

**Heilungsverlauf von Patienten mit akuter
peripherer Fazialisparalyse unter
Oberflächenelektrostimulation**

-

**Eine klinische Beobachtungsstudie zum
Vergleich von subjektiven Klassifikationen des
Schweregrads gegenüber einer automatischen
euklidischen Bildanalyse**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae dentariae

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät

der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Jan Beckmann

geboren am 16.05.1996 in St. Wendel

Gutachter

1. PD Dr. Gerd Fabian Volk, Jena
2. apl. Prof. Dr. Carsten Klingner, Jena
3. Prof. Dr. Stephan Hackenberg, Aachen

Tag der öffentlichen Verteidigung: 03.01.2023

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1. Einleitung	7
1.1. Periphere Fazialisparese.....	7
1.2. Ätiologie und Epidemiologie der Fazialisparese.....	9
1.3. Gesichtssymmetrie und Attraktivität.....	10
1.4. Pathophysiologie peripherer Nervenschädigungen.....	11
1.5. Rating Systeme.....	11
1.5.1. House-Brackmann Grading System (HB).....	12
1.5.2. Stennert Parese Index (SPI).....	13
1.5.3. Facial Nerve Grading System 2.0 (FNGS 2.0).....	15
1.5.4. Sunnybrook Facial Grading System (SFGS).....	16
1.5.5. Electronic clinician-graded facial function Scale (eFACE).....	17
1.6. Objektive Messverfahren und Programme der Bildanalyse.....	17
1.7. Elektrostimulation.....	22
2. Ziele der Arbeit	25
3. Material und Methoden	27
3.1. Patientenkollektiv.....	27
3.2. Elektrostimulation.....	33
3.3. Messverfahren und -instrumente.....	35
3.3.1. Sunnybrook Facial Grading System (SFGS).....	35
3.3.2. Electronic clinician-graded facial function Scale (eFACE).....	36
3.3.3. Emotrics.....	38
3.3.4. JAuto-eFACE.....	39
3.4. Datensammlung und Erhebung.....	41
3.4.1. Verlaufsdocumentation mittels Fotoserien.....	41
3.4.2. Expertenbasierte Bewertung.....	42
3.4.3. Euklidische Analyse.....	43
3.5. Statistische Auswertung.....	54
3.5.1. Interrater Reliabilität.....	54
3.5.2. Vergleich der expertenbasierten Bewertung und euklidischen Analyse.....	55
3.5.3. Mittellinienkorrektur.....	56
3.5.4. Unmittelbarer Effekt der Elektrostimulation an einem Dokumentationstag.....	57
3.6. Grafische Symbolik.....	58
4. Ergebnisse	59
4.1. Patientenkollektiv.....	59
4.2. Farb-2D-Fotoserien Auswertung.....	59
4.3. Ergebnisdarstellung eines Patienten.....	60
4.3.1. Das Augenareal.....	61
4.3.2. Das Augenbrauenareal.....	65
4.3.3. Der Mund.....	68
4.4. Die Bedeutung der Mittellinienkorrektur.....	75
4.5. Statistische Auswertung.....	76
4.5.1. Interrater Reliabilität der eFACE Bewertungen der 3 Rater.....	76

4.5.3.	Statistische Auswertung der Mittellinienkorrektur	81
4.6.	Direkter Effekt nach Anwendung der Elektrostimulation	82
5.	Diskussion	87
5.1.	Diskussion der Methoden	87
5.1.1.	Methodenkritik	87
5.1.2.	Anwendung und Limitationen der Software Emotrics	89
5.1.3.	Fotodokumentation	93
5.2.	Diskussion der Ergebnisse	95
5.2.1.	Vergleich der Gradingssysteme Sunnybrook und eFACE.....	95
5.2.2.	Optimierung der Bewertung einer Elektrostimulationstherapie	97
6.	Schlussfolgerungen.....	102
	Literatur- und Quellenverzeichnis	104
	Abbildungsverzeichnis.....	111
	Tabellenverzeichnis.....	113
	Anhang.....	114
	Danksagung.....	115
	Ehrenwörtliche Erklärung	116

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
eFACE	Electronic clinician-graded facial function Scale
FES	funktionelle Elektrostimulation
FNGS 2.0	Facial Nerve Grading System 2.0
Gl./Gll.	Glandula/Glandulae
Ggl.	Ganglion
HB	House Brackmann Grading System
Hz	Hertz
Kap.	Kapitel
M./ Mm.	Musculus / Musculi
MRT	Magnetresonanztomografie
mA	Milliampere
ms	Millisekunden
Mw	Mittelwert
Ncl./Ncll.	Nucleus/Nuclei
N.	Nervus
Proc.	Processus
R.	Ramus
Rr.	Rami
SFGS	Sunnybrook Facial Grading System
Tab.	Tabelle
Vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Die periphere Fazialisparese gilt als häufigste Hirnnervenläsion des Menschen. Folgen der Erkrankung sind eine Schwächung bis vollständige Lähmung der ipsilateralen Gesichtsmuskulatur. Daraus resultierend leiden die betroffenen Patienten oft unter funktionellen Defiziten, ästhetischen Problemen und tiefgreifenden psychosozialen Herausforderungen.

Der Schweregrad der Lähmung wird im klinischen Alltag meist durch den behandelnden Arzt mit Hilfe von Bewertungsschemata subjektiv eingeschätzt. Dabei haben sich in Deutschland vor allem der House-Brackmann Score, Stennert-Index, sowie das Sunnybrook Facial Grading System (SFGS) etabliert. Im Jahr 2015 wurde die „Electronic, clinician-graded facial function scale“ (eFACE) entwickelt, welche viele der Stärken bereits bestehender Skalen mit einer digitalen Eingabemaske in Form einer App kombiniert. Nachteilig wirkt sich jedoch deren Subjektivität bzw. Untersucherabhängigkeit aus, weshalb viele Arbeitsgruppen an der Entwicklung von objektiven Quantifizierungs-Verfahren arbeiten.

Als Computer-Programm zur euklidischen Analyse von Farb-2D-Fotoaufnahmen von Patienten mit Fazialisparese hat sich Emotrics etabliert. Die Software ermöglicht die Durchführung einer genauen Gesichtsanalyse und vermeidet eine Untersucherabhängigkeit der Bewertung mit Hilfe der üblichen Bewertungsschemata. Durch das Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena wurde deshalb Emotrics auf Basis des Quellcodes weiterentwickelt. Diese Erweiterung des Programms wurde JAuto-eFACE genannt, in welchem einerseits der Untersucher-unabhängige Emotrics sowie als subjektive Bewertungsschemata das Sunnybrook Facial Grading System, der House-Brackmann Index und die eFACE enthalten sind. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Foto-Serien von fünf Patienten ausgewählt, die initial eine akute periphere Fazialisparalyse aufwiesen und alle vier Wochen fotografiert wurden. Während des Zeitraums der Studie von circa einem Jahr verwendeten die Patienten ein Elektrostimulationsgerät zur täglichen zuhause vorgenommenen Oberflächen-Exponentialstromtherapie. Darüber hinaus kam es spontan oder nach chirurgischer Intervention bei vier dieser Patienten im Beobachtungszeitraum von diesem Jahr zu einer Reinnervation während bei einem Patienten im gesamten Nachuntersuchungszeitraum keine Reinnervation nachgewiesen werden konnte. Die Fotos der Patienten wurden von drei unabhängigen

Experten mittels JAuto-eFACE bewertet. Als Grundlage dienten Farb-2D-Fotoserien der Patienten von jeweils 12 verschiedenen Gesichtsbewegungen pro Zeitpunkt und minimal 11 und maximal 19 Zeitpunkten (Mittelwert \pm Standardabweichung $13 \pm 3,3$) im Abstand von 4 Wochen.

Anschließend wurde eine euklidische Analyse der Gesichtsareale dieser Fotos mittels Emotrics durchgeführt. Zur Berechnung wurden dazu von Emotrics automatisiert 68 Landmarken gesetzt und anhand der Pupillenposition die Gesichtsmittellinie angelegt, sodass ein Vergleich der beiden Gesichtshälften ermöglicht wurde. Dabei stellte sich die zentrale Frage, inwiefern sich eine expertenbasierte Bewertung mit Hilfe der eFACE gegenüber einer euklidischen Analyse durch Emotrics unterscheidet.

Gleichzeitig wurde der Effekt der Elektrostimulation durch eine expertenbasierte Bewertung und euklidische Analyse der Fotos vor und nach Anwendung einer Oberflächen-Exponentialstromtherapie bewertet. Zum Studienbeginn wiesen die Patienten einen SFGS-Gesamtscore im Bereich von 6 – 21 auf ($15 \pm 6,4$), welcher sich im Laufe der Dokumentationsreihe auf einen SFGS-Gesamtscore von 22 – 46 ($27,8 \pm 10,8$) verbesserte. Es konnte festgestellt werden, dass die expertenbasierte Analyse mittels des SFGS und der eFACE zu statistisch nachweisbaren, vergleichbaren Ergebnissen führt wie die euklidische Analyse durch Emotrics. Die Intraklassenkorrelation der expertenbasierten Analyse der drei Rater zeigte einen Median von 0,85. Der statistische Vergleich der expertenbasierten Analyse durch eFACE und euklidischen Analyse mit Emotrics wies eine Intraklassenkorrelation von 0,73 auf. Allerdings wurden minimale Veränderungen, denen teilweise großer Stellenwert in der Interpretation des Therapieverlaufes zugesprochen werden kann, mittels der subjektiven Grading Systeme unzureichend erfasst.

Deshalb sollte zur exakten Analyse eines Patienten auf eine euklidische Analyse mit Emotrics zurückgegriffen werden. Jedoch sollte die Software zur euklidischen Analyse weiterentwickelt werden um zukünftig am besten eine manuelle Korrektur von Landmarken und der Gesichtsmittellinie überflüssig zu machen. Das Mundareal wies in Bezug auf die Kommissurexkursion ($p = 0,041$), Höhendifferenz ($p = 0,002$) als auch des Lachwinkels ($p < 0,0001$) signifikante Unterschiede vor und nach manueller Korrektur der Mittellinie auf. Neben der Optimierung der automatisierten Landmarkenpositionierung der Software wäre dies durch die Verwendung einer Landmarken-freien Gesichtsanalyse möglich.

1. Einleitung

1.1. Periphere Fazialisparese

Die periphere Fazialisparese gilt in Westeuropa und den USA mit einer Inzidenz von 20–35/100.000 Einwohnern als die häufigste Hirnnervenläsion des Menschen (Guntinas-Lichius et al. 2004, Peitersen 2002).

Die zentrale Fazialisparese tritt bei Verletzung der Fibrae corticonucleares einer der beiden Ncll. nervi facialis auf. Diese ist gekennzeichnet durch Lähmung der kontralateralen mimischen Muskeln periorbital und kaudal der Stirn. Betroffene Patienten sind allerdings in der Lage, die Stirn zu runzeln (Aumüller et al. 2014).

Entsprechend seines anatomischen Verlaufes kann eine Schädigung des Nervens an verschiedenen Stellen vorkommen (Abb. 1). Abhängig vom Schädigungsort und der beteiligten Faseranteile kommt es zu charakteristischen Ausfällen (Aumüller et al. 2014).

Kongenitale Absenz oder akute Nervschädigung rufen dabei als Kardinalsymptom eine schlaffe Lähmung der betroffenen Muskulatur hervor. Die Wiederherstellung der Funktion reicht dabei von einer Persistenz der Paralyse bis zur Wiederkehr einer normalen Funktion (Jowett et al. 2018).

Die periphere Fazialisparese zeichnet sich durch eine Schwächung bis vollständige Lähmung der entsprechenden Muskulatur mit typischer charakteristischer Symptomatik ipsilateral zur Läsion aus (Aumüller et al. 2014).

Abhängig vom Schädigungsort und der beteiligten Faseranteile kommt es zu typischen Ausfällen. Diese können sich in Schmeckstörungen, Hyperakusis oder auch, als Folge der parasympathischen Innervationsstörung der Glandula submandibularis und sublingualis, in Form einer Speichelsekretionsstörung äußern. Oft werden retroaurikuläre Schmerzen und Missempfindungen im Bereich der gleichseitigen Wange beschrieben. Als Ursache für die Missempfindungen werden die Minderinnervation bzw. der Tonusverlust der entsprechenden Muskulatur diskutiert (Heckmann et al. 2017).

Bei einer kompletten peripheren Fazialisparese kommt es zum sogenannten Bellschen Phänomen (Abb. 2). Bei Versuch des Augenlidschlusses kommt es zur Aufwärtsrotation des Bulbus mit Sicht auf den nach oben und außen gerollten Bulbus sowie die weiße Sklera aufgrund des Lagophthalmus (Aumüller et al. 2014).

Bei der akuten idiopathischen Fazialisparese wird eine Behandlung mit Glukokortikoiden, speziell Prednisolon, empfohlen. Die Steroide begünstigen die vollständige Rückbildung der Parese und verringern das Risiko von Synkinesien, autonomen Störungen sowie Kontrakturen (Madhok et al. 2016).

Abbildung 1 veranschaulicht die anatomische Grundlage und Differenzierung der Fazialisparese.

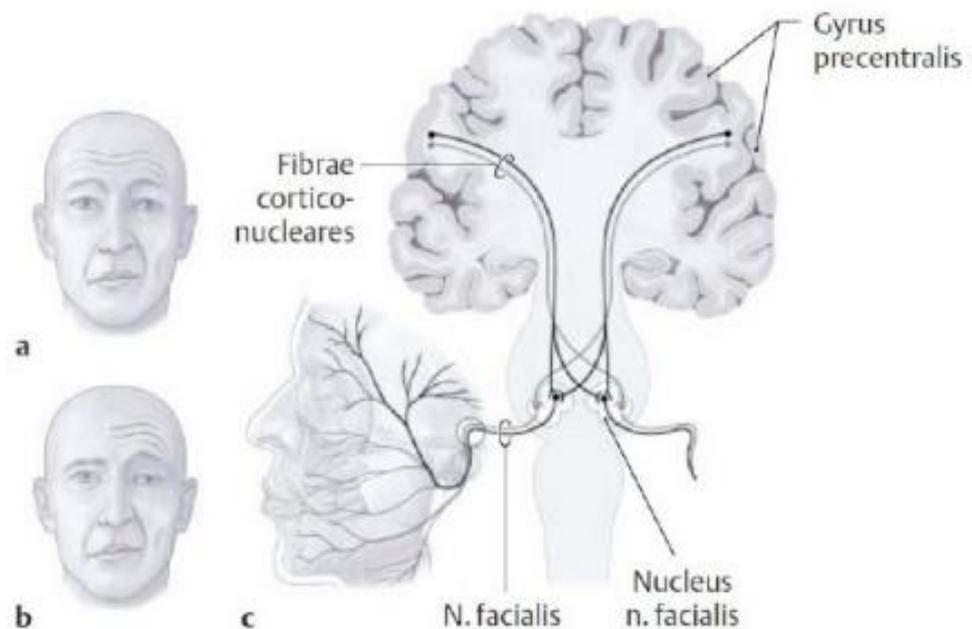


Abbildung 1: Anatomische Grundlagen der Fazialisparese

- a) Die zentrale Fazialisparese; Schädigung rostral des Ncl. nervi facialis
- b) Die periphere Fazialisparese; Schädigung im Kerngebiet oder im Verlauf des Nervs
- c) Anatomische Grundlage für die unterschiedliche Symptomatik bei Schädigung zentral und peripher vom Ncl. N. facialis (Aumüller et al. 2014)



Abbildung 2: Klinisches Bild einer akuten peripheren Fazialisparese der linken Seite: Die kraniale Bewegung des Bulbus (Bell Phänomen) durch Versuch des Augenlidschlusses wird erkennbar

1.2. Ätiologie und Epidemiologie der Fazialisparese

Als häufigste Hirnnervenläsion des Menschen ist das klinische Bild der peripheren Fazialisparese eine oft gestellte Diagnose. Es zeigt sich kein geschlechtsspezifischer Unterschied in der Häufung des Auftretens (Heckmann et al. 2017).

Wenn es gelingt, eine Ursache zu identifizieren, dann sind dies oft die Neuroborreliose und der Zoster oticus, welcher das sogenannte Ramsay-Hunt Syndrom hervorruft (Evison et al. 2005). Sonderformen der Fazialisparese unklarer Genese sind das Melkerson-Rosenthal-Syndrom und das Heerfordt-Syndrom (Heckmann et al. 2017). Der Anteil der idiopathischen Fazialisparese an den erworbenen peripheren Fazialisparesen wird auf 60-75% geschätzt (Peitersen 2002; Gilden 2004; Finkensieper et al. 2012). Allerdings ist die idiopathische Fazialisparese per definitionem unbekannter Ätiologie (Grosheva et al. 2010) und tritt mit zunehmendem Lebensalter gehäuft auf (Morales et al. 2013, Heckmann et al. 2017).

Bei Kindern stellt die Lyme-Borreliose die häufigste Ursache einer akuten peripheren Fazialisparese dar (Guntinas-Lichius et al. 2014). Pathophysiologisch diskutiert werden aktuell eine zellvermittelte autoimmune Entzündung und die Reaktivierung

einer Herpes-simplex-Virus-Infektion (HSV Typ 1) als wichtigste ursächliche Faktoren (Ronthal 2016).

Ursächlich können zudem traumatische Ereignisse sein. Hervorzuheben sind dabei Frakturen innerhalb des Felsenbeins, penetrierende Verletzungen des Mittelohrs oder der Glandula parotidea. Differenzialdiagnostisch abzugrenzen sind die geburtstraumatisch erworbenen Paresen von den angeborenen (Guntinas-Lichius et al. 2004).

Des Weiteren können entzündliche Prozesse eine Fazialisparese hervorrufen. Dazu gehören Lokalinfektionen des Ohres und der Ohrspeicheldrüse als auch entzündliche Systemerkrankungen. Ebenfalls können Fazialis paresen bei der Poliomyelitis, Meningitis, Encephalitis oder der HIV-Infektion beobachtet werden (Heckmann et al. 2017).

Auch eine Vielzahl maligner Tumoren gelten als Auslöser der Fazialisparese, bei denen die Parese auch als Erstsymptom einer Karzinominfiltration auftreten kann (May et al. 2000).

1.3. Gesichtssymmetrie und Attraktivität

Bereits 1972 konnte in einer Studie gezeigt werden, dass Menschen, die von ihren Mitmenschen als attraktiv beurteilt werden als sympathischer, einfühlsamer und erfolgreicher empfunden werden. Dies gilt sowohl im Familien- und Freundeskreis als auch im beruflichen Umfeld (Dion et al. 1972).

In den vergangenen Jahren fanden zahlreiche Studien zur Korrelation zwischen Symmetrie des Gesichts und Attraktivität statt, die von der Idee geprägt sind, dass eine hohe Symmetrie ein Signal für einen hohen Partnerwert ist (Gangestad et al. 1997). Inzwischen liegen zahlreiche Belege dafür vor, dass hohe Symmetrie auf Entwicklungsstabilität während der Ontogenese zurückschließen lässt (Gründl 2011). Der Mensch nimmt bereits eine Abweichung von nur drei Millimetern wahr. Daher hat die Symmetrie einen hohen Stellenwert für die Selbstwahrnehmung der Attraktivität und damit auch für die Patientenzufriedenheit (Kehrer et al. 2018).

Die Fazialisparese ist in Ätiologie, Erscheinungsbild und Schweregrad variabel und führt in Folge der Lähmung der mimischen Muskulatur zu einer Gesichtsasymmetrie (Murphey et al. 2018). Parsa et al. 2020 untersuchten in einer Studie anhand der Auswertung von Farb-2D-Fotoaufnahmen, inwiefern in Folge der Asymmetrie eine

Fazialisparese mit der Wahrnehmung von Attraktivität, Weiblichkeit, Männlichkeit und der Persönlichkeit zusammenhängt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Befragten die Fotos von Patienten mit Fazialisparese in Bezug auf Sympathie, Vertrauenswürdigkeit, Attraktivität und Weiblichkeit bzw. Männlichkeit deutlich schlechter als die digital bearbeiteten Bilder von Patienten ohne Fazialisparese bewerteten (Parsa et al. 2020). Die Erkrankung kann folglich zu Beeinträchtigungen der psychischen Gesundheit mit deutlicher Verminderung der Lebensqualität der Patienten führen (Melvin et al. 2008).

1.4. Pathophysiologie peripherer Nervenschädigungen

1943 unterteilte Seddon die Schädigung peripherer Nerven in drei Schweregrade (Seddon 1943). Diese Einteilung wird auch für die Schädigung des N. facialis verwendet.

- Neurapraxia: vollständig reversibler Funktionsausfall eines peripheren Nerven ohne anatomische Unterbrechung; begrenzte Veränderung an den Markscheiden mit spontaner Rückbildung.
- Axonotmesis: Kontinuitätsunterbrechung endoneuraler Strukturen und Axone bei erhaltener Hülle. Distal und proximal tritt die Wallersche Degeneration ein. Eine Regeneration ist wegen der erhaltenen Hüllstrukturen möglich.
- Neurotmesis: Nervenschädigung mit kompletter Durchtrennung der Fasern und der Hülle. Eine spontane Reinnervation ist in diesem Fall nur mit Fehlern möglich und kann bei einem zu großen Abstand der traumatisch getrennten Enden auch ganz unterbleiben.

1.5. Rating Systeme

Der Schweregrad der Lähmung wird im klinischen Alltag meist durch den behandelnden Arzt mit Hilfe von Bewertungsschemata eingeschätzt. Bereits im Jahr 1955 entwickelten Botman und Jongkees eine fünf Punkte Skala um den Therapieerfolg von insgesamt 70 Patienten mit Fazialisparese bewerten zu können (Botman et al. 1955).

Dazu haben sich in den letzten Jahrzehnten zahlreiche, teilweise nur national verwendete Gradingssysteme, parallel entwickelt. Diese ermöglichen eine Quantifizierung der Schwere der Gesichtsnervenlähmung und im Rahmen von

Therapiestudien den Behandlungserfolg und damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse (Fattah et al. 2015).

Zu den Ansprüchen eines idealen Grading-Systems gehören unter anderem (Fattah et al. 2015):

- ermöglicht die regionale Bewertung der Nervenfunktion im Gesicht
- erlaubt die Messung von statischen und dynamischen Defiziten
- erfasst sekundäre Folgen der Gesichtslähmung (z. B. Synkinesie)
- liefert reproduzierbare Ergebnisse mit geringer Inter- und Intra-beobachtervariabilität
- ermöglicht ausreichende Sensitivität für die Verfolgung von Veränderungen im Laufe der Zeit und die Beurteilung von Interventions- und Therapieeffekten
- liefert Praktikabilität in der klinischen Anwendung

1.5.1. House-Brackmann Grading System (HB)

Das House-Brackmann Grading System wurde 1985 von J. House und D. Brackmann entwickelt (House et al. 1985). Ermöglicht wurden eine allgemeine Beschreibung der Fazialen Funktion und gleichzeitiges Einschätzen von Schwere der Parese und sekundärem Defektheilungszustand. Von der American Academy of Otolaryngology wurde das House-Brackmann Grading System zum universalen Standard unter den Fazialen Grading Systemen ernannt (House et al. 1985). Vorteilhaft zeigte sich der schnelle Ergebnisprozess und die einfache Anwendung (Yen et al. 2003). In Studien zeigte sich eine Eignung für die Klassifizierung grober Veränderungen (Kanerva et al. 2011). Für die Interbeobachterreliabilität wurden Werte von 93 % festgestellt (Evans et al. 1989). Aufgrund der Subjektivität und der sehr allgemein gehaltenen Bewertung, ohne Berücksichtigung von Veränderungen spezifischer Regionen, wurde die Skala allerdings vielfach kritisiert (Kanerva et al. 2006, Croxson et al. 1990). Insgesamt werden durch das House-Brackmann Grading System sechs verschiedene Ausprägungsgrade der Fazialisparese unterschieden, die nachfolgend tabellarisch dargestellt wurden (Tab. 1).

Grade	Definition
I Normal	Normale Funktion in allen Bereichen
II Milde Dysfunktion	Insgesamt: leichte Schwäche wahrnehmbar bei genauer Inspektion; leichte Synkinesien können auftreten. Ruhetonus: Komplette Symmetrie. Motilität Stirn: moderate bis gute Funktion. Motilität Auge: kompletter Lidschluss mit minimaler Anstrengung. Motilität Mund: bei Bewegung leichte Asymmetrie
III Moderate Dysfunktion	Insgesamt: sichtbare, aber nicht entstellende Differenz zwischen beiden Seiten; Synkinesien wahrnehmbar, Kontraktion und / oder hemifacialer Spasmus. Ruhetonus: Asymmetrie. Motilität Stirn: leichte bis moderate Bewegung: Motilität Auge: kompletter Lidschluss mit Anstrengung; Motilität Mund: bei maximaler Anstrengung leichte Asymmetrie
IV Mittelschwere Dysfunktion	Insgesamt: sichtbare Schwäche und / oder entstellende Asymmetrie Ruhetonus: Asymmetrie. Motilität Stirn: keine; Motilität Auge: inkompletter Lidschluss; Motilität Mund: bei maximaler Anstrengung deutliche Asymmetrie
V Schwere Dysfunktion	Insgesamt: nur gerade wahrnehmbare Bewegung. Ruhetonus: Asymmetrie. Motilität Stirn: keine; Motilität Auge: inkompletter Lidschluss; Motilität Mund: nur leichte Bewegung
VI Totale Paralyse	Insgesamt: keine Bewegung

Tabelle 1: House Brackmann Scale (House et al. 1985)

1.5.2. Stennert Parese Index (SPI)

Der Stennert-Parese-Index wurde 1977 von Stennert et al. entwickelt und findet in Deutschland eine breite Anwendung (Stennert et al. 1977, Guntinas-Lichius et al. 2004).

Insgesamt umfasst dieser zehn Beurteilungskriterien. Bewertet werden gesondert der Ruhetonus der Muskulatur sowie die Motilität. Dabei fließen in die Bewertung die aktive Bewegung der Gesichtsmuskulatur zu 60% und der Ruhetonus zu 40% ein. Bei der Bewertung ergeben sich dabei Punktwerte von 0 oder 1 (Tab. 2). Dabei steht ein Wert von 1 für eine Parese und 0 für keine Parese in der jeweils abgefragten Region (Stennert et al. 1977).

		Kein Punkt		je 1 Punkt	
Ruhetonus	Lidspalten-Differenz	< 3 mm	<input type="checkbox"/>	3 mm und mehr	<input type="checkbox"/>
	Ektropion	nein	<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>
	Nasolabial-Falte verstrichen (sofern auf gesunder Seite ausgebildet)	nein	<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>
	Mundwinkel-Tiefstand	< 3 mm	<input type="checkbox"/>	3 mm und mehr	<input type="checkbox"/>
Motilität	Stirnrunzeln (Faltenbildung bzw. Heben der Augenbraun) [>50%]	möglich	<input type="checkbox"/>	nicht möglich	<input type="checkbox"/>
	Rest-Lidspalt in Schlaf-Haltung	nein	<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>
	Rest-Lidspalt bei max. Innervation	nein	<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>
	Zähnezeigen Eckzahn oben und unten	sichtbar	<input type="checkbox"/>	nicht sichtbar	<input type="checkbox"/>
	Zähnezeigen 2. Schneidezahn oben in ganzer Breite	sichtbar	<input type="checkbox"/>	nicht sichtbar	<input type="checkbox"/>
	Mundspitzen (Abstandsverkürzung Philtrum-Mundwinkel gegenüber der gesunden Seite)	50 % und mehr	<input type="checkbox"/>	< 50 %	<input type="checkbox"/>
		Parese-Index (Ruhe/Motilität):			
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>			

Tabelle 2: Stennert-Index zur Beurteilung einer Fazialisparese (Stennert et al. 1977)

1.5.3. Facial Nerve Grading System 2.0 (FNGS 2.0)

Das FNGS2.0 wurde als Fortsetzung des FNGS im Jahr 2009 von Vrabc et al. speziell entwickelt, um die Limitationen der House-Brackmann Skala zu beseitigen (Vrabc et al. 2005).

Im Gegensatz zur House-Brackmann Skala, die sich ausschließlich mit einer Bewertung der Gesamtsituation beschäftigt, wurde hierbei das Gesicht in vier unterschiedliche Regionen unterteilt. Diese gilt es mit Zahlenwerten von 1 bis 6 abhängig vom möglichen Bewegungsspektrum zu beurteilen. Der Synkinesie-Status wird auf einer Skala von 1 bis 3 bewertet. Die entsprechenden Werte werden anschließend summiert, wodurch ein Endresultat von 4 bis 24 Punkten erzielt wird (Tab. 3) (Vrabc et al. 2005).

In einer Studie konnte ermittelt werden, dass die Bewertung mit der, der House-Brackmann Skala korreliert und Verbesserungen bezüglich der Synkinesie-Beurteilung im Vergleich zur House-Brackmann Skala mittels des FNGS2.0 möglich sind (Lee et al. 2013).

Punkt- zahl	Region			
	Augenbraue	Auge	Nasolabialfalte	Mund
1	Normal	Normal	Normal	Normal
2	Leichte Schwäche >75% der Normalfunktion	Leichte Schwäche >75% der normal aufgebrauchten Kraft zum kompletten Augenschluss	Leichte Schwäche >75% der Normalfunktion	Leichte Schwäche >75% der Normalfunktion
3	Offensichtliche Schwäche >50% der normalen Symmetrie in Ruhe	Offensichtliche Schwäche >50% der normal aufgebrauchten Kraft zum kompletten Augenschluss	Offensichtliche Schwäche >50% der normalen Symmetrie in Ruhe	Offensichtliche Schwäche >50% der normalen Symmetrie in Ruhe
4	Asymmetrie in Ruhe <50% des Normalzustandes	Asymmetrie in Ruhe <50% des Normalzustandes	Asymmetrie in Ruhe <50% des Normalzustandes	Asymmetrie in Ruhe <50% des Normalzustandes

5	Anzeichen einer Bewegung	Anzeichen einer Bewegung	Anzeichen einer Bewegung	Anzeichen einer Bewegung
6	Keine Bewegung	Keine Bewegung	Keine Bewegung	Keine Bewegung

Tabelle 3: Facial Nerve Grading System 2.0 (Vrabec et al. 2005)

1.5.4. Sunnybrook Facial Grading System (SFGS)

Das Sunnybrook Facial Grading System wurde 1996 von Ross et al. in Kanada entwickelt mit dem Ziel, ein Bewertungssystem zu etablieren, das einfach zu verwalten und sensibel genug war, um zeitliche Veränderungen feststellen zu können. Bewertet wurden neben der Symmetrie in Ruhe auch die dynamische Komponente, sowie regional die spezifische Synkinesie (Ross et al. 1996). Insgesamt umfasst diese die Beurteilung von insgesamt 13 verschiedenen Items. Bei Bewertung der Symmetrie des Gesichtes in Ruhe wird gesondert die Symmetrie der Augen, der Nasolabialfalte und die des Mundes erfasst. Insgesamt lassen sich maximal 4 Punkte erreichen.

Die dynamische Komponente beinhaltet willentlich durchgeführte Gesichtsbewegungen, wie das Heben der Augenbrauen, den dezenten Augenlidschluss, das Lächeln mit offenem Mund, das Zähne zeigen sowie das Spitzten der Lippen, die mit 1 (Unfähigkeit diese Bewegung auszuführen) bis 5 (vollständige Bewegung) bewertet und zur Auswertung mit 4 multipliziert werden.

Die regional spezifischen Synkinesien werden bei willentlich durchgeführten Gesichtsbewegungen erfasst (Ross et al. 1996). Der Gesamtwert der Items aus dem SFGS ergibt sich nach folgender Formel (Ross et al., 1996):

$$\text{Gesamtwert SB} = 4 * \text{willentliche Bewegung} - (5 * \text{Ruheassym.} + 1 * \text{Synkinese})$$

Somit ergibt sich ein Wertebereich der SFGS von 0 (totale Parese) bis 100 (vollständige Funktionalität) (Ross et al. 1996). Die Validierung einer deutschen Version der SFGS erfolgte 2017 (Neumann et al. 2017).

1.5.5. Electronic clinician-graded facial function Scale (eFACE)

Die electronic clinician-graded facial function scale (eFACE) wurde im August 2015 von Banks et al. an der Harvard Medical School in Boston entwickelt. eFACE besteht aus insgesamt 16 Skalen innerhalb einer visuellen Analogskala, mit deren Hilfe über drei Kategorien die Statik, Dynamik und synkinetische Bewegung betrachtet werden kann. 0 Punkte entsprechen einer extremen Asymmetrie des statischen Gesichts, einer totalen Abstinenz der Dynamik sowie einer extremen Synkinesie. 100 Punkte sind als normal bzw. gesund definiert. Einige Skalen können über 100 hinaus bis 200 Punkte gehen und zeigen damit z.B. statt einer hängenden Augenbraue eine pathologisch höhere Augenbraue. Allerdings gelten Einschränkungen und Regeln zur Anwendung von eFACE an. Dazu zählen insbesondere:

- 1) Die Anwendung ist nur für die Quantifizierung unilateraler Fazialisparesen einzusetzen.
- 2) Bei Patienten mit ausgeprägter Augenbrauenptosis sollte die Position der Lidschlussfalte durch ein manuelles Anheben der Augenbrauen ermittelt werden.
- 3) Die Beurteilung des Augenbrauenanhebens kann durch manuelles Ziehen hin zur Stirnmitte erleichtert werden.
- 4) Bei der Beurteilung der Synkinesieparameter wird nur derjenige Gesichtsausdruck für die Wertung herangezogen, bei dem sich die maximale Synkinesie zeigt.
- 5) Im Falle einer Fazialisparese, bei der die Nasolabialfalte nicht mehr erkennbar ist, werden die Items zur Tiefe und Orientierung der Nasolabialfalte jeweils mit 0 Punkten bewertet (Banks et al., 2015).

Sowohl am Patienten selbst, als auch anhand einer Analyse verschiedener Videoaufnahmen durch Experten zeigten sich dabei hohe Übereinstimmungen in deren Bewertungen (Jowett et al. 2018, Banks et al. 2015).

1.6. Objektive Messverfahren und Programme der Bildanalyse

In der Literatur besteht ein Konsens darüber, dass ein computerisiertes faziales Bewertungssystem eine Subjektivität und Untersucherabhängigkeit, die mit der Bewertung mit Hilfe subjektiver Grading Systeme einhergeht, ausschließen würde (Linstrom et al. 2002, Lee et al. 2013).

Bereits 1992 wurden computerisierte Analyse Systeme verwendet um Gesichtsbewegungen quantitativ zu analysieren. Das damals entwickelte Analyse

Programm hat eine videometrische Möglichkeit des quantitativen Messbarmachens indem es Unterschiede zwischen verschiedenen Bildern durch Bildsubtraktion mit anschließender Grau-Wert-Analyse der einzelnen residuellen Bildpunkte mathematisch feststellte (Neely et al. 1992).

Des Weiteren entwickelten Frey et al. basierend auf einer 3D-Analyse von statischen und dynamischen Referenzpunkten im Gesicht das Freysche Faciometer. Dazu wurden anhand von 16 gesunden Probanden standardisierte statische und dynamische Landmarken im Gesicht festgelegt. Dies ermöglichte anschließend mit Hilfe einer Zwei-Punkt-Distanzmessungen eine quantifizierbare Gesichtsanalyse durchzuführen (Frey et al. 1994). Es gibt also schon seit vielen Jahren verschiedene Ansätze und Möglichkeiten zum objektiven Messen von Gesichtsbewegungen.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche neue Vorschläge für objektive Verfahren zum vermessen von Gesichtsbewegungen entwickelt und vorgestellt. Diese zeichneten sich überwiegend durch eine Computer-gestützte Bildanalyse des Gesichtes aus (Guntinas-Lichius et al. 2004).

Zu diesen neueren Entwicklungen zählt beispielsweise die automatische Bildanalyse unter Zuhilfenahme des Facial Action Coding Systems (Haase et al. 2015). Dieses System identifiziert bestimmte faziale Muskelbewegungen, sogenannte Action Units, welche während unterschiedlicher emotionaler Gesichtsausdrücke aktiviert werden. Diese Action Units konnten sich bereits bei der Beurteilung von Gesichtsausdrücken innerhalb der Psychologie etablieren. Beispielsweise wurden sie für die Analyse bei Gesichtsbewegungen während einer neuropsychiatrischen Erkrankung erfolgreich genutzt (Hamm et al. 2011).

Eine weitere Entwicklung stellt das sogenannte Facegram dar, wobei es sich um eine Software zum Tracking von anatomischen Landmarken mit Hilfe sogenannter RGB-D Kameras in zwei- oder dreidimensionalen Videos handelt. Die Intention bestand dabei darin die Effektivität rekonstruktiver gesichtschirurgischer Eingriffe zu analysieren (Geros et al. 2016, Horta et al. 2014, Horta et al. 2018).

Allerdings fehlt es aktuell noch immer an einer international universell eingesetzten, reproduzierbaren Technik. Keines der bisher bestehenden computerisierten Programme nimmt eine zentrale Position als universell eingesetztes Programm ein, welches über die Grenzen der Institution hinausläuft, die das System entwickelt haben (Neely et al. 1992, Frey et al. 1994, Meier-Gallati et al. 1998, Wachtman et al. 2001,

Linstrom et al. 2002). Ein solches ist allerdings zur Erfolgskontrolle von fazialen Reinnervierungs- und Rekonstruktionsmethoden unverzichtbar (Revenaugh et al. 2018). Gründe dafür liegen vor allem im hohen Zeitbedarf der Analyse aufgrund einer bisher notwendigen Kontrolle und manuellen Korrektur von objektiven Bezugspunkten durch den jeweiligen Nutzer, die von den Programmen automatisiert gesetzt werden. Des Weiteren können solche Programme das Problem einer geringen Reproduzierbarkeit mit sich bringen, die durch Fehler einer bisher noch notwendigen manuellen Korrektur der objektiven Bezugspunkte durch den individuellen Nutzer entstehen (Hadlock et al. 2012, Lee et al. 2013). Aufgrund dessen wurde ebenfalls bereits nach Möglichkeiten geforscht, objektive Analyse Programme zu entwickeln, welche sich nicht anhand objektiver Bezugspunkten orientieren (O'reilly et al. 2010, Hadlock et al. 2012) sondern den bereits bestehenden Ansatz der Bildsubtraktion mit anschließender Grau-Wert-Analyse wieder aufgreifen (Neely et al. 2010).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde Emotrics zur 2D Gesichtsanalyse verwendet. Emotrics ist eine auf Python (PyQt5) basierende kostenlose Anwendung die plattformunabhängig als Windows 64-bit Version sowie mit Mac oder Linux kompatibel ist (Guarin et al. 2018). Mit Hilfe des Programmes ist eine euklidische Analyse des Gesichtes möglich. Einen zweidimensionalen euklidischen Raum nennt man auch euklidische Ebene. Diese Ebene umfasst die Berechnung von Längen und Winkeln, was bei der Auswertung der 2D Aufnahmen der vorliegenden Studie erforderlich war (Kap. 4.4.3). Wenn zwei Punkte auf einer Ebene oder im dreidimensionalen Raum durch eine Gerade miteinander verbunden werden, dann ist die euklidische Distanz die Länge dieser Gerade zwischen den beiden Punkten. In Kapitel 3.3.3 wird gesondert auf den Aufbau und die Funktion von Emotrics eingegangen.

