

Non-endoskopische perkutane Laser-Diskusdekompression und -Nukleotomie

Zusammenfassung

Bei der Entwicklung minimalinvasiver Methoden zur Bandscheibenchirurgie ging der Weg über endoskopische Verfahren hin zur non-endoskopischen mechanischen, perkutanen Nukleotomie. Etwa parallel dazu erfolgte durch Choy und Ascher die Anwendung des Neodym-YAG-Lasers zur intradiskalen Druckreduktion bei Bandscheibenvorwölbungen und -vorfällen. Erste ermutigende klinische Erfolge und die weiterentwickelten experimentellen Untersuchungen zur Vaporisation und dem Shrinkingeffekt gaben den Anlaß zur Einführung der Methode in eine breite Praxis. Die Indikationen sind diskogene Schmerzsyndrome bei bildgebend gesicherten Bandscheibenbulging, Protrusionen oder Hernien.

Schlüsselwörter

**Laserchirurgie
Diskogene Schmerzsyndrome
Bandscheibenprotrusionen
Bandscheibenhernien
Perkutane Diskusdekompression
Shrinkingeffekt**

Einleitung

Obwohl seit mehr als fünf Jahrzehnten die offene Nukleotomie ein häufig segensreiches Verfahren bei Bandscheibenvorfällen war und ist, sind zweifelsfrei eine Reihe von Nachteilen, die der Methode anzulasten sind, nicht zu verachten. Aus diesem Grund ist in den letzten drei Jahrzehnten zunehmend der Weg zur minimalinvasiven Behandlung von Bandscheibenerkrankungen beschritten worden.

Dies begann mit der Chemonukleolyse und ist über die endoskopische Nukleotomie zur automatisierten Absaugnukleotomie und perkutanen mechanischen Nukleotomie weiterentwickelt worden. Für die genannten Verfahren bestanden jedoch viele Indikationsbegrenzungen. Es ist deshalb der große Verdienst von Choy (New York) und Ascher (Graz), die Methode der non-endoskopischen perkutanen Laser-Diskusdekompression und -Nukleotomie experimentell erarbeitet und erstmalig bei Menschen angewandt zu haben [1].

Grundlagen des Verfahrens

Das Verfahren basiert auf der Wirkung des Neodym-YAG-Laserstrahles mit einer Wellenlänge von 1064 nm auf das Diskusgewebe. Dort entsteht durch Laserschüsse ein mehrere Quadratmillimeter großer Vaporisationsdefekt mit intradiskalem Druckabfall. Dies konnte mehrfach experimentell/bestätigt werden (Abb. 1). Zusätzlich kommt es bei der Anwendung des Laserschusses zu einem Shrinkingeffekt auf das Diskusgewebe. Durch die kollagene Faserstruktur kommt es bei Hitzeentwicklung im Inneren der Bandscheibe zu einem Schrumpfen der Außenbezirke, ohne daß dort eine Schädigung eintritt (Abb. 2). Dieses Shrinkingphänomen konnte durch eigene experimentelle Untersuchungen (Abb. 3) sowie durch intraoperative Messungen, computertomographische und endoskopische Visualisierungen bewiesen werden. Es ist der entscheidende Faktor im Vergleich zu anderen Verfahren für die hohe Wirksamkeit der Methode. Der Vorteil dieses Shrinkingings besteht in der extradiskalen Druckminderung

Prof. Dr. med. J. Hellinger

ist Arzt für Orthopädie, Chirurgie, Rheumatologie, Sportmedizin, Chirotherapie und physikalische Therapie. 1989 führte er die erste perkutane Laserdiskus-Dekompression und -Nukleotomie mit Neodym-YAG-Laser 1064 nm in der Oststadtklinik in Mannheim durch.

Korrespondenzadresse:
Chirurgische Privatklinik Bogenhausen
Arzt für Orthopädie und Chirurgie
Rosenstraße 6, 80331 München



¹Chirurgische Privatklinik Bogenhausen, München

Tabelle 1

Nosologische Zuordnung – Perkutane lumbale Lasernukleotomie [n=800]	
Lokale Schmerzsyndrome	12
Pseudoradikuläre Schmerzsyndrome	97
Radikuläre Schmerzsyndrome	675
Medulläre (Kauda-S.) Schmerzsyndrome	19
Vegetative Schmerzsyndrome	10
davon Postnukleotomiesyndrome	186

Tabelle 2

Etagenhäufigkeit bei lumbaler perkutaner Lasernukleotomie		
	Patienten	Segment-nukleotomien
Gesamt	499	827
1 Etage	321	
2 Etagen	178	
3 Etagen	42	
4 Etagen	6	

