

TELEMEDIZINISCHE REHABILITATION VON ZEREBRAL BEDINGTEN SEHSTÖRUNGEN DURCH EINE PRAXIS FÜR VERHALTENSTHERAPIE: Vorteile der online Therapie gegenüber der ambulanten Behandlung in einem Universitätsinstitut

geschrieben von: **Dr. phil. Monika Schmielau-Lugmayr** und **Prof. Dr. med.habil. Dr.rer.nat. Dr.phil. Fritz Schmielau***, Praxis für Verhaltenstherapie Lübeck - *Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation, Universität zu Lübeck (1985 – 2010)

A Sehstörungen als Folge zerebraler Schädigungen

Homonyme Gesichtsfeldausfälle (Anopsien) sind das häufigste Symptom nach einer Schädigung der hinteren Hirnabschnitte. Ätiologisch überwiegen zerebrovaskuläre Erkrankungen, vor allem Infarkte im Versorgungsgebiet der Arteria cerebri posterioris. Neben den Gesichtsfeldausfällen können dabei eine Reihe anderer Defekte, wie z.B. Blendempfindlichkeit, Nystagmus, Amblyopie, Achromatopsie, und Störungen des räumlichen Sehens (Stereopsis) auftreten.¹ Von 100.000 Patienten pro Jahr mit erworbenen Hirnschädigungen in Deutschland weisen 20 – 30% derartige Sehstörungen auf.² Bis heute wird die Frage intensiv diskutiert, ob derartige Defekte sich spontan erholen können bzw. therapierbar sind: Unsere Patienten berichten von augenärztlichen Äußerungen aus dem Spektrum von „Das wird schon“ bis „Da kann man nichts machen“. Wissenschaftliche Befunde geben Spontanremissionsraten von 12³ bis über 50%⁴ an. Es besteht Konsens, dass eine spontane Erholung meist nach 3 – 6 Monaten abgeschlossen ist. Wenn man einen „echten Therapieeffekt“ nachweisen will, sollte man also die Möglichkeit einer Spontanremission miteinbeziehen.

B Therapieansätze

Erste dokumentierte Therapieansätze finden sich bei Poppelreuter⁵, der während des 1. Weltkriegs mit einfachen Mitteln (z.B. „Papiersterne ausschneiden“) versuchte, das Sehvermögen (Lesefähigkeit) hirnverletzter Soldaten, z.B. nach Kopfschussverletzungen, zu verbessern. Später^{6 7} entwickelten sich das sog. Sakkaden- und das Lese-Training Verfahren, wobei man die Patienten - z.T. mit automatisierten Vorrichtungen - wiederholt gezielte Augenbewegungen (Sakkaden) in das anope (blinde) Gesichtsfeld ausführen ließ oder bei fixierendem Auge auf einem Monitor einen Text in den intakten Gesichtsfeldrest wandern ließ (ELEX nach Dr. Zihl, München). Dadurch konnte nach maximal 25 Sitzungen von 30 – 45 min Dauer eine durchschnittliche Vergrößerung des „Blickfeldes“ (Gesichtsfeld bei frei bewegten Augen) um etwa 20⁰ erreicht werden, was für das tägliche visuell geleitete Verhalten schon eine deutliche Verbesserung bedeutet. Diese und ähnliche Verfahren gelten jedoch als „**kompensatorisch**“, da sich das Gesichtsfeld (bei starrem Auge) nicht verändert. Davon unterscheidet man sog. „**restituierende**“ Methoden, deren Ziel die Verringerung des sensorischen Defizits ist, also z.B. die Vergrößerung des Gesichtsfeldes oder die Verbesserung des Form- oder Farberkennungsvermögens durch teilweise Wiederherstellung der neuronalen Funktion. In diesem Forschungsfeld entbrannte in den folgenden Jahrzehnten ein erbitterter Streit um den wissenschaftlichen Machbarkeitsnachweis. Ausgehend von Befunden über Gesichtsfeldvergrößerungen bei hemianopischen Patienten nach wiederholten Messungen der Lichtunterschiedsschwelle für kleine Lichtreize im Grenzbereich zwischen dem intakten und anopen Gesichtsfeldbereich mittels eines manuellen „Tübinger Perimeters“⁸, kamen die Autoren im Gegensatz zur damals vorherrschenden Meinung zu dem Schluss: „Damit ist eine sensorische Rehabilitation bei zentralen Sehstörungen möglich“. Die Verbesserungen wurden als „Ergebnis systematischer externer Förderung dieser Funktionen auf der Basis spontaner Rückbildungsprozesse im Läsionsareal“

betrachtet. In einer Folgestudie⁹ an 55 Patienten (davon 44 zerebrovaskulär geschädigte und 11 mit Schädelhirntraumata), bei denen neben der Messung von Lichtunterschiedsschwellen auch die Methode der repetitiven „sakkadischen Lokalisation“ von Lichtreizen im anopen Gesichtsfeld als Therapiemethode eingesetzt wurde, zeigten 44 (80%) der Patienten eine signifikante (ab 1,5°) Gesichtsfeldvergrößerung, 14 einen Zuwachs von 10 – 48°. Da bei ihrer Population Patienten mit einer geringen Dichte in den Messungen des kraniellen Computertomogramms kein Therapieeffekt nachgewiesen werden konnte, postulierten die Wissenschaftler „ ... it can be concluded that enlargement of visual field in patients with postgeniculate damage is possible, provided that the field defect does not result from completely irreversible brain damage“.

Eine Replikation der positiven Therapiebefunde der Münchner Gruppe um Pöppel, Zihl und von Cramon durch andere Wissenschaftler mit ähnlichen Verfahren scheiterte jedoch zunächst^{10 11}. Die US Forschergruppe um Bach y Rita konnte bei ihren 12 Patienten keine Gesichtsfeldzuwächse finden, die größer waren als die intraindividuelle Messvariabilität¹⁰. Sie schlossen aus ihren Untersuchungen: „... we must support the opinion that lesions to the striate cortex in humans result in permanent blindness“.

C Eigene Forschung

Trotz der diskrepanten Forschungsergebnisse verschiedener Labors legen tierexperimentelle Befunde an Primaten aus den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts nahe, dass eine Restitution von Sehfunktionen auf der Basis neuronaler Prozesse möglich ist^{12 13}. Bei partiellen Schädigungen der primären Sehrinde (visueller Cortex, Area 17) kann systematisches Üben eine Verkleinerung umschriebener Gesichtsfelddefekte (Skotome) bewirken. Da die Effekte auf die *trainierten* Stellen im Gesichtsfeld beschränkt blieben, kann es sich nicht um Ergebnisse „spontaner“ Restitutionsprozesse handeln.

Betrachtet man die Arbeiten zur behandlungsinduzierten Wiederherstellung von Sehfunktionen nach zerebralen Schäden methodenkritisch, lassen sich möglicherweise Fehlerquellen aufdecken, die falsch-positive oder auch falsch-negative Ergebnisse hervorrufen: Das Vorliegen eines Behandlungseffektes kann durch Spontanremission vorgetäuscht oder verunreinigt sein, negative Ergebnisse durch ungeeignete Reizbedingungen verhindert werden.

Bei anderen Hirnleistungen (Sprache, Motorik) sind Therapieeffekte unbestritten, und täglich werden zerebral geschädigte Patienten in Rehabilitationseinrichtungen mit Erfolg behandelt. Aufgrund der hohen jährlichen Inzidenz visueller Defekte nach Hirnschädigungen war es erstrebenswert, Methoden zu entwickeln, auch diese Defizite zu therapieren und wissenschaftlich eindeutig nachzuweisen, dass die erzielten Erfolge Resultat der therapeutischen Interventionen sind.

Diese grundlegenden Arbeiten wurden 1985 - 2010 am Institut für Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation der Universität zu Lübeck und des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein UKSH Campus Lübeck durchgeführt.

Sukzessive wurden Verfahren und Geräte entwickelt und patentiert^{14 15}, die

a) eine zunehmende Automatisierung der Behandlung möglich machte und

b) der Digitalisierung und Verwendung von PCs in der Bevölkerung, (und hier auch der Patienten) sowie

c) letztlich der breiten Nutzung des sich entwickelnden Internets

Rechnung trug.

Dieser letzte Schritt hin zur Telemedizin wurde insbesondere durch unser einjähriges Sabbatical an der University of California in Irvine (USA) 1997 – 1998 beschleunigt, als in der Lübecker Universität noch niemand einen E-Mail Account hatte.

Die Abgrenzung therapie-induzierter von *spontanen* Rehabilitationseffekten gelang durch

- Therapie von Patienten mit **älteren** zerebrovaskulären Infarkten (CVI)
- Beschränkung der Stimulation auf **Teilbereiche** des anopen Gesichtsfeldes
- Therapie von CVI Patienten nach operativer **Läsion** von Teilen des visuellen Kortex
- **Sukzessive** Therapie des a) Hell-Dunkel- b) Form- c) Farbdiskriminationsvermögens
- **Evaluation** und **Stabilität** der Therapieeffekte durch **komplementäre** Untersuchungsmethoden (statische und dynamische Perimetrie, kortikal evozierte visuelle Potentiale (VEP), diverse ophthalmologische Untersuchungsmethoden wie Random - Dot Stereo Sehschärfe Test, Munsell 100 hue - Farbttest) vor – während – nach – Verlaufskontrolluntersuchungen, subjektive Skalierungsmethoden und “Activities of daily living (ADL)” Befragungen.

Die Dauer der Behandlung betrug fast immer mindesten 50 Einheiten, in einigen Fällen bis > 1.000 Therapieeinheiten und jahrelange Nachkontrolle.

D Gemeinsame Parameter der verschiedenen Behandlungsverfahren

Die Reizsituationen in einer 45-minütigen Standard-Behandlungssitzung sind durch die notwendigen *repetitiven* Stimulationsbedingungen relativ monoton: Dies wurde durch vier Maßnahmen entschärft:

1. Um die Therapieeffizienz im Vergleich anderen Untersuchungen zu steigern, wurde die passiv-sensorische Methodik um eine aktive **motorische Reaktionskomponente** (sensomotorisches „simple reaction time“ Paradigma) ergänzt. Die Reizintensität (Leuchtdichte) lag im - für normale Gesichtsfelder - weit **überschwelligen** Bereich.
2. Die **selektive Aufmerksamkeit** (für eine kurze Zeitspanne) auf die Reize wurde durch einen – dem visuellen Reiz zeitlich randomisiert vorausgehenden – akustischen Warnreiz erhöht (Aufmerksamkeits-Taktung).
3. Die **allgemeine Aufmerksamkeit** konnte durch regelmäßige Pausen (alle 5 min) während der Behandlungssitzungen auf einem relativ hohen Niveau gehalten und einer schnellen Ermüdung vorgebeugt werden.
4. Bei der Behandlung zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes (topografisches Training des Helligkeitsdiskriminationsvermögens) wurde eine selektive **räumliche Aufmerksamkeit** auf den Übergangsbereich zum anopischen Gesichtsfeldbereich durch die eine **regelmäßige topografische Abfolge** der visuellen Reize erzielt. Letzteres unterscheidet die Therapie bewusst von der ophthalmologischen räumlich randomisierten Diagnostik mittels eines Perimeters.

E Behandlungsverfahren und - geräte

I Tübinger Perimeter (1985-1990) : In den ersten Jahren wurde speziell die Methode der Gesichtsfelderweiterung mit Hilfe der repetitiven manuellen Inkrementalschwellen-Messung im Sinne der Münchner Forschergruppe um Zihl und von Cramon am Max-Planck- Institut für Psychiatrie untersucht.^{16 17} Mit diesen Arbeiten wurden prinzipiell die Befunde bestätigt, dass Gesichtsfelddefekte bei hirngeschädigten Patienten durch Inkrementalschwellen-Messungen im Übergangsbereich zum Skotom gezielt verkleinert werden können. Im Mittel waren jedoch mindesten 50, meist mehr als 100 Behandlungssitzungen erforderlich, um signifikante und dauerhafte Gesichtsfeldvergrößerungen zu erzielen. Der Therapieeffekt generalisierte jedoch nicht auf andere Sehfunktionen, gelegentlich wurde lediglich eine Verbesserung des Nahvisus beobachtet. Verbesserungen der Form- und Farbwahrnehmung in dem ehemals anopen Gesichtsfeldbereich bedurften einer weitergehenden spezifischen Therapie¹⁷. Anhand der Veränderung des kortikalen VEPs und des „okulären Transfers“ (monokulare Therapie mit *einem* sehenden Auge und Nachweis der Gesichtsfeldverbesserungen auch im okkludierten), ließen den Schluss zu, dass die funktionelle Restitution in der lädierten Struktur, dem visuellen Kortex, stattgefunden hatte.

II Lübecker Reaktionszeit-Trainingsgerät LRT 1 (1989 – 1992): In Anlehnung an ein Bogenperimeter, das wir bei Studienaufenthalten¹⁸ am Istituto di Fisiologia Umana der Universität Pisa (Italien) 1981 - 1983 bei den Professoren Marzi und Berlucchi zur Messung des interhemisphärischen Transfers von Sehfunktionen kennengelernt hatten, haben wir in München und Lübeck in den 80er Jahren ein um 360° drehbares Bogenperimeter entwickelt, bei dem 4 LEDs als Lichtreize dienen, welche an jeder beliebigen Stelle im Gesichtsfeld **manuell positioniert** werden. Ein PC steuert die repetitive Stimulation der (überschwellig hellen) Leuchtdioden, misst und verarbeitet die Reaktionszeiten des Patienten. Vor jedem visuellen Stimulus ertönt zeitlich randomisiert ein akustischer Warnreiz. Die PC-kontrollierten senso-motorischen Reaktionen der Patienten am semi-automatischen LRT 1 treten somit an die Stelle der manuell vom Untersucher getriggerten rein passiv-sensorischen Wahrnehmungseindrücke der untersuchten Patienten, was zu einer Vereinfachung des Therapieablaufs und verbesserten Leistung der Probanden führt. Der subjektiv vom Patient skalierte jeweilige Helligkeitseindruck korreliert negativ mit der Reaktionszeit: Eine Zunahme der wahrgenommenen Helligkeit als Folge der Therapie führt zu einer Verkürzung der Reaktionszeit¹⁹. Auch mit diesem Verfahren (Warnton, überschwellige Stimuli und senso-motorische Reaktionen) konnten zerebrovaskulär geschädigte Patienten erfolgreich und effizient behandelt werden.

