

Einsatz der Fluoreszenzspektroskopie zur selektiven perkutanen Nukleotomie mit dem Excimer-Laser – Experimentelle Untersuchungen

R. Fischer¹, K. König², A. Rück², W. Puhl¹, R. Steiner²

¹Orthopädische Klinik und Querschnittgelähmtenzentrum der Universität Ulm, Orthopädische Abteilung des Rehabilitationskrankenhauses Ulm (Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. W. Puhl)

²Institut für Lasertechnologien in der Medizin an der Universität Ulm (Direktor: Prof. Dr. R. Steiner)

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob mittels Fluoreszenzspektroskopie eine selektive perkutane Nukleotomie möglich ist. In einem in-vitro Versuch wurde die Gewebefluoreszenz von menschlichen und tierischen Wirbelsegmenten mit einem XeCl-Excimer-Laser (308 nm) bei Anregungsenergien zwischen 5 und 50 mJ gemessen.

Unabhängig von der Energie und dem umgebenden Medium ließen sich beim Nucleus pulposus, Muskeln, Myelon und Knochen breite Fluoreszenz-peaks bei 350 nm nachweisen. Beim Anulus fibrosus zeigten sich relativ schmale Peaks bei 385 und 435 nm, die auch bei Ablation durch Grenzflächen nachweisbar waren. Über die Bindung von Intensitätsquotienten ($I_1 = I_{350}/I_{385}$, $I_2 = I_{385}/I_{435}$) war in allen Fällen eine Gewebedifferenzierung möglich.

Mit Hilfe dieses Verfahrens wäre die selektive Nucleus pulposus Ablation bei perkutanen Nukleotomien möglich.

Selective Percutaneous Nucleotomy Using Excimer Laser – Experimental Investigations

Our intention was to test fluorescence spectroscopy as a possibility for selective laser ablation.

In an experimental setup a XeCl excimer laser (308 nm) with pulse energies between 5 and 50 mJ was used for fluorescence excitation in 20 human and 100 pig vertebral segments.

Tissue fluorescence was detected via a quartz fiber bundle and analyzed by a polychromator and optical multichannel analyzer. Both low and high energy levels led to a broad band fluorescence of nucleus pulposus, intervertebral muscle, myelon and vertebral end plate and a typical fluorescence of anulus fibrosus with peak maxima at 385 and 435 nm. Tissue fluorescence was independent of surrounding medium (with air and normal saline used) and excitation energy. Borderlines between different tissues could be clearly indicated in all cases.

Using intensity ratios at 350, 385 and 435 nm ($I_1 = I_{350}/I_{385}$, $I_2 = I_{385}/I_{435}$) tissue discrimination was possible in all cases.

This results demonstrate, that discrimination between intervertebral disc and surrounding tissue is possible and could be used for selective percutaneous laser nucleotomy in the near future.

Einleitung

In der Therapie des nicht-sequestrierten Bandscheibenvorfalls finden zunehmend perkutane Operationstechniken Verwendung. Durch die Chemonukleolyse mit Chymopapain (23, 24) oder eine mechanische Entfernung des Gewebes mittels Faßzangen oder motorgetriebener Saug-Schneide-Geräte (16, 17) lassen

sich Teile des Nucleus pulposus in Lokalanästhesie unter weitgehendem Erhalt des hinteren Längsbandes entfernen. Durch Druckverminderung im Bandscheibenraum soll eine Entlastung der Nervenwurzel und dadurch Schmerzfreiheit erreicht werden. Die weitgehende Schonung des hinteren Längsbandes bei diesen Verfahrenswegen soll das Rezidivrisiko senken.

In den letzten beiden Jahren wurden zunehmend perkutane Lasernukleotomien mit dem Nd:YAG-Laser (22) durchgeführt. Andere Lasersysteme wie der Holmium:YAG- (12), oder der XeCl-Excimer-

mer-Laser (26) finden sich nur vereinzelt im klinischen Einsatz.

Von entscheidender Bedeutung bei allen perkutanen Methoden ist die exakte Platzierung der Arbeitskanülen im Bandscheibenraum. Die in der Literatur beschriebene Anzahl an Fehlplatzierungen trotz Bildwandlerkontrolle ist gering, diese Fälle sind aber mit einer hohen Letalität belastet (3, 18).