Tabelle 3

Periphere Paresen (Janda 0-III) [n=499]	
Fußheberparesen	43
Kombinierte Fußheber- und Senkerparesen	9
Kombinierte Fußheber- und Kniestreckerparesen	2
Fußsenkerparesen	8
offene Reoperation	2
– Verschlechterung	1
– ungenügende Rückbildung	1

Tabelle 4

Reoperationsverfahren – Perkutane lumbale Lasernukleotomie [n=499]	
Offene Nukleotomie	20
Offene Nukleotomie, Radikolyse	8
Offene Nukleotomie, Entlastungshemilaminektomie	2
Entlastungshemilaminektomie	1
Dorso-ventrale Fusion	5
Re-Lasernukleotomie	32

auf radikuläre und nozizeptive Strukturen sowie in der nachgewiesenen fehlenden Stabilitätsminderung im Bewegungssegment.

Verwendet wird ein ungeladener Neodym-YAG-Laser mit einer Bareiber. Die Wellenlänge beträgt 1064 nm. Die Impulsdauer ist zwischen 0,3 Sekunden zervikal und einer Sekunde lumbal bei 20 beziehungsweise 15 Watt pro Einzelschuss gewählt. Zervikal wird eine Gesamtjoulezahl von 350 bis 450 und thorakal und lumbal durchschnittlich auf 1000 eingestellt. Der Eingriff ist minimalinvasiv in Regionalanästhesie mit „stand-by“ der Anästhesisten auszu-

führen. Die Punktion erfolgt mittels einer zwei Millimeter starken Kanüle. Nach fluoroskopischer Kontrolle mit sicherer Bestimmung der Nadelspitze (Abb. 4a bis c) wird das Laserkabel mit einem Millimeter Überstand hindurchgeführt. Zervikal erfolgt die Punktion in Rückenlage rechtsseitig. Thorakal und lumbal in Seitenlage von dorsolateral her.

Indikation und Patientengut

Die Indikation wird bei diskogenen Schmerzsyndromen basierend auf Bandscheiben-Bulging, -protrusionen und -extrusionen gestellt. Die

bildgebende Diagnostik sichert die Diagnose durch Computertomographie (Abb. 5), Kernspintomographie (Abb. 6), oder auch in seltenen Fällen durch Myelographie (Abb. 7). Kontraindikationen sind frei im Spinalkanal liegende Sequester oder das Überwiegen nicht/diskogener Schmerzursache. Die Patientenauswahl erfolgt nach drei Kriterien:

1. Bei mindestens sechs Wochen erfolgloser konservativer Therapie, ausnahmsweise früheres Eingreifen bei progredienten peripheren Lähmungen oder Kaudasyndromen, mit gegebener Indikation zur offenen Nukleotomie oder Fusionsoperation

Tabelle 5

Experimentelle Untersuchungen	
Vaporisationsdefekt	Shrinking
Nd-YAG 1064 nm Nd-YAG 1064 nm gepulst Nd-YAG 1230 nm Ho-YAG 2080 nm	Ho-YAG 2080 nm 2080 nm Nd-YAG 1064 nm gepulst Nd-YAG 1064 nm ungepulst
↓	↓
mechanisch viel mehr	nein

Die Pfeile sollen die Überlegenheit des Neodym-YAG-Lasers 1064 nm, un gepulst, gegenüber den anderen Verfahren hinsichtlich des Shrinking-Effektes darstellen.

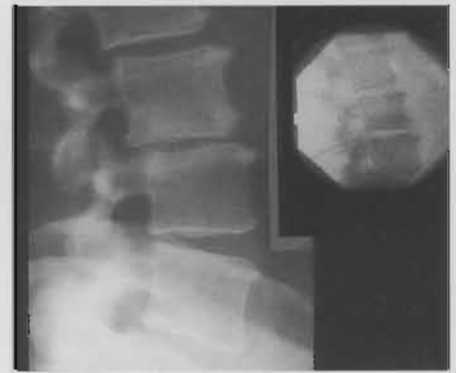


Abb. 1: Intraoperatives Vakuumphä-nomen nach 75 Laserschüssen, 15 Watt, 1 Sekunde.

Zentrale Vaporisation:
Druckabfall



Thermische Reaktion:
Zirkuläres Shrinking

Abb. 2: Schematische Darstellung der Laserschußwirkung auf das Diskusgewebe mit den Wirkungen von Vaporisation und Shrinking.

