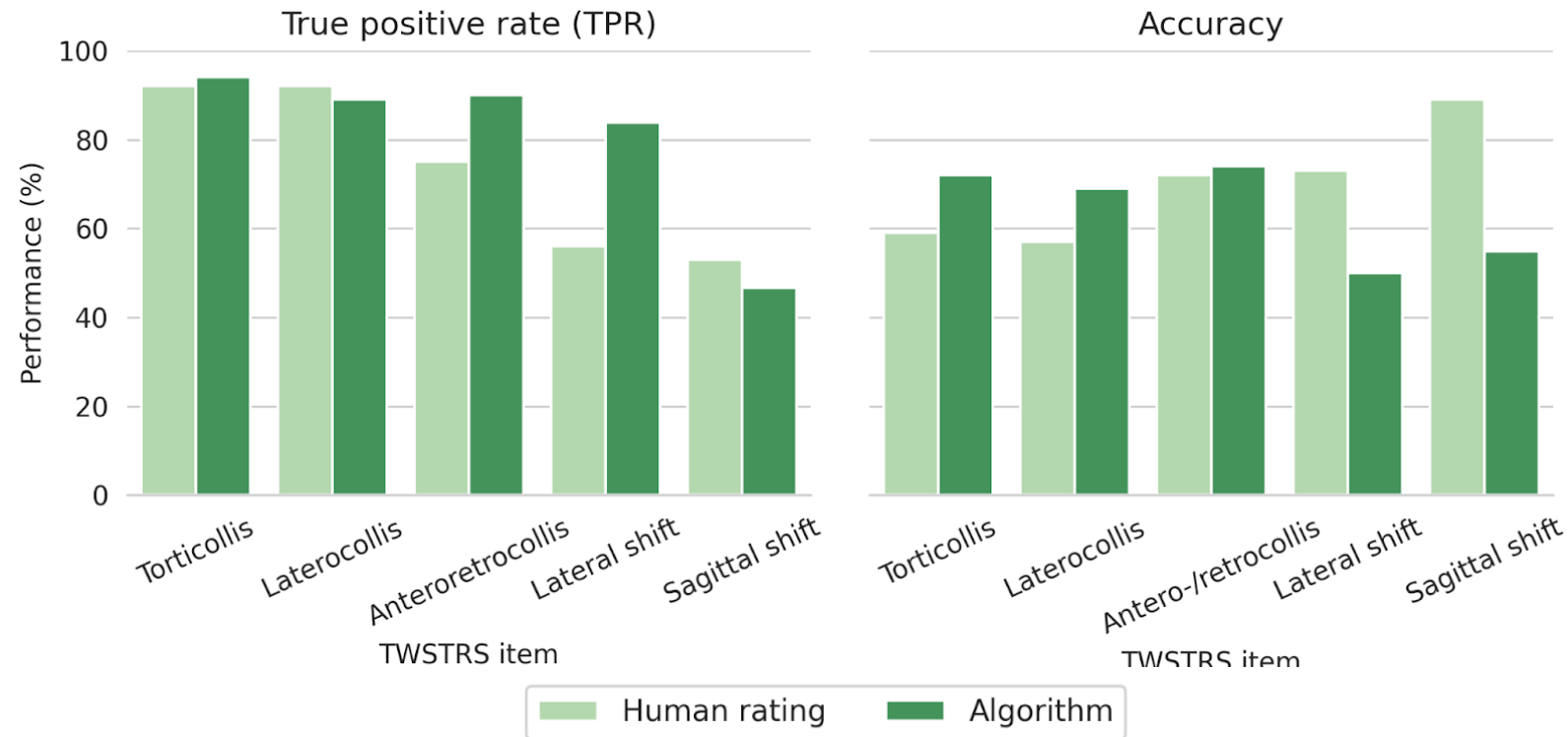


Abb.: Vergleich der Algorithmus-Performance hinsichtlich der True-Positive-Rate und Accuracy mit menschlichen Bewertern anhand des Avatar-Benchmarks.

Image-Based TWSTRS Scoring in Cervical Dystonia: A Machine Learning Approach using Synthetic Training-Data (In Preparation)

Fudickar: Objektives Monitoring der zervikalen Dystonie mittels synthetischer Daten und Deep Learning



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK

Kontakt

Prof. Dr. habil. Sebastian Fudickar
Sektion für Klinische Forschungs IT
Universität Lübeck / UKSH

skfit.de
sebastian.fudickar@uni-luebeck.de



BIOSTEC 2026 Konferenz
inkl. HealthInf und BioImaging

2-4 März 2026 in Marbella, Spanien
Deadline: Oktober, November
2025

... .. 3/