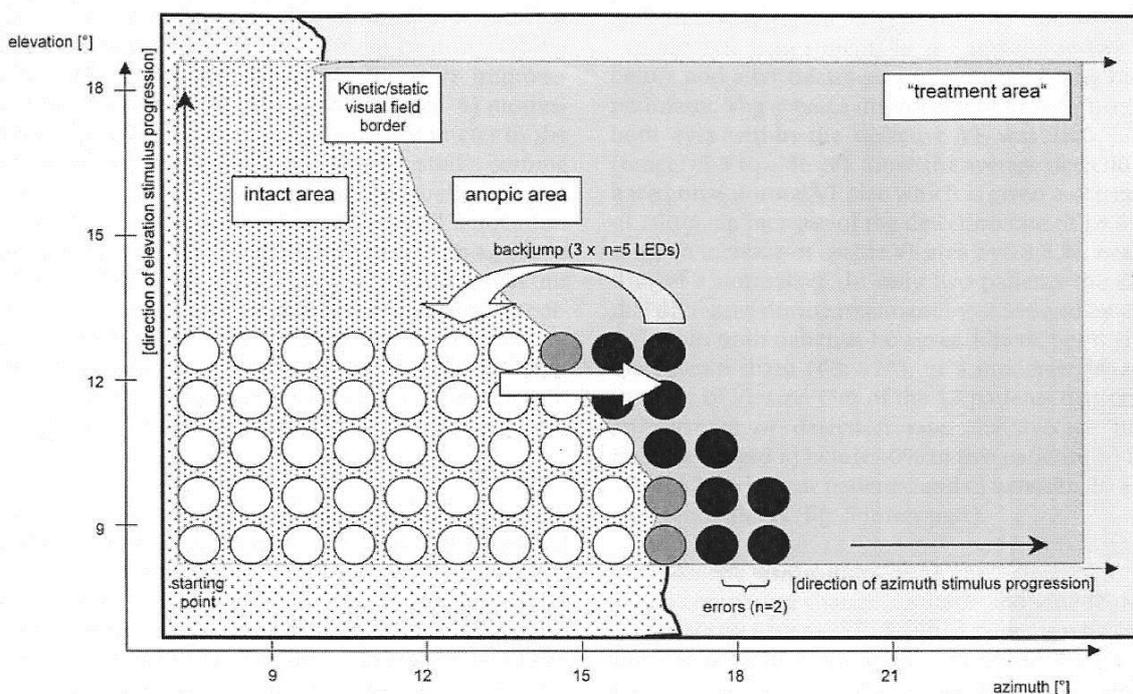
III Lübecker Reaktionszeit-Trainingsgerät LRT 2 und Lübecker Reaktions Perimeter LRP (1992-1996): Die auf das LRT 1 folgende Entwicklungsstufe der Therapiegeräte ist ein vollautomatisches halbkugelförmiges Perimeter LRT 2 aus schwarzem Plexiglas, das äquidistant (3° Abstand zwischen benachbarten Leuchtdioden) mit 1740 grünen LEDs bestückt ist²⁰. Im Rahmen einer Diplomarbeit hauptsächlich zu *Therapie*zwecken entwickelt, kann man das LRT 2 aber auch als *Diagnostik*gerät verwenden:

- a) zur randomisierten statischen Vermessung des Gesichtsfeldinneren
- b) zur dynamischen Bestimmung der Gesichtsfeldaußengrenzen.

Ein PC dient der Ansteuerung der LEDs im Therapie- und Diagnostikmodus und der Auswertung der Messergebnisse in Form einer farb-kodierten Iso-Reaktionszeit-Darstellung des Gesichtsfeldes und der numerischen Anzeige der relevanten Daten wie Treffer- und Fehlerzahl und – quote, Median, Mittelwert und Standardabweichung sowie der Messparameter. Das Ansteuerungs- und Auswerteprogramm wurde nach unseren Angaben extern programmiert. Im Rahmen der psychologischen Diplomarbeit wurden Probanden untersucht und 3 hemianopische Patienten mit einem neu entwickelten Therapiealgorithmus behandelt.² Bei 2 dieser Patienten konnte nach jeweils 50 Therapieeinheiten eine signifikante Erweiterung des Gesichtsfeldes erzielt werden. Für das technische Prinzip wurden das Deutsche Gebrauchsmuster²¹, das Europäische Patent für diverse Staaten¹⁵ sowie das US Patent¹⁴ erteilt. Für die Erfindung und Entwicklung des Therapiegerätes wurden auf der 43. Internationalen Erfindermesse in Brüssel diverse internationale Auszeichnungen²² verliehen. Der Firma ELWA AG aus Görwihl/Baden-Württemberg erteilten wir die Lizenz zur industriellen Fertigung und zum Vertrieb des LRT 2 als „Lübecker Reaktions Perimeter LRP“. Die erste Studie mit dem LRP an 11 (10 davon CVI) Patienten²³ konnte die therapeutische Effizienz des neuen Therapiealgorithmus und des Perimeters LRP dokumentieren: „To summarize briefly, approximately 50 sessions of automatic sensorimotor training with the LÜBECK REACTION TIME PERIMETER have proved to be a powerful therapy in more than 60% of patients with unilateral or bilateral damage of the higher visual system. Restitution of large visual field areas, obtained by this unique technique, is transferred successfully in visual guided behavior in patient’s every day life“.

Der Therapiealgorithmus der visuellen Rehabilitationstherapie mit dem LRP

Abb. 1 Trainingsareal im Übergangsbereich zwischen dem intakten und anopen Gesichtsfeld und der visuelle Therapiealgorithmus



azimuth [°]	Azimuthwinkel [°] Längengrad
elevation [°]	Elevationswinkel [°] Breitengrad
treatment area	Trainingsareal
kinetic / static visual field border	dynamische / statische GF Grenze
intact area	gesunder GF Bereich
anopic area	anoper GF Bereich
starting point	Startpunkt
direction of azimuth stimulus progression ->	Richtung der visuellen Stimulusprogression (in Azimuthrichtung)->
direction of elevation stimulus progression (in Elevationsrichtung) ->
○	gesehene Stimuli (korrekte Reaktion)
●	nicht gesehene Stimuli (inkorrekte /keine R)
errors (n = 2)	Fehler (n= 2)
backjump	Rücksprung (3 x um je 5 LED Positionen = 15°)

Dieser erprobte – und durch die Rücksprungfunktion - **selbstadaptive Algorithmus** ist die essentielle Basis der Behandlung mit dem LRP und aller weiteren Therapieverfahren, auch am PC Monitor und bei der **telemedizinischen Rehabilitationstherapie** mit der **Vision Trainer Software** zuhause (s.u.).

1. Festlegung des Trainingsareals: Nach der grundlegenden Diagnostik des defekten Gesichtsfeldes (GF) eines Patienten mittels Perimetrie wird in diesem GF ein Trainingsbereich festgelegt, der sowohl einen Teil des gesunden als auch einen Teil des anopen GFes und den Übergangsbereich vom gesunden ins anope GF umfasst (s. Abb 1). Der Bereich hat eine Ausdehnung von 30° (Sehwinkelgrad) in vertikaler (Elevationswinkel) bzw. horizontaler (Azimuthwinkel) Richtung, je nach Verlauf der GF Grenze. **Die Therapie zur Restitution des GFes** besteht aus einer **sukzessiven Ansteuerung der LEDs** entlang von Zeilen (horizontal = konstanter Elevationswinkel = Breitenkreise auf der Kugel; z.B. von links nach rechts in der Abb.1) oder Spalten (vertikal = konstanter Azimuthwinkel = Längengrade; z.B. von oben nach unten), wobei der Patient die zentrale rote LED fixiert. Die Fixationsgüte kann mit einer hochsensitiven Videokamera bei mesopischer Umfeldleuchtdichte kontrolliert werden.

2. Visuelle Stimuli und die Reaktionszeit als Maß der Wahrnehmungsleistung: Die visuelle **Reizabfolge** ist zeitlich randomisiert (2.000 bis 3.500 ms je nach Leistungsfähigkeit des Patienten). Jedes Aufleuchten wird durch einen hellen (f = 1000 Hz) **Warnton** angekündigt, wobei die Zeit zwischen Ton und Lichtreiz auch randomisiert ist (z.B. 500 – 2.000 ms). Hat der Patient den Lichtreiz (Dauer z.B. 100 ms) erkannt, muss er sofort die Reaktionstaste drücken. Die Reaktion sollte normalerweise in ein Zeitfenster von 150 bis 900 ms (**Reaktionsintervall**) fallen. Da die **Reaktionszeit** aber von vielen Faktoren abhängt, wie z.B. der motorischen Schnelligkeit, dem Aufmerksamkeitslevel, der verwendeten Reizleuchtdichte und der subjektiv empfundenen Reizhelligkeit usw., kann man die Länge des Reaktionsintervalls an die jeweilige Situation anpassen. Zu schnelle und zu langsame Reaktionen werden als **Fehler** gewertet. Fehler bei zu langsamer oder ausgebliebener Reaktion werden dem Patienten 500 ms nach Ende des Reaktionsintervalls durch

einen tiefen ($F = 500$ Hz) **Fehlerton (negatives Feedback)** signalisiert. Die Idee dabei ist, dass bei nachlassender Aufmerksamkeit oder als gering empfundener Reizhelligkeit der Patient zu mehr Aufmerksamkeit aufgefordert wird. Da der ungefähre Ort des als nächster zu erwartenden Lichtreizes vom Patienten antizipiert werden kann und soll (**selektive räumliche Aufmerksamkeit**), können manche Patienten durch erhöhte Anstrengung die visuelle Sensitivität steigern. Werden zwei LEDs in Folge nicht erkannt (z.B. weil die Reize in das anope GF fallen), erfolgt innerhalb der Zeile oder Spalte ein **Rücksprung** um eine definierte Anzahl von LEDs, z.B. $n = 5$ entsprechend 15° , in einen Bereich, in dem der Patient die Reize vorher sicher erkannt hat (in der Abb. 1 nach links). **Reizwiederholung:** Von dort startet die Stimulusabfolge wie vorher, bis wieder auf 2 sukzessive LEDs nicht oder zu langsam reagiert wird. Die Anzahl solcher Rücksprünge (= Wiederholungen der Reizdarbietung an der GF Grenze zum anopen Bereich) kann man, wie alle anderen Stimulusparameter, per Software (Thomas Schmielau) am LRP vor einer Behandlungssitzung festlegen. Nach 5 min Stimulation oder nach Bedarf kann man unter Programmkontrolle eine **Pause** von 1 min definieren. Diese dient der Erholung des Patienten, da die Therapie selbst unter möglichst hoher Aufmerksamkeit durchgeführt werden soll. **Dauer einer Therapiesitzung:** Die Abarbeitung eines solchen GF Therapieareals von 30×60 Grad (entsprechend $10 \times 20 = 200$ LEDs bei einem festen LED Abstand von 3 Grad) kann je nach Fehlerverteilung und – häufigkeit bis zu 25 min dauern. Nach einer Pause von 5 min kann der Patient in einer Therapiesitzung von ca. 45 min Dauer ein GF Therapieareal z.B. 2 x abarbeiten.

3. Rehabilitationseffekte mit dem Therapiealgorithmus des Lübecker Reaktionsperimeters LRP

Eine Gruppe von 20 Patienten (11 Hirninfarkte, 7 Hirnblutungen, 2 Schädelhirntraumata mit subduralen Hämatomen) und einem Durchschnittsalter von 53.3 Jahren [21 – 80] wurde über einen Zeitraum von mehreren Jahren untersucht, mit dem LRP behandelt und nachuntersucht²⁴. Die CT/MRT verifizierten Läsionen betrafen die kortikale Sehbahn im Einzugsbereich der A.c. posterioris ($n = 14$), A.c. medialis ($n=5$) sowie A.c. frontalis ($n=1$). Die Dauer des posttraumatischen Intervalls betrug durchschnittlich 24,2 Monate [1–105]. Danach erfolgte die multifaktorielle zerebrale Sehfunktionsdiagnostik und Therapie am LRP von im Mittel 73.0 [34-169] Sitzungen à ca. 45 min in einem Zeitraum von durchschnittlich 8,2 Monaten [2-27].

Der **Mittelwert des Gesichtsfeldzuwachses** durch die Behandlung betrug bei Untersuchung mittels dynamischer Perimetrie **+9,6^o** [-5 - +46]; die Zunahme der Anzahl gesehener Reize (statische Perimetrie) im geschädigten GF lag bei **+18,6%** [-5,0 - +30]; bei 2 Patienten war es in jeweils einem der Messverfahren zu einer Abnahme des GFes gekommen. Eine Cluster-Analyse ergab 3 Cluster: einen deutlichen Unterschied zwischen den Patienten mit Hirnblutungen (Cluster 1) und den mit Hirninfarkten (Cluster 2). Der dynamisch gemessene GF Gewinn des Cluster 1 betrug im Durchschnitt **15,69^o** +- 9,3^o, des Cluster 2 **4,28^o**.

Bei der Untersuchung der **Veränderung der Detektionsrate**, dem Verhältnis gesehener zu dargebotenen Reizen, in der statischen Perimetrie, ergaben sich 3 Cluster. Das Cluster 2 mit dem stärksten Therapiegewinn (**+28,08%**) setzte sich nur aus *Infarktpatienten* zusammen, das Cluster 1 (Therapieeffekt **+19,625%**) bestand nur aus Patienten mit *Hirnblutungen*.

