

# Transkorticale Nah-Infrarot-Lasertherapie des Wachkomapatienten nach schwerem Schädelhirntrauma zur Förderung der Wachheit und des Bewusstseins: Fallberichte

S. Hesse, N. Schattat, C. Werner

## Zusammenfassung

Die beiden Kasuistiken beschreiben den Einsatz der transkraniellen Nahinfrarot-Laserstimulation (NIR-LT) zur Verbesserung der Vigilanz und des Bewusstseins nach schwerem Schädelhirntrauma. Die transkranielle NIR-LT wurde erfolgreich in akuten Schlaganfallstudien eingesetzt, sie soll die Zellatmung der Neuronen verbessern

Die erste Patientin bot das Bild eines akinetischen Mutismus (Latenz seit Unfall 16 Wochen), der zweite Patient das Bild eines sog. »unresponsive wakefulness« Syndroms (Latenz seit Unfall drei Jahre). Nach einer dreiwöchigen Baseline wurden die Patienten ausschließlich frontal mit Hilfe der NIR-LT transkraniell stimuliert (785 nm, 10 W/cm<sup>2</sup>), 30-mal 10 min über sechs Wochen. Abhängige Variable war die revidierte Fassung der Coma Recovery Scale (r-CRS, 0 – 23).

Nach einer jeweils stabilen Baseline steigerte sich während der sechswöchigen Intervention der r-CRS der ersten Patientin von 7 auf 21, der des zweiten Patienten von 3 auf 14 Punkte. Ein in der dritten Behandlungswoche einmalig aufgetretener zerebraler Krampfanfall des zweiten Patienten – er hatte eine positive Anamnese und war bereits auf Antiepileptika eingestellt – führte zu einer zweiwöchigen Unterbrechung des Protokolls.

Die klinisch relevanten Ergebnisse rechtfertigen keine Aussage zur Effektivität der NIR-LT zur Förderung der Komaremission des Patienten mit Z.n. schwerem Schädelhirntrauma, weitere Untersuchungen sind jedoch angezeigt.

**Schlüsselwörter:** Schädelhirntrauma, transkranielle Nahinfrarot-Laserstimulation, Vigilanz

*Medical Park Berlin,  
Neurologische Rehabilitation,  
Charité – Universitätsmedizin  
Berlin*

## Einleitung

Patienten im sogenannten Wachkoma stellen eine große Herausforderung an das Gesundheitssystem dar, und die berichteten Prävalenzen schwanken erheblich (2 – 10 pro 100.000 Einwohner in den Industriestaaten). Die häufigsten Ursachen sind der Herz-Kreislaufstillstand und das Schädelhirntrauma [12].

Das Verständnis des Wachkomapatienten hat sich im letzten Jahrzehnt nachhaltig verändert. Die Begriffe der »unresponsive wakefulness« (UWS) und des minimalen Bewusstseins (MCS, »minimally conscious state«) ersetzen die pejorativen Begriffe des vegetativen Status bzw. des apallischen Syndroms [1]. UWS Patienten zeigen einen Schlaf-Wach-Rhythmus, die Augen sind zeitweise offen, die klinische Untersuchung zeigt ein ausschließliches Reflexverhalten. MCS<sup>-</sup>-Patienten zeigen erste Anzeichen eines äußeren Bewusstseins, indem sie z. B. mit den Augen im Sichtfeld bewegte Gegenstände verfolgen oder einen Schmerzreiz lokalisieren. Sog.

MCS<sup>+</sup>-Patienten können sogar verbale Aufforderungen befolgen. Der akinetische Mutismus in Folge einer mesio-frontalen Läsion mit massiver Antriebshemmung ist eine weitere Entität.

In der klinischen Untersuchung erwies sich die revidierte Fassung der Coma Recovery Scale (r-CRS, 0 – 23) [5] als am sensitivsten, in der funktionellen Bildgebung korrelierte im sog. »resting state« die Aktivität eines mesio-frontotemporalen Netzwerks am besten mit dem Bewusstseinszustand des Patienten und der r-CRS. Das Netzwerk verbindet assoziative Kortexareale [13].