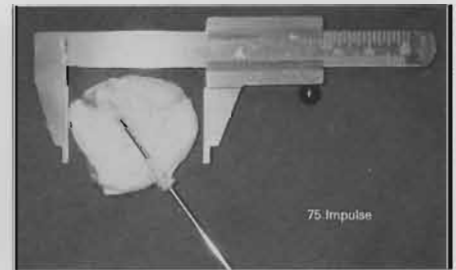
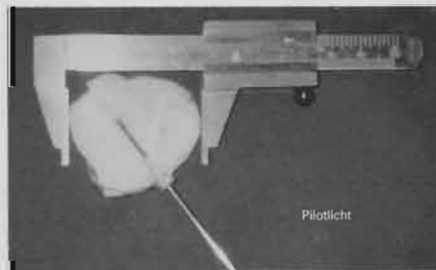


Abb. 3a, b: Explantierte bovine LWS-Bandscheiben mit liegender Punktionsnadel und eingeführter Laserfaser. Pilotlichtaufnahme (a). Aufnahme nach 75 Impulsen zu 15 Watt, 1 Sekunde Impulsdauer (b). Sowohl das zirkuläre Shrinking als auch das lokale Shrinking gegenüber der Laserfiberspitze ist deutlich sichtbar.

als letzter Schritt vor diesem Eingriff.

2. Die zweite Patientengruppe betrifft Fälle konservativer erfolgloser Therapie mit schwer zu stellender Indikation zur offenen Operation. Diese Gruppe umfaßt Patienten mit langen Schmerzanamnesen und häufig monatelanger Arbeitsunfähigkeit.

3. Patienten mit strikter Ablehnung gegen offenes operatives Vorgehen.

Vor dem Hintergrund der experimentellen Untersuchungsergebnisse, besonders von W. Siebert [5], der ersten Eingriffe durch W. Ascher, wurde am 23.11.1989 das Verfahren in Deutschland eingeführt [2, 3, 4]. Nach ersten positiven Ergebnissen

konnte dann die Erweiterung auf die Halswirbelsäule sowie kombinierten Eingriffen bei zervikalem und lumbalen Befall in einer Sitzung vorgenommen werden. W. Siebert [6] hatte inzwischen auch thorakal den ersten Patienten operiert, so daß auch dieser Abschnitt später miteinbezogen wurde. Vom 23.11.1989 bis zum Frühjahr 1994 wurden 1602 Patienten operiert. 154 mal war der Befall zervikal, elf Fälle wurden thorakal behandelt. Aus einem ausgewählten Behandlungsabschnitt von November 1989 bis November 1993 wurden weiterhin 279 Fälle von Postnukleotomiesyndrom ausgewertet.

Ergebnisse

Das erwartete Ergebnis ist für den Patienten die Schmerzbefreiung und die Rückbildung der Lähmungen. Objektiv ist lumbal die Messung des Lasègue'schen Zeichens, allgemein des peripheren und perkutanen Rückenmuskel-EMG, der Nervenleitgeschwindigkeit und der evozierten Potentiale sowie die computerisierte Spine-Motion-Messung zu nennen. Subjektiv sind lumbal 80 Prozent der Patienten mit dem Ergebnis zufrieden und zervikal 90 Prozent. Alle thorakal operierten Fälle waren schmerzfrei. Objektiv bestand eine

Position der lumbalen Kanüle

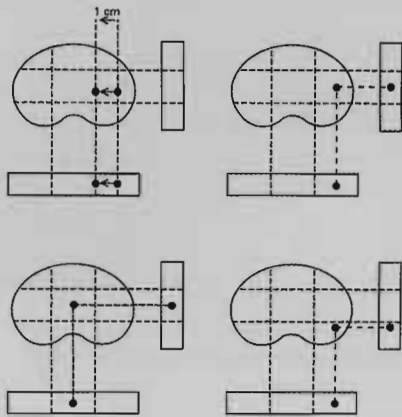


Abb. 4a: Schematische Darstellung der Positionierung der lumbalen Kanüle.

Position der lumbalen Kanüle

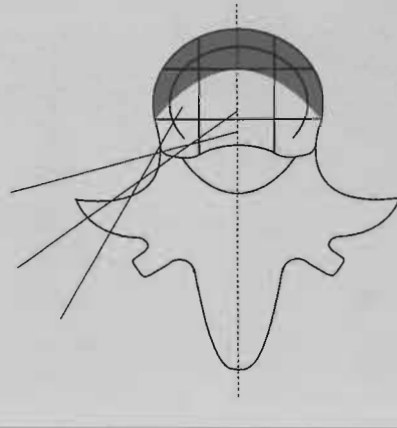


Abb. 4b: Rot ist eingezeichnet als die verbotene Gefahrenzone, wo keinesfalls der Laserschuss ausgelöst werden darf.