In der Zwei-Faktoren-Cluster Analyse wurde auch die Therapieeffizienz *monokulärer* versus *binokulärer Sehbedingungen* bei der Behandlung untersucht: 1. Die Verbesserungen der Gesichtsfeldgröße nach dem dynamischen bzw. statischen Verfahren waren für das bei der

Behandlung okkludierte (geschlossene) Auge (+8,9 °/ +6,2%) etwa gleich groß wie die des geöffneten Auges (+7,8°/ +6,6%). 2. In den beiden Clustern 2 und 1 mit den größten Therapieeffekten (s.o) waren nur Patienten (n=10), die die Behandlung binokulär absolviert hatten; im Cluster 3 mit den geringsten Verbesserungen (im Mittel 6,30%) waren nur Patienten (n=5), die monokulär trainiert hatten. Wenn bei der Behandlung beide Augen offen (+23.85%) waren, war die Effizienz fast 4 mal so hoch wie bei der Therapie mit nur *einem* offenen Auge. Subjektiven Berichten der Patienten zufolge ist die Behandlung mit zwei sehenden Augen deutlich angenehmer und weniger ermüdend als die mit einem. Auch das Fixieren des zentralen Reizes ist binokulär deutlich einfacher.

Zusammengefasst: Patienten mit haemorrhagischen Insulten profitierten von der Behandlung bei den kinetischen GFern etwa 4 x so stark wie die Infarktpatienten, während Infarktpatienten in der statischen Perimetrie einen um etwa 40% stärkeren Therapieeffekt zeigen. Die binokuläre Durchführungsform der Therapie hat sich als weniger belastend für die Patienten und darüber hinaus als deutlich effektiver (Faktor 3,79) erwiesen als die monokuläre.

4. Kollaterale visuelle Funktionsbeeinträchtigungen

a) Visus: Bei 13 der 20 Patienten war zusammen mit dem Hirninfarkt eine Verschlechterung der fovealen Sehschärfe eingetreten. In 8 von ihnen war es bereits vor Beginn der Behandlung am LRP zu einer Verbesserung gekommen, während in 2 einige Zeit nach dem Insult eine weitere Abnahme der Sehschärfe beobachtet worden war.

b) Formerkennung: In der Gruppe der 13 Patienten mit reduziertem Visus war es nach dem Insult bei allen 13 zu einem verminderten Formerkennungsvermögen in der Fovea und im residualen parafovealen Rest der geschädigten Gesichtsfeldhälfte gekommen. In 3 weiteren Patienten war die Formwahrnehmung reduziert ohne dass der Visus durch den Insult abgenommen hatte.

c) Farberkennung: In 8 der 20 Patienten der Klinischen Gruppe hatte der Insult zu einer Verschlechterung (n=6) bzw. einem totalen Verlust (n=2) des Farbsehens geführt. Nur bei 2 dieser 8 Patienten war die Beeinträchtigung des Farbsehens („Farbamblyopie“) nicht mit einer Reduzierung der zentralen Sehschärfe assoziiert, war aber zusammen mit *Formamblyopie* aufgetreten.

5. Veränderungen als Folge der Behandlung

Im Verlauf der Therapie hatte sich bei 10 der 13 Patienten der *Visus* wieder verbessert, bei den restlichen 3 war jedoch keine Veränderung eingetreten. Beim *Formdiskriminationsvermögen* war durch die Therapie bei 10 der 13 Patienten eine moderate Verbesserung von durchschnittlich 16% eingetreten; von den 8 Fällen mit *Farbamblyopie* zeigten 5 nach der Therapie eine Zunahme des Farbdiskriminationsvermögens um gemittelt 15%. Alle Veränderungen des Visus und des Form- und Farbsehens waren ohne eine spezifische Therapie erfolgt, sind somit als „Generalisierungseffekt“ der Helligkeit-Diskriminations-Therapie am LRP zu werten. 14 Patienten der untersuchten Gruppe (n=20) berichteten einen Transfer der Behandlungseffekte in Verbesserungen des visuell geleiteten Verhaltens im täglichen Leben (*Activities of Daily Living ADL*).

6. Stabilität der Therapieeffekte:

Bei Nachuntersuchungen von 15 der 20 Patienten zur Stabilität der Therapieeffekte, mindestens 6 Monate nach dem Ende der Behandlung, ergaben, dass sich in 13 von ihnen das dynamisch und das statisch vermessene Gesichtsfeld nicht verändert hatten. Bei einem Infarktpatienten mit geringen Veränderungen durch die Behandlung (- 3^o Abnahme des dynamischen GFes), ergab die Nachkontrolle nach 12 Monaten eine weitere Abnahme um 2^o, während das statisch vermessene GF einen leichten Zuwachs um +4% aufwies. Bei einem anderen trat innerhalb eines Jahres nach der Behandlung eine zweite Hirnblutung im Bereich der A.c. media auf, die den therapiebedingten Gesichtsfeldzuwachs von 30^o zunichte gemacht hat und darüber hinaus aus der ursprünglichen Quadrantenanopsie eine fast komplette Hemianopsie. Eine weitere mehrmonatige Behandlung dieses zweiten Defekts am LRP war jedoch weit weniger wirksam als die erste Behandlungsphase.

V Visuelle Rehabilitation am PC

Die **ambulante Behandlung** zerebral bedingter Sehstörung an Apparaten wie dem LRP setzt voraus, dass Patienten über einen längeren Zeitraum regelmäßig eine Praxis oder Klinik aufsuchen müssen. Je nach Komorbidität, wie z.B. durch andere Krankheitssymptome (motorische Einschränkungen) oder Alter oder Beruf, stellt diese Form der Therapie eine große körperliche, organisatorische und zeitliche Herausforderung dar. Darüber hinaus existieren für Patienten im ländlichen Raum infrastrukturelle Hindernisse, wie größere Entfernungen zur behandelnden Institution, meist nicht vorhandene öffentliche Verkehrsmittel oder deren ausgedünnter Fahrplan, ggf. mehrfaches Umsteigen vom Bus und Straßenbahn in Zug, S-Bahn usw. Der damit verbundene Zeitaufwand schafft erhebliche Probleme, an einer Therapie 2- 3 x die Woche für mehrere Monate teilzunehmen. Die eigene Anfahrt mit dem Auto ist für sehr viele der sehgeschädigten Patienten unmöglich, da sie infolge der Hirnschädigung die Fahrerlaubnis zumindest zeitweise eingebüßt haben. Wie wir dies schon bei unseren Diagnostik- und Kontrollterminen sehen, ist die Organisation einer Mitfahrgelegenheit für ältere alleinstehende Personen schwierig und bedarf längerfristiger Planung. Hat man diese Hürden überwunden, steht die Frage im Raum, wo es eine adäquate Behandlungsmöglichkeit gibt. Auch wenn viele Kliniken mittlerweile ambulante Behandlungen anbieten, z.B. bei Operationen oder chronischen Schmerzen, so fehlen im Bereich des Hirnleistungstrainings auch in größeren Städten die entsprechenden Praxen. Neurologen oder Ophthalmologen (bei zerebralen Sehstörungen) sind ausgelastet, Ergotherapeuten haben auch nur begrenzte Kapazitäten, meist für Kinder. Neuropsychologische Praxen – die die eigentliche Wahl wären – gibt es in einem Bundesland wie z.B. Schleswig-Holstein kaum: 2010 als wir mit dieser Studie begonnen haben, waren es 4 oder 5. Und die konnten aufgrund fehlender Abrechnungsmöglichkeiten kaum von ihrem Beruf leben. Mittlerweile wächst der Nachwuchs heran, auch wenn es kaum zu verstehen ist, dass man nach den Richtlinien der Psychotherapeutenkammer PKSH zuerst die Approbation in einem zugelassenen Psychotherapieverfahren wie Verhaltenstherapie oder Tiefenpsychologie braucht, um eine Qualifikation als Klinischer *Neuropsychologe* zu bekommen. Antagonistisch! Dabei sind die relativ wenigen niedergelassenen Psychotherapeuten durch die wachsende Patientenzahl mit psychischen Störungen im engeren Sinn in der modernen Arbeitswelt (vermehrt mit Burn out-Syndromen) sowieso schon an der Grenze der Belastbarkeit. Ambulante neuropsychologische Leistungen sind nun immerhin nach jahrelangem Kampf in den EBM aufgenommen worden und werden von den gesetzlichen Krankenversicherungen bezahlt. Summa summarum: Es gibt einen dünnen hellen Hoffnungstreifen am Horizont für die ambulante Behandlung und Kostenübernahme der Diagnostik und Therapie zerebraler Insulte.

1. Hirnleistungstraining zuhause mittels Commodore C64 und TV Gerät

Bereits 1990 war uns klar, dass die ambulante Therapie mit Großgeräten wie dem LRP nur einer begrenzten Zahl von Patienten zugutekommen konnte. Bei unseren Überlegungen, die Behandlung (nach der professionellen Diagnostik in einer Klinik oder Praxis) in das heimische Umfeld der Patienten zu bringen, stießen wir auf den damals populären Spielecomputer C 64 von Commodore. Dieser benutzt ein TV Gerät, das bei fast allen Personen zuhause vorhanden war, als Monitor. Das Behandlungsprogramm (der Trainingsalgorithmus) musste also nur auf einen C 64 umgesetzt werden, und jeder Patient konnte daheim am Fernseher sein Sehvermögen (Gesichtsfelddefekt u.a. trainieren). Dr. Kasten konnte analog der oben geschilderten Trainingsmethoden des manuellen, semi-automatischen und vollautomatischen Trainings an den großen Geräten für den C 64 Software (SEHTRA, VISURE, FORMTRA, FARBTRA) schreiben, deren visuelle Stimulation über den Fernseher lief. Die Patientenreaktion, das Reaktionsparadigma, bestand – entsprechend der Aufgabe - aus der adäquaten Bedienung eines Joy Sticks oder Reaktionspanels als einfache Reaktion („simple reaction time“ SRT Paradigma) beim Hell-Dunkel Diskriminationstraining zur Verkleinerung des Gesichtsfelddefekts oder als Wahlreaktion („choice reaction time“ CRT Paradigma), beim Form- oder Farbdiskriminationstraining. Im Rahmen seiner Dissertation²⁵ konnte Kasten zeigen, dass bei 12 von 14 Patienten die Behandlung zuhause zu signifikanten Verbesserungen der trainierten Funktionen führte. Die Patienten erhielten jeweils zum täglichen offline Trainieren (5 x die Woche) für einen Monat eine Trainingsdiskette (Floppy Disc) mit bestimmten Programm-Einstellungen entsprechend ihres jeweilig benötigten Schwierigkeitsgrades zugeschickt, die sie am Ende des Monats zu uns ins Institut zum Auswerten zurückschickten. Die Patienten wurden schriftlich über ihre Ergebnisse informiert und der Schwierigkeitsgrad auf der Diskette für den nächsten Monat ggf. modifiziert. Dieses Feedback war wichtig, um die Motivation der Patienten aufrecht zu erhalten. Kasten konnte zeigen, dass die Verbesserungen von der Defektgröße und dem Alters des Patienten abhängen: Jüngere Patienten (< 50 Jahre) und solche mit kleineren Gesichtsfelddefekten profitierten stärker von der Behandlung als ältere (> 50 Jahre) und solche mit größeren Gesichtsfeldausfällen.

Diese Methode des Heimtrainings wurde danach an unserem Institut in Lübeck als Standardbehandlungsmethode für zerebrale Sehstörungen eingeführt. Die Patienten (n=80) kamen z.T. sogar extra aus dem Ausland (Italien, Österreich, Schweiz, Luxemburg, Frankreich) zur Initialdiagnostik und Einleitung der Behandlung angereist. Per Disketten wurde sogar ein Patient aus Florida (USA) behandelt.

Die Übernahme der Kosten der Sehfunktionsdiagnostik (Dauer: 2 – 3 Halbtage) und der Therapie in Höhe von insgesamt DM 2.500 wurde bis 1996 vom Medizinischen Dienst der Krankenkassen befürwortet. Die Kosten wurden auf Einzelantrag auch von den Orts-, Ersatz- und privaten Krankenkassen erstattet. Wir haben auf dem Markt eine Reihe von gebrauchten C 64 aufgekauft und diese den Patienten während der Behandlung kostenlos zur Verfügung gestellt.

2. PC gesteuerte Therapie im heimischen Bereich

Mit fortschreitender technischer Entwicklung und Verbreitung von IBM kompatiblen PC in der Bevölkerung, erfolgte in der Folgezeit eine Umstellung von C 64 auf Behandlung mit PC und 17“-19“Monitor. Da Dr. Kasten aufgrund der beschränkten Stellensituation leider von Lübeck an eine andere Universität wechseln musste, und die Lizenz für seine Software an eine Firma in Magdeburg und Boca Raton (Florida) verlor, haben wir in Lübeck eigene Programme („Vision Trainer Brightness“

VTB^c, „Vision Trainer Form“ VTF^c, „Vision Trainer Color“ VTC^c) zum PC gestützten Sehtraining für zerebral geschädigte Patienten mit Sehfunktionsstörungen entwickelt^{26 27} und entsprechende Patienten behandelt.

Die Patienten wurde hinsichtlich der allgemeinen physikalischen und physiologischen Therapiebedingungen wie Verdunklung des Trainingsraums, Hintergrundleuchtdichte, Kinnstütze und Fixationsbedingungen, Abstand Auge-Bildschirm, Pausen, zirkadiane Rhythmik usw. beraten. Bis 2002 wurden analog der Behandlung mit dem C 64, Patienten nach zerebralem Insult auf der Basis externer neurologischer, neuroradiologischer und ophthalmologischer Untersuchungsbefunde und nach eigener umfassender Sehfunktionsdiagnostik (Gesichtsfelder, Form- und Farbsehvermögen, Ableitung visuell evozierter kortikaler Potentiale VEP, Neglect-Untersuchungen usw., mit individuell eingestellten PC-Programm-Disketten versorgt. Die Therapie wurde nach unserer schriftlichen Anleitung vom Patienten zuhause am PC-Monitor durchgeführt. Die monatliche Auswertung, Neueinstellung der Trainingsbedingungen und Beratung, auch in Computerfragen erfolgte durch uns - ggf. telefonisch oder per Post. Die Patienten erhielten bei Versand einer neuen Trainingsdiskette auf jeden Fall ein standardisiertes schriftliches Feedback über ihre Leistung und deren Entwicklung.²⁸

Die Vorteile des computergestützten Heimtrainings bestehen aus der

- Vermeidung der Umstände, die mit häufigem Besuch einer Institution verbunden sind (s.o.)
- deutlichen Steigerung der Trainingsfrequenz und der
- individuellen Gestaltung der Trainingszeitpunkte.

