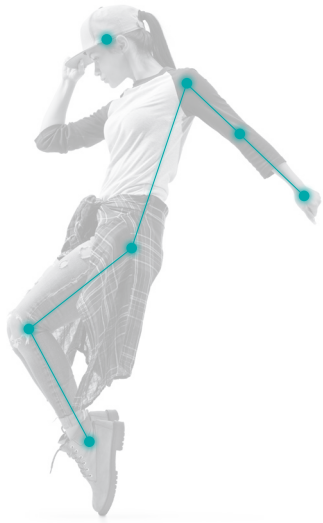
WHITEPAPER

MARKERLOSE BEWEGUNGSANALYSE MIT KI-BASIERTER BILDERKENNUNGS-TECHNOLOGIE

Erste Ergebnisse der klinischen Validierung

INHALTSVERZEICHNIS

Status quo und Perspektiven der Bewegungsanalyse	3
Markerlose Bewegungsanalyse mit Orthelligent® VISION	4
Bewegungsanalyse: Drei Methoden im Überblick	6
Hintergrund: Validierung KI-basierter Bewegungsanalyse-Technologie	7
Orthelligent® versus markerbasierte Videoanalyse – Schulter- und Kniegelenk	8
Orthelligent® versus Goniometrie – Kniegelenk	10
Orthelligent® versus Goniometrie – Schultergelenk	12
Diskussion und Einordnung der Ergebnisse	13
Literatur	14

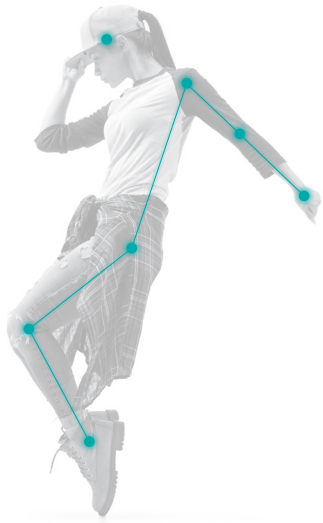


ALLGEMEINE EINFÜHRUNG

STATUS QUO UND PERSPEKTIVEN DER BEWEGUNGSANALYSE

Die manuelle Winkelmessung mit dem Goniometer gilt bis heute als klinischer Goldstandard für die Funktionsprüfung von Gelenken zum Beispiel in der Sport- und Rehabilitationsmedizin. Diese einfache und kostengünstige Methode erreicht eine Messgenauigkeit von ± 5° bis 10°. Allerdings sind mit dem Goniometer ausschließlich statische, zweidimensionale Messungen möglich. Außerdem ist die Reliabilität stark untersucherabhängig (Inter-Rater-Reliabilität). Im Gegensatz dazu lassen sich mit markerbasierten Motion Capture-Systemen dynamische, dreidimensionale Bewegungsanalysen durchführen.[1] Neben hohen Anschaffungskosten ist ihre Anwendung jedoch aufwendig. Außerdem schränken die obligatorischen optischen Marker die Anwendungsmöglichkeiten ein.[2]

An diesem Punkt setzt die jüngste Weiterentwicklung an: Die markerlose Videoanalyse mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) – wie beispielsweise mit Orthelligent® VISION – ermöglicht einfache, kosteneffiziente und automatisierte Bewegungsmessungen mit präzisen Ergebnissen, wie dieses Whitepaper zeigt.



STECKBRIEF ORTHELLIGENT® VISION

Markerlose Bewegungsanalyse mit Orthelligent® VISION

Die KI-basierte, markerlose Bilderkennungstechnologie von Orthelligent® VISION ermöglicht es, Bewegungen anhand von Videos zu analysieren und präzise zu beurteilen.

Die technische Ausstattung

Für die Anwendung von Orthelligent® VISION benötigt man ein handelsübliches Tablet mit integrierter Videokamera und die Orthelligent® VISION-App.

