

**Evaluation eines Biofeedback-Trainings für
Patienten mit postparalytischen Synkinesien
nach peripherer Fazialisparese mittels
Multikanal-Oberflächen-EMG der intrinsischen
und extrinsischen aurikulären Muskulatur**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

von Eric Hoche
geboren am 09. Juli 1997 in Nordhausen

Gutachter

1. PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk, Jena
2. apl. Prof. Dr. med. Christoph Anders, Jena
3. Prof. Dr. med. David Liebetanz, Göttingen

Tag der öffentlichen Verteidigung: 02.05.2023

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria (lat.: Arterie)
Ag	Silber (Elementsymbol)
BMI	Body-Mass-Index
Ca	Kalzium (Elementsymbol)
Cl	Chlor (Elementsymbol)
EMG	Elektromyographie
ES	Effektstärke (Cohen's d)
HFJA	Hypoglossus-Fazialis-Jump-Anastomose
Hz	Hertz
M. / Mm.	Musculus (lat.: Muskel) / Musculi (lat.: Muskeln)
ME	Motorische Einheit
MW	Mittelwert
N	Gesamtanzahl der Grundgesamtheit (Statistik)
N.	Nervus (lat.: Nerv)
n	Größe der Stichprobe (Statistik)
Ncl. / Ncll.	Nucleus (lat.: Kern) / Nuclei (lat.: Kerne)
NEMG	Nadelelektromyographie
OEMG	Oberflächenelektromyographie
p	Signifikanzniveau
Proc.	Processus (lat.: Vorsprung, Fortsatz)
R. / Rr.	Ramus (lat.: Ast / Abzweigung) / Rami (lat.: Äste)
RMS	root mean square (engl.: Quadratisches Mittel)
SD	Standardabweichung
ToM	Tower of Measurement (Analog-Digital-Wandler)
vs.	versus

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	3
2 Einleitung	5
2.1 Die mimische Muskulatur	5
2.2 Intrinsische und extrinsische aurikuläre Muskulatur	6
2.3 Der Nervus facialis	8
2.4 Das Krankheitsbild der Fazialisparese	10
2.5 Diagnostisches und therapeutisches Verfahren - Elektromyographie	12
2.5.1 Elektrophysiologische Grundlagen	13
2.5.2 Oberflächenelektromyographie (OEMG)	14
2.5.3 OEMG der Ohrmuskulatur	15
2.5.4 Biofeedback-Trainingskonzept und Taubsche Bewegungstherapie	16
2.6 Teilstationäres Fazialis-Parese-Training am Universitätsklinikum Jena	19
3 Ziele der Arbeit	22
4 Material und Methodik	24
4.1 Patientenkollektiv	24
4.2 Versuchsdurchführung	26
4.2.1 Versuchsvorbereitung	26
4.2.2 Versuchsablauf	29
4.3 Trainingsstudiendesign	31
4.4 Messverfahren und EMG-Ableitung	32
4.5 EMG-spezifische Signalverarbeitung	33
4.6 Ausreißerelimination und Konsolidierung der Daten	35
4.7 Datenanalyse	36
5 Ergebnisse	37
5.1 Vergleich der OEMG-Aktivität in den Gesichts- und Ohrmuskeln im zeitlichen Verlauf	37
5.1.1 Extrinsische Ohrmuskulatur	37
5.1.2 Intrinsische Ohrmuskulatur	44
5.1.3 Gesichtsmuskulatur	52
5.2 Aktivitätsunterschiede der Muskulatur vor dem Training (U1) und zum Abschluss des Trainings (U3)	56
5.2.1 Extrinsische Ohrmuskulatur	56
5.2.2 Intrinsische Ohrmuskulatur	61

5.2.3 Gesichtsmuskulatur.....	68
5.3 Zusammenfassende Darstellung der Effektstärken und Signifikanzen.....	72
6 Diskussion	79
6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	79
6.1.1 Identifikation relevanter aurikulärer Muskeln der nicht betroffenen Gesichtshälfte zur objektiven Beurteilung eines Trainingseffektes	79
6.1.2 Identifikation relevanter aurikulärer Muskeln der betroffenen Gesichtshälfte zur objektiven Beurteilung eines Trainingseffektes	81
6.1.3 Vergleich der aurikulären zur fazialen Muskulatur.....	82
6.1.4 Verwendung des OEMG zur Evaluation des Trainingseffektes.....	84
6.1.5 Bewertung von Synkinesien anhand der Gesichtsmuskulatur.....	85
6.1.6 Evaluation des Trainingserfolges	88
6.1.7 Identifikation trainingsrelevanter Gesichtsbewegungen und deren Beeinflussung aurikulärer Aktivitätsmuster	90
6.2 Evaluation der Hypothesen	92
6.3 Ausblick	95
6.4 Limitationen der Studie.....	96
6.4.1 Patientenkollektiv	96
6.4.2 Trainingsmethodik.....	97
6.4.3 Versuchsbedingungen.....	97
7 Schlussfolgerungen	99
8 Literatur- und Quellenverzeichnis.....	101
9 Anhang	107
9.1 Dokumente, Protokolle und Tabellen	107
9.2 Danksagung	113
9.3 Ehrenwörtliche Erklärung	114

1 Zusammenfassung

Der Nervus facialis innerviert als siebter Hirnnerv die gesamte mimische Muskulatur, zu der auch die bisher wenig beachteten aurikulären Muskeln gezählt werden. Die periphere Fazialisparese ist die häufigste Funktionsstörung eines Hirnnervs (Inzidenz 7-40/100.000 und Jahr). Bei bis zu 30 % der Fälle kommt es zu einer fehlerhaften Reinnervation und Synkinesien. Inwieweit davon auch die Ohrmuskulatur, die in extrinsische und intrinsische Muskeln unterteilt wird, betroffen ist, wurde bisher kaum beschrieben. Aufgrund der Funktionsstörungen und Stigmatisierung führen Synkinesien bei den Patienten zu einem hohen Leidensdruck. Im Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena wird ein Biofeedback-Training zur Behandlung von Synkinesien angeboten. Ein Hauptziel des Trainings ist die Verbesserung der Gesichtssymmetrie, die gezielte Kontrolle und beidseitige Entspannung der Gesichtsmuskulatur. Mittels nicht-invasiver Oberflächenmyoelektrische Aktivitätsaufzeichnung (OEMG) ist es möglich, die Aktivität der Ohr- und Gesichtsmuskeln aufzuzeichnen. Somit ist eine Entspannung der Muskulatur im OEMG als Aktivitätsabnahme ersichtlich. Das Ziel der vorliegenden Studie bestand in der Untersuchung, ob trainingsrelevante Veränderungen des Biofeedback-Trainings mittels OEMG an der aurikulären Muskulatur detektiert werden können. Außerdem sollten Ohrmuskeln und Gesichtsbewegungen identifiziert werden, die für die Objektivierung eines Trainingserfolges im klinischen Setting von Relevanz sein können.

Das in dieser Dissertation untersuchte Patientenkollektiv umfasste 21 Patienten (8 männlich, 13 weiblich, Alter $54,9 \pm 14,9$ Jahre) mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese. Zwischen dem Auftreten der Parese und dem Beginn des Fazialis-Parese-Trainings lagen im Median 18 Monate. Über den Zeitraum des zehntägigen Biofeedback-Trainings wurden die Patienten zu Beginn des Trainings (U1), nach 5 Tagen (U2) und am Ende des Trainings nach 10 Tagen (U3) anhand eines identischen Protokolls untersucht. Für die Untersuchung wurden den Patienten jeweils pro Gesichtshälfte 16 OEMG-Elektroden über den aurikulären Muskeln und vier Elektroden im Gesicht über dem M. orbicularis oris und M. orbicularis oculi platziert und bipolar verrechnet. Anschließend erfolgten die Messungen der OEMG-Aktivierungen während der Durchführung 20 standardisierter, alltagsrelevanter Gesichtsbewegungen (aus 20 Gesichtsbewegungen und 9 Muskeln ergaben sich 180 Konstellationen für den Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten).

Für die objektive Evaluation des Trainingserfolges beim Vergleich von U1 zu U3 wurden alle extrinsischen Ohrmuskeln (M. auricularis posterior, M. auricularis superior, M. auricularis anterior) sowie der intrinsische M. transversus auriculae aufgrund der detektierten OEMG-Aktivitätsabnahmen als besonders aussagekräftig identifiziert. So wurden beim Vergleich von U1 zu U3 auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte bei 74 von 180 (41,1 %) sowie auf der betroffenen Gesichtshälfte für 64 von 180 (35,5 %) aller möglichen Gegenüberstellungen von Muskelaktivierung (sowohl Ohr- als auch Gesichtsmuskulatur) und Gesichtsbewegung relevante Aktivitätsabnahmen beobachtet. Mittels der Untersuchungen ließ sich also auf beiden Gesichtshälften eine Beeinflussung der aurikulären Muskeln durch ein speziell für die Gesichtsmuskulatur entwickeltes Biofeedback-Training in Form von Aktivitätsabnahmen als Zeichen der Entspannung nachweisen. Allerdings konnte insbesondere für den Vergleich von U2 zu U3, sowohl auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte bei 37 von 180 (20,5 %) als auch der betroffenen Gesichtshälfte für 25 von 180 (13,9 %) möglichen Kombinationen von Muskel und mimischer Gesichtsbewegung eine systematische Aktivitätszunahme festgestellt werden. Diese Aktivitätszunahmen resultieren vor allem aus einer präziseren Ansteuerung der mimischen Muskulatur im zeitlichen Trainingsverlauf. Auch die Reduktion von oro-okulären Synkinesien auf der betroffenen Gesichtshälfte, also eine Abnahme abnormer Bewegungsmuster, zeigte sich beispielhaft durch die Abnahme der gleichzeitigen Aktivierung von M. orbicularis oculi und M. orbicularis oris. Beweisend für die Abnahme von Synkinesien wiesen beim M. orbicularis oculi exemplarisch die Übungen „breites Lächeln“ und „Mund spitzen“ signifikante Aktivitätsabnahmen auf. Die „Ruhemessung mit geschlossenen Augen“, „grimmig schauen“, „Lächeln auf der betroffenen Seite“, „Mund spitzen“ und „Zähne fletschen“ zählen unabhängig von der Gesichtshälfte zu den aussagekräftigsten Gesichtsbewegungen zur Bewertung des Trainingseffektes an den aurikulären Muskeln.

Die vorliegende Studie konnte einen Einfluss des Biofeedback-Trainings auf die Aktivität der Gesichts- und Ohrmuskeln nachweisen, obwohl die Ohrmuskulatur nicht spezifisch trainiert wurde. Somit kann angenommen werden, dass die Messung von OEMG-Potentialen sowohl an der Gesichtsmuskulatur als auch der aurikulären Muskulatur zur Evaluation des Trainingserfolges im Rahmen eines klinischen Settings geeignet ist.

2 Einleitung

2.1 Die mimische Muskulatur

Die äußere Form des Gesichtes wird vor allem durch knöcherne Grundlagen bestimmt, auf die Bindegewebe, Fettpolster, Muskeln und Knorpel aufgelagert sind. Der individuelle Ausdruck eines jeden Gesichtes wird aber in großem Maße durch den Muskeltonus beziehungsweise die Aktivität der mimischen Muskulatur geprägt. Dabei spielt die Muskulatur des Augen- und Mundbereiches eine führende Rolle. Zusätzlich wird die Mimik durch den Augenausdruck, die Ausprägung von Gesichtsfalten, zum Beispiel der Nasenwangenfurchen (Sulcus nasolabialis), sowie der Beschaffenheit der Gesichtshaut beeinflusst. Die mimische Muskulatur liegt ohne Faszien im subkutanen Bindegewebe und wird von der gut vaskularisierten Gesichtshaut bedeckt. Als Ansatz für die mimischen Muskeln dient die Subkutis, in welche die elastischen Endsehnen einstrahlen. Die zentralen Strukturen für die mimische Muskulatur stellen die konzentrisch angeordneten Ringmuskeln um die Mund- und Orbitaöffnung (M. orbicularis oris und M. orbicularis oculi, Abbildung 1) dar. Dabei wird die Zugrichtung dieser beiden Ringmuskeln durch die meisten übrigen mimischen Muskeln beeinflusst. Der N. facialis ist für die motorische Innervation der gesamten mimischen Muskulatur verantwortlich. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass als rudimentärer Anteil der evolutionären Entwicklung auch Muskeln im Bereich der Ohren nachgewiesen werden können. Diese befinden sich einerseits zwischen knöchernem Schädel und der knorpeligen Ohrmuschel (extrinsische Ohrmuskulatur) und ermöglichen eine Bewegung des ganzen Ohres gegen den Schädel. Andererseits gibt es kleine Muskeln zwischen den knorpeligen Strukturen der Ohrmuschel (intrinsische Ohrmuskulatur), um dort Formveränderungen der Ohrmuschel selbst herbeizuführen (Aumüller et al. 2010).

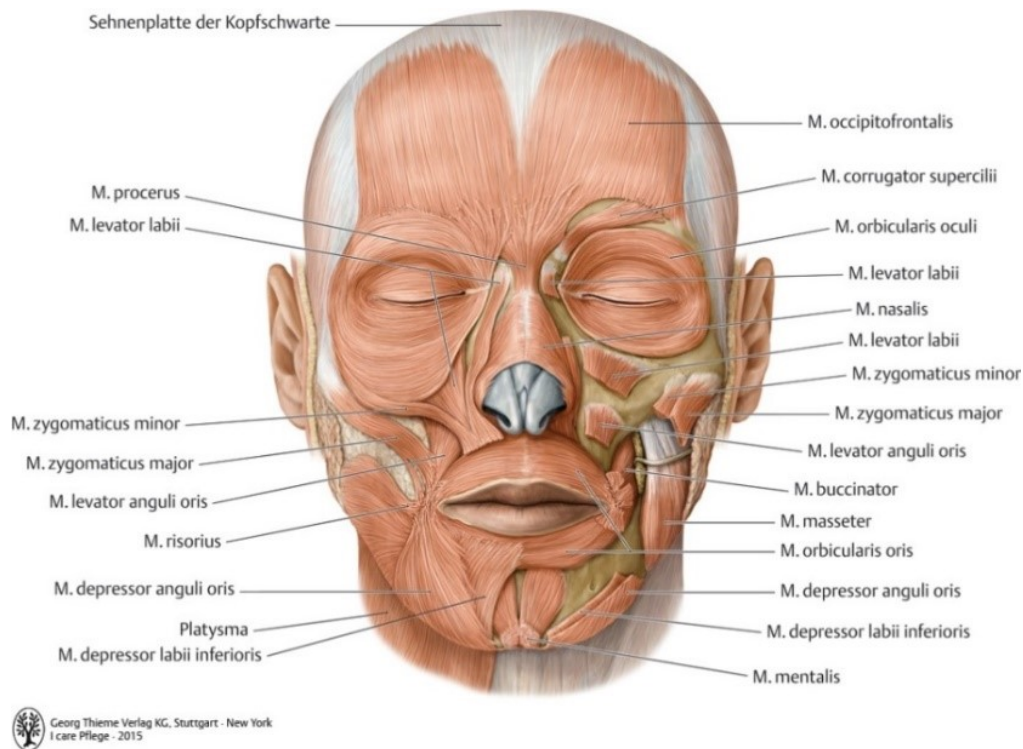


Abbildung 1 - Darstellung der mimischen Muskulatur in der Frontalansicht;
entnommen aus: (Schünke et al. 2011)

2.2 Intrinsische und extrinsische aurikuläre Muskulatur

Bei vielen Säugetieren dienen die Ohrmuskeln dazu, das Ohr beim Richtungshören auf Schallquellen auszurichten oder den äußeren Gehörgang zu verschließen (König et al. 2007, Hackley 2015). Im Gegensatz dazu sind die aurikulären Muskeln, welche zur mimischen Muskulatur gezählt werden, beim Menschen nur sehr schwach ausgeprägt (Aumüller et al. 2010). Jedoch gibt es Hinweise darauf, dass die neuronalen Netzwerke, die für die Steuerung von Ohrbewegungen verantwortlich sind, beim Menschen noch intakt sind (Hackley 2015). Die aurikulären Muskeln entwickeln sich embryologisch aus dem 2. Schlundbogen (Hyoidbogen) und werden wie auch die Gesichtsmuskeln durch den dazugehörigen Schlundbogennerv, den Nervus facialis mit seinen Nervenästen dem N. auricularis posterior und den Rr. temporales, innerviert (Moneta und Quintanilla-Dieck 2017, Reiß 2009, Smith und Ross 2012). Die arterielle Blutversorgung erfolgt hauptsächlich über die A. temporalis superficialis und die A. auricularis posterior (Moneta und Quintanilla-Dieck 2017). Die Muskulatur des äußeren Ohres setzt sich aus insgesamt neun Muskeln zusammen, wie in Abbildung 2 schematisch visualisiert ist (Zilles und Tillmann 2010).

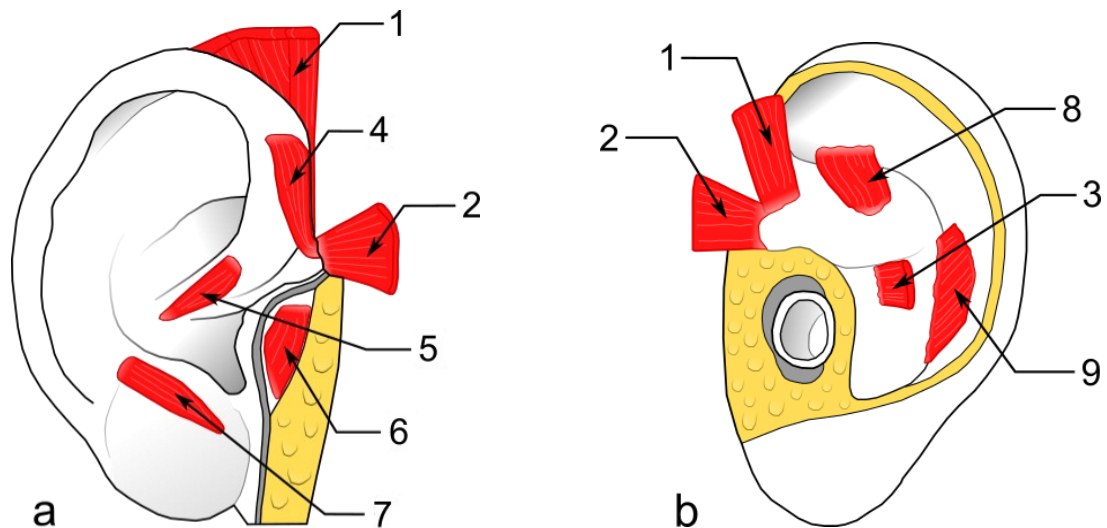


Abbildung 2 - Projektion der extrinsischen und intrinsischen aurikulären Muskulatur auf das Ohrprofil in anterolateraler (a) und dorsaler (b) Ansicht; in Anlehnung an: (Paulsen und Waschke 2011)

1: M. auricularis superior; **2:** M. auricularis anterior; **3:** M. auricularis posterior; **4:** M. helicis major; **5:** M. helicis minor; **6:** M. tragicus; **7:** M. antitragicus; **8:** M. obliquus auriculae; **9:** M. transversus auriculae

Dabei wird, wie bereits im Vorfeld thematisiert, zwischen intrinsischen und extrinsischen Muskeln differenziert (Paulsen und Waschke 2011). Zu den extrinsischen Ohrmuskeln werden der M. auricularis superior, der M. auricularis anterior und der M. auricularis posterior gezählt (Alvord und Farmer 1997). Die intrinsischen Ohrmuskeln stellen evolutionäre Überbleibsel dar, welche wahrscheinlich zum Großteil an der Formgebung des äußeren Ohres beteiligt sind. Ihnen werden der M. transversus auriculae, M. obliquus auriculae, Mm. helicis major et minor, M. tragicus und M. antitragicus zugeordnet (Moneta und Quintanilla-Dieck 2017). In früheren Studien wurde berichtet, dass eine EMG-Aktivität der aurikulären Muskeln bei Gesichtsbewegungen nachweisbar ist (Serra et al. 1986, Schmidt und Thoden 1978). In Tabelle 1 sind Ursprung, Ansatz, Funktion und Zuordnung der Ohrmuskulatur detaillierter aufgelistet.

Tabelle 1 - Übersicht über die aurikuläre Muskulatur, in Anlehnung an: (Moneta und Quintanilla-Dieck 2017)

Muskel	Ursprung	Ansatz	Innervation	Funktion	Zuordnung
M. auricularis posterior	Processus mastoideus	hintere Ohrwurzel	N. auricularis posterior (VII)	Zug des Ohren nach hinten	extrinsisch
M. auricularis superior	Galea aponeurotica	Oberkante am hinteren Ohr	Rr. temporales n. facialis (VII)	Zug des Ohres nach oben und hinten	extrinsisch
M. auricularis anterior	Galea aponeurotica	Helix	Rr. temporales n. facialis (VII)	Zug des Ohres nach vorne	extrinsisch
M. transversus auriculae	Eminentia conchae	Eminentia scapha	N. auricularis posterior (VII)	Abflachung der Ohrmuschel	intrinsisch
M. obliquus auriculae	Eminentia conchae	Eminentia triangularis	N. auricularis posterior (VII)	Abflachung der Ohrmuschel	intrinsisch
M. helix major	Helixwurzel	Crus helicis	N. auricularis posterior (VII)	-	intrinsisch
M. helix minor	Basis der Helixwurzel	Vorderkante Helix	N. auricularis posterior (VII)	evtl. Formgebung des vorderen Ohrrandes	intrinsisch
M. tragicus	Tragusbasis	Tragusspitze	N. auricularis posterior (VII)	evtl. Erweiterung des Meatus acusticus externus	intrinsisch
M. antitragicus	äußerer Antitragus	Zusammenkunft von Helix und Anthelix	N. auricularis posterior (VII)	evtl. Veränderung der Form der Ohrmuschel	Intrinsisch

2.3 Der Nervus facialis

Als siebter von zwölf Hirnnerven ist der N. facialis mit seinen speziell-viszeromotorischen Fasern (Nerv des 2. Schlundbogens) hauptverantwortlich für die Innervation der mimischen Muskulatur (Aumüller et al. 2010). Damit übernimmt er die Schlüsselrolle für zahlreiche alltägliche Funktionen wie Essen, Trinken, Sprechen, Blinzeln bis hin zum Ausdruck der Mimik (Trepel 2017). Durch die Anlagerung des N. intermedius erhält der Nerv zusätzlich sensorische, sekretorische sowie sensible Nervenfasern und kann zum N. intermediofacialis zusammengefasst werden. Vereinfachend ist im Folgenden immer vom N. facialis die Rede (Finkensieper et al. 2012). Über die Chorda tympani versorgt er mit speziell-viszerosensiblen Fasern die

vorderen zwei Drittel der Zunge und ist somit bedeutend für das Schmeckempfinden. Durch seine parasympathischen (allgemein-viszeromotorischen) Faseranteile übernimmt der N. facialis die Hauptaufgabe für die Sekretion der Tränendrüse sowie der Submandibular- und Sublingualdrüse, welche den Hauptanteil zur Speichelsekretion beitragen. Außerdem hat er eine wichtige Bedeutung für die notwendige Befeuchtung der Horn- und Bindehaut des Auges durch die Innervation der Tränendrüse und der Steuerung des Lidschlags (Trepel 2017).

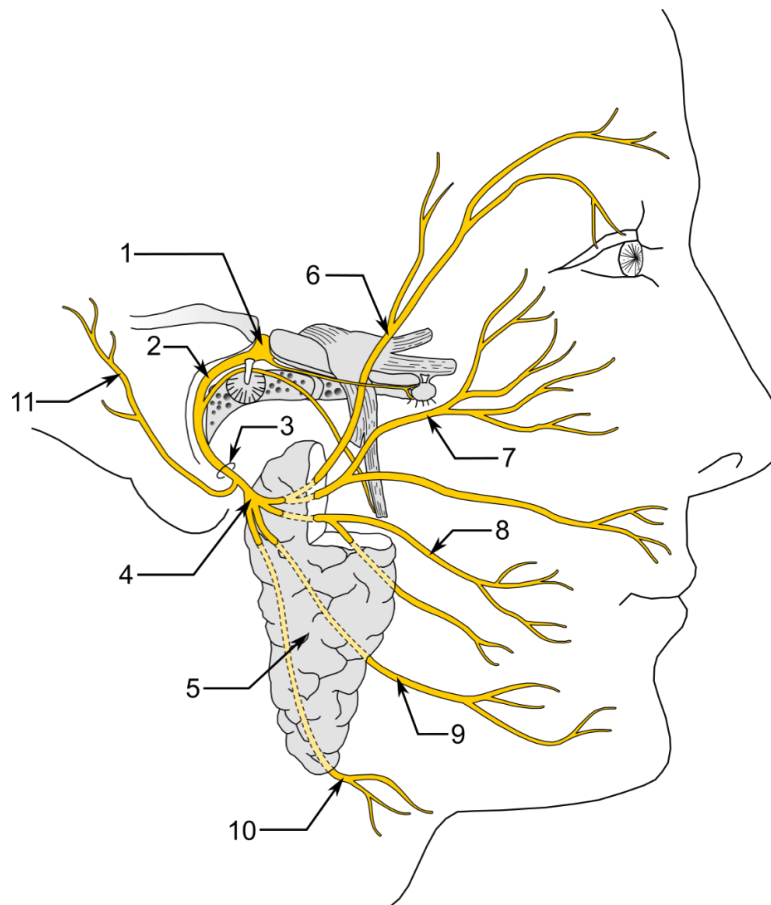


Abbildung 3 - Extrakranieller Verlauf des Nervus facialis beginnend am äußeren Fazialisknie; in Anlehnung an: (Trepel 2017)

1: Geniculum n. facialis; 2: Verlauf im Canalis n. facialis; 3: Foramen stylomastoideum; 4: Verzweigungsstelle des Plexus intraparotideus; 5: Glandula parotis; 6: Rr. temporales; 7: Rr. zygomatici; 8: Rr. buccales; 9: R. marginalis mandibularis; 10: R. colli; 11: N. auricularis posterior

Passend zu seinen Faserqualitäten entsteht der N. facialis aus drei Kerngebieten im Hirnstamm: Ncl. n. facialis (speziell-viszeromotorisch), Ncl. salivatorius superior (allgemein-viszeromotorisch) und Ncl. tractus solitarii (speziell-viszerosensibel). Am Boden der Fossa rhomboidea (Rautengrube) entsteht durch die Fasern aus dem Ncl. n. facialis, aufgrund des dorsokraniellen Verlaufes um den Ncl. n. abducentis, eine

Vorwölbung, der Colliculus facialis (inneres Fazialisknie). Den Hirnstamm verlässt er im Angulus pontocerebellaris (Kleinhirnbrückenwinkel) und zieht gemeinsam mit dem N. vestibulocochlearis (VIII. Hirnnerv) durch den Porus acusticus internus in den inneren Gehörgang. Nach seinem Verlauf durch das Felsenbein im Canalis n. facialis knickt er fast rechtwinklig im Geniculum n. facialis (sogenanntes äußeres Fazialisknie, beinhaltet das Ganglion geniculi) nach hinten ab. Anschließend zieht er bogenförmig nach kaudal durch den Canalis n. facialis über die Paukenhöhle, um an der Schädelbasis im Foramen stylomastoideum, zwischen Proc. mastoideus und Proc. styloideus, auszutreten. Die motorischen Fasern ziehen danach in Richtung Glandula parotis (Ohrspeicheldrüse), wo sie sich im Plexus intraparotideus in mehrere Äste aufzweigen: Rr. temporales, Rr. zygomatici, Rr. buccales, R. marginalis mandibularis, R. colli. In Abbildung 3 ist der extrakranielle Verlauf des N. facialis mit seinen motorischen Nervenanteilen, welche die mimische Muskulatur innervieren, dargestellt (Trepel 2017).

2.4 Das Krankheitsbild der Fazialisparese

Die periphere Fazialisparese ist die häufigste Funktionsstörung eines Hirnnervs. Dabei überwiegt die idiopathische Form in 60 - 75 % aller erworbenen Fälle. Sie weist eine Inzidenz von 7 - 40 Patienten pro Jahr und 100.000 Einwohner auf. Männer und Frauen sind etwa gleichermaßen davon betroffen und es bestehen keine seitenspezifischen Unterschiede für das Auftreten der Fazialisparese (Heckmann et al. 2019, Peitersen 2002). Eine Fazialisparese ist immer durch das Kardinalsymptom einer schlaffen Lähmung der Gesichtsmuskulatur definiert. Das typische Erscheinungsbild ist ein hängender Mundwinkel auf der betroffenen Gesichtshälfte, verstrichene Stirnfalten und ein fehlender oder unvollständiger Lidschluss. Dies führt auf der betroffenen Seite durch fehlenden Lidschluss und Tränensekretion oft zu einem brennenden Gefühl im Auge sowie dem Herauslaufen von Flüssigkeit aus dem Mund durch einen mangelnden Lippenschluss. Auch das Sprechen ist durch die Unbeweglichkeit der betroffenen Gesichtshälfte erschwert (Trepel 2017). Weitere mögliche Symptome sind: Xerostomie, Schmeckstörungen, Hyperakusis, Hör- und Gleichgewichtsstörungen. Zur besseren Unterscheidung zwischen einer zentralen und peripheren Fazialisparese dient die Klassifikation des Schädigungsmusters (Abbildung 4). Bei der zentralen Form sind Stirnmuskulatur und Lidschluss nicht von der Parese betroffen. Dafür ursächlich ist die beidseitige Ansteuerung des Fazialiskerns durch beide Großhirnhälften, welcher Stirn- und Lidmuskulatur versorgt. Bei einer einseitigen Schädigung des motorischen

Kortex oder der kortikonukleären Bahn zum Ncl. n. facialis wird die Innervation durch die Gegenseite übernommen (Trepel 2017). Die Läsion ist dabei supranukleär, proximal des Kerngebietes im Hirnstamm, im Verlauf des Tractus corticonuclearis oder im Kortex lokalisiert (Finkensieper et al. 2012). Von einer peripheren Fazialisparese ist die Rede, wenn es zu einer Schädigung des Kerngebietes des Ncl. n. facialis kommt und die gesamte mimische Muskulatur der entsprechenden Gesichtshälfte betroffen ist. Liegt die Läsion im Verlauf des peripheren Nervs vom Hirnstamm zum Innenohr sind zusätzlich auch Geschmacks- und viszeromotorische Funktionen ausgefallen (Trepel 2017).

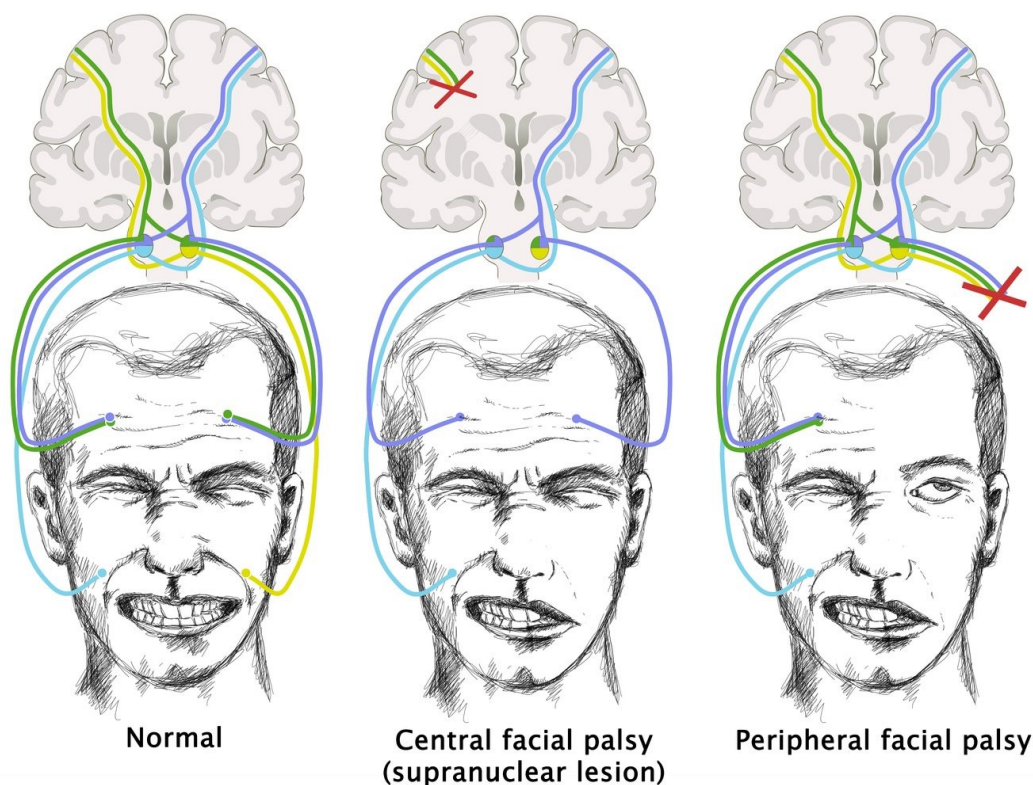


Abbildung 4 - zentrale und periphere Fazialisparese bei der simultanen Ausführung von Stirn runzeln, Augen zukneifen und Zähne fletschen; entnommen aus: (Blumenfeld 2010)

Eine Fazialisparese kann verschiedene Ursachen haben. Dabei kann grundsätzlich zwischen angeborenen (kongenitalen) und erworbenen Ursachen unterschieden werden. Geburtstraumata und genetische Syndrome, wie zum Beispiel das Melkersson-Rosenthal-Syndrom, zählen zu den kongenitalen Ursachen. Die erworbene Fazialisparese kann sowohl aufgrund von infektiösen (Borreliose, Infektionen mit dem Herpes-simplex- oder Varizella-zoster-Virus, Otitis media) und (post-)traumatischen/postoperativen Ursachen als auch tumor- oder bluthochdruckassoziiert entstehen. Am häufigsten tritt jedoch die idiopathische Form

(sog. Bellsche Parese) auf, bei der kein genauer Auslöser festgestellt werden kann (Lorch und Teach 2010, Reiß 2009).

Bis zu 30 % aller Patienten entwickeln eine chronische Fazialisparese (≥ 6 Monate bestehend) mit lebenslangen Funktionseinschränkungen (Volk et al. 2013b). Im Rahmen der Chronifizierung sind zwei Verlaufsformen möglich: Im selteneren ersten Fall kommt es zu keiner spontanen Regeneration aufgrund einer starken Ausprägung der Läsion oder wegen eines Hindernisses, wie zum Beispiel einer Narbe. Dies führt zu einer chronisch schlaffen Lähmung. Häufiger findet jedoch eine spontane Regeneration mit einer unzureichenden, fehlerhaften und verspäteten funktionellen Wiederherstellung statt. Dies wird als Defektheilung bezeichnet (Finkensieper et al. 2012, Peitersen 2002). Durch die fehlerhafte Reinnervation kann es zur Entstehung von Dys- und Synkinesien kommen. Dabei handelt es sich um ungewollte Mitbewegungen beziehungsweise Kontraktionen der Muskulatur bei der Ausführung willkürlicher Gesichtsbewegungen (Rödiger et al. 2020, Eviston et al. 2015). Häufig und oft am deutlichsten tritt ein unwillkürlicher Augenschluss beim Essen oder Lachen in Form von oro-okulären Synkinesien auf (Eviston et al. 2015). Die Diagnostik und Therapie von Synkinesien stellt einen wesentlichen Bestandteil in der Versorgung von Patienten mit chronischer Fazialisparese dar. Es existieren mit Physiotherapie (zum Beispiel in Form der sogenannten „Mime therapy“ oder Massagen), Elektrostimulation, Wärmetherapie, EMG-Biofeedback, psychotherapeutischen Konzepten oder auch chirurgischen Methoden verschiedene Behandlungsansätze, die sich in ihrer Evidenz für einen klinischen Nutzen unterscheiden (Beurskens und Heymans 2004, Baricich et al. 2012, Novak 2004, Peitersen 2002). Da bereits in früheren Studien eine Wirksamkeit für das EMG-Biofeedback bei Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese nachgewiesen wurde, erscheint die Auswahl dieser Methode sinnvoll (Cronin und Steenerson 2003, Novak 2004, Ross et al. 1991, Volk et al. 2021a).

2.5 Diagnostisches und therapeutisches Verfahren - Elektromyographie

Die Elektromyographie (EMG) ist definiert als die Untersuchung der Muskelfunktion durch die Erfassung des von Muskeln erzeugten elektrischen Signals (Basmajian und De Luca 1985). Mithilfe dieser Untersuchungsmethode ist es möglich, myoelektrische Signale aufzuzeichnen und zu analysieren, welche durch eine Veränderung der elektrischen Potentiale der Muskelfasermembran entstehen. Die Registrierung und Analyse von willkürlichen Muskelaktivierungen bei funktionellen Bewegungen,

posturaler Kontrolle oder die Identifikation von Therapie-/Trainingseffekten stellen den Fokus des kinesiologischen EMGs dar. Diese Beurteilung erlaubt spezifische Aussagemöglichkeiten, wie sich ein zu analysierender Muskel verhält (Konrad 2005):

- quantitative und objektive Erfassung der Muskelfunktion
- Dokumentation von Therapie- und Trainingsprozessen
- operative Entscheidungsprozessfindung
- Verbesserung der Ansteuerung von Muskulatur durch Patienten (im Rahmen des Biofeedbacks)
- Erfassung muskulärer Anforderungen bei Bewegungsabläufen

Die elektrophysiologische Beurteilung der mimischen Muskulatur ist in der Diagnostik und Verlaufs- beziehungsweise Prognosebeurteilung der Fazialisparese etabliert, wird aber noch lange nicht überall in der klinischen Routine verwendet (Laskawi und Damenz 1993, Guntinas-Lichius et al. 2020).

2.5.1 Elektrophysiologische Grundlagen

Die Grundlage der motorischen Aktivität stellt die sogenannte motorische Einheit (ME) dar (Konrad 2005). Als ME wird „die Gesamtheit aus einem Alpha-Motoneuron und der von ihm innervierten Muskelfasern“ definiert. Dabei löst jedes Aktionspotenzial im Axon der Vorderhornzelle eine Zuckung aller Muskelfasern einer ME nach dem „Alles-oder-Nichts-Prinzip“ aus (Wirsching et al. 2017). Eine Kontraktion des Muskels erfolgt nach Depolarisation der Endplatte mit Fortleitung des Aktionspotentials entlang der Muskelfaser und abschließender Freisetzung von Kalziumionen nach intrazellulär (Konrad 2005). Jeder überschwellige Reiz ist für die einzelne Muskelfaser bereits ein maximaler Reiz, weswegen eine Erhöhung der Kontraktionskraft nicht durch eine Verstärkung des einzelnen Reizes bewirkt werden kann. Die Regulation der Kraftentwicklung einzelner Muskeln wird durch die Rekrutierung verschiedener ME sowie durch Frequenzmodulation gleicher ME realisiert. Die Erhöhung der Kontraktionskraft erfolgt schließlich durch eine Frequenzerhöhung, welche zu einer Superposition (Überlagerung) von Einzelzuckungen einer Muskelfaser führt. Aufgrund einer anhaltend erhöhten zytosolischen Ca^{2+} -Konzentration kommt es ab einer Reizfrequenz von etwa 10 Hz zur Verschmelzung der Einzelzuckungen aller Muskelfasern einer ME. Willkürliche Aktivierungen der Skelettmuskulatur beruhen in der Regel auf tetanischen Kontraktionen. Ein sogenannter glatter Tetanus, bei dem die Differenzierung der Einzelzuckungen nicht mehr möglich ist, wird ab Reizfrequenzen

von circa 20-30 Hz ausgelöst. Primär werden zu Beginn einer Bewegung zunächst kleine ME rekrutiert. Größere ME werden erst bei zunehmender Kraftentwicklung oder ersten Ermüdungszeichen der bereits aktivierten ME mit aktiviert (Wirsching et al. 2017). Diese Zusammenhänge stellen die Grundlage für die Messung oberflächlicher EMG-Signale dar. Die abgeleiteten Signale sind also die Summe der ausgelösten Aktionspotentiale der im Einzugsbereich der Elektroden befindlichen Muskelfasern.

2.5.2 Oberflächenelektromyographie (OEMG)

Beim OEMG handelt es sich um ein etabliertes Verfahren zur Messung der Muskelaktivität (Anders et al. 2009). Die Amplitude des EMG-Signals korreliert qualitativ mit dem Ausmaß der vom Muskel erzeugten Kraft, wohingegen Rückschlüsse auf quantitative Zusammenhänge unzuverlässig sind (Nowotny und Ebenbichler 2001). Grundsätzlich wird eine Differenzierung zwischen der Nadelelektromyographie (NEMG) und der Oberflächenelektromyographie (OEMG) vorgenommen. Die Ableitung des NEMG findet mit einer direkt im Muskel platzierten Elektrode statt und stellt somit ein invasives Verfahren dar (Basmajian und De Luca 1985). Im Folgenden wird nur die OEMG betrachtet, da diese in der vorliegenden Arbeit Verwendung gefunden hat. Dabei handelt es sich im Vergleich zum NEMG um eine nicht-invasive Untersuchungsmethode, bei welcher die Elektroden direkt auf der Haut über dem zu analysierenden Muskel platziert werden, wodurch die Analyse vor allem auf oberflächliche Muskeln beschränkt ist. Aufgrund der fehlenden Invasivität bietet diese Applikationsart eine bessere Handhabung und Tolerierbarkeit für die Patienten. Verglichen mit der NEMG ist die Methode zur Erfassung der Muskelaktivität aber weniger spezifisch (Muggenthaler et al. 2005, Sassi et al. 2012, Basmajian und De Luca 1985). Bereits in Voruntersuchungen an gesunden Probanden konnte gezeigt werden, dass sich die Ergebnisse des NEMG mittels OEMG an der aurikulären Muskulatur nicht vollständig reproduzieren lassen, jedoch aber eine hohe Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachweisbar ist (Rüschenschmidt et al. 2022).

