

## Kapitel 5

# Crush-Verletzungen

### Prävalenz/Inzidenz

*Wie hoch ist die Prävalenz/Inzidenz von Crush-Verletzungen in Deutschland?*

Da es kein entsprechendes Register gibt, liegen hierzu keine konkreten Daten vor. Crush-Verletzungen treten v.a. im Bereich von Verkehrs- und Maschinenun-

fällen, Schußverletzungen und anderen Traumata mit hoher Energieeinwirkung auf. Sie spielen daher in der unfallchirurgischen Klinik eine alltägliche Rolle. Die HBO bleibt jedoch den unter 7. genannten Situationen vorbehalten.

### Diagnostik, Spontanverlauf und Behandlungsziele

*Anhand welcher diagnostischer Parameter werden Crush-Verletzungen eindeutig festgelegt und abgegrenzt?*

Die Crush-Verletzung wird als diffuses Trauma mit Involvierung von zwei oder mehr Geweben (Integument, Muskel, Knochen, Gefäße, Nerven) definiert. Die Zerstörung des Gewebes ist dabei so ausgeprägt, daß seine Vitalität in Frage gestellt wird. Die Indikation wird daher anhand der Traumaanamnese, klinischer Parameter, Röntgenaufnahmen, lokaler

Beurteilung der Kreislaufsituation mittels allgemeiner klinischer Diagnostik, ggf. ergänzt um eine Doppler-Untersuchung oder Angiographie, sowie der hämodynamischen Gesamtsituation festgelegt. Als hilfreiche Maßnahme zur Abgrenzung der Prognose und zur Verlaufskontrolle hat sich die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcPO<sub>2</sub>) erwiesen. In diese Evaluation geht auch der Quotient aus dem tcPO<sub>2</sub> der Verletz-

## Crush-Verletzungen

ten durch den  $tcPO_2$  der gesunden Extremität ein.

Wie ist der Spontanverlauf bei Crush-Verletzungen?

Je nach der Schwere des Krankheitsbildes ergibt sich ein hohes Infektions- und Amputationsrisiko. Zur Abschätzung dienen die nachfolgend aufgeführten Scores.

Gustilo-Klassifikation der offenen Frakturen (Gustilo et al. 1984a u. b)

Grad	Merkmal	Infektionsrate	Amputationsrate
I	kleine Verletzung (kleiner als 1 cm)	Gering	-
II	Verletzung mit minimaler Weichteilverletzung	3%	-
IIIA	ausgeprägte Weichteilverletzung mit ausreichender Deckung des Knochens	4%	-
IIIB	keine ausreichende Weichteildeckung über dem Knochen, plastische Deckung erforderlich	52%	16%
IIIC	Arterienverletzung	42%	42%

MESS (Mangled Extremity Severity Score) nach Johansen (1990; bei Werten über 7 wird von einer Amputationswahrscheinlichkeit von 100% ausgegangen).

		Punkte
A.	<b>Knochen/Weichteilverletzung</b>	
	• Durch geringe Energie (Stich, einfache Fraktur; Schußverletzung mit geringer Geschwindigkeit)	1
	• durch mittlere Energie (offene oder Mehretagenbrüche, Luxationen)	2
	• durch hohe Energie (Schußverletzung aus nächster Nähe oder mit hoher Geschwindigkeit, Crush injury)	3
	• durch sehr hohe Energie (wie oben erwähnt, zusätzlich mit einer groben Wundkontamination und Gewebeerfetzung)	4
B.	<b>Gliedmaßenischämie</b>	
	• Pulslosigkeit oder Pulsverminderung, aber erhaltene Perfusion	1*
	• Pulslosigkeit, Parästhesie, keine kapilläre Wiederauffüllung	2*
	• Kühle, gelähmte, gefühllose Extremität <i>* doppelte Score bei Ischämiezeiten von mehr als 6 Stunden</i>	3*
C.	<b>Schock</b>	
	• systolischer RR immer über 90 mm Hg	0
	• vorübergehende Hypotension	1
	• dauerhafte Hypotension	2
D.	<b>Alter</b>	
	• unter 30	0
	• 30-50	1
		2

- über 50

*Welche prioritären Ziele gelten für die Behandlung von Crush-Verletzungen?*

Das primäre Therapieziel bildet eine schnelle Reoxygenierung des Gewebes zum Erhalt der Vitalität, so daß eine Begrenzung oder Vermeidung einer Amputation erreicht werden kann. Der Erhalt einer möglichst großen Menge des traumatisierten Gewebes mindert den anschließenden Funktionsverlust und die damit verbundene Behinderung des Patienten.