Das Messprinzip

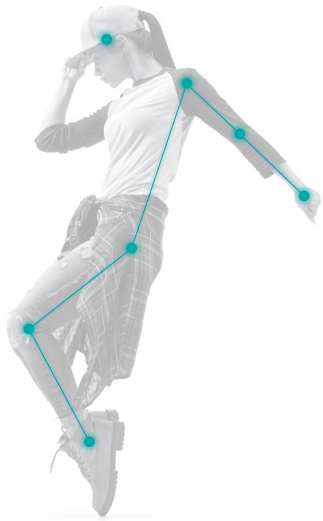
Die Bewegungsanalyse mit Orthelligent® VISION läuft in den folgenden drei Schritten ab:

1. **Video-/Fotoaufnahme:** Zunächst wird der Bewegungsablauf einer Person mit der Tablet-Kamera (On-Device-Kamera) als Video – ohne das Anbringen von optischen Markern – aufgenommen. Es reicht häufig eine einzige Videoaufnahme aus.
2. **Bilderkennung mit KI:** Auf der Basis von Deep-Learning-Algorithmen, einem Neuronalen Netzwerk und umfangreichen annotierten Bilddatensätzen berechnet Orthelligent® VISION anhand der Video-Aufnahme 33 Koordinatenpunkte, die bestimmte Positionen am menschlichen Körper anzeigen (Pose Estimation).
3. **Bewegungsanalyse:** Auf Basis der ermittelten Koordinatenpunkte analysiert Orthelligent® VISION die Bewegung und liefert automatisiert präzise Messergebnisse, beispielsweise zur Funktionsfähigkeit von Gelenken oder im Kontext einer Ganganalyse.

Die Vorteile

Orthelligent® VISION bietet diese fünf Vorteile:

1. Einfache, schnelle und flexible Anwendung ohne Marker und ohne zusätzliche Spezialkameras
2. Präzise, objektive und robuste Messungen dank jüngster KI-basierter Bilderkennungstechnologie
3. Zeitvorteile durch Minimierung der Patientenvorbereitung sowie eine schnelle, automatisierte Analyse – ohne manuelle Auswertung
4. Anwendung ohne speziell ausgebildetes Fachpersonal möglich
5. Kosteneinsparung, da keine zusätzliche Ausstattung (Marker, Kameras) und Fachpersonal erforderlich ist



STECKBRIEF ORTHELLIGENT® VISION

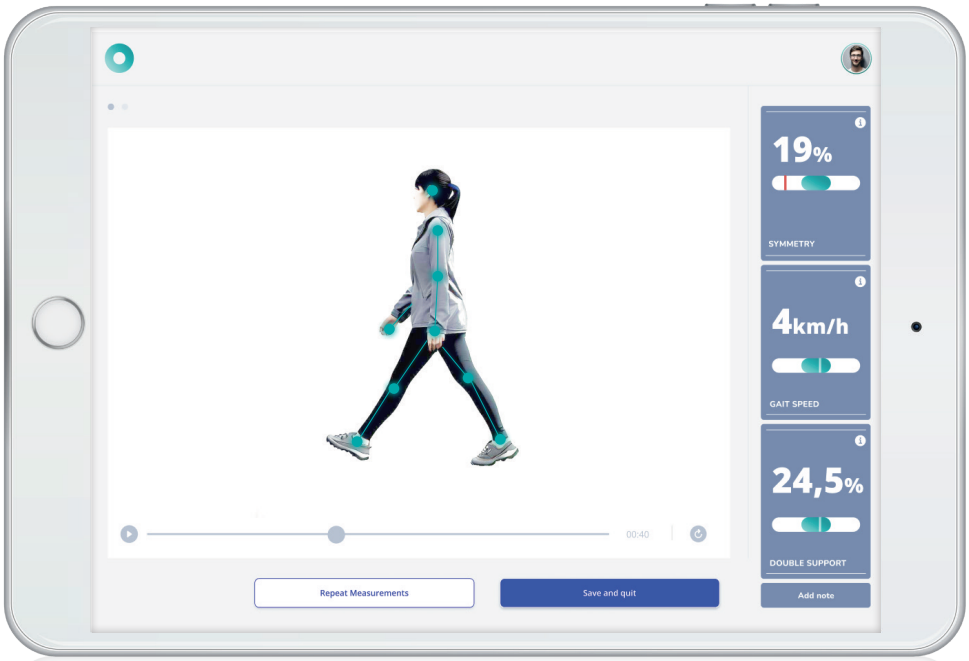
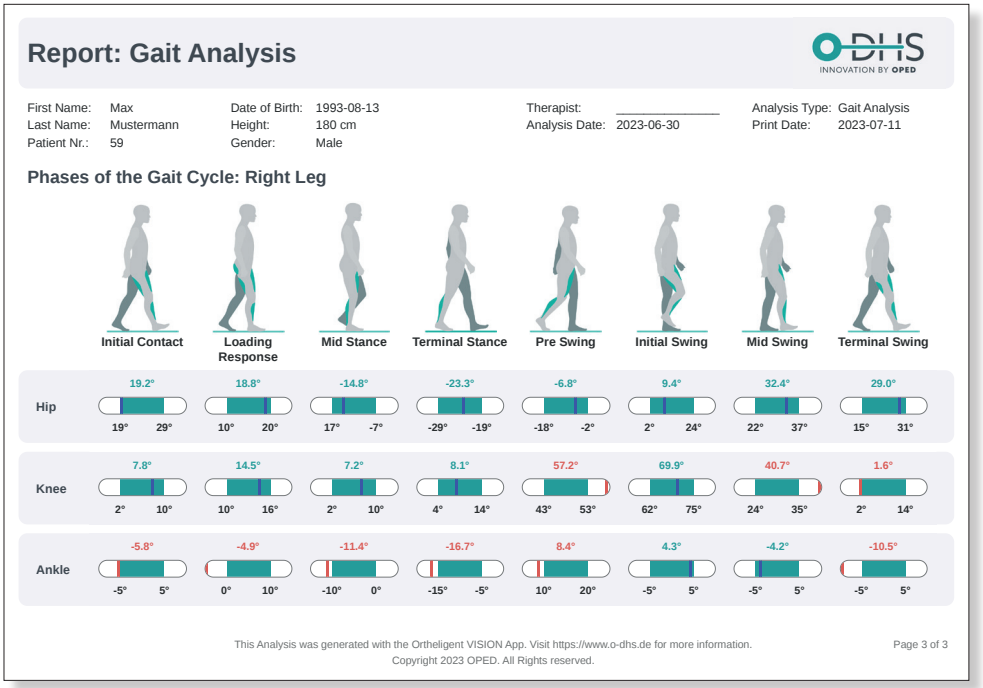