Solche Komplikationen lassen sich nur beim Entfernen des Nucleus pulposus, unter Sicht mittels Endoskope (13, 21) sicher vermeiden. Diese erfordern jedoch einen zusätzlichen Optikzugang. Auch ist die Flexibilität der dünnen Optiken meist eingeschränkt.

Unser Ziel ist es daher, ein „intelligentes System“ zu entwickeln, das über einen kleinstmöglichen Zugang zum Bandscheibenraum den Nucleus pulposus identifizieren und gezielt abtragen kann. Dies ist über eine fluoreszenzgesteuerte Gewebeabtragung möglich.

In biologischem Gewebe treten zahlreiche fluoreszierende Substanzen – sogenannte endogene Fluorophore – auf. Diese können mit Licht niedriger Wellenlänge, wie es z. B. von einem Laser mit der Wellenlänge 308 nm erzeugt wird, zur Fluoreszenz angeregt werden. Die Intensität der Fluoreszenz hängt vom Absorptionsverhalten und der Fluoreszenzintensität des Gewebes ab. Im niedrigen Energiebereich des Lasers kommt es zur Fluoreszenzangregung ohne Abtragen des untersuchten Gewebes. Im höheren Energiebereich, bei Gewebeablation kann zusätzlich über einen „optischen Durchbruch“ ein sogenanntes „Plasmaleuchten“ erzeugt werden, das die Fluoreszenz des Gewebes überlagern kann. Fluoreszenzmessungen finden z. B. in der Angioplastik beim Entfernen atheromatöser Plaques an Gefäßwänden (8) und experimentell in der Tumordiagnostik (1) Anwendung.

Auf orthopädischem Gebiet wurden bisher einzelne Untersuchungen zur Gewebefluoreszenz von Bandscheiben- und Knorpelgewebe durchgeführt (6, 27). Hierbei ließen sich über die Anregung mit einem XeCl-Excimer-Laser (308 nm) typische Fluoreszenzspektren für Gelenkknorpel und Bandscheibengewebe nachweisen.

Material und Methodik

Wir untersuchten die Fluoreszenz von 20 menschlichen Wirbelsegmenten vom LKW 2-5, die sofort nach der Einnahme bei -40°C eingefroren und vor der Untersuchung für maximal 1 Woche im gefrorenen Zustand gelagert wurden. Sie wurden vor der Messung aufgetaut und, um ein Austrocknen des Gewebes zu verhindern, sofort nach Erreichen der Zimmertemperatur untersucht. Zusätzlich verwendeten wir 100 Wirbelsegmente vom Schwein, die im frischen Zustand untersucht wurden.

Für die Fluoreszenzangregung verwendeten wir einen experimentellen XeCl-Excimer-Laser

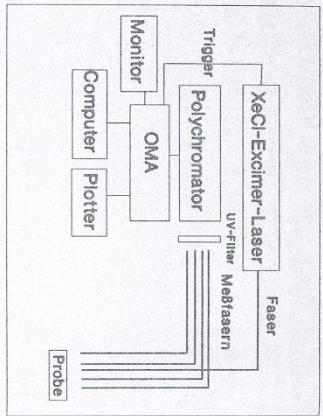


Abb. 1 Versuchsaufbau

(308 nm) der Firma Lambda-Physik mit einer Pulsdauer von ca. 17 ns. Das Laserlicht wurde im niedrigen Energiebereich (bis 20 mJ) über eine gekoppelte (60) µm Quarzfaser auf das untersuchte Gewebe übertragen. Für Pulsenergien über 20 mJ verwendeten wir eine optische Bank. Das Fluoreszenzlicht des Gewebes wurde in diesem Versuch über ein geschliffenes Quarzfaserbündel, das um die Anregungsfaser positioniert war, detektiert und zu einem Polychromator geleitet (Abb. 1). Über die CCD-Zelle (512 Pixel) einer vom Laserspritz getriggerten OMA (optical multichannel analyzer, OVA 284 Fa. ZWG, Deutschland) wurde das Fluoreszenzspektrum aufgezeichnet (s. Abb. 1). Das Meßintervall lag zwischen 10 und 100 Millisekunden und der gemessene Spektralbereich zwischen 330 und 610 nm. Die Fluoreszenzen wurden über mehrere Pulse gemittelt. Die Eichung der Fluoreszenzspektren erfolgte mittels Halogenlampe.