Es existieren zwei verschiedene Verschaltungsmodi bei der Ableitung der OEMG: Bei der monopolen Ableitung wird eine über dem zu analysierenden Muskel platzierte Elektrode gegen eine Referenzelektrode in einem elektrisch unbeteiligten Areal verschaltet (De Luca und Knaflitz 1992). Allerdings treten unter der Verwendung einer Elektrode (monopolare Ableitung) höhere Störeinflüsse (zum Beispiel in Form von Cross-Talk) auf, welche durch die Applikation zweier Elektroden (bipolare Ableitung)

reduziert werden können (Konrad 2005). Bei der bipolaren Ableitung werden zwei Elektroden parallel zum Faserverlauf der zu messenden Muskulatur platziert, ohne dass eine Verschaltung mit einer Referenzelektrode notwendig ist (Hermens et al. 2000).

Ein wichtiger Vorteil des OEMG besteht in der besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, obwohl beim NEMG eine exakte Elektrodenpositionierung in Bezug auf den zu untersuchenden Muskel stattfindet (Takehara et al. 2004). Die Kombination aus OEMG und Biofeedback bietet weitere verschiedene Vorteile: Einerseits kommt es zu einer verstärkten Motivation der Patienten durch die Visualisierung kleiner, ohne Biofeedback unbewusster Veränderungen, was es ihnen erlaubt, aktiv am Training teilzuhaben. Auf der anderen Seite trägt es unterstützend zur Objektivierung von Synkinesien und zur Verbesserung der zentral-nervösen Plastizität bei (Cronin und Steenerson 2003). Das OEMG weist aber auch verschiedene Nachteile auf: Es unterliegt unter anderem einer Vielzahl von Störeinflüssen, die durch die räumliche Entfernung zwischen Oberflächenelektrode und dem Ursprungsort des elektrischen Signals entstehen. Dabei stellt das Unterhautfettgewebe einen physiologischen Tiefpass- und die Kontaktfläche zwischen Haut und Elektrode einen Hochpassfilter dar (De Luca und Knaflitz 1992). Weiterhin kann ein potenzieller „Cross-Talk“ mit einer möglichen signifikanten Beeinflussung des EMG-Signals durch räumlich angrenzende und funktionell stärker beanspruchte Muskeln entstehen (Farina et al. 2004). Auch die Fehlpositionierung der Elektroden in Bezug auf den zu untersuchenden Muskel stellt eine potentielle Fehlerquelle dar (Steinhilber und Rieger 2013, Stegeman und Hermens 2007). Messfehler durch Distanzänderungen zwischen den Elektroden können das Resultat von dynamischen Untersuchungen sein (De Luca 1997, Konrad 2005).

2.5.3 OEMG der Ohrmuskulatur

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden aurikuläre und faziale OEMG-Daten bei Patienten mit chronisch peripherer postparalytischer synkinetischer Fazialisparese im Rahmen eines zweiwöchigen Fazialis-Parese-Trainings ermittelt und miteinander verglichen. Bislang existiert keine Studie, die synchron aufgenommene Multi-Kanal-OEMG-Messungen an der extrinsischen und intrinsischen Ohrmuskulatur bei Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese beschreibt. Beim Menschen sind bisher nur elektromyographische Studien an den drei extrinsischen Ohrmuskeln (Berzin und Fortinguerra 1993) sowie dem M. transversus auriculae (Heuser 1976,

Schmidt und Thoden 1978) durchgeführt wurden. Dabei konnte unter anderem nachgewiesen werden, dass eine willkürliche Ansteuerung der extrinsischen aurikulären Muskulatur ohne zeitgleiche Aktivierung der mimischen Muskulatur bei keinem Probanden nachgewiesen werden konnte (Berzin und Fortinguerra 1993). Insgesamt ist die Funktion und Aktivität der intrinsischen aurikulären Muskulatur bedeutend weniger erforscht als die der extrinsischen Ohrmuskeln. Mit der Dissertation von Hanna Rüschemschmidt konnten erstmals Daten zur Durchführung von EMGs an allen intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln erhoben werden (Rüschemschmidt et al. 2022). Dabei gelang unter anderem die Darstellung der Koaktivierung der Ohrmuskulatur im NEMG und OEMG beim Lächeln, Mund spitzen, Nase rümpfen und weiteren mimischen Bewegungen. Es wurden auch individuelle Aktivitätsmuster der einzelnen Ohrmuskeln im OEMG bei der Koaktivierung durch mimische Bewegungen festgestellt, die in der vorliegenden Dissertation bei Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese im Rahmen des Fazialis-Parese-Trainings genauer evaluiert werden sollen.

2.5.4 Biofeedback-Trainingskonzept und Taubsche Bewegungstherapie

Beim Biofeedback handelt es sich um die Rückmeldung körperlicher Prozesse, welche im Normalfall unbewusst oder ungenügend wahrnehmbar ablaufen und reguliert werden. Biofeedback ermöglicht es, den Zustand sowie die Veränderung dieser Abläufe und Aktivitäten visuell oder akustisch darzustellen (Bernius 2006). Es ist ein Überbegriff für alle Optionen, Körpersignale zu messen und der vermessenen Person zurückzumelden, um Veränderungen zu trainieren. Die Veränderung von körperlichen Prozessen wird oft erst dann bewusst, wenn es zu unangenehmen Empfindungen (hohe Muskelspannung kann als Schmerz empfunden werden) oder potentieller Schädigung des Organismus kommt. Für das körperliche und psychische Wohlbefinden hat aber ein ausgeglichenes Zusammenspiel aller körperlichen Prozesse eine wichtige Bedeutung. Das Gehirn bekommt durch Biofeedback künstlich zusätzliche Signale über Körperfunktionen und soll lernen, diese Signale zur Funktionsoptimierung zu nutzen. Als Ziel des EMG-Biofeedbacks ist vor allem die Reduzierung des meist krankhaft erhöhten Ruhetonus der Muskulatur definiert (Haus et al. 2013).

Bei der Bewegungsinduktionstherapie nach Taub (sog. Constraint-Induced Movement Therapy) oder auch „Therapie des gezwungenen Gebrauchs“ werden Patienten, um

motorische Defizite zu therapieren, durch die aktive Einschränkung der gesunden Körperseite gezwungen, ihre betroffene Körperhälfte vermehrt einzusetzen. Die Grundüberlegung der Therapie, basierend auf dem amerikanischen Psychologen Edward Taub, ist die kompensatorische Übernahme der Funktion der erkrankten Körperstruktur durch gesunde Körperteile. Man kann dabei von einem „erlernten Nichtgebrauch“ sprechen (Abbildung 5). Als Folge wird die noch vorhandene Restfunktion der betroffenen Körperstruktur durch Gewöhnung an diese Kompensation vollständig vom gesunden Körperteil übernommen. Um den kompletten Funktionsverlust zu verhindern, soll durch Zwangsmobilisierung ein Umlernverhalten herbeigeführt werden (Geraedts 2018, Rüsseler 2009). Zeitgleich wird eine sogenannte Shaping-Technik angewandt, bei welcher eine komplexe motorische Bewegung in einzelne Teilschritte zerlegt wird (Neubauer 2016). Bei dieser gibt der Therapeut ein positives Feedback über die zeitliche und qualitative Verbesserung. Die einzelnen Übungen werden an die individuellen Fähigkeiten des Patienten sowie die verbesserten funktionellen Ausführungen angepasst (Hamzei et al. 2008). Bereits bei chronischen Schlaganfallpatienten stellte sich die Taubsche Bewegungstherapie als effektive Therapiemethode dar (Kunkel et al. 1999, Kwakkel et al. 2015, Taub et al. 2006). Die Anwendung erfolgt modifiziert bei Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese nach dem lernpsychologischen Ansatz. Dabei kann die ursprüngliche Immobilisierung der gesunden Körperhälfte, beispielweise eines Armes oder einer Hand, im Gesicht kaum praktisch umgesetzt werden. Im Gegensatz zu den Extremitäten sind im Gesicht auch viele physiologische Bewegungen symmetrisch und in direkter mechanischer Interaktion der Muskeln beider Gesichtshälften. Eine Immobilisierung wäre daher nicht nur schwierig umzusetzen, sondern auch von fraglichem Nutzen. Daher wurde auf das Konzept der Immobilisierung verzichtet und stattdessen die Kontrolle der Aktivität der mimischen Muskulatur durch die beidseitige Verwendung des OEMG-Biofeedbacks in Kombination mit einem Video-beziehungsweise Spiegel-Feedback unter der direkten Anleitung von Therapeuten eingeführt (Volk et al. 2013a). Anhand definierter Grenzwerte soll die Aktivität der gesunden Gesichtshälfte reduziert und an das Niveau der betroffenen Gesichtshälfte angepasst werden. Dabei werden vom Therapeuten für den Patienten individuelle Zielwertbereiche mittels EMG-Biofeedback festgelegt, in welchen die Aktivität stattfinden soll, wodurch eine funktionelle Restriktion der gesunden Gesichtshälfte durch Visualisierung und Korrektur durch die Therapeuten erreicht wird. Allerdings ist

diese Restriktion im Gesicht im Gegensatz zum Arm, wie bereits oben beschrieben, nicht vollständig möglich und wäre auch für das Training nicht zielführend, da zum Beispiel beim Lachen oder Sprechen beide Gesichtshälften für eine symmetrische Ausführung benötigt werden. Der Fokus bei der Bewegungsinitiation und Ausführung solcher Gesichtsbewegungen soll speziell auf der betroffenen Gesichtshälfte liegen, sodass diese von den Patienten wieder vermehrt wahrgenommen wird. Die betroffene Seite gibt dabei die Gesichtsbewegung, Bewegungsausmaß, Tempo und Intensität vor, an welche sich die nicht betroffene Gesichtshälfte anpasst (Volk et al. 2021a).

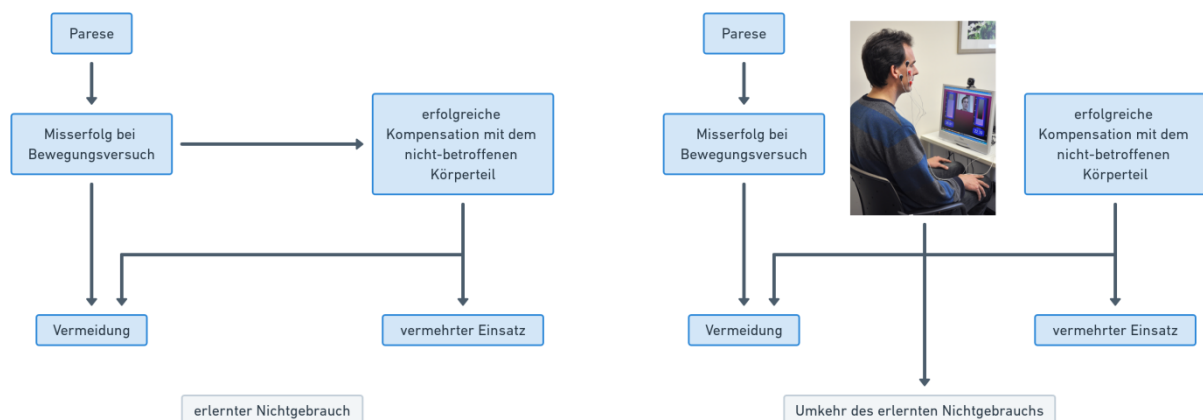


Abbildung 5 - Theorie des erlernten Nichtgebrauchs und Umkehr der Fehlbeanspruchung durch Edward Taub, modifiziert in Anlehnung an: (Hamzei et al. 2008)

Um die Synkinesien zu reduzieren, soll die Selbstwahrnehmung des Patienten für die eigenen Gesichtsmuskeln so weit verbessert werden, dass bei einer fehlerhaften Mitaktivierung, zum Beispiel des M. orbicularis oculi beim Lippenspitzen, dies rechtzeitig vom Patienten bemerkt wird, um dann erst den Tonus wieder zu senken bis diese Mitaktivierung verschwindet. In weiteren Wiederholungen sollen dann durch zentrale Variationen der Bewegungsmuster die Synkinesien Schritt für Schritt reduziert werden, bis neue Bewegungsmuster erlernt werden, die die peripheren Fehl-Innervationen weitgehend vermeiden (Kaar und Hotzenkoecherle 2019). Aufgrund der Plastizität des Gehirns, das heißt seiner Fähigkeit, seine Organisation entsprechend den Reizen, denen es ausgesetzt ist, zu verändern, sind Veränderungen in den Aktivitätsmustern der mimischen Muskulatur bei der Anwendung dieser Trainingskonzepte möglich (Baricich et al. 2012).

Unter trainingsphysiologischen Gesichtspunkten existieren bislang keine Studien, die OEMG-Aktivitätsänderungen als Erfolgsparameter im zeitlichen Verlauf während eines für Patienten mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese

spezifischen Biofeedback-Training nutzen. Die Änderung der OEMG-Aktivität über die Trainingszeit hinweg wird hier also erstmals als Variable zur Messung des Trainingserfolges herangezogen. Dabei ist zu beachten, dass die Patienten während des Trainings nie die OEMG-Aktivität der aurikulären Muskulatur vorgespielt bekommen haben und diese nie zum Training eingesetzt wurde. Auch darf nicht verwechselt werden, dass es bereits Studien gibt, die anhand von Fotos oder Fragebögen den Trainingserfolg von Biofeedback-Training bei Fazialisparesen quantifiziert haben (Cronin und Steenerson 2003, Novak 2004, Volk et al. 2021a, Steinhäuser et al. 2022). Anhand anderer Untersuchungen, die ebenfalls OEMG als Erfolgsparameter genutzt haben, aber nicht im Gesicht sondern an großen Rumpf- und Extremitätenmuskeln, konnte bewiesen werden, dass die OEMG-Aktivität im Trainingsverlauf keine gleichgerichtete, lineare Änderung voraussetzt, sondern in verschiedenen Trainingsphasen unterschiedliche Aktivitätsänderungen bedingt (Häkkinen et al. 2001, Yue und Cole 1992). Außerdem wurde durch Barker (Barker et al. 2009) bei Patienten mit chronischem, schweren Schlaganfall nachgewiesen, dass es trainingsbedingt zu einer verbesserten koordinativen Ansteuerung von M. triceps brachii und M. biceps brachii im zeitlichen Verlauf kommt. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass Personen, die an Rückenbeschwerden leiden, eine höhere OEMG-Aktivität vor einem spezifischen Rückentraining aufweisen als gesunde Probanden (Pedersen et al. 2004). Diese Studien, welche OEMG erfolgreich zur Beschreibung und Quantifizierung von Trainings nutzen, ließen uns hoffen, dass es auch in Folge des Fazialis-Parese-Trainings zu einer Reduktion oder zumindest messbaren Veränderungen der OEMG-Aktivität an den aurikulären Muskeln kommen würde. Wie sich die vermuteten Aktivitätsänderungen an den Ohrmuskeln bei Patienten mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese genau darstellen, soll in der vorliegenden Dissertation evaluiert werden.

2.6 Teilstationäres Fazialis-Parese-Training am Universitätsklinikum Jena

Im Jahr 2012 wurde ein teilstationäres Fazialis-Parese-Training im Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena etabliert. Es findet an zweimal fünf aufeinanderfolgenden Tagen unter direkter therapeutischer Anleitung über einen täglichen Zeitraum von drei Stunden sowie mit weiteren selbstständigen Übungen für zwei bis vier Stunden täglich statt. Um die Eignung für das zweiwöchige Training festzustellen, durchlaufen die Patienten verschiedene diagnostische Untersuchungen. Im ersten Schritt wird die medizinische Indikation, unter anderem mittels Nadel-EMG,

durch einen Arzt gestellt. Im Anschluss folgt eine Reihe von physiologischen und psychologischen Testungen. Dabei wird unter anderem die Ausprägung einer körperdysmorphen Störung mittels standardisiertem psychologischen Interview mit Hilfe des Body-dysmorphic-disorder - munich modul (BDD-MM) bestimmt (Schaer 2006, Volk et al. 2021b). Die Evaluation über eventuell vorhandene depressive Verhaltensweisen oder bestehende Angststörungen erfolgt unter Zuhilfenahme des Beck-Depressions-Inventar (BDI) und der Liebowitz Soziale Angst Skala (LSAS) (Barkmann et al. 2010, Hoyer und Margraf 2003). Nach Bestimmung des Baseline-Status und der dazugehörigen motorischen und psychischen Eignung für das zweiwöchige Fazialis-Parese-Training werden die Patienten auf eine interne Warteliste aufgenommen. Das Training wird dann immer möglichst von zwei Patienten parallel absolviert, wie in Abbildung 6 dargestellt. Die Patienten bekommen über ein EMG-Biofeedback-System kontinuierlich eine Rückkopplung über die Aktivität ihrer Gesichtsmuskulatur. Dies erfolgt in visueller Form über die optische Aufzeichnung des Gesichtes über eine Webcam sowie zweier seitengetrenter EMG-Biofeedback-Balken, welche die proportionale Aktivierung der Muskulatur der entsprechenden Gesichtshälfte widerspiegeln. Das ermöglicht den Patienten einen Vergleich zwischen erkrankter und nicht-betroffener Gesichtshälfte und fördert das Erlernen zur Herstellung einer symmetrischen Muskelaktivierung (Neubauer 2016). Während des Trainings leiten die speziell geschulten Physio- und Ergotherapeuten, auf die inter- und intraindividuell unterschiedliche motorische Aktivität der Gesichtsmuskulatur angepasst, zielorientierte Gesichtsbewegungen nach den Prinzipien des Biofeedback-Trainingskonzeptes und der Taubschen Bewegungstherapie an (Abbildung 6).



Abbildung 6 - Behandlungsaufbau mit Darstellung des Fazialis-Parese-Trainings (links), Aktivitätskontrolle mittels EMG-Biofeedback durch Patientin (rechts) (Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena, 2017)

Dabei wird das Ziel verfolgt, eine Verbesserung der Beweglichkeit der Muskulatur auf der betroffenen Gesichtshälfte durch eine bessere Koordination und Vermeidung von antagonistischen Muskelaktivierungen zu erreichen. Die Herabsenkung des Aktivitätslevels beider Gesichtshälften auf ein einheitliches Niveau wird als grundlegendes Therapieziel von den Therapeuten instruiert. Die bei vielen Patienten vorhandene Überaktivität der Muskulatur der nicht betroffenen Gesichtshälfte wird vorrangig durch die Anleitung zur Entspannung reduziert. Beim Vorhandensein von Synkinesien wird das Ziel der Verringerung beziehungsweise die bessere Kontrolle dieser unwillkürlichen Mitbewegungen verfolgt. Mit der abschließenden Besprechung der selbständig durchzuführenden Übungen endet die tägliche Trainingssitzung unter Anleitung im Fazialis-Nerv-Zentrum. Anschließend werden die Patienten angehalten, die im Training geübten Gesichtsbewegungen in der trainingsfreien Zeit ohne Therapeut eigenständig vor einem Spiegel zu trainieren. Das ist vergleichbar mit der Situation nach Abschluss des zweiwöchigen Trainings und dient als Vorbereitung für die Fortführung der erlernten Bewegungen im häuslichen Umfeld. Zur Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der trainierten Übungen, sowohl im Fazialis-Nerv-Zentrum als auch im häuslichen Training, halten die Patienten ihre Fortschritte in einem Trainingstagebuch schriftlich fest. Zum Abschluss des Fazialis-Parese-Trainings werden dieselben motorischen und psychologischen Testungen wie zu Beginn durchgeführt. An einer zur Baseline-Diagnostik identischen Follow-up-Untersuchung nehmen die Patienten etwa sechs Monate nach Trainingsabschluss teil (Neubauer 2016, Guntinas-Lichius et al. 2020). Bislang wird der Trainingserfolg des zehntägigen Fazialis-Parese-Trainings unter anderem anhand von vier verschiedenen optischen, subjektiven Bewertungssystemen gemessen: House-Brackmann Facial Nerve Grading System, Stennert Index, Facial Nerve Grading System 2.0 und Sunnybrook Facial Grading System. Diese Scores bewerten unter anderem die Ruhesymmetrie des Gesichtes, das Ausmaß willkürlicher Gesichtsbewegungen sowie unwillkürliche Muskelkontraktionen, zum Beispiel in Form von Synkinesien. Darüber hinaus wird die krankheitsspezifische Lebensqualität anhand des FaCE und FDI sowie die allgemeine Lebensqualität anhand des SF36 vor und nach dem Training in der klinischen Routine erfasst (Volk et al. 2021a, Steinhäuser et al. 2022).

3 Ziele der Arbeit

Trotz der guten Möglichkeiten zur Erfassung des Trainingseffektes bei Patienten mit chronisch peripherer postparalytischer Fazialisparese mithilfe von optischen Bewertungssystemen, beispielsweise das Sunnybrook Facial Grading System (Ross et al. 1996), sowie spezifischen Fragebögen, zum Beispiel FaCE (Kahn et al. 2001) oder FDI (VanSwearingen und Brach 1996), gibt es wenige Untersuchungen, wie sich dieser anhand von klinischen Untersuchungen objektivieren lässt. Die Messung von aurikulären OEMG-Signalen bietet unter anderem den Vorteil der besseren optischen Beurteilbarkeit der Mimik der Patienten, da keine störenden Elektroden im Gesicht appliziert werden müssen, um Aktivitätsänderungen zu registrieren. Auch für die Patienten selbst könnten taktile Störungen bei Gesichtsbewegungen durch eine OEMG-Messung der Ohrmuskulatur statt der mimischen Muskulatur des Gesichtes vermieden werden.

In dieser Arbeit wurde analysiert, welchen Einfluss ein speziell für Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese ausgerichtetes Training der Gesichtsmuskulatur auf die OEMG-Aktivität der extrinsischen und intrinsischen Ohrmuskulatur ausübt. Außerdem wurde anhand der Untersuchungen ein durch das Fazialis-Parese-Training entstandener Trainingseffekt bewertet und für ein klinisches Monitoring relevante Muskeln und Gesichtsbewegungen identifiziert. Dies soll durch die Messung von fazialen und aurikulären OEMG-Signalen bei der Durchführung weitgehend standardisierter Bewegungen geschehen.

Die in dieser Dissertation vorgestellte Untersuchung wurde in Kooperation mit Luisa Janik erhoben. Die inhaltliche Trennung bestand darin, dass Luisa Janik in ihrer Dissertation die Daten von nur einem Zeitpunkt (U1) pro Patient nutzte, um die Differenzen zwischen der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte zu identifizieren und vor allem die Aktivität bei Patienten mit chronisch peripherer Fazialisparese mit denen von gesunden Probanden zu vergleichen (Janik). Die Betrachtung dieser Seitenvergleiche und die Unterschiede zu gesunden Probanden werden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Aufgrund der aufwändigen Messmethode wurden die Daten gemeinsam erhoben, aber streng nach der berichteten Trennung ausgewertet.

Die hier vorliegende Dissertation soll die Aktivitätsänderung der Muskulatur analysieren, die durch das EMG-Biofeedback im Rahmen des Fazialis-Parese-

Trainings induziert werden soll. Im Fokus stand also der Trainingseffekt der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte, zum Beispiel zur Beurteilung der Beeinflussung von Synkinesien.

Hypothesen:

- (1) Die EMG-Aktivitätsmuster der aurikulären Muskulatur bei bewusst ausgeführten Gesichtsbewegungen von Patienten mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese unterscheiden sich signifikant vor, in der Mitte und nach einem zehntägigen Biofeedback-Training.
- (2) Es lassen sich aurikuläre Muskeln und zugehörige Gesichtsbewegungen identifizieren, für die eine objektive Evaluation des Trainingseffektes im klinischen Alltag durch die Feststellung von relevanten Aktivitätsänderungen geeignet ist.
- (3) Die Aktivitätsveränderungen zeigen keinen gleichgerichteten, linearen Zusammenhang im Verlauf der Untersuchungen. Pro Trainingsabschnitt ist also keine proportionale Änderung der Aktivität zu erwarten, sondern verschiedene Trainingsphasen werden verschiedene Effekte auf die EMG-Aktivität aufweisen.

4 Material und Methodik

Die Untersuchungen, Messungen und Auswertungen wurden im Motorik-Labor des Funktionsbereiches Motorik, Pathophysiologie und Biomechanik der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Jena durchgeführt. Diese erfolgten nach Zustimmung durch die zuständige Ethikkommission (2018-1103-BO) und gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975. Alle Probanden wurden vor der ersten Messung persönlich und schriftlich über die Studie aufgeklärt und gaben ein schriftliches Einverständnis (Anhang 1, Anhang 2) Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um eine vergleichende klinisch-experimentelle Beobachtungsstudie.

4.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum von Juli 2019 bis Juli 2020 wurden 25 Patienten im Alter zwischen 32 und 78 Jahren mit chronisch peripherer Fazialisparese untersucht. Im Rahmen der Auswertung wurden nachträglich vier Patienten ausgeschlossen, die gar keine oder keine oro-okulären Synkinesien aufwiesen, sodass im Weiteren nur 21 Patienten analysiert wurden. Bei den ausgeschlossenen Patienten handelte es sich um zwei Patienten mit angeborener einseitiger Fazialisparese und einer nur sehr geringen Rest-Innervation der mimischen Muskulatur. Ein weiterer Patient hatte eine Nervenrekonstruktion über eine Hypoglossus-Fazialis-Jump-Anastomose (HFJA) erhalten und wies, wie der vierte ausgeschlossene Patient keine oro-okulären Synkinesien auf. Das analysierte Patientenkollektiv von 21 Patienten setzte sich aus 13 weiblichen und acht männlichen Patienten zusammen. Die Rekrutierung erfolgte im Fazialis-Nerv-Zentrum Jena der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena. Dort erhielten die Patienten über den Zeitraum von zehn Tagen ein intensives, biofeedback-gestütztes Fazialis-Parese-Training, welches teilstationär organisiert war. Dieses wurde 10 x 3 Stunden mit einem 2-Kanal-EMG-Biofeedback sowie unter Videomonitoring und ergo- beziehungsweise physiotherapeutischer Anleitung durchgeführt. Die Elektroden für die Ableitung des 2-Kanal-EMG-Biofeedbacks wurden während des Trainings jeweils auf dem Modiolus anguli oris und auf dem Muskelbauch des M. zygomaticus appliziert. Zusätzlich erfolgte ein tägliches, selbstständiges sowie visuell rückgekoppeltes Training vor einem Spiegel. Als Ausschlusskriterien dieser Studie wurden neurologische Erkrankungen, welche unabhängig vom Krankheitsbild die Muskelaktivität verändern könnten, Muskelerkrankungen sowie Operationen am äußeren Ohr festgelegt. In

Tabelle 2 sind die ausführlichen anthropometrischen Daten bezüglich der eingeschlossenen Patienten aufgelistet.

Tabelle 2 - Anthropometrische Daten des Patientenkollektivs (N=21)

	Alter [Jahre] Mittelwerte $\pm$ SD	Größe [cm] Mittelwerte $\pm$ SD	Gewicht [kg] Mittelwerte $\pm$ SD	BMI [kg/m ²] Mittelwerte $\pm$ SD
männlich (n=8)	55,3 $\pm$ 16,4	179,3 $\pm$ 7,3	85,1 $\pm$ 10,0	26,5 $\pm$ 3,0
weiblich (n=13)	54,7 $\pm$ 14,5	166,2 $\pm$ 4,7	65,6 $\pm$ 12,7	23,8 $\pm$ 4,8

SD = Standardabweichung

Aus den Voruntersuchungen der Patienten im Fazialis-Nerv-Zentrum Jena konnte entnommen werden, dass alle der 21 eingeschlossenen Patienten an den typischen oro-okulären Synkinesien nach axonaler Schädigung und fehlerhafter Reinnervation der mimischen Muskulatur durch die Axone des N. facialis litten. Oftmals klagten die Patienten über krampfartige, schmerzhaft Verspannungen des Gesichtes, aber auch über einen insuffizienten Lidschluss, der symptomatisch im Zusammenhang mit der fehlerhaften synkinetischen Reinnervation nach Fazialisparese stand. Das Intervall zwischen dem Auftreten der Parese und dem Beginn des Trainings betrug im Median 18 Monate. Das Minimum lag bei 11 Monaten und das Maximum bei 31 Jahren. Bei zehn Patienten bestand eine idiopathische Ursache für die chronisch periphere postparalytische synkinetische Fazialisparese. Bei fünf Patienten war die Parese auf eine postoperative Komplikation bei der Resektion eines Vestibularisschwannoms zurückzuführen. In sechs Fällen bestand eine infektiöse Ursache für die Fazialisparese. Als Auslöser dafür wurden Infektionen mit dem Varizella-Zoster-Virus (in fünf Fällen) und mit Borrelien (in einem Fall) identifiziert. Von den 21 Patienten zeigten elf eine rechtsseitige und zehn eine linksseitige Symptomatik.

Bei den Patienten mit einer postoperativen Fazialisparese bestand in vier von fünf Fällen zusätzlich zur Fazialisparese ein Ausfall des Vestibularorgans sowie eine Taubheit auf der betroffenen Seite. Bei vier Patienten konnte eine depressive Verstimmung festgestellt werden. Eine operative Oberlidgewicht-Implantation war bei einer Patientin erfolgt. Diese Patientin erhielt zusätzlich im Krankheitsverlauf eine M. temporalis-Transplantation (Gilles-Plastik) und ein Cross-Face-Suralis-Transplantat zur Augmentation des M. zygomaticus. Im Zuge der operativen Entfernung eines Vestibularisschwannoms wurde bei einer anderen Patientin ein Cochlea-Implantat

eingesetzt, welches während der OEMG-Messungen abgestellt wurde, um elektrische Stimulationsartefakte zu vermeiden.

4.2 Versuchsdurchführung

4.2.1 Versuchsvorbereitung

Im Vorfeld zur Untersuchung fand eine ausführliche Voruntersuchung im Fazialis-Nerv-Zentrum Jena statt. Dort wurde den Patienten am Aufnahmetag die Patienteninformation zur Studie mit Wegbeschreibung zum Untersuchungsort ausgehändigt (Anhang 1). Als Ort für die Messungen diente das Motorik-Labor des Funktionsbereiches Motorik. Die Patienten erhielten zuerst eine ausführliche Aufklärung über den Ablauf und Zweck der Untersuchung. Außerdem wurde über die Verwendung der erhobenen Daten sowie des Videomaterials informiert. Im Anschluss unterzeichneten alle Patienten die Einwilligungserklärung zur Studie mit Datenschutzhinweis (Anhang 2). Nachdem der Arbeitsplatz vollständig vorbereitet war, wurden die Patienten gebeten sich auf einen Stuhl zu setzen, wie exemplarisch in Abbildung 7 gezeigt ist.

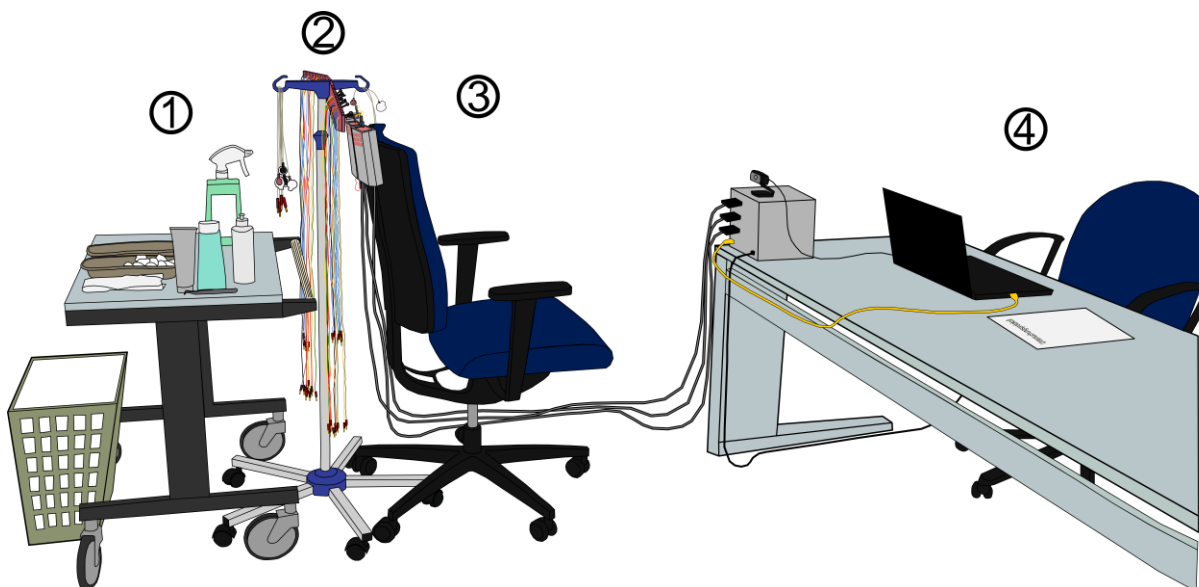


Abbildung 7 - Versuchsaufbau im Motorik-Labor zur OEMG-Messung
1: Applikationstisch; 2: Haltevorrichtung für die Elektroden; 3: Sitzplatz des Patienten;
4: Arbeitsplatz des Untersuchers mit Laptop

Vor der Applikation der Elektroden musste zur Vorbereitung die entsprechende Hautstelle mit Hilfe eines Wattetupfers und einer abrasiven Peelingcreme (Epicont, GE Healthcare, Chicago, IL, USA) behandelt werden. Für die EMG-Ableitung wurden unterschiedliche Elektrodenarten verwendet, die im Weiteren genauer erläutert werden:

Für die extrinsische und intrinsische Ohrmuskulatur wurden einerseits speziell vom Universitätsklinikum Jena hergestellte Ag-Napfelektroden mit einem Durchmesser von 5 mm, als auch handelsübliche mit Ag-Napfelektroden (SC14-426, GVB-geliMED GmbH, Bad Segeberg) eingesetzt (Abbildung 8 und Abbildung 9). Beide Elektrodenmodelle waren Ag/AgCl-beschichtet. Zur Verbesserung der Leitfähigkeit diente ein Elektrodengel (CareFusion, Finland 320 Oy), welches in die Kavitäten der Elektroden gefüllt wurde. Zur Ableitung der Erdungselektrode, den Referenzelektroden und der Mm. orbicularis oculi et oris (Abbildung 13) wurden handelsübliche Solid Gel-Einmalelektroden mit einem Durchmesser von 1,6 cm (H124SG, Covidien, Deutschland, ebenfalls Ag/AgCl-beschichtet) benutzt (Abbildung 10).



Abbildung 8 -
Napfelektroden zur EMG-Ableitung der Ohrmuskulatur (GVB-geliMED GmbH)



Abbildung 9 -
speziell angefertigte Napfelektroden des Universitätsklinikums Jena zur EMG-Ableitung der Ohrmuskulatur



Abbildung 10 -
Solid Gel-Elektrode zur EMG-Ableitung von Erdung, Referenz, M. orbicularis oculi und M. orbicularis oris

Zu Beginn der Elektrodenpositionierung wurden die Referenzelektroden auf beiden Seiten jeweils direkt auf den Proc. mastoideus platziert und miteinander gekoppelt. Der Processus spinosus des 7. Halswirbelkörpers (Vertebra prominens) diente als Applikationsort für die Erdungselektrode. Anschließend begann die Platzierung der Elektroden für die intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln sowie die der Mm. orbicularis oculi et oris entlang der Faserrichtung nach dem Schema in Tabelle 3, welches in einer früheren Dissertation (Rüschenschmidt 2021) ausgearbeitet wurde (Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13).

Tabelle 3 - Orientierungspunkte zur Elektrodenpositionierung der jeweiligen Muskeln (Rüschenschmidt 2021)

Muskel	Lokalisation und Orientierung
M. transversus auriculae	auf Höhe des Gehörgangs (Ohr nach vorne gebogen), zwei Elektroden in die Furche zwischen Cavum conchae und Helix vertikal übereinander platziert
M. obliquus auriculae	(Ohr nach vorne gebogen), zwei Elektroden in die Furche zwischen Fossa triangularis und Cavum conchae horizontal nebeneinander platziert
M. auricularis superior	Vorderkante des senkrechten Teils der Helix, 1. Elektrode direkt oberhalb des knorpeligen Ohres, 2. Elektrode parallel zum Faserverlauf
M. auricularis posterior	manuelles nach vorne ziehen des Ohres, zwei Elektroden im Faserverlauf direkt auf sichtbarem Muskelbauch, beginnend 1 mm hinter der Ohrmuschel
M. auricularis anterior	horizontal auf Höhe der Spina helices, direkt vor dem Ohr, zwei Elektroden parallel im Faserverlauf
M. helices major	direkt am Beginn der Helix, zwei Elektroden aufsteigend im Verlauf der Helix platziert
M. helices minor	eine Elektrode direkt auf die Crus helices platziert
M. tragus	eine Elektrode an der Außenseite des Tragus platziert
M. antitragicus	direkt distal des Antitragus, zwei Elektroden horizontal nebeneinander platziert
M. orbicularis oculi	1. Elektrode am Augenwinkel und 2. Elektrode mittig unterhalb des Auges
M. orbicularis oris	1. Elektrode am Mundwinkel und 2. Elektrode etwa 2 cm lateral des Philtrums

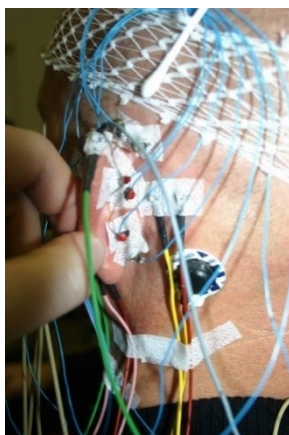


Abbildung 11 - Elektrodenpositionen Ohrmuskulatur links, dorsale Ansicht

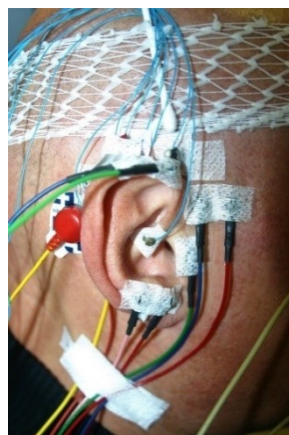


Abbildung 12 - Elektrodenpositionen Ohrmuskulatur rechts, ventrale Ansicht

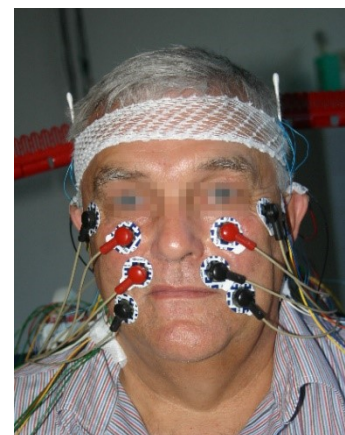
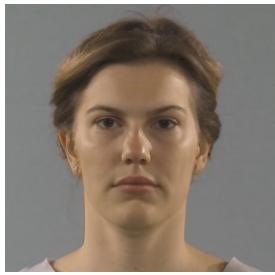


Abbildung 13 - Elektrodenpositionen Gesichtsmuskulatur, ventrolaterale Ansicht

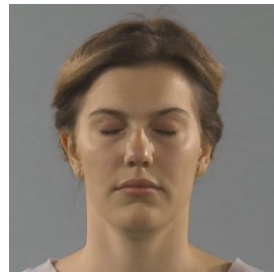
Die Elektroden wurden mittels zugeschnittener Pflaster in ihrer Position fixiert und über ihr Kabel mit dem entsprechenden Anschluss mit einem der drei verwendeten Monopolarverstärker verbunden. Von diesen führte jeweils ein Verbindungskabel zu einem gemeinsamen Analog-Digitalwandler (ToM, Amplitudenauflösung 24 bit, Abtastrate 4096/s, DeMeTec GmbH, Langgöns, Deutschland). Mittels der Software von ATISAreC konnte die EMG-Aufzeichnung durchgeführt werden. Nach der Beurteilung der korrekten Elektrodenapplikation, mittels optischer Überprüfung sowie Bewertung der Signalbeschaffenheit, konnten die Messungen am Patienten gestartet werden.

