

Aus der Abteilung für Hand-, Plastische und Ästhetische Chirurgie
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München



**Application and outcomes of eye tracking technology in the
field of plastic surgery. Recommendations and outlook in light
of current studies**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Tim Jann Staiger

aus Schorndorf

Jahr

2023

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Erster Gutachter: Univ. Prof. Dr. med. Ricardo Giunta
Zweiter Gutachter: PD Dr. med. Sebastian Baumbach
Dritter Gutachter: Priv.- Doz. Dr. med. Annemarie Klingenstein
Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Dr. med. univ. Konstantin Frank
Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 17.05.2023

Affidavit



Eidesstattliche Versicherung

Staiger, Tim Jann

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

Application and outcomes of eye tracking technology in the field of plastic surgery. Recommendations and outlook in light of current studies

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 17.10.2022

Tim Jann Staiger

Ort, Datum
Doktorand

Unterschrift Doktorandin bzw.

Abkürzungsverzeichnis

AOI: Area of interest

EOG: Elektroofokulographie

UC: Umbilicus - Crease

VOG: Video - Okulographie

XU: Xiphoid - Umbilicus

Inhaltsverzeichnis

Affidavit	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Publikationsliste	6
Bestätigung der Co - Autoren	7
1. Einleitung	8
1.1 Eye Tracking Methodik	9
1.2 Historische Entwicklung	14
1.3 Eye Tracking Technologien	15
1.4 Relevanz von Eye Tracking im Bereich der Plastischen Chirurgie	17
2. Zielsetzung	20
2.1 Eingesetzte Eye Tracking Technologie und Berechnung/ Evaluierung	21
3. Inhalte der Dissertation	23
3.1 Publikation 1	23
3.2 Publikation 2	27
4. Zusammenfassung:	31
Abstract (English):	34
4.1 Paper I	37
4.2 Paper II	47
5. Literaturverzeichnis	55
Danksagung	59
Lebenslauf	60

Publikationsliste

Moellhoff N, Staiger TJ, Ehrl D, Kohler LH, Guertler A, Giunta RE, Cotofana S, Frank K. Identifying the most attractive umbilical position - an eye tracking- and survey-based investigation. *J Plast Surg Hand Surg.* 2021 Dec 22:1-7. doi: 10.1080/2000656X.2021.2017946. Epub ahead of print. PMID: 34935586.

Bernardini F, Staiger T, Moellhoff N, Giunta RE, Braig D, Ehrl D, Woodward J, Cotofana S, Kohler LH, Frank K. Facial Recognition Pattern before and after Lower Eyelid Blepharoplasty: An Eye Tracking Analysis. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2022 May;30(2):271-276. doi: 10.1016/j.fsc.2022.01.007. PMID: 35501064.

Bestätigung der Ko–Autoren

Der Doktorand, Herr Tim Jann Staiger, der in beiden Publikationen als Erstautor auftritt, hat das Thema der Dissertation sowie den Studienaufbau gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. Riccardo E. Giunta und Prof. Dr. Sebastian Cotofana entwickelt. Vorbereitungen, wie die Probandenakquise, Datenerfassung anhand objektiver Messmethoden und die statistische Auswertung der Studiendaten, erfolgten eigenständig. Beide Publikationen wurden zunächst eigenständig durch den Doktoranden, Herrn Tim Jann Staiger, verfasst und anschließend durch Herrn Prof. Dr. Riccardo E. Giunta und Prof. Dr. Sebastian Cotofana korrigiert und schließlich in eigenständiger Arbeit in ihre endgültigen Fassungen gebracht.

Weder die vorliegende kumulative Dissertation, noch die angegebenen Publikationen sind Bestandteil einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation des Doktoranten oder eines Ko-Autors.

1. Einleitung

Im Jahre 2019 wurden in den USA insgesamt ca. 18,1 Millionen ästhetische Eingriffe durchgeführt. Alleine in Deutschland haben sich nahezu 1 Million Patienten ästhetisch motivierter Eingriffe unterzogen (1,2). Somit gehört Deutschland zu den führenden Ländern weltweit (1,2). Anhand der gesammelten Daten der International Society of Aesthetic Plastic Surgery, geht hervor, dass der Wunsch nach äußerlicher Harmonisierung an Umfang und Relevanz stetig zunimmt (1).

Die plastische Chirurgie widmet sich der Wiederherstellung, Korrektur und Optimierung von Formen und Funktionen des Körpers. Die ästhetische Chirurgie, welche ein Teilgebiet der plastischen Chirurgie darstellt, befasst sich mit der Optimierung des äußeren Erscheinungsbildes (3).

Um dabei Erfolge zu erzielen, ist die Wahrnehmung von Ästhetik die entscheidende und zugleich anspruchsvollste Komponente. Die Frage nach einem konkreten Schönheitsideal ist allerdings nach wie vor ungeklärt, auch wenn bereits verschiedene Zweige der Philosophie, Anthropologie, Kunst und Medizin versucht haben, Trends der wahrgenommenen Ideale zeitgemäß zu verstehen (4).

Schon bereits in der Antike erlangte der Begriff der „Schönheit“ an großer Bedeutung und zählte neben „dem Guten“ und „das Wahre“ zu den drei fundamentalen Werten der griechischen Antike (5). Namhafte Persönlichkeiten wie Platon, Aristoteles und Sokrates beschäftigten sich mit den Idealen und Definitionen der Schönheit. Bis heute herrscht Uneinigkeit über eine allgemeingültige Definition der Begriffe „Schönheit“ und „Ästhetik“ (5,6). Grund dafür ist, dass diese Begriffe vielseitig verwendet werden und ihre Bedeutung und Wahrnehmung stark durch kulturelle Prägungen, ethnischen Aspekten und subjektive Einflüsse variieren (4).

Schönheitsideale sind durch bewusste und unbewusste Vorlieben beeinträchtigt. Während subjektive Bewertungsmethoden die bewussten Vorlieben wiedergeben, konnten die unbewussten Vorlieben und Präferenzen lange nicht erfasst werden. Mittels Eye Tracking ist es nun möglich unbewusste Vorlieben mithilfe der gemessenen visuellen Aufmerksamkeit zu ermitteln (7,8).

Neben klassischen Erhebungen von Idealen und Präferenzen mittels einfacher Umfrageformate kann die Verwendung von Eye Tracking Aufschluss über die

unterbewusste Wahrnehmung von Objekten gepaart mit einer objektiven Erhebung des „Gefallens“ geben. In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie sich die Wahrnehmung eines Körperteils nach plastisch - chirurgischen Eingriffen verändert. Der Fokus dieser Dissertation liegt darin, unterbewusste Vorlieben basierend auf der visuellen Aufmerksamkeit des Beobachters nach solchen Eingriffen an den Körperregionen „Nabel“ und „Auge“ zu erlangen. Basierend auf den klinischen Ergebnissen können Rückschlüsse gezogen werden, auf deren Basis die präoperative Patientenberatung und therapeutische Leistung im klinischen Alltag optimiert werden kann.

1.1. Eye Tracking Methodik

Eye Tracking ist eine Sensortechnologie, welche eine systematische Aufzeichnung des Blickverhaltens einer Person ermöglicht. Dabei werden die Augenbewegungen gemessen und dadurch Aufmerksamkeit und Konzentration des Benutzers aufgezeigt. Mittels Computer wird dargestellt, welche Stimuli eine Person zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachtet sowie die Reihenfolge und Dauer, in der der Blick von einem Ort zu einem anderen wechselt. Mithilfe dieser Methodik ist es möglich einzigartige Einblicke in das menschliche Verhalten zu erlangen (9).

Der Eye Tracker ist sowohl mit einer Kamera als auch mit einem Infrarotlicht ausgestattet. Die integrierte, hochauflösende Infrarotkamera ist in der Lage, sowohl beabsichtigte als auch unbeabsichtigte Bewegungen zu erkennen und aufzuzeichnen (10,11). Das grundlegende Funktionsprinzip von Eye Tracking Systemen basiert darauf, die Bewegung der Augen in der Hornhautreflexion zu erkennen und zu verfolgen (11).

Beim Einschalten des Gerätes wird das Auge durch das Infrarotlicht abgetastet, wodurch die sonst schwarze Pupille heller als üblich erscheint. Die sensible integrierte Kamera ist in der Lage, die erleuchtete Pupille, sowie eine kleine Reflexion der Infrarotlichtquelle auf der Hornhaut zu erkennen und zu erfassen. Durch die

kontinuierliche Erfassung der Augenbewegungen einer Person können Eye Tracker beeindruckende Informationen über das Sehverhalten des Menschen übermitteln. Obwohl Augenbewegungen auf den ersten Blick konstant erscheinen, sind diese kontinuierlich in Bewegung und ergänzen unbewusst das wahrgenommene Blickfeld (11).

Die visuelle Verhaltensanalyse basiert auf der Erfassung und Verfolgung von drei Dimensionen: Ort, Dauer und Bewegung der Augen:

1. Der *Ort* ist die grundlegende Analyseeinheit, der auch als „Fixierung“ bezeichnet wird. Er gibt den Bereich wieder, der vom Betrachter fokussiert wird. Eine Fixierung wird als Fokussierung des Blickes ab einer Dauer von 100 Millisekunden definiert (11).
2. Die *Dauer* misst die Zeitspanne, in der ein Beobachter auf einen bestimmten Bereich fixiert ist. Sie veranschaulicht die verstärkte Aufmerksamkeit eines Beobachters auf ein bestimmtes Element (11).
3. Zuletzt gilt es, die rapiden *Augenbewegungen* zu betrachten und zu messen. Diese ruckartigen Bewegungen werden als Sakkaden definiert und beschreiben die zurückgelegte Strecke zwischen zwei Fixationspunkten (11,12).

Man unterscheidet bei Eye Tracking Geräten zwischen zwei verschiedenen Installationstypen: einem Head - Free - /Remote System und einem Head - Mounted System. Bei dem Head - Free System, handelt es sich um eine Eye Tracking Kamera, die nicht am Kopf installiert ist, sondern unmittelbar vor dem Beobachter platziert wird. Der Eye Tracker berechnet den Blick unter Verwendung des Pupillenpunkts oder des Vektors zwischen Pupillenkern und Hornhautreflexion. Bei einem Head - Mounted System hingegen erfolgt die Installation der Kamera direkt am Kopf einer Person, um die Szene aus der 'First - Person - Perspective' zu erfassen und um die Blickmuster akkurat zu analysieren. Obwohl sich die Art der Blickmustererfassung zwischen den jeweiligen Verfahren unterscheidet, sind alle Typen valide und genau, was auch durch die Kalibrierungsphase zu Beginn jedes Versuches sichergestellt wird (13).

Darüber hinaus gibt es verschiedene Visualisierungstechniken innerhalb des Eye Trackings, um das Blickverhalten einer Person zu dokumentieren und zu analysieren. Die beiden wichtigsten Darstellungen sind die Scan - Path Darstellung,

ebenso bekannt als Gaze - Plot, sowie die Heatmap Methode (*siehe Abb. 1*) (11,14).

In der Scan - Path Darstellung erscheinen Fixierungen als Punkte und Sakkaden als Linien, die wiederum die Punkte miteinander verbinden. Die Reihenfolge der Fixierungen werden in der Scan - Path Methode beibehalten, jedoch sind die erzeugten Darstellungen oftmals unübersichtlich (*siehe Abb. 1a*). Die Heatmap Methode wiederum verwendet unterschiedliche Farben, um die Häufigkeit der Fixationen oder die Dauer der Fixationen in Form von Farbverläufen zu visualisieren und zu verdeutlichen und um die Interpretation im Vergleich zum Gaze -Plot zu erleichtern (*siehe Abb. 1b*)(11,13,14).

Das Prinzip der Heatmap basiert auf einer proportionalen Darstellung zwischen der Verweildauer als auch der Häufigkeit der Betrachtung eines definierten Punktes und die Zuordnung der Farbe. In den vorliegenden Studien wird das Farbenspektrum von Grün bis Rot gewählt. Sobald ein Punkt häufiger fixiert wird, erfolgt der Einstieg in die Grünskalierung und bei zunehmender Intensität der Häufigkeit/Verweildauer erfolgt der Übergang in die Rotskalierung.



Abbildung 1: Darstellung in Form eines Gaze - Plots (a) und einer Heatmap (b)

Diese Methode ermöglicht ein objektives individuelles Feedback, ohne dass es verbalisiert werden muss. Der Grund für den Einsatz dieser Technologie besteht darin, zu verstehen, worauf sich die Benutzer unbewusst konzentrieren, um das Verständnis des visuellen Verhaltens zu vereinfachen und konkret darzustellen. Die meisten Menschen sind aufgrund schneller unbeabsichtigter Augenbewegungen und eines eingeschränkten Kurzzeitgedächtnisses limitiert in ihrer Selbstauskunft (11). Die Autoren Guan, Lee, Cuddihy und Ramey fanden heraus, dass es den Teilnehmern ihrer Eye Tracking Studie nicht möglich war, visuelle Details wiederzugeben, auf die sie geachtet hatten (7). Die Autoren bezeichneten dieses Phänomen als Unterlassung. Ihre Schlussfolgerung ergab, dass die Probanden eine Unterlassung von beinahe 50 % der Zeit besaßen, was wiederum bedeutet, dass sie in etwa der Hälfte der Zeit die Details, die sie betrachteten, nicht aktiv wahrgenommen hatten (7).

Die Analyse der Augenbewegungen wird durch die Dokumentation des Blickverlaufes einer Person als Reaktion auf eine visuelle Beobachtung des Probanden ermöglicht. Die Analyse der Augenbewegungen zielt insbesondere darauf ab, die Aufmerksamkeit des unbewussten Blicks einer Person zu verstehen (13).

Obwohl die Augen in einer stabilen Position zu sein scheinen, sind sie stetig in Bewegung, um ein vollständiges Bild zu erhalten. Die Zeit, die benötigt wird, um einen bestimmten Punkt zu betrachten, einschließlich des Zeitpunkts der ersten Fixierung oder die Beobachtung der okulären Bewegungsbahn verdeutlicht das Verständnis der visuellen und ebenso unbewussten Aufmerksamkeit (11). Die vielversprechenden Nutzen des Eye Tracking wird durch die Verwendung dieses Verfahrens in einer Vielzahl aktueller medizinischer Studien dokumentiert (15). Dies wird zusätzlich deutlich, da die Vorteile der Eye Tracking Methodik sich nicht nur auf den medizinischen Bereich beschränken, sondern auch in weiteren Bereichen Anwendung findet wie beispielsweise im Marketing, Kognitionspsychologie und der Mensch - Computer - Interaktion, um auch dort ein weitreichendes Verständnis in die visuellen Aufmerksamkeiten zu erhalten (11,16).

In Marketing- und Kundenforschungen wurde die Eye Tracking Technologie als leistungsstarkes Werkzeug verwendet, um Einblicke in die Zufriedenheit oder Unzufriedenheit eines Verbrauchers zu erhalten, die durch visuelle Aufmerksamkeit veranschaulicht wurden (8,17). Im Bereich der Psychologie berichten die Autoren

Harezlak und Kasprowski über diverse Anwendungen des Eye Trackings als Diagnostikverfahren bei psychischen Erkrankungen, wie beispielsweise der Diagnose von Schizophrenie 1908 über Psychosen im Jahre 2004 bis hin zu Autismus im Jahre 2015 (13). In der Medizin wurde diese Methode anfangs nur durchgeführt, um tiefere Einblicke in verschiedene Krankheiten zu gewinnen, wobei es heutzutage auch für andere Zwecke wie zum Beispiel für medizinische Diagnosen, Aufklärungen oder Therapien eingesetzt wird (13,18). Die folgende Abbildung (Abb. 2) soll als Übersicht der Eye Tracking Methodik dienen.

