

Erholung der Hörschwelle nach Knalltrauma durch Feuerwerkskörper und Signalpistolen

Mehrere Tausend Menschen erleiden jedes Jahr ein Knall- oder Explosionstrauma durch Feuerwerkskörper. Für die Einschätzung der gesundheitlichen und gesundheitspolitischen Bedeutung, für die Beratung von Patienten z. B. in Bezug auf die Prognose und für den Vergleich verschiedener Therapieformen sind Kenntnisse über den Verlauf der Erholung bzw. über bleibende Folgen wichtig. Im Rahmen einer prospektiven und einer retrospektiven Untersuchung von Patienten mit Knalltrauma durch Feuerwerkskörper, welche sich in den Jahren 1995 bis 2002 an einer deutschen Universitätsklinik vorstellten, wurde die Erholung der Hörschwelle über einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren beobachtet. Entsprechend der uns vorliegenden vorläufigen Ergebnisse erholte sich bei einigen Patienten die Hörschwelle trotz ausgeprägtem anfänglichem Hörverlust im Reintonaudiogramm rasch innerhalb von wenigen Tagen bis Wochen. Der Erholungsprozess kann jedoch über mehrere Monate oder sogar bis zu einem Jahr andauern. Sechs Monate bis zwei Jahre nach dem Trauma litt trotz früh einsetzender Therapie noch mindestens ein Drittel aller in die Studie eingeschlossenen Patienten an einer Hörminderung von mehr als 20 dB HL in dem für ein Knalltrauma typischen Frequenzbereich und/oder an chronischem, Knalltrauma bedingtem Tinnitus. Weitere prospektive, langfristige Beobachtungen in den nächsten Jahren sollen zeigen, ob die Quantifizierung und Parametrisierung der Hör-

schwellererholung durch mathematische Kurvenanpassung in Hinblick auf Prognoseformulierung oder für den Vergleich unterschiedlicher Therapieverfahren genutzt werden kann.

Jährlich erleiden mehrere tausend Patienten in Deutschland ein Knall- oder Explosionstrauma des Innenohres durch Feuerwerkskörper. Es gibt kaum eine HNO-ärztliche Praxis oder Klinik, welche nicht jedes Jahr Patienten mit solchen Innenohrverletzungen behandelt. In einer epidemiologischen Studie zu Gehörschäden durch Feuerwerkskörper und Signalpistolen in Deutschland wurde die besondere Gefährdung von v. a. männlichen Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen für diese Art des Freizeitlärms verdeutlicht [16].

„Jährlich erleiden mehrere tausend Patienten in Deutschland ein Knall- oder Explosionstrauma des Innenohres durch Feuerwerkskörper.“

Knall- und Explosionstraumata gehören zu den akuten akustischen Traumata im Gegensatz zur chronischen Innenohrschwerhörigkeit. Während Knalltraumata durch Schallimpulse von bis zu 2 ms Dauer mit einer Schalldruckspitze über ca. 150 dB hervorgerufen werden und zu isolierten Innenohrschäden meist mit

einer umschriebenen C₅-Senke im Tonaudiogramm führen, können Schallimpulse von länger als 2 ms und mit einer Lautstärke von mehr als ca. 150 dB Explosionstraumata erzeugen, welche im allgemeinen durch eine Mitbeteiligung des Mittelohrapparates (Trommelfellperforation, Ossikeltrauma) gekennzeichnet sind. Ein akutes Lärmtrauma hingegen entsteht durch eine Lärmexposition, die erheblich länger als beim Knall- oder Explosionstrauma anhält und auch häufig bei Neujahrsfeierlichkeiten (z. B. Diskothekenlärm) angetroffen werden kann [5].

Die Ähnlichkeit der akustischen Noxe durch Feuerwerkskörper und Signalpistolen mit dem Impulslärm von Schusswaffen und militärischen „Explosiva“ lassen Parallelen zu Untersuchungen von temporären (TTS) und permanenten Schwellenabwanderungen (PTS) nach Knalltrauma durch Schießlärm oder Explosionen vermuten. Hier existieren v. a. zahlreiche Untersuchungen an Militärpersonal [2, 9, 10, 14, 15, 17, 18, 19]. Daten von Untersuchungen zur Erholung der Hörschwelle nach Knall- und Explosionstrauma durch Silvester-Feuerwerkskörper und Signalpistolen lie-

© Springer-Verlag 2003

S. Plontke
Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
am Universitätsklinikum Tübingen,
Elfriede-Aulhorn-Straße 5, 72076 Tübingen
E-Mail: Stefan.Plontke@uni-tuebingen.de