*Mit welcher Diagnostik werden die therapeutischen Ergebnisse gemessen?*

Die Vitalität des Gewebes wird am besten durch serielle klinische Untersuchungen erfaßt. Neben klinischen Parametern stellt die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung ein wesentliches Instrument zur Erfassung von Krankheitsverlauf und Gewebevitalität dar. Hierbei wird zusätzlich der BPI (bilateraler Per-

fusionsindex als Quotient aus  $tcPO_2$  der verletzten durch den  $tcPO_2$  der gesunden Extremität) erfaßt. Bouachour et al. zeigten signifikant deutlichere Anstiege beider Parameter bei Patienten mit kompletter Heilung im Vergleich zu den Patienten, die eine Gewebenekrose erlitten. Der BPI stieg bei den Patienten mit Therapieerfolgen in der Frühphase der Erkrankung zunächst nur während der HBO signifikant an und zeigte erst etwa ab der 12. Behandlung keine signifikanten Unterschiede während HBO oder Raumlufatmung.

*Wie ist die Validität, Reliabilität, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Diagnostik belegt?*

Die transkutane Messung des Sauerstoffpartialdrucks muß sachgerecht und unter standardisierten Bedingungen erfolgen. Tagesabweichungen bei Gesunden liegen im Bereich von +/- 10% vom Mittelwert.

## **Behandlungsmethoden, Notwendigkeit der HBO und erreichbare Ziele**

*Welche dieser Ziele sind (ggf. teilweise), in welchem Stadium der Crush-Verletzung mit der HBO zu erreichen?*

Die HBO ermöglicht eine Reduktion von Muskelnekrosen sowie eine Stimulierung des aeroben Stoffwechsels als wesentliche Eckpfeiler zum Erhalt der Gewebevitalität. Bouachour et al. konnten in einer placebokontrollierten doppelblind-randomisierten Studie sowohl eine Verbesserung der Wundheilung als auch eine Reduktion von wiederholten Eingriffen bei den Patienten der HBO-

Gruppe nachweisen. Die HBO wird dabei v.a. bei Patienten älter als 40 J. mit Typ III Verletzungen (s.o.) empfohlen. Die Effekte der HBO werden durch den Grad der Perfusionsstörung limitiert. Bei einer kompletten Ischämie dient sie in erster Linie der Demarkierung des vitalen vom avitalen Gewebe. Nach operativer arterieller Rekonstruktion kann die HBO zur Vermeidung von Reperfusionsschäden eingesetzt werden, wenn sie in engem zeitlichen Zusammenhang mit der Freigabe der Strombahn durchgeführt wird.

## Crush-Verletzungen

---

*Welche Methoden stehen zur Behandlung von Crush-Verletzungen grundsätzlich zur Verfügung?*

Die Behandlung einer Crush-Verletzung richtet sich nach dem Verletzungsmuster und schließt folgende Maßnahmen ein:

- Operative Eingriffe:
  - Weichteildebridement, Weichteildeckung, ggf. Amputation
  - Frakturstabilisierung
  - Sanierung von Gefäß-/Nervenverletzungen
- Lokale Wundbehandlung
- Adjuvante Antibiotikatherapie und Thromboseprophylaxe
- Ggf. Intensivtherapie

- HBO-Therapie  
*Ist angesichts der Behandlungsalternativen die HBO erforderlich und wenn ja warum?*

Die Erhaltung der Gewebewitalität bildet ein primäres Therapieziel bei Patienten mit Crush-Verletzungen. Hierzu steht mit der HBO ein sinnvolles Adjuvans zur Verfügung, solange kein kompletter Verschluss großer Arterien vorliegt. Das initiale Debridement kann somit begrenzt und primäre Amputationen können vermieden werden. Alternative Sauerstofftherapieverfahren bewirken keine ausreichende Erhöhung der Sauerstofflöslichkeit, die für die physiologischen Effekte erforderlich sind. Nur durch die HBO sind diese Werte erreichbar.