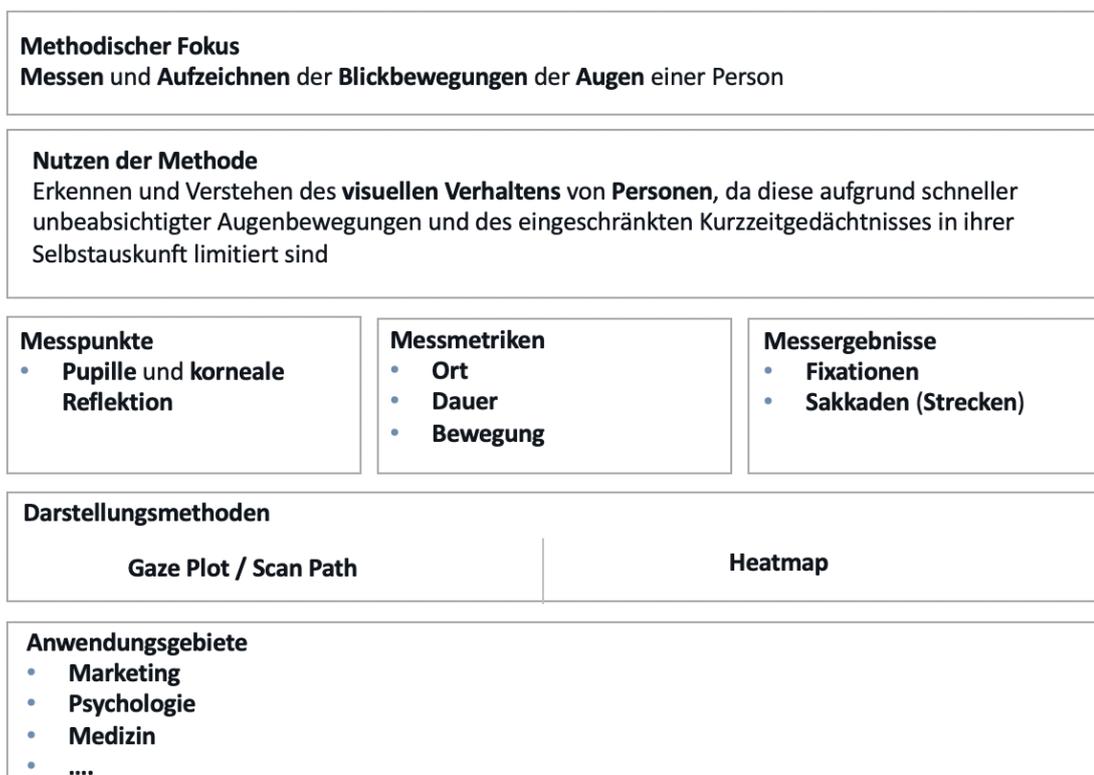


Abbildung 2: Eye Tracking Überblick

1.2. Historische Entwicklung

Eine der ersten qualitativen Aufzeichnungen über Augenbewegungen ist auf das Jahr 1879 zurückzuführen, in welchem unter anderen Javal und Lamar die Augenbewegungen während dem Lesen von Texten ermittelten. Sie verwendeten dabei eine mechanische Kopplung zwischen Augen und Ohren mithilfe eines Gummibands, um die Augenbewegungen akustisch wahrnehmen zu können und führten unterdessen den Begriff „Sakkade“ für die abrupten Augenbewegungen ein (19,20). Eine progressivere Eye Tracking Methodik entwickelte sich erst 1898 und bestand darin, einen modifizierten Gipsring auf der Kornea zu platzieren, welcher mechanisch mit Aufnahmestiften verbunden war (21,22).

Basierend auf dieser Technik wurde ein weiteres Eye Tracking Verfahren entwickelt, in dem ein Stäbchen auf eine Art Kontaktlinse befestigt wurde, um dadurch die Position des Auges determinieren zu können (23). Eine modifizierte Variante entstand, als der Forscher Byford die Augenbewegungen nicht mehr mithilfe eines herausstehenden Stifts, sondern mit einem in die Linse integrierten Aluminiumzeiger aufzeichnete. Mithilfe des Zeigers und einer definierten Lampenanordnung gelang es ihm, die notwendige Mindestfrequenz zu erreichen, die für die Aufzeichnung von Miniatur - Sakkadenverschiebungen erforderlich war. Diese Methode ermöglichte genauere Interpretationen (21,23). Anhand dieser Technik erkannte man erstmals die Verbindung und Wechselwirkung zwischen dem visuellen System und dem Gehirn (11). Dieser Aufschluss war wegweisend für das Verständnis der unbewussten Wahrnehmung.

Um das Jahr 1940 erreichte die Eye Tracking Technologie einen weiteren Meilenstein, indem mithilfe einer eingesetzten Filmkamera die Augenbewegungen erfasst wurden. Im Jahr 1947 wurde von Paul Fitts eine der ersten, mit diesem Verfahren, angewandten Studien durchgeführt, in welcher er mithilfe einer Reihe von Aufnahmen des Auges eines Piloten, die Augenbewegungen untersuchte, während dieser ein Flugzeug landete (11,24,25).

Zeitgleich wurde eine zweite Technik eingeführt, die als Elektrookulographie (EOG) bezeichnet wurde. Durch fixierte Hautelektroden um das Auge herum, wurden die Bewegungen des Auges anhand des korneal - retinalen Ruhepotentials gemessen (13). Zwischen 1960 und 70 entstand eine neue Generation eines Video - basierten Eye Tracking Moduls, die sogenannte Video - Okulographie

(VOG), und öffnete die Tür für weitere fortgeschrittene Untersuchungen im Bereich des Eye Tracking (11).

Die Einführung der VOG stellte das am wenigsten invasive und daher benutzerfreundlichste Mittel für Messungen dar, da die verwendete Kamera gegenüber einer Person platziert wurde (13). Seitdem hat sich die Forschung zur Eye Tracking Technologie stetig weiterentwickelt (11). Die Technik wurde deutlich präziser, sodass es darüber hinaus gelungen ist, Augenbewegungen unabhängig von Kopfbewegungen zu beurteilen. Durch die Einführung von Minicomputern in den 90er - Jahren wurde die Basis für das heutige Eye Tracking und die Mensch - Computer - Interaktion ermöglicht (26,27). Es ist deutlich zu erkennen, dass sich seit dem ersten, sehr invasiven und komplexen Versuch, Blickmuster zu analysieren, die Eye Tracking Technologie und die damit verbundenen Methoden, immens gesteigert und verbessert haben.

1.3 Eye Tracking Technologien

Bei Eye Tracking Technologien unterscheidet man zwischen drei Hauptkategorien zur Messung von Augenbewegungen. Diese sind folgende: Elektrokulographie (EOG), sklerale Kontaktlinsen/Suchspulen und videobasierte Eye Tracking Methoden (13,23).

Bei der Elektrokulographie werden Elektroden um das Auge herum angebracht, um die elektrischen Potenzialschwankungen (Korneo - retinale Potential) zwischen der Vorder- und Rückseite des menschlichen Auges zu messen (*siehe Abb. 3a*). Bewegt sich das Auge in Richtung der Elektroden, schlägt es positiver aus, kehrt es zum Zentrum zurück, reduziert sich das Potential (13). Dieses Verfahren eignet sich jedoch häufig nicht zur Bestimmung des Blickpunkts, da die Augenbewegungen in Abhängigkeit von der Kopfposition erfasst werden. Daher muss bei dieser Methode ebenfalls die Kopfposition gemessen werden, um ein

akkurates Ergebnis zu erhalten (23). Zudem wird dieses Verfahren als sehr zeitaufwendig und unangenehm empfunden. Ein weiterer Nachteil ergibt sich, da es nur im Rahmen von Laboruntersuchungen eingesetzt werden kann und daher nicht für den täglichen Gebrauch oder in mobilen Situationen geeignet ist (13).

Die sklerale Kontaktlinse ist eine der präzisesten Methoden zur Messung der Augenbewegungen. Die Messung erfolgt durch das Anbringen eines mechanischen oder optischen Referenzobjekts auf einer Kontaktlinse (13,23). Dabei muss die Kontaktlinse eine gewisse Größe besitzen, um sowohl die Hornhaut als auch die Sklera zu bedecken (23). Am Linsenstiel werden die verschiedenen mechanischen oder optischen Vorrichtungen angebracht, wie etwa reflektierende Leuchtstoffe, Liniendiagramme oder Drahtspulen. Ein Beispiel für die Anwendung ist die Spule, welche Veränderungen in einem elektromagnetischen Feld erkennt, sobald Augenbewegungen stattfinden (*siehe Abb. 3b*). Da diese Methode als sehr invasiv angesehen wird, muss selbst im sedierten Zustand des Probanden die Anwendung zeitlich auf maximal 30 Minuten beschränkt werden (13,23).

Die letzte und ebenso gängigste Methode ist die videobasierte Blickverfolgung (VOG), bei der die Augenbewegungen durch digitale Videokameras aufgezeichnet werden (*Abb. 3c*) (13). Eye Tracking Systeme zeichnen eine Reihe von Bildern auf und können entweder mit dem von den Augen reflektierten Umgebungslicht (passive Technik) oder mit einer Infrarotbeleuchtung (aktives Licht) aufgenommen werden (*siehe Abb. 4*) (28,29). Die aus den aufgenommenen Fotos gewonnenen Informationen werden zur Bestimmung der Augenpositionen und -bewegungen verwendet. Daher muss die Eye Tracking Kamera direkt vor dem Probanden positioniert werden, sodass die Augen in der Aufnahme stetig sichtbar sind. Da es sich bei videobasierten Eye Trackern um eine nicht invasive Methodik handelt und somit für die Probanden in der Verwendung als überaus angenehm erscheint, erweist sich diese als wohl effizienteste Methode. Nach aktuellstem Stand, ist der auf der Hornhautreflexion basierende Ansatz wahrscheinlich die am häufigsten verwendete Augenbewegungsmethode, die hauptsächlich für Messungen des Blickpunkts eingesetzt wird (13,23).

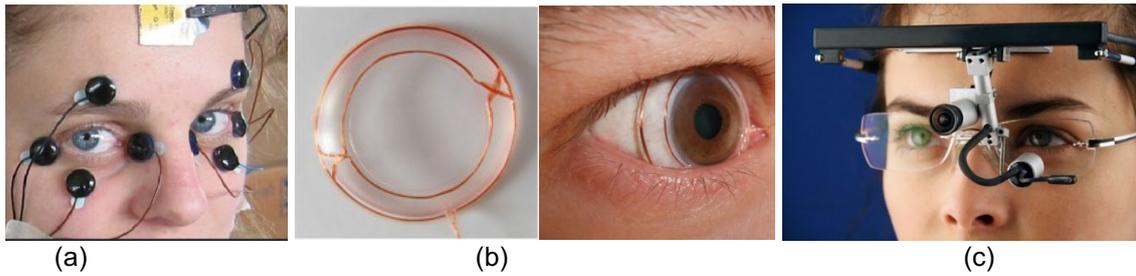


Abbildung 3: Überblick der Eye Tracking Technologien. (a) Elektrookulographie mit Messeinheiten (30), (b) sklerale Kontaktlinse mit einer Drahtspule (31), (c) videobasiertes am Kopf fest installierte Eye Tracking Verfahren (32).



Abbildung 4: Aufzeichnung des Auges mittels (a) reflektiertem Umgebungslicht (Passive Technik), (b) Infrarotbeleuchtung (aktive Technik) (13).

1.4 Relevanz von Eye Tracking im Bereich der plastischen Chirurgie

Der Bereich der plastischen Chirurgie umfasst ein breites Spektrum chirurgischer Verfahren. Er reicht von einfachen ästhetischen Eingriffen bis hin zu komplexen rekonstruktiven Operationen (8,16,33,34). Die zukünftigen Erwartungen des Eye Trackings im Kontext der plastischen Chirurgie sind besonders vielversprechend, da der Erfolg der Ergebnisse nach ästhetischen oder rekonstruktiven Eingriffen stark von der Sicht und Meinung der Patienten abhängig ist (8,10).

Augenbewegungen und die damit verbundenen Ausdrücke sind ein wesentlicher Bestandteil des täglichen Lebens, da sie für die menschliche Interaktion unerlässlich sind. Aber auch im Bereich der Medizin und plastischen Chirurgie haben Analysen der Augenbewegungen mittels Eye Tracking Systeme bisher weitreichende Einblicke ermöglicht (10,15). Dieses Verfahren gewährleistet ein rein objektives Feedback, da es Emotionen, Absichten und visuelle Aufmerksamkeit unabhängig von der Wahrnehmung des Benutzers erkennt (10,11,13). Dadurch hebt es sich von bisherigen Bewertungsmethoden ab, die überwiegend auf subjektiv - individuellen Perspektiven basieren (15).

Die Eye Tracking Technologie wurde in der plastischen Chirurgie erstmals 2009 in einer Studie von Ishii, Carey, Byrne und Zee angewendet, als diese Messungen zur Wahrnehmung bei peripheren Gesichtsdeformitäten durchführten (35). Daraufhin erkannte man, dass durch präzise Messungen und Nachverfolgung der Augenbewegungen, Präferenzen des Beobachters definiert werden können, wodurch man eine vollständig unbewusste und dadurch rein objektive Stellungnahme erhält. Dies zeigte, dass die Verwendung von Eye Tracking ein neues Anwendungsgebiet darstellte und mit neuen Herausforderungen verbunden war.

Mittels Eye Tracking erhalten die Patienten die Möglichkeit, sich Einblicke zu verschaffen, wie betroffene Körperregionen vor und nach operativen Eingriffen, von Außenstehenden wahrgenommen werden. Es liefert Hinweise darauf, welche Regionen besondere Aufmerksamkeit auf sich lenken. Zum einen kann evaluiert werden, inwiefern ein Makel oder Defekt eines Patienten visuell als prominent angesehen wird. Zum anderen kann akkurat veranschaulicht werden, wie sich die Wahrnehmung nach einem operativen Eingriff auf die jeweilige Stelle auswirken kann (15).

Die Technologie bietet somit eine umfassende Methodik, die sowohl die präoperative Patientenberatung aufwerten kann und zusätzlich ermöglicht, postoperative Ergebnisse präziser auszuwerten und beurteilen zu können (15). Die Auswertung der Blickanalyse kann Aufschluss ergeben, ob die betroffenen Areale postoperativ weiterhin als Auffälligkeit gedeutet werden und demnach weitere Eingriffe in Betracht gezogen werden sollten. Ebenso ist es möglich, diverse chirurgische Ansätze zu vergleichen, um die bestmögliche Methode zu ermitteln (15).

Zu untersuchen, wie ein Beobachter bestimmte Körperteile visuell inspiziert und bewertet, insbesondere prä - und postoperativ, kann für die plastische Chirurgie wichtige Informationen liefern und darüber hinaus den therapeutischen Ansatz verbessern (10,15). Daher wurde diese Technik bereits in einer Vielfalt von durchgeführten Studien wie im Bereich der Brust- oder Gesichtsrekonstruktion und weiteren kosmetischen Verfahren angewendet (8,10,15,16,33).

Da die Eye Tracking Technologie unter anderem darauf abzielt, die Ergebnisse und Erkennungsverfahren ästhetisch - chirurgischer Eingriffe zu verbessern, bietet sie ein enormes Forschungspotenzial für die Zukunft und für das gesamte Gebiet. Die Anwendung von Eye Tracking in der plastischen Chirurgie hat in den letzten Jahren an Popularität gewonnen (8,10,16,33) und wird als eine relevante und für die plastische Chirurgie geeignete Auswertungsmethode angesehen (11,13,15). Aus diesem Grund wurden bis heute, diverse Eye Tracking Geräte eingesetzt, um die Ergebnisse der ästhetischen Chirurgie, der kraniofazialen Chirurgie, der Gesichtslähmung, der Gesichtsdeformitäten, der orthognathischen Chirurgie, der Hand- und Mikrochirurgie sowie der Brustrekonstruktion zu beurteilen (15,16).

2. Zielsetzung

Die vorliegende, kumulative Dissertation (bestehend aus zwei Publikationen) befasst sich mit der Blickanalyse bei der Beobachtung von Veränderungen am Körper durch plastisch - chirurgische Eingriffe. Zielsetzung beider Arbeiten ist es, anhand klinischer Ergebnisse tiefere Einblicke in die visuelle Wahrnehmung durch die Betrachtung von manipulierten oder prä- und postoperativen Patientenbildern zu erlangen.