Im folgenden Abschnitt wurde tabellarisch ein direkter Vergleich zwischen den bewährten Gesichtsanalyse Programmen Facegram (Gerós et al 2016, Holtmann et al. 2017) und Emotrics (Guarin et al. 2018, Greene et al. 2019) vorgenommen. Zusätzlich wurde ImageJ (Rueden et al. 2017, Schneider et al. 2012) als weit verbreitetes medizinisches Bildverarbeitungsprogramm zum Vergleich hinzugezogen (Tab 4).

	ImageJ	Facegram	Emotrics
Publikation	1997	2012	2018
Entwickler	National Institutes of Health Laboratory for optical and computational Instrumentation (LOCI, University of Wisconsin)	Facial Nerve Center, Massachusetts Eye and Ear Infirmary (Boston, Massachusetts USA).	Diego L. Guarin, PhD. Facial Nerve Centre Boston, MA, USA, Harvard Medical School
Zweck	<ul style="list-style-type: none"> - Bildbearbeitung und -verarbeitung für medizinische und wissenschaftliche Bildanalyse - Speziell für die biologische Bildanalyse entwickelt 	<ul style="list-style-type: none"> - Genaue Gesichts 3D Analyse mittels RGB-D (rot/grün/blau-tiefen) Kameras - Bestimmung von Gesichtsdimensionen, Proportionen und Winkeln möglich - Insbesondere für die rekonstruktive plastische Chirurgie entwickelt 	<ul style="list-style-type: none"> - Erleichterung der Gesichtsvermessung bei 2D Aufnahmen - Verringerung der Subjektivität bei der Bewertung von Fazialisparese Patienten
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Open-Source-Software - Seit 23 Jahren konstant und bewährt in Gebrauch - Unbegrenzt individuell durch Plugins und Makros erweiterbar - Nicht auf eine Fachrichtung limitiert - Hohe Genauigkeit bei Strecken und Winkelberechnung 	<ul style="list-style-type: none"> - Open-Source-Software - Erfassung der Statischen als auch der dynamischen Komponente - Objektive Charakterisierung von Gesichtsbewegungen in 3D Format - Bewertung von Symmetrie in Ruhe und Bewegungsausführungen - Beurteilung der Bewegungskoordination - Direkter Seitenvergleich möglich - Videoanalyse verringert anthropogene Fehlerquellen 	<ul style="list-style-type: none"> - Open-Source-Software - Möglichkeit des Seitenvergleichs - Möglichkeit des direkten Vergleichs zweier Aufnahmen - Bewertung des Therapieerfolgs unmittelbar einsehbar - Importierbarkeit schon gespeicherter Landmarken - Sehr schneller Arbeitsprozess (Durchschnittliche Analyse in weniger als 5sec)

	ImageJ	Facegram	Emotrics
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Spezifizierung für medizinische Zwecke - Bei der Gesichtsanalyse findet keine automatische Landmarkensetzung statt - Parameter müssen für den Seitenvergleich erneut individuell berechnet werden - Manuelle Skalierung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Notwendigkeit von teurem Equipment (RGB-D Kameras) - Erhöhter Zeitaufwand im direkten Vergleich zu Emotrics - Komplexität 	<ul style="list-style-type: none"> - Korrektur der Landmarken bei Gesichtern die von der Norm abweichen notwendig - Original Database wurde mit Patienten ohne Fazialisparese erstellt - Akkuratessse von der Bildqualität abhängig - Nur Bildmaterial in Frontalansicht möglich - Parameter Analyse lediglich von vorbestimmten Strecken möglich
Aufbau	<ul style="list-style-type: none"> - Java basiertes Programm - Funktionsleiste - Nach Bedarf erweiterbar - Grundeinstellung geben die Möglichkeit zur Berechnung von: <ul style="list-style-type: none"> - Flächeninhalt - Streckenvermessung - Winkelberechnung - Farbanalyse 	<ul style="list-style-type: none"> - Java basiertes Programm - 3 Informationsblocks: <ul style="list-style-type: none"> - Personeninformationen - Statische Analyse - Dynamische Analyse - 5 Messungszeitpunkte <ul style="list-style-type: none"> (T0) Start der Aufnahme (T1) Start der Kontraktion (T2) Ende der Kontraktion (T3) Start der Relaxation (T4) Ende der Relaxation (T5) Ende der Aufnahme 	<ul style="list-style-type: none"> - Python basiertes Programm - Automatisches Setzen von 68 Landmarken anhand anatomisch prägnanter Punkte - Automatische Streckenskalierung anhand des entweder zuvor individuell bestimmten oder des durchschnittlichen Irisdurchmessers von 11.77mm - Euklidische Analyse der linken und rechten Gesichtshälfte - Absolute und prozentuale Unterschiedsmessung <ul style="list-style-type: none"> Dabei Berechnung von: <ul style="list-style-type: none"> - Augenbrauenhöhe - Marginale Reflexdistanz - Öffnung der Lidspalte - Orale Kommissur Exkursion und Höhe - Lachwinkel - Zähne zeigen - Höhendifferenz von Ober- und Unterlippe

Tabelle 5: Vergleich zwischen Computer-Programmen, die zur medizinischen Gesichtsanalyse verwendet werden (Rueden et al. 2017, Schneider et al. 2012, Gerós et al. 2016, Holtmann et al. 2017, Guarin et al. 2018, Greene et al. 2019)

1.7. Elektrostimulation

Die Elektrostimulation wird seit über 60 Jahren als eine der Behandlungsmethoden eingesetzt um Gesichtsfunktionen zu verbessern und Folgeerscheinungen einer Parese zu minimieren (Mosforth et al. 1958). In einer Vergleichsstudie von Fargher et al. aus dem Jahr 2017 wurden insgesamt fünf Studien miteinander verglichen, die sich mit der Effektivität einer Anwendung von Elektrostimulation im Zusammenhang einer Rehabilitation bei Fazialisparalyse beschäftigten. Dabei konnten keine statistisch nachweisbaren positiven Wirkungen bei akuten Paresen und nur schwache Hinweise einer Wirkung bei chronischen Paresen aufgezeigt werden (Fargher et al. 2017).

Der Hauptvorbehalt gegen eine breite Anwendung der elektrischen Stimulation zur Behandlung von Fazialispareesen war die Vorstellung, dass es schwierig oder sogar unmöglich ist, eine Kombination von Parametern zu finden, die eine selektive Stimulation durch Oberflächenelektroden ermöglichen. Allerdings konnte in aktuellen Studien festgestellt werden, dass die Anwendung neuerer Konzepte der Elektrostimulation denervierter Muskeln in einem frühen Stadium nach Beginn der Läsion des Gesichtsnervs eine sichere und selektive Elektrostimulation ermöglicht (Kurz et al. 2022).

Diesbezüglich konnte ermittelt werden, dass dazu in der frühen Phase der Gesichtslähmung die elektrische Stimulation der denervierten Gesichtsmuskeln mit Impulslängen von 50-200 ms optimal zu sein scheint. Gleichzeitig wird die Verwendung von Dreiecksimpulsen anstelle von Rechteckimpulsen empfohlen (Kurz et al. 2022).

Die funktionelle Elektrostimulation ist somit momentan dabei, sich in der Behandlung von Fazialispareesen zu etablieren (Kurz et al. 2022, Repitsch et al. 2021).

Lange Zeit wurde ihr Potenzial nicht ausgeschöpft, da man zusätzlich fälschlicherweise davon ausgegangen ist, dass die Anwendung im Gesicht z.B. Synkinesien fördern würde oder eine Reinnervation erschweren könne (Repitsch et al. 2021).

Vergleichbar zu den Patienten der vorliegenden Studie, konnte bereits bei Patienten mit komplett denervierten mimischen Muskeln nachgewiesen werden, dass eine Oberflächen-Elektrostimulation die Reinnervation nicht verzögert oder verhindert, noch funktionelle Ergebnisse beeinträchtigt (Puls et al. 2019). Insbesondere die Anwendung niederfrequenter funktioneller Elektrostimulation zeigten bereits

signifikante Verbesserungen der willkürlichen Bewegungen, vor allem des M. zygomaticus (Marotta et al. 2020). Positive Effekte durch mechanische Stimulation auch nach operativer Nervenrekonstruktion wie einer neuromuskulären Ersatzoperation konnten beispielsweise für Ratten bereits nachgewiesen werden (Angelov et al. 2007).

Ein Vorteil der Elektrostimulation ist zudem die Möglichkeit der selbstständigen Anwendung in der Heimtherapie, welcher in der vorliegenden Studie genutzt wurde. Als Grundvoraussetzung gelten hierbei jedoch eine hohe Motivation des Patienten sowie gute Compliance und kognitive Voraussetzungen, um das Gerät und den Trainingsplan im alltäglichen Leben korrekt anzuwenden.

Um anschließend eine Aussage über die Effektivität der Elektrostimulation treffen zu können, ist ein wiederholtes Grading im Therapieverlauf sinnvoll. Das Grading sollte im Verlauf der Dokumentation des Patienten so erfolgen, das potentielle Wirkungen nachweisbar auf die Elektrostimulationstherapie zurückzuführen sind. Dies ist möglich, indem innerhalb eines kurzen Zeitintervalls jeweils vor und nach Anwendung der Elektrostimulation ein Grading erfolgt. Treten Veränderungen im Verlauf einer Dokumentationsreihe über einen längeren Zeitraum auf, so könnte dies auch auf die Reinnervation zurückzuführen sein. Des Weiteren wird ein Instrument zur wiederholten Messung benötigt, um Therapieeffekte richtig erfassen zu können. So müssen auch die Parameter für den Nachweis einer Effektivität am besten vorab festgelegt werden und auch, welche Veränderung als Besserung angesehen wird.

In einer Studie von Chu et al. aus dem Jahr 2011 wurde der Grad der Gesichtsasymmetrie untersucht, der erforderlich ist, um eine bewusste Wahrnehmung beim Beobachter in einem simulierten Modell der Gesichtslähmung auszulösen. Dazu wurde ein Modell der einseitigen Gesichtslähmung mit dem Gesicht eines Teilnehmers ohne Gesichtslähmung erstellt. Anschließend wurde eine fortschreitende Asymmetrie der Augenbrauen, der Mundwinkel und der Kombination aus Augenbrauen und Mundwinkel erzeugt, die auf den typischen Folgen einer Gesichtslähmung basiert. Die Untersuchungen ergaben, dass die visuelle Wahrnehmungsschwelle für eine Vergrößerung und damit Verschlechterung der oralen Kommissurasymmetrie auf mindestens 3 mm festgelegt ist (Chu et al. 2011). Allerdings können bereits wenigen Millimetern ein großer Stellenwert in der Interpretation des Therapieverlaufes zugesprochen werden. Folglich ist es unbedingt notwendig, bei dem wiederholten

Grading Computer-Programme wie Emotrics zu verwenden, das mit Hilfe einer euklidischen Analyse auch kleinste Veränderungen korrekt erfassen können.

2. Ziele der Arbeit

Die vorliegende Dissertation bearbeitet Forschungsfragen, die auf vorangegangenen Studien am Universitätsklinikums Jena aufbauen. Diese Vorarbeiten werden im Folgenden kurz zusammengefasst: In der Dissertation von Benjamin Rödiger wurden Patienten, welche zwischen 2013 und 2016 im Universitätsklinikum Jena wegen einer chronischen Fazialisparese mit Defektheilung mit einem konservativen Training behandelt wurden, mit Hilfe der gängigsten Fazialen Grading Systeme (Stennert-Parese-Index, House-Brackmann Grading System, Facial Nerve Grading System 2.0, Sunnybrook Facial Grading System) ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass mittels SFGS die größten Effektstärken nachgewiesen und die umfangreichsten Verlaufsbeobachtungen gemacht werden konnten (Rödiger 2021).

In der darauffolgenden noch nicht abgeschlossenen Promotion von Juliane Halbmayr wurden diese Gradingssysteme um den eFACE erweitert. Es wurden nicht nur Patienten mit Synkinesien vor und nach dem Training bewertet, sondern auch wie in dieser Dissertation Patienten mit kompletter Fazialisparalyse während der Denervierung bis zur Reinnervation unter Elektrostimulation. Zur Beurteilung eines Therapieerfolgs wurden die Ergebnisse ebenfalls anhand der Patientengruppe der vorliegenden Arbeit evaluiert. Dabei fiel das Augenmerk auf deren Skalierung, Vergleichbarkeit und Resultate zwischen unabhängigen Untersuchern. Dies führte zum Ergebnis, dass die Interbeobachterreliabilität des Sunnybrook Facial Grading Systems deutlich dem des HB-Systems überlegen ist. Zudem war die Übereinstimmung zwischen der SFGS und dem neueren eFACE sehr hoch (Halbmayr 2022).

Aufgrund der Feststellung, dass mit der SFGS die größten Effektstärken nachgewiesen und die umfangreichsten Verlaufsbeobachtungen gemacht werden konnten, wurde für die vorliegende Arbeit das SFGS als expertenbasiertes Bewertungsschemata für die Forschungsfrage ausgewählt. Durch den Nachweis der hohen Übereinstimmung zwischen der SFGS und der eFACE, sowie die Möglichkeit einer feineren Bewertungsabstufung eignete sich die eFACE hervorragend als weiteres subjektives Bewertungsschemata.

Die Limitationen der beiden vorrausgehenden Studien lagen darin, dass der Fokus der Betrachtung lediglich auf der Evaluation von subjektiven Bewertungsschemata lag. Durch das steigende Forschungsinteresse an der Weiterentwicklung objektiverer

Quantifizierungs-Verfahren, stand im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit nun, expertenbasierte Ergebnisse mit einer euklidischen Quantifizierung zu vergleichen. Dabei stellte sich die zentrale Frage, inwiefern sich eine expertenbasierte Bewertung mit Hilfe der eFACE gegenüber einer euklidischen Analyse durch Emotrics unterscheidet.

Des Weiteren wurden die Vor- und Nachteile eines euklidischen Verfahrens im Vergleich zur Bewertung mit Hilfe der Fazialen Grading Systeme (SFGS und eFACE) untersucht.

Dafür wurden die Fotoserien von fünf Patienten mit einer initialen kompletten Fazialisparalyse herangezogen. In einer vorrausgehenden Studie des Universitätsklinikums Jena konnte bei diesen fünf Patienten die initiale komplette Fazialisparalyse mit Hilfe von Nadel-EMG-Untersuchungen nachgewiesen werden. Die Patienten führten eine tägliche Oberflächen-Elektrostimulation zur Minimierung der Muskelatrophie durch. Bei 4 von 5 Patienten kam es zu einer Reinnervation der Muskulatur während bei einem Patienten im gesamten Nachuntersuchungszeitraum keine Reinnervation nachgewiesen werden konnte. Die Patienten wurden von 2016 bis 2019 über einen Zeitraum von einem Jahr alle vier Wochen standardisiert fotografiert.

Der Vergleich der Veränderungen erfolgte mit Hilfe der Bewertungsschemata eFACE, SFGS und eines euklidischen Verfahrens durch eine Analyse mit Hilfe von Emotrics. Neben dem Methoden-Vergleich der verschiedenen Bewertungssysteme sollte im Rahmen dieser Arbeit auch nach objektiven Erfolgsparametern der Behandlung einer täglichen heimisch durchgeführten Oberflächen-Exponentialstromtherapie gesucht werden. Dabei stellte sich die Frage, ob die Elektrostimulation zu einer messbaren Verbesserung der mimischen Funktion und damit eine Aufrechterhaltung des Muskeltonus begünstigen sowie einer Muskelatrophie entgegenwirken kann.

3. Material und Methoden

Für die Durchführung der Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena vor (Bearbeitungs-Nr.: 5505-03/18). Es lag ein schriftliches Einverständnis aller Patienten vor.

3.1. Patientenkollektiv

Im Rahmen der Studie wurden fünf Patienten ausgewählt, bei denen in einer vorrausgehenden Studie des Universitätsklinikums Jena mit Hilfe von Nadel-EMG-Untersuchungen eine periphere Fazialisparalyse nachgewiesen wurde. Das Alter der Patienten lag zwischen 28 und 59 Jahren (Mittelwert \pm Standardabweichung: 43 ± 13 Jahre). Dabei konnten während der Studiennachbeobachtungen von 12 Monaten bei 4 der 5 Patienten synkinetische Reinnervationszeichen (SR) mittels Nadel-Elektromyographie (n-EMG) festgestellt werden, während bei Patientin 003 im gesamten Nachuntersuchungszeitraum keine Reinnervation nachgewiesen werden konnte (Arnold et al. 2021).

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Dauer der Paralyse zum Zeitpunkt der EMG-Untersuchung sowie die festgestellten synkinetische Reinnervationszeichen.

Patienten-ID	Dauer der Fazialisparese bei Studieneinschluss	SR-nEMG Zeit
001	15 Tage	6 Monate
002	28 Tage	12 Monate
003	16 Jahre, 2 Monate	-
004	5 Jahre, 11 Monate	8 Monate
005	3 Monate, 24 Tage	12 Monate

Tabelle 6: Dauer der Paralyse zum Zeitpunkt der EMG-Untersuchung sowie Zeitpunkt der ersten festgestellten synkinetischen Reinnervationszeichen nach Arnold et al. 2021; SR-nEMG Zeit: Zeitpunkt während der Studiennachbeobachtung, an dem synkinetische Reinnervationszeichen (SR) mittels Nadel-Elektromyographie (n-EMG) festgestellt wurden

Im Folgenden wird die Krankheitsgeschichte der einzelnen Patienten vorgestellt.

Patientin 001 (Alter zu Beginn der Elektrostimulations-Studie: 36 Jahre):

Die periphere Fazialisparalyse der rechten Seite trat infolge einer Exstirpation eines rechtsseitigen Fazialis-Schwannoms 14 Tage vor Beginn der Elektrostimulationstherapie auf (Abb. 3).



Abbildung 3: Patientin 001 mit peripherer Fazialisparalyse der rechten Seite zu Beginn der Elektrostimulations-Studie

Das Fazialis-Schwannom wurde im Rahmen einer Parotidektomie, einer partiellen Mastoidektomie rechts zur intramastoidalen Fazialis-Dekompression sowie durch Rekonstruktion des N. facialis mit Interponat aus dem N. auricularis magnus mit End-zu-End-Nähten entfernt. Um einen suffizienten passiven Lidschluss im Anschluss an die Operation und der darauffolgenden Lähmung der mimischen Muskulatur der rechten Gesichtshälfte zu gewährleisten, wurde ein Oberlidimplantat rechts eingesetzt. Die Patientin wurde anschließend in die Studie aufgenommen. Es erfolgte über 12 Monate die zweimal tägliche Elektrostimulation. Nach 84 Tagen zeigten sich im Nadel-EMG erste Reinnervationszeichen. Nach 238 Tagen kam es zu deutlichen Willkürbewegungen. Die Elektrostimulation wurde nach 525 Tagen beendet. Der letzte im Rahmen dieser Arbeit ausgewertete Foto-Termin fand 364 Tage nach Beginn der Paralyse und 350 Tage nach Beginn der Elektrostimulation statt.

Patientin 002 (Alter zu Beginn der Elektrostimulations-Studie: 28 Jahre):

Aufgrund eines Vestibularisschwannoms (WHO° I) im Kleinhirnbrückenwinkel rechts wurde 41 Tage vor Beginn der Elektrostimulationstherapie eine Tumorexstirpation über einen retrosigmoidalen Zugang durchgeführt, die eine postoperative periphere Fazialisparalyse rechts zur Folge hatte (Abb. 4).

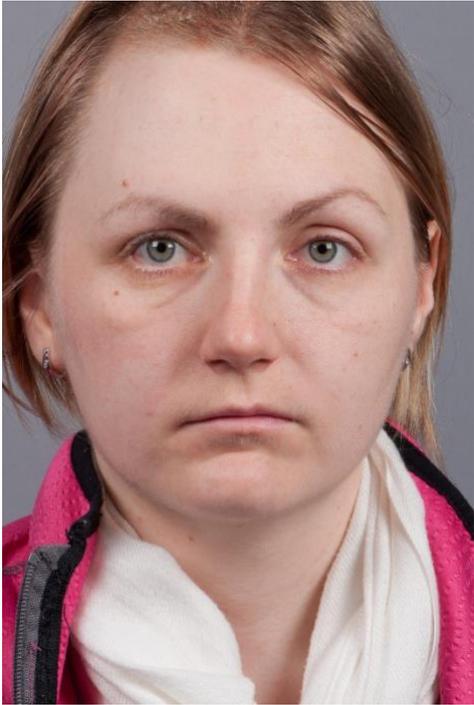


Abbildung 4: Patientin 002 mit peripherer Fazialisparalyse der rechten Seite zu Beginn der Elektrostimulations-Studie

Einen Monat später wurde auch dieser Patientin ein Oberlidgewicht implantiert. Die Patientin wurde daraufhin in die Studie aufgenommen. 248 Tage nach Beginn der Elektrostimulation fand eine Fazialis-Hypoglossus-Nervennaht rechts mit hypoglossalem Split und Anschluss der kranialen Hälfte des Nervus hypoglossus an den Nervus facialis statt. Es erfolgte über elf Monate die zweimal tägliche Elektrostimulation. Nach 252 Tagen zeigten sich im Nadel-EMG erste Reinnervationszeichen. Die Elektrostimulation wurde nach 441 Tagen beendet. Der letzte im Rahmen dieser Arbeit ausgewertete Foto-Termin fand 293 Tage nach Beginn der Paralyse und 350 Tage nach Beginn der Elektrostimulation statt.

Patientin 003 (Alter zu Beginn der Elektrostimulations-Studie: 37 Jahre):

Die periphere Fazialisparalyse dieser Patientin bestand seit der Resektion eines Felsenbeinmeningeoms rechts über eine retromastoidale Kraniotomie 16 Jahre vor Aufnahme in die Studie (Abb. 5).



Abbildung 5: Patientin 003 mit peripherer Fazialisparalyse der rechten Seite zu Beginn der Elektrostimulations-Studie

Aufgrund eines Rezidivs wurde die Patientin ein Jahr darauf folgend erneut operiert und unterzog sich 4 Monate später einer stereotaktischen Bestrahlung. 9 Jahre vor Aufnahme in die vorliegende Studie wurde eine Muskel-Faszien-Plastik nach Lexer-Rosenthal rechts durchgeführt. Es erfolgte über 12 Monate die zweimal tägliche Elektrostimulation. Es zeigten sich im Laufe der Dokumentationsreihe keine Anzeichen einer Reinnervation. Die Elektrostimulation wurde nach 364 Tagen beendet. Der letzte im Rahmen dieser Arbeit ausgewertete Foto-Termin fand 9 Jahre nach Beginn der Paralyse und 336 Tage nach Beginn der Elektrostimulation statt.

Patient 004 (Alter zu Beginn der Elektrostimulations-Studie: 59 Jahre):

Dieser Patient litt bereits seit 6 Jahren vor Aufnahme in die Studie an einer linksseitigen, langsam progredient verlaufenden peripheren Fazialisparalyse aufgrund eines Neurinoms des N. facialis (Abb. 6).



Abbildung 6: Patient 004 mit peripherer Fazialisparalyse der linken Seite zu Beginn der Elektrostimulations-Studie

37 Tage vor Aufnahme in die Studie wurde eine Mastoidektomie links mit Freilegung des Fazialiskanals und Nervendekompression sowie eine Nervenrekonstruktion mit dem N. auricularis magnus durchgeführt. Angesichts der fehlenden Reinnervation trotz der Nervenrekonstruktion wurde 575 Tage nach Aufnahme in die Studie eine Hypoglossus-Fazialis-Jump-Nervennaht vollzogen. Es erfolgte über 32 Monate die 2x tägliche Elektrostimulation. Nach 805 Tagen zeigten sich im Nadel-EMG erste Reinnervationszeichen. Die Elektrostimulation wurde nach 987 Tagen beendet. Der letzte im Rahmen dieser Arbeit ausgewertete Foto-Termin fand 7 Jahre nach Beginn der Paralyse und 805 Tage nach Beginn der Elektrostimulation statt.

Patientin 005 (Alter zu Beginn der Elektrostimulations-Studie: 53):

Patientin 005 litt seit 109 Tagen vor Aufnahme in die Studie infolge einer mikrochirurgischen Tumorexstirpation eines Vestibularisschwannoms links über einen retromastoidalen Zugang an einer peripheren Fazialisparalyse (Abb. 7).



Abbildung 7: Patient 004 mit peripherer Fazialisparalyse der linken Seite zu Beginn der Elektrostimulations-Studie

Am Folgetag wurde eine externe Ventrikeldrainage über eine rechts präcoronare Bohrlochtrepanation angelegt. Die Patientin erhielt drei Monate vor Studienbeginn ein Oberlidimplantat, welches nach wiederholter Revision bei Wundheilungsstörungen 14 Monate nach Studienbeginn explantiert wurde. Es erfolgte über 11 Monate die 2x tägliche Elektrostimulation. Nach 147 Tagen zeigten sich im Nadel-EMG erste Reinnervationszeichen. Nach 182 Tagen kam es zu deutlichen Willkürbewegungen. Die Elektrostimulation wurde nach 364 Tagen beendet. Der letzte im Rahmen dieser Arbeit ausgewertete Foto-Termin fand 431 Tage nach Beginn der Paralyse und 322 Tage nach Beginn der Elektrostimulation statt.

Tabelle 6 fasst alle relevanten Informationen der Patienten zusammen.

Patient ID	Geschlecht	Alter	Betroffene Seite	Aufnahmetage	Ätiologie der Parese	Zeit der Denervierung vor Elektrostimulation	Nervenrekonstruktion
001	w	36	Rechts	10	Tumorexstirpation Fazialis schwannom	14 Tage	Rekonstruktion mit Interponat aus dem N. auricularis magnus
002	w	28	Rechts	14	Tumorexstirpation Vestibularis schwannom	41 Tage	Hypoglossus-Fazialis- - Anastomose rechts mit hypoglossalem Split
003	w	37	Rechts	11	Resektion Felsenbein- meningeom	16 Jahre, 2 Monate	Muskel- Fazien- Plastik nach Lexer- Rosenthal
004	m	59	Links	17	Mastoidektomie Neurinom N. fazialis	37 Tage	Nervenrekonstruktion mit N. auricularis magnus Hypoglossus-Fazialis-Jump-Anastomose
005	w	53	Links	12	Tumorexstirpation Vestibularis schwannom	109 Tage	-

Tabelle 6: Übersicht über die Patienten der vorliegenden Studie

3.2. Elektrostimulation

Während des Zeitraums der Studie verwendeten die Patienten das Reizstromtherapiegerät Stimulette r2x (Abb.8) (Schuhfried, Wien, Österreich) zur Anwendung zuhause. Vor dem Start der Studie wurde im Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena die optimale Einstellung für den Gebrauch des Gerätes auf allen vier Programmen des Stimulettes gespeichert (biphasische Stimulation in

dreieckiger Wellenform, 5 Sekunden Stimulationsdauer, 1 Sekunde Pulspause). Dies sollte verhindern, dass die Patienten versehentlich eine andere Einstellung wählten.

Die Patienten erhielten eine ausführliche Instruktion wie sie die 2 selbstklebenden Oberflächenelektroden vor dem Spiegel im Bereich des M. zygomaticus major auf der Haut anzubringen (Abb. 8) und sie mit dem Stimulette zu verbinden haben (40x60 mm Flextrode Plus; Krauth + Timmermann, Hamburg, Deutschland). Die Einstellungsparameter sowie die Position für die Anbringung der Elektroden wurden während der monatlichen Folgetermine kontrolliert und bei Bedarf mithilfe der Rückmeldung des Patienten angepasst, um eine effektive Stimulation zu gewährleisten.

Jeden Tag sollte zweimal (morgens und abends) für jeweils drei mal fünf Minuten stimuliert werden. Zwischen den drei Einheiten musste eine Pause von fünf Minuten eingehalten werden, womit die gesamte Dauer des Heimtrainings inklusive der zwei Pausen 25 Minuten betrug. Um die Verwendung des Stimulators zu dokumentieren, führten die Patienten ein Tagebuch.



Abbildung 8: Anbringen der Oberflächenelektroden des Reizstromtherapiegerätes Stimulette r2x anhand eines Beispielpatienten

3.3. Messverfahren und -instrumente

3.3.1. Sunnybrook Facial Grading System (SFGS)

Das SFGS wurde 1996 von Ross et al. in Kanada entwickelt mit dem Ziel, ein Bewertungssystem zu etablieren, das einfach zu verwalten und gleichzeitig sensitiv genug ist, um zeitliche Veränderungen feststellen zu können.

Bewertet werden neben der Symmetrie in Ruhe auch die dynamische Komponente, sowie regional spezifische Synkinesie (Ross et al. 1996).

Die Bewertung mit Hilfe des SFGS erlaubt spezifische Aussagen über die Funktion einzelner Gesichtsregionen (Fattah et al. 2015). Dabei werden drei Oberkategorien unterschieden, welche einzeln auf einer Punktskala bewertet werden können: „Ruhesymmetrie“, „Symmetrie bei willentlichen Bewegungen“ sowie „Synkinesien“ (Abb. 9). Die Ruhesymmetrie beurteilt die Lidspalte, Nasolabialfalte und Mundwinkel. In der Kategorie „Symmetrie bei willentlichen Bewegungen“ werden die Gesichtsregionen mithilfe von fünf mimischen Standardbewegungen (Augenbrauen heben, dezenter Augenschluss, mit geöffnetem Mund lächeln, Zähne zeigen und Lippen spitzen) analysiert. Die dritte Kategorie „Synkinesie“ erfasst unwillkürliche Muskelbewegungen spezifisch pro Gesichtsregion.

Der SFGS-Gesamtscore reicht von den Punktwerten 0 bis 100. 0 Punkte entsprechen einer totalen Paralyse wohingegen ein Punktwert von 100 einer normalen physiologischen Fazialisfunktion entspricht.

Symmetrie in Ruhe	Symmetrie bei willentlichen Bewegungen	Synkinese
verglichen mit normaler Seite Auge (nur eins wählen) normal 0 eng 1 weit 1 Oberlidoperation 1 Wange (Nasolabialfalte) normal 0 fehlt 2 weniger ausgeprägt 1 mehr ausgeprägt 1 Mund normal 0 Mundwinkel hängend 1 Mundwinkel hoch- / seitwärts gezogen 1 gesamt <input type="checkbox"/> Ruhe-Symmetrie-gesamt x 5 score <input type="checkbox"/> Patientenname _____ Diagnose _____ Datum _____	Grad des Muskelbewegungsumfanges verglichen mit gesunder Seite übliche Gesichtsausdrucksformen unfähig, Bewegung auszuführen / keine Bewegung führt geringe Bewegung aus führt Bewegung mit schwachem Bewegungsumfang aus Bewegung fast vollständig Bewegung vollständig Augenbrauen heben (FRO = M. frontalis) 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> dezenter Augenschluss (OCS = M. orbicularis oculi) 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> mit geöffnetem Mund lächeln (ZYG/RIS = M. zygomaticus, M. risorius) 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> Zähne zeigen (LLA/LLS, z.B. M. levator labii superior) 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> Lippen spitzen (OOS/OOI, z.B. M. orbicularis oris) 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> schwache Asymmetrie schwere Asymmetrie moderate Asymmetrie schwache Asymmetrie normale Symmetrie gesamt <input type="checkbox"/> Score willentliche Bewegungen: gesamt x 4 <input type="checkbox"/> Score will. Beweg. <input type="checkbox"/> = Ruhe-Symmetriescore <input type="checkbox"/> = Synk score <input type="checkbox"/> = Summenscore <input type="checkbox"/>	Ausprägung des Grades der unwillkürlichen Muskelkontraktionen, assoziiert mit jeder Miene nicht: keine Synkinese oder Massenbewegung schwach: geringe Synkinese moderat: offensichtliche aber nicht entstellende Synkinese schwer: entstellende Synkinese / Massenbewegung verschiedener Muskeln 0 1 2 3 <input type="checkbox"/> 0 1 2 3 <input type="checkbox"/> 0 1 2 3 <input type="checkbox"/> 0 1 2 3 <input type="checkbox"/> Synkinesescore: gesamt <input type="checkbox"/> Score will. Beweg. <input type="checkbox"/> = Ruhe-Symmetriescore <input type="checkbox"/> = Synk score <input type="checkbox"/> = Summenscore <input type="checkbox"/>

Abbildung 9: Einstellungsparameter des SFGS (Kecskés 2012)

Mithilfe der Items des SFGS ist es möglich die gleichen Bewegungen zu beschreiben wie mit den Items des eFACE, wodurch ein direkter Vergleich der beiden Grading Systeme möglich ist.

3.3.2. Electronic clinician-graded facial function Scale (eFACE)

Die electronic, clinician-graded facial function scale (eFACE) wurde 2015 von Banks et al. an der Harvard Medical School in Boston entwickelt.

Die Intention der Entwicklung bestand darin, die Subjektivität der Beurteilung von Gesichtsästhetik, sowie den Schweregrad der mit der Quantifizierung fazialer Funktionen einhergeht, zu minimieren. Dabei wurde ein Bewertungsschema entwickelt, das eine umfassende Möglichkeit bietet die unterschiedlichen Areale des Gesichtes unabhängig voneinander bewerten zu können und über die Erstellung von Gesamtscores und anschaulichen Grafiken einen Überblick über den Grad der Erkrankung zu erhalten.

Die Skala besteht aus insgesamt 16 Skalen mittels deren über drei Kategorien die Statik, Dynamik und synkinetische Bewegung betrachtet werden kann. 0 Punkte entsprechen einer erschlafte bzw. atrophierten mimischen Muskulatur und

Bindegewebe und damit Malposition der Statik, einer totalen Abstinenz der Dynamik, sowie einer extremen Synkinesie. 100 Punkte sind als gesund definiert. Einige der Skalen können über den Punktwert von 100 hinaus bis 200 gehen und zeigen damit z.B. statt einer hängenden Augenbraue eine pathologisch erhöhte Augenbraue (Abb. 10).

Category	Parameter no.	Parameter name	Parameter range
Static	R1	Resting brow height	0–200
	R2	Resting palpebral fissure width	0–200
	R3	Nasolabial fold depth at rest	0–200
	R4	Nasolabial fold orientation at rest	0–200
	R5	Oral commissure position at rest	0–200
Dynamic	M1	Brow elevation	0–100
	M2	Palpebral fissure narrowing during gentle eye closure	0–100
	M3	Palpebral fissure narrowing during full eye closure	0–100
	M4	Oral commissure movement with smile	0–100
	M5	Nasolabial fold depth with smile	0–200
	M6	Nasolabial fold orientation with smile	0–200
	M7	Lower lip movement with 'EEEE' sound	0–100
Synkinesis	S1	Ocular synkinesis	0–100
	S2	Midfacial synkinesis	0–100
	S3	Mentalis dimpling	0–100
	S4	Platysmal synkinesis	0–100

Abbildung 10: Einstellungsparameter der electronic, clinician graded facial function scale [eFACE] (Banks et al. 2015)

Durch die 2015 vom Massachusetts Eye and Ear Hospital veröffentlichte elektronisch digitale Software, ist eine Benutzung über Apple Smartphones, Tablets und Computer möglich. Die App „The eFACE“ kann im Applestore kostenpflichtig erworben werden und ist nur mit Apple Produkten kompatibel (Banks et al. 2015).

Die Fotoserien in dieser Studie wurden nicht über die kostenpflichtige App bewertet, sondern aus Praktikabilitätsgründen genauso wie das Sunnybrook Facial Grading System in seiner Funktion und Auswahlmöglichkeiten in das Programm JAuto-eFACE

integriert. So war eine effiziente und vergleichbare Bewertung mit den beiden Bewertungssystemen möglich, ohne zwischen verschiedenen Programmen oder gar Papier- und Digital-Dokumentationen wechseln zu müssen.

3.3.3. Emotrics

In den vergangenen Jahren wurden einige Programme entwickelt, die Ansätze der Künstlichen Intelligenz nutzen und durch eine große Anzahl an Gesichtsanalysen trainiert wurden und somit die automatische Lokalisation von Landmarkensetzung im Gesicht ermöglichten (Burras 1999, Bradtmiller et al. 2004).

Emotrics wurde 2018 am Fazialisnerv Zentrum der Harvard Medical School von Diego Guarin mit der Absicht entwickelt, die technischen Möglichkeiten solcher Programme zu erweitern und gleichzeitig als kostenlose Verwendung mit Lizenz zur Verfügung zu stehen.

Verwendet werden können ausschließlich Fotoaufnahmen in Frontalansicht. Das Programm setzt automatisch in 2D Aufnahmen insgesamt 68 anatomische Landmarken.

Durch Pixelskalierung anhand des durchschnittlichen Iris-Durchmessers von 11,77 mm führt das Programm selbstständig eine pseudometrische Analyse des Gesichtes mit gleichzeitigem Seitenvergleich durch. Alternativ ist es auch möglich, den individuellen Iris-Durchmesser jedes Patienten zu bestimmen und als Referenzwert zu hinterlegen, um einen möglichen interindividuellen Fehler weiter zu minimieren. Darauf wurde im Rahmen dieser Studie aber verzichtet, da das Augenmerk auf den longitudinalen Veränderungen innerhalb des einzelnen Patienten lag.

Abbildung 11 zeigt die Benutzeroberfläche von Emotrics.