Abb. 1: Videoaufnahme mit Einblendung der Koordinatenpunkte innerhalb von Orthelligent® VISION.



Report: Gait Analysis

O-DHS INNOVATION BY OPED

First Name:	Max	Date of Birth:	1993-08-13	Therapist:	_____	Analysis Type:	Gait Analysis
Last Name:	Mustermann	Height:	180 cm	Analysis Date:	2023-06-30	Print Date:	2023-07-11
Patient Nr.:	59	Gender:	Male				

Phases of the Gait Cycle: Right Leg

	Initial Contact	Loading Response	Mid Stance	Terminal Stance	Pre Swing	Initial Swing	Mid Swing	Terminal Swing
Hip	19.2° (19° – 29°)	18.8° (10° – 20°)	-14.8° (17° – -7°)	-23.3° (-29° – -19°)	-6.8° (-18° – -2°)	9.4° (2° – 24°)	32.4° (22° – 37°)	29.0° (15° – 31°)
Knee	7.8° (2° – 10°)	14.5° (10° – 16°)	7.2° (2° – 10°)	8.1° (4° – 14°)	57.2° (43° – 53°)	69.9° (62° – 75°)	40.7° (24° – 35°)	1.6° (2° – 14°)
Ankle	-5.8° (-5° – 5°)	-4.9° (0° – 10°)	-11.4° (-10° – 0°)	-16.7° (-15° – -5°)	8.4° (10° – 20°)	4.3° (-5° – 5°)	-4.2° (-5° – 5°)	-10.5° (-5° – 5°)

This Analysis was generated with the Ortheligent VISION App. Visit https://www.o-dhs.de for more information.

Copyright 2023 OPED. All Rights reserved.

Page 3 of 3

Abb. 2: Ausschnitt aus dem abschließend automatisch erstellten Report entsprechend der Videoaufnahme.

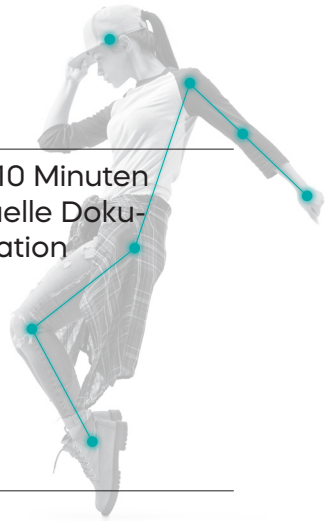
VERGLEICHSTABELLE

Bewegungsanalyse: Drei Methoden im Überblick

Die KI-basierte Bewegungsanalyse unterscheidet sich erheblich von anderen Methoden wie dem Goniometer oder dem markerbasierten Videosystemen (Tab. 1).