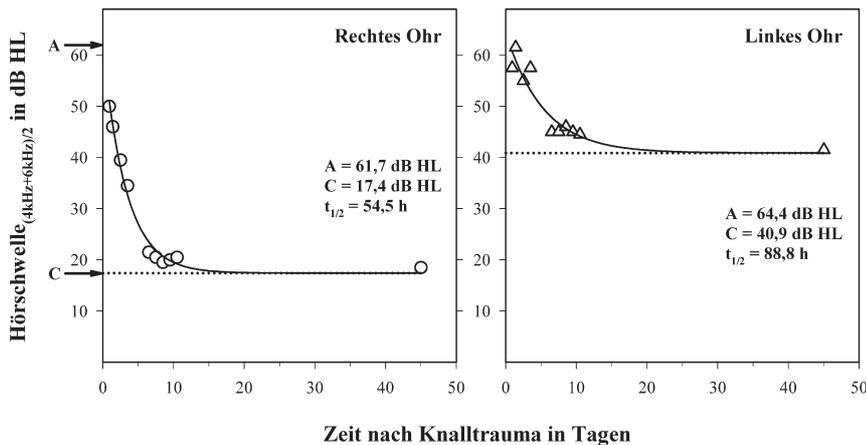


Abb. 1 ▲ Zeitlicher Verlauf der Hörschwellenbesserung nach Knalltrauma durch Feuerwerkskörper (Beispielpatient). Als Hörschwelle wird der Mittelwert aus den Schwellen bei 4 und 6 kHz auf dem betreffenden Ohr in Abhängigkeit vom Zeitpunkt nach dem Knalltrauma dargestellt. Die Anpassung einer einfachen e-Funktion (siehe Infobox) an die Daten ergibt den geschätzten anfänglichen Hörverlust (A, Mittelwert bei 4 und 6 kHz in dB HL), den geschätzten konstanten Schaden (C, in dB HL) und die Halbwertszeit für die Hörschwellenerholung ($t_{1/2}$ in Stunden). Der Patient hatte anamnestisch keinen vorbestehenden Hörschaden

gen jedoch nur spärlich vor. Für die Einschätzung der gesundheitlichen und gesundheitspolitischen Bedeutung, für die Bewertung verschiedener Therapieformen aber auch für die Beratung von Patienten, z. B. in Bezug auf die Prognose, ist die Kenntnis des Zeitverlaufes der Erholung bzw. der bleibenden Folgen zweckmäßig.

„Für die Bewertung verschiedener Therapieformen und die Einschätzung der Prognose ist die Kenntnis des Zeitverlaufes der Erholung bzw. der bleibenden Folgen bedeutsam.“

In dieser Arbeit werden erste Ergebnisse von Untersuchungen über einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren mit dem Ziel der Darstellung und Quantifizierung der Folgen einer akuten Innenohrschädigung nach Knalltrauma durch Feuerwerkskörper und Signalpistolen vorgestellt.

Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung gliederte sich in

- ▶ die deskriptive Auswertung einer prospektiven Beobachtung in den Jahren 1999–2002 und
- ▶ eine quantitative Analyse der Hörschwellenerholung unter zusätzli-

chem Einschluss der Daten einer retrospektiven Aktenauswertung der Jahre 1995–1998.

Studie I: Prospektive Untersuchung, Tinnitus und Hörminderung

Diese Gruppe umfasste Patienten mit Knalltrauma durch Feuerwerkskörper und Signalpistolen, welche prospektiv bis zu zwei Jahre mit wiederholten HNO-ärztlichen und tonaudiometrischen Untersuchungen beobachtet wurden.

Einschlusskriterien

Eingeschlossen in diese Untersuchung wurden alle Patienten, welche wegen eines erstmaligen Knalltraumas durch Feuerwerkskörper oder Signalpistolen in der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie am Universitätsklinikum Tübingen innerhalb der jeweils ersten vier Tage im Januar in den Jahren 1999 bis 2002 vorstellig wurden. Als Einschlusskriterien wurden folgende Kriterien definiert:

- ▶ neu aufgetretene subjektive Hörminderung oder subjektive Veränderung des Höreindrucks und für ein Knalltrauma typische Form des Reintonaudiogramms (C_5 -Senke) oder
- ▶ neu aufgetretener Tinnitus mit oder ohne subjektive oder objektive Hörminderung.

- ▶ Als weiteres Einschlusskriterium galt das Vorliegen von Ergebnissen mindestens einer Kontrolluntersuchung.

Patienten wurden nur eingeschlossen, wenn während des Beobachtungszeitraumes keine erneuten akustischen Traumata aufgetreten waren.