In der veröffentlichten Arbeit "Identifying the Most Attractive Umbilical Position – An Eye Tracking- and Survey - based Investigation" im „Journal of plastic surgery and hand surgery“ (2021) wurde anhand bearbeiteter Aufnahmen mit unterschiedlichen Umbilicus Positionen, die visuelle Aufmerksamkeit des Betrachters auf die jeweiligen Positionen untersucht. Als Orientierungspunkte dienten die Abstände zwischen dem Processus Xiphoideus und Umbilicus und zwischen Umbilicus und medialer Bauchfalte. Ziel war die Untersuchung der Blickmuster und die damit verbundene visuelle Aufmerksamkeit anhand verschiedener Bauchnabel Positionen, um Hinweise zu erhalten, welche Bauchnabel Position nach plastisch - chirurgischen Eingriffen am ästhetischsten angesehen wird. Das Anwendungsgebiet beschränkte sich auf die Nabelreposition nach Abdominoplastiken. Hierfür wurden die verschiedenen Positionen sowohl objektiv, durch die Messungen des Eye Trackers, als auch subjektiv bewertet. Die subjektive Bewertung erfolgte selbst durch die Probanden auf einer 5 - Punkte Likert - Skala.

In der zweiten Publikation „Facial Recognition Pattern Before and After Lower Eyelid Blepharoplasty – An Eye Tracking Analysis“ im Journal “ Facial plastic surgery clinics of North America” (2022) wurde die Auswirkung der operativen, bilateralen Straffung der Augenlider bei Frauen mittels Tobii Pro Nano Eye Tracker untersucht. Hierbei wurde die Erstfixierung und Gesamtdauer der Fixierung in den jeweiligen Interessensgebieten gemessen. Als Basis dienten hierfür Beispielbilder von Patienten jeweils prä- und postoperativ. Ziel der Arbeit war es, visuelle Aufmerksamkeiten bei der Betrachtung von sowohl prä-, als auch postoperativen Geichtsbildern mittels Eye Tracking zu prüfen.

Eingesetzte Eye Tracking Technologie und Berechnung / Evaluierung der Blickmuster

Die beschriebene Eye Tracking Technologie und die Berechnung der Blickmuster werden im Folgenden für beide Publikationen erläutert.

In dieser Dissertation wurde ein Tobii Pro Nano binocular Eye Tracker der Firma Tobii Pro AB (Stockholm, Schweden) verwendet. Dieses Gerät arbeitet auf 60 Hz Basis und findet eine breite Verwendung in fixationsbasierter Forschung. Tobii Pro Nano verwendet Video - basiertes Pupillen- und Hornhautreflexions Eye Tracking mit dunklen und hellen Pupillenilluminationsmodi. Grundlage der Augenanalyse bildet eine integrierte Infrarotkamera, mit der man sowohl beide Augen als auch den Pupillendurchmesser erfasst, um eine präzise Messung der Augenpositionen und Augenblicks zu erhalten (36).

Das System besteht aus einer nicht fest installierten Einheit, welche eine hochauflösende Digitalkamera beinhaltet, sowie einen dazu gehörenden Computer (*siehe Abb. 5a*) (36,37).

Der Eye Tracker wird am unteren Rand des Monitors eines in unserem Fall 15 - Zoll - Laptops (Surface Laptop 3, Microsoft, Redmond, WA, USA) montiert und über eine Standard - USB - 2.0 Schnittstelle mit dem Laptop verbunden. Die Probanden werden mit einem Abstand zwischen 45 und 85 cm (18 bis 33") vor dem Eye Tracker platziert (*siehe Abb. 5b*).

Nach Einnahme einer standardisierten Haltung des Patienten vor dem Tobii Pro Tracker für die gewünschte Aufnahme erfolgt auf Knopfdruck ein voll automatisierter Ablauf, der bis zum Erhalt der finalen Auswertung der Blickanalyse besteht. Bei diesem Prozess werden verschiedene, aufeinander folgende Aufnahmen präsentiert.

Der Tobii Pro Nano binocular Eye Tracker wird für alle Blickanalysen in der Abteilung für Hand-, Plastische und Ästhetische Chirurgie (Campus Innenstadt) Klinikum der Universität München seit 2018 eingesetzt.



Abbildung 5: Versuchsaufbau (a); Abstand des Probanden von ca. 65cm von der Eye Tracking Kamera entfernt (b)

3. Inhalte der Dissertation

3.1 Publikation 1

In der Studie „Identifying the Most Attractive Umbilical Position – An Eye Tracking- and Survey - based Investigation“ galt es, die am ästhetischsten empfundene Bauchnabel Position zu identifizieren. Dies gelang anhand von acht unterschiedlichen und zuvor bearbeiteter Bilder. In dieser Studie, wurden sowohl subjektive als auch objektive Messmethoden für die Bewertung verwendet. Eine 5 - Punkte Likert - Skala diente als subjektive Bewertungsmethode, während das Eye Tracking System die objektive repräsentierte. Die Verwendung dieser beiden Methoden ermöglichte eine umfassende und akkurate Resultaterfassung, die zu wertvollen Erkenntnissen im Rahmen dieser Studie führten und auf die anschließende Anwendung in der plastischen Chirurgie im Bereich der Abdominoplastik wertvoll sein könnten.

Zuallererst wurde mithilfe von Adobe Photoshop Version 21 (Adobe Inc., San Jose, California, USA) und anhand einer weiblichen Stockfotografie, acht unterschiedliche Positionen des Bauchnabels erstellt. Diese wurden entlang einer vertikalen Achse gleichmäßig in 32px Abständen zwischen der Hautprojektion des Processus Xiphoideus und dem Umbilicus (*XU*) und dem Abstand zwischen Umbilicus und der Bauchfalte (*UC*) nach kranial und kaudal im Verhältnis (1:1, 1,25:1, 1,5:1, 1,75:1, 2:1, 2,5:1, 3:1, 5,5:1) platziert (*siehe Abb. 6*).



Abbildung 6: Die verschiedenen vertikal ausgerichteten Bauchnabelpositionen

Anschließend wurde innerhalb des Eye Tracking Systems bei jeder Aufnahme der Abdomen in fünf Areale, im System bezeichnet als Area of Interest (AOI), unterteilt: Left Upper Quadrant, Left Lower Quadrant, Right Upper Quadrant, Right Lower Quadrant und Umbilical Region (siehe Abb. 7).



Abbildung 7: Die Fünf unterteilten Area of Interests (AOI)

Mit der Tobii Pro Software wurden die Augenbewegungen als x- und y- Werte über die Zeit ausgewertet. Die statistischen Analysen erfolgten durch SPSS Statistics 26 (IBM, Armonk, NY, USA), und alle Ergebnisse $p \leq 0,05$ wurden als statistisch signifikant eingestuft.

Die gesammelten Daten wurden mittels Shapiro - Wilk Test auf Normalverteilung geprüft. Unterschiede zwischen Teilnehmern mit und ohne medizinischen Hintergrund wurden mittels Student's T - Test berechnet. Die zeitlichen Unterschiede (Zeitspanne bis zur ersten Fixierung und gesamte Verweildauer) der verschiedenen Bauchnabel Positionen wurden durch eine Varianzanalyse (ANOVA) und durch einen post - hoc Test (Tukey) verglichen.

Die erste Studie umfasste 58 kaukasisch gesunde Probanden ($n = 21$ (36,2%) Männer; $n = 37$ (63,8%) Frauen) mit einem Durchschnittsalter von $36,87 \pm 15,6$ [19 – 70] Jahren.

Die Probanden wurden vor der Durchführung des Experiments über die Ziele, den Umfang und das Verfahren der Studie aufgeklärt, und jede/r Teilnehmer/in wurde gebeten, eine schriftliche Einwilligung zur Verwendung ihrer/seiner Daten und der dazugehörigen Bilder zu unterzeichnen. Zuvor wurde das Vorhaben von der Ethikkommission der Ludwig - Maximilians - Universität München geprüft und genehmigt (Protokollnummer: 20 - 1018). Diese Studie wurde auf Basis der regionalen Gesetze (Deutschland) und guter klinischer Praxis durchgeführt. Alle Teilnehmer dieser Studie wurden mit einem Abstand von 65 cm und denselben Bedingungen vor dem Eye Tracker platziert. Die Augenbewegungen wurden mittels Eye Tracking anhand der Kornealreflexion und dem Kontrast der Pupille gegenüber der Sklera erfasst.

Die bearbeiteten Aufnahmen wurden im Intervall Fotografie/White Screen im Verhältnis 6/2 Sekunden gezeigt. In der Studie wurden bei der objektiven Eye Tracking Bewertungsmethode folgende Metriken untersucht: Die Zeit bis zur ersten stabilen Fixierung und die Dauer der stabilen Fixierung. Anhand dieser Kriterien wurden die Resultate bestimmt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass es keine geschlechtlich, statistisch signifikanten Unterschiede der Probanden bezüglich der Zeit bis zur ersten Fixierung und der subjektiven Bewertungsmethode gab ($p = 0,566$). Es

wurde jedoch erkannt, dass die Gesamtverweildauer bei Frauen im Vergleich zu Männern signifikant länger ($M = 2,51$ Sek., $SD = 1,7$ vs. $M = 2,11$ Sek., $SD = 1,5$, $p = 0,003$) war.

Die Korrelation zwischen der subjektiven Bewertung und der Zeit bis zur ersten Fixierung sowie der Dauer der Fixation zeigen, dass die Befunde mit den Erwartungen der Studie korrespondieren ($r_p = p < 0,001$).

Vergleicht man die Zeiten, die gemessen wurden, von Beginn des Versuchs bis zur ersten Fixierung der jeweiligen Bauchnabel Positionen, wird sichtbar, dass die Position mit einer Ratio von 2:1 ($XU:UC$) den längsten Intervall mit 1,85 ($SD = 1,4$) Sekunden besitzt, wo hingegen die Bauchnabel Position mit der Ratio 5,5:1 mit einer Zeit von 0,94 ($SD = 1,0$) Sek. den kürzesten Intervall aufzeigt ($p < 0,017$).

Die kürzeste Verweildauer wurde bei einer Ratio von 1:1 ($XU:UC$) mit einer Zeitspanne von 1,51 ($SD = 1,2$) Sek. gemessen. Das längste Intervall zeigte sich bei einer Ratio von 5,5:1 ($XU:UC$) mit 3,38 ($SD = 1,6$) Sek. ($p < 0,001$).

Hinsichtlich der subjektiven Bewertung wurde deutlich, dass die Bauchnabel Position mit der Ratio 2:1 ($XU:UC$) und einer Durchschnittsevaluierung von 4,32 (1 von 5) als am ästhetischsten angesehen wurde. Am unattraktivsten wurde der Bauchnabel mit der Ratio 5,5:1 und einem Ergebnis von 1,81 gewertet ($p < 0,001$).

Die Testergebnisse belegen zusammenfassend, dass sowohl nach subjektiven als auch nach objektiven Messungen der Bauchnabel mit dem Verhältnis 2:1 ($XU:UC$) als am unauffälligsten und damit am ästhetischsten empfunden wurde. Daran wird deutlich, dass die subjektive und objektive Bewertung übereinstimmen. Demgegenüber zeigte sich, dass der Bauchnabel mit der Ratio 5,5:1 bei beiden Methoden, subjektive Kritik und objektiv, Aufmerksamkeit erlangte.

3.2 Publikation 2

Die zweite, zu dieser kumulativen Dissertation gehörende Publikation mit dem Titel „Facial Recognition Pattern before and after lower Eyelid Blepharoplasty – An Eye Tracking Analysis“ beschäftigt sich mit der Blickanalyse vor und nach Blepharoplastiken.

Unter Verwendung eines Tobii Pro Nano binocular Eye Tracker der Firma Tobii Pro AB (Stockholm, Schweden) wurden zehn Gesichtsbilder analysiert. Diese umfassten jeweils eine prä- und postoperative Aufnahme fünf unterschiedlicher, realer Patienten, die sich einer Blepharoplastik an den Unterlidern unterzogen hatten. Der Eye Tracker arbeitet mit einer 60-Hz-Abtastrate. Die Aufnahmen wurden im Intervall Patient/White Screen im Verhältnis 6/2 Sekunden gezeigt. Der Inhalt dieser Studie befasst sich mit rein objektiven Ergebnissen. Subjektive Bewertungsmethoden wurden nicht verwendet. Mit der Tobii Pro Software wurden die Augenbewegungen als x- und y- Werte über die Zeit berechnet.

Die statistischen Analysen erfolgten durch SPSS Statistics 26 (IBM, Armonk, NY, USA). Das Signifikanzniveau wurde bei $p \leq 0.05$ eingestuft. Die Daten wurden mittels Shapiro - Wilk Test auf Normalverteilung geprüft. Unterschiede zwischen Teilnehmern mit und ohne medizinischen Hintergrund wurden mittels Student's T - Test berechnet. Darüber hinaus wurden die zeitlichen Unterschiede zwischen den Gesichtsregionen durch eine Varianzanalyse (ANOVA) und durch einen post - hoc Test (Tukey) verglichen.

Bei den Teilnehmern dieser Studie handelte es sich um 58 gesunde kaukasische Probanden. Der Anteil der Frauen betrug $n = 37$ (63,8 %) und der Männer $n = 21$ (36,2 %), mit einem Durchschnittsalter von $37,0 \pm 15,8$ [19 - 70] Jahren. Die Probanden wurden vor der Durchführung des Experiments über die Ziele, den Umfang und das Verfahren der Studie unterrichtet, und jede/r Teilnehmer/in wurde aufgefordert, eine schriftliche Einwilligung zur Verwendung ihrer/seiner Daten und der dazugehörigen Bilder zu unterzeichnen. Zuvor wurde das Vorhaben von der Ethikkommission der Ludwig - Maximilians - Universität München geprüft und genehmigt (Protokollnummer: 20 - 1018). Diese Studie wurde auf Basis der regionalen Gesetze (Deutschland) und guter klinischer Praxis durchgeführt. Alle Teilnehmer dieser Studie wurden mit einem Abstand von 65 cm und

denselben Bedingungen vor dem Eye Tracker platziert. Die Augenbewegungen wurden mittels Eye Tracking anhand der Kornealreflexion und dem Kontrast der Pupille gegenüber der Sklera erfasst.

In dieser Eye Tracking Studie bezog man sich auf folgende Werte:

Die Zeit bis zur ersten Fixierung und Dauer der stabilen Fixierung ($\geq 0,08$ Sek.)

Die Konzentration lag auf den Bereichen periorbital, perioral und Nase (*siehe Abb. 8a*). Innerhalb dieser 3 Fixationsbereiche wurden die AOI spezifischer unterteilt in: Right Upper Eyelid, Right Lower Eyelid, Right Periorbital Region, Left Upper Eyelid, Left Lower Eyelid, Left Periorbital Region, Perioral Region, Nose (*siehe Abb. 8b*). Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob sich die visuelle Aufmerksamkeit mittels Unterlid - Blepharoplastiken im Gesicht verändert.

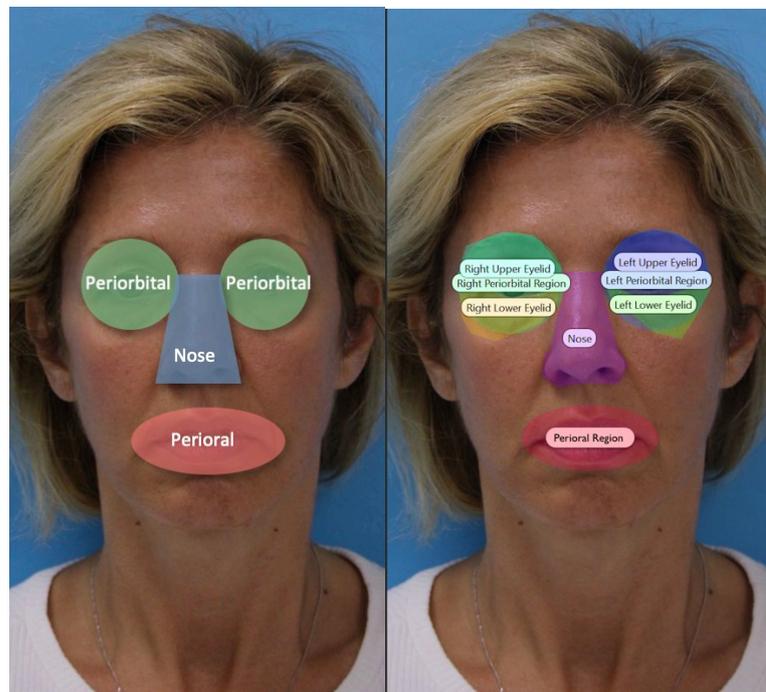


Abbildung 8: (a) Drei Interessenbereiche: Periorbital, Nase und Perioral, (b) Spezifische Unterteilung

Aus den Daten geht hervor, dass sich der Fokus und die Abfolge der Blickbewegungen zwischen den prä- und postoperativen Bildern bei den einzelnen Teilnehmern deutlich unterscheiden.