## Spezifische Wirkmechanismen der HBO

---

Die HBO wird als Adjuvans im therapeutischen Gesamtkonzept eingesetzt. Mit einem solchen Ansatz konnten insbesondere Bouachour et al. die Überlegenheit gegenüber der Standardtherapie ohne HBO nachweisen. Die Indikationsstellung richtet sich dabei nach den bereits oben dargestellten Scores.

### Experimentelle Studien

**Nylander, G. et al.: Reduction of postischemic edema with hyperbaric oxygen. *Plast. Reconstr. Surg.* (1985) 76:595-603**

Die Autoren verwendeten ein Tourniquetmodell an der anästhesierten Ratte mit einer dreistündigen Ischämiezeit. Die Ödembildung wurde über den Wassergehalt der Muskulatur erfaßt. Diejenigen Tiere mit einer hyperbaren Oxygenation nach Beendigung der Ischämie zeigten

eine hochsignifikant geringere Ödembildung.

**Nylander, G. et al.: Metabolic effects of hyperbaric oxygen in postischemic muscle. *Plastic Reconstr. Surg.* (1987) 79:91-96**

Das bereits beschriebene Tourniquetmodell an der Ratte wurde angewendet. Die Erfassung der ATP- und Phosphokreatininspiegel zeigte signifikant höhere Werte in der Gruppe der hyperbar oxygenierten Tiere. Korrespondierend zeigten diese Versuchstiere signifikant niedrigere Laktatspiegel. Die Effekte waren bei dreimaliger HBO gegenüber einer zweimaligen langfristiger ausgeprägt. Kürzere Ischämiezeiten von 1,5 Stunden führten nicht zu den beschriebenen Unterschieden, da sich hier bei den Tieren der ischämischen, aber unbehandelten Kontrollgruppe noch keine wesentliche Än-

derung der Parameter gegenüber den nichtischämischen Kontrolltieren zeigte.

**Skyhar, M.J.: Hyperbaric oxygen reduces edema and necrosis of skeletal muscle in compartment syndromes associated with hemorrhagic hypotension. J. Bone Joint Surg. (1986) 68A:1218-1224.**

Die Autoren setzten ein experimentelles Kompartimentmodell ein, in dem in Hundehinterläufen der Kompartimentdruck mittels Infusion von autologem Plasma über sechs Stunden auf 20 mmHg erhöht wurde während der arterielle Mitteldruck nach Verlust von 30% des Blutvolumens (hämorrhagischer Schock) bei 65 mmHg eingestellt wurde. Diejenigen Tiere, die innerhalb von 15 Minuten nach Beendigung der Kompartimentinfusion hyperbar oxygeniert wurden, zeigten signifikant weniger Nekrosen und Ödeme als die Kontrolltiere.

**Strauss, M.B. et al.: Reduction of skeletal muscle necrosis using intermittent hyperbaric oxygen in a model of compartment syndrome. J. Bone Joint Surg. (1983) 65A:656-662**

Im Hundemodell wurde eine Kompartimentdruckerhöhung auf 30, 60 oder 100 mmHg mittels Infusion von autologem Plasma durchgeführt. Direkt nach Beendigung der Infusion wurde ein Teil der Tiere hyperbar oxygeniert (insgesamt drei Applikationen). Die so behandelten Tiere zeigten signifikant weniger Nekrosen und Ödeme als die Kontrolltiere ohne HBO.