Tab. 1: Drei Methoden zur Bewegungsanalyse im Vergleich

	KI-basierte Videoanalyse mit Orthelligent® VISION	**Markerbasierte Videosysteme**	**Goniometer**
Technisches Prinzip	Bewegungsanalyse anhand von Videos mit KI-basierter Bilderkennungstechnologie: Ermittlung von Koordinatenpunkten für bestimmte Körperpositionen durch Abgleich mit umfangreichen, annotierten Bilddatensätzen.	Mehrere Videokameras verfolgen die Positionsveränderungen der reflektierenden Marker, die vorher auf dem Körper angebracht wurden. Basierend auf einem biomechanischen Modell werden aus den Markerpositionen Bewegungsparameter berechnet.	Messung des Winkels, den die Gliedmaßen eines Gelenks bei einer definierten Bewegung bilden.
Erforderliche Ausstattung	• Handelsübliches Tablet mit integrierter Kamera, ohne besondere technische Mindestanforderungen • Orthelligent® VISION-App	• ≥2, besser 8 bis 16 Spezialkameras (Datenqualität) • Reflektierende Marker, die am Körper angebracht werden • Systemspezifische Auswertungs-Software	• Goniometer (Winkelmesser) • Geschultes medizinisches Personal
Zeitbedarf für die Messung und Auswertungsaufwand	• <5 Minuten • Automatisierte Auswertung	• Vorbereitung: ≥30 Minuten pro Proband zuzüglich Systemkalibrierung und -einstellung • Manuelle Auswertung • Gesamtzeitaufwand rund 60 Minuten	• 5 bis 10 Minuten • manuelle Dokumentation



ÜBERBLICK/EINFÜHRUNG VALIDIERUNG

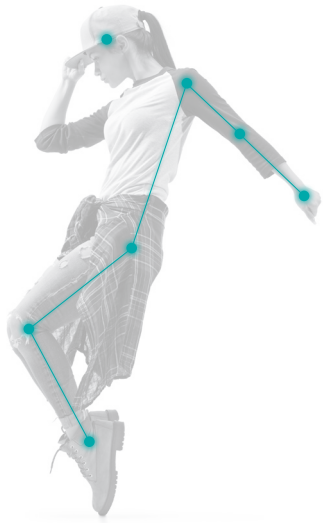
Hintergrund: Validierung KI-basierter Bewegungsanalyse-Technologie

Seit einigen Jahren werden die Validität und die Zuverlässigkeit der KI-basierten Bewegungsanalyse im Rahmen von Studien ausführlich untersucht – unter anderem im Vergleich zu herkömmlichen markerbasierten Videosystemen.[2–6]

Die bereits vorliegenden Publikationen geben Hinweise, dass die KI-basierten Technologie robuste und valide Messergebnisse liefern können. Sie ermöglichen es insbesondere, Bewegungsabläufe konsistenter und zuverlässiger zu verfolgen als markerbasierte Videosysteme.[3, 4] Im Vergleich zum Goniometer zeigen sie eine höhere Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, da die Messdaten berührungslos und unabhängig vom Einfluss des Untersuchers ermittelt werden.[4]

Vor diesem Hintergrund wurden drei Pilotstudien zur Validierung von Orthelligent® VISION durchgeführt, um zukünftige großangelegte Studien vorzubereiten. Dabei wurde Orthelligent® VISION in drei verschiedenen Settings mit anderen Bewegungsanalyse-Methoden verglichen:

1. Mit einem markerbasierten Videosystem – Schulter- und Kniegelenk
2. Mit dem Goniometer – Kniegelenk
3. Mit dem Goniometer – Schultergelenk



STUDIE 1
VERGLEICH MIT SIMI MOTION

Orthelligent® VISION versus markerbasierte Videoanalyse – Schulter- und Kniegelenk

Das Setting

Bei drei gesunden Probandinnen wurden fünf Bewegungsabläufe (Tab. 2) mit jeweils zehn Wiederholungen analysiert. Dabei wurden zwei Methoden verglichen:

- KI-basierte Videoanalyse mit Orthelligent® VISION
- Markerbasierte Videoanalyse mit Simi Motion® (8 Kameras, 16 Markerpunkte)