Bei den präoperativen Bildern nahmen die Probanden überwiegend den periorbitalen Bereich wahr ($M = 0,81$ Sek., $SD = 0,9$, $p < 0,001$), anschließend die

Nasenregion ($M = 1,03$ Sek., $SD = 1,4$, $p < 0,001$) und zuletzt die periorale Region ($M = 2,17$ Sek., $SD = 1,4$, $p < 0,001$).

Diese Reihenfolge änderte sich jedoch bei den postoperativen Bildern, sodass zuerst die Nasenregion ($M = 0,96$ Sek., $SD = 1,3$, $p < 0,001$), dann die periorbital Region ($M = 1,84$ Sek., $SD = 0,99$, $p < 0,001$) und abschließend die perioral Region ($M = 2,18$ Sek., $SD = 1,4$, $p < 0,001$) betrachtet wurden.

Anhand dieser Ergebnisse, wird deutlich, dass sich das Blickverhalten im Vergleich prä-/ zu postoperativen Aufnahmen für die periorale Region (prä vs. post: 2,17 Sek. vs. 2,18 Sek.) sowie für die Nasenregion (prä. vs. post: 1,03 Sek. vs. 0,96 Sek.) zeitlich minimal und damit auch aus statistischer Sicht kaum verändert [Nase ($p = 0,516$); perioral ($p = 0,941$)].

Allerdings veränderte sich prä- und postoperativ die Zeit bis zur ersten Fixierung im Periorbitalbereich beträchtlich von 0,81 Sekunden auf 1,84 Sekunden, was sich auch statistisch als signifikant erwies und somit die Erwartungen bestätigte ($p < 0,001$).

Die Gesamtbeobachtungsdauer der Teilnehmer für die drei Interessengebiete (Perioral, Periorbital und Nase) bei den präoperativen Aufnahmen, unterschieden sich wie folgt: Am kürzesten wurde die periorale Region ($M = 0,72$ Sek., $SD = 0,5$) betrachtet, gefolgt von der Nasenregion ($M = 0,75$ Sek., $SD = 0,6$). Die längste Beobachtungszeit lag auf der periorbitalen Region ($M = 2,22$ Sek., $SD = 0,7$).

Bei den postoperativen Aufnahmen differenzierte sich die Gesamtdauer der Fixierung für die periorale Region auf $M = 0,74$ ($SD = 0,5$) Sekunden, für die Nase auf $M = 0,85$ ($SD = 0,7$) Sekunden und $M = 1,26$ ($SD = 0,6$) Sekunden für die periorbitale Region mit ($p < 0,001$).

Somit zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Fixationen in der Nasen - (0,75 Sek. vs. 0,85 Sek.) und Mundregion (0,72 Sek. vs. 0,74 Sek.) [Nase: ($p=0,090$); Perioral: ($p = 0,689$)]. Die Gesamtdauer der Fixierung auf die periorbitale Region sank jedoch signifikant von 2,22 Sekunden auf 1,26 Sekunden ($p < 0,001$). Ausgehend von diesem Ergebnis lässt sich für den periorbitalen Bereich schlussfolgern, dass die visuelle Aufmerksamkeit postoperativ erwartungsgemäß abnahm.

Die Messwerte illustrieren eine Veränderung in der Reihenfolge der drei Fixierungsbereiche. Präoperativ ergab sich die folgende Reihenfolge: Periorbital - Nase - Perioral, während die postoperative Sequenz folgendermaßen ausfiel: Nase - Periorbital - Perioral. Daraus lässt sich schließen, dass sich die visuelle Aufmerksamkeit durch operative Eingriffe verändert. Eine kürzere Beobachtung deutet auf eine geringere Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Bereich hin und gilt somit als nicht auffällig.

4. Zusammenfassung

Die vorliegende kumulative Dissertation befasst sich mit der Anwendung und Relevanz von Eye Tracking in der plastischen Chirurgie.

Eye Tracking hat sich bereits in verschiedenen Bereichen als erfolgreiche und objektive Bewertungsmethode etabliert (11,13). Die potenzielle Bedeutung von Eye Tracking für die plastische Chirurgie liegt darin, mittels zusätzlicher Bewertungsmethoden, Ergebnisse objektiver zu bewerten, um dadurch Erfolge zu optimieren. Diese Dissertation betrachtet Eye Tracking als eine adäquate Methode zur Messung der Augenbewegungen. Der Fokus liegt dabei auf der visuellen Verhaltensanalyse und die Veränderung der Aufmerksamkeit bei der Betrachtung vorgegebener Stimuli.

Insbesondere wird untersucht, wie anhand von eingesetzter Eye Tracking Technologie, die prä- und postoperative Patientenberatung verbessert werden kann. Dabei werden zwei häufig angewandte Operationstechniken mit stetig wachsender Nachfrage genauer betrachtet. Die Untersuchung zielt darauf ab, eine fundierte Einschätzung der Wirksamkeit und Relevanz von Eye Tracking in der plastischen Chirurgie zu liefern und so die Patientenzufriedenheit und -ergebnisse zu optimieren.

Die erste Studie befasst sich mit der Identifikation der am ästhetisch ansprechendsten Position des Nabels im Rahmen einer Abdominoplastik anhand objektiver und subjektiver Bewertungsmethoden, indem die Eye Tracking Technologie in Kombination mit einer subjektiven 5 - Punkte Likert - Skala eingesetzt wird.

Bisherige Studien haben sich hauptsächlich auf die chirurgischen Techniken konzentriert und nur wenig Aufmerksamkeit auf die ästhetische Position des Nabels gelegt. Die Studien, die sich damit befassten, verwendeten größtenteils knöcherne Orientierungspunkte des Beckens (Symphysis pubica und Spina Iliaca Anterior Superior) und arbeiteten mit absoluten Werten (in cm) für die Neupositionierung des Nabels.

In dieser vorliegenden Studie wurde die Platzierung der Bauchnabelpositionen hingegen mithilfe von Verhältnissen (Ratios) durchgeführt, was zu einer verbesserten praktischen Anwendung führt und eine individuelle Anpassung an die Bedürfnisse der Patienten ermöglicht.

Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen, dass die Bauchnabelposition mit einem XU:UC-Verhältnis von 2:1 die höchste subjektive Bewertung erhielt, während die Position mit einem Verhältnis von 5,5:1 als am wenigsten attraktiv bewertet wurde. Interessanterweise zeigte sich, dass die Zeit bis zur Erstfixierung, also der Zeitpunkt, an dem die Probanden ihren Blick auf die Nabelposition richteten, bei den als unattraktiv empfundenen Positionen kürzer war. Zusätzlich war die Verweildauer bei diesen Positionen relativ lang. Bemerkenswert ist zudem, dass ästhetisch ansprechende Nabelpositionen insgesamt sowohl kürzer als auch später betrachtet wurden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine als unattraktiv empfundene Bauchnabelposition Blicke schneller und länger auf sich zieht.

Basierend auf den Ergebnissen, die zeigen, dass die Bauchnabelposition mit einem Verhältnis von 2:1 sowohl subjektiv als auch objektiv als am attraktivsten bewertet wurde, lässt sich schließen, dass diese Positionierung Beachtung in der klinischen Anwendung finden sollte. Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die plastische Chirurgie und tragen dazu bei, die ästhetischen Ergebnisse des Eingriffs zu verbessern und ermöglichen eine individuellere Gestaltung der Nabelposition basierend auf den unbewussten Bedürfnissen und Vorlieben der Patienten.

Die zweite Studie untersucht das Blickverhalten bei der Betrachtung von prä- und postoperativen Bildern von Patienten, die sich einer Blepharoplastik unterzogen hatten. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Reihenfolge der Gesichtserkennung prä- zu postoperativ verändert, wobei der periorbitale Bereich vor der Operation bei der Betrachtung priorisiert wird. Die Verweildauer für die Periorbitalregion verringerte sich nach dem Eingriff signifikant 2.2 auf 1.26 Sek. ($p < 0.05$). Die Zeit bis zur ersten Fixierung verlängerte sich signifikant für den postoperativen periorbitalen Bereich 0.81 auf 1.84 Sek. ($p < 0.05$). Des Weiteren zeigten sich keine signifikanten Veränderungen für die periorale und Nasenregion.

Die Studie veranschaulicht, dass die Präferenzen des Betrachters zu einer Veränderung der Betrachtungsabfolge der Gesichtsareale führen, wobei ästhetisch ansprechende Merkmale erst später wahrgenommen werden. Darüber hinaus verdeutlicht die Untersuchung, dass die Dauer einer stabilen Fixation und die Zeit bis zur ersten Fixierung, wertvolle Einblicke in die wahrgenommene Attraktivität

liefern. Durch die Untersuchung des Blickverhaltens bei der Betrachtung prä- und postoperativer Bilder konnten Veränderungen in der Reihenfolge der Gesichtserkennung festgestellt werden, was direkte Auswirkungen auf die ästhetische Beratung und operative Planung hat.

Die Ergebnisse beider Studien lassen sich am besten durch das Konzept der „Internal Representation of Beauty“ erklären, wobei Objekte und Merkmale, die diesem "inneren Standard“ von Schönheit entsprechen, weniger Aufwand erfordern, um vom Individuum wahrgenommen und verarbeitet zu werden. Ein attraktiveres Objekt oder Merkmal zieht daher weniger Aufmerksamkeit auf sich, weil es den Beurteilungskriterien des Betrachters entspricht und diese erfüllt. Die vorliegende Studie bestätigt dieses Konzept (38).

Die Ergebnisse dieser Studie zur visuellen Verhaltensanalyse liefern wichtige Erkenntnisse für die Quantifizierung und den Vergleich von Ergebnissen sowie auch verschiedener Therapiemethoden im ästhetischen Bereich.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Veranschaulichung der visuellen Aufmerksamkeit durch Eye-Tracking eine verbesserte prä- und postoperative Patientenberatung ermöglicht. Indem den Patienten aufgezeigt wird, welche Bereiche des Gesichts oder des Körpers die größte Aufmerksamkeit auf sich ziehen, können realistische Erwartungen und Ziele gesetzt werden. Dies trägt zur Zufriedenheit der Patienten bei und fördert eine effektive Kommunikation zwischen Arzt und Patient.

Darüber hinaus ermöglicht Eye-Tracking eine individuell angepasste operative Planung, die auf unbewusste Bedürfnisse und Wünsche der Patienten abgestimmt ist. Durch die Berücksichtigung der visuellen Vorlieben und Präferenzen des Patienten können ästhetische Eingriffe gezielt durchgeführt werden, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen. Dies trägt zu einer individuellen Behandlung und einem höheren Maß an Zufriedenheit bei den Patienten bei.

Insgesamt zeigen diese Schlussfolgerungen, dass die Integration von Eye-Tracking in die ästhetische Medizin eine wertvolle ergänzende Bewertungsmethode darstellt, um die Patientenberatung zu verbessern, individuell angepasste operative Planungen zu ermöglichen und letztendlich ästhetische Eingriffe erfolgreicher umzusetzen.

English – Abstract

The present cumulative dissertation deals with the application and relevance of eye tracking in plastic surgery. Eye tracking has already established itself as a successful and objective assessment method in several fields (11,13). Potential importance of eye tracking for plastic surgery lies in providing additional objective assessment methods to evaluate results more accurately to optimize success. This dissertation considers eye tracking as an interesting method for measuring gaze patterns. Emphasis is placed on visual behavioral analysis and the change of attention upon viewing a given stimulus.

In particular, it examines how eye tracking technology can be used to improve pre- and postoperative patient consultation. In this context, two frequently used surgical techniques with a steadily growing interest are examined in more detail. The study aims to provide an informed assessment of the effectiveness and relevance of eye tracking in plastic surgery for optimizing patient satisfaction and outcomes.

The first study addresses the identification of the most aesthetically pleasing umbilical position in the context of abdominoplasty using objective and subjective assessment methods by combining eye tracking technology with a subjective 5 - point Likert scale.

Previous studies have mainly focused on surgical techniques, with little attention given to the position itself and its aesthetics. The few studies that were concerned with it have mostly employed bony landmarks of the pelvis (pubic symphysis and spina iliaca anterior superior) and worked with absolute values (in cm) for the repositioning of the umbilicus.

In the present study, however, the placement of the navel positions was based on ratios, which leads to an improved practical application and allows an individual adaptation to the patient's needs.

The results illustrate that the navel position with an XU:UC ratio of 2:1 received the highest subjective rating, while the position with a ratio of 5.5:1 was rated as least attractive. Interestingly, it was found that the time until first fixation, which is the time when the subject directs their gaze to the umbilical position, was shorter for the positions that were perceived as unattractive. In addition, the total fixation

time was relatively long for such positions. Furthermore, it is noteworthy that aesthetically pleasing umbilical positions were viewed both shorter and later overall. The Data suggest that a navel position that is perceived as unattractive attracts attention faster and longer.

Given the results indicating that the navel position with a 2:1 ratio was rated as the most attractive both subjectively and objectively, it can be concluded that this positioning should receive attention in clinical practice. These findings provide important insights for plastic surgery and contribute to improving the aesthetic results of the procedure, as well as allowing for a more individualized design of the umbilical position based on the needs and preferences of the patient.

This second study investigates gaze behavior when viewing pre- and postoperative images of patients who had undergone blepharoplasty. It can be observed that the order of facial recognition changed pre- to postoperatively, with the periorbital area being prioritized prior to the procedure. The length of time spent viewing the periorbital region decreased significantly from 2.2 to 1.26 sec. after surgery ($p < 0.05$). The time to first fixation significantly prolonged for the postoperative periorbital region 0.81 to 1.84 sec. ($p < 0.05$). There were no significant changes for the periorbital and nasal regions.

The study illustrates that the preferences of the beholder results in a change in the sequence of observation for facial areas, whereby aesthetically pleasing features are perceived at a later stage. Furthermore, the study highlights that the total duration and time of fixation provide valuable insights into perceived attractiveness. By examining gaze behavior when viewing pre- and post-operative images, changes in the sequence of facial recognition were detected, which directly informs aesthetic consultation and surgical planning.

The results of both studies can best be explained by the concept of the "Internal Representation of Beauty", whereby objects and features that conform to this "internal standard" of beauty require less effort to be perceived and processed by the subject. A more attractive object or feature therefore draws less attention because it corresponds to and fulfills the observer's criteria of judgement. The present studies deliver evidence for this concept (38).

The findings of this study on visual behavior analysis provide a valuable method for quantifying and comparing outcomes as well as different therapeutic procedures in the aesthetic field.

In summary, it appears that visual attention illustration through eye tracking allows for improved pre- and postoperative patient counselling. By allowing patients to see which areas of the face or body attract the most attention, realistic expectations and goals can be established. This enhances patient satisfaction and promotes effective communication between doctor and patient.

Moreover, eye tracking enables customized surgical planning that is attuned to patients' unconscious needs and desires. By taking into account the patient's visual preferences and tastes, aesthetic procedures can be tailored to achieve the desired results. As a result, personalized treatment and a higher level of patient satisfaction can be obtained.

Collectively, these conclusions show that the integration of eye tracking into aesthetic surgery is a valuable resource to improve patient counselling, facilitate customized surgical planning and, ultimately, deliver more successful aesthetic procedures.

4.1 Publikation 1: Identifying the Most Attractive Umbilical Position – An Eye Tracking- and Survey - based Investigation

Deutsch – Abstract

Zielsetzung: Die Abdominoplastik verhilft Patienten, die unter extra-abdominalen Beschwerden leiden, kosmetischen, funktionellen und psychologischen Komfort zu erlangen. Die Position des Nabels spielt eine wesentliche Rolle für den Erfolg des Eingriffs. Ziel dieser Studie ist es, die ästhetisch ansprechendste Nabel Position mittels objektiver Eye Tracking Technologie in Kombination mit einer subjektiven Beurteilung zu bestimmen.