4.2.2 Versuchsablauf

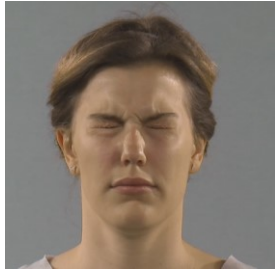
Nachdem die Elektrodenpositionierung und gegebenenfalls eine Korrektur erfolgten, erhielten die Patienten eine kurze Einweisung zum Ablauf. Sie wurden gebeten, die Ausgangshaltung einzunehmen. Diese bestand in einem aufrechten Sitz mit angewinkelten, schulterbreit auseinander gestellten Beinen und einem entspannten Gesicht. Die Patienten wurden gebeten, den Anweisungen für die durchzuführenden Gesichtsbewegungen bestmöglich Folge zu leisten. Vor jeder neuen Gesichtsbewegung erfolgte eine genaue Erläuterung zu deren Durchführung. Bei den Übungen handelte es sich um Gesichtsausdrücke, die über eine bestimmte Zeit gehalten wurden und deswegen vereinfachend als isometrische Halteübungen zu bezeichnen sind, wie beispielhaft in Abbildung 14 gezeigt wird. Die verwendeten Gesichtsausdrücke orientierten sich am standardisierten Instruktionsvideo aus dem Fazialis-Nerv-Zentrum Jena (Volk et al. 2019, Schaede et al. 2017), wobei Haltedauern auf circa drei Sekunden verlängert sowie die Wiederholungen von drei auf fünf erhöht wurden, um der individuellen Variation bei wiederholter Übungsausführung Rechnung zu tragen und damit die Datenbasis konsistenter zu gestalten.



Ausgangsstellung /
Ruhe



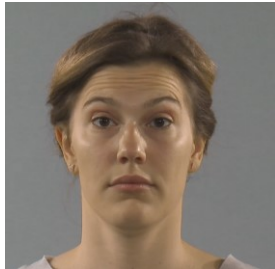
sanfter Augenschluss



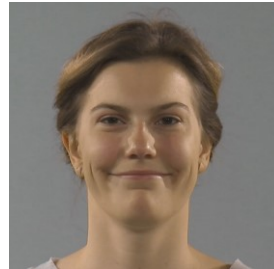
fester Augenschluss
(Augen zukneifen)



Zähne fletschen



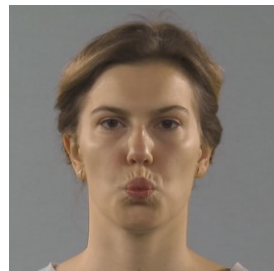
Stirn runzeln



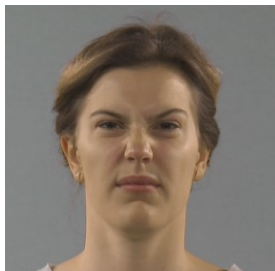
Lächeln (mit
geschlossenem Mund)



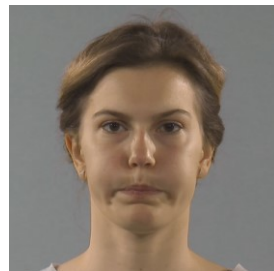
Lächeln mit Zähne
zeigen
(breites Lächeln)



Mund spitzen



Nase rümpfen



Wangen aufblasen

Weitere ausgeführte Gesichtsbewegungen ohne entsprechende Bebilderung:

Augen zwinkern, Zähne zusammenbeißen, Stirn nach unten und Augenbrauen zusammen ziehen („grimmig schauen“), einseitiges Lächeln jeweils links und rechts, geöffnetes Spitzen des Mundes („O“ sagen), Blick mit den Augen nach links oder rechts, Ohren nach oben ziehen („Ohren wackeln“), Ohren nach hinten ziehen

Abbildung 14 - Exemplarische Darstellung durchgeführter Übungen während der Untersuchungen (aus dem Instruktionsvideo für die standardisierte Videodokumentation von Gesichtsbewegungen des Fazialis-Nerv-Zentrums Jena (Schaede 2019) entnommen)

Am Anfang standen 20-sekündige Ruhemessungen, bei jeweils geöffneten (Ruhe 1) und geschlossenen Augen (Ruhe 2). Darauf folgten zwei Aufnahmephasen von je

zehn Sekunden, in denen die Augen zuerst sanft und danach fest geschlossen werden sollten. Im Folgenden wurde der Rhythmus der Übungen auf drei Sekunden, aber mit fünfmaliger Wiederholung geändert. Dabei erhielten die Patienten vom Versuchsleiter eine genaue Anweisung, wann ein Durchgang beginnt und endet. Um diese nachvollziehen zu können, wurden im ATISArc entsprechende Markierungen an den Anfang und das Ende eines Durchganges gesetzt. Dabei fungierte Marker 1 für den Beginn und Marker 2 für das Ende der entsprechenden Halteübung. Für die bessere Nachvollziehbarkeit der einzelnen Gesichtsbewegungen wurde zeitgleich eine Videodokumentation vorgenommen. Unabhängig davon wurden die Patienten während der Übungsausführung vom Versuchsleiter beobachtet, um die Korrektheit bei der Durchführung der Übungen beurteilen und gegebenenfalls berichtigen zu können. Jede Messung wurde protokolliert und, falls eine Abweichung vom Standardprotokoll vorkam, diese dort ebenfalls vermerkt. Um Unterschiede über den Verlauf des Trainings beurteilen zu können, wurde für alle Untersuchungszeitpunkte ein identisches Protokoll verwendet (Anhang 3). Angestrebt waren drei Untersuchungszeitpunkte: Eingangsuntersuchung (U1) am Aufnahmetag, Zwischenuntersuchung (U2) nach Abschluss der ersten Trainingswoche und Ausgangsuntersuchung (U3) am Ende des zweiwöchigen Trainings. Die Untersuchung zum Zeitpunkt U2 wurde nur bei zwölf Patienten durchgeführt. Der zeitliche Rahmen der Untersuchungen ist in Abbildung 15 nochmals dargestellt.

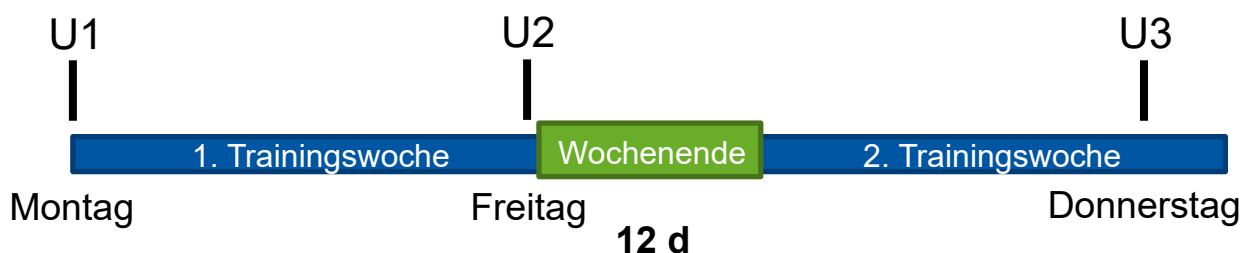


Abbildung 15 - zeitlicher Ablaufplan der Untersuchungen über den zweiwöchigen Trainingszeitraum

4.3 Trainingsstudiendesign

Das Schema des Biofeedback-Trainings orientierte sich anhand der individuellen Unterschiede der Patienten bezüglich des Schädigungsmusters, der individuell mit dem Patienten vereinbarten Trainingsziele sowie der Motivation des Patienten im zeitlichen Verlauf. Der Ablauf gestaltete sich tagesformabhängig, zielorientiert und unter Rücksichtnahme der psychosozialen Komponente der Erkrankung. Ein wichtiger

Schwerpunkt war sowohl die Entspannung der entsprechenden Gesichtsmuskulatur, welche im Vorfeld bei vielen Betroffenen insbesondere auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte einen viel zu hohen Muskeltonus aufwies, als auch die Entkopplung von ungewünschten Mitbewegungen, welche vor allem in Form von oro-okulären Synkinesien auftreten. Das Prinzip des Trainings beruhte darauf, vor allem kleine, alltagsrelevante Bewegungen zu üben, um dann in der Folge komplexere Bewegungen, wie das Formulieren von Sätzen, besser ausführen zu können. Basisübungen stellten unter anderem Lächeln oder Mund spitzen dar, wobei zwischen offenen und geschlossenen Übungen unterschieden wurde. Ein weiteres Therapieziel war es, eine möglichst hohe Effektivität des Kraftaufwandes während der Durchführung der Bewegungen zu erreichen. Aus diesem Grund wurde eine geringere Intensität, aber eine hohe Wiederholungszahl für die jeweiligen Übungen gewählt. Dabei sollten die Patienten auf eine möglichst gleichseitige Beanspruchung achten. Dazu dienten eine visuelle Kontrolle über eine Webcam und einen Computerbildschirm sowie die seitengetrennte Darstellung der Muskelaktivität der Wangenregion mittels 2-Kanal-EMG-Biofeedback (Abbildung 6).

Jedem Patienten wurde ein Trainingstagebuch ausgehändigt, in welchem die selbstständige Trainingszeit außerhalb des angeleiteten Trainings dokumentiert werden sollte. Waren die Patienten aus bestimmten Gründen nicht oder nicht in vollem Umfang in der Lage, ihr individuelles Training vor einem Spiegel zu absolvieren, wurde dies im Trainingstagebuch notiert. Außerdem sollten durch das Training aufgetretene Nebenwirkungen wie Muskelkater, Ermüdung oder Kopfschmerzen, dort festgehalten werden (E. Miltner, H. Möbius, Persönliche Kommunikation, 29. April 2020).

4.4 Messverfahren und EMG-Ableitung

Mittels monopolarer Ableittechnik (Verstärker: ToEM16G, Verstärkung 100-fach, DeMeTec GmbH, Langgöns, Deutschland) erfolgte die Aufzeichnung der registrierten Muskelaktivitäten. Mit einer Abtastrate von 4096 Werten/s und einer Auflösung von 24 bit bei einem Spannungsbereich von ± 5 V wurde das Signal im Analog-Digital-Wandler (ToM) digitalisiert (Auflösung bei Verstärkung von 100: 5,96 nV/bit). Alle Messdaten wurden gespeichert und standen danach für die weitere Verarbeitung offline zur Verfügung. In Abbildung 16 ist beispielhaft die Ableitung eines OEMGs bei der Ausführung der isometrischen Halteübung „Nase rümpfen“ im Messdatenerfassungsprogramm ATISAreco gezeigt.

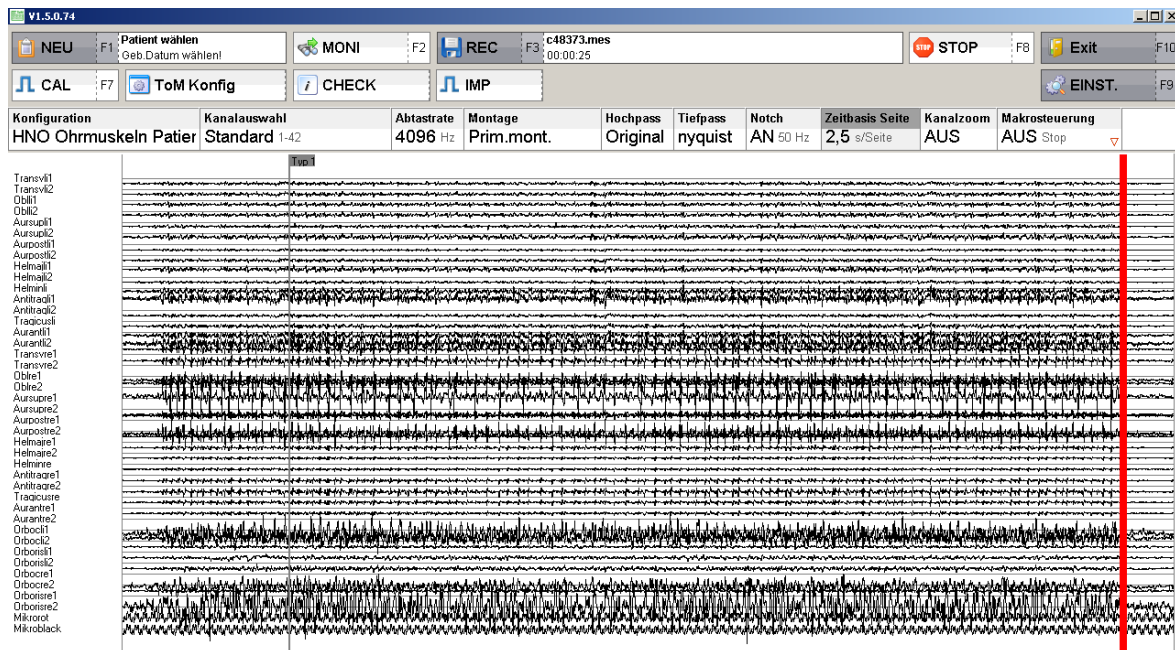


Abbildung 16 - Benutzeroberfläche von ATISAreco bei der Durchführung der isometrischen Halteübung „Nase rümpfen“ durch einen Patienten

4.5 EMG-spezifische Signalverarbeitung

Unter der Zuhilfenahme der Computersoftware ATISAprö (GJB Datentechnik GmbH, Deutschland) konnten die Roh-EMG-Daten anschließend weiterverarbeitet werden. Zunächst wurde ein NOTCH-Filter für eine Frequenz von 50 Hz zur Eliminierung möglicher auftretender Einflüsse von Netzspannungsartefakten verwendet. Für die Begrenzung des Frequenzbereiches von 10 bis 1000 Hz diente zusätzlich ein Bandpassfilter (FIR-Filter). Danach erfolgte eine Zentrierung der Messsignale durch Abzug des adaptiven Mittelwertes. Aus der Differenz zwischen zwei monopolaren Elektroden, welche paarweise vorlagen und entlang der Muskelfaserrichtung platziert wurden, konnte jeweils ein bipolares Signal berechnet werden. Die sich daraus ergebenden Differenzen wurden im Anschluss erneut zentriert. Aus den erfassten 16 monopolaren Roh-EMG-Signalen der Ohrmuskeln einer Gesichtshälfte konnten sieben bipolare OEMG-Kurven berechnet werden. Bei zwei Muskeln (M. helici minor und M. tragicus) wurde lediglich ein monopolares Signal aufgezeichnet, da bei beiden nur eine Elektrode positioniert wurde, weshalb auf eine weitere Auswertung der Messdaten im Rahmen dieser Untersuchung aufgrund der schwierigen Vergleichbarkeit verzichtet wurde. Die Aufzeichnung der Gesichtsmuskeln erfolgte ebenfalls monopolar, wiederum mit anschließender Berechnung eines bipolaren Signals. Die Berechnung der bipolaren Signale erfolgte vor allem deshalb, um eine hohe räumliche Spezifität der Signale zu gewährleisten. Diese hohe räumliche

Auflösung konnte durch hier nicht dokumentierte Voruntersuchungen bestätigt werden.

Um einen konstanten Bereich für die Durchführung der jeweiligen Übung zu definieren, wurde die entsprechende Roh-EMG-Datei ins Datenanalysefenster des Analyseprogramms geladen. Die Marker, welche während der Messung gesetzt wurden, um die Intervalle der isometrischen Halteübungen einzugrenzen, waren in der Auswertungsdatei abrufbar. Um eine einheitliche Analyse zu gewährleisten, erfolgte anschließend die Überprüfung der zeitgerechten Markierung des aktiven Intervalls. Entsprach diese nicht den Ansprüchen wurde eine Korrektur vorgenommen (Abbildung 17).

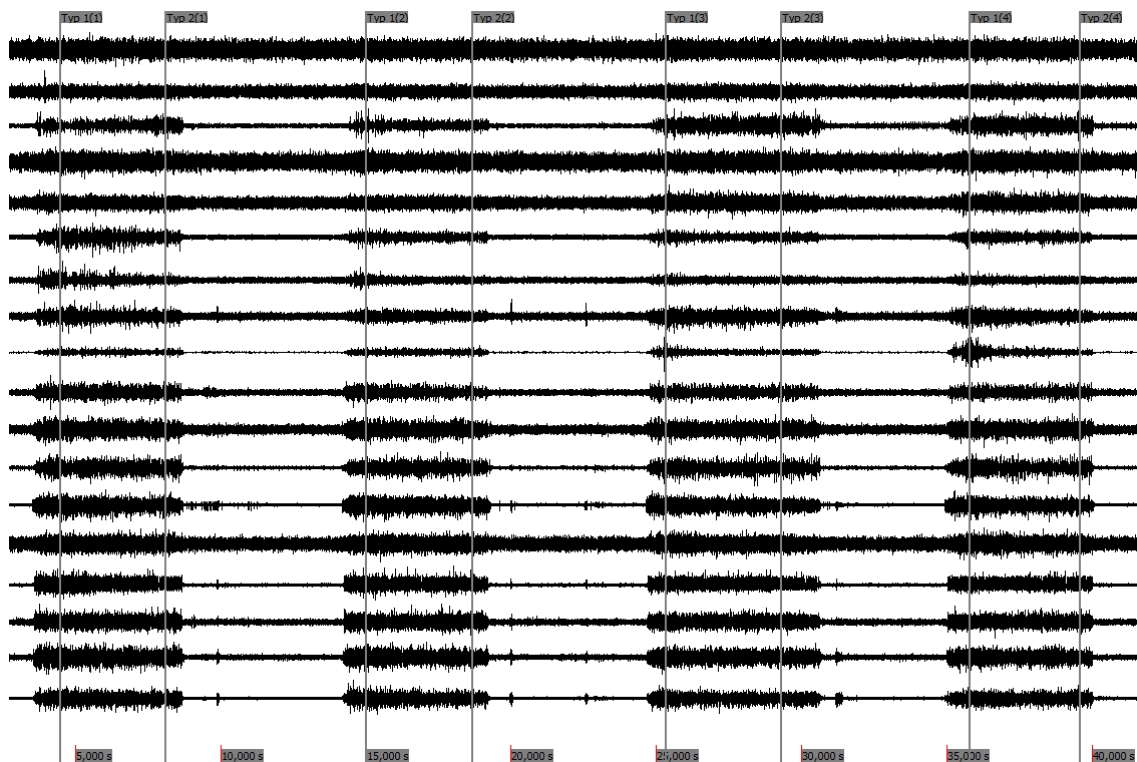


Abbildung 17 - Benutzeroberfläche von ATISAprö bei der Durchführung der isometrischen Halteübung „Zähne fletschen“ durch eine Patientin

Die sich aus den fünf Messabschnitten ergebenden Zeitintervalle wurden als Sekundenwerte mit drei Nachkommastellen in die Zusammenstellung „Auswertung“ im Softwareprogramm Microsoft Excel 2010 übertragen. Bei den *Ruhemessungen mit geöffneten (Ruhe 1) und geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, sowie den Übungen *sanfter* und *fester Augenschluss* wurde das gesamte Intervall als ein Abschnitt übernommen. Die vorbereiteten OEMG-Daten wurden dann kontinuierlich mit einem Mittelungsintervall von 125 ms quantifiziert. Zur Signalglättung wurde der auf der mathematisch quadrierten Wurzel basierende RMS (Root Mean Square)-Wert

verwendet, welcher derzeit als Standard gilt und die mittlere Leistung des Signales widerspiegelt (Konrad 2005). In Excel wurde anhand dieser Mittelungsintervalle die Auflistung der RMS-Mittelwerte für die fünf Messabschnitte der einzelnen Bipolarkanäle vorgenommen. Auf diese Weise erfolgte die Auflistung für jede Gesichtsbewegung mit anschließender Übertragung in eine weitere Sammlungstabelle. Für die weitere Auswertung wurden zwei Analysestrategien verwendet: Zum einen fand der Vergleich zwischen betroffener und nicht betroffener Seite statt. Dieser konnte muskelweise für die einzelnen Halteübungen zu jedem Untersuchungszeitpunkt durchgeführt werden. Zum anderen erfolgte die Gegenüberstellung der einzelnen Muskelaktivitäten, sowohl für betroffene und nicht betroffene Seite, zu zwei unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten. Auch hier wurde jede isometrische Halteübung separat betrachtet.

4.6 Ausreißerelimination und Konsolidierung der Daten

Für die statistische Auswertung der einzelnen Muskeln wurden die Daten jedes einzelnen Patienten herangezogen. Da bei gesunden Probanden nicht von systematischen Seitendifferenzen ausgegangen werden muss, hier aber wechselnde Seitenlokalisationen bezüglich der betroffenen Gesichtshälfte vorlagen, erfolgte die Analyse immer hinsichtlich der Zuordnung „betroffen“ und „nicht betroffen“. In anderen Studien wurden ebenfalls bei gesunden Probanden nur marginale Seitendifferenzen im EMG-Aktivitätsmuster für das Vorhandensein von Gesichtsasymmetrien beschrieben (Fridlund 1988, Kuramoto et al. 2019). Im Weiteren musste sichergestellt werden, dass durch technische Probleme bedingte Fehlwerte eliminiert werden. Dies wurde in einem zweistufigen Verfahren durchgeführt. Zunächst erfolgte eine Festlegung der entsprechenden Vertrauensbereiche für die Messdaten der untersuchten Population, Situation und Muskeln. Hierbei wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass OEMG-Daten keine Normalverteilung aufweisen. Deswegen wurde die jeweilige Auswahl sowohl mit parametrischen ($MW \pm SD$) als auch mit nichtparametrischen ($Median \pm Quartile$) statistischen Kennzahlen beschrieben. Je nach Testergebnis (relative Differenz zwischen Mittelwert und Median $< 0,5$: normalverteilt, ansonsten nicht normalverteilt) wurde der entsprechende Vertrauensbereich dann entweder über die doppelte SD ausgehend vom Mittelwert oder dem 1,5-fachen Interquartilsabstand jenseits der Quartile festgelegt. Dadurch identifizierte Ausreißer wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Dieses Verfahren wurde auf die verbliebenen Daten erneut angewendet, um ein hohes Maß

an Datenkonsolidierung zu erreichen. Anschließend erfolgte der Einbezug in die Auswertung sowie die dazugehörige Statistik der sich ergebenden Werte.

4.7 Datenanalyse

Die Messdaten wurden mit Excel (Version 2010, Microsoft, USA) statistisch ausgewertet. Die Identifikation von generellen Einflussvariablen geschah durch Varianzanalysen mit Messwiederholung. Zur nichtparametrischen Statistik abhängiger Stichproben wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei fehlender Normalverteilung verwendet. Für die statistische Auswertung der absoluten und relativen Differenzen wurde auf die Bonferroni-Korrektur verzichtet, weil für eine mögliche klinische Anwendung zur Beurteilung des Trainingseffektes einzelne Muskeln ausgewählt werden könnten und deswegen die Beurteilung des Aktivitätsmusters des Gesamtbesatzes an Elektroden keine Rolle spielt. Als Ausdruck für die praktische Relevanz eines nachweisbaren signifikanten Unterschieds ($p \leq 0,05$) und somit der Stärke eines Effektes auf die Muskelaktivität wurde im Anschluss die Effektstärke mittels Cohen's d (kleiner Effekt: $|d| = 0,2 - 0,5$; mittlerer Effekt: $|d| = 0,5 - 0,8$; großer Effekt: $|d| > 0,8$) bestimmt.

5 Ergebnisse

5.1 Vergleich der OEMG-Aktivität in den Gesichts- und Ohrmuskeln im zeitlichen Verlauf

Im folgenden Abschnitt wird die OEMG-Aktivität [μV] sowohl der aurikulären als auch der Gesichtsmuskeln, abhängig vom Untersuchungszeitpunkt und der isometrischen Halteübungen, gegenübergestellt, um den Trainingseffekt besser beurteilen zu können. Relevante Effektstärken (Cohen's $d > 0,5$) wurden jeweils durch Punkte, wenn der Vergleich zwischen Eingangsmessung (U1) und Ausgangsmessung (U3) durchgeführt wurde, durch ein Dreieck beim Vergleich zwischen U1 und Zwischenmessung (U2) oder durch ein Viereck, wenn der Vergleich zwischen U2 und U3 stattfand, gekennzeichnet. Die numerischen Werte der Effektstärken sowie die zugehörigen Signifikanzen können unter 5.3 der Tabelle 4 und Tabelle 5 entnommen werden. Die isometrischen Halteübungen sind für einen besseren Überblick im Fließtext kursiv geschrieben. In den nachfolgenden Kapiteln wird die OEMG-Aktivität, aufgeteilt nach extrinsischer (Kapitel 5.1.1), intrinsischer (Kapitel 5.1.2) aurikulärer Muskulatur sowie Gesichtsmuskulatur (Kapitel 5.1.3), aufgezeigt.

5.1.1 Extrinsische Ohrmuskulatur

Im Folgenden werden in drei Abbildungen (Abbildung 18, Abbildung 19, Abbildung 20) die OEMG-Aktivitäten der extrinsischen Ohrmuskeln graphisch dargestellt. Aufgrund der Komplexität der Daten wurde die graphische Darstellung zur primären Präsentation der Ergebnisse gewählt.

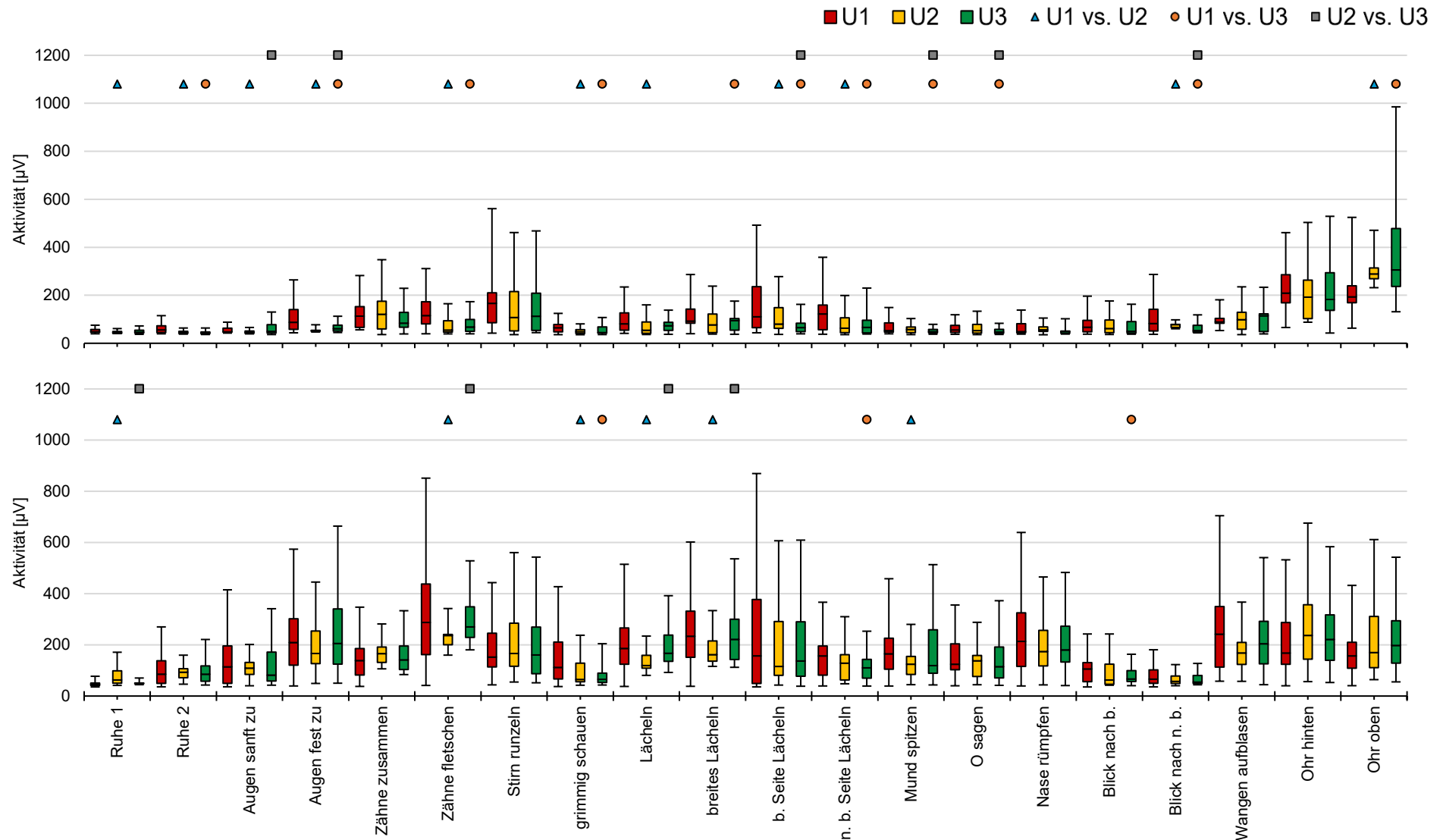


Abbildung 18 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. auricularis posterior zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. auricularis posterior (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

In Abbildung 18 sind die Amplituden der Aktivität zu den drei Untersuchungszeitpunkten sowie nachweisbare relevante Effektstärken im Vergleich zwischen jeweils zwei Messzeitpunkten für den extrinsischen Ohrmuskel *M. auricularis posterior* abgebildet. Die höchsten Amplituden auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zeigten dabei die isometrischen Halteübungen *Stirn runzeln*, *Lächeln auf der betroffenen Gesichtshälfte* sowie die spezifisch das Ohr steuernden Übungen *Ohr nach hinten* beziehungsweise *oben ziehen*. Die geringsten Amplituden zeigten sich seitenunabhängig bei den *Ruheübungen*, wobei auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte auch beim *sanften Augenschluss* vergleichbar geringe Amplituden zu finden waren. Eine Abnahme der Aktivität im zeitlichen Verlauf, vor allem beim Vergleich zwischen U1 und U3, zeigte sich hier bei den isometrischen Halteübungen *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *Augen fest schließen*, *Zähne fletschen*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen* und *nicht betroffenen Seite*, *O sagen*, *Mund spitzen*, *Blick zur nicht betroffenen Seite* sowie *Ohr nach oben ziehen*. Zusätzlich konnte bei fast allen diesen genannten Übungen auch ein relevanter Unterschied zwischen U1 und U2 nachgewiesen werden. Relevante Effektstärken für den Vergleich zwischen U2 und U3 fanden sich bei den isometrischen Halteübungen *sanfter* und *fester Augenschluss*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen* sowie *Blick zur nicht betroffenen Seite*.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte zeigten sich die höchsten Amplituden jeweils für die Übungen *Augen fest schließen*, *Zähne fletschen*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Nase rümpfen* sowie *Wangen aufblasen*. Eine Aktivitätsabnahme beim Vergleich zwischen U1 und U3 mit relevanten Effektstärken war beim *grimmig schauen*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* und dem *Blick zur betroffenen Seite* zu beobachten. Ein relevanter Unterschied zwischen U1 und U2 mit einer Aktivitätsabnahme fand sich beim *Zähne fletschen*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *breites Lächeln* und *Mund spitzen*. Im Gegensatz dazu konnte bei der *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)* eine Aktivitätszunahme beim Vergleich von U1 und U2 nachgewiesen werden. Für den Vergleich zwischen U2 und U3 fanden sich relevante Effektstärken für die Übungen *Zähne fletschen*, *Lächeln* sowie dem *breiten Lächeln*, welche durch eine Aktivitätszunahme resultierten und sich dem Ausgangsniveau von U1 wieder annäherten. Im Gegensatz dazu kam es bei der *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)* zu einer relevanten Aktivitätsabnahme, welche eine adäquate Angleichung an das Anfangsniveau aufwies.

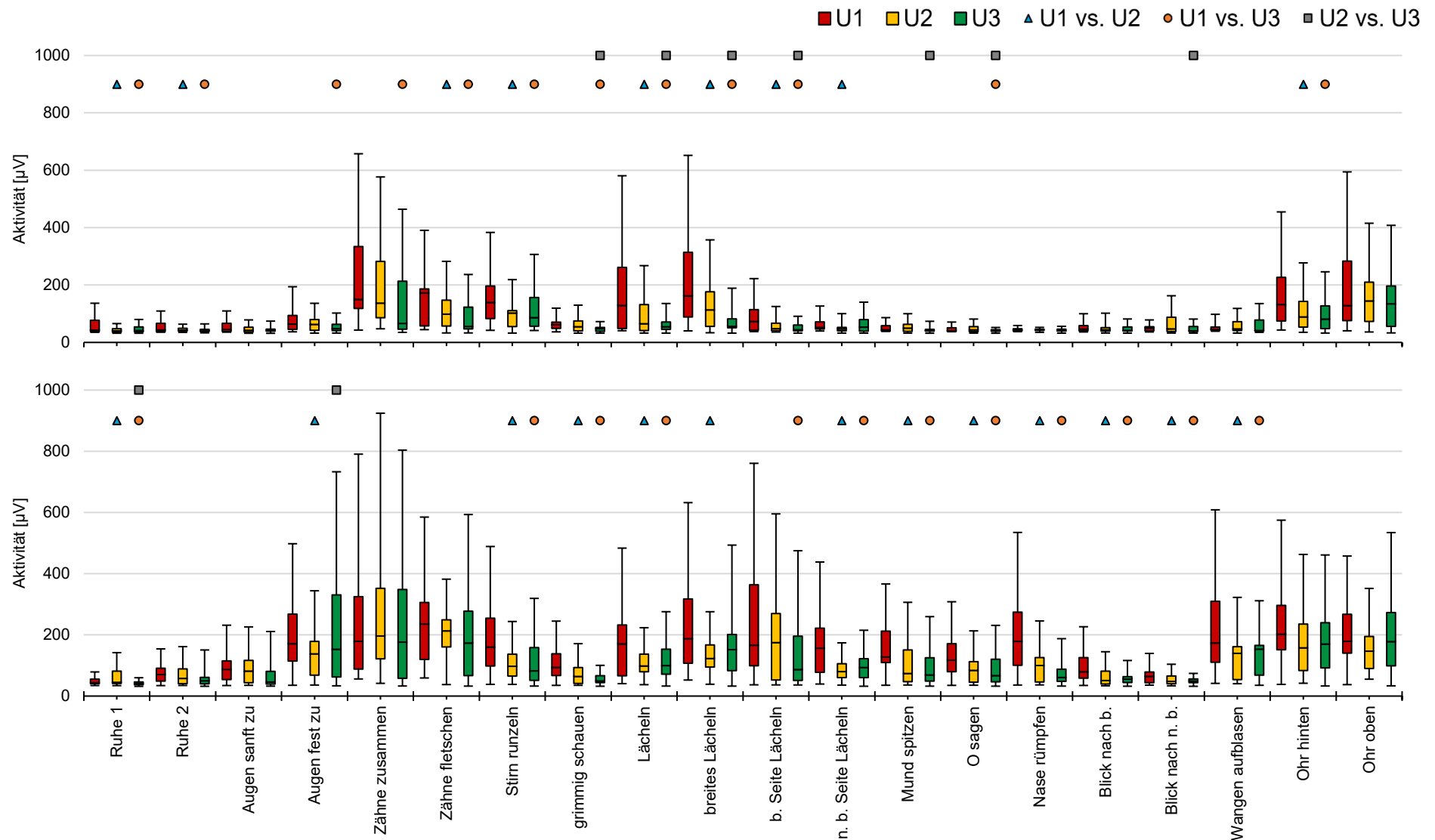


Abbildung 19 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. auricularis superior zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen
 OEMG-Aktivität des M. auricularis superior (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

Abbildung 19 zeigt die Amplituden und die dazugehörigen Effektstärken für die Vergleiche zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den M. auricularis superior. Auf der nicht betroffenen Seite fällt auf, dass nur bei wenigen Übungen eine Aktivität im Sinne einer gesteigerten Amplitude im Vergleich zu den *Ruhemessungen* vorzufinden war. Dabei präsentierten sich das *Zähne zusammenbeißen*, *Lächeln*, *breites Lächeln* sowie *Ohr nach hinten* und *oben ziehen* mit den höchsten Amplituden. Eine relevante Abnahme der Amplituden im zeitlichen Verlauf über alle drei Messzeitpunkte zeigte sich für die Übungen *Ruhemessung mit geöffneten (Ruhe 1)* und *geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *fester Augenschluss*, *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *O sagen* und *Ohr nach hinten ziehen*. Für *grimmig schauen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen*, sowie dem *Blick zur nicht betroffenen Seite* zeigten sich relevante Effektstärken mit einer Amplitudenverringerung für den Vergleich zwischen U2 und U3.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte hoben sich die Übungen *Augen fest schließen*, *Zähne zusammenbeißen* und *Lächeln auf der betroffenen Seite* durch besonders hohe Amplituden hervor. Die niedrigsten Amplituden zeigten sich bei den *Ruhemessungen* sowie dem *Blick zur nicht betroffenen Seite*. Eine Aktivitätsabnahme im zeitlichen Verlauf beim Vergleich zwischen U1 und U3 war bei den Übungen *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen* und *nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen*, *Nase rümpfen*, *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* und dem *Wangen aufblasen* zu beobachten. Die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)* zeigte als einzige Übung eine relevante Aktivitätszunahme zwischen U1 und U2, wohingegen alle anderen relevanten Effektstärken für diesen Vergleich eine bedeutende Abnahme der Aktivität beobachten ließen. Beim Vergleich zwischen U2 und U3 zeigte der *feste Augenschluss* eine bedeutende Aktivitätszunahme an, wodurch bei dieser Übung eine Angleichung der Aktivität an das Ausgangsniveau von U1 resultierte.

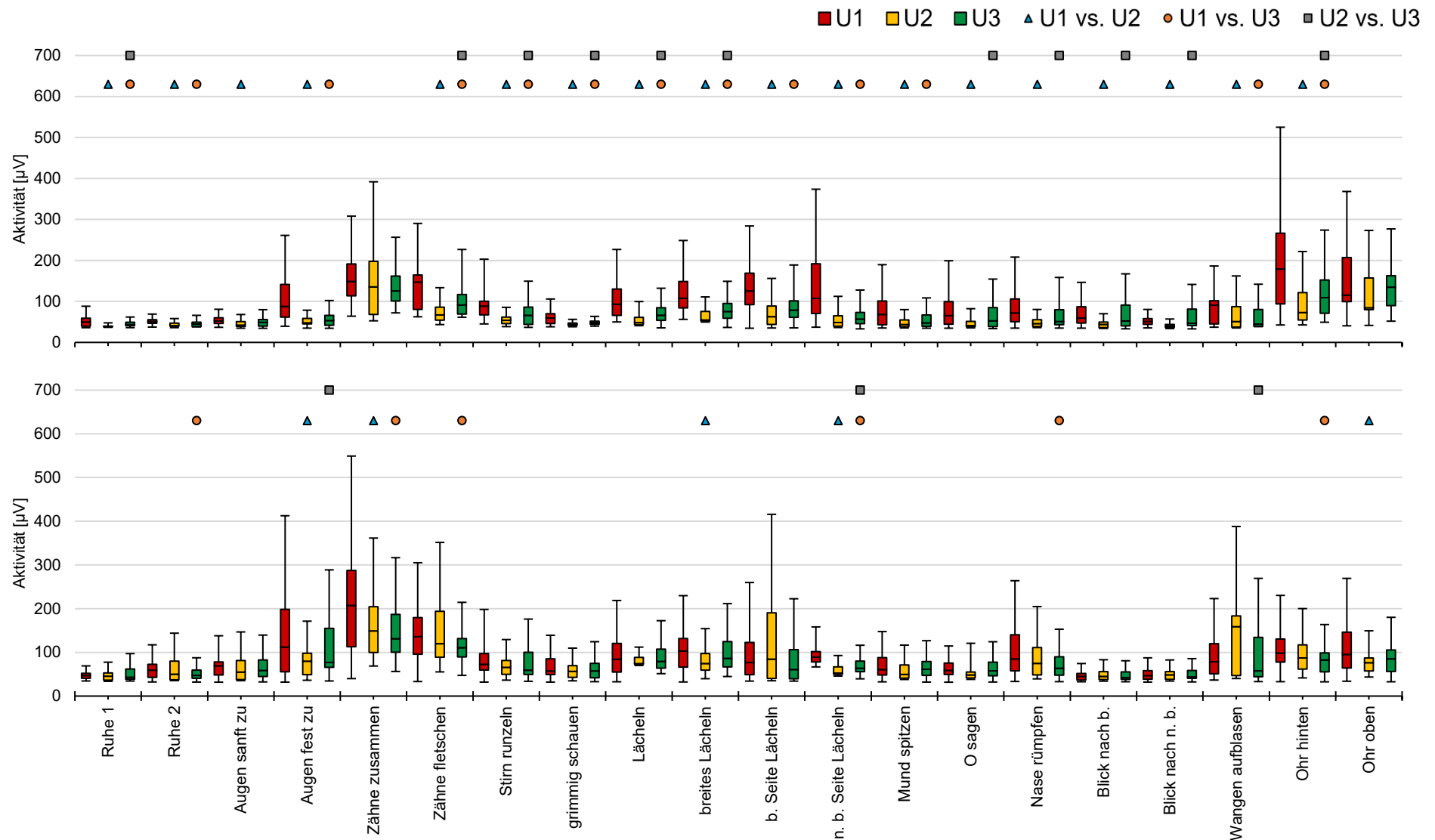


Abbildung 20 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. auricularis anterior zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen
 OEMG-Aktivität des M. auricularis anterior (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

Beim *M. auricularis anterior* wird äquivalent zu den vorherigen extrinsischen Ohrmuskeln sowohl die Aktivität als auch die Effektstärke betrachtet, was in Abbildung 20 dargestellt ist. Die niedrigsten Amplituden unterschieden sich seitenabhängig dahingehend, dass auf der betroffenen Gesichtshälfte die *Ruheübungen* sowie der *sanfte Augenschluss* und auf der betroffenen Gesichtshälfte die *Blicke zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* die geringsten Amplituden aufwiesen. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zeigten *Zähne zusammenbeißen*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* sowie die spezifisch das Ohr steuernden Übungen *Ohr nach hinten und oben ziehen* die höchsten Amplituden. Insgesamt konnte man bei fast allen Übungen, mit Ausnahme von *O sagen* und *Ohr nach oben ziehen*, eine Abnahme der Amplituden für den Vergleich von U1 zu U2 beobachten. Für die *Ruheübungen*, *Augen fest schließen*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen* und *nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *Wangen aufblasen* und *Ohr nach hinten ziehen* war zwischen U1 und U3 eine relevante Abnahme der Aktivität beobachtbar. Für den Vergleich von U2 und U3 konnten relevante Effektstärken mit einer Aktivitätszunahme für die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *O sagen*, *Nase rümpfen* sowie dem *Blick jeweils auf die betroffene* oder *nicht betroffene Seite* nachgewiesen werden.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte fanden sich die höchsten Amplituden beim *Augen fest schließen*, *Zähne zusammenbeißen* und dem *Lächeln auf der betroffenen Seite*. Eine relevante Aktivitätsabnahme im zeitlichen Verlauf beim Vergleich von U1 und U3 ließ sich bei der *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite*, *Nase rümpfen* und *Ohr nach hinten ziehen* nachweisen. Beim *festen Augenschluss*, *Zähne zusammenbeißen*, *breiten Lächeln*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* und *Ohr nach oben ziehen* konnte eine bedeutende Aktivitätsabnahme zwischen U1 und U2 festgestellt werden. Im Gegensatz dazu kam es beim *Stirn runzeln*, *Lächeln* und *breiten Lächeln* bei diesem Vergleich zu einer Aktivitätsabnahme. Der *festen Augenschluss* und *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* zeigten relevante Effektstärken für den Vergleich zwischen U2 und U3, die jeweils in einer Aktivitätszunahme sowie einer dadurch bedingten Angleichung an das Aktivitätsniveau von U1 resultierten.