Die Ergebnisse

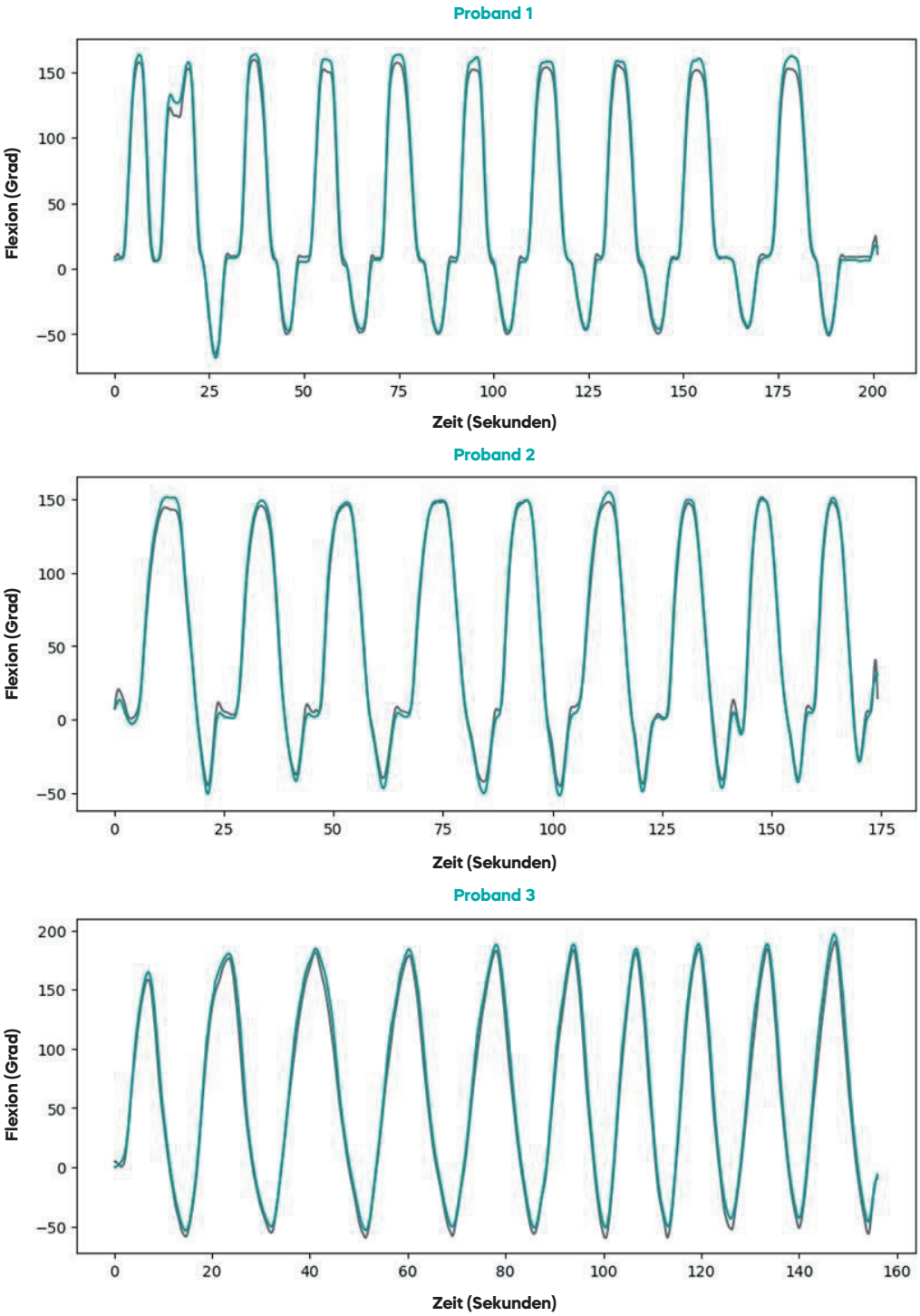
Bei allen fünf Bewegungsabläufen zeigte sich eine sehr hohe Übereinstimmung der Messergebnisse beider Systeme (Abb. 3). Die durchschnittlichen Pearson-Korrelationskoeffizienten bezogen auf alle drei Probandinnen lagen – abhängig vom Bewegungstest – zwischen 0,988 und 0,998 (Tab. 2). Zur Einordnung: Ein Pearson-Korrelationskoeffizient von 1,0 bedeutet, dass zwei Variablen vollständig übereinstimmen.

