

Diplomarbeit

**Objektivierung des Rekompensationserfolges bei akuter
Herzinsuffizienz mittels neuer Verfahren (HI-SENS)**

eingereicht von

Arthur Riedel

Geb. Dat.: 01.07.1984

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Univ.- Klinik für Innere Medizin,

Klinische Abteilung für Kardiologie

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dr. Friedrich Fruhwald

und

DI. Dr. Dieter Hayn

Graz, 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 29.10.2013

Unterschrift

Hinweis:

Um die Lesbarkeit des vorliegenden Textes zu erleichtern, wird im Folgenden das generische Maskulinum gebraucht, das gleichermaßen männliche und weibliche Personen umfasst. Die Entscheidung für diese Schreibweise beruht allein auf praktischen und nicht auf inhaltsbezogenen Erwägungen.

DANKSAGUNGEN

Ich möchte mich zunächst bei den Patienten bedanken, die sich bereiterklärt haben in der Studie mitzuwirken.

Weiters möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern, Herrn Univ.-Prof. Dr. Friedrich M. Fruhwald und DI Dr. Dieter Hayn, für ihre Unterstützung bedanken. Sie haben mir bei Problemen und Fragen stets schnelle und kompetente Hilfestellung geboten.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie. Meinen Eltern, welche mir das Studium ermöglicht haben, sowie meiner Frau und meinem Sohn Lionel, die mich immer aufs neue motivierten.

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitung: Herzinsuffizienz (HI) führt häufig zu stationären Aufenthalten wegen kardialer Dekompensation. Um dem entgegen zu wirken, sind neue Verfahren zur Früherkennung nötig. Es wurde daher in der gegenständlichen Studie untersucht, ob Beinödeme, als Zeichen der Dekompensation, mittels 3D-Bildgebung nachgewiesen werden können.

Material und Methode: In einer Pilotstudie an der Kardiologie der Medizinischen Universität Graz wurden kardial dekompensierte Patienten mit Beinödemen während ihres stationären Aufenthaltes analysiert. Es wurden täglich die Beinumfangs vermessen um den Rückgang der Ödeme als Ausdruck einer erfolgreichen Rekompensationstherapie zu erfassen. Mittels 3D-Kamera (Microsoft Kinect®), einer Körperwaage und einem Maßband wurden die Beinödeme quantifiziert. Aus dem 3D-Bild wurden aus einer Reihe von möglichen Parametern zwei mit einem halbautomatischen Fotobearbeitungsprogramm extrahiert: a) die Höhe des linken Fußrückens (Spannhöhe) und b) die Krümmung der Unterschenkelinnenseite rechts. Als Referenzwerte wurden am rechten Unterschenkel vier horizontale Umfänge und am linken Fuß ein frontaler Umfang vermessen. Als weiterer Referenzwert wurde das Körpergewicht erfasst. Die Änderungen der 3D-Parameter wurden mit den Änderungen der Referenzmessungen in Korrelation gesetzt.

Ergebnisse: Im Zeitraum von Oktober 2012 bis März 2013 wurden 16 PatientInnen vermessen, wovon bei 11 PatientInnen (7m, 4w, mittleres Alter 73 ± 15 Jahre) ausreichend repräsentative Daten erfasst werden konnten. Es wurden 59 Messungen mit durchschnittlich $5,4 \pm 2$ Untersuchungen pro Patient durchgeführt. Die mediane Gewichtsreduktion als Erfolg der Ödemausschwemmung betrug 2 kg. Die höchste Korrelation fand sich zwischen der mittleren Spannhöhe und dem Spannumfang ($r=0,70$). Die mittlere Spannhöhe korreliert zu dem Mittelwert der fünf Umfänge ($r=0,63$) stärker als zum Körpergewicht ($r=0,60$).

Diskussion: Die 3D-Erfassung von Beinödemen und deren Veränderung ist während einer Rekompensationstherapie technisch machbar. Verglichen mit den "klassischen" Parametern der Rekompensation, besteht die beste Korrelation zwischen Spannhöhe und Spannumfang. Um eine solches System zur Früherkennung kardialer Dekompensation einzusetzen z.B. im Rahmen eines Telemonitorings, bedarf es noch weiterer Forschungsarbeit.

ABSTRACT

Introduction:

Heart failure (HF) often leads to hospitalizations due to cardiac decompensation. In order to counteract this, new methods for early detection are needed. Therefore, we used 3D-imaging in a pilot study to investigate whether leg edema can be detected.

Materials and Methods:

In a pilot study at the Department of Cardiology of the Medical University of Graz patients with leg edema due to heart failure were analyzed during their hospital stay on a daily basis. Using 3D-camera (Microsoft Kinect®), a weight scale and a measuring tape, leg edema were quantified. From a variety of potential parameters 3D-imaging of two parameters were extracted with a semi-automatic photo editing program: a) the height of the left dorsum of the foot (instep height) and b) the curvature of the inside of the right lower leg. As reference values four horizontal circumferences at the lower right leg and one frontal circumference at the left foot were measured. As another reference value body weight was recorded. Finally the changes of the 3D-parameters were correlated to the changes of the reference measurements.

Results:

Between October 2012 to March 2013, 16 patients were measured, of which 11 patients (7m, 4w, mean age 73 ± 15 years) with adequate data could be recorded. 59 measurements were made with an average of 5.4 ± 2 tests per patient. The median weight loss was 2 kg. The highest correlation was found between the mean instep height and the instep circumference ($r = 0.70$). The average instep height correlated both to the average of the five circumferences ($r = 0.63$) and to changes of body weight ($r = 0.60$).

Discussion:

3D-recording of leg edema and their changes is technically feasible during a recompensation therapy of heart failure. Compared with the "classical" parameters of recompensation, the best correlation is between instep and instep height. Further research is needed to see whether the system may be helpful to detect cardiac decompensation in earlier stages e.g. in a setting of telemonitoring.

INHALTSVERZEICHNIS

Danksagungen	3
Zusammenfassung	4
Abstract.....	5
Inhaltsverzeichnis	6
Glossar und Abkürzungen	9
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	11
1 Einleitung	12
1.1 Herzinsuffizienz.....	14
1.1.1 Definition.....	14
1.1.2 Epidemiologie.....	14
1.1.3 Ätiologie	15
1.1.4 Zeichen und Symptome der HI.....	15
1.2 Diagnostik der HI.....	17
1.3 Ödeme	17
1.3.1 Ursachen und Formen.....	17
1.3.2 Objektive Messmethoden von Ödemen.....	18
1.4 3D-Messmethoden	20
1.5 3D-Kamera Kinect.....	20
2 Material und Methoden	21
2.1 Studiendesign.....	21
2.2 Studienziel	21
2.2.1 Objektive Bewertungsparameter	21
2.3 Patientenauswahl	22
2.3.1 Einschlusskriterien	22
2.3.2 Ausschlusskriterien.....	22

2.4	Durchführung.....	23
2.5	Ablauf der Untersuchung.....	23
2.5.1	3D-Messung	24
2.5.2	Umfangmessung.....	26
2.6	Studienmaterial	27
2.6.1	Körperwaage.....	27
2.6.2	Blutdruckmessgerät Firma A&D.....	28
2.6.3	3D-Kamera	28
2.7	Untersuchungsende	29
2.7.1	Vorzeitiges Ausscheiden von Patienten aus der Studie.....	29
3	Auswertung der Messdaten	30
3.1	Berechnung der Höhe des Fußspanns	30
3.2	Berechnung der Unterschenkelkrümmung	31
3.3	Referenzmessungen	32
4	Ergebnisse	33
4.1	Spannhöhe.....	35
4.1.1	Spannhöhe 1	38
4.1.2	Spannhöhe 2	39
4.1.3	Spannhöhe 3	40
4.1.4	Mittlere Spannhöhe	41
4.2	Unterschenkelkrümmung.....	44
4.2.1	Krümmung 1	46
4.2.2	Krümmung 2.....	47
5	Diskussion	48
5.1	Interpretation der Ergebnisse	48
5.1.1	Ergebnisse der Spannhöhe.....	48
5.1.2	Ergebnisse der Unterschenkel-Krümmung.....	49
5.1.3	Schlussfolgerung	50

5.2	Limitationen.....	50
5.3	Outlook	51
6	Anhang.....	52
7	Literaturverzeichnis.....	54

GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN

ACE-Hemmer	Angiotensin-converting-enzyme-Hemmer
AZ	Allgemeinzustand
card. dekomp.	Kardial dekompensiert
cm	Zentimeter
COPD	chronic obstructive pulmonary disease
EBA	Erstversorgung, Beobachtung, Aufnahme (Notfallaufnahme)
EF	ejection fraction
EKG	Elektrokardiogram
HI	Herzinsuffizienz
ICU	Intensive Care Unit
Inzidenz	Anzahl der Neuerkrankungen pro 100 000 Einwohner pro Jahr
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
LV	Linker Ventrikel
max.	maximal
mg/kg KG	Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht, Dosierungsangabe
NT-pro-BNP	N-terminal-pro-brain natriuretic peptide
NYHA	New York Heart Association
O ₂	Sauerstoff
RR	Blutdruck nach Riva-Rocci

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Beinödeme	22
Abbildung 2: Referenzpunkte.....	24
Abbildung 3: Foto aus Sicht der 3D-Kamera mit Beschriftung und Einzeichnung der nachträglich berechneten Punkte K und J.....	25
Abbildung 4: Körperwaage (30).....	27
Abbildung 5: Blutdruckmessgerät	28
Abbildung 6: 3D-Kamera Kinect® (31).....	28
Abbildung 7: Grafische Darstellung der Spannhöhen 1-3.....	30
Abbildung 8: Krümmung 1	31
Abbildung 9: Referenzpunkte für die Berechnung der Unterschenkelkrümmungen	31
Abbildung 10: Punktdiagramm: Korrelation Spannhöhe 1 zu Referenzwerte	38
Abbildung 11: Punktdiagramm: Korrelation Spannhöhe 2 zu Referenzwerte	39
Abbildung 12: Punktdiagramm: Korrelation Spannhöhe 3 zu Referenzwerte	40
Abbildung 13: Punktdiagramm: Korrelation des Mittelwert der Spannhöhen1- 3 zu Referenzwerte.....	41
Abbildung 14: Punktdiagramm: Korrelation Krümmung 1 zu Referenzwerte	46
Abbildung 15: Punktdiagramm: Korrelation Krümmung 2 zu Referenzwerte	47
Abbildung 16: Anhang A	52
Abbildung 17: Anhang B.....	53

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Epidemiologie der HI in Prozent (10)	14
Tabelle 2: Einteilung der HI-Symptomatik in vier Klassen, nach der NYHA (1)	15
Tabelle 3: Symptome und Zeichen der HI (1)	16
Tabelle 4: Referenzpunkte	24
Tabelle 5: Überblick der 11 Studienpatienten	34
Tabelle 6: Vergleich der Korrelationen Spannhöhe 1-3 zu den Referenzwerten	35
Tabelle 7: Korrelation Spannhöhen zu Referenzen, der einzelnen Patienten	37
Tabelle 8: Änderungen der Spannhöhen und Referenzwerte	42
Tabelle 9: Korrelation der einzelnen Umfänge zu Spannhöhe und Gewicht	42
Tabelle 10: Korrelation der einzelnen Umfänge zueinander	43
Tabelle 11: Vergleich der Korrelationen Krümmung 1-2 zu den Referenzwerten	44
Tabelle 12: Korrelation: Krümmung zu Referenzen, der einzelnen Patienten	45

1 EINLEITUNG

Herzinsuffiziente Patienten sind in ihrer Lebensqualität eingeschränkt und müssen aufgrund der lebensbedrohenden Symptomatik bei kardialer Dekompensation häufig stationär behandelt werden. Dies belastet sowohl die Patienten als auch das Gesundheitswesen drastisch.

Die europäische kardiologische Gesellschaft ESC geht davon aus, dass etwa 1-2 % der erwachsenen Bevölkerung in entwickelten Ländern an HI leiden. Ab der siebenden Lebensdekade ist bereits jeder Zehnte betroffen (1).

In Österreich führt dies zu mehr als 25.000 Krankenhausaufnahmen jährlich aufgrund der Diagnose Herzinsuffizienz (2). Von den entlassenen Patienten werden 24% innerhalb von 12 Wochen und fast 50% innerhalb eines halben Jahres wieder stationär aufgenommen (3-5). Ein Grund dafür ist die non-compliance der Patienten bei der Einhaltung der Medikamentenverordnung und anderer Lifestyle-Empfehlungen (6).

Um diese hohen Zahlen zu senken, muss die kardiale Entgleisung, durch ein für die Patienten schnell und einfach zu bedienendes System, früher erkannt werden und der behandelnde Arzt wie auch der Patient bei beginnender Entgleisung alarmiert werden um eine Adaptierung bzw. Optimierung der Therapie eher beginnen zu können. Damit können die hohen Spitalskosten gesenkt und die Lebensqualität der Patienten verbessert werden.

Ein möglicher Ansatz ist die frühe Erkennung der Symptome und Zeichen der kardialen Dekompensation. Da diese von den Patienten oft nicht rechtzeitig erkannt werden und die Veränderungen in kurzen Zeitspannen subjektiv schwer zu beurteilen sind, ist ein objektives Erfassen der Dekompensationszeichen nötig.

In einer vorangegangenen Studie [Mobitel] konnte gezeigt werden, dass durch die Überwachung des Körpergewichts als Zeichen der Ödemveränderung und Übermittlung weiterer Parameter (wie Blutdruck, Herzfrequenz, Medikation, Wohlbefinden) per Telemonitoring, die Rehospitalisierung deutlich reduziert werden konnte (7).

Allerdings sind häufig falsch positive Alarme ausgelöst, wie auch einzelne Fälle nicht erkannt worden (8). Um die Fehlerraten zu senken, ist es notwendig zusätzliche Früherkennungsmethoden zu erforschen und zu adaptieren.