Folgende Meßserien wurden durchgeführt:

1. Messungen der Gewebefluoreszenz bei Anregung im prälabialen Energiebereich:

Bei 30 tierischen und 5 menschlichen Präparaten wurden aus den Bandscheiben jeweils Nucleus pulposus und Anulus fibrosus isoliert. Zusätzlich wurden Teile der Deckplatte des Wirbelkörpers, Myelon, Ligamentum longitudinale und Proben der Rückenmarksligamentprägerie. Das Gewebe wurde mit einer Pulsenergie von 5 mJ und einer Repräsentationsrate von 5 Hz angeregt und die Gewebefluoreszenz gemessen. In diesem Bereich kann es zu keiner Gewebeabtragung durch den Laser.

Für jede Probe wurde die Gewebefluoreszenz zu Beginn der Anregung und im Verlauf nach wiederholten Anregungen mit bis zu 800 Pulsen gemessen.

2. Messung der Gewebefluoreszenz bei Anregung im ablativen Energiebereich:

Untersuchungen wurden bei Pulsenergien von 20, 25, 40 und 50 mJ an 30 tierischen und 5 menschlichen Proben durchgeführt und die Fluoreszenzänderung während des Ablationsvorgangs wurde erfaßt.

3. Fluoreszenzmessungen im ablativen Energiebereich durch die Grenzflächen von verschiedenen Geweben:

Bei 20 tierischen und 5 menschlichen Proben wurde unter Sicht bei einer Pulsenergie von 25 mJ und einer Frequenz von 10 Hz eine 600 µm Faser während der Ablation von Hand gleichmäßig vom Anulus fibrosus in den Nucleus pulposus vorgeschoben. Die Fluoreszenz des Gewebes wurde während des gesamten Ablationsvorganges gemessen. Bei allen Proben wurde die Fluoreszenz bei Ablation vom Anulus fibrosus ins Ligamentum longitudinale und weiter in Myelon oder Muskelgewebe beim Übergang vom Anulus fibrosus in die Deckplatte des Wirbelkörpers gemessen.

4. Messungen in Luft und wässrigem Milieu im prälabialen und ablativen Energiebereich:

Bei 20 tierischen und 5 menschlichen Proben wurden per Quarzfaser Pulsenergien von 5 und 25 mJ appliziert. Die Fluoreszenz der Proben wurden dabei zum einen an Luft zum anderen (bei vollständig mit Flüssigkeit bedeckten Proben) in physiologischer Kochsalzlösung untersucht.

Ergebnisse
1. Messungen der Gewebefluoreszenz im prälabialen Bereich

Die Messungen der Fluoreszenzspektren des Nucleus pulposus (Abb. 2) Myelon, Muskulatur und Knochen zeigten im niedrigen Energiebereich in allen Fällen unterschiedliche Kurven. Es fanden sich breite Fluoreszenzanden zwischen 350 und 400 nm, die für die einzelnen Gewebe nicht voneinander unterscheidbar waren. Die Spektren vom Anulus fibrosus und Ligamentum longitudinale zeigten typische reproduzierbare Fluoreszenzpeaks bei 385 nm (+/- 3 nm) und 435 nm (+/- 5 nm) und Myelina bei 350 und 420 nm. Eine Gegenüberstellung der einzelnen Gewebe verschiedener Proben sowie Messungen an verschiedenen Stellen einer Probe zeigten in allen Fällen dieselbe spektrale Verteilung der Fluoreszenzkurven mit gleicher Lage der Maxima und Minima und gleicher Peakbreite. Sowohl innerhalb als auch intrasubjektiv zeigten sich Unterschiede in der Fluoreszenzintensität der Proben (Abb. 3).

