

Abschlussbericht zum Vorhaben
„Biomarker in der Diagnostik leichter
Schädel-Hirn-Traumata durch Nutzung
der Eye-Tracking und Virtual Reality
Technik“ (FR0299)

Laufzeit
01.10.2019 – 31.08.2022

Bericht vom 28.04.2023

Projektleitung
A. Gonschorek¹, I. Schmehl²

Autoren
F. Sikorski¹, C. Güthoff²

¹ BG Klinikum Hamburg

² BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung deutsch

Kurzfassung englisch

1. Problemstellung

2. Forschungszweck/-ziel

3. Methodik

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

8. Anhang/Anhänge

Unterschriftenseite verpflichtend für Kooperationsprojekte

Kurzfassung deutsch

Ziel:

Ziel des Forschungsvorhabens war die systematische Exploration von Point-of-Care Biomarkern als diagnostische Indikatoren zum Nachweis und Ausschluss leichter Schädel-Hirn-Traumen mit Hilfe der ET/VR-Technologie.

Primäre Zielgruppe waren Unfallverletzte im Geltungsbereich der Gesetzlichen Unfallversicherung. Im Interesse der Forschungsziele wurden in diese Studie konsekutive Patient*Innen unabhängig vom Versicherungsstatus eingeschlossen. In einer prospektiven Pilotstudie am BG Klinikum Hamburg und Unfallkrankenhaus Berlin wurden zunächst die in Frage kommenden Marker hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung zum Nachweis und Ausschluss leichter Schädel-Hirn-Traumen untersucht.

Aktivitäten/Methoden:

An dieser explorativen prospektiven einarmigen Genauigkeitsstudie beteiligten sich das BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin und das BG Klinikum Hamburg. In den Rettungsstellen, D-Arzt-Ambulanzen oder Spezialsprechstunden (z.B. für Vereins- und Leistungssportler*Innen) der o.g. BG Kliniken wurden konsekutiv Patient*Innen mit einem traumatischen Ereignis, welches geeignet ist, ein leichtes Schädel-Hirn-Trauma hervorzurufen eingeschlossen und mittels ET/VR-Brille (Indextest) untersucht. Nach Prüfung der Eingangskriterien wurden Patient*Innen über die Studie informiert, die Einverständniserklärung eingeholt, Basisprofilaten elektronisch erhoben, die Untersuchung mittels ET/VR-Brille vorgenommen, zudem erfolgte die Bestimmung von speziellen Parametern im Serum (NSE, S100). Studienspezifisch wurde bei allen Patient*Innen der SCAT3 erhoben. Alle weiteren Schritte entsprachen der klinischen Routine (u.a. Entscheidung über stationäre Aufnahme, bildgebende Diagnostik etc.) Die jeweils zu Index- bzw. Referenztest gehörenden Untersuchungen wurden von gegenüber den Ergebnissen der jeweils anderen Testung verblindeten Untersuchern durchgeführt.

Die klinische Diagnose eines leichten Schädel-Hirn-Traumas wurde nach Abschluss der Behandlung und verblindet, also ohne Kenntnis der Ergebnisse des Indextests (d.h., der Untersuchung mittels ET/VR-Brille) i. S. einer klinischen Synopsis im Konsens durch zwei unabhängige klinische Expert*Innen gestellt. Die Diagnose wurde auf der Basis aller klinischen, neurologischen, neurofunktionellen, neuropsychologischen und bildgebenden Befunde erstellt. Routinemäßig erfolgten jeweils eine unfallchirurgische und neurologische Anamnese, Untersuchung und Befundung.

Alle statistischen Analysen erfolgten in explorativer Intention. Primäres Ziel war, die erhobenen Marker auf ihre Eignung zur Diagnose eines leichten SHT in einer konsekutiven Kohorte von gegenüber einer externen Krafteinleitung exponierten Patient*Innen zu untersuchen und die Untersuchung mittels ET/VR- auf ihre Praktikabilität hin zu testen.

Ergebnisse:

Die Nutzung der ET/VR-Brille wurde seitens der Untersuchten als überwiegend unproblematisch eingestuft.

Die Studienergebnisse bieten angesichts der Ergebnisse zur diagnostischen Genauigkeit bzgl. der Detektion eines SHT keine Grundlage, auf der der Einsatz der Brille zu diesem Zweck empfehlenswert erscheint.

Kurzfassung englisch

Objective:

The aim of the research project was the systematic exploration of point-of-care biomarkers as diagnostic indicators for the detection and exclusion of mild traumatic brain injury using ET/VR technology.

Primary target group were accident victims within the scope of the „Gesetzlichen Unfallversicherung“. In the interest of the research objectives, consecutive patients were also included in this study regardless of insurance status. In a prospective pilot study at the BG Klinikum Hamburg and Unfallkrankenhaus Berlin, the markers in question were investigated with regard to their basic suitability for the detection and exclusion of mild traumatic brain injury.

Methods:

The BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin and the BG Klinikum Hamburg participated in this explorative prospective single-arm accuracy study. In the emergency departments, D-Arzt-Ambulanzen or special consultations (e.g. for professional and competitive athletes) of the above-mentioned BG clinics, consecutive patients with a traumatic event that is likely to cause a mild traumatic brain injury were included and examined using ET/VR goggles (index test). After checking the entry criteria, patients were informed about the study, informed consent was obtained, baseline profile data were collected electronically, the examination was performed using ET/VR goggles, and special parameters were determined in the serum (NSE, S100). The SCAT3 was collected from all patients specifically for the study. All further steps corresponded to clinical routine (e.g. decision on hospital admission, imaging diagnostics, etc.). The examinations belonging to the index and reference tests were performed by examiners blinded to the results of the other test.

The clinical diagnosis of mild traumatic brain injury was made after completion of treatment and blinded, i.e., without knowledge of the results of the index test (i.e., the examination using ET/VR glasses) in the form of a clinical synopsis by consensus of two independent clinical experts. The diagnosis was made on the basis of all clinical, neurological, neurofunctional, neuropsychological, and imaging findings. Routine trauma and neurological history, examination, and findings were performed in each case.

All statistical analyses were performed with exploratory intent. The primary aim was to evaluate the markers for their suitability for the diagnosis of a mild traumatic brain injury in a consecutive cohort of patients exposed to an external force application and to test the practicality of the examination using ET/VR-goggles.

Results:

The use of ET/VR goggles was found to be predominantly unproblematic by those studied.

The study results do not provide a basis for recommending the use of the ET/VR goggles for this purpose in view of the results on diagnostic accuracy with regard to the detection of a mild traumatic brain injury.