Methoden und Materialien: Die Studie umfasste 58 kaukasische Probanden (Durchschnittsalter 36,87 (15,6) Jahre; 21 (36,2 %) Männer, 37 (63,8 %) Frauen). Den Teilnehmern wurden jeweils acht Bilder gezeigt, auf denen verschiedene auf der vertikalen Achse ausgerichtete Nabelpositionen dargestellt waren. Die Lage des Nabels wurde anhand verschiedener Verhältnisse zwischen Xiphoid und Nabel (*XU*) bzw. zwischen Nabel und Bauchfalte (*UC*) untersucht. Die Augenbewegungen wurden mit dem binokularen Eye Tracker Tobii Pro Nano (Tobii Pro AB, Stockholm, Schweden) aufgezeichnet, und die Daten wurden mit einer 5 - Punkte Likert - Skala, welche die subjektive Bewertung präsentiert, abgeglichen.

Ergebnisse: Die Nabelposition mit einem XU:UC - Verhältnis von 2:1 erzielte die höchste ästhetische Bewertung der umbilikalen Positionen, wohingegen der Nabel mit der Ratio 5,5:1 als am unattraktivsten bewertet wurde. Interessanterweise wurden ästhetisch beurteilte Nabelpositionen kürzer betrachtet als die unästhetischen. Die Zeit bis zur Erstfixierung war bei den als unattraktiv empfundenen Nabelpositionen kürzer als bei den ästhetisch erachteten Positionen.

Schlussfolgerung: Den Ergebnissen zufolge liegt die attraktivste Position des Nabels bei einem XU:UC - Verhältnis von 2:1, was geringfügig unter der ursprünglichen Position liegt. Aus diesen gewonnenen Daten lassen sich Empfehlungen für die Position des Nabels im Rahmen einer Abdominoplastik ableiten.

Englisch – Abstract

Objective: Abdominoplasty is a surgical procedure for patients suffering from excess abdominal tissue to restore a certain level of cosmetic, functional and psychological well - being. However, a sensitive factor in this surgery is the positioning of the navel in the most aesthetic location, which is also essential in determining the overall success of the procedure. The objective of this study is to apply a combination of an objective eye tracking technology together with a subjective aesthetic evaluation based on a 5 - point Likert scale to determine the optimal position of the umbilicus, both horizontally and vertically.

Methods and Materials: The study comprised 58 Caucasian individuals (mean age 36.87 (15.6) years; 21 (36.2%) males, 37 (63.8%) females. Twelve pictures were displayed to participants of the study depicting several vertical and horizontal umbilical positions. The position of the umbilicus was tested at different ratios of xiphoid to umbilicus and umbilicus to abdominal crease. Eye movements were captured with the Tobii Pro Nano binocular eye tracker (Tobii Pro AB, Stockholm, Sweden), while a subjective aesthetic assessment was also recorded using a 5 - point Likert scale.

Results: The umbilical position with an XU:UC ratio of 2:1 yielded the highest aesthetic rating of the umbilical position, whereas the umbilicus with a ratio of 5.5 was rated as the most unattractive. Moreover, aesthetically evaluated umbilical positions were observed for a shorter time than those rated as unaesthetic. The time to first fixation was shorter for umbilical positions considered unattractive than for umbilical positions considered aesthetic.

Conclusion: According to the findings, the most attractive position of the umbilicus is at an XU:UC ratio of 2:1, which is marginally below the original position. Recommendations for the position of the umbilicus when performing abdominoplasty can be derived on the basis of the above data.



ARTICLE

Identifying the most attractive umbilical position – an eye tracking- and survey-based investigation

Nicholas Moellhoff^{a*} , Tim J. Staiger^{a*}, Denis Ehrl^a, Lukas H. Kohler^a, Anne Guertler^b, Riccardo E. Giunta^a, Sebastian Cotofana^c and Konstantin Frank^a

^aDivision of Hand, Plastic and Aesthetic Surgery, University Hospital, LMU Munich, Munich, Germany; ^bDepartment of Dermatology and Allergy, University Hospital, LMU Munich, Munich, Germany; ^cDepartment of Clinical Anatomy, Mayo Clinic College of Medicine and Science, Rochester, MN, USA

ABSTRACT

Abdominoplasty is a popular procedure in plastic surgery providing aesthetic, functional and psychological relief for patients suffering from excess abdominal tissue. Correct umbilical positioning is crucial for a successful aesthetic surgical outcome. This study aims to assess the most attractive position of the umbilicus by means of subjective and objective outcome measures. 58 Caucasian study participants with a mean age of 36.87 (15.6) years rated eight different umbilical positions. The various positions were determined based on the ratio of the distance between the xiphoid process and the umbilicus and the distance between the umbilicus and the infra-umbilical crease: 1:1, 1.25:1, 1.5:1, 1.75:1, 2:1, 2.5:1, 3:1 and 5.5:1. Semi-quantitative scoring of attractiveness based on a 5-point Likert scale and eye tracking analyses were utilized. The results revealed that the volunteers perceived as most attractive the ratio of 2:1 with 4.32 (out of possible 5.0). The ratio of 5.5:1 received the lowest rating with 1.8. The results of the objective eye tracking analyses confirmed the subjective rating as the 2:1 ratio was fixated last amongst all other displayed ratios with 1.85 s whereas the 5.5:1 ratio had the shortest interval between image display and first stable eye fixation with 0.94 s. The study confirms the concept of 'internal representation of beauty'. Abdominoplasty procedures could rely on this easy to perform ratio by dividing the distance into thirds and using the boundary between the inferior and middle third as a clinically reliable landmark.

ARTICLE HISTORY

Received 7 September 2021
Revised 17 November 2021
Accepted 8 December 2021

KEYWORDS

Umbilical position; abdominoplasty; aesthetic surgery; eye-tracking; body surgery

Introduction

Abdominoplasty is a popular procedure in plastic surgery providing aesthetic and functional improvement as well as psychological relief for patients suffering from excess abdominal subcutaneous tissue, that is, skin and fat [1–3]. According to the American Society of Plastic Surgeons (ASPS), there was a 97% increase in the number of annually performed abdominoplasties between 2000 and 2019 [4], demonstrating the surge in demand of recent years for re-shaping the abdomen. In addition, the procedure is an essential part of reconstructive surgery, such as in donor site closure of DIEP flap breast reconstructions [5], or in ventral hernia repair [6].

A key step during abdominoplasty procedures involves the positioning of the umbilicus, as it plays an integral role in the perception of a physiologic and aesthetically pleasing abdominal surface. The umbilicus can be incised, separated from the abdominal skin and repositioned after the excess abdominal tissue has been removed. While reinserting of the umbilicus is then often determined by the umbilical stalk attached to the abdominal wall, there can be significant stretch in patients after massive weight loss, allowing for a range of placement. Alternative techniques transect the stalk of the umbilicus while prevailing its position within the abdominal skin ('umbilical float-technique'), or leave the umbilicus and its stalk in place (standard mini-

abdominoplasty) thereby locating the umbilicus inferiorly when stretching the abdominal tissue inferiorly [7–9].

While there is abundant literature on the performed surgical techniques, limited attention was directed in recent research toward the aesthetic position of the umbilicus. In 1978, Dubou et al. [10] suggested that the repositioning of the umbilicus should be in accordance with anatomic landmarks which should be the mid-way between the iliac crests. Interestingly, two independent articles suggested later on using the 'golden ratio' (1.618:1) when estimating the correct umbilical position while measuring the distance to the xyphoid process [11,12]. Whereas Abhyankar et al. [11] suggested using the pubic symphysis as the inferior landmark, Visconti et al. [12] suggested using the abdominal crease as the inferior landmark. However, both studies were not free of limitations: Abhyankar et al. based his conclusion on the analysis of 75 Indian cosmopolitan females whereas Visconti et al. used 81 high quality pictures of top 2013 bikini models when chosen by editors of mass media. The reliability of such images due to image post-editing and the general applicability to the Caucasian, Asian or African American population of the results presented remains unfortunately questionable.

Because *beauty is within the eye of the beholder* [13], the assessment of the most aesthetically pleasing umbilical position should be based on subjective assessment but also on objective outcome data. Therefore, this study was designed to investigate



Figure 1. Composite Figure showing the different vertical umbilical positions based on the ratio of the distance between the skin projection of the xiphoid process and the umbilicus (= XU) and the distance between the umbilicus and the infra-umbilical crease (UC). The following XU:UC ratios were displayed: 1:1, 1.25:1, 1.5:1, 1.75:1, 2:1, 2.5:1, 3:1 and 5.5:1.

umbilical positioning using semi-quantitative scoring based on a 5-point Likert scale and eye tracking technology to capture gaze patterns and fixation times of study volunteers [14]. It is hoped that the results of this study will allow surgeons to identify the most aesthetic location of the umbilicus during abdominoplasty procedures based on reliable and reproducible data collection.

Materials and methods

Study sample

Eye-movement analyses were conducted in a total of 58 Caucasian volunteers ($n=21$ (36.2%) males and $n=37$ (63.8%) females) with a mean age of 36.87 (15.6) years [age range: 19–70]. Volunteers were recruited at REDACTED of which $n=12$ (20.7%) were plastic surgeons and $n=46$ (79.3%) were without medical background.

Prior to the initiation of the study, volunteers were informed about the aim and the scope of this study and provided written informed consent for the use of their research-related and demographic data. The study was approved by the Institutional Review Board of REDACTED (IRB protocol number: 20-1018).

Eye movement analysis

The utilized eye-tracking device was a Tobii Pro Nano binocular eye – tracker (Tobii Pro AB, Stockholm, Sweden) and operated at a frequency of 60 Hz. The device was mounted at the bottom of a 15" commercially available laptop monitor (Surface Laptop 3, Microsoft, Redmond, WA, US) with a screen size of 340 mm × 244 mm. Eye movements of the study volunteers were captured within a distance of 65 cm to the monitor and a lateral and cranial distance of 35 cm × 30 cm, as published previously [15].

Visual stimulus presented

To identify differences in eye movement patterns between the 58 volunteers, eight different images (= visual stimulus) of umbilical positions were displayed for the duration of 6 s with a resting interval of 2 s between each of the images to allow for eye movement re-positioning. The eight images displayed, presented different vertical positions of the umbilicus in the midline in the same female patient. The various positions of the umbilicus were determined based on the ratio of the distance between the skin projection of the xiphoid process and the umbilicus (= XU) and the distance between the umbilicus and the infra-umbilical crease (UC). The following XU:UC ratios were displayed: 1:1, 1.25:1, 1.5:1, 1.75:1, 2:1, 2.5:1, 3:1 and 5.5:1 (Figure 1).

The various umbilical ratios were edited with Adobe Photoshop Version 21 (Adobe Inc., San Jose, California, USA) based on a commercially acquired stock image. The decision to choose the upper margin of the white underwear as the imaginary position of the infra-umbilical crease was based on the surgical experience of the authors where the scar post abdominoplasty is intended to be hidden slightly inferior to a horizontal connecting line between the anterior superior iliac spines. If the scar is hidden below that line the remainder of visible abdomen can be regarded as the aesthetic area of interest in which the vertical position of the umbilicus can be evaluated.

Data analysis

Eye movement pattern analysis

Eye movement pattern was captured and processed by the internal software toolkit and allowed for the analysis of the following parameter (Figures 2 and 3):

- Time until first fixation (interval between initial display of the image and the first stable eye fixation on the umbilicus)
- Time of fixation (duration of a stable eye fixation on the umbilicus within the time of visual stimulus exposure = 6 s)



Figure 2. Figure showing the 2:1 ratio (left) and the respective visual overall gaze pattern of all subjects (right) when looking at the image.



Figure 3. Figure showing the 5.5:1 ratio (left) and the respective visual overall gaze pattern of all subjects (right) when looking at the image.

Aesthetic rating

Additional to the eye movement analysis, the 58 study participants were asked to rate the eight different umbilical positions according to a 5-point Likert scale: (1) very unattractive, (2) unattractive, (3) neutral, (4) attractive, and (5) very attractive.

Statistical analysis

Differences in time until fixation and time of total duration of fixation and Likert – Scale rating across the different umbilical positions were assessed using analysis of variance (ANOVA) with post-hoc Tukey testing. Pearson – correlations were performed between Likert Scale rating and time until fixation and time of total duration of fixation. All calculations were performed using SPSS Statistics 26 (IBM, Armonk, NY, USA) and results were considered statistically significant at a probability level of ≤ 0.05 to guide conclusions.

Table 1. Table showing the outcome of the aesthetic rating, time to first fixation (in seconds), and the duration of fixation during the 6 s visual stimulus exposure interval (in seconds) for distance between the skin projection of the xiphoid process and the umbilicus (= XU) and the distance between the umbilicus and the infra-umbilical crease (UC). Results are presented as mean value and the corresponding standard deviation.

XU:UC ratio	Aesthetic rating	Time until first fixation	Duration of fixation
1:1	3.78 ± 0.8	1.49 ± 1.3	1.51 ± 1.2
1.25:1	3.25 ± 1.0	1.65 ± 1.6	2.05 ± 1.5
1.5:1	2.43 ± 1.0	1.29 ± 1.5	2.18 ± 1.4
1.75:1	3.98 ± 1.0	1.45 ± 1.2	1.77 ± 1.5
2:1	4.23 ± 1.0	1.85 ± 1.4	1.76 ± 1.6
2.5:1	3.59 ± 1.2	1.28 ± 1.3	1.68 ± 1.4
3:1	2.89 ± 1.2	1.09 ± 0.9	2.47 ± 1.5
5.5:1	1.81 ± 1.0	0.94 ± 1.0	3.38 ± 1.6

Results

General findings

No statistically significant gender differences were observed for the time until first fixation and the aesthetic rating with $p > 0.566$. Overall, females had a statistically significant longer total fixation time with 2.51 (1.7) s vs. 2.11 (1.5) s when compared to males (out of the 6 s visual stimulus exposure interval) with $p = 0.003$.

There was no statistically significant difference in any of the evaluated variables when comparing the background (plastic surgeons vs non-medical background) of the volunteers included into the study with $p > 0.115$.

Aesthetic rating

The 2:1 ratio (XU:UC) received the highest aesthetic rating based on the 5-point Likert scale with a mean value of 4.32 (1.0) (1 to 5, worst to best). On the contrary, the 5.5:1 ratio was rated lowest with a mean value of 1.81 (1.0) when compared to all other scored ratios with $p < 0.001$. Details on the individual aesthetic ratings are given in Table 1 and Figure 4.

Time to first stable eye fixation

The shortest interval until the first stable eye fixation occurred was identified for the 5.5:1 ratio (XU:UC) with an average duration of 0.94 (1.0) s while the longest interval was observed for the 2:1 ratio with 1.85 (1.4) s. Overall differences between measurements indicated statistically significant different intervals with $p = 0.017$ (Table 1) (Figure 5).

Duration of stable fixation

The longest duration of a stable eye fixation was found for the 5.5:1 ratio (XU:UC) with a mean duration of 3.38 (1.6) s while the shortest duration was found for the 1:1 ratio with a mean duration of 1.51 (1.2) s. Overall differences between measurements indicated statistically significant different intervals with $p < 0.001$ (Table 1) (Figure 6).

Additional observations

A positive correlation was observed between the aesthetic rating and the interval between visual stimulus exposure and first stable eye fixation with $r_p = 0.321$ and $p < 0.001$ (Figure 7). Interestingly, a negative correlation was observed between the aesthetic rating and the total duration of a stable eye fixation with $r_p = -0.481$ and $p < 0.001$ (Figure 8).

4  N. MOELLHOFF ET AL.

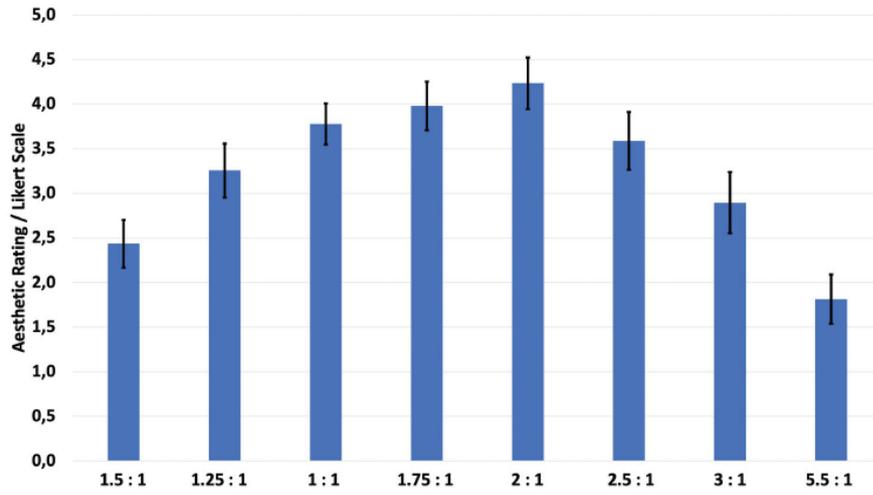


Figure 4. Bar graph showing the aesthetic rating for the respective XU:UC ratios (SD).