Abb. 2 Gewebefluoreszenz im Wirbelsegment bei 5 mJ Anregungsenergie. 1 = Anulus fibrosus; 2 = Nucleus pulposus; 3 = Lig. long.; 4 = Myelon; 5 = Muskel; 6 und 7 = Knochen

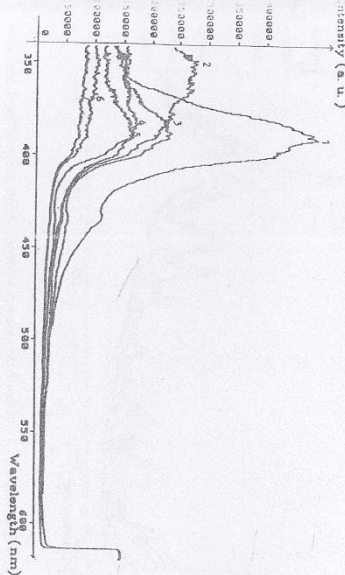
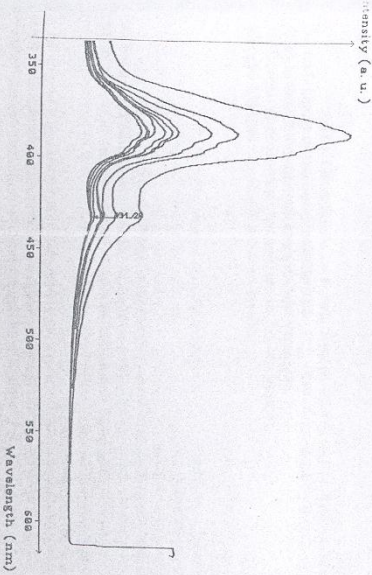


Abb. 3 Vergleich der Fluoreszenzintensitäten verschiedener Proben beim Anulus fibrosus. 10 verschiedene Proben, Pulsenergie 5 mJ



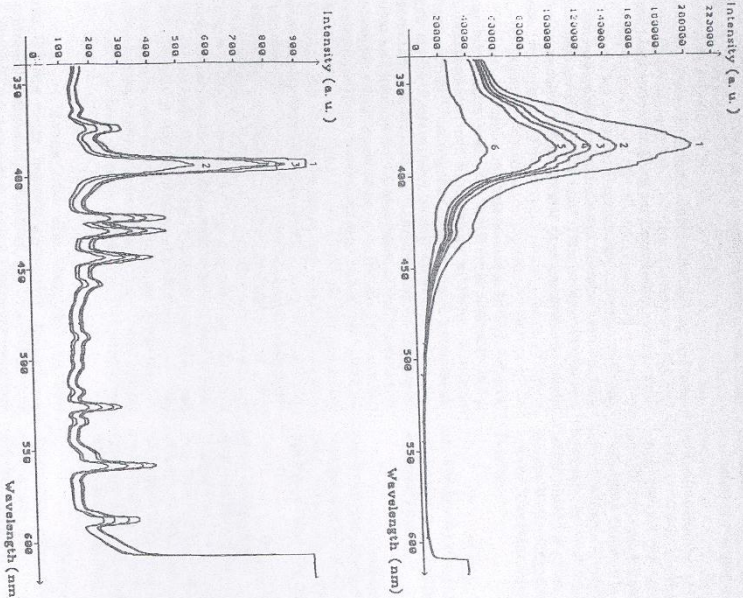


Abb. 4: Bleichverhalten von Anulus fibrosus; ein Spektrum entspricht der Summation von 10 aufeinanderfolgenden Einzelpulsen (20 mV Pulsergelei).
1 = 1-10, Puls: 2 = 11-20, Puls:
3 = 21-30, Puls: 4 = 31-40, Puls:
5 = 41-50, Puls: 6 = 500-510, Puls

Abb. 5: Emissionsspektren des Knochen an Luft (1-4), (50 mJ Pulsernergie)

Vergleiche mehrerer hintereinanderfolgender Einzelmessungen zeigen keine Unterschiede der Spektren. Mit zunehmender Bestrahlungsdauer an einer Stelle des Gewebes kam es zu einem deutlichen „Ausbleichen“ der Fluorophore mit Rückgang der Fluoreszenzintensität (Abb. 4).

2. Messungen der Gewebefluoreszenz im ablativen Bereich

Messungen der Spektren im ablativen Energiebereich zeigten für die untersuchten Gewebe identische Fluoreszenzspektren. Lediglich bei Messungen am Knochen kam es etwa mit dem 5. Laserpuls beginnend zu einer Änderung des Emissionsspektrums (Abb. 5). Bei Zunahme der Gesamtintensität ist das Ausbleichen von Plasmanalinen im gesamten erfassten Spektralbereich mit einem Maximum um 395 nm deutlich erkennbar.