1. Problemstellung

Das leichte Schädel-Hirn-Trauma (engl.: mild traumatic brain injury, mTBI) ist eine der häufigsten neurologischen Erkrankungen mit einer geschätzten jährlichen Inzidenz von 100 – 300 / 100.000.(1) Auch unter allen Schädel-Hirn-Verletzungen stellt es mit einer Häufigkeit von ca. 90 % die führende Entität dar.(2)

In der Literatur bestehen Kontroversen bezüglich der exakten Definition eines leichten SHT. Von einem leichten SHT wird ausgegangen, wenn nach einer stumpfen i. Gewalteinwirkung mit Akzeleration, Dezeleration oder Rotation des Kopfes eine ii. vorübergehende quantitative oder qualitative Bewusstseinsstörung mit einer iii. Dauer von maximal 30 Minuten, einer iv. posttraumatischen (anterograden) Amnesie von maximal 24 h sowie einem v. Glasgow Coma Scale (GCS) Wert (erhoben 30 min nach Trauma) zwischen 13 und 15 vorliegt.(3)

Hauptursache sind Stürze (42 %), gefolgt von Verkehrsunfällen (26 %) und Arbeits- bzw. Schulunfällen (15 %).(2) Die frühere Annahme, leichte Schädel-Hirn-Traumen heilen folgenlos aus, ist nach der derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnislage nicht mehr haltbar. Bildgebende Verfahren und klinische Untersuchungen einschließlich objektiver neuropsychologischer Testung zeigen bei 15 bis 30 % aller initial als leicht eingeschätzten Schädel-Hirn-Traumen strukturelle Läsionen, die wiederum mit schweren organisch bedingten kognitiven und emotionalen Defiziten verknüpft sein können.(4)

Die Diagnostik des leichten Schädel-Hirn-Traumas allein nach klinischen Kriterien weist erhebliche Schwierigkeiten und Probleme auf. So ist, gestützt auf die Angaben des Patienten häufig unklar, inwieweit tatsächlich eine Bewusstlosigkeit oder Bewusstseinsstörung vorlag. Erinnerungslücken infolge einer akuten Schock- und Stressreaktion oder aufgrund anderer Verletzungen, z.B. Blutdruckabfall, werden nicht selten als Ausdruck eines akuten Schädel-Hirn-Traumas fehlgedeutet. Die klinische Symptomatik eines leichten Schädel-Hirn-Traumas ist vielfältig und komplex und kann somatische Symptome (Kopfschmerzen, Benommenheit, Schwindel und Übelkeit), kognitive Beeinträchtigungen (Aufmerksamkeits-, Merkfähigkeits- und exekutive Funktionsstörungen im Sinne eines akuten posttraumatischen Syndroms) und emotionale Veränderungen (psychophysische Minderbelastbarkeit, erhöhte emotionale Reagibilität, Reizbarkeit, Stressintoleranz, Ängstlichkeit, depressive Verstimmung und Schlafstörung in unterschiedlicher Kombination und Ausprägung) beinhalten.(5)

Aus der sicheren diagnostischen Einordnung leiten sich zum einen therapeutische Konsequenzen (stationäre Aufnahme und Überwachung, bildgebende Untersuchung mittels CT und / oder MRT), zum anderen prognostische Aussagen im Hinblick auf die Wiederaufnahme der Arbeit oder des Return to Play / Competition bei Sportlern ab.(6) Dies gilt ebenso für mittelfristige Unfallfolgen (chronisches posttraumatisches Syndrom (7)) und Langzeitriskien wie erhöhte Suizidalität (8) oder chronisch traumatische Enzephalopathie (CTE).(9) Aus diesen Gründen besteht ein hoher Bedarf an objektiven Methoden zur Feststellung einer traumatischen Hirnverletzung bzw. Diagnose eines leichten Schädel-Hirn-Traumas.

Hier steht die Entwicklung von Biomarkern und bildgebender Untersuchungsverfahren im Fokus der Forschung.(10, 11) Ein „Goldstandard“ in der Diagnostik eines leichten SHT existiert bisher nicht. Neuro-ophthalmologische Funktionen scheinen besonders sensibel auf traumatische Verletzungen zu reagieren und ihre Ausfälle können sehr häufig auch nach leichten Schädel-Hirn-Traumen dokumentiert werden.(12) Einer standardisierten Erfassung neuro-ophthalmologischer Dysfunktionen könnte somit eine Schlüsselrolle in der Diagnose leichter Schädel-Hirn-Traumen zukommen.(13)

Die Diagnose eines leichten Schädel-Hirn-Traumas bzw. seiner Unterform (Concussion) stellt in der Akutsituation eine große Herausforderung dar und stützt sich im Wesentlichen auf die klinische Einschätzung des behandelnden Arztes. Es besteht ein hoher Bedarf an verlässlichen, reproduzierbaren und einfach interpretierbaren Point-of-Care-Tests. In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass neuro-ophthalmologische Funktionen eine besonders hohe Vulnerabilität gegenüber Gewalteinwirkungen auf das Gehirn aufweisen.(12-14) Etwa die Hälfte aller neuronalen Bahnen im menschlichen Gehirn einschließlich kortikaler, subkortikaler, cerebellärer und Hirnstamm-Strukturen

sind am visuellen System beteiligt. Bei einer diffusen und unspezifischen traumatischen Hirnschädigung ist demzufolge auch regelhaft mit einer Beeinträchtigung des visuellen neuronalen Netzwerks zu rechnen.(15)

Auffällige Befunde in neuro-ophthalmologischen Untersuchungen finden sich typischerweise bei Prüfung der Sakkaden und Antisakkaden, Augenfolgebewegungen (smooth pursuit), Vergenz, Akkomodation, dem vestibulo-okulären Reflex und der Photosensitivität. Eine Sakkade stellt eine schnelle Augenbewegung dar, um ein Objekt wieder zurück in den Fokus des Auges zu bringen. „Smooth pursuit“ (langsame Augenfolgebewegung) stabilisiert das Bild auf der Netzhaut des Auges beim Verfolgen sich bewegender Bilder. „Visual tracking“ ist eine Kombination von Augenfolge- und Sakkadenbewegungen, die das stabile Verfolgen eines bewegten Zieles erlauben. In den ersten 10 Tagen nach einem leichten Schädel-Hirn-Trauma wurden Beeinträchtigungen der Antisakkaden, verlängerte Latenzzeiten der Sakkaden, Richtungsfehler, eine eingeschränkte räumliche Genauigkeit und Einschränkungen gedächtnisgeführter Sakkaden (memory-guided saccades) nachgewiesen.(16, 17) Betroffene mit einem posttraumatischen (postkontusionellen) Syndrom zeigten nach 3 bis 5 Monaten im Vergleich zu mittlerweile symptomfreien Kontrollpatienten weiterhin Einschränkungen in den Sakkaden-Testungen. Patienten mit akutem Schädel-Hirn-Trauma wiesen längere Reaktionszeiten der Sakkaden auf, wenn zwischen zentral und peripher dargebotenen Zielen eine kurze zeitliche Lücke bestand, nicht aber, wenn die zeitliche Lücke länger war. Dies weist auf Schwierigkeiten hin, die Aufmerksamkeit abzuwenden.(18) Ein Rückgang der Beschwerden korrespondiert häufig mit einer Normalisierung der Sakkadenfunktion. Andere Autoren fanden persistierende Einschränkungen der Sakkadenfunktion noch mehrere Wochen nach einem leichten SHT.(19)

