

Validität und Reliabilität eines Algorithmus basierend auf Inertialsensordaten einer Smartphone-Applikation zur Messung von Bewegungsamplituden verglichen mit der 3D-Bewegungsanalyse

Masterarbeit

Studiengang Osteopathie - Fachhochschule Gesundheit, Fribourg

Viviane Meier

16-8920-02

Moana Schmid

15-2810-66

Realisiert unter der Leitung von Lea Awai und Sandro Fossetti

Auflage der Arbeit: V.1.0

Datum: 09.04.2021

1 Inhaltsverzeichnis

1	INHALTSVERZEICHNIS.....	2
2	ABSTRACT	4
2.1	BACKGROUND	4
2.2	ZIELSETZUNG.....	4
2.3	METHODIK	4
2.4	RESULTATE	4
2.5	SCHLUSSFOLGERUNG	5
2.6	SCHLÜSSELWÖRTER	5
3	EINLEITUNG.....	6
4	METHODIK	7
4.1	STUDIENDESIGN.....	7
4.2	PROBANDEN	7
4.3	TESTER.....	7
4.4	MATERIAL	7
4.5	DATENERHEBUNG	8
4.6	DATENANALYSE	9
4.7	STATISTISCHE ANALYSE.....	10
4.8	ETHISCHER ASPEKT	10
5	RESULTATE.....	11
5.1	VALIDITÄT	11
5.2	INTER-RATER RELIABILITÄT	14
6	DISKUSSION	16
6.1	VALIDITÄT	16
6.2	INTER-RATER RELIABILITÄT	17
6.3	LIMITATIONEN	18
6.4	ZUKÜNFTIGE ANWENDBARKEIT	19
6.5	ZUKÜNFTIGE STUDIEN	19
7	SCHLUSSFOLGERUNG	20
8	DANKSAGUNG	21
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	22
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	26
11	TABELLENVERZEICHNIS	26

12	GRAFIKVERZEICHNIS	26
13	ANHANG	27
13.1	INFORMATIONSBRIEF	27
13.2	EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG	30
13.3	SICHERHEITSFRAGEN	32
13.4	PROTOKOLL MARKER	33
13.5	CHECKLISTE DATENERHEBUNG	34
13.6	PROTOKOLL BODYLAT	35
13.7	ETHIKANTRAG	47
13.8	PLAGIATSERKLÄRUNG	49

2 Abstract

2.1 Background

Die 3D-Bewegungsanalysesysteme gelten als Goldstandard in der biomechanischen Forschung. Verschiedene Limitationen verhindern jedoch einen einfachen, alltäglichen klinischen Gebrauch. Aktuell werden verschiedene Smartphone-Applikationen verwendet, welche Gelenkwinkelmessungen vereinfachen und deren Anwendung überall möglich machen. Deren Validität und Reliabilität sind teilweise nicht bekannt.

2.2 Zielsetzung

Ziel dieser Studie war, die Validität einer Smartphone-Applikation im Vergleich zu einer 3D-Bewegungsanalyse zu prüfen, welche die Bewegungsamplitude bei aktiven Bewegungen misst. Sekundär wurde die inter-rater Reliabilität untersucht.

2.3 Methodik

16 gesunde Probanden nahmen an der Studie teil. Sie führten insgesamt 13 Bewegungen der Halswirbelsäule, der Schulter und der Hüfte durch. Die Bewegungsamplitude jeder Bewegung wurde jeweils gleichzeitig durch das Smartphone und durch die 3D-Bewegungsanalyse von zwei unabhängigen Testern erhoben. Für die primäre Fragestellung der Validität wurde ein Bland-Altman Plot erstellt. Die Übereinstimmung der beiden Tester (inter-rater Reliabilität) wurde mit der Verwendung der intra-class Correlation (ICC) errechnet.

2.4 Resultate

Die Smartphone-Applikation konnte valide Ergebnisse für die Halswirbelsäule Flexion ($-0.61^\circ \pm 8.79^\circ$) und Extension ($-0.35^\circ \pm 8.96^\circ$) erzielen. Die Mittelwerte sowie 95% der Messungen befanden sich im Toleranzbereich von $\pm 10^\circ$. Mittelwerte im Toleranzbereich, jedoch mit ungenügender Genauigkeit und Präzision, erreichten die Halswirbelsäulenrotation ($5.41^\circ \pm 14.29^\circ$) und -seitneigung ($3.27^\circ \pm 6.62^\circ$), die Schulteraussenrotation ($7.04^\circ \pm 4.00^\circ$), Hüftadduktion ($3.04^\circ \pm 7.64^\circ$) und -flexion ($0.16\% \pm 0.21\%$).

Die inter-rater Reliabilität der Smartphone-Applikation wurde für die Halswirbelsäulenextension (ICC: 0.84, KI 95% [0.63-0.95]) und -rotation (ICC: 0.78, KI 95% [0.45-0.92]), die Hüftflexion

(ICC: 0.84, KI 95% [0.53-0.95]) und -innenrotation (ICC: 0.78, KI 95% [0.41-0.93]) mit ICC's zwischen 0.75 und 0.90 als gut bewertet. Moderate inter-rater Reliabilität erreichten die Seitneigung (ICC: 0.68, KI 95% [0.18-0.90]) und die Flexion der Halswirbelsäule (ICC: 0.51, KI 95% [0.30-0.82]), die Schulterinnenrotation (ICC: 0.66, KI 95% [0.0.20-0.88]) und Hüftextension (ICC: 0.53, KI 95% [-0.15-0.87]).

2.5 Schlussfolgerung

Die Smartphone-Applikation kann zur Messung von Gelenkwinkeln unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen empfohlen werden. Am besten eignet sich die Smartphone-Applikation zur Messung der Halswirbelsäule. Bei der Anwendung sollte dem Tester bewusst sein, dass Kompensationsbewegungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden können und die gemessenen ROM's tendenziell höher als die effektive Bewegungsamplitude sind.

Die kostengünstige und simple Variante der Gelenkwinkelmessung hat in Zukunft grosses Potential.

2.6 Schlüsselwörter

Validität, inter-rater Reliabilität, Smartphone-Applikation, Inertialsensoren, 3D-Bewegungsanalysen

Der Einfachheit halber wird in dieser Arbeit nur die männliche Form verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer miteingeschlossen.

3 Einleitung

Die Gelenkwinkelmessung (ROM-Messung (Range of Motion)) gehört in vielen medizinischen Bereichen zur objektiven Beurteilung der Funktionalität eines Gelenks. Durch das Messen von Gelenkwinkeln können Asymmetrien, funktionelle sowie strukturelle Probleme objektiviert und dokumentiert werden (1). Vor allem in der Rehabilitation wird die ROM-Messung regelmässig angewendet (2). Oft findet dann die ROM-Messung anhand des klassischen Goniometers statt. Die Messung erfolgt auf ungefähr 10° genau und bezieht sich immer nur auf eine der drei anatomischen Ebenen (2).

Der Bewegungsumfang bei aktiven Bewegungen eines Gelenkes, wie auch bei klinischen Tests, findet in allen drei Ebenen gleichzeitig statt (2). Um die gesamte Bewegungsamplitude von Gelenken festhalten zu können haben Biomechaniker und Ingenieure in den letzten 20-40 Jahren einige analytische Technologien für 3D-Gelenksmessungen entwickelt (2). Ein häufig verwendetes 3D-Bewegungsanalysesystem ist das optische 3D-Kinematik-System mit passiven Markern (3). Die 3D-Bewegungsanalysesysteme gelten als Goldstandard für nicht invasive Messungen in der biomechanischen Forschung. Sie sind jedoch teuer, nicht immer einfach zu transportieren oder gar nicht verschiebbar. Die Datenerhebung und -auswertung benötigt Zeit, Finanzierungsmöglichkeiten und die richtigen Experten (4). Daher ist der Gebrauch in der täglichen klinischen Anwendung limitiert. Diesbezüglich steigt aktuell die Nachfrage nach einfach anwendbaren, günstigen und tragbaren Geräten (4,5). Beispiele dafür sind IMUs - Geräte (Inertial measurement units, inertielle Messeinheiten), mit integrierten Inertialsensoren.

Eine solche Applikation für Smartphone-basierte Messungen wurde von der Schweizer Firma Katapult SA entwickelt (5). Die Applikation BodyLat soll eine Variante für ROM-Messungen sein, welche die oben genannten Kriterien erfüllt. Die Messgenauigkeit dieser Smartphone-Applikation konnte bisher nur teilweise und ungenügend dokumentiert werden.

Das Ziel dieser Studie ist, die Validität und die Reliabilität der Smartphone-Applikation BodyLat zu prüfen. Dazu werden die ROM-Messungen von gesunden Probanden mit BodyLat erhoben und mit der bereits validierten optischen 3D-Bewegungsanalyse verglichen.

4 Methodik

4.1 Studiendesign

Es wurde eine Validitäts- und Reliabilitätsstudie im Zeitraum zwischen September 2019 und April 2021 durchgeführt.

4.2 Probanden

Für diese Studie wurden 4 Probanden benötigt, um die festgelegte Power von 0.9 und das alpha-Level von 0.05 erreichen zu können. Errechnet wurde dieser Sample-Size mittels der Methode von *Bland und Altman 1986* (6) für eine Genauigkeit von $\pm 10^\circ$ (7), wie sie von *Lu et al.* (8) beschrieben wurde. Aufgrund des Risikos von Systemproblemen, Fehlmessungen oder Absagen von Probanden wurden sicherheitshalber 16 Probanden rekrutiert. Die Rekrutierung erfolgte durch die beiden Studienleiter. Alle Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil. Vorgängig lasen die Probanden den Informationsbrief durch und unterzeichneten die Einverständniserklärung.

Alle 16 rekrutierten, gesunden Probanden (Alter: 39 ± 14 / Geschlecht: M = 9, F = 7), die an der Studie teilnahmen, erfüllten die Ein- und Ausschlusskriterien: zwischen 20-60 Jahre alt, Bewegungen des Körpers sind schmerzfrei möglich, keine akuten operativen Eingriffe, Verletzungen oder Beschwerden sowie keine allgemeinen Einschränkungen des Bewegungsapparates.

4.3 Tester

Alle 13 gemessenen Bewegungen wurden von beiden unabhängigen, nicht-verblindeten Testern durchgeführt. Die Tester der Studie waren die beiden Studienleiter, welche bereits im Voraus bezüglich der Handhabung der Messinstrumente geschult wurden.

4.4 Material

Für diese Studie wurde ein Smartphone von Huawei P20 Pro mit der Applikation BodyLat und das 3D-Bewegungsanalysesystem Qualisys (Qualisys AB, Göteborg, Schweden) am Cereneo in Vitznau mit der Qualisys Track Manager Software (QTM, Version 2020.2) verwendet.

BodyLat ist eine Smartphone-Applikation, die mit Android Smartphones kompatibel ist. Die App errechnet Winkel durch die 3 Smartphone-Sensoren Accelerometer, Gyroskop und Magnetometer (9).

Das 3D-Bewegungsanalysesystem Qualisys gilt als Standardmethode zur Messung von 3D-Kinematik (10). Damit die Daten der Infrarotkameras gesammelt und weiterverarbeitet werden können wurde die Qualisys Track Manager Software (11) verwendet.

4.5 Datenerhebung

Die Datenerhebung fand im Bewegungslabor des CERENEO Neurorehabilitationszentrum in Vitznau (12) statt. Nach Einführung zum Studienablauf füllten die Probanden die demographischen Daten aus, unterzeichneten die Einverständniserklärung und beantworteten die Sicherheitsfragen (siehe 13.3 Sicherheitsfragen). Der Ablauf mit den 13 durchzuführenden Bewegungen wurde jedem Probanden demonstriert. Die Probanden bekamen die Instruktion, alle Bewegungen nur soweit wie möglich und ohne Forcierung zu einer grösseren ROM auszuführen. Anhand eines standardisierten Protokolls wurden die reflektierenden Marker den Probanden angeklebt, die Kalibrierung der Marker durchgeführt und anschliessend die 13 aktiven Bewegungen ausgeführt (siehe 13.4 Protokoll Marker, 13.5 Checkliste Datenerhebung). Dabei wechselte die Reihenfolge der Tester bei jedem Probanden ab. Der Tester, der nicht an der Datenerhebung beteiligt war kontrollierte die Checkliste. Beide Tester führten bei jedem Probanden alle Bewegungen mit Messung des Smartphones und gleichzeitiger Messung der 3D-Bewegungsanalyse einmal durch. Das Smartphone wurde anhand des BodyLat-Protokolls (siehe Anhang 13.6 Protokoll BodyLat), auf welches die Tester im Voraus geschult wurden, bedient.