5.1.2 Intrinsische Ohrmuskulatur

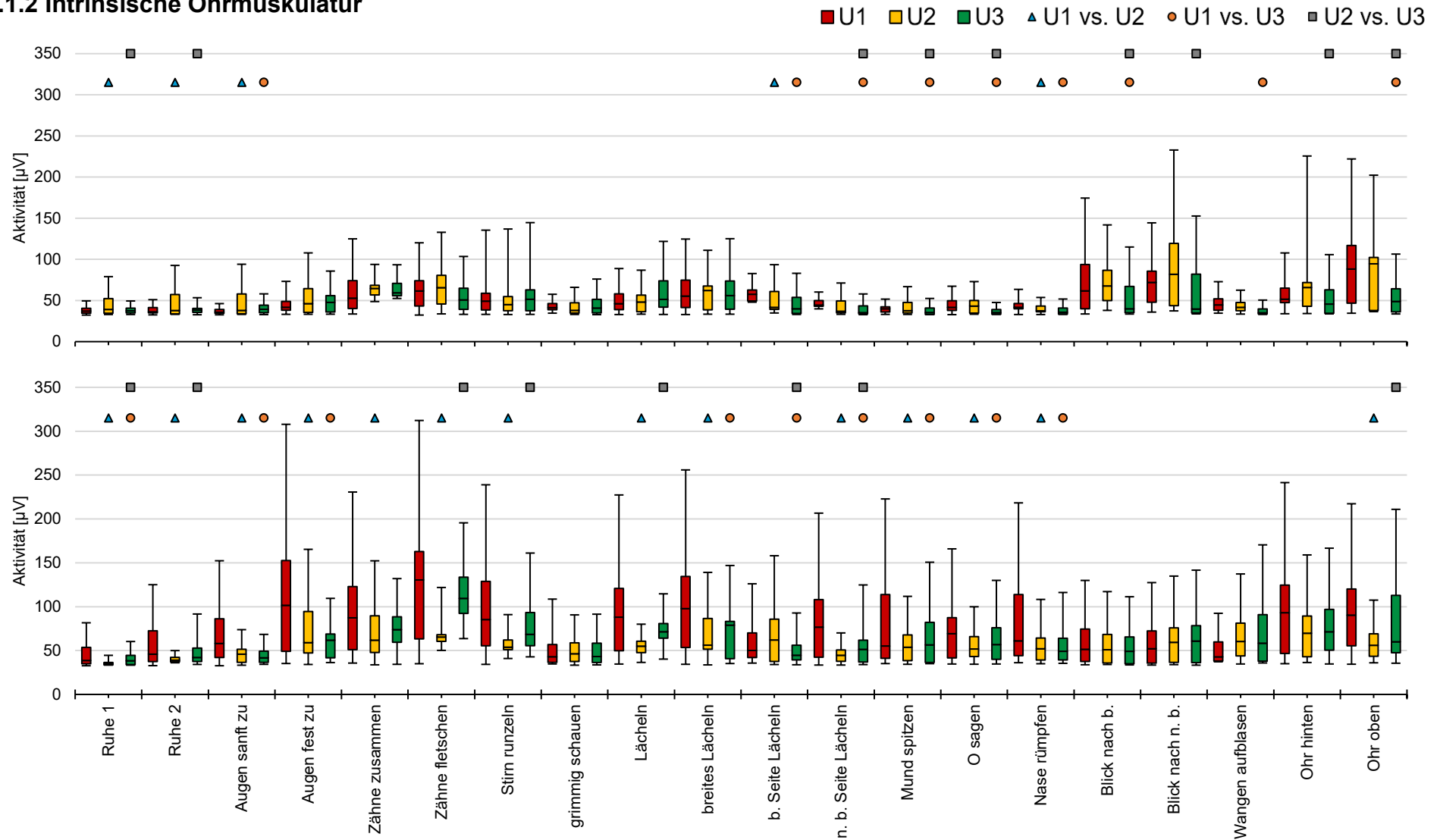


Abbildung 21 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. transversus auriculae zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. transversus auriculae (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

Im folgenden Teil wird die OEMG-Aktivität für die intrinsische Ohrmuskulatur und in Abbildung 21 insbesondere die des M. transversus auriculae mit den dazugehörigen Effektstärken betrachtet. Das niedrigste Aktivitätsniveau zeigte sich seitenunabhängig bei den *Ruheübungen*, jedoch wiesen auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte das *Mund spitzen*, *O sagen* und *Nase rümpfen* äquivalente Amplituden dazu auf. Bei diesem Muskel zeigten auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte die Übungen *Blick zur nicht betroffenen Seite* sowie das *Ohr nach hinten und oben ziehen* die höchste Aktivität im Sinne entsprechend hoher Amplituden. Beim *sanften Augenschluss*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen*, *Nase rümpfen*, *Blick zur betroffenen Seite*, *Wangen aufblasen* sowie der spezifisch das Ohr ansteuernden Übung *Ohr nach oben ziehen* konnte ein relevanter Unterschied, verbunden mit einer kontinuierlichen Abnahme der Aktivität, zwischen U1 und U3 beobachtet werden. Was bei den *Ruheübungen* sowie dem *sanften Augenschluss* auffällt ist, dass es zum Untersuchungszeitpunkt U2 zu einer relevanten Aktivitätssteigerung im Vergleich zu U1 kam, die sich dann bei den *Ruheübungen* wieder in eine relevante Aktivitätsabnahme zum Untersuchungszeitpunkt U3 umwandelte.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte fallen zuerst die im Vergleich zur gesunden Gesichtshälfte höheren Ausgangsaktivitäten bei fast allen Übungen auf. Hier zeigten vor allem *fester Augenschluss*, *Zähne fletschen* und *breites Lächeln* die höchsten Amplituden. Für die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *sanfter* und *fester Augenschluss*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen* und *Nase rümpfen* konnte im zeitlichen Zusammenhang eine Abnahme der Aktivität mit relevanten Effektstärken für den Vergleich von U1 zu U3 festgestellt werden. Für die Betrachtung zwischen U1 und U2 präsentierten zusätzlich *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *Lächeln* und *Ohr nach oben ziehen* bedeutende Aktivitätsabnahmen. Beim Vergleich zwischen U2 und U3 konnte eine relevante Aktivitätszunahme für die *Ruheübungen*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *Lächeln*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* sowie dem *Ohr nach oben ziehen* nachgewiesen werden.

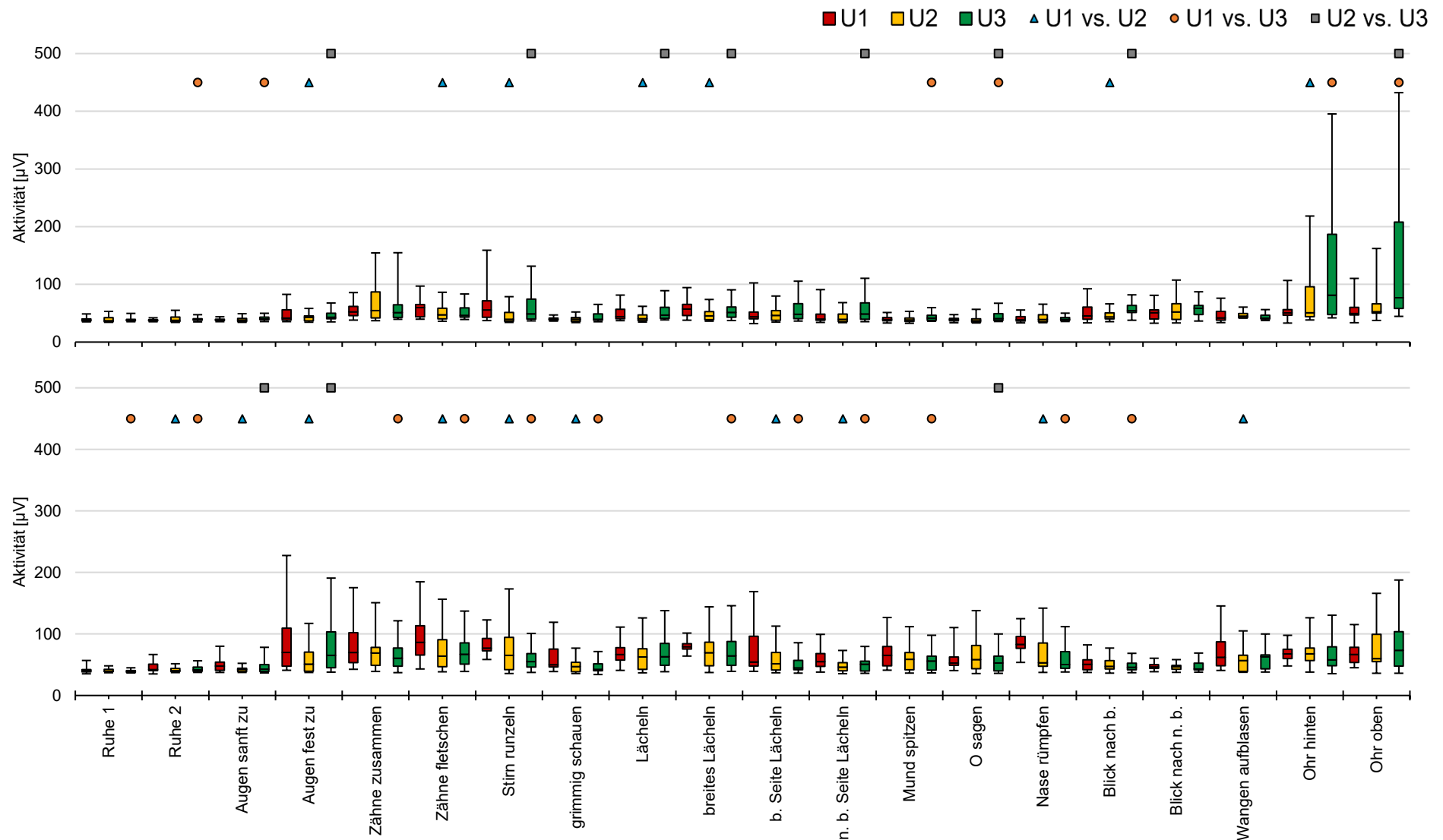


Abbildung 22 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. obliquus auriculae zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. obliquus auriculae (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

In Abbildung 22 werden sowohl die OEMG-Aktivitäten als auch die dazugehörigen Effektstärken im zeitlichen Verlauf zu den drei Messzeitpunkten für den M. obliquus auriculae gezeigt. Seitenunabhängig zeigten die *Ruheübungen* die niedrigsten Amplituden. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte wiesen der *sanfte Augenschluss*, *grimmig schauen* und *Mund spitzen* über alle Untersuchungszeitpunkte ähnlich niedrige Amplituden wie die *Ruheübungen* auf. Im Gegensatz dazu präsentierten die spezifisch das Ohr ansteuernden Bewegungen *Ohr nach hinten* und *oben ziehen* die höchsten Amplituden. Bei der *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *sanfter Augenschluss*, *Mund spitzen*, *O sagen* sowie *Ohr nach hinten* und *oben ziehen* kam es im zeitlichen Verlauf zu einer relevanten Steigerung der Aktivität beim Vergleich zwischen U1 und U3. Auffällig war bei diesem Muskel, dass es bei den Übungen *fester Augenschluss*, *Stirn runzeln*, *Lächeln* und *breites Lächeln* im Vergleich zwischen U1 und U2 zuerst zu einer Aktivitätsabnahme kam, welche sich dann zwischen U2 und U3 umkehrte, sodass es zu einer Aktivitätszunahme kam, die das Niveau der Eingangsmessung U1 wieder erreichte. Beim Vergleich zwischen U2 und U3 kam es beim *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* zu einer Aktivitätssteigerung.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte ließen sich beim *festen Augenschluss*, *Zähne fletschen* und *Ohr nach oben ziehen* die höchsten Amplituden nachweisen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bei einem Großteil der Übungen auf der betroffenen Gesichtshälfte eine höhere Aktivität als auf der gesunden Gesichtshälfte nachweisbar war. Beim Vergleich zwischen U1 und U3 konnten relevante Effektstärken mit einer Aktivitätsabnahme für folgende Übungen gezeigt werden: *Ruhemessung mit geöffneten (Ruhe 1)* und *geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *Nase rümpfen* und der *Blick zur nicht betroffenen Seite*. Der *sanfte* und *feste Augenschluss* zeigten eine ähnliche Dynamik, wie sie bereits auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zu beobachten waren. Dabei kam es jeweils zu einer Aktivitätsabnahme beim Vergleich zwischen U1 und U2, auf welche zwischen U2 und U3 wiederum eine Aktivitätszunahme folgte.

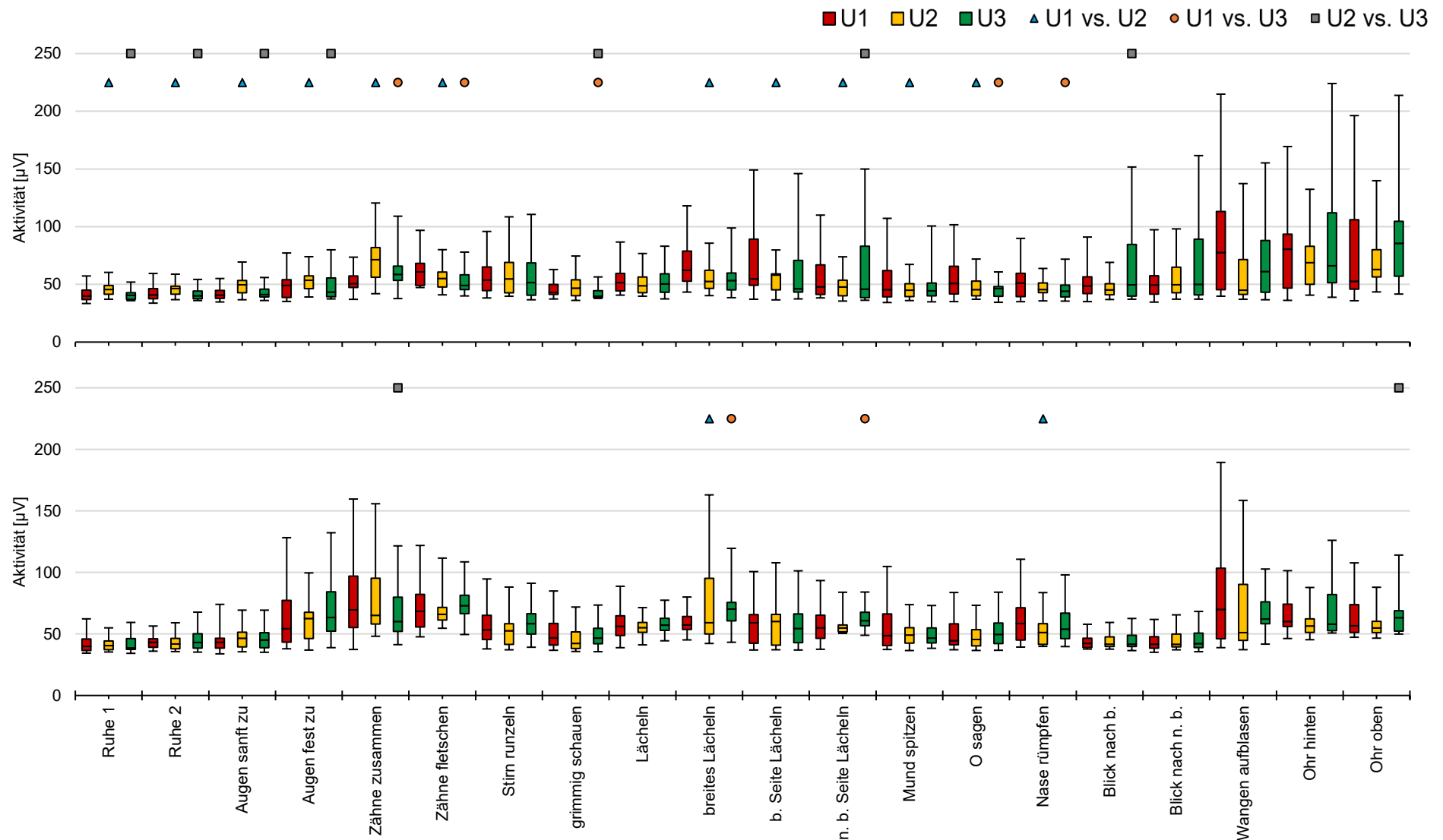


Abbildung 23 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. helix major zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. helix major (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

Der M. heliciis major mit seinen zugehörigen OEMG-Aktivitäten und Effektstärken wird in Abbildung 23 dargestellt. Die niedrigsten Amplituden konnten seitenunabhängig bei der *Ruhemessung mit geöffneten und geschlossenen Augen* aufgezeichnet werden, wobei auf der betroffenen Gesichtshälfte zusätzlich der *sanfte Augenschluss* sowie der *Blick zur betroffenen und nicht betroffenen Seite* identische Aktivitätslevel aufwiesen. *Wangen aufblasen* sowie *Ohr nach hinten und oben ziehen* präsentierten auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte die höchsten Amplituden. Beim Vergleich zwischen U1 und U3 konnte eine relevante Aktivitätsabnahme beim *Zähne fletschen, grimmig schauen, O sagen* und *Nase rümpfen* beobachtet werden. Bei der *Ruhemessung mit geöffneten (Ruhe 1)* und *geschlossenen Augen (Ruhe 2)* sowie dem *sanften und festen Augenschluss* konnte ein relevanter Unterschied zwischen U1 und U2 in Form einer Aktivitätszunahme festgestellt werden, welche beim Vergleich von U2 zu U3 mit einer Aktivitätsabnahme auf das Ausgangsniveau von U1 rückläufig war. Außerdem konnten noch relevante Effektstärken für die Abnahme der Amplituden beim Vergleich zwischen U1 und U2 für die Übungen *breites Lächeln, Lächeln auf der betroffenen Seite* und *Mund spitzen* nachgewiesen werden.

Insgesamt zeigten sich auf der betroffenen Gesichtshälfte wenige Veränderungen für diesen Muskel im Verlauf des zweiwöchigen Trainings. Die Übungen *Zähne zusammenbeißen, breites Lächeln* und *Wangen aufblasen* wiesen die höchsten Amplituden auf. Einzig beim *Nase rümpfen* war ein relevanter Unterschied zwischen U1 und U2 durch eine Aktivitätsabnahme beobachtbar. Für den Vergleich von U1 und U3 konnte eine Zunahme der Aktivität für die Übungen *breites Lächeln* und *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* nachgewiesen werden.

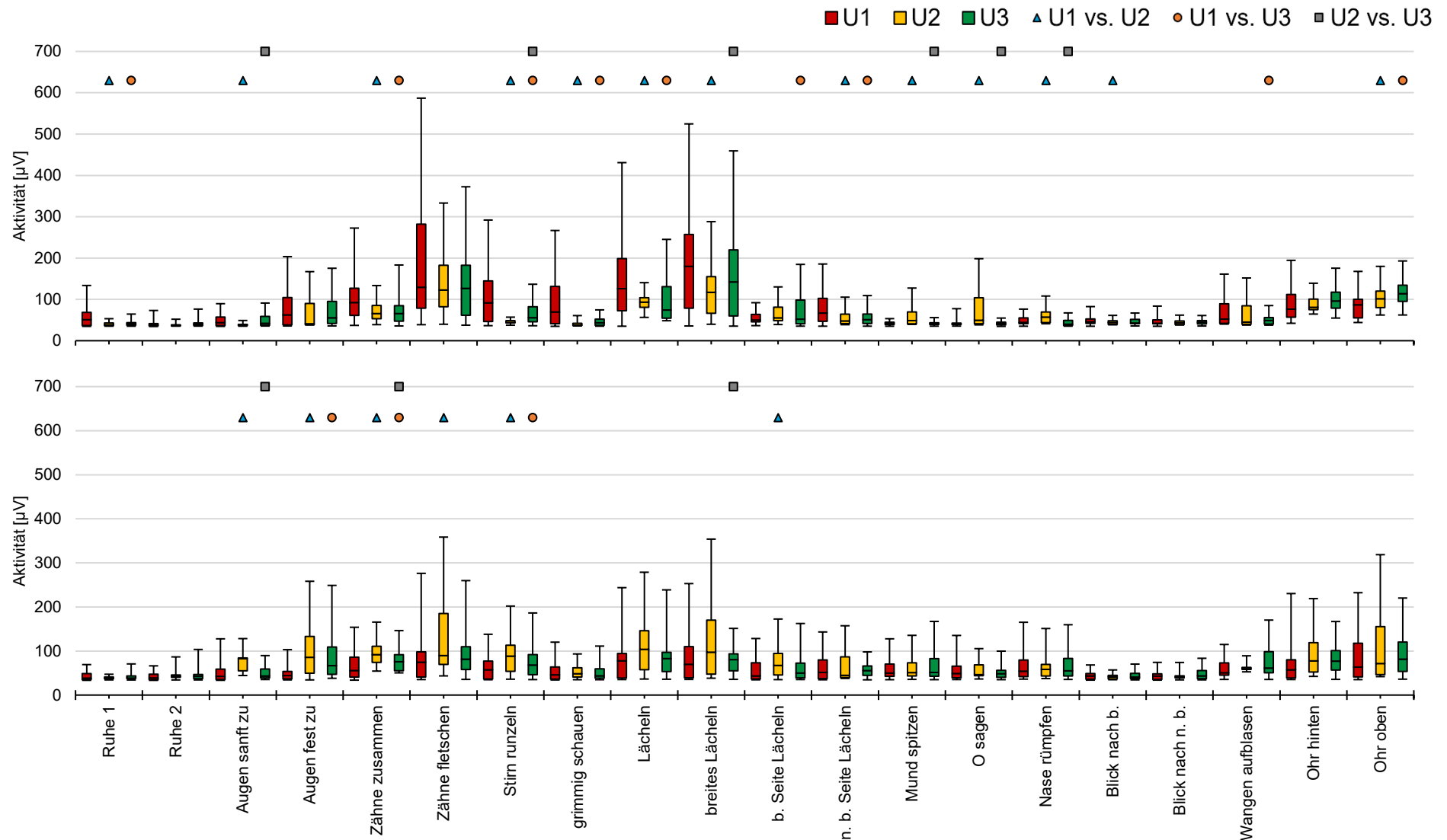


Abbildung 24 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. antitragicus zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. antitragicus (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in μV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

Abbildung 24 demonstriert die OEMG-Aktivitäten und die entsprechenden Effektstärken für den Vergleich zwischen den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten für den M. antitragicus. Bei diesem konnten unabhängig von der Gesichtshälfte die niedrigsten Amplituden sowohl bei den *Ruheübungen* als auch beim *Blick auf die betroffene* und *nicht betroffene Seite* festgestellt werden. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte hatten zudem der *sanfte Augenschluss*, *Mund spitzen* und *Nase rümpfen* vergleichbar niedrige Aktivitätsniveaus. Die höchsten Amplituden zeigten sich auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte bei den Übungen *Zähne fletschen*, *Lächeln* und *breites Lächeln*. Die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *Zähne zusammenbeißen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* und *Wangen aufblasen* wiesen eine relevante Abnahme der Aktivität beim Vergleich zwischen U1 und U3 auf. Bei den Übungen *Lächeln auf der betroffenen Seite* und *Ohr nach oben ziehen* kam es beim selben Vergleich im zeitlichen Verlauf gegenteilig zu einer Aktivitätszunahme. Bei der Betrachtung der Aktivitätsveränderung zwischen U1 und U2 präsentierten die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *sanfter Augenschluss*, *Zähne zusammenbeißen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* und der *Blick zur betroffenen Seite* eine bedeutende Aktivitätsabnahme, wobei es bei den Übungen *sanfter Augenschluss* und *breites Lächeln* beim Vergleich zwischen U2 und U3 wieder zu einer Zunahme der Aktivität bis zum Ausgangsniveau kam. Dagegen zeigten *Mund spitzen*, *O sagen* und *Nase rümpfen* eine relevante Aktivitätszunahme zwischen U1 und U2, die sich dann beim Vergleich zwischen U2 und U3 wieder umkehrte und dem Niveau von U1 anpasste.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte zeigten ebenfalls *Zähne fletschen*, *Lächeln* und *breites Lächeln* sowie *Ohr nach oben ziehen* die höchsten Amplituden für diesen Muskel, sie hatten aber insgesamt geringere Amplituden im Vergleich zur nicht betroffenen Gesichtshälfte. *Fester Augenschluss*, *Zähne zusammenbeißen* und *Stirn runzeln* wiesen für den Vergleich zwischen U1 und U3 eine relevante Aktivitätszunahme auf. Zu einer bedeutenden Aktivitätszunahme beim Vergleich zwischen U1 und U2 mit anschließender Aktivitätsabnahme zwischen U2 und U3 kam es bei den Übungen *sanfter Augenschluss* und *Zähne zusammenbeißen*. Außerdem konnte beim *Zähne fletschen* und *Lächeln auf der betroffenen Seite* eine Zunahme der Aktivität für den Vergleich zwischen U1 und U2, sowie eine Aktivitätsabnahme beim *Lächeln auf der betroffenen Seite* für den Vergleich von U2 zu U3 beobachtet werden.

5.1.3 Gesichtsmuskulatur

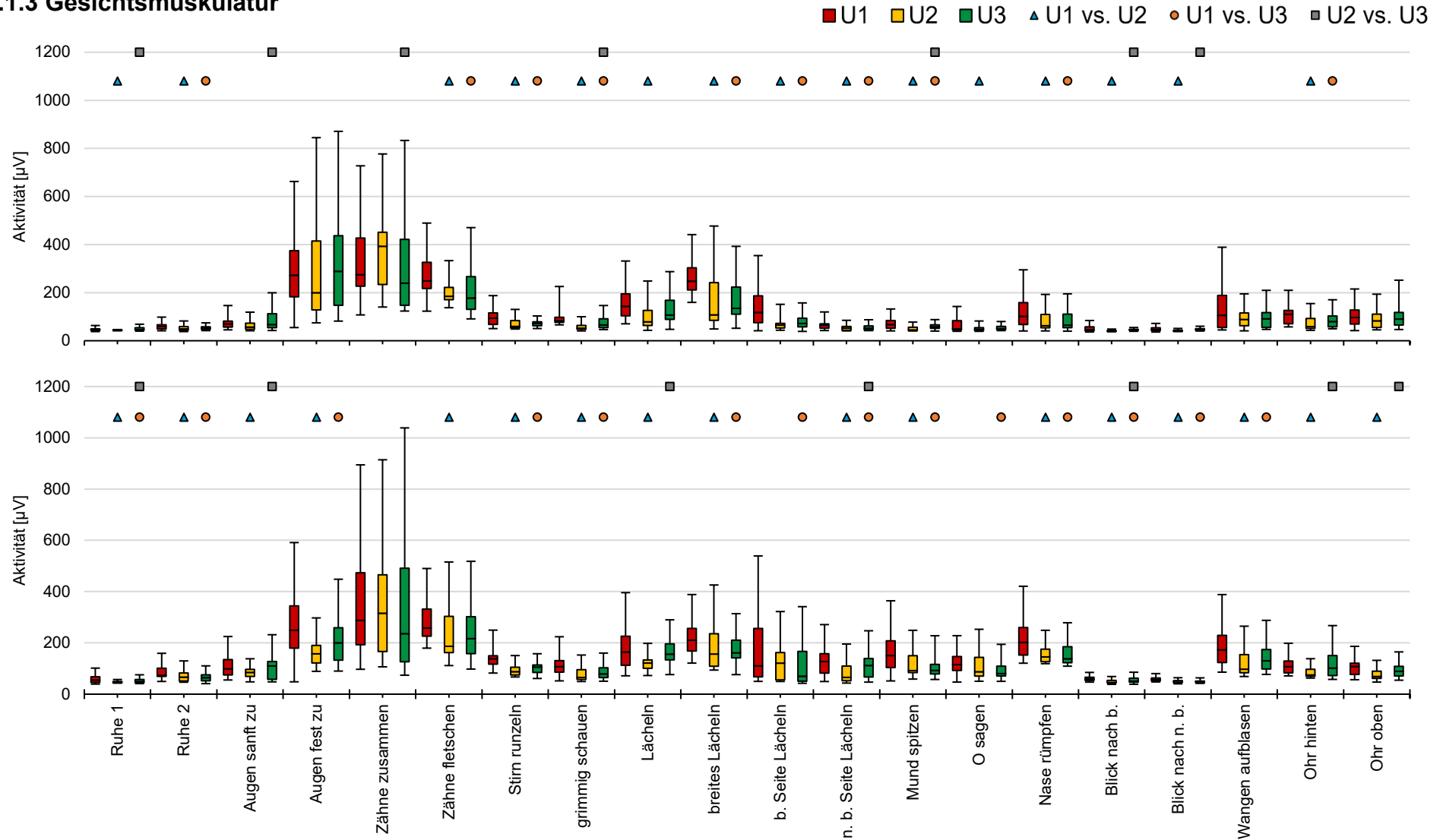


Abbildung 25 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. orbicularis oculi zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. orbicularis oculi (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

In Abbildung 25 werden die OEMG-Aktivitäten sowie die relevanten Effektstärken für den Vergleich zwischen den unterschiedlichen Messzeitpunkten für den Gesichtsmuskel M. orbicularis oculi dargestellt. Sowohl bei den *Ruheübungen* als auch beim *Blick auf die betroffene und nicht betroffene Seite* traten seitenunabhängig die niedrigsten Amplituden auf. Ebenfalls unabhängig von der Seite zeigten sich die höchsten Amplituden bei den Übungen *fester Augenschluss* und *Zähne zusammenbeißen*. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte konnten für den Vergleich zwischen U1 und U3 relevante Effektstärken für eine Aktivitätsabnahme bei der *Ruhemessung mit geschlossen Augen (Ruhe 2)*, *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *Nase rümpfen* und *Ohr nach hinten ziehen* festgestellt werden. Zusätzlich trat bei den Übungen *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *Lächeln*, *O sagen* sowie dem *Blick zur betroffenen und nicht betroffenen Seite* eine bedeutende Aktivitätsabnahme beim Vergleich zwischen U1 und U2 auf. Bei der Betrachtung von U2 zu U3 kam es wiederum zu relevanten Aktivitätszunahmen für die Übungen *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *sanfter Augenschluss*, *grimmig schauen*, *Mund spitzen* sowie dem *Blick auf die betroffene und nicht betroffene Seite*.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte war eine relevante Aktivitätsabnahme für den Vergleich zwischen U1 und U3 für fast alle Übungen außer *sanfter Augenschluss*, *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Lächeln* sowie die spezifisch das Ohr ansteuernden Übungen *Ohr nach hinten* und *oben ziehen* zu beobachten. Außer beim *Zähne zusammenbeißen*, *Lächeln auf der betroffenen Seite* und *O sagen* konnte bei allen anderen Übungen eine bedeutende Abnahme der Aktivität beim Vergleich zwischen U1 und U2 gezeigt werden. Allerdings kam es beim Vergleich zwischen U2 zu U3 beim *festen Augenschluss*, *Lächeln*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite*, *Blick zur betroffenen Seite* sowie dem *Ohr nach hinten* und *oben ziehen* zu relevanten Effektstärken im Sinne einer Aktivitätszunahme.

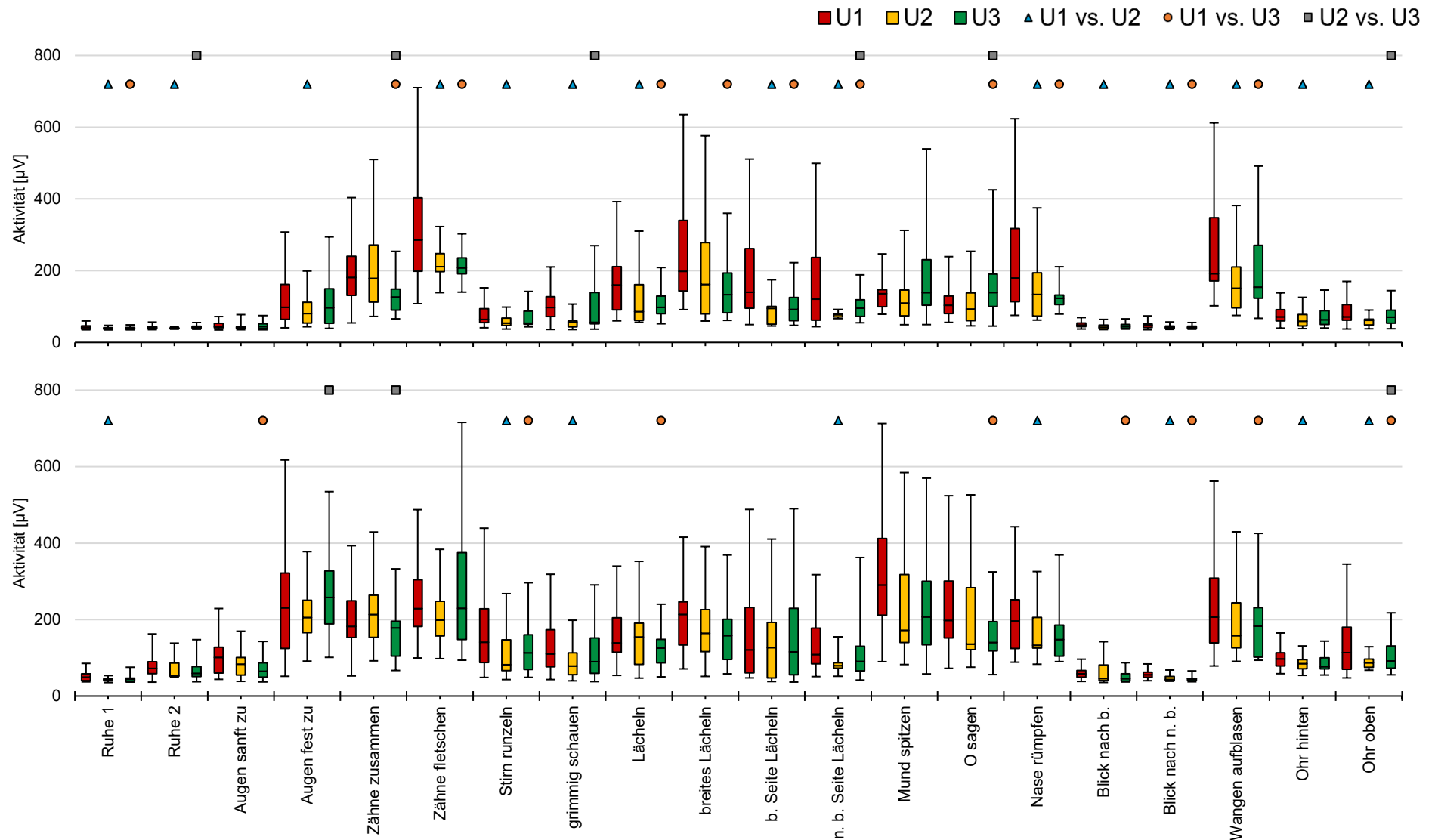


Abbildung 26 - Vergleich der OEMG-Aktivität des M. orbicularis oris zu drei Messzeitpunkten bei jeweils 20 Halteübungen

OEMG-Aktivität des M. orbicularis oris (oben: nicht betroffene Gesichtshälfte; unten: betroffene Gesichtshälfte) gemessen in µV zu den drei Messzeitpunkten (U1: rot, U2: gelb und U3: grün). Von links nach rechts sind 20 Halteübungen in der Reihenfolge ihrer Durchführung aufgetragen. Relevante Effektstärken für den paarweisen Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sind mit kleinen Dreiecken (U1 vs. U2), Kreisen (U1 vs. U3) und Quadraten (U2 vs. U3) über der jeweiligen Halteübung hervorgehoben.

Für den M. orbicularis oris sind in Abbildung 26 relevante Effektstärken und OEMG-Aktivitäten für alle drei Untersuchungszeitpunkte dargestellt. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte präsentierten die *Ruheübungen*, *sanfter Augenschluss* sowie der *Blick zur betroffenen und nicht betroffenen Seite* die niedrigsten Amplituden. Wiederum die höchsten Amplituden zeigten sich bei den Übungen *Zähne fletschen*, *breites Lächeln*, *Nase rümpfen* und *Wangen aufblasen*. Beim Vergleich zwischen U1 und U3 war für die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Nase rümpfen*, *Blick zur nicht betroffenen Seite* sowie *Wangen aufblasen* eine relevante Aktivitätsabnahme zu beobachten. Im Gegensatz dazu konnte beim *O sagen* eine relevante Effektstärke nachgewiesen werden, die für diesen Vergleich mit einer Aktivitätszunahme verbunden war. Für alle Übungen, bei denen für den Vergleich zwischen U1 und U2 relevante Effektstärken gezeigt werden konnten, zeigte sich eine Abnahme der Aktivität. Beim Vergleich von U2 zu U3 wurde eine relevante Aktivitätszunahme für die *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *grimmig schauen*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite*, *O sagen* und *Ohr nach oben ziehen* nachgewiesen.

Auf der betroffenen Gesichtshälfte zeigten die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)* sowie der *Blick zur nicht betroffenen Seite* die niedrigsten Amplituden. Die höchsten Amplituden konnten im Gegensatz dazu beim *festen Augenschluss*, *Zähne fletschen* und *Mund spitzen* nachgewiesen werden. Eine relevante Aktivitätsabnahme konnte für den Vergleich zwischen U1 und U3 für den *sanften Augenschluss*, *Stirn runzeln*, *Lächeln*, *O sagen*, *Nase rümpfen*, *Blick zur betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Wangen aufblasen* und *Ohr nach oben ziehen* aufgezeigt werden. Für die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite*, *Nase rümpfen*, *Blick zur nicht betroffenen Seite* sowie *Ohr nach hinten und oben ziehen* konnte für den Vergleich zwischen U1 und U2 eine bedeutende Abnahme der Aktivität beobachtet werden. Nur *fester Augenschluss* und *Ohr nach oben ziehen* zeigten relevante Aktivitätszunahmen beim Vergleich von U2 und U3, wohingegen es beim *Zähne zusammenbeißen* zu einer Abnahme der Aktivität kam.

5.2 Aktivitätsunterschiede der Muskulatur vor dem Training (U1) und zum Abschluss des Trainings (U3)

Auf den nachfolgenden Seiten wird sowohl der absolute Aktivitätsunterschied [μV] als auch die relative Aktivitätsdifferenz [%] für den Vergleich zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) sowohl auf der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte separat für jeden Muskel betrachtet. Außerdem findet die Beurteilung abhängig von den isometrischen Halteübungen und unter Berücksichtigung der Signifikanz ($p \leq 0,05$), welche durch ein Kreuz über der jeweiligen Übung markiert ist, statt. Bei einer Verschiebung des Boxplot in Richtung negativer Werte ist von einer stärkeren Aktivierung zum Zeitpunkt der Ausgangsuntersuchung auszugehen. Auch in diesem Abschnitt sind die isometrischen Halteübungen für eine bessere Übersichtlichkeit kursiv geschrieben. Für die statistische Auswertung der absoluten und relativen Differenzen wurde auf die Bonferroni-Korrektur verzichtet, weil für eine mögliche klinische Anwendung zur Beurteilung des Trainingseffektes einzelne Muskeln ausgewählt werden könnten und deswegen die Beurteilung des Aktivitätsmusters des Gesamtbesatzes an Elektroden keine Rolle spielt. Zur Beurteilung eines klinisch relevanten Effektes des Trainings auf eine Aktivitätsänderung im zeitlichen Verlauf wurden die im Kapitel 5.3 aufgeführten Tabellen (Tabelle 4 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Tabelle 5) in die Betrachtung mit einbezogen. In den nachfolgenden Kapiteln wird die Aktivitätsdifferenz, aufgeteilt nach extrinsischer (Kapitel 5.2.1), intrinsischer (Kapitel 5.2.2) aurikulärer Muskulatur sowie Gesichtsmuskulatur (Kapitel 5.2.3), aufgeführt.