Verschiedene Studien nutzten Video-Okulographie-Techniken und -Geräte, um mittels visuellem Tracking die Diagnose leichter Schädel-Hirn-Traumen zu stützen. Das Verfolgen eines sich im Kreis bewegenden Zieles erscheint dabei besonders geeignet um aufgrund einer vorhersehbaren Bewegungslinie einfache Parameter wie die Geschwindigkeitsverstärkung bei langsamen Augenfolgebewegungen, die Phasenverschiebung und die Blickbewegungsfehler-Variabilität zu erfassen. Die Video-Okulographie zeigte signifikante Beeinträchtigungen im visuellen Tracking bei Patienten mit posttraumatischen (postkontusionellen) Syndromen.(20) Diese korrelierten sowohl mit in der Bildgebung (MRT) nachweisbaren Veränderungen der weißen Hirnsubstanz in der Corona radiata und im Knie des Corpus callosum in diffusionsgewichteten Bildern als auch mit Beeinträchtigungen von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis in neurokognitiven Testuntersuchungen.

Ein mittlerweile kommerzialisiertes System (EyeSync) quantifiziert das prädiktive Timing der dynamischen visuomotorischen Synchronisation zwischen Blick und Ziel während eines kreisförmigen visuellen Trackings. Normative Daten für das System wurden für eine Normalpopulation und eine signifikante Beeinträchtigung in den entsprechenden Scores in einer allerdings kleinen Kohorte von Patienten innerhalb von zwei Wochen nach einer Concussion untersucht. (21) Eine andere Studie zeigte eine horizontale Dyskonjugation bei Patienten nach einem Schädel-Hirn-Trauma, welches mit dem SCAT-3-Test und SAC-Scores korrelierten. Sensitivität und Spezifität der angewandten Eye-Tracking-Methode betragen 88 % und 87 %.(22)

Die Ergebnisse der bisherigen Studien sind vielversprechend, erlauben aber bisher aufgrund fehlender einheitlicher Prüfprotokolle und geringer Fallzahlen in verschiedenen Patientenpopulationen keine generellen Empfehlungen.(23)

Transportable Geräte erweitern das Einsatzgebiet der VR-Technologie um die Messung von neuropsychologischen Funktionsdefiziten und Beeinträchtigungen der Gleichgewichts- und Haltungsstabilität nach leichten SHT.(24-26)

2. Forschungszweck/-ziel

Ziel des Forschungsvorhabens war die systematische Exploration von Point-of-Care Biomarkern zum Nachweis und Ausschluss leichter Schädel-Hirn-Traumen mit Hilfe der ET/VR-Technologie.

Die Etablierung der ET/VR-Technologie als objektives Maß sollte hier eine fundierte Entscheidungsfindung in Bezug auf die Rückkehr zur Grundaktivität im Alltag, den Beruf oder zum Sport ermöglichen. Besonders in Kombination mit anderen klinischen Daten, wie z. B. Point-of-Care Biomarkern, sollte die diagnostische Genauigkeit maximiert werden.

Primäre Zielgruppe waren Unfallverletzte im Geltungsbereich der gesetzlichen Unfallversicherung. Im Interesse der Forschungsziele wurden in diese Studie konsekutive Patienten unabhängig vom Versicherungsstatus eingeschlossen.

In einer prospektiven Pilotstudie am BG Klinikum Hamburg und Unfallkrankenhaus Berlin sollten zunächst die in Frage kommenden Prädiktoren hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung zum Nachweis und Ausschluss leichter Schädel-Hirn-Traumen (engl.: mild traumatic brain injury, mTBI) untersucht werden. Dabei sollten zwei übergeordnete Ziele verfolgt werden:

- 1) Testung der Untersuchung mittels ET/VR-Brille auf Praktikabilität
- 2) Untersuchung der erhobenen Marker auf ihre Eignung zur Diagnose eines leichten SHT in einer konsekutiven Kohorte von gegenüber einer externen Krafteinleitung ex-ponierten Patienten.

Dabei standen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- 1) Praktikabilität der Erhebung:

Lässt sich die Nutzung einer ET-VR-Brille zum Nachweis und Ausschluss leichter Schädel-Hirn-Traumen in den klinischen Alltag einer Notaufnahme/Rettungsstelle integrieren? Welcher Aufwand ist damit verbunden? Welche Schwierigkeiten treten auf?

- 2) Diagnostische Relevanz der Marker bzw. Indikatoren:

- a) Wie stellen sich die Verteilungseigenschaften der möglichen Prädiktoren dar? Weisen diese eine zur Detektion hinreichende Streuung auf, sind Boden- oder Deckeneffekte auszuschließen?
- b) Wie verhalten sich die Prädiktoren zueinander – sind Redundanzen oder Diskrepanzen zu beobachten?
- c) Lassen sich in univariaten Analysen Zusammenhänge zum Ergebnis des Referenztests finden?

Bei positivem Untersuchungsergebnis war unter Einbeziehung der anderen BG Kliniken eine Multicenterstudie zum Nutznachweis vorgesehen.

3. Methodik

3.2 Studiendesign:

An dieser explorativen prospektiven einarmigen Genauigkeitsstudie beteiligten sich das BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin und das BG Klinikum Hamburg. In den Rettungswachen, D-Arzt-Ambulanzen oder Spezialsprechstunden (z.B. für Vereins- und Leistungssportler) der o.g. BG Kliniken wurden konsekutiv Patientinnen und Patienten mit einem traumatischen Ereignis, welches geeignet ist, ein leichtes Schädel-Hirn-Trauma hervorzurufen eingeschlossen und mittels ET/VR-Brille (Indextest) untersucht.



Abb.1: Eyetrax VR-Brille.

Nach Prüfung der Eingangskriterien wurden Patient*Innen über die Studie informiert, die Einverständniserklärung eingeholt, Basisprofildaten elektronisch erhoben und die Untersuchung mittels ET/VR-Brille vorgenommen, zudem erfolgte die Bestimmung von speziellen Parametern im Serum (NSE, S100). Studienspezifisch wurde bei allen Patienten der SCAT3 erhoben. Alle weiteren Schritte entsprachen der klinischen Routine (u.a. Entscheidung über stationäre Aufnahme, bildgebende Diagnostik etc.) Die jeweils zu Index- bzw. Referenztest gehörenden Untersuchungen wurden von gegenüber den Ergebnissen der jeweils anderen Testung verblindeten Untersucher*Innen durchgeführt.