Die bisherigen Therapien zur Förderung des Bewusstseins, u. a. neurologische Frührehabilitation, multiple sensorische Stimulation und Amantadin, sind in ihrer Wirkung beschränkt, aufwändig bzw. im Falle des Amantadin mit einem erhöhten Anfallsrisiko verbunden.[6]

Die vorliegende Arbeit untersuchte den möglichen Effekt einer frontalen transkraniellen Nah-Infrarot-Lasertherapie (NIR-LT) bei zwei Patienten mit Z.n. schwerem Schädelhirntrauma. Klinisch imponierte im

## Transcranial near-infrared laser therapy to improve alertness and awareness in severely affected brain-injured subjects – two case reports

S. Hesse, N. Schattat, C. Werner

### Abstract

The case reports describe the transcranial near-infrared laser therapy (NIR-LT) to improve alertness and awareness in two severely affected brain-injured subjects, one akinetic mutism (interval since lesion 16 weeks) and one unresponsive wakefulness syndrome (interval since lesion was 3 years). NIR-LT has proven to be effective in acute stroke subjects, it presumably improved the neurons' ATP content.

Following a 21-day baseline the patients received frontal transcranial NIR-LT (785 nm, 10 W/cm<sup>2</sup>), 30-times 10 minutes over a period of six weeks. The dependent variable was the revised version of the Coma Recovery Scale (r-CRS, 0–23).

After a stable baseline, the r-CRS of the first patient increased from 7 to 21, and of the second patient from 3 to 14 points. An epileptic fit in the second patient – he had a known history of epilepsy and already received antiepileptic drugs – caused a 14-day interruption of the protocol.

The clinically relevant results do not justify any conclusions on the NIR-LT effectiveness to improve coma remission in severely affected patients after traumatic brain lesion, further studies are needed.

**Key words:** brain injury, transcranial near-infrared laser therapy, alertness

Neurol Rehabil 2014; 20 (1): 39–43

© Hippocampus Verlag 2014

ersten Fall ein akinetischer Mutismus und im zweiten ein UWS.

Der Einsatz des NIR-LT ist in der Therapie der Schmerz- und Wundbehandlung etabliert [2, 8]. Für leichter betroffene SHT-Patienten hatten erste Berichte über einen antriebssteigernden Effekt bei transkranieller Anwendung berichtet [7], und akute Schlaganfallpatienten konnten in kontrollierten Studien ihr Outcome mittels transkraniellem NIR-LT im Vergleich zu einer Scheintherapie signifikant verbessern [10, 16]. Es wurde ein positiver Aspekt auf die Zellatmung der Neurone der Penumbra diskutiert.

Die beiden Kasuistiken sollten helfen, das Potential der transkraniellen NIR-LT hinsichtlich einer Verbesserung der Vigilanz und des Bewusstseins von Patienten mit einem schweren Schädelhirntrauma zu untersuchen.

### Design und abhängige Variable

Das »baseline-treatment« Design beinhaltete eine 21-tägige Baseline mit vier Messpunkten (D–21, D–14, D–7, und D<sub>0</sub>), gefolgt von einer sechswöchigen Intervention, jeden Werktag für 10 Minuten, insgesamt 30 Einheiten mit den Messzeitpunkten D<sub>14</sub>, D<sub>28</sub> und D<sub>42</sub>.

Die r-CRS als primäre Variable unterscheidet sechs Dimensionen: auditive, visuelle und motorische Funktionsskala, orale Bewegungen und Sprechfunktionen, Kommunikation und Vigilanz. In der auditiven Funktion konnte der Patient 0–4 Punkte erzielen (0=keine Reaktion, 4=objektbezogene Aufforderungen wurden reproduzierbar befolgt), visuell 0–5 Punkte (0=keine Reaktion, 5=im Sichtfeld des Patienten platzierte Gegenstände wurden auf Aufforderung berührt), motorisch 0–6 Punkte (0=Hypotonie, 6=Alltagsgegenstän-