Ebenso wie im niedrigen Energiebereich sind bei allen untersuchten Geweben inter- und intradividuelle Unterschiede in der Intensität bei gleichbleibenden Kurvenverläuf der Spektren nachweisbar. Auch im ablativen Bereich kam es mit zunehmender Bestrahlungsdauer zur Annahme der Fluoreszenzintensität.

3. Messungen bei Ablation durch Grenzflächen

In allen Fällen war bei Ablation der Gewebegrenze zwischen Anulus fibrosus und Nucleus pulposus über eine Änderung der Fluoreszenz mehrerer mechanisch bestimmten Übergangszonen zwischen den Geweben in allen Fällen überein.

Ebenso ließ sich beim Durchbohren die Gewebegrenze zwischen Anulus fibrosus und Knochen über das Fluoreszenzspektrum bestimmen (Abb. 7). Am

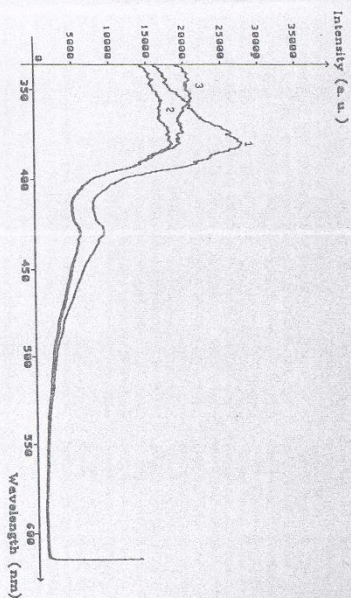


Abb. 6: Grenzflächenablation zwischen Anulus fibrosus (1) und Grenzfläche (2) in Nucleus pulposus (3) (20 mJ Pulsernergie)

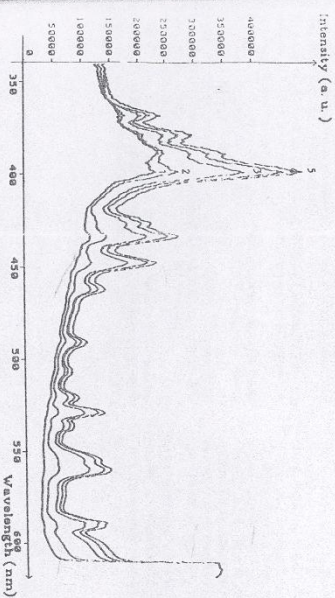


Abb. 7: Ablation durch Anulus fibrosus in den Wirkkörper (1-5) (20 mJ Pulsernergie)

Knochen fand sich ein deutlicher Nachweis von Plasmanalinen mit typischen Linien bei ca. 395, 423, 430 und 444 nm sowie Linien im langwelligeren sichtbaren Spektralbereich.

Die Grenzfläche zwischen Anulus fibrosus und Ligamentum longitudinale ließ sich über die Analyse des Fluoreszenzspektrums nicht ermitteln. Erst der Durchtritt durch das Ligamentum in die Muskulatur oder das Myelon war in allen Fällen messbar.

4. Messungen in Luft und wässrigem Milieu

Bei Untersuchungen der Fluoreszenzen im wässrigen Milieu fanden wir im präablativen Energiebereich keine Änderung zu den Untersuchungen an Luft.

Im ablativen Energiebereich ändert sich auch beim Knochen das Fluoreszenzspektrum nicht. Die Kurven behalten hier ihre charakteristische breite

Fluoreszenzbande zwischen 350 und 400 nm. Die steilen und schmalen Peaks, die bei der Ablation an Luft nachweisbar sind, treten nicht auf.

Die Fluoreszenzspektren der anderen Gewebe bleiben auch bei höheren Energien im wässrigen Milieu gleich.

Diskussion

Die Fluoreszenzmessung stellt ein empfindliches optisches Nachweisverfahren dar. Ihre häufigste Anwendung in der Medizin findet sie bei der Lokalisation extern applizierter Fluorophore mit spezifischen Bindungsverhalten, z. B. in der Tumordiagnostik (7, 10). Eine Gewebekennzeichnung über die Messung körpereigener Fluorophore gewinnt in der Gefäßchirurgie (2, 8), der Tumordiagnostik (1, 9) und Dermatologie (11) zunehmend an Bedeutung. Derartige körpereigene Substanzen sind beispielsweise Karotinoide (19), die Coenzyme NADH/NADPH (4, 20), Flavine (5) sowie metallfreie Porphyrine (11, 25).