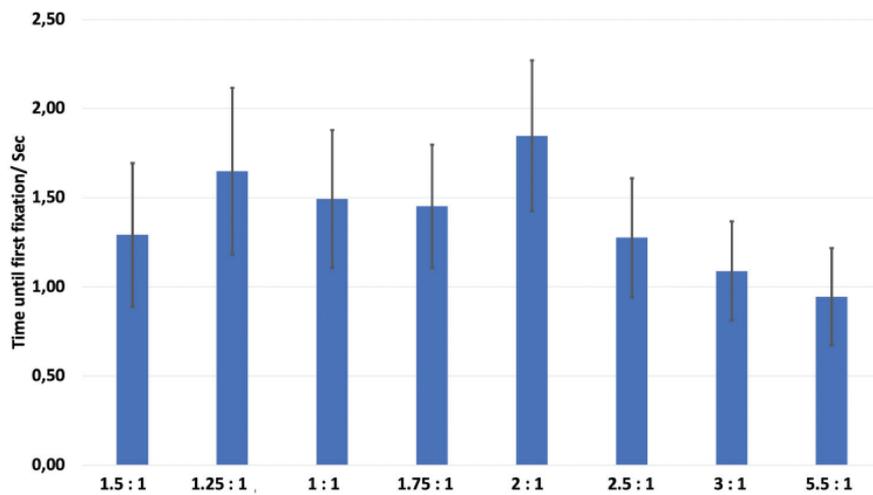


Figure 5. Bar graph showing the mean time until first fixation for the respective XU:UC ratios (SD).

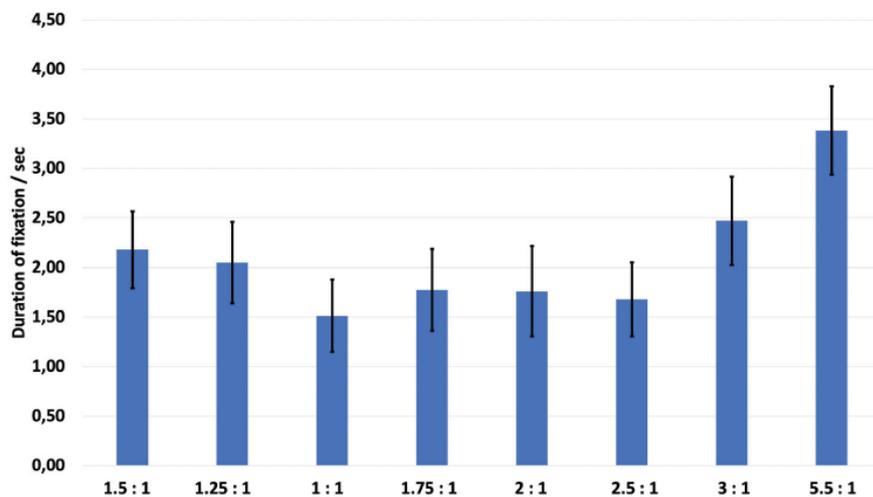


Figure 6. Bar graph showing the mean duration of fixation for the respective XU:UC ratios (SD).

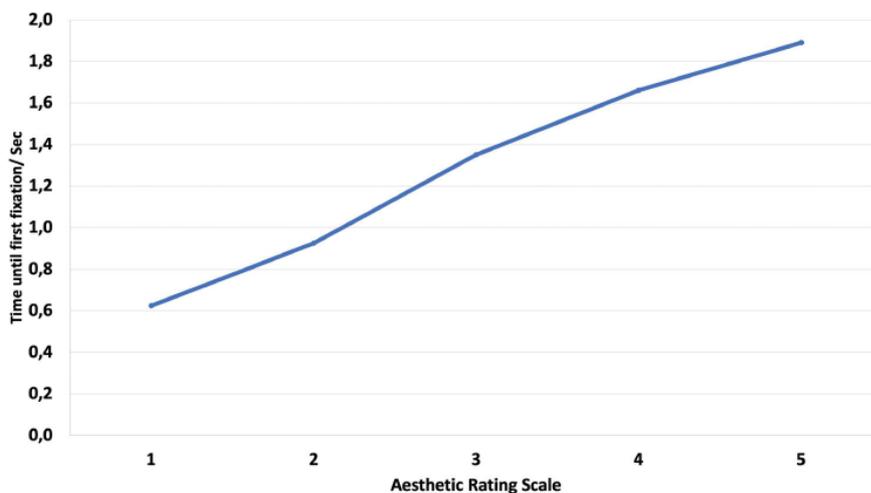


Figure 7. Line graph showing the strong positive correlation between aesthetic rating and time until first fixation.

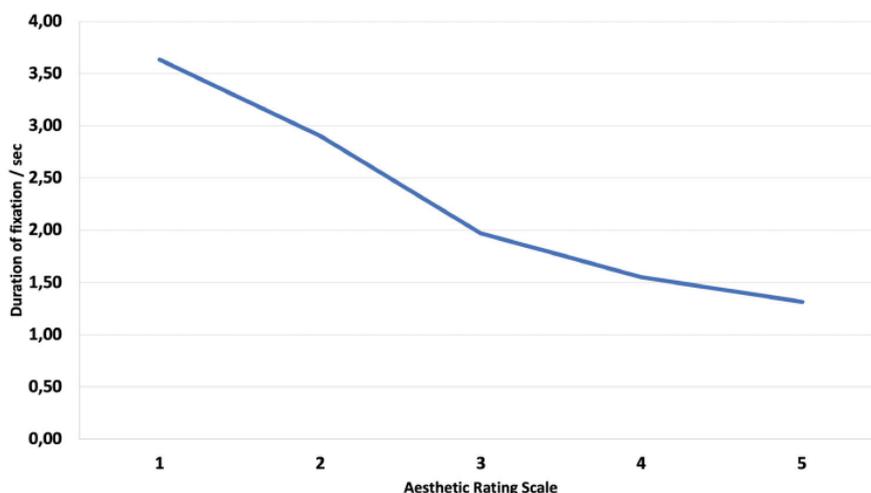


Figure 8. Line graph showing the strong negative correlation between aesthetic rating and duration of fixation.

Discussion

This study investigated the most aesthetically appealing position of the umbilicus in a sample of 58 Caucasian volunteers by means of semi-quantitative aesthetic rating (5-point Likert scale) and by eye tracking analyses. The umbilical position was modified by photo editing and varied along a vertical axis in the midline of a female Caucasian stock image with different ratios between the skin projection of the xiphoid process and the umbilicus (= XU) and the distance between the umbilicus and the infra-umbilical crease (UC). The results revealed that the volunteers perceived as most attractive the ratio of 2:1 (XU:CU) with 4.32 (out of possible 5.0) indicating that if the distance between infra-umbilical crease and the xiphoid process is divided into thirds, the most aesthetically appealing location would be between the lower and the middle third. The ratio of 5.5:1 (XU:CU) received the lowest rating with 1.81 (out of possible 5.0). The results of the objective eye tracking analyses confirmed the subjective rating as the 2:1 ratio was fixated last amongst all other displayed ratios with 1.85 s whereas the 5.5:1 ratio had the shortest interval between image display and first stable eye fixation with 0.94 s. When analyzing the duration of stable eye fixations within the 6 s image display

interval, it was revealed that the 5.5:1 ratio had the longest time with 3.38 s whereas the 2:1 ratio was viewed for the duration of 1.76 s and the 1:1 ratio was viewed for 1.51 s.

The results of the eye tracking analyses can be best understood when incorporating the concept of 'internal representation of beauty'. This concept is based on the socio-ethno-cultural development of beauty within each individual which is reflected in the individual's perception and rating of beauty. The internal representation of beauty is according to this concept a pre-defined and pre-conditioned status within each individual. This internal imprint of beauty is not static but can change during professional development, individual experiences or socio-cultural influences. Objects and features which fit or match into this 'internal standard' of beauty require less effort to be understood or processed by the individual. A beautiful object or feature would therefore attract less attention because it fits and passes the criteria of judgement of the observer. The present study provides evidence for this concept.

The most attractive position of the umbilicus as rated semi-quantitatively by the 58 study volunteers was the 2:1 ratio. This umbilical position was observed latest after the initial image

display with 1.85 s most likely because it did not capture the observer's attention, was matching the internal standard of beauty and was perceived therefore as aesthetically pleasing. This is also supported by the duration of stable eye fixations which was shorter when compared to the most unattractive umbilical position (5.5:1 ratio). On the contrary, the 5.5:1 ratio was rated as most unattractive most likely because it represents an un-natural umbilical position, captures the observers' attention, and is not perceived as aesthetically pleasing. Therefore, the time until the first stable eye fixation occurred was shortest after image display for the 5.5:1 ratio 0.94 s and had the longest duration of stable eye fixation within the 6 s image display interval 3.38 s. The short time to first fixation represents the mismatch between the presented visual stimulus which the observer needs to process and therefore is attracted to inspect it. This could be understood as the unconscious efforts of the individual to process and to understand the displayed image due to the fact that it deviates from the internal representation of beauty. This increased effort to match the displayed 5.5:1 ratio into an internal standard is also reflected by the increased duration of stable eye fixations during the total 6 s image display interval. These processes are unconscious and occur without voluntary control of the individual and can therefore best reflect of uncontrolled reactions toward beauty.

The presented results are somewhat in line with previous reports where the most aesthetic location of the umbilicus was determined to be the 1.618:1 ratio [11,12]. The difference between 1.618 and 2 could result from the different definition of the inferior boundary of the measurements performed: horizontal line between the iliac crest or pubic symphysis. Using the pubic symphysis would result in a greater ratio whereas the iliac crest line would result in a smaller ratio. From a surgical perspective, performing the distance measurements and calculating the 'golden ratio' would create both confusion and inaccuracy. Using the identified 2:1 ratio would allow for easy to perform measurements and increased accuracy. The distance between the visible infra-umbilical crease and the palpable xyphoid process would need to be divided into the three equidistant segments and the position of the umbilicus would be located between the caudal and the middle segment.

This study is not free of limitations: The 58 volunteers were altogether of Caucasian ethnicity as well as the selected stock image is the abdominal surface of a Caucasian young female. It could be speculated that the aesthetic perception would be different if the model and/or the volunteers would be of Asian or African-American ethnicity. This will need to be studied in future eye tracking based investigations where the race of the raters and the selected visual stimulus differ from the results presented herein. Another limitation could be the selection of a stock image (instead of a real image) which could create an observer bias. Precise variations of distance ratios are however difficult to obtain in a clinical scenario which could reduce the variety of visual stimuli presented. The selected umbilical ratios in this study revealed to be of statistically significant difference in their eye tracking parameter as the performed multi-variate analyses showed a statistically significant difference when compared across all eight umbilical ratios. This supports the utilized eye tracking technology in its ability to capture changes within the evaluated parameters. On a clinical note, the umbilicus cannot be readily moved across the abdominal surface. Depending on the surgical procedure, the range of placement is partly limited by the stalk attached to the abdominal wall, or – if applying the umbilical float technique or when performing a mini-abdominoplasty – by the inferior

displacement of the abdominal skin after removal of excessive tissue and inferior stretch to obtain wound closure in the infra-umbilical crease. Therefore, extreme umbilical positions, as assessed within this study, might not be within the range of clinical applicability. However, moderate changes are possible, and surgeons should be attentive to the impact of vertical umbilical positioning on the subjective and objective outcome parameters assessed within this study.

Conclusion

This investigation used eye tracking technology and semi-quantitative aesthetic rating to assess the most aesthetically pleasing position of the umbilicus. The findings revealed that the most attractive position of the umbilicus within the setting of the study was the 2:1 XU:UC ratio whereas the most unattractive ratio was the 5.5:1 XU:UC ratio if the ratio is determined between the skin projection of the xiphoid process and the umbilicus and the distance between the umbilicus and the infra-umbilical crease. Abdominoplasty procedures could rely on this easy to perform ratio by dividing the distance into thirds and using the boundary between the inferior and middle third as a clinically reliable landmark.

Disclosure statement

None of the other authors listed have any commercial associations or financial disclosures that might pose or create a conflict of interest with the methods applied or the results presented in this article.

ORCID

Nicholas Moellhoff  <http://orcid.org/0000-0002-1059-5840>

References

- [1] Saldanha OR, Federico R, Daher PF, et al. Lipoabdominoplasty. *Plast Reconstr Surg.* 2009;124(3):934–942.
- [2] Lockwood T. High-lateral-tension abdominoplasty with superficial fascial system suspension. *Plast Reconstr Surg.* 1995;96(3):603–615.
- [3] Papadopoulos NA, Meier AC, Henrich G, et al. Aesthetic abdominoplasty has a positive impact on quality of life prospectively. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2019;72(5):813–820.
- [4] American Society of Plastic Surgeons [Internet]. Cosmetic plastic surgery statistics. Arlington Heights (IL): American Society of Plastic Surgeons; 2016 [cited 2017 June 1]. <https://d2wirczt3b6wjmn.cloudfront.net/News/Statistics/2016/2016-plastic-surgery-statistics-report.pdf>
- [5] Salgarello M, Tambasco D, Farallo E. DIEP flap donor site versus elective abdominoplasty short-term complication rates: a meta-analysis. *Aesthetic Plast Surg.* 2012;36(2):363–369.
- [6] Robertson JD, De la Torre JI, Gardner PM, et al. Abdominoplasty repair for abdominal wall hernias. *Ann Plast Surg.* 2003;51(1):10–16.
- [7] Wan D, Hubbard BA, Byrd SH. Achieving aesthetic results in the umbilical float mini-abdominoplasty: patient selection and surgical technique. *Plast Reconstr Surg.* 2019;143(3):722–732.

- [8] Colwell AS, Kpodzo D, Gallico GG. Low scar abdominoplasty with inferior positioning of the umbilicus. *Ann Plast Surg.* 2010;64(5):639–644.
- [9] Choudhary S, Taams KO. Umbilicosculpture: a concept revisited. *Br J Plast Surg.* 1998;51(7):538–541.
- [10] Dubou R, Ousterhout DK. Placement of the umbilicus in an abdominoplasty. *Plast Reconstr Surg.* 1978;61(2):291–293.
- [11] Abhyankar SV, Rajguru AG, Patil PA. Anatomical localization of the umbilicus: an Indian study. *Plast Reconstr Surg.* 2006;117(4):1153–1157.
- [12] Visconti G, Visconti E, Bonomo L, et al. Concepts in navel aesthetic: a comprehensive surface anatomy analysis. *Aesthetic Plast Surg.* 2015;39(1):43–50.
- [13] Hungerford Wolfe M. Molly Bawn. Tauchnitz; Leipzig, Germany. 1878.
- [14] Frank K, Moellhoff N, Swift A, et al. In search of the most attractive lip-proportions and lip-volume – an eye tracking- and survey-based investigation. *Plast Reconstr Surg.* Accepted. 2021;
- [15] Frank K, Schuster L, Alfertshofer M, et al. How does wearing a facecover influence the eye movement pattern in times of COVID-19? *Aesthetic Surg J.* 2021;41(8):NP1118–NP1124.

4.2 Publikation 2: „Facial Recognition Pattern before and after lower Eyelid Blepharoplasty – An Eye Tracking Analysis ”

Deutsch – Abstract

Zielsetzung: Ziel der Studie war es, zu prüfen, ob sich die Reihenfolge der Betrachtung einzelner Gesichtsbereiche ändert, wenn das periorbitale Erscheinungsbild eines Patienten verändert wird. Mit Hilfe von Eye Tracking sollte das Blickverhalten der Studienteilnehmer bei der Betrachtung von prä- und postoperativen Bildern von Patienten untersucht werden, die sich einer Blepharoplastik unterzogen hatten.