de wurden funktionell eingesetzt), orale Bewegungen und Sprechfunktionen 0–3 Punkte (0=keine Funktion, 3=auf Aufforderung verständliche Worte), Kommunikation 0–2 Punkte (0=keine Reaktion, 2=adäquate Antworten, sei es durch Wort, Gestik oder Mimik), und Vigilanz 0–3 Punkte (0=nicht erweckbar, 3=konstantes Verhalten auf Aufforderungen). Eine erfahrene Untersucherin erhob den r-CRS an den Messzeitpunkten. Sekundäre Variable war der Frühreha-Barthel-Index (FR-BI, –325 bis +100) [14], auf der Station routinemäßig wöchentlich erhoben. Zusätzlich beurteilten die Angehörigen vor und nach der sechswöchigen Intervention inwieweit sich a) die Dauer der Wachheitsperioden am Tag, b) die Möglichkeit der Interaktion (Gestik, Mimik, verbal) und c) die Fähigkeit des Patienten, Aufforderungen Folge zu leisten, verändert hatten. Eine sechsstufige Ordinalskala (–3 bis +2) unterschied: –3=schlechter als die Ausgangssituation, –2=unverändert zum Therapiebeginn, –1=etwas besser als der Ausgangszustand, aber die Erwartungen wurden nicht erfüllt, 0=die Erwartungen wurden erreicht, +1=die Verbesserung war höher als erwartet, +2=die Erwartungen wurden deutlich übertroffen.

### Intervention

Zum Einsatz kam der CE-zertifizierte Softlaser »Power Twin 21« mit 21 Austrittspunkten (Firma MKW Lasersystem<sup>1</sup>, 785 nm, 21 x 50 mW, CW-Betrieb, multifrequente Stimulation in einer Bandbreite von 200 Hz bis 3,5 Hz, Impulsdauer pro Austrittspunkt maximal 0,25 ms). Die abgegebene Energie pro Austrittspunkt war 6 J in 10 min bei einer eingestellten Geräteleistung von 10 mW/cm<sup>2</sup>.

Auf Höhe des oberen Randes der Fossa sphenoidalis wurden auf der Stirn fünf Stimulationsorte bestimmt. Der Anwender zielte mit der Mitte der Behandlungsfläche auf den jeweiligen Punkt, das Gerät hatte Hautkontakt, er stimulierte jeden Punkt 2-mal für jeweils eine Minute. Der Patient trug eine Schutzbrille. Die 30 Behandlungen à 10 min erfolgten zusätzlich zur stationären Frührehabilitation, immer unmittelbar vor einer sich anschließenden Therapie.

### Patient I

Die 57-jährige Patientin hatte ein schweres Schädelhirntrauma im Rahmen eines Sportunfalls erlitten, die initiale Bildgebung zeigte u.a. ein epidurales Hämatom rechts mit Mittellinienverlagerung, multiple Kontusionsherde bifrontal und eine traumatische SAB bifrontal. Nach 8-wöchiger intensivmedizinischer Stabilisierung im Akuthaus einschließlich primärer operativer Entlastung und nachfolgender ventrikuloperitonealer Shuntanlage, verkompliziert durch ein Hygrom und Einblutung mit erneuter operativer Revision, wurde die mit einer Trachealkanüle und PEG versorgte Patientin zur neurologischen Frührehabilitation überwiesen. Die wei-

<sup>1</sup> MKW Lasersystem, Landstr. 67, 76547 Sinzheim, Deutschland

Diagnose 57 jährige Patientin mit akinetischem Mutismus nach schwerem SHT							
Schädigungsintervall		3 Monate bei Baseline-Untersuchung					
Messzeitpunkte (in Tagen)	Baseline			Interventionsperiode			
	-21	-14	-7	0	14	28	42
Hirnstammreflexe	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Schlaf-Wach-Rhythmus	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wachphasen am Tag	3 h	2 – 3 h	3 h	2 – 3 h	5 h	7 – 8 h	7 – 8 h
Augenöffnung	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan
Augenbewegung	Fixieren	Fixieren	Fixieren	Blickfolgebewegung	Objektlokalisierung	Objekterkennung	Objekterkennung
Nonverbale Interaktion auf Aufforderung	keine	keine	keine	keine	minimal	reduziert/adäquat	reduziert/adäquat
Verbale Interaktion	keine	keine	keine	keine	Einzelworte	kurze Sätze	kurze Sätze
Beste motorische Antwort	Flexorenrückzug auf Schmerz	Flexorenrückzug auf Schmerz	Flexorenrückzug auf Schmerz	Flexorenrückzug auf Schmerz	Greifen nach Objekten	Automatische motorische Antwort	Funktioneller Gebrauch
Rankin Skala (0-5)	4	4	4	4	4	3	3
Frühreha-Barthel-Index (-325 bis +100)	-125	-125	-125	-125	-55	0	15
Revised Coma Recovery Scale (0 – 23)	6	7	6	7	15	21	21
Atmung	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan
Trachealkanüle	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Ernährung	PEG	PEG	PEG	PEG	PEG	teiloral	teiloral
Mobilität	Pflegerolli	Pflegerolli	Pflegerolli	Pflegerolli	Aktivrolli	Stand mit Festhalten	Rollator