**Zamboni, W.A. et al.: Morphologic Analysis of the Microcirculation During Reperfusion of Ischemic Skeletal Muscle and the Effect of Hyperbaric Oxygen. Plastic Reconstr. Surg. (1991) 91: 1110-1123**

Im Rattenmodell wurden die Effekte von Ischämie und HBO auf die Gefäßweite der Arteriolen und Venolen sowie die endotheliale Leukozytenadhärenz mittels Intravitalmikroskopie untersucht. Die bei Kontrolltieren nach der Reperfusion zu beobachtende Vasokonstriktion der Arteriolen sowie die vermehrte Leukozytenadhärenz am Endothel der Venolen wurde durch eine hyperbare Oxygenierung während oder bis zu einer Stunde nach Beendigung der Ischämie signifikant reduziert. Die Autoren schlußfolgern, daß die HBO nach Reperfusion protektive Effekte auf die Mikrozirkulation ausübt.

**Zamboni, W. et al.: Effect of hyperbaric oxygen on neutrophil concentration and pulmonary sequestration in reperfusion injury. Arch. Surg. (1996) 131:756-760**

In Ergänzung zu den oben beschriebenen Resultaten wiesen die Autoren nach, daß der beobachtete Effekt der verminderten Leukozytenadhärenz nicht durch eine vermehrte Granulozytensequestrierung in der Lunge entsteht.

### Klinische Studien

---

Unseres Erachtens ist die folgenden Studie in Evidenzklasse I (randomisierte, prospektive Studie analog GCP-Standard und veröffentlicht gemäß Consort-Statement) einzuordnen:

**Bouachour, G. et. al.: Hyperbaric oxygen therapy in the management of crush injuries: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. J. Trauma (1996) 41:333-339**

Insgesamt 36 Patienten wurden in zwei Gruppen randomisiert, von denen eine eine adjuvante HBO-Therapie (250 kPa Gesamtdruck, 90 Minuten, zweimal täglich über 6 Tage) erhielt und die zweite einer Placebo-Applikation mit Luftatmung bei geringem Überdruck (110 kPa Gesamtdruck) zugeführt wurde. Alle 36 Patienten erhielten die gleiche Standardtherapie (Wunddebridement, ggf. Gefäßrekonstruktionen, ggf. operative oder konservative Frakturstabilisierung, ggf. plastische Rekonstruktionen, Antikoagulanzen, Antibiotika und Wundverbände). Eine komplette Heilung wurde bei 17 Patienten in der HBO- und bei 10 Patienten in der Placebo-Gruppe erreicht (signifikant  $P < 0.01$ ). Erneute chirurgische Eingriffe wie Hautlappenplastiken oder -grafts, Amputationen oder gefäßchirurgische Eingriffe wurden bei einem Patienten in der HBO- und bei 10 Patienten in der Placebo-Gruppe durchgeführt (signifikant,  $p < 0.05$ ). Bei der Analyse der Untergruppen war zu erkennen, daß Patienten über 40 Jahre im besonderen Maße von der HBO-Therapie profitierten, da eine Heilung hier bei 9 von 10 Patienten erzielt wurde, während in der Placebo-Gruppe bei 8 von 14 Patienten ein Mißerfolg zu verzeichnen war (signifikant,  $p < 0.05$ ). Die Autoren empfehlen

die adjuvante HBO-Therapie insbesondere bei schweren Crush-Verletzungen (Grad III) der Extremitäten bei Patienten, die älter als 40 Jahre sind.

Unseres Erachtens ist die folgende Studie in Evidenzklasse IIa (andere prospektive Interventionsstudien) einzuordnen:

**Agaian, N.A., Khagulian G.I. : Hyperbaric oxygenation in the treatment of crush syndrome. Khirurgiia Mosk. (1991):120-125**

Bei 60 Patienten mit Crush-Verletzungen wurde eine HBO-Therapie eingesetzt. Die Autoren beschreiben deutliche Vorteile im Vergleich zu einer Kontrollgruppe aus 50 Patienten und nennen eine Reduktion der Gewebhypoxie, eine schnellere Normalisierung der Nierenfunktion - insbesondere bei Patienten mit einer Niereninsuffizienz - eine Verminderung der Toxinämie und schnelle regenerative Prozesse als Effekte. Letztere manifestierten sich als Rückbildung der Anämie, Myoglobinämie und des Spiegels mittelschwerer Moleküle im Blut.