Bei der Herzinsuffizienz gibt es mehr oder weniger spezifische Zeichen, wie auch mehr oder weniger typische Symptome. Viele davon sind schwer zu erkennen und zu deuten, besonders die geringen Änderungen in einer langen Zeitspanne können Probleme bereiten. Um dem Abhilfe zu schaffen, war es Ziel dieser Studie die Zeichen und Symptome der HI mit neuen Methoden objektiv zu erfassen und zu werten. Hierfür wurde das, laut ESC Guidelines für HI typische Symptom Knöchelödem mit einer 3D-Kamera erfasst.

Die Studie wurde technisch vom Austrian Institute of Technology GmbH, (AIT Graz, Österreich) begleitet. AIT war verantwortlich für die Entwicklung spezieller Hardware- und Software-Komponenten, sowie für die Auswertung der Daten und weitere Hilfestellung.

In meiner Diplomarbeit beschreibe ich die Methode und Ergebnisse meiner Untersuchungen, in denen es herauszufinden galt, ob mittels einer 3D-Kamera die Beinödemveränderung mit ausreichender Genauigkeit erkannt werden kann.

Diese Studie ist eine von mehreren Untersuchungen in einem Projekt zur Verbesserung der Früherkennung von kardialer Dekompensation.

Dem vorangegangen ist eine Homemonitoring-Studie bei der das Gewicht und andere Parameter von Herzinsuffizienzpatienten überwacht und per Mobiltelefon an einen Arzt übermittelt wurden, wie auch eine Testung der 3D-Kamera Kinect® an gesunden Probanden (7, 9).

1.1 HERZINSUFFIZIENZ

1.1.1 DEFINITION

Es gibt viele Interpretationen und Definitionen der HI.

Die ESC definiert die HI als die krankhafte Unfähigkeit des Herzens, das vom Organismus benötigte Herzzeitvolumen bei normalem enddiastolischem Ventrikeldruck zu fördern.

Der Begriff der akuten HI beschreibt den raschen Beginn bzw. die Veränderung der Symptome und Zeichen der HI (1).

Die WHO definiert die HI als eine verminderte Belastbarkeit des Myokards aufgrund einer ventrikulären Funktionsstörung (10).

Die HI wird klinisch definiert als ein Syndrom, bei dem typische Zeichen (z.B. erhöhter Jugularvenenpuls, Verlagerung des Herzspitzenstoßes, Rasselgeräusche bei Auskultation der Lunge) und Symptome (wie z.B. Müdigkeit, Luftnot und Ödeme der unteren Extremität) auftreten, welche Resultat einer kardialen Störung sind (1).

1.1.2 EPIDEMIOLOGIE

Die Prävalenz in der Gesamtbevölkerung beträgt 1-2 % wohingegen bei über 70 Jährigen 12-15 % in den westlichen Industrieländern betroffen sind (siehe Tabelle 1) (11).

Tabelle 1: Epidemiologie der HI in Prozent (10)

Alter in Dekaden	Prozentueller Anteil
5	1%
6	3%
8	10%

In der Gesamtbevölkerung sind Männer 1,5 mal häufiger von der Diagnose HI betroffen als Frauen (10). Allerdings ist das Verhältnis ab der 8 Lebensdekade 1:1 (11).

1.1.3 ÄTIOLOGIE

Es gibt eine Vielzahl von Ursachen und Auslöser der HI. Die häufigste Ursache in den westlichen Ländern ist jedoch die KHK, begleitet von einer arteriellen Hypertonie (12).

Laut der Framingham-offspring-Studie ist bei 50 % der Fälle die primäre Ursache eine Hypertonie (10).

1.1.4 ZEICHEN UND SYMPTOME DER HI

Die Einschränkung der Patienten anhand der symptomatischen Beschwerden wird nach der New York Heart Association (NYHA) in vier Klassen eingestuft (siehe Tabelle 2) (1).

Tabelle 2: Einteilung der HI-Symptomatik in vier Klassen, nach der NYHA (1)

New York Heart Association (NYHA)	
Klasse I	Keine Einschränkung der körperlichen Aktivität. Normale körperliche Aktivität führt nicht zu Luftnot, Müdigkeit oder Palpitationen.
Klasse II	Leichte Einschränkung der körperlichen Aktivität. Beschwerdefreiheit unter Ruhebedingungen; aber bei normaler körperlicher Aktivität kommt es zu Luftnot, Müdigkeit oder Palpitationen.
Klasse III	Deutliche Einschränkung der körperlichen Aktivität. Beschwerdefreiheit unter Ruhebedingungen; aber bereits bei geringer physischer körperlicher Aktivität Auftreten von Luftnot, Müdigkeit oder Palpitationen.
Klasse IV	Unfähigkeit, körperliche Aktivität ohne Beschwerden auszuüben. Symptome unter Ruhebedingungen können vorhanden sein. Jegliche körperliche Aktivität führt zur Zunahme der Beschwerden.

Die spezifischen Zeichen, wie auch typischen Symptome der HI sind in der Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Symptome und Zeichen der HI (1)

Symptome	Zeichen
typisch	spezifisch
Atemnot	Erhöhter jugulärer Venendruck
Orthopnoe	Hepatojugulärer Reflux
Paroxysmale nächtliche Dyspnoe	Dritter Herzton (Galopprrhythmus)
Reduzierte körperliche Belastbarkeit	Lateralisierter Herzspitzenstoß
Erschöpfung, Müdigkeit, verzögerte Erholung nach Belastung	Herzgeräusche
weniger typisch	weniger spezifisch
Nächtliches Husten	Periphere Ödeme (Knöchel, sakral, skrotal)
Keuchen	Pulmonale Rasselgeräusche
Gewichtszunahme (>2kg/Woche)	Reduzierte Inspiration und dumpfe Percussion an den Lungenbasen (Pleuraerguss)
Gewichtsverlust (bei fortgeschrittener HI)	Tachykardie
Völlegefühl	Unregelmäßiger Puls (Arrhythmie)
Appetitlosigkeit	Tachypnoe (>16 Atemzüge/min)
Verwirrtheit (besonders im fortgeschrittenen Alter)	Hepatomegalie
Depression	Aszites
Palpitationen	Kachexie
Synkope	

1.2 DIAGNOSTIK DER HI

Die zur Diagnostik der HI empfohlenen Untersuchungen laut den neuesten ESC Guidelines sind hier aufgelistet.

- Symptome und Zeichen (siehe Tabelle 3)
- Thoraxröntgen
dient weniger der HI-Diagnostik, als dem Ausschluss anderer Ursachen der Symptomatik.
- Echokardiographie
gibt Aufschluss über Kammervolumina, ventrikuläre systolische und diastolische Funktion, Wandstärke und Klappenfunktion
- EKG
- Labor
- Natriuretisches Peptid (1)

Um die Entgleisung frühzeitig zu diagnostizieren, wurden in dieser Studie die Beinödeme als Zeichen der kardialen Dekompensation untersucht .

1.3 ÖDEME

Das Wort Ödem kommt aus dem Griechischen und heißt Geschwulst bzw. Schwellung.

Das Ödem, oder auch Wassersucht genannt, ist definiert als eine nicht gerötete Schwellung infolge einer Ansammlung von seröser Flüssigkeit in den Gewebespalten (13).

1.3.1 URSACHEN UND FORMEN

Ursachen:

- erhöhter hydrostatischer Druck
- verminderter onkotischer Druck (Hypoproteinämie)
- Kapillarwandschwäche
- gestörter Lymphabfluss

Formen

- Stauungsödem
 - a) generalisiert: re. HI - Beinödem oder li. HI -Lungenödem
 - b) lokales Ödem z.B.: eine Extremität infolge von Lymph- oder Blut- Stauung bei Thrombose
- renales Ödem
- hepatogenes Ödem
- entzündliches Ödem
- kachektisches Ödem
- Angioödem
- allergisches Ödem
- prämenstruelles Ödem
- endokrines Ödem (13)

Bei den symptomatischen Ödemen der HI handelt es sich um ein generalisiertes Stauungsödem, bei dem es aufgrund des erhöhten hydrostatischen Drucks zur Störung des Flüssigkeitsaustausches zwischen Venen und interstitiellem Gewebe kommt (zugunsten des Interstitiums). Aufgrund des erhöhten hydrostatischen Drucks, bedingt durch den kardialen Rückstau, kann die Flüssigkeit nicht mehr vom interstitiellen Gewebe in die Venolen abfließen.

1.3.2 OBJEKTIVE MESSMETHODEN VON ÖDEMEN

Es gibt verschiedene Arten Ödeme zu erkennen. Eine einfache und sensitive aber wenig spezifische Methode ist das regelmäßige Messen des Körpergewichtes der Patienten. Die gesammelte Flüssigkeit, vor allem in den Beinen und Lungen, ist Folge der oben beschriebenen Pathomechanismen. Diese Flüssigkeit nimmt somit nicht mehr am Herz-Kreislaufsystem teil und kann von den Nieren nicht ausgeschieden werden. Dies hat einen Körpergewichtsanstieg zur Folge. Für HI-Patienten als kritischer Wert gilt eine Gewichtszunahme von über 2 kg in einer Woche (1).

In der Studie Mobitel (7) galt eine Gewichtsänderung von 2 kg in 2 Tagen als alarmierend. Bei der Messung des Körpergewichtes werden allerdings alle Ödeme erfasst und nicht zwischen Lungen- oder Beinödemen unterschieden. Weiters ist zu bedenken, dass diese

Gewichtsschwankungen anderer Genese sein können, wie z.B. Änderungen des Ess- und Trinkverhaltens.

Eine weitere Methode ist die Impedanzmessung. Diese Art der Erkennung von Ödemen basiert auf der unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeit der verschiedenen Gewebearten (wie z.B. Fett, Muskel, Luft oder Wasser). Dieses Verfahren wird in der Medizin meist eingesetzt um den Körperfettanteil zu bestimmen, kann aber auch zur Berechnung von pathologischen Flüssigkeitsansammlungen wie bei Ödemen (in z.B. der Lunge oder den Beinen) genutzt werden. In einem Patent (14) wird ein Verfahren zur Messung der Impedanz mittels implantierter Geräte beschrieben. In (15) wird dieses Patent erweitert, so dass es an einen implantierten Herzschrittmacher angebracht werden kann um somit den Grad des Lungenödems zu bestimmen. Ein entscheidender Nachteil ist, dass dieses Gerät implantiert werden muss. 2013 wurde eine Studie veröffentlicht bei der eine Weste zur transthorakalen spektroskopischen Bioimpedanzmessung an acht HI Patienten getestet wurde (16). Allerdings sind hier noch genauere Daten ausständig.

Durch die Ansammlung der Flüssigkeit in den Beinen werden Volumen und Form der Beine verändert. Diese Anschwellung kann auf verschiedene Arten erfasst werden. Eine gängige Methode ist in diesem Zusammenhang das Vermessen der Beine mit einem Maßband an verschiedenen Stellen. Diese Art der Messung muss immer an den gleichen Punkten durchgeführt werden und ist abhängig von der Art der Messung. Besonders durch Druck an dem ödematösen Bein kann die Genauigkeit der Messung leiden, wie auch durch nicht exakte Messung an der gleichen Stelle (z.B.: einmal mit der Unterkante des Maßbandes und einmal mit der Oberkante des Maßbandes an der Markierung) (17, 18).

Eine weitere gängige Möglichkeit der Ödembestimmung ist die Messung des Beinvolumens mittels Wasserverdrängung. Dazu wird ein Behälter bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Nachdem der Patient mit dem Bein in den Behälter gestiegen ist, wird das verdrängte Wasser gemessen, welches dem Beinvolumen entspricht. Nachteil der Methode ist die schwierige Handhabbarkeit, da hierfür ein großer Behälter, temperiertes Wasser, ein Auffangbehälter, eine Messeinrichtung für das verdrängte Wasser etc. nötig sind. Fehlerquellen sind von Rabe et. al beschrieben (19).

1.4 3D-MESSMETHODEN

In der Medizin gibt es bereits viele verschiedene Arten zur dreidimensionalen Bildgebung, wie beispielsweise CT, MR oder das Erfassen einer postoperativen Gesichtsschwellung mittels 3D-Laserscanning (20). Nachteil dieser Ansätze ist, dass sie hohe Anschaffungs- wie auch Instandhaltungskosten verursachen. Daher sind zum Erfassen von Volumenänderungen kostengünstigere Untersuchungsgeräte gefragt.

In (21) wurden die durch Lymphabflussstörungen bedingten Extremitätenschwellungen mit Hilfe von drei Webcams erfasst. Doch dieses System besteht aus einem Halbkreis von mehr als zwei Metern Durchmesser und ist somit zum Einsatz im Home-Monitoring nicht geeignet.

Die 3D-Kamera Kinect® von Microsoft® ist kostengünstig und klein. Auch sie wurde bereits in medizinischen Studien eingesetzt, wie z.B. zur Ganganalyse oder während einer OP, um medizinische Bilder auf einem PC mit Gesten zu steuern (22, 23). Sogar ein 3D-Ganzkörperscan ist durch das Zusammenschalten mehrerer Kinect® möglich (24).

1.5 3D-KAMERA KINECT

Die 3D Kamera Kinect® wurde von Microsoft® zusammen mit der Firma PrimeSense entwickelt und im Juni 2009 erstmals vorgestellt. Seit 2010 ist diese Kamera am öffentlichen Markt zu erwerben. Sie besteht aus zwei Arten von Kameras, mit denen sie jeweils 30 Bilder pro Sekunde aufnehmen kann. Die 2D-Kamera macht Farbaufnahmen mit einer Auflösung von 640x480. Diese kann auf 1280x1024 Pixel erhöht werden, macht allerdings dann nur mehr 10 Bilder pro Sekunde (25). Die Tiefenkamera besteht aus einem Infrarot-Projektor und einer Infrarot-Kamera (26), mit deren Hilfe 3D-Oberflächen-Bilder mit einer Auflösung von 1200x960 Pixel erreicht werden. Allerdings kann die USB-Schnittstelle nicht die Datenmenge für die maximale Auflösung übertragen (27, 28).