Tab. 1: Patientin 1

tere intensivmedizinischen Stabilisierung, Dekanülierung und die Mobilisation in den Pflegerollstuhl wurden innerhalb von sechs Wochen erreicht. Die tetraparetische Patientin wurde unter dem Bild eines massiven akinetischen Mutismus auf eine weiterführende Station der Phase B intern verlegt. Das NIR-LT-Protokoll wurde zwei Wochen nach Verlegung in die Phase B begonnen, der Angehörige hatte dem Heilversuch zugestimmt. Eindeutige Zeichen erhöhter zerebraler Erregbarkeit im EEG sprachen gegen eine Therapie mit Amantadin.

**Ergebnisse**

Zu Beginn der Baseline (D -21) erreichte die Patientin auf der r-CRS 6 Punkte, d. h. sie zeigte eine Schreckreaktion, einen Blinzelreflex, orale Reflexe und zog die Extremitäten auf einen Schmerzreiz gerichtet zurück. Sie öffnete die Augen nur auf Stimulation und zeigte keine Reaktion auf Ansprache. Im Verlauf der Baseline verbesserte sich der r-CRS um einen Punkt auf 7 Punkte, sie konnte nunmehr ein Geräusch lokalisieren. Nachts schmierte die Patientin mit Stuhl.

Unter der NIR-LT Intervention verbesserte sich der r-CRS von 7 (Do) kontinuierlich auf 21 Punkte (D42). Gegen Ende der Intervention konnte sie mit Hilfe aufstehen, stehen und wenige Schritte gehen. Auf Aufforderung

sprach sie einzelne Worte dem Kontext entsprechend, ja und nein wurden korrekt eingesetzt. Die Orientierung zur Person stellte sich ein, sie griff vorbereitete und im Sichtfeld platzierte Gegenstände, Essen und Trinken gelang, jedoch nicht ausreichend. Der Antrieb war weiterhin gestört, so dass sie in den ADLs unverändert auf Hilfe angewiesen war. Der Fr-BI verbesserte sich während der Intervention von -125 auf 0 Punkte (Tab. 1). Das Schmieren mit Exkrementen hatte innerhalb von zwei Wochen sistiert. Der Ehemann beurteilte die Verbesserung der Wachheit mit +1, der Interaktion mit +2 und die der Fähigkeit, Aufforderungen zu folgen, mit +1.

Im weiteren 3-monatigen Aufenthalt erreichte sie die selbstständige Gehfähigkeit am Rollator auf dem Flur, konnte vermehrt in den ADLs mithelfen, ernährte sich teil-oral und konnte in eine Einrichtung der weiterführenden langfristigen Rehabilitation mit Wohncharakter wechseln. Kommunikation im Kontext in kurzen Sätzen war auf Aufforderung gegeben.

**Patient II**

Der 51-jährige Patient hatte im Ausland vor drei Jahren ein schweres SHT erlitten, die initiale Bildgebung zeigte multiple Konstusionsherde und ein subdurales Hämatom frontal beidseits. Nach einer durchgehenden