Abb. 4d: OP-Aufnahme mit abgedecktem, in Seitlage sich befindenden Patienten. Die Punktion des Diskus ist auf dem Monitor dokumentiert. Die Laserfaser wird eingeführt. Neben dem Fernsehmonitor ist das Lasergerät sichtbar.

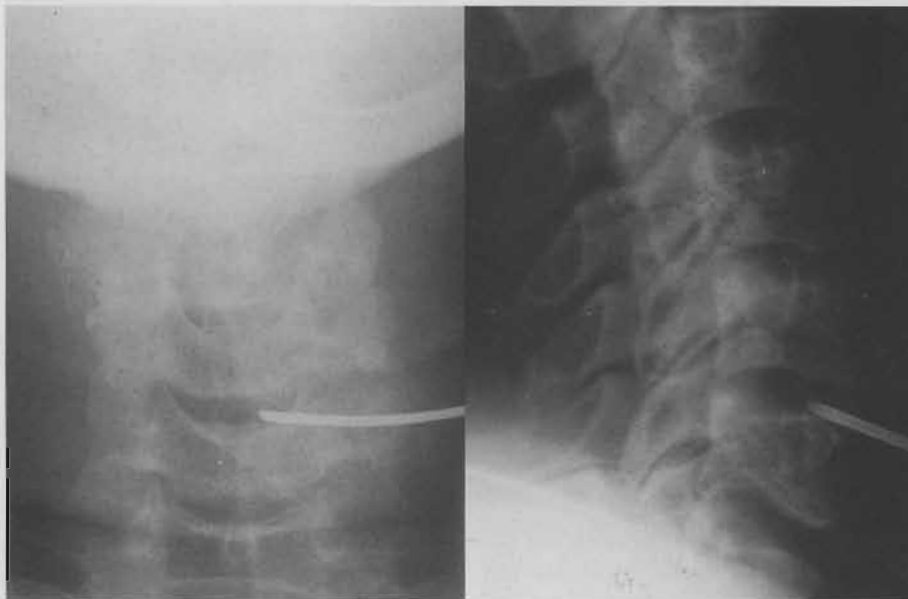


Abb. 4c: HWS-Aufnahmen in zwei Ebenen mit liegender, ventral eingeführter Punktionskanüle C5/C6.

Diskrepanz zwischen subjektiver Zufriedenheit und verbessertem Lasègue'schen Zeichen, das auch bei den Postnukleotomiesyndromen in 90 Prozent zum Verschwinden gebracht werden konnte. Härtestes Kriterium ist das Vermeiden der offenen Chirurgie. Dies konnte durch die Anwendung der Re-Laser-Nukleotomie, zuletzt in sieben Prozent der Fälle, immerhin bei 94 Prozent aller ope-

rierten Patienten erreicht werden. Die sekundären offenen Eingriffe betreffen einfache Nukleotomien, zusätzlich ossäre Wirbelkanalentlastungen, Radikolysen und Fusionen.

Komplikationen

Die Komplikationsrate liegt insgesamt unter einem Prozent. Trotzdem ist der Eingriff nicht als völlig unge-

fährlich zu bezeichnen. Lumbal kam es zu einer Laserstrahlpenetration in den Dünndarm mit nachfolgender Perforation und notwendiger Darmresektion. Eine lumbale Infektion erforderte offene Entlastung von dorsal. Eine passagere Sympathikusreizung sowie eine Verschlechterung einer vorbestehenden Fußheberlähmung Janda III auf Janda I ist möglicherweise auf thermische Konvektion zurückzuführen. Im Vergleich zu offenen Nukleotomien ist die Rate der Darmperforationen gleich hoch bei mikroskopischen Eingriffen. Die Verschlimmerung von neurologischen Befunden gegenüber zwei bis sechs Prozent bei offener Operation ist jedoch viel geringer. Zervikal traten zwei Infektionen mit nachfolgenden neurologischen Defiziten auf. Einmal kam es zu einer nach offener Revision reversiblen Armlähmung. In einem zweiten Fall mit foudroyanter Paraplegie mußte nach dorsaler und ventraler Entlastung eine langdauernde Rehabilitation mit glücklicherweise weitgehender Rückbildung registriert werden. Die Vorteile der Methode gegenüber der offenen Nukleotomie bestehen in dem fehlenden Eindringen in den Spinalkanal mit den möglichen Duraverletzun-