5.2.1 Extrinsische Ohrmuskulatur

Im Folgenden werden in drei Abbildungen (Abbildung 27, Abbildung 28, Abbildung 29) die absoluten und relativen Aktivitätsunterschiede der extrinsischen aurikulären Muskulatur graphisch dargestellt. Auch bei der Analyse der Aktivitätsdifferenzen sind die zugrundeliegenden numerischen Werte der Graphiken in Kapitel 5.3 (Tabelle 4, Tabelle 5) hinterlegt. Aufgrund der Komplexität der Daten wurde ebenfalls die graphische Darstellung zur Präsentation der Ergebnisse gewählt.

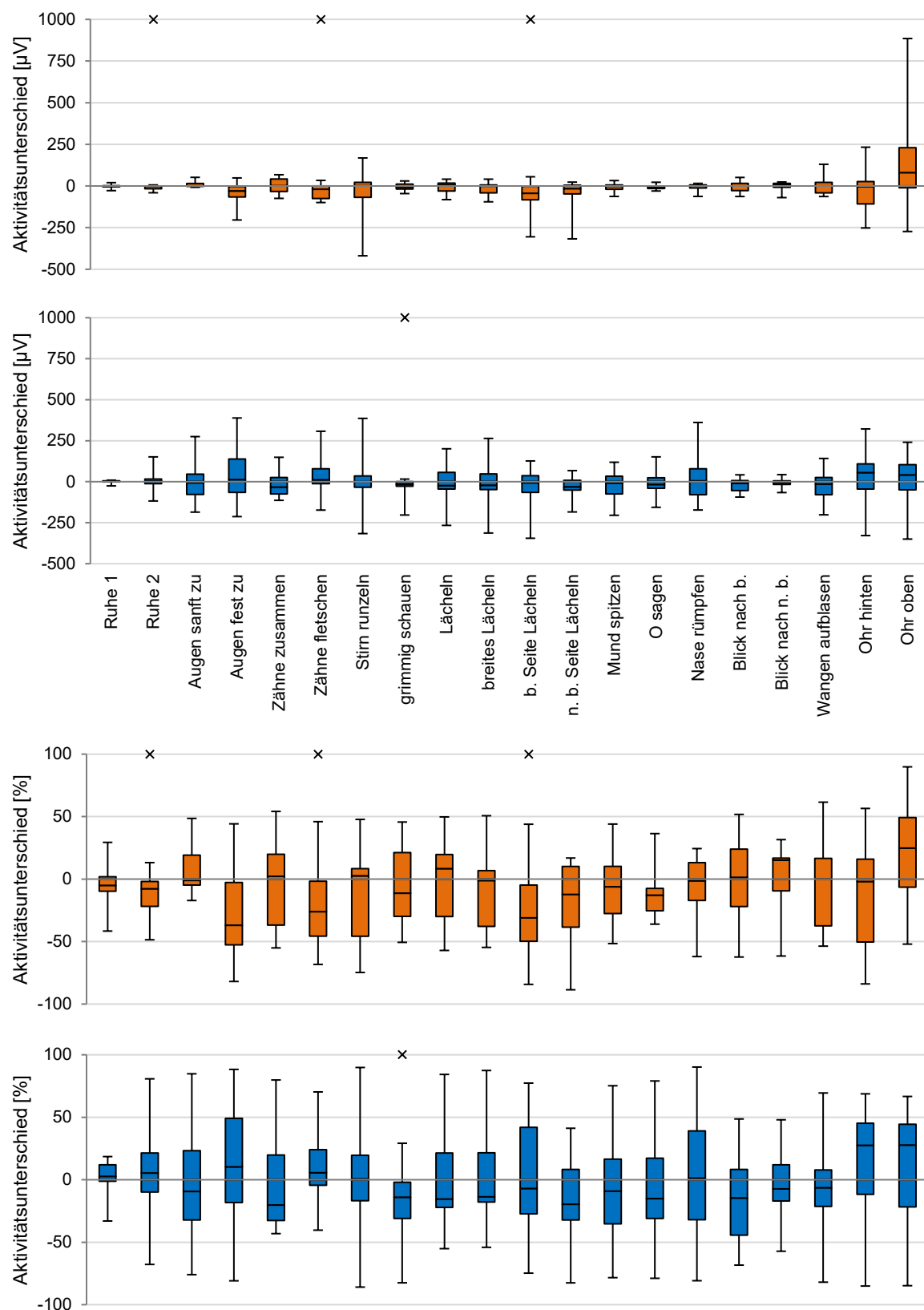


Abbildung 27 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. auricularis posterior**;
 × = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

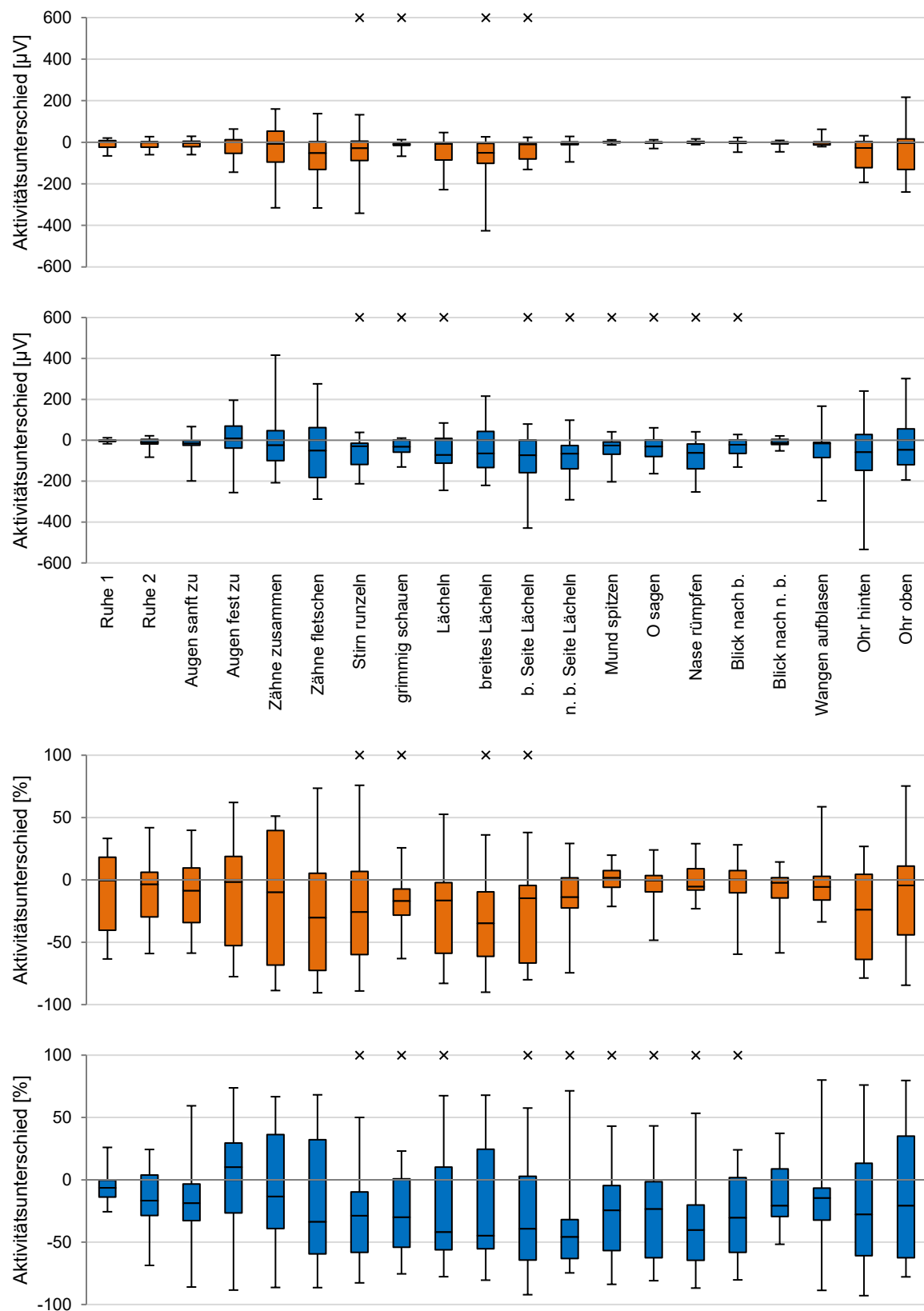


Abbildung 28 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. auricularis superior**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

Abbildung 27 stellt einen Vergleich zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) auf der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte mittels absoluter und relativer Differenz der Aktivität für den extrinsischen Ohrmuskel M. auricularis posterior dar. Die geringsten Aktivitätsänderungen traten seitenunabhängig bei den *Ruheübungen* auf. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte wiesen *grimmig schauen* und *Blick zur nicht betroffenen Seite* vergleichbar niedrige Aktivitätslevel auf. Nur für die *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *Zähne fletschen* und *Lächeln auf der betroffenen Seite* konnte auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte eine signifikante Aktivitätsabnahme im zeitlichen Verlauf festgestellt werden. *Grimmig schauen* war die einzige isometrische Halteübung, bei der auf der betroffenen Gesichtshälfte ein relevanter Unterschied zwischen Zeitpunkt U1 und U3 mit einer Aktivitätsabnahme nachgewiesen wurde. Insgesamt ließen sich für diesen Muskel wenige signifikante Aktivitätsdifferenzen sowohl auf der betroffenen als auch der nicht betroffenen Gesichtshälfte nachweisen.

Für den M. auricularis superior wurde in Abbildung 28 für die betroffene und nicht betroffene Gesichtshälfte unter Berücksichtigung der absoluten und relativen Aktivitätsunterschiede ein Vergleich zwischen den Untersuchungszeitpunkten U1 und U3 vorgenommen. Die interindividuellen Änderungen der Ansteuerungsintensität waren auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte beim *grimmig schauen*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen*, *Nase rümpfen*, *Blick zur betroffenen und nicht betroffenen Seite* und *Wangen aufblasen* am niedrigsten. Eine signifikante Aktivitätsabnahme konnte auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte für die Übungen *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln* und *Lächeln auf der betroffenen Seite* beobachtet werden. Für die betroffene Gesichtshälfte waren signifikante Differenzen im Sinne einer Aktivitätsabnahme zum Zeitpunkt U3 im Vergleich zu Zeitpunkt U1 für *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen*, *Nase rümpfen* sowie dem *Blick zur betroffenen Seite* nachweisbar.

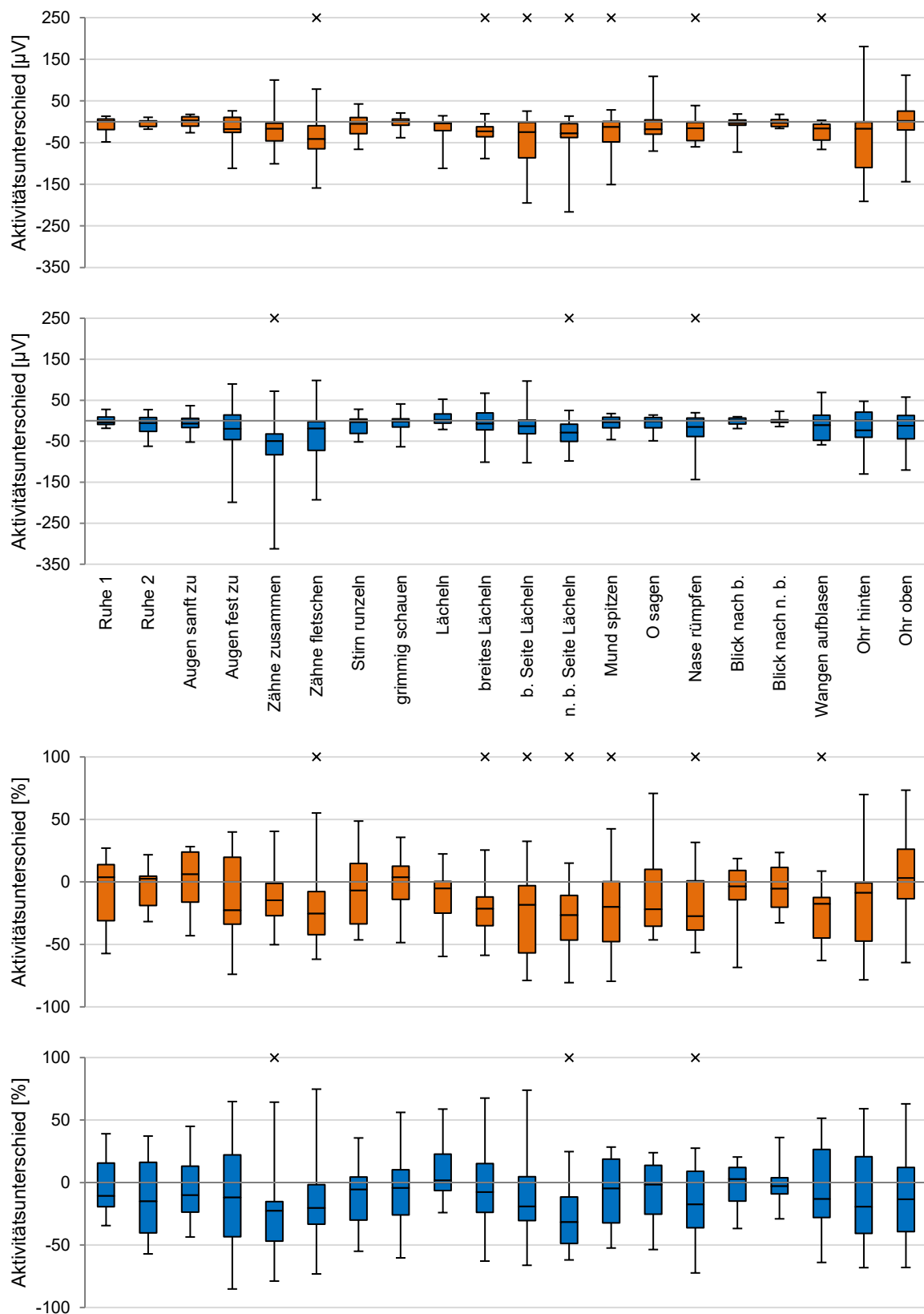


Abbildung 29 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. auricularis anterior**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

Für den Vergleich zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) auf der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte sind der absolute und relative Unterschied für den M. auricularis anterior abhängig von der isometrischen Halteübung in Abbildung 29 dargestellt. Die niedrigsten Änderungen der Aktivität zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten fielen seitenunabhängig beim *Blick auf die betroffene und nicht betroffene Seite* auf. Beim *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* konnte unabhängig von der Gesichtshälfte eine signifikante Aktivitätsabnahme im zeitlichen Verlauf gezeigt werden. Eine relevante Aktivitätsabnahme wiesen zusätzlich auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte die Übungen *Zähne fletschen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Gesichtshälfte*, *Mund spitzen* und *Wangen aufblasen* auf. Auf der betroffenen Gesichtshälfte konnte nur für *Zähne zusammenbeißen* und *Nase rümpfen* eine relevante Abnahme der Aktivität, außer der bereits oben erwähnten Aktivitätsabnahme beobachtet werden. Für die isometrische Halteübung *Nase rümpfen* zeigte sich signifikant auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte eine fehlende Aktivitätsänderung zwischen U1 und U3.

5.2.2 Intrinsische Ohrmuskulatur

Im Folgenden werden in vier Abbildungen (Abbildung 30, Abbildung 31, Abbildung 32, Abbildung 33) die absoluten und relativen Aktivitätsunterschiede der intrinsischen aurikulären Muskulatur graphisch dargestellt. Auch bei der Analyse der Aktivitätsdifferenzen sind die zugrundeliegenden numerischen Werte der Graphiken in Kapitel 5.3 (Tabelle 4, Tabelle 5) hinterlegt. Aufgrund der Komplexität der Daten wurde ebenfalls die graphische Darstellung zur Präsentation der Ergebnisse gewählt.

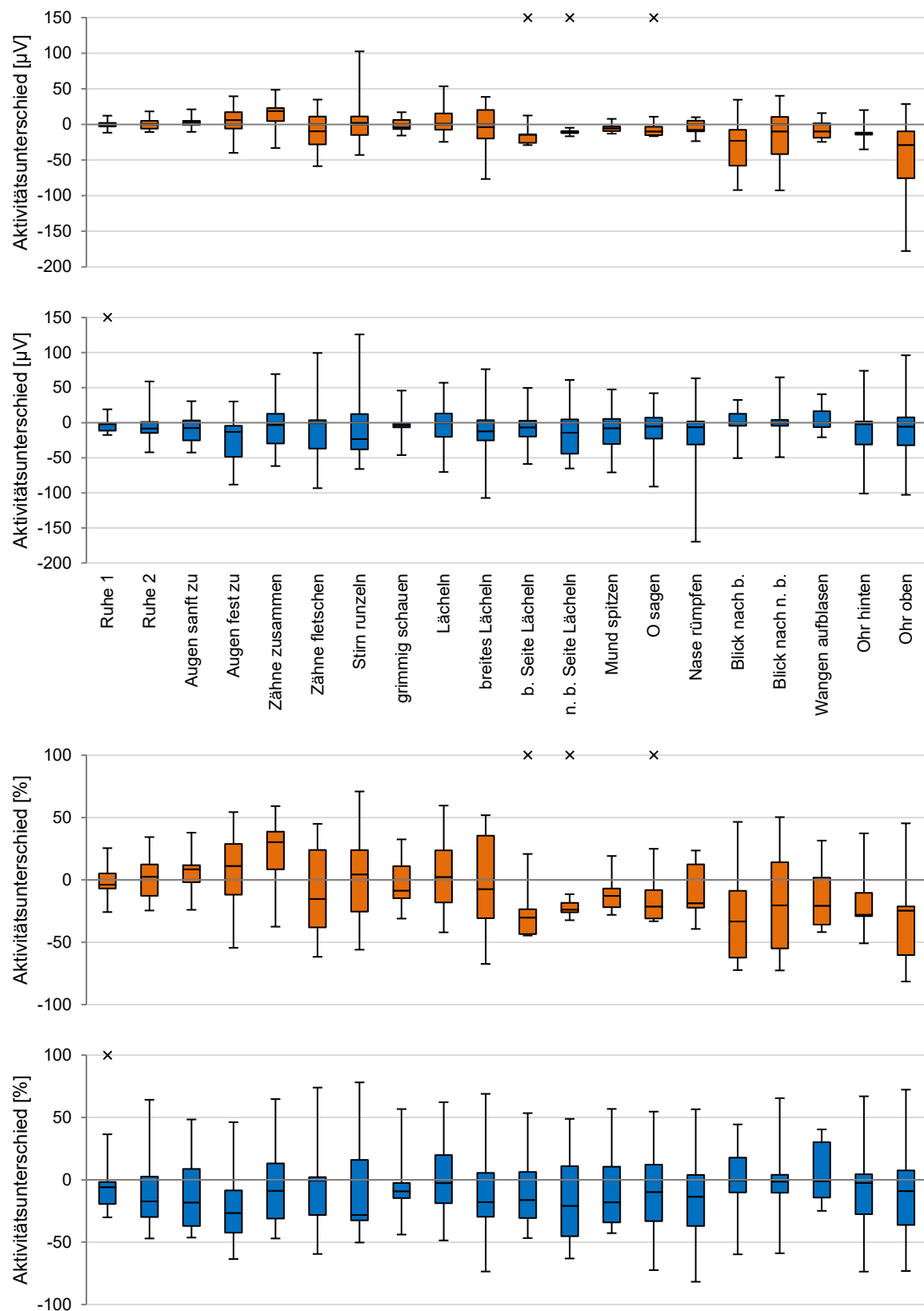


Abbildung 30 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. transversus auriculae**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

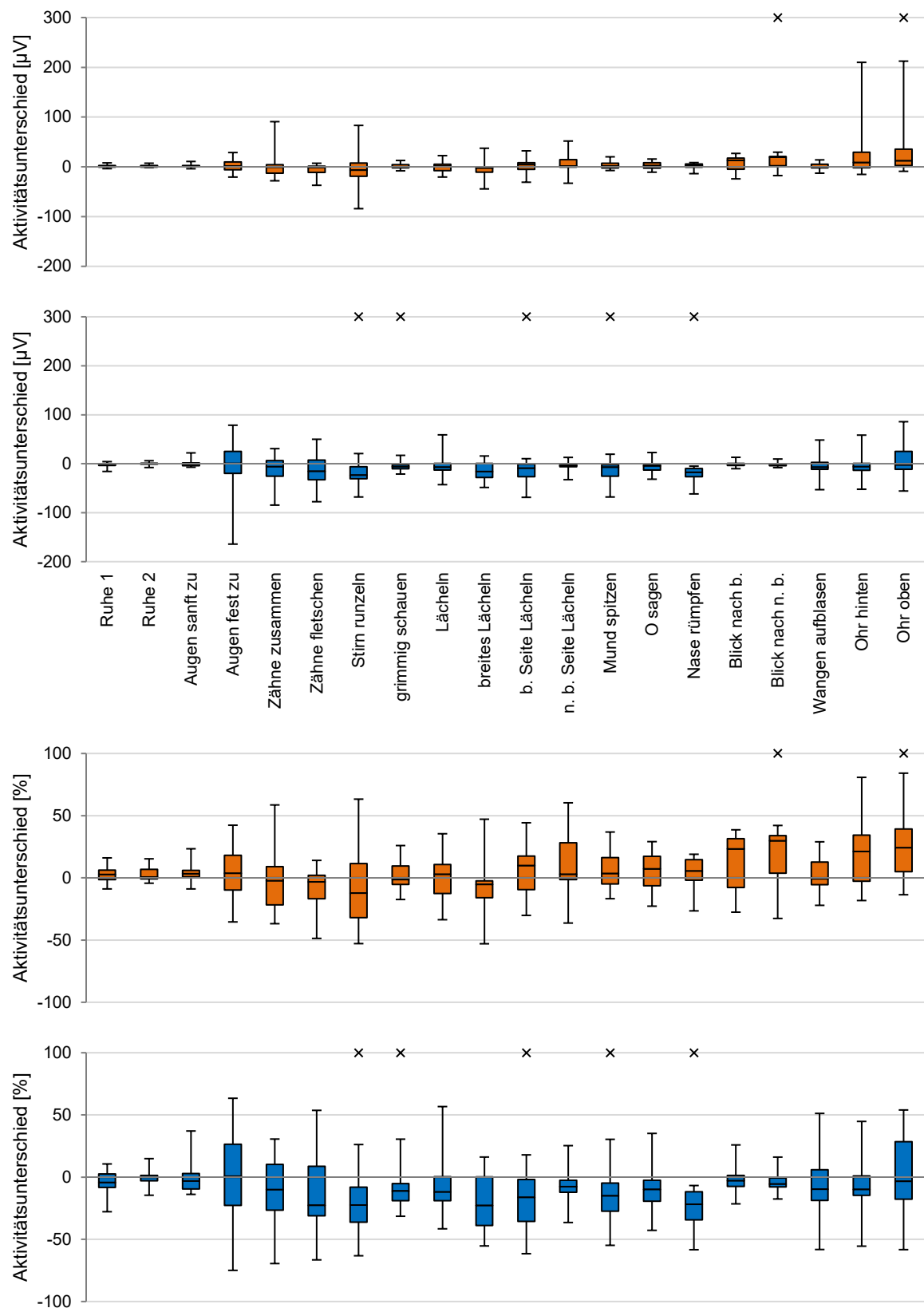


Abbildung 31 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. obliquus auriculae**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

Für den intrinsischen Ohrmuskel *M. transversus auriculae* sind in Abbildung 30 die absoluten und relativen Differenzen abhängig von der isometrischen Halteübung im Vergleich zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) für die betroffene und nicht betroffene Gesichtshälfte dargestellt. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte wiesen die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)*, *sanfter Augenschluss*, *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen* und *Ohr nach hinten ziehen* die niedrigsten Aktivitätsänderungen zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten auf. *Grimmig schauen* und *Blick zur nicht betroffenen Seite* zeigten die niedrigste Änderung der Ansteuerungsintensität auf der betroffenen Gesichtshälfte. Eine signifikante Aktivitätsabnahme konnte auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte im zeitlichen Verlauf für *Lächeln auf der betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* sowie *O sagen* festgestellt werden. Nur die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)* präsentierte auf der betroffenen Gesichtshälfte ein signifikantes Ergebnis für eine Abnahme der Aktivität zum Untersuchungszeitpunkt U3 im Vergleich zu U1.

In Abbildung 31 werden absolute und relative Aktivitätsdifferenzen für den Vergleich zwischen Untersuchungszeitpunkt U1 und U3 für beide Gesichtshälften beim *M. obliquus auriculae* visualisiert. Die Spannbreite der Aktivitätsänderung war seitenunabhängig bei den *Ruheübungen*, *sanfter Augenschluss* sowie *grimmig schauen* am niedrigsten. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte wiesen *Nase rümpfen* sowie *Wangen aufblasen* ähnlich niedrige Aktivitätsdifferenzen auf. Die isometrischen Halteübungen *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* sowie *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* zeigten auf der betroffenen Gesichtshälfte ebenfalls niedrige Änderungen der Aktivität im zeitlichen Verlauf. Bei diesem Muskel kam es im zeitlichen Verlauf auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zu einer signifikanten Aktivitätszunahme beim *Ohr nach oben ziehen*. Ein signifikantes Ergebnis für eine ausbleibende relevante Aktivitätsdifferenz trat beim *Blick zur nicht betroffenen Seite* auf. Bei den Übungen *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Mund spitzen* und *Nase rümpfen* konnte eine relevante Abnahme der Aktivität zum Zeitpunkt U3 auf der betroffenen Gesichtshälfte festgestellt werden.

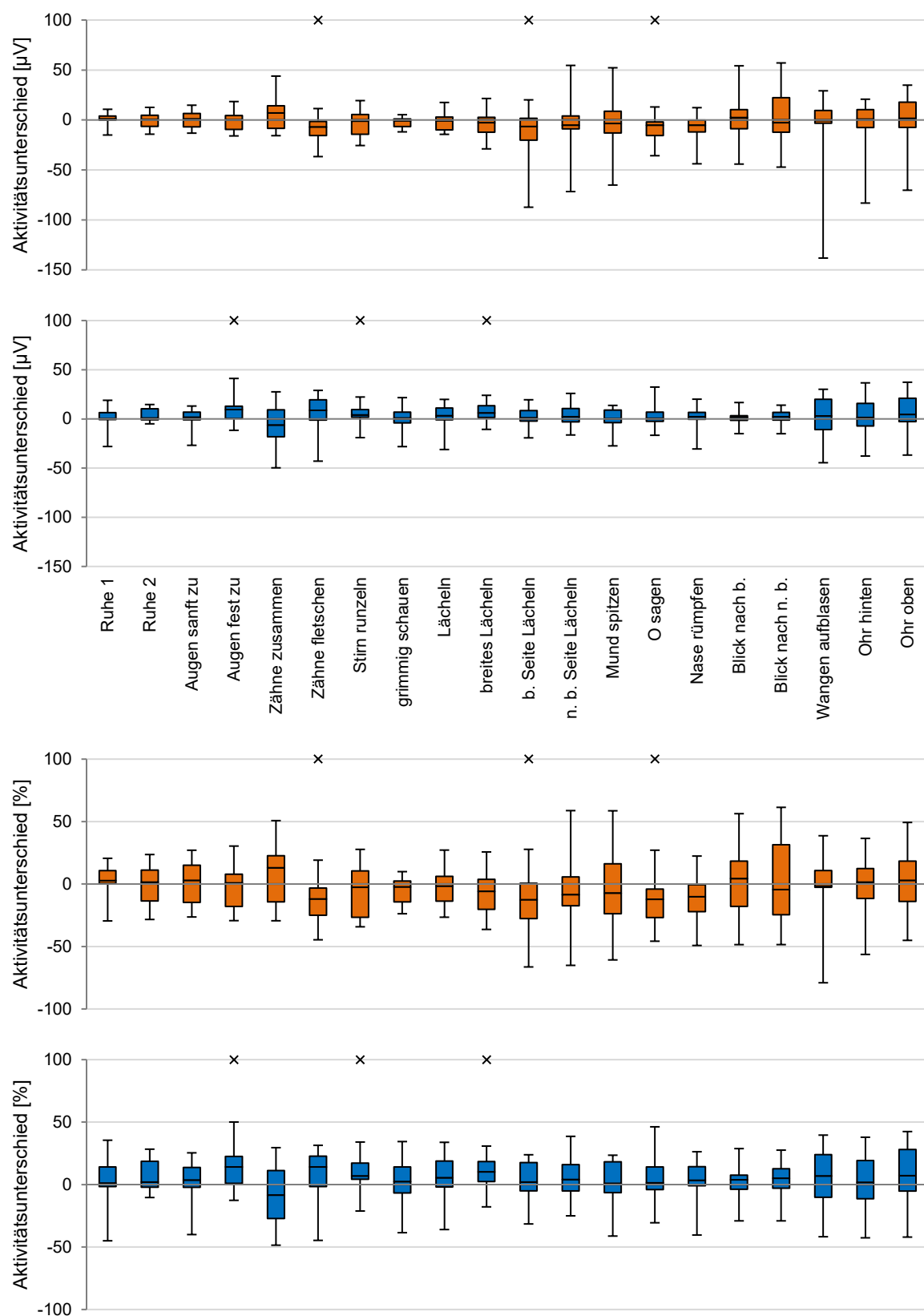


Abbildung 32 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. helicis major**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

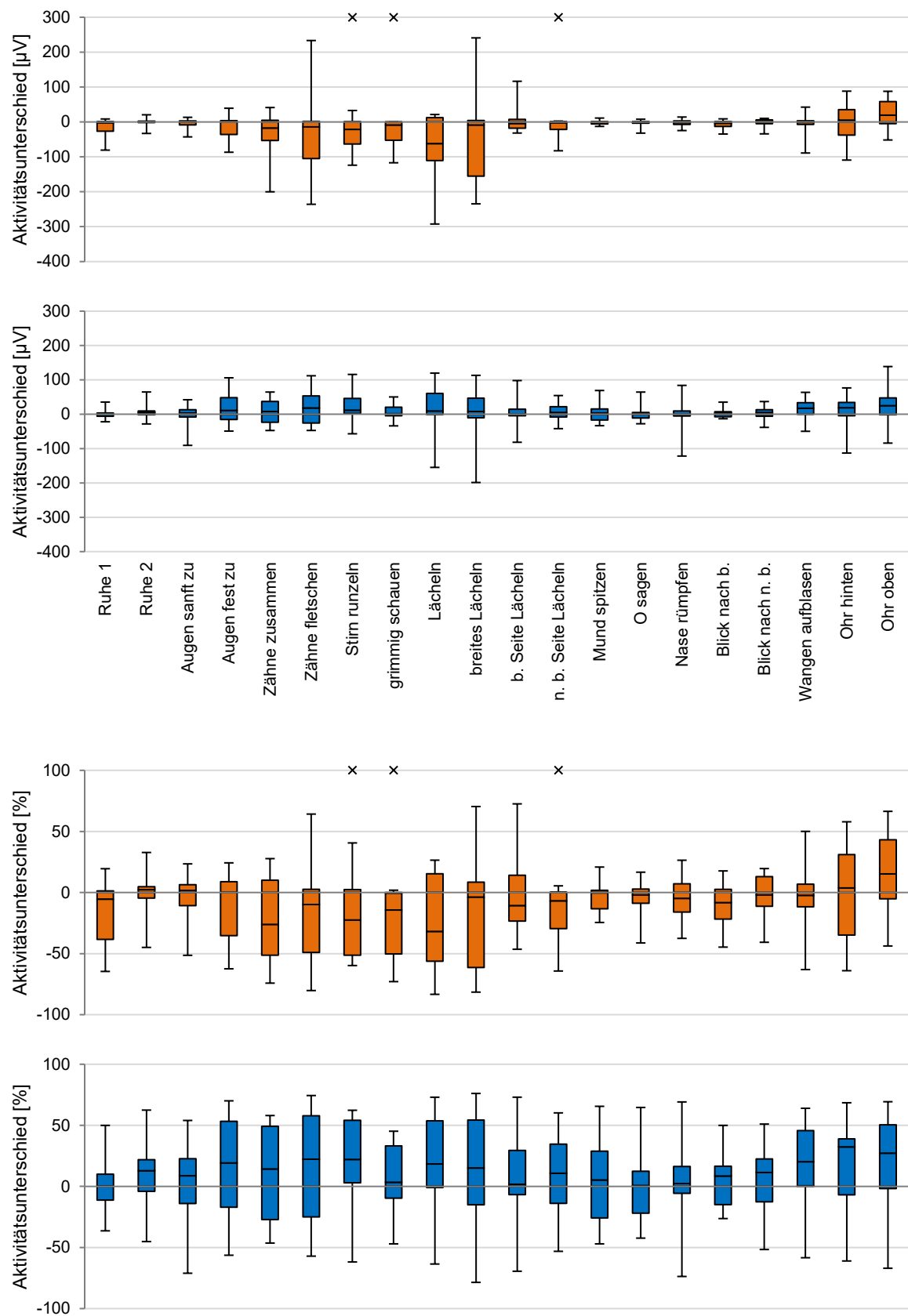


Abbildung 33 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. antitragicus**;
 × = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

Abbildung 32 zeigt den übungsabhängigen Vergleich zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) sowohl auf der betroffenen als auch der nicht betroffenen Gesichtshälfte anhand absoluter und relativer Aktivitätsdifferenz für den M. heliciis major. Die niedrigste Änderung der Aktivität wies seitenunabhängig die *Ruhemessung mit geöffneten Augen (Ruhe 1)* auf. Zusätzlich zeigten auf der betroffenen Gesichtshälfte die Übungen *Stirn runzeln*, *Nase rümpfen* sowie *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* ähnlich niedrige Aktivitätsdifferenzen. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte konnte für die isometrischen Halteübungen *Zähne fletschen* und *O sagen* eine relevante Aktivitätsabnahme für den Vergleich zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten nachgewiesen werden. Dahingegen konnte beim *Lächeln auf der betroffenen Seite* eine unzureichende Aktivitätsdifferenz signifikant gezeigt werden. Auf der betroffenen Gesichtshälfte kam es beim *breiten Lächeln* zu einer relevanten Aktivitätszunahme. Für die Übungen *fester Augenschluss* und *Stirn runzeln* ließ sich signifikant im zeitlichen Verlauf eine fehlende Aktivitätsänderung nachweisen.

Der Vergleich zwischen Untersuchungszeitpunkt U1 und U3 mittels absoluter und relativer Differenz der Aktivität des M. antitragicus ist abhängig von den isometrischen Halteübungen für die betroffene und nicht betroffene Gesichtshälfte in Abbildung 33 dargestellt. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zeigten die *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *sanfter Augenschluss*, *Mund spitzen*, *O sagen*, *Nase rümpfen*, *Blick zur nicht betroffenen Seite* sowie *Wangen aufblasen* die niedrigsten Änderungen der Ansteuerungsintensität. Die *Ruheübungen*, *O sagen*, *Nase rümpfen* und der *Blick zur betroffenen Seite* wiesen die geringsten interindividuellen Schwankungen der Aktivität auf der betroffenen Gesichtshälfte für diesen Muskel auf. Eine signifikante Abnahme der Aktivität konnte für *Stirn runzeln*, *grimmig schauen* und *Lächeln auf der nicht betroffenen Seite* im zeitlichen Verlauf auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte beobachtet werden. Auf der betroffenen Gesichtshälfte wurde keine signifikante Aktivitätsänderung festgestellt.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte der extrinsische M. auricularis anterior, mit sechs signifikanten Aktivitätsabnahmen, und auf der betroffenen Gesichtshälfte der extrinsische M. auricularis posterior, mit neun signifikanten Aktivitätsabnahmen, die aussagekräftigsten Muskeln für eine Aktivitätsänderung im Trainingsverlauf darstellen.

5.2.3 Gesichtsmuskulatur

Im Folgenden werden in zwei Abbildungen (Abbildung 34, Abbildung 35) die absoluten und relativen Aktivitätsunterschiede der Gesichtsmuskulatur graphisch dargestellt. Auch bei der Analyse der Aktivitätsdifferenzen sind die zugrundeliegenden numerischen Werte der Graphiken in Kapitel 5.3 (Tabelle 4, Tabelle 5) hinterlegt. Aufgrund der Komplexität der Daten wurde ebenfalls die graphische Darstellung zur Präsentation der Ergebnisse gewählt.