Diagnose	51-jähriger Patient mit schwerem SHT und Minimal Conscious State, Subduralhämatom, zerebrale Hypoxie, spastisch dystone Tetraparese						
Schädigungsintervall	29 Monate bei Baseline-Untersuchung						
Messzeitpunkte (in Tagen)	Baseline				Interventionsperiode		
	-21	-14	-7	0	14	28	42
Rankin Skala (0-5)	5	5	5	5	5	5	5
Frühreha-Barthel-Index (-325 bis +100)	-225	-225	-225	-225	-175	-100	-50
Revised Coma Recovery Scale (0-23)	3	2	3	3	8	12	14
Verbale Interaktion	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine
Nonverbale Interaktion auf Aufforderung	keine	keine	keine	keine	minimal/adäquat	minimal/adäquat	minimal/adäquat
Beste motorische Antwort	Flexorenrückzug auf Schmerz	Flexorenrückzug auf Schmerz	Flexorenrückzug auf Schmerz	Flexorenrückzug auf Schmerz	willkürliche redu- zierte Aktivität Fingerbeuger	willkürliche redu- zierte Aktivität Fingerbeuger	willkürliche redu- zierte Aktivität Fingerbeuger
Augenbewegung	umherirrend	umherirrend	umherirrend	umherirrend	Augenfolgebewe- gungen	Augenfolgebewe- gungen	Augenfolgebewe- gungen
Augenöffnung	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan	spontan
Wach-Schlafrhythmus	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wachphasen am Tag	1 h	1 h	1 h	1 h	2 – 3 h	4 h	3 – 4 h
Atmung	assistiert (C-PAP)	assistiert (C-PAP)	assistiert (C-PAP)	assistiert (C-PAP)	feuchte Nase	feuchte Nase	feuchte Nase
Trachealkanüle	geblockt	geblockt	geblockt	geblockt	geblockt	geblockt	geblockt
Ernährung	PEG	PEG	PEG	PEG	PEG	PEG	PEG
Mobilität	bettlägerig	bettlägerig	bettlägerig	bettlägerig	Pflegerollstuhl	Pflegerollstuhl	Pflegerollstuhl

Tab. 2: Patient 2

Hospitalisierung im Aus- und Inland wurde der Patient im UWS mit spastisch-dystoner Tetraparese zur neurologischen Rehabilitation überwiesen. Der TK-Träger wurde intermittierend CPAP beatmet, wegen fokalen Anfällen mit sekundärer Generalisierung war der Patient auf Levetiracetam (Gesamtdosis 3.000 mg) und Lacosamid (Gesamtdosis 100 mg) eingestellt. Die ersten fünf Wochen des stationären Aufenthalts dienten der medizinischen Stabilisierung und dem partiellen »weaning«, anschließend stimmten die Angehörigen dem Heilversuch zu.

### Ergebnisse

Der initiale r-CRS (D-21) betrug 3 Punkte, d.h. der Patient zeigte orale Reflexe und einen Flexorenrückzug auf starken Schmerzreiz. Während der Baseline veränderte sich der r-CRS nicht. Innerhalb der ersten beiden Wochen der Intervention steigerte sich der r-CRS auf 8 Punkte, d.h. der Patient konnte zusätzlich ein Geräusch lokalisieren, zeigte einen Blinzelflex, und die Augen waren vermehrt geöffnet. Wegen eines einmaligen fokalen Anfalls mit sekundärer Generalisierung zu Beginn der dritten Behandlungswoche – der Anfall war zeitlich unabhängig von der NIR-LT eingetreten, auch erhielt der Patient ein Antibiotikum wegen eines Harnwegsinfekts – wurde die spezifische Therapie für zwei Wochen unterbrochen und das Antikonvulsivum

Lacosamid auf eine Gesamtdosis von 150 mg gesteigert. In diesen beiden Wochen reduzierte sich der r-CRS auf den Ausgangswert von drei Punkten. Nachfolgend wurde in Absprache mit dem Betreuer die NIR-LT für weitere vier Wochen fortgeführt, in dieser Zeit stieg der r-CRS kontinuierlich an auf maximal 14 Punkte zu D 42. Der Patient war nunmehr in der Lage, auf Aufforderung die Hand zu bewegen, die Augen zu öffnen und schließen und die Zunge herauszustrecken. Die Augen folgten dem vor den Augen geführten Kosmetikspiegel, er lokalisierte einen Schmerzreiz zuverlässig, eine Kommunikation über den Lidschluss wurde mit den Angehörigen möglich und adäquate Affekte wurden erkennbar (Tab. 2). Die Mutter beurteilte die Verbesserung der Wachheit mit 0, der Interaktion mit +1 und die der Fähigkeit, Aufforderungen zu folgen, mit 0. In derselben Zeit wurde der Patient erfolgreich geweanet, die TK und die vollständige Pflegebedürftigkeit blieben.