3.2 Ein-und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

- Männer und Frauen im Alter von 18 bis 65 Jahren
- Vorstellung in der teilnehmenden BG Klinik innerhalb von 24 h nach dem Unfall (Primärversorgung oder sekundäre Zuverlegung aus einer anderen Klinik)
- Geeignetes Unfallereignis zur Hervorrufung eines leichten Schädel-Hirn-Traumas (z. B. direkter Kopfanprall)

Ausschlusskriterien:

- Strabismus
- Schädigung der Hirnnerven III (N. oculomotorius), IV (N. trochlearis) und VI (N. abducens)
- Alkoholkonsum (bei Verdacht erfolgt Kontrolle mittels Atemalkoholbestimmung)

- Einnahme sedierender Medikamente (nach Befragung)

Chirurgische Begleitverletzungen stellten per se kein Ausschlusskriterium dar. Art und Schwere der Verletzungen wurden aber erfasst und dokumentiert. Vorher eingenommene Medikamente wurden ebenfalls mit Namen und Dosis dokumentiert.

3.3 Indextest / Diagnostische Indikatoren:

Mit der ET/VR-Brille wurden Parameter erhoben, welche die okulomotorischen Funktionen des Sehens darstellen. Im wesentlichen wurden folgende drei Augenfunktionen überprüft: Fixierung, Augenfolgebewegung und Sakkaden.

Bei der Fixierung wird die Fähigkeit des Auges überprüft, ein einzelnes Objekt ständig und genau zu betrachten. Ein Beispiel im Alltag hierfür ist zum Beispiel das Betrachten eines Details auf einem Foto.

Bei der Augenfolgebewegung wird geprüft, wie sich die Augen konjugieren (abstimmen), um ein sich bewegendes Objekt reibungslos und genau verfolgen zu können.

Die Sakkaden sind schnelle Augenbewegungen, die ein schnelles und genaues Scannen von einem Objekt zum anderen ermöglichen. Im Alltag erlaubt uns diese Funktion, während der Fahrt aus dem Fenster zu schauen und hier Objekte zu fokussieren und wahrnehmen zu können.

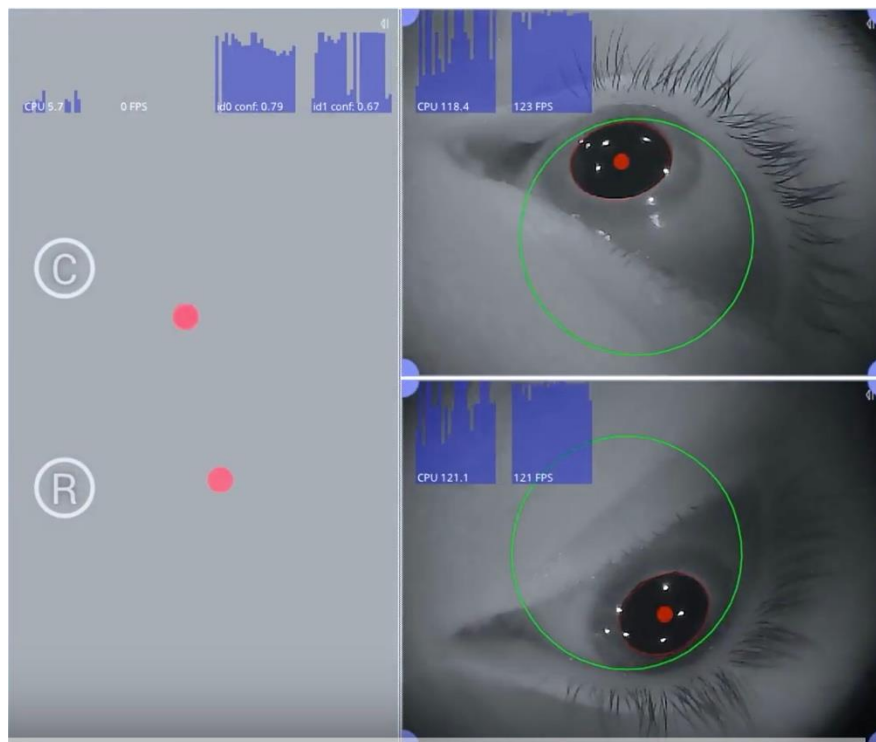


Abb.2: Darstellung der Messung unter entsprechender Stimulation.

Insgesamt wurden 64 Parameter erhoben, die detaillierten Beschreibungen sind im Punkt 3.4.1 aufgeführt.

3.4 Referenztest / Synoptische Diagnose:

Die klinische Diagnose eines leichten Schädel-Hirn-Traumas (engl.: mild traumatic brain injury, mTBI) wurde nach Abschluss der Behandlung und verblindet, also ohne Kenntnis der Ergebnisse des Indextests (d.h., der Untersuchung mittels ET/VR-Brille) i. S. einer klinischen Synopsis im Konsens durch zwei unabhängige klinische Expert*Innen gestellt. Die Diagnose wurde auf der Basis aller klinischen, neurologischen, neurofunktionellen, neuropsychologischen und bildgebenden Befunde erstellt. Routinemäßig erfolgten jeweils eine unfallchirurgische und neurologische Anamnese, Untersuchung und Befundung. Nach Indikation wird eine EEG Untersuchung und CT

Untersuchung des Kopfes durchgeführt. Zudem erfolgte eine Bestimmung von Routineparametern im Serum (NSE, S100).

3.5 Auswertungsmethoden:

Alle statistischen Analysen erfolgten in explorativer Intention. Primäres Ziel war, die erhobenen Marker auf ihre Eignung zur Diagnose eines leichten SHT in einer konsekutiven Kohorte von gegenüber einer externen Krafteinleitung exponierten Patienten zu untersuchen und die Untersuchung mittels ET/VR-Brille auf ihre Praktikabilität hin zu testen.

Alle im Rahmen der diagnostischen Routine dokumentierten Variablen wurden in Abhängigkeit ihrer Skalenart deskriptiv ausgewertet. Zur Beschreibung der Verteilungen wurden absolute und prozentuale Häufigkeiten oder Mittelwert und Standardabweichung bzw. Median und Spannweite herangezogen. Darüber hinaus wurde die Verteilung der studienspezifisch erhobenen Laborparameter mittels t-Test für unabhängige Stichproben auf Unterschiede zwischen Patienten mit vs. ohne SHT geprüft.

Zur explorativen Analyse der Marker wurden nicht-parametrische Receiver Operating Curves (ROCs) berechnet und zunächst die resultierenden Area Under the Curves (AUCs) dokumentiert. Marker mit AUCs, deren Punktschätzung $\geq .60$ und deren p-Wert $\leq .05$ bei Testung gegen die Diagonale (AUC = .50) beträgt, wurden auf ihren inkrementellen diagnostischen Wert untereinander untersucht und graphisch mittels Boxplots sowie deskriptiv mittels Mittelwert und Standardabweichung und Spannweite beschrieben.