Abbildung 1. Proband mit Marker

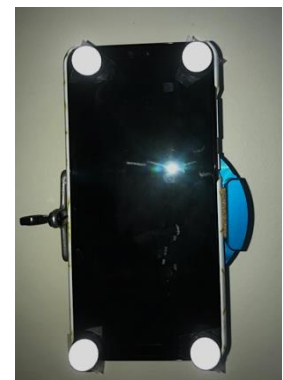


Abbildung 2. Smartphone mit Marker und Halterung



Abbildung 3. Smartphone Halterung



Abbildung 4. Durchführung einer Messung im Cereneo, Vitznau

4.6 Datenanalyse

BodyLat

Die gemessenen Bewegungsamplituden wurden per Internetverbindung direkt auf dem Server von BodyLat gespeichert und konnten mit einem persönlichen, passwortgeschützten Zugang über die Internetseite von Katapult (13) abgerufen werden.

Qualisys

Die Marker wurden im QTM (QualisysTrackManager) (11) manuell gekennzeichnet und fehlende Lücken der Trajektorien gefüllt. Die Qualität wurde visuell überprüft. Danach erfolgte der Import der Dateien in Visual3D Professional™ (C-Motion, Inc., Maryland, USA), wo ein kinematisches Modell mit den Segmenten Kopf, Thorax, Arme, Becken und Beine erstellt wurde, welches die jeweiligen Gelenkwinkel berechnete.

Messungen, welche eine ungenügende Qualität aufwiesen, Marker nicht sichtbar waren oder Systemfehler hatten, wurden für die weitere Analyse ausgeschlossen.

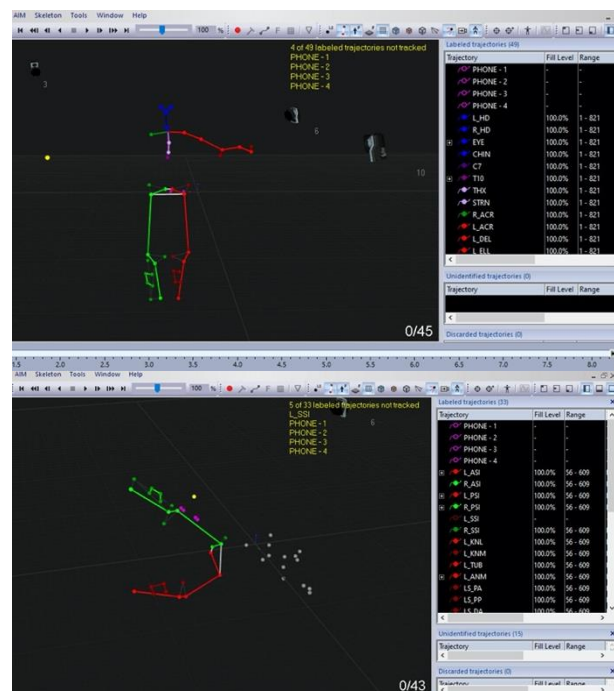


Abbildung 5. Beispiel Datenverarbeitung Qualisys

Weiterverarbeitung der Daten

Die erhaltenen Gelenkamplituden von BodyLat und Qualisys wurden in einer Excel-Liste zusammengetragen.

4.7 Statistische Analyse

Für die Validität von BodyLat wurde für jede durchgeführte Bewegung ein Bland-Altman Plot (6,14) mit Matlab (Version R2020a) (15) erstellt. Basierend auf bereits durchgeführten Studien wurden die *limits of agreement* auf $\pm 10^\circ$ bestimmt (6,7). Zusätzlich wurde ein Bland-Altman Plot mit dem relativen Ergebnis erzeugt (14), da davon ausgegangen werden konnte, dass Bewegungen mit grösseren ROM's ein grösseres Fehlerrisiko aufwiesen. Für die relativen Werte wurde die Differenz der beiden Messmethoden durch deren Mittelwert geteilt. Sie werden in Prozenten angegeben. Die relativen *limits of agreement* liegen bei $\pm 0.22\%$. Bei den einzelnen Bewegungen wurde von einer Normalverteilung ausgegangen, so dass Ausreisser, wie sie im Boxplot dargestellt werden, ($Q1 - 1.5(IQR)$ oder $Q3 + 1.5(IQR)$), ausgeschlossen wurden (16,17). Zusätzlich wurden ROM's mit Gradwerten ausserhalb der anatomisch möglichen Amplituden nicht berücksichtigt (18).

Die inter-rater Reliabilität wurde pro Bewegung, pro Gelenk und über alle Bewegungen mittels IBM SPSS Statistics (Version 25) durch den ICC (2,1) *two-way-random* eruiert (19,20). Der Korrelationsgrad (zwischen -1 und 1) und der Konfidenzintervall (KI) von 95% wurden tabellarisch festgehalten (21,22). Die Interpretation erfolgte anhand der Guideline von Koo et al.(20): schwach (0.00-0.50); moderat (0.50-0.75); gut (0.75-0.90); exzellent (>0.90). Ein ICC von 0.70 wurde im Studienprotokoll als minimale Reliabilität festgelegt (23).

4.8 Ethischer Aspekt

Die schulinterne Ethikkommission genehmigte das Protokoll für diese Studie, welche in Konformität mit der Deklaration von Helsinki durchgeführt wurde (siehe 13.7 Ethikantrag).

Die Probanden nahmen freiwillig und durch Unterzeichnung der Einverständniserklärung an dieser Studie teil. Sie hatten stets die Möglichkeit, ohne Nennung von Gründen, die Teilnahme zu verweigern oder abubrechen. Da die Bewegungen im Rahmen der Möglichkeit des Probanden stattfanden, konnte das Risiko auf physische Verletzungen auf ein Minimum reduziert werden.

5 Resultate

Die Charakteristiken der Probanden kann aus der Tabelle 1 entnommen werden. Alle 16 Probanden absolvierten die 13 Messungen.

Tabelle 1. Charakteristik Probanden

Anzahl Probanden	Alter		Frauen
n	mean	SD	n
16	39	14	7 (43.75%)

5.1 Validität

Die deskriptive Statistik für alle Bewegungen sind in der Tabelle 2 festgehalten. Im Bland-Altman-Plot (Grafik 1) ist ersichtlich, dass der Mittelwert von allen Bewegungen mit 14.11° ($\pm 10.07^\circ$) über dem Toleranzbereich von $\pm 10^\circ$ liegt. Das gleiche Bild zeigt sich bei den relativen Zahlen bei einem Mittelwert von 0.30% ($\pm 0.41\%$).

Halswirbelsäule

Die Resultate der Halswirbelsäule erzielten über alle Bewegungen einen Mittelwert von 1.92° (± 5.77). Alle Bewegungen der HWS liegen mit Mittelwerten zwischen -0.61° und 5.4° im Toleranzbereich. Bei der Seitneigung, der Extension und der Flexion können kleine Streuungen festgestellt werden, die sich im Toleranzbereich befinden. Die Rotation hat im Vergleich eine grössere Streuung, wobei sich ca. 73% der Messungen im Toleranzbereich befinden (Grafik 2). Die relativen Zahlen zeigen das gleiche Ergebnis. Alle Mittelwerte (0.08% , 0.09% , 0.00% und -0.01%) befinden sich im Bereich von $\pm 0.22\%$. In Anbetracht der Streuung befinden sich 95% der Messungen der Flexion und der Extension im Toleranzbereich und etwas mehr als 75% der Rotation und der Seitneigung (Grafik 3).

Schulter

Der Mittelwert aller Schulterbewegungen liegt mit 30.44° ($\pm 32.16^\circ$) ausserhalb des akzeptierten Bereichs. Einzig die Aussenrotation erlangt mit 0.07° ($\pm 21.22^\circ$) einen Mittelwert im Bereich von $\pm 10^\circ$. Die Messungen der Aussenrotation sind in einem Bereich von -20° bis 40° gestreut (Grafik 2). In der Grafik 3 der relativen Zahlen zeigt sich das gleiche Bild: Mit einem

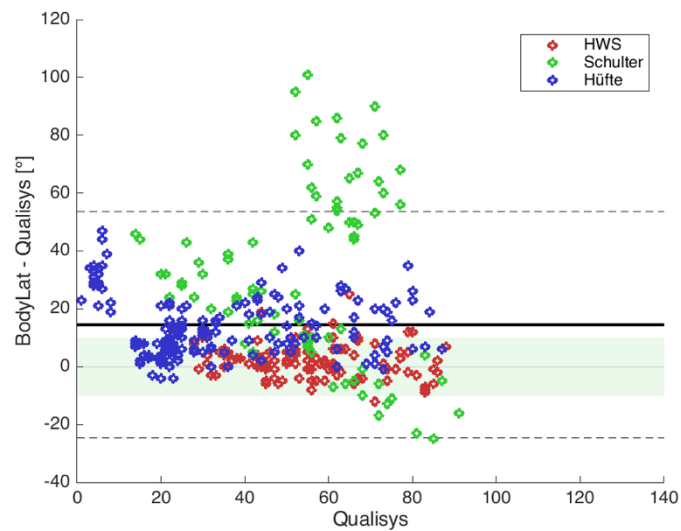
Mittelwert von 0.06% ($\pm 0.36\%$) ist die Aussenrotation die einzige Schulterbewegung im Toleranzbereich, wobei die Streuung nach wie vor über den Toleranzbereich hinausgeht.

Hüfte

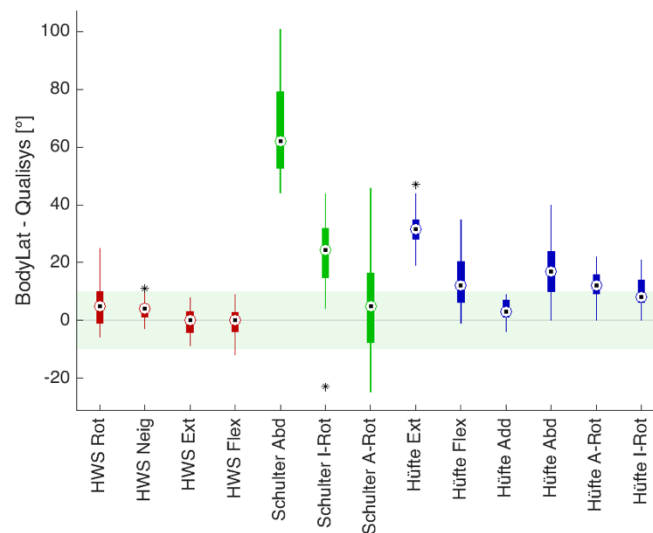
Die Hüfte erzielte mit allen Messungen einen Mittelwert von 14.06° ($\pm 10.07^\circ$) und liegt damit über dem akzeptierten Bereich. Lediglich die Adduktion konnte mit einem Mittelwert von 3.04° ($\pm 3.90^\circ$) ein Ergebnis im Bereich von $\pm 10^\circ$ erreichen. Zusätzlich ist es die einzige Messung mit der gesamten Streuung im Toleranzbereich (Grafik 2). Im Gegensatz zu den anderen Gelenken zeigt sich bei den relativen Zahlen der Hüfte (Grafik 3), dass neben der Adduktion mit 0.15% ($\pm 0.20\%$) als Mittelwert, auch die Flexion mit 0.16% ($\pm 0.11\%$) ein Resultat im Toleranzbereich erzielen konnte. In Anbetracht der Streuung der Resultate kann festgestellt werden, dass sich von keiner Bewegung mehr als 60% der Messungen im Toleranzbereich befinden.