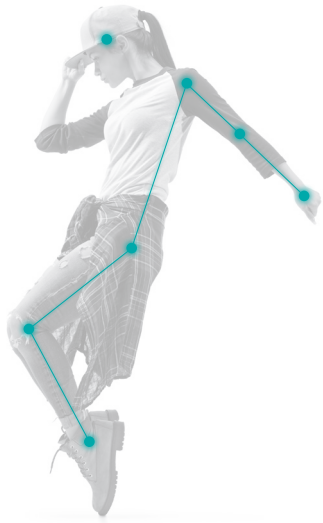
Tab. 2: Pearson-Korrelationskoeffizienten für den Vergleich von Orthelligent® VISION mit einer markerbasierten Videoanalyse bei fünf Bewegungstests

Bewegungstest	**Durchschnittlicher Pearson-Korrelationskoeffizient (drei Probandinnen)**
Schulter-Flexion	0,998
Schulter-Abduktion	0,996
Externe Rotation der Schulter; 0° Abduktion	0,991
Externe Rotation der Schulter; 90° Abduktion	0,988
Knie-Flexion; Kniebeuge auf einem Bein	0,990

STUDIE 1
VERGLEICH MIT SIMI MOTION

Abb. 3: Exemplarischer Verlauf der Schulter-Flexionsmessung mit Orthelligent® VISION beziehungsweise einer markerbasierten Videoanalyse bei drei Probandinnen





STUDIE 2
VERGLEICH MIT GONIOMETER – KNIE

Orthelligent® VISION versus Goniometrie – Kniegelenk

Das Setting

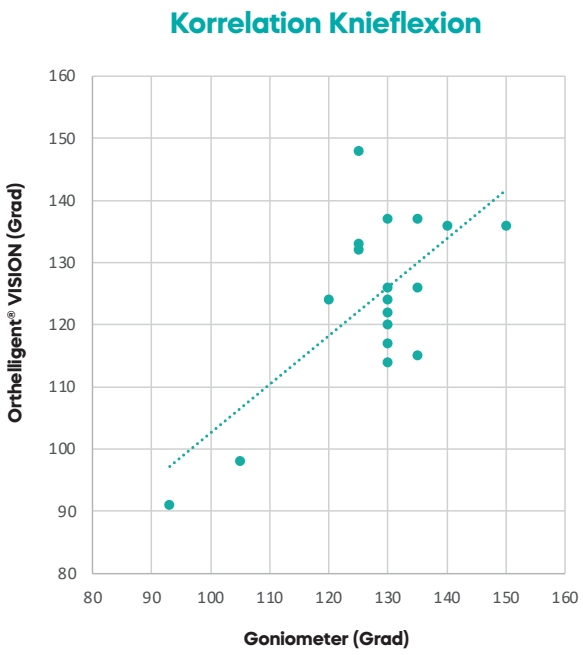
Bei 15 Probanden wurden die Maximalwerte der Flexion beziehungsweise Extension eines Kniegelenks mithilfe von zwei Methoden analysiert:

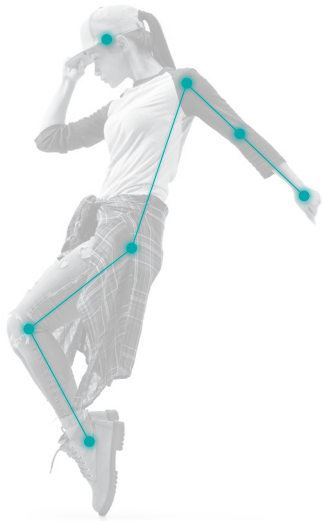
- KI-basierte Videoanalyse mit Orthelligent® VISION
- Goniometer

Die Ergebnisse

Bei beiden Bewegungsabläufen stimmten die Messergebnisse in hohem Maß überein (Abb. 4 und Abb. 5). Der durchschnittliche Pearson-Korrelationskoeffizient bezogen auf alle 15 Probanden und beide Bewegungen betrug 0,989 bei einer mittleren Abweichung von 7,35°.