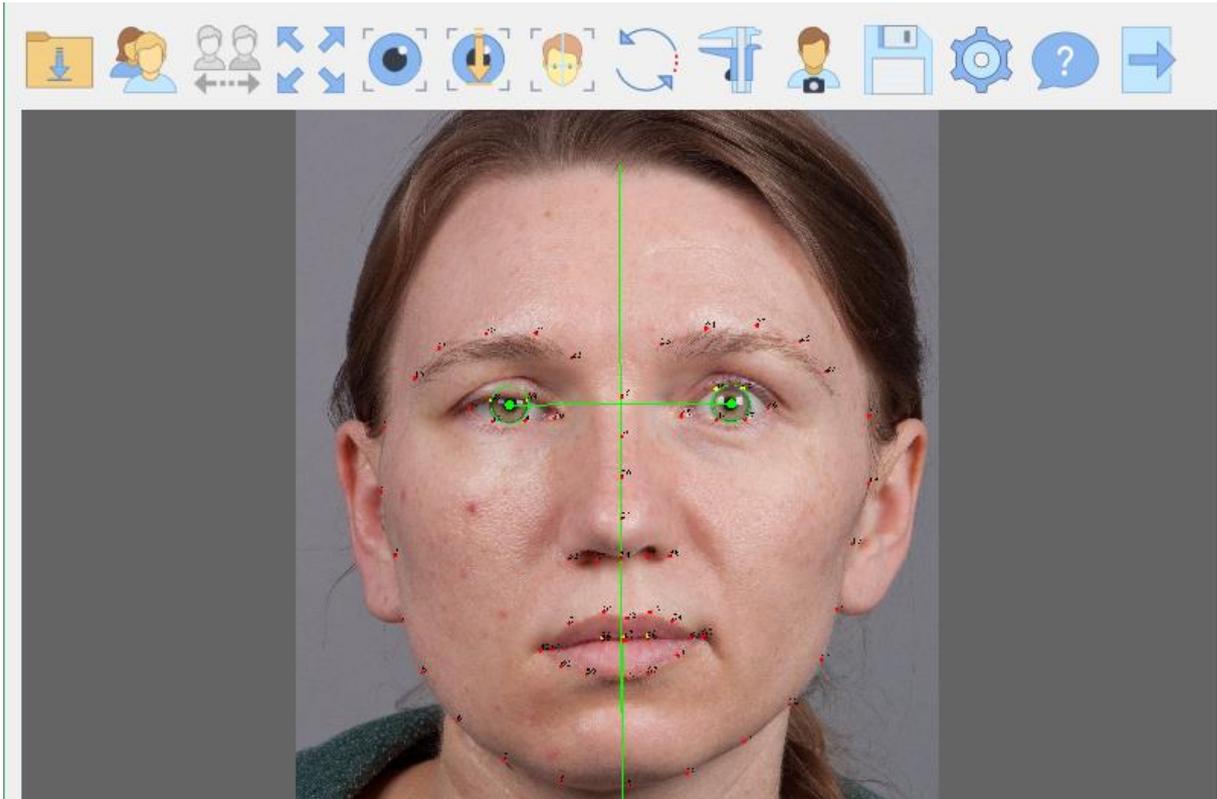


Abbildung 11: Die Benutzeroberfläche von Emotrics: Insgesamt werden 68 Landmarken (rot) automatisiert gesetzt. Durch die mittlere Distanzberechnung zwischen den Pupillen beider Augen wird automatisiert eine Gesichtsmittellinie (Grün) senkrecht dazu angelegt.

3.3.4. JAuto-eFACE

Um die Fazialisparalyse möglichst genau analysieren zu können, ist es sinnvoll eine Software zu verwenden, die expertenbasierte als auch euklidische Messverfahren in einem Interface vereint. Inspiriert durch den Wunsch, Experten-Bewertungen und euklidische Vermessungen von Fotoserien von Patienten mit Fazialisparese in einem Computerprogramm zeiteffizient durchführen zu können, wurde von Oliver Mothes am Universitätsklinikum Jena Auto-eFACE zu JAuto-eFACE weiterentwickelt (Raj et al. 2020).

JAuto-eFACE bietet die Möglichkeit über die House-Brackmann Grading Skala (House et al 1985), die Sunnybrook Facial Grading System (Ross et al. 1996) als auch die verhältnismäßig neue electronic, clinician graded facial function scale (eFACE) (Banks et al. 2015) als bewährte Grading Systeme, eine Bewertung vorzunehmen. Als Bildanalyse Programm eignet sich das an der Harvard Medical School entwickelte Programm Emotrics, dass als Kernelement des Programms übernommen wurde. Dieses erlaubt eine euklidische Vermessung bzw. mithilfe der Kalibrierung über den Pupillendurchmesser sogar eine geschätzte pseudometrische Vermessung.

Die Limitation beim automatischen Setzen der Landmarken bei der ursprünglichen Version von Emotrics ist es, dass die Software lediglich mit einer Datenbasis gesunder Probanden trainiert wurde (Sagonas et al. 2013).

Sie ist somit prädestiniert für Fehler bei Patienten mit starker Asymmetrie des Gesichtes. Deshalb wurde von Guarin et al. 2019 als ursprünglicher Entwickler von Emotrics ein automatisiertes Landmarkenlokalisationsmodell entwickelt, das speziell auf Fazialisparese-Patienten zugeschnitten ist und akkurate Distanzen und Berechnungen der Gesichtsanalyse durchführen kann.

Das sogenannte Auto-eFACE ermöglicht die automatische Landmarkenpositionierung und Berechnung von fazialen Asymmetrien mittels Emotrics (Guarin 2019).

Das Jenaer JAuto-eFACE erweitert diese Funktionen, indem es die subjektiven Bewertungsschemata eFACE, House-Brackmann Skala und das SFGS enthält und gleichzeitig die Möglichkeit bietet, insgesamt bis zu 12 Bilder gleichzeitig zu betrachten (Abb. 12), während im Programm Emotrics immer nur 2 Fotos im direkten Vergleich betrachtet werden können.

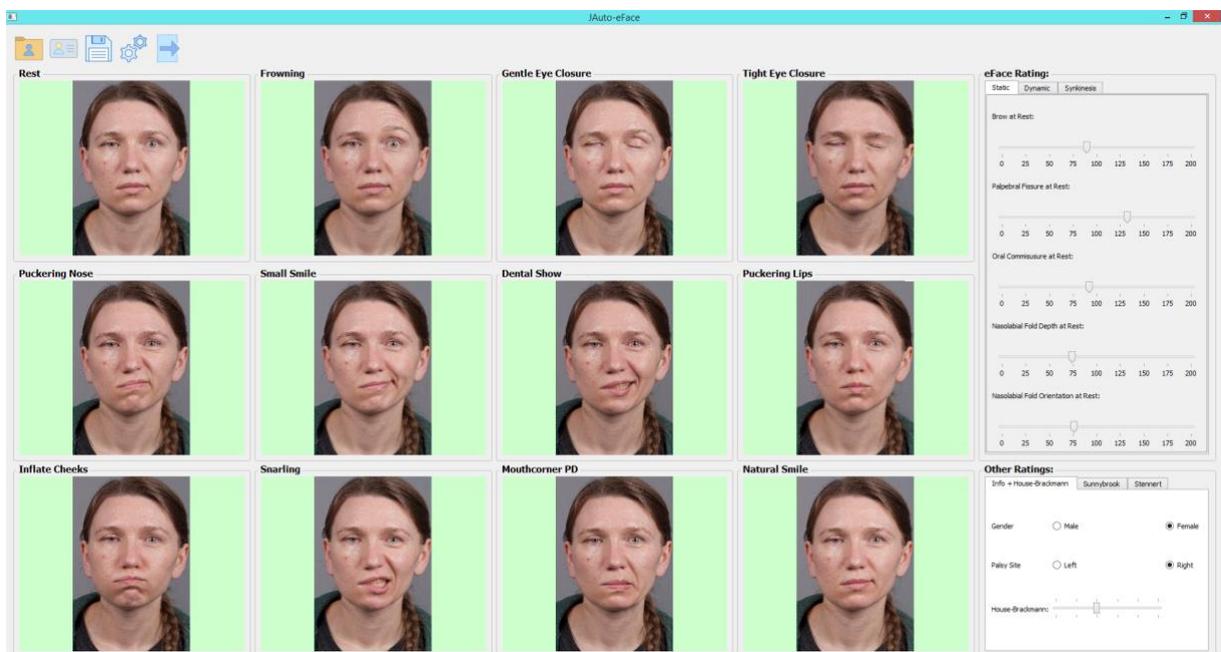


Abbildung 12: Übersichtsaufnahme von JAuto-eFACE

3.4. Datensammlung und Erhebung

3.4.1. Verlaufsdokumentation mittels Fotoserien

Als Grundlage zur Anfertigung der Farb-2D-Fotoserien dienten jeweils zwölf Aufnahmen pro Zeitpunkt mit minimal elf und maximal 19 Zeitpunkten pro Patient. Die Patienten wurden zu Beginn der Foto-Serien von der Fotografin mündlich über die erforderlich durchzuführenden Bewegungen instruiert.

Die Fotoserien wurden nach Anleitung der empfohlenen Kriterien angefertigt und umfassen Bilder des Gesichtes in Ruheposition, als auch während der Durchführung wichtiger fazieller Bewegungen (Hadlock 2016, Santosa et al. 2017, Volk et al. 2016).

Abbildung 13 veranschaulicht eine exemplarische Fotoserie der Verlaufsdokumentation.

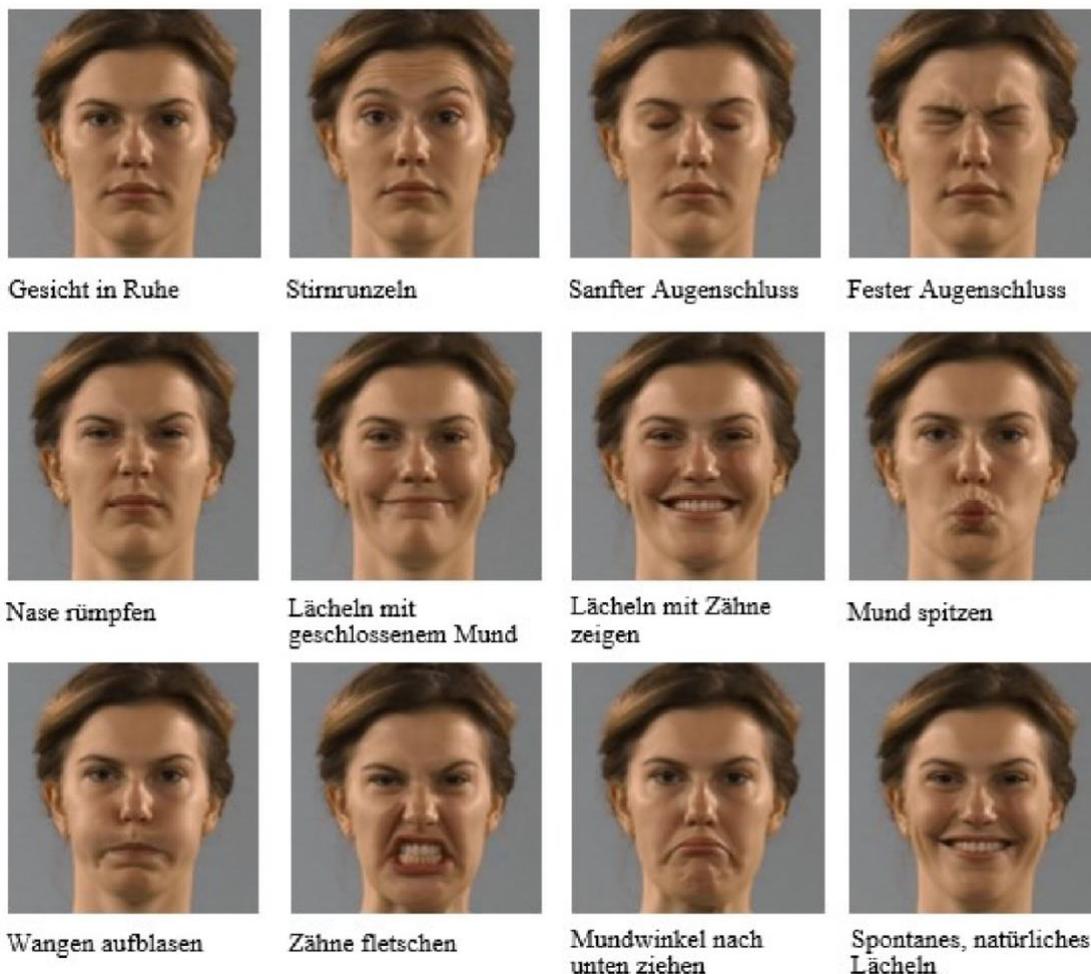


Abbildung 13: Exemplarische Fotoserie der standardisierten Gesichtsbewegungen (Schaede et al. 2017)

Des Weiteren wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Effekt einer Oberflächen-Exponentialstromtherapie untersucht. Als Grundlage dienten auch hierbei Farb-2D-Fotoserien eines Tages im gesamten Verlauf der Dokumentationsreihe mit jeweils zwölf Aufnahmen pro Zeitpunkt, die Bilder des Gesichtes in Ruheposition, als auch während der Durchführung wichtiger fazialer Bewegungen darstellten. Die Patienten wurden am Morgen des Dokumentationstages vor der Elektrostimulationsanwendung fotodokumentiert. Anschließend erfolgte unter ärztlicher Aufsicht im Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena die Oberflächen Exponentialstromtherapie. Der Ablauf eines Stimulationszykluses sowie die optimalen Einstellungen sind Kapitel 3.2 zu entnehmen. Unmittelbar nach der Elektrostimulation wurden die Patienten erneut fotodokumentiert. Dabei lag die Zeitspanne zwischen beiden Aufnahmen zwischen 61 und 139 Minuten (Mittelwert \pm Standardabweichung: $85,5 \pm 36,01$ Minuten).

3.4.2. Expertenbasierte Bewertung

Von jedem Patienten wurden zu Beginn Fotoaufnahmen angefertigt, bei denen Gesichtsbewegungen durchgeführt wurden, die dem oben beschriebenen 12-Foto-Schema entsprechen (Schaede et al. 2017).

Die Patientenbilder wurden anschließend elektronisch in das Programm JAuto-eFACE importiert und anschließend von insgesamt drei Ratern unabhängig voneinander mit den integrierten subjektiven Bewertungsschemata SFGS und eFACE bewertet.

Da die Bewertungsmaßstäbe innerhalb dieser Bewertungsschemata genau definiert sind, und die Bewertungen der einzelnen Rater nicht ausschließlich auf dessen subjektiver Einschätzung basiert, ist die Begrifflichkeit der „expertenbasierten Bewertung“ treffender.

Es wurden alle Ergebnisse der Rater tabellarisch und grafisch festgehalten um einen direkten Vergleich zur euklidischen Analyse zu ermöglichen (Anhang 2).

Dabei wurden die Bewertungen aller Farb-2D-Fotoaufnahmen jeweils doppelt von den Ratern durchgeführt um die erfolgte Einschätzung erneut zu validieren. Bei allen drei Ratern handelte es sich um Experten, die über medizinisches Hintergrundwissen bezüglich der Fazialisparese und deren Bewertung verfügten. Diese umfassten eine Fachärztin für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, eine Logopädin und gleichzeitige wissenschaftliche Mitarbeiterin des Fazialis-Nerv-Zentrums Jena sowie

einen Doktoranden der Klinik für Hals- Nasen und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena.

3.4.3. Euklidische Analyse

Beim ausgewählten Patientenkollektiv wurden insgesamt vier Fotoaufnahmen gesondert betrachtet, die in direktem Vergleich zur expertenbasierten Analyse mittels JAuto-eFACE euklidisch analysiert wurden. Dies waren die Aufnahmen „Gesicht in Ruhe“, „Stirnrunzeln“, „Sanfter Augenschluss“, und „Lächeln“

Speziell diese Aufnahmen wurden ausgewählt, da es sich um Parameter handelt die innerhalb beider Grading Systeme, dem eFACE als auch der SFGS, gleich definiert bewertet werden und die aussagekräftig den Schweregrad der Paralyse beschreiben. Abbildung 15 verdeutlicht die erforderlichen Bewegungsabläufe, wie jeweils aus dem Vergleich der „Ruhe-Fotos“ und eines Fotos der Bewegung „Stirn runzeln“, „Augenschluss“ und „Lächeln“, der Experte eine Aussage über die Bewegung treffen konnte und so auch eine euklidische Analyse von Bewegungsabläufen aus jeweils zwei Standbild-Pärchen möglich ist.

Durch das innerhalb von JAuto-eFACE integrierte Programm Emotrics, welches automatisiert anhand anatomischer Strukturen insgesamt 68 Landmarken positioniert, konnten Distanzen sowie Winkel exakt erfasst werden.

Abbildung 14 veranschaulicht das von Gross et al. standardisierte Landmarken Modell, welches in Emotrics zur euklidischen Analyse verwendet wurde (Gross et al. 2010).

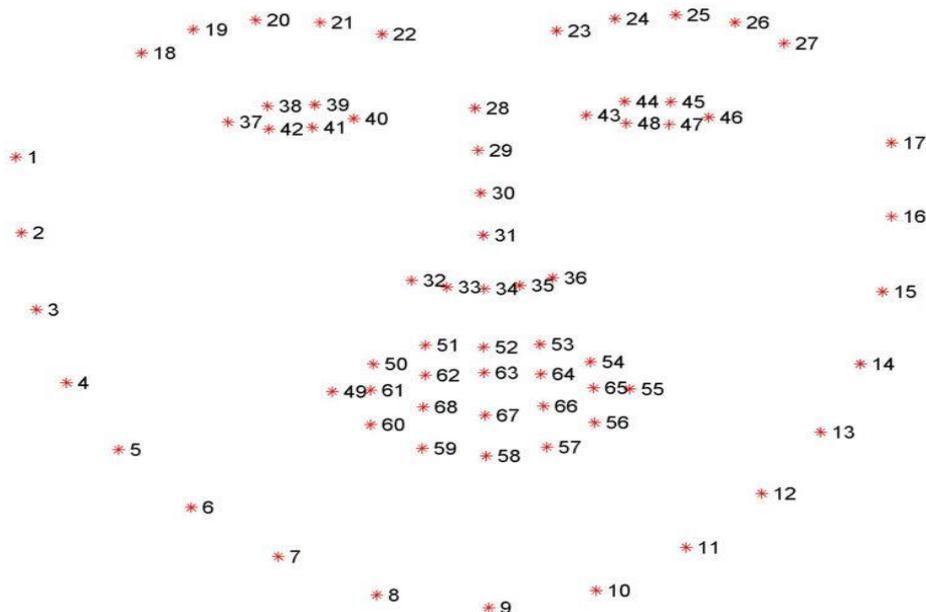


Abbildung 14: Das 68 Landmarken Modell (Sagonas et al. 2013)

Bei Betrachtung der Aufnahme „Lächeln“ wurde von den Experten die orale Kommissuren- Bewegung beim Lächeln bewertet. Um einen aussagekräftigen Vergleich der expertenbasierten Analyse durch die eFACE zur euklidischen Analyse mit Hilfe von Emotrics herstellen zu können wurden dazu drei Teilbereiche euklidisch betrachtet, die ein Gesamtbild über das orale Areal vermitteln. Dies umfasst zum einen die Distanz in Millimetern zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung (Landmarke 58) und des Mundwinkels (Landmarke 49,55), die vertikale Distanz in Millimetern zwischen zwei Horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels (Landmarke 49,55) der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen sowie der Winkel zwischen der Horizontalen Linie, ausgehend von der unteren mittleren Lippenrotkreuzung (Landmarke 58) und dem Mundwinkel der jeweiligen Seite (Landmarke 49,55) (Abb. 20, Abb. 22, Abb. 24).

Zur Analyse der Aufnahme „Stirnrunzeln“ wurde expertenbasiert die Augenbrauenbewegung bewertet. Euklidisch wurde dazu die Vertikale Distanz in Millimetern zwischen Pupille und oberer Augenbrauenkante (Landmarke 20, 25) gemessen. Da zur Beurteilung des pathologischen Zustandes nicht die Entfernung der Pupille zur oberen Augenbrauenkante entscheidend ist, sondern die Fähigkeit des Patienten ausgehend von der Ruheposition die Augenbraue zu heben, wurde der Unterschied der vertikalen Distanz in Millimetern zwischen Pupille und oberer Augenbrauenkante (Landmarke 20, 25) zwischen der Momentaufnahme der Bewegung und Ruheposition gemessen (Abb. 18, Abb. 19).

Bei Bewertung des sanften Augenschlusses wurde durch die Experten die Fähigkeit bewertet, dass Auge sanft zu schließen. Euklidisch wurde dazu die vertikale Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlidkante gemessen. Die Betrachtung des sanften Augenschlusses wurde euklidisch dem festen Augenschluss bevorzugt, da dieser Bestandteil der Betrachtung innerhalb der SFGS als auch der eFACE darstellt. Der feste Augenschluss wird lediglich innerhalb von eFACE bewertet.



Abbildung 15: Erforderliche Bewegungsabläufe zur euklidischen Analyse

Zur Auswertung wurden die Unterschiede der entsprechenden euklidischen Werte einer Momentaufnahme der aktiven Bewegung für die linke und rechte Gesichtshälfte jeweils als Absolutwert in Millimetern als auch im prozentualen Verhältnis zur Ruheposition der Gegenseite gestellt. Anschließend erfolgte der Vergleich zur Ruheposition. Des Weiteren wurde jeweils der prozentuale Unterschied zum vorherigen Messwert dargestellt.

Bei den Patienten 001, 002, 004 und 005 wurde einmal im gesamten Verlauf der Dokumentationsreihe eine Dokumentation vor und nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag durchgeführt, welche eine direkte Beurteilung des Effektes der angewandten Elektrostimulation möglich machte. Für Patient 003 stand dabei kein auswertbares Fotomaterial zur Verfügung, da keine Dokumentation vor und nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag erfolgte.

Um zu untersuchen, ob ein direkter Erfolg der Elektrostimulation an diesem Tag festzustellen war, wurden jeweilige Werte in der Tabelle farblich gelb markiert, als auch in den entsprechenden Grafiken durch ein Fotosymbol deutlich gekennzeichnet (vgl. Anhang 1, 3, 4, 5).

Zur grafischen Darstellung wurde dazu das Programm Microsoft Excel (Microsoft ® Excel ® für Windows, Microsoft Corporation, 2019, München) verwendet.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die betrachteten Parameter, die in den folgenden Kapiteln genauer erläutert werden.

Parameter	Landmarken	Messung
Sanfter Augenschluss/ Lidspaltenbreite in Ruhe	Oberlidkante - Unterlidkante	Vertikale Distanz (mm) zwischen Ober- und Unterlid
Augenbrauenbewegung/ Augenbrauenposition in Ruhe	Pupillenzentrum – obere Augenbrauenkante	Vertikale Distanz (mm) zwischen Pupille und oberer Augenbrauenkante
Augenbrauen Bewegungsamplitude	Pupillenzentrum – obere Augenbrauenkante	Unterschied der vertikalen Distanz (mm) zwischen Pupille und oberer Augenbrauenkante Zwischen der Momentaufnahme der Bewegung und Ruheposition
Orale Kommissurexkursion beim Lächeln / Orale Kommissurexkursion in Ruhe	Mittellinie – Mundwinkel der gesunden und betroffenen Seite – untere mittlere Lippenrotkreuzung	Distanz (mm) zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel
Orale Höhendifferenz beim Lächeln / Orale Höhendifferenz in Ruhe	Mittellinie – Mundwinkel der gesunden und betroffenen Seite	Vertikale Distanz (mm) zwischen 2 Horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen
Lachwinkel beim Lächeln / Lachwinkel in Ruhe	Mittellinie – Mundwinkel der gesunden und betroffenen Seite – untere mittlere Lippenrotkreuzung	Winkel (°) zwischen der Horizontalen Linie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung und dem Mundwinkel der jeweiligen Seite

Tabelle 7: Überblick über die jeweiligen betrachteten Parameter

3.4.3.1. Der Augenlidschluss

Vermessen wird jeweils eine Senkrechte, die die vertikale Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid darstellt. Diese Vertikalen verlaufen exakt durch das Zentrum der Iris des jeweiligen Auges und markieren den Schnittpunkt der Senkrechten zur Oberlidkante (P1) und Unterlidkante (P2). Abbildung 16 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise, die in Abbildung 17 am Patienten zur Veranschaulichung des Analyseprozesses vorgenommen wurde.

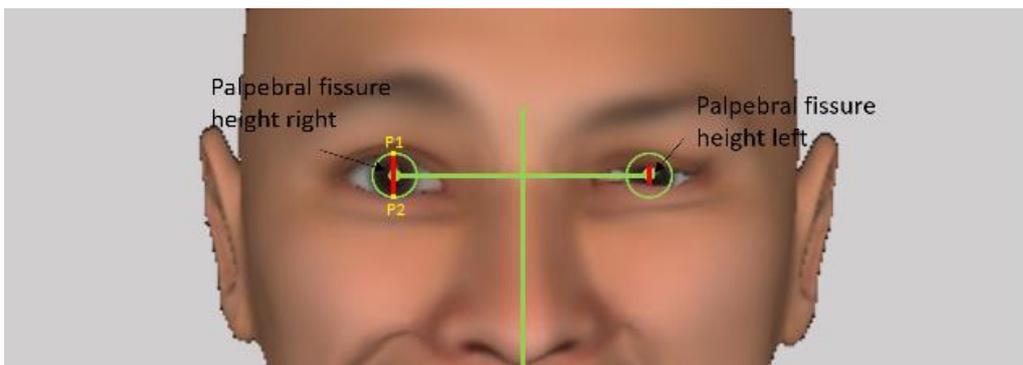


Abbildung 16: Schematische Darstellung zur euklidischen Analyse des Augenlidschlusses: Vermessung der vertikalen Distanz zwischen der Oberlidkante (P1) und Unterlidkante (P2)

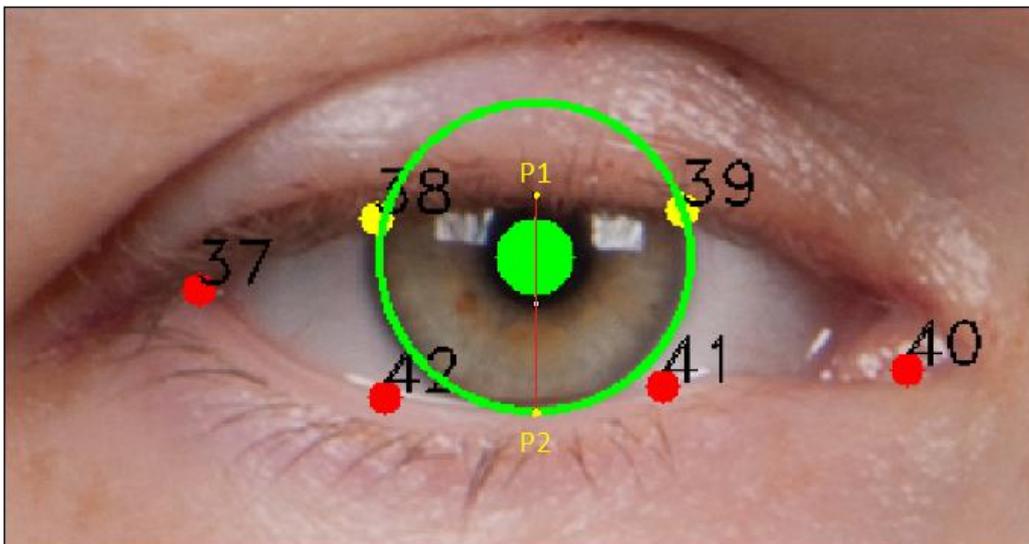


Abbildung 17: Euklidische Analyse des Augenlidschlusses: Vermessung der vertikalen Distanz zwischen Oberlidkante (P1) und Unterlidkante (P2). Die Landmarken 37, 40, 41 und 42 (rot) begrenzen die Unterlidkante, während die Landmarken 38 und 39 (gelb) die Oberlidkante begrenzen

3.4.3.2. Die Augenbrauenhöhe

Euklidisch analysiert werden jeweils eine Senkrechte, die die vertikale Distanz in Millimetern zwischen Iriszentrum und oberer Augenbrauenkante beider Augen darstellt. Diese Vertikalen verlaufen exakt durch das Zentrum der Iris (P2) des jeweiligen Auges und markieren den Schnittpunkt der Senkrechten zur oberen Augenbrauenkante (P1). Abbildung 18 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise, die in Abbildung 19 am Patienten zur Veranschaulichung des Analyseprozesses vorgenommen wurde.

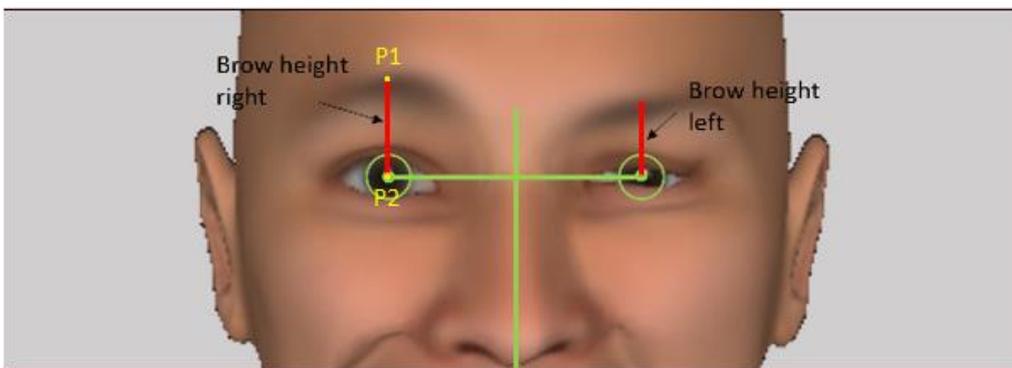


Abbildung 18: Schematische Darstellung zur euklidischen Analyse der Augenbrauenhöhe: Vermessung der vertikalen Distanz zwischen Iriszentrum (P2) und oberer Augenbrauenkante (P1)

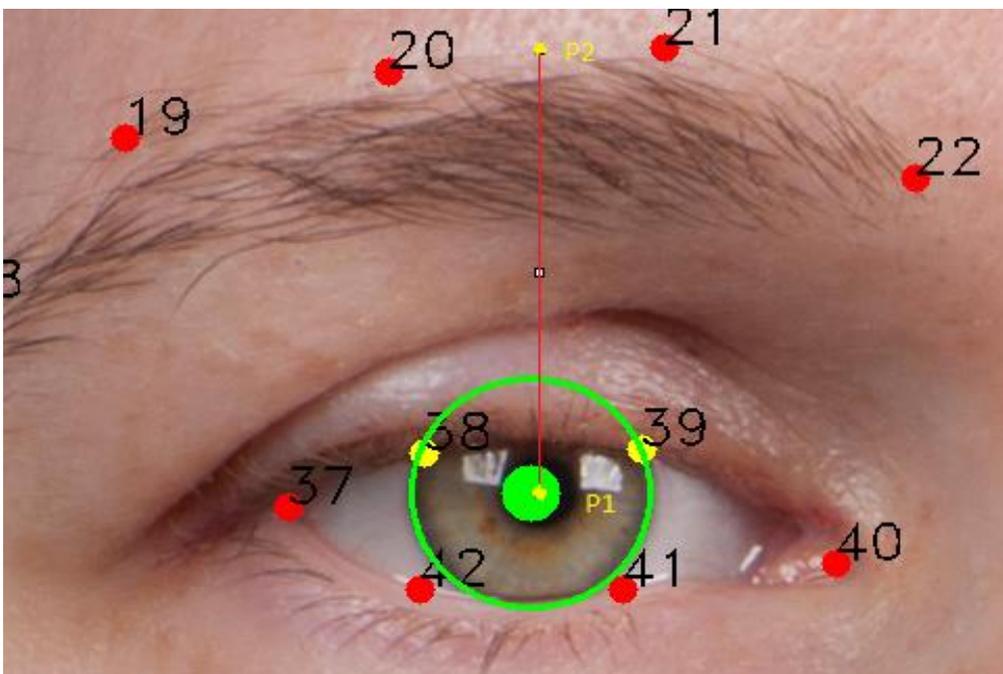


Abbildung 19: Euklidische Analyse der Augenbrauenhöhe: Vermessung der vertikalen Distanz zwischen Iriszentrum (P2) und oberer Augenbrauenkante (P1). Die Landmarken 37, 40, 41 und 42 (rot) begrenzen die Unterlidkante, die Landmarken 38 und 39 (gelb) die Oberlidkante sowie die Landmarken 19-22 die obere Augenbrauenkante

3.4.3.3. Die orale Kommissurexkursion

Um die orale Kommissurexkursion beidseitig vermessen zu können, wird der Schnittpunkt (P1) verwendet, der sich durch Bildung der Mittellinie des Gesichtes mit einer Waagerechten ergibt, die sich an der unteren Lippenrotkreuzung orientiert. Von diesem Punkt ausgehend wird die Distanz in Millimetern berechnet, die bis zum äußersten Punkt des Mundwinkels (P2) reicht. Abbildung 20 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise, die in Abbildung 21 am Patienten zur Veranschaulichung des Analyseprozesses vorgenommen wurde.

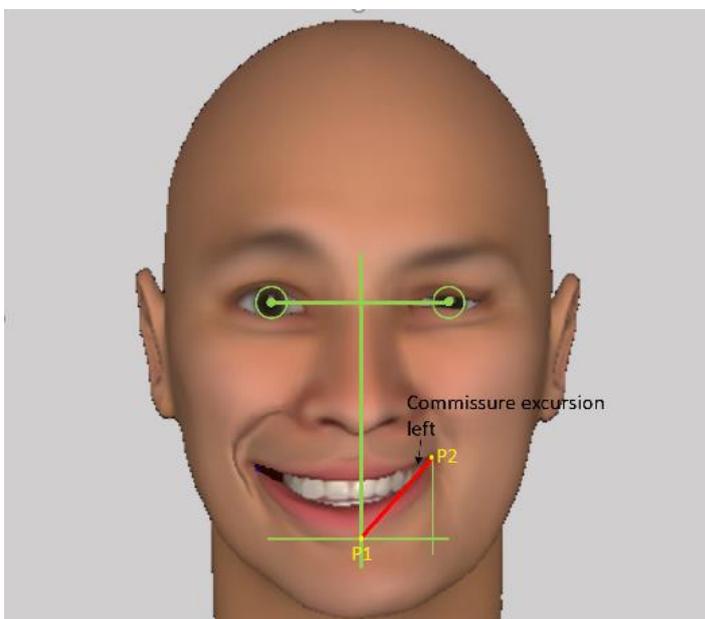


Abbildung 20: Schematische Darstellung zur euklidischen Analyse der oralen Kommissur: Vermessung der Distanz zwischen dem Schnittpunkt der Gesichtsmittellinie und einer Waagerechten der unteren Lippenrotkreuzung (P1) und des Mundwinkels (P2)

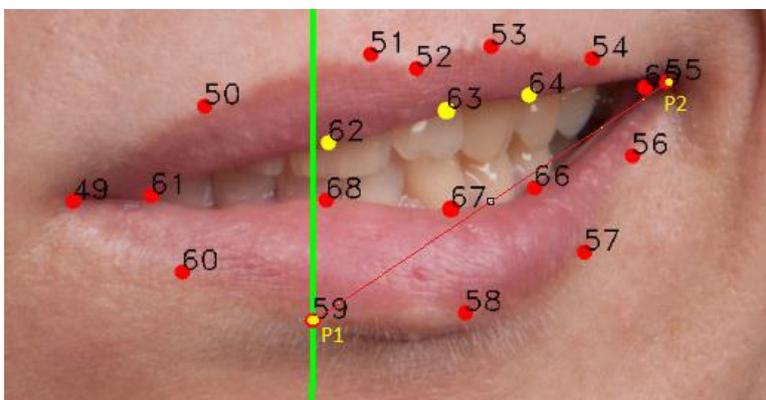


Abbildung 21: euklidische Analyse der oralen Kommissur: Vermessung der Distanz zwischen dem Schnittpunkt von Gesichtsmittellinie und einer Waagerechten der unteren Lippenrotkreuzung (P1) und des Mundwinkels (P2). Die Landmarken 49-60 markieren den äußeren Rand des Lippenrots während die Landmarken 61-68 den inneren Rand markieren

3.4.3.4. Die orale Höhendifferenz

Zur Analyse der Höhendifferenz der oralen Kommissur zwischen linker und rechter Gesichtshälfte wird die Höhenabweichung zweier Punkte miteinander verglichen. Diese kommen zustande, indem beidseitig eine Waagerechte ausgehend vom äußersten Punkt des Mundwinkels angelegt wird. Die Horizontalen schneiden die Mittellinie des Gesichtes. Dadurch entstehen bei Asymmetrie der linken und rechten Gesichtshälfte zwei Punkte, die sich in ihrer Höhe unterscheiden. Vermessen wird die vertikale Distanz in Millimetern zwischen den beiden Schnittpunkten (P1, P2). Die Abbildung 22 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise, die in Abbildung 23 am Patienten zur Veranschaulichung des Analyseprozesses vorgenommen wurde.