3.6 Auswertungsvariablen:

- Soziodemographie & Anamnese
- Ereignisbogen zum Unfallgeschehen
- SCAT-3 Beschwerdeliste
- Neurologischer Befund
- Fragebogen zur Praktikabilität probandenseitig
- Variablen des Indextests (s. Anhang)

3.7 Software:

Alle Auswertungen wurden mit IBM SPSS Statistics Version 27 (Armonk, NY, USA: IBM Corp) durchgeführt.

3.8 Studienzentren:

- BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Klinik für Neurologie, Warener Str. 7 in 12683 Berlin
- BG Klinikum Hamburg, Neurotraumatologisches Zentrum, Bergedorfer Straße 10 in 21033 Hamburg

3.9 Studienverlauf & Patientenfluss:

Die Rekrutierung der Probanden war in beiden Studienzentren von Beginn an mit erheblichen Herausforderungen gekennzeichnet. So gelang es insbesondere im Studienzentrum Berlin zunächst nicht, kontinuierliche Meldungen potenzieller Probanden aus der Notaufnahme zu erhalten, da die Neurologen hier nicht primär in die Versorgung von leichten Schädel-Hirn-Traumen eingebunden waren. Erst im späteren Verlauf und durch wiederholte Rücksprachen mit den beteiligten Fachabteilungen konnte hier eine Besserung erreicht werden.

Auch Ein- und Ausschlusskriterien führten nicht selten dazu, dass potenzielle Probanden nicht eingeschlossen werden konnten. Hier war insbesondere das Alter der Probanden, als auch ein vorhergehender z. T. erheblicher Alkoholenuss der Schädel-Hirn-Verletzten Patienten maßgeblich als Ausschlusskriterium. Einige Probanden konnten auch auf Grund von äußeren Kopfverletzungen nicht an der Studie teilnehmen. Zudem war im Studienzentrum Berlin aus technischen Gründen der Rekrutierungszeitraum von 8.00 bis maximal 20.00 Uhr begrenzt, welches ebenfalls zu einer geringen Anzahl eingeschlossener Probanden beitrug.

Die Rekrutierung der Probanden wurde dann relativ frühzeitig im Rekrutierungszeitraum im erheblichen Maße durch die Corona-Pandemie beeinträchtigt. Hier war über Monate z. T. überhaupt kein Einschluss von Probanden in den Notaufnahmen beider Studienzentren möglich.

Aus diesen Gründen wurde eine zwölfmonatige kostenneutrale Verlängerung des Projekts bis 31. August 2022 beantragt und genehmigt. Diese zwölfmonatige Verlängerung ergab sich aus der Tatsache, dass das Erreichen der Hälfte der zu rekrutierenden Patienten gem. Meilenstein 1 sechs Monate länger gedauert hat als ursprünglich geplant und vor dem Hintergrund der damaligen Situation auch für die folgenden Monate von einem ähnlichen Rekrutierungsverlauf ausgegangen werden musste.

Schließlich konnten im Zeitraum von Oktober 2019 bis Januar 2022 insgesamt 122 Patient*innen eingeschlossen und untersucht werden, davon 58 im Zentrum Hamburg und 64 im Zentrum Berlin.

Erfüllte ein Proband die Einschlusskriterien, war das vorgesehene Studienprotokoll in der Notaufnahme gut umsetzbar, lediglich eine geringe Anzahl der potenziellen Probanden lehnte eine Teilnahme an der Studie ab (in Hamburg z. B. nur 3 potenzielle Probanden). Grundsätzlich äußerten sich die meisten Probanden positiv über die vorgenommenen Untersuchungen, insbesondere über die Untersuchung mit der ET-VR-Brille. Es wurden in beiden Studienzentren keine besonderen Zwischenfälle registriert. Die erhobenen Studiendaten wurden kontinuierlich in die Onlineplattform (SecuTrial) eingepflegt.

Leider konnten von insgesamt 35 Patient*innen die mittels ET/VR-Brille erhobenen Daten der Analyse nicht zugeführt werden, da die Datensätze unvollständig waren. Bei 2 Patient*innen jedes Zentrums war keine eindeutige SHT-Diagnose verfügbar.

Damit ergab sich ein Datensatz von 83 auswertbaren Fällen. Bei den auswertbaren Datensätzen waren 54 Männer und 28 Frauen im Alter von 18-65 Jahren, bei einem Fall war das Geschlecht nicht angegeben. Insgesamt zeigten sich davon 51 Patient*innen mit SHT-Diagnose. Das Durchschnittsalter in der kein SHT-Gruppe betrug 41 Jahre (SD=15) und in der SHT-Gruppe 39 Jahre (SD=15). Der überwiegende Teil der Patient*innen war zum Zeitpunkt des Unfalls berufstätig (87,5 % in der kein SHT-Gruppe und 84,3 % in der SHT-Gruppe). Kopfverletzungen (SHT) in der Vorgeschichte gaben 34,4 % in der kein SHT-Gruppe und 51 % in der SHT-Gruppe an, während eine psychiatrische bzw. psychotherapeutische Vorgeschichte 25 % in der kein SHT-Gruppe und 23,5 % in der SHT-Gruppe angaben. Über Kopfschmerzen klagten 43, 8 % in der kein SHT-Gruppe und 51 % in der SHT-Gruppe.

Für die Laborparameter waren weitere vier Datensätze unvollständig, so dass hier 48 (SHT) bzw. 31 (kein SHT) Fälle ausgewertet werden konnten.

Nach Ausschluss der unvollständigen Datensätze konnte eine ausführliche statistische Auswertung erfolgen, somit ergab sich kein negativer Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse.

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

Die Fragen zur Praktikabilität wurden von den Untersuchten vorwiegend positiv beantwortet, was sich vor allem in einer relativ niedrigen Häufigkeit von Nennungen unerwünschter Effekte bei Einsatz der Brille zeigte. So gaben nur 12,2 % der Untersuchten an, Nebenwirkungen erlebt zu haben, nur 8,5 % der Untersuchten empfanden den Einsatz der Brille als belastend und nur 9,8 % der Untersuchten gaben an, diese oder eine ähnliche Untersuchung nicht nochmal durchführen lassen zu wollen.