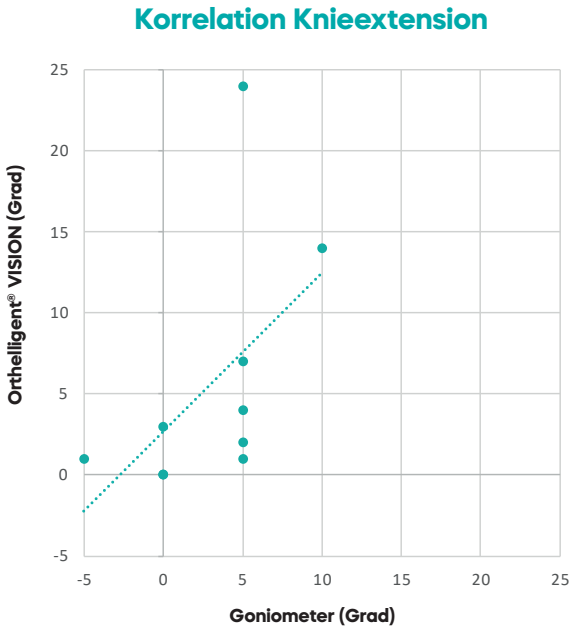
Abb. 4: Pearson–Korrelation der Knie–Flexionsmessung mit Orthelligent® VISION im Vergleich zum Goniometer (15 Probanden)

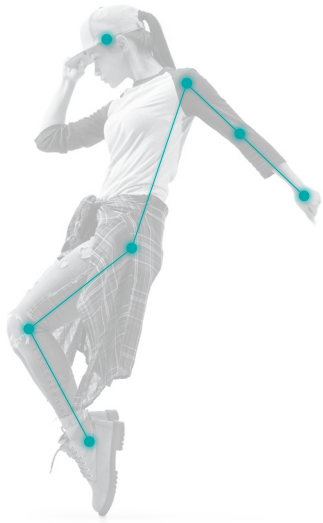




STUDIE 2
VERGLEICH MIT GONIOMETER – KNIE

Abb. 5: Pearson-Korrelation der Knie–Extensionsmessung mit Orthelligent® VISION im Vergleich zum Goniometer





STUDIE 3
VERGLEICH MIT GONIOMETER – SCHULTER

Orthelligent® VISION versus Goniometer – Schultergelenk

Das Setting

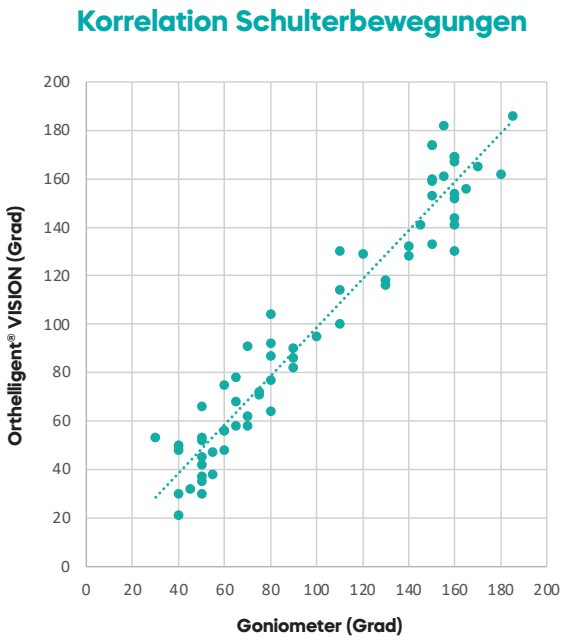
Bei neun Probanden wurden jeweils vier Schulterbewegungen analysiert: Maximalwerte der Abduktion, Flexion, Extension und externe Rotation (in 90° Abduktion). Dazu wurden zwei Messmethoden verwendet:

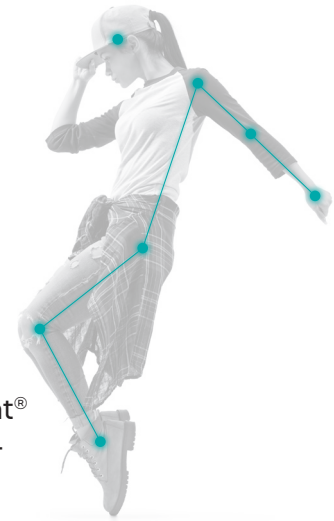
- KI-basierte Videoanalyse mit Orthelligent® VISION
- Goniometer

Die Ergebnisse

Die Messergebnisse der beiden Methoden zeigen eine hohe Übereinstimmung bei allen vier Bewegungsabläufen (Abb. 6). Der durchschnittliche Pearson-Korrelationskoeffizient – bezogen auf alle neun Probanden und vier Bewegungen – betrug 0,978 bei einer mittleren Abweichung von 12,65°.