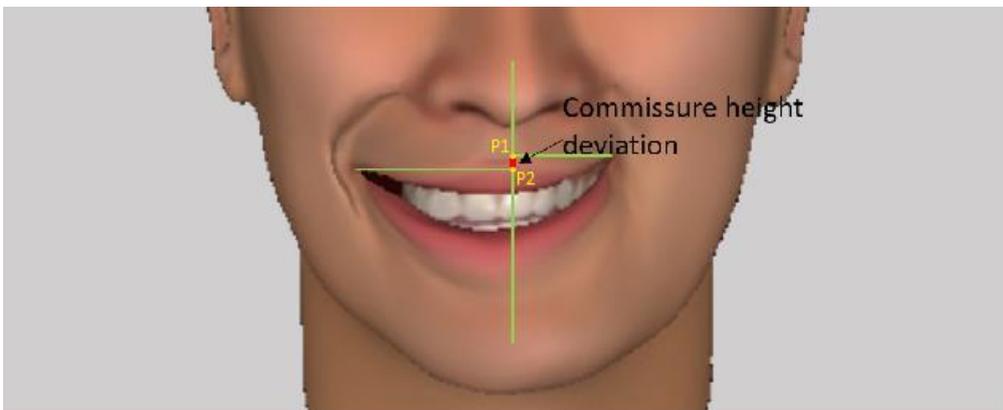


Abbildung 22: Schematische Darstellung zur euklidischen Analyse der oralen Höhendifferenz: Bei P1 und P2 handelt es sich um die Schnittpunkte der Waagerechten, ausgehend vom jeweiligen Mundwinkel und der Gesichtsmittellinie

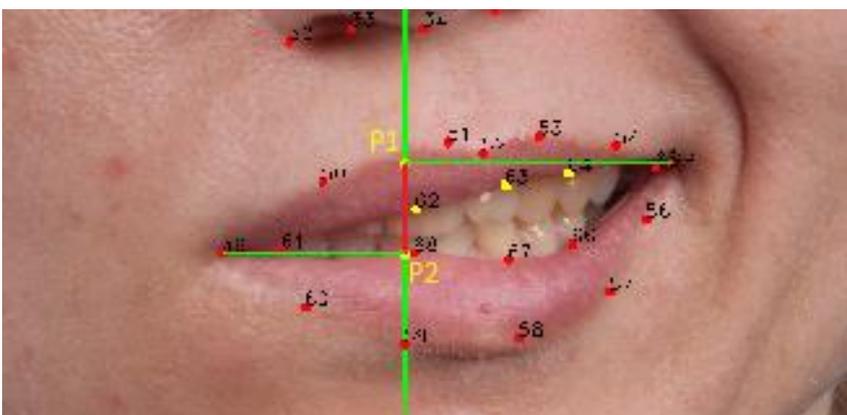


Abbildung 23: Euklidische Analyse der oralen Höhendifferenz: Bei P1 und P2 handelt es sich um die Schnittpunkte der Waagerechten, ausgehend vom jeweiligen Mundwinkel und der Gesichtsmittellinie. Vermessen wird anschließend die vertikale Distanz in Millimetern zwischen den beiden Schnittpunkten (P1, P2). Die Landmarken 49-60 markieren den äußeren Rand des Lippenrots während die Landmarken 61-68 den inneren Rand markieren

3.4.3.5. Der Lachwinkel

Als letzter Aspekt wird der Lachwinkel betrachtet. Ausgangspunkt ist hierbei ebenfalls der Schnittpunkt (P1), der sich durch Bildung der Mittellinie des Gesichtes mit einer Waagerechten, die sich an der unteren Lippenrotkreuzung orientiert, ergibt. Berechnet wird der Winkel zwischen der Geraden, die durch P1 und P2 verläuft und dem äußersten Punkt des Mundwinkels (P3). Die Abbildung 24 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise, die in Abbildung 25 am Patienten zur Veranschaulichung des Analyseprozesses vorgenommen wurde.

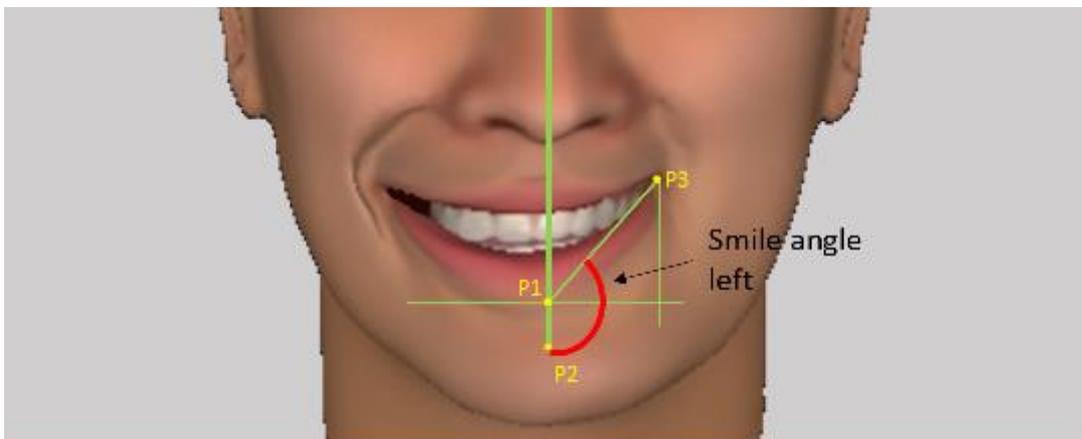


Abbildung 24: Schematische Darstellung zur euklidischen Analyse des Lachwinkels: Vermessen wird der Winkel zwischen Mundwinkel (P3) und einer verlängerten Geraden (P2) der Gesichtsmittellinie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung (P1)

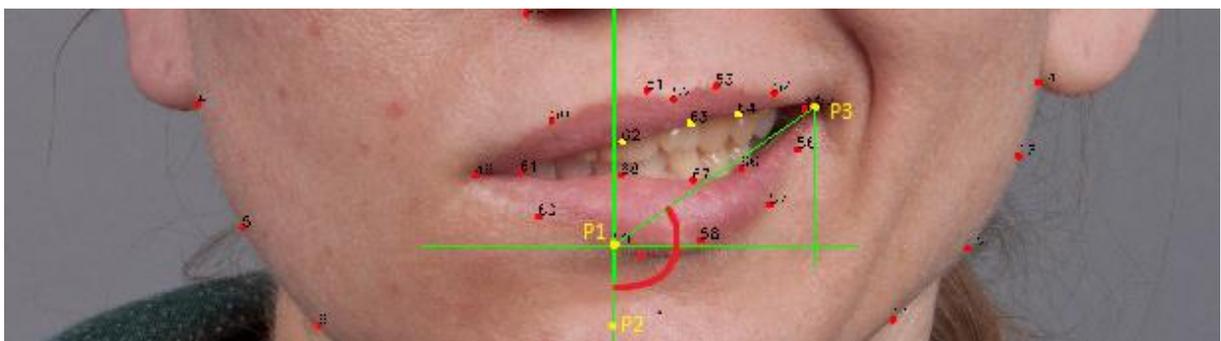


Abbildung 25: Euklidische Analyse des Lachwinkels: Vermessen wird der Winkel zwischen Mundwinkel (P3) und einer verlängerten Geraden (P2) der Gesichtsmittellinie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung (P1). Die Landmarken 49-60 markieren den äußeren Rand des Lippenrots während die Landmarken 61-68 den inneren Rand markieren

3.4.3.6. Die Festlegung der Gesichtsmittellinie

Bei der Festlegung der Mittellinie des Gesichtes orientiert sich Emotrics an der Stellung der Pupillen (Abb. 26). Dabei wird automatisiert eine Senkrechte angelegt, die von der mittleren Distanz zwischen beiden Pupillen ausgeht. Die Problematik hinter dieser Vorgehensweise besteht darin, dass dieses Prozedere allerdings nur zu einer korrekten Anlage der Gesichtsmitte führt, wenn der Patient eine perfekt mittig stehende Pupillenposition besitzt. Ist dies nicht der Fall, führt eine folglich falsch angelegte Mittellinie zu Fehlern der euklidischen Analyse, die sich potenzieren je weiter die Landmarke von der Mittellinie, also der Fehlerquelle entfernt ist. Abbildung 26 zeigt die Mittellinie vor und nach Korrektur.



Abbildung 26: Manuelle Korrektur der automatisiert angelegten Gesichtsmittellinie: Aufgrund der nicht exakt mittig stehenden Pupillenposition der Patientin, wurde die Gesichtsmittellinie durch Emotrics falsch automatisiert angelegt (links) und muss manuell korrigiert werden (rechts)

Deshalb ist es notwendig, die Festlegung einer Mittellinie anhand prägnanter anatomischer Bezugspunkte manuell zu korrigieren.

In der Kieferorthopädie wurden dabei Punkte festgelegt, die zur Ermittlung der Symmetrie des Gesichtes und sich demzufolge auch zum Anlegen einer Mittellinie eignen. Für den Verlauf und die kieferorthopädische Therapieanpassung ist die routinemäßige Kontrolle von Gesichtsasymmetrien von großer Bedeutung. Patienten des prognen Formenkreises, mit Kiefergelenksfrakturen sowie mit ausgeprägten, jahrelang ausgeübten orofazialen Dyskinesien können zu asymmetrischen Verformungen der Knochen und Weichteile führen (Kahl-Nieke 2017).

Aufgrund dessen ist die Festlegung anatomischer Punkte Voraussetzung, die unabhängig von Veränderungen des Weichgewebes und der Muskelaktivität eine konstante Position besitzen.

Dazu zählen das Trichion als am weitesten anterior gelegener Punkt des Haaransatzes. Die Glabella als Hautregion zwischen den Augenbrauen, oberhalb der Nasenwurzel auf Höhe der supraorbitalen Knochenwülste. Die Subnasale als am weitesten posterior bzw. dorsal gelegener Punkt der nasolabialen Kurvatur, sowie das Gnathion als Mittelpunkt zwischen Pogonion und Menton am Unterkiefer.

Diese Landmarken wurden in der vorliegenden Studie verwendet, um manuell die Mittellinie innerhalb der Software Emotrics zu korrigieren.

Abbildung 27 veranschaulicht die Gliederung des Gesichtareals und die anatomisch relevanten Bezugspunkte.

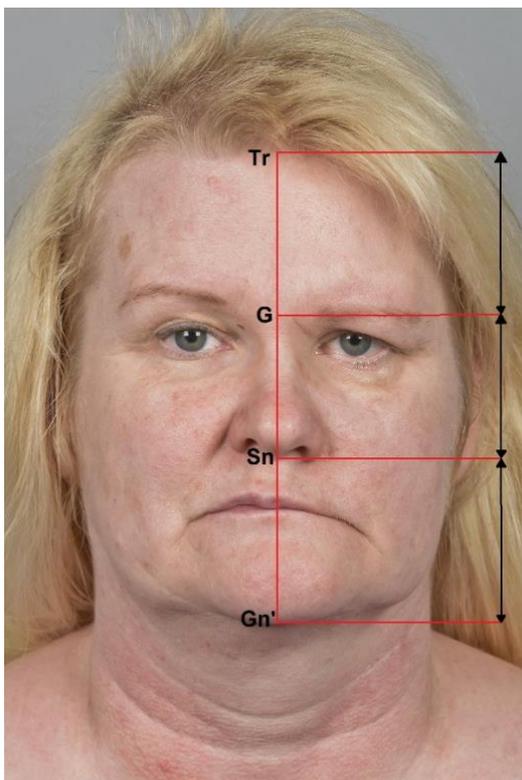


Abbildung 27: Gliederung des Gesichtareals

Tr : Trichion (am weitesten anterior gelegenen Punkt des Haaransatzes)

G : Glabella (Hautregion zwischen den Augenbrauen, oberhalb der Nasenwurzel auf Höhe der supraorbitalen Knochenwülste)

Sn : Subnasale (am weitesten posterior bzw. dorsal gelegenen Punkt der nasolabialen Kurvatur)

Gn' : Gnathion (Mittelpunkt zwischen Pogonion und Menton am Unterkiefer)

3.5. Statistische Auswertung

Für die statistische Analyse der Daten wurde Excel (Microsoft® Excel® für Windows, Microsoft Corporation, 2019, München) sowie die Statistiksoftware SPSS 23 (IBM, Ehningen, Deutschland) für Windows 10 (Microsoft, Redmond, USA) verwendet.

3.5.1. Interrater Reliabilität

Zur statistischen Auswertung wurden die Experten-Bewertungen mit Hilfe der SFGS und des eFACE der drei unabhängigen Experten sowie die Messwerte der euklidischen Analyse mittels Emotrics ausgewertet (Anhang 1).

Um eine allgemeingültige Aussage darüber treffen zu können, ob und in welchen anatomischen Bereichen sich die euklidische Analyse und die expertenbasierte Bewertung der Rater unterscheiden, war eine statistische Auswertung der Interrater Reliabilität notwendig. Dadurch konnte ausgeschlossen werden, dass sich die Rater innerhalb ihrer Bewertung gravierend unterscheiden und so keine Aussage zum Vergleich zur euklidischen Analyse gestellt werden konnte. Die Interrater Reliabilität vergleicht in dieser Arbeit die Messwertdatensätze, die durch die Experten-Bewertungen der 3 unabhängigen Rater mit Hilfe von JAuto-eFACE erstellt wurden. Zur Quantifizierung der Reproduzierbarkeit der Daten wurde eine Reliabilitätsanalyse mittels Intraklassenkorrelation durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein statistisches Verfahren zur Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen mehreren Ratern in Bezug auf mehrere Beobachtungsobjekte. Somit ist es ein Maß für die Übereinstimmung mehrerer Untersucher bzw. mehrerer Testreihen eines Untersuchers mit derselben Metrik. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) setzt dabei intervallskalierte Daten voraus und wird in der Regel berechnet, wenn mehr als zwei Beobachter vorhanden sind und mehrere Beobachtungszeitpunkte miteinander verglichen werden sollen. Dabei nimmt er definitionsgemäß Werte zwischen 0 und 1 an, wobei 0 keine Reliabilität und 1 eine perfekte Reliabilität anzeigt. Nach Wirtz und Caspar entsteht ein hoher ICC durch eine hohe Varianz des wahren Wertes der Testobjekte und eine geringe Abweichung der Testreihen zueinander (Wirtz und Caspar 2002).

Zur Auswertung wurden allgemeingültige Richtlinien des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten verwendet (Tab. 8).

Bewertung	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
Schlecht	< 0,4
Durchschnittlich	0,4 – 0,59
Gut	0,6 – 0,74
Sehr gut	≥ 0,75

Tab 8: allgemeingültige Richtlinien zur Bewertung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (Cicchetti 1994)

3.5.2. Vergleich der expertenbasierten Bewertung und euklidischen Analyse

Zum statistischen Vergleich der expertenbasierten Bewertungen und der euklidischen Analyse wurde ebenfalls der Intraklassen-Korrelationskoeffizienten angewendet. Dazu wurden die Ergebnisse des euklidischen Messverfahrens und die Ergebnisse der expertenbasierten Bewertung der eFACE durch die drei unabhängigen Rater miteinander verglichen. Die Ergebnisse der euklidischen Analyse wurden als ausgewählter maßgebender objektiver Richtwert definiert. Dadurch konnte eine Aussage darüber getroffen werden, ob und in welchen anatomischen Bereichen sich die euklidische Analyse und die Experten-Bewertungen der Rater unterscheiden. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, wurde jeder einzelne Rater einzeln mit den euklidischen Berechnungen verglichen. Dies ermöglichte zudem, eine Aussage treffen zu können, welcher der Rater die beste Korrelation aufweist.

Als expertenbasiertes Bewertungsschema wurde dazu die eFACE verwendet. Diese ermöglicht durch ihren klar definierten Bewertungsbereich und numerische Skala einen statistischen Vergleich zu einer expertenbasierten Analyse. 0 Punkte entsprechen dabei einer totalen Abstinenz der Dynamik. 100 Punkte sind als gesund definiert. Betrachtet man beispielsweise die Lidspalte eines Patienten in Ruhe, so kann euklidisch exakt berechnet werden, zu wieviel Prozent sich die betroffene Seite und nicht betroffene Seite unterscheiden. Anschließend ist dadurch ein direkter mathematischer Vergleich zur expertenbasierten Analyse und damit statistische Auswertung möglich. Innerhalb der SFGS hingegen, wird das Auge mit Punktwerten von 0 für „normal“ bewertet. Während 1 Punktwert entweder als „eng“, „weit“ oder auch „Oberlidoperation“ definiert ist, wodurch ein statistischer Vergleich nicht möglich ist. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte analog zur Berechnung der Interrater Reliabilität (Tab. 8).

3.5.3. Mittellinienkorrektur

Eine manuelle Festlegung bzw. Korrektur der Mittellinie des Gesichtes ist für die korrekte Ergebnisdarstellung innerhalb von Emotrics zwingend notwendig (vgl. Kap. 3.4.3.6).

Dazu wurde eine euklidische Analyse der Augen, Augenbrauen und des Mundareals vor und nach manueller Korrektur der Mittellinie durchgeführt und anschließend statistisch ausgewertet.

Um eine Aussage treffen zu können, ob die manuelle Korrektur der Mittellinie anhand prägnanter anatomischer Bezugspunkte zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen führt, wurde eine statistische Auswertung mit Hilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests durchgeführt. Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ist ein nichtparametrischer statistischer Test. Es handelt sich um ein statistisches Verfahren, das für abhängige Stichproben testet, ob die zentralen Tendenzen zweier abhängiger Stichproben verschieden sind. Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test wird verwendet, wenn die Voraussetzungen für einen t-Test für abhängige Stichproben nicht erfüllt sind. Die Differenzen zusammengehöriger Messwertpaare müssen dabei im Gegensatz zum t-Test für abhängige Stichproben normalverteilt sein. Demnach ersetzt der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test also den t-Test für abhängige Stichproben im Falle nicht gegebener Normalverteilung der Differenzen oder beim Vorliegen von Ordinalniveau (Zöfel et al. 2007). Bei nichtparametrischen Verfahren muss die abhängige Variable lediglich ordinalskaliert sein. Dabei ergänzt der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test den Vorzeichentest, da mit Hilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests nicht nur die Richtung der Differenzen, sondern auch die Höhe der Differenzen zwischen zwei gepaarten Stichproben berücksichtigt wird. Beim Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test wird das Signifikanzniveau bei mehr als 30 verwendeten Werten ($N > 30$) standardmäßig auf $p < 0,05$ festgelegt (Bortz et al. 2008).

In der vorliegenden Arbeit wurde dazu eine Nullhypothese formuliert. Diese nimmt an, dass die euklidischen Werte sich vor und nach Korrektur der Mittellinie nicht unterscheiden.

3.5.4. Unmittelbarer Effekt der Elektrostimulation an einem Dokumentationstag

Zur Untersuchung des unmittelbaren Effektes der Elektrostimulationstherapie erfolgte einmal im gesamten Verlauf der Dokumentationsreihe pro Patient eine Dokumentation zweimal am selben Tag, und zwar unmittelbar vor und nach Anwendung der Oberflächen-Exponentialstromtherapie.

Die Notwendigkeit der Dokumentation am selben Tag unmittelbar vor und nach Anwendung der Elektrostimulation bestand darin, dass ab dem Zeitpunkt der Reinnervation die alleinige Wirkung der Elektrostimulationstherapie nicht eindeutig zu belegen ist. Mögliche Veränderungen bei Dokumentationen über einen längeren Zeitraum, könnten ab diesem Zeitpunkt dann auch allein auf die Reinnervation zurückzuführen sein. Da an diesem Tag zwar schon bei 4 Patienten Reinnervationszeichen vorlagen, aber beide Aufnahmen innerhalb eines Zeitabstandes zwischen 61 und 139 Minuten (Mittelwert \pm Standardabweichung: $85,5 \pm 36,01$ Minuten) am selben Tag erfolgten, kann der überwiegende Teil der Veränderung der Elektrostimulation zugeordnet werden.

Die Einstellungsparameter sowie die Position für die Anbringung der Elektroden wurden während der monatlichen Folgetermine kontrolliert. Die optimalen Einstellungsparameter der Stimulation für diesen Tag wurden nach der ersten Fotoaufnahme am Morgen und vor Anwendung der Elektrostimulation mithilfe der Rückmeldung des jeweiligen Patienten individuell angepasst, um eine effektive Stimulation zu gewährleisten (Tab. 9).

Patienten ID	Impulsdauer (ms)	Impulsfrequenz (hz)	Impulsamplitude (mA)
001	70	1200	10
002	150	550	4
004	50	1650	21
005	70	1200	6,8

Tabelle 9: Einstellungsparameter des Reizstromtherapiegerätes Stimulette r2x am Dokumentationstag zur Untersuchung des Effektes der Elektrostimulationstherapie: Die Einstellungsparameter wurden während der monatlichen Folgetermine kontrolliert und bei Bedarf mithilfe der Rückmeldung des Patienten angepasst, um eine effektive Stimulation zu gewährleisten. Dabei wurde die Impulsdauer (ms), Impulsfrequenz (hz) sowie die Impulsamplitude (mA) individuell an den Patienten angepasst

Die entstandenen Farb-2D-Fotoaufnahmen wurden daraufhin in die Software Emotrics überführt. Anschließend erfolgte eine euklidische Analyse der Farb-2D-Fotoaufnahmen.

Die Messwertdatensätze der euklidischen Analyse unmittelbar vor Elektrostimulation sowie die Messwertdatensätze unmittelbar nach der Elektrostimulation daraufhin miteinander verglichen und statistisch ausgewertet werden. Für den Vergleich dieser Messwertdatensätze wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet.

3.6. Grafische Symbolik

Zur Darstellung des Reinnervationsbeginns, der zunehmenden Reinnervation und des Tages, an dem die Patienten unmittelbar vor und nach Elektrostimulationsanwendung dokumentiert wurden, wurde der entsprechende Zeitpunkt innerhalb der angelegten Grafiken symbolisch gekennzeichnet. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Symbolik und die entsprechende Bedeutung und Definition.

Symbol	Bedeutung	Definition
	Beginn der Reinnervation	polyphasische Einzelentladungen mindestens einer der vier untersuchten Muskeln bei Willkürmotorik
	Zunehmende Reinnervation	Mindestens ein rarefiziertes Interferenzmuster im M. zygomaticus major oder im M. orbicularis oculi bei Stirn-, Mund- und Augenbewegungen ist festzustellen
	Dokumentationstag, an dem insgesamt zwei Dokumentationen erfolgten	Fotodokumentation vor und nach Elektrostimulationsanwendung am selben Tag

Tabelle 10: Überblick der Symbolik innerhalb der Grafiken zur euklidischen Analyse

4. Ergebnisse

4.1. Patientenkollektiv

In der vorliegenden Arbeit wurden fünf Patienten ausgewählt, die initial eine akute periphere Fazialisparalyse aufwiesen und alle vier Wochen fotografiert wurden. Anschließend wurden die Patienten mit Hilfe der subjektiven Bewertungsschemata SFGS und eFACE bewertet. Um die Veränderung des Schweregrad der Paralyse über den Verlauf der Studie einschätzen zu können, wurde der Gesamtscore des SFGS zu Beginn und am Ende der Studie im Folgenden tabellarisch dargestellt (Tab. 11).

Patienten ID	SFGS-Gesamtscore	
	Erste Dokumentation	Letzte Dokumentation nach einem Jahr
001	17	46
002	11	23
003	20	22
004	6	22
005	21	36

Tabelle 11: Schweregrad der Paralyse zu Beginn und am Ende der Dokumentationsreihe: Bei allen Patienten konnte im Verlauf ein höherer SFGS-Gesamtscore am Ende als zu Beginn der Dokumentationsreihe, also eine also eine Besserung der Fazialisfunktion festgestellt werden. Ein SFGS-Gesamtscore von 0 entspricht einer totalen Paralyse während ein Score von 100 vollständige Funktionalität bedeuten

4.2. Farb-2D-Fotoserien Auswertung

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Farb-2D-Fotoserien angefertigt. Die Farb-2D-Fotoserien wurden minimal zu 11 und maximal zu 19 Zeitpunkten ($14 \pm 3,3$) im Abstand von 4 Wochen aufgenommen.

Insgesamt wurden im Rahmen der Dissertation 803 Bilder zu insgesamt 70 Messzeitpunkten der 5 Patienten analysiert. Die Varianz ergibt sich daraus, dass einige Farb-2D-Fotoserien aufgrund fehlenden Bildmaterials bzw. unzureichender Bildqualität nicht auswertbar waren. Die erforderlichen Informationen sind Tabelle 12 zu entnehmen.

Patienten ID	Messzeitpunkte	Auswertbare Farb-2D-Fotoaufnahmen	Anzahl des fehlenden bzw. nicht auswertbaren Bildmaterials
001	11	128	4
002	15	178	2
003	11	126	6
004	19	208	20
005	14	163	5
Gesamt	70	803	37

Tabelle 12: Farb-2D-Fotoserien der Patienten

Zur expertenbasierten Analyse wurden dazu die Ergebnisse der drei Experten-Rater elektronisch innerhalb von JAuto-eFACE festgehalten und anschließend tabellarisch sowie grafisch dargestellt. Zur euklidischen Analyse wurden die in Kapitel 3.4.3 beschriebenen Parameter mittels Emotrics ausgewertet und ebenfalls tabellarisch und grafisch veranschaulicht.

4.3. Ergebnisdarstellung eines Patienten

Aufgrund der Tatsache, dass die Ergebnisse der Patienten zu vergleichbaren Erkenntnissen führten, soll exemplarisch anhand der Patientin 001 die Ergebnisdarstellung und damit das Vorgehen des Analyseprozesses aller Patienten verdeutlicht werden. Zur genaueren Betrachtung der Tabellen und grafischen Darstellung aller Patienten befinden sich die grafischen und tabellarischen Auswertungen im Anhang 1, 3, 4, 5.

4.3.1. Das Augenareal

4.3.1.1. Die Lidspalte in Ruhe der Patientin 001

Betrachtet wurde die euklidische Analyse mit Hilfe von Emotrics (Abb. 28) sowie die expertenbasierte Bewertung durch die eFACE (Abb. 29) der vertikalen Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid in Ruhe.

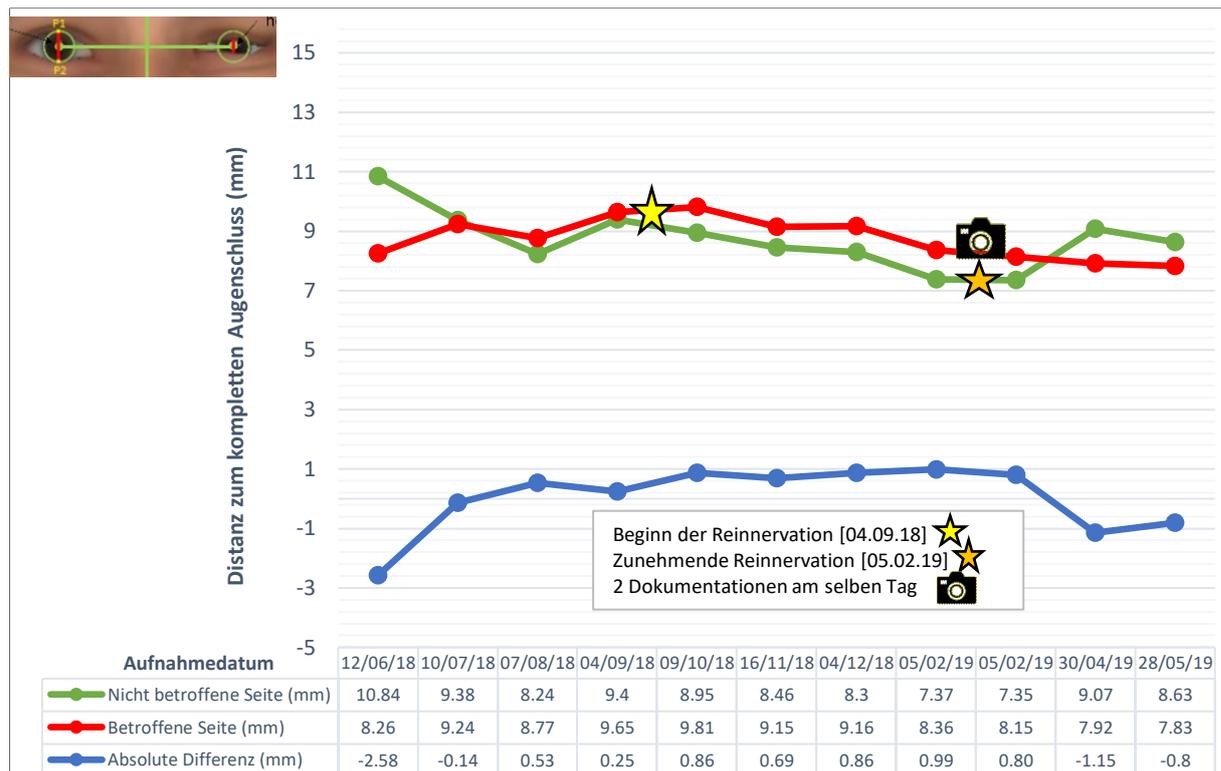


Abbildung 28: Euklidische Analyse (Emotrics) der Lidspalte in Ruhe von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der vertikalen Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid in Ruhe an den jeweiligen Sitzungen

Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte

Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte

Blau: Differenz in Millimetern zwischen nicht betroffener (grün) und betroffener Seite (rot)

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid

In Ruheposition zeigte sich eine Ausgangsdifferenz von 2,58 mm zwischen betroffener rechten (8,26 mm) und nicht betroffener linken Distanz zwischen Ober- und Unterlid (10,84 mm). Die vertikale Distanz der Lidspalte des betroffenen rechten Auges wurde in den ersten vier Monaten kontinuierlich um insgesamt 1,55 mm größer und erreichte am 09.10.2018 ihren Maximalwert von 9,81 mm. Die vertikale Distanz der Lidspalte des nicht betroffenen linken Auges hingegen nahm zunächst ab und unterschritt

bereits am 07.08.2018 die des betroffenen rechte Auges. Im Nadel-EMG konnte am 04.09.2018 der Beginn der Reinnervation festgestellt werden.

Ab diesem Zeitpunkt zeigte sich eine konstante Verkleinerung der vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterlid beider Seiten bis zum 05.02.2019. Ab dem 05.02.2019, konnte mit Hilfe des Nadel-EMG eine zunehmende Reinnervation festgestellt werden. Daraufhin kam es wiederum zur Vergrößerung der Lidspalte des nicht betroffenen Auges. In den letzten zwei Aufnahmedaten der euklidischen Analyse überschritt die Lidspalte des nicht betroffenen Auges erneut die erkrankte Seite. Am letzten Aufnahmedatum entsprach die absolute Differenz 0,8 mm und es ließ sich somit eine Abnahme der Seitendifferenz von 1,78 mm zum Ausgangswert von 2,58 mm verzeichnen. Die betroffene rechte Lidspalte zeigte eine Abnahme der vertikalen Distanz um insgesamt 0,43 mm bis auf 7,83 mm während sich die nicht betroffene linke Lidspalte um insgesamt 2,21 mm bis auf 8,63 mm im Vergleich zum Ausgangswert verkleinerte (Abb. 28).

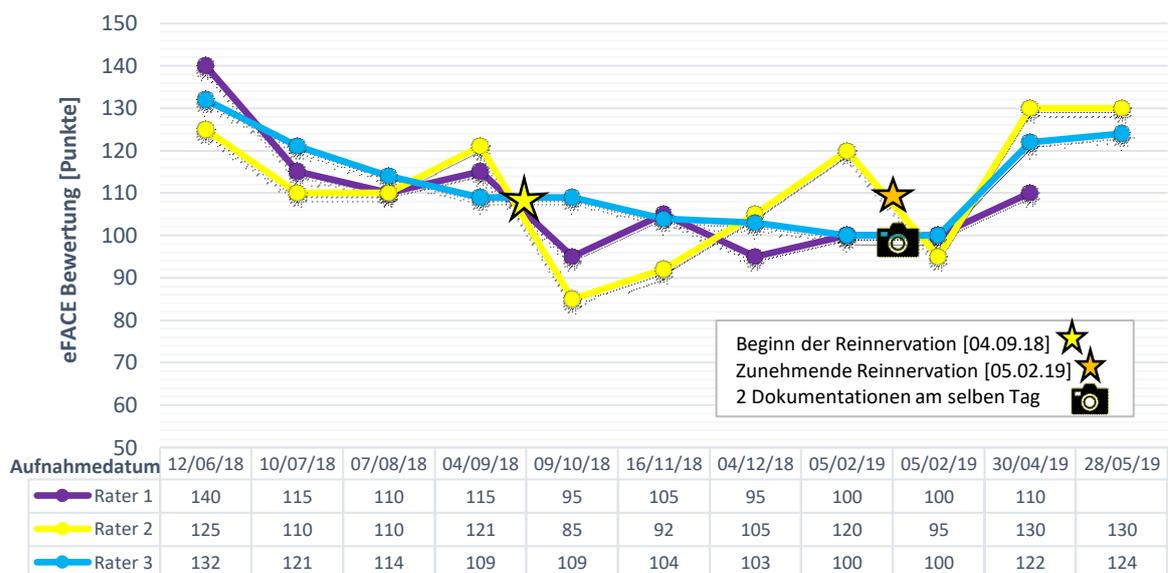


Abbildung 29: Expertenbasierte Bewertung (eFACE) der vertikalen Lidspaltendistanz in Ruhe von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung der vertikalen Lidspaltendistanz in Ruhe durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen

Lila: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 1

Gelb: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 2

Blau: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 3

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

In der eFACE Bewertung der drei Rater (Abb. 29) zeigte sich von Beginn der Datenerfassung bis zum 05.02.2019 eine einstimmige Abnahme der Punkte und damit klare Tendenz zur Vergrößerung der Lidspalte in Richtung der Normwerte von 100 Punkten. Nach Einsetzen der zunehmenden Reinnervation am 05.02.2019 verzeichneten alle 3 Rater eine deutliche Verkleinerung der Lidspalte.

4.3.1.2. Sanfter Augenschluss

Betrachtet wurden die euklidische Analyse mit Hilfe von Emotrics (Abb. 30) sowie die expertenbasierte Bewertung durch die eFACE (Abb. 31) und das SFGS (Abb. 32) der vertikalen Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid beim sanften Augenschluss.

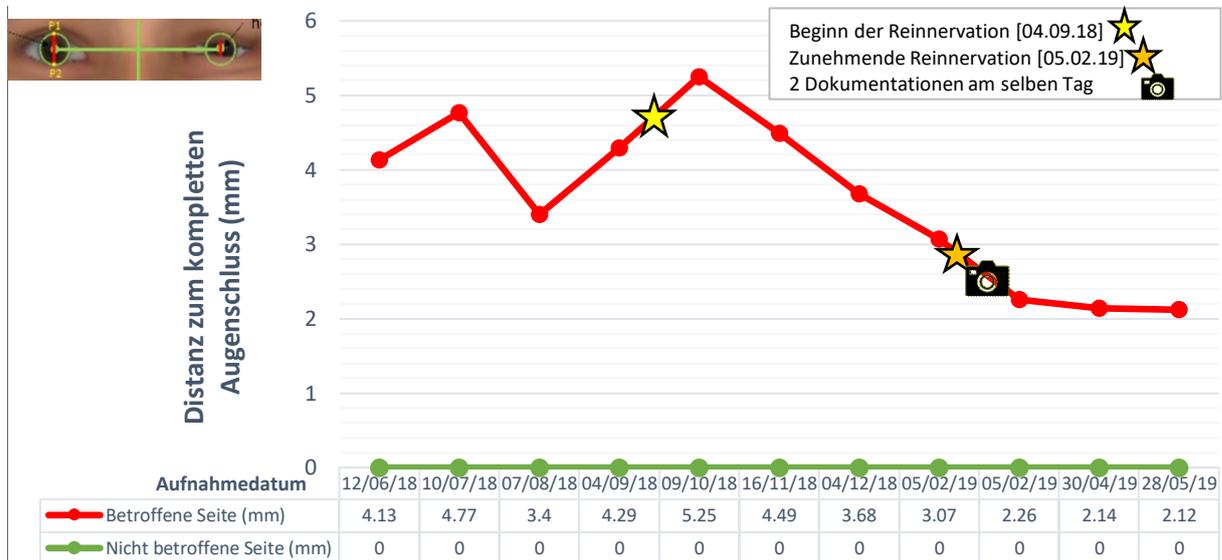


Abbildung 30: Euklidische Analyse (Emotrics) des sanften Augenschlusses von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der vertikalen Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid während des sanften Augenschlusses an den jeweiligen Sitzungen
 Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte
 Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte
 X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen
 Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen Ober- und Unterlid

Die euklidische Analyse der vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterlid während des aktiven Augenschlusses ergab während der gesamten Dokumentation einen vollständigen Augenschluss der nicht betroffenen Seite. Die Momentaufnahme der betroffenen Seite miss einen Ausgangswert von 4,13 mm am 12.06.2018. Der Augenlidschluss verschlechterte sich zunächst um 0,64 mm, woraufhin eine Verbesserung und damit Verkleinerung des vertikalen Abstandes eintrat.

Anschließend vergrößerte sich allerdings der Wert erneut und erreichte seinen Maximalwert am 09.10.2018. Ab dem 09.10.2018 und damit nach Beginn der Reinnervation trat bei der Patientin eine kontinuierliche Verbesserung und damit eine Verkleinerung der Lidspalte bis zum Ende der Dokumentationsreihe ein. Als finalen Wert betrug die vertikale Distanz zwischen Ober- und Unterlid der Patientin 2,12 mm und hat sich zum Ausgangswert von 4,13 mm nahezu halbiert (Abb. 30).