Durch das regelmäßige Feedback war die Zufriedenheit und Motivation der Patienten hoch und die Abbrecherquote gering (s. Tabelle).

Die Nachteile der Behandlung am PC:

- Im Vergleich zum LRP ist das jeweils zu therapierende *GF* auf die Größe des PC Monitors beschränkt (30° horizontal x 25° vertikal bei einem definierten Abstand > der Armlänge des Patienten in Abhängigkeit von der Monitorgröße 17“ bzw. 19“). Bei externer Fixation (unter Zuhilfenahme eines externen Fixationselements, z.B. einer roten LED) kann das Trainings- GF jedoch um jeweils bis zu 30° seitlich und 25° nach oben oder unten versetzt werden, sodass auch periphere GF-Areale behandelbar sind.
- Die *jeweiligen Trainingsbedingungen* wie Fixationsgenauigkeit, Umfeldleuchtdichte, Adaptationszustand des Patienten, Pausenhäufigkeit und -länge, Störeinflüsse durch Geräusche andere Personen, unregelmäßige Trainingszeitpunkte, die jeweiligen Aufmerksamkeitsbedingungen (müde, abgelenkt usw.) sind *nicht kontrollierbar*.

Insofern ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einzelner Sitzungen in Strenge nicht gewährleistet. Manche Pat. haben berichtet, dass sie das Training „in einem durch“ gemacht haben, um „fertigzuwerden“ obwohl das Konzentrationsvermögen nach einigen Minuten deutlich nachlässt - von uns aber Pausen empfohlen wurden, um die notwendige räumlich-selektive Aufmerksamkeit hoch zu halten.

Oder es wurde morgens angefangen, das Trainingsareal zu bearbeiten. Dann gab es aus einem wichtigen Grund eine Unterbrechung, und der Rest wurde abends „fertig gemacht“. Es konnte

auch vorkommen, dass die Monitoreinstellungen hinsichtlich Helligkeit und Kontrast verändert wurden, da man den PC auch für andere Aufgaben benutzt hat.

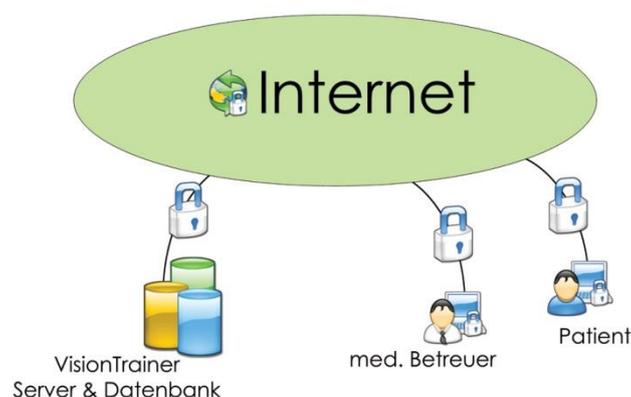
Weitere Nachteile sind:

- Das *Fehlen* des direkten *persönlichen Feedbacks* durch den Therapeuten (z.B. zum Aufmuntern, gedanklichen Ablenken, Nachfragen des aktuellen Befindens oder der Wahrnehmungsqualität bei ungewöhnlich schlechten oder guten Werten). Übereifrige Patienten (z.B. # 37 mit > 1.400 Sitzungen in 20 Monaten) können nicht gestoppt werden, wenn sie mehrere Durchgänge hintereinander durchführen. Die Fehlerraten sind entsprechend.
- Die *Monotonie* der Trainingssituation bei längeren Sitzungen (45 min) ohne Möglichkeit der Intervention. Das selbstgesteuerte Training am PC erfordert ein *hohes Maß an „Selbstdisziplin“*, um sich täglich neu zu motivieren und gleichzeitig den Empfehlungen der Therapeutin bzgl. der Trainingsdetails nachzukommen. Das Gleiche gilt natürlich auch bei jeder medikamentösen Selbstbehandlung oder der Umsetzung von Verhaltensempfehlungen der behandelnden Ärzte und Psychotherapeuten.

3. Umwandlung der offline Rehabilitationsbehandlung per PC in das online-Therapie Verfahren

Nach unserer Rückkehr aus USA 1998 haben wir uns, aufgrund des in Kalifornien wahrgenommenen technologischen Vorsprungs, daran gemacht, unser PC-Behandlungsverfahren in Deutschland zukunftsfähig zu machen³¹. Damals hatten erst etwa 10% der Deutschen Internetanbindung, heute sind es über 80%. Finanzielle Unterstützung bei der Entwicklung des VisionTrainer Systems haben wir dabei zunächst durch die Universität Lübeck, später durch Mittel im Rahmen des Exist:SEED Programms des BMFT erhalten. Im November 2003 wurde das telemedizinische Verfahren zur Behandlung zerebraler Sehstörungen auf der MEDICA in Düsseldorf einer breiten Fachöffentlichkeit vorgestellt: Die ersten Patienten konnten online behandelt werden.

Abb.2 Infrastruktur der telemedizinischen Rehabilitationsbehandlung von zerebralen Sehstörungen



Die Infrastruktur des VisionTrainer Systems

Die Behandlung in einer Praxis oder Klinik und die Effizienz einer Behandlung lebt von der stetigen Anpassung der Trainingsparameter an die Fortschritte des Patienten. Jede Trainingssitzung ist damit individuell auf den Patienten und den aktuellen Stand optimiert; die Möglichkeit, das Training zu jeder Zeit anpassen zu können und umgekehrt jeder Zeit auf die aktuellen Daten der Patienten zugreifen zu können, war daher eine der größten Herausforderungen an das telemedizinische System.

Die Infrastruktur des VisionTrainer Systems besteht aus drei Komponenten (Abb. 2): Dem eigentlichen Trainingsprogramm *VisionTrainer Client*, der Oberfläche für den medizinischen/neuropsychologischen Betreuer und dem Herzstück, dem *VisionTrainer Server*.

Einfache Bedienung durch Patienten und Datenschutz

Das Konzept sieht die einfache Benutzung für den Patienten vor; eine unablässige Voraussetzung, um auch Personen zu erreichen, die bislang keine oder nur wenig Erfahrungen mit Computern gesammelt haben. Auch der Datenschutz hat von Beginn an große Bedeutung; immerhin werden medizinische Daten übertragen und gespeichert. Als Transportmedium wird das Internet gewählt, da dieses sich auch in Deutschland in der Fläche entwickelt hat und kostengünstig zur Verfügung steht. Die Übertragung über ein unsicheres Netzwerk macht den Einsatz von kryptographischen Verfahren notwendig. Die Wahl fiel auf ein asymmetrisches Verfahren mit großer Schlüssellänge, wie es beispielsweise auch beim Online-Banking eingesetzt wird. Die gesamte Datenübertragung funktioniert ohne Eingriff des Benutzers, was der Akzeptanz des Systems dient.

Für den VisionTrainer Server wurde ein **Kommunikationsserver** entwickelt, der ein ebenfalls speziell für diese Anwendung entwickeltes Protokoll implementiert. Im Hintergrund arbeitet eine leistungsfähige Datenbank, die alle notwendigen Daten organisiert. Auf Serverseite wurden leistungsfähige Open-Source-Komponenten verwendet, die durch Eigenentwicklungen miteinander verbunden wurden. Neben dem Kostenvorteil überzeugt dieses System durch eine ausgezeichnete Skalierbarkeit. Ein mehrstufiges Sicherheitskonzept schützt die Datenbank vor unerlaubtem Zugriff. Sensible Daten sind zudem in der Datenbank nur verschlüsselt abgelegt, was einen weiteren Schutz gegen eventuelle Angreifer bietet.

Serverfunktionen

1. Über den Server kann der **Behandler** in alle Trainingsdaten aus der Datenbank der Patienten Einblick nehmen, sich jeden einzelnen Durchgang als Gesichtsfeldplot darstellen (s. Abb. 3) incl. Treffer- und Fehleranzahl und -quote, Mittelwerte der Reaktionszeiten und deren Standardabweichung darstellen lassen und Verlaufsdarstellungen generieren. Auf Grund dieser Daten kann der Behandler den Schwierigkeitsgrad des Trainings verstellen, z.B. die Lichtreize dunkler und kürzer machen oder ein anderes Trainingsareal definieren. Diese Veränderungen werden beim nächsten Training sofort wirksam.
2. Der **Patient** seinerseits bekommt sofort nach einem Trainingsdurchgang seine aktuellen Werte automatisch auf dem Monitor detailliert dargestellt und auch die der letzten Durchgänge davor (Feedback), was zu einer (gegenüber dem Diskettenversand nach einem Monat in der alten PC Version) erheblichen Verbesserung und ggf. Steigerung seiner Motivation führt.
3. Zusätzlich können Patient und Behandler über eine im Programm enthaltene eigene **Chat Funktion** miteinander kommunizieren.

Behandlungsbeginn

Zur Initialisierung der Behandlung – nach vorangegangener eigener Diagnostik oder nach Aktenlage der Vorbefunde - richtet der Behandler den Patienten mit seinen notwendigen Daten (Name, Geburtstag, Adresse und Diagnose) in der Datenbank ein. Dann stellt er die Trainingsbedingungen für das erste Training ein und generiert einen Benutzernamen und ein Passwort für den Patienten. Der Patient bekommt auf dem Postweg eine Programm-CD mit dem Passwort zugeschickt, sowie eine einfache Bedienungsanleitung, in der das Ziel und die Methodik der Behandlung, wichtige Details zur Einrichtung des PC-Trainingsplatzes [z.B. dass der Behandlungszeitpunkt, die geringe Umgebungshelligkeit und die Monitoreinstellungen (Kontrast usw.) gleichbleiben müssen] sowie wichtige Einzelschritte des Programmdownloads und die Bedienungsoptionen dargestellt sind. Falls Rückfragen sind, kann er diese telefonisch mit seinem Behandler besprechen oder sich per Chat Funktion an die Praxis wenden. In einigen Fällen, z.B. bei sehr alten Patienten ohne kompetente Familienangehörige (z. B. Enkel), wurde den Patienten sogar der PC nebst Monitor für die Dauer der Behandlung gegen eine geringe Gebühr leihweise zur Verfügung gestellt und (in Schleswig-Holstein) bei Problemen vor Ort im Haus des Patienten das Programm auf dem PC installiert. Voraussetzung war nur das Vorhandensein einer Internetverbindung und auf dem PC das Betriebssystem Windows; für Macintosh Computer gibt es derzeit noch kein adaptiertes Trainingsprogramm. Auf diesen Rechnern kann das Programm aber unter einem Windows Emulator benutzt werden. Bisher gab es keine Situation, in der die Behandlung an technischen Problemen gescheitert ist. Alle Patienten waren relativ selbständig in der Lage, das Training autonom durchzuführen. Die ältesten Patienten waren über 80 Jahre alt, eine allein lebende Dame (Diplommathematikerin) sogar 85 (s. Tabelle # 25 EE).

Bei **technischen Problemen mit der Internetverbindung**, z.B. Stromausfall des Datenservers oder der Art „Bagger durchtrennt bei Bauarbeiten Telekomkabel“ können die Patienten bis zu 5 Trainingsdurchgänge ohne Internetverbindung durchführen, wobei die Daten komplett im Patienten-PC gespeichert, von ihm eingesehen werden können und automatisch nach Beseitigung der Ursache an den Server übertragen werden.

Jede Trainingssitzung findet nach Starten des Programms und Anfangskontakt mit dem Server **offline** statt. Die **Übertragung der Trainingsdaten** einer Sitzung erfolgt erst **nach dem Ende der Sitzung** automatisch. Dann holt sich das Programm ggf. auch neue Trainingsbedingungen und E-Mails vom Behandler.

Telemedizinisches Patientenkollektiv der Praxis: Die hier vorgestellten 42 Patienten der Praxis für Verhaltenstherapie von Dr. Monika Schmielau in Lübeck aus 10 Jahren (2008 – 2017) wurden z. T. von niedergelassenen Ärzten überwiesen, ehemaligen Medizinstudenten empfohlen oder kamen aufgrund von Informationen aus dem Internet.

Behandlungskosten und monatliche Verlaufsberichte

Nach Überprüfung der Behandelbarkeit durch die Praxis, wurde aufgrund der vorliegenden Diagnose in allen Fällen bei der zuständigen Kasse für den Patienten ein spezifisch begründeter Antrag auf Kostenübernahme der Behandlungskosten durch die Krankenkasse gestellt. In einigen Fällen wurden solche Anträge auch durch gesetzliche Krankenkassen (GKV) genehmigt (s.u.). Nur bei der Technikerkasse TK wurde jeder Antrag abgelehnt. Alle Privatkrankenkassen (PKV) haben die Kosten der Behandlung übernommen.

Grundsätzlich musste ein Patient *vor Beginn der Therapie* eine **Kostenübernahme-Erklärung** abgeben, falls sein Antrag von der Kasse abgelehnt würde.

In diesem Fall wurde eine **pauschale Grundgebühr** erhoben für:

- Einleitung der Behandlung incl. Studium der Vorbefunde
- Erstellung der spezifischen Patienten CD-ROM und Bedienungsanweisung,
- Antragstellung bei der Krankenkasse
- ein Minimum von 2 Monaten Behandlung ohne Mengenbegrenzung
- je einen standardisierten monatlichen Verlaufsbericht (s. Abb. 3)

Dieser Verlaufsbericht enthält die Beurteilung der Entwicklungstendenz der Trainingsleistung und die monatliche Verlaufskurven (Grafiken) für die Reaktionsparameter des Pat. wie Trefferanzahl, Trefferquote, Mittelwerte der Reaktionszeiten (arithmetisch und ggf. Median) sowie eine Empfehlung für die Trainingsbedingungen des nächsten Monats und sonstige Kommentare zur Leistung in dem jeweiligen Monat wie z.B. „Sie könnten häufiger trainieren“ oder „hervorragende Leistung, weiter so!“. Damit erhält der Pat. ein motivationsförderndes Feedback, wie die Erfahrung aus 10 Jahren gezeigt hat.