Auch die vorliegende Arbeit basiert auf der Messung der Lichtemission endogener Fluorophore, deren Messung im orthopädischen Bereich bisher wenig beachtetem im orthopädischen Bereich...

Unsere Experimente zeigen, daß die Fluoreszenzspektren von Annulus fibrosus und Nucleus pulposus unterschiedlich sind. Dies ist unabhängig von der verwendeten Energie und dem umgebenden Me-

Intra- und interindividuelle Unterschiede der Intensitäten lassen sich durch lokal unterschiedliche Konzentrationen der Fluorophore erklären. Weiterhin kann sich die Fluoreszenzintensität durch unterschiedlich starke Resorption in den Gewebeschichten...

Ebenso wäre eine Unterscheidung über die Bildung eines Intensitätsquotienten I_{385nm}/I_{435nm} prinzipiell geeignet. Da verschiedene Umgebungs- und Gewebefaktoren zu einem breiten Fluoreszenzspektrum zwischen 430 und 470 nm führen können, ergeben sich jedoch Fehlermöglichkeiten.

Eine Gewebedifferenzierung über Bestimmung nur eines Fluoreszenzmaximums bei einer Wellenlänge ist dagegen nicht möglich. Zwar ist die Fluoreszenzintensität beim Annulus fibrosus am größten, doch lassen intra- und interindividuelle Intensitätsunterschiede ebenso wie das Ausbleiben der Fluorophore bei längerer Bestrahlung eine Differenzierung während der Ablation nicht zu.

Mit diesem Verfahren läßt sich in vitro sowohl das Platieren der Laserfaser in den Nucleus pulposus als auch ein gezieltes Abtragen des Nucleus pulposus über einen Vergleich der Fluoreszenzspektren steuern.

Dies ist von mediznischer Seite weitgehend problemlos möglich und kann mit einer einzelnen Faser für gleichzeitige Ablation und Fluoreszenzmessung durchgeführt werden (unveröffentlichte Ergebnisse).

Buchheit et al. (6) führten Experimente zum selben Thema durch. Sie beschränkten sich auf eine Fluoreszenzanalyse bei Annulus fibrosus und Nucleus pulposus der Ablation an Luft und beschreiben für beide Gewebe einen breitenbandigen Fluoreszenzverlauf zwischen 320 und 610 nm mit unterschiedlich hohen Peaks bei 358, 423, und 457 nm. Von dieser Arbeitgruppe wurde die die über Quarzlar-Exzimer-Fluoreszenz ohne Intensitätsausgleich ermittelt. Das von ihnen bei 457 nm beschriebene Fluoreszenzmaximum könnte auf einer verhältnismäßig guten Lichtleitung der Quarzfasern in diesem Wellenlängenbereich beruhen. Unsere Messkurven vor Korrektur zeigen entsprechende Peaks in diesem Bereich.

Weitere Untersuchungen zur Messung der Fluoreszenzintensität am Sitz- und Bewegungsapparat wurden unter anderem von Neu et al. und Zimmer et al. durchgeführt.

Untersuchungen von Neu et al. (15) über das Fluoreszenzverhalten von Bindegewebe, hyalinen Knorpel und Knochen in Luft und Flüssigkeit bei Anregung mit einem XeCl-Exzimer-Laser zeigen die auch von uns gefundenen Spektren.

Dagegen berichten Zimmer et al. (27) von einer prinzipiellen Unterscheidbarkeit von Muskel-, Fett- und Knorpelgewebe über die Fluoreszenzspektren. In dieser Arbeit wird jedoch keine Aussage über die von den Autoren getundene unterschiedliche Intensitätsverteilung der Fluoreszenzspektren gemacht. Unsere Untersuchungen zeigen für Muskel, Myelin, Nucleus pulposus und Knochen so geringe Unterschiede der Fluoreszenzspektren, daß eine Differenzierung bei niedriger Energie oder Ablation in Flüssigkeit nicht sicher möglich ist.