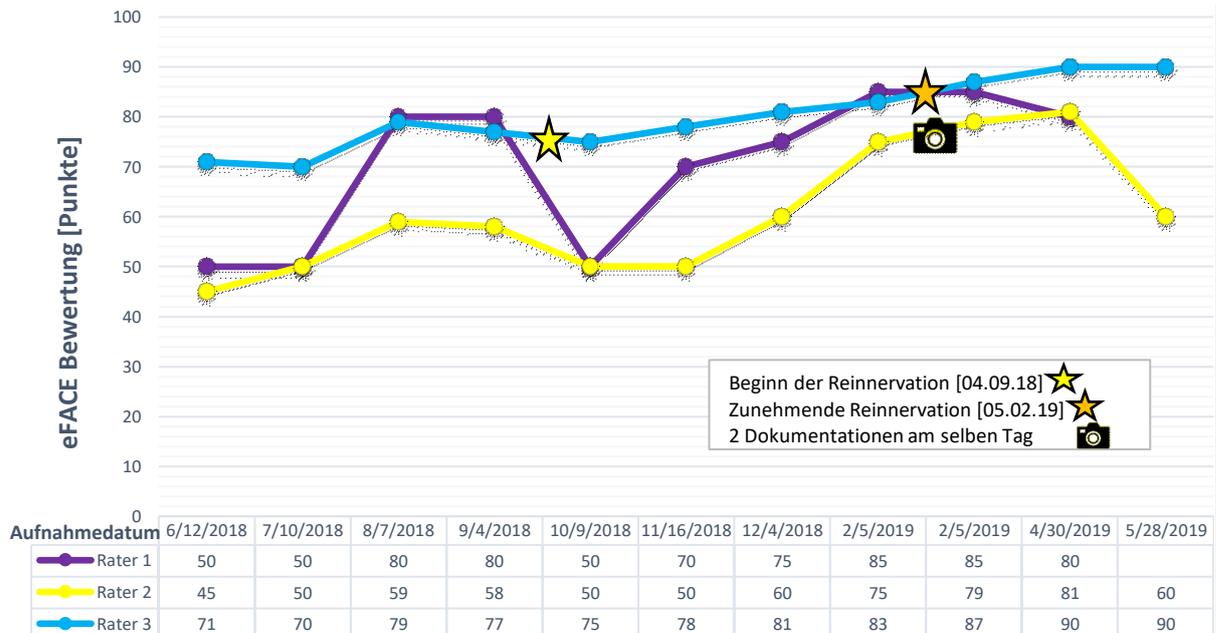


Abbildung 31: Expertenbasierte Bewertung (eFACE) der vertikalen Lidspaltendistanz während des sanften Augenschlusses von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung der vertikalen Lidspaltendistanz während des sanften Augenschlusses durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen
 Lila: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 1
 Gelb: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 2
 Blau: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 3
 X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen
 Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

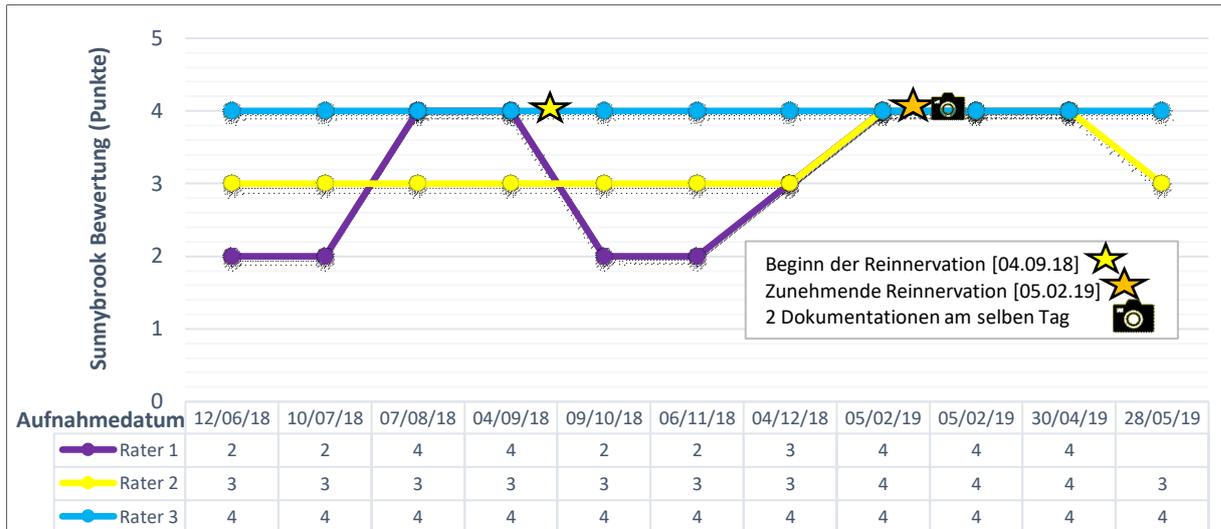


Abbildung 32: Expertenbasierte Bewertung (SFGS) der vertikalen Lidspaltendistanz während des sanften Augenschlusses von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung der vertikalen Lidspaltendistanz während des sanften Augenschlusses durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen

Lila: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 1

Gelb: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 2

Blau: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 3

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: SFGS Bewertungspunktzahl

Die Rater bewerteten mittels SFGS und eFACE einen nahezu konstanten Verlauf in den ersten fünf Monaten der Dokumentationsreihe. Ab dem 16.11.2018 kam es zum stetigen Anstieg der eFACE Punktzahl und der damit empfundenen Verbesserung des Augenschlusses (Abb. 31). Ab dem 05.02.2019 und mit Beginn der im Nadel-EMG gemessenen zunehmenden Reinnervation bewerteten ebenfalls alle 3 Rater den entsprechenden Lidschluss innerhalb der SFGS als nahezu komplett. Lediglich Rater 3 verzeichnete ebenfalls einen kontinuierlichen Verbesserungsverlauf in der expertenbasierten Bewertung mittels eFACE. Rater 2 interpretierte sogar eine Verschlechterung innerhalb des letzten Monats (Abb. 32).

4.3.2. Das Augenbrauenareal

Euklidisch analysiert wurde jeweils beidseits eine Senkrechte, die die vertikale Distanz in Millimetern zwischen Iriszentrum und oberer Augenbrauenkante beider Augen darstellt (Abb. 33). Es wurde sich auf das Bewegungsausmaß konzentriert, welches zwischen Ruheposition und der Momentaufnahme des Anhebens der Augenbraue möglich war, da dieses ausschlaggebend für die Interpretation der Muskelaktivität war.

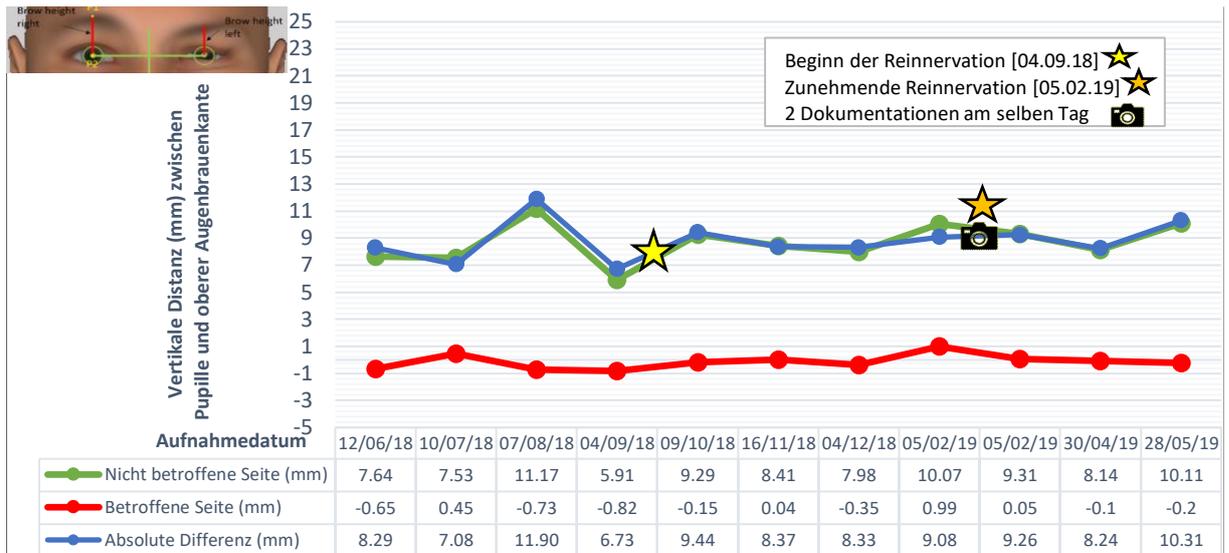


Abbildung 33: Euklidische Analyse (Emotrics) der Bewegungsamplitude der Augenbraue von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Distanz in Millimetern zwischen Iriszentrum und der oberen Augenbrauenkante an den jeweiligen Sitzungen
 Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte
 Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte
 X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen
 Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen Iriszentrum und oberer Augenbrauenkante

Das Augenbrauenareal der Patientin wurde während der Studie nicht elektrostimuliert. Im Verlauf der kompletten Dokumentation wurden keine Differenzen zwischen Ruheposition und der Momentaufnahme des Stirnrunzelns der betroffenen Seite größer als 1mm euklidisch gemessen. Die nicht betroffene Seite hingegen zeigte vergleichbar konstante Werte nach Eintritt der Reinnervation am 04.09.2018.

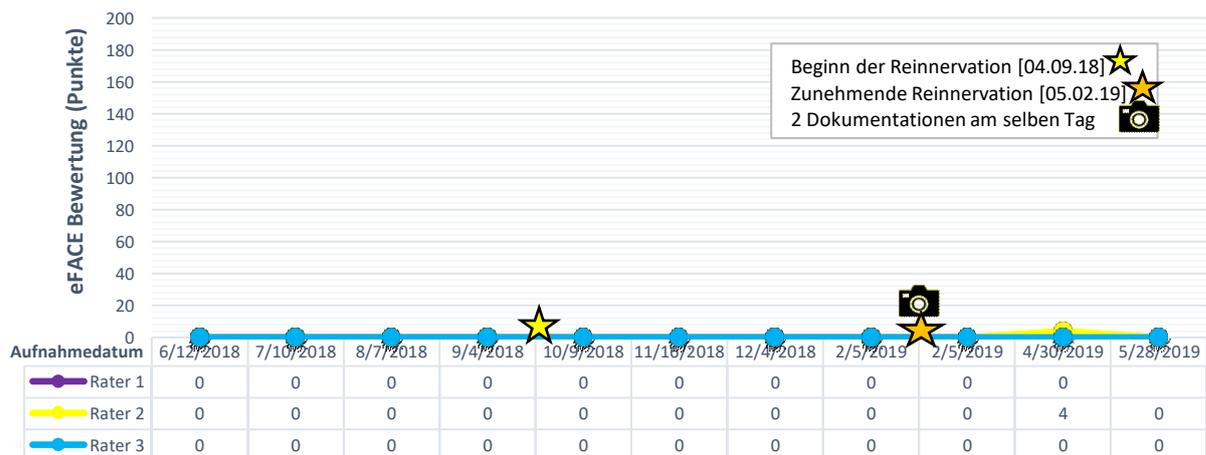


Abbildung 34: Expertenbasierte Bewertung (eFACE) der Bewegung „Stirnrunzeln“ von Patientin 001: Bewertung der Augenbrauenbewegung durch die 3 Rater an den Sitzungen
 Lila: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 1
 Gelb: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 2
 Blau: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 3
 X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen
 Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

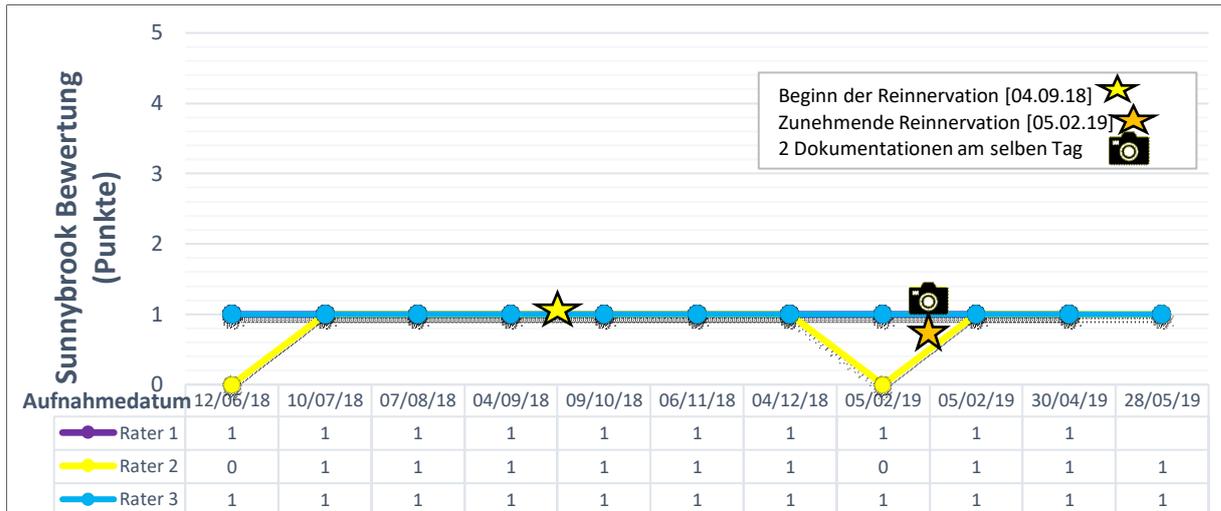


Abbildung 35: Expertenbasierte Bewertung (SFGS) der Bewegung „Stirnrunzeln“ von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung der Augenbrauenbewegung durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen

Lila: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 1

Gelb: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 2

Blau: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 3

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: SFGS Bewertungspunktzahl

Auch die Experten-Bewertungen der drei Rater mittels SFGS (Abb. 35), als auch eFACE (Abb. 34), zeigten ein vergleichbares Resultat zur euklidischen Analyse. Die SFGS Auswertung zeigte keine bis wenige Initiationen einer Bewegung der betroffenen Seite, während mittels der eFACE Auswertung, mit Ausnahme einer Bewertung am 30.04.2019, keine Bewegungen vernommen werden konnten.

4.3.3. Der Mund

Euklidisch analysiert wurden der Seitenvergleich der Kommissurexkursion und Höhendifferenz als auch der entsprechende Lachwinkel der Patientin.

4.3.3.1. Die orale Kommissurexkursion in Ruhe

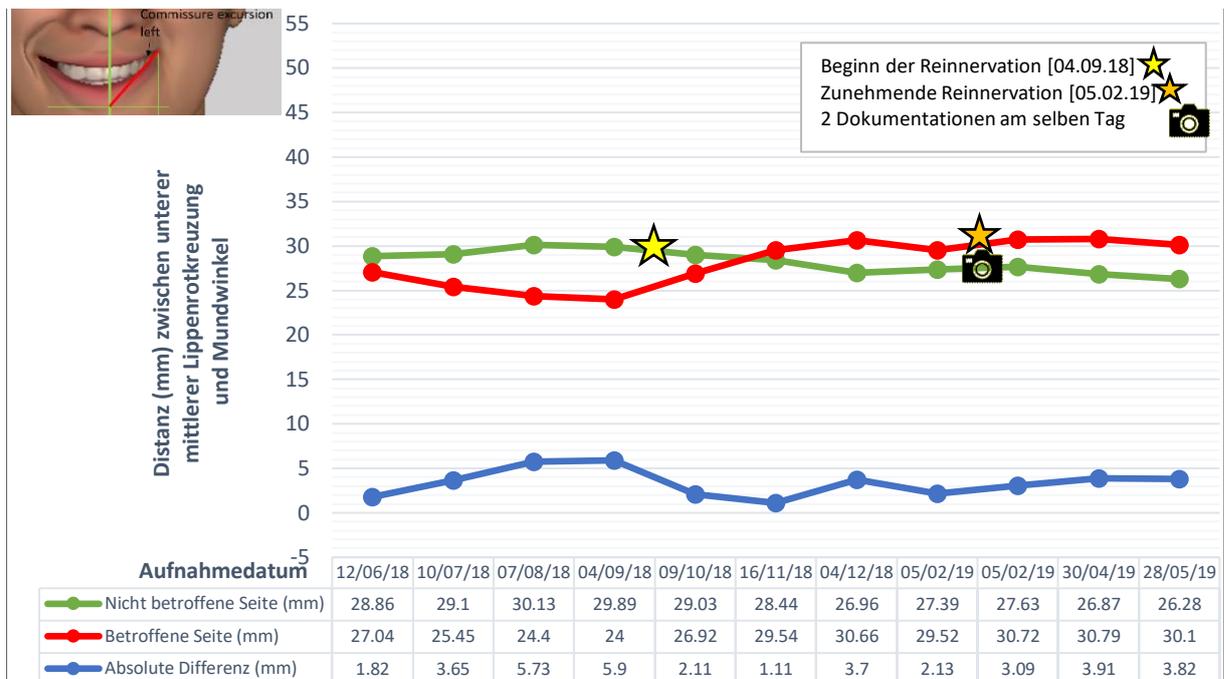


Abbildung 36: Euklidische Analyse (Emotrics) der oralen Kommissurexkursion in Ruhe von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Distanz zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und des Mundwinkels an den jeweiligen Sitzungen

Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte

Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel

Die orale Kommissurexkursion in Ruhe (Abb. 36) war zu Beginn auf der nicht betroffenen Seite größer (28,86 mm) als auf der betroffenen rechten Seite (27,04 mm). Diese Differenz vergrößerte sich im Laufe der ersten vier Messzeitpunkte bei Vergrößerung der linken Seite und gleichzeitiger Verkleinerung der rechten Seite. Ab Eintritt der Reinnervationsphase kam es zu entgegengesetzten Entwicklungen, die von einer Vergrößerung der betroffenen und Verkleinerung der nicht betroffenen Seite geprägt waren. Am 16.11.2018 überschritt die Exkursion der erkrankten Seite die der linken, nicht erkrankten Seite und besaß nun konstant größere Werte.

4.3.3.2. Die Höhendifferenz der Mundwinkel in Ruhe

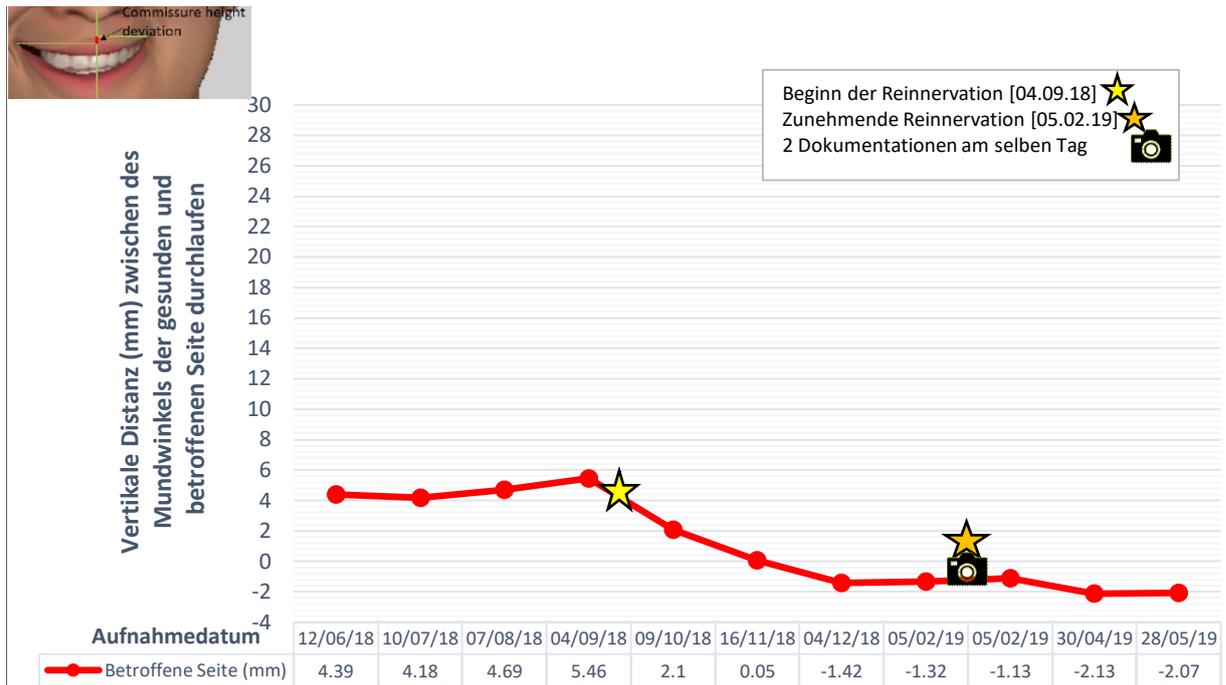


Abbildung 37: Euklidische Analyse (Emotrics) der Höhendifferenz der Mundwinkel in Ruhe von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der vertikalen Distanz zwischen 2 horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen an den jeweiligen Sitzungen

Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte

Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen 2 horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen

Damit einhergehend waren auch Veränderungen der Höhendifferenz (Abb. 37) und des Lachwinkels (Abb. 38) der Patientin zu verzeichnen. Die Höhendifferenz der Patientin in Ruhe betrug zu Beginn der Analyse 4,39 mm und blieb nahezu konstant bis zum 04.09.2018 mit Eintritt der Reinnervation. Anschließende Messungen verzeichneten eine deutliche Verbesserung und Anpassung des Höhenunterschiedes in Richtung übereinstimmender Werte der rechten und linken Gesichtshälfte. Ab dem 04.12.2018 war die betroffene Seite im Verhältnis zur Mittellinie des Gesichtes höher gelegen.

4.3.3.3. Der Lachwinkel in Ruhe

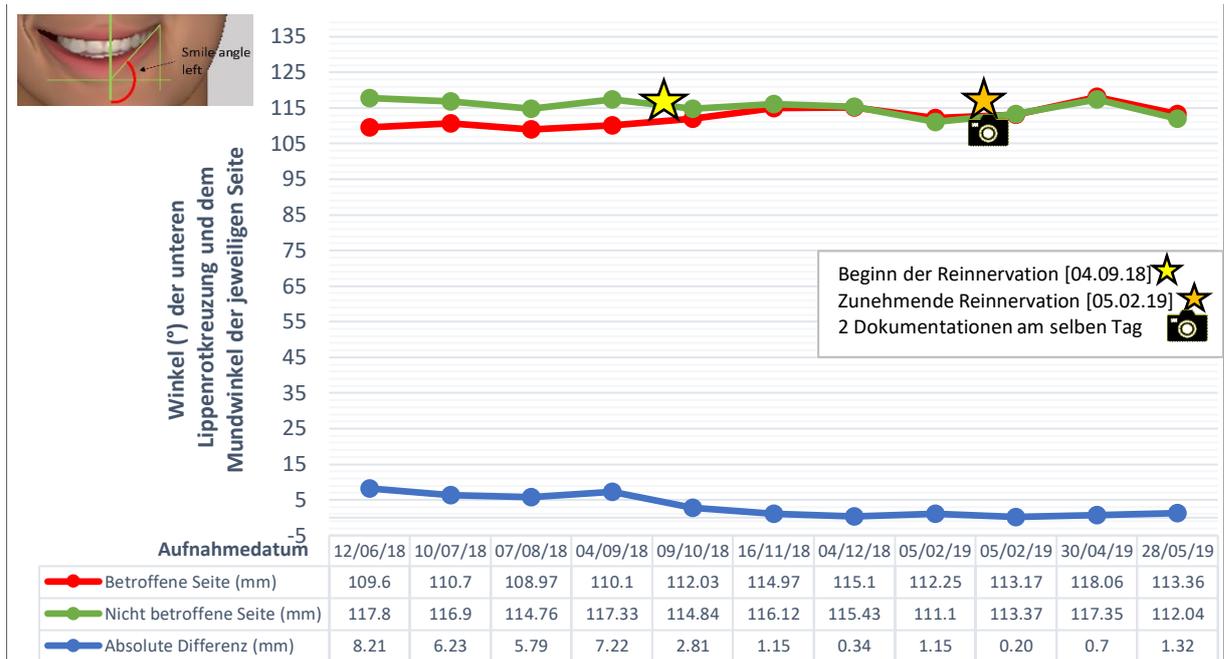


Abbildung 38: Euklidische Analyse (Emotrics) des Lachwinkels in Ruhe von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf des Winkels zwischen der Horizontalen Linie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung und dem Mundwinkel der jeweiligen Seite an den jeweiligen Sitzungen

Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte

Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Winkel zwischen der Horizontalen Linie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung und dem Mundwinkel der jeweiligen Seite

Ähnliches ließ sich beim Lachwinkel beobachten. Während der Ausgangswert der betroffenen Seite noch deutliche Abweichungen zur nicht betroffenen Seite zeigte, glichen sich die Werte nach Eintritt der Reinnervation sichtbar an und erzielten gegen Ende der Dokumentationsreihe nahezu identische Werte.

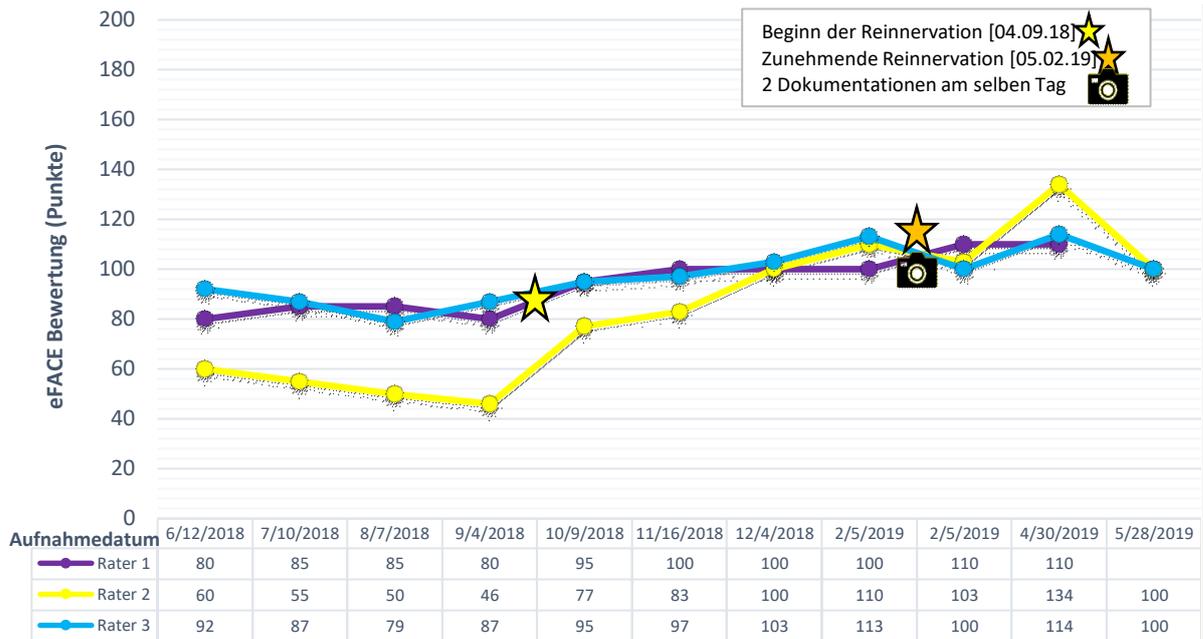


Abbildung 39: Expertenbasierte Bewertung (eFACE) des Lachwinkels in Ruhe von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung des Lachwinkels in Ruhe durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen

Lila: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 1

Gelb: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 2

Blau: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 3

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

Die Bewertungen mittels eFACE (Abb. 39) zeigten eine simultane expertenbasierte Einschätzung der Betrachter. Besonders Rater 2 vernahm deutliche Verbesserungen ab dem 04.09.2018, die auf eine Zunahme der Exkursion, Verkleinerung der Höhendifferenz und Anpassung des Mundwinkels der betroffenen Seite in Ruhe schließen ließen und genannte Betrachtungsparameter größer als die Gegenseite ausfallen ließen.

4.3.3.4. Die orale Kommissurexkursion während des Lächelns

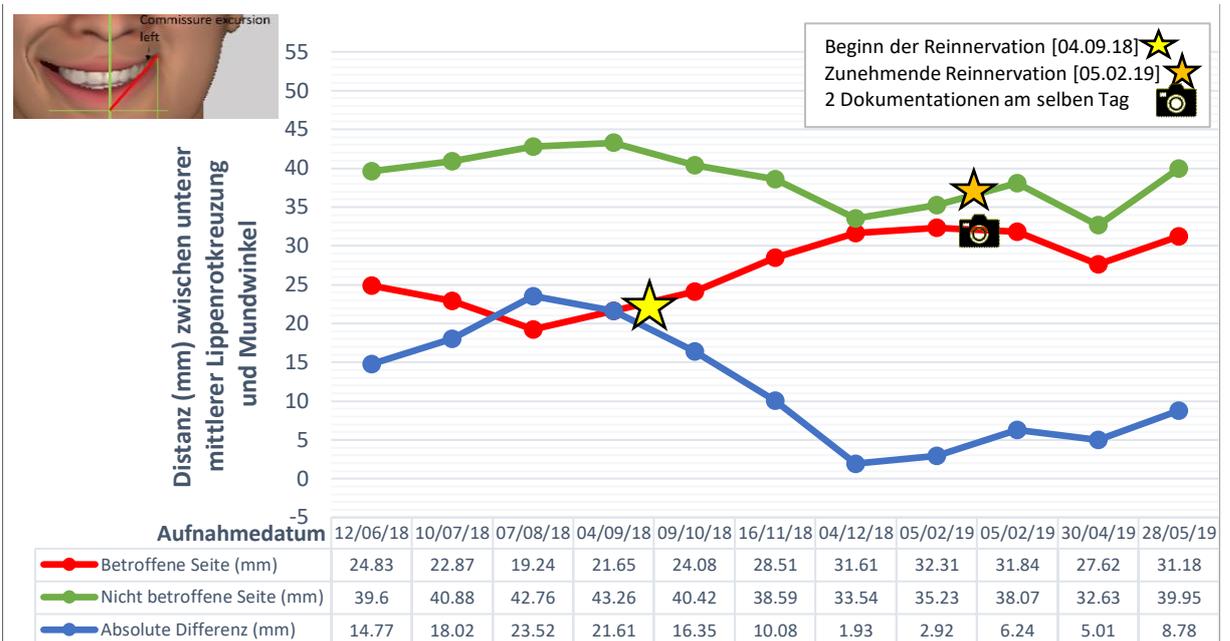


Abbildung 40: Euklidische Analyse (Emotrics) der oralen Kommissurexkursion während des Lächelns von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Distanz zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und des Mundwinkels während des Lächelns an den jeweiligen Sitzungen

Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte

Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel

Die Kommissurexkursion während des Lächelns (Abb. 40) zeigte zu Beginn der Dokumentationsreihe eine deutliche Verminderung der betroffenen Seite (24,83 mm) im Vergleich zur nicht betroffenen Seite (39,6 mm). Diese Differenz stieg zunächst unter Verkleinerung der betroffenen rechten und gleichzeitiger Vergrößerung der nicht betroffenen linken Seite bis zum 07.08.2018 an.

Ab dem besagten Datum und damit 2 Monate nach initialer Elektrostimulation zeigte sich eine gegensätzliche Entwicklung im Vergleich zu den ersten beiden Monaten. Diese zeichnete sich durch kontinuierliche Vergrößerung der betroffenen Seite und gleichzeitiger Abnahme der nicht betroffenen Seite aus, sodass bereits am 04.12.2018 nur noch Differenzen von 1,93 mm euklidisch messbar waren. In den letzten 5 Monaten bis zum letzten Aufnahmedatum am 28.05.2019 verhielten sich beide Gesichtshälften im Seitenvergleich gleichwertig. Im Verlauf der gesamten Dokumentationsreihe war damit eine Annäherung der Kommissurexkursion von insgesamt 5,99mm festzustellen.

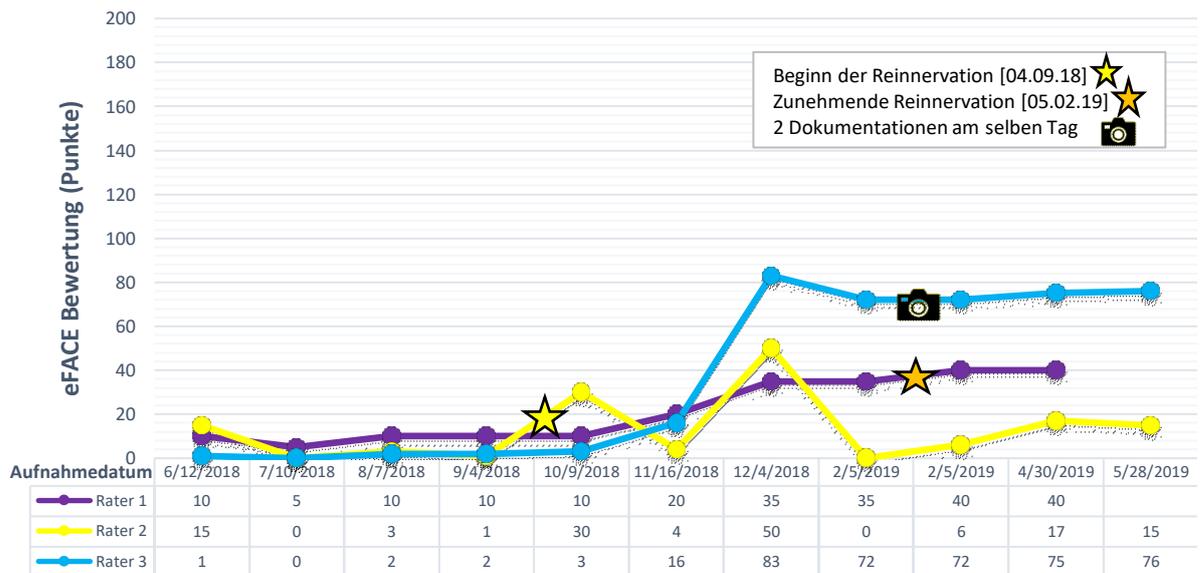


Abbildung 41: Expertenbasierte Bewertung (eFACE) des Lächelns von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung des Lächelns durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen

Lila: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 1

Gelb: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 2

Blau: Zeitlicher Verlauf der eFACE Bewertungen von Rater 3

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

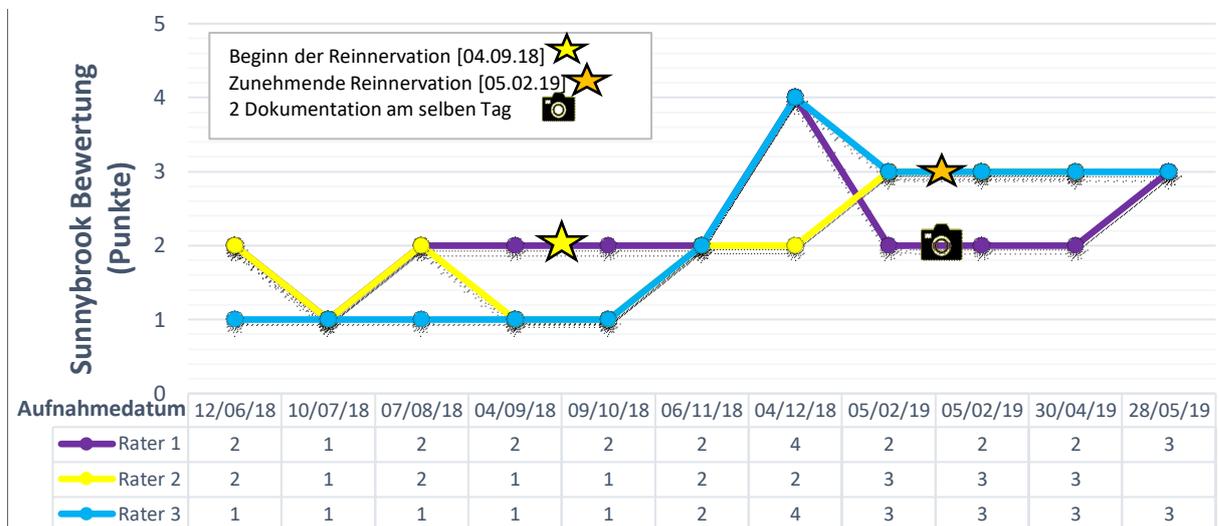


Abbildung 42: Expertenbasierte Bewertung (SFGS) des Lächelns von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der Bewertung des Lächelns durch die 3 Rater an den jeweiligen Sitzungen

Lila: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 1

Gelb: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 2

Blau: Zeitlicher Verlauf der SFGS Bewertungen von Rater 3

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: SFGS Bewertungspunktzahl

In der eFACE Bewertung der oralen Verhältnisse (Abb. 41) schätzen die Rater das Bewegungsspektrum vergleichbar konstant als nahezu inaktiv bis zum 16.11.2018 ein. Ab dem 04.12.2018, ist eine deutliche Verbesserung analog zur euklidischen Analyse lediglich für Rater 3 erkennbar. Rater 2 verzeichnet sogar eine Verschlechterung der Situation ab dem besagten Datum.

Die SFGS Bewertung (Abb. 42) zeigt ein ähnliches Verlaufsmuster, bei dem insbesondere der 04.12.2018 als beachtliche Verbesserung der Situation wahrgenommen wird.

4.3.3.5. Die Höhendifferenz der Mundwinkel während des Lächelns

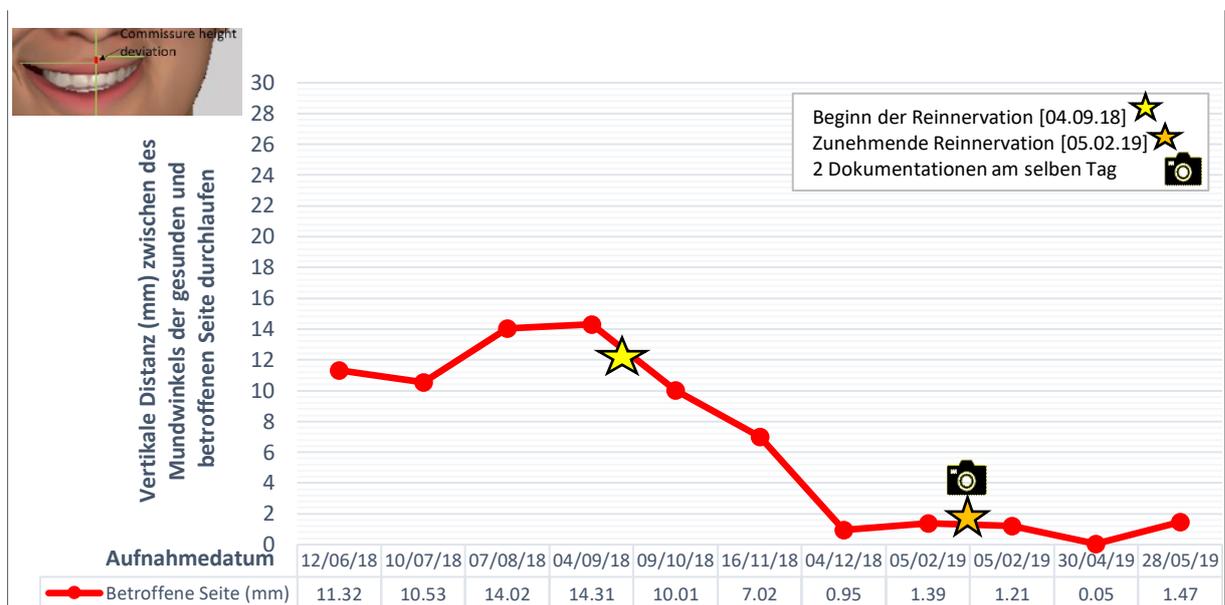


Abbildung 43: Euklidische Analyse (Emotrics) der Höhendifferenz der Mundwinkel während des Lächelns von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf der vertikalen Distanz zwischen 2 horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen an den jeweiligen Sitzungen
 Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte
 Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte
 X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen
 Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen 2 horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen

Betrachtet man die orale Höhendifferenz der Patientin im zeitlichen Verlauf der Studie, war über die Zeit der ersten 3 Monate der Dokumentation bis zum Beginn der Reinnervation eine Vergrößerung der Seitendifferenz zu erkennen. Nach Eintritt der Reinnervation kam es zur rapiden Verkleinerung der Höhendifferenz während des Lächelns bis zum 4.12.2018.