Ausschlusskriterien

- ▶ eine Kombination verschiedener Ursachen der Schädigung, wie z. B. Exposition mit Dauerlärm (z. B. DISCO) im Sinne eines akuten Lärmtraumas und zusätzlichem Impulslärm durch Feuerwerkskörper,
- ▶ anamnestisch bekannte oder durch vorliegende Voraudiogramme audiometrisch nachgewiesene, vorbestehende chronische Innenohrschwerhörigkeit.
- ▶ wiederholtes Knalltrauma,
- ▶ eindeutige Explosionstraumata, gekennzeichnet durch Mitbeteiligung des Mittelohrapparates (Trommelfellperforation, Gehörknöchelchenluxation).

Analyse der Beobachtungsergebnisse

Die Analyse der Beobachtungsergebnisse für diese Gruppe erfolgte in Form einer deskriptiven Statistik für die Parameter Tinnitus und Hörschwelle. Waren beide Ohren betroffen, wurde nur das stärker betroffene Ohr beschrieben. Für die Hörschwelle wurde die durchschnittliche Hörschwelle bei 4 und 6 kHz in dB HL betrachtet. Die klassische C_5 -Senke beim Knalltrauma beschreibt zwar definitionsgemäß den Hörverlust beim 4 kHz-Messpunkt des Reintonaudiogramms, unserer Erfahrung nach zeigt sich nach Knall- oder Explosionstrauma jedoch nicht selten ein maximaler Hörverlust bei 6 kHz. Deshalb wurde als Parameter für den Hörverlust nicht die Hörschwelle bei 4 kHz sondern der Mittelwert der Hörschwelle bei 4 und 6 kHz gewählt. Für die Untersuchungen wurde als Zeitpunkt jeweils ein Untersuchungstermin zwischen

- ▶ dem 0. und 4. Tag („Erstvorstellung“, erster verfügbarer Befund dieses Zeitraumes),
- ▶ dem 5. und 14. Tag („Kontrolle früh“),
- ▶ der 6. und 16. Woche („Langzeitkontrolle I“) und

dem 6. Monat und 24. Monat („Langzeitkontrolle II“, jeweils letzter verfügbarer Befund dieses Zeitraumes) gewählt.

Studie II: Quantitative Analyse der Hörschwellerholung

Einschlusskriterien

Da die audiometrischen Kontrolluntersuchungen bei den verschiedenen Patienten zwar in ähnlichen Zeiträumen erfolgten, die Zeitdauer seit dem Knalltrauma für die einzelnen Kontrolltermine jedoch nicht exakt übereinstimmten, ist es sinnvoll, die Erholung der Hörschwelle mathematisch zu beschreiben. Dazu umfasste diese Gruppe zusätzlich zu den in der prospektiven Untersuchung beobachteten Patienten auch Patienten aus einer retrospektiven Aktenauswertung aus den Jahren 1995 bis 1998. Hier wurden Patienten eingeschlossen, welche in unserer Klinik wegen eines Knalltraumas durch Silvester-Feuerwerkskörper oder Signalpistolen behandelt wurden und von welchen mindestens vier Audiogramme an unterschiedlichen Untersuchungstagen vorlagen.

Ausschlusskriterien

Neben den oben bereits genannten Ausschlusskriterien wurden zusätzlich diejenigen Patienten ausgeschlossen, wel-

che als akute Gehörschädigung nur ein Ohrgeräusch aufwiesen, also keine subjektive oder objektive Hörschwellenverschlechterung >10dB HL am Erstuntersuchungstag vorlag. Für die Hörschwellerholung wurde aus den oben genannten Gründen ebenfalls die durchschnittliche Hörschwelle bei 4 und 6 kHz betrachtet. Bei beidseitiger Hörminderung durch Knalltrauma wurden auch beide Ohren für die Quantifizierung herangezogen.

Die Hörschwellerholung wurde durch eine Exponentialfunktion (siehe Infobox) beschrieben, die an die Daten eines jeden Patienten angepasst wurde.

Beschreibung der Hörschwellerholung durch eine Exponentialfunktion

$$HL = C + (A - C) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t}$$

Die Parameter beschreiben quantitativ die Hörschwellerholung, wobei A den initialen Hörverlust, $t_{1/2}$ die Zeit, in welcher die Hälfte der Besserung eintrat, und C die bleibende oder „konstante“ Hörschwelle darstellen, (HL=Hörschwelle, Abb. 1).

Hervorgehoben werden muss bei der verwendeten Exponentialfunktion, dass es sich beim initialen (A) und bleibenden Hörverlust (C) um berechnete Parameter aus der Kurvenanpassung handelt (Abb. 1). Wenn die Kurvenanpassung für den initialen Hörverlust (A) Schätzwerte größer als 130 dB HL ergab, wurde der Wert auf 130 dB HL definiert.