Ursprünglich wurde die Kamera für die Spielkonsole X-Box 360 (Microsoft®) entwickelt. Ein entscheidender Vorteil der Kinect®-Kamera ist, dass es frei verfügbare Entwicklerwerkzeuge für die Programmierung gibt, wodurch es möglich ist, diese für unsere Zwecke zu nutzen (29).

2 MATERIAL UND METHODEN

Um die Veränderungen der HI-Zeichen zu erfassen wurde eine Studie an Patienten mit entgleister HI während ihrer stationären Rekompensationstherapie durchgeführt.

Die Studie fand am LKH-Univ.-Klinikum Graz statt und dauerte sechs Monate.

2.1 STUDIENDESIGN

Es handelt sich um eine prospektive, nicht randomisierte, mono-zentrische Pilotstudie bei Patienten mit Beinödemen (aufgrund einer Dekompensation des insuffizienten Herzens) während der stationären Rekompensationstherapie.

2.2 STUDIENZIEL

Ziel dieser Studie war die Evaluierung der Genauigkeit eines 3D-Messverfahrens zur Detektierung der Veränderungen von Beinödemen.

Als Referenzwerte wurde zum einen der Umfang des Unterschenkels und Fußes mittels Maßband an fünf definierten Stellen gemessen, zum anderen der Gewichtsverlauf dokumentiert.

2.2.1 OBJEKTIVE BEWERTUNGSPARAMETER

Korrelation zwischen :

- der berechneten Spannhöhe der 3D-Bilder und dem Gold-Standard aus den Referenzmessungen (Mittelwert der fünf Umfänge) mittels Maßband.
- der berechneten Spannhöhe der 3D-Bilder und dem Gewichtsverlauf.
- der Krümmung der Wadeninnenseite laut 3D-Bilder und Referenzmessung mittels Maßband.
- der Krümmung der Wadeninnenseite laut 3D-Bilder und dem Gewichtsverlauf.
- Weitere alternative geometrische Parameter laut 3D-Bilder und Gold-Standard

2.3 PATIENTENAUSWAHL

2.3.1 EINSCHLUSSKRITERIEN

- Stationärer Aufenthalt wegen dekompensierter HI mit Beinödemen
- Patient ist älter als 18 Jahre
- Patient kann frei stehen
- Patient ist mit der Messung einverstanden
- Schriftlich gegebene Einverständniserklärung

Untersucht wurden die Patienten auf Ödeme am Fußrücken und vor dem Schienbein durch Druck auf die jeweilige Stelle (siehe Abbildung 1). Wenn die Druckstelle nach Entfernen des Daumens ersichtlich blieb wurde der Patient um das Mitwirken in der Studie gebeten.



Abbildung 1: Beinödem

Fingerabdruck an einem Unterschenkel als Zeichen einer ödematösen Schwellung.

2.3.2 AUSSCHLUSSKRITERIEN

- Beinödeme anderer Genese
- Dialysehunt an einer der beiden oberen Extremitäten
- schlechter Allgemeinzustand

2.4 DURCHFÜHRUNG

Im Zeitraum von Anfang Oktober 2012 bis Ende März 2013 wurden täglich die Patienten des Vortages der EBA (Erstversorgung, Beobachtung, Aufnahme) auf kardiale Dekompensation gescreent. Die am LKH-Univ.-Klinikum Graz aufgenommenen Patienten wurden auf den Stationen für Innere Medizin aufgesucht. Dort wurde die jeweilige Fieberkurve eingesehen, der behandelnde Arzt und die behandelnde Schwester wurden über die Studie aufgeklärt und nach Gesundheitszustand und Studientauglichkeit des Patienten befragt. Darauf wurde der Patient selbst in Hinblick auf die Einschlusskriterien untersucht, aufgeklärt und um seine Einwilligung gebeten.

Bei Einwilligung und Erfüllen der Einschlusskriterien (siehe 2.3.1) wurden die Anamnesedaten inkl. einer Patienten-ID in Papierform aufgenommen und die Untersuchung des Patienten am selben Tag begonnen. Messungen wurden bevorzugt zwischen 14:00 und 17:00 Uhr durchgeführt, um möglichst geringe Überschneidungen mit dem Klinikprogramm zu gewährleisten (Untersuchungen, Essen, Therapie, Aufklärung, Blutabnahmen...). Es wurde darauf geachtet, dass die Untersuchungen der jeweiligen Studienteilnehmer immer zur gleichen Zeit stattfanden um die tageszeitliche Ödem-Schwankung zu minimieren.

2.5 ABLAUF DER UNTERSUCHUNG

Die Patienten wurden täglich zwischen 14 und 17 Uhr untersucht. Auf Grund der Morbidität und zur Sturzprophylaxe wurden die Patienten mit einem Rollstuhl von deren Zimmern abgeholt und in das Studienzimmer gebracht, in welchem gegebenenfalls die Beinbandagen entfernt wurden. An Fuß und Unterschenkel wurden Markierungen für die 3D-Messung wie auch für die Messungen der Umfänge als Referenz (siehe Tabelle 4), mit einem Stift eingezeichnet bzw. bei Bedarf nachgezeichnet.

Blutdruck und Puls wurden mit dem Gerät UA 767 von A&D (siehe Abbildung 5) gemessen und im Studienprotokoll eingetragen.

Danach stellte sich der Patient auf die Studienwaage (an der die 3D-Kamera fixiert ist). Das gemessene Gewicht wurde ebenfalls im Studienprotokoll eingetragen und diente als weitere Referenz.

Tabelle 4: Referenzpunkte

Referenzpunkt	Beschreibung
A	Äußerster Punkt des Innenknöchels
B	1 cm oberhalb von Referenzpunkt A entlang einer Linie von A zur Patellaspitze
C	9 cm oberhalb von Referenzpunkt A entlang einer Linie von A zur Patellaspitze
D	17 cm oberhalb von Referenzpunkt A entlang einer Linie von A zur Patellaspitze
E	Äußerster Punkt des Außenknöchels
F	An der Ferse, unterhalb von E, 1.5 cm oberhalb der Standfläche
G	Capitulum des äußersten Metatarsal-Knochens, 1.5 cm oberhalb der Standfläche
H	Große Zehe, 1.5 cm oberhalb der Standfläche
I	Zentrum des Mittelfußes am Kreuzungspunkt zwischen den Linien von Referenzpunkt E zu Referenzpunkt H und Referenzpunkt A zu Referenzpunkt G
J	Halbe Strecke zwischen Punkt I und G (nachträglich errechnet)
K	Halbe Strecke zwischen Punkt B und C (nachträglich errechnet)

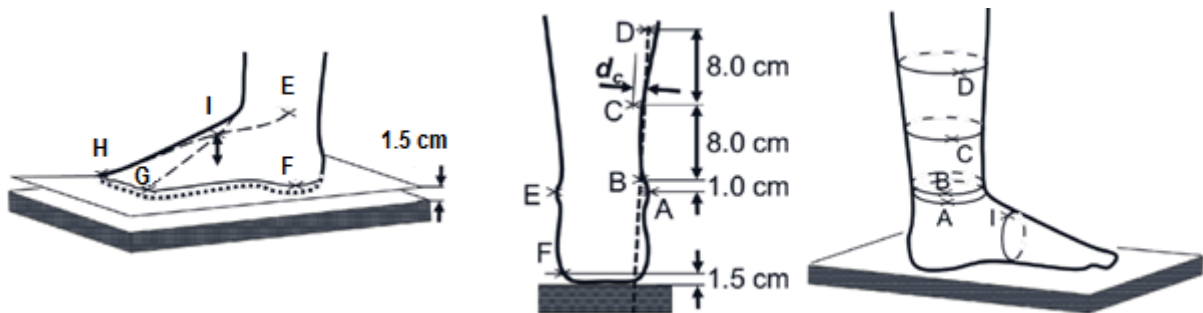


Abbildung 2: Referenzpunkte

links (Sicht von lateral auf den linken Fuß); Mitte (Sicht von dorsal auf den rechten Fuß): Definition der Referenzpunkte A bis I; Rechts (Übersicht aller gemessenen Umfänge) Golden-Standard-Bestimmung durch Umfangmessung in vier horizontalen Ebenen (durch A, B, C und D) und einer frontalen Ebene (durch I).

2.5.1 3D-MESSUNG

Nach der Gewichtsmessung fand die semiautomatische 3D-Fotomessung statt. Dazu blieb der Patient kurz auf der Waage stehen während der Untersucher am Passwort-geschützten Computer den Tiefenfilter der 3D-Kamera für einen Bereich von 50 cm bis 130 cm einstellte. Diese Distanz entsprach dem Entfernungsbereich des Patienten zur Kamera. Danach wurde die 3D-Ansicht kalibriert. Es wurde sowohl ein 2D als auch ein 3D Bild von den unteren Extremitäten des Studienpatienten aufgezeichnet und am Computer gespeichert. Es war darauf zu achten, dass die Markierungen A bis I auf dem 2D-Bild zu erkennen sind (siehe Abbildung 3).

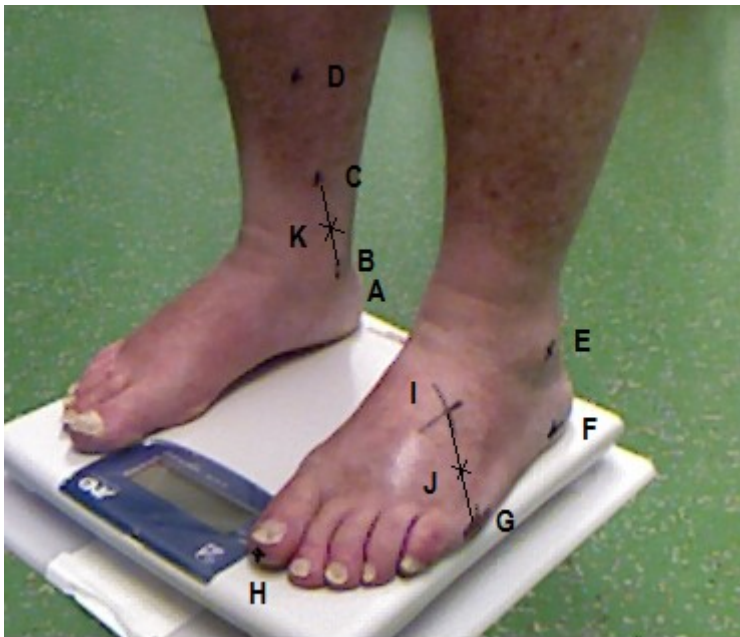


Abbildung 3: Foto aus Sicht der 3D-Kamera mit Beschriftung und Einzeichnung der nachträglich berechneten Punkte K und J.

Referenzpunkt A - D wurden am rechten Unterschenkel eingezeichnet. Sie dienen sowohl der Umfangmessung als auch der Berechnung der Unterschenkelkurvatur.

Referenzpunkt A: wurde als Orientierungspunkt gewählt, da er sowohl bei adipösen Personen wie auch bei massiven Beinödemen tastbar ist. Er dient als Messhöhe des untersten horizontalen Umfangs.

Referenzpunkte B, C und D: liegen 1, 9 und 17cm oberhalb von Referenzpunkt A entlang einer Line von A zur Spitze der Patella (da auch diese gut tastbar ist).

Referenzpunkte E - I wurden am linken Fuß eingezeichnet.

Referenzpunkt E: markiert den Malleolus lateralis und dient zur Zeichnung des Punktes I und wird bei der 3D-Messung nicht weiter benötigt.

Die Punkte F, G und H sind 1,5 cm oberhalb der Waagenoberfläche markiert worden. Aus ihnen wird bei der 3D-Messung eine Fläche errechnet. Sie dient der Ausgleicheung der physiologischen In- und Eversion des Fußes, da sich diese Ebene mit der Neigung des Fußes mit bewegt.

Der Referenzpunkt I dient der Messung der Spannhöhe wie auch des frontalen Umfangs.

Die Punkte J und K sind nachträglich errechnete Punkte (siehe Abbildung 7).

Referenzpunkt J dient der Berechnung der Spannhöhe 3 und ergibt sich aus Halbierung der Strecke von Punkt I zu Punkt G.

Der Referenzpunkt K wurde berechnet durch Halbierung der Strecke von B zu C und dient der Berechnung einer weiteren Unterschenkelkurvatur.

2.5.2 UMFANGMESSUNG

Zur Messung der Umfänge setzte sich der Studienpatient wieder in den Rollstuhl. Mit einem Maßband wurden vier horizontalen Umfänge am rechten Unterschenkels anhand der Referenzpunkte A - D gemessen. Am linken Fuß wurde ein frontaler Umfang anhand des Referenzpunktes I um den Mittelfuß gemessen (siehe Abbildung 2).

Es war darauf zu achten, dass die Messungen immer ohne Druck durchgeführt wurden um ein Einschnüren der ödematösen Beine und somit ein Verfälschen der Ergebnisse zu vermeiden.

Die Messwerte wurden im Studienprotokoll (siehe Abbildung 17) eingetragen und im Studienordner abgelegt.

2.6 STUDIENMATERIAL

Zur Archivierung der Daten wurde ein herkömmlicher Computer mit dem Betriebssystem Windows XP® verwendet. Der PC wurde durch ein Passwort geschützt und hatte keinen Zugang zum Internet. Auf dem Computer war das Programm für die 3D-Kamera Kinect® (siehe Abbildung 6) installiert.

2.6.1 KÖRPERWAAGE

Zur Erfassung des Körpergewichts wurde die Personenwaage UC-321 PBT von A&D eingesetzt (CE-Kennzeichen, kein Medizinprodukt).