Tabelle 2. Deskriptive Statistik Validität

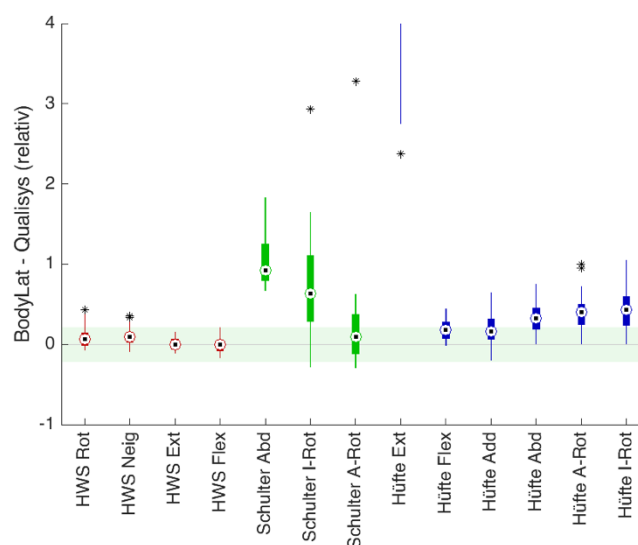
	Anzahl Messungen	Qualisys		BodyLat		Differenz (BodyLat- Qualisys)		Differenz (BodyLat- Qualisys) in %	
	n	mean (°)	SD	mean (°)	SD	mean (°)	1.96*SD	mean (%)	1.96*SD
HWS Rotation	26	69.72	12.19	75.14	11.28	5.41	14.29	0.08	0.21
HWS Seitneigung	29	36.04	6.73	39.31	6.98	3.27	6.62	0.09	0.20
HWS Extension	29	60.00	11.83	59.66	9.88	-0.35	9.00	-0.002	0.15
HWS Flexion	28	53.43	7.12	52.82	7.01	-0.61	8.79	-0.01	0.17
HWS total	112	55.31	15.60	57.23	15.68	1.92	11.32	0.04	0.20
Schulter Abduktion	29	63.97	7.00	129.48	15.38	65.52	30.66	0.67	0.25
Schulter Innenro- tation	28	39.21	16.11	62.61	10.47	23.39	27.84	0.51	0.61
Schulter Aussenro- tation	25	59.36	17.39	63.36	7.04	4.00	31.60	0.11	0.64
Schulter total	82	55.52	19.90	85.96	33.64	30.44	63.03	0.42	0.75
Hüfte Extension	22	5.05	1.55	36.18	7.01	31.14	13.22	1.51	0.31
Hüfte Flexion	25	73.52	6.39	87.12	11.81	13.60	18.34	0.16	0.21
Hüfte Abduktion	29	51.03	5.95	68.07	10.83	17.03	18.21	0.28	0.26
Hüfte Adduktion	25	18.88	2.98	22.04	4.27	3.04	7.64	0.15	0.38
Hüfte Aussenrota- tion	30	31.33	6.05	43.37	7.62	12.03	11.30	0.32	0.29
Hüfte Innenrota- tion	27	23.93	3.84	24.19	6.31	10.26	11.16	0.35	0.31
Hüfte total	158	34.73	22.26	48.88	23.44	14.06	19.74	0.43	0.91
TOTAL	352	46.18	22.31	60.32	28.49	14.11	40.01	0.30	0.803



Grafik 1. Bland-Altman-Plot alle Messungen



Grafik 2. Bland-Altman-Plot pro Bewegung



Grafik 3. Bland-Altman-Plot relative Zahlen (die Extension der Hüfte befindet sich ausserhalb des skalierten Bereichs)

5.2 Inter-rater Reliabilität

Die deskriptive Statistik der inter-rater Reliabilität von BodyLat wurde für alle Bewegungen in der Tabelle 3 zusammengefasst. Über alle Messungen konnte mit einem ICC von 0.93 (KI 95% [0.91-0.95]) eine exzellente Reliabilität festgestellt werden.

Halswirbelsäule

Im Totalen ergibt sich eine inter-rater Reliabilität mit einem ICC von 0.89, KI 95% [0.82-0.94], für die Halswirbelsäule. Die Rotation (ICC: 0.78 KI 95% [0.45-0.92]) und die Extension (ICC: 0.84 KI 95% [0.63-0.95]) erreichen eine minimale Reliabilität von 0.70, die Seitneigung (ICC: 0.68 KI 95% [0.18-0.90]) und die Flexion (ICC: 0.51 KI 95% [0.30-0.82]) liegen im moderaten Bereich darunter.

Schulter

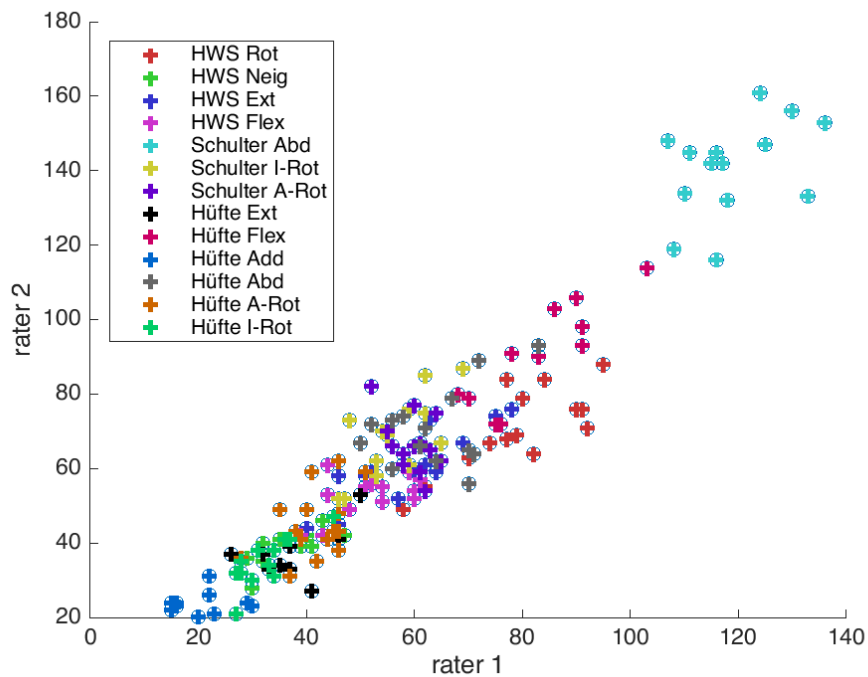
Alle Schultermessungen zusammen ergeben eine exzellente Reliabilität mit einem ICC von 0.94, KI 95% [0.89-0.97]. Die einzelnen Bewegungen können die minimale Reliabilität von 0.70 nicht erreichen. Die Innenrotation (ICC: 0.66, KI 95% [0.20-0.88]) erzielt eine moderate Reliabilität, die Abduktion (ICC: 0.32, KI 95% [-0.15-0.75]) eine schwache und die Aussenrotation (ICC: -0.34, KI 95% [-0.74-0.24]) eine schwach negative Reliabilität.

Hüfte

Die Hüfte ergab mit einem ICC von 0.94, KI 95% [0.91-0.96] insgesamt eine exzellente Reliabilität. Die Innenrotation (ICC: 0.78, KI 95% [0.41-0.96]) und die Flexion (ICC: 0.84, KI 95% [0.53-0.95]) konnten mit einem Wert über 0.75 eine gute inter-rater Reliabilität verzeichnen. Die restlichen Bewegungen befanden sich unter der minimalen Reliabilität mit einem ICC <0.70, wobei einzig die Extension (ICC: 0.53, KI 95% [-0.15-0.87]) noch eine moderate Reliabilität aufweisen konnte.

Tabelle 3. Inter-rater Reliabilität BodyLat

BodyLat	Rater 01			Rater 02			Intraclass Correlation	
	n	mean	SD	n	mean	SD	ICC	95% CI
HWS Rotation	15	79.07	10.28	14	70.93	10.77	0.78	0.45-0.92
HWS Seitneigung	15	39.67	8.35	11	38.82	4.45	0.68	0.18-0.90
HWS Extension	14	58.93	10.29	13	60.43	9.35	0.84	0.63-0.95
HWS Flexion	14	52.87	8.07	13	52.77	5.52	0.51	0.3-0.82
HWS total	58	57.63	16.98	51	56.77	14.01	0.89	0.82-0.94
Schulter Abduktion	15	118.80	8.66	13	140.99	12.51	0.32	-0.15-0.75
Schulter Innenrotation	15	57.73	7.36	13	68.23	10.71	0.66	0.20-0.88
Schulter Aussenrotation	13	59.61	3.58	14	67.00	7.15	-0.34	-0.74-0.24
Schulter total	43	79.60	29.54	40	92.63	36.28	0.94	0.89-0.97
Hüfte Extension	10	36.90	6.76	12	35.58	7.16	0.53	-0.15-0.87
Hüfte Flexion	13	83.62	9.66	12	90.92	12.72	0.84	0.53-0.95
Hüfte Abduktion	14	63.71	8.75	15	72.13	11.01	0.41	-0.12-0.77
Hüfte Adduktion	14	20.50	4.56	11	24.00	2.83	0.1	-0.51-0.64
Hüfte Aussenrotation	15	41.60	5.51	15	45.13	8.91	0.4	-0.13-0.74
Hüfte Innenrotation	12	32.50	5.02	15	35.53	6.88	0.78	0.41-0.93
Hüfte total	78	46.78	22.34	80	50.93	24.28	0.94	0.91-0.96
TOTAL	179	58.18	26.14	171	62.57	30.51	0.93	0.91-0.95

**Grafik 4.** Korrelation inter-rater Reliabilität

6 Diskussion

6.1 Validität

Für die Beurteilung der Validität wurden verschiedene Aspekte betrachtet. Es wurde geschaut, ob der Mittelwert sich im Toleranzbereich von $\pm 10^\circ$ befindet (Richtigkeit) und wie gross die Streuung der Messung ist. Aufgrund der Grösse der Streuung und wo sich diese im Diagramm befindet, konnte die Präzision und Genauigkeit beurteilt werden (24,25). Damit die Smartphone-Applikation als valide gilt, ist es zwingend, dass Richtigkeit, Genauigkeit und Präzision stimmen.

Halswirbelsäule

Die Smartphone-Applikation erreichte hauptsächlich bei der Flexion und Extension valide Resultate. Diese Resultate sind einerseits genau und andererseits präzise. Sie befinden sich mit ihrem Mittelwert sowie mit 95% der Messungen im Toleranzbereich von $\pm 10^\circ$. Betrachtet man den Mittelwert der Rotation und der Seitneigung, so befindet er sich im Toleranzbereich, jedoch sind die Messungen nicht präzise und genau im Vergleich zu der Flexion und der Extension (Grafik 3). Somit kann diese Studie die Erkenntnisse bezüglich Validierung einer Smartphone-Applikation als ROM-Messgerät von *Stenneberg et al.* (26) von 2018 bekräftigen.

Schulter

Die Smartphone-Applikation erzielte nur bei der Schulteraussenrotation ein Mittelwert im Toleranzbereich, was in der Grafik 2 deutlich erkennbar ist. Hingegen ist die Streuung relativ gross und somit weder präzise noch genau. Bei der Schulterinnenrotation und -abduktion mangelt es an Richtigkeit, Präzision und Genauigkeit. Der geforderte Standard wird nicht erfüllt.

Hüfte

Die Adduktion sowie die Flexion der Hüfte befinden sich mit ihrem Mittelwert im Toleranzbereich. Die Adduktion weist bei den relativen Zahlen einen kleinen Streubereich auf, welcher auf präzise Resultate hinweist. Beide Messungen können hingegen, auch in Bezug auf die relativen Zahlen, keine Genauigkeit erreichen. Fast die Hälfte der Messungen befinden sich jeweils ausserhalb des Toleranzbereiches. Die Hüftextension, -abduktion, -ausserrotation und

-innenrotation konnten weder einen Mittelwert im Toleranzbereich, noch eine präzise oder genaue Streuung verzeichnen.

Die variierende Validität könnte auf die unterschiedliche Art der beiden Geräte die Winkel zu messen zurückgeführt werden. *Charlton et al.* (27) konnten diese Schlussfolgerung bei ihrer Studie ebenfalls ziehen.