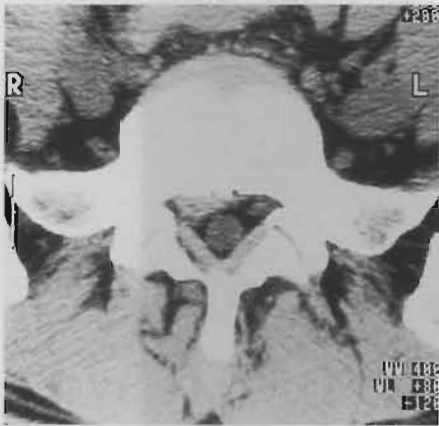


Abb. 5: Perforierter NPP L5/S1 mit Radikulärsyndrom.



Abb. 7: Multiple Bandscheibenprotrusion bei engem Spinalkanal mit radikulärem und vegetativem vertragenem Schmerzsyndrom.



Abb. 6: Deutliche Narbenbildung bei L5/S1 bei Restprotrusion.

gen, Wurzelschäden und der nicht auszuschließenden Narbenbildung. Außerdem kam es zu einer indikatorischen Erweiterung auf multi-segmentales Vorgehen und bei Kontraindikation zum Eingriff in Allgemeinanästhesie. Verkürzung der Hospitalisierungszeit und der Rehabilitationszeit sind nicht unbeträchtliche Vorteile für den Patienten. Die Möglichkeit zum Zweiteingriff wird nicht verbaut. Gegenüber den minimalinvasiven Methoden, der Chemonukleolyse sowie der endoskopischen und mechanischen perkutanen Nukleotomie besteht eine deutliche Indikationserweiterung hinsichtlich vertikalen Instabilitäten, intakten oder nichtintakten Faserringen, multietagerem Vorgehen und Minderung von Stabilitätsverlusten. Außerdem können Patienten mit Postnukleotomiesyndrom einbezogen werden. Gegenüber der Holmium-YAG-Laser-Diskusdekompression ist eine deutlich verstärkte Shrinkingwirkung konzeptionell als überlegen anzusehen.

Kasuistik

Fall 1: Weibliche Patientin. CT-gesicherter perforierter NPP L5/S1 mit Radikulärsyndrom (Abb. 5). Anamnese: Sechs Wochen Schmerz im Kreuz mit Ausstrahlung ins Bein. Neurologische Zeichen der S1-Schädigung. Nach der konsequent durchgeführten Sechs-Wochen-Kontrolle postoperativ schmerzfrei, neurologisch ohne Befund, Lasègue von 40 Grad sofort auf 0 postoperativ gebessert. Zwei-Jahres-Kontrolle: Patientin/zufrieden, subjektiv beschwerdefrei.

Fall 2: Weibliche Patientin. Postnukleotomiesyndrom mit S1-Radikulärsymptomatik. Im MRT deutliche Narbenbildung bei L5/S1 bei Restprotrusion (Abb. 6). Nach perkutaner Lasernukleotomie schlagartige Besserung des radikulären Schmerzes und Rückbildung der neurologischen Befunde. Bei der Sechs-Wochen-Kontrolle Lasègue von 30 Grad auf negativ gebessert. Subjektiv beschwerdefrei. Zwei-Jahres-Kontrolle: Patientin zufrieden, subjektiv beschwerdefrei.

Fall 3: Männlicher Patient. Seit zehn Jahren Rückenschmerzen. Zuletzt Gehstrecke weniger als 100 Meter. Lasègue bei 40 Grad beiderseits positiv. Multisegmentale Fusionsoperation im anderen Krankenhaus wegen schwerer kardialer Schädigung bei Koronarkrankheit abgelehnt. Diagnose: multiple Bandscheibenprotrusionen bei engem Spinalkanal mit radikulärem und vegetativem vertragenem Schmerzsyndrom (Abb. 7). Nach polysegmentaler L2/3, 3/4, 4/5 und 5/S1 \angle perkutaner Lasernukleotomie – schlagartige Besserung des Befundes mit negativem Lasègue und wieder freier Gehstrecke. Kontrolle nach sechs Wochen: unverändert positiver Befund. Zwei-Jahres-Kontrolle: gelegentliche Rückenschmerzen, freie Gehstrecke.