Für die Kurvenanpassung wurde das Softwarepaket JMP (Version 4.0.4, SAS Institute Inc., Cary NC 2001) verwendet.

Alle Patienten, deren audiologische Befunde hier beschrieben werden, erhielten eine stationäre, intravenöse Therapie mit Dextran 40/Procain-HCl über zehn bzw. fünf Tage.

Ergebnisse

Studie I: Prospektive Untersuchung, Tinnitus und Hörminderung

Erstvorstellung

Im Erfassungszeitraum stellten sich insgesamt 33 Patienten mit einem Knalltrauma durch Silvester-Feuerwerkskörper oder Signalpistolen in der Tübinger Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik vor (Tabelle 1, genaue Ein- und Ausschlusskriterien siehe Methode). Von diesen Patienten klagten dreißig über akute Ohrgeräusche. Die anderen drei Patienten wiesen bei einer ausgeprägten C₅-Senke im Reintonaudiogramm keinen Tinnitus auf. Bei der Erstvorstellung zeigten 29 (88%) aller 33 Patienten eine Innenohrschwerhörigkeit von 20 dB HL oder mehr in dem für ein Knalltrauma typischen Frequenzbereich (Mittelwert bei 4 und 6 kHz) mit oder ohne begleitenden Tinnitus, während die anderen vier Patienten an einem audiometrisch erfassten Innenohrverlust von weniger als 20 dB

Tabelle 1
Deskriptive Darstellung der Erholung von Hörschwelle und Tinnitus nach Knall- oder Explosionstrauma durch Feuerwerkskörper oder Signalpistolen

	Tinnitus neu ^a	Tongehörschwelle in dB HL (HL _{4 kHz} + HL _{6 kHz})/2 ^b N=33				
		<10 dB HL	10–19 dB HL	20–29 dB HL	30–49 dB HL	≥50 dB HL
Erstvorstellung (0–4 Tage)	30 (100%)	3 (9%)	1 (3%)	3 (9%)	12 (36%)	14 (42%)
Kontrolle früh (5–14 Tage)	22 (73%)	5 (15%)	8 (24%)	11 (33%)	4 (12%)	2 (6%)
Langzeitkontrolle I (6–16 Wochen)	12 (40%)	12 (36%)	6 (18%)	3 (9%)	2 (6%)	1 (3%)
Langzeitkontrolle II (6–24 Monate)	8 (27%)	14 (42%)	4 (12%)	5 (15%)	1 (3%)	0 (0%)

^aDie Prozentangaben für Tinnitus beziehen sich auf die Gesamtzahl der Patienten mit Tinnitus bei der Erstvorstellung, n=30. ^bDie Prozentangaben für die Hörschwelle beziehen sich auf die Gesamtzahl der eingeschlossenen Patienten, n=33. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nicht von allen Patienten Daten zu allen Beobachtungszeitpunkten vorliegen ("lost to follow up"), sind diese Prozentangaben Mindestangaben. Der tatsächliche Prozentsatz der Beschwerden und Befunde liegt demnach möglicherweise höher.

HL litten. Bei 26 (79%) der 33 Patienten betrug die Hörschwelle 30 dB HL oder mehr und bei 14 (42%) der 33 Patienten mindestens 50 dB HL auf dem betroffenen bzw. auf dem schwerer betroffenen Ohr (Tabelle 1).

Erste Kontrolle

Zur ersten Kontrolluntersuchung fünf bis 14 Tage nach Knalltrauma („Kontrolle früh“) erschienen drei der 33 eingeschlossenen Patienten nicht, so dass für diesen Zeitraum Ergebnisse tonaudiometrischer Kontrolluntersuchungen von 30 Patienten vorlagen.

Die Anzahl der Patienten mit Hörverlusten ≥ 20 dB HL hatte sich zu diesem Zeitpunkt auf 17 Patienten reduziert. Sechs Patienten wiesen eine Hörminderung von mehr als 30 dB und zwei Patienten eine Hörminderung von mehr als 50 dB auf. Bezogen auf die Zahl der Patienten, von welchen Daten tonaudiometrischer Untersuchungen zu diesem Zeitpunkt vorlagen ($n=30$), betrug der Anteil der Patienten mit Hörverlusten ≥ 20 dB HL 17/30 (57%), ≥ 30 dB HL 6/30 (20%) und ≥ 50 dB HL 2/30 (7%). Bezogen auf die Gesamtzahl ($n=33$) der eingeschlossenen Patienten betrug der Anteil der Patienten mit dokumentierten Hörverlusten ≥ 20 dB HL 17/33 (52%), ≥ 30 dB HL 6/33 (18%) und ≥ 50 dB HL 2/33 (6%).