Diese Zahlung der Grundpauschale ist nach Erhalt der spezifischen VisionTrainer Programm CD fällig. Bei GKV und PKV Patienten wird entsprechend der Einigung mit der Kasse von Fall zu Fall unterschiedlich verrechnet (s.u.).

Abb. 3 Trainingsverlaufsbericht

Praxis für Verhaltenstherapie und Neuropsychologie

Dr. phil. Monika Schmielau, Psychologische Psychotherapeutin
Prof. Dr. med. habil. Dr. rer. nat. Dr. phil. Fritz Schmielau, Dipl.-Physiker
Schönböckener Str. 30b D-23556 Lübeck Fon 0451 / 41620

Verlaufsbericht visuelles Rehatraining *VisionTrainer* via Internet

Trainingszeitraum

Patientenname

Geburtsdatum

Trainingsart Helligkeit Form Farbe andere
Zeichensatz

Trainingsbereich Zentrum
 Hälfte rechts links oben unten
 Quadrant rechts oben unten
 links oben unten
Trainingsrichtung rechts nach links links nach rechts
 oben nach unten unten nach oben
Startpunkt Zentrum rechts oben Mitte unten
 links oben Mitte unten
 Mitte oben unten

Reizgröße (Sehwinkelgrad) 0,25 0,5 1 2
Hintergrundhelligkeit (rel.) schwarz dunkelgrau grau hellgrau weiß
Reizhelligkeit (rel.) schwarz dunkelgrau grau hellgrau weiß

Trainingserfolg

Treffer Zunahme keine Änderung Abnahme sehr variabel

Trefferquote Zunahme keine Änderung Abnahme sehr variabel

Reaktionsgeschwindigkeit (= Kehrwert der Reaktionszeit)
 Zunahme keine Änderung Abnahme sehr variabel

Überwiegende Tendenz Verbesserung keine Änderung Verschlechterung

Kommentar.....
.....
.....
.....

Empfehlung.....
.....
.....

(Dr. Monika Schmielau)

(Prof. Fritz Schmielau)

Lübeck, den

Die Tabelle im Anhang stellt eine Übersicht der von unserer Praxis telemedizinisch behandelten Patienten dar.

Patientenkollektiv der Lübecker Praxis 2008 - 2017

Die Gruppe besteht aus 42 Patienten (Pat), die an der telemedizinischen Behandlung teilgenommen haben. Neu begonnen haben jeweils in den Jahren

2008: **3** 2009: **12** 2010: **6** 2011: **9** 2012: **2** 2013: **6** 2014: **2** 2015: **1** 2017: **1 (USA)** Patienten.

Die Behandlung erstreckte sich dabei z.T. auf mehrere aufeinanderfolgende Jahre (s. T Beginn – T Ende in der Tabelle).

1. Alter: Das Spektrum zum jeweiligen Behandlungsbeginn reicht von 28 bis 86 Jahre, das Durchschnittsalter beträgt $x = 58,8 \pm 14,5$ Jahre.

Altersgruppen:

20 – 39 Jahre: n = 5 (11,9%)

40 – 59 Jahre: n = 16 (38,1%)

60 – 79 Jahre: n = 4 (5,2%)

Über 80-jährige: n = 2 (4,8%)

2. Geschlecht: 28 Männer (2/3 der Gruppe) und 14 Frauen (1/3).

3. Trainingsdauer (Monate): Alle Pat haben zwischen 1 Monat und 65 Monaten [5 Jahre und 5 Monate (# 26)] an der telemedizinischen Therapie ihres zerebralen Sehvermögens teilgenommen. Im *arithmetischen Mittel* beträgt die Trainingsdauer $x = 10,6$ Monate ($\pm 13,3$). Bei einer derart hohen Streuung der Werte ist der *Medianwert* sinnvoller als das arithmetische Mittel. Der Median der Trainingsdauer aller Pat beträgt $x_m = 6,0$ Monate.

Auf die einzelnen Gruppen entfallen:

1 – 2 Monat: n = 7

3 – 6 Monate: n = 16 (stärkste Gruppe mit 38,1%)

7 – 12 Monate: n = 9;

13 – 18 Monate: n = 3

19 – 24 Monate: n = 4

mehr als 24 Monate: n = 3

4. Trainingsdauer (Sitzungen): Den Pat wurde empfohlen worden, etwa 5 x / Woche jeweils eine Trainingssitzung von ca. 45 min Dauer incl. jeweils einer Pause von 1 min Dauer alle 5 min durchzuführen. Damit erreicht man in 6 Monaten 130 Übungseinheiten.

Wie man der Tab. entnehmen kann, schwankt die Gesamtzahl aller Trainingseinheiten in der Gesamtgruppe stark: von 10 Sitzungen (in 1 Monat; # 41) bis 1.481 (in 65 Monaten; bei Pat #26). Letztere Pat hat durch den Gesichtsfeldzuwachs in ihrer linken Gesichtsfeldhälfte ihren Führerschein wieder erlangt und war dadurch in ihrer ländlichen Umgebung in Schleswig-Holstein wieder mobil, um z.B. Arztbesuche in der 60 km entfernten Kreisstadt durchführen zu können.

Im *arithmetischen Mittel* aller Pat beträgt die Gesamtzahl der individuellen Sitzungen pro Pat.

$x = 252,8$; bei einer Standardabweichung von $\pm 351,5$. Auch in diesem Fall ist der *Medianwert* näher an der Realität: Er beträgt $x_m = 120,5$ Sitzungen, fast die Hälfte des arithmetischen Mittelwerts.

5. Posttraumatisches Intervall

Die Erholung von Hirnschädigungen (zerebrovaskuläre Insulte CVI) und die Wirksamkeit von Rehabilitationsmaßnahmen ist nach gängiger Meinung unter Rehabilitationswissenschaftlern auch stark von der Zeit zwischen Insult und dem Einsetzen der Reha-Behandlung, dem posttraumatischen Intervall PTI, abhängig.

In der Tab sieht man, dass auch dieser Kennwert stark variiert: zwischen 1 Monat (Pat # 19, 31,35) und 165 Monaten (Pat #25).

- Die stärkste Gruppe mit 10 Pat. (23,8%) besteht aus Pat mit einer Dauer des **PTI von 3 – 5 Monaten**, der klassischen Phase der *Spontanremission*.
- In einen Zeitraum von **1 bis zu 12 Monaten** fallen 28 unserer 42 Pat, das sind 2/3 (66,7%).
- Die Gruppe mit dem längsten **PTI von mehr als 2 Jahren** umfasst 5 Pat. (11,9 %) mit jeweils 32, 42, 94, 130 und 163 Monaten Dauer zwischen Insult und Behandlung.

Der Median, als sinnvollstes Maß bei dieser Streuung beträgt $x_m = 6,0$ Monate, der arithmetische Mittelwert $x = 17,5$ Monaten, $\text{Sigma} = \pm 33,0$.

6. Lage und Art der Hirnschädigung

Unsere Gruppe umfasst, aufgrund der Erfahrungen mit der Behandlung am Lübecker Reaktionsperimeter LRP und der Vorauswahl der Patienten nach der Lokalisation der Defekte (post-geniculäre zerebrale Sehschäden ohne periphere Läsionen im Bereich der Sehnerven, des optischen Chiasmas und der optischen Trakte), 42 Patienten mit zerebrovaskulären Insulten CVI.

a) Hemisphäre: Nach den eingereichten Unterlagen (medizinische Berichte und neuroradiologische Befunde der Computer- CT und Magnetresonanztomografie MRT) erfolgt eine Differenzierung in unilaterale und bilaterale Läsionsorte:

Bei 5 Pat (12%) handelt es sich um eine beidseitige, bei 37 (88%) um eine einseitige Lokalisation des Defektes. In der letzteren Gruppe liegt der Ort der Schädigung in 21 (50%) Fällen in der linken, in 16 (33%) in der rechten Hemisphäre.

b) Infarkt versus intrazerebrale Blutung ICB: Bei den 42 Patienten liegt in 35 Fällen (83,3%) ein Verschluss einer Hirnarterie (Infarkt), bei 7 Pat (16,7%) eine Hirnblutung als Ursache der Sehdefekte vor.

Die **ICB Patienten** bestehen zu je einem Fall aus Pat mit einer

- parieto-okzipitalen ICB (# 6)
- ICB nach Clippen eines kortikalen Aneurysmas (# 9)
- ICB nach Operation eines okzipitalen Tumors (# 11)
- ICB im Basalganglienbereich nach Sturz (# 14)
- bilateralen okzipitalen ICB nach medikamentöser Malaria Prophylaxe mit LIMPTAR^R(# 25)
- medial gelegene ausgedehnte ICB nach OP einer arterio-venösen Malformation AVM (# 29)
- ICB nach okzipitaler OP während einer Schwangerschaft (# 32)

Die **Infarkte** (n=35) betreffen in 30 Pat (71,4%) die Arteria cerebri posterior Acp, in 3 Pat (7,1%) die Arteria cerebri media Acm. Bei 2 Pat (4,8%) waren beide Arterien Acp und Acm betroffen.

7. Gesichtsfelddefekte

Das primäre *Ziel der Behandlung* war die Wiederherstellung der normalen Gesichtsfeldgröße GF (für weißes Licht = Hell-Dunkel Diskriminationsvermögen) durch Verkleinerung des anopen Gesichtsfeldbereiches mithilfe des adaptiven LRP Trainingsalgorithmus (s.o.), das sekundäre und tertiäre Ziel – wenn nötig – die Verbesserung des Form- und ggf. des Farb-Diskriminationsvermögens (= Formen- bzw. Farbsehens). Dazu wurde nach vorhergehender eigener Diagnostik mittels eines Perimeters oder nach Aktenlage ein entsprechender Trainingsbereich (und die anderen Stimulusbedingungen) am Behandler PC definiert und im Server für den Pat. bereitgestellt.

b) Anopsie Lokalisation (rechts – links): In der Patientengruppe (n=42) meiner (MS-L) Praxis liegen die Gesichtsfelddefekte (Anopsie) kontralateral zu geschädigten Hirnhälfte:

24 Pat (51,1%) haben einen Defekt der rechten Gesichtsfeldhälfte, 16 (38,1%) der linken.

2 Pat. (4,8%) zeigen einen bilateralen Defekt in Form eines röhrenförmigen GF („Tunnelsehen“) (Pat # 25) bzw. einen diffusen Defekt im ganzen GF (Pat # 32).

c) Größe des Defektes: In den meisten Fällen ist ein *Halbfeld* betroffen.

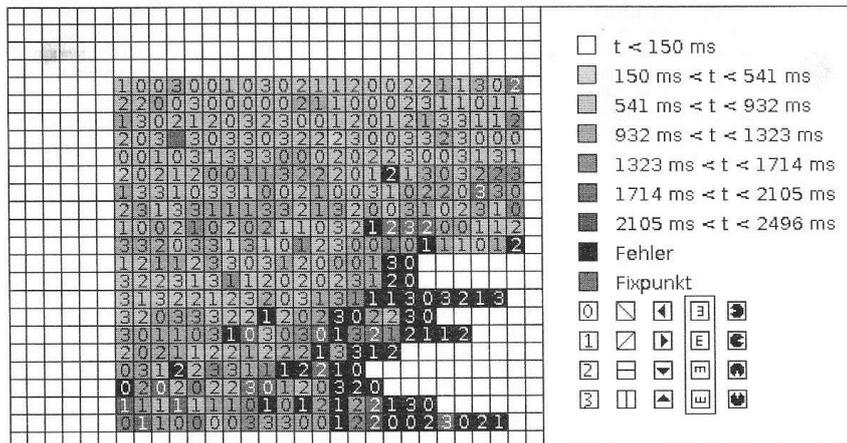
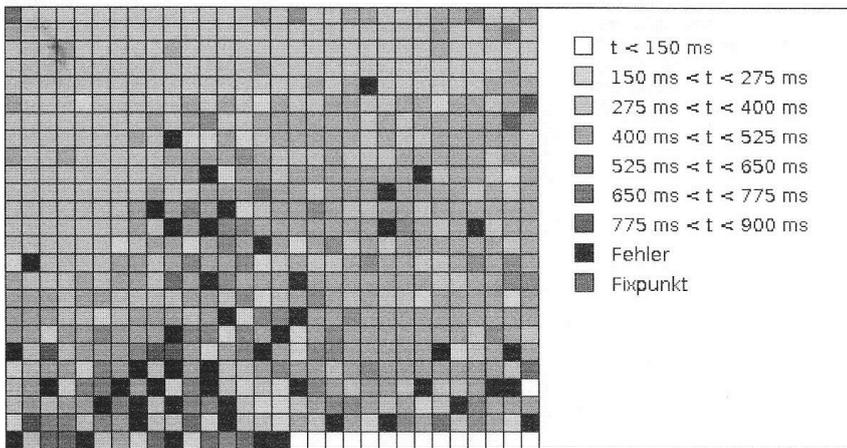
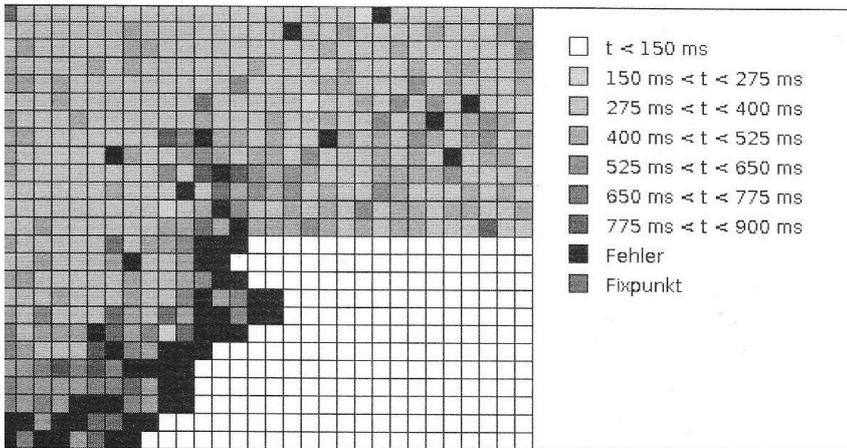
- 26 Pat (62%) haben eine mehr oder weniger große (komplette oder partielle) unilaterale Halbseitenblindheit (*Hemianopsie*).
- In 11 Fällen (26,2%) ist nur ein Quadrant betroffen (*Quadrantenanopsie*).
- 3 Pat (7,1%) haben einen umschriebenen Defekt (*Skotom*), der von intaktem GF umgeben ist. (Der Blinde Fleck in der ipsilateralen GF-Hälfte jeden Auges ist auch ein solches - aber natürliches – Skotom).