Unseres Erachtens sind die folgenden Studien in Evidenzklasse IIc (zeitlicher oder räumliche Vergleiche mit bzw. ohne die zu untersuchende Intervention) einzuordnen:

**Loder, R.E.: Hyperbaric oxygen therapy in acute trauma. Ann. R. Coll. Surg. Engl. (1979) 61:472-473**

Die Autoren behandelten 71 Patienten mit traumatischen Ischämien nach Extremitätenverletzungen. Bei 53 Patienten wurde eine komplette und bei 10

partielle Heilung dokumentiert. In 8 Fällen konnte die Ischämie nicht erfolgreich behandelt werden. Bei 20 Patienten mit Ischämien der kompletten Extremität konnte bei 50% eine komplette und bei 33% eine partielle Heilung erreicht werden.

**Szekely, O., Szanto, G., Takats, A.: Hyperbaric oxygen therapy in injured subjects. *Injury* (1973) 4:294-300**

Es wurden 19 Patienten mit schweren Extremitätenverletzungen, Gefäßverletzungen, ausgedehnten Hautdefekten und Anaerobierinfektionen nach offenen Frakturen behandelt. Bei 68% der Patienten war die Behandlung vorteilhaft. Im Mittel wurden 10 Behandlungen pro Patient durchgeführt.

**Lee, H.C. et al.: Hyperbaric oxygen therapy in clinical application. A report of a 12-year experience. *Chdn. Med. J. (Taipei)* (1989) 43:307-16**

Es wurden 85 Patienten mit Crush-Verletzungen behandelt, davon waren 68 männlich und 17 weiblich. Das Durchschnittsalter betrug 31,6 +/- 13,9 Jahre. Es wurden zwischen 2 und 81 Behandlungen durchgeführt, durchschnittlich 16,8 +/- 15,8. 54,1 % der Patienten wurden geheilt, 35,3 % gebessert und 9,4 % nicht gebessert. Die Autoren führen eine niedrige Komplikationsrate an.

**Shupak, A. et al.: Hyperbaric oxygenation in acute peripheral posttraumatic ischemia. *J. Hyperbaric Med.* (1987) 2:7-14**

Es wurden insgesamt 13 Patienten mit posttraumatischen Ischämien der unteren Extremitäten behandelt. Die Verzögerung zwischen Unfall und chirurgischer Behandlung betrug durchschnittlich 11,5 Stunden. Eine Gliedmaßenerhaltung wurde bei 8 Patienten erreicht. Bei 4

Patienten wurde eine Amputation erforderlich (3 Patienten wurden unterhalb des Knies, einer oberhalb des Knies amputiert), das Amputationsniveau konnte jedoch distalwärts verschoben werden.

**Akgül, E., Cimbit, M.: HBO treatment in 11 crush injury cases. *Proceedings of the International Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Medicine, Mailand Sept. 1996***

Es wurden 11 Patienten im Alter zwischen 4 und 39 Jahren mit Crush-Verletzungen behandelt. Der MESS Score lag bei allen Patienten über 7. Dieser Wert ist nach Literaturangaben mit einem Amputationsrisiko von 100% belastet. Eine komplette Ausheilung konnte bei sieben Patienten erzielt werden, drei Patienten wurden amputiert und ein Patient verstarb an einer Sepsis.

**Zonis, Z. et al.: Salvage of the severely injured limb in children: a multidisciplinary approach. *Pediatric Emergency Care* (1995) 11: 176-178**

Zonis et al. beschreiben die erfolgreiche Behandlung zweier Kinder mit offenen Frakturen der Kategorie IIIc unter Ein-schluß der HBO. Die Autoren betonen die Bedeutung eines interdisziplinären Vorgehens. Es wird darauf hingewiesen, daß eine sorgfältige Begleitung der Kinder während der HBO notwendig ist und sehr kleine Kinder ggf. Tympanotuben zum Druckausgleich des Mittelohrs benötigen.