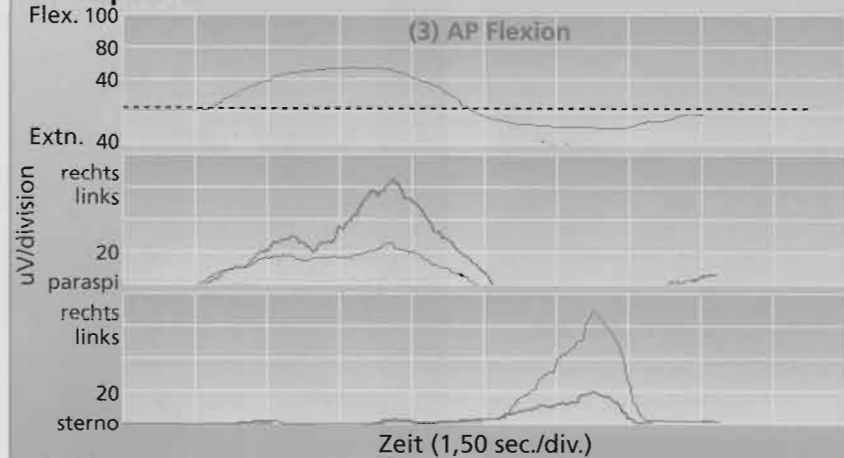
Fall 4: Männlicher Patient, drei Mo-

nate heftige Rückenschmerzen mit Ausstrahlung in beide Beine, hochgradige Adipositas mit Body Mass Index (BMI) von 38,5 (Abb. 8a).

Lasègue beidseits bei 60 Grad positiv, keine neurologischen Ausfälle. Wegen konservativer Therapieresistenz und Kontraindikationen bei der bestehenden Adipositas und allgemeinen Organveränderungen perkutane Laserdiskusdekompression und -nukleotomie L4/5 und L5/S1 mit schlagartiger Befundbesserung und subjektiver Beschwerdefreiheit. Frührezidiv mit neuerlichen Rückenschmerzen und Ausstrahlung in beide Beine nach vier Wochen. Las. beidseits bei 50 Grad positiv, links Fußheberschwäche II-III und Quadrizepsschwäche Janda II-III. Hyposensibilität L5. Kontroll-MRT (Abb. 8b) mit NPP L1/2 und persistierendem NPP L4/5 und L5/S1. Re.-Laserdiskusdekompression und -nukleotomie L4/5 und L5/S1 und zusätzlich L1/2. Postoperativ subjektive Beschwerdefreiheit, negatives Las.-Zeichen und Verschwinden der Fußheberparese. Die computerisierten Spine-Motion-Messungen mit integriertem konsekutiven perkutanen Rückenmuskel-EMG zeigen präoperativ (Grafik 1) einen hochgradigen paravertebralen Hypertonus bei mäßig eingeschränkter LWS-Flexion/Extensions-Bewegung. Nach der ersten Laserdiskusdekompression und -nukleotomie (Grafik 2) ist bereits eine Verminderung des paravertebralen Hypertonus sichtbar. Der Befund korreliert mit der klinischen Untersuchung des muskulären Hartspannes paravertebral und der neuerlichen Beschwerdesymptomatik. Die Kontrolluntersuchung nach der Re.-Laserdiskusdekompression bei subjektiver Beschwerdefreiheit zeigt nun die typische normale zweigipflige Verlaufsform des perkutanen EMG's bei Flexion/Extensions-Bewegung der LWS. Dieses neuartige Untersuchungsverfahren läßt erstmalig auch eine Objektivierung der lokalen Untersuchungsbefunde zu (Grafik 3).

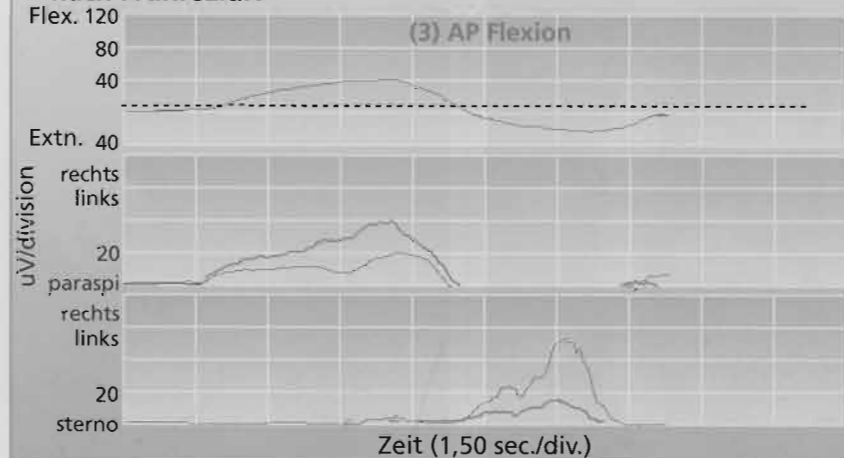
Grafik 1

Computerisierter Spine-Motion-Test mit perkutanem EMG – Präoperativ



Grafik 2

Computerisierter Spine-Motion-Test mit perkutanem EMG – nach Frührezidiv



Grafik 3

Computerisierter Spine-Motion-Test mit perkutanem EMG – nach Relaserdiskusdekompression und -nukleotomie