### Diskussion

Die beiden Kasuistiken sprechen dafür, den Ansatz der transkraniellen NIR-LT zur Förderung der Komaremission des Patienten mit schwerem Schädelhirntrauma weiter zu verfolgen. Nach einer dreiwöchigen »baseline« mit stabilen Verhältnissen konnten beide Patienten ihre Vigilanz und ihr äußeres Bewusstsein während der sechswöchigen Intervention relevant verbessern. Die

Angehörigen bestätigten die besseren Interaktions- und Kommunikationsmöglichkeiten. Zeitgleich steigerte die erste Patientin ihre Kompetenz in den alltäglichen Verrichtungen und der Mobilität deutlich.

Selbstredend verbietet sich jegliche Aussage zur Effektivität. Es handelt sich um Kasuistiken, die Spontanerholung war zumindest im Fall der ersten Patientin bei weitem noch nicht abgeschlossen, und beide Patienten waren in ein intensives Rehabilitationsprogramm integriert.

Der bei einem der beiden Patienten beobachtete generalisierte Krampfanfall in der dritten Behandlungswoche war mit einer mehrstündigen Latenz zur Stimulation aufgetreten, zerebrale Anfälle waren in der Anamnese bekannt und der Patient mit einem Antibiotikum behandelt. Dessen ungeachtet konnte ein kausaler Zusammenhang nicht ausgeschlossen werden. In den akuten Schlaganfallstudien (NEST-Trials) unterschieden sich die zerebralen Nebenwirkungen zwischen der Verum- und Placebostimulation nicht [10].

Physikalisch bestimmt die Wellenlänge die Eindringtiefe des gebündelten Lichts, sog. Chromophore absorbieren die Photonen, die Absorption ist intensitätsabhängig. Das relevante Chromophor ist der Komplex IV der in den Mitochondrien ablaufenden Atmungskette, die Stimulation fördert seine Aktivität, und die ATP-Produktion steigt [3, 9]. Für das Kaninchen mit einem experimentellen Schlaganfall konnten Lapchak und De Taboada eine gesteigerte ATP-Produktion in Neuronen des ZNS nachweisen [11]. Für einen Laser mit einer Wellenlänge von 808 nm und einer Leistung von 10 mW/cm<sup>2</sup> beschrieben die Autoren eine Eindringtiefe von ca. 20–30 mm. Der in der vorliegenden Untersuchung verwandte Laser hatte eine Wellenlänge von 785 nm und eine Leistung von 10 mW/cm<sup>2</sup>.

In den Studien mit akuten Schlaganfallpatienten wurden bei vergleichbarer Laserleistung 20 Punkte gemäß dem 10-20 System jeweils zwei Minuten einmalig stimuliert [16]. Somit bedeuteten 30 Stimulationstage à 10 min in der vorliegenden Untersuchung eine deutlich höhere Energieabgabe über die Zeit, wobei im Falle des zweiten Patienten der Abfall des r-CRS auf den Ausgangswert während der zweiwöchigen Unterbrechung des Protokolls für eine mehrwöchige Anwendung spricht.

Argumente für eine ausschließlich frontale Anwendung sind die Bedeutung des Stirnhirns für die Aufmerksamkeit, exekutive Funktionen und das Arbeitsgedächtnis. Nach Cramon befindet sich im Frontalhirn: »... der innere Motor des Menschen, als unverzichtbarer Teil seines Selbst«, besondere Bedeutung kommt dabei dem frontomedianen Kortex zu [4]. Weitere Argumente sind die nachgewiesenen mesio-frontale Läsionen der akinetisch-mutistischen Patientin und die in der funktionellen Bildgebung nachgewiesene positive Korrelation der Aktivität des mesio-frontalen Netzwerks im »resting state« mit der Komaremission des Patienten im Wachkoma [15]. Bei der frontalen Anwendung ist eine chronische Sinusitis als nicht seltene Komplikation des

lange intensivpflichtigen Patienten zu gewärtigen. Flüssigkeit mindert jedoch die Geschwindigkeit und damit Energiedichte des Lasers, es sollte daher oberhalb der Stirnhöhle stimuliert werden.