Von den 30 Patienten die initial über einen Knalltrauma-bedingten akuten Tinnitus klagten, machten zum Zeitpunkt der ersten Kontrolluntersuchung („Kontrolle früh“) 26 Patienten Angaben zu ihren Ohrgeräuschen. An Tinnitus litten zu diesem Zeitpunkt noch 22/26 (85%) bzw. 22/30 (73%).

Langzeitkontrolle I

Sechs bis sechzehn Wochen nach dem Trauma („Langzeitkontrolle I“) erschienen 24 der 33 eingeschlossenen Patienten zur tonaudiometrischen Kontrolluntersuchung. Bezogen auf die Zahl der Patienten, von welchen Daten tonaudiometrischer Untersuchungen zu diesem Zeitpunkt vorlagen ($n=24$), betrug der Anteil der Patienten mit Hörverlusten ≥ 20 dB HL 6/24 (25%), ≥ 30 dB HL 3/24 (12%) und ≥ 50 dB HL 1/24 (4%). Bezogen auf die Gesamtzahl ($n=33$) der eingeschlossenen Patienten betrug der Anteil der Patienten mit dokumentierten Hörverlusten ≥ 20 dB HL

6/33 (18%), ≥ 30 dB HL 3/33 (9%) und ≥ 50 dB HL 1/33 (3%).

Zu ihren Ohrgeräuschen machten sechs bis sechzehn Wochen nach dem Trauma noch 22 der initial 30 von akutem Tinnitus betroffenen Patienten Angaben. Weiter an Tinnitus litten zu diesem Zeitpunkt noch 12/22 (55%) bzw. 12/30 (40%).

Langzeitkontrolle II

Sechs Monate bis zwei Jahre nach dem Trauma („Langzeitkontrolle II“) lagen ebenfalls von 24 Patienten Daten tonaudiometrischer Kontrolluntersuchungen vor. Bezogen auf diese Zahl von Patienten ($n=24$), betrug der Anteil der Patienten mit Hörverlusten ≥ 20 dB HL 6/24 (25%) und ≥ 30 dB HL 1/24 (4%). Bei keinem der Patienten, von welchem zu diesem Zeitpunkt Ergebnisse tonaudiometrischer Kontrolluntersuchungen vorlagen, fand sich ein Hörverlust von ≥ 50 dB HL. Bezogen auf die Gesamtzahl ($n=33$) der in die Studie eingeschlossenen Patienten betrug der Anteil der Patienten mit dokumentierten Hörverlusten ≥ 20 dB HL 6/33 (18%) und ≥ 30 dB HL 1/33 (3%). Dabei ist hervorzuheben, dass bei einigen Patienten auch noch mehrere Monate nach dem Knalltrauma deutliche Verbesserungen der Hörschwelle beobachtet werden konnten.

Angaben zu Ohrgeräuschen lagen zum Zeitpunkt der „Langzeitkontrolle II“ von 23 Patienten vor. Die Zahl ist größer als bei der „Langzeitkontrolle I“, da einige Patienten, welche zwar zur Langzeitkontrolle II, nicht jedoch zur Lang-

zeitkontrolle I erschienen waren und inzwischen nicht mehr unter Ohrgeräuschen litten, z. T. keine genauen Angaben über den Zeitpunkt des Verschwindens des Tinnitus machen konnten. An seit mindestens sechs Monaten dauerhaftem, Knalltrauma bedingtem Tinnitus litten noch 8/23 (35%) bzw. 8/30 (27%).

„Bei einigen Patienten konnten auch noch mehrere Monate nach dem Knalltrauma deutliche Verbesserungen der Hörschwelle beobachtet werden.“

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass nach einem Beobachtungszeitraum von 6 bis 24 Monaten noch mindestens 11 (33%) aller 33 in die Studie eingeschlossenen Patienten an Knalltrauma bedingtem, chronischem Tinnitus und/oder an einer Hörminderung von ≥ 20 dB HL in dem für ein Knalltrauma typischen Frequenzbereich litten. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nicht von allen Patienten Daten zu diesem Beobachtungszeitpunkt vorlagen („lost to follow up“), sind diese Angaben sehr konservativ. Der tatsächliche Prozentsatz chronischer, Knalltrauma bedingter Hörminderung bzw. Tinnitus liegt möglicherweise höher.