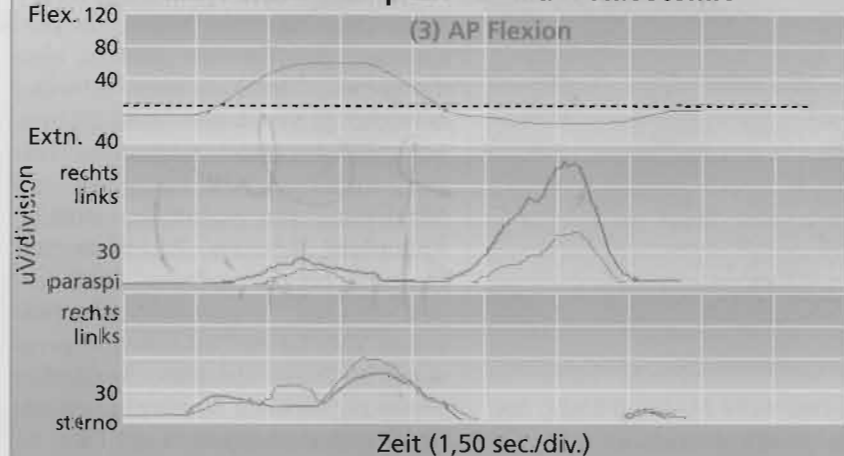




Abb. 8a: Der Patient hat seit drei Monaten heftige Rückenschmerzen, mit Ausstrahlung in beide Beine. Hochgradige Adipositas mit Body Mass Index von 38,5.

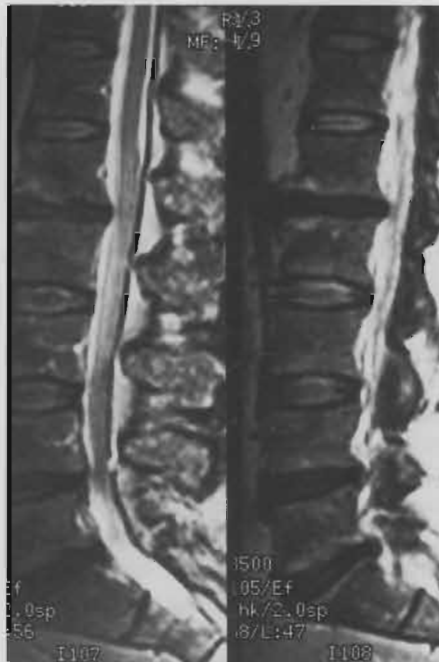


Abb. 8b: Kontroll-MRT mit NPP L1/2 und persistierendem NPP L5/S1, L4/5.



Abb. 9a: Das präoperative MRT zeigt in der T2-Wichtung einen deutlichen, gedeckt perforierenden NPP L5/S1.



Abb. 9b: Die postoperative Kontrolle am OP-Tag läßt eine deutliche Verkleinerung des Vorfalls erkennen.

Fall 5: 21-jähriger Patient mit unilateralem monosegmentalen Radikulärsyndrom bei gedeckt perforierendem, nach caudal dislozierendem NPP L5/S1. Lasègue'sches Zeichen präoperativ 20 Grad links, postoperativ 80 Grad, erster postoperativer Tag negativ. Die präoperativen Kernspintomogramme zeigen in der T2-Wichtung einen deutlichen gedeckt perforierenden NPP L5/S1. Die Dislokation nach caudal ist erheblich. Die Venengeflechte zeigen über dem Vorfall ein Auslöschphänomen. Die postoperative Kontrollaufnahme am Operationstag läßt eine deutliche Verkleinerung des Vorfalls erkennen. Die Venenzeichnung ist praktisch wieder normalisiert. Dieses Phänomen ist eines der wenigen objektivierbaren Kriterien nach der PLDD/PLN. In der Regel sind ohne gesonderte Gefäßdarstellung keine Veränderungen im MRI sichtbar. Die Änderung der intraspinalen Blutzirkulationsverhältnisse erklärt die schlagartige Wirkung.