Limiterend für eine effektive klinische Anwendung dieses Verfahrens sind bisher die erzielten Abtragegrößen des Exzimer-Lasers. Während Wolgast et al. (26) von guten Ablationsergebnissen am Bandscheibengewebe berichten, fanden Mayer et al. (13, 14) am selben Gewebe eine deutlich geringere Ablationsrate.

Eigene bisherige Untersuchungen lassen vermuten, daß mit zunehmender Energie und Frequenz der Abtragegrößen des Exzimer-Lasers noch deutlich gesteigert werden können. Als problematisch erweist sich die zerstörungstreue Einkopplung hochenergetischer Pulse in den Lichtleiter. Verbesserung sind durch geometrische Modifikation der Lichtleiterenden zu erwarten. Hier werden derzeit unterschiedliche Weiterentwicklungen der Lichtleiter mit gekappten Einkoppelenden und Kugelform an der Faserauskopplung untersucht.

Somit könnte die Fluoreszenzgesteuerte perkutane Nukleotomie bald ein interessantes und sicheres Verfahren darstellen.

Literatur

1. Alfano, R. R., D. B. Tan, J. Condon, P. Tomalich, F. W. Long, M. A. Alfano. Laser induced fluorescence spectroscopy from malignant and normal tissue. IEEE J. QUANTUM ELECTRON. 1989; 15(7):1507-1511

2. Alfano, R. R., G. C. Tang, A. Pradhan, W. Lam, D. S. Choyen, E. O. Fung. Fluorescence spectra from cancerous and normal human breast and lung tissue. IEEE J. OE-23 (1987) 1806-1811
3. Andle, S., S. Aulikus, K. O. Skouras, E. Smolek, H. Schneider. Anterior perforations in lumbar discs. Spine Vol. 16 No. 1 (1991) 54-60
4. Baudin, J., Ch. Zan, G. Muller, H. Hofmann. Ein experimenteller Beitrag zur Medowestablenkung bei in vivo Fluoreszenzspektroskopie. Spine Med. Sci. 6 (1990) 127-130
5. Birk, J. B. (Ed.). Photophysics of aromatic molecules. Wiley Comp. New York (1970)
6. Buchheit, M., J. Katerndahl, R. Hornig, H.-P. Katerndahl, W. Katerndahl, G. Hübner, H. K. Köhler. Fluoreszenzspektroskopie von intervertebralen Bandscheiben. Spine Med. 11 (1991) 280-286
7. Buehl, L. K. Köhler, M. Weidner. Investigations of cells by fluorescence laser scanning microscopy with subnanosecond time resolution. Laser Science 3 (1989) 47-53
8. Deckert, L., L. J. K. Lam, H. S. Gelin, K. S. Clubb, M. B. Long. Discrimination of normal and aneurysmal aorta by laser induced fluorescence. Lasers Surg. Med. 7 (1987) 350-355
9. Harris, D. M., J. Weidner. Endogenous porphyrin fluorescence in human. Lasers Surg. Med. 7 (1987) 46-47
10. König, K., W. Dierig. Laserinduzierte Tumor-Fluoreszenzdiagnostik am Beispiel des soliden Epithelioms. Arch. Geschwulstforsch. 60 (1990) 1-10
11. König, K., H. Schneiderbauer, A. Birk, S. Aulikus. Photoproduction of endogenous porphyrin in and its photodynamic anti-viral effect. SPIE Vol. 1525 (1991) 412-419
12. Köpcke, G., C. Gollub, M. Tashiro, R. White, Holmium, YAG laser ablation of human intervertebral disc: preliminary investigations. Lasers Surg. Med. 54 (Suppl.) (1991)
13. Mayer, H. M., M. Brock. Percutaneous lumbar discectomy - the Berlin technique. In: Mayer, H. M., Brock, M. (Ed.). Percutaneous lumbar laser-Laser-Ablation von menschlichem Bandscheibengewebe. In: Steiner, W. E., Wirth, C. J. (Hrsg.). Laser in der Orthopädie. Thieme, Stuttgart, 1990, S. 117-120
14. Mayer, H. M., M. Brock, R. Köhler, R. Mognin, R. Jahn, H. U. Langenlocher, K. H. Langlocher. Tissue identification by fluorescence spectroscopy for controlled laser intervertebral disc resection. Report auf der Medtrach Berlin, Februar 1991