Studie II: Quantitative Analyse der Hörschwellerholung

Insgesamt lag aus dem Beobachtungszeitraum (1995–2002) von 37 Ohren von

Tabelle 2
Ergebnisse der Quantifizierung der Hörschwellerholung durch Parameter einer e-Funktion

Parameter	MW	SD	Median	Quantile			
				2,5%	25%	75%	97,5%
Initialer Hörverlust in dB HL (A)	71,0	31,8	64,4	17,1	47,4	90,6	130,0
Bleibender Hörverlust in dB HL (C)	16,4	11,9	14,0	-0,15	8,0	21,4	52,7
Halbwertszeit der Hörschwellerholung in Stunden ($t_{1/2}$)	70,4	94,5	45,0	2,2	21,6	80,8	547,8

(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

33 Patienten eine ausreichende Anzahl Audiogramme zur Beurteilung der Erholung des Hörvermögens vor (im Mittel: 7, Minimum: 3, Maximum: 11; Tabelle 2).

Für 31 (84%) der 37 Ohren lies sich die Verbesserung der Hörschwelle mit der oben genannten Gleichung beschreiben (siehe Infobox). Ein Streuungsmaß zur Beurteilung der Güte der Kurvenanpassung liess sich nur für 27 Ohren von 25 Patienten berechnen, da für vier Ohren von zwei Patienten nur drei Audiogramme vorlagen. Nach Anpassung der Gleichungs-Kurve an die audiometrischen Daten eines jeden Patienten ergab sich für alle beobachteten Ohren ein mittlerer kalkulierter initialer Hörverlust (A) von 71,0 dB HL. Die Halbwertszeit für die Besserungsrate ($t_{1/2}$) betrug im Mittel 70,4 Stunden und die kalkulierte, auf Dauer verbleibende Hörminderung (C) im Mittel 16,4 dB HL. Medianwerte, Standardabweichungen und Quantile (2,5%, 25%, 75% und 97,5%) sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Diskussion

Die Ergebnisse der hier vorgestellten longitudinalen Beobachtung über bis zu zwei Jahre nach Knalltrauma durch Silvester-Feuerwerkskörper oder Signalpistolen zeigen, dass bei einem Teil der Patienten eine relativ rasche Erholung der Hörschwelle auf Werte ≤ 20 dB HL (Durchschnittswert der Hörschwelle bei 4 und 6 kHz) bereits in den ersten Tagen nach Knalltrauma auftritt. Bemerkenswert ist jedoch, dass deutliche Verbesserungen der Hörschwelle auch nach mehreren Wochen und sogar Monaten auftreten können (Tabelle 1 und 2). Dies stimmt mit den Erfahrungen aus Langzeituntersuchungen bei Soldaten mit Knalltrauma durch Schießlärm überein [14,18].

In der hier vorgestellten Studie lieten bei der dritten Kontrolluntersuchung (Langzeitkontrolle II) noch mindestens 11/33 (33%) aller in die Studie eingeschlossenen Patienten an einer Hörminderung von ≥ 20 dB HL oder/und an störenden Ohrgeräuschen als Folge des Knalltraumas. Hervorgehoben werden muss, dass von circa einem Viertel der Patienten (8 von 33) keine audiometrischen Daten der dritten Kontrolluntersuchung (Langzeitkontrolle II)

vorlagen. Bei den Prozentangaben über bleibende Hörminderung und bleibenden Tinnitus (Tabelle 1) handelt es sich demnach um Mindestwerte. Die Angabe der Hörminderung als Mittelwert der Hörschwelle bei den Frequenzen 4 und 6 kHz führt ebenfalls zu eher konservativen Angaben in Bezug auf das Ausmaß des Knalltraumas.

Andere epidemiologische Studien zeigen eine ähnlich hohe Anzahl bleibender Hörschwellenabwanderungen nach akustischem Trauma durch Feuerwerkskörper. Bei Teilnehmern des indischen „Deepawali“-Festes, bei welchem traditionell Feuerwerkskörper ausgiebig Verwendung finden, fand sich bei jedem vierten Patienten mit Feuerwerkskörper bedingtem Hörverlust eine bleibende Hörschwellenabwanderung von ≥ 30 dB bei 4 und 6 kHz [1].

Die in der vorliegenden Untersuchung z. T. beobachteten, langen Erholungszeiten (Tabelle 1 und 2) sind besonders in der Hinsicht von Bedeutung, dass nach einer temporären Schwellenabwanderung (TTS), welche länger als 24 Stunden bis zur Rückbildung benötigt, das Risiko einer dauernden Hörschwellenverschlechterung (PTS) bei erneuter Exposition mit der gleichen akustischen Noxe erhöht ist [13]. Daraus ergibt sich für diese Patienten ein erhöhtes Risiko, bei einem gleichen Knalltrauma an Stelle einer erneuten TTS eine bleibende Innenohrschwerhörigkeit zu erleiden. Auch ist bekannt, dass zwischen dem Ausmaß von wiederholten TTS und einer resultierenden PTS prinzipiell eine deutliche Korrelation besteht [8]. Allerdings gelten diese Aussagen nur für den gleichen Frequenzbereich und für gleiche Lärmstimuli. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Lärmempfindlichkeit des Innenohres bei verschiedenen Frequenzbereichen und für verschiedene Lärmarten (Impulslärm, Dauerlärm) unterschiedlich hoch ist. Insofern kann nicht unbedingt geschlossen werden, dass sich aus hohen Werten für die temporäre Schwellenabwanderung oder aus einer langen Erholungszeit für die TTS nach Trauma durch Impulslärm durch Feuerwerkskörper oder Signalpistolen (quantifiziert als (A) und $t_{1/2}$ in Abb. 1 und Tabelle 2) auch notwendigerweise ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von permanenten Schwellenabwanderungen nach erneuter Exposition mit anderen Arten