Während sowohl die Nutzung der ET/VR-Brille seitens der Untersuchten überwiegend unproblematisch zu sein scheint und dabei auch kaum Schwierigkeiten auftraten als auch der Aufwand bei Durchführung des Indextests auf einen angemessenen Umfang (<5 Minuten) begrenzt war, hat die Aufbereitung der Rohdaten der ET/VR-Brille in ein auswertbares Format einen unverhältnismäßig großen Aufwand bedeutet. Leider waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch keine Algorithmen in der Software der ET/VR-Brille bzw. in der Management-Software integriert, die eine Aufbereitung der Rohdaten automatisch vornimmt. So wurden die Rohdaten der eyeTrax-Messungen als Zeitreihendaten erfasst und mussten dann zunächst händisch, unter Nutzung der Augenvideos, in

Lidschlüsse, Fixationen und Sakkaden segmentiert werden (s. Abb. 3). Nach dieser Annotation wurden die einzelnen Fälle gemergt und ein Datensatz als CSV zur weiteren Bearbeitung generiert. Eine automatische Aufbereitung der Rohdaten sollte bei Weiterentwicklungen der ET/VR-Brille und der Software daher unbedingt berücksichtigt werden.

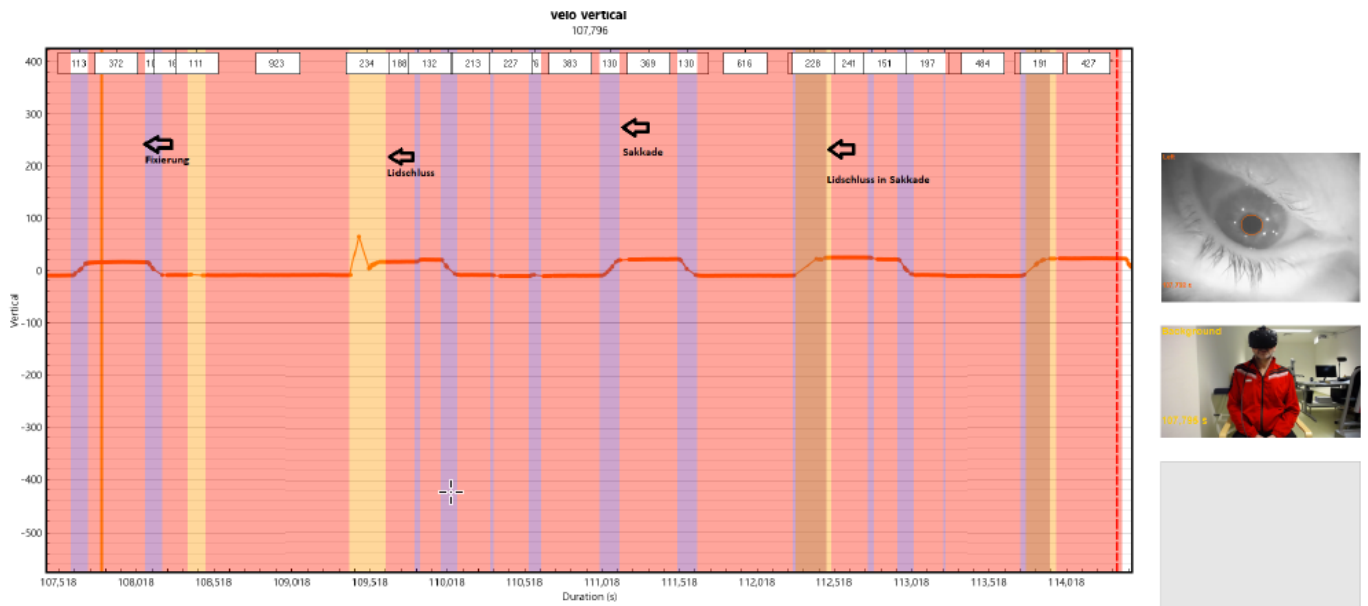


Abb. 3: Beispielhafte Annotation durchgeführt mit dem eyeTrax-Analysetool „Analytics“.

Als weiterer limitierender Faktor ist zudem anzumerken, dass die ET-/VR-Brille bei Patient*innen mit offener Schädelverletzung nicht angelegt werden konnte, da dies aus hygienischen Gründen schwierig umzusetzen war. Somit wurde bereits hier ein relativ großer Teil von Patient*innen ausgeschlossen und konnte nicht in die statistische Auswertung einbezogen werden. Der Einsatz in der Notaufnahme sollte somit kritisch hinterfragt werden. Aus unserer Sicht ist eine regelhafte Anwendung in der Notaufnahme daher nicht sinnvoll.

Auch die Ergebnisse aus dem Indextest bieten angesichts der Ergebnisse zur diagnostischen Relevanz bzgl. der Detektion eines leichten SHT keine Grundlage, auf der der Einsatz der Brille zu diesem Zweck empfehlenswert erscheint. Lediglich zwei der 52 analysierten Parameter („Velo Horizontal Anzahl Lidschlüsse links/rechts“ und „Velo Horizontal Blinzelrate [#s] links/rechts“) sind statistisch von einer zufälligen Entscheidung zu unterscheiden und erreichten eine Signifikanz ($p < .05$) in der explorativen Testung der AUCs gegen die Diagonale. Beide Parameter sind ursprünglich zweimal, d. h. am rechten und linken Auge, erhoben wurden, die Messwertreihen ließen sich ohne Informationsverlust ineinander überführen. Allerdings sind auch hier die erzielten Genauigkeiten nur mäßig, die Punktschätzer ergeben AUCs, also die Wahrscheinlichkeit, ein Paar aus einem positiven und einem negativen Merkmalsträger korrekt zu klassifizieren, von ca. 0,63.

Darüber hinaus ist zu bedenken, dass in dieser explorativen Studie keine α -Adjustierung vorgenommen wurde. Dass zwei von 52 Tests bei einem Signifikanzniveau von 5 % je Test signifikant werden, ist auch zu erwarten, wenn keiner der Parameter eine Assoziation zum Vorliegen eines SHT aufweist.

Bisher liegen keine Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen oder erteilte Schutzrechte aus dem Vorhaben vor. Im weiteren Verlauf sind aber Veröffentlichungen, z. B. in einem einschlägigen Fachjournal geplant.

5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

Es wurden nach unserer Kenntnis seit Projektbeginn keine relevanten Publikationen u. ä. von Dritten zur Forschungsthematik veröffentlicht.

In einer aktuellen Suche bei GoogleScholar und PubMed hinsichtlich des Themas VR-Brille und Schädel-Hirn-Trauma wurden keine Studien gefunden, die einen signifikanten Nutzen der Technik in der Diagnostik und Detektion von leichtem Schädel-Hirn-Trauma dargestellt haben.

6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

In der Studie konnten keine Korrelationen zwischen den in der VR Brille erfassten Parametern und der Detektion eines leichten Schädel-Hirn-Traumas nachgewiesen werden. Ebenso zeigte die Auswertung der durchgeführten Blutparameter keine Relevanz in der Detektion eines leichten Schädel-Hirn-Traumas.

