sensors

MDPI

Validity of a Convolutional Neural Network-Based, Markerless Pose Estimation System Compared to a Marker-Based 3D Motion Analysis System for Gait Assessment—A Pilot Study

Korbinian Ksoll [1,*], Rafael Krätschmer [2] and Fabian Stöcker [2]

Das KI-basiertes Ganganalyse-System (Orthelligent® VISION) wird zur Diagnostik, Verlaufskontrolle und Dokumentation in verschiedenen medizin. Fachbereichen eingesetzt. In dieser Studie wurde das Orthelligent VISION mit dem Goldstandard, einem klassischen markerbasierten 3D-Bewegungsanalyse-System verglichen. Ziel war es zu prüfen, ob moderne kamerabasierte Systeme, die auf Convolutional Neural Networks (CNNs) und Pose-Schätzung beruhen, eine valide Alternative zu den teuren und aufwändigen Marker-Systemen darstellen können. Diese Studie wurde durch das Biomechanik-Labor der Fakultät Sport– und Gesundheitswissenschaften an der TU München durchgeführt und im MDPI-Journal „sensors“ (IF: 3.5) publiziert.

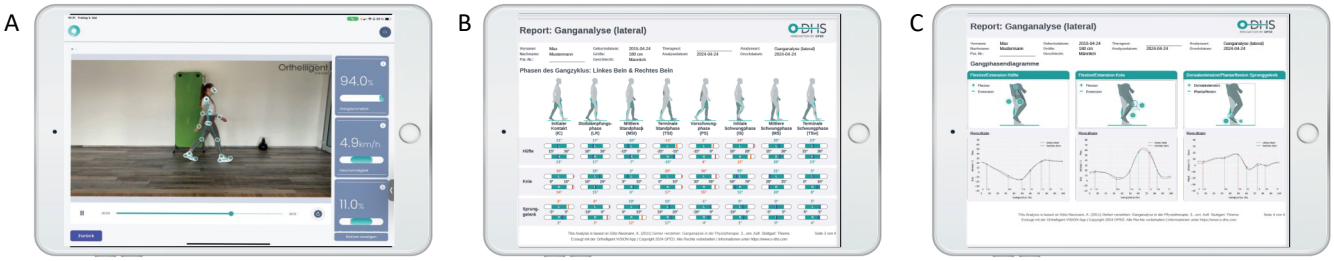

Abbildung 1: Beispielhafte Ganganalyse mit Orthelligent® VISION) **A** Video mit Markern **B & C** Report mit Ergebnissen der Ganganalyse.

Methodik:

Es wurden 16 gesunde Erwachsene (6 Frauen, 10 Männer) mit Orthelligent® VISION (Tablet/iPad, 30 fps, 2D-Kamera frontal + sagittal) basierend auf einem CNN/MediaPipe Modell und mit Vicon 3D Motion Analysis System (8 Infrarotkameras, 100 fps, reflektierende Marker) gemessen. Dabei wurden Probanden beim Gehen auf einem Laufband mit 4 km/h für 1 Minute → ca. 52 Schritte pro Proband (26 links, 26 rechts) mit beiden Systemen simultan bzw. synchronisiert aufgezeichnet. Zum Vergleich wurden von beiden Messungen verschiedene spatio-temporale Gangparameter (z. B. Kadenz, Schrittlänge, Standzeit, Schrittzeit, Schrittbreite, Symmetrie etc.) berechnet und die übereinstimmung zwischen Systemen mittels Concordance Correlation Coefficient (CCC) und Variationskoeffizient (CV) bewertet.

Ergebnisse:

Das markerlose System Orthelligent® VISION zeigt in dieser Pilotstudie eine **hohe Validität** für eine Reihe wichtiger Gangparameter im Vergleich zum klassischen 3D-Marker-System. Die gait-Event-Erkennung (Initial Contact, Toe-Off) durch das markerlose System war sehr gut: 100 % Initial Contact erkannt, 98,7 % Toe-Off erkannt. Mit mittlerem Fehler im Millisekundenbereich (z. B. 3–15 ms) gegenüber dem Referenzsystem. In der **lateralen Analyse** konnte eine gute bis sehr gute Übereinstimmung für Kadenz, Standzeit, Schrittlänge und Schrittzeit (CCC nahe 1.0, niedrige CV) gezeigt werden. Auch die **frontale Analyse** zeigte für Kadenz, Schrittzeit, Standzeit, Schrittbreite fast durchweg starke bis sehr starke Übereinstimmung (CCC zwischen ~0,805 und 0,993).

Tabelle 1: Vergleich der Gangparameter zwischen Vicon (VIC) und Orthelligent VISION (OV).

Metric	Device	Mean	SD	CCC [Heuristic Meaning]	CV [%]	Limits of Agreement
Cadence [steps/min]	VIC OV	104.312 104.250	±5.009 ±4.969	0.996 [almost complete]	4.802 4.766	0.08/−0.93
Gait symmetry [%]	VIC OV	97.000 96.000	±2.784 ±2.716	0.527 [moderate]	2.870 2.829	4.21/−6.21
Gait variability [%]	VIC OV	3.031 3.906	±1.531 ±1.487	0.624 [strong]	50.494 38.057	3.09/−1.34
Step time [s]	VIC OV	0.576 0.576	±0.029 ±0.029	0.974 [almost complete]	5.036 4.980	0.01/−0.01
Stance time [s]	VIC OV	0.723 0.724	±0.038 ±0.040	0.947 [almost complete]	5.293 5.512	0.03/−0.02
Step length [cm]	VIC OV	62.188 63.062	±3.292 ±3.473	0.892 [almost complete]	5.294 5.507	3.54/−1.79
Double support [s]	VIC OV	0.293 0.296	±0.024 ±0.023	0.734 [strong]	8.198 7.677	0.04/−0.03

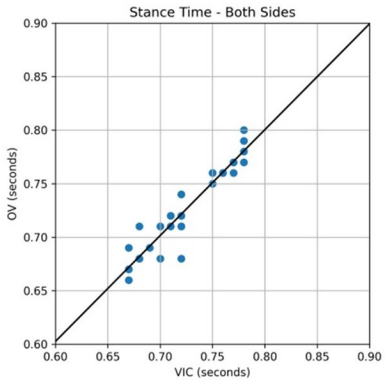

Abbildung 2: Vergleich der Doppelstandphase zwischen Vicon (X-Achse) und Orthelligent (Y-Achse).

Schlussfolgerung:

Basierend auf den vorgestellten Daten kann Orthelligent VISION als valides Messsystem für die klinische Ganganalyse eingesetzt werden. Seine Benutzerfreundlichkeit, Kosteneffizienz und robuste Leistung sind vorteilhaft für die digitale Transformation der muskuloskelettalen und neurologischen Versorgung.

Sensors ***2025****, 25, 6551. https://doi.org/10.3390/s25216551*