Symbolbild

Hersteller: A&D

Modell: UC-321PBT



Abbildung 4: Körperwaage (30)

2.6.2 BLUTDRUCKMESSGERÄT FIRMA A&D

Zur Blutdruckmessung wurde das als Medizinprodukt zertifizierte Gerät UA 767 von A&D verwendet.



Abbildung 5: Blutdruckmessgerät

2.6.3 3D-KAMERA

Zur Erfassung von dreidimensionalen Daten wurde eine Kinect® Sensoreinheit der Firma Microsoft® verwendet (CE-Kennzeichen, kein Medizinprodukt).



Abbildung 6: 3D-Kamera Kinect® (31)

Auflistung der weiteren Materialien:

- Monitor
- Maus
- Tastatur
- Software
- Studienzimmer
- 1,5 cm Abstandhalter
- Maßband
- Studienordner
- Marker

2.7 UNTERSUCHUNGSENDE

Die Patienten erreichten das Studienende nach max. 10 Untersuchungen bzw. bei Entlassung des Patienten aus dem Krankenhaus.

2.7.1 VORZEITIGES AUSSCHEIDEN VON PATIENTEN AUS DER STUDIE

Unter folgenden Bedingungen schied ein Patient vorzeitig aus der Studie aus:

- Wenn der Patient die Erfordernisse der Studie nicht mehr erfüllte.
- Verschlechterung des AZ
- Abbruch durch den Patienten
- Abbruch durch den Studienarzt
- Versterben des Patienten

3 AUSWERTUNG DER MESSDATEN

3.1 BERECHNUNG DER HÖHE DES FUßSPANNNS

Die Spannhöhe wurde auf drei Arten gemessen (siehe Abbildung 7) woraus folgende Parameter berechnet wurden.

- Spannhöhe 1: Distanz Waage zu Punkt I
- Spannhöhe 2: Distanz Ebene FGH zu Punkt I
- Spannhöhe 3: Distanz Waage zu Punkt J
- mittlere Spannhöhe: Mittelwert aus den Spannhöhen 1-3.

Die "Spannhöhe 1" wurde berechnet, indem eine Normale zur Waage gesetzt wurde, welche durch den Referenzpunkt I ging. Die Distanz von der Oberfläche der Waage zum Referenzpunkt I entspricht der "Spannhöhe 1" (siehe Abbildung 7).

Aus den Referenzpunkten F, G und H (welche 1,5 cm über der Standfläche liegen) wurde eine Ebene berechnet. Auf diese Ebene wurde ebenfalls eine Normale gesetzt, welche durch den Referenzpunkt I ging. Die Distanz von der errechneten Ebene zum Referenzpunkt I ergab die "Spannhöhe 2" (siehe Abbildung 7).

Eine weitere Spannhöhe "Spannhöhe 3" wurde berechnet, indem eine Normale von der Waage durch den, im Nachhinein berechneten Punkt J gelegt wurde (siehe Abbildung 7).

Die "mittlere Spannhöhe" ist ein Mittelwert der drei gemessenen Spannhöhen.

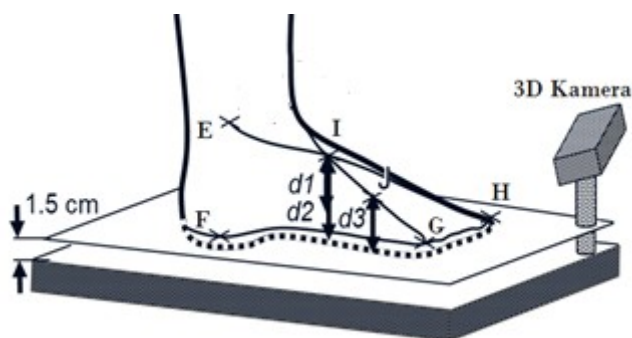


Abbildung 7: Grafische Darstellung der Spannhöhen 1-3
Schematische Darstellung des rechten Fußes mit der berechneten Ebene, 1,5 cm über der Waage.

3.2 BERECHNUNG DER UNTERSCHENKELKRÜMMUNG

Die Unterschenkelkrümmung wurde auf zwei Arten gemessen (siehe Abbildung 9) woraus folgende Parameter berechnet wurden.

- Krümmung 1: aus den Punkten B,C und D
- Krümmung 2: aus den Punkten A,B und K

Aus den dreidimensionalen Koordinaten der Punkte B, C und D wurde die Krümmung 1 der Unterschenkelinnenseite des rechten Beines berechnet.

Berechnet wurde die Krümmung, indem der Bogen, aus den Koordinaten B, C und D, zu der Geraden von B zu D gelegt wurde. Die Krümmung wurde approximiert durch die Distanz der Geraden zu Punkt C (siehe Abbildung 8). Die nach ventral konvexe Krümmung sollte bei Abnahme der Ödeme abflachen oder sogar konkav werden.

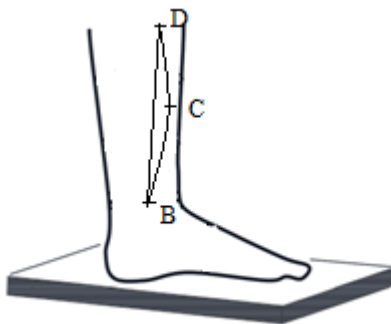


Abbildung 8: Krümmung 1

Schematische Darstellung der Unterschenkelkrümmung anhand der Punkte B-D.

Aus den dreidimensionalen Koordinaten der Punkte B, C und K wurde die Krümmung 2 der Unterschenkelinnenseite des rechten Beines berechnet. Die Krümmung wurde approximiert durch die Distanz der Gerade BC zu dem Punkt K. (siehe Abbildung 9)

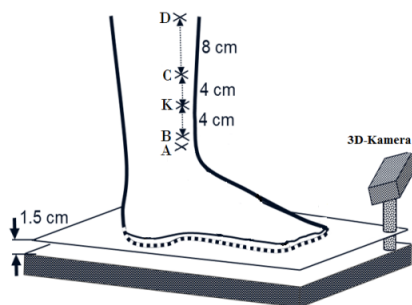


Abbildung 9: Referenzpunkte für die Berechnung der Unterschenkelkrümmungen

3.3 REFERENZMESSUNGEN

Zur Ermittlung der Genauigkeit der 3D-Kamera wurden die aus den Bildern gewonnenen Daten mit den Referenzwerten in Korrelation gesetzt.

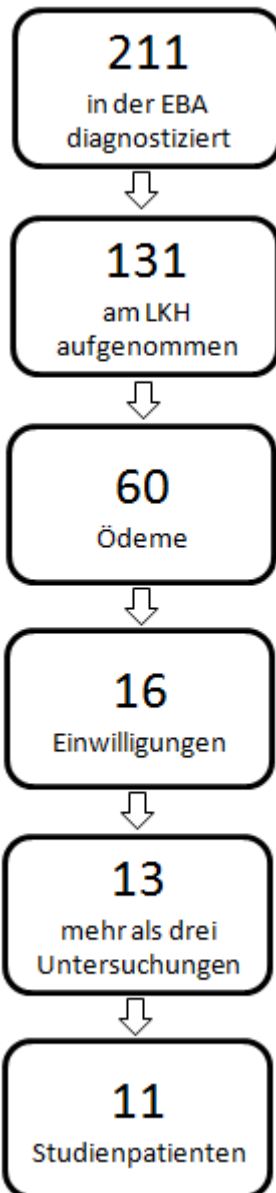
Vier verschiedene Referenzgrößen wurden zur Bewertung der untersuchten Messmethoden eingesetzt.

Die Referenzwerte sind die Körpergewichtsänderung und die mittlere Änderung aller fünf Umfänge der jeweiligen Patienten, wie auch der Durchschnitt beider Referenzen gemeinsam, welcher als "RefMean" bezeichnet wurde. Weiters wurde die Änderung des Umfangs I gesondert als Referenzwert verwendet um eine Korrelation der Spannhöhe zu dem Spannumfang zu berechnen und somit einen direkten Vergleich zwischen den Messsystemen Maßband und 3D- Kamera an derselben Stelle zu erhalten.

Um die Aussagekraft der Korrelationen (3D-Bild zu den Referenzwerten) zu ermitteln, wurden auch die beiden Referenzwerte bzw. Gold-Standards ("Gewicht" und "Umfänge") zueinander in Korrelation gesetzt.

4 ERGEBNISSE

Im Zeitraum zwischen Oktober 2012 und März 2013 wurden 211 kardial dekompenzierte Patienten in der EBA vorstellig.



Von diesen 211 Patienten wurden 22 wieder direkt nach Hause entlassen. Weitere 58 Patienten wurden an ein anderes Spital überwiesen.

131 Patienten wurden am LKH-Univ.-Klinikum Graz aufgenommen. Davon hatten 71 Patienten keine oder minimale Ödeme an den unteren Extremitäten.

Von den übrigen 60 Patienten waren 20 auf der ICU bzw. in einem zu schlechten AZ. 6 Personen haben nicht in die Studie eingewilligt und 18 Patienten konnten aus diversen anderen Gründen nicht teilnehmen (Dialyseshunt, Exitus letalis, Isolierung...).

16 Patienten haben in die Studie eingewilligt. Allerdings brachen drei die Studie nach einer Messung ab.

Eine 95-jährige Dame aufgrund von Rückenschmerzen während der Messung und zwei Herren wegen Verlegung in ein anderes Spital.

Zwei weitere Patienten konnten während der Untersuchung nicht frei stehen, daher konnte keine Gewichtsmessung mit der Studienwaage durchgeführt werden, sondern es musste mit einer Sitzwaage gewogen werden. Weiters wurde durch das Untersuchen der Patienten im Sitzen, der Fuß zu gering und somit ungleich belastet wodurch die Messung der Spannhöhe ungenau wurde.

Daher mussten diese Patienten aus der Studie ausgeschlossen werden.

Die 11 ausgewerteten Studienpatienten (7m/4w) waren zwischen 37 und 89 Jahre alt mit einem Mittelwert von 73 Jahren und einer STABW von 15 Jahren bzw. einem medianen Alter von 77 Jahren.

Anhand dieser elf Patienten wurden 59 Untersuchungen durchgeführt (Mittelwert \pm STABW = $5,4 \pm 1,9$). Die Studienteilnehmer verloren währen des Zeitraums der ersten und letzten Untersuchung zwischen 1,1 und 13,6 kg Körpergewicht mit einer Ausnahme welche 0,1 kg Zunahm (Pat. Nr. 5). Im Durchschnitt betrug in dieser Zeit der Gewichtsverlust 3,8 kg mit einer STABW von 4 kg bzw. einem Median von 2 kg (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Überblick der 11 Studienpatienten

Code	Alter [y]	Gewichtsänderung [kg]	Geschlecht	Anzahl Untersuchungen
1	76	1,6	w	6
2	37	3,3	m	6
3	83	1,6	w	4
4	77	1,1	m	4
5	85	+0,1	w	4
6	89	3	w	4
7	59	6,8	m	6
8	84	7,4	m	7
9	78	1,1	m	4
10	71	13,6	m	10
11	67	2,3	m	4
Mittelw.	73	3,8	7m/4w	5,4
STABW	15	4		1,9

Der Durchschnitt der Korrelation aller 11 Patienten zwischen den beiden Referenzwerten (Goldstandards), also zwischen dem Körpergewicht einerseits und dem Mittelwert der fünf Umfänge andererseits, betrug $r=0,80$.

Um zu sehen, ob die beiden obersten Umfänge (Umfang C und D) größere Änderungen erfahren und somit die Gewichtsänderungen deutlicher widerspiegeln, wurde die Korrelation für diese Werte gesondert berechnet (Gewicht zu Umfang C+D $r=0,81$).

Im nachfolgenden Text wird zuerst ein Überblick über die drei Spannhöhen und deren Korrelationen zu den Referenzwerten gezeigt wie auch eine Tabelle mit den Korrelationen der Spannhöhen zu den Referenzen pro Studienpatient (also nicht die mittlere Korrelation aller Patienten, wie in Tabelle 6). Danach wird auf die einzelnen Spannhöhen eingegangen und deren Korrelation zu den einzelnen Referenzwerten.

Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der Korrelation Krümmung zu den Referenzmessungen beschrieben.

4.1 SPANNHÖHE

Tabelle 6 zeigt einen Überblick der Korrelationen zwischen den Änderungen der Spannhöhen (verglichen zu dem Mittelwert jedes Patienten) zu den Änderungen der Referenzwerten (verglichen zu dem Mittelwert jedes Patienten). In dieser Tabelle wurden alle Messdaten der jeweiligen Spannhöhe zu den Messdaten aller Patienten der jeweiligen Referenzmessung in Korrelation gesetzt.

Tabelle 6: Vergleich der Korrelationen Spannhöhe 1-3 zu den Referenzwerten

	Umfang I	Umfänge	Gewicht	RefMean	Durchschnitt
Spannhöhe 1	0,67	0,54	0,52	0,55	0,57
Spannhöhe 2	0,59	0,61	0,54	0,58	0,58
Spannhöhe 3	0,68	0,59	0,61	0,63	0,63
mittlere Spannhöhe	0,70	0,63	0,60	0,64	0,64
Durchschnitt	0,66	0,59	0,57	0,60	0,61

"Umfang I" ist die mittlere Änderung des Umfangs I (Spannumfang) aller Patienten.

"Umfänge" ist die mittlere Änderung der fünf Umfänge aller Patienten.

"Gewicht" ist die mittlere Änderung des Gewichtes aller Patienten.

"RefMean" ist der Mittelwert der beiden Referenzen Gewicht und Umfänge aller Patienten.

Der "Durchschnitt" ist ein Mittelwert der entsprechenden Spalten bzw. Zeilen.

Die stärkste mittlere Korrelation wurde zwischen "mittlerer Spannhöhe" und "Umfang I" (mit $r = 0,70$) als Referenz erzielt.

Im Durchschnitt korrelierten die mittels 3D-Kamera gemessenen Spannhöhen zu den Referenzwerten mit $r = 0,61$.