Eine Etablierung der VR-Brille zur Diagnostik leichter Schädelhirntraumata (engl.: mild traumatic brain injury, mTBI) im klinischen Alltag kann somit nicht empfohlen werden. Ebenso kann eine ergänzende standardisierte Überprüfung der Laborparameter nicht empfohlen werden.

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Ziel der Studie war es, spezielle Augenbewegungen und spezielle Blutparameter nach einem leichten Schädelhirntrauma zu überprüfen, da diese wichtigen Informationen über den Zustand des Gehirns sowie Schwere und ggf. Lokalisation der Verletzung liefern können.

Die Analyse und Auswertung der Augenbewegungen ist ein wichtiger Hinweis auf die Funktionsweise des Gehirns, insbesondere des Hirnstamms und kann daher zur Diagnosefindung und Behandlung beitragen.

In der vorliegenden Studie wurde der Fokus auf die Diagnostik leichter SHT gelegt. Hier zeigten sich keine Abnormalitäten, was drauf hindeutet, dass ein stärkeres Trauma notwendig ist, um die Okulomotorik soweit einzuschränken, dass Auffälligkeiten bei der Analyse eben dieser Parameter auftreten.

Auch die Überprüfung von speziellen Blutparametern wie z.B. S-100 und NFE ist ein wichtiger Bestandteil in der Diagnose von Schädel-Hirn-Traumata. Diese Biomarker werden von Gehirnzellen bei einer Verletzung freigesetzt und können im Blut nachgewiesen werden. Die Konzentration dieser Biomarker im Blut kann somit als Indikator für die Schwere der Verletzung und den Grad der Gehirnbeeinträchtigung dienen. Auch hier zeigte sich, dass ein leichtes SHT nicht ausreicht, um einen abnormalen bzw. erhöhten Wert im Blut nachweisen zu können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Überprüfung von Augenbewegungen und speziellen Blutparametern bei einem leichten Schädel-Hirn-Trauma nicht sinnvoll erscheint.

Es gibt jedoch mehrere Bereiche, in denen die VR-Technologie in der klinischen Praxis eingesetzt werden kann und in weiteren Forschungsprojekten überprüft werden sollte.

Ein Anwendungsgebiet wäre hier zum Beispiel die Rehabilitation von Patient*innen. Insbesondere bei kognitiv und körperlich eingeschränkten Patient*innen kann diese in einer virtuellen Umgebung absolviert werden.

Hier können dann patientenspezifische Einschränkungen in der Kognition und Motorik trainiert werden. Durch die Verwendung von VR kann somit der Heilungsprozess positiv beeinflusst und eine funktionelle Unabhängigkeit des Patienten ermöglicht und verbessert werden.

Ein anderes Verwendungsgebiet könnte in der Chirurgie erfolgen. Hier kann VR in der Planung von chirurgischen Eingriffen eingesetzt werden, indem es Chirurg*innen ermöglicht, ein besseres Verständnis der Anatomie durch die VR-Brille zu erlangen. Krankheitsbilder bzw. zu operierende Strukturen können so in einer VR-Realität exploriert werden und hier bereits wichtige benachbarte Strukturen wie Arterien und Nerven erkannt werden. Somit können Eingriffe besser geplant und mögliche Komplikationen vorhergesehen und vermieden werden.

8. Anhang/Anhänge

Literaturverzeichnis:

1. Vos PE, Alekseenko Y, Battistin L, Ehler E, Gerstenbrand F, Muresanu DF, et al. Mild traumatic brain injury. *Eur J Neurol.* 2012;19(2):191-8.
2. Rickels E, von Wild K, Wenzlaff P. Head injury in Germany: A population-based prospective study on epidemiology, causes, treatment and outcome of all degrees of head-injury severity in two distinct areas. *Brain Inj.* 2010;24(12):1491-504.
3. Esselman PC, Uomoto JM. Classification of the spectrum of mild traumatic brain injury. *Brain Inj.* 1995;9(4):417-24.
4. Shenton ME, Hamoda HM, Schneiderman JS, Bouix S, Pasternak O, Rathi Y, et al. A review of magnetic resonance imaging and diffusion tensor imaging findings in mild traumatic brain injury. *Brain Imaging Behav.* 2012;6(2):137-92.
5. Alexander MP. Mild traumatic brain injury: pathophysiology, natural history, and clinical management. *Neurology.* 1995;45(7):1253-60.
6. McCrory P, Meeuwisse W, Aubry M, Cantu B, Dvorak J, Echemendia R, et al. Consensus statement on Concussion in Sport--the 4th International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2012. *J Sci Med Sport.* 2013;16(3):178-89.
7. McAllister TW, Arciniegas D. Evaluation and treatment of postconcussive symptoms. *NeuroRehabilitation.* 2002;17(4):265-83.
8. Fralick M, Thiruchelvam D, Tien HC, Redelmeier DA. Risk of suicide after a concussion. *CMAJ.* 2016;188(7):497-504.
9. McKee AC, Daneshvar DH. The neuropathology of traumatic brain injury. *Handb Clin Neurol.* 2015;127:45-66.
10. Kawata K, Liu CY, Merkel SF, Ramirez SH, Tierney RT, Langford D. Blood biomarkers for brain injury: What are we measuring? *Neurosci Biobehav Rev.* 2016;68:460-73.
11. Ng TS, Lin AP, Koerte IK, Pasternak O, Liao H, Merugumala S, et al. Neuroimaging in repetitive brain trauma. *Alzheimers Res Ther.* 2014;6(1):10.
12. Dougherty AL, MacGregor AJ, Han PP, Heltemes KJ, Galarneau MR. Visual dysfunction following blast-related traumatic brain injury from the battlefield. *Brain Inj.* 2011;25(1):8-13.
13. Ventura RE, Jancuska JM, Balcer LJ, Galetta SL. Diagnostic tests for concussion: is vision part of the puzzle? *J Neuroophthalmol.* 2015;35(1):73-81.
14. Sussman ES, Ho AL, Pendharkar AV, Ghajar J. Clinical evaluation of concussion: the evolving role of oculomotor assessments. *Neurosurg Focus.* 2016;40(4):E7.
15. Ciuffreda KJ, Kapoor N, Rutner D, Suchoff IB, Han ME, Craig S. Occurrence of oculomotor dysfunctions in acquired brain injury: a retrospective analysis. *Optometry.* 2007;78(4):155-61.
16. Heitger MH, Anderson TJ, Jones RD. Saccade sequences as markers for cerebral dysfunction following mild closed head injury. *Prog Brain Res.* 2002;140:433-48.
17. Heitger MH, Anderson TJ, Jones RD, Dalrymple-Alford JC, Frampton CM, Ardagh MW. Eye movement and visuomotor arm movement deficits following mild closed head injury. *Brain.* 2004;127(Pt 3):575-90.
18. Heitger MH, Jones RD, Macleod AD, Snell DL, Frampton CM, Anderson TJ. Impaired eye movements in post-concussion syndrome indicate suboptimal brain function beyond the influence of depression, malingering or intellectual ability. *Brain.* 2009;132(Pt 10):2850-70.
19. Mullen SJ, Yucel YH, Cusimano M, Schweizer TA, Oentoro A, Gupta N. Saccadic eye movements in mild traumatic brain injury: a pilot study. *Can J Neurol Sci.* 2014;41(1):58-65.
20. Drew AS, Langan J, Halterman C, Osternig LR, Chou LS, van Donkelaar P. Attentional disengagement dysfunction following mTBI assessed with the gap saccade task. *Neurosci Lett.* 2007;417(1):61-5.
21. Maruta J, Ghajar J. Detecting eye movement abnormalities from concussion. *Prog Neurol Surg.* 2014;28:226-33.