Ab Dezember 2018 stabilisierte sich der Wert und es ließen sich 1,47 mm nach Abschluss der Fotoreihe euklidisch messen. Somit näherte sich die orale Höhendifferenz um insgesamt 9,85 mm in Richtung identischer oraler Höhenverhältnisse.

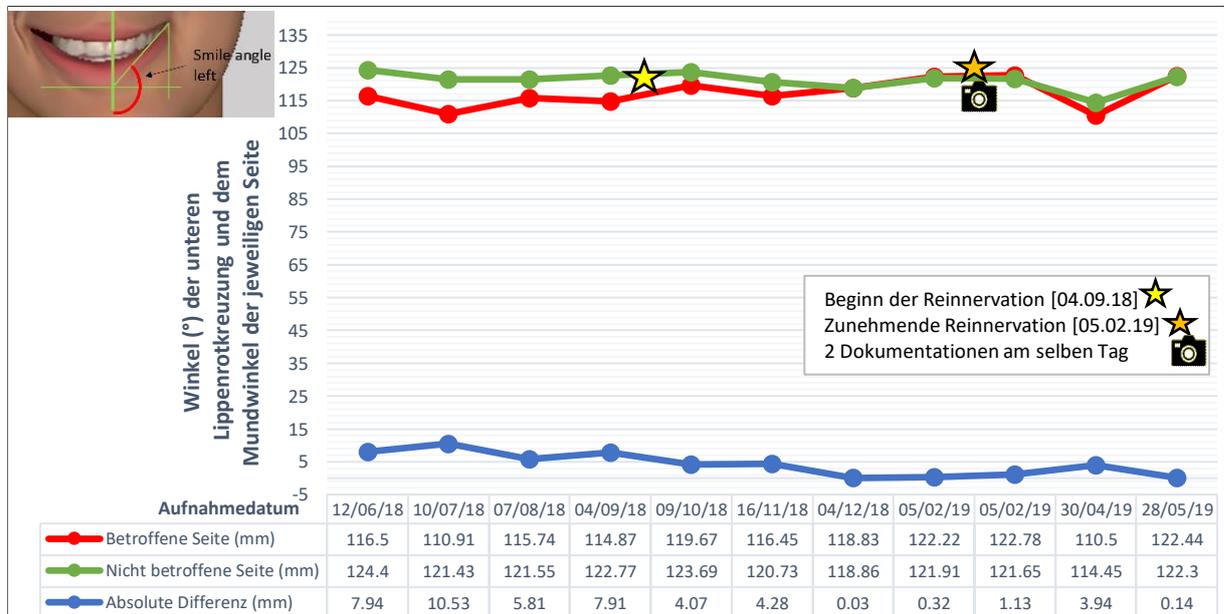


Abbildung 44: Euklidische Analyse (Emotrics) des Lachwinkels während des Lächelns von Patientin 001: Zu sehen ist der zeitliche Verlauf des Winkels zwischen der Horizontalen Linie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung und dem Mundwinkel der jeweiligen Seite an den jeweiligen Sitzungen

Grün: Zeitlicher Verlauf der nicht betroffenen linken Gesichtshälfte

Rot: Zeitlicher Verlauf der betroffenen rechten Gesichtshälfte

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Winkel zwischen der Horizontalen Linie, ausgehend von der unteren Lippenrotkreuzung und dem Mundwinkel der jeweiligen Seite

Der Lachwinkel während des Lachens war zu Beginn auf der betroffenen rechten Seite euklidisch kleiner messbar. Im ersten Monat vergrößerte sich die Differenz der beiden Seiten zunächst, erfuhr dann allerdings eine stetige Verkleinerung. Ab dem 04.12.2018 war der Winkel der nicht betroffenen und betroffenen Seite nahezu gleich groß.

4.4. Die Bedeutung der Mittellinienkorrektur

Eine manuelle Festlegung bzw. Korrektur der Mittellinie des Gesichtes ist für die korrekte Ergebnisdarstellung innerhalb von Emotrics zwingend notwendig.

Um aufzuzeigen, welches Ausmaß die manuelle Korrektur der Mittellinie auf den Interpretationsaspekt haben kann, wurde beispielhaft zur Veranschaulichung im

Folgenden die Höhendifferenz während des Lächelns vor und nach Mittellinienkorrektur der Patientin 003 dargestellt (Abb. 45).

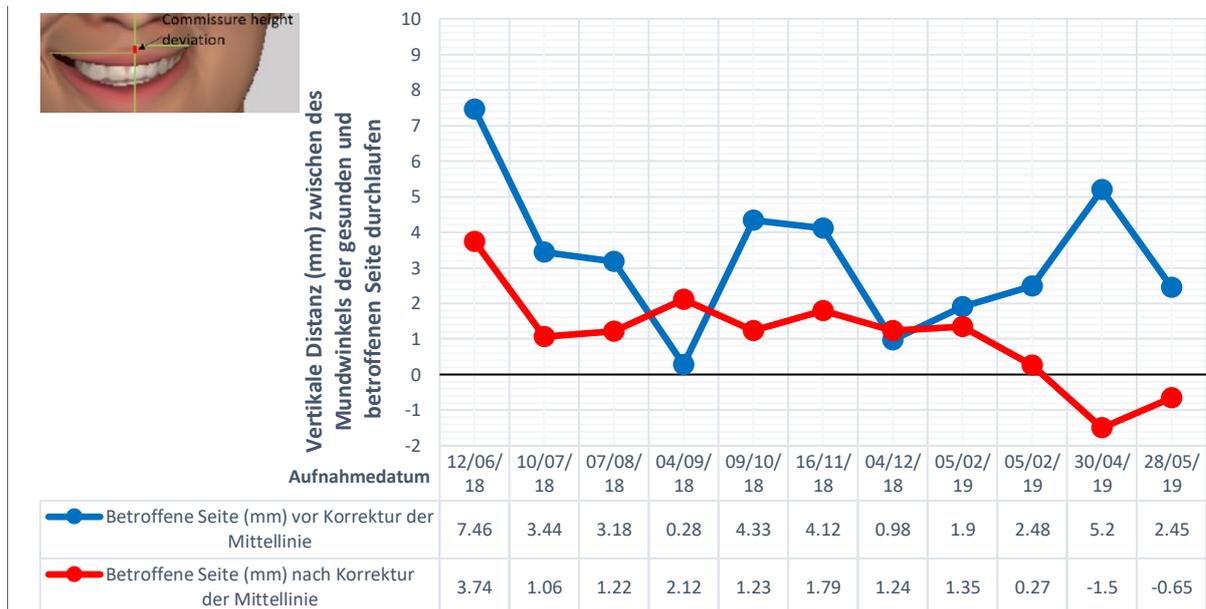


Abbildung 45: Höhendifferenz während des Lächelns vor (blau) und nach (rot) Mittellinienkorrektur der Patientin 003:

X-Achse: Aufnahmedatum der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen

Y-Achse: Vertikale Distanz in Millimetern zwischen 2 horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen

Nach Korrektur der Mittellinie ist im Verlauf der Dokumentationsreihe eine nahezu konstante Verkleinerung der Höhendifferenz zwischen der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte zu verzeichnen.

Im Gegensatz dazu wurden von Emotrics ohne Korrektur Werte erfasst, die keine eindeutige Tendenz im Rahmen der Dokumentation vermuten lassen.

4.5. Statistische Auswertung

4.5.1. Interrater Reliabilität der eFACE Bewertungen der 3 Rater

Bei der statistischen Auswertung der Interrater Reliabilität wurden die Experten-Bewertungen der 3 unabhängigen Rater verglichen. Dazu wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient berechnet. In Tabelle 13 sind die dazugehörigen Werte dargestellt.

Interrater-Reliabilität der eFACE Bewertungen der 3 Rater						
Parameter	ICC	95% CI	Bewertung	Mittelwert der Messung	Standardabweichung	N
Lidspaltenbreite in Ruhe	0,862	[0,787; 0,913]	Rater 1	90,763	16,990	59
			Rater 2	84,831	20,369	59
			Rater 3	92,034	17,715	59
Augenbrauenposition in Ruhe	0,763	[0,636; 0,851]	Rater 1	91,900	8,105	60
			Rater 2	91,150	13,473	60
			Rater 3	87,433	11,843	60
Orale Kommissurexkursion in Ruhe	0,902	[0,850; 0,938]	Rater 1	68,115	30,689	61
			Rater 2	66,820	38,444	61
			Rater 3	75,508	23,320	61
Nasolabialfaltentiefe in Ruhe	0,894	[0,838; 0,933]	Rater 1	30,000	35,367	61
			Rater 2	29,213	35,070	61
			Rater 3	27,295	32,261	61
Nasolabialfaltenorientierung in Ruhe	0,932	[0,896; 0,957]	Rater 1	40,820	38,592	61
			Rater 2	61,393	43,861	61
			Rater 3	55,770	43,894	61
Augenbrauenbewegung	0,780	[0,650; 0,867]	Rater 1	2,510	5,221	51
			Rater 2	8,902	10,971	51
			Rater 3	2,353	3,452	51
Sanfter Augenschluss	0,922	[0,881; 0,951]	Rater 1	52,383	29,293	60
			Rater 2	40,083	21,569	60
			Rater 3	58,783	26,168	60
Fester Augenschluss	0,874	[0,807; 0,921]	Rater 1	73,050	26,698	60
			Rater 2	35,283	16,785	60
			Rater 3	58,467	25,028	60
Orale Kommissurexkursion beim Lächeln	0,722	[0,571; 0,826]	Rater 1	5,288	10,549	59
			Rater 2	3,695	8,380	59
			Rater 3	14,237	24,125	59
Nasolabialfaltentiefe beim Lächeln	0,892	[0,834; 0,933]	Rater 1	15,932	26,383	59
			Rater 2	30,203	35,240	59
			Rater 3	28,220	32,405	59
Nasolabialfaltenorientierung beim Lächeln	0,904	[0,851; 0,940]	Rater 1	17,373	25,161	59
			Rater 2	23,203	36,382	59
			Rater 3	30,305	39,203	59

Tabelle 13: Interrater-Reliabilität der 3 unabhängigen Rater innerhalb der eFACE

(ICC - Intraclasscoefficient, 95% CI – 95% Konfidenzintervall, N – Gesamtzahl der Bewertungen des Parameters über alle Messzeitpunkte der 5 Patienten. Die Variation der Gesamtzahl der Bewertungen basiert auf der Anzahl des auswertbaren Bildmaterials. Die Gründe für eine nicht Auswertbarkeit des einzelnen Farb-2D-Fotos befinden sich in Anhang 2)

Die Interrater-Reliabilität der 3 unabhängigen Rater sind mit Werten im Bereich von 0,76 und 0,93 als „sehr gut“ zu bewerten. Lediglich die orale Kommissurexkursion wies mit 0,722 einen „guten“ Wert auf

4.5.2. Vergleich der eFACE-Bewertungen durch 3 Experten mit einer euklidischen Vermessung

Zur statistischen Auswertung wurden die Ergebnisse des euklidischen Messverfahrens und die Ergebnisse der Experten-Bewertung durch die drei unabhängigen Rater miteinander verglichen. Hierbei diente der Intraklassen-Korrelationskoeffizient dazu, zu beantworten, ob und speziell in welchen anatomischen Regionen sich ein expertenbasiertes und euklidisches Verfahren unterscheiden (Tab. 14).

Rater 1						
	ICC	95% CI	Bewertung	Mittelwert der Messung	Standard Abweichung	N
Lidspaltenbreite in Ruhe	0,820	[0,696; 0,893]	Euklidisch	87,337	16,062	58
			Rater 1	90,776	17,137	58
Augenbrauen-position in Ruhe	0,677	[0,459; 0,807]	Euklidisch	90,911	5,800	60
			Rater 1	91,900	8,105	60
Augenbrauen-bewegung	0,755	[0,570; 0,860]	Euklidisch	7,788	7,669	51
			Rater 1	2,510	5,221	51
Sanfter Augenschluss	0,831	[0,713; 0,900]	Euklidisch	55,710	17,681	57
			Rater 1	52,070	28,442	57
Orale Kommissur-exkursion beim Lächeln	0,578	[0,284; 0,752]	Euklidisch	4,403	12,256	57
			Rater 1	5,473	10,687	57
Rater 2						
	ICC	95% CI	Bewertung	Mittelwert der Messung	Standard Abweichung	N
Lidspaltenbreite in Ruhe	0,867	[0,783; 0,918]	Euklidisch	84,012	18,600	67
			Rater 2	81,731	22,500	67
Augenbrauen-position in Ruhe	0,444	[0,102; 0,656]	Euklidisch	91,103	5,737	69
			Rater 2	91,333	12,830	69
Augenbrauen-bewegung	0,728	[0,545; 0,838]	Euklidisch	8,063	7,467	60
			Rater 2	9,833	10,630	60
Sanfter Augenschluss	0,895	[0,830; 0,936]	Euklidisch	53,872	17,583	67
			Rater 2	37,134	21,366	67
Orale Kommissur-exkursion beim Lächeln	0,532	[0,233; 0,715]	Euklidisch	3,861	11,557	65
			Rater 2	3,584	8,166	65
Rater 3						
	ICC	95% CI	Bewertung	Mittelwert der Messung	Standard Abweichung	N
Lidspaltenbreite in Ruhe	0,789	[0,656; 0,870]	Euklidisch	84,012	18,600	67
			Rater 3	86,910	21,177	67
Augenbrauen-position in Ruhe	0,923	[0,874; 0,953]	Euklidisch	91,103	5,737	69
			Rater 3	86,768	11,699	69
Augenbrauen-bewegung	0,656	[0,424; 0,794]	Euklidisch	8,063	7,467	60
			Rater 3	2,400	3,200	60

Sanfter Augenschluss	0,869	[0,787; 0,919]	Euklidisch	53,872	17,583	67
			Rater 3	54,642	26,768	67
Orale Kommissur- exkursion beim Lächeln	0,650	[0,426; 0,787]	Euklidisch	4,446	13,044	65
			Rater 3	14,092	24,553	65

Tabelle 14: Vergleich der expertenbasierten Bewertung und euklidischen Analyse durch die eFACE

(ICC - Intraclasscoefficient, 95% CI – 95% Konfidenzintervall, N – Gesamtzahl der Bewertungen des Parameters über alle Messzeitpunkte der 5 Patienten. Die Variation der Gesamtzahl der Bewertungen basiert auf der Anzahl des auswertbaren Bildmaterials. Die Gründe für eine nicht Auswertbarkeit des einzelnen Farb-2D-Fotos befinden sich in Anhang 2)

Die ICC-Koeffizienten der expertenbasierten Bewertungen des ersten Raters erreichen Werte im Bereich von 0,578 und 0,831. Dabei sind die Momentaufnahmen der statischen vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterlid, der Augenlidschluss sowie die Augenbrauenelevation als „sehr gut“ einzustufen. Die Momentaufnahmen der statischen Augenbrauenposition sind als „gut“ und die orale Kommissurexkursion lediglich als „durchschnittlich“ einzustufen.

Die expertenbasierten Bewertungen von Rater 2 sind mit ICC-Koeffizienten im Bereich von 0,444 und 0,895 zu bewerten. Hierbei sind die Momentaufnahmen der statischen vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterlid und der Augenlidschluss als „sehr gut“ einzustufen. Die Augenbrauenelevation ist „gut“, während die statische Augenbrauenposition und die orale Kommissurexkursion wiederum als „durchschnittlich“ zu bewerten ist.

Die expertenbasierten Bewertungen des dritten Raters sind mit ICC-Koeffizienten im Bereich von 0,650 und 0,923 zu bewerten. Die Momentaufnahmen der statischen vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterlid, der Augenlidschluss sowie die statische Augenbrauenposition sind mit „sehr gut“ zu bewerten. Die Augenbrauenelevation und orale Kommissurexkursion ist als „gut“ einzustufen.

Zur Veranschaulichung des Verlaufs der expertenbasierten Bewertungen im Vergleich zur euklidischen Analyse wurden im Folgenden zwei Beispiele repräsentativ grafisch dargestellt (Abb. 46, 47). Alle Grafiken sind im Anhang 2, 3, 4 und 5 einzusehen.

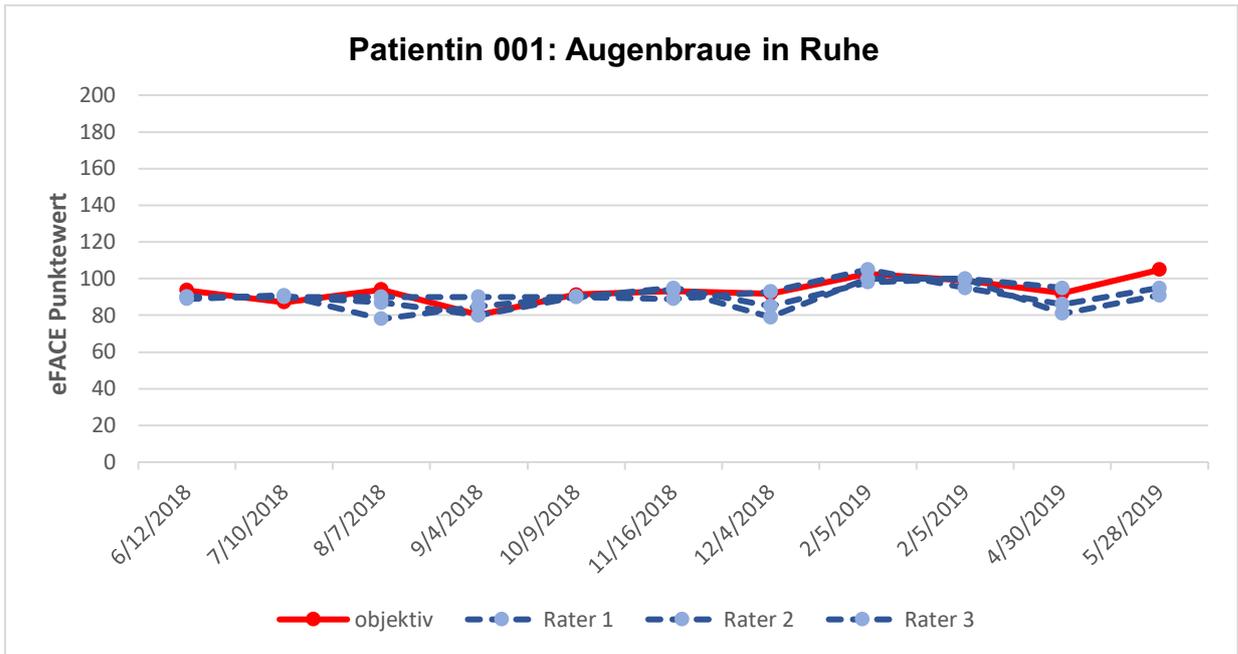


Abbildung 46: Grafische Darstellung der expertenbasierten Bewertungen mit Hilfe der eFACE im Vergleich zur euklidischen Analyse durch Emotrics der Augenbraue in Ruheposition
X-Achse: Aufnahmezeitpunkt der Farb-2D-Fotoserie der insgesamt 11 Sitzungen
Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

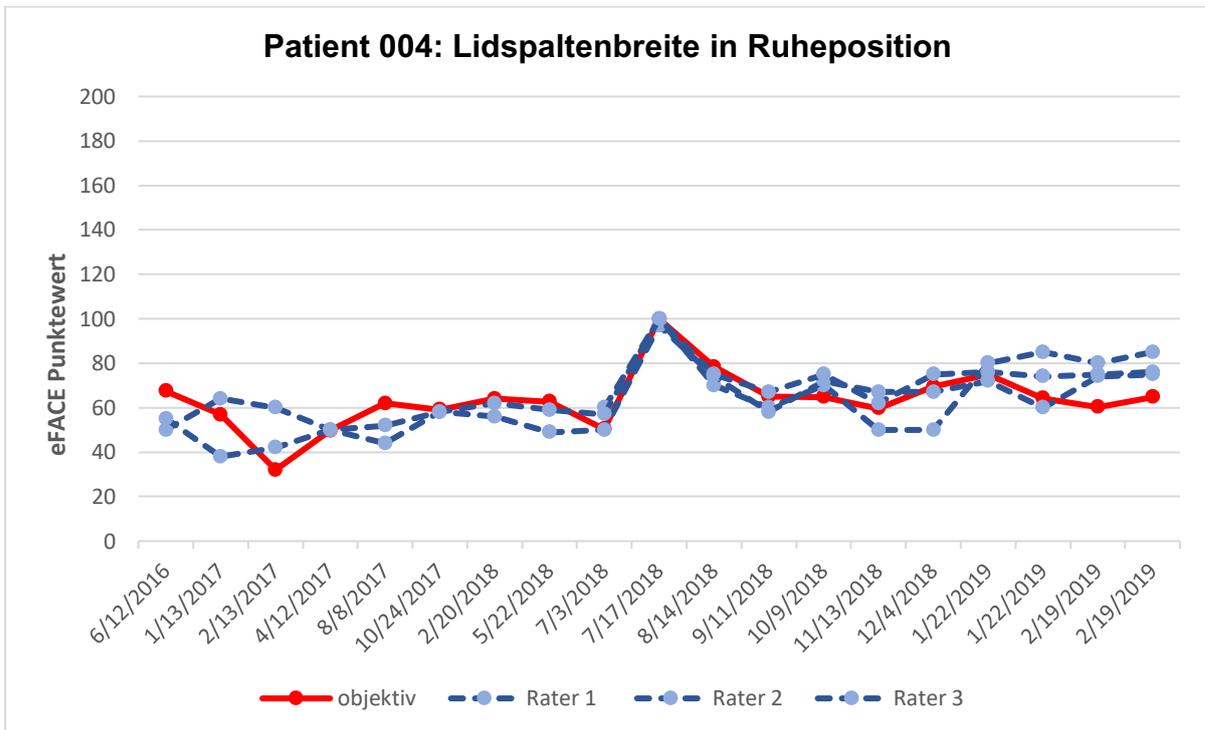


Abbildung 47: Grafische Darstellung der expertenbasierten Bewertungen durch die eFACE im Vergleich zur euklidischen Analyse mit Hilfe von Emotrics des Augenlids in Ruheposition
X-Achse: Aufnahmezeitpunkt der Farb-2D-Fotoserien der insgesamt 19 Sitzungen
Y-Achse: eFACE Bewertungspunktzahl

Die Y-Achse wurde auf 200 Punkte festgelegt, was dem Bewertungsspielraum von 0-200 Punkten (Kapitel 3.3.2) innerhalb der eFACE entspricht. Anhand der beiden

Grafiken lässt sich feststellen, dass der Verlauf der expertenbasierten Bewertungen vergleichbar mit dem Verlauf der euklidischen Analyse ist. Speziell diese Grafiken wurden als Beispiel aufgeführt, da in diesen ersichtlich wird, dass es sowohl bei nahezu konstantem Verlauf der expertenbasierten und euklidischen Werte (Abb. 46), als auch bei euklidisch ermittelten größeren Veränderungen wie beispielsweise in der Zeitspanne vom 03.07.2018 – 11.09.2018, zu simultanen Veränderungen kommt (Abb. 47).

4.5.3. Statistische Auswertung der Mittellinienkorrektur

Zur statistischen Auswertung des Effektes einer Mittellinienkorrektur wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test angewendet. Dazu wurde eine euklidische Analyse des Augen-, Augenbrauen-, und Mundareals vor und nach manueller Korrektur der Mittellinie mit Emotrics durchgeführt. Anschließend wurden die Messwerte miteinander verglichen (Tab. 15).

	Gesichtsmittellinie	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Standardabweichung (mm)	Interquartilabstand	Signifikanz
Sanfter Augenschluss	Vor Korrektur	4,92	5,12	2,12	3,46	
	Nach Korrektur	4,94	4,91	2,09	3,04	0,754
Lidspaltenbreite in Ruhe	Vor Korrektur	10,56	10,41	1,42	1,80	
	Nach Korrektur	10,59	10,41	1,49	1,94	0,230
Augenbrauenbewegung	Vor Korrektur	22,16	22,81	3,88	5,52	
	Nach Korrektur	22,17	22,81	3,88	5,79	0,799
Augenbraueposition in Ruhe	Vor Korrektur	20,52	21,42	4,11	7,32	
	Nach Korrektur	20,56	21,42	4,12	7,54	0,754
Orale Kommissur-exkursion	Vor Korrektur	23,48	23,87	5,42	7,92	
	Nach Korrektur	24,32	25,07	4,50	4,89	0,041
Orale Kommissur-exkursion in Ruhe	Vor Korrektur	26,87	28,16	4,18	7,61	
	Nach Korrektur	26,59	27,33	3,59	6,09	0,097
Orale Höhendifferenz beim Lächeln	Vor Korrektur	12,55	11,44	8,23	14,58	
	Nach Korrektur	11,85	11,27	8,16	14,10	0,002
Orale Höhendifferenz in Ruhe	Vor Korrektur	5,76	4,32	4,77	8,92	
	Nach Korrektur	5,71	4,77	4,45	8,72	0,794
Lachwinkel beim Lächeln	Vor Korrektur	98,99	98,94	14,00	27,97	
	Nach Korrektur	99,78	98,94	14,29	29,35	0,000
Lachwinkel in Ruhe	Vor Korrektur	95,18	96,76	12,45	21,86	
	Nach Korrektur	95,46	97,09	13,03	23,64	0,283

Tabelle 15: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test der Ergebnisse der euklidischen Analyse des Augen-, Augenbrauen-, und Mundareals vor und nach Mittellinienkorrektur

Bei festgelegtem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ war kein signifikanter Unterschied beim Augen- und Augenbrauenareal während der Momentaufnahme in statischer als auch dynamischer Position zu verzeichnen. Das Mundareal hingegen wies bezüglich der Kommissurexkursion ($p = 0,041$), Höhendifferenz ($p = 0,002$) als auch des Lachwinkels ($p < 0,0001$) signifikante Unterschiede vor und nach manueller Korrektur der Mittellinie auf. Dabei war der Unterschied im Falle des Lachwinkels am größten.

4.6. Direkter Effekt nach Anwendung der Elektrostimulation

Während des Zeitraums der Studie verwendeten die Patienten ein Elektrostimulationsgerät zur zwei Mal täglichen durchgeführten Oberflächen-Exponentialstromtherapie zu Hause. Zur Kontrolle und Anpassung der Elektrostimulationsparameter stellten sich die Patienten etwa alle vier Wochen in der Klinik erneut vor. Innerhalb dieser 4 Wochen-Intervalle übten die Patienten selbstständig. Die Dokumentation der Wiedervorstellungen ist in Anhang 6 einsehbar. Bei den Patienten 001, 002, 004 und 005 wurde an jeweils einem Tag eine Dokumentation vor und nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag durchgeführt, um zu ermitteln, ob ein Effekt einer einzelnen Stimulationssitzung nachweisbar war. Bei Patientin 003 lagen keine Daten einer Dokumentation vor und nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag vor und nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag vor.

Um Aussagen über den alleinigen Effekt des Elektrostimulationstraining treffen zu können, war der Zeitraum vor der ersten im Nadel-EMG festzustellenden Reinnervation entscheidend. Der Beginn der Reinnervation war definiert durch das erstmalige Auftreten von polyphasischen Einzelentladungen mindestens einer der vier untersuchten Muskeln bei Willkürmotorik. Nachdem sich im Nadel-EMG erste Zeichen einer Reinnervation zeigten, sind eventuell beobachtete positive Effekte des Aussehens des Gesichtes nicht mehr der Elektrostimulation zuzuordnen, sondern könnten auch Folgen der Reinnervation sein. Als eine Ausnahme betrachtet man die Zeitpunkte des Tages, an dem die Patienten unmittelbar vor und nach Elektrostimulationsanwendung dokumentiert wurden. An diesem Tag lagen zwar schon Reinnervationszeichen vor, aber durch den kurzen Zeitraum zwischen beiden Aufnahmen, zwischen 61 und 139 Minuten (Mittelwert \pm Standardabweichung: $85,5 \pm$

36,0 Minuten), kann der überwiegende Teil der Veränderung der Elektrostimulation zugeordnet werden.

Bei jedem Patienten mit Ausnahme von Patientin 003 kam es spontan oder nach chirurgischer Intervention im Laufe des Beobachtungszeitraums von ca. einem Jahr zu einer Reinnervation und damit zu einer deutlichen Besserung der Paralyse. Ab dem Zeitpunkt der Reinnervation kann der Effekt der Elektrostimulation nicht mehr von dem der Reinnervation klar getrennt werden.

Jeder Patient wurde lediglich einmal am selben Tag unmittelbar vor und nach Elektrostimulationsanwendung dokumentiert, sodass insgesamt 4 Elektrostimulationsbewertungen ausgewertet werden konnten. Um eine Aussage darüber treffen zu können, ob für alle Patienten eine allgemeingültige Aussage über die Signifikanz der Elektrostimulation getroffen werden kann, erfolgte die statistische Auswertung über die euklidische Analyse dieses Dokumentationstages des Augen-, Augenbrauen-, und Mundareals aller Patienten (Tab. 16).

	Anzahl der Elektrostimulationsbewertungen	Asymptomatische Signifikanz (2-seitig)
Sanfter Augenschluss	4	0,068
Lidspaltenbreite in Ruhe	4	0,715
Orale Kommissurexkursion beim Lächeln	4	0,465
Orale Kommissurexkursion in Ruhe	4	0,068
Orale Höhendifferenz beim Lächeln	4	0,465
Orale Höhendifferenz in Ruhe	4	0,068
Lachwinkel beim Lächeln	4	0,144
Lachwinkel in Ruhe	4	0,068

Tabelle 15: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test der Messwertdatensätze einer euklidischen Analyse zur Untersuchung der direkten Elektrostimulationswirkung auf das Augen-, Augenbrauen-, und Mundareal: Bei Patient 001, 002, 004 sowie Patient 005 erfolgte an jeweils einem Tag eine Dokumentation unmittelbar vor und nach Elektrostimulation. Mögliche Unterschiede basieren an diesem Tag ausschließlich auf der Anwendung der Elektrostimulation

Betrachtet man alle 4 Patienten gemeinsam, die eine Reinnervation zeigten, so waren in Bezug auf das Augen-, Augenbrauen-, und Mundareal keine signifikanten Unterschiede vor und nach Elektrostimulation zu verzeichnen. Deshalb wurde der Effekt der Elektrostimulation für jeden Patienten anschließend individuell betrachtet.

Tabelle 17 stellt dazu die Anzahl der Messungen sowie den entsprechenden Effekt dar.

Patient ID	Anzahl der Messungen für die euklidische Analyse	Effekt nachweisbar	
		Augenareal	Mundareal
001	10	+	-
002	14	+	-
004	17	+	+
005	12	+	+

Tabelle 17: Nachweisbare Effekte der direkten Elektrostimulationswirkung durch die euklidische Analyse des Augen-, Augenbrauen-, und Mundareals

„+“ : positiver Effekt: Entspricht einer Wertvergrößerung vor und nach Elektrostimulation bei Betrachtung des sanften Augenschlusses sowie der oralen Kommissurexkursion während des Lächelns und einer Wertverkleinerung bei Betrachtung der oralen Höhendifferenz.

„-“ : negativer Effekt: Entspricht einer Wertverkleinerung vor und nach Elektrostimulation bei Betrachtung des sanften Augenschlusses sowie der oralen Kommissurexkursion während des Lächelns und einer Wertvergrößerung bei Betrachtung der oralen Höhendifferenz.

Im Folgenden wird grafisch der Dokumentationstag der Dokumentationsreihe dargestellt, an welchem der Patient vor und nach Anwendung der Elektrostimulation dokumentiert wurde. Dabei erfolgte die Betrachtung des Augen- und Mundareals der Patienten 001, 002, 004 und 005.

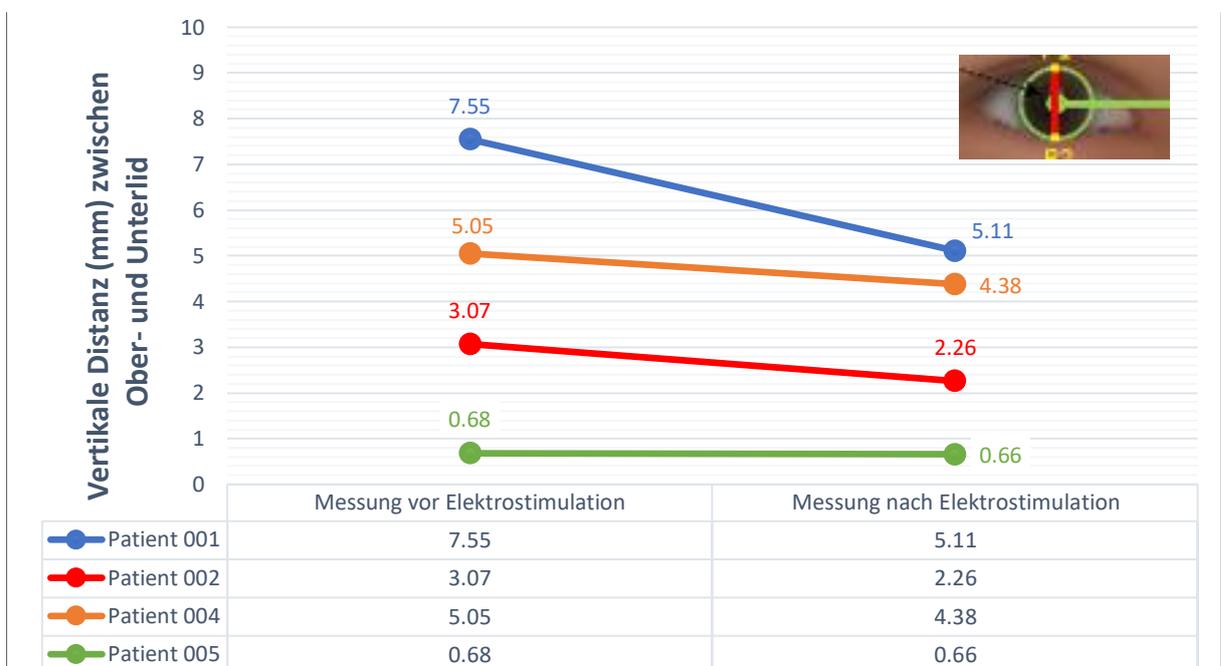


Abbildung 48: Vergleich des sanften Augenschlusses vor und direkt nach der Elektrostimulation :

X-Achse: Links ist die gemessene vertikale Distanz (mm) zwischen Ober- und Unterlid vor Anwendung der Elektrostimulation. Der rechte Wert bezieht sich auf die euklidische Vermessung nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag.

Y-Achse: vertikale Distanz (mm) zwischen Ober- und Unterlid

Betrachtet wurde der Effekt der Elektrostimulation auf den Augenschluss und damit die vertikale Distanz (mm) zwischen Ober- und Unterlid (Abb. 48). Im Bereich des Auges konnten bei allen Patienten positive Effekte erzielt werden. Positiv galt ein Effekt dann, wenn eine Verkleinerung der Lidspalte festgestellt werden konnte.

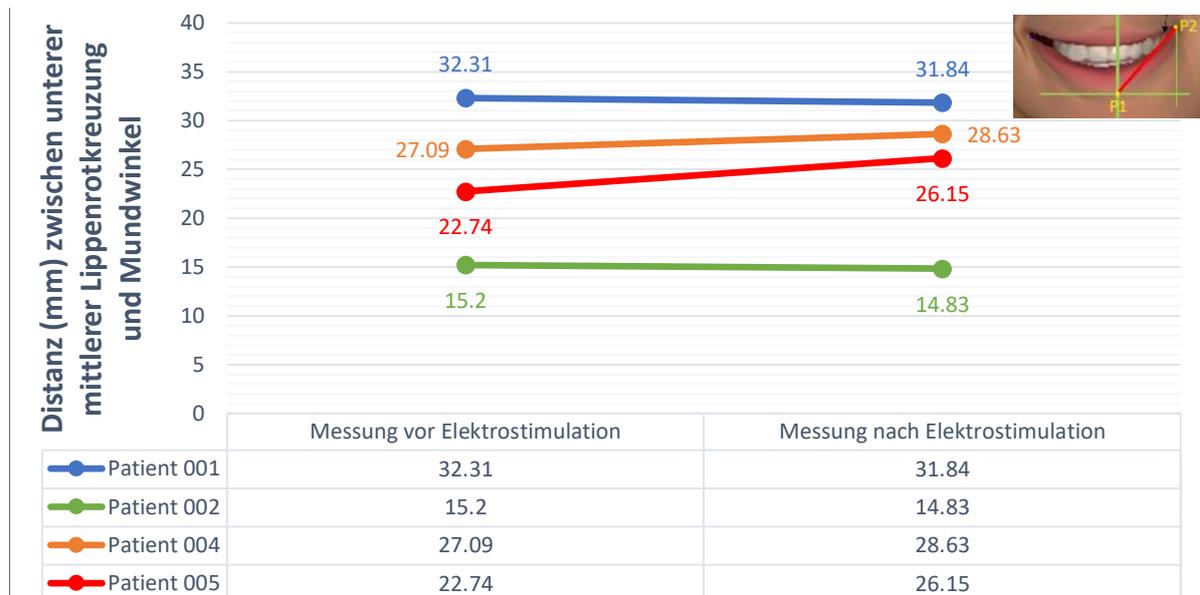


Abbildung 49: Vergleich der oralen Kommissurexkursion während des Lächelns vor und direkt nach der Elektrostimulation:

X-Achse: Links ist die gemessene Distanz (mm) zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel vor Anwendung der Elektrostimulation. Der rechte Wert bezieht sich auf die euklidische Vermessung nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag.

Y-Achse: Distanz (mm) zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel

Betrachtet wurde dazu die Distanz in Millimetern zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel (Abb. 49). Die Elektrostimulation im oralen Areal zeigte in zwei der vier Fälle einen positiven, sowie in zwei der vier Fälle einen vergleichsweise minimalen negativen Effekt der Therapie an. Ein Effekt galt dann als positiv, wenn sich die Distanz in Millimetern zwischen unterer mittlerer Lippenrotkreuzung und Mundwinkel vergrößerte.