Die "mittlere Spannhöhe" korrelierte zu den vier Referenzmessungen im Durchschnitt mit $r = 0,64$ am stärksten.

Der Referenzwert mit der durchschnittlich stärksten Korrelation zur Spannhöhe wurde bei "Umfang I" gefunden.

In Tabelle 7 konnte bei Patient 4 der Messpunkt H auf den Fotos nicht erkannt und somit die Spannhöhe 2 nicht berechnet werden. Die dadurch nicht zu berechnenden Korrelationen wurden mit "x" gekennzeichnet.

In dieser Tabelle wurden die Korrelationen der mittleren Änderungen der Spannhöhen zu den mittleren Änderungen der Referenzwerte der einzelnen Studienpatienten berechnet und dann der Mittelwert der 11 Studienpatienten berechnet. Somit ist dies ein Mittelwert der Korrelationen wohingegen in Tabelle 6 der Mittelwert der jeweiligen Spannhöhe aller Studienpatienten mit dem Mittelwert der jeweiligen Referenzmessung aller Studienpatienten in Korrelation gesetzt wurde.

Daher ist der Mittelwert von Tabelle 7 nicht mit den Werten aus Tabelle 6 ident.

Tabelle 7: Korrelation Spannhöhen zu Referenzen, der einzelnen Patienten

Korrelation	Pat1	Pat2	Pat3	Pat4	Pat6	Pat8	Pat9	Pat10	Pat12	Pat13	Pat14	Mittelwert
Geschlecht	w	m	w	m	w	w	m	m	m	m	m	7m/4w
Alter [y]	76	37	83	77	85	89	59	84	78	71	67	73,27
Gewichtsänderungen [kg]	1,6	3,3	1,6	1,1	0,1	3	6,8	7,4	1,1	13,6	2,3	3,81
Untersuchungen	6	6	4	4	4	4	6	7	4	10	4	5,36
Spannhöhe 1 zu Umfang I	0,78	0,9	0,52	0,66	-0,53	0,95	0,78	0,86	0,19	0,94	0,85	0,63
Spannhöhe 1 zu Umfänge	0,87	0,71	0,99	-0,25	0,69	0,94	0,04	0,24	-0,76	0,91	-0,16	0,38
Spannhöhe 1 zu Gewicht	0,78	0,81	0,68	-0,5	-0,36	0,8	0,52	0,94	0,38	0,91	-0,82	0,38
Spannhöhe 1 zu RefMean	0,87	0,78	0,86	-0,46	0,1	0,88	0,44	0,91	0,21	0,91	-0,77	0,43
Spannhöhe 2 zu Umfang I	0,66	0,83	0,43	x	0,08	-0,01	0,73	0,53	0,27	0,85	0,79	0,52
Spannhöhe 2 zu Umfänge	0,8	0,58	0,87	x	0,9	0,13	0,34	0,26	-0,81	0,93	-0,08	0,39
Spannhöhe 2 zu Gewicht	0,6	0,71	0,92	x	0,21	0,31	0,69	0,66	0,31	0,93	-0,87	0,45
Spannhöhe 2 zu RefMean	0,74	0,67	0,97	x	0,68	0,22	0,64	0,66	0,13	0,93	-0,8	0,48
Spannhöhe 3 zu Umfang I	0,78	0,94	0,59	0,13	-0,06	0,88	-0,04	0,64	0,18	0,9	0,93	0,53
Spannhöhe 3 zu Umfänge	0,49	0,72	0,94	-0,03	0,2	0,84	0,53	-0,3	-0,69	0,9	0,83	0,40
Spannhöhe 3 zu Gewicht	0,71	0,8	0,86	-0,57	0,01	0,93	0,48	0,32	0,32	0,89	0,64	0,49
Spannhöhe 3 zu RefMean	0,63	0,78	0,91	-0,4	0,11	0,94	0,5	0,26	0,24	0,9	0,7	0,51
Spannhöhe 1-3 zu Umfang I	0,78	0,88	0,65	0,51	-0,01	0,73	0,58	0,88	0,33	0,91	0,87	0,65
Spannhöhe 1-3 zu Umfänge	0,84	0,66	0,91	0,14	0,33	0,96	0,36	0,12	-0,64	0,93	0,75	0,49
Spannhöhe 1-3 zu Gewicht	0,74	0,77	0,92	-0,36	-0,18	0,76	0,67	0,87	0,42	0,93	0,53	0,55
Spannhöhe 1-3 zu RefMean	0,83	0,73	0,94	-0,19	0,02	0,91	0,63	0,83	0,33	0,93	0,6	0,60
Mittelwert	0,74	0,77	0,81	-0,11	0,14	0,70	0,49	0,54	0,03	0,91	0,25	

4.1.1 SPANNHÖHE 1

Die Spannhöhe 1 wurde von der Waagenoberfläche zu dem Punkt I gemessen.

Die vier Grafiken in Abbildung 10 zeigen die Korrelationen der Spannhöhe 1 zu den Referenzmessungen. An der x-Achse wurde die Spannhöhenänderungen in cm dargestellt.

Die Änderungen der Spannhöhe jedes Patienten (während des Spitalsaufenthaltes) wurde in Bezug zu dem Durchschnitt aller 59 Parameter der Spannhöhe 1 berechnet, was dem Wert 0 auf der x-Achse entspricht.

Dasselbe wurde für die Referenzwerte gemacht, welche an der y-Achse verlaufen.

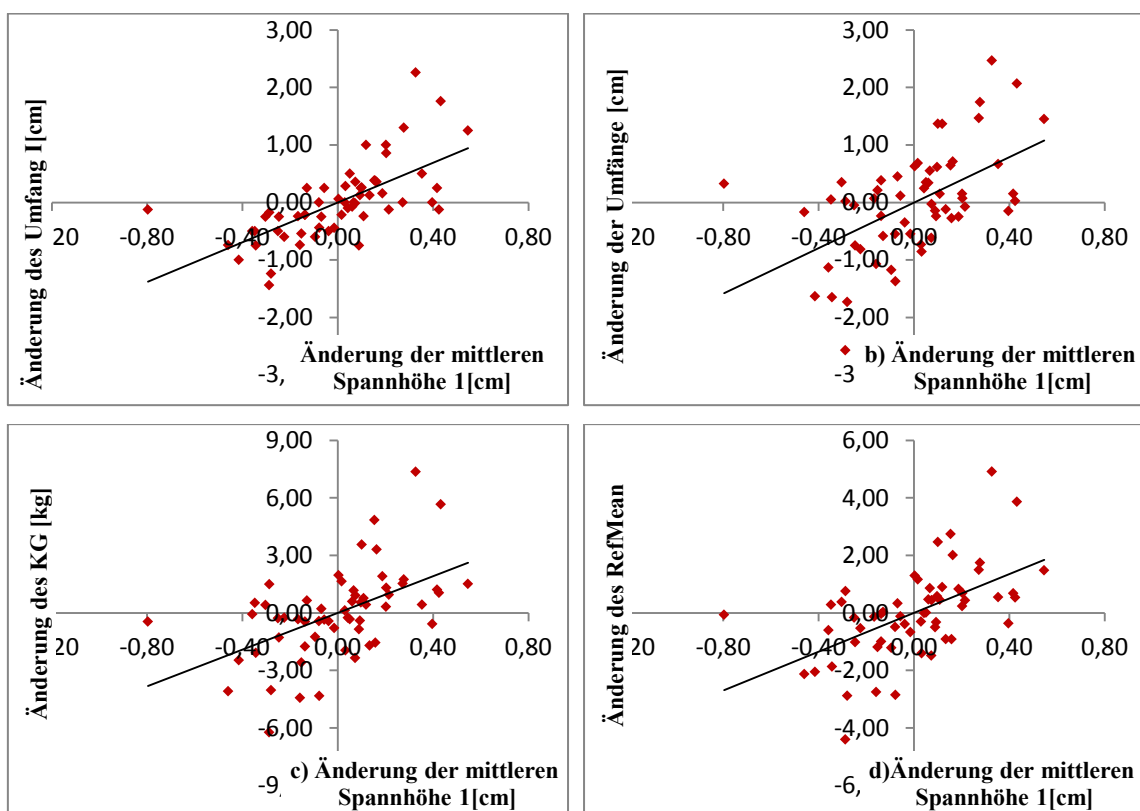


Abbildung 10: Punktdiagramm: Korrelation Spannhöhe 1 zu Referenzwerte

Die Werte in Abbildung 10 sind Änderungen bezogen auf den Mittelwert jedes Patienten: a) gibt die Korrelation zum Verlauf des Umfang I wieder ($r=0,67$). b) zeigt die Korrelation zu der Änderung des Mittelwerts der 5 Umfänge ($r=0,54$). c) Stellt die Korrelation zum Körpergewichtsverlauf dar ($r=0,52$). d) veranschaulicht die Korrelation zum Mittelwert der beiden Referenzwerte ($r=0,55$).

Die stärkste Korrelation der Spannhöhe 1 wurde zu Umfang I gefunden, mit $r = 0,67$ (siehe Tabelle 6).

4.1.2 SPANNHÖHE 2

Die Spannhöhe 2 wurde gemessen von Punkt I zu der Ebene aus den Punkten F,G und H. Die vier Grafiken in Abbildung 11 zeigen die Korrelationen der Spannhöhe 2 zu den Referenzmessungen. An der x-Achse wurde die Spannhöhenänderungen in cm dargestellt. Die Änderungen der Spannhöhe jedes Patienten (während des Spitalsaufenthaltes) wurde in Bezug zu dem Durchschnitt aller 59 Parameter der Spannhöhe 2 berechnet, was dem Wert 0 auf der x-Achse entspricht.

Dasselbe wurde für die Referenzwerte gemacht, welche an der y-Achse verlaufen.

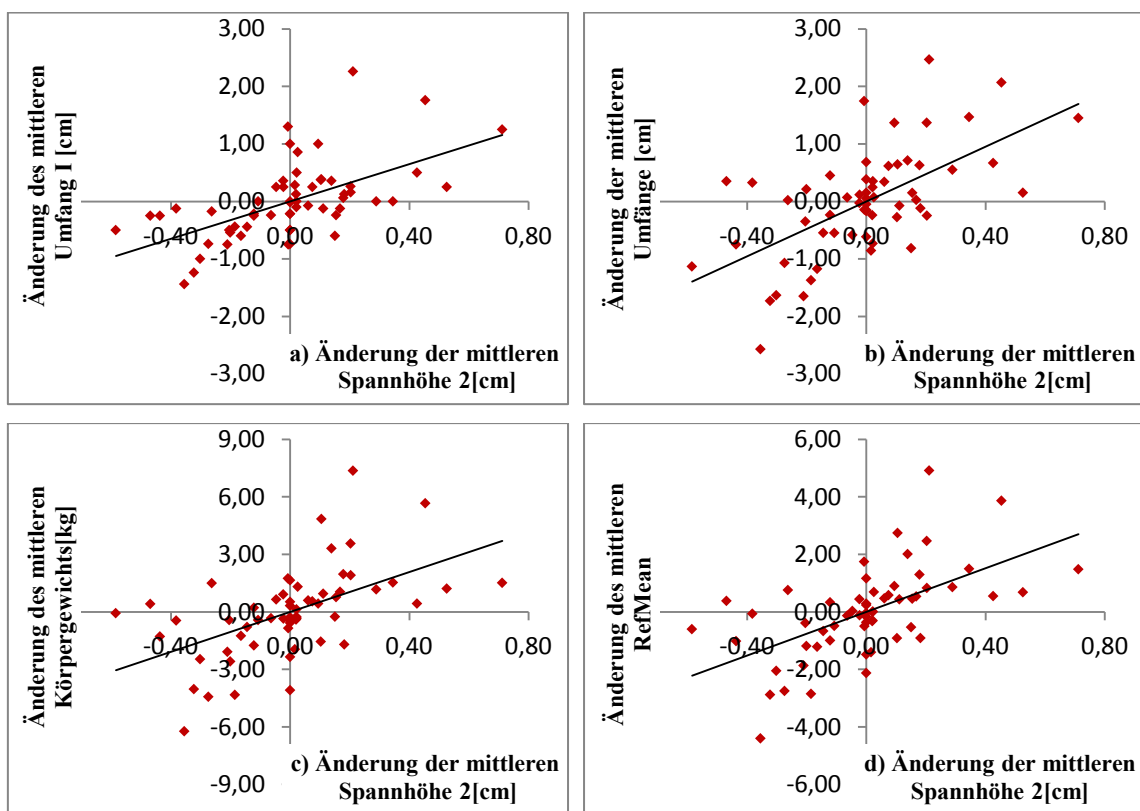


Abbildung 11: Punktdiagramm: Korrelation Spannhöhe 2 zu Referenzwerte

Die Werte in Abbildung 11 sind Änderungen bezogen auf den Mittelwert jedes Patienten: a) gibt die Korrelation zum Verlauf des Umfang I wieder ($r=0,59$). b) zeigt die Korrelation zu der Änderung des Mittelwerts der 5 Umfänge ($r=0,61$). c) Stellt die Korrelation zum Körpergewichtsverlauf dar ($r=0,54$). d) veranschaulicht die Korrelation zum Mittelwert der beiden Referenzwerte ($r=0,58$).

Die stärkste Korrelation der Spannhöhe 1 wurde zu Umfang I gefunden, mit $r = 0,67$ (siehe Tabelle 6).

Im Vergleich zu der Spannhöhe 1 ist der Durchschnitt der Korrelationen stärker außer zu "Umfang I".

4.1.3 SPANNHÖHE 3

Die Spannhöhe 3 wurde gemessen von der Waage zu Punkt J.

Die vier Grafiken in Abbildung 12 zeigen die Korrelationen der Spannhöhe 3 zu den Referenzmessungen. An der x-Achse wurde die Spannhöhenänderungen in cm dargestellt. Die Änderungen der Spannhöhe jedes Patienten (während des Spitalsaufenthaltes) wurde in Bezug zu dem Durchschnitt aller 59 Parameter der Spannhöhe 3 berechnet, was dem Wert 0 auf der x-Achse entspricht.