22. Samadani U, Ritlop R, Reyes M, Nehrbass E, Li M, Lamm E, et al. Eye tracking detects disconjugate eye movements associated with structural traumatic brain injury and concussion. *J Neurotrauma*. 2015;32(8):548-56.
23. Hunt AW, Mah K, Reed N, Engel L, Keightley M. Oculomotor-Based Vision Assessment in Mild Traumatic Brain Injury: A Systematic Review. *J Head Trauma Rehabil*. 2016;31(4):252-61.
24. Flanagan SR, Cantor JB, Ashman TA. Traumatic brain injury: future assessment tools and treatment prospects. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2008;4(5):877-92.
25. Slobounov S, Slobounov E, Newell K. Application of virtual reality graphics in assessment of concussion. *Cyberpsychol Behav*. 2006;9(2):188-91.
26. Wright WG, McDevitt J, Tierney R, Haran FJ, Appiah-Kubi KO, Dumont A. Assessing subacute mild traumatic brain injury with a portable virtual reality balance device. *Disabil Rehabil*. 2017;39(15):1564-72.
27. Adrian H, Marten K, Salla N, Lasse V. Biomarkers of Traumatic Brain Injury: Temporal Changes in Body Fluids. *eNeuro*. 2016;3(6).

Variablen des Indextests:

- 1) Biflicker Trigger Richtung bzgl. XAchse im UZS °
- 2) Biflicker Dauer der Wiederholung ms
- 3) Biflicker Dauer der Hauptsakkade ms links
- 4) Biflicker Latenz Hauptsakkade zum Trigger ms links
- 5) Biflicker Hauptsakkadenamplitude° links
- 6) Biflicker Gain der Hauptsakkade links
- 7) Biflicker Richtung bzgl. XAchse im UZS ° links
- 8) Biflicker Richtungsfehler Prosakkade links
- 9) Biflicker V_max der Hauptsakkade ° links
- 10) Biflicker Anzahl Sakkaden links
- 11) Biflicker Anzahl Lidschlüsse links
- 12) Biflicker Blinzelrate # links
- 13) Biflicker Hauptsakkadenamplitude ° rechts
- 14) Biflicker Gain der Hauptsakkade rechts
- 15) Biflicker Richtung bzgl. XAchse im UZS ° rechts
- 16) Biflicker Richtungsfehler Prosakkade rechts
- 17) Biflicker V_max der Hauptsakkade ° rechts
- 18) Biflicker Anzahl Sakkaden rechts
- 19) Biflicker Anzahl Lidschlüsse rechts
- 20) Biflicker Blinzelrate # rechts
- 21) Biflicker Vertikal Trigger Richtung bzgl. XAchse im UZS °
- 22) Biflicker Vertikal Dauer der Wiederholung ms
- 23) Biflicker Vertikal Dauer der Hauptsakkade ms links
- 24) Biflicker Vertikal Latenz Hauptsakkade zum Trigger ms links
- 25) Biflicker Vertikal Hauptsakkadenamplitude ° links
- 26) Biflicker Vertikal Gain der Hauptsakkade links
- 27) Biflicker Vertikal Richtung bzgl. XAchse im UZS ° links
- 28) Biflicker Vertikal Richtungsfehler Prosakkade links
- 29) Biflicker Vertikal V_max der Hauptsakkade ° links
- 30) Biflicker Vertikal Anzahl Sakkaden links
- 31) Biflicker Vertikal Anzahl Lidschlüsse links
- 32) Biflicker Vertikal Blinzelrate # links
- 33) Biflicker Vertikal Dauer der Hauptsakkade ms rechts

- 34) Biflicker Vertikal Latenz Hauptsakkade zum Trigger ms rechts
- 35) Biflicker Vertikal Hauptsakkadenamplitude ° rechts
- 36) Biflicker Vertikal Gain der Hauptsakkade rechts
- 37) Biflicker Vertikal Richtung bzgl. XAchse im UZS ° rechts
- 38) Biflicker Vertikal Richtungsfehler Prosakkade rechts
- 39) Biflicker Vertikal V_max der Hauptsakkade rechts
- 40) Biflicker Vertikal Anzahl Sakkaden rechts
- 41) Biflicker Vertikal Anzahl Lidschlüsse rechts
- 42) Biflicker Vertikal Blinzelrate # rechts
- 43) Velo Vertikal Dauer der Wiederholung ms
- 44) Velo Vertikal Anzahl Lidschlüsse links
- 45) Velo Vertikal Blinzelrate # links
- 46) Velo Vertikal Anzahl Sakkaden links
- 47) Velo Vertikal Durchschnitt Spitzengeschwindigkeit ° links
- 48) Velo Vertikal Durchschnittlicher Präzisionsfehler ° links
- 49) Velo Vertikal Anzahl Lidschlüsse rechts
- 50) Velo Vertikal Blinzelrate # rechts
- 51) Velo Vertikal Anzahl Sakkaden rechts
- 52) Velo Vertikal Durchschnitt Spitzengeschwindigkeit ° rechts
- 53) Velo Vertikal Durchschnittlicher Präzisionsfehler ° rechts
- 54) Velo Horizontal Dauer der Wiederholung ms
- 55) Velo Horizontal Anzahl Lidschlüsse links
- 56) Velo Horizontal Blinzelrate # links
- 57) Velo Horizontal Anzahl Sakkaden links
- 58) Velo Horizontal Durchschnitt Spitzengeschwindigkeit ° links
- 59) Velo Horizontal Durchschnittlicher Präzisionsfehler ° links
- 60) Velo Horizontal Anzahl Lidschlüsse rechts
- 61) Velo Horizontal Blinzelrate # rechts
- 62) Velo Horizontal Anzahl Sakkaden rechts
- 63) Velo Horizontal Durchschnitt Spitzengeschwindigkeit ° rechts
- 64) Velo Horizontal Durchschnittlicher Präzisionsfehler ° rechts