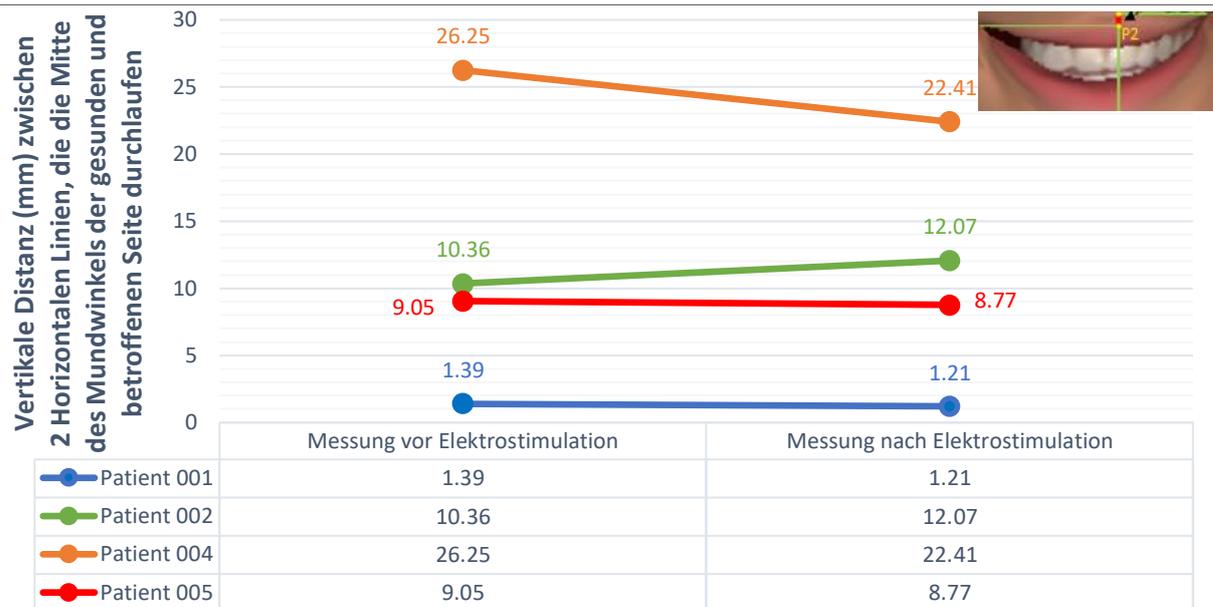


Abbildung 50: Vergleich der oralen Höhendifferenz der Mundwinkel während des Lächelns vor und direkt nach der Elektrostimulation:

X-Achse: Links ist die gemessene Vertikale Distanz (mm) zwischen 2 Horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen vor Anwendung der Elektrostimulation. Der rechte Wert bezieht sich auf die euklidische Vermessung nach Anwendung der Elektrostimulation am selben Tag.

Y-Achse: Vertikale Distanz (mm) zwischen 2 horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen

Betrachtet wurde die vertikale Distanz (mm) zwischen zwei horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen (Abb. 50). Bei drei der vier Patienten konnte ein positiver Effekt nachgewiesen werden. Bei Patientin 002 führte diese zu einer Verschlechterung der Höhendifferenz während des Lächelns. Ein Effekt galt dann als positiv, wenn sich die vertikale Distanz zwischen zwei Horizontalen Linien, die die Mitte des Mundwinkels der gesunden und betroffenen Seite durchlaufen, verkleinerte.

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Methoden

5.1.1. Methodenkritik

In der vorliegenden Studie wurden fünf Patienten expertenbasiert mit Hilfe der eFACE und der SFGS sowie euklidisch durch Emotrics analysiert.

Da insgesamt 803 Bilder analysiert wurden, lag für die Kernfrage des Vergleichs einer expertenbasierten Bewertung gegenüber einer euklidischen Analyse von Fotos von Erkrankten ausreichend Material zur Verfügung.

Für zukünftige Studien ist es sinnvoll, eine größere Patientengruppe zur Untersuchung eines Effektes der Elektrostimulationstherapie zu betrachten. Dies ist notwendig, da in der vorliegenden Studie lediglich Daten von 4 Patienten analysiert wurden. Ab dem Zeitpunkt der Reinnervation eines Patienten ist die alleinige Wirkung der Elektrostimulationstherapie nicht eindeutig zu belegen. Dazu wäre eine randomisierte Studie mit Elektrostimulation und z. B. eine Schein-Stimulation notwendig.

Ausschlaggebend für die Interpretation des unmittelbaren einmaligen Effektes der Elektrostimulation direkt nach der Behandlung war der Tag, an dem die Patienten jeweils vor und nach Anwendung der Elektrostimulation euklidisch analysiert wurde. Im Rahmen der Studie lagen nur Daten für die Bewertung von einem Zeitpunkt während der kompletten Dokumentationsreihe vor. Somit dient die vorliegende Studie vorrangig der Etablierung einer Methode zur Auswertung der Effektes einer Elektrostimulationstherapie auf die mimische Funktion.

Sommerauer et al. betrachteten 2020 kasuistisch eine Patientin. Die Patientin litt an einer akuten peripheren Fazialisparalyse in Folge der Resektion eines Vestibularisschwannoms im Jahr 2015. Die Patientin hatte in etwa dieselben Ausgangsbedingungen wie Patientin 002 und Patientin 005 der vorliegenden Studie. Die Patientin verwendete über einen Zeitraum von insgesamt 19 Monaten ein Elektrostimulationsgerät im Heimtraining, wodurch deutliche Verbesserungen der mimischen Funktionen der Patientin erzielt werden konnten (Sommerauer et al. 2020).

Puls et al. untersuchten den Effekt der Elektrostimulation bei insgesamt 39 Patienten nach Fazialisnerv-Rekonstruktion, sowie 13 Patienten unter spontaner Regeneration

des Fazialisnervs. Dabei konnte gezeigt werden, dass es in beiden Fällen keine Hinweise auf negative Auswirkungen der Elektrostimulationsanwendung im Sinne einer verhinderten oder verzögerten Reinnervation des Fazialisnervs gibt. Auch in der vorliegenden Studie gab es keine Hinweise auf negative Auswirkungen der täglichen Elektrostimulationsanwendung. Die tägliche Elektrostimulationsanwendung führte bei den untersuchten Patienten zu einer messbaren Verbesserung der mimischen Funktion und damit Aufrechterhaltung des Muskeltonus.

Trotz des größeren Patientenkollektivs als in der vorliegenden Studie, wurde in dieser Studie ebenfalls für eine Vergrößerung der betrachteten Patientengruppe plädiert, um zukünftig aussagekräftigere Ergebnisse bezüglich des Effektes der Elektrostimulationstherapie zu erhalten (Puls et al. 2019).

Bei allen drei Ratern handelte es sich um Experten, die über medizinisches Hintergrundwissen bezüglich der Fazialisparese und deren Bewertung verfügten. Allerdings wendet lediglich eine Expertin täglich expertenbasierte Bewertungsschemata zur Bewertung einer Fazialisparese an. Deshalb ist bei der expertenbasierten Analyse zudem von einer Lernkurve der beiden anderen Experten bei der Bewertung der Patienten auszugehen. Die Effekte von Lernkurven wurden jedoch bislang nicht analysiert. Aufgrund dessen wurde von jedem Rater eine Wiederholung aller eFACE und SFGS Bewertungen des jeweiligen Patienten nach Vollendung eines vollständigen Bewertungszykluses durchgeführt. Es lässt sich allerdings festhalten, dass die Interrater-Reliabilität der 3 Rater nach den allgemeingültigen Richtlinien zur Bewertung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten nach Cicchetti 1994 als „sehr gut“ zu bewerten war. Lediglich die orale Kommissurexkursion wies einen „guten“ Wert auf.

Des Weiteren sind 2D-Fotos auch von den Fehlerquellen während der Aufnahme des Fotografen geprägt. Es ist nicht mit Sicherheit zu sagen, ob die Bilder den Zustand des maximalen Bewegungsausmaßes darstellten. Hadlock et al. empfahlen bereits 2016, dass die Dokumentation einer Fazialisparese, insbesondere vor und nach rekonstruktiver Chirurgie sowie im Rahmen von Studien, heutzutage auch immer eine Videodokumentation umfassen sollte (Hadlock et. al 2016).

Deshalb wäre es sinnvoll, zusätzlich zur 2D-Fotodokumentation in zukünftigen Studien die 3D-Videoanalyse mit einzubeziehen (Hadlock et. al 2016). Diese ermöglicht eine bessere Erfassung des maximalen Bewegungsausmaßes. Bei einer 3D-Videoanalyse

besteht die Möglichkeit, Videoaufnahmen an den Stellen zu pausieren, die das maximale Bewegungsausmaß darstellen und die Standbilder daraufhin zu analysieren. Das Problem der Psychometrik bleibt bestehen, da im Einzelfall nicht geprüft werden kann, ob der Patient tatsächlich die Bewegung maximal ausgeführt hat, oder diese vielleicht bewusst nicht korrekt ausführt.

5.1.2. Anwendung und Limitationen der Software Emotrics

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte erstmalig festgestellt werden, dass die nicht korrekte Anlage der Mittellinie des Gesichtes, anhand der sich Emotrics zur euklidischen Analyse des Gesichtes orientiert, zu erheblichen Fehlern führen kann. Dieser Fehlerwert wird größer, je weiter entfernt sich das zu betrachtende Areal von der Fehlerquelle zwischen den beiden Pupillen befindet. Somit ist explizit der orale Bereich besonders betroffen, was zu ausschlaggebenden Unterschieden in der euklidischen Analyse und damit auch zu einer fehlerhaften Interpretation des Behandlungsverlaufs der Patienten führen kann. Diese Problematik konnte durch die euklidische Analyse festgestellt werden und anschließend statistisch belegt werden (Kapitel 4.4). Während vor manueller Korrektur der Mittellinie die nahezu konstante Abnahme der Höhendifferenz beider Seiten nicht korrekt erfasst wurde und somit von keinem Therapieerfolg ausgegangen werden konnte, wurden Veränderungen erst nach der Korrektur deutlich. Ganze Therapieverläufe können somit missinterpretiert werden.

Die Gesichtsmittellinie wird von Emotrics zwar automatisiert angelegt, jedoch orientiert sich die Software dabei an der Pupillenstellung. Daraus folgt, dass eine nicht perfekt mittig stehende Pupillenposition zu einer falschen automatisierten Anlage der Mittellinie und folglich zur fehlerhaften Berechnung der Gesichtsanalyse führt. Eine Korrektur der Pupillenposition ist momentan allerdings lediglich manuell möglich und funktioniert noch nicht automatisiert.

Die Problematik an einer manuellen Korrektur der Mittellinie innerhalb von Emotrics besteht in ihrer Subjektivität. In vergangenen Studien wurde bereits das Problem einer manuellen Korrektur speziell im Bezug auf die generelle Landmarkenpositionierung innerhalb von Emotrics hingewiesen. Die korrigierende Person hat dabei zwar die Möglichkeit sich anhand prägnanter anatomischer Punkte des Gesichtes zu orientieren, dies kann allerdings ebenfalls zu Abweichungen der korrekten Lage durch

manuelle Fehler der korrigierenden Person führen (Hadlock et al. 2012, Lee et al. 2013).

Wird dieser Fehler durch Verbesserungen innerhalb der Software verhindert und Emotrics wäre in der Lage, selbstständig Landmarken fehlerfrei zu setzen, wäre dies ein großer Fortschritt um objektive Verfahren zukünftig anzuwenden.

Notwendig dafür wäre eine Verbesserung von Emotrics dahingehend, dass sich das Programm bei der Anlage der Gesichtsmittellinie an Landmarken orientiert, die eine konstante unbewegliche Position besitzen. Eine Anlage der Gesichtsmittellinie anhand der in Abbildung 27 beschriebenen Landmarken (Trichion, Glabella, Subnasale, Gnathion) würde dies ermöglichen und wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet.

Zur Veranschaulichung, welches Ausmaß diese Fehlerquelle auf die euklidischen Werte aller Patienten annahm, befindet sich die Übersicht der euklidischen Werte aller Patienten vor und nach manuell durchgeführter Mittellinienkorrektur im Anhang 1.

Welches Ausmaß eine falsche, automatisiert angelegte Mittellinie durch Emotrics vor einer manuell durchgeführten Mittellinienkorrektur haben kann, lässt sich anhand der statistischen Auswertung mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests in Tab. 15 nachvollziehen.

Signifikante Unterschiede vor und nach Mittellinienkorrektur waren interessanterweise vor allem im Mundareal während der Momentaufnahme einer Bewegung zu verzeichnen. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Kommissurexkursion, die Höhendifferenz sowie der Lachwinkel bei Bewegung signifikante Unterschiede vor und nach Mittellinienkorrektur aufwiesen, während in Ruheposition kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen war. Durch die statistische Auswertung der euklidischen Analyse des Augen-, Augenbrauen-, und Mundareals vor und nach Mittellinienkorrektur konnte in dieser Studie nachgewiesen werden, dass der Fehler größer wurde je weiter die entsprechenden Landmarken von der Mittellinie, und damit der Fehlerquelle, entfernt waren. Wurde der Patient während des Lächelns fotografiert, waren die jeweiligen Landmarken folglich deutlich weiter von der Mittellinie entfernt als in Ruheposition.

Es wurde bereits nach Möglichkeiten geforscht, objektive Analyse Programme zu entwickeln, welche sich nicht anhand objektiver Bezugspunkten orientieren (O'reilly et al. 2010, Hadlock et al. 2012), sondern den bereits bestehenden Ansatz der Bildsubtraktion mit anschließender Grau-Wert-Analyse wieder aufgreifen. Dabei

werden Unterschiede zwischen verschiedenen Bildern durch Bildsubtraktion mit anschließender Grau-Wert-Analyse der einzelnen residuellen Bildpunkte mathematisch festgestellt (Neely et al. 2010). Dies würde eine automatisierte oder auch manuelle Anlage der Gesichtsmittellinie verhindern, wodurch eine solche Fehlerquelle eliminiert wird.

Ein weiterer Aspekt ist, dass ein Vergleich zwischen der expertenbasierten und euklidischen Analyse der Nasolabialfalte in 2D-Fotoserien nicht beurteilbar ist. Die euklidische Analyse der Nasolabialfalte steht nicht als Funktion innerhalb von Emotrics zur Verfügung. Es lässt sich vermuten, dass durch den diskontinuierlichen und nicht geradlinigen Verlauf der Nasolabialfalte eine euklidische Analyse mittels der Möglichkeiten innerhalb von Emotrics nicht möglich ist (Trotman et al. 2018, Troman et al 2020). Die Ausrichtung, Tiefe und Richtung der Nasolabialfaltenbewegung beim Lächeln sind allerdings ein wichtiger Prädiktor für den Schweregrad der Lähmung und die Lebensqualität der Patienten (Van Veen et al. 2019). Auch eine weitere Studie, die eine Bewertung von Patienten explizit mit der eFACE vornahm, welche ebenfalls in der vorliegenden Studie genutzt wurde, war der Ansicht dass die Morphologie und Symmetrie der Nasolabialfalte allerdings zwei sehr einflussreiche Parameter bei der Beurteilung der Lähmung sind (Banks et al. 2016). Tatsächlich sind Operationen der Nasolabialfalte ein häufiges chirurgisches Zusatzverfahren bei der Behandlung einer Fazialisparese, da die Wangenposition in Ruhe, wie sie durch die Nasolabialfalte bestimmt wird, von entscheidender Bedeutung ist (Dusseldorp et al. 2019).

Bei der Auswertung von 2D-Fotoaufnahmen besteht heutzutage bisher noch keine Möglichkeit die Nasolabialfalte euklidisch zu analysieren (Trotman et al. 2018, Troman et al 2020). In den vergangenen Jahren konnten jedoch eine Reihe von objektiven dreidimensionalen Messungen entwickelt werden, um die Bewegungen der Gesichtsteile, und damit auch der Nasolabialfalte dynamisch zu charakterisieren. Dadurch wurde die Möglichkeit geschaffen, das diagnostische Gesamtbild und die Bewertung der Behandlungsergebnisse bei Patienten mit Fazialisparalysen zu optimieren (Trotman et al. 2018, Trotman et al. 2019, Dusseldorp et al. 2020). Alle drei Studien nutzten zur Erfassung der Gesichtsteile ein videobasiertes Motion-Tracking-System, um die Bewegung von insgesamt 64 retroreflektierenden Markern, die im Gesicht platziert wurden, zu erfassen und anschließend zu analysieren. Dusseldorp et al. 2020 fokussierten sich dabei explizit auf die Weichteilanalyse der

Nasolabialfalte. Dazu wurde während der Videoaufnahme die nicht erkrankte Gesichtshälfte in Ruhe, als auch während der Bewegung gespiegelt, sodass ein symmetrisches Kontrollgesicht erzeugt werden konnte. Anschließend konnte die ursprüngliche Aufnahme, die die Erkrankung aufzeigte, über das Kontrollgesicht positioniert werden. Durch eine computergestützte 3D-Analyse konnte daraufhin die Möglichkeit geschaffen werden, sowohl die Nasolabialfaltenverschiebung, Nasolabialfaltenasymmetrie und Nasolabialfaltentiefe zu berechnen (Dusseldorp et al. 2020). Die euklidische Analyse der Nasolabialfalte bedarf zum jetzigen Zeitpunkt also einer computergestützte 3D-Analyse und ist innerhalb von 2D-Fotoaufnahmen noch nicht möglich. Um die Fazialisparese zukünftig möglichst genau analysieren zu können, ist es sinnvoll eine Software zu verwenden, die neben objektiven Messverfahren auch eine expertenbasierte Bewertung in einem Interface vereint.

Diese Meinung deckt sich mit den Erkenntnissen einer Studie von Greene et al. 2019, die sich vergleichbar zur vorliegenden Studie, mit dem Vergleich der Sensitivität eines klinischen Instruments (eFACE) mit einem automatisierten Algorithmus zur Gesichtsmessung (Emotrics) beschäftigte (Greene et al. 2019).

Die Gesichtsanalyse mit automatisierten Programmen wie Emotrics ist zwar ein leistungsfähiges Instrument, basiert jedoch auf hochwertigen Fotos und Videobildern und ist möglicherweise nicht so einfach zu handhaben wie die klinischen Skalen, die in Echtzeit während einer klinischen Untersuchung durchgeführt werden können (Greene et al. 2019). Für die Erforschung der Ergebnisse von Gesichtslähmungen ergänzen sich automatisierte und klinische Skalen zur Gesichtsbeurteilung und können, wenn sie gleichzeitig verwendet werden, zuverlässigere Schlussfolgerungen aus der klinischen Bewertung liefern, die durch objektive Gesichtsmessungen unterstützt werden (Greene et al. 2019).

Dies wurde durch die Entwicklung von JAuto-eFACE durch das Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikum Jena ermöglicht. Durch die Kombination aus expertenbasierten und euklidischen Messverfahren in einem Programm, kann ein deutlich umfangreicheres Gesamtbild des Patienten vermittelt werden, als nur durch eine der Möglichkeiten alleine.

5.1.3. Fotodokumentation

Grundlage zur Anfertigung der Studie waren Farb-2D-Fotoserien von jeweils 12 Aufnahmen pro Zeitpunkt (siehe Kap. 4.4.1).

Angesichts der großen Variabilität die bei der Behandlung von Patienten mit Gesichtslähmung auftreten kann, ist es unerlässlich, dass die Kliniker die diese Patienten betreuen, ein einheitliches Instrument zur Dokumentation ihrer Ergebnisse verwenden. Diese einheitliche Sprache wird benötigt, um einen aussagekräftigen Vergleich zwischen den Ergebnissen praktizierender Ärzte überhaupt zu ermöglichen (Santosa et al. 2017).

Zur Bewertung von Patienten mit Fazialisparese gelten dabei standardisierte Fotoserien als essenziell (Bhama et al. 2014). Fotoaufnahmen ermöglichen einen Vergleich des Erfolges verschiedener Operationstechniken und helfen den Chirurgen, gemeinsam auf das selbe Ziel hinzuarbeiten und die Therapieergebnisse für die Patienten zu optimieren (Niziol et al. 2015). Ein Vorteil der Anfertigung von Fotoaufnahmen besteht auch darin, eine Reproduzierbarkeit zu gewährleisten und den Fortschritt dokumentieren zu können (Niziol et al. 2015).

Um Vergleiche zwischen verschiedenen Zentren und Studien anstellen zu können, müssen die Fotos folglich standardisiert werden (Niziol et al. 2015).

Obwohl fotografische Standards in anderen stark visuell geprägten Bereichen der plastischen Chirurgie, wie z. B. der kosmetischen Chirurgie, gut beschrieben und übernommen wurden, gibt es keine universellen Standards für Patienten mit Gesichtslähmung oder Gesichtsreanimation (Santosa et al. 2017). In einer Literaturrecherche von Santosa et al. 2017 wurde die Studienlage zu den fotografischen Standards im Bezug auf die Dokumentation von Patienten mit Fazialisparese genauer betrachtet. Beim Vergleich der Studien konnte festgestellt werden, dass es bemerkenswerte Unterschiede in der Anzahl und Auswahl der Standbilder gab. Die einzige Ansicht, die in allen 6 Artikeln durchgängig vorgeschlagen wurde, war die vollständige Frontalansicht in Ruhe (Santosa et al. 2017).

In einer Studie von Niziol et al. 2015 wurde beispielsweise ein universeller Satz von insgesamt 5 Fotos vorgeschlagen, der bei der Veröffentlichung von Ergebnissen in der Literatur zur Standardisierung des Ergebnisses eines chirurgischen Eingriffs verwendet werden kann. Dieser beinhaltete das Gesicht in Ruhe, hochziehen der Augenbrauen, fester Augenschluss, ein leichtes sowie starkes lächeln (Niziol et al.

2015). Es ist jedoch auffällig, dass trotzdem die Art der von den Klinikern verwendeten Ansichten der Fotoaufnahmen stark variiert. Die häufigsten betrachteten Ansichten sind die Frontalansicht in Ruhe, ein breites Lächeln mit Zähnen, Anheben der Augenbrauen und das sanfte schließen der Augen (Santosa et al. 2017). Hervorzuheben ist, dass es sich dabei um vier Ansichten handelt, die in den gängigen Bewertungsskalen, dem House-Brackmann Facial Nerve Grading System und dem Sunny-Brook Facial Grading System ebenfalls bewertet werden (Santosa et al. 2017). In einer repräsentativen Umfrage unter 83 Mitgliedern der Sir Charles Bell Society gaben 100% der Befragten an, Fotografien zur Verlaufsdokumentation nutzen. Dieser Umstand unterstreicht die Bedeutung von 2D-Fotoaufnahmen bei der Bewertung einer Fazialisparalyse. Wiederum 81,9% nutzten zusätzlich auch Videografie zur Dokumentation und Ergebnisbewertung (Fattah et al. 2014).

In einer Studie von Santosa et al. 2017 wird empfohlen, dass neben der Fotodokumentation eine Einbeziehung der Videografie durchaus sinnvoll sein kann, weil damit besonders die Sprachbeurteilung beim Vergleich der Funktion vor und nach der Intervention wichtige Hinweise auf Verbesserungen liefern kann (Santosa et al. 2017). Dabei ist es jedoch wichtig, dass Standbilder oder Videoaufnahmen das Gesicht des Patienten in Ruhe als auch bei bestimmten Gesichtsbewegungen zeigen müssen, sodass eine nachträgliche Bewertung mit Grading-Skalen überhaupt möglich ist (Schaede et al. 2017).

Die Fotoserien der vorliegenden Studie wurden nach Anleitung der empfohlenen Kriterien angefertigt und umfassten Bilder des Gesichtes in Ruheposition, als auch während der Durchführung wichtiger fazialer Bewegungen (Hadlock 2016, Santosa et al. 2017, Volk et al. 2016). Die Fotodokumentation dieser Studie erfüllte folglich alle Anforderungen zur optimalen Bewertung der Patienten (Hadlock 2016).

Dabei war es von Bedeutung, die Fotodokumentation der 12 Gesichtsbewegungen in regelmäßigen Intervallen vor und nach Beginn der Therapie zu wiederholen, um eine Verlaufsbeurteilung zu ermöglichen und postoperative Veränderungen erkennen zu können. Eine klinisch sichtbare Veränderung der mimischen Funktion wird im Allgemeinen etwa sechs Monate postoperativ erwartet, sodass die Möglichkeit eines zweiten chirurgischen Eingriffs besteht, um ein optimales Ergebnis zu erreichen (Michaelidou et al. 2011).

Besondere Beachtung sollte zudem die korrekte Kopfhaltung während der Fotodokumentation erhalten. Es ist von großer Bedeutung, dass der Kopf möglichst frontal fotografiert wird. Ist dies nicht der Fall, führt dies zu fehlerhaften Ergebnissen der euklidischen Analyse (Bhama et al. 2014). Im Fall der 2D-Farbaufnahmen führt dies zur fehlerhaften euklidischen Analyse und in Kombination mit einer nicht frontal eingestellten Augenposition zur bereits angesprochenen fehlerhaften Anlage der Gesichtsmittellinie.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Vergleich der Gradingssysteme Sunnybrook und eFACE

Unter den zahlreichen Gradingssystemen hat sich das Sunnybrook Facial Grading System als Goldstandard zur Bewertung von Fazialisparese-Patienten etabliert (Croxon et al 1990, Coulson et al. 2005, Fattah et al. 2015).

Sie gilt als meist genutztes Gradingssystem (Fattah 2014) und zeichnet sich durch sehr gute Interrater- und Intraraterreliabilität von 0,84 – 0,93 aus (Hu et al. 2001).

Die electronic, clinician graded facial function scale (eFACE) zeigte vergleichbar exzellente Interrater- und Intrarater Reliabilität aus mit einer Intraklassen-Korrelation von 0,97 (Banks et al. 2015).

Diese Ergebnisse decken sich mit denen der vorliegenden Studie. Die Interrater Reliabilität des eFACE lag mit ICC-Werten zwischen 0,72 – 0,93 nach den allgemeingültigen Richtlinien zur Bewertung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten nach Cicchetti 1994 im „guten“ bis „sehr guten“ Bereich.

Vergleichbar zur vorliegenden Dissertation wurden in einer Studie von Gaudin et al. 2016 die Bewertungen von insgesamt 109 Patienten von zwei unabhängigen Physiotherapeuten mit Hilfe des SFGS und der eFACE miteinander verglichen. Dabei konnte eine starke Korrelation zwischen dem SFGS und der eFACE in allen 4 Kategorien mit Hilfe des Spearman Rangkorrelationskoeffizienten gezeigt werden (Gesamtscore, Statik, Dynamik, Synkinesie) (Gaudin et al. 2016).

In einer Studie bei der Mitglieder der Charles Bell Society befragt wurden, wurde das SFGS als die umfassendste und nützlichste Skala eingestuft, die Objektivität und Einheitlichkeit in der Berichterstattung bietet (Fattah et al. 2015). Trotz dieser Einstufung gibt es allerdings einige Nachteile des SFGS.

Das SFGS ist nicht leicht elektronisch zugänglich, wurde noch nicht in ein digitales oder grafisches Format umgewandelt und umfasst drei verschiedene Skalen mit unterschiedlichen Bewertungsbereichen (Gaudin et al. 2016).

eFACE wurde auf der Grundlage klinischer Erkenntnisse entwickelt, die über einen Zeitraum von 15 Jahren bei mehr als 3000 Patienten mit Gesichtslähmung gewonnen wurden, und ist eine schnelle Anwendung, die auf einer Vielzahl von Geräten verwendet werden kann, um grafische und quantitative Daten zur Gesichtsfunktion in der Klinik zu liefern (Banks et al. 2015, Banks et al. 2017).

Bei der Entwicklung der eFACE wurde darauf geachtet, dass die Vorteile der Objektivität und Einheitlichkeit des SFGS beibehalten wurden (Banks et al. 2015). Die eFACE bietet allerdings auch zahlreiche zusätzliche Vorteile.

In der bereits aufgeführten Studie von Gaudin et al. 2016 benötigten die Rater im Durchschnitt 3 Minuten für die Bewertung eines Patienten mit Hilfe der SFGS, während der Durchschnitt bei einer Bewertung mit Hilfe des eFACE bei lediglich 1,5 Minuten lag. Zusätzlich ist die eFACE auf jedem mobilen Gerät oder auf dem Desktop-Computer ausführbar. Des Weiteren werden die statischen, dynamischen, und synkinetischen Gesichtsfunktionen auf einer einheitlichen Skala dargestellt (Gaudin et al. 2016).

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die eFACE das Potenzial besitzt, ein weit genutztes Grading System zu werden und durch einfache Handhabung dem SFGS-System gleichwertig und durch die bereits erwähnten Vorteile möglicherweise sogar überlegen ist (Banks et al. 2015).

Aufgrund dieser hervorragenden Korrelation und vergleichbar betrachteter Parameter haben sich die beiden Skalen in der vorliegenden Studie bestens für den gemeinsamen Vergleich zur euklidischen Analyse geeignet.

Wie in Kapitel 4.5.2 sowie in den Grafiken der anderen Patienten (Anhang 3, 4, 5) zu erkennen ist, führen die Ergebnisse beider Gradingssysteme zu vergleichbaren Resultaten im direkten Vergleich zur euklidischen Analyse. Beide Skalen schätzen den pathologischen Status der Patienten korrekt ein, sind allerdings darin limitiert, minimale Veränderungen korrekt zu erfassen und unterliegen der Tatsache, dass zur expertenbasierten Bewertung der betroffenen Seite, stets ein Vergleich zur nicht betroffenen Seite gezogen wird. Verkleinert sich nachweislich die unbetroffene Seite in Bezug auf das faziale Bewegungsausmaß, beispielsweise durch die verminderte

Anstrengung bzw. Motivation des Patienten an dem jeweiligen Tag, führte dies zur Interpretation der Verbesserung der betroffenen Seite. Diese Problematik wurde durch den Vergleich der Zeitspanne vom 05.02.2019 bis 28.05.2019 in den Abbildungen 28 und 29 ersichtlich. Das betroffene rechte Auge verzeichnete in der euklidischen Analyse nahezu konstante Werte der vertikalen Distanz der Lidspalte, während es allerdings zur sprunghaften Vergrößerung des nicht betroffenen Auges kam (Abb. 28, Abb 29).

Von den Ratern wurde die Veränderung der nicht betroffenen Seite als Verkleinerung der Lidspalte der betroffenen Seite wahrgenommen, weshalb alle 3 Rater fälschlicherweise mit einer sprunghaften Verschlechterung der Bewertungspunktzahl der eFACE reagierten. Die Vermeidung dieses Umstandes ist ein wesentlicher Vorteil der euklidischen Analyse gegenüber der expertenbasierten Bewertung.

Auffällig ist, dass die Übereinstimmung der euklidischen und expertenbasierten Bewertung besonders im Augenareal besonders gut war. Hierbei erreichen die Rater ICC-Werte zwischen 0,789 – 0,867. Im Mundareal jedoch werden lediglich ICC-Werte von 0,532 – 0,650 erreicht. Dies könnte damit zusammenhängen, dass in der vorliegenden Arbeit die Lidspalte expertenbasiert und euklidisch anhand der vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterlid beurteilt wurde, während das Gesamtbild eines Raters des Mundareals sich aus einer Meinung über die Kommissurexkursion, Höhendifferenz und des Lachwinkels zusammensetzte.

In einer Studie von Greene et al. 2019 wurde ebenfalls der Vergleich der Sensitivität des eFACE mit einer automatisierten euklidischen Gesichtsmessung mit Hilfe von Emotrics untersucht. Diese kam gleichermaßen zu dem Ergebnis, dass die eFACE gut mit automatisierten, objektiven Gesichtsmessungen durch einen auf maschinellem Lernen basierenden Algorithmus wie Emotrics übereinstimmt (Greene et al. 2019).

5.2.2. Optimierung der Bewertung einer Elektrostimulationstherapie

Die Anwendung einer Elektrostimulationstherapie gilt als potenzieller neuer therapeutischer Ansatz, der in den letzten Jahrzehnten zunehmend untersucht wurde und klinische Auswirkungen auf den HNO-Bereich im Allgemeinen und auf die Behandlung von Gesichtslähmungen im Besonderen hat (Arnold et al. 2021). Mittlerweile gilt die Elektrostimulationstherapie als sichere, einfache und komfortable Therapiemethode bei Patienten mit Fazialisparese um insbesondere

Atrophieprozessen entgegenzuwirken (Puls et al. 2020). Auch in anderen medizinischen Bereichen wurde die Elektrostimulation bereits erfolgreich eingesetzt. Denervierte Gliedmaßenmuskeln konnten beispielsweise durch die Anwendung einer Elektrostimulationstherapie an Muskelmasse sowie in der Zunahme der tetanischen Kontraktilität profitieren und den Patienten einen wichtigen kosmetischen Nutzen bringen (Kern et al. 2010). Es konnte bereits festgestellt werden, dass auch bei Patienten, die an einer vollständigen Gesichtslähmung leiden, mit der Zeit ein fortschreitender Abbau der Muskelmasse und ein Verlust der kontraktiven Eigenschaften zu beobachten war (Arnold et al. 2021).

Bereits in Studien von Gittins et al. 1999 konnte mithilfe transkutaner elektrischer Nervenstimulatoren der willkürliche Augenschluss durch Verbesserung der Muskelfunktion erreicht werden. Dazu wurden spontane Lidbewegungen von Patienten mit einem optischen Messsystem vor, während und nach einer dreimonatigen Behandlungsphase gemessen (Gittins et al. 1999).

In einer Studie von Sommerauer et al. wurde die Elektrostimulation bei einer Patientin angewandt, die nach einer Schwannomoperation eine komplette Fazialisparese hatte. Hier wurde die Elektrostimulation erfolgreich als Brückentherapie eingesetzt, um Muskelatrophie zu verhindern, bevor 19 Monate später ein Nervenstransplantat durchgeführt wurde (Sommerauer et al. 2020). Die Patientin hatte demzufolge die selben Ausgangsbedingungen wie Patientin 002 und Patientin 005 der vorliegenden Studie.

In der vorliegenden Studie handelte es sich um Patienten mit einer peripheren Fazialisparalyse und denervierter Muskulatur. Aufgrund dessen stellt sich die Frage, ob eine elektrische Stimulation speziell denervierter Muskeln eine Reinnervation verzögert, verhindert oder auch das Auftreten von Synkinesien erhöht.

In Bezug auf Patienten mit denervierter mimischer Muskulatur infolge einer Fazialisparalyse wurde in einer Studie von Puls et al. 2019 speziell diese Fragestellung thematisiert. Dazu wurde der Effekt der Elektrostimulation bei Patienten mit einer Fazialisnerv Rekonstruktion sowie bei Patienten mit spontaner Fazialisnerv Regeneration untersucht. Bei den Patienten, bei denen eine Fazialisnerv Rekonstruktion erfolgte, fand alle 3 Monate eine Nachuntersuchung des täglich für 10 Minuten an 5 Tagen pro Woche durchgeführten Heimtrainings statt. Die Reinnervation wurde durch die Rekrutierung willkürlicher motorischer Einheitspotentiale auf dem

Nadel-EMG oder später bei stärkerer Innervation durch das Vorhandensein sichtbarer willkürlicher Bewegungen bestätigt. Bei den Patienten mit spontaner Fazialisnerv-Regeneration wurden die Ergebnisse anhand der Sunnybrook und eFACE Scores, also vergleichbar mit dem Vorgehen der vorliegenden Studie, quantifiziert. Dabei konnte festgestellt werden, dass es keine Hinweise auf negative Auswirkungen der Anwendung einer Elektrostimulation im Sinne einer verhinderten oder verzögerten Reinnervation oder Zunahme von Synkinesien, weder nach spontaner Erholung des Nervs noch nach einer Operation zur Rekonstruktion des Gesichtsnervs gab (Puls et al. 2019).

In einer weiteren Studie berichteten Tuncay et al. über positive Effekte bei Patienten mit Bell Paresis, vollständig denervierter Muskulatur und wiederholter ES während der Zeit der Spontanheilung. Dazu wurde mit Hilfe motorischer Nervenleitfähigkeitsstudien und Elektromyographie zwischen dem 21. und 30. Tag, das Vorhandensein von Denervierungsanzeichen bewertet, sowie um das Vorhandensein von axonaler Degeneration festzustellen. Dabei konnte eine signifikante Verbesserung der elektrophysiologischen Ergebnisse sowie eine bessere Erholung durch Bewertung mit Hilfe des House Brackmann Grading Systems durch Anwendung einer ES-Therapie festgestellt werden (Tuncay et al. 2015).

Ein weiteres Problem, das den Einsatz der Elektrostimulation in der Standardtherapie verhindert, ist das potenzielle Risiko, in den betroffenen Muskeln eher eine synkinetische als eine normale Reinnervation auszulösen. Jedoch konnte dieses potenzielle Risiko bereits widerlegt werden (Jowett et al. 2019).

In einer vorrausgehenden Studie des Fazialis-Nerv-Zentrums des Universitätsklinikums Jena, wurde ein standardisiertes und sicheres Protokoll für die selektive Oberflächen-Elektrostimulation mit Hilfe der selben Patienten der vorliegenden Studie erstellt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die durchgeführte Elektrostimulationstherapie mit dem entwickelten Protokoll während des gesamten einjährigen Nachbeobachtungszeitraums der Studie nicht mit einer verzögerten oder fehlgeleiteten Reinnervation oder chronischen Schmerzen verbunden war. Dies deutet stark darauf hin, dass eine Elektrostimulationstherapie eine sichere Behandlung oder Begleitbehandlung für Patienten mit Gesichtslähmung sein könnte (Arnold et al. 2021). Wichtig zur Optimierung der Bewertung einer Elektrostimulationstherapie ist zunächst, dass die richtigen Stimulationsparameter verwendet werden. Eine wirksame

Stimulation der Gesichtsmuskeln beginnt mit der optimalen Platzierung der Elektroden (Abb. 8). Es muss bei der selektiven elektrischen Stimulation der Gesichtsmuskeln vor allem die unerwünschte Stimulation anderer benachbarter Gesichtsmuskeln vermieden werden. Desweiteren werden in der frühen Phase der Gesichtslähmung bei denervierten Gesichtsmuskeln Impulslängen von 50-200 ms und die Verwendung von Dreiecksimpulsen anstelle von Rechteckimpulsen empfohlen (Kurz et al. 2022).