Eine Pat (# 25) hat ein *röhrenförmiges GF* von ca. 3 Sehwinkelgrad Durchmesser. Das entspricht auf Armlänge der Größe einer 1 € Münze. Dieses Restgesichtsfeld war die Folge einer medikamentösen Malaria Prophylaxe mit *nur einer* Tablette **LIMPTAR^R N²⁹** (= Chininsulfat, dem Hauptalkaloid der Chinarinde), welche zunächst langsam zu kompletter kortikaler Blindheit (*Amaurosis*) beider Augen geführt hatte. Die Pat, eine Diplommathematikerin des Jahrgangs 1924, wurde zunächst als Simulantin und psychiatrischer Fall klassifiziert. Sie wurde von uns seit 1995 therapiert (mittels C 64 / PC und VTB Disketten offline) und ihr GF wieder deutlich vergrößert. Nach einem Sturz mit SHT im Jahr 2008 hatte sie nur noch ein röhrenförmiges GF, dessen Fläche wir mit relativem Erfolg bis 2014 verdoppeln konnten und das ihr wieder erlaubte, ein relativ selbständiges Leben im eigenen Haushalt bis ins 90. Lebensjahr zu führen.

- Bei den *hemianopischen GFern* ist in 15 Fällen (57,7%) die rechte GF-Hälfte, in 11 (42,3%) die linke GF-Hälfte betroffen.
- Bei den 11 *Quadrantenanopsien* sind die meisten (n=6; 54,5%) im *rechten oberen Quadranten* lokalisiert, 2 im rechten unteren, 3 im linken oberen und 1 im linken unteren.

Abb. 4 zeigt beispielhaft die Entwicklung des Sehvermögens im rechten oberen Quadranten bei einem 29 jährigen Pat. (# 27) mit Hemianopsie nach rechts als Folge eines Acp Infarktes unter der Behandlung zwischen dem 18. März (oben) und 22. November 2013 (Mitte) und anschließendem Formdiskriminationstraining am 25. Januar (unten) 2014.

Abb. 4 Trainingsgesichtsfelder rechter oberer Quadrant eines Pat nach Acp Infarkt (#27) und Hemianopsie der rechten GFH



Reaktionszeitintervall: 150 - 2500 ms
 Fixationspunkt: $9^\circ / 7^\circ$
 Startpunkt: $6^\circ / 4^\circ$
 Trainingsrichtung: links \rightarrow rechts / oben \rightarrow unten
 Reizhelligkeit: nicht verfügbar
 Hintergrundhelligkeit: schwarz

Reizgröße: 2°
 Arith. Mittel: 1013 ms
 Streuung: 315.0 ms
 Median: 908 ms
 #Reize: 525
 Treffer: 429 (81%)

Hell-Dunkel

oben 14. 03. 2013 Hell-Dunkel Diskriminationstraining (li \rightarrow re; ob \rightarrow unt)
 Mitte 22. 11. 2013 Hell-Dunkel Diskriminationstraining (li \rightarrow re; ob \rightarrow unt)
 unten 25. 01. 2014 Formdiskriminationstraining mit orientierten E-Haken

8. Erfolge der telemedizinischen Behandlung

Als Ergebnis des monatelangen Trainings bei den 42 Pat unserer Gruppe ergab sich bei

n = 16 (38,1%) ein Erfolg

n = 7 (16,7%) ein großer Erfolg

n = 4 (9,5%) ein sehr großer Erfolg

n = 27 Pat (64,3%) haben also von der telemedizinischen Behandlung **profitiert**.

5 dieser Patienten haben aufgrund des Gesichtsfeldzuwachses ihren Führerschein wiederbekommen:

Pat. #	Sex	Alter	PTI [Monate]	CVI	T Dauer [M]	Sitzungen[n]
# 8	m	72	15	li Acp Infarkt	3	47
# 39	m	44	10	li Acp + Thalamus Inf.	9	104
# 26	w	72	6	re Acp Infarkt	65*	1.481*
# 13	w	52	2	re Acp Infarkt	7	146
# 37	w	55	42	re Acm Infarkt	20*	1.433*

* incl. Nachkontrollen

Bei den anderen Pat. ist nicht bekannt, ob sie die Fahrerlaubnis durch den Insult verloren haben.

n = 15 Pat (35,7%) haben **nicht** vom Training **profitiert**.

9. Form- und Farbdiskriminationstraining Häufig sind Pat mit CVI neben Einschränkungen oder Verlust der Hell-Dunkel Diskriminationsfähigkeit durch Reduzierung des zentralen Visus (Sehschärfe) oder/und des Form- und Farb-Diskriminationsvermögens gekennzeichnet (s. Schmielau und Wong 2007). Zum Teil bilden sich diese Defekte im Verlauf der Behandlung mit weißen Lichtreizen ebenfalls zurück, zum Teil muss eine gezielte Therapie eingesetzt werden, um das Form- und/oder Farbsehvermögen zu verbessern.

Von unseren 42 Pat. wurde nur bei einem (# 41) ausschließlich eine Behandlung mit Form-Stimuli durchgeführt. Der Pat. hat diese Therapie jedoch nach 10 Sitzungen ohne Angaben von Gründen abgebrochen. Bei weiteren 8 Pat. (19,5%) wurde diese spezielle Diskriminationsbehandlung im Anschluss an die Phase mit weißen Lichtreizen zusätzlich durchgeführt, bei 7 Pat. mit Form-Reizen, bei einem mit Farb-Stimuli (# 15). Ein Beispiel ist in Abb.4 (unten) dargestellt. Dieser Pat (# 27) musste im Rahmen einer Wahlreaktions-Aufgabe 4 verschieden orientierte parazentral dargebotene ophthalmologische Testzeichen (E-Haken) erkennen und durch Betätigen der zugehörigen Cursortaste auf der PC-Tastatur richtig zuordnen. Bei anderen Pat. wurde eine speziell für diese Zwecke von einem Elektroniker³⁰ konstruierte Tastatur mit großen Tasten verwendet. Die Darbietungszeit wird gegenüber der reinen Detektionsaufgabe weißer runder Stimuli bei der Formerkennung von 100 auf 300 – 500 ms verlängert. Die 8 Pat absolvierten das Formtraining mit unterschiedlichen Formen-Sets (Pacman, E-Haken, Linien, Dreiecke) durchschnittlich 4,5 Monate. 1 Pat (#15) trainierte mit einem Farben-Set aus gleich hellen runden Reizen (rot, blau, grün weiß) einen Monat lang am PC zuhause nachdem er bereits in der Universität ein längeres Farbdiskriminationstraining erfolgreich absolviert hatte³¹. Als Folge seines bilateralen Acp Infarktes (beim Vortragen eines Gedichtes am 1. Weihnachtstag) konnte er zusätzlich zu seinem Gesichtsfeldausfall anfangs überhaupt keine Farben erkennen; alles erschien ihm lehmig-bräunlich.

Die Fortschritte des Form-Trainings können monatlich, wie beim Hell-Dunkel Diskriminations Training, anhand der Verlaufskurven (Treffer, Trefferquote, Reaktionszeit) und der Gesichtsfeldplots

verifiziert werden und dienen als Basis für die Anpassung des Schwierigkeitsgrades an die zunehmende Leistungsfähigkeit des Pat, z.B. vom einfachsten Formenset „Pacman“ bis zum Set mit den „orientierten Linien“. Alle 8 Pat. dieser Gruppe konnten ihre Formdiskriminationsleistung im Verlauf der Behandlung verbessern.

Pat	Sex	Alter	PTI	CVI	Hell-Dunkel-T	Form-T
# 5	w	76	13 Mo	Acp li	3 Mo	8 Mo
# 14	w	45	21	ICB li+SG	9	11
# 15	m	66	3	Acp bi	5	1 (nur Farbe)
# 21	w	39	4	Acp li	7	3
# 35	m	55	19	Acp li	9	5
# 37	w	55	42	Acm re	16	4
# 38	m	50	5	Acp li	5	1
# 39	m	44	10	Acp li+Th	6	3

9. Methodenkritik der Erfolgsmessungen: Gelegentlich besteht bei Pat eine *Diskrepanz der Messwertveränderungen* zwischen den im Verlauf der Behandlung am PC (mit statischer Methode bei *räumlich selektiver Aufmerksamkeit* auf den Reizort und überschwelligem Lichtreizen) gemessenen Veränderungen der Gesichtsfeldgröße und den Werten in einer klassischen statischen Perimetrie (bei generalisierter Aufmerksamkeit und Schwellenreizen) bzw. überschwelliger *räumlich randomisierter Stimulation* am LRP und vorausgehendem Warnton oder den Werten der dynamischen Perimetrie, wie am Goldmann oder Tübinger Perimeter (s.a. Schmielau und Wong, 2007). Manche Ophthalmologen halten deswegen die gängigen Automatikperimeter zur Gesichtsfeldmessung an hirnverletzten Pat. für prinzipiell ungeeignet. Für die **Bestimmung der Fahrtüchtigkeit** soll das GF mittels der dynamischen Perimetrie nach dem Goldmann Standard bestimmt werden.

Der *Effekt der telemedizinischen Behandlung auf die Größe des Gesichtsfeldes* konnte einerseits durch die monatlichen Trainingsverlaufsberichte dokumentiert werden, welche die Grundlage für die Stimulusbedingungen im darauffolgenden Trainingsintervall waren. Andererseits wurde die Gesichtsfeldgröße nach der Behandlung meistens perimetrisch, auch von den überweisenden Ärzten, kontrolliert und ihr Verlauf auch nach Ende der Behandlung weiter beobachtet, gerade bei den Pat. mit wiedererlangtem Führerschein. Ein Teil diese Kontroll-Untersuchungen und z. T. jahrelangen Stabilitätskontrollen wurde bei Pat. aus dem Umfeld von Lübeck in unserem eigenen neuropsychologischen Labor vom Ko-Autor (FS) dieser Studie am LRP durchgeführt.

10. Kostenerstattung der telemedizinischen Behandlung

Die Tabelle zeigt die Finanzierungsmodalitäten der 42 behandelten Pat.

a) Gesetzliche Krankenversicherung

Bei 13 Pat der GKV wurde durch unserer argumentativen Unterstützung vom jeweiligen Pat ein Antrag auf Kostenerstattung der Behandlung mit der telemedizinischen Software gestellt:

AOK: n = 3; davon wurde 1 Antrag abgelehnt, in 1 Fall (#26) wurde nach Klage über den Sozialverband für die gesamte Therapie eine Pauschale von € 2000,- gezahlt. In einem weiteren Fall wurden für die ersten beiden Jahre die monatlichen Rechnungen von der Kasse übernommen.

BEK: n = 3; 1 Antrag wurde abgelehnt, in einem Fall (#25) die Kosten für die Behandlung in den ersten beiden Jahren übernommen und danach abgelehnt. Bei dem dritten Pat wurde nach Einschaltung der Zentrale in Potsdam über einen Zeitraum von 14 Monaten jeweils eine Woche online Sehtraining wie eine Einzelstunde Neuropsychologische Therapie Einzelbehandlung EBM 30932 (922 Punkte) bezahlt.

DAK: n = 2; Nach demselben Modus wurde bei einem anderen Pat das telemedizinische Training über einen Zeitraum von 31 Monaten nach mehrfacher Antragstellung (Kurzzeit, Langzeit, Fortführung) durch die Praxis als analog zur Verhaltenstherapie EBM Position 35425 (922 Punkte) in einem Umfang von 120 Einzelsitzungen honoriert, wobei 1 Woche Training als einer Stunde VT äquivalent betrachtet wurde. 1 Antrag wurde abgelehnt.

IKK: n = 1; Die telemedizinische Behandlung wurde über einen Zeitraum von 5 Monaten wöchentlich wie 1 Stunde VT honoriert.

TK: n = 4. Alle 4 Anträge wurden nach Einschaltung des Medizinischen Dienstes der Krankenkasse abgelehnt, da die *telemedizinische* Methode auch 2013 nicht im Katalog der zugelassenen Verfahren der Neuropsychologie des G-BA enthalten war.

Zusammengefasst: Bei 6 von 13 Pat. wurden nach besonders begründetem Antrag bei besonders therapiebedürftigen Pat die Behandlungskosten teilweise oder ganz von den gesetzlichen Kassen übernommen. Hoffnung machte zunächst, dass nach jahrelangem Tauziehen neuropsychologische Diagnosen [z. B. Kapitel V: F06.8(Krankheitswerte Störungen in den folgenden höheren Hirnleistungsfunktionen (Teilleistungsbereichen): z.B. 3. Wahrnehmung, räumliche Leistungen] als Grundlage für eine Behandlung vom G-BA anerkannt wurden³². Dann folgte mit einiger Verzögerung die Aufnahme neuropsychologischen Methoden in den EBM. Als wir auf dieser Grundlage eine Kostenübernahme für das telemedizinische Training bei einem hirnverletzten Kassenpatienten beantragten, wurde die Bezahlung nach der Ziffer 30932³³ abgelehnt, da „Therapeut und Patient bei der Behandlung in demselben Raum“ sitzen müssen.