15. Onik, G., C. A. Helms, J. Schaeff, V. Mooney, N. Kaimowitz, A. Day, J. Morris, K. A. McCallahan, M. Richter. Anterior patient experience. Radiology 162 (1987) 129-132
16. Onik, G., C. A. Helms, L. Gubler, F. T. Hoagland, J. Morris. Percutaneous lumbar discectomy using a new aspiration probe: porcine and cadaver model. Radiology 155 (1985) 251-252
17. Patino, R., T. C. Blumfeld, P. Cook, D. Wilson. Percutaneous nucleotomy - an anatomical study of the risk of root injury. Spine Vol. 16 No. 1 (1991) 39-42
18. Prince, M., R. T. F. Deans, M. M. Matthews-Roth. Preferential light absorption in water by collagen. Optics Letters 8 (1983) 283-285
19. Schneiderbauer, H. K. Laser induced fluorescence spectroscopy of NAD(P)H and flavins as metabolic indicators. Optical Engineering 29 (1990) 102-105
20. Schreiber, A. Y., S. Szecsz, H. Lee. Irradiation and technique of percutaneous nucleotomy with discoscopy - eight years experience. In: Mayer, H. M., Brock, M. (Ed.). Percutaneous lumbar discectomy. Springer Verlag, Berlin (1989)
21. Steiner, W. E., C. J. Wirth. Nucleus pulposus vaporization - experimental investigations on use of lasers on the intervertebral disc. In: Mayer, H. M., Brock, M. (Ed.). Percutaneous lumbar discectomy. Springer Verlag, Berlin (1989)
22. Spry, L. A. Treatment of lumbar intervertebral disc lesion by direct laser irradiation. J. Bone Joint Surg. 69 (B) (1987) 502-519
23. Takahashi, K. Spectrochemical study on the effect of chromophore to the intervertebral disc. Biophysics of Orthopedics 6 (1984) 7-11
24. Ueberfeld, S. (Ed.). Fluorescence Assay. In: Biology and Medicine. Vol. 1 Academic Press, New York (1962)
25. Wolgast, M., J. Fritschberg, T. Popelmann, C. Segel, C. Soma, W. Rüdiger. Excimer inhibition of human intervertebral disc at 308 nanometers. Lasers Surg. Med. 9 (1989) 124-131
26. Zimmer, M., K. Bise, K. Holia, B. Rietzel, H. J. Reifor, K. Schmidt. Experimentelle Ergebnisse zur Gewebeschonung bei Bestrahlung mit dem Xenonchlorid-Laser. In: Steiner, W. E., Wirth, C. J. (Hrsg.). Laser in der Orthopädie. Thieme Verlag, Stuttgart (1991)
27. Dr. med. R. Fischer
Orthopädische Klinik der Universität
Orthopädische Klinik im RKO
Oberer Eselberg 45
D-89081 Ulm

Buchbesprechung

Surface Topography and Spinal Deformation. Proceedings of the 6th International Symposium, September 19-20, 1990. Edited by Dr. Arvid Alberti. Ländle de Biostereometria, Dept. de Anatomia, Facultat de Ciéncies Mèdiques de Lisboa (Portugal). Dr. Bernhard Dierig and Dr. Eberhard Hirtzler, both from the Experimental Biomechanik, Universität Münster. With contributions by numerous specialists. 1992. XII, 218 pp., 214 fig., 19 tabs., 17x24 cm soft cover. DM 96.-. ISBN 3-437-11398-4. US-ISBN 1-56081-335-0

Inhaltlich gibt das Buch die Beiträge des 6. internationalen Symposiums zu obengenanntem Thema wieder. Methoden der optischen Oberflächenvermessung entwickeln sich in den letzten Jahren zu Hilfsmitteln in der Darstellung von Wirbelsäulen- und Rumpfformatien. Verschiedenartige Vermessungstechniken, die mit dem Fortschritt der Formalanalytik, der Datenakquisition sowie der Formalanalysen möglich sind, werden im ersten Abschnitt behandelt.

Resumee: Das vorliegende Buch bietet einen umfassenden Überblick darüber, was mit der Methode der optischen Oberflächenvermessung der Wirbelsäule und des Rumpfes in Diagnostik und Therapie erfolgt sowie welche wissenschaftlichen Fragestellungen bezüglich der Wirbelsäulen- und Rumpfformatien möglich sind.

Rolf Pauchert, Heidelberg