Bei Qualisys werden die Winkel anhand eines kinematischen Modells zwischen zwei sich bewegenden Segmenten berechnet. Kompensationsbewegungen werden somit berücksichtigt und die Endgrenze des Gelenks wird vom System erkannt. BodyLat misst nur die Veränderung des Winkels eines Segments relativ zum globalen Koordinatensystem, ohne Berücksichtigung von Kompensationsbewegungen. Die Applikation ist so programmiert, dass die Inertialsensoren nur in der durch die Bewegung vorgegebenen Ebene die Bewegungsamplitude messen und nicht alle drei Ebenen berücksichtigen. Ein systematischer Fehler in den Messungen von BodyLat konnte nicht gefunden werden. Da die Smartphone-Applikation die Kompensationsbewegungen nicht berücksichtigt, misst sie tendenziell grössere Winkel als Qualisys.

Dass nun BodyLat nicht komplett validiert werden konnte bedeutet nicht, dass die Smartphone-Applikation per se nicht genau genug misst, sondern lediglich, dass sie auf eine andere Art und Weise die Gelenkwinkel beurteilt.

Der Verdacht, dass die Grösse der ROM einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers hat, konnte durch die Berechnung der relativen Zahlen mehrheitlich widerlegt werden (28). Die Hüftflexion war laut Mittelwert leicht über dem Toleranzbereich. Bei den relativen Zahlen hingegen im Toleranzbereich. Ansonsten zeigte sich nur bei den relativen Zahlen der Hüftextension, dass die Ungenauigkeit grösser als angenommen war. Für die restlichen Messungen hatte der relative Wert keine Auswirkungen auf die Validität.

6.2 Inter-rater Reliabilität

Die ICC der einzelnen Gelenke sowie das Total befinden sich zwischen gut und exzellent und somit über der minimalen Reliabilität von 0.7, die zu erreichen war. Dabei fällt auf, dass die einzelnen Bewegungen mehrheitlich schlechter abschneiden, als die Gesamtbewegungen des Gelenks oder die totale Messung. Dies kann zum Teil auf die Anzahl eingeschlossener Messungen (n) zurückgeführt werden. Je mehr Messungen eingeschlossen sind, desto toleranter das Ergebnis. *Terwee et al.* (23) empfiehlt deshalb ein Sample-Size von 50 mit einer minimalen

Reliabilität von 0.7, welche lediglich bei der HWS, Hüfte und im Totalen eingehalten werden konnte. Zusätzlich können die unterschiedlichen Messresultate auf die Handhabung mit dem Smartphone zurückgeführt werden. Hervorragende Kenntnisse in Bezug auf das Halten, die Verwendung und die Platzierung des Smartphones sind unabdingbar (26,29).

Verschiedene Resultate der inter-rater Reliabilität hängen auch von der Wahrnehmung der Gelenksendgrenze des Testers ab. Das Fühlen der artikulären Endgrenze ist rein subjektiv und definiert das Ende der Winkelmessung der Smartphone-Applikation (30). Zusätzlich kann es durchaus sein, dass der Proband die Bewegungen bei beiden Messungen nicht identisch ausgeführt hat. Folglich kommt es zu Unterschieden bei den Resultaten und damit zu einem gesunkenen ICC, der unabhängig vom System oder Tester ist.

6.3 Limitationen

Diese Studie wurde mit mehreren Limitationen konfrontiert. Einige Messungen mussten aufgrund mangelnder Qualität ausgeschlossen werden. Entweder wurden die Marker von den Testern verdeckt, da die Messungen der beiden Messinstrumente zeitgleich stattfanden, oder die Marker wurden trotz Sichtbarkeit vom System nicht erkannt. Diese Limitation wurde bereits in vorherigen Studien von *Charlton et al.* (27) und *Romero-Franco et al.* (31) beschrieben.

Eine weitere Limitation zeigt sich bei der Technik des Smartphones. Die Inertialsensoren werden mit jedem Sturz des Smartphones ungenauer. Das Alter des Modells vermindert die Genauigkeit der Sensoren zusätzlich (28). Die Softwares verbessern sich stetig (26,31,32). Darum ist zu erwarten, dass es in Zukunft bessere Technologien gibt und die Messinstrumente somit immer besser und genauer werden.

Für die Platzierung des Smartphones wurde bei dieser Studie eine spezielle Halterung verwendet, die vom Tester festgehalten werden musste und nicht fixiert werden konnte. Ein mögliches Verrutschen während der Durchführung der Bewegungen konnte somit nicht ausgeschlossen werden, was mögliche Verzerrungen zur Folge hatte. Die Halterung für das Smartphone sollte also überdacht werden. In diversen Studien wird über eine niedrigere Inter-rater Reliabilität aufgrund falschen Positionierens des Smartphones berichtet (27,29,33,34). Eine Fixierung der Halterung zur Verhinderung solcher Verschiebungen des Messgeräts ist somit

unabdingbar. Messfehler konnten durch die Fixation des Smartphones in der Studie *Quek et al.* (35) minimiert werden. Der Kliniker musste sich so nur auf die Bewegungen konzentrieren. Trotz befestigter Halterung am Körper sind Verschiebungen des Smartphones möglich (26) und durch die Grösse oder das Gewicht der Halterung können Verzerrungen auftreten (36) was anregt, noch genauer über die Art der Befestigung des Messinstrumentes zu forschen.

Die anatomische Palpation und somit die präzise Platzierung des Messgerätes durch die Tester ist individuell und kann zu Verzerrungen führen (30,37,38). Des Weiteren ist die Genauigkeit der Palpation und der Messung abhängig vom Körperfettanteil (39).

Die Fettverteilung am Körper variiert je nach Geschlecht und je nach Körperregion. Unterschiedliche Fettverhältnisse am Körper und Unterschiede zwischen den Probanden führen Möglicherweise zu einer Ungenauigkeit (40). Durch repetitives Üben, klare und präzise Instruktionen sowie gegenseitige Korrektur (26,28,34,41,42) könnten diese Verzerrungen minimiert werden.

6.4 Zukünftige Anwendbarkeit

In der Klinik kann für Smartphone-Applikationen zur ROM-Messung Verwendung gefunden werden. Für Kliniker kann es anstelle von 3D-Bewegungsanalysegeräten eingesetzt werden. Letztere sind teuer, brauchen viel Expertise (43) und sind nicht in jeder Klinik vorhanden (39). Wie *Alawna et al.* (44), *Milani et al.* (38) und *Jenny et al.* (39) in ihren Studien erwähnen, können Smartphone-Applikationen auch von den Patienten selbst angewendet werden um den Rehabilitationsprozess zu dokumentieren. Eine solche Dokumentation des Reha-Prozesses liefert dem Patienten eine Übersicht, was nachweislich zu einer erhöhten Motivation und Compliance (Therapiemitarbeit des Patienten) führen kann (44).

6.5 Zukünftige Studien

Die Technologien der Smartphones werden stetig weiterentwickelt (32). Daher sind in der Zukunft weitere Studien nötig, damit die Smartphone-Applikationen der rasanten Technologieentwicklung standhalten können. Mit den Studien von *Romero-Franco et al.* (31) und *Moreira et al.* (32), beide vom Jahr 2020, sind bereits neue Smartphone-Applikationen entwickelt worden und dienen als Beispiel für weitere Forschung und Studien.

7 Schlussfolgerung

Im Allgemeinen kann die Smartphone-Applikation zur Messung von Gelenkwinkeln unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen empfohlen werden. Der Tester soll vor Durchführung der Messung gut instruiert werden, damit er befähigt ist, Kompensationsbewegungen der zu messenden Person zu erkennen und zu korrigieren. Weiter ist eine Halterung zur bestmöglichen Fixierung des Geräts nötig.

Bezugnehmend auf die Resultate eignet sich die Smartphone-Applikation nicht für alle Gelenke gleich gut. Diese Applikation kann hauptsächlich zur Messung der Halswirbelsäule empfohlen werden. Dem Tester muss bewusst sein, dass aufgrund von Kompensationsbewegungen die gemessenen ROM's tendenziell grösser sind als es der effektive Gelenkwinkel ist. Ein systematischer Fehler konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Klinisch ist die Anwendung von Smartphone-Applikationen für Gelenkwinkelmessungen von grosser Bedeutung. Nebst der einfachen und kostengünstigen Handhabung für den Kliniker wird es auch für die Patienten möglich, ihren Reha-Verlauf zu dokumentieren und zu verfolgen. In den neusten Technologien steckt grosses Potential. Die schnelle Prozessentwicklung erfordert weiterhin viel Forschung und viele neue Studien.

Interessenskonflikt: Die Autoren dieser Studie berichten über keine Interessenskonflikte.

8 Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen bedanken, die uns bei der Realisation dieser Studie unterstützt haben.

In erster Linie danken wir unserer Supervisorin Frau Lea Awai für die kompetente Betreuung, die konstruktiven Anregungen, die spannenden Diskussionen und das Korrekturlesen der Arbeit.

Im Thema 3D-Bewegungsanalyse hat uns Chris Easthope Awai grosse Hilfe geleistet und uns die Datenerhebung im Cereneo Neurorehabilitationszentrum ermöglicht. Besten Dank für die Verarbeitung der erhobenen Daten und die gesamte Zeit, die Du in unsere Arbeit investiert hast.

Herzlichen Dank an Joab Di Francesco für die wertvollen Auskünfte bezüglich der Smartphone-Applikation und die stetige Bereitschaft, uns in unserer Arbeit zu unterstützen.

Besten Dank an Raphael Hunkeler für die Hilfestellung und die Beantwortung von technischen Fragen sowie für die Unterstützung beim statistischen Teil der Arbeit.

Ein grosses Dankeschön an alle Probanden, die an der Datenerhebung teilgenommen haben.

Für das Korrekturlesen, die konstruktive und hilfreiche Kritik danken wir Delia Schmid.

9 Literaturverzeichnis

1. Norkin CC, White DJ. Measurement Of Joint Motion: A Guide To Goniometry. 5. Auflage. F.A. Davis Company;
2. Wei S-H, McQuade KJ, Smidt GL. Three-Dimensional Joint Range of Motion Measurements from Skeletal Coordinate Data. J Orthop Sports Phys Ther. Dezember 1993;18(6):687–91.
3. Baskwill AJ, Belli P, Kelleher L. Evaluation of a Gait Assessment Module Using 3D Motion Capture Technology. 2017;10(1):7.
4. Mousavi SH, Hijmans JM, Moeini F, Rajabi R, Ferber R, van der Worp H, u. a. Validity and reliability of a smartphone motion analysis app for lower limb kinematics during treadmill running. Physical Therapy in Sport. Mai 2020;43:27–35.
5. Katapult | The #1 e-coaching app | Lausanne [Internet]. Katapult Franchise. [zitiert 28. März 2021]. Verfügbar unter: <https://www.katapultbusiness.com>
6. Bland, Altman. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet . 1986 Feb 8;1(8476):307-10.
7. Hancock GE, Hepworth T, Wembridge K. Accuracy and reliability of knee goniometry methods. J EXP ORTOP. Dezember 2018;5(1):46.
8. Lu M-J, Zhong W-H, Liu Y-X, Miao H-Z, Li Y-C, Ji M-H. Sample Size for Assessing Agreement between Two Methods of Measurement by Bland–Altman Method. The International Journal of Biostatistics [Internet]. 1. November 2016 [zitiert 7. März 2020];12(2). Verfügbar unter: <http://www.degruyter.com/view/j/ijb.2016.12.issue-2/ijb-2015-0039/ijb-2015-0039.xml>
9. Katapult [Internet]. Katapult Business. 2020 [zitiert 13. April 2020]. Verfügbar unter: <https://www.katapultbusiness.com>
10. Jaysrichai T, Suputtitada A, Khovidhungij W. Mobile Sensor Application for Kinematic Detection of the Knees. Ann Rehabil Med. 2015;39(4):599.
11. QTM [Internet]. Qualisys Track Manager. 2020 [zitiert 13. April 2020]. Verfügbar unter: <https://www.qualisys.com/software/qualisys-track-manager/>
12. Cereneo [Internet]. Center for neurology and rehabilitation. 2021. Verfügbar unter: <https://www.cereneo.ch>
13. BodyLat [Internet]. Katapultapp BodyLat. 2021. Verfügbar unter: <https://athlete365.katapultapp.com>

14. Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochem Med.* 2015;25(2):141–51.
15. Mathworks [Internet]. Matlab. 2021. Verfügbar unter: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
16. Hazra A, Nithya G. Biostatistics Series Module 1: Basics of Biostatistics. :21.
17. Khan Academy [Internet]. Ausreisser bestimmen. 2021. Verfügbar unter: <https://de.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/box-whisker-plots/a/identifying-outliers-iqr-rule>
18. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus LernAtlas der Anatomie. 4. Auflage. Bd. 1. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014. 575 S.
19. Alieen S. Einstieg in die Intraklassenkorrelation. Söhnen. 2019.
20. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine.* Juni 2016;15(2):155–63.
21. Bartko JJ. On Various Intraclass Correlation Reliability Coefficients. :4.
22. Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. 2018;6.
23. Terwee CB, Bot SDM, de Boer MR, van der Windt DAWM, Knol DL, Dekker J, u. a. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *Journal of Clinical Epidemiology.* Januar 2007;60(1):34–42.
24. Hazra A, Gogtay N. Biostatistics series module 7: The statistics of diagnostic tests. *Indian J Dermatol.* 2017;62(1):18.
25. Ferrante L, Cameriere R. Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation. *Int J Legal Med.* Juli 2009;123(4):277–83.
26. Stenneberg MS, Busstra H, Eskes M, van Trijffel E, Cattrysse E, Scholten-Peeters GGM, u. a. Concurrent validity and interrater reliability of a new smartphone application to assess 3D active cervical range of motion in patients with neck pain. *Musculoskeletal Science and Practice.* April 2018;34:59–65.
27. Charlton PC, Mentiplay BF, Pua Y-H, Clark RA. Reliability and concurrent validity of a Smartphone, bubble inclinometer and motion analysis system for measurement of hip joint range of motion. *Journal of Science and Medicine in Sport.* Mai 2015;18(3):262–7.
28. Keogh JWL, Cox A, Anderson S, Liew B, Olsen A, Schram B, u. a. Reliability and validity of clinically accessible smartphone applications to measure joint range of motion: A systematic review. Müller J, Herausgeber. *PLoS ONE.* 8. Mai 2019;14(5):e0215806.

29. Tousignant-Laflamme Y, Boutin N, Dion AM, Vallée C-A. Reliability and criterion validity of two applications of the iPhone™ to measure cervical range of motion in healthy participants. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2013;10(1):69.
30. Jonsson A, Rasmussen-Barr E. Intra- and inter-rater reliability of movement and palpation tests in patients with neck pain: A systematic review. *Physiotherapy Theory and Practice.* 4. März 2018;34(3):165–80.
31. Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, González-Hernández JM, Fernández-Domínguez JC. Assessing the concurrent validity and reliability of an iPhone application for the measurement of range of motion and joint position sense in knee and ankle joints of young adults. *Physical Therapy in Sport.* Juli 2020;44:136–42.
32. Moreira R, Teles A, Fialho R, dos Santos TCP, Vasconcelos SS, de Sá IC, u. a. Can human posture and range of motion be measured automatically by smart mobile applications? *Medical Hypotheses.* September 2020;142:109741.
33. Vohralik SL, Bowen AR, Burns J, Hiller CE, Nightingale EJ. Reliability and Validity of a Smartphone App to Measure Joint Range. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation.* April 2015;94(4):325–30.
34. Lendner N, Wells E, Lavi I, Kwok YY, Ho P-C, Wollstein R. Utility of the iPhone 4 Gyroscope Application in the Measurement of Wrist Motion. *Hand (New York, N,Y).* Mai 2019;14(3):352–6.
35. Quek J, Brauer SG, Treleaven J, Pua Y-H, Mentiplay B, Clark R. Validity and intra-rater reliability of an Android phone application to measure cervical range-of-motion. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2014;11(1):65.
36. Palsson TS, Christensen SW, Thomsen MH, Hirata RP. Assessment of range and quality of neck movement using a smartphone-based application. *Musculoskeletal Science and Practice.* Juni 2019;41:64–9.
37. Beynon AM, Hebert JJ, Walker BF. The interrater reliability of static palpation of the thoracic spine for eliciting tenderness and stiffness to test for a manipulable lesion. *Chiropr Man Therap.* Dezember 2018;26(1):49.
38. Milani P, Coccetta CA, Rabini A, Sciarra T, Massazza G, Ferriero G. Mobile Smartphone Applications for Body Position Measurement in Rehabilitation: A Review of Goniometric Tools. *PM&R.* November 2014;6(11):1038–43.
39. Jenny J-Y, Bureggah A, Diesinger Y. Measurement of the knee flexion angle with

smartphone applications: Which technology is better? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* September 2016;24(9):2874–7.

40. Bredella MA. Sex Differences in Body Composition. In: Mauvais-Jarvis F, Herausgeber. Sex and Gender Factors Affecting Metabolic Homeostasis, Diabetes and Obesity [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2017 [zitiert 24. März 2021]. S. 9–27. (Advances in Experimental Medicine and Biology; Bd. 1043). Verfügbar unter: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-70178-3_2

41. Cox RW, Martinez RE, Baker RT, Warren L. Validity of a Smartphone Application for Measuring Ankle Plantar Flexion. *Journal of Sport Rehabilitation* [Internet]. 1. Mai 2018 [zitiert 24. März 2021];27(3). Verfügbar unter: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jsr/27/3/article-jsr.2017-0143.xml.xml>

42. Santos C, Pauchard N, Guilloteau A. Reliability assessment of measuring active wrist pronation and supination range of motion with a smartphone. *Hand Surgery and Rehabilitation.* Oktober 2017;36(5):338–45.

43. Støve MP, Palsson TS, Hirata RP. Smartphone-based accelerometry is a valid tool for measuring dynamic changes in knee extension range of motion. *The Knee.* Januar 2018;25(1):66–72.

44. Alawna MA, Unver BH, Yuksel EO. The Reliability of a Smartphone Goniometer Application Compared With a Traditional Goniometer for Measuring Ankle Joint Range of Motion. *Journal of the American Podiatric Medical Association.* 1. Januar 2019;109(1):22–9.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Proband mit Marker	8
Abbildung 2. Smartphone mit Marker und Halterung	8
Abbildung 3. Smartphone Halterung	9
Abbildung 4. Durchführung einer Messung im Cereneo, Vitznau	9
Abbildung 5. Beispiel Datenverarbeitung Qualisys	9

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Charakteristik Probanden.....	11
Tabelle 2. Deskriptive Statistik Validität	12
Tabelle 3. Inter-rater Reliabilität BodyLat.....	15

12 Grafikverzeichnis

Grafik 1. Bland-Altman-Plot alle Messungen	13
Grafik 2. Bland-Altman-Plot pro Bewegung	13
Grafik 3. Bland-Altman-Plot relative Zahlen (die Extension der Hüfte befindet sich ausserhalb des skalierten Bereichs)	13
Grafik 4. Korrelation inter-rater Reliabilität.....	15

13 Anhang

13.1 Informationsbrief



Reliabilität und Validität von Inertialsensoren eines Smartphones zur Messung von Bewegungsamplituden verglichen mit der 3D- Bewegungs- analyse

Probandin/-/ Probandeninformation

Sehr geehrte Teilnehmerin,

Sehr geehrter Teilnehmer

Im Folgenden möchten wir Sie über das Vorhaben der obengenannten Studie informieren. Bei dieser Studie handelt es sich um eine Masterarbeit von zwei Osteopathie-Studentinnen der Hochschule für Gesundheit, Freiburg.

1. Ziel der Studie

Wir fragen Sie hiermit, ob Sie an dieser Studie teilnehmen möchten. Die Studie untersucht die Validität und die Reliabilität der Smartphone-Applikation BodyLat. Dazu werden Messungen der Beweglichkeit von Halswirbelsäule, Schulter- und Hüftgelenk mit BodyLat und der 3D-Bewegungsanalyse gleichzeitig gemacht und später miteinander verglichen.

2. Auswahl der Studienteilnehmer

Sie wurden für die Studie angefragt, weil Sie in der gefragten Altersgruppe sind und Sie als gesunde Person unseren Einschlusskriterien entsprechen.

3. Allgemeine Informationen zur Studie

Die Studie wird an der Hochschule Gesundheit Freiburg durchgeführt. Die Messungen der Bewegungsamplituden finden im Motion Lab der Cereneo Foundation in Vitznau statt. Es handelt sich dabei um eine Validitäts- und Reliabilitätsstudie.

- Die Messungen werden nicht invasiv sein. Es werden Bewegungen ausgeführt, welche in Ihrem schmerzfreien Bewegungsumfang liegen.
- Bei jedem Teilnehmer wird die gleiche Prozedur durchgeführt. Es gibt weder Vor- noch Nachteile für gewisse Teilnehmer.
- Die Studie findet über einen Zeitraum von 1.5 Jahren statt
- Es werden 8 – 10 Personen an der Studie teilnehmen, um die Validität und Reliabilität der Smartphone-Applikation prüfen zu können.



Diese Studie wird nach geltenden schweizerischen Gesetzen und nach international anerkannten Grundsätzen durchgeführt. Das schulinterne Ethikgremium hat die Studie geprüft und bewilligt.

4. Ablauf

Vor Ort werden Sie als erstes informiert, was für Messungen gemacht werden und wie diese durchgeführt werden. Dabei werden die Bewegungen der zu messenden Gelenke bereits mit Ihnen geübt, um Fehlmessungen bei der Datenerhebung zu vermeiden und Ihr Wohlbefinden während der Datenerhebung zu gewährleisten. Im Anschluss werden Ihnen Marker auf die Haut geklebt, so dass die aktiven Bewegungen von Hüfte, Schulter und Halswirbelsäule mittels Infrarotkameras gemessen werden können. Nach kurzer Kontrolle der Sensoren können Sie sich hinsetzen. Die Messungen werden von oben nach unten durchgeführt und bei den beidseitigen Tests wird jeweils mit der rechten Seite begonnen: Beugung, Streckung, Drehung und Neigung zur Seite (Flexion, Extension, Rotation und Seitneigung) der Halswirbelsäule, dann Beugung, Streckung, Drehung und Abspreizen des Armes und zuletzt im Liegen die Beugung, Streckung, Drehungen, Abspreizung und Heranziehen des Beines. Sie werden direkt zwei Mal nacheinander gemessen, von jedem Tester einmal.

5. Nutzen

Durch Ihre Teilnahme kann die Validierung einer Smartphone-Applikation zur Messung von Bewegungsamplituden ermöglicht werden. Ihnen persönlich entsteht durch die Teilnahme kein Nutzen.

6. Rechte

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie können jederzeit auf die Teilnahme dieser Studie verzichten. Mit diesem Schreiben werden Sie über die Studie und deren Ablauf informiert. Ein weiteres Dokument zur Einverständniserklärung werden Sie ebenfalls erhalten. Mit der Unterschrift auf der Einverständniserklärung stimmen Sie einer Teilnahme zu, ohne Unterzeichnung wird keine Messung durchgeführt. Auch nach der schriftlichen Unterzeichnung haben Sie jederzeit das Recht, ohne Begründung die Teilnahme zurückzuziehen oder abubrechen. Ein Abbruch wird keine negativen Folgen für Sie haben.

Sie dürfen jederzeit Fragen zur Studienteilnahme und deren Ablauf stellen. Wenden Sie sich dazu bitte an die Studienleiterinnen.

7. Pflichten des Studienteilnehmers

Als Teilnehmer ist es notwendig, dass Sie:

- sich an die Vorgaben und Anforderungen der Studie halten
- die Fragen zu Ihrem Gesundheitszustand ehrlich beantworten
- uns sofort informieren, falls sich vor Datenerhebung etwas an Ihrem Gesundheitszustand ändert



8. Risiken

Weder die Messung mit den Infrarotkameras noch die mit der Smartphone-Applikation sind schmerzhaft oder schädlich für den Menschen. Es sind keine Risiken betreffend dieser Methoden bekannt.