## Crush-Verletzungen

Unseres Erachtens sind die folgenden Quellen in Evidenzklasse III (Meinung anerkannter Autoritäten aufgrund von klinischer Erfahrung, Berichte von Expertenkomitees) einzuordnen:

**Mathieu, D. et al.: Post-traumatic limb ischemia: Prediction of final outcome by transcutaneous oxygen measurements in hyperbaric oxygen. J. Trauma (1990) 30:307-314**

Die Autoren ermittelten signifikant höhere transkutan gemessene Sauerstoffpartialdrücke bei Patienten mit posttraumatischer Extremitätenischämie, bei denen eine Amputation vermieden werden

konnte. Eine Diskrimination war jedoch nur durch eine Sauerstoffatmung bei 250 kPa Gesamtdruck möglich. Die Autoren stellen dieses Prozedere als wichtige diagnostische Maßnahme heraus und postulieren eine mögliche Rolle der HBO-Therapie bei Grenzfällen, wobei hier weitere Studien gefordert wurden.

**Undersea Hyperbaric Medical Society (UHMS): a committee report. UHMS, Kensington, MD, USA 1996:15-18**

Die UHMS faßt die bisherigen Therapieergebnisse zusammen und empfiehlt die nachfolgend genannten Indikationskriterien (Scores s. u.).

Indikationsstellung zur HBO-Therapie gemäß MESS-Score (UHMS 1996)

MESS Score	HBO-Indikationen
<b>7, ggf. 8</b>	bei allen Patienten, bei denen Alter, Hypotension und milde bis mäßige Ischämie signifikant zum Score beitragen
<b>5, 6</b>	bei Vorliegen von Vorerkrankungen wie z. B. Diabetes, AVK, Kollagenosen ("Compromized hosts")
<b>3, 4</b>	wenn schwere Vorerkrankungen im fortgeschrittenen Stadium der oben erwähnten Bedingungen vorliegen ("Severely compromised hosts")

Indikationsstellung zur HBO-Therapie gemäß der Gustilo-Klassifikation (UHMS 1996)

Typ	HBO-Indikationen
<b>I</b>	Keine
<b>II</b>	Bei Vorerkrankungen wie Diabetes, fortgeschrittene Gefäßerkrankung, Kollagenosen etc. ("Compromized hosts")
<b>III A</b>	Wie bei den Typ II-Frakturen
<b>III B</b>	Bei allen Verletzungen
<b>III C</b>	Bei allen Verletzungen



**Perret, C. (Ed.): 1<sup>st</sup> European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine- Recommendations of the jury, Lille (F), 19.-21.September 1994**

Die Jury macht folgende Aussagen zum Einsatz der HBO bei Crush-Verletzungen:

**Akute Weichteilgewebe-Ischämie:**

- HBO wird bei Extremitäten-Crush-Verletzung und posttraumatischen Reperfusionssyndromen empfohlen (HBO ist "recommended").
- HBO steht nach gefäßchirurgischen Reperfusionssyndromen zur Wahl (HBO ist "strongly recommended").
- HBO wird bei gefährdeten Hauttransplantaten und myo-cutanen Lappen empfohlen (HBO ist "recommended").
- HBO steht bei der Reimplantation traumatisch amputierter Gliedmaßen zur Wahl (HBO ist "strongly recommended").
- In jedem Fall wird die Messung des transcutanen Sauerstoffdruckes als Hinweis auf die Indikationsstellung und auf den Behandlungsverlauf empfohlen (HBO ist "recommended").

**Welslau W, Tirpitz D. Anerkannte HBO-Indikationen:**

**HBO-Indikationsliste der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V., Caisson, Mitteilungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V., 11 (1997):23-24**

In der aktuellen Liste der empfohlenen Indikationen für die HBO-Therapie wird unter Punkt 5 ausgeführt "ausgedehnter und/oder tiefgehender Weichteilschaden mit drohendem Gewebsuntergang".