Dasselbe wurde für die Referenzwerte gemacht, welche an der y-Achse verlaufen.

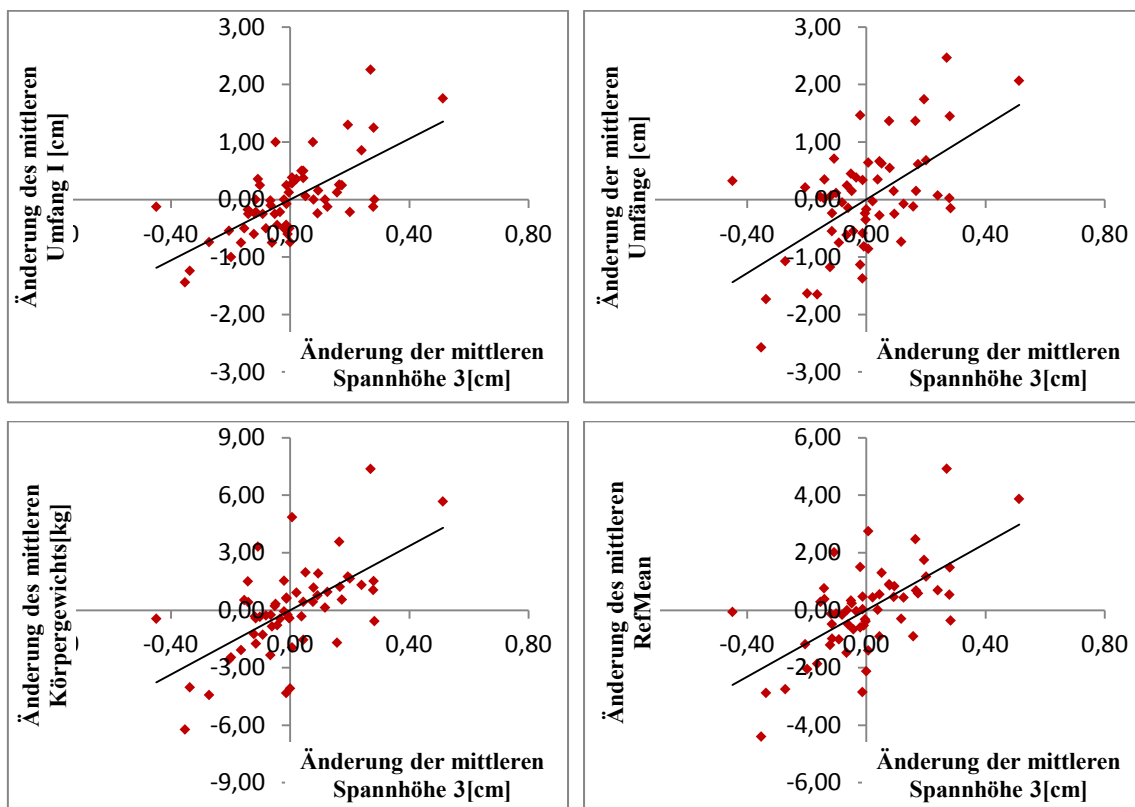


Abbildung 12: Punktdiagramm: Korrelation Spannhöhe 3 zu Referenzwerte

Die Werte in Abbildung 12 sind Änderungen bezogen auf den Mittelwert jedes Patienten: a) gibt die Korrelation zum Verlauf des Umfang I wieder ($r=0,68$). b) zeigt die Korrelation zu der Änderung des Mittelwerts der 5 Umfänge ($r=0,59$). c) Stellt die Korrelation zum Körpergewichtsverlauf dar ($r=0,61$). d) veranschaulicht die Korrelation zum Mittelwert der beiden Referenzwerte ($r=0,63$).

Die stärkste Korrelation der Spannhöhe 1 wurde zu Umfang I gefunden, mit $r = 0,67$ (siehe Tabelle 6)

4.1.4 MITTLERE SPANNHÖHE

Die "mittlere Spannhöhe" ist ein Mittelwert aus den drei Spannhöhen.

Die vier Grafiken in Abbildung 13 zeigen die Korrelationen der mittleren Spannhöhe zu den Referenzmessungen. An der x-Achse wurden die mittleren Spannhöhenänderungen in cm dargestellt.

Die Änderungen der Spannhöhe jedes Patienten (während des Spitalsaufenthaltes) wurde in Bezug zu dem Durchschnitt aller 59 Parameter der mittlere Spannhöhe berechnet, was dem Wert 0 auf der x-Achse entspricht.

Dasselbe wurde für die Referenzwerte gemacht, welche an der y-Achse verlaufen.

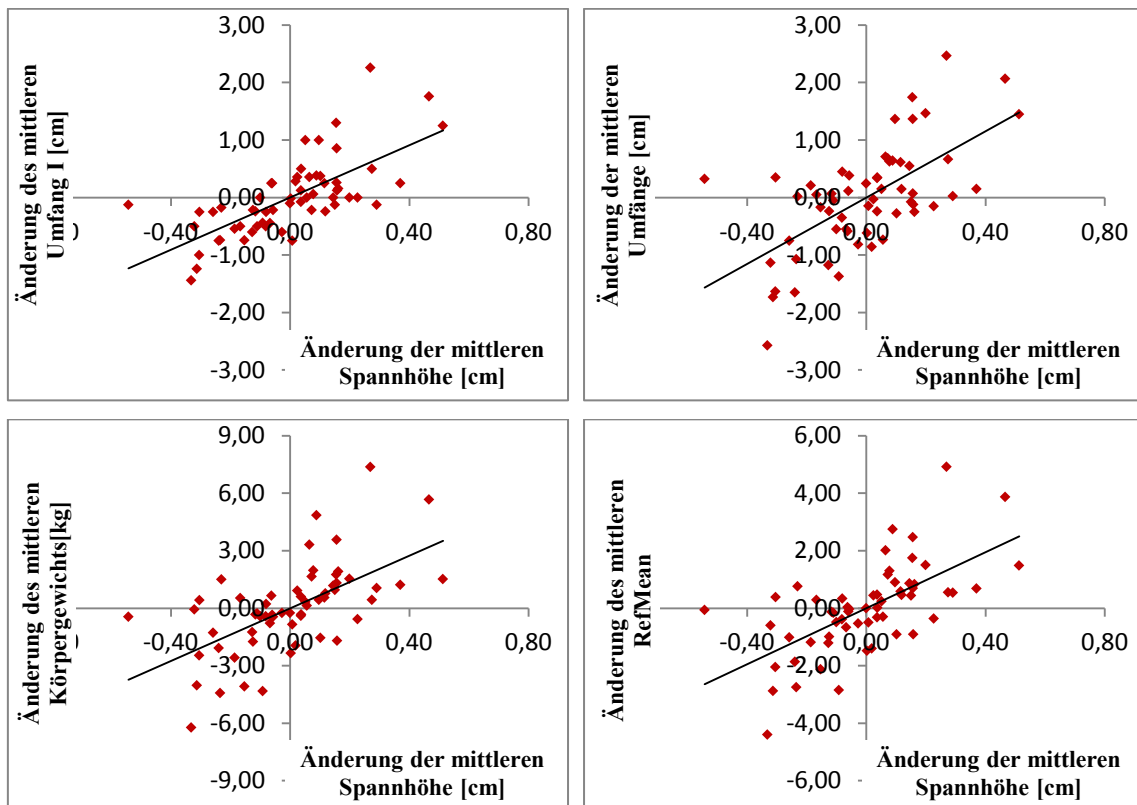


Abbildung 13: Punktdiagramm: Korrelation des Mittelwert der Spannhöhen1- 3 zu Referenzwerte

Die Werte in Abbildung 13 sind Änderungen bezogen auf den Mittelwert jedes Patienten: a) gibt die Korrelation zum Verlauf des Umfang I wieder ($r = 0,70$). b) zeigt die Korrelation zu der Änderung des Mittelwerts der 5 Umfänge ($r=0,63$). c) Stellt die Korrelation zum Körpergewichtsverlauf dar ($r=0,60$). d) veranschaulicht die Korrelation zum Mittelwert der beiden Referenzwerte ($r=0,64$).

Die stärkste Korrelation der mittleren Spannhöhe wurde zu Umfang I gefunden, mit $r = 0,70$ (siehe Tabelle 6). Die "mittlere Spannhöhe" korreliert von den Spannhöhen am stärksten zu den Referenzmessungen.

Tabelle 8 zeigt die Studienpatienten mit maximaler und minimaler Änderung der Spannhöhen und Referenzwerte im Vergleich zu den Durchschnittswerten der elf Studienpatienten.

Tabelle 8: Änderungen der Spannhöhen und Referenzwerte

	max	Patient	min	Patient	Durchschnitt
Differenz Umfang I [cm]	3,7	10	0,3	11	1,5
Differenz Umfänge [cm]	5,0	10	0,3	4	1,9
Differenz Körpergewicht [kg]	13,6	10	1,1	4	4,4
Differenz RefMean	9,3	10	0,7	4	3,1
Differenz Spannhöhe 1 [cm]	1,2	9	0,2	3	0,6
Differenz Spannhöhe 2 [cm]	1,2	2	0,0	4	0,5
Differenz Spannhöhe 3 [cm]	0,9	10	0,2	3	0,4

Die geringsten Änderungen fanden bei Patient 3,4 und 11 statt. Diese drei zählen zu den vier Studienpatienten mit der geringsten Gewichtsänderung und kürzesten Untersuchungsdauer.

Die größten Änderung fanden größtenteils bei Patient 10 statt welcher mit zehn Tagen die längste Untersuchungsdauer hatte. Die größte Umfangänderung wurde mit 9,5cm am Umfang D, ebenfalls bei dem Studienpatient 10 gemessen.

Die folgende Tabelle zeigt die Korrelationen zwischen den mittleren Änderungen der einzelnen Umfänge zu den mittleren Änderungen der Spannhöhen und zu der mittleren Änderung des Körpergewichtes.

Tabelle 9: Korrelation der einzelnen Umfänge zu Spannhöhe und Gewicht

	Spann 1	Spann2	Spann 3	Spann 1-3	Gewicht
Umfang I	0,67	0,59	0,68	0,7	0,74
Umfang A	0,38	0,32	0,32	0,37	0,41
Umfang B	0,37	0,35	0,34	0,39	0,53
Umfang C	0,44	0,59	0,55	0,57	0,74
Umfang D	0,45	0,6	0,54	0,58	0,79

Die Tabelle 9 zeigt, dass Umfang I am stärksten mit der Spannhöhe korreliert.

Die Umfänge am Unterschenkel (Umfang A-D) korrelieren umso stärker zu der Spannhöhe als auch zu dem Gewicht je weiter proximal die Messungen durchgeführt wurden. Umfang A und B hingegen korrelieren mit der Spannhöhe schwach.

Die folgende Tabelle zeigt die Korrelationen zwischen den mittleren Änderungen der einzelnen Umfänge zueinander. In der Spalte "Umfänge" wird die mittlere Änderung aus dem Durchschnitt aller fünf gemessenen Umfänge mit den Änderungen der einzelnen Umfänge in Korrelation gesetzt.

Tabelle 10: Korrelation der einzelnen Umfänge zueinander

	Umfang I	Umfang A	Umfang B	Umfang C	Umfang D	Umfänge
Umfang I	1	0,49	0,56	0,68	0,63	0,78
Umfang A	0,49	1	0,78	0,58	0,32	0,7
Umfang B	0,56	0,78	1	0,74	0,5	0,82
Umfang C	0,68	0,58	0,74	1	0,77	0,93
Umfang D	0,63	0,32	0,5	0,77	1	0,86

Die Tabelle 10 zeigt, dass Umfang C am stärksten und Umfang A am schwächsten zu den mittleren Änderungen aller Umfänge korreliert.

Die Umfänge am Unterschenkel (Umfang A-D) korrelieren zu den nächst gelegenen Umfängen am stärksten.

4.2 UNTERSCHENKELKRÜMMUNG

Die Krümmung der rechten Unterschenkelinnenseite wurde zum Durchschnitt der 5 Umfänge und zum Gewicht in Korrelation gesetzt sowie zum Durchschnitt beider Referenzwerte.

Tabelle 11 zeigt einen Überblick der Korrelationen zwischen den Änderungen der Krümmung (verglichen zu dem Mittelwert jedes Patienten) und den Änderungen der Referenzwerte (verglichen zu dem Mittelwert jedes Patienten). In dieser Tabelle wurden alle Messdaten der jeweiligen Krümmung zu den Messdaten aller Patienten der jeweiligen Referenzen in Korrelation gesetzt.

Tabelle 11: Vergleich der Korrelationen Krümmung 1-2 zu den Referenzwerten

	Umfänge	Gewicht	RefMean	Durchschnitt
Krümmung 1	0,42	0,22	0,29	0,31
Krümmung 2	-0,19	-0,11	-0,17	-0,16

Bei den Werten "Umfänge" wurde die mittlere Änderung aller fünf Umfänge (A,B,C,D und I) berechnet und in Korrelation zu den mittleren Änderungen der Krümmung 1 bzw. 2 gesetzt.

Bei der Spalte "Gewicht" wurden die mittleren Änderungen des Körpergewichts in Korrelation zu denen der Krümmung 1 bzw. 2 gesetzt.

Bei "RefMean" wurde der Mittelwert der Referenzen "Gewicht" und "Umfänge" mit den mittleren Verläufen der Krümmung in Korrelation gesetzt. Der "Durchschnitt" ist ein Mittelwert der entsprechenden Zeile.

In Tabelle 12 wurden die Korrelationen der mittleren Änderungen der Krümmungen 1 und 2 zu den mittleren Änderungen der Referenzwerte der einzelnen Studienpatienten berechnet und aus diesen Korrelationen der Mittelwert der 11 Studienpatienten berechnet. Daher gibt es leichte Abweichungen zu Tabelle 6.