9. Vertraulichkeit der Daten

In dieser Studie werden persönliche Daten von Ihnen erfasst. Genauer betrifft dies Ihr Geschlecht, Alter, Namen und Gesundheitsstatus. Diese Daten werden anonymisiert. Sie stehen nur den Studienverfasserinnen und den Supervisoren zur Verfügung. Die Daten werden anschliessend an die Messungen nach schweizerischem Datenschutz-Standard passwortgesichert gespeichert.

Während der ganzen Studie wird die Vertraulichkeit strikt gewährt. Ihr Name oder andere persönliche Daten, welche auf Ihre Identität hinweisen können, werden in keiner Weise veröffentlicht.

10. Unfreiwilliger Studienabbruch

Ihre Teilnahme kann durch die Verfasserinnen der Studie abgebrochen werden. Folgender Grund kann dazu führen: Wegen neuen Erkenntnissen müssen die Ein- oder Ausschlusskriterien geändert werden und es kann sein, dass Sie nicht mehr dem Probandenprofil entsprechen.

11. Entschädigung der Teilnehmer

Wenn Sie an dieser Studie teilnehmen, bekommen Sie dafür keine Entschädigung. Auch Auslagen wie Reisespesen, die nur durch die Teilnahme bedingt sind, können wir Ihnen leider nicht vergüten. Es entstehen Ihnen sonst keine Kosten durch die Teilnahme.

12. Informationen über neue Erkenntnisse

Falls sie wünschen, informieren wir Sie gerne über die neuen Erkenntnisse, die durch die Studie gewonnen werden. Damit wir Ihnen die Resultate der Studie zukommen lassen können, bitten wir Sie, uns eine E-Mail zu schreiben.

13. Kontaktpersonen

Bei Unklarheiten, unerwarteten oder unerwünschten Ereignissen die vor, während oder nach der Studie auftreten, können Sie sich jederzeit bei den Studienverfasserinnen per E-Mail melden.

Studienverfasserinnen:	Viviane Meier	viviane.meier@edu.hefr.ch
	Moana Schmid	moana.schmid@edu.hefr.ch

Seite 3 von 3

13.2 Einverständniserklärung



Einverständniserklärung

Schriftliche Einverständniserklärung der Probandin/des Probanden zur Teilnahme an einer Studie

Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch. Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten. Für die Teilnahme ist Ihre schriftliche Einwilligung notwendig.

Titel der Studie:	Reliabilität und Validität von Inertialsensoren eines Smartphones zur Messung von Bewegungsamplituden verglichen mit der 3D-Bewegungsanalyse
Ort der Studie:	Hochschule für Gesundheit, Freiburg Cereneo Foundation, Vitznau
Studienleiterinnen:	Viviane Meier Moana Schmid
Supervisoren:	Lea Awai Sandro Fossetti
Proband / Probandin: Name und Vorname in Druckbuchstaben: Geburtsdatum:	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich

- Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angaben von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen.
- Ich wurde vom unterzeichnenden Prüfer mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie und über eventuelle Risiken informiert.
- Ich habe die zur oben genannten Studie abgegebene schriftliche Probandeninformation (Version 1, 16.04.2020) gelesen, sowie verstanden und akzeptiere deren Inhalt. Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich kann die schriftliche Probandeninformation behalten und erhalte auf Wunsch eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung.
- Ich hatte genügend Zeit, meine Entscheidung zu treffen.
- Ich weiss, dass meine persönlichen Daten während und nach der Durchführung der Studie geschützt sind.
- Ich weiss, dass nach Abschluss der Arbeit meine gesundheitsbezogenen und persönlichen Daten in verschlüsselter Form archiviert werden. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Prüfer jederzeit von der Studie ausschliessen. Zudem orientiere ich den Prüfer über eine Veränderung meines Gesundheitszustandes.

Ort, Datum	Unterschrift der Probandin/des Probanden
------------	--



Bestätigung der Studienleiterinnen: Hiermit bestätigen wir, dass wir diesem Probanden / dieser Probandin Ziel, Bedeutung und Tragweite der Studie erläutert haben. Wir versichern, alle im Zusammenhang mit dieser Studie stehenden Verpflichtungen zu erfüllen. Sollten wir zu irgendeinem Zeitpunkt während der Durchführung der Studie von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft des Probanden / der Probandin zur Teilnahme an der Studie beeinflussen könnten, werden wir ihn / sie umgehend darüber informieren.

Ort, Datum	Unterschriften der Studienleiterinnen: Viviane Meier Moana Schmid
------------	---

13.3 Sicherheitsfragen



Sicherheitsfragen

1. Sind Bewegungen des gesamten Körpers schmerzfrei möglich?
☐ Ja ☐ Nein
2. Haben Sie eine Prothese und/oder einen künstlichen Bandapparat in der Halswirbelsäule, der Schulter oder der Hüfte?
☐ Ja ☐ Nein
3. Haben Sie akute (vor weniger als 3 Monaten) physische Verletzungen erlitten?
☐ Ja ☐ Nein
4. Haben Sie akute neurogene Schmerzen?
☐ Ja ☐ Nein
5. Falls weiblich: Hatten Sie eine Geburt oder einen Kaiserschnitt in den letzten 3 Monaten?
☐ Ja ☐ Nein
6. Hatten Sie einen operativen Eingriff in den letzten 3 Monaten?
☐ Ja ☐ Nein
7. Haben Sie allgemeine funktionelle / strukturelle Einschränkungen?
☐ Ja ☐ Nein

Ort, Datum	Unterschrift der Probandin/des Probanden

13.4 Protokoll Marker

BodyLat: Ausführungsprotokoll

Nr	Test	Position Proband	Marker	Position Tester	Position Halterung	Achtung
1	HWS Flexion	Sitzend, am Ende der Liege	- Stirn, Os frontale bilateral (2x)	Stehend, auf der rechten Seite des Probanden	Schläfe auf der linken Seite des Probanden	Marker nicht verdecken!
2	HWS Extension		- Nasenwurzel (1x)			
3	HWS SN rechts		- Kinn ANT mittig (1x)			
4	HWS Rot rechts		- Manubrium Sternum ANT mittig (1x)			
5	Schulter ABD links	Sitzend, am Ende der Liege	- POST auf Proc. Spinosus C7 und Th8 (2x)	Stehend, auf der rechten Seite des Probanden - Medialer Arm hält Gerät - Lateraler Arm fixiert Scapula	Mitte vom Arm (Trizeps)	- Handfläche nach ANT - Handy auf den Kopf stellen
6	Hüfte Extension rechts	Proband sitzt am Ende der Liege und hat linkes Bein angewinkelt. Lässt sich nach hinten fallen	- Acromium bilateral (2x)			
7	Hüfte ADD links	Liegt auf der linken Seite auf der Liege, Beine gestreckt.	- Ansatzpunkt M. Deltoideus links (1x)			
8	Hüfte ABD rechts		- Epicondylus MED und LAT Humerus links (2x)			
			- Zwischen Radius und Ulna Distal links (1x)			
			- Radius und Ulna ganz Distal links (2x)			
6	Hüfte Extension rechts	Proband sitzt am Ende der Liege und hat linkes Bein angewinkelt. Lässt sich nach hinten fallen	- SIAS bilateral (2x)	Steht auf der medialen Seite des zu testenden Beines.	Neutralisierung horizontal auf der Liege. Positionierung oberhalb Patella	Becken sollte immobil sein
7	Hüfte ADD links	Liegt auf der linken Seite auf der Liege, Beine gestreckt.	- Crista iliaca rechts (1x)	Steht am Rücken des Probanden und hält den linken Fuss mit der rechten Hand.	Neutralisierung horizontal auf der Liege. Gerät auf der medialen Seite des linken Femurs.	Bewegung soweit machen bis Becken mitbewegt
8	Hüfte ABD rechts		- SIPS bilateral (2x)	Steht am Rücken des Probanden und hält den rechten Fuss mit der rechten Hand.	Neutralisierung horizontal auf der Liege. Gerät auf der lateralen Seite des rechten Femurs.	
			- Condylus MED und LAT Femur, bilateral (4x)			
			- Caput Fibulae rechts (1x)			
			- Tibiplateau bilateral (2x)			
			- Malleolus MED bilateral (2x)			
			- Malleolus LAT rechts (1x)			

9	Hüfte IR rechts	In Bauchlage auf der Liege. Bein rechts ist im Knie 90 Grad angewinkelt	- Markerplatten bilateral an der Wade mittig, beide nach rechts schauend (2 Platten)	Hinten an den Füßen des Patienten in der Hocke	Neutralisierung vertikal. Gerät auf der ANT Fläche der Tibia distal	Fuss nach aussen Kippen bis Becken mitbewegt
10	Hüfte AR rechts					Fuss nach innen Kippen bis Becken mitbewegt
11	Hüfte Flexion rechts	In Rückenlage auf der Liege. Beine gestreckt			Stehend auf der rechten Seite des Patienten. Hält mit der rechten Hand den rechten Fuss.	Neutralisierung horizontal. Gerät auf der ANT Seite des Femurs, oberhalb der Patella.
12	Schulter IR links	In Rückenlage auf der Liege. Schulter in 90 Grad ABD und 90 Grad Flexion im Ellbogen.	Siehe Schulter ABD	Auf der linken Seite des Probanden in der Hocke. Möglichst klein.	POST Seite des Vorderarms (auf Radius und Ulna) Handy so halten, dass es in die Hand fällt.	Arm nach vorne Kippen lassen.
13	Schulter AR links	Unterarm in Supination (Handfläche zum Probanden)				Arm nach hinten Kippen lassen



13.5 Checkliste Datenerhebung



Heds FR
Haute école de santé Fribourg
Hochschule für Gesundheit Freiburg

BODYLAT

Checkliste: Datenerhebung

Version 1

(Pro Proband auszufüllen)

Probandnummer:	Geburtsdatum:
Name:	Vorname:

Vorbereitende Arbeiten	i.O. / erledigt
Begrüssung und Bedankung für die Teilnahme	<input type="checkbox"/>
Erklärung des gesamten Prozedere	<input type="checkbox"/>
Ausfüllen der Sicherheitsfragen mit Unterschrift	<input type="checkbox"/>
Unterzeichnung der Einverständniserklärung	<input type="checkbox"/>
Kopie der Dokumente für Probanden	<input type="checkbox"/>
Anbringen der Marker	<input type="checkbox"/>

Durchführung der Datenerhebung	i.O. / erledigt
Marker kalibrieren	<input type="checkbox"/>
HWS: <ul style="list-style-type: none"> – Rotation rechts – Seitneigung rechts – Extension – Flexion 	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
Schulter: <ul style="list-style-type: none"> – Abduktion links – Innenrotation links – Aussenrotation links 	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
Hüfte: <ul style="list-style-type: none"> – Extension rechts – Flexion rechts – Adduktion links – Abduktion rechts – Aussenrotation rechts – Innenrotation rechts 	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

Abschliessende Arbeiten	i.O. / erledigt
Marker entfernen	<input type="checkbox"/>
Liege desinfizieren	<input type="checkbox"/>
Ausdrucken der Ergebnissen mit Übungen	<input type="checkbox"/>
Bedankung, Verabschiedung	<input type="checkbox"/>
Marker neu bekleben	<input type="checkbox"/>

Information:

i.O. / erledigt = in Ordnung

n.i.O = nicht in Ordnung

beobachtet = Der Fehler wurde beobachtet

Datum/Unterschrift

Datum/Unterschrift

Name in Blockschrift

Name in Blockschrift

13.6 Protokoll BodyLat



FILIÈRE HES EN OSTÉOPATHIE
STUDIENGANG FH IN OSTÉOPATHIE

Projet JOJ 2020

Généralités

Durée du test

Pour effectuer le test, il faut compter environ 10- 15 minutes par sujet

Matériel nécessaire pour tests

Afin d'effectuer le test, le matériel suivant est nécessaire :

- Mètre souple
- Goniomètre ou smartphone avec application installée et support de mesure.
- Table d'examen

Logistique pour le test

Le test doit se dérouler dans une pièce chauffée et suffisamment grande pour y installer une table d'examen pliable et un petit bureau.