Material und Methoden: Bei der Untersuchung wurden die Augenbewegungsmuster von insgesamt 58 Freiwilligen mit einem Durchschnittsalter von $37,0 \pm 15,8$ Jahren untersucht. Es wurden zehn Gesichtsbilder für jeweils sechs Sekunden gezeigt. Dabei wurden Daten über die Zeit bis zur ersten Fixierung und die Dauer der stabilen Fixation erfasst.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Gesichtserkennungssequenz präoperativ von Periorbital - Nase - Perioral, postoperativ zu Nase - Periorbital - Perioral veränderte. Die Zeit, bis zur ersten Fixierung unterschied sich nicht signifikant zwischen der Nase (prä vs. post: 1,03 Sek. vs. 0,96 Sek.) und dem perioralen Bereich (prä vs. post: 2,17 Sek. vs. 2,18 Sek.), mit $p = 0,516$ (Nase) und $p = 0,941$ (perioral). Allerdings veränderte sich prä- und postoperativ die Zeit bis zur ersten Fixierung erheblich im periorbital Bereich (prä vs. post: 0,81 Sek. vs. 1,84 Sek., $p < 0,001$).

Schlussfolgerung: Die auf der Eye Tracking Analyse basierende Studie ergab, dass die Präferenzen des Beobachters und somit die Abfolge der Erkennung von Gesichtsmerkmalen durch Veränderung fazialer Merkmale beeinflusst wurde. Allerdings spiegeln die Blickbewegungsmuster offenbar die unbewusste Wahrnehmung von Attraktivität wider, sodass ästhetisch ansprechende Merkmale erst später wahrgenommen werden und die Dauer der Erstbetrachtung kürzer ist.

Englisch – Abstract

Objective: Purpose of the study was to assess whether the order in which patients view individual facial areas varies in response to a change in the periorbital appearance of the patient. By means of eye tracking, the gaze pattern of the participants in the study was examined when viewing pre- and postoperative images of patients who had undergone blepharoplasty.

Material and Methods: When looking at pre- and postoperative pictures of patients who underwent bilateral periorbital surgery, this study looked at the eye movement patterns of 58 volunteers with an average age of 37.0 ± 15.8 years. Ten images were shown separately for six seconds each. Data was captured about the time to first fixation and the duration of the stable fixation.

Results: The results showed that before surgery, the facial recognition sequence was periorbital-nose-perioral, but after surgery, it was nose-periorbital-perioral. The time until the eye tracking device identified the initial steady eye fixation did not differ significantly between the nose (pre vs post: 1.03 sec. vs. 0.96 sec.) and the perioral area (2.17 sec. vs. 2.18 sec.), with $p = 0.516$ (nose) and $p = 0.941$ (perioral).

Conclusion: This eye tracking analysis-based study found that the observer's aesthetic preferences impact the sequence of facial feature recognition, and that changes to facial features influence the sequence of facial feature recognition. However, eye movement patterns apparently reflect the unconscious perception of attractiveness, where aesthetically appealing face features are noticed later during first image exposure and with shorter attention.

Paper II

Facial Recognition Pattern before and after Lower Eyelid Blepharoplasty

An Eye Tracking Analysis



Francesco Bernardini, MD^{a,1}, Tim Staiger^{b,1}, Nicholas Moellhoff, MD^b, Riccardo E. Giunta, MD^b, David Braig, MD, PhD^b, Denis Ehrl, MD, PhD^b, Julie Woodward, MD^c, Sebastian Cotofana, MD, PhD^d, Lukas H. Kohler, MD^b, Konstantin Frank, MD^{b,*}

KEYWORDS

• Facial recognition • Periorbital anatomy • Blepharoplasty • Eye tracking analyses • Facial anatomy

INTRODUCTION

According to the International Society of Aesthetic Plastic Surgeons a total of 1.3 million eyelid surgery procedures were performed in 2019, indicating an increase of 14.5% compared with 2018.¹ Although injections of soft tissue fillers in the lower orbital region have gained popularity, periorbital surgery is required in many instances to provide a sufficient and successful long-term result. With increasing age, the bony orbit, the ligaments, the subcutaneous fat, the muscle, and the skin undergo significant changes that cause an accentuation of the tear trough, infraorbital hollowing, herniation of the intraorbital fat pads, excess upper and lower lid skin, festoons, and eyelid hooding.^{2–8} Age-related changes and the resulting clinical manifestations in the periorbital region often lead to a tired and unhappy facial expression. Because the eyes are considered as the center of attention and are often looked on first when observing a face, age-related changes in this area might be more visible and apparent than other

characteristics of an aged face. Aesthetic periorbital surgery aims to ameliorate or even mask these signs of aging, thereby creating a younger, fresher, and more harmonious look.⁹ Although patient-reported and physician-reported outcome are valuable when it comes to assessing the success of aesthetic facial surgery, eye tracking technology has emerged as a novel technique and method to assess the gaze of participants when looking at bodies. Recent investigations have shown that people tend to look faster and longer at facial characteristics that seem unharmonious and disproportionate^{10,11} Altering the periorbital appearance of a patient might thus consecutively change the facial feature sequence of observers. Signs of aging, which might capture the gaze and look of a viewer before periorbital surgery, might be looked at longer and quicker because they might be perceived as unharmonious, whereas the face and especially the periorbital region of patients that underwent periorbital cosmetic surgery might be viewed differently after amelioration or masking of aforementioned signs

Author disclosure: The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and publication of this article.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

^a Oculoplastica Bernardini, Genova, Italy; ^b Department for Hand, Plastic and Aesthetic Surgery, Ludwig – Maximilian University Munich, Munich, Germany; ^c Duke University Medical Center, Durham, NC, USA; ^d Department of Clinical Anatomy, Mayo Clinic College of Medicine and Science, Rochester, MN, USA

¹ Both authors contributed equally.

* Corresponding author: Department for Hand, Plastic and Aesthetic Surgery Ludwig – Maximilian University Munich, Pettenkofersstraße 8A, Munich 80336, Germany.

E-mail address: konstantinfrank@me.com

of aging. Thus, the aim of this study was to investigate eye movement patterns using eye tracking technology when looking at preoperative and postoperative images of patients that underwent bilateral periorbital cosmetic surgery.

MATERIAL AND METHODS

Study Sample

This study investigated the eye movement pattern of 58 volunteers with a mean age of 37.0 ± 15.8 years, of which 21 were males (36.2%) and 37 females (63.8%). Volunteers were recruited, of which 12 (20.7%) were plastic surgeons and 46 (79.3%) were without medical background.

Before enrollment, volunteers consented for the use of their demographic and result-related data for the purposes of this study. The investigation was institutional review board approved (protocol number: 20–1018). This study was conducted in accordance with regional laws and good clinical practice, and in accordance with the Declaration of Helsinki.¹² Patients gave their informed consent for their images to be published.

Eye Movement Analyses

The investigations of eye movements were conducted with eye tracking technology and as described previously.¹³ In brief, the gaze pattern of the included volunteers was investigated using a Tobii Pro Nano eye tracker (Tobii Pro AB, Stockholm, Sweden) with a frequency of 60 Hz. The eye-tracker bar was fixed to a 15-inch screen (339.5 mm × 244 mm) of a commercially available laptop (Surface Laptop 3, Microsoft, Redmond, WA). The area of eye capture was 35 cm × 30 cm at 65 cm distance. Eye movement analyses were conducted automatically by the eye tracker based on the combined assessment of corneal reflection and pupillary contrast to the white sclera. The movement pattern is recorded as x and y values over time.

To ensure a standardized study environment, all volunteers were exposed to the same set of images in the same room, under identical light and seating conditions. Volunteers were asked to sit upright on a chair with a fixed backrest, at a distance of 45 cm to the screen. Before visual stimulus exposure, a nine-point calibration was conducted to ensure consistency throughout the eye movement analyses.

Visual Stimulus Presented

A total of 10 facial images were presented to the 58 study volunteers for the duration of 6 seconds

each (= image exposure interval). Between images, participants were presented with a white screen for 2 seconds, to allow for gaze relaxation. Of the 10 displayed images, five images showed patients before lower eyelid blepharoplasty (**Fig. 1**) and the other five images showed the same set of patients 1 year after their surgical intervention (**Fig. 2; Figs. 3 and 4**). The presented preoperative and postoperative images were displayed in a randomized sequence to accommodate for learners' bias. A stable eye fixation was defined as a constant eye fixation for the duration of at least 0.08 seconds.

All performed surgical procedures followed standard lower eyelid blepharoplasty guidelines without specific modifications. Images were transferred for the purposes of this study to a research center following patient informed consent.

Data Analysis

Eye movement pattern analysis

Data were analyzed according to a previously published protocol.¹³ In brief, the following variables were captured:

- Time until first fixation (interval between initial display of the image and the first stable eye fixation)
- Time of fixation (duration of a stable eye fixation within the time of visual stimulus exposure = 6 seconds)

All parameters captured were stratified by areas of visual interest: periorbital, nose, perioral.

Statistical analysis

The data were normally distributed, as assessed by Shapiro-Wilk test ($P > .05$). Differences of the total time of fixation and time until first fixation between volunteers with and without plastic surgical background were calculated using Student *t* test. Differences between facial region were calculated by analysis of variance with post hoc Tukey testing. All calculations were performed using SPSS Statistics version 26 (IBM, Armonk, NY) and results were considered statistically significant at a probability level of less than or equal to 0.05 to guide conclusions.

RESULTS

General Findings

Overall, there was a statistically significant difference in the eye movement pattern between volunteers with and without plastic surgery background ($P < .004$).



Fig. 1. Frontal view showing the preoperative image on the left and the superimposed average gaze pattern of the observers on the right.

Sequence of Fixation

Randomized visual stimulus exposure revealed that in the preoperative images volunteers first focused on the periorbital region with 0.81 (0.9) seconds, followed by the nose with 1.03 (1.4) seconds and by the perioral region with 2.17 (1.4) seconds ($P < .001$). In the postoperative images, the

sequence of fixation was first the nose with 0.96 (1.3) seconds followed by the periorbital regions with 1.84 (0.99) seconds and by the perioral region with 2.18 (1.4) seconds ($P < .001$).

Comparing the time to first fixation between the preoperative and postoperative images showed that the time for the perioral region ($P = .941$) and the time for the nose ($P = .516$) did not change



Fig. 2. Frontal view showing the postoperative image on the left and the superimposed average gaze pattern of the observers on the right. Note the decrease of intensity in the periorbital region.

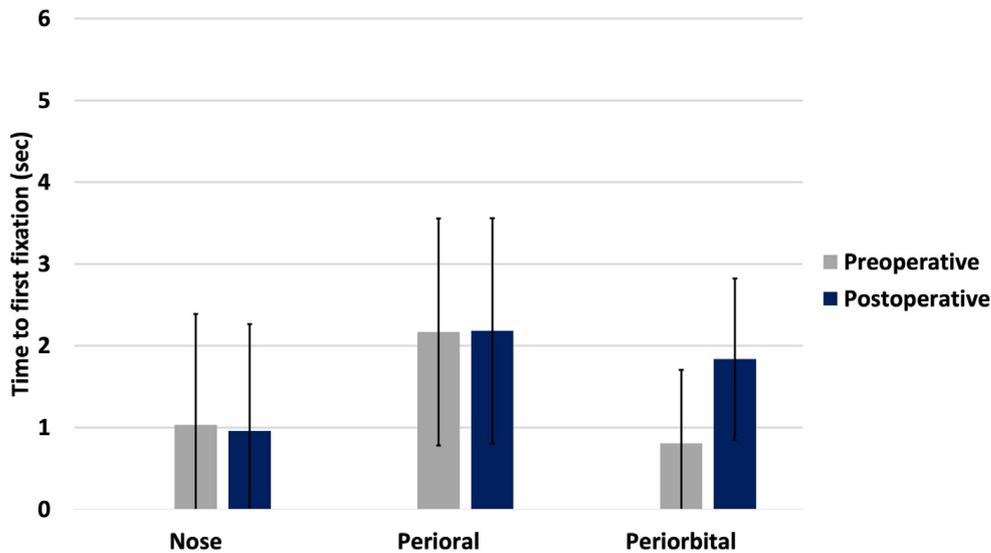


Fig. 3. Bar graph showing the mean time to fixation for the respective facial regions (periorbital, perioral, and nose) when looking at the preoperative and the postoperative images.

on a statistically significant level. However, the time to first fixation statistically significantly increased from preoperative to postoperative for the periorbital region ($P < .001$ from 0.81 seconds to 1.84 seconds).

Total Duration of Fixation

The total time volunteers spent on inspecting each of the three facial regions of interest during the 6-second image exposure interval was for images showing preoperative faces 0.72 (0.5) seconds for the perioral region, 0.75 (0.6) seconds for the nose, and 2.22 (0.7) seconds for the periorbital region ($P < .001$). The duration of stable eye fixation

was for images showing postoperative facial images 0.74 (0.5) seconds for the perioral region, 0.85 (0.7) seconds for the nose, and 1.26 (0.6) seconds for the periorbital region ($P < .001$).

These durations indicate that there was no statistically significant change following surgery for the perioral region ($P = .689$) and for the nose ($P = .090$). However, the periorbital region duration statistically significantly reduced from 2.22 seconds to 1.26 seconds ($P < .001$).

DISCUSSION

This study investigated the eye movement pattern of 58 volunteers when looking at randomized

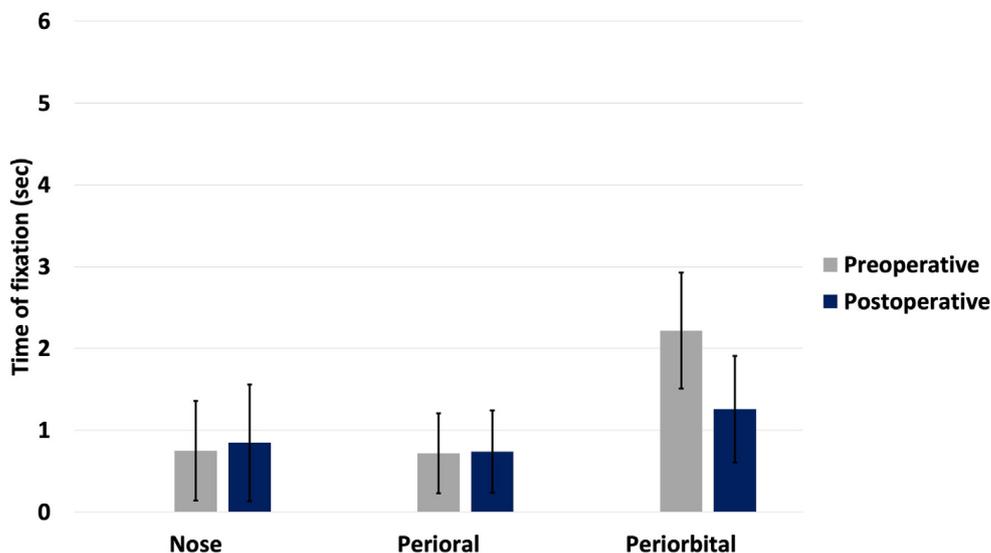


Fig. 4. Bar graph showing the mean time of fixation for the respective facial regions (periorbital, perioral, and nose) when looking at the preoperative and the postoperative images.

preoperative and postoperative images of a total of five patients following lower eyelid blepharoplasty. The results revealed that the sequence of facial recognition before surgery was periorbital-nose-perioral, whereas following surgery the sequence was nose-periorbital-perioral. The time until the first stable eye fixation was detected by the eye tracking device did, however, not differ between the nose (pre vs post: 1.03 vs 0.96 seconds) and the perioral region (2.17 vs 2.18 seconds) on a statistically significant level ($P = .516$ for nose and $P = .941$ for perioral). This is in line with the setup of the study because no other facial intervention was performed on the patients except lower eyelid blepharoplasty and that influenced the appearance of the periorbital region only. The time until first fixation changed on a statistically significant level with 0.81 versus 1.84 seconds from the pre-surgical to the postsurgical facial image for the periorbital region, indicating an increase in the interval between initial image display and stable eye fixation. The increase in time most likely indicates a decrease in attraction toward an area that was perceived by the inspecting volunteers as less pleasing. Because it might seem counterintuitive to be less attracted to an area that underwent surgical attention (and has improved following the procedure), the results seem plausible when incorporating the concept of "internal representation of beauty." This concept is based on the assumption that beauty is a predefined internal status that the individual tries to find in objects or facial features inspected. Because this status is conditioned by the socioethnocultural development of the individual it is understandable that beauty varies among cultures and individuals and can change throughout professional or cultural development. Objects or facial features that match into that predefined concept of beauty require less attention by the individual to be perceived or processed because the visual stimulus fits into the preconditioned internal image of beauty. On the contrary, objects that do not match into that predefined concept of beauty do require more attention and effort to be perceived and understood because of the mismatch between the internal status of beauty and external visual stimulus; this might be perceived by the individual as less beautiful.^{10,11}

Translating this concept of internal representation of beauty into the data of this study, it is confirmed that the preoperative image showing the periorbital region was inspected statistically significantly faster than the postoperative image; this is in line with the concept presented. Because the other facial regions did not change from the preintervention to the postintervention image there

was no statistically relevant change in the time of first fixation.