von Lärm, wie z. B. einem akuten Lärmtrauma, vorliegt.

Mindestens ein Viertel (27%) der 30 Patienten, welche akut aufgetretenen Tinnitus als begleitendes oder Hauptsymptom bei der Erstvorstellung angaben, klagten bei der letzten Kontrolluntersuchung – also mindestens ein halbes Jahr nach dem akuten akustischen Trauma – noch über Ohrgeräusche auf zumindest einem Ohr. Diese Daten stimmen gut überein mit den Beobachtungen nach Knalltrauma durch Schusswaffen [9]. In einer longitudinalen Studie untersuchten die Autoren Rekruten in Finnland, welche wegen eines akuten akustischen Traumas während ihrer Wehrdienstzeit therapiert wurden. Bei den Untersuchungsterminen einige Wochen und zehn bis fünfzehn Jahre nach dem Knalltrauma fanden die Untersucher bei 29% bzw. 19% der Patienten einen chronischen Tinnitus. Die Erholung der Hörschwelle wurde in dieser finnischen Studie nicht untersucht.

Folgende Aspekte dieser Untersuchung müssen kritisch diskutiert werden. Die akustische Noxen welche bei den einzelnen Patienten zur TTS bzw. zu einer PTS führten, waren sehr inhomogen und abhängig von der Art des Impulslärm generierenden Objektes, seiner Entfernung zum Ohr und zu Schall reflektierenden Elementen der Umgebung. Auch konnte eine mögliche Vorschädigung des Gehörs – bis auf einzelne Fälle – aufgrund mangelnder audiometrischer Vorbefunde nur anamnestisch, nicht jedoch quantitativ ausgeschlossen werden. Selbst das Vorliegen von Normalbefunden im Reintonaudiogramm vor Exposition mit Impulslärm wäre allerdings letztendlich nicht ausreichend, da das Tonaudiogramm zwar den Standard für die Hörschwellenbestimmung darstellt, aber trotz einer Erholung der Hörschwelle im Reintonaudiogramm subtile Innenohrschäden zurückbleiben können und somit trotz normaler Hörschwelle im Tonaudiogramm eine Vorschädigung vorliegen kann [3].

„Auch bei normaler Hörschwelle im Tonaudiogramm können subtile Innenohrschäden als Vorschädigung vorliegen.“

Eine quantitative, mathematische Beschreibung der Hörschwellenverände-

nung nach standardisiertem Knalltrauma bzw. akutem Lärmtrauma ist in der Literatur wiederholt mittels Exponentialfunktionen bei Säugetieren [4, 6, 7] und beim Menschen [11, 12] beschrieben worden. Es wurden zeitliche Verläufe der Hörschwellenveränderung beschrieben, die einfachen [8, 20], diphasischen [4, 6] oder komplex zusammengesetzten Exponentialfunktionen [11, 12] folgten.

Bei der langfristigen Beobachtung der Hörschwellenverläufe ist die Anpassung an eine einfache Exponentialfunktion zur Parametrisierung vorerst jedoch ausreichend. Auch aufgrund der Zahl der beobachteten Patienten (Studie II: n=37) rechtfertigen die hier vorgestellten Daten vorerst noch keine detailliertere Analyse von Erholungsvorgängen im Sinne komplexerer Kurvenanpassungen oder die Auswertung von Subgruppen. Dennoch ermutigen sie zur weiteren Verlaufsbeobachtung der Hörerholung nach Knalltrauma durch Feuerwerkskörper und Signalpistolen. Von besonderem Interesse sind hierbei mögliche prognostisch wertvolle Parameter besonders in Hinblick auf die Langzeiterholung, der Einfluss unterschiedlicher Therapieverfahren auf die Hörerholung und die Beschreibung bleibender Hörschäden, welche durch das Reintonaudiogramm nicht erfasst werden.