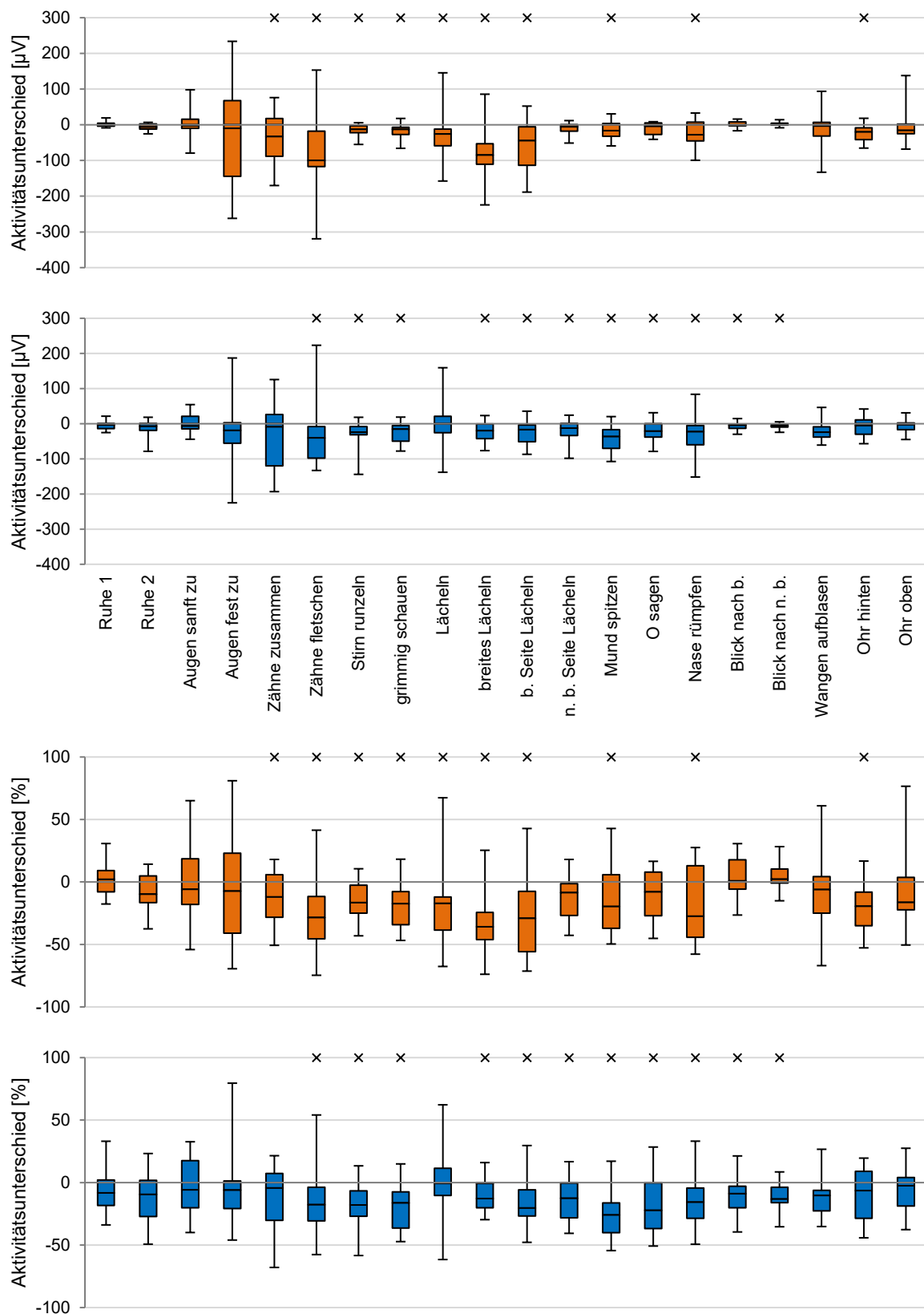


Abbildung 34 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. orbicularis oculi**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

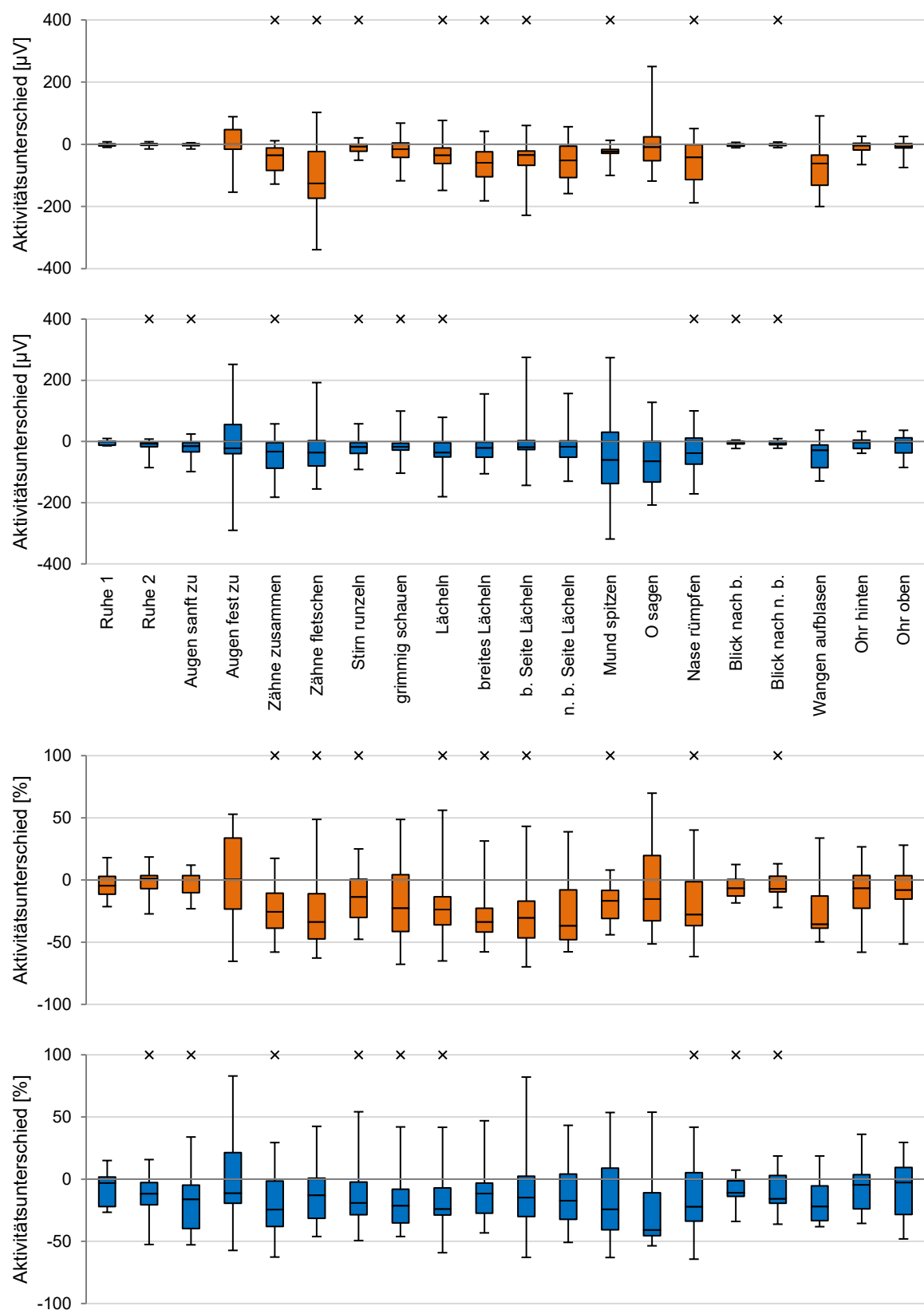


Abbildung 35 - absolute und relative Differenz beim Vergleich U1 zu U3 auf der nicht betroffenen (orange) und betroffenen (blau) Seite für den **M. orbicularis oris**;
 x = signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$)

Der M. orbicularis oculi ist in Abbildung 34 mit absoluten und relativen Aktivitätsunterschieden auf der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte für den Vergleich zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) gezeigt. Die niedrigsten Aktivitätsänderungen zeigten seitenunabhängig die *Ruheübungen* sowie der *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite*. Eine signifikante Abnahme der Aktivität beim Vergleich zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten konnte auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte beim *Zähne fletschen*, *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *Nase rümpfen* und *Ohr nach hinten ziehen* beobachtet werden. Zum Zeitpunkt U3 im Vergleich zur Eingangsuntersuchung kam es auf der betroffenen Gesichtshälfte beim *Stirn runzeln*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen* und *nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen*, *Nase rümpfen* sowie dem *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* zu einer relevanten Aktivitätsabnahme. *Zähne zusammenbeißen* und *Lächeln* zeigten auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte und *Zähne fletschen* auf der betroffenen Gesichtshälfte ein signifikantes Ergebnis für eine fehlende Aktivitätsänderung im zeitlichen Verlauf.

Abbildung 35 stellt den Vergleich zwischen Untersuchungszeitpunkt U1 und U3 unter Verwendung von absoluter und relativer Aktivitätsdifferenz für den M. orbicularis oris auf der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte dar. Für die *Ruheübungen*, *sanfter Augenschluss* und *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* konnten seitenunabhängig die geringsten Änderungen in der Ansteuerungsintensität aufgezeigt werden. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zeigten die isometrischen Halteübungen *Zähne zusammenbeißen*, *Zähne fletschen*, *Lächeln*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Nase rümpfen* sowie der *Blick zur nicht betroffenen Seite* eine relevante Aktivitätsabnahme im zeitlichen Verlauf. Für den Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung war auf der betroffenen Gesichtshälfte eine signifikante Aktivitätsabnahme für die Übungen *sanfter Augenschluss*, *Stirn runzeln*, *Lächeln* sowie dem *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* feststellbar. Ein ausbleibendes Auftreten relevanter Aktivitätsdifferenzen konnte auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte beim *Stirn runzeln* und *Mund spitzen* sowie auf der betroffenen Gesichtshälfte für die *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *Zähne zusammenbeißen*, *grimmig schauen* und *Nase rümpfen* beobachtet werden.

5.3 Zusammenfassende Darstellung der Effektstärken und Signifikanzen

Im folgenden Abschnitt sind die Effektstärken und Signifikanzen getrennt nach nicht betroffener (Tabelle 4) und betroffener (Tabelle 5) Gesichtshälfte dargestellt. Die Unterteilung erfolgt abhängig vom jeweiligen Muskel, der isometrischen Halteübung und dem Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten. Ist ein Feld grau unterlegt, konnte an dieser Stelle keine bedeutende Effektstärke festgestellt werden. Zur Visualisierung einer Aktivitätsabnahme sind Felder mit einer ES (Cohen's d) > 0,5 hellgrün und Felder mit einer ES (Cohen's d) > 1,0 dunkelgrün unterlegt. Die hellrot und dunkelrot unterlegten Felder stellen mit ihrer Färbung analog die entsprechenden Effektstärken dar, zeigen aber eine Aktivitätszunahme zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten an. Erscheint hinter einer Effektstärke ein schwarzes Kreuzchen, dann handelte es sich um ein signifikantes Ergebnis ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4 - Übersicht über Aktivitätszunahmen und -abnahmen anhand der Effektstärken und den dazugehörigen Signifikanzen beim Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten für sowohl alle Muskeln als auch alle durchgeführten isometrischen Halteübungen für die nicht betroffene Gesichtshälfte

[**hellgrün**: Aktivitätsabnahme bei ES > 0,5; **dunkelgrün**: Aktivitätsabnahme bei ES > 1,0; **hellrot**: Aktivitätszunahme bei ES > 0,5; **dunkelrot**: Aktivitätszunahme bei ES > 1,0; * = signifikantes Ergebnis ($p \leq 0,05$)]

	M. aur. post.	M. aur. sup.	M. aur. ant.	M. trans. aur.	M. obl. aur.	M. hel. major	M. antitra.	M. orb. oculi	M. orb. oris
Ruheübung mit geöffneten Augen									
U1 vs. U2	0,715	0,878	1,308	0,680	0,063	0,720	0,852	0,868	0,735
U2 vs. U3	0,362	0,385	0,893	0,682	0,250	0,810	0,285	1,135	0,236
U1 vs. U3	0,237	0,659	0,876	0,014	0,215	0,033	0,729	0,232	0,534
Ruheübung mit geschlossenen Augen									
U1 vs. U2	1,050	0,622	1,154 *	0,671	0,465	0,658 *	0,213	0,748	0,601
U2 vs. U3	0,039 *	0,091	0,239	0,530	0,128	0,848	0,493	0,234	0,737
U1 vs. U3	1,030 *	0,553	0,927	0,221	0,587	0,145	0,242	0,643	0,061
sanfter Augenschluss									
U1 vs. U2	0,975	0,473	0,780	0,794	0,011	1,082 *	0,807	0,493	0,183
U2 vs. U3	0,845	0,025	0,319	0,334	0,462	0,734	0,934	0,630	0,114
U1 vs. U3	0,332	0,454	0,463	0,649	0,606	0,297	0,102	0,202	0,071
fester Augenschluss									
U1 vs. U2	1,194 *	0,481	1,286 *	0,358	0,586	0,514	0,232	0,032	0,560
U2 vs. U3	0,664	0,409	0,156	0,168	0,545	0,540	0,164	0,100	0,399
U1 vs. U3	0,890	0,736	1,233	0,241	0,153	0,051	0,074	0,149	0,189

	M. aur. post.	M. aur. sup.	M. aur. ant.	M. trans. aur.	M. obl. aur.	M. hel. major	M. antitra.	M. orb. oculi	M. orb. oris
Zähne zusammenbeißen									
U1 vs. U2	0,115	0,364	0,275	0,442	0,458	1,051	0,645 *	0,234 *	0,159 *
U2 vs. U3	0,319	0,300	0,024	0,197	0,006	0,417	0,065	0,523 *	0,875 *
U1 vs. U3	0,228	0,591	0,333	0,335	0,384	0,612	0,578	0,277 *	0,881 *
Zähne fletschen									
U1 vs. U2	1,115 *	0,749 *	1,568 *	0,015	0,525	0,517	0,483	0,829	0,962 *
U2 vs. U3	0,119 *	0,264	0,904 *	0,333	0,195	0,232 *	0,149	0,144 *	0,128
U1 vs. U3	1,068 *	0,905	0,714 *	0,328	0,350	0,730 *	0,324	0,860 *	1,022 *
Stirn runzeln									
U1 vs. U2	0,490 *	0,704 *	1,230 *	0,112	0,733	0,017	1,273	0,840 *	0,621
U2 vs. U3	0,267	0,061 *	0,621	0,099	0,614	0,148	1,072 *	0,019 *	0,390 *
U1 vs. U3	0,216	0,676 *	0,766	0,234	0,196	0,135	0,838 *	0,970 *	0,174 *
grimmig schauen									
U1 vs. U2	0,937 *	0,016 *	1,206	0,295	0,104	0,146	1,135	1,201 *	1,391 *
U2 vs. U3	0,322	0,795 *	0,588	0,191	0,497	0,623	0,186 *	0,604 *	0,837
U1 vs. U3	0,656	1,076 *	0,973	0,068	0,479	0,510	1,101 *	0,766 *	0,298
Lächeln									
U1 vs. U2	0,597	0,723 *	1,436 *	0,147	0,644	0,457	0,710	0,669 *	0,761
U2 vs. U3	0,218	0,616	0,789	0,491	0,823	0,217	0,149	0,287 *	0,070 *
U1 vs. U3	0,478	1,072	0,827	0,347	0,234	0,239	0,746	0,447 *	0,756 *
breites Lächeln									
U1 vs. U2	0,393	0,629 *	1,571 *	0,318	0,990	0,775	0,784	1,224 *	0,414 *
U2 vs. U3	0,197	0,739 *	0,639 *	0,238	0,696	0,266	0,525	0,132 *	0,438 *
U1 vs. U3	0,644	1,172 *	1,146 *	0,103	0,117	0,389	0,201	1,162 *	0,923 *
Lächeln auf der betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,541 *	0,535	1,102	0,829	0,125	0,652	0,469	1,116 *	1,138 *
U2 vs. U3	0,550 *	0,529 *	0,404 *	0,310 *	0,500	0,308 *	0,257	0,298 *	0,276 *
U1 vs. U3	0,963 *	1,032 *	0,786 *	1,275 *	0,288	0,265 *	0,529	0,932 *	0,974 *
Lächeln auf der nicht betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,800 *	0,512	1,220 *	0,165	0,478	0,530	0,689	0,899	1,016
U2 vs. U3	0,234	0,427	0,181 *	0,534 *	0,949	0,599	0,124 *	0,367	0,929
U1 vs. U3	0,607	0,108	1,125 *	1,251 *	0,338	0,167	0,576 *	0,605	0,747
Mund spitzen									
U1 vs. U2	0,402 *	0,073	1,021 *	0,205	0,000	0,620	0,881	1,108 *	0,187 *
U2 vs. U3	0,528	0,528	0,465 *	0,713	0,456	0,439	0,875	0,741	0,477 *
U1 vs. U3	0,801	0,455	0,753 *	0,835	0,547	0,164	0,006	0,718 *	0,388 *
O sagen									
U1 vs. U2	0,113	0,057	0,882	0,026	0,084	0,604	0,992 *	0,619	0,250
U2 vs. U3	0,557	0,567	0,685	0,896 *	0,606	0,309 *	1,070	0,295	0,718
U1 vs. U3	0,568	0,543	0,329	1,057 *	0,671	0,804 *	0,151	0,450	0,544

	M. aur. post.	M. aur. sup.	M. aur. ant.	M. trans. aur.	M. obl. aur.	M. hel. major	M. antitra.	M. orb. oculi	M. orb. oris
Nase rümpfen									
U1 vs. U2	0,075	0,152	1,029 *	0,701	0,121	0,452	0,888	0,622	0,778 *
U2 vs. U3	0,440	0,041	0,597 *	0,257	0,324	0,223	1,130	0,028	0,203 *
U1 vs. U3	0,376	0,189	0,460 *	0,868	0,237	0,584	0,447	0,649 *	0,997 *
Blick zur betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,175 *	0,060	1,224	0,045	0,545	0,409	0,540	0,914	0,899
U2 vs. U3	0,238	0,296	1,043	0,862	1,266	0,751	0,190	1,045	0,423
U1 vs. U3	0,404	0,428	0,006	0,822	0,211	0,468	0,384	0,477	0,481
Blick zur nicht betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,613	0,453	1,028	0,220	0,060	0,083	0,275	0,913	0,743
U2 vs. U3	0,518	0,707	0,956	0,651	0,334 *	0,441	0,102	1,253	0,001 *
U1 vs. U3	0,768	0,441	0,357	0,476	0,408 *	0,492	0,356	0,082	0,744 *
Wangen aufblasen									
U1 vs. U2	0,174 *	0,246	0,631	0,258	0,085	0,461	0,324	0,444	0,733 *
U2 vs. U3	0,045	0,058	0,242 *	0,487	0,433	0,050	0,346	0,006	0,233
U1 vs. U3	0,137	0,285	0,884 *	0,751	0,200	0,473	0,604	0,446	0,514
Ohr nach hinten ziehen									
U1 vs. U2	0,318	0,501	1,113	0,479	0,546	0,323	0,087	1,090 *	0,773
U2 vs. U3	0,266	0,389	0,532	0,581	0,430	0,431	0,385	0,463 *	0,289
U1 vs. U3	0,023	0,923	0,684	0,228	0,996	0,126	0,397	0,681 *	0,441
Ohr nach oben ziehen									
U1 vs. U2	0,930	0,303	0,453	0,025	0,421	0,057	0,786	0,277	0,990 *
U2 vs. U3	0,470	0,114	0,381	0,847	0,887 *	0,369	0,297	0,261	0,659
U1 vs. U3	0,913	0,394	0,095	0,961	1,163 *	0,292	1,155	0,032	0,363

In Tabelle 4 sind die Effektstärken und Signifikanzen pro isometrischer Halteübung in Abhängigkeit vom Muskel für den Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte dargestellt. Für den Vergleich zwischen U1 und U2 zeigten insgesamt 90 von 180 (50,0 %) aller möglichen Kombinationen von Muskel und isometrischer Halteübung eine relevante Aktivitätsabnahme, 14 von 180 (7,8 %) eine bedeutende Zunahme der Aktivität und bei 76 von 180 (42,2 %) konnte keine bedeutsame Effektstärke für eine Veränderung der Aktivität registriert werden. Beim Vergleich von U2 zu U3 konnte eine wesentliche Aktivitätsabnahme bei 30 von 180 (16,7 %), eine relevante Zunahme der Aktivität für 37 von 180 (20,5 %) und bei 113 von 180 (62,8 %) keine bedeutende Aktivitätsänderung nachgewiesen werden. Für den Vergleich von U1 zu U3 kam es bei 74 von 180 (41,1 %) aller möglichen Vergleiche zu ausschlaggebenden Aktivitätsabnahmen, 12 von 180 (6,7 %) wiesen eine bedeutende Aktivitätszunahme auf und 94 von 180 (52,2 %) zeigten keine

maßgebende Änderung der Aktivität. Insgesamt waren 127 von 540 (23,5 %) aller registrierten Effektstärken auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte signifikant. Anhand von Tabelle 4 konnte exemplarisch für den extrinsischen M. auricularis posterior beim *Zähne fletschen* (Cohen's d = 1,068) eine signifikante Aktivitätsabnahme für den Vergleich zwischen U1 und U3 gezeigt werden. Beim M. orbicularis oculi waren die Übungen *Zähne fletschen* (Cohen's d = 0,860), *breites Lächeln* (Cohen's d = 1,162), *Lächeln auf der betroffenen Seite* (Cohen's d = 0,932) und *Mund spitzen* (Cohen's d = 0,718) am aussagekräftigsten für eine relevante Aktivitätsabnahme. Auch für den M. orbicularis oris konnte anhand der isometrischen Halteübungen *Zähne fletschen* (Cohen's d = 1,022), *Nase rümpfen* (Cohen's d = 0,997) und dem *Blick zur nicht betroffenen Seite* (Cohen's d = 0,744) signifikante Aktivitätsabnahmen zwischen U1 und U3 nachgewiesen werden. Zusammenfassend konnte für den Vergleich von U1 zu U2 eine vermehrte Aktivitätsabnahme und beim Vergleich von U2 zu U3 eher eine Aktivitätszunahme bei allen Gegenüberstellungen von Muskel und Gesichtsbewegung beobachtet werden. Insgesamt resultieren beim Vergleich von U1 zu U3 überwiegend Aktivitätsabnahmen.

Tabelle 5 - Übersicht über Aktivitätszunahmen und -abnahmen anhand der Effektstärken und den dazugehörigen Signifikanzen beim Vergleich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten für sowohl alle Muskeln als auch alle durchgeführten isometrischen Halteübungen für die betroffene Gesichtshälfte

[**hellgrün:** Aktivitätsabnahme bei ES > 0,5; **dunkelgrün:** Aktivitätsabnahme bei ES > 1,0; **hellrot:** Aktivitätszunahme bei ES > 0,5; **dunkelrot:** Aktivitätszunahme bei ES > 1,0; * = signifikantes Ergebnis (p ≤ 0,05)]

	M. aur. post.	M. aur. sup.	M. aur. ant.	M. trans. aur.	M. obl. aur.	M. hel. major	M. antitra.	M. orb. oculi	M. orb. oris
Ruheübung mit geöffneten Augen									
U1 vs. U2	1,095	0,597	0,140	0,989	0,268	0,204	0,403	1,031	0,830
U2 vs. U3	1,027	1,001	0,303	0,697 *	0,484	0,042	0,488	0,731	0,385
U1 vs. U3	0,256	0,708	0,222	0,518 *	0,540	0,158	0,117	0,502	0,270
Ruheübung mit geschlossenen Augen									
U1 vs. U2	0,222	0,138	0,066	0,940	0,703	0,044	0,336	0,705 *	0,334
U2 vs. U3	0,253	0,107	0,439	0,722	0,280	0,292	0,145	0,193	0,104 *
U1 vs. U3	0,008	0,243	0,562	0,363	0,509	0,279	0,463	0,867	0,445 *
sanfter Augenschluss									
U1 vs. U2	0,435	0,249	0,215	0,888	0,882	0,029	0,615	0,712	0,376
U2 vs. U3	0,302	0,252	0,005	0,158	0,565	0,181	1,188	0,509	0,467 *
U1 vs. U3	0,105	0,446	0,236	0,970	0,189	0,153	0,227	0,087	0,817 *

	M. aur. post.	M. aur. sup.	M. aur. ant.	M. trans. aur.	M. obl. aur.	M. hel. major	M. antitra.	M. orb. oculi	M. orb. oris
fester Augenschluss									
U1 vs. U2	0,368	0,639 *	0,804 *	0,799	0,897	0,065	0,966	0,914 *	0,202
U2 vs. U3	0,462	0,639	0,512	0,481	0,848	0,243 *	0,127	0,475	0,519
U1 vs. U3	0,123	0,188	0,398	1,093	0,325	0,151 *	0,743	0,549	0,232
Zähne zusammenbeißen									
U1 vs. U2	0,138	0,238	0,536	0,511	0,252	0,181	1,121	0,087	0,245
U2 vs. U3	0,293	0,133	0,236 *	0,168	0,312	0,502	0,660	0,147	0,549 *
U1 vs. U3	0,049	0,094	0,711 *	0,394	0,637	0,399	0,566	0,220	0,367 *
Zähne fletschen									
U1 vs. U2	0,546	0,204	0,068	1,075	0,626	0,117	0,595	0,690	0,467
U2 vs. U3	0,756	0,056	0,482	1,621	0,011	0,114	0,474	0,167	0,460
U1 vs. U3	0,065	0,218	0,582	0,042	0,674	0,262	0,166	0,439 *	0,061
Stirn runzeln									
U1 vs. U2	0,386	0,952	0,387	1,014	0,513	0,280	0,947	1,546 *	0,708
U2 vs. U3	0,222	0,110 *	0,256	0,770	0,471 *	0,343 *	0,067	0,454 *	0,230 *
U1 vs. U3	0,161	0,780 *	0,117	0,369	1,507 *	0,001 *	0,741	1,223 *	0,533 *
grimmig schauen									
U1 vs. U2	0,632 *	0,850 *	0,337	0,377	0,753	0,389	0,043	0,889 *	0,773 *
U2 vs. U3	0,198 *	0,441	0,091	0,100	0,075 *	0,163	0,095	0,160 *	0,391 *
U1 vs. U3	0,771 *	1,214 *	0,244	0,300	0,812 *	0,287	0,047	0,808 *	0,337 *
Lächeln									
U1 vs. U2	0,797	0,888 *	0,287	1,099	0,324	0,335	0,249	0,956	0,232
U2 vs. U3	0,892	0,247	0,298	1,196	0,075	0,399	0,302	0,948	0,424 *
U1 vs. U3	0,307	0,681 *	0,055	0,323	0,275	0,020	0,015	0,121	0,670 *
breites Lächeln									
U1 vs. U2	0,682	0,893	0,619	0,836	0,364	0,590	0,227	0,526	0,245
U2 vs. U3	0,570	0,439	0,443	0,027	0,164	0,040 *	0,514	0,076 *	0,101
U1 vs. U3	0,338	0,247	0,188	0,812	0,738	0,816 *	0,213	0,710 *	0,355
Lächeln auf der betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,320	0,318 *	0,147	0,088	0,527	0,195	0,510	0,415 *	0,165
U2 vs. U3	0,097	0,243 *	0,414	0,673	0,293 *	0,095	0,278	0,337 *	0,191
U1 vs. U3	0,223	0,544 *	0,277	0,551	0,785 *	0,107	0,218	0,688 *	0,050
Lächeln auf der nicht betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,373	0,988	1,840 *	1,182	0,790	0,409	0,194	0,966 *	0,947 *
U2 vs. U3	0,203	0,120 *	0,625 *	0,636	0,137	0,223	0,273	0,543 *	0,496
U1 vs. U3	0,552	0,922 *	1,149 *	0,648	0,690	0,695	0,077	0,513 *	0,272
Mund spitzen									
U1 vs. U2	0,638 *	0,729 *	0,256	0,708	0,496	0,365	0,092	0,743 *	0,466
U2 vs. U3	0,361	0,059 *	0,251	0,250	0,174 *	0,125	0,103	0,378 *	0,090
U1 vs. U3	0,303	0,603 *	0,002	0,534	0,672 *	0,252	0,192	1,067 *	0,356

	M. aur. post.	M. aur. sup.	M. aur. ant.	M. trans. aur.	M. obl. aur.	M. hel. major	M. antitra.	M. orb. oculi	M. orb. oris
O sagen									
U1 vs. U2	0,160	0,825 *	0,168	0,719	0,172	0,214	0,253	0,340 *	0,260
U2 vs. U3	0,056	0,055 *	0,240	0,277	0,523	0,454	0,189	0,251 *	0,410 *
U1 vs. U3	0,093	0,863 *	0,102	0,527	0,399	0,240	0,373	0,605 *	0,733
Nase rümpfen									
U1 vs. U2	0,438 *	1,075 *	0,249	0,798	0,963	0,648	0,049	1,155 *	0,563
U2 vs. U3	0,313	0,418 *	0,408 *	0,155	0,481 *	0,477	0,030	0,341 *	0,140
U1 vs. U3	0,153	1,327 *	0,663 *	0,668	1,957 *	0,200	0,020	0,788 *	0,366 *
Blick zur betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,299 *	0,825 *	0,113	0,171	0,238	0,160 *	0,242	1,313 *	0,030
U2 vs. U3	0,235	0,161 *	0,113	0,024	0,317	0,152	0,377	0,607	0,443 *
U1 vs. U3	0,563	0,975 *	0,003	0,142	0,568	0,297	0,195	0,637 *	0,568 *
Blick zur nicht betroffenen Seite									
U1 vs. U2	0,319	0,710	0,074	0,033	0,475	0,315	0,073	1,332 *	0,908
U2 vs. U3	0,032	0,023	0,076	0,114	0,214	0,158	0,253	0,195 *	0,162 *
U1 vs. U3	0,297	0,749	0,002	0,148	0,180	0,151	0,175	1,088 *	1,063 *
Wangen aufblasen									
U1 vs. U2	0,435	0,898	0,452	0,467	0,597	0,268	0,312	0,717 *	0,172
U2 vs. U3	0,180	0,131	0,697	0,047	0,207	0,060	0,254	0,153	0,355
U1 vs. U3	0,267	0,834	0,234	0,471	0,403	0,258	0,458	0,657	0,650
Ohr nach hinten ziehen									
U1 vs. U2	0,402	0,493	0,395	0,444	0,074	0,310	0,265	1,178 *	0,527
U2 vs. U3	0,086	0,095	0,205	0,070	0,139	0,410	0,255	0,796	0,015
U1 vs. U3	0,320	0,388	0,553	0,387	0,099	0,138	0,081	0,052	0,485
Ohr nach oben ziehen									
U1 vs. U2	0,112	0,475	0,603	0,925	0,260	0,260	0,328	1,084	0,879
U2 vs. U3	0,089	0,335	0,263	0,549	0,201	0,579	0,175	0,744	0,569
U1 vs. U3	0,196	0,086	0,379	0,337	0,453	0,333	0,176	0,373	0,533

Auf der betroffenen Gesichtshälfte sind die, für die Vergleiche zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten, aufgetretenen Effektstärken und Signifikanzen bei jedem Muskel zu jeder Gesichtsbewegung in Tabelle 5 aufgelistet. Beim Vergleich von U1 zu U2 konnte eine relevante Aktivitätsabnahme bei 70 von 180 (38,9 %), eine bedeutende Zunahme der Aktivität bei 9 von 180 (5,0 %) und keine maßgebende Aktivitätsänderung bei 101 von 180 (56,1 %) aller möglichen Kombinationen vom jeweiligen Muskel und der entsprechenden isometrischen Halteübung nachgewiesen werden. Für den Vergleich zwischen U2 und U3 wiesen 10 von 180 (5,6 %) der möglichen Vergleiche eine bedeutsame Abnahme der Aktivität, 25 von 180 (13,9 %)

eine ausschlaggebende Aktivitätszunahme und 145 von 180 (80,5 %) keine relevante Aktivitätsänderung auf. Beim Vergleich von U1 zu U3 fand eine relevante Aktivitätsabnahme bei 64 von 180 (35,5 %), eine bedeutsame Zunahme der Aktivität bei 5 von 180 (2,8 %) und keine maßgebende Änderung der Aktivität bei 111 von 180 (61,7 %) statt. 110 von 540 (20,4 %) aller Effektstärken zeigten auf der betroffenen Gesichtshälfte ein signifikantes Ergebnis. Mittels Tabelle 5 konnte beispielhaft für den extrinsischen M. auricularis posterior beim grimmig schauen (Cohen's $d = 0,771$) eine signifikante Aktivitätsabnahme beim Vergleich von U1 und U3 festgestellt werden. Beim M. orbicularis oculi zeigten die Übungen breites Lächeln (Cohen's $d = 0,710$) und Mund spitzen (Cohen's $d = 1,067$) relevante Aktivitätsabnahmen. Auch für den M. orbicularis oris konnte anhand der isometrischen Halteübungen sanfter Augenschluss (Cohen's $d = 0,817$), Stirn runzeln (Cohen's $d = 0,533$) sowie dem Blick zur betroffenen (Cohen's $d = 0,568$) und nicht betroffenen Seite (Cohen's $d = 1,063$) signifikante Aktivitätsabnahmen zwischen U1 und U3 nachgewiesen werden. Auch auf der betroffenen Gesichtshälfte ist eine ähnliche, weniger stark ausgeprägte Dynamik der Aktivitätsänderungen, wie auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte, zu beobachten. Zunächst kommt es beim Vergleich von U1 zu U2 zu einer überwiegenden Aktivitätsabnahme, für den Vergleich von U2 zu U3 vermehrt zu einer Aktivitätszunahme und insgesamt werden eher Aktivitätsabnahmen beim Vergleich zwischen U1 und U3 beobachtet.

6 Diskussion

6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Wie bereits durch Shafshak beschrieben, kann das EMG-Biofeedback-Training zu einer Verbesserung der funktionellen Erholung sowie der Gesichtssymmetrie beim elektromyographischen Nachweis einer Reinnervation bei Patienten mit Synkinesien beitragen (Shafshak 2006). Anhand der hier präsentierten Untersuchungen konnte an den Ohr- und Gesichtsmuskeln gezeigt werden, dass es mit wenigen Ausnahmen zu einer relevanten Abnahme der Muskelaktivität vor allem der nicht betroffenen Gesichtshälfte durch das Biofeedback-Training zwischen Eingangs- (U1) und Ausgangsuntersuchung (U3) kommt. Somit lässt sich die im Training gezielt beübte Entspannung auf ein einheitliches Aktivitätslevel beider Gesichtshälften auch an den Ohrmuskeln nachweisen, obwohl spezifisch die mimische Muskulatur des Gesichtes und nicht die Ohrmuskulatur trainiert wurde. Das bedeutet, dass sich die veränderten Aktivitätsmuster der Gesichtsmuskulatur nach dem zweiwöchigen Fazialis-Parese-Training auch an den aurikulären Muskeln nachweisen lassen. Allerdings war diese Dynamik nicht bei allen Ohrmuskeln in gleicher Weise beobachtbar, worauf in den Kapiteln 6.1.1 und 6.1.2 genauer eingegangen wird.

6.1.1 Identifikation relevanter aurikulärer Muskeln der nicht betroffenen Gesichtshälfte zur objektiven Beurteilung eines Trainingseffektes

Die von Rüschemschmidt (Rüschemschmidt et al. 2022) nachgewiesenen Veränderungen der OEMG-Aktivität bei Patienten mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese konnten im Rahmen dieser Dissertation nun erstmals im Rahmen des zehntägigen OEMG-Biofeedback-Trainings für alle Ohrmuskeln in Bezug auf den Trainingseffekt beschrieben und quantifiziert werden. Zuerst wird im Besonderen der M. auricularis anterior hervorgehoben, bei dem bis auf bei den isometrischen Halteübungen *sanfter Augenschluss*, *Zähne zusammenbeißen*, *O sagen*, *Nase rümpfen*, *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* und *Ohr nach oben ziehen* eine relevante Aktivitätsabnahme nachgewiesen werden konnte (Abbildung 20, Abbildung 29). Bei diesem Muskel wird exemplarisch die Verringerung der vorbestehenden überschießenden Aktivierung der nicht betroffenen Gesichtshälfte gezeigt, die sich auch an der Ohrmuskulatur nachweisen lässt, was wahrscheinlich lokalisationsbedingt, aufgrund der engen Lagebeziehung zu den Gesichtsmuskeln, bei diesem extrinsischen aurikulären Muskel der Grund für dieses ausgeprägte Resultat

ist. Daher bietet sich der M. auricularis anterior womöglich am besten von allen Ohrmuskeln zur Bewertung eines Trainingseffektes an. Die anderen extrinsischen aurikulären Muskeln (M. auricularis posterior und M. auricularis superior) sind für eine Verlaufskontrolle ebenfalls aufgrund der über fast alle Übungen hinweg vorhandenen nachweisbaren Effektstärken von mehr als 0,5 für bedeutende Aktivitätsänderungen geeignet. Die in Moneta und Quintanilla-Dieck (Moneta und Quintanilla-Dieck 2017) angeführte rudimentäre Restfunktion dieser Muskeln scheint erfreulicherweise so konstant bei allen Untersuchten vorhanden gewesen zu sein, dass eine gute Validierbarkeit des Trainingseffektes anhand der extrinsischen Muskeln möglich war. Die extrinsischen Muskeln werden insbesondere für Einstellbewegungen des Ohres genutzt und können teilweise auch willkürlich angesteuert werden, scheinen aber eng mit der Aktivität der „großen“ mimischen Muskeln verknüpft zu sein, was die Voraussetzung für die Überprüfbarkeit von Trainingseffekten im Gesicht über diese nicht direkt trainierten aurikulären Muskeln darstellt. Für den M. auricularis superior soll an dieser Stelle die besondere Ableitungssituation thematisiert werden, da diese einen Einfluss auf eine mögliche Anwendung in der klinischen Praxis hat. Aufgrund seiner räumlichen Nähe zur Haargrenze kann sich die Applikation der Elektroden durch die Überlagerung mit Haaren über der zu messenden Hautstelle schwierig gestalten, woraus verschiedene Störeinflüsse entstehen können: fehlender Kontakt zwischen Elektrode und Haut, Veränderung der Lokalisation im Rahmen von dynamischen Messungen, wie sie durch De Luca und Konrad (De Luca 1997, Konrad 2005) beschrieben wurde, Cross-Talk aufgrund der veränderten Lage sowie Entstehung ein Signalrauschens durch Kontakt zwischen den Elektroden aufgrund der verminderten Haftung. Der verwendete Typ von Napfelektroden (Abbildung 9) begünstigt durch seine Form die Entstehung dieser Fehler und konnte nur durch ständige visuelle Kontrolle des EMG-Signals überwacht werden. Für die klinische Anwendung würde sich deshalb die Verwendung von sogenannten „Semi-disposables“ besser eignen, um im Vorfeld mögliche Störeinflüsse zu minimieren.

Die im Gegensatz dazu eher formgebenden intrinsischen Ohrmuskeln lassen sich zur Quantifizierung der Auswirkung des Fazialis-Parese-Trainings am Ohr eher nicht verwenden. Allerdings gibt es hier eine Ausnahme: den M. transversus auriculae. Für diesen konnte auch für etliche Gesichtsbewegungen eine relevante Abnahme der Aktivität zwischen U1 und U3 beobachtet werden, was sich nicht unmittelbar durch die (Rest-)Funktion oder die räumliche Lage erklären lässt. Ein möglicher Einfluss von

Cross-Talk mit dem M. auricularis posterior wäre auf den ersten Blick zu vermuten gewesen, konnte jedoch nach eingehender Analyse einzelner OEMG-Sequenzen ausgeschlossen werden.

Ein auffälliger Muskel, der gesondert betrachtet werden muss, ist der M. obliquus auriculae. Dieser ist der einzige aurikuläre Muskel, bei dem keine relevante Aktivitätsabnahme über alle isometrischen Halteübungen beim Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung beobachtet werden konnte. Er wies sogar im Gegensatz zu allen anderen aurikulären Muskeln bei sechs von 20 (30 %) Gesichtsbewegungen relevante Aktivitätszunahmen auf. Ein genauer Grund für diese Dynamik bei diesem Muskel ist nicht zu eruieren. Sie zeigt jedoch, dass systematisch nicht nur bedeutende Aktivitätsabnahmen, sondern auch relevante Aktivitätszunahmen zu beobachten sind, die eher langfristig zu erwarten wären. In Conclusio kann gesagt werden, dass sich die Beeinflussung der mimischen Muskulatur auch auf die aurikulären Muskeln, die einen identischen nervalen Innervationsursprung besitzen, übertragen lässt.

6.1.2 Identifikation relevanter aurikulärer Muskeln der betroffenen Gesichtshälfte zur objektiven Beurteilung eines Trainingseffektes

Primär ist auf der geschädigten bzw. postparalytisch synkinetisch reinnervierten Gesichtshälfte der extrinsische M. auricularis superior von besonderem Interesse. Bei diesem konnten die meisten relevanten Aktivitätsänderungen (bei 12 von 20 (60 %) Übungen) beim Vergleich von Eingangs- und Ausgangsuntersuchung nachgewiesen werden (Abbildung 19). Anhand dieses Muskels lässt sich sehr gut zeigen, dass es auch auf der betroffenen Gesichtshälfte vorwiegend zu Aktivitätsabnahmen kam und damit auf der betroffenen Gesichtshälfte auch eine gezieltere, wenn auch unbewusste Ansteuerung der Ohrmuskeln stattfindet. Ursächlich dafür ist am ehesten das verwendete Trainingsprinzip mit Senkung der Muskelaktivität auf beiden Gesichtshälften auf ein einheitliches Niveau, um anschließend beidseitig eine proportionale Ansteuerung bei spezifischen Gesichtsbewegungen zu erreichen. Dieser Effekt schlägt sich beispielweise beim *grimmig schauen* nach dem zweiwöchigen Training am ehesten durch eine Aktivitätsabnahme im OEMG nieder. Diese Dynamik der Aktivitätsänderung ist ähnlich zum M. auricularis superior auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte.

Als weiterer bemerkenswerter Muskel ist auf der betroffenen Gesichtshälfte der M. transversus auriculae gegenüber den anderen intrinsischen Ohrmuskeln hervorzuheben. Bei diesem Muskel traten ebenfalls bei neun von 20 (45 %) isometrischen Halteübungen relevante Abnahmen der Aktivität auf, die zum Teil signifikant nachweisbar waren (Abbildung 21, Abbildung 30). Das Fazialis-Parese-Training beeinflusst also auch die betroffene Gesichtshälfte, wo es ebenfalls zur Veränderung der Aktivität bei den funktionell minderbeanspruchten intrinsischen Ohrmuskeln kommt. Bei den restlichen aurikulären Muskeln der betroffenen Gesichtshälfte lassen sich nur singulär Aktivitätsänderungen, überwiegend in Form von Aktivitätsabnahmen, feststellen. Insgesamt waren weniger Aktivitätsabnahmen als auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte nachweisbar. Die Ursache darin kann beispielweise in der unpräzisen Ansteuerung und somit verringerten Grundaktivität liegen. Diese passt zur synkinetischen Fehlinnervation, bei der durch das zufällige Wachstum der Nerven in die mimischen Muskeln eine präzise Ansteuerung oft kaum noch möglich ist. Im Gesicht kann dieses Phänomen direkt beobachtet werden, am Ohr ist es bisher weder beschrieben noch durch elektrophysiologische Daten quantifiziert worden. Im Laufe der ersten fünf Trainingstage wird eine genauere Aktivierung von ME trainiert, die in einer Steigerung der Muskelaktivität resultiert, jedoch nach zehn Tagen nicht mehr feststellbar ist. In einer früheren Studie durch Gray (Gray et al. 2012) konnte bei Patienten mit schwerem Schlaganfall bereits nach einmaligen Training eine Steigerung der Muskelaktivität nachgewiesen werden. Die in dieser Studie beobachteten frühen Änderungen nach bereits fünf Tagen sind also mit der Literatur zu vereinbaren.