Abb. 6: Pearson-Korrelation der Messung von insgesamt vier Schulterbewegungen mit Orthelligent® VISION im Vergleich zum Goniometer (neun Probanden)





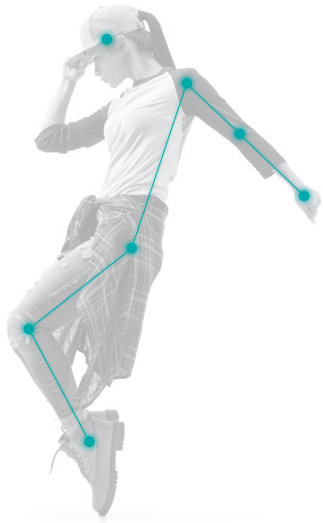
Die Messergebnisse zu den Schulterbewegungen wurde mithilfe einer Videoanalyse-Software (Kinovea) nochmals überprüft. Erneut zeigte sich eine hohe Übereinstimmung der verglichenen Messmethoden Orthelligent® VISION und manuelle Videoanalyse. Der durchschnittliche Pearson-Korrelationskoeffizient lag bei 0,982 und die mittlere Abweichung bei 8,15°.

ZUSAMMENFASSUNG

Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

- KI-basierte, markerlose Bilderkennungstechnologie wie Orthelligent® VISION begründen eine neue Generation der Bewegungsanalyse-Methoden in der Sport- und Rehabilitationsmedizin.
- Sie ermöglichen eine dynamische, dreidimensionale und markerlose Bewegungsmessung und eine automatisierte Auswertung mit einem geringeren Zeit- und Kostenaufwand als herkömmliche markerbasierte Videoanalysesysteme.
- In ersten Pilotstudien zur Validierung wurde Orthelligent® VISION mit der Goniometrie beziehungsweise mit einem markerbasierten Videosystem verglichen. In allen Messreihen zeigte Orthelligent® VISION eine konsistent hohe Validität mit Pearson-Korrelationskoeffizienten von >0,98.
- Diese Ergebnisse unterstützen die klinische Anwendung von Orthelligent® VISION für die zuverlässige und präzise Bewegungsanalyse.

Weitere Studien mit einer größeren Anzahl von Probanden sind in Planung, um diese ersten Validierungsergebnisse zu reproduzieren und zu verifizieren.



LITERATUR

[1] Raiss P et al. Das Bewegungsausmass der Schulter und des Ellenbogens bei Alltagsbewegungen in der 3D-Bewegungsanalyse [Range of motion of shoulder and elbow in activities of daily life in 3D motion analysis]. Z Orthop Unfall. 2007 Jul-Aug;145(4):493-8.

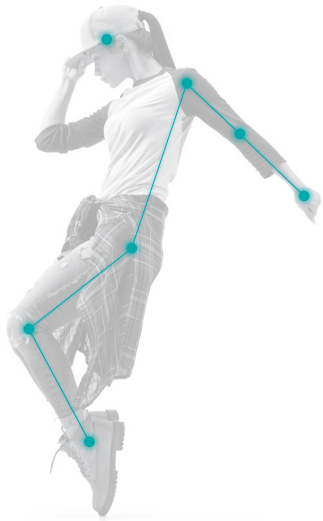
[2] Nakano N et al. Evaluation of 3D Markerless Motion Capture Accuracy Using OpenPose With Multiple Video Cameras. Front Sports Act Living. 2020 May 27;2:50.

[3] Wang XM et al. A webcam-based machine learning approach for the three-dimensional range of motion evaluation. Veröffentlichung in Vorbereitung.

[4] Saiki Y et al. Reliability and validity of pose estimation algorithm for measurement of knee range of motion after total knee arthroplasty. Bone Joint Res. 2023 May 8;12(5):313-320.

[5] Köykkä M et al. Markerless video-based estimation of 3D approach velocity in the javelin throw. Conference Paper anlässlich der 40th International Society of Biomechanics in Sports Conference, Liverpool, UK: July 19-23, 2022.

[6] Mroz S et al. Comparing the Quality of Human Pose Estimation with BlazePose or OpenPose. Conference Paper anlässlich der 4th International Conference on Bio-Engineering for Smart Technologies. Dec. 8-10, 2021.



Orthelligent® by OPED
VISION

OPED

OPED GmbH | Medizinpark 1 | 83626 Valley/Oberlaindern

WM-STOR-01-1 | artraction | 09/2023