Le test déroule par petit groupe de 2 ou 3 personnes.

Une connexion internet, de préférence par Wi-Fi, doit être présente dans la pièce.

Remarques

- Le test doit toujours être reproduit dans les mêmes conditions pour être reproductible (sans échauffement ou avec échauffement standardisé).
- Pour les tests bilatéraux, commencer toujours par le côté droit

Description des tests

1. Test des chaînes postérieures –distance doigt-sol

Position du sujet

- Le sujet se place debout avec les pieds légèrement écartés et parallèles.
- Les bras sont relâchés.

Position du testeur

- Le testeur se place en arrière du sujet et veille à la bonne réalisation du test en surveillant l'extension des genoux et la bascule du bassin.

Déroulement du test

- Le sujet enroule le buste lentement et progressivement vers l'avant en enroulant le dos, bras tendus et mains jointes.
- Le sujet maintient la position en flexion du tronc pendant une seconde.
- Le testeur surveille le bon positionnement du sujet.
- Le testeur observe la distance entre l'extrémité des doigts et le sol.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Les genoux doivent rester tendus pendant tout le test.
- ⚠ Le test doit être exécuté lentement pour ne pas provoquer de réflexe myotatique.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Episodes de lombo-sciatalgies aiguës, avec ou sans hernie discale, récentes
- ⚠ Déchirures musculaire récente des muscles des chaînes postérieures (ischio-jambiers ou gastrocnémiens)

Hes-so
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale
Fachhochschule Westschweiz
University of Applied Sciences and Arts
Western Switzerland

2. Test de la mobilité de la colonne dorso-lombaire en inclinaison latérale

Position du sujet

- Le sujet est debout avec la face externe de la cuisse controlatérale posée contre la table d'examen.

Position du testeur

Le testeur se place derrière le sujet :

- La main proximale maintient l'appareil de mesure verticalement sur la colonne vertébrale à la hauteur de la charnière dorso-lombaire (T12-L1)
- La main caudale se place sur le bassin

Déroulement du test

- L'appareil de mesure est remis à zéro verticalement avant le début du test.
- Le sujet fait une inclinaison latérale du tronc du côté opposé à la table d'examen.
- Le testeur suit le mouvement avec sa main proximale et surveille la bascule du bassin avec sa main caudale.
- Le test s'arrête à l'amplitude maximale, en cas de douleur ou dès que le bassin bascule.
- L'angle obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Surveiller la bascule pendant le test
- ⚠ La colonne dorso-lombaire ne doit pas effectuer de flexion ou d'extension pendant le test

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Episodes de lombo-sciatalgies aiguës, avec ou sans hernie discale, récentes

3. Test de la mobilité de la colonne dorso-lombaire en rotation

Position du sujet

- Le sujet est assis sur la partie longue de la table d'examen.

Position du testeur

Le testeur se place derrière le sujet.

- La main caudale maintient l'appareil de mesure à la hauteur de la charnière dorso-lombaire (T12-L1) avec l'écran face au testeur.

Déroulement du test

- La main céphalique se place sur l'épaule du sujet et induit une rotation du tronc.
- Le test s'arrête à l'amplitude maximale, en cas de douleur ou dès que le bassin bascule.
- L'angle maximal obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Surveiller la bascule du bassin

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠️ Episodes de lombo-sciatalgies aiguës, avec ou sans hernie discale, récentes

4. Test de la flexion de la colonne cervicale

Position du sujet

- Le sujet est assis en bout de table d'examen dans une position confortable.
- Le regard fixé sur un point devant de lui.

Position du testeur

- Le testeur se place à côté du sujet, debout à côté de la table d'examen.
- Le testeur place une main qui maintient l'appareil de mesure appuyé sur la tempe et l'arcade zygomatique et l'autre main se place sur le sommet du crâne.

Déroulement du test

- Le testeur part de la position initiale.
- Remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une flexion de la colonne cervicale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠️ Episode de névralgie cervico-brachiale aiguë, avec ou sans hernie discale, récente

5. Test de l'extension de la colonne cervicale

Position du sujet

- Le sujet est assis en bout de table d'examen dans une position confortable.
- Le regard fixé sur un point devant lui.

Position du testeur

- Le testeur se place à côté du sujet, debout à côté de la table d'examen.
- Le testeur place une main qui maintient l'appareil de mesure appuyé sur la tempe et l'arcade zygomatique et l'autre main se place sur le sommet du crâne.

Déroulement du test

- Le testeur part de la position initiale.
- Remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une extension de la colonne cervicale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠️ Episode de névralgie cervico-brachiale aiguë, avec ou sans hernie discale, récente

6. Test de la mobilité en inclinaison latérale de la colonne cervicale

Position du sujet

- Le sujet est assis en bout de table dans une position confortable.
- Le regard fixé sur un point devant lui.

Position du testeur

- Le testeur se place en face du sujet légèrement décalé du côté opposé à l'inclinaison.
- Le testeur place une main qui maintient l'appareil de mesure appuyé sur la tempe et l'arcade zygomatique opposée à l'inclinaison et l'autre main se place sur le sommet du crâne.

Déroulement du test

- Le testeur part de la position initiale.
- Remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une inclinaison de la colonne cervicale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Episode de névralgie cervico-brachiale aigue, avec ou sans hernie discale, récente

7. Test de l'amplitude de la rotation de droite à gauche de la colonne cervicale**Position du sujet**

- Le sujet est assis en bout de table dans une position confortable.
- Le regard fixé sur un point devant lui.

Position du testeur

- Le testeur se place en face du sujet légèrement décalé du côté opposé à l'inclinaison.
- Le testeur place une main qui maintient l'appareil de mesure appuyé sur la tempe et l'arcade zygomatique opposée à l'inclinaison et l'autre main se place sur le sommet du crâne.

Déroulement du test

- Le testeur part de la position initiale.
- Remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une rotation de la colonne cervicale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Episode de névralgie cervico-brachiale aigue, avec ou sans hernie discale, récente

8. Test de la mobilité de la flexion d'épaule**Position du sujet**

- Le sujet est assis en bout de table dans une position confortable. Le bras à tester est ballant en dehors de la table.

Position du testeur

- Le testeur se place à côté du sujet.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face externe du bras. L'autre main se place sur la face postérieure du coude.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une flexion maximale de l'épaule.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Episode de névralgie cervico-brachiale aigue, avec ou sans hernie discale, récente

9. Test de la mobilité de l'extension d'épaule**Position du sujet**

- Le sujet est assis en bout de table dans une position confortable. Le bras à tester est ballant en dehors de la table.

Position du testeur

- Le testeur se place à côté du sujet.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face externe du bras. L'autre main se place sur la face antérieure du tiers distal du bras.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une extension maximale de l'épaule.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

10. Test de la mobilité de l'abduction d'épaule

Position du sujet

- Le sujet est assis en bout de table dans une position confortable. Le bras à tester est ballant en dehors de la table avec la paume orienté vers l'avant.

Position du testeur

- Le testeur se place derrière sujet, décalé du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face postérieure du tiers moyen du bras. L'autre main se place sur la face interne du coude.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une abduction maximale de l'épaule.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

11. Test de la mobilité de la hanche en extension

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le sujet doit maintenir à plat la région lombaire et sacrée pendant l'exécution de tout le test.
- ⚠ La hanche ne doit pas avoir de rotation pendant l'exécution du test.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Episodes de lombo-sciatalgies aiguës, avec ou sans hernie discale, récentes

Remarque

Observer si le texte peut se faire complètement ou non avec le genou fléchi. Si le genou se tend progressivement, une hypoextensibilité du muscle droit antérieur de la cuisse est à envisager.

12. Tests de la mobilité de la hanche en adduction

Position du sujet

- Le sujet se place en décubitus latéral, du côté à tester, avec la hanche et le genou controlatéral fléchis.

Position du testeur

Le testeur se place face au sujet avec le membre inférieur proximal fléchi et posé sur la table de telle sorte à maintenir le membre controlatéral du sujet :

- La main proximale maintient l'appareil de mesure avec l'écran face au testeur sur la face interne de la cuisse à tester
- La main caudale empaume le genou sur sa face externe.

Déroulement du test

- L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- La main caudale amène une adduction maximale de hanche et la main proximale suit le mouvement avec l'appareil de mesure.
- L'angle maximal obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le bassin ne doit pas basculer pendant le test.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Pubalgie récente
- ⚠ Prothèse de hanche

13. Test de la mobilité de la hanche en abduction

Position du sujet

- Le sujet se place en décubitus latéral avec le côté vers le haut.

Position du testeur

- La main proximale maintient l'appareil de mesure avec l'écran face au testeur sur la face externe de la cuisse à tester
- la main caudale englobe la jambe du côté à tester de telle sorte à pouvoir faire une abduction

Déroulement du test

- L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- La main caudale amène une abduction hanche et la main proximale suit le mouvement
- Le test s'arrête à l'amplitude maximale, en cas de douleur ou dès que le bassin bascule.
- L'angle obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le bassin ne doit pas basculer pendant le test.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Pubalgie récente
- ⚠ Prothèse de hanche

14. Test de la mobilité du genou en flexion

Position du sujet

- Le sujet est en décubitus ventral avec la moitié de la jambe qui dépasse de l'extrémité caudale de la table d'examen.

Position du testeur

Le testeur se place du côté à tester :

- La main proximale empaume le talon du côté à tester.
- La main caudale maintient l'appareil de mesure sur le tiers inférieur de la face antérieure du tibia à l'extérieur de la crête tibiale.

Déroulement du test

- L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- Le testeur amène avec sa main proximale une flexion du genou maximale, sans engager le bassin. Sa main caudale suit le mouvement.

- L'angle maximal obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le bassin ne doit pas effectuer de bascule.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Plastie ligamentaire du genou
- ⚠ Prothèse de genou

15. Test de la mobilité de la cheville en flexion dorsale

Position du sujet

- Le sujet est en décubitus ventral le genou de la jambe du côté à tester fléchi à 90°.

Position du testeur

Le testeur se place du côté à tester :

- La main proximale place l'appareil de mesure sur la face plantaire du bord externe du pied en suivant le 5^{ème} métatarsien
- La main distale maintient la jambe de telle sorte à maintenir la flexion de 90° du genou.

Déroulement du test

- L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- La main proximale exerce une pression de telle sorte à amener une flexion dorsale maximale de la cheville.
- La main caudale maintient la jambe.
- L'angle maximal obtenu est noté.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Après une entorse de cheville ou une rupture de tendon d'Achille récente.

16. Test de la mobilité de la hanche en rotation médiale

Position du sujet

- Le sujet est en décubitus ventral

Position du testeur

Le testeur se place du côté à tester à la hauteur du genou :

- La main proximale amène une flexion à 90° passive du genou du côté à tester.
- La main caudale maintient l'appareil de mesure avec l'écran face au testeur sur le tiers moyen de la face antérieure de la jambe.

Déroulement du test

- L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- Le testeur avec sa main proximale amène une rotation interne de hanche en maintenant le genou à 90° et la main caudale suit le mouvement avec l'appareil de mesure.
- L'angle maximal obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le bassin ne doit pas effectuer de bascule.
- ⚠ Le genou ne doit pas se déplacer pendant la rotation de hanche

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Prothèse de hanche

- ⚠ Accouchement par voie basse récent

17. Test de la mobilité de la hanche en rotation latérale

Position du sujet

- 🟢 Le sujet est en décubitus ventral

Position du testeur

Le testeur se place du côté à tester à la hauteur du genou :

- 🟢 La main proximale amène une flexion passive de 90° du genou.
- 🟢 La main caudale l'appareil de mesure avec l'écran face au testeur sur le tiers moyen de la face antérieure de la jambe.