6.1.3 Vergleich der aurikulären zur fazialen Muskulatur

Auf der betroffenen Gesichtshälfte zeigt der M. orbicularis oculi bei 14 von 20 (70 %) isometrischen Halteübungen relevante Aktivitätsabnahmen für den Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. Diese traten vorwiegend bei spezifisch den Mund ansteuernden Übungen auf und verdeutlichen, dass die Mitaktivierung anderer Muskelgruppen in Form von Synkinesien durch das Training reduziert wurde. Identische Ergebnisse wurden bereits in anderen Studien mittels optischer Bewertungssysteme (Cronin und Steenerson 2003, Novak 2004, Volk et al. 2021a) oder anhand von spezifischen Fragebögen (Steinhäuser et al. 2022) für die Gesichtsmuskulatur nachgewiesen. Gleichartige Veränderungen konnten in dieser Studie jetzt auch an der Ohrmuskulatur nachgewiesen werden. Relevante

Aktivitätsunterschiede traten oft bei identischen isometrischen Halteübungen (zum Beispiel *Stirn runzeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Mund spitzen*, *O sagen* oder *Nase rümpfen*) wie beim M. auricularis superior und M. transversus auriculae auf, welche die bedeutendsten aurikulären Muskeln der betroffenen Gesichtshälfte repräsentieren. Damit ist ein Effekt mimischer Aktivitätsveränderungen, im Rahmen des Trainings meist in Form von Abnahmen der Aktivität, an der aurikulären Muskulatur nachvollziehbar und unterstreicht die Möglichkeit für die Verwendung der in den Kapiteln 6.1.1 und 6.1.2 genannten Muskeln für eine objektive Trainingseffektkontrolle. Auch beim M. orbicularis oris konnte am deutlichsten beim *sanften Augenschluss*, *Stirn runzeln* und *Blick zur nicht betroffenen Seite* durch relevante Aktivitätsabnahmen gezeigt werden, welchen positiven Effekt das Fazialis-Parese-Training auf die vorbestehenden oro-okulären Synkinesien bei den meisten Patienten aufweist.

Der M. orbicularis oris zeigte bei zehn (50 %) und der M. orbicularis oculi ebenfalls bei zehn von 20 Gesichtsübungen relevante Aktivitätsabnahmen für den Vergleich von U1 zu U3 auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte (Tabelle 4). Das weist deutlich auf eine Effektivität des verwendeten Trainingskonzeptes auch auf der nicht paretischen Gesichtshälfte hin. Dort wird eine systematische Senkung der überschießenden Muskelaktivität erreicht, welche ein einheitlicheres Aktivitätsniveau beider Gesichtshälften zur Folge hat und für eine symmetrischere Mimik benötigt wird. Relevante Aktivitätsabnahmen traten in gleicher Art und Weise wie beim M. auricularis anterior auf, bei welchem sie ausgeprägt nachweisbar waren. Das verdeutlicht, dass die festgestellten bedeutenden Effektstärken (Cohen's d), zum Beispiel bei der Übung *Zähne fletschen* beim M. auricularis posterior und beim M. orbicularis oris, an der aurikulären Muskulatur für den Vergleich zwischen U1 und U3 kein zufälliger Effekt sind, sondern aus einer Veränderung der Aktivitätsmuster der gesamten mimischen Muskulatur, bei speziell die Gesichtsmuskeln adressierendem EMG-Biofeedback-Training resultieren.

Eine Zunahme der Gesichtsbeweglichkeit durch EMG-Biofeedback, wie sie von Takemura et al. (Takemura et al. 2001) gefunden wurde, war anhand relevanter Aktivitätszunahmen bei den mimischen Gesichtsmuskeln sowohl auf der betroffenen als auch der nicht betroffenen Gesichtshälfte nicht feststellbar, da nur die OEMG-Aktivität, nicht aber die resultierenden Bewegungen vermessen wurden. Das bedeutet jedoch nicht, dass das Fazialis-Parese-Training nur eine Aktivitätssenkung bewirkt. Da die eingeschränkte Beweglichkeit, zum Beispiel des Mundwinkels auf der synkinetisch

reinnervierten Gesichtshälfte, meist keine Folge von zu wenig Muskelaktivität ist, sondern die einer falschen Koordination, ist es sogar vorstellbar, dass die gemessene Reduktion der OEMG-Aktivität gleichzeitig zu einer Verbesserung der Beweglichkeit geführt haben könnte. Dies kann mit der Metapher vom Tauziehen erklärt werden, bei welcher sich antagonistische Muskeln gegenseitig hemmen. Dieser Mechanismus wird auch als „Autoparalyse“ bezeichnet. So wird beispielsweise die Arbeit des M. zygomaticus durch eine gleichzeitige Kontraktion des M. depressor anguli oris und des M. orbicularis oris trotz starker Muskel- und OEMG-Aktivität aller Muskeln effektiv stark eingeschränkt und dadurch kein symmetrisches Lächeln erreicht.

6.1.4 Verwendung des OEMG zur Evaluation des Trainingseffektes

Von Rüschemschmidt (Rüschemschmidt et al. 2022) sind erstmals OEMG aller extrinsischen Ohrmuskeln bei Patienten mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese aufgezeichnet wurden. Diese Dissertation liefert nun erstmals OEMG-Daten für Aktivitätsänderungen an den extrinsischen und intrinsischen Ohrmuskeln bei oben genannten Patientenkollektiv für ein zehntägiges Biofeedback-Training. Bislang wurden zur Evaluation des Trainingserfolges in anderen Studien hauptsächlich optische Scoringssysteme, wie beispielsweise das Sunnybrook Facial Grading System, oder spezifische Fragebögen, zum Beispiel FaCE oder FDI, verwendet (Steinhäuser et al. 2022, Volk et al. 2021a). Anhand dieser Scoringssysteme sind in verschiedenen Studien bereits therapiebezogene Veränderungen evaluiert wurden. So beschreiben beispielsweise Novak und Ross (Novak 2004, Ross et al. 1991) anhand des Sunnybrook Facial Grading Systems eine Erhöhung der Gesichtsbeweglichkeit sowie eine relevante Abnahme von Synkinesien. Da allerdings bei optischen Bewertungssystemen ein Vergleich zwischen beiden Gesichtshälften durchgeführt wird und die nicht betroffene Gesichtshälfte in Bezug auf die Gesichtsbeweglichkeit als Referenz herangezogen wird, werden wenig Aussagen über Veränderungen auf der gesunden Gesichtshälfte getroffen. Mittels OEMG ist es jedoch möglich auch geringe Aktivitätsänderungen objektiv, sowohl non-invasiv als auch trainingsbegleitend, auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zu detektieren. Die Ergebnisse dieser Dissertation zeigen jedoch sehr deutlich, dass ebenso die kontralaterale Gesichtshälfte von relevanten Aktivitätsabnahmen betroffen und damit eine umfassendere Aussage über die entstandenen Trainingseffekte möglich ist. Durch die fehlende Invasivität scheint das OEMG für eine objektive Beurteilung am geeignetsten in der klinischen Routine. Um gleichzeitig eine Beeinflussung von

Gesichtsbewegungen während des Trainings zu vermeiden, bietet sich die Applikation der Elektroden am Ohr für die im Kapitel 6.1.1 und 6.1.2 genannten Muskeln besonders an. In allen oben genannten Studien wurde das OEMG nie zur Bewertung des Trainingseffektes, sondern lediglich in Kombination mit Biofeedback als Trainingsmethode verwendet. Die Trainingserfolgskontrolle beruhte auf rein visuellen Kriterien, wodurch sich die Ergebnisse dieser Dissertation grundlegend unterscheiden, da optische Veränderungen an den Ohren von keinerlei Relevanz sind und sich deswegen die objektive Bewertung mittels OEMG als sinnvollere Methode erweist.

6.1.5 Bewertung von Synkinesien anhand der Gesichtsmuskulatur

Auch wenn das Hauptaugenmerk dieser Dissertation auf der OEMG-Aktivität der Ohrmuskulatur lag, lassen die Studienergebnisse auch Aussagen über die mimische Muskulatur zu. Für die Evaluation eines Trainingseffektes sind insbesondere funktionell entgegengesetzte Übungen zum betrachteten Muskel auf der betroffenen, aber auch auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte zu analysieren. Beweisend für die Abnahme von Synkinesien beim M. orbicularis oculi sind Bewegungen des Mundes, zum Beispiel *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite*, *Mund spitzen* sowie *O sagen*. Entsprechend dazu findet beim M. orbicularis oris die Bewertung anhand von Übungen wie *sanfter Augenschluss*, *Stirn runzeln* sowie dem *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* statt (Tabelle 5). Exemplarisch für die Reduktion von oro-okulären Synkinesien auf der betroffenen Gesichtshälfte beim M. orbicularis oculi können insbesondere die Übungen *breites Lächeln* und *Mund spitzen* herangezogen werden. Im zeitlichen Verlauf konnte bei beiden Übungen eine signifikante Aktivitätsabnahme mit relevanter Effektstärke beim Vergleich von U1 zu U3 beobachtet werden (Abbildung 36). Diese, im Kapitel 5.3 aufgeführten, Aktivitätsabnahmen stellen das elektrophysiologische Korrelat für die Reduktion von Synkinesien am M. orbicularis oculi dar.

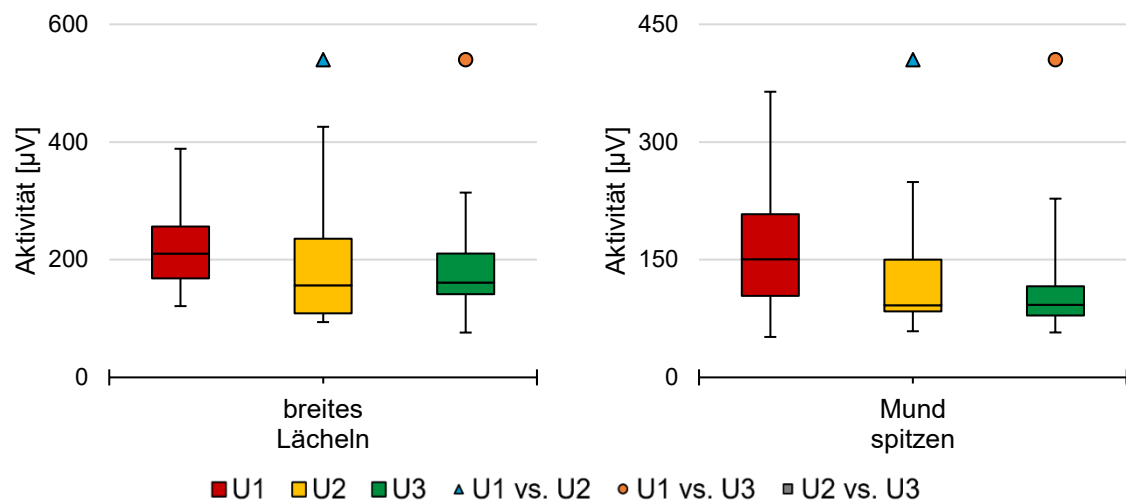


Abbildung 36 - OEMG-Aktivität des **M. orbicularis oculi** auf der betroffenen Gesichtshälfte im zeitlichen Verlauf für ausgewählte Übungen (Auszug aus Abbildung 25)

Das bedeutet, dass die abnorme Mitaktivierung der okulären Muskulatur bei Bewegungen des Mundes auf der betroffenen Gesichtshälfte verringert wird und dadurch eine gezieltere Ansteuerung stattfinden kann. Dieser Zusammenhang ist in bisherigen Studien nie mittels OEMG an der Gesichtsmuskulatur nachgewiesen wurden und unterstreicht die Bedeutung der Resultate für eine mögliche Anwendung in der klinischen Routine sowie im Rahmen des Fazialisparese-Trainings. Die Daten zeigen interessanterweise nicht nur eine Abnahme der oro-okulären Synkinesien auf der von der fehlerhaften Reinnervation betroffenen Gesichtshälfte, sondern auch eine Abnahme der zuvor kompensatorisch erhöhten Muskelaktivität der nicht betroffenen Seite. Dies konnte in bisherigen Studien durch die Verwendung von optischen Scoringssystemen nie nachgewiesen werden. Auf der gesunden Gesichtshälfte konnte bei den isometrischen Halteübungen *Zähne fletschen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen Seite* und *Mund spitzen* für den Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung eine signifikante Aktivitätsabnahme, also eine Reduktion der kompensatorischen Überaktivität, beobachtet werden (Abbildung 25, Tabelle 4). Diese Reduktion von fehlerhaften Innervationsmustern auf der nicht-betroffenen Gesichtshälfte resultiert am ehesten durch die von Baricich (Baricich et al. 2012) beschriebene gezieltere Ansteuerung der betroffenen Gesichtshälfte durch neuerlernte Bewegungsmuster und einer damit verbundenen präziseren Aktivierung entsprechender Bahnen im Gehirn.

Die Bewertung der Abnahme von Synkinesien beim M. orbicularis oris findet auf der betroffenen Gesichtshälfte beispielhaft anhand der Übungen *sanfter Augenschluss*,

Stirn runzeln sowie *Blick zur betroffenen* und *nicht betroffenen Seite* statt. Auch hier konnte eine signifikante Abnahme der Aktivität zwischen U1 und U3 nachgewiesen werden, sodass von einer geringeren Mitaktivierung der mimischen Muskulatur der Augen ausgegangen werden kann (Abbildung 37). Als Ursache dafür kann eine durch das OEMG-Biofeedback induzierte Konsolidierung struktureller neuroplastischer Veränderungen angenommen werden (Müllbacher 2011).

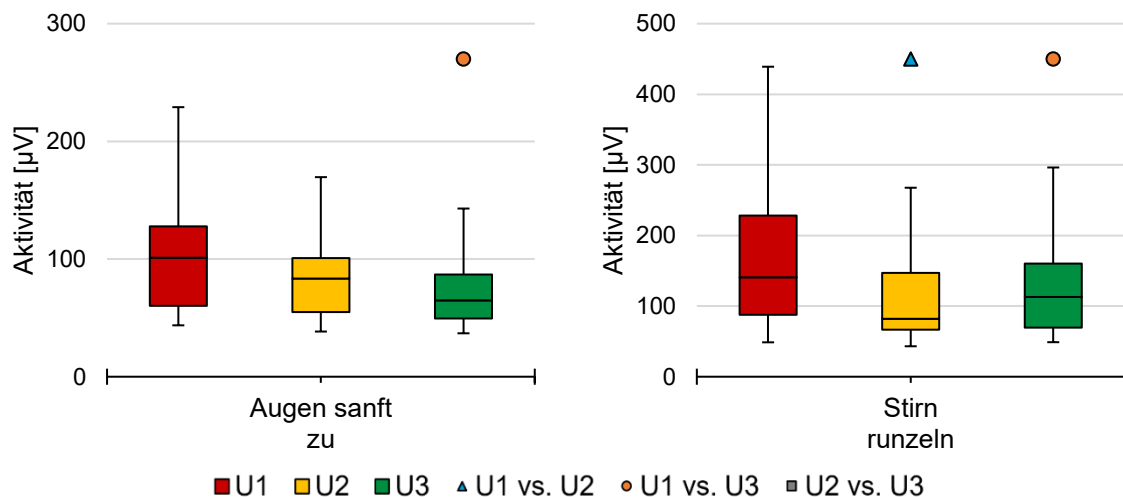


Abbildung 37 - OEMG-Aktivität des **M. orbicularis oris** auf der betroffenen Gesichtshälfte im zeitlichen Verlauf für ausgewählte Übungen (Auszug aus Abbildung 26)

Auch beim M. orbicularis oris konnte auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte erstmals durch diese Dissertation für die Übungen *Nase rümpfen* sowie *Blick zur nicht betroffenen Seite* eine signifikante Aktivitätsabnahme festgestellt werden. Damit kann auch bei diesem mimischen Muskel die Reduktion der Aktivität, der kompensatorisch überaktivierten Muskulatur auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte, im zeitlichen Verlauf beobachtet werden (Abbildung 26, Tabelle 4).

Die bereits in anderen Studien beschriebene Abnahme von fehlerhaften Bewegungsmustern beziehungsweise der Synkinesien durch regelmäßiges angeleitetes und überwachttes EMG-Biofeedback-Training von Gesichtsbewegungen bei Patienten mit Fazialisparese konnte auch durch unsere Untersuchungen nachgewiesen werden (Cronin und Steenerson 2003, Pourmomeny et al. 2014, Novak 2004, VanSwearingen und Brach 2003, Brach et al. 1997). Alle Patienten wiesen im Rahmen ihrer chronischen Fazialisparese typische oro-okuläre Synkinesien auf. Durch das gezielte Anleiten zur Entspannung konnte zusätzlich auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte die kompensatorische Überaktivierung der eigentlich gesunden Muskeln, wie sie oft bei chronischen Fazialisparesen beobachtet wird, im zeitlichen

Verlauf des Fazialis-Parese-Trainings reduziert und erstmals objektiv nachgewiesen werden.

6.1.6 Evaluation des Trainingserfolges

Bereits von Cronin und Steenerson (Cronin und Steenerson 2003) wird durch umfassendes neuromuskuläres Training mittels EMG-Biofeedback eine Verbesserung von funktionellen Gesichtsbewegungen und eine Abnahme abnormer Bewegungsmuster durch optische Scoringsysteme auch bei langjährigen Lähmungen quantifiziert. Auch von Platz (Platz 2003) erfolgte im Rahmen der Untersuchung der Armrehabilitation bei Schlaganfallpatienten mit der verwendeten Trainingskombination aus EMG-Biofeedback und Bewegungsinduktionstherapie nach Taub der Nachweis eines therapeutischen Effektes. Diese Ergebnisse konnten in unseren Untersuchungen bestätigt werden: Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte wurden bei 74 von 180 (41,1 %) aller möglichen Kombinationen aus Muskel und entsprechenden Gesichtsbewegungen für den Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung relevante Aktivitätsabnahmen im Vergleich zu 12 von 180 (6,7 %) bedeutenden Aktivitätszunahmen nachgewiesen. Das zeigt, dass mittels der verwendeten Trainingsprinzipien eine überschießende Grundaktivität der nicht paretischen Gesichtshälfte gesenkt wird. Diese entsteht oft aufgrund kompensierender Mechanismen in Folge einer fehlerhaften Reinnervation der betroffenen Gesichtshälfte, um vorhandene Defizite im Bewegungsausmaß und der Funktionalität auszugleichen. Resultierend aus dem Fazialis-Parese-Training führt die neuromuskuläre Rehabilitierung zu einer selektiveren Muskelkontrolle, einer Erhöhung der Gesichtsbeweglichkeit und einer Abnahme von Synkinesien, wie es bereits von Novak und Ross et al. (Novak 2004, Ross et al. 1991) mittels Sunnybrook Facial Grading System für die Kombination aus EMG-Biofeedback und häuslichen Training auch bei Patienten mit länger bestehender Fazialisparese beschrieben wurde. Durch vielfache Wiederholung der richtigen Bewegung sind die Patienten anschließend in der Lage ein neues Bewegungsmuster zu erlernen, sodass das Gehirn nur noch entsprechende Bahnen aktiviert, die zur Durchführung benötigt werden (Baricich et al. 2012). Diese Beobachtungen lassen sich aufgrund unserer Ergebnisse auch auf die aurikuläre Muskulatur übertragen. Das erklärt sich am ehesten durch den identischen Innervationsursprung und zeigt, dass neuroplastische Prozesse nicht nur das trainierte Muskelareal, sondern auch andere durch den Nerv versorgte Muskeln, wenn auch in abgeschwächter Form, beeinflussen.

Im Rahmen dieser Studie wird das OEMG zur Bewertung des Trainingseffektes benutzt, weswegen vor allem auch nachweisbare Veränderungen auf der betroffenen Gesichtshälfte von besonderem Interesse sind. Dort kam es für den Vergleich zwischen U1 und U3 bei 64 von 180 (35,5 %) aller Kombinationen aus isometrischer Halteübung und Muskel zu einer Abnahme der Aktivität sowie im Gegenzug nur bei 5 von 180 (2,8 %) zu einer Aktivitätszunahme. Der Trainingseffekt fällt auf der geschädigten bzw. synkinetisch reinnervierten Gesichtshälfte geringer aus. Das bedeutet aber nicht, dass es keinen relevanten Nutzen durch das Biofeedback-Training gibt. Der Haupteffekt, der durch das Fazialis-Parese-Training erreicht wird, ist die Angleichung der Gesichtssymmetrie auf ein einheitliches EMG-Aktivitätslevel durch Entspannung der Gesichtsmuskulatur und einer damit verbundenen beidseitigen Aktivitätsabnahme. Da auf der betroffenen Gesichtshälfte durch die vorhandene Defektheilung und die unvollständige Reinnervation bereits eine höhere Grundaktivität vorhanden ist, findet dort folglich eine Aktivitätsabnahme in höherem Ausmaß als auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte statt. Ein zusätzlicher und für die Patienten besonders bedeutender Trainingseffekt ist die bereits in Kapitel 6.1.3 beschriebene relevante Reduzierung der oro-okulären Synkinesien. Dabei hervorzuheben ist, dass Synkinesien bei der Durchführung der isometrischen Halteübungen mittels gemessener EMG-Aktivität auch an der aurikulären Muskulatur abgeleitet werden können und im Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung eine bedeutende Abnahme zeigen. Deshalb ist die sogenannte „Entkopplung“, die Reduktion von oro-okulären Synkinesien, auch ein Hauptziel des Trainings und eine häufig trainierte Übung. Mittels subjektiver Bewertungssysteme, wie dem Sunnybrook Facial Grading System, konnte bereits für das zehntägige Fazialis-Parese-Training eine Reduktion von Synkinesien nachgewiesen werden (Volk et al. 2021a, Steinhäuser et al. 2022). Diese Ergebnisse ließen sich anhand der Untersuchungen mittels OEMG objektivieren und bestätigen.

Unabhängig von der Ätiologie treten zwischen den betrachteten Untersuchungszeitpunkten gleichsinnige Aktivitätsunterschiede auf, sodass von einer nur untergeordneten Bedeutung der Ätiologie der Fazialisparese bei Patienten mit synkinetischer Reinnervation nach peripherer Fazialisparese auf die Effektivität des Fazialis-Parese-Trainings auszugehen ist. In der Folge kommt es seitenunabhängig nicht wie ursprünglich von uns angenommen zu einer Erhöhung der

Ansteuerungsintensität, sondern eher zu einer Präzisierung der Ansteuerung der Muskulatur durch das Fazialis-Parese-Training.

Interessanterweise konnten bei den extrinsischen aurikulären Muskeln nur wenige relevante Effektstärken für die seitenunabhängigen Vergleiche zwischen den Untersuchungen bei den spezifisch das Ohr ansteuernden Übungen *Ohr nach hinten* und *oben ziehen* nachgewiesen werden. Das erklärt sich am ehesten aus dem fehlenden spezifischen Training für diese Muskelgruppe und widerspricht in diesem Zusammenhang nicht der Aussage, dass die Mitaktivierung der aurikulären Muskulatur bei Gesichtsbewegungen in Folge des Trainings reduziert wird. Zusätzlich können auch gesunde Personen oft ihre Ohren nicht bewusst bewegen, sodass diese Übungen trotz ihrer vordergründigen Eignung nicht als Standardübungen geeignet erscheinen (Geraedts 2020). Ob Personen, die in der Lage sind ihre Ohren bewusst zu bewegen, andere Befunde aufweisen, kann anhand der hier vorliegenden Daten nicht verifiziert werden. Im Vergleich zu allem, was bisher mittels optischer oder subjektiver Bewertungssysteme beobachtet werden konnte, wurden anhand dieser Dissertation nicht nur die reine Machbarkeit von OEMG zur objektiven und reproduzierbaren Evaluation von Aktivitätsänderungen über einen zehntägigen Zeitraum für ein Biofeedback-Training demonstriert, sondern auch viele Aspekte aufgezeigt, die diese elektrophysiologische Methode den optischen oder patientenbasierten Verfahren überlegen machen könnte.

6.1.7 Identifikation trainingsrelevanter Gesichtsbewegungen und deren Beeinflussung aurikulärer Aktivitätsmuster

Als relevante Gesichtsbewegungen wurden auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte Übungen ausgewählt, bei denen mindestens bei vier aurikulären Muskeln ein relevanter Aktivitätsunterschied auftrat. Folglich ergab die Selektion nach diesen Kriterien folgende geeignete isometrische Halteübungen für den Vergleich zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung (U1 vs. U3): *Ruhemessung mit geschlossenen Augen (Ruhe 2)*, *Zähne fletschen*, *grimmig schauen*, *breites Lächeln*, *Lächeln auf der betroffenen* und *nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen* und *O sagen*. Insbesondere die Übungen *Zähne fletschen*, *grimmig schauen* und *Lächeln auf der betroffenen Seite* stellten sich als äußerst effektive Verlaufskontrolle auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte dar. Bei diesen Gesichtsbewegungen kam es bei fast allen aurikulären und fazialen Muskeln zu relevanten und zum Großteil auch signifikanten

Aktivitätsabnahmen. Damit kann eine stärkere Differenzierung im zeitlichen Verlauf für diese Übungen angenommen werden. Als Ursache für die durch das Training induzierten Aktivitätsunterschiede kann bei diesen speziellen isometrischen Halteübungen auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte ein positiver Lerneffekt im Sinne des Trainings angenommen werden, der auf eine Art koordinatives Training zurückgeführt werden kann. In der Literatur werden die Aktivitätsunterschiede für die nicht betroffene Gesichtshälfte bislang nicht beschrieben, da die Bewertung des Trainingseffektes anhand optischer Scoringsysteme, wie dem Sunnybrook Facial Grading System, auf dem Vergleich beider Gesichtshälften beruht und deshalb eine Aussage über eine isolierte Aktivitätsänderung nicht getroffen werden kann (Ross et al. 1996). Die oben genannten Übungen zeigten exemplarisch für die gesamte nicht betroffene Gesichtshälfte, dass eine Aktivitätsabnahme mittels OEMG nachweisbar und aufgrund des durch das Training induzierten Effektes erreicht werden kann, was durch eine effektive Veränderung in der neuromotorischen Ansteuerung bedingt ist. Eine Aktivitätsabnahme, wie sie in dieser Dissertation nachgewiesen wurde, ist für die gesunde Gesichtshälfte für die untersuchten Muskeln erstmal nachgewiesen wurden sowie als gewünschtes Trainingsziel im Rahmen einer klinischen Anwendung anzunehmen, da die kompensatorische Überaktivierung reduziert werden kann. Um langfristig eine konsistente Verbesserung der Motorik erreichen zu können, ist ein regelmäßiges häusliches Training mit entsprechender Eigenmotivation durch die Patienten notwendig. Dadurch kann auf lange Sicht eine gleichförmige beidseitige Aktivitätssteigerung und Verbesserung der Muskelfunktion, wie sie von Shafshak (Shafshak 2006) beschrieben wurde, erwartet werden.

Da der Trainingseffekt auf der geschädigten bzw. synkinetisch reinnervierten Gesichtshälfte, aufgrund der vom somatomotorischen Cortex länger benötigten Zeit für die Konsolidierung struktureller neuroplastischer Veränderungen (Müllbacher 2011, Baricich et al. 2012), vermutlich geringer ausfällt, erfolgte die Selektion geeigneter Gesichtsbewegungen auf der betroffenen Gesichtshälfte unter der Bedingung von mindestens drei aurikulären Muskeln mit relevanten Aktivitätsunterschieden. Für den Vergleich zwischen U1 und U3 erwiesen sich unter dieser Voraussetzung folgende Übungen als besonders geeignet: *Ruhemessung mit geöffneten (Ruhe 1), Stirn runzeln, grimmig schauen, breites Lächeln, Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite, Mund spitzen, Nase rümpfen* sowie dem *Blick zur betroffenen Seite*. Als am besten geeignete Gesichtsbewegung ist auf dieser Gesichtshälfte das *Lächeln*

auf der nicht betroffenen Seite hervorzuheben, welches beim M. auricularis posterior, M. auricularis superior, M. auricularis anterior, M. transversus auriculae, M. obliquus auriculae und M. orbicularis oculi relevante Aktivitätsabnahmen mit zum Teil signifikantem Ergebnis zeigte. Anhand dieser isometrischen Halteübung kann das grundlegende Trainingskonzept, mit Angleichung der Gesichtssymmetrie durch eine präzisere Ansteuerung auch der entgegengesetzten Gesichtshälfte bei spezifischen Gesichtsbewegungen, nachgewiesen und als effektiv bewertet werden.

Um eine Reduktion des Untersuchungsaufwandes für eine spätere klinische Anwendung zu schaffen, sollte eine seitenunabhängige Auswahl der aussagekräftigsten isometrischen Halteübungen erfolgen. Dafür eignen sich *grimmig schauen*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite* sowie *Mund spitzen* am besten, da diese auf beiden Gesichtshälften zu den Übungen mit den meisten relevanten Aktivitätsänderungen zählen. Zusätzlich zu diesen vier Gesichtsbewegungen würde ich den Untersuchungsalgorithmus um die für die nicht betroffene Gesichtshälfte bedeutende isometrische Halteübung *Zähne fletschen* ergänzen. Mit der Reduktion der auszuführenden Übungen auf die aussagekräftigsten Gesichtsbewegungen könnte für eine klinische Anwendung im Rahmen des Fazialis-Parese-Trainings eine verringerte Belastung der Patienten am Ende des Trainings in Kombination mit einer objektiven sowie effektiven Aussage über den Trainingserfolg erreicht werden.

6.2 Evaluation der Hypothesen

(1) Die EMG-Aktivitätsmuster der aurikulären Muskulatur bei bewusst ausgeführten Gesichtsbewegungen von Patienten mit postparalytischen Synkinesien nach peripherer Fazialisparese unterscheiden sich signifikant zwischen den Untersuchungen vor, in der Mitte und nach einem zweiwöchigen Biofeedback-Training.

Die Untersuchungen konnten relevante Unterschiede in den Aktivitätsmustern unabhängig vom Untersuchungszeitpunkt feststellen lassen. Auf der nicht betroffenen Gesichtshälfte konnte für 127 von 540 (23,5 %) aller errechneten Effektstärken ein signifikantes Ergebnis nachgewiesen werden, welches zum Großteil bei bedeutenden Aktivitätsänderungen zu finden war. Das bedeutet, dass der gemessene Effekt des Trainings trotz der relativ geringen Patientenzahl keinen zufälligen Effekt darstellt, sondern das Ergebnis eines tatsächlichen systematischen Unterschieds zwischen den

Untersuchungszeitpunkten ist (Tabelle 4). Dieser signifikante Unterschied erklärt sich durch die relevante Aktivitätssenkung auf der zuvor überaktivierten gesunden Gesichtshälfte, um Defizite der entgegengesetzten Gesichtshälfte auszugleichen. Die Effektivität des angewendeten Biofeedback-Trainings scheint also selbst innerhalb der ersten Trainingswoche so hoch zu sein, dass auch dort bereits signifikante Unterschiede festgestellt werden konnten. Bei 110 von 540 (20,4 %) berechneten Effektstärken zeigt sich auch auf der betroffenen Gesichtshälfte ein signifikanter Unterschied, wobei der Großteil ebenfalls bei relevanten Aktivitätsabnahmen zu verzeichnen war. Zur letztlichen Beurteilung des Trainingseffektes und der tatsächlich stattfindenden Veränderung ist die Beurteilung der Effektstärke von größerer Relevanz als nur die Betrachtung der Signifikanz-Werte. Diese unterstützt jedoch die Aussagen zum angezeigten Trainingseffekt und belegt die Wirksamkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Patientenkollektiv. Die Aufschlüsselung, wie die Entwicklung der Aktivitätsänderung im zweiwöchigen Trainingsverlauf war, wurde bereits in Kapitel 6.1.4 genauer beschrieben.

(2) Es lassen sich aurikuläre Muskeln und zugehörige Gesichtsbewegungen identifizieren, für die eine objektive Evaluation des Trainingseffektes im klinischen Alltag durch die Feststellung von relevanten Aktivitätsänderungen geeignet ist.

Für die objektive Evaluation des Trainingserfolges bietet sich ein Untersuchungsrahmen mit folgenden Muskeln an: seitenunabhängig alle extrinsischen Ohrmuskeln (M. auricularis posterior, M. auricularis superior, M. auricularis anterior) sowie der intrinsische M. transversus auriculae. Die Anzahl der Gesichtsbewegungen kann, vom in dieser Studie verwendeten Untersuchungsrahmen, auf die aussagekräftigsten isometrischen Haltübungen reduziert werden. Dazu zählen *grimmig schauen*, *Lächeln auf der betroffenen und nicht betroffenen Seite*, *Mund spitzen* sowie *Zähne fletschen*. Die Reduktion des Untersuchungsrahmens auf diese Übungsauswahl stellt eine Möglichkeit zur objektiven Evaluation der Trainingsunterschiede in einem klinischen Setting dar, weswegen auch diese Hypothese als bestätigt angenommen werden kann.

(3) Die Aktivitätsveränderungen zeigen keinen gleichgerichteten, linearen Zusammenhang im Verlauf der Untersuchungen. Pro Trainingsabschnitt ist also keine proportionale Änderung der Aktivität zu erwarten, sondern verschiedene Trainingsphasen werden verschiedene Effekte auf die EMG-Aktivität aufweisen.

Bei der Betrachtung der Untersuchungszeitpunkte konnten Differenzen bezüglich des Aktivitätsverlaufes an den Ohr- und ausgewählten Gesichtsmuskeln beobachtet werden. Für zahlreiche Kombinationen aus isometrischer Halteübung und gemessenem Muskel konnten bei den Vergleichen zwischen U1 und U2 sowie U2 und U3 gegenläufige relevante Aktivitätsabnahmen und -zunahmen beobachtet werden, die sich in der Konsequenz für den Vergleich von Eingangs- und Ausgangsuntersuchung neutralisierten. So wies der Vergleich zwischen U2 und U3 seitenunabhängig einen größeren Anteil an bedeutenden Aktivitätszunahmen als -abnahmen auf - nicht betroffene Gesichtshälfte: Zunahme 37 von 180 (20,5 %) im Vergleich zu Abnahme 30 von 180 (16,7 %); betroffene Gesichtshälfte: Zunahme 25 von 180 (13,9 %) im Vergleich zu Abnahme 10 von 180 (5,6 %). Auch der Anteil an relevanten Aktivitätsabnahmen war für den Vergleich zwischen U1 zu U2 seitenunabhängig höher als beim Vergleich von Eingangs- und Ausgangsuntersuchung. Es kam auf der betroffenen Gesichtshälfte bei 90 von 180 (50,0 %) aller möglichen Kombinationen aus Muskel und Gesichtsbewegung zwischen U1 und U2 zu einer bedeutenden Aktivitätsabnahme, wohingegen der Anteil beim Vergleich von U1 zu U3 nur noch 74 von 180 (41,1 %) betrug. Diese Zusammenhänge lassen sich auch den Diagrammen der Kapitel 5.1 und 5.2 entnehmen. Anhand dieser Erkenntnisse lässt sich diskutieren, ob der Trainingszeitraum von 10 Tagen optimal gewählt ist und ob das Maximum des Trainingseffektes, welcher aufgrund der verwendeten Trainingskonzepte in einer Aktivitätsabnahme resultieren sollte, bereits zu einem früheren Zeitpunkt erreicht wird und es anschließend zu einer Effektumkehr kommt. Letztlich kann damit nachgewiesen werden, dass in der ersten Trainingswoche ein aktivitätssenkender Effekt im Vordergrund steht. Im Rahmen der zweiten Trainingswoche kann das gezielte Üben von Gesichtsbewegungen zu einer präziseren Ansteuerung der mimischen Muskulatur führen, wodurch dort eher bedeutende Aktivitätszunahmen zu verzeichnen sind. Wie ein weiterer Verlauf der Aktivitätsänderung aussehen würde, kann nur spekuliert werden und erfordert weitere Studien zur Beurteilung. Jedoch kann angenommen werden, dass durch die

grundlegende Aktivitätssenkung und die dadurch erzielte symmetrische Ansteuerung der Gesichtsmuskulatur die Grundlage für eine gleichgerichtete Aktivitätssteigerung auf beiden Gesichtshälften erreicht werden konnte. Abschließend gelang es anhand unserer Ergebnisse diese Hypothese zu bestätigen. Auch ist zu beachten, dass die OEMG-Aktivität durch das Biofeedback zwar einen direkten Trainingsparameter darstellt, die Beweglichkeit des Gesichtes aber meist das eigentliche Trainingsziel ist. Es ist also denkbar, dass in der ersten Woche die Muskulatur besser entspannt wird und sich dies gut am Absinken der OEMG-Aktivität messen lässt. Wenn in der zweiten Woche aber aus der Entspannung heraus vermehrt komplexe, alltagsrelevante mimische Bewegungen trainiert werden, wäre ein Anstieg der OEMG-Aktivität zu erwarten. Ob es dabei zu einer Verbesserung der Gesichtsbeweglichkeit durch eine verbesserte Koordination der Muskeln kam, wurde in diesem Untersuchungssetting nicht überprüft. Eine optische Auswertung der Gesichtsbeweglichkeit zu mehreren Zeitpunkten während des Trainings wäre dafür notwendig gewesen.

6.3 Ausblick

Diese Dissertation liefert Grundlagen zum Verständnis der elektromyographischen Aktivität der Ohrmuskulatur und der Gesichtsmuskulatur bei Gesichtsbewegungen im Rahmen eines zweiwöchigen Biofeedback-Trainings. Zur Prüfung und Stützung der Ergebnisse sollte eine zeitgleiche Betrachtung entweder mit einer Vergleichsgruppe ohne simultane Intervention oder in der Wartezeit auf das Training stattfinden. Dadurch könnte nachgewiesen werden, ob die festgestellten Veränderungen auf tatsächlichen Trainingseffekten beruhen und welche Veränderungen ohne spezielles Fazialis-Parese-Training über einen zweiwöchigen Zeitraum stattfinden. Zu erwarten ist, dass ohne Training keine OEMG-Aktivitätsveränderung auftritt. Zur Identifikation von Langzeiteffekten durch das Training und den stattgehabten Veränderungen nach dem Training wäre eine Reevaluation mittels OEMG nach 6 Monaten, einem und zwei Jahren als interessant anzunehmen. Es wäre möglich, die durchgeführten Untersuchungen in Abhängigkeit von der Ursache der synkinetisch reinnervierten Fazialisparese mit einer größeren Patientenzahl zu wiederholen, um einen eventuellen Einfluss auf den Trainingseffekt bewerten zu können. Anhand der identifizierten Muskeln und Gesichtsbewegungen ergibt sich die Möglichkeit im klinischen Umfeld eine objektive und weniger zeitintensive Trainingssteuerung durchzuführen, sodass die bisher verwendeten und für die Ausübung von Gesichtsbewegungen störenden Gesichtselektroden vermieden werden können. Dadurch sollte es möglich sein, den

Patienten bereits am Ende des Trainingsintervalls einen objektiven Trainingseffekt aufzuzeigen, um die Motivation für die Fortführung der erlernten Trainingsstrategien im häuslichen Umfeld zu erhöhen. Es sind bereits weitere Untersuchungen geplant, die eine genauere Betrachtung der Veränderungen der Muskelaktivitäten im Gesicht vornehmen werden, um die bereits nachgewiesenen Trainingseffekte auf die mimische Muskulatur zu reevaluieren. Mittels der OEMG-Messungen wurden auf beiden Gesichtshälften relevante Aktivitätsänderungen über den zehntägigen Trainingszeitraum nachgewiesen, anhand derer jedoch keine Aussage über den Funktions- und Lebensqualitätsgewinn für die Patienten getroffen werden kann. Daher wäre die Erfassung dieser Parameter unter Einbezug spezifischer Fragebögen, wie FaCE oder SF36, in den folgenden Studien von besonderem Interesse. Die nachgewiesene hohe Sensitivität des OEMG eröffnet darüber hinaus auch die Möglichkeit die Aktivität der Muskulatur bei anderen Ätiologien, beispielweise bei Patienten mit akuter Fazialisparese oder nach Injektion von Botulinumtoxin, im zeitlichen Verlauf zu erfassen und zu bewerten, ohne dabei invasive Messungen anhand von NEMG durchführen zu müssen. Da in der hier vorliegenden Dissertation alle Patienten oro-okuläre Synkinesien aufwiesen, wäre es interessant zu evaluieren, ob für andere Synkinesie-Muster ähnliche Effekte gemessen werden können.

6.4 Limitationen der Studie

6.4.1 Patientenkollektiv

Es fehlte eine Kontrollgruppe von Patienten ohne entsprechendes Fazialis-Parese-Training. Am Fazialis-Nerv-Zentrum des Universitätsklinikums Jena werden Patienten aus dem gesamten deutschsprachigen Raum mit zum Teil sehr langen Anfahrtswegen behandelt. Deswegen besteht die Schwierigkeit darin, Patienten zu wiederholten Terminen nach Jena einzuladen, ohne die Eigenmotivation eines Trainings bieten können. Aus diesem Grund wurde außerdem die Begrenzung der Patientenzahl auf 25 Studienteilnehmer gewählt, zumal diese Zahl aufgrund des Untersuchungsaufwandes und der sinnvoll anzustrebenden Effektstärke für einen klinisch relevanten Unterschied im Rahmen der Fallzahlplanung sinnvoll erschien (angestrebte ES von $\geq 0,5$). Weiterhin führte die Limitation des Fazialis-Parese-Trainings mit wöchentlich maximal zwei Patienten zu einer eingeschränkten Rekrutierungsmöglichkeit. Der von Beurskens (Beurskens et al. 2006) beschriebene Langzeiteffekt des Trainings konnte durch eine fehlende Follow-up-Untersuchung mittels Messung der OEMG-Aktivität nach drei, sechs oder zwölf Monaten ebenfalls

im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht evaluiert werden. Aufgrund der geringen Patientenzahl fand die Auswertung der Daten unter einer fehlenden Berücksichtigung der Ätiologie der Fazialisparese statt. Daher lassen sich die Ergebnisse der Studie aktuell nur auf Patienten mit synkinetischer Reinnervation nach peripherer Fazialisparese übertragen. Inwiefern sich die Aktivität bei Patienten mit akuter Fazialisparese oder ohne Synkinesien verändert, kann anhand der Studie nicht beurteilt werden.