Fazit für die Praxis

Entsprechend der uns vorliegenden vorläufigen Ergebnisse der langfristigen Beobachtung der Erholung des Hörvermögens über einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren nach Knalltrauma durch Feuerwerkskörper oder Signalpistolen erholte sich bei einigen Patienten die Hörschwelle trotz ausgeprägtem anfänglichem Hörverlust im Reintonaudiogramm rasch innerhalb von wenigen Tagen bis Wochen. Der Erholungsprozess kann jedoch über meh-

rere Monate oder sogar bis zu einem Jahr andauern.

Sechs Monate bis zwei Jahre nach dem Trauma litt trotz früh einsetzender Therapie noch mindestens ein Drittel aller in die Studie eingeschlossenen Patienten an einer Hörminderung von mehr als 20 dB HL in dem für ein Knalltrauma typischen Frequenzbereich und/oder an chronischem, Knalltrauma bedingtem Tinnitus. Weitere prospektive, langfristige Beobachtungen in den nächsten Jahren sollen zeigen, ob die Quantifizierung und Parametrisierung der Hörschwellenerholung durch mathematische Kurvenanpassung in Hinblick auf Prognoseformulierung oder für den Vergleich unterschiedlicher Therapieverfahren genutzt werden kann.

Literatur

- Gupta D, Vishwakarma SK (1989) Toy weapons and firecrackers: A source of hearing loss. *Laryngoscope* 99:330–4
- Hagerman F (1942) Aural shot injuries and their healing. *Acta Otolaryngol (Stock)* 30:13–25
- Hamernik RP, Ahroon WA, Lei SF (1996) The cubic distortion product otoacoustic emissions from the normal and noise-damaged chinchilla cochlea. *J Acoust Soc Am* 100, 1003–12
- Henderson D, Hamernik RP, Sittler RW (1974) Audiometric and histological correlates of exposure to 1-msec noise impulses in the chinchilla. *J Acoust Soc Am* 56:1210–21
- Lehnhardt E und Koch T. Akustisches Trauma. In: Naumann HH, Helms J, Herberhold C, Kastenbauer E (Hrsg) *Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis*. Thieme, Stuttgart, 1994; 757–767
- Luz GA, Hodge DC (1971) Recovery from impulse-noise induced TTS in monkeys and men: a descriptive model. *J Acoust Soc Am* 49:1770–7
- Luz GA, Fletcher JL, Fravel WJ, Mosko JD (1973) The relation between temporary threshold shift and permanent threshold shift in rhesus monkeys exposed to impulse noise. *Acta Otolaryngol Suppl* 312:1–15
- Melnick W (1991) Human temporary threshold shift (TTS) and damage risk. *J Acoust Soc Am* 90:147–54
- Mrena R, Savolainen S, Kuokkanen JT, Ylikoski J (2002) Characteristics of tinnitus induced by acute acoustic trauma: a long-term follow-up. *Audiol Neurootol* 7:122–30
- Murray NE, Reid G (1946) Temporary deafness due to gunfire. *J Laryngol Otol* 61:92–121
- Patuzzi R (1998a) A four-state kinetic model of the temporary threshold shift after loud sound based on inactivation of hair cell transduction channels. *Hear Res* 125:39–70
- Patuzzi R (1998b) Exponential onset and recovery of temporary threshold shift after loud sound: evidence for long-term inactivation of mechano-electrical transduction channels. *Hear Res* 125:17–38
- Pfander F. (1975) *Das Knalltrauma*. Springer, Berlin, S. 61
- Pilgram M, Kunick T, Schumann K (1988) Die Entwicklung des Hörvermögens nach knalltraumatischer Schädigung unter Berücksichtigung des weiteren Beschäftigungsortes. *Laryngol Rhinol Otol* 67:294–96
- Plinkert PK, Hemmert W, Wagner W, Just K, Zenner HP (1999) Monitoring noise susceptibility – sensitivity of otoacoustic emissions and subjective audiometry. *Br J Audiol* 33:367–80
- Plontke S, Dietz K, Pfeffer C, Zenner HP (2002) The incidence of acoustic trauma due to New Year's firecrackers. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol* 259:247–52
- Ruedi L, Furrer W (1945) Akustisches Trauma und Funktion des Innenohres. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 33:460–70
- Segal S, Harell M, Shahar A, Englender M (1988) Acute acoustic trauma: dynamics of hearing loss following cessation of exposure. *Am J Otol* 9:293–298
- Tschopp K, Probst R. Acute Acoustic Trauma (1998) A retrospective study of influencing factors and different therapies in 268 patients. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 108:378–84
- Ward WD, Glorig A, Sklar DL (1959) Temporary threshold shift from octave band noise: Application to damage risk criteria. *J Acoust Soc Am* 31:522–28