Tabelle 12: Korrelation: Krümmung zu Referenzen, der einzelnen Patienten

Korrelation	Pat1	Pat2	Pat3	Pat4	Pat5	Pat6	Pat7	Pat8	Pat9	Pat10	Pat11	Mittelwert
Geschlecht	w	m	w	m	w	w	m	m	m	m	m	7m/4w
Alter [y]	76	37	83	77	85	89	59	84	78	71	67	73,27
Gewichtsänderungen [kg]	1,6	3,3	1,6	1,1	0,1	3	6,8	7,4	1,1	13,6	2,3	3,81
Untersuchungen	6	6	4	4	4	4	6	7	4	10	4	5,36
Krümmung 1 zu Umfängen	0,45	0,78	0,96	0,98	-0,45	0,9	0,69	0,32	-0,46	0,6	-0,2	0,42
Krümmung 1 zu Gewicht	0,58	0,8	0,61	0,79	0,62	0,89	0,34	-0,5	-0,51	0,57	-0,27	0,36
Krümmung 1 zu RefMean	0,55	0,81	0,81	0,85	0,25	0,91	0,42	-0,42	-0,57	0,58	-0,28	0,36
Mittelwert	0,527	0,797	0,793	0,873	0,14	0,9	0,483	-0,2	-0,51	0,583	-0,25	
Krümmung 2 zu Umfängen	-0,04	0,47	0,35	-0,82	-0,57	0,65	0,19	0,39	-0,91	-0,58	-0,56	-0,13
Krümmung 2 zu Gewicht	0,21	0,44	0,31	-0,74	0,36	0,53	0,31	-0,58	-0,23	-0,58	-0,57	-0,05
Krümmung 2 zu RefMean	0,09	0,46	0,35	-0,77	-0,03	0,6	0,3	-0,49	-0,39	-0,58	-0,61	-0,10
Mittelwert	0,09	0,46	0,34	-0,78	-0,08	0,59	0,27	-0,23	-0,51	-0,58	-0,58	

4.2.1 KRÜMMUNG 1

Die Krümmung 1 wurde gemessen anhand der Punkte B, C und D.

Die drei Grafiken in Abbildung 14 zeigen die Korrelationen der Krümmung 1 zu den Referenzmessungen. An der x-Achse wurde die Krümmungsänderung in cm dargestellt.

Die Änderungen der Krümmung jedes Patienten (während des Spitalsaufenthalt) wurde in Bezug zu dem Durchschnitt aller 59 Parameter der Krümmung 1 berechnet, was dem Wert 0 auf der x-Achse entspricht.

Dasselbe wurde für die Referenzwerte gemacht, welche an der y-Achse verlaufen.

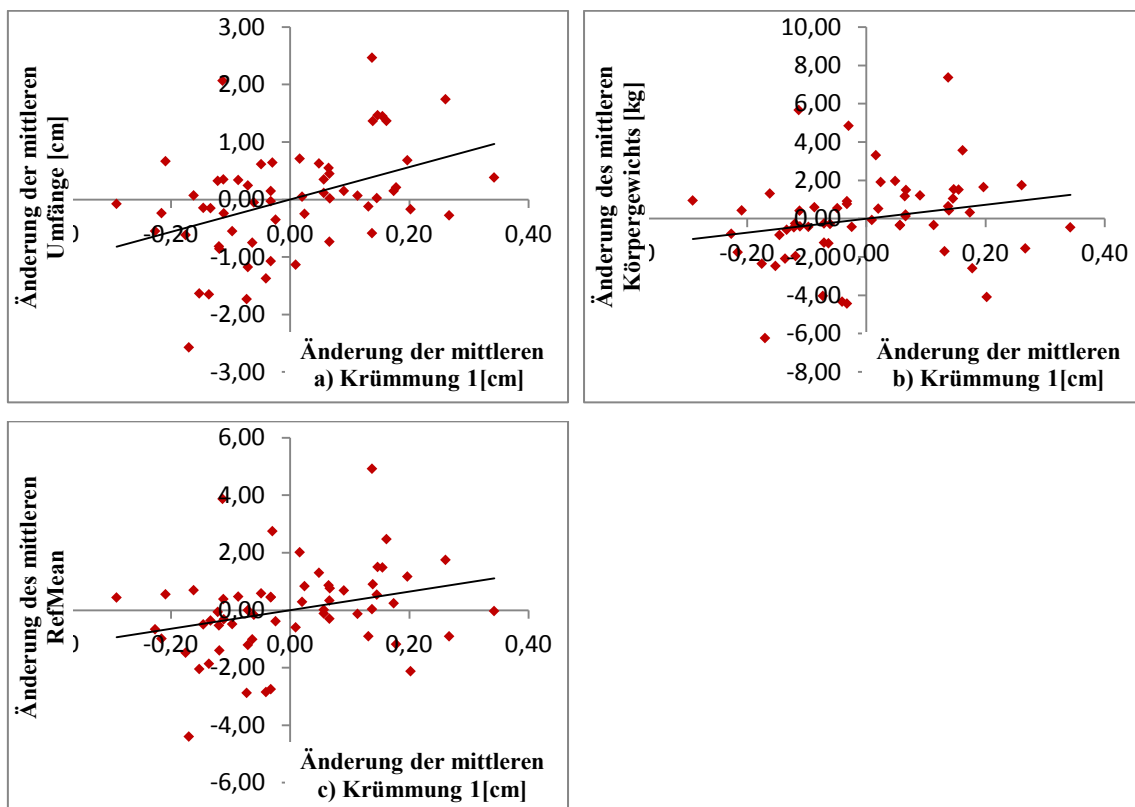


Abbildung 14: Punktdiagramm: Korrelation Krümmung 1 zu Referenzwerte

Die Werte in Abbildung 14 sind Änderungen bezogen auf den Mittelwert jedes Patienten: a) zeigt die Korrelation zu der Änderung des Mittelwerts der 5 Umfänge ($r=0,42$). b) Stellt die Korrelation zum Körpergewichtsverlauf dar ($r=0,22$). c) veranschaulicht die Korrelation zum Mittelwert der beiden Referenzwerte ($r=0,29$).

Die stärkste Korrelation der Krümmung 1 wurde zu "Umfänge" gefunden, mit $r = 0,42$ (siehe Tabelle 11).

4.2.2 KRÜMMUNG 2

Die Krümmung 2 wurde gemessen anhand der Punkte B,C und K.

Die drei Grafiken in Abbildung 15 zeigen die Korrelationen der Krümmung 2 zu den Referenzmessungen. An der x-Achse wurde die Krümmungsänderung in cm dargestellt.

Die Änderungen der Krümmung jedes Patienten (während des Spitalsaufenthaltes) wurde in Bezug zu dem Durchschnitt aller 59 Parameter der Krümmung 2 berechnet, was dem Wert 0 auf der x-Achse entspricht.

Dasselbe wurde für die Referenzwerte gemacht, welche an der y-Achse verlaufen.

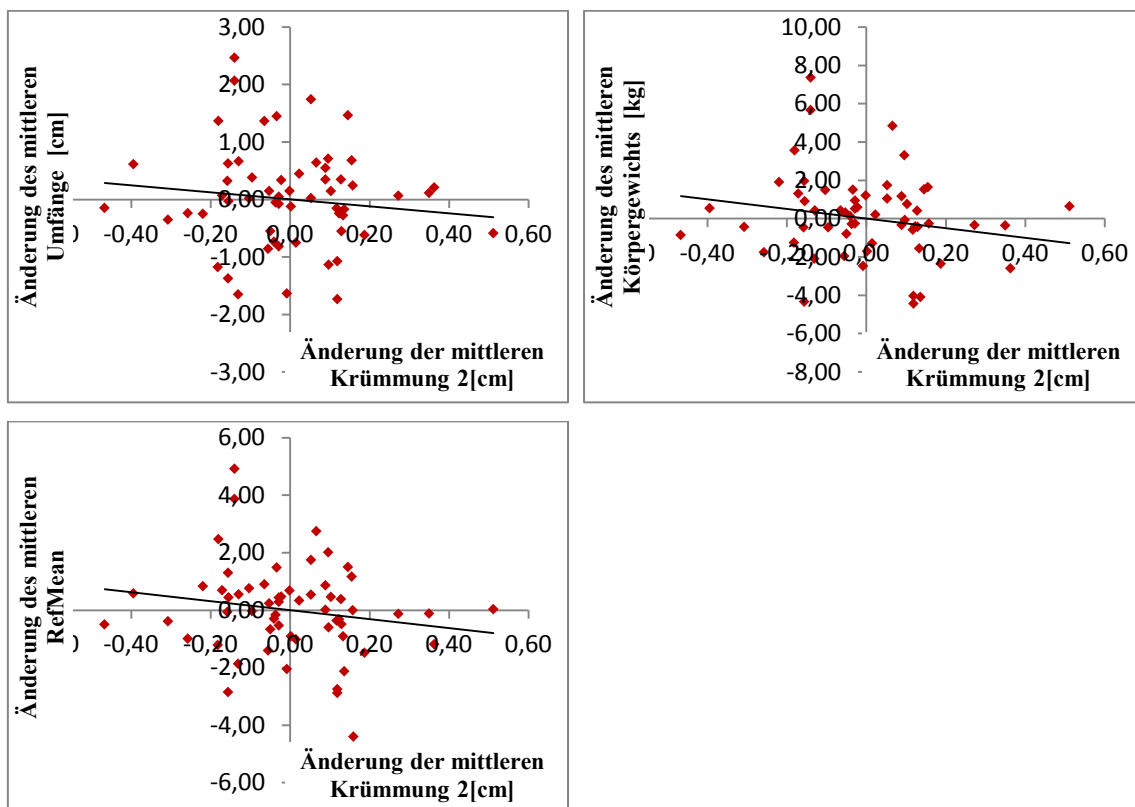


Abbildung 15: Punktdiagramm: Korrelation Krümmung 2 zu Referenzwerte

Die Werte in Abbildung 15 sind Änderungen bezogen auf den Mittelwert jedes Patienten:
a) zeigt die Korrelation zu der Änderung des Mittelwerts der 5 Umfänge ($r = -0,19$).
b) Stellt die Korrelation zum Körpergewichtsverlauf dar ($r = -0,11$).
c) veranschaulicht die Korrelation zum Mittelwert der beiden Referenzwerte ($r = -0,17$). (siehe Tabelle 11).

5 DISKUSSION

Zusammenfassung

Der Mittelwert der Messreihe beider Referenzen (Umfänge/Körpergewicht) korreliert zueinander mit $r=0,80$.

Der Mittelwert der Messreihe der drei Spannhöhen (mittlere Spannweite) korreliert zu dem Mittelwert der beiden Referenzwerte (RefMean) mit $r=0,64$.

Der Mittelwert der Messreihe Krümmung 1 korreliert zu dem Mittelwert der beiden Referenzwerte (RefMean) mit $r=0,31$, wohingegen der Mittelwert der Messreihe der beiden Unterschenkelkrümmung zu dem Mittelwert der beiden Referenzwerte (RefMean) mit $r=0,04$ korreliert.

5.1 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

5.1.1 ERGEBNISSE DER SPANNHÖHE

Spannhöhe 1, 2 und 3 ergaben sehr ähnliche Korrelationen zu den Referenzen, mit einer Ausnahme. Die Korrelation Umfang I zu Spannweite 2 (welche aus der Ebene FGH berechnet wurde) weicht mit $r=0,59$ zu den Korrelationen der Spannweite 1 und 3 ($r=0,67$ und $0,68$), welche von der Waage gemessen wurden, ab. Dieses Ergebnis spricht gegen die Theorie, dass das Messen der Spannweite von einer berechneten Ebene, welche sich mit der Stellung des Fußes mit bewegt, besser eignet als das Messen von der Waagenebene.

Die Änderung der "mittlere Spannweite" korrelierte durchschnittlich am stärksten zu den Referenzwerten (zum Gewichtsverlauf mit $r = 0,60$, zum Verlauf der Umfänge mit $r=0,63$ bzw. zu RefMean sogar mit $r=0,64$).

Durch die Berechnung des Mittelwertes der drei Spannweiten konnte das Rauschen verringert bzw. die Ausreißer relativiert werden.

Auch RefMean korrelierte durchschnittlich stärker mit der Spannweite als die beiden Referenzen, Umfänge und Gewicht einzeln.

Die Patienten 4,5,9 und 11 haben in den Korrelationen Spannhöhen zu Referenzwerte die geringsten Durchschnittswert ($r < 0,25$) (siehe Tabelle 7).

Ursache könnte die geringe Untersuchungsdauer, Gewicht- und Umfangänderung sein (siehe Tabelle 8). Diese vier Studienpatienten haben jeder nur vier Untersuchungen und eine Gewichtsveränderung, zwischen dem ersten und dem letzten Tag der Messung, von 0,1 kg bis maximal 2,3 kg gehabt.

Auch die durchschnittliche Änderung der fünf Umfänge war sehr gering (3, 5,8 ,6 und 12 mm). Der Durchschnitt liegt hierfür bei 18,9 mm.

Hingegen hat Patient 10 mit 10 Untersuchungen und einer Gewichtsveränderung von 13,6 kg die stärkste mittlere Korrelation zwischen Spannhöhe und den Referenzwerten mit $r = 0,91$ gehabt.

Möglicherweise sind die Messungen der Goldstandards nicht sensibel genug bzw. vier Untersuchungen zu wenig um eine starke Korrelation zu den 3D-Aufnahmen zu erhalten.

Die Umfänge A und B korrelierten zum Verlauf der Spannhöhe wie auch zum Körpergewichtsverlauf im Durchschnitt am schwächsten.

Diese Referenzmessungen scheinen ungeeignet bzw. am fehleranfälligsten.

Ursache könnte das variable Verhalten des Studienpatienten vor der Untersuchung sein wie z.B. stehen, gehen, liegen, tragen eines Druckverbandes, Stützstrümpfe, enge Socken oder Schuhe.