6.4.2 Trainingsmethodik

Das Training im Fazialis-Nerv-Zentrum erfolgte nach den grundsätzlichen Prinzipien eines Biofeedback-Trainingskonzeptes, für das von Nakamura und Pourmomeny (Nakamura et al. 2003, Pourmomeny et al. 2014) eine effektive Reduktion für das Vorhandensein von Synkinesien nachgewiesen wurde. Die überwachte und angeleitete Trainingszeit variierte täglich in Abhängigkeit von der Trainingsmotivation, der Fortschritte im zeitlichen Verlauf anhand der durchgeführten Übungen sowie der psychischen Belastung durch die intensive Konfrontation mit der Erkrankung und der damit verbundenen psychologischen Beratung durch die Therapeuten. Außerdem konnte jeder Patient sein tägliches Training ohne Anleitung anhand der im Training erlernten Übungen selbst gestalten, sodass sich abhängig von der Motivation auch dort interindividuelle Unterschiede ergaben. Das Training ist optimiert, um einen Entspannungseffekt an der mimischen Gesichtsmuskulatur zu induzieren. Das Ziel der Studie war es die Veränderungen der Aktivität und damit die beeinflusste Ansteuerung der Ohrmuskulatur festzustellen. Da die Aktivitätsänderungen im Gesicht nicht das Hauptziel der Untersuchungen waren, wurden jeweils nur vier Elektroden pro Gesichtshälfte über den konzentrischen Ringmuskeln Mm. orbicularis oculi et oris appliziert, sodass lediglich eine begrenzte Aussage über die genauen Aktivitätsänderungen, als Nebeneffekt der OEMG-Messungen, an den einzelnen Gesichtsmuskeln getroffen werden kann.

6.4.3 Versuchsbedingungen

Die Untersuchungen wurden als eine monozentrische Studie am Universitätsklinikum Jena durchgeführt. Sowohl die Applikation der Elektroden als auch die Auswertung der Daten erfolgte durch dieselben Untersucher und nach einem standardisierten Protokoll, um eine Beeinträchtigung der Ergebnisse durch individuelle Abweichungen zu reduzieren. Für eine zukünftige klinische Anwendung ist die Reduzierung des Untersuchungssetups auf die aussagekräftigsten Muskeln und Bewegungen (Kapitel

6.2) bezüglich der Bewertung des Trainingseffektes sinnvoll, da unter anderem die zeitaufwendige Elektrodenapplikation mit circa 45 Minuten für beide Ohren durch zwei Untersucher schwer in der klinischen Routine implementierbar scheint. Der Abstand zwischen den Elektroden bei der Applikation am Ohr orientierte sich an individuellen Gegebenheiten der Patienten und wurde im Hinblick auf die zur Erfassung von Summenaktionspotentialen mit größtmöglicher Amplitude vorgenommen (Wissing 2000). Der M. helicis minor und M. tragus spielten bei der Auswertung der Daten keine Rolle. Diese Muskeln konnten aufgrund von technischen Limitationen seitens der verwendeten Elektroden und ihres geringen Muskelquerschnitts lediglich monopolar mit einer Elektrode aufgezeichnet werden, sodass eine bipolare Berechnung nachträglich nicht durchgeführt werden konnte. Diese ist jedoch notwendig, um eine effektivere Signalselektivität bei der Beurteilung von oberflächlichen Muskeln erreichen zu können sowie zur Unterdrückung von Störsignalen (Farina et al. 2004, Lynn et al. 1978). Die Anleitung zur Durchführung der einzelnen Übungen während der Untersuchungen erfolgte nach einem standardisierten Protokoll individuell auf den Patienten angepasst. Nach Rücksprache mit den Therapeuten wurde das bereits vorhandene Untersuchungsprotokoll (Anhang 3) um zusätzliche Übungen ergänzt, welche nicht im Instruktionsvideo für die standardisierte Videodokumentation von Gesichtsbewegungen implementiert waren. Außerdem berücksichtigt das Instruktionsvideo nicht die gewünschte Wiederholungszahl von fünf Wiederholungen pro isometrischer Halteübung sowie die Möglichkeit für individualisierte Pausen zwischen den einzelnen Gesichtsbewegungen, weshalb auf dessen Anwendung verzichtet wurde. Bei der Oberflächenelektromyographie handelt es sich, trotz zahlreicher Einflussfaktoren und Einschränkungen, um ein allgemein anerkanntes und etabliertes Verfahren zur Untersuchung der Muskelfunktion (Quasthoff 2010, Pfeifer und Vogt 2004). Die optische Beurteilung der Gesichtsbewegungen während der Messungen geschah durch eine nicht-standardisierte Videodokumentation und subjektives Feedback durch die Untersucher. Eine standardisierte, parallele Videodokumentation sowie eine zeitgleiche OEMG-Messung wären für eine bessere Erfassung individueller Unterschiede bei der Durchführung von Gesichtsbewegungen besser geeignet.

7 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Dissertation legen nahe, dass ein zehntägiges Biofeedback-Training der fazialen Gesichtsmuskulatur bei Patienten mit synkinetisch reinnervierter Fazialisparese sowohl einen Einfluss auf die mimische Muskulatur des Gesichtes als auch auf die aurikulären Muskeln aufweist. Dabei zeigte sich in der Mehrzahl der untersuchten Gesichtsbewegungen eine gleichgerichtete Aktivitätsabnahme an der aurikulären Muskulatur, obwohl diese Muskelgruppe im Fazialis-Parese-Training nicht gezielt trainiert wurde. Daraus lässt sich schließen, dass ein Trainingseffekt anhand der Messung von OEMGs an der aurikulären Muskulatur dazu geeignet ist, eine Aussage über die Aktivitätsänderung der fazialen Muskeln zu treffen.

Bislang wurde das OEMG nicht für Bewertung des Therapieerfolgs benutzt. Die Untersuchungen zeigen, dass eine Beeinflussung der Aktivität der mimischen Muskulatur durch das Biofeedback-Training objektiv mit OEMG nachgewiesen werden kann. Mithilfe des Fazialis-Parese-Trainings konnte zunächst eine Aktivitätsabnahme auf der betroffenen und nicht betroffenen Gesichtshälfte erzielt werden. Dieser therapeutisch reduzierte Muskeltonus sollte ein gezieltes, symmetrisches Training beider Gesichtshälften ermöglichen. Das bedeutet, dass die OEMG-Ableitung von den Ohrmuskeln zukünftig in das Training zur Steuerung der Übungen implementiert werden könnte.

Insbesondere die extrinsischen aurikulären Muskeln sowie der M. transversus auriculae zeigten eine deutliche Abnahme der Muskelaktivität und wären daher für eine Verlaufsbeobachtung in einem klinischen Setting parallel zum laufenden Training zur Beurteilung des Trainingserfolges geeignet. Die Veränderung der Aktivität der fazialen und aurikulären mimischen Muskulatur über einen längeren Zeitraum als den hier beobachteten zehn Tagen konnte anhand dieser Studie nicht geklärt werden, wäre jedoch mit dem gleichen Messaufbau mit Folgemessungen nach mehreren Wochen oder Monaten technisch denkbar. Die Reduktion von oro-okulären Synkinesien durch relevante Aktivitätsabnahmen sowohl an den fazialen sowie den aussagekräftigsten aurikulären Muskeln belegt objektiv die Wirksamkeit des Fazialis-Parese-Trainings auf die Muskelaktivität. Im nächsten Schritt ist es notwendig, in nachfolgenden Studien diese Effekte mittels OEMG als Erfolgsparameter zu reevaluieren. Darüber hinaus ist eine Untersuchung der Aktivitätsänderungen bei Patienten mit anders gearteten oder fehlenden Synkinesien, aber auch in anderen Phasen der Erkrankung wie

beispielsweise dem Spontanverlauf der akuten Fazialisparese, als äußerst interessant anzusehen.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Alvord LS, Farmer BL. 1997. Anatomy and orientation of the human external ear. *J Am Acad Audiol*, 8 (6):383-390.
- Anders C, Wagner H, Puta C, Grassme R, Scholle HC. 2009. Healthy humans use sex-specific co-ordination patterns of trunk muscles during gait. *Eur J Appl Physiol*, 105 (4):585-594.
- Aumüller G, Aust G, Doll A. 2010. *Duale Reihe Anatomie*. Stuttgart: Thieme.
- Baricich A, Cabrio C, Paggio R, Cisari C, Aluffi P. 2012. Peripheral Facial Nerve Palsy: How Effective Is Rehabilitation? *Otol Neurotol*, 33 (7):1118-1126.
- Barker RN, Brauer S, Carson R. 2009. Training-induced changes in the pattern of triceps to biceps activation during reaching tasks after chronic and severe stroke. *Exp Brain Res*, 196 (4):483-496.
- Barkmann C, Schulte-Markwort M, Brähler E. 2010. *Klinisch-psychiatrische Ratingskalen für das Kindes-und Jugendalter*. Göttingen: Hogrefe.
- Basmajian JV, De Luca CJ. 1985. *Muscles Alive*. 5 Aufl. Baltimore, London, Sydney: Williams and Wilkins.
- Bernius P. 2006. *Biofeedback: Grundlagen, Indikationen, Kommunikation, praktisches Vorgehen in der Therapie; mit 53 Tabellen*. Stuttgart: Schattauer.
- Berzin F, Fortinguerra C. 1993. EMG study of the anterior, superior and posterior auricular muscles in man. *Ann Anat*, 175 (2):195-197.
- Beurskens CH, Heymans PG. 2004. Physiotherapy in patients with facial nerve paresis: description of outcomes. *Am J Otolaryngol*, 25 (6):394-400.
- Beurskens CH, Heymans PG, Oostendorp RA. 2006. Stability of benefits of mime therapy in sequelae of facial nerve paresis during a 1-year period. *Otol Neurotol*, 27 (7):1037-1042.
- Blumenfeld H. 2010. *Neuroanatomy through clinical cases*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Brach JS, VanSwearingen JM, Lenert J, Johnson PC. 1997. Facial neuromuscular retraining for oral synkinesis. *Plast Reconstr Surg*, 99 (7):1922-1931.
- Cronin GW, Steenerson RL. 2003. The effectiveness of neuromuscular facial retraining combined with electromyography in facial paralysis rehabilitation. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 128 (4):534-538.
- De Luca CJ. 1997. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech*, 13 (2):135-163.
- De Luca CJ, Knaflitz M. 1992. *Surface Electromyography: What's New?* Turin: CLUT.
- Eviston TJ, Croxson GR, Kennedy PG, Hadlock T, Krishnan AV. 2015. Bell's palsy: aetiology, clinical features and multidisciplinary care. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 86 (12):1356-1361.
- Farina D, Merletti R, Indino B, Graven-Nielsen T. 2004. Surface EMG crosstalk evaluated from experimental recordings and simulated signals. *Methods Inf Med*, 43 (01):30-35.

- Finkensieper M, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2012. Erkrankungen des Nervus facialis. *Laryngorhinootologie*, 91 (02):121-142.
- Fridlund AJ. 1988. What Can Asymmetry and Laterality in Emg Tell Us About the Face and Brain. *Int J Neurosci*, 39 (1-2):53-69.
- Geraedts P. 2018. Bewegungsinduktionstherapie nach Taub. Übungsbehandlungstechniken und -methoden in der Physiotherapie: Überblick über gängige Therapieansätze bei muskuloskelettalen Erkrankungen. Wiesbaden: Springer.
- Geraedts P. 2020. Mimische Motorik. Motorische Entwicklung und Steuerung. Wiesbaden: Springer, 187-190.
- Gray VL, Ivanova TD, Garland SJ. 2012. Effects of fast functional exercise on muscle activity after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*, 26 (8):968-975.
- Guntinas-Lichius O, Volk GF, Olsen KD, Mäkitie AA, Silver CE, Zafereo ME, Rinaldo A, Randolph GW, Simo R, Shaha AR. 2020. Facial nerve electrodiagnostics for patients with facial palsy: a clinical practice guideline. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol*, 277 (7):1855-1874.
- Hackley SA. 2015. Evidence for a vestigial pinna-orienting system in humans. *J Psychophysiol*, 52 (10):1263-1270.
- Häkkinen K, Kraemer W, Newton R, Alen M. 2001. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand*, 171 (1):51-62.
- Hamzei F, Binkowski F, Buccino G, Ertelt D, Hauptmann B, Hummel FC, Platz T. 2008. Update Physiotherapie: Evidenzbasierte NeuroReha. Stuttgart: Thieme.
- Haus K-M, Held C, Kowalski A, Krombholz A, Nowak M, Schneider E, Strauß G, Wiedemann M. 2013. Praxisbuch Biofeedback und Neurofeedback. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Heckmann JG, Urban PP, Pitz S, Guntinas-Lichius O, Gagyor I. 2019. The Diagnosis and Treatment of Idiopathic Facial Paresis (Bell's Palsy). *Dtsch Arztebl Int*, 116 (41):692-702.
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. 2000. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*, 10 (5):361-374.
- Heuser M. 1976. The oculoauricular phenomenon: a new reflex, a new muscle--m. retroauricularis (polygraphic EMG study)(author's transl). *J Neurol*, 212 (1):95-99.
- Hoyer J, Margraf J. 2003. Fragebögen und Ratingskalen zur sozialen Phobie und zu sozialen Ängsten. *Angstdiagnostik: Grundlagen und Testverfahren*. Berlin, Heidelberg: Springer, 233-319.
- Janik L. Unterschiede zwischen EMG-Aktivitätsmustern der aurikulären Muskulatur von Patienten mit chronischer peripherer Fazialisparese und gesunden Personen [unveröffentlichte Dissertation, in Bearbeitung]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- Kaar E, Hotzenkoecherle S. 2019. Konservative Gesichtstherapie bei peripherer Fazialisparese. *Hausarzt Praxis*, 14 (9):38-39.

- Kahn JB, Gliklich RE, Boyev KP, Stewart MG, Metson RB, McKenna MJ. 2001. Validation of a patient-graded instrument for facial nerve paralysis: the FaCE scale. *Laryngoscope*, 111 (3):387-398.
- König HE, Hans-Georg H-G, Bragulla H. 2007. *Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and colour atlas*. Stuttgart: Schattauer.
- Konrad P. 2005. *EMG-Fibel - Eine praktische Einführung in die kinesologische Elektromyographie*. Noraxon INC. USA.
- Kunkel A, Kopp B, Müller G, Villringer K, Villringer A, Taub E, Flor H. 1999. Constraint-induced movement therapy for motor recovery in chronic stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 80 (6):624-628.
- Kuramoto E, Yoshinaga S, Nakao H, Nemoto S, Ishida Y. 2019. Characteristics of facial muscle activity during voluntary facial expressions: Imaging analysis of facial expressions based on myogenic potential data. *Neuropsychopharmacol Rep*, 39 (3):183-193.
- Kwakkel G, Veerbeek JM, van Wegen EE, Wolf SL. 2015. Constraint-induced movement therapy after stroke. *Lancet Neurol*, 14 (2):224-234.
- Laskawi R, Damenz W. 1993. Elektrophysiologische Untersuchungen zum Schädigungsmuster der mimischen Muskulatur bei der Bellschen Lähmung. *Laryngorhinootologie*, 72 (04):197-203.
- Lorch M, Teach SJ. 2010. Facial Nerve Palsy: Etiology and Approach to Diagnosis and Treatment. *Pediatr Emerg Care*, 26 (10):763-769.
- Lynn PA, Bettles ND, Hughes AD, Johnson SW. 1978. Influences of electrode geometry on bipolar recordings of the surface electromyogram. *Med Biol Eng Comput*, 16 (6):651-660.
- Moneta LB, Quintanilla-Dieck L. 2017. Embryology and anatomy of the ear. *Oper Tech Otolaryngol - Head Neck Surg*, 28 (2):66-71.
- Muggenthaler H, Praxl N, Schönpflug M, Adamec J, von Merten K, Peldschus S, Schneider K, Graw M. 2005. *Oberflächenelektromyographie*. Rechtsmedizin, 15 (3):161-166.
- Müllbacher W. 2011. *Neuroplastizität. Klinische Neuropsychologie*. Wien: Springer, 611-625.
- Nakamura K, Toda N, Sakamaki K, Kashima K, Takeda N. 2003. Biofeedback rehabilitation for prevention of synkinesis after facial palsy. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 128 (4):539-543.
- Neubauer J. 2016. Ein Biofeedback-basiertes Gesichtsmuskel-Training zur Therapie peripherer Fazialisparesen evaluiert durch geschulte Beurteiler [unveröffentlichte Masterarbeit]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- Novak CB. 2004. Rehabilitation strategies for facial nerve injuries. *Semin Plast Surg*, 18(1):47-52.
- Nowotny T, Ebenbichler G. 2001. *Oberflächen-Elektromyographie. Kompendium der Physikalischen Medizin und Rehabilitation*. Wien: Springer, 83-95.
- Paulsen F, Waschke J. 2011. *Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen, Band 3: Kopf, Hals und Neuroanatomie*. München: Urban & Fischer.

- Pedersen MT, Essendrop M, Skotte JH, Jørgensen K, Fallentin N. 2004. Training can modify back muscle response to sudden trunk loading. *Eur Spine J*, 13 (6):548-552.
- Peitersen E. 2002. Bell's palsy: the spontaneous course of 2,500 peripheral facial nerve palsies of different etiologies. *Acta Otolaryngol*, 122 (7):4-30.
- Pfeifer K, Vogt L. 2004. Elektromyographie (EMG). Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer, 165-182.
- Platz T. 2003. Evidenzbasierte Armrehabilitation. *Nervenarzt*, 74 (10):841-849.
- Pourmomeny AA, Zadmehr H, Mirshamsi M, Mahmodi Z. 2014. Prevention of Synkinesis by Biofeedback Therapy: A Randomized Clinical Trial. *Otol Neurotol*, 35 (4):739-742.
- Quasthoff S. 2010. Grundlagen der EMG Untersuchung. *Neurophysiol-Labor*, 32 (1):1-27.
- Reiß M. 2009. Facharztwissen HNO-Heilkunde: Differenzierte Diagnostik und Therapie. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rödiger B, Halbmayr J, Altmann CS, Geißler K, Miltner EM, Möbius H, Guntinas-Lichius O, Volk G. 2020. Intensives EMG-Biofeedback-Training verbessert die Motorik und reduziert die Synkinesien bei Patienten mit chronischer Fazialisparese. *Laryngorhinootologie*, 99 (S 02).
- Ross BG, Nedzelski JM, McLean JA. 1991. Efficacy of feedback training in long-standing facial nerve paresis. *Laryngoscope*, 101 (7):744-750.
- Ross BG, Fradet G, Nedzelski JM. 1996. Development of a sensitive clinical facial grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 114 (3):380-386.
- Rüschenschmidt H. 2021. Elektromyographie der extrinsischen und intrinsischen Ohrmuskulatur des Menschen [unveröffentlichte Disseration]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- Rüschenschmidt H, Volk GF, Anders C, Guntinas-Lichius O. 2022. Electromyography of Extrinsic and Intrinsic Ear Muscles in Healthy Probands and Patients with Unilateral Postparalytic Facial Synkinesis. *Diagnostics*, 12 (1):121.
- Rüsseler J. 2009. Neuropsychologische Therapie: Grundlagen und Praxis der Behandlung kognitiver Störungen bei neurologischen Erkrankungen. Stuttgart: Kohlhammer.
- Sassi FC, Toledo PN, Mangilli LD, de Andrade CRF. 2012. Electromyography and facial paralysis. Applications of EMG in clinical and sports medicine.
- Schaede RA, Volk GF, Modersohn L, Barth JM, Denzler J, Guntinas-Lichius O. 2017. Patienten-Instruktionsvideo mit synchroner Videoaufnahme von Gesichtsbewegungen bei Fazialisparese. *Laryngorhinootologie*, 95 (12):844-849.
- Schaer H. 2006. Körperdysmorphophobie: Evaluation und Validierung des Fragebogen-Instruments BDD-MM (body-dysmorphic-disorder-Munich modul). Disseration, Medizinische Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- Schmidt D, Thoden U. 1978. Co-activation of the M. transversus auris with eye movements (Wilson's oculo-auricular phenomenon) and with activity in other cranial nerves. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 206 (4):227-236.

- Schünke M, Schulte E, Schumacher U. 2011. PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart: Thieme.
- Serra G, Tugnoli V, Cristofori M, Eleopra R, De Grandis D. 1986. The electromyographic examination of the posterior auricular muscle. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 26 (8):661-665.
- Shafshak T. 2006. The treatment of facial palsy from the point of view of physical and rehabilitation medicine. *Eur medicophysica*, 42 (1):41.
- Smith OJ, Ross GL. 2012. Variations in the anatomy of the posterior auricular nerve and its potential as a landmark for identification of the facial nerve trunk: a cadaveric study. *Anat Sci Int*, 87 (2):101-105.
- Stegeman D, Hermens H. 2007. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). Enschede: RRD, 108-112.
- Steinhäuser J, Volk GF, Thielker J, Geitner M, Kутtenreich A-M, Klingner CM, Dobel C, Guntinas-Lichius O. 2022. Multidisciplinary Care of Patients with Facial Palsy: Treatment of 1220 Patients in a German Facial Nerve Center. *J Clin Med*, 11 (2):427.
- Steinhilber B, Rieger MA. 2013. Arbeitsmedizinisch ausgerichtete Normalisierungsverfahren der Oberflächen-Elektromyographie - Ergebnisse einer standardisierten Literaturübersicht. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 63 (5):254-259.
- Takehara I, Chu J, Li TC, Schwartz I. 2004. Reliability of quantitative motor unit action potential parameters. *Muscle Nerve*, 30 (1):111-113.
- Takemura K, Haida SHN, Ogiwara MHAS. 2001. Effect of electromyographic biofeedback therapy for idiopathic facial palsy.
- Taub E, Uswatte G, King DK, Morris D, Crago JE, Chatterjee A. 2006. A placebo-controlled trial of constraint-induced movement therapy for upper extremity after stroke. *Stroke*, 37 (4):1045-1049.
- Trepel M. 2017. Neuroanatomie. München: Urban & Fischer.
- VanSwearingen JM, Brach JS. 1996. The Facial Disability Index: reliability and validity of a disability assessment instrument for disorders of the facial neuromuscular system. *Phys Ther*, 76 (12):1288-1298.
- VanSwearingen JM, Brach JS. 2003. Changes in facial movement and synkinesis with facial neuromuscular reeducation. *Plast Reconstr Surg*, 111 (7):2370-2375.
- Volk GF, Finkensieper M, Guntinas-Lichius O. 2013a. EMG biofeedback training at home for patient with chronic facial palsy and defective healing. *Laryngorhinootologie*, 93 (1):15-24.
- Volk GF, Klingner C, Finkensieper M, Witte OW, Guntinas-Lichius O. 2013b. Prognostication of recovery time after acute peripheral facial palsy: a prospective cohort study. *BMJ open*, 3 (6).
- Volk GF, Roediger B, Geißler K, Kутtenreich A-M, Klingner CM, Dobel C, Guntinas-Lichius O. 2021a. Effect of an Intensified Combined Electromyography and Visual Feedback Training on Facial Grading in Patients With Post-paralytic Facial Synkinesis. *Front Rehabil Sci*, 2 (60).

- Volk GF, Hesse S, Geißler K, Kuttnerreich AM, Thielker J, Dobel C, Guntinas-Lichius O. 2021b. Role of Body Dysmorphic Disorder in Patients With Postparalytic Facial Synkinesis. *Laryngoscope*, 131 (9):2518-2524.
- Volk GF, Schaede RA, Thielker J, Modersohn L, Mothes O, Nduka CC, Barth JM, Denzler J, Guntinas-Lichius O. 2019. Reliability of grading of facial palsy using a video tutorial with synchronous video recording. *Laryngoscope*, 129 (10):2274-2279.
- Wirsching I, Müller L, Zeller D. 2017. Was ist eine motorische Einheit und wie funktioniert sie? *Klin Neurophysiol*, 48 (04):226-231.
- Wissing H. 2000. Objektives Monitoring im klinischen Alltag. *Anaesthesist*, 49 (1):S23-S25.
- Yue G, Cole KJ. 1992. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol*, 67 (5):1114-1123.
- Zilles K, Tillmann BN. 2010. *Anatomie*. Berlin, Heidelberg: Springer.

9 Anhang

9.1 Dokumente, Protokolle und Tabellen

Anhang 1 - Patienteninformation



Teilnehmer-Information zur Studie: „EMG-Aktivitätsmuster der intrinsischen und extrinsischen aurikulären Muskulatur“

Sehr geehrte(r) Frau / Herr _____,

wir möchten Sie bitten, an der folgenden Studie teilzunehmen:

Hintergrund:

Mittels Multikanal-Oberflächen-Elektromyographie sollen die Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur und der kleinen Muskeln untersucht werden, die rund um das Ohr ansetzen bzw. auf oder hinter der Ohrmuschel liegen (aurikuläre Muskeln = Ohrmuskeln). Mit einer Elektromyographie kann die elektrische Aktivität und damit die Funktion eines Muskels untersucht werden. Die Elektromyographie ist ein Standardverfahren in der Medizin.

Ziel der Studie:

Um die Therapieeffekte auf die Aktivität der mimischen Muskeln, aber auch auf die kleinen Ohrmuskeln besser zu verstehen, wollen wir die Muskelaktivität bei Patienten mit Gesichtsnervenlähmungen und damit vermutlich auch Schädigungen, des diese Muskeln versorgenden Nerven, untersuchen.

Untersuchungsablauf:

Mit kleinen Klebeelektroden auf der Haut über den Ohrmuskeln, aber auch über einigen Gesichtsmuskeln, wollen wir die Muskelaktivität dieser Muskeln aufzeichnen. Das Anbringen der Klebeelektroden wird ca. 60 Minuten dauern. So kann der von den Muskeln erzeugte elektrische Strom aufgezeichnet werden (Elektromyographie). Um die Lage der Elektroden genau nachvollziehen zu können, werden wir dies fotografieren. Bei der Messung werden wir Sie bitten, verschiedene Gesichtsbewegungen durchzuführen, die vermutlich einen Einfluss auf die Aktivität der Ohrmuskulatur haben könnten. Dies wird ca. 60 Minuten dauern. Um auch nach der Messung noch nachvollziehen zu können, ob und wann die Gesichtsbewegungen ausgeführt wurden, würden wir die gern mittels einer Videokamera dokumentieren. Diese Aufzeichnungen sind nur für den internen Gebrauch und verlassen das Labor nicht.

Freiwilligkeit:

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Friedrich-Schiller-Universität befürwortet. Sie können ohne Angabe von Gründen zu jedem Zeitpunkt die Teilnahme an einzelnen Studienabschnitten ablehnen oder die Untersuchungen ganz abbrechen. Bei Teilnahmeabbruch entstehen Ihnen keinerlei Nachteile. Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie an der Untersuchung teilnehmen können. Für Sie bestehen keine erkennbaren Risiken.

Erreichbarkeit der Studienleiter:

Sollten während des Verlaufes Fragen auftauchen, so können Sie jederzeit folgende

Ansprechpartner erreichen: Eric Hoche unter der Telefonnummer: (Nummer gelöscht)

Luisa Janik unter der Telefonnummer: (Nummer gelöscht)

In welcher Weise werden die gewonnenen Daten verwendet:

Die bei der Messung erhobenen Daten werden in pseudonymisierter Form erfasst (fortlaufende Nummer). Hierdurch wird sichergestellt, dass aus den verwendeten Daten keine Rückschlüsse auf Ihre Person möglich sind. Die Verbindung zwischen der Teilnehmer-Nummer und Ihrer Person kann nur durch den Studienleiter hergestellt werden. Fotos und Videos, die Ihr Gesicht zeigen, werden nur intern verwendet, um eine zeitliche Zuordnung der Gesichtsbewegungen mit den elektrischen Muskelantworten zu ermöglichen. Nach Abschluss der Auswertungen werden die Videos gelöscht.

Ergänzende Informationen gemäß Europäischer Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)***Rechtsgrundlage***

Die Rechtsgrundlage zur Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten bilden Ihre freiwillige schriftliche Einwilligung gemäß DSGVO, dem überarbeiteten Bundesdatenschutzgesetz (BDSG-neu) sowie der Deklaration von Helsinki (Erklärung des Weltärztebundes zu den ethischen Grundsätzen für die medizinische Forschung am Menschen) und der Leitlinie für Gute Klinische Praxis.

Bezüglich Ihrer persönlichen Daten haben Sie folgende Rechte (Artikel 13 ff. DSGVO, §§ 32 ff. BDSG-neu):

- **Recht auf Auskunft** (Artikel 15 DSGVO, §§ 34 und 57 BDSG-neu).
Sie haben das Recht auf Auskunft über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten, die im Rahmen der klinischen Studie erhoben, verarbeitet oder ggf. an Dritte übermittelt werden (Aushändigen einer kostenfreien Kopie).
- **Recht auf Berichtigung** (Artikel 16 und 19 DSGVO, § 58 BDSG-neu).
Sie haben das Recht, Sie betreffende unrichtige personenbezogene Daten berichtigen zu lassen.
- **Recht auf Löschung** (Artikel 17 und 19 DSGVO, §§ 35 und 58 BDSG-neu).
Sie haben das Recht auf Löschung Sie betreffender personenbezogener Daten, z. B. wenn diese Daten für den Zweck, für den sie erhoben wurden, nicht mehr notwendig sind.
- **Recht auf Einschränkung der Verarbeitung** (Artikel 18 und 19 DSGVO, § 58 BDSG-neu).
Unter bestimmten Voraussetzungen haben Sie das Recht, die Einschränkung der Verarbeitung zu verlangen, d.h. die Daten dürfen nur gespeichert, nicht verarbeitet werden. Dies müssen Sie beantragen. Wenden Sie sich hierzu bitte an ihren Prüfer oder an den Datenschutzbeauftragten des Prüfzentrums.
- **Recht auf Datenübertragbarkeit** (Artikel 20 DSGVO).
Sie haben das Recht, die sie betreffenden personenbezogenen Daten, die sie dem Verantwortlichen für die klinische Studie bereitgestellt haben, zu erhalten. Damit können Sie beantragen, dass diese Daten entweder Ihnen oder, soweit technisch möglich, einer anderen von Ihnen benannten Stelle übermittelt werden.
- **Widerspruchsrecht** (Art 21 DSGVO, § 36 BDSG-neu)
Sie haben das Recht, jederzeit gegen konkrete Entscheidungen oder Maßnahmen zur Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten Widerspruch einzulegen (Art 21 DSGVO, § 36 BDSG-neu). Eine solche Verarbeitung findet anschließend grundsätzlich nicht mehr statt.
- **Einwilligung zur Verarbeitung personenbezogener Daten** (Artikel 6 DSGVO, § 51 BDSG-neu)
Die Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten ist nur mit Ihrer Einwilligung rechtmäßig.
- **Recht auf Widerruf dieser Einwilligung** (Artikel 7, Absatz 3 DSGVO, § 51 Absatz 3 BDSG-neu)
Sie haben das Recht, ihre Einwilligung zur Verarbeitung personenbezogener Daten jederzeit zu widerrufen. Es dürfen jedoch die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Daten durch die in

der Patienteninformation und Einwilligungserklärung zu der jeweiligen klinischen Studie genannten Stellen verarbeitet werden.

Möchten Sie eines dieser Rechte in Anspruch nehmen, wenden Sie sich bitte an Ihren Prüfer oder an den Datenschutzbeauftragten Ihres Prüfzentrums. Außerdem haben Sie das Recht, Beschwerde bei der/den Aufsichtsbehörde/n einzulegen, wenn Sie der Ansicht sind, dass die Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten gegen die DS-GVO verstößt:

Kontakt Daten für das UKJ

Zentrum für Gesundheits-und Sicherheitsmanagement,
Beauftragte für Datenschutz des Universitätsklinikum Jena
Bachstraße 18
07743 Jena
Telefon: 03641 9-325624
Fax: 03641 9-399925
E-Mail: Datenschutzbeauftragter@med.uni-jena.de

Kontakt Daten für die Datenschutz-Aufsichtsbehörde Thüringen

Thüringer Landesbeauftragter für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (TLfDI)
Postfach 900455
99107 Erfurt
Telefon: 03 61 / 57 311 29 00
Fax: 03 61 / 57 311 29 04
E-Mail: poststelle@datenschutz.thueringen.de

Wir danken Ihnen für Ihre Bereitschaft zur Teilnahme an der geplanten Untersuchung, welche als Teil der Qualitätssicherung, der bei Ihnen durchgeführten Maßnahme, dient.

Anhang 2 - Einwilligungserklärung

Einwilligungserklärung zur Studie

„EMG-Aktivitätsmuster der intrinsischen und extrinsischen aurikulären Muskulatur“

(Name, Vorname, Geburtsdatum des Teilnehmers)

Ich wurde durch _____
(Name, Vorname des Studienleiters)

über die Studie informiert. Ich habe die schriftliche Information zur oben genannten Studie erhalten. Mir wurde eine Kopie meiner unterschriebenen Einwilligungserklärung zur Teilnahme ausgehändigt. Ich habe beide Dokumente gelesen und verstanden. Ich wurde ausführlich - mündlich und schriftlich - über das Ziel, den Verlauf der Studie, Chancen und Risiken der Untersuchung, meine Rechte und Pflichten und die Freiwilligkeit der Teilnahme aufgeklärt.

Ich hatte Gelegenheit Fragen zu stellen. Diese wurden mir zufriedenstellend und vollständig beantwortet. Zusätzlich zur schriftlichen Patienteninformation wurden folgende Punkte besprochen:

Ich wurde darüber informiert, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig ist und dass ich meine Einwilligung jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen kann, ohne dass mir dadurch Nachteile entstehen.

Datenschutzhinweis:

Ich erkläre, dass ich mit der erfolgreichen Aufzeichnung von pseudonymisierten Studien- und personenbezogenen Daten einverstanden bin. Die mir zustehenden Rechte laut DSGVO / BDSG-neu bleiben davon unberührt.

- **Ich bin damit einverstanden, dass meine personenbezogenen Daten erst nach einem Jahr vollständig anonymisiert werden. Ich bin damit einverstanden, dass der Studienleiter mich bei Rückfragen noch einmal kontaktiert.**
- **Ich möchte, dass meine personenbezogenen Daten nach der Auswertung so schnell wie möglich anonymisiert werden. Ich möchte nicht vom Studienleiter kontaktiert werden.**

Ort/Datum

Unterschrift Studienleiter

Ort/Datum

Unterschrift Teilnehmer

Anhang 3 - Untersuchungsprotokoll

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Untersuchungsdatum: _____

Protokoll Ohrmuskeln – OEMG

Nr.: _____

vor / zwischen / nach Therapie: _____

Größe: _____ cm

Gewicht: _____ kg

Händigkeit: ☐ rechts ☐ links

Telefonohr: ☐ rechts ☐ links

Brillenträger: _____

Hörgerät: ☐ rechts ☐ links

System: ToM (48 Kanäle) neue 16er Monopolarkästchen DeMeTec Abtastrate, AD: 4096/s

Muskel/ Kanalbelegung: logisch (Steckfeld physisch)			Lokalisation & Orientierung
M. transversus auriculae	li 1,2 (I 1,2)	re 17,18 (II 1,2)	Höhe Gehörgang, Ohr nach vorn biegen, in die Furche zwischen Cavum conchae und Helix
M. obliquus auriculae	li 3,4 (I 3,4)	re 19,2 (II 3,4)	Ohr nach vorn biegen, in Furche zwischen Fossa triangularis und Cavum conchae
M. auricularis superior	li 5,6 (I 5,6)	re 21,22 (II 5,6)	senkrecht, Vorderkante senkrechter Teil der Helix, direkt oberhalb des knorpeligen Ohres
M. auricularis posterior	li 7,8 (I 7,8)	re 23,24 (II 7,8)	unter Sichtkontrolle bei manuellem nach vorn ziehen des Ohres, direkt auf sichtbarem Muskelbauch, 1 mm hinter Ohrmuschel
M. helix major	li 9,10 (I 9, 10)	re 25,26 (II 9,10)	an Vorderkante der Helix, aufsteigend, direkt am Beginn der Helix
M. helix minor	li 11 (I 11)	re 27 (II 11)	Elektrode direkt auf die Crus helix
M. antitragicus	li 12,13 (I 12,13)	re 28,29 (II 12,13)	direkt distal des Antitragus
M. tragus	li 14 (I 14)	re 30 (II 14)	Elektrode an der Außenseite des Tragus
M. auricularis anterior	li 15,16 (I 15,16)	re 31,32 (II 15,16)	horizontal auf Höhe Spina helix, direkt vor Ohr
Bipolar, H93SG			
M. orbicularis oculi	li 33, 34 (III 1,2)	re 37, 38 (III 5, 6)	Augenwinkel (1,5) und mittig unterhalb des Auges (2,6)
M. orbicularis oris	li 35, 36 (III 3,4)	re 39, 40 (III 7, 8)	Mundwinkel (3,7) und etwa 2 cm lateral des Philtrums (4,8)
Referenzelektrode	Ref mit Brücken von I bis III		direkt auf den Proc. mastoideus
Erdungselektrode	Erde mit Brücken von I bis III		direkt auf Proc. spinosus von C7 (Vertebra prominens)

Regeln für Ohrmuskeln: ungerade E-Nr. distal (weiter vom Ohr/Gehörgang entfernt)
E-Nr. 1,12,17,28 entsprechen jeweils der oberen der beiden Elektroden

Bemerkungen:

Ohr-OP?

Kopf-OP?

Fazialisparese: ☐ rechtsseitig ☐ linksseitig

Neurologische Erkrankungen:

Messung

Sitzen in Ruhe, Augen offen 20 s	c _ _ _ _ _ .mes
Sitzen in Ruhe, Augen geschlossen 20 s	c _ _ _ _ _ .mes
Sitzen in Ruhe, Augen 5* zwinkern, ca. 10 s	c _ _ _ _ _ .mes
Sitzen in Ruhe, Augen sanft schließen 10 s	c _ _ _ _ _ .mes
Sitzen in Ruhe, Augen kräftig schließen 10 s	c _ _ _ _ _ .mes
Zähne zusammenbeißen: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Zähne fletschen: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Stirn runzeln: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
„Grimmig“ schauen: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Lächeln: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Lächeln mit Zähne zeigen: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Lächeln einseitig links: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Lächeln einseitig rechts: 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Mund spitzen (Kussmund): 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Mund spitzen geöffnet („O“): 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Nase rümpfen 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Blick nach links 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Blick nach rechts 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Wangen aufblasen 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
„Ohren wackeln“ beidseits 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes
Ohr nach oben ziehen 5* für je 3 s (Beginn M1, Ende M2)	c _ _ _ _ _ .mes

9.2 Danksagung

Nun kann ich endlich meine Dissertationsschrift als beendet erklären. Jedoch wäre die Erstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit nicht allein möglich gewesen, weswegen ich mich bei denjenigen Menschen bedanken möchte, die mir beim Erstellen der Arbeit und über die Zeit von mehr als 3 Jahren unterstützend zur Seite gestanden haben. Ich möchte mich zuerst bei meinem Doktorvater, PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk, für die Unterstützung und intensive Betreuung im Rahmen meiner Promotion bedanken. Einen besonderen Dank möchte ich meinem zweiten Betreuer, apl. Prof. Dr. med. Christoph Anders, aussprechen, ohne dessen Hilfestellung und akademischen Rat diese Arbeit nicht in diesem Rahmen entstanden wäre. Ich möchte Ihnen für die exzellente Betreuung, insbesondere wegen ihrer humorvollen und sympathischen Art, die tolle Zusammenarbeit und den anregenden Diskussionen meinen größten Dank aussprechen!

Des Weiteren gilt mein außerordentlicher Dank den Mitarbeitern des Funktionsbereich Motorik, insbesondere Philipp Schenk, der mir stets als Ansprechpartner zur Verfügung stand und durch dessen konstruktive Kritik sowie Hilfestellungen meine Dissertation bereichert wurde. Zusätzlich möchte ich Frau cand. med. Luisa Janik einen besonderen Dank aussprechen, welche die Untersuchungen mit mir zusammen durchgeführt und mich beratend bei der Erstellung der Arbeit unterstützt hat.

Außerdem möchte ich mich bei den Therapeuten, Eva Miltner und Hendrik Möbius, aus dem Fazialis-Nerv-Zentrum sowie den Patienten für die gute und zuverlässige Zusammenarbeit bedanken. Ohne sie wäre die Durchführung der Studie und meine Dissertation nicht möglich gewesen. Ich wünsche allen Patienten weiterhin viel Kraft und Motivation für das häusliche Training.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Familie, die mir dieses Studium ermöglicht und mich durchgehend auf meinem Weg begleitet und unterstützt haben. Ohne euren Rückhalt und eure Unterstützung in allen Lebenslagen wäre ich nie so weit gekommen. Dafür bin ich euch unendlich dankbar!

9.3 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, 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:

PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk,
apl. Prof. Dr. med. Christoph Anders,
Univ.-Prof. Dr. med. Orlando Guntinas-Lichius,

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, den 15.06.2023

Eric Hoche