**Vasseur M. Indikationen zur Sauerstofftherapie unter hyperbaren Bedingungen (HBO). MDK Baden-Württemberg, Freiburg, Juli 1996**

In dieser Empfehlung des Medizinischen Dienstes der Krankenversicherung wird als HBO-Indikation genannt: "Crush-Verletzungen und andere skute traumatische Ischämien".

## **Praktischer Einsatz der HBO**

*Ist die HBO alternativ oder additiv anzuwenden?*

Die wesentlichen Therapiemaßnahmen bei Crush-Verletzungen sind chirurgischer Art. Die chirurgische Versorgung stellt somit die Standardtherapie dar, die HBO-Therapie ist additiv dazu durchzuführen.

*Werden andere Methoden hierdurch überflüssig?*

Eindeutig nachgewiesen ist eine Verringerung von Revisionseingriffen unter adjuvanter HBO. Auch eine bessere Rehabilitation des Patienten erscheint auf Grund der besseren Heilungsergebnisse in der Frühphase denkbar zu sein.

## Crush-Verletzungen

---

*Welches Therapieschema muß in welchem Stadium der Crush-Verletzung eingesetzt werden und wie ist dieses belegt?*

Das international angewandte HBO-Behandlungsschema geht auf Marx zurück und besteht während der Akutphase aus zwei Behandlungen täglich bei 240 kPa über jeweils 90 Minuten über 6 Tage. Entsprechend dem Allgemeinzustand des Patienten und der Wundsituation sind im Einzelfall Abweichungen möglich (Bouachour, Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin 1996, Verband Deutscher Druckkammerzentren 1998).

*Ist die Behandlung von Crush-Verletzungen mittels HBO stationär durchzuführen oder kann sie auch ambulant erfolgen (in welchem Stadium)?*

Die Behandlung von Patienten mit Crush-Verletzungen wird gemäß den Erfahrungen durch die bisherigen Studien dem stationären Bereich vorbehalten bleiben. Eine Behandlung in räumlich angebundenen, mit ambulanten Status arbeitenden Druckkammerzentren ist jederzeit möglich.

## Wirtschaftlichkeit

---

*Wie hoch sind die Kosten der Behandlung eines Patienten mit der HBO, ggf. in Abhängigkeit von der apparativen Ausstattung und Auslastung der Druckkammer?*

Das bisher schlüssigste Therapiekonzept zur Anwendung der HBO wurde in der oben dargestellten Studie von Bouachour et al. angewendet. In der Akutphase wurden 12 HBO-Behandlungen appliziert, was beim momentanen Kostenniveau zusätzliche Therapiekosten in Höhe von ca. 9.000 DM in der Akutphase (Liegendpatient) bedeuten würde.

*Wie sind die Kosten im Vergleich zu etablierten Methoden?  
und  
Welche Kosten können durch den adjuvanten Einsatz der HBO vermieden werden?*

Die HBO erhöht die Therapiekosten jedes behandelten Patienten im Akutstadium um einen im Vergleich zu den Gesamtkosten in dieser Phase geringen Prozentsatz. Eine deutliche Verkürzung der Liegezeiten und Senkung der Folgekosten durch Rehabilitation, Arbeitsausfall und Erwerbsunfähigkeit ist jedoch zu erwarten, so daß das Verfahren als insgesamt kosteneffektiv angesehen werden kann.