Entsprechend der Empfehlungen starteten die Patienten die Elektrostimulation in der vorliegenden Studie mit einer biphasischen Stimulation in dreieckiger Wellenform von 50 ms. Um anschließend eine Aussage über die mögliche Effektivität des Elektrostimulations-Trainings treffen zu können, ist ein wiederholtes Grading im Therapieverlauf sinnvoll. Das Grading sollte im Verlauf der Dokumentation des Patienten so erfolgen, das potentielle Veränderungen der mimischen Funktion nachweisbar auf die Elektrostimulationstherapie zurückzuführen sind. Dies ist möglich, indem innerhalb eines kurzen Zeitintervalls jeweils vor und nach Anwendung der Elektrostimulation ein Grading erfolgt. Dies schafft die Möglichkeit, dass der Einfluss von Veränderungen die durch eine fortschreitende Reinnervation verursacht werden, minimiert wird.

Des Weiteren wird eine Software zur wiederholten Messung benötigt, um Therapieeffekte richtig erfassen zu können. In einer Studie von Chu et al. aus dem Jahr 2011 wurde untersucht, welcher Grad der Gesichtsymmetrie erforderlich war, um eine bewusste Wahrnehmung beim Beobachter in einem simulierten Modell der Gesichtslähmung auszulösen (Chu et al. 2011). Zusätzlich wurde untersucht, ob die Fähigkeit eine Asymmetrie im Gesicht zu erkennen, von der Beobachtungszeit abhing. Dazu wurde ein Modell der Gesichtslähmung anhand des Gesichts eines Teilnehmers ohne Gesichtslähmung erstellt. Mithilfe einer digitalen Morphing-Software wurde eine fortschreitende Asymmetrie der Augenbrauen, der Mundwinkel und der Kombination aus Augenbrauen und Mundwinkel auf der Grundlage der typischen Folgen einer Gesichtslähmung erzeugt. Dabei konnte festgestellt werden, dass mindestens 3 mm Gesichtsymmetrie erforderlich sind, bevor eine Asymmetrie erkannt wurde. Zusätzlich konnte dabei nachgewiesen werden, dass es keine spezifische Gesichtsregion gibt, in der eine Asymmetrie schneller erkannt wird. Bei längeren Beobachtungszeiten der Bilder wurde ein geringerer Grad an Asymmetrie durch die Beobachter erkannt (Chu et al. 2011). Da allerdings auch Gesichtsymmetrien von

weniger als 3 mm von großer Bedeutung in der Interpretation eines Therapieverlaufes sein können, ist es unbedingt notwendig, bei einem wiederholten Grading auf Computer-Programme wie Emotrics zurückzugreifen. Durch die euklidischen Analyse sind mit einer Computer-Software auch kleinste Veränderungen korrekt erfassbar. Es lässt sich festhalten, dass durch die vorliegende Studie eine positive Wirkung mittels der täglichen heimisch durchgeführten Oberflächen-Exponentialstromtherapie nachgewiesen werden konnte. Hervorzuheben ist, dass es bei 4 der 5 Patienten spontan oder nach chirurgischer Intervention im Laufe des Beobachtungszeitraums zu einer Reinnervation und damit zu einer deutlichen Besserung der genannten Paralyse kam. Um eine Aussage über die Effektivität des Elektrostimulations-Trainings treffen zu können, war der Zeitraum vor der ersten im Nadel-EMG festzustellenden Reinnervation mindestens einer der vier untersuchten Muskeln bei Willkürmotorik entscheidend.

6. Schlussfolgerungen

Die expertenbasierte Analyse mittels dem SFGS und der eFACE führte zu statistisch nachweisbaren, vergleichbaren Ergebnissen wie die euklidische Analyse durch Emotrics. Die positiven sowie negativen Veränderungen im Verlauf der Dokumentationsreihe wurden in ihrer Tendenz von den Ratern mit Hilfe der Grading Systeme statistisch nachweisbar korrekt erfasst. Die Interrater-Reliabilität der 3 unabhängigen Rater lieferte gute bis sehr gute Ergebnisse. Eine expertenbasierte Analyse unter Verwendung dieser Bewertungsschemata bietet demzufolge eine gute Möglichkeit, Tendenzen des Krankheitsverlaufs und möglichen Therapieerfolg im klinischen Alltag nachvollziehen zu können. Allerdings muss betont werden, dass minimale Veränderungen von wenigen Millimetern, denen teilweise großer Stellungswert in der Interpretation des Therapieverlaufes zugesprochen werden kann, mittels der Grading Systeme unzureichend erkannt wurden. Daraus lässt sich ableiten, dass zur genauen Analyse eines Patienten, insbesondere um kleinste Veränderungen feststellen zu können, eine euklidische Analyse sinnvoll ist. Minimale Abweichungen von wenigen Millimetern bzw. Graden eines Winkels können ausschließlich euklidisch vollständig korrekt erfasst werden. Des Weiteren führt eine euklidische Vermessung auch unabhängig vom jeweiligen Rater zu objektiveren Ergebnissen als eine expertenbasierte Bewertung und verhindert dadurch eine damit einhergehende Untersucherabhängigkeit.

Jedoch sollte die Software zur euklidischen Analyse weiterentwickelt werden um zukünftig am besten eine manuelle Korrektur von Landmarken und der Gesichtsmittellinie überflüssig zu machen. Durch den statistischen Vergleich der euklidischen Analyse der Messwertdatensätze eines Patienten zwischen automatisierter Mittellinienanlage durch Emotrics und nach manueller Mittellinienkorrektur konnte gezeigt werden, dass Korrekturen der automatisierten Prozesse von Emotrics notwendig sind. Vorteil der expertenbasierten Bewertung ist noch immer ihre schnellere Erhebung, ohne eine entsprechend zeitaufwändige Korrekturnotwendigkeit. Des Weiteren wird keine elektronische Software benötigt, die euklidische Daten liefert.

Aufgrund dessen ist es sinnvoll, ein Programm wie in der vorliegenden Studie zu verwenden, welches eine expertenbasierte Bewertung und euklidische Analyse

innerhalb eines Interfaces kombiniert um somit von den Vorteilen der jeweiligen Analysemöglichkeiten zu profitieren.

Für zukünftige Studien wäre es interessant, eine automatische Landmarken-Vermessung durchzuführen, um zu zeigen, ob die händisch festgestellten Veränderungen mit den automatisch erfassten korrelieren. Zudem wäre der Vergleich einer expertenbasierten Bewertung zwischen 2D-Fotoserien und 3D-Videos von Patienten aufschlussreich.

Die Elektrostimulation zur täglichen heimisch durchgeführten Oberflächen-Exponentialstromtherapie führte bei 4 der 5 untersuchten Patienten zu einer messbaren Verbesserung der mimischen Funktion und damit Aufrechterhaltung des Muskeltonus. Durch die euklidische Analyse des direkten Effektes der Elektrostimulation unmittelbar nach der Anwendung der Oberflächen-Exponentialstromtherapie konnte bei allen 4 untersuchten Patienten zudem ein positiver Effekt auf das Augenareal gemessen werden. Im Mundareal konnte bei 2 Patienten ein messbar positiver Effekt erzielt werden, während bei 2 Patienten ein negativer Effekt messbar war. Um auch minimale Effekte erkennen zu können, ist es notwendig auf Computer-Programme wie Emotrics zurückzugreifen. Durch die Möglichkeit einer euklidischen Analyse sind auch kleinste Veränderungen korrekt erfassbar.

Unter Verwendung von geeigneten Stimulationsparametern kann davon ausgegangen werden, dass sich zukünftig die Anwendung einer Oberflächen-Exponentialstromtherapie als mögliches Therapiekonzept bei der Behandlung einer Fazialisparalyse, etabliert. Die vorliegende Studie diene dabei vorrangig der Etablierung einer Methode zur Auswertung des Dauereffekte, als auch des direkten Effektes einer Elektrostimulationstherapie auf die mimische Funktion. Um den Effekt einer Elektrostimulation aussagekräftig widerzuspiegeln, sollte in zukünftigen Studien ein größeres Patientenkollektiv nach dem Untersuchungsverfahren der vorliegenden Studie betrachtet werden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spanel-Borowski K, Wennemuth G, Wolff W, Wurzinger L, Zilch H. Anatomie (Duale Reihe). 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage Thieme, Stuttgart. 2014.
- Angelov DN, Ceynowa M, Guntinas-Lichius O, Streppel M, Grosheva M, Kiryakova SI, Skouras E, Maegele M, Irintchev A, Neiss WF, Sinis N, Alvanou A, Dunlop SA. Mechanical stimulation of paralyzed vibrissal muscles following facial nerve injury in adult rat promotes full recovery of whisking. *Neurobiology of Disease*. 2007 Apr; 26(1):229-42.
- Arnold D, Thielker J, Klingner CM, Puls WC, Misikire W, Guntinas-Lichius O, Volk GF. Selective Surface Electrostimulation of the Denervated Zygomaticus Muscle. *Diagnostics (Basel)*. 2021 Jan 28; 11(2):188.
- Banks CA, Bhama PK, Park J, Hadlock CR, Hadlock TA. Clinician-Graded Electronic Facial Paralysis Assessment: The eFACE. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2015 Aug; 136(2):223e-230e.
- Banks CA, Jowett N, Hadlock CR, Hadlock TA. Weighting of Facial Grading Variables to Disfigurement in Facial Palsy. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2016 Jul 1; 18(4):2928.
- Banks CA, Jowett N, Hadlock TA. Test-Retest Reliability and Agreement Between In Person and Video Assessment of Facial Mimetic Function Using the eFACE Facial Grading System. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2017 May 1;19(3):206-211.
- Bhama P, Gliklich RE, Weinberg JS, Hadlock TA, Lindsay RW. Optimizing total facial nerve patient management for effective clinical outcomes research. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2014 Jan-Feb; 16(1):9-14.
- Botman JW, Jongkees LB. The result of intratemporal treatment of facial palsy. *Practica Otorhinolaryngologica (Basel)*. 1955; 17(2):80-100.
- Bradtmiller B, Zhuang Z. Head-and-Face Anthropometric Survey of U.S. Respirator Users. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2005 Nov; 2(11):567-76.
- Burres S, Fisch U. The comparison of facial grading systems. *Archives of Otolaryngology Head and Neck Surgery*. 1986 Jul; 112(7):755-8.
- Burres. Tip Points: Defining the Tip. *Aesthetic Plastic Surgery*. 1999. 23(2):113-118
- Burres SA. Objective grading of facial paralysis. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*. 1986 May-Jun; 95(3):238-41.
- Captier G, Canovas F, Bonnel F, Seignarbieux F. Organization and microscopic anatomy of the adult human facial nerve: anatomical and histological basis for surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2005 May; 115(6):1457-65.
- Chong LSH, Eviston TJ, Low TH, Hasmat S, Coulson SE, Clark JR. Validation of the Clinician-Graded Electronic Facial Paralysis Assessment. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2017 Jul; 140(1):159-167.
- Coulson, S. E., Croxson, G. R., Adams, R. D. & O'Dwyer, N. J. Reliability of the Sydney, Sunnybrook, and House Brackmann facial grading systems to assess voluntary movement and synkinesis after facial nerve paralysis. *Otolaryngology Head Neck Surgery*. 2005 Apr; 132(4):543-549.

- Chu EA, Farrag TY, Ishii LE, Byrne PJ. Threshold of visual perception of facial asymmetry in a facial paralysis model. *Archives of Facial Plastic Surgery*. 2011 Jan-Feb;13(1):14-9.
- Croxson G, May M, Mester SJ. Grading facial nerve function: House-Brackmann versus Burres-Fisch methods. *American Journal of Otolaryngology*. 1990 Jul; 11(4):240-6.
- Cunningham M, Roberts A, Barbee AP, Druen PB, Wu CH. Their Ideas of Beauty are, on the Whole, the Same as Ours: Consistency and Variability in the Cross-Cultural Perception of Female Physical Attractiveness. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1995; 68(2): 261-279.
- Dion K, Berscheid E, Walster, E. What is beautiful is good. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1972; 24(3), 285–290.
- Dusseldorp JR, Faraway J, Razavi L, Hadlock TA, Trotman CA. Nasolabial fold dynamics: Implications for facial paralysis and facial reanimation surgery. *Orthodontics and Craniofacial Research*. 2021 Feb; 24(1):62-69.
- Evans RA, Le Harries M, Baguley DM, Moffat DA. Reliability of the House and Brackmann Grading System for Facial Palsy. *The Journal of Laryngology & Otolaryngology*. 1989; 103(11), 1045–1046.
- Evison J, Aebi CP, Francioli S, Bassetti A, Gervaix S, Zimmerli, Weber R. Abklärung und Therapie der Lyme-Borreliose bei Erwachsenen und Kindern. *Schweizerische Ärztezeitung*. 2005; 86:2375-2384.
- Fargher K, Coulson S. Effectiveness of electrical stimulation for rehabilitation of facial nerve paralysis. *Physical Therapy Reviews*. 2017; 22(3):169-176.
- Fattah AY, Gavilan J, Hadlock TA, Marcus JR, Marres H, Nduka C, Slattery WH, Snyder-Warwick AK. Survey of methods of facial palsy documentation in use by members of the Sir Charles Bell Society. *Laryngoscope*. 2014; 124 (10):2247-2251.
- Fattah AY, Gurusinghe ADR, Gavilan J, Hadlock TA, Marcus JR, Marres H, Nduka CC, Slattery WH, Snyder-Warwick AK. Sir Charles Bell Society. Facial nerve grading instruments: systematic review of the literature and suggestion for uniformity. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2015 Feb;135(2):569-579.
- Finkensieper M, Volk GF, Guntinas-Lichius O. Erkrankungen Des Nervus Facialis Laryngo- Rhino- Otologie. 2012; 91:121-142.
- Frey M, Jenny A, Giovanoli P, Stüssi E. Development of a new documentation system for facial movements as a basis for the international registry for neuromuscular reconstruction in the face. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1994 Jun; 93(7):1334-1349.
- Gangestad SW, Thornhill R. Human Sexual Selection and Developmental Stability. *Evolutionary Social Psychology*. 1997. 169-196.
- Gerós A, Horta R, Aguiar P. Facegram - Objective quantitative analysis in Facial Reconstructive Surgery. *Journal of Biomedical Informatics*. 2016; 61: 1-9.
- Gaudin RA, Robinson M, Banks CA, Baiungo J, Jowett N, Hadlock TA. Emerging vs Time-Tested Methods of Facial Grading Among Patients With Facial Paralysis. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2016 Jul 1;18(4):251-7.
- Gross R, Matthews I, Cohn J, Kanade T, Baker S. Multi-pie Image and Vision Computing, 28(5):807-813, 2010.
- Guarin DL, Dusseldorp J, Hadlock TA, Jowett N. A Machine Learning Approach for Automated Facial Measurements in Facial Palsy. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2018 Jul 1;20(4):335-337.

- Guarin DL, Dusseldorp J, Hadlock TA, Jowett N. A Machine Learning Approach for Automated Facial Measurements in Facial Palsy. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2018 Jul 1;20(4):335-337.
- Gilden DH. Bell's palsy. *The New England Journal of Medicine*. 2004; 351:1323-1331.
- Guntinas-Lichius O, Sittel C. 2004. Diagnostics of Diseases and the Function of the Facial Nerve. *HNO*. 52(12):1115-1132.
- Grosheva M, Beutner D, Volk GF, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. Die Idiopathische Fazialisparese. *HNO*. 2010 May; 1-16.
- Greene JJ, Tavares J, Guarin DL, Hadlock T. Clinician and Automated Assessments of Facial Function Following Eyelid Weight Placement. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2019 Sep 1;21(5):387-392.
- Gründl M, Knoll S, Eisenmann-Klein M, Prantl L. The blue-eyes stereotype: do eye color, pupil diameter, and scleral color affect attractiveness? *Aesthetic Plastic Surgery*. 2012 Apr;36(2):234-40.
- Haase D, Minnigerode L, Volk GF, Denzler J, Guntinas-Lichius O. Automated and objective action coding of facial expressions in patients with acute facial palsy. *European Archives of Otorhinolaryngology*. 2015; 272 (5):1259-1267.
- Hadlock T. Standard outcome measures in facial paralysis: getting on the same page. *Jama Facial Plastic Surgery*. 2016; 18:85-86.
- Hadlock TA, Urban LS. Toward a universal, automated facial measurement tool in facial reanimation. *Archives of Facial Plastic Surgery*. 2012; 14:277–282.
- Halbmayer J. Longitudinal-Analyse des Therapieeffekts des Fazialis-Parese-Trainings und der Elektrostimulation denervierter mimischer Muskeln anhand von numerischen Grading-Systemen. Unpublished dissertation, medizinische Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Hamm J, Kohler CG, Gur RC, Verma R. Automated Facial Action Coding System for dynamic analysis of facial expressions in neuropsychiatric disorders. *Journal of Neuroscience Methods*. 2011 Sep; 200(2):237–256
- Heckmann JG, Lang C, Glocker FX, Urban P, Bischoff C, Weder B, Reiter G, Meier U, Guntinas-Lichius O. The New S2k AWMF Guideline for the Treatment of Bell's Palsy in Commented Short Form | Die Neue S2k AWMF Leitlinie Zur Idiopathischen Fazialisparese in Kommentierter Kurzform. *Laryngo- Rhinotologie*. 2012; 91(11): 686-692
- Heckmann JG, Lang C, Glocker FX, Urban P, Bischoff C, Weder B, Reiter G, Meier U, Guntinas-Lichius O. S2k-Leitlinie Therapie der idiopathischen Fazialisparese (Bell'spalsy). In: Deutsche Gesellschaft für Neurologie, Herausgeber. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. 2017. Online: www.dgn.org/leitlinien (abgerufen am 17.01.2022)
- Holtmann LC, Eckstein A, Stähr K, Xing M, Lang S, Mattheis S. Outcome of a graduated minimally invasive facial reanimation in patients with facial paralysis. *European Archives of Otorhinolaryngology*. 2017 Aug;274(8):3241-3249.
- Horta R, Aguiar P, Monteiro D, Silva A, Amarante JM. A facegram for spatialtemporal analysis of facial excursion: applicability in the microsurgical reanimation of long-standing paralysis and pretransplantation. *Journal of Craniomaxillofacial Surgery*. 2014; 42(7):1250-1259.
- Horta R, Nascimento R, Geros A, Aguiar P, Silva A, Amarante J. A Novel System for Assessing Facial Muscle Movements: The Facegram 3D. *Surgical Innovation*. 2018; 25 (1):90-92.

- House JW, Brackmann DE. Facial Nerve Grading System. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 1985; Apr;93(2):146-147.
- Hu WL, Ross B, Nedzelski J. Reliability of the Sunnybrook Facial Grading System by novice users. *Journal of Otolaryngology*. 2001 Aug;30(4):208-11.
- Jowett N, O TM, Hadlock TA. Facial Palsy: Diagnostic and Therapeutic Management. *Otolaryngology Clinic North America*. 2018 Dec;51(6):1009-1037.
- Kahl-Nieke B. Einführung in die Kieferorthopädie. 5. Überarbeitete Auflage deutscher Zahnärzte Verlag. 2017; S.125.
- Kanerva M, Jonsson L, Berg T, Axelsson S, Stjernquist-Desatnik A, Engström M, Pitkäranta A. Sunnybrook and House-Brackmann systems in 5397 facial gradings. *Otolaryngology Head and Neck Surgery*. 2011 Apr; 144(4):570-4.
- Kehrer A, Rüwe M, Engelmann S, Mandlik V, Prantl V. Fazialisparese und plastisch chirurgische Rekonstruktionen Grundlagenwissen zu frühen und chronischen Formen. *Plastische Chirurgie des Kaden Verlags*. 2018 Mar; 1:121-126.
- Kecskés G. Current diagnostic, pharmaceutic and reconstructive surgical methods in the management of facial nerve palsy. *Oto-Rhino-Laryngology Szeged*. 2012;1:18-19.
- Kurz A, Volk GF, Arnold D, Schneider-Stickler B, Mayr W, Guntinas-Lichius O. Selective Electrical Surface Stimulation to Support Functional Recovery in the Early Phase After Unilateral Acute Facial Nerve or Vocal Fold Paralysis. *Frontiers in Neurology*. 2022 Apr 4;13:869900.
- Lee LN, Susarla SM, H Hohman M, Henstrom DK, Cheney ML, Hadlock TA. A comparison of facial nerve grading systems. *Annual of Plastic Surgery*. 2013 Mar;70(3):313-6.
- Linstrom CJ. Objective facial motion analysis in patients with facial nerve dysfunction. *Laryngoscope*. 2002 Jul;112(7):1129-47.
- Madhok VB, Gagyor I, Daly F, Somasundara D, Sullivan M, Gammie F, Sullivan F. Corticosteroids for Bell's palsy (idiopathic facial paralysis). *Cochrane Database Systeme Review*. 2016 Jul 18;7(7):1942.
- Manikandan N. Effect of facial neuromuscular re-education on facial symmetry in patients with Bell's palsy: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2007 Apr;21(4):338-43.
- Marotta N, Demeco A, Inzitari MT, Caruso MG, Ammendolia A. Neuromuscular electrical stimulation and shortwave diathermy in unrecovered Bell palsy: A randomized controlled study. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Feb;99(8):e19152.
- May M, Schaitkin BM. *The facial nerve*. Thieme Inc. 2000.
- Melvin TA, Limb CJ. Overview of facial paralysis: current concepts. *Facial Plastic Surgery*. 2008 May;24(2):155-63.
- Michaelidou M, Herceg M, Schuhfried O, Tzou CH, Pona I, Hold A, Mittlböck M, Paternostro-Sluga T, Frey M. Correlation of functional recovery with the course of electrophysiological parameters after free muscle transfer for reconstruction of the smile in irreversible facial palsy. *Muscle Nerve*. 2011 Nov;44(5):741-8.
- Morales DR, Donnan PT, Daly F. Impact of clinical trial findings on Bell's palsy management in general practice in the UK 2001–2012: interrupted time series regression analysis. *BMJ Open*. 2013;3:e003121.
- Mosforth J, Taverner D. Physiotherapy for Bell's palsy. *British Medical Journal*. 1958 Sep13;2(5097):675-7.

- Murphey AW, Clinkscales WB, Oyer SL. Masseteric Nerve Transfer for Facial Nerve Paralysis: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2018 Mar 1;20(2):104-110.
- Neumann T, Lorenz A, Volk GF, Hamzei F, Schulz S, Guntinas-Lichius O. Validierung einer Deutschen Version des Sunnybrook Facial Grading Systems [Validation of the German Version of the Sunnybrook Facial Grading System]. *Laryngorhinootologie*. 2017 Mar;96(3):168-174.
- Neely JG, Cheung JY, Wood M, Byers J, Rogerson A. Computerized quantitative dynamic analysis of facial motion in the paralyzed and synkinetic face. *American Journal of Otolaryngology*. 1992 Mar;13(2):97-107.
- Neely JG, Wang KX, Shapland CA, Sehizadeh A, Wang A. Computerized objective measurement of facial motion: normal variation and test-retest reliability. *Otology and Neurotology*. 2010 Dec;31(9):1488-92.
- Niziol R, Henry FP, Leckenby JI, Grobbelaar AO. Is there an ideal outcome scoring system for facial reanimation surgery? A review of current methods and suggestions for future publications. *Journal of Plastic and Reconstructive Aesthetic Surgery*. 2015 Apr;68(4):447-56.
- O'Reilly BF, Soraghan JJ, McGrenary S, He S. Objective method of assessing and presenting the House-Brackmann and regional grades of facial palsy by production of a facogram. *Otology and Neurotology*. 2010 Apr;31(3):486-91.
- Parsa KM, Hancock M, Nguy PL, Donalek HM, Wang H, Barth J, Reilly MJ. Association of Facial Paralysis with Perceptions of Personality and Physical Traits. *JAMA Network Open*. 2020 Jun 1;3(6):e205495.
- Paternostro-Sluga T, Herceg M, Frey M. Physikalische Therapiemaßnahmen bei peripherer Fazialisparese: Indikationen, Zeitpunkte und praktische Anwendungen [Conservative treatment and rehabilitation in peripheral facial palsy]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie and Plastische Chirurgie*. 2010 Apr;42(2):109-14.
- Peitersen E. Bell's palsy: the spontaneous course of 2,500 peripheral facial nerve palsies of different etiologies. *Acta Otolaryngologica Supplementum*. 2002;(549):4-30.
- Puls WC, Jarvis JC, Ruck A, Lehmann T, Guntinas-Lichius O, Volk GF. Surface electrical stimulation for facial paralysis is not harmful. *Muscle Nerve*. 2020 Mar;61(3):347-353.
- Quinn R, Cramp F. The efficacy of electrotherapy for Bell's palsy: a systematic review. *Physical Therapy Reviews* 2003; 8(3): 151-164.
- Raj A, Mothes O, Sickert S, Volk GF, Guntinas-Lichius O, Denzler J. Automatic and Objective Facial Palsy Grading Index Prediction Using Deep Feature Regression. In: Papież B., Namburete A., Yaqub M., Noble J. *Medical Image Understanding and Analysis. Communications in Computer and Information Science*. Springer, Cham. 2020; vol 1248.
- Repitsch CA, Volk GF. Funktionelle Elektrostimulation bei Fazialisparese. In: Schick T. *Funktionelle Elektrostimulation in der Neurorehabilitation*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2021.
- Revenaugh PC, Smith RM, Plitt MA, Ishii L, Boahene K, Byrne PJ. Use of Objective Metrics in Dynamic Facial Reanimation: A Systematic Review. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2018 Dec 1;20(6):501-508.

- Ronthal M, Greenstein MB. Bell's palsy: Pathogenesis, clinical features, and diagnosis. www.uptodate.com/contents/bells-palsy-pathogenesis-clinical-features-and-diagnosis-in-adults? (abgerufen am 22 March 2021).
- Ross BG, Fradet G, Nedzelski JM. Development of a sensitive clinical facial grading system. *Otolaryngology and Head Neck Surgery*. 1996 Mar;114(3):380-6.
- Rödiger, B. (2021). Veränderungen des Gradings nach EMG-Biofeedback-Training bei Patienten mit postparalytischem Fazialisnerv-Syndrom. Unpublished dissertation, medizinische Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Rueden CT, Schindelin J, Hiner MC, DeZonia BE, Walter AE, Arena ET, Eliceiri KW. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*. 2017 Nov 29;18(1):529.
- Sagonas C, Tzimiropoulos G, Zafeiriou S, Pantic M. 300 Faces in-the-Wild Challenge: The First Facial Landmark Localization Challenge. *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*. 2013; 1:397-403.
- Santosa KB, Fattah A, Gavilán J, Hadlock TA, Snyder-Warwick AK. Photographic Standards for Patients with Facial Palsy and Recommendations by Members of the Sir Charles Bell Society. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2017 Jul 1; 19(4):275-281.
- Sommerauer L, Engelmann S, Ruewe M, Anker A, Prantl L, Kehrer A. Effects of electrostimulation therapy in facial nerve palsy. *Archives of Plastic Surgery*. 2021 May; 48(3):278-281.
- Somia NN, Rash GS, Epstein EE, Wachowiak M, Sundine MJ, Stremel RW, Barker JH, Gossman D. A computer analysis of reflex eyelid motion in normal subjects and in facial neuropathy. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2000 Dec;15(10):766-71.
- Schaede RA, Volk GF, Modersohn L, Barth JM, Denzler J, Guntinas-Lichius O. Patienten-Instruktionsvideo mit synchroner Videoaufnahme von Gesichtsbewegungen bei Fazialisparese [Video Instruction for Synchronous Video Recording of Mimic Movement of Patients with Facial Palsy]. *Laryngorhinootologie*. 2017 Dec;96(12):844-849.
- Schick T. Funktionelle Elektrostimulation in der Neurorehabilitation. Funktionelle Elektrostimulation in der Neurorehabilitation. Springer Verlag 1. Auflage. 2021; 1:168-171.
- Schumann NP, Bongers F, Volk GF, Guntinas-Lichius O, Scholle HCh. Vom verlorenen Lächeln – Verlust der nervalen Kontrolle über Gesichtsmuskeln. *Treatment of facial nerve diseases. Imaging of Facial Muscles*. 2015.
- Spoor JR, Janice RK. The Evolutionary Significance of Affect in Groups: Communication and Group Bonding. *Group Processes and Intergroup Relations*. 2004; 7(4), 398-412.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Natural Methods*. 2012 Jul;9(7):671-5.
- Stennert E, Limberg CH, Frentrup KP. Parese- und Defektheilungs-Index. Ein leicht anwendbares Schema zur objektiven Bewertung von Therapieerfolgen bei Fazialisparesen. An index for paresis and defective healing - an easily applied method for objectively determining therapeutic results in facial paresis. *HNO*. 1977 Jul;25(7):238-45.
- Trotman CA, Faraway J, Hadlock T, Banks C, Jowett N, Jung HJ. Facial soft-tissue mobility: baseline dynamics of patients with unilateral facial paralysis. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*. 2018; 6(10):e1955.

- Trotman CA, Faraway J, Hadlock TA. Facial mobility and recovery in patients with unilateral facial paralysis. *Orthodontics and Craniofacial Research*. 2020 Feb;23(1):82-91.
- Teixeira LJ, Soares BG, Vieira VP, Prado GF. Physical therapy for Bell's palsy (idiopathic facial paralysis). *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2008 Jul 16;(3):CD006283.
- Tuncay F, Borman P, Taşer B, Ünlü İ, Samim E. Role of electrical stimulation added to conventional therapy in patients with idiopathic facial (Bell) palsy. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015 Mar;94(3):222-8.
- Van Veen MM, Tavares-Brito J, van Veen BM, Dusseldorp JR, Werker PMN, Dijkstra PU, Hadlock TA. Association of Regional Facial Dysfunction With Facial Palsy-Related Quality of Life. *JAMA Facial Plastic Surgery*. 2019 Jan 1;21(1):32-37.
- Volk GF, Guntinas-Lichius O, Schaitkin BM. Clinical examination. In: Guntinas-Lichius O, Schaitkin BM, eds. *Facial Nerve Disorders and Diseases : Diagnosis and Management*. Stuttgart, Germany: Thieme; 2016: 51.
- Volk GF, Schaede RA, Thielker J, Modersohn L, Mothes O, Nduka CC, Barth JM, Denzler J, Guntinas-Lichius O. Reliability of grading of facial palsy using a video tutorial with synchronous video recording. *Laryngoscope*. 2019 Oct;129(10):2274-2279.
- Volk GF, Thielker J, Möller MC, Majcher D, Mastryukova V, Altmann CS, Dobel C, Guntinas-Lichius O. Tolerability of facial electrostimulation in healthy adults and patients with facial synkinesis. *European Archives of Otorhinolaryngology*. 2020 Apr;277(4):1247-1253.
- Waller BM, Cray JJ, Burrows AM. Selection for universal facial emotion. *Emotion*. 2008 Jun;8(3):435-9.
- Yen TL, Driscoll CL, Lalwani AK. Significance of House-Brackmann facial nerve grading global score in the setting of differential facial nerve function. *Otology and Neurotology*. 2003 Jan;24(1):118-22.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomische Grundlagen der Fazialisparese	8
Abbildung 2: Klinisches Bild einer peripheren Fazialisparese	9
Abbildung 3: Patientin 001 zu Beginn der Elektrostimulations-Studie.....	28
Abbildung 4: Patientin 002 zu Beginn der Elektrostimulations-Studie.....	29
Abbildung 5: Patientin 003 zu Beginn der Elektrostimulations-Studie.....	30
Abbildung 6: Patient 004 zu Beginn der Elektrostimulations-Studie.....	31
Abbildung 7: Patientin 005 zu Beginn der Elektrostimulations-Studie.....	32
Abbildung 8: Anbringen der Oberflächenelektroden des Reizstromtherapiegerätes.....	34
Abbildung 9: Einstellungsparameter des SFGS	36
Abbildung 10: Einstellungsparameter[eFACE].....	37
Abbildung 11: Die Benutzeroberfläche von Emotrics	39
Abbildung 12: Übersichtsaufnahme von JAuto-eFACE.....	40
Abbildung 13: Exemplarische Fotoserie von Gesichtsbewegungen	41
Abbildung 14: Das 68 Landmarken Modell.....	43
Abbildung 15: Erforderliche Bewegungsabläufe zur euklidischen Analyse	45
Abbildung 16: Schematische Darstellung zur Analyse des Augenlidschlusses.....	47
Abbildung 17: Metrische Analyse des Augenlidschlusses.....	47
Abbildung 18: Schematische Darstellung zur metrischen Analyse der Augenbrauenhöhe....	48
Abbildung 19: Euklidische Analyse der Augenbrauenhöhe.....	48
Abbildung 20: Schematische Darstellung zur euklidischenn Analyse der oralen Kommissur	49
Abbildung 21: Euklidische Analyse der oralen Kommissur	49
Abbildung 22: Schematische Darstellung euklidische Analyse der oralen Höhendifferenz....	50
Abbildung 23: Euklidische Analyse der oralen Höhendifferenz.....	50
Abbildung 24: Schematische Darstellung zur euklidischen Analyse des Lachwinkels.....	51
Abbildung 25: Euklidische Analyse des Lachwinkels	51
Abbildung 26: Mittellinie vor und nach Korrektur	52
Abbildung 27: Gliederung des Gesichtareals	53
Abbildung 28: Die Lidspalte in Ruhe	61
Abbildung 29: Vertikale Lidspaltendistanz in Ruhe [eFACE Ratings]	62
Abbildung 30: Sanfter Augenschluss	63
Abbildung 31: Sanfter Augenschluss [eFACE Ratings]	64
Abbildung 32: Sanfter Augenschluss [Sunnybrook Ratings]	65
Abbildung 33: Augenbrauenbewegung (Bewegungsamplitude)	66
Abbildung 34: Stirnrunzeln [eFACE Ratings].....	66

Abbildung 35: Stirnrunzeln [Sunnybrook Ratings]	67
Abbildung 36: Kommissurenexkursion in Ruhe	68
Abbildung 37: Höhendifferenz in Ruhe	69
Abbildung 38: Lachwinkel in Ruhe	70
Abbildung 39: Lachwinkel in Ruhe [eFACE Ratings]	71
Abbildung 40: Kommissurenexkursion während des Lächelns	72
Abbildung 41: Kommissurenexkursion während des Lächelns [eFACE Ratings].....	73
Abbildung 42: Lächeln mit offenem Mund [Sunnybrook Ratings]	73
Abbildung 43: Höhendifferenz während des Lächelns	74
Abbildung 44: Lachwinkel während des Lächelns	75
Abbildung 45: Höhendifferenz vor und nach Mittellinienkorrektur	76
Abbildung 46: expertenbasierte Bewertung im Vergleich zur euklidischen Analyse [Braue]..	80
Abbildung 47: expertenbasierte Bewertung im Vergleich zur euklidischen Analyse [Lid].....	80
Abbildung 48: Sanfter Augenschluss [Effekt der Elektrostimulation].....	84
Abbildung 49: Kommissurenexkursion [Effekt der Elektrostimulation].....	85
Abbildung 50: Höhendifferenz während des Lächelns [Effekt der Elektrostimulation].....	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: House Brackmann Scale [Facial nerve grading system].....	13
Tabelle 2: Stennert-Index zur Beurteilung einer Fazialisparese	14
Tabelle 3: Facial Nerve Grading System 2.0	15
Tabelle 4: Vergleich zwischen bewährten Programmen der Gesichtsanalyse	20
Tabelle 5: Dauer der Parese sowie festgestellte synkinetische Reinnverationszeichen.....	27
Tabelle 6: Übersicht über die Patienten der vorliegenden Studie	33
Tabelle 7: Überblick über die jeweiligen betrachteten Parameter	46
Tabelle 8: Richtlinien zur Bewertung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten	55
Tabelle 9: Einstellungsparameter des Reizstromtherapiegerätes Stimulette r2x.....	57
Tabelle 10: Symbolik innerhalb der Grafiken zur euklidischen Analyse.....	58
Tabelle 11: Schweregrad der Paralyse zu Beginn / Ende der Dokumentationsreihe.....	59
Tabelle 12: Farb-2D-Fotoserien der Patienten	60
Tabelle 13: Interrater-Reliabilität der 3 unabhängigen Rater	77
Tabelle 14: Vergleich expertenbasierte Bewertung und euklidische Analyse.....	78
Tabelle 15: Wilcoxon-Test der Ergebnisse vor und nach Mittellinienkorrektur.....	81
Tabelle 16: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test der Elektrostimulation	83
Tabelle 17: ES-Wirkung während der Dokumentationsreihe	84

Anhang

Die folgenden Dateien sind auf der beiliegenden CD abgelegt:

Anhang 1: Euklidische Analyse aller Patienten vor und nach Mittellinienkorrektur

Anhang 2: Übersicht und Grafiken der expertenbasierten Analyse aller Patienten

Anhang 3: Grafiken Auge

Anhang 4: Grafiken Augenbraue

Anhang 5: Grafiken Mund

Anhang 6: Ablauf der Elektrostimulation

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk für die großartige Betreuung und Unterstützung während der Erstellung der Dissertation. Ebenfalls danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Orlando Guntinas-Lichius für die Möglichkeit zur Promotion, Unterstützung, Betreuung und Vermittlung der Arbeit in seiner Klinik.

Des Weiteren möchte ich mich bei Anna Kутtenreich bedanken für die sehr angenehme Zusammenarbeit und den stetigen fachkundigen Austausch während der Arbeit.

Herrn M.Sc. Oliver Mothes und Martin Heinrich danke ich für das Engagement bei der Unterstützung bei Fragen im Fachbereich der Informatik und Hilfe bei Fragen zur verwendeten Software JAuto-eFACE und Emotrics.

Frau Dipl.-Math. oec. Lisa Wedekind vom Institut für medizinische Statistik, Informatik und Datenwissenschaften für die statistische Beratung.

Von ganzem Herzen danke ich meinen Eltern, die mich in allen Lebenssituationen unterstützt haben und überhaupt erst ermöglicht haben diese Arbeit zu verwirklichen und meine Ziele zu erreichen.

Meinen Brüdern Philip und Mathias, sowie meinen Großeltern für eure fortwährende Unterstützung.

Nicht zuletzt all meinen Freunden, insbesondere Leos, Tom, Alpay, Dima und Toni.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Jan Beckmann

dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Univ.-Prof. Dr. med. Orlando Guntinas-Lichius,

PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk,

dass die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 03.01.2022

Jan Beckmann