Zusammenfassend sei nochmals betont, dass beide Kasuistiken keinerlei Aussagen zur Effektivität der NIR-LT zwecks Förderung der Komaremission von Patienten mit schwerem Schädelhirntrauma erlauben. Weitere Studien zur Sicherheit, Effektivität und Ethik sind angezeigt.

## Literatur

1. Boly M, Faymonville ME, Peigneux P, Lambermont B, Damas P, Del Fiore G, Degueldre C, Franck G, Luxen A, Lamy M, Moonen G, Maquet P, Laureys S. Auditory processing in severely brain injured patients. *Arch Neurol* 2004; 61: 233–238.
2. Desmet KD, Paz DA, Corry JJ, Eells JT, Wong-Riley MT, Henry MM, Buchmann EV, Connelly MP, Dovi JV, Liang HL, Henshel DS, Yeager RL, Millsap DS, Lim J, Gould LJ, Das R, Jett M, Hodgson BD, Margolis D, Whelan HT. Clinical and experimental applications of NIR-LED photobiomodulation. *Photomed Laser Surg* 2006; 24: 121–8.
3. Drochioiu G. Laser-induced ATP-formation: mechanism and consequences. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 573–74.
4. Ferstl EC, von Cramon DY. Time, space and emotion: fMRI reveals content-specific activation during text comprehension. *Neurosci Lett* 2007; 42 7: 159–64.
5. Giacino JT, Kalmar K, Whyte J. The JFK coma recovery scale revised: measurement characteristics and diagnostic utility. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 2020–9.
6. Giacino JT, Whyte J, Bagiella E, Kalmar K, Childs N, Khademi A, Eifert B, Long D, Katz DI, Cho S, Yablon SA, Luther M, Hammond FM, Nordenbo A, Novak P, Mercer W, Maurer-Karattup P, Sherer M. Placebo-controlled trial of amantadine for severe traumatic brain injury. *N Engl J Med* 2012; 366(9): 819–26
7. Hashmi JT, Huang YY, Osmani BZ et al. Role of low-level laser therapy in neurorehabilitation. *PMR* 2010; 2: 292–305.
8. Jang H, Lee. Meta-analysis of pain relief effects by laser irradiation on joint areas. *H. Photomed Laser Surg*. 2012;8:405–17.
9. Karu T. Mitochondrial mechanisms of photobiomodulation in context of new data about multiple roles of ATP. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 159–60.
10. Lampl Y, Zivin JA, Fisher M. et al. Infrared laser therapy for ischemic stroke: a new treatment strategy: results of the NeuroThera effectiveness and safety trial-1 (NEST-1). *Stroke* 2007; 38: 1843–49.
11. Lapchak PA, DeTaboada L. Transcranial near infrared laser treatment (NILT) increases cortical adenosine-5-triphosphate (ATP) content following embolic stroke in rabbits. *Brain Res* 2010;1306:100–105.
12. Masson F, Thicoipe M, Aye P, et al. Epidemiology of severe brain injuries: a prospective population based study. *J Trauma* 2001; 51: 481–489.
13. Schnakers C, Vanhauzenhyse A, Giacino J, Ventura M, Boly M, Majerus S, Moonen G, Laureys S. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: clinical consensus versus standardized behavioural assessment. *BMC Neurol* 2009; 9: 35.
14. Schönle PW. Der Frühreha-Barthelindex (FRB) – eine frührehabilitationsorientierte Erweiterung des Barthelindex. *Rehabilitation* 1995; 34: 69–73
15. Vanhauzenhyse A, Noirhomme Q, Tshibanda LJF, Bruno MA, Boveroux P, Schnakers C, Soddu A, Perlberg V, Ledoux D, Brichant JF, Moonen G, Maquet P, Greicius MD, Laureys S, Boly M. Default network connectivity reflects the level of consciousness in non-communicative brain-damaged patients. *Brain* 2010; 133: 161–171.
16. Zivin JA, Albers GW, Bornstein N et al. Effectiveness and safety of transcranial laser therapy for acute ischemic stroke. *Stroke* 2009; 40: 1359–64.

## Interessenvermerk

Es besteht kein Interessenkonflikt.

## Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Stefan Hesse  
Medical Park Berlin  
An der Mühle 2–9  
D-13507 Berlin  
E-mail: s.hesse@medicalpark.de