## Literatur

1. Aгаian, N. A., Khagulian, G. I. : Hyperbaric oxygenation in the treatment of crush syndrome. Khirurgiia Mosk. (1991):120-125

2. Akgül, E., Cimbit, M.: HBO treatment in 11 crush injury cases. Proceedings of the International Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Medicine, Mailand Sept. 1996
3. Bouachour, G. et al.: Hyperbaric oxygen therapy in the management of crush injuries: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *J. Trauma* (1996) 41:333-339
4. Clarke, D.: Interpretation of transcutaneous Oximetry. 1. Traunsteiner HBO-Workshop (Kongressband), 18.01.97
5. Coleman, L. S. et al. (1986): Reproducibility of tcPO<sub>2</sub> measurements in normal volunteers. *Clin. Phys. Physiol. Measurements* 7: 259-263
6. Gustilo, R. et al.: Problems in the management of type III (severe) open fractures: A new classification of type III open fractures. *J. Trauma* (1984) 24:742-746
7. Gustilo, R., Williams, D. N.: The use of antibiotics in the management of open fractures. *Orthopaedics* (1984) 7:1617-1619
8. Johansen, K. et al.: Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J. Trauma*. (1990) 30:568
9. Lee, H. C. et al.: Hyperbaric oxygen therapy in clinical application. A report of a 12-year experience. *Chdn. Med. J. (Taipei)* (1989) 43:307-16
10. Loder, R. E.: Hyperbaric oxygen therapy in acute trauma. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* (1979) 61:472-473
11. Mathieu, D. et al.: Post-traumatic limb ischemia: Prediction of final outcome by transcutaneous oxygen measurements in hyperbaric oxygen. *J. Trauma* (1990) 30:307-314
12. Nylander, G. et al.: Metabolic effects of hyperbaric oxygen in postischemic muscle. *Plastic Reconstr. Surg.* (1987) 79:91-96
13. Nylander, G. et al.: Reduction of postischemic edema with hyperbaric oxygen. *Plast. Reconstr. Surg.* (1985) 76:595-603
14. Perret, C. (Ed.): 1<sup>st</sup> European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine- Recommendations of the jury, Lille (F), 19.-21.September 1994
15. Shupak, A. et al.: Hyperbaric oxygenation in acute peripheral posttraumatic ischemia. *J. Hyperbaric Med.* (1987) 2:7-14
16. Skyhar, M. J.: Hyperbaric oxygen reduces edema and necrosis of skeletal muscle in compartment syndromes associated with hemorrhagic hypotension. *J. Bone Joint Surg.* (1986) 68A:1218-1224.
17. Strauss, M. B. et al.: Reduction of skeletal muscle necrosis using intermittent hyperbaric oxygen in a model of compartment syndrome. *J. Bone Joint Surg.* (1983) 65A:656-662
18. Strauss, M. B.: HBO-Therapie als Ergänzung der Behandlung von Crush-Verletzungen, Kompartmentsyndrom und traumatischen Ischämien. HBO-Workshop Homburg 15.03.1997, Vortragsband, Archimedes-Verlag, Strande 1997
19. Strauss, M. B.: Role of hyperbaric oxygen therapy in acute ischemias and crush injuries - an orthopedic perspective. *HBO Review* (1981) 2: 87-106
20. Szekely, O., Szanto, G., Takats, A.: Hyperbaric oxygen therapy in injured subjects. *Injury* (1973) 4:294-300
21. Undersea Hyperbaric Medical Society (UHMS): a committee report. UHMS, Kensington, MD, USA 1996:15-18

## **Crush-Verletzungen**

---

22. Vasseur, M.: Indikationen zur Sauerstofftherapie unter hyperbaren Bedingungen (HBO). MDK Baden-Württemberg, Freiburg, Juli 1996
23. Welslau, W, Tirpitz, D.: Anerkannte HBO-Indikationen: HBO-Indikationsliste der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V.. Caisson, Mitteilungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V.. 11 (1997):23-24
24. Zamboni, W. et al.: Effect of hyperbaric oxygen on neutrophil concentration and pulmonary sequestration in reperfusion injury. Arch. Surg. (1996) 131:756-760
25. Zamboni, W. A. et al.: Morphologic Analysis of the Microcirculation During Reperfusion of Ischemic Skeletal Muscle and the Effect of Hyperbaric Oxygen. Plastic Reconstr. Surg. (1991) 91: 1110-1123
26. Zonis, Z. et al.: Salvage of the severely injured limb in children: a multidisciplinary approach. Pediatric Emergency Care (1995) 11: 176-178