Man kann nur hoffen, dass einer der positiven Nebenwirkungen der aktuellen Corona Epidemie ist, dass man den Sinn und die Möglichkeiten von „Fernbeziehungen“ in der Psychotherapie (Gespräch) und Neuropsychologie (Behandlung) über das Medium Internet begreift – 17 Jahre nachdem wir eine voll funktionsfähige telemedizinische Therapie von zerebralgeschädigten Pat mittels Software auf dem Norddeutschland-Stand der Medizinproduktemesse MEDICA in Düsseldorf 2003 vorgestellt haben.

b) Private Krankenversicherung

29 Patienten, die abgelehnten Kassenpatienten nicht mitgerechnet, haben die telemedizinische Behandlung ihrer Sehstörungen selbst bezahlt. Darunter waren auch viele, von denen wir annehmen, dass sie privat versichert sind, z.B. Selbständige wie Obstplantagenbesitzer, Unternehmer, medizinische Wissenschaftler, Ärzte, Zahnärzte, Kieferchirurgen. Nur in einigen Fällen (n = 6) wurden wir über den Abrechnungsmodus ihrer Privaten Krankenversicherungen informiert oder waren in die Abwicklung der Rechnungen involviert: z.B. AXA und Itzehoer Versicherungen. Bei diesen konnte die Therapie analog zu der GOÄ Position 870 (Verhaltenstherapie Einzelbehandlung) abgerechnet werden, z.B. analog 1 Einheit psychotherapeutische Einzelsitzung = 1 Woche telemedizinische Therapie mit der VisionTrainer Software, zzgl. der anderen allgemeinen GOÄ Positionen wie Berichterstattung, Kopien, Porto usw. Die anderen Privatversicherungen haben wohl die für Selbstzahler von uns ausgestellten Rechnungen (Grundgebühr und monatliche Therapiegebühren) akzeptiert. Die Behandlung der Patientin aus USA (Therapie mit der

englischsprachigen Softwareversion) wurde nach dem 2017 aktuellen €-/\$ Wechselkurs incl. der kostspieligen UPS Portokosten verrechnet.

11. Therapieerfolge und zerebraler Restitutionsmechanismus

Die Untersuchung über einen 10 Jahres Zeitraum an einer Gruppe zerebrovaskulär geschädigter Patienten zeigt, dass die telemedizinische Behandlung durch eine neuro-psychologisch orientierte verhaltenstherapeutische Praxis ein erfolgreiches Verfahren zur Therapie zentraler Sehstörungen ist. Sie ist damit ein ambulantes Modell für eine weltweite Therapie von hirngeschädigten Patienten über einem Server in Deutschland, da die Software auch patientenseitig in englischer Sprache vorliegt. Ein großer Vorteil der Telemedizin auch bei uns ist die intensive Behandlung von Personen in ländlichen Regionen, zumal der zeitliche Aufwand auch für den Behandler relativ gering ist. Die mittlerweile flächendeckende Verbreitung des Internets und Ausstattung der Haushalte mit Personal Computern, auch in der älteren Bevölkerung – der Hauptgruppe der Schlaganfallpatienten – haben die technischen Voraussetzungen für die online Behandlung geschaffen. Auch im Bereich der Psychotherapie und der medizinischen Beratung ist die Akzeptanz der Telemedizin im Aufwind, sodass sich neben dem klassischen Bereich der Datenübertragung von radiologischen Befunden neue Tätigkeitsfelder für die online Medizin eröffnen. Die brandaktuelle Situation in der Corona Epidemie verdeutlicht auf dramatische Weise gerade die Bedeutung von Verfahren *ohne* den direkten Kontakt zwischen Menschen. Kritischer Weise signalisiert sie auch die zunehmende Isolation gerade von Älteren.

Durch die sofortige Darstellung der Trainingswerte am Ende eines Trainingsdurchganges und die Vergleichsmöglichkeit mit den Ergebnissen der davorliegenden 4 Sitzungen, hat diese Form der Behandlung einen hohen Motivationsfaktor zur Fortsetzung der Behandlung. Nur wenige Pat. haben das Training abgebrochen.

Wie oben bereits aufgezeigt (Punkt 8 und 9) ist die telemedizinische Behandlung mit unserer Software in der psychotherapeutischen Praxis in den meisten Fällen erfolgreich:

64% der Patienten einer Gruppe von zerebrovaskulär Geschädigten mit zerebralen Sehstörungen, v. a. Gesichtsfelddefekten (Hemi- und Quadrantenanopsie), vorrangig nach Verschlussinfarkt der A c posterior, erreichen nach durchschnittlich 6 Monaten intensivem online-Training von ca. 120 Sitzungen am heimischen PC Monitor eine deutliche Vergrößerung ihres Gesichtsfeldes, zum Teil ausreichend, um den Führerschein wiederzuerlangen. Der Zeitraum seit dem Insult, das posttraumatische Intervall bis zum Behandlungsbeginn, beträgt im Mittel 6 Monate. Einige von ihnen absolvierten im Anschluss an das Gesichtsfeldtraining noch ein online Training des Formerkennungsvermögens mit Erfolg.

Eine telemedizinische Studie³⁴ an der Universität Lübeck an einer ähnlichen Patientengruppe von 26 zerebrovaskulären Pat mit Gesichtsfelddefekten kam zu vergleichbaren Ergebnissen: Ein online Training von durchschnittlich 43 Wochen und 148 Trainingsdurchgängen mit demselben Algorithmus und derselben Software wie bei unserer Praxisgruppe ergab bei 20 der 26 Pat einen signifikanten Zuwachs an erkannten Stimuli (Treffer) im Trainingsareal. Bei den 12 Pat mit Vor- und Nachdiagnostik am Lübecker Reaktionsperimeter LRP hatte die telemedizinische Behandlung einen Gesichtsfeldzuwachs um ca. 32% bewirkt. 89% der Pat, die einen Fragebogen zur Wirksamkeit der telemedizinischen Therapie ausgefüllt hatten (20 von 26), gaben an, dass ihnen die Behandlung geholfen hatte und sie das Training anderen weiterempfehlen würden. Die meisten (60%) dieser Pat „berichteten zusätzlich über Verbesserungen des Gedächtnisses und der Konzentrationsfähigkeit“³⁹.

Im Vergleich dazu hatte eine Studie der Universität Lübeck (s.o.) mit dem Leuchtdioden Perimeter ($r = 80 \text{ cm}$; 180 Grad Azimuth- und 150 Grad Elevationswinkel) an einer ähnlichen Gruppe von 20 Patienten²⁴ gezeigt, dass eine ambulante vor-Ort Behandlung unter ständiger Anwesenheit eines (r) Therapeuten/PsTA von durchschnittlich 73 Sitzungen à 45 min während eines Therapieintervalls von gemittelt 8,2 Monaten im Institut Medizinische Psychologie und spezielle Neurorehabilitation zu einem mittleren Trefferzuwachs von 18,6% bzw. $9,6^\circ$ im geschädigten GF Bereich führt. Ebenso ist die manuelle bzw. semi-automatische Therapie am Tübinger Perimeter bzw. LRT I erfolgreich. Letztere Methoden erfordern jedoch nicht nur die *Anwesenheit* eines Behandlers sondern dessen *permanente Interventionen*, während die Therapie am LRP nach erfolgter Eingabe der Trainingsparameter incl. der Pausen *automatisch* abläuft. Die Assistenz hat nur kontrollierende bzw. stützend-motivierende Funktion.

Die *Vorteile* der Behandlung am Tübinger Perimeter, LRT I und LRP sind der größere Sehinkelbereich (Gesichtsfeld) der Geräte und die dauerhafte persönliche Anwesenheit einer kompetenten Person. Sie stellen zugleich die *Nachteile* der telemedizinischen Behandlung am PC dar: Das Trainingsareal am Monitor ist definiert durch den Abstand zum Monitor und dessen Größe. Sie soll stets 30° horizontal x 25° vertikal betragen. Will man weiter periphere GF Bereiche stimulieren, so kann man den Fixationspunkt mithilfe einer extern zu anzubringenden roten Fixations LED gezielt verlagern. So erreicht man mit etwas Aufwand maximale Stimulus Exzentrizitäten von $\pm 60^\circ$ horizontal (Azimuth-)und ± 50 Grad vertikal (Elevationswinkel).

Die telemedizinische Behandlung am PC im Haus des Patienten hat jedoch für diesen entscheidende **Vorteile**:

- Sie ist räumlich und zeitlich unabhängig
- Der Standort des Pat PC ist (mit einigen Einschränkungen) beliebig ; der Pat. hat keinen Fahr- und Zeitaufwand, um zu einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit zum Training zu kommen
- Der Pat. kann beliebig häufig trainieren und somit die Rehabilitation beschleunigen
- Die Trainingsdaten sind sofort nach dem Training und auch für einige Tage danach für den Pat verfügbar
- Die Kosten sind relativ gering
- Über die Software-integrierte Chat Funktion kann er jederzeit mit seinem behandelnden Arzt oder Psychologen Kontakt aufnehmen.

Nachteile sind:

- Unpersönliche Behandlung
- Mangelnde Kontrolle der Trainingsumstände durch den Therapeuten bzgl. der Monitoreinstellung (Abstand, Kontrast, Helligkeit, ...), Umgebungshelligkeit, Fixationsgüte, circadianen Rhythmik des Trainierens (morgens, mittags, abends) und der Konstanz der Trainingsbedingungen von Tag zu Tag

Letzterer Punkt kann jedoch durch gezielte Anleitung, Instruktion und ggf. Mithilfe von anderen Personen (Ehepartner, Kinder, Bekannte, ... entschärft werden.

12. Neuronale Strukturen und Mechanismen der Restitution visueller Funktionen

a) Kortikale Lokalisation der Restitution

Die CT und MRT Befunde legen nahe, dass die Läsionsherde unserer Patienten kortikal lokalisiert sind. Wir nehmen an, dass auch dort die Restitutionsprozesse stattfinden, die zu einer Verbesserung der Sehfunktionen führen. Dafür sprechen eine Reihe von Befunden: Wie wir in einer früheren Untersuchung zeigen konnten²⁴, führt monokuläres Training (ein Auge offen, das andere geschlossen) ebenfalls zu einer Vergrößerung des Gesichtsfeldes des bei der Therapie okkludierten Auges („okulärer Transfer“)⁹. Da der visuelle Kortex die erste Struktur in der primären Sehbahn ist, in der binokulär erregbare Neurone vorkommen, kann man solche Effekte nur erklären, wenn man annimmt, dass die Restitution zumindest teilweise *kortikalen* Ursprungs ist. Ein anderer Hinweis in dieser Richtung stammt aus unserer Beobachtung, dass sich die kortikalen visuell evozierten Potentiale VEP parallel zur Restitution der Gesichtsfelder bei der Therapie normalisieren²⁴. Dies wird auch von anderen Autoren berichtet³⁵. Bei Verschluss der Acp kann eine teilweise *Blutversorgung* der von einem Ausfall betroffenen Gebiete über *kollaterale Zweige* der medialen Acm und auch der frontalen Hirnarterie Acf erfolgen, um eine Restversorgung des Stoffwechsels der Neurone aufrecht zu erhalten und einen Totalverlust der kortikalen Nervenzellen in den visuellen Areae V1 und V2 zu verhindern.

b) Repetitive Stimulation

Unsere Behandlungserfolge und die anderer Autoren zeigen, dass *repetitive Stimulation* über einen längeren Zeitraum ein wesentlicher Faktor für die Restitution von Sehfunktionen ist. Es ist anzunehmen, dass der neuronale Mechanismus der „Bahnung“ dabei von Bedeutung ist: Wiederholte Stimulation führt zu einer Erhöhung der Neurotransmitterausschüttung an den Synapsen und damit zu einer Verbesserung der neuronalen Übertragung von präsynaptischen Axonen (Radiatio optica) auf Dendriten oder Somata postsynaptischer Nervenzellen des visuellen Kortex und zur Erniedrigung der Erregungsschwelle – und damit funktionell zu einer Verbesserung der visuellen Wahrnehmung.

c) Globale und selektive Aufmerksamkeit

Psychophysikalische Experimente an Menschen und Primaten zeigen, dass *globale* und *selektive Aufmerksamkeit* wichtige **Voraussetzungen** für die Verbesserung von Wahrnehmungsleistungen sind. Unsere Therapiemethoden tragen dem Rechnung, u. a. durch kurze Therapieintervalle (5 min oder ggf. bei schwerer beeinträchtigten Patienten kürzer), gefolgt von 1-minütigen Pausen, prä-Stimulus „Warntönen“, einer geforderten schnellen einfachen motorischen Reaktion („simple reaction time“ Paradigma) und dem speziellen adaptiven Stimulusalgorithmus im Grenzbereich zwischen dem intakten und dem anopen GF. Das **globale generelle Aufmerksamkeitsniveau** wird vermutlich durch die Aktivität von Neuronen der Formatio reticularis im Hirnstamm gesteuert.

Selektive räumliche Aufmerksamkeit: Untersuchungen³⁶ mit den Methoden der funktionellen Kernspintomografie (fMRI) an Patienten mit schweren Läsionen des visuellen Kortex konnten zeigen, dass bei visueller Stimulation – anders als in Kontrollpersonen – die Aktivität des striären Cortex V1 durch die Läsion vermindert ist, während die Aktivität extrastriärer Cortexareale (den frontalen Augenfeldern, den supplementären Augenfeldern und dem superioren Parietalkortex) erhöht ist. Diese Strukturen sind Komponenten eines *neuronalen Netzwerks*, das für die Augenbewegungen und *räumliche Aufmerksamkeit* von Bedeutung ist.

Nach kompletter Restitution der visuellen Funktionen hatte die Aktivität des primären Kortex wieder zugenommen, analog der Erholung der VEPs, während die Aktivierung des extrastriären Kortex völlig verschwunden war.