Aus den Unterschieden in den Korrelationen kann geschlossen werden, dass die Lokalisation der Messpunkte A und B nicht gut zur Erfassung des Umfangverlaufes geeignet sind (siehe Tabelle 9).

5.1.2 **ERGEBNISSE DER UNTERSCHENKEL-KRÜMMUNG**

Die Krümmung hat sowohl bei der Krümmung 1 als auch bei der Krümmung 2 keine hohen Korrelationen zu den Referenzen gezeigt. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Punkte A bis D auf einer Linie verlaufen (malleolus medialis zu apex patellae) welche am Unterschenkel von distal-medial nach proximal-ventral gerichtet ist. Aus dieser "verdrehten" Linie kann mit den derzeit angewandten Algorithmen keine Ödemänderung erfasst werden. Die Punkte zur Krümmung müssen neu gewählt werden z.B.: malleolus medialis zu condylus medialis des Schienbeins. Diese anatomisch, gut zu tastenden Strukturen würden beide medial liegen.

5.1.3 SCHLUSSFOLGERUNG

Das Messen der Spannhöhenänderung mittels 3D-Kamera eignet sich im Rahmen der oben genannten Korrelationen zum Erfassen der Beinödemveränderungen.

Es erwies sich von Vorteil die Spannhöhe an mehreren Stellen zu messen, da der berechnete Mittelwert aus Spannhöhe 1-3 die stärkste Korrelation zu den Referenzmessungen aufwies.

Zur Optimierung der Lokalisation und Anzahl der Messpunkte der Spannhöhe ist noch weitere Forschungsarbeit nötig.

Die Messung und Berechnung der Änderung der Unterschenkelkrümmung eignet sich mit der derzeitigen Wahl der Referenzpunkte nicht zum Erfassen der Beinödemveränderungen. Hier müssen andere Punkte zur Berechnung gewählt werden.

Es empfiehlt sich die Messungen der Spannhöhe morgens nach dem Aufstehen, vor dem Frühstück und Toilettengang durchzuführen. So werden die Beinödeme zwar am geringsten sein, die Änderungen aber konstanter und Störfaktoren wie die Variablen Stehen, Gehen, Liegen und das Tragen von Druckverband, Stützstrümpfe, enge Socken oder Schuhe, würden vermieden werden.

5.2 LIMITATIONEN

Die Untersuchung wurde semi-automatisch durchgeführt. Das heißt für das Erfassen der Punkte und die Berechnung der Wertänderungen ist geschultes Personal nötig.

Die Studie beruht auf Daten aus einer geringen Anzahl (11) an Patienten mit in Summe 59 Messungen.

Bisher wurde nur die Ödemrückbildung untersucht und das Gerät ist mit der derzeitigen Software auch nur für Ödem-Veränderungen einsetzbar.

5.3 OUTLOOK

Weitere Forschungsaktivitäten sind nötig, um die noch offenen Fragestellungen zu beantworten.

Andere, sensiblere Methoden zur Referenzmessung sind anzudenken.

Die Untersuchungen sollten morgens, nach dem Aufstehen gemacht werden.

Das Erfassen von Beinödemen während einer beginnenden Dekompensation ist zu untersuchen um zu erfahren ob das Gerät zur Früherkennung geeignet ist.

Für längere Messreihen wäre es von Vorteil, wenn die Messpunkte weniger auffällig wären und nicht regelmäßig nachgezeichnet werden müssten.

Es wäre denkbar, weitere Kameras zu adaptieren um beide Füße und Unterschenkel zu erfassen.

Es ist wünschenswert weitere Früherkennungsmethoden zu erforschen und zu addieren, um eine noch höhere Sensibilität und Spezifität zu erlangen.

Eine Möglichkeit wäre die Erfassung der Atemvolumina mit einzubeziehen, da eine Änderung dieser laut ESC-Guidelines ein typisches Symptom der HI ist (siehe Tabelle 3). Wie in (32) beschrieben, besteht eine Beziehung zwischen dem Grad der Herzinsuffizienz sowohl zu dem Atemzugvolumen wie auch zu dem Atemminutenvolumen.

6 ANHANG

HI-Sens

Version 1.0

Anhang A – Formular Einschluss- / Abschluss-Untersuchung

Einschlussuntersuchung

Persönliche Daten

Fallnummer: _____

Geburtsdatum: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Körpergröße: _____ cm

Körpergewicht: _____ kg

Anamnese

NYHA-Klasse: 1 2 3 4

EF _____ %

Ätiologie Hypertonie
 KHK
 Vitium
 idiopathisch

COPD ja nein

Diabetes mellitus ja nein

PAVK ja nein

Bekannte Herzrhythmusstörungen ja nein

Datum

Ausgefüllt von

Unterschrift

Abschlussuntersuchung

Ausdruck der während des Krankenhausaufenthaltes verabreichten Medikamente abgelegt?

ja

Datum

Ausgefüllt von

Unterschrift

Abbildung 16: Anhang A

Anhang B – Formular Studiendurchführung

Fallnummer: _____

Messung Nummer	
Datum und Uhrzeit	
Blutdruck (sys / dia) [mmHg]	
Körpergewicht [kg]	
Beinumfang frontal durch Referenzpunkt am Rist [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt am Innenknöchel [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 1 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 9 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 17 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
EKG-Aufzeichnung durchgeführt	<input type="radio"/> ja
3D-Aufnahme durchgeführt	<input type="radio"/> ja
Referenzpunkte nachgemalt	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
Messung Nummer	
Datum und Uhrzeit	
Blutdruck (sys / dia) [mmHg]	
Körpergewicht [kg]	
Beinumfang frontal durch Referenzpunkt am Rist [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt am Innenknöchel [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 1 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 9 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 17 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
EKG-Aufzeichnung durchgeführt	<input type="radio"/> ja
3D-Aufnahme durchgeführt	<input type="radio"/> ja
Referenzpunkte nachgemalt	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
Messung Nummer	
Datum und Uhrzeit	
Blutdruck (sys / dia) [mmHg]	
Körpergewicht [kg]	
Beinumfang frontal durch Referenzpunkt am Rist [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt am Innenknöchel [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 1 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 9 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 17 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
EKG-Aufzeichnung durchgeführt	<input type="radio"/> ja
3D-Aufnahme durchgeführt	<input type="radio"/> ja
Referenzpunkte nachgemalt	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
Messung Nummer	
Datum und Uhrzeit	
Blutdruck (sys / dia) [mmHg]	
Körpergewicht [kg]	
Beinumfang frontal durch Referenzpunkt am Rist [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt am Innenknöchel [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 1 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 9 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
Beinumfang horizontal durch Referenzpunkt 17 cm oberhalb des Innenknöchels [cm]	
EKG-Aufzeichnung durchgeführt	<input type="radio"/> ja
3D-Aufnahme durchgeführt	<input type="radio"/> ja
Referenzpunkte nachgemalt	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein

Ausgefüllt von

Unterschrift

Abbildung 17: Anhang B

7 LITERATURVERZEICHNIS

1. McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Bohm M, Dickstein K, et al. ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur J Heart Fail.* 2012 Aug;14(8):803-869. PubMed PMID: 22828712.
2. Jahrbuch der Gesundheitsstatistik 2010 Wien: Statistik Austria; 2011. Available from: http://www.statistik.at/web_de/dynamic/services/publikationen/4/publdetail?id=4&listid=4&detail=495.
3. Cleland JGF, Swedberg K, Follath F, Komajda M, Cohen-Solal A, Aguilar JC, et al. The EuroHeart Failure survey programme—a survey on the quality of care among patients with heart failure in Europe: Part 1: patient characteristics and diagnosis. *Eur Heart J.* 2003 March 1, 2003;24(5):442-463.
4. Schwarz KA, Elman CS. Identification of factors predictive of hospital readmissions for patients with heart failure. *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care.* 2003 3//;32(2):88-99.
5. Krumholz HM, Parent EM, Tu N, Vaccarino V, Wang Y, Radford MJ, et al. Readmission after hospitalization for congestive heart failure among Medicare beneficiaries. *Arch Intern Med.* 1997 Jan 13;157(1):99-104.
6. van der Wal MH, Jaarsma T, van Veldhuisen DJ. Non-compliance in patients with heart failure; how can we manage it? *Eur J Heart Fail.* 2005 Jan;7(1):5-17. PubMed PMID: 15642526. Epub 2005/01/12.
7. Scherr D, Kastner P, Kollmann A, Hallas A, Auer J, Krappinger H, et al. Effect of home-based telemonitoring using mobile phone technology on the outcome of heart failure patients after an episode of acute decompensation: randomized controlled trial. *J Med Internet Res.* 2009;11(3):e34.
8. Vuković MD, M.; Hayn, D.; Kastner, P.; Schreier, G.,. Optimization of the alarm-management of a heart failure home-monitoring system. *Computing in Cardiology (CinC).* 2010 Sept. 2010: 26-29.
9. Hayn D, Raschhofer S, Falgenhauer M, Modre-Osprian R, Fruhwald F, Schreier G, editors. Edema detection for heart failure patients in home monitoring scenarios. *Computing in Cardiology (CinC),* 2012; 2012 9-12 Sept. 2012.
10. Herold G. Herzinsuffizienz. *Innere Medizin.* Köln: Dr. med. Gerd Herold; 2010. p. 197-198.
11. Pözl DDG. Akute Herzinsuffizienz. *Wiener Medizinische Wochenschrift.* 06/2011:18.
12. McMurray JJ, Stewart S. Epidemiology, aetiology, and prognosis of heart failure. *Heart.* 2000 May 1, 2000;83(5):596-602.
13. Pschyrembel W. *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch.* Berlin: Walter de Gruyter; 2004. 2022 p.
14. John D. Wahlstrand KJW, inventorImplantable medical system for performing transthoracic impedance measurements associated with cardiac function1994.
15. Andres Belalcazar RP, Rebecca Shult, inventorImpedance monitoring for detecting pulmonary edema and thoracic congestion2007.

16. Dovancescu S., Torabi A., Mabote T., Caffarel J., Kelkboom E., Aarts R., et al., editors. Sensitivity of a Wearable Bioimpedance Monitor to Changes of Thoracic Fluid Content in Heart Failure and Hypertension Patients. *CinC*; 2013 September 22-25, 2013; Zaragoza, Spain.
17. Mawdsley RH, Hoy DK, Erwin PM. Criterion-related validity of the figure-of-eight method of measuring ankle edema. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy (JOSPT)*. 2000 03;30(3):149-153.
18. Petersen EJ, Irish SM, Lyons CL, Miklaski SF, Bryan JM, Henderson NE, et al. Reliability of water volumetry and the figure of eight method on subjects with ankle joint swelling. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy (JOSPT)*. 1999 10;29(10):609-615.
19. Rabe E, Stucker M, Ottillinger B. Water displacement leg volumetry in clinical studies--a discussion of error sources. *BMC Med Res Methodol*. 2010;10:5.
20. Kau CH, Cronin A, Durning P, Zhurov AI, Sandham A, Richmond S. A new method for the 3D measurement of postoperative swelling following orthognathic surgery. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2006;9(1):31-37.
21. Elbischger P, Jerolitsch-Binder J, Prasser M, Menard C, editors. Ein neuartiges Messsystem zur Exakten und effizienten Ermittlung des Extremitätenvolumnes.2011; Wien: Schreier G, Hayn D, Ammenwerth E, editors. *Proceedings of the eHealth2011*. 26.-27. Mai 2011; Wien. OCG 2011:129-134.
22. Gabel M, Gilad-Bachrach R, Renshaw E, Schuster A. Full body gait analysis with Kinect. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:1964-1967.
23. Ruppert GC, Reis LO, Amorim PH, de Moraes TF, da Silva JV. Touchless gesture user interface for interactive image visualization in urological surgery. *World J Urol*. 2012 Oct;30(5):687-691.
24. Tong J, Zhou J, Liu L, Pan Z, Yan H. Scanning 3D full human bodies using Kinects. *IEEE Trans Vis Comput Graph*. 2012 Apr;18(4):643-650.
25. Kramer J, Burrus, N., Echtler, F., Herrera, D. C., Parker, M. *Hacking the Kinect: Write code and interesting projects involving Microsoft's ground-breaking volumetric sensor*: Apress; 2012.
26. Ongaro M. Microsoft Kinect: High-Tech-Spielzeug oder hohes Potential für die Rehabilitation? : marvmedtech; 2013. Available from: <http://www.marvmedtech.at/microsoft-kinect-high-tech-spielzeug-oder-hohes-potential-fur-die-rehabilitation/>.
27. play.com. Kinect: Xbox 360 2010. Available from: <http://www.play.com/Games/Xbox360/4-/10296372/Project-Natal/Product.html#jump-tech>.
28. Greuter M, Rosenfelder M, Blaich M, Bittel O. Obstacle and Game Element Detection with the 3D-Sensor Kinect. In: Obdržálek D, Gottscheber A, editors. *Research and Education in Robotics - EUROBOT 2011. Communications in Computer and Information Science*. 161: Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 130-143.
29. open h. Open-Source-Treiber für Kinect veröffentlicht 2010. Available from: <http://www.heise.de/open/meldung/Open-Source-Treiber-fuer-Kinect-veroeffentlicht-1135025.html>.
30. Digitale Personenwaage UC-321PBT A&D. Available from: <http://www.medicalexpo.de/prod/a-d-company-limited/digitale-personenwaagen-drahtlos-67468-445806.html>.
31. Kinect: Microsoft. Available from: http://www.microsoftstore.com/store/msde/de_DE/pdp/Kinect-fur-Windows/productID.283484200.
32. Lefkov S, C DEV, Mussig D, Tkebuchava T, Lian J, Orlov MV. Tidal Volume and Minute Ventilation Parameters Derived from Pacemaker Impedance Measurements Can Predict Experimental Heart Failure Development. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2013 Sep 13. Epub 2013/09/17.