Déroulement du test

- 🟢 L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- 🟢 Le testeur avec sa main proximale amène une rotation externe de hanche en maintenant le genou à 90°. La main caudale suit le mouvement avec l'appareil de mesure.
- 🟢 L'angle maximal obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le bassin ne doit pas effectuer de bascule.
- ⚠ Le genou ne doit pas se déplacer pendant la rotation de hanche

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠ Prothèse de hanche
- ⚠ Accouchement par voie basse récent

18. Test musculaire de la flexion du tronc

Position du sujet

- 🟢 Le sujet est en décubitus dorsal avec la partie lombaire bien à plat (pas de lordose lombaire) au départ et les genoux fléchis à 90° avec les deux pieds à plat sur la table.

Position du testeur

- 🟢 Le testeur se place à côté du sujet et surveille le déroulement correct du test et place une main sur les genoux du sujet pour les maintenir pendant le test.

Déroulement du test et évaluation du test

- Niveau 4** le sujet tend les bras à 45° de flexion au départ et tente de toucher sans élan la face antérieure des deux genoux avec les deux paumes.
- Niveau 3** le sujet tend les bras à 45° de flexion au départ et tente de toucher sans élan la face antérieure des deux genoux avec les coudes.
- Niveau 2** le sujet croise les bras avec les deux mains au niveau des coudes et tente de toucher sans élan la face antérieure des deux genoux avec les coudes.
- Niveau 1** Le sujet croise les bras et touche avec une main l'omoplate controlatérale et inversement et tente de toucher sans élan la face antérieure des genoux avec les coudes.

Le sujet doit attendre facilement atteindre le niveau le plus élevé possible.

Points à surveiller lors du test

- ⚠ Le dos doit rester bien droit pendant l'exécution de tous les niveaux.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠️ Episodes de lombo-sciatalgies aiguës, avec ou sans hernie discale, récentes
- ⚠️ Si le test est douloureux stopper immédiatement son exécution.
- ⚠️ Chirurgie abdominale récente
- ⚠️ Césarienne récente

19. Test de la mobilité de la hanche en flexion**Position du sujet**

- 🟢 Le sujet est en décubitus dorsal avec les membres inférieurs tendus sur la table d'examen. Le rachis lombaire et le sacrum doivent reposer à plat sur la table d'examen.

Position du testeur

Le testeur se place du côté à tester :

- 🟢 La main proximale maintient fermement l'appareil de mesure sous la TTA.
- 🟢 La main distale empaaume le talon.

Déroulement du test

- 🟢 L'appareil de mesure est remis à zéro avant le début du test dans la position de départ.
- 🟢 Le testeur amène avec sa main caudale une flexion de hanche maximale sans rotation du bassin et le pied détendu. La main proximale suit le mouvement en maintenant l'appareil de mesure pour mesurer l'angle maximal.
- 🟢 Le test s'arrête en cas de douleur, dès que le bassin bascule, de contraction des muscles abdominaux ou dès que le genou commence à fléchir.
- 🟢 L'angle obtenu est noté.

Points à surveiller lors du test

- ⚠️ La partie lombaire et le sacrum du sujet doivent rester bien à plat sur la table pendant tout le test.
- ⚠️ Le genou doit rester tendu lors de tout le déroulement du test.

Contre-indications pour effectuer ce test

- ⚠️ Episodes de lombo-sciatalgies aiguës, avec ou sans hernie discale, récentes
- ⚠️ Rupture complète ou partielle récente d'un ou plusieurs muscles du groupe des ischio-jambiers.

20. Test de la mobilité de la rotation médiale d'épaule**Position du sujet**

- 🟢 Le sujet se place en décubitus dorsal avec le bras à tester à 90° d'abduction et le coude fléchi avec le bras posant au maximum sur la table d'examen et le coude sur le genou du testeur.

Position du testeur

- 🟢 Le testeur se place assis sur une chaise du côté à tester.
- 🟢 Une main maintient l'appareil de mesure sur le tiers moyen de la face externe de l'avant-bras. L'autre main maintient le coude.

Déroulement du test

- 🟢 Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une rotation médiale d'épaule maximale.
- 🟢 Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

21. Test de la mobilité de la rotation latérale d'épaule

Position du sujet

- Le sujet se place en décubitus dorsal avec le bras à tester à 90° d'abduction et le coude fléchi avec le bras posant au maximum sur la table d'examen et le coude sur le genou du testeur.

Position du testeur

- Le testeur se place assis sur une chaise du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur le tiers moyen de la face externe de l'avant-bras. L'autre main maintient le coude.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une rotation médiale d'épaule maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

22. Test de la supination du coude**Position du sujet**

- Le sujet est en décubitus dorsal avec le coude en position neutre fléchi à 90° près du corps

Position du testeur

- Le testeur se place face au sujet du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face palmaire de la main du côté à tester.
- L'autre main maintient le coude sur la table d'examen.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une supination de coude maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

23. Test de la pronation du coude**Position du sujet**

- Le sujet est en décubitus dorsal avec le coude en position neutre fléchi à 90° près du corps

Position du testeur

- Le testeur se place face au sujet du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face palmaire de la main du côté à tester.
- L'autre main maintient le coude sur la table d'examen.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une supination de coude maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

24. Test de la mobilité de la flexion palmaire du poignet**Position du sujet**

- Le sujet est en décubitus dorsal avec le coude en position neutre fléchi à 90° près du corps

Position du testeur

- Le testeur se place face au sujet du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face dorsale de la main du côté à tester.
- L'autre main maintient le coude sur la table d'examen.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une flexion du poignet maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

25. Test de la mobilité de l'extension (flexion dorsale) du poignet**Position du sujet**

- Le sujet est en décubitus dorsal avec le coude en position neutre fléchi à 90° près du corps

Position du testeur

- Le testeur se place face au sujet du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face palmaire de la main du côté à tester.
- L'autre main maintient le coude sur la table d'examen.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une extension du poignet maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

26. Test de la mobilité de l'inclinaison radiale du poignet**Position du sujet**

- Le sujet est en décubitus dorsal avec le coude en position neutre fléchi à 90° près du corps

Position du testeur

- Le testeur se place face au sujet du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face dorsale de la main du côté à tester.
- L'autre main maintient le coude sur la table d'examen.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une inclinaison radiale du poignet maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

27. Test de la mobilité de l'inclinaison ulnaire du poignet**Position du sujet**

- Le sujet est en décubitus dorsal avec le coude en position neutre fléchi à 90° près du corps

Position du testeur

- Le testeur se place face au sujet du côté à tester.
- Une main maintient l'appareil de mesure sur la face dorsale de la main du côté à tester.
- L'autre main maintient le coude sur la table d'examen.

Déroulement du test

- Le testeur remet à zéro l'appareil de mesure puis amène une inclinaison ulnaire du poignet maximale.
- Une fois l'amplitude maximale atteinte, la mesure est prise.

Nr	Position du sujet	Test à effectué
1	Debout	Distance doigt-sol
2	Debout avec cuisse gauche contre la table	Inclinaison latérale lombaire droite
3	Debout avec cuisse droite contre la table	Inclinaison latérale lombaire gauche
4	Assis complètement sur un bord long de la table	Rotation lombaire droite
5	Assis complètement sur un bord long de la table	Rotation lombaire gauche
6	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table	Flexion cervicale
7	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table	Extension cervicale
8	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table	Inclinaison cervicale droite
9	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table	Rotation cervicale droite
10	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table	Inclinaison cervicale gauche
11	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table	Rotation cervicale gauche
12	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table décalé à droite	Abduction épaule droite
13	Assis sur le côté court à l'extrémité de la table décalé à gauche	Abduction épaule gauche
14	Assis avec les fesses posées sur l'extrémité de la table	Extension de hanche droite
15	Assis avec les fesses posées sur l'extrémité de la table	Extension de hanche gauche
16	Décubitus latéral droit	Adduction de hanche droite
17	Décubitus latéral droit	Abduction de hanche gauche
18	Décubitus latéral gauche	Adduction hanche gauche
19	Décubitus latéral gauche	Abduction hanche droite
20	Décubitus ventral	Flexion de genou droit
21	Décubitus ventral	Flexion dorsale de cheville droite
22	Décubitus ventral	Rotation interne de hanche droite
23	Décubitus ventral	Rotation externe de hanche droite
24	Décubitus ventral	Flexion du genou gauche
25	Décubitus ventral	Flexion dorsale de cheville gauche
26	Décubitus ventral	Rotation interne de hanche gauche
27	Décubitus ventral	Rotation externe hanche gauche
28	Décubitus dorsal avec genoux fléchis à 90° et bras tendus à 45°	Flexion du tronc (abdominaux)
29	Décubitus dorsal	Flexion de hanche droite, jambe tendue
30	Décubitus dorsal	Flexion de hanche gauche, jambe tendue
31	Décubitus dorsal avec épaule à 90° d'abduction et coude fléchi à 90°	Rotation interne épaule droite
32	Décubitus dorsal avec épaule à 90° d'abduction et coude fléchi à 90°	Rotation externe épaule droite
33	Décubitus dorsal avec bras le long du corps et coude fléchi à 90°	Supination coude droit
34	Décubitus dorsal avec bras le long du corps et coude fléchi à 90°	Pronation coude droit
35	Décubitus dorsal avec épaule à 90° d'abduction et coude fléchi à 90°	Rotation interne épaule gauche
36	Décubitus dorsal avec épaule à 90° d'abduction et coude fléchi à 90°	Rotation externe épaule gauche
37	Décubitus dorsal avec bras le long du corps et coude fléchi à 90°	Supination coude gauche
38	Décubitus dorsal avec bras le long du corps et coude fléchi à 90°	Pronation coude gauche

13.7 Ethikantrag

Ethical evaluation

Please verify the following points and add comments requesting appropriate changes when necessary. Update form until ethical standards are met before submitting evaluation sheet for entry in IS Academia.

Past tick mark where appropriate: ☒

1. Is the study socially valuable?

☒ Yes
☐ No

Comments: Durch die Validierung der Applikation BodyLat kann ein alltäglich klinischer Gebrauch erleichtert und verbessert werden.

2. Is the study conducted in a methodologically rigorous manner?

☒ Yes
☐ No

Comments:

3. Is the selection of subjects fair?

☒ Yes
☐ No

Comments:

4. Is the risk-benefit ratio favourable?

☒ Yes
☐ No

Comments: Keine Risiken erwartet.

5. Are subjects to freely provide their informed consent to participate?

☒ Yes
☐ No

Comments: Es werden Informationsblätter sowie eine Einverständniserklärung abgegeben. Sie können jeder Zeit ohne Konsequenzen aus der Studie aussteigen.

6. Are subjects treated with respect throughout the study and after its completion?

☒ Yes
☐ No

Comments:

7. Has all the required information and documents been provided including the data management plan if required?

☒ Yes
☐ No

Comments:

8. Does this project require external ethical review and approval (justify answer)?

- ☐ Protocol might need to be revised before ethical assessment can be made
- ☒ No external ethical evaluation required, if yes, fill in justification below:
- ☒ Risk for participants estimated to be absent or extremely low
 - ☒ No invasive explorations methods used, no biological samples taken or genetic data collected
 - ☒ Not a study that includes patients
 - ☒ No personal sensitive data collected
- ☐ Request for exemption planned Planned submission date: __/__/____
- ☐ Full ethical evaluation planned Planned submission date: __/__/____

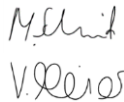
Comments:

Once the justification for the decision on ethical approval can be made, this document needs to be signed by the supervisor and the student(s).

Supervisor's signature



Student(s)' signature(s)



Date: 01.05.2020

13.8 Plagiatserklärung

Diese Arbeit wurde von uns persönlich und ausschliesslich mit unseren eigenen Worten verfasst. Zitate, welche aus publizierten oder nicht publizierten Quellen stammen, wurden klar deklariert. Wir sind uns bewusst, dass die Wiedergabe von Worten und Paragrafen ohne Zitieren der Quelle als Plagiat gewertet wird. Die Quelle von verwendeten Bildern, Schemata und anderen Illustrationen, welche nicht von unserer eigenen Arbeit herreichen, sind klar deklariert. Wir haben uns bemüht sicherzustellen, dass wir die Autorisierung haben, diese zu nutzen.

Ort und Datum:

Luzern, 09.04.2021

Unterschrift:

Moana Schmid



Viviane Meier