Tabelle

Übersicht über die im Intervall 2008 – 2017 über die Praxis telemedizinisch behandelten Patienten

Legende

T Beg	Anfang der Behandlung	Ende	<u>Grund für die Beendigung</u>		
T End	Ende der Behandlung	K	kein Grund	abg	abgebrochen
T D	<u>Trainingsdauer in Monaten und Art</u>	A	aufgehört	R	Re-Infarkt
B	Helligkeits-T	üb	überfordert	P	nur zur Probe
F	Form-T	Alt	zu alt	*	Geburt
C	Farb-T	ino	inoperabler Tumor		
Sitz	Anzahl der Trainings Sitzungen	VaE	Verdacht auf Epilepsie		
K	Krankenkasse	KwF	<u>kein weiterer Fortschritt</u>		
Z	Bezahlung der Therapie				
PTI	Posttraum. Intervall (Monate)			CVI	<u>Ursache des Insultes</u>
				Acp	A.c. posterior
S	<u>Kommentar</u>			Acm	A. c. media
F	Führerschein	Erf	<u>Erfolg</u>	Aci	A.c. interna
		K	kein	ICB	intrazerebr. Blutung
Def	<u>Defekt im Gesichtsfeld</u>	E	Erfolg	An	Aneurysma
H re	Halbfeld rechts	g	guter E	AVM	arteriovenöse
H li	Halbfeld links	sg	<u>sehr guter E</u>	Th	Thalamus
Q	Quadrant			SG	Basalganglien
u	unten			clip	geclipped
o	oben			OP	Operation
Sk	Skotom			bi occ	bilateral okzipital
diff	diffuses GF			par/oc	parieto-okzipital
Tunnel	röhrenförmig	PTI	Posttraumatisches Intervall		

#	Name	Alter [Jahre]	Sex	T Beg Datum	T End Datum	Ende Grund	T D [Mo]	Sitz n	Erf.	K Name	Z	Def GF	CVI Art	PTI	S
1	BG	52	w	Okt 11	Apr 12	K.	60	60	k		priv	Q reo	biAcp+Th	6	
2	UGH	47	m	Nov 11	Feb 12	K	3	132	k		priv	H re	Acp li	3	
3	WK	51	m	Okt 11	Nov 11	K	2	65	k		priv	H re	Acp li	94	
4	BP	71	m	Feb 11	Mrz 11	abg	1	35	k		priv	H re	Acp li	5	
5	IS	76	w	Aug 10	Jun 11	Re-	3B8F	363	g	BEK	abg	H re	Acp li	13	
6	FM	72	m	Jul 10	Mrz 11	üb.	6	99	sg	TK	abg	H li	ICB pa/occ	8	
7	HV	62	m	Sep 11	Apr 12	A	8M	75	g	PKV	gez	Q reo	Acp li + re	9+6	
8	HW	72	m	Aug 11	Okt 11	A	3	47	g		priv	H re	Acp li	3	F
9	EF	69	m	Nov 09	Jun 10	A	5	183	sg	TK	abg	H re	An clip	12	

10	AG	66	m	Dez 09	Nov 10	K	5	81	k		priv	H re	Acp li	6
11	KGK	49	m	Feb 10	Mrz 11	ino	14	299	g		priv	H re	occ T OPl	3
12	DF	78	m	Nov 09	Feb 10	G	4	81	E	DAK	abg	H li	Acp re	3
13	PW	52	w	Okt 09	Mrz 10	A	7	146	E		priv	Q lio	Acp re	2 F
14	UHD	45	w	Nov 09	Aug 11	KWF	9B11F	242	g	KKG	?	H re	ICB li SG	21
15	JK	66	m	Feb 08	Jun 08	A	5B1C	85	E	PKV	gez	H re	bi Acp	3
16	DK	59	m	Dez 09	Mai 10	K	5	166	k	AOK	abg	H li	Acp re	2
17	KL	30	w	Nov 09	Jan 10	P	2	66	k	TK	abg	Q reu	bi Acp	2
18	GP	60	m	Jan 10	Mai 10	K	4	32	k	TK	abg	Q lio	Acp re	3
19	GW	75	m	Mrz 10	Mai 11	A	14	260	g		priv	H li	Acm re	1
20	SWP	49	m	Feb 10	Apr 10	VaE	3	34	k		priv	H li	Acm + Aci	23
21	AC	39	w	Nov 09	Jul 10	A	7B3F	84	E		priv	H re	Acp li	4
22	UH	67	m	Mrz 11	Sep 11	A	7B	95 S	E	AXA	gez	Q reo	Acpli	2
23	MK	86	w	Jun 12	Jun 12	Alt	1	24	k		priv	H li	Acp re	32
24	FH	66	m	Nov 10	Mrz 13	K	27	814	k	TK	abg	H li Sk	Acp li	6
25	EE	85	w	Mai 09	Mai 14	Alt	60	1221	E	BEK	anf	T	bi occ ICB	163
26	GH	72	w	Aug 12	Dez 17	A	65	1481	E	AOK	P	H li	Acp re	6 F
27	VS	29	m	Sep 11	Mrz 14	KWF	24	592	a	DAK	VT	H re	Acp li	13
28	GB	47	m	Mai 13	Sep 15	A	21	449	g		VT	Q ro	Acp li+Aci	2
29	KC	28	w	Jan 17	Apr 17	K	3	141	E	USA	priv	H li	AVM ICB	13
30	JD	35	w	Aug 13	Dez 13	*	5	116	E	IKK	VT	H re	OP occ li	17
31	WF	59	m	Feb 13	Aug 13	K	2	125	k	PKV	VT	Sklio	Acp re	1
32	GG	78	m	Aug 14	Mrz 15	A	8	227	E		priv	diff	Acp+m re	7
33	BH	62	w	Jun 15	Apr 16	K	11	144	E		priv	H re	Acp+m li	8
34	HH	72	w	Mai 14	Jul 14	K	2	41	k		priv	H li	Acp re	1
35	VP	55	m	Mrz 13	Apr 14	A	9B5F	383	sg	BEK	aVT	Q reu	Acp li	19
36	PS	55	m	Jan 13	Jun 13	A	5	107	E	PKV	aVT	H li	Acpli+Thre	3
37	UDS	55	w	Apr 13	Nov 14	A	16B4F	1433	E	AOK	gez	H liN	Acm re	42 F
38	RS	50	m	Feb 08	Sep 08	A	5B1F	168	E	AUS	priv	Q reo	Acp li	5
39	Jka	44	m	Nov 09	Aug 10	A	6B3F	104	E	ItzV	gez	Q reo	Acp li+Th	10 F
40	KM	64	m	Jul 08	Sep 09	A	11	289	E		priv	Sk reH	Acp li	130
41	TO	53	m	Jun 09	Jun 09	K	1F	10	k		priv	Sk liu	Acp re	21
42	HS	69	m	Jan 08	Mrz 08	K	2	17	k		priv	H re	Acp li	2

Literatur

- 1 Kölmel HW (1988) . Die homonymen Hemianopsien. Berlin: Springer.
- 2 Kerckhoff G, Münßinger U, Eberle-Strauss G, Stögerer E (1992). Rehabilitation of homonymous scotomata in patients with postgeniculate damage of the visual system: saccadic compensation training. *Rest Neurol Neurosci* 4:245-254.
- 3 Zihl J, von Cramon, D (1986) Zerebrale Sehstörungen. Stuttgart: Kohlhammer.
- 4 Kölmel HW (1988). Die homonymen Hemianopsien. Berlin: Springer.
- 5 Poppelreuter W (1917). Die psychischen Schädigungen durch Kopfschuss im Kriege 1914/16 mit besonderer Berücksichtigung der pathopsychologischen, pädagogischen und sozialen Beziehungen. Bd. I: Die Störungen der niederen und höheren Sehleistungen durch Verletzung des Okzipitalhirns. Leipzig: Voss, S 276 – 285.
- 6 Zihl J (1980). Untersuchungen von Sehfunktionen bei Patienten mit einer Schädigung des zentralen visuellen Systems unter besonderer Berücksichtigung der Restitution dieser Funktionen. Habilitationsarbeit. Ludwig-Maximilians Universität München.
- 7 Kerckhoff G, Münßinger U, Eberle-Strauss G, Stögerer E (1992). Rehabilitation of homonymous scotomata in patients with postgeniculate damage of the visual system: saccadic compensation training. *Rest Neurol Neurosci* 4:245-254.
- 8 Zihl J, von Cramon D, Pöppel, E (1978). Sensorische Rehabilitation bei Patienten mit post-chiasmatischen Sehstörungen. *Nervenarzt* 49:101–111.
- 9 Zihl J, von Cramon D (1985). Visual field recovery from scotomata in patients with postgeniculate damage. A review of 55 cases. *Brain* 108:335-365.
- 10 Balliet R, Blood KMT, Bach-y-Rita P (1985). Visual field rehabilitation in the cortically blind? *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 48:1113-1124.
- 11 Pommerenke K, Markowitsch HJ (1989). Rehabilitation training of homonymous visual field defects in patients with postgeniculate damage of the visual system. *Restor Neurol Neurosci* 1:47-63.
- 12 Cowey A, Weiskrantz L (1963). A perimetric study of visual field defects in monkeys. *Q J Exp Psychol* 15:91-115.
- 13 Mohler CW, Wurtz RH (1977). Role of striate cortex and superior colliculus in visual guidance of saccadic eye movements in monkeys. *J Neurophysiol* 40:74-94.
- 14 Schmielau F (1996). Training device for the therapy of patients having perception defects. United States Patent No. 5,534,953, Date of patent: Jul. 9, 1996, Appl. No. 269,697, filed Jul.1, 1994.
- 15 Schmielau F (1997). Training device for treating patients suffering from perception disorders. European Patent # EP 0689822.
- 16 Schmielau F (1989). Restitution visueller Funktionen bei hirnerkrankten Patienten: Effizienz lokalisationspezifischer sensorischer und sensomotorischer Rehabilitationsmaßnahmen. In: Jacobi P (Hrsg.) *Psychologie in der Neurologie*. Berlin: Springer, S115-126 .
- 17 Potthoff RD, Schmielau F (1989). Specific training improves perception in cerebral blindness. *Perception* 18: A49 (Abstract).
- 18 Schmielau-Lugmayr MF (1982). "A multi-parametric investigation of reaction times in right-handers (a within-subject study)". (1983) "Simple reaction times to threshold and threshold-related super threshold visual stimuli". Stipendien der European Science Foundation. Publikation: Schmielau-Lugmayr MF, Schmielau F (1983). A multi-parametric investigation of simple reaction times to visual stimuli. *Perception* 12: A36 (Abstract).
- 19 Dornheim L, Schmielau F (1994). Further results from a training of brightness perception and reaction times in homonymous hemianopia. *Soc Neurosci Abstracts* 20: 647.5.

- 20 Wiegmann, U (1992). Restitutionstherapie von homonymen Gesichtsfelddefekten nach einer Hirnschädigung: 3 Einzelfallstudien. Diplomarbeit in Psychologie. Universität Hamburg.
- 21 Schmielau F (1993). Trainingsgerät zur Behandlung von am Wahrnehmungsstörungen leidenden Patienten. Deutsches Gebrauchsmuster Nr. G 9305147.6
- 22 Schmielau F (1994). Lübecker Reaktionszeit Trainingsgerät. 43. Internationale Erfindermesse. Brüssel: Belgischer Erfinderorden, Medaille des Europäischen Verdienstordens GEV (V.o.E.) und Silberne Äskulap Medaille von ÄSKULAP AUSTRIA.
- 23 Schmielau F (1994). The Lubeck Reaction Time Perimeter – A new device for diagnosis and training of visual defects. In: Mildner (Ed.) Medical Technology Network in the Baltic Region. Lübeck: Mildner, S 181-190.
- 24 Schmielau F, Wong EK Jr (2007). Recovery of visual fields in brain-lesioned patients by reaction perimetry treatment. JNER 4:31 pp16. (<http://www.jneuroengrehab.com/content/4/1/31>).
- 25 Kasten E (1993). Computergestützte Rehabilitation bei cerebral verursachten Sehstörungen. Dissertation. Universität Halle.
- 26 Holbe F (2000). Vision Trainer Brightness VTB Software. Lübeck.
- 27 Schmielau T (2001). Vision Trainer Form VTC Software und Vision Trainer Color VTC Software. (Innsbruck).
- 28 Schmielau F, Wong EK Jr, Holbe F (2001). Neurovisual rehabilitation via the internet. In: Buzug TM, Handels H, Holz D (Eds.) Telemedicine: Medicine and Communication. New York: Plenum. Pp 77-91.
- 29 Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft (2007). Akutes febriles Bild bei Leukopenie und Thrombopenie unter Chininsulfat (LimptarRN). Deutsches Ärzteblatt 104 (51-52): A 3582.
- 30 Hoffmann H (2009). Elektronisches Eingabepanel für Wahlreaktionen mit USB-Anschluss. Lübeck.
- 31 Schmielau F (2008). Unveröffentlichte Daten.
- 32 Beschluss des Gemeinsamen Bundesausschusses (G-BA) vom 24.11.2011 über eine Änderung der Richtlinie zu Untersuchungs- und Behandlungsmethoden der vertragsärztlichen Versorgung (Richtlinien Methoden vertragsärztlicher Versorgung MIV-RL). Veröffentlichung im Bundesanzeiger vom 23.2.2012.
- 33 Einheitlicher Bewertungsmaßstab EBM (2020). Neuropsychologie, Einzelbehandlung: Dauer 50 min Ziffer 30932: 922 Punkte.
- 34 Leykam B (2011). Vision Trainer: Rehabilitation von Gesichtsfelddefekten mittels Internettraining. Saarbrücken: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften. 2010 Medizinische Dissertation: Universität zu Lübeck.
- 35 Sarno S, Erasmus LP, Schlaegel W (2001). Elektrophysiologische Korrelate eines Behandlungserfolgs bei homonymer Hemianopsie. Neurol Rehabil 7:33-40.
- 36 Rausch M, Widdig W, Eysel UT, Penner IK, Tegenthoff M (2000). Enhanced responsiveness of human extravisual areas to photic stimulation in patients with severely reduced vision. Exp Brain Res 135:34-40.