Fall 6: Weibliche Patientin, 59 Jahre, seit Monaten therapieresistentes zervikales radikuläres Schmerzsyndrom mit total fixierter HWS. Im MRT Protrusion C4/5 und C5/6 (Abb. 10a). Zusätzlich Zeichen einer Syringomyelie. Nach dreimonatiger konservativer Therapieresistenz PLDD und PLN C5/6 und C4/5 mit schlagartiger Verbesserung der radikulären und lokalen Schmerzen. Arbeitsfähigkeit nach 6 Wochen. Anlässlich einer Hüft-Totalendoprothesenversorgung konnte die Patientin nachuntersucht werden. Die Patientin war zwei Jahre bislang beschwerdefrei. Die Halswirbelsäule ist nur gering in der Beweglichkeit endgradig eingeschränkt. Neurologische Ausfälle bestehen klinisch nicht mehr. Das EMG zeigt jedoch noch radikuläre Schädigungen. Die Patientin konnte trotz der Beschwerdefreiheit zu einem Kontroll-MRT überzeugt werden. Die Protrusion C4/5 und die gedeckte Extrusion C5/6 sind nicht mehr nachweisbar. Die Kompression des My-

elons ist aufgehoben (Abb. 10b). Die sagitalen Aufnahmen zeigen unverändert den Befund der Syringomyelie (Abb. 10c). Die erhobenen Befunde sind als Zeichen für das Nachshrinking durch die intradiskale fibrocartilaginäre Narbe zu werten.

Zusammenfassend kann nach fünfjähriger eigener Erfahrung und der inzwischen auch von anderen Untersuchern gewonnenen Erfahrungen die perkutane Laser-Diskusdekompression und -Nukleotomie mit dem Neodym-YAG-Laser 1064 nm als erfolgsträchtige und komplikationsarme Methode zwischen konservativer Therapie und offenem Vorgehen bei Bandscheibenvorwölbungen und -vorfällen mit Schmerzsyndrom gewertet werden.

Praxis Tip

Vertebragene Schmerzsyndrome diskogenen Ursprungs werden bei fehlenden Lähmungen immer erst konservativ behandelt. Bei konservativer Therapieresistenz ist weiterführende bildgebende Diagnostik mit CT oder auch MRT nötig. Vor einer sonst notwendigen offenen Nukleotomie kann die perkutane Laserdiskusdekompression und -nukleotomie mit dem Neodym-YAG-LASER 1064 nm in einem hohen Prozentsatz Erfolg bringen. Auch vor sonst erforderlichen Fusionsoperationen ist bei gesicherter diskogener Mitursache für den Schmerz dieses Verfahren als letzter Schritt einer minimalinvasiven risikoarmen Methode vor dem sonst erforderlichen Großeingriff indiziert. Hohe Erfolgsrate und niedrige Komplikationsdichte rechtfertigen die weitere Verbreitung des Verfahrens auch aus sozioökonomischen Gründen der Kostensparnis im Gesundheitswesen.

Weiterführende Literatur

1. Choy, D. S. J., Case, R. B., Ascher, P. W.: Percutaneous laserablation of lumbar disc. 33 red. Ann. Meeting Orthop. Research Soc. 1 (1987) 19ff
2. Hellinger, J.: Die perkutane zervikale Lasernukleotomie. Intern. Sympos. „Laser in der Orthopädie“ 19. und 20.09.1991, Hannover
3. Hellinger, J.: Perkutane Neodym-YAG-Laserkoagulation der Bandscheibe bei lumbaler Instabilität. 40. Jahrestag Vereinig. Nordwestdeutscher Orthop., 14. bis 16.06.1991, Köln
4. Hellinger, J.: Erfahrungen mit der perkutanen Laserkoagulation des Discus intervertebralis. Orthop. Mitteilungen 3 (1991) 157ff
5. Siebert, W. E., Kohn, D., Breitner, S., Wirth, C. J.: Lasern in der Orthopädie – Gibt es sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten? Orthop. Praxis (1988) 667–669
6. Siebert, W. E., Machacek, P., Steffen, R., Nolte, L.: Biomechanische und klinische Ergebnisse der perkutanen Laser-Diskus-Dekompression (PLDD). Orthop. Mitteilungen 3 (1991) 156ff



Abb. 10a: Im MRT Protrusion C4/5 und C5/6. Zusätzlich Zeichen einer Syringomyelie.



Abb. 10b: Auf dem Kontroll-MRT sind die Protrusion C4/5 und die gedeckte Extrusion C5/6 nicht mehr nachweisbar. Die Kompression des Myelons ist aufgehoben.



Abb. 10c: Die sagittale Aufnahme zeigt einen unveränderten Befund der Syringomyelie.