Investigating the duration of stable eye fixations (longer than 0.08 seconds) during the 6-second image exposure interval revealed that there was no statistically relevant change in the duration for viewing the nose or the perioral region. However, the duration for viewing the periorbital region statistically significantly reduced from 2.22 seconds to 1.26 seconds ($P < .001$). This is understood as the need for less internal processing of viewing a beautiful facial feature because it matches more the internal standard of beauty. The other facial regions did not require the volunteers to alter their eye movement pattern because no change occurred between the preinterventional and the postinterventional image.

When analyzing the difference between surgical experience of the volunteers ($n = 12$ [20.7%] were plastic surgeons and $n = 46$ [79.3%] were without medical background) the concept of the internal standard of beauty was repeatedly supported: volunteers with plastic surgery background had a shorter time to first fixation and a longer duration of visual stimulus inspection; this was similar in trend for the preoperative and the postoperative images. This is interpreted as the increased attention of the experienced observer toward an aesthetically less pleasing facial feature compared with the nonexperienced observer. Volunteers with plastic surgical background perceived those areas as potentially less beautiful because of their altered internal representation of beauty and facial features caught quicker their attention and they needed longer time to process the image presented.¹⁰

This study is not free of limitations. The 58 volunteers were altogether of White ethnicity as were the preoperative and postoperative images of the patients used as visual stimulus. It could be speculated that the aesthetic perception would be different if the patients and/or the volunteers would be of African-American or Asian ethnicity. Future studies need investigate ethnic influences on eye movement pattern.

Focusing on the sequence of facial recognition during image exposure it can be stated that based on the results presented herein a modular facial inspection approach is conducted by the volunteers included in this investigation. Certain facial features were viewed, such as the nose, mouth, and eyes, but the sequence altered depending on the aesthetic liking of the observer. The eyes or the periorbital region were not inspected first; the time until eye movements had a stable eye fixation varied based on the surgical status of the patient displayed. A less aesthetically pleasing facial

feature was inspected first (periorbital preoperative image) but once this mismatch was improved (in the present study because of surgery) the periorbital region was not inspected first anymore. It is hypothesized that there might be a natural sequence of facial feature recognition, but this sequence might be influenced by the internal representation of beauty of the observer. A less aesthetically pleasing facial feature might “disrupt” the natural sequence of facial feature recognition and could influence therefore the direction of attention during facial inspection. However, the conducted study is limited in its power to conclusively support the assumptions made and future studies need to elaborate on the findings presented herein.

SUMMARY

This eye tracking analysis-based study revealed that the sequence of facial feature recognition is influenced by the aesthetic liking of the observer and that alteration to facial features influences the sequence of facial feature recognition. The eye movement pattern, however, seems to follow the internal representation of beauty where aesthetically pleasing facial features are observed later during first image exposure and are viewed shorter during a visual stimulus exposure interval.

CLINICS CARE POINTS

The sequence of facial feature recognition is influenced by the aesthetic liking of the observer. Alteration to facial features influences the sequence of facial feature recognition. Aesthetically pleasing facial features are observed later during first image exposure and are viewed shorter during a visual stimulus exposure interval.

REFERENCES

1. International Society of Aesthetic Plastic Surgeons. ISAPS international survey on aesthetic/cosmetic procedures performed in 2017 2019. Available at: https://www.isaps.org/wp-content/uploads/2019/03/ISAPS_2017_International_Study_Cosmetic_Procedures_NEW.pdf. Accessed date May 6, 2019.
2. Kruglikov I, Trujillo O, Kristen Q, et al. The facial adipose tissue: a revision. *Facial Plast Surg* 2016; 32(06):671–82.
3. Cotofana S, Schenck TL, Trevidic P, et al. Midface: clinical anatomy and regional approaches with injectable fillers. *Plast Reconstr Surg* 2015;136: 219S–34S.
4. Cotofana S, Gotkin RH, Frank K, et al. The functional anatomy of the deep facial fat compartments: a detailed imaging-based investigation. *Plast Reconstr Surg* 2019;143(1):53–63.
5. Cotofana S, Gotkin RH, Ascher B, et al. Calvarial volume loss and facial aging: a computed tomographic (CT)-based study. *Aesthet Surg J* 2018;38(10): 1043–51.
6. Frank K, Gotkin RH, Pavicic T, et al. Age and gender differences of the frontal bone: a computed tomographic (CT)-based study. *Aesthet Surg J* 2018; 39(7):699–710.
7. Cotofana S, Gotkin RH, Morozov SP, et al. The relationship between bone remodeling and the clockwise rotation of the facial skeleton: a computed tomography imaging based evaluation. *Plast Reconstr Surg* 2018;142(6):1447–54.
8. Schenck TL, Koban KC, Schlattau A, et al. The functional anatomy of the superficial fat compartments of the face: a detailed imaging study. *Plast Reconstr Surg* 2018;141(6):1351–9.
9. Mojallal A, Cotofana S. Anatomy of lower eyelid and eyelid–cheek junction. *Ann Chir Plast Esthétique* 2017;62(5):365–74.
10. Cai LZ, Paro JAM, Lee GK, et al. Where do we look? Assessing gaze patterns in breast reconstructive surgery with eye-tracking technology. *Plast Reconstr Surg* 2018;141(3):331E–40E.
11. Jansen A, Nederkoorn C, Mulken S. Selective visual attention for ugly and beautiful body parts in eating disorders. *Behav Res Ther* 2005;43(2): 183–96.
12. WMA Declaration of Helsinki – ethical principles for medical research involving human subjects – WMA – the World Medical Association. Available at: <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>. Accessed August 5, 2018.
13. Frank K, Moellhoff N, Swift A, et al. In search of the most attractive lip-proportions and lip-volume: an eye tracking- and survey-based investigation. *Plast Reconstr Surg.*; In Print.

5. Literaturverzeichnis

1. ISAPS-Global-Survey-Results-2018-1.pdf [Internet]. [zitiert 9. November 2021]. Verfügbar unter: <https://www.isaps.org/wp-content/uploads/2020/10/ISAPS-Global-Survey-Results-2018-1.pdf>
2. 2019 Plastic Surgery Statistics Report. *Plast Surg.* 2019;25.
3. Was Plastische Chirurgie ist | Focus Arztsuche [Internet]. 2021 [zitiert 9. November 2021]. Verfügbar unter: <https://focus-arztsuche.de/magazin/therapien/plastische-chirurgie>
4. Chatterjee A. *The Aesthetic Brain: How We Evolved to Desire Beauty and Enjoy Art.* Oxford New York: Oxford Univeristy Press; 2014. 232 S.
5. Dürrigl MA. Kalokagathia – beauty is more than just external appearance. *J Cosmet Dermatol* [Internet]. 2002 [zitiert 9. November 2021];1(4):208–10. Verfügbar unter: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1473-2165.2002.00073.x>
6. Mortimer JA. *Great Treasury Of Western Thought* [Internet]. 1977 [zitiert 26. Januar 2022]. Verfügbar unter: <http://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.129125>
7. Guan Z, Lee S, Cuddihy E, Ramey J. The validity of the stimulated retrospective think-aloud method as measured by eye tracking. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* [Internet]. Montréal Québec Canada: ACM; 2006 [zitiert 21. September 2021]. S. 1253–62. Verfügbar unter: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1124772.1124961>
8. Cai LZ, Paro JAM, Lee GK, Nazerali RS. Where Do We Look? Assessing Gaze Patterns in Breast Reconstructive Surgery with Eye-Tracking Technology: *Plast Reconstr Surg* [Internet]. März 2018 [zitiert 1. Juli 2021];141(3):331e–40e. Verfügbar unter: <http://journals.lww.com/00006534-201803000-00004>
9. Discover the innovation of eye tracking technology - Tobii [Internet]. 2015 [zitiert 10. November 2021]. Verfügbar unter: <https://www.tobii.com/group/about/this-is-eye-tracking/>
10. Frautschi RS, Dawlagala N, Klingemier EW, England HS, Sinclair NR, Zins JE. The Use of Eye Tracking Technology in Aesthetic Surgery: Analyzing Changes in Facial Attention Following Surgery. *Aesthet Surg J.* 19. November 2020;40(12):1269–79.
11. Jennifer Romano Bergstrom, Andrew Schall. *Eye Tracking in User Experience Design* [Internet]. Amsterdam: Morgan Kaufmann; 2014 [zitiert 14. Juli

2021]. Verfügbar unter: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=572808&site=ehost-live&scope=site>

12. Asan O, Yang Y. Using Eye Trackers for Usability Evaluation of Health Information Technology: A Systematic Literature Review. *JMIR Hum Factors* [Internet]. 14. April 2015 [zitiert 26. Juli 2021];2(1):e5. Verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4797658/>

13. Harezlak K, Kasproski P. Application of eye tracking in medicine: A survey, research issues and challenges. *Comput Med Imaging Graph* [Internet]. April 2018 [zitiert 27. Juni 2021];65:176–90. Verfügbar unter: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0895611117300435>

14. Rösler A. Using the Tobii Mobile Device Stand in Usability Testing on Mobile Devices. *Whitepaper*. 2012. [Internet]. 2012 [zitiert 21. September 2021] Verfügbar unter: http://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/learn-and-support/whitepapers/tobii_pro_whitepaper_mobiledevicetesting.pdf

15. Asaad M, Dey JK, Al-Mouakeh A, Manjouna MB, Nashed MA, Rajesh A, u. a. Eye-Tracking Technology in Plastic and Reconstructive Surgery: A Systematic Review. *Aesthet Surg J* [Internet]. 14. August 2020 [zitiert 30. Juni 2021];40(9):1022–34. Verfügbar unter: <https://academic.oup.com/asj/article/40/9/1022/5721339>

16. Peterson DJ a, Azad AD a, Gkorila A b, Patel AA c, Boudreault MS d, Nazerali RS e. Assessing Gaze Patterns in Common Cosmetic Procedures With Eye-Tracking Technology. *Ann Plast Surg*. Mai 2020;84(5S Suppl 4):S268–72. [Internet]. 2020 [zitiert 30. Juni 2021] Verfügbar unter: https://journals.lww.com/annals-plasticsurgery/Abstract/2020/05004/Assessing_Gaze_Patterns_in_Common_Cosmetic.6.aspx/

17. Marcus A, Wang W, Herausgeber. Design, User Experience, and Usability. Practice and Case Studies: 8th International Conference, DUXU 2019, Held as Part of the 21st HCI International Conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, Proceedings, Part IV [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [zitiert 26. September 2021]. (Lecture Notes in Computer Science; Bd. 11586). Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-23535-2>

18. Shin D, Yoo SH, Moon SH, Yoon M, Lee SB, Park SY. Eye tracking and gating system for proton therapy of orbital tumors. *Med Phys* [Internet]. 2012 [zitiert 26. September 2021];39(7Part1):4265–73. Verfügbar unter: <http://online-library.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4729708>

19. Wade NJ. Pioneers of Eye Movement Research. -Percept [Internet]. Januar

- 2010 [zitiert 13. September 2021];1(2):33–68. Verfügbar unter: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1068/i0389>
20. Wade NJ, Tatler BW. Did Javal measure eye movements during reading? *J Eye Mov Res* [Internet]. 2008 [zitiert 26. Januar 2022];2(5). Verfügbar unter: <https://bop.unibe.ch/JEMR/article/view/2284>
21. Young LR, Sheena D. Survey of eye movement recording methods. *Behav Res Methods Instrum* [Internet]. September 1975 [zitiert 15. Juli 2021];7(5):397–429. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.3758/BF03201553>
22. Delabarre EB. A Method of Recording Eye-Movements. *Am J Psychol* [Internet]. Juli 1898 [zitiert 26. September 2021];9(4):572. Verfügbar unter: <https://www.jstor.org/stable/1412191?origin=crossref>
23. Duchowski AT. *Eye tracking methodology: theory and practice*. 2nd ed. London: Springer; 2007. 328 S.
24. Jacob RJK, Karn KS. Commentary on Section 4. Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. 2002;26.
25. Jones RE, Milton JL, Fitts PM. *Eye Fixations of Aircraft Pilots: Frequency, duration, and sequence fixations during routine instrument flight* [Internet]. Google Books. United States, Air Force, Air Materiel Command; 1949 [zitiert 21. Mai 2023]. Verfügbar unter: <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=g9GIsli293YC&oi=fnd&pg=PA3&dq=paul+fitts+experiment+eye+movement&ots=20Dw6l8zZS&sig=cOjZ2njcxLd6qe3RmTQ9ORLRqi8#v=one-page&q=paul%20fitts%20experiment%20eye%20movement&f=false>
26. Cornsweet TN, Crane HD. Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth Purkinje images. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1. August 1973 [zitiert 22. Juli 2021];63(8):921. Verfügbar unter: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=josa-63-8-921>
27. Bolt A. GAZE-ORCHESTRATED DYNAMIC WINDOWS. *Comput Graph*. 1981;15(3):11.
28. Hansen DW, Ji Q. In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. März 2010;32(3):478–500.
29. Hansen DW, Pece AEC. Eye tracking in the wild. *Comput Vis Image Underst* [Internet]. April 2005 [zitiert 22. September 2021];98(1):155–81. Verfügbar unter: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S107731420400116X>
30. Figure 5: Example of Electro-OculoGraphy (EOG) Eye movement measurement... [Internet]. ResearchGate. [zitiert 14. September 2021]. Verfügbar unter:

https://www.researchgate.net/figure/Example-of-Electro-OculoGraphy-EOG-Eye-movement-measurement-Picture_fig5_334988473

31. Figure 6: Example of Scleral Contact Lens/Search Coil Eye movement... [Internet]. ResearchGate. [zitiert 14. September 2021]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-Scleral-Contact-Lens-Search-Coil-Eye-movement-measurement-Picture-courtesy_fig6_334988473

32. E-Learning - Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung - Eyetracker I [Internet]. [zitiert 15. September 2021]. Verfügbar unter: http://www.elearning-psychologie.de/eyetracker_i.html

33. Anderies BJ, Dey JK, Gruszczynski NR, Price DL, Moore EJ, Janus JR. Dermal Fat Grafting to Reconstruct the Parotidectomy Defect Normalizes Facial Attention. *The Laryngoscope* [Internet]. 2021 [zitiert 29. Juni 2021];131(1):E124–31. Verfügbar unter: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/lary.28890>

34. Horch RE, Arkudas A. Oberlid- und Unterlidblepharoplastik: Entwicklungen der ästhetisch-plastischen periokulären Chirurgie. *Chir* [Internet]. September 2011 [zitiert 27. Juni 2021];82(9):775–81. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00104-011-2150-4>

35. Ishii L, Carey J, Byrne P, Zee DS, Ishii M. Measuring attentional bias to peripheral facial deformities. *The Laryngoscope* [Internet]. 2009 [zitiert 3. August 2021];119(3):459–65. Verfügbar unter: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/lary.20132>

36. Pro Nano_Product_Description_v2.1. :19.

37. Ein monitorbasierter Eye Tracker | Tobii Pro Nano [Internet]. 2018 [zitiert 9. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.tobiiipro.com/de/produkte/tobii-pro-nano/>

38. Jansen A, Nederkoorn C, Mulkens S. Selective visual attention for ugly and beautiful body parts in eating disorders. *Behav Res Ther* [Internet]. 1. Februar 2005 [zitiert 30. April 2023];43(2):183–96. Verfügbar unter: <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S0005796704000439>

Danksagung

Die Danksagung wurde aus Gründen des Datenschutzes nicht hochgeladen.

Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes nicht hochgeladen.