

Aus der Orthopädischen Klinik des AK Barmbek Hamburg

Chefarzt: Prof. Dr. med. E. Hille

**Vergleichende in vitro Studie zur
minimalinvasiven Nucleotomie:
Laser, APLD und Hydrojet**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der medizinischen Fakultät

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Andrea Strandborg

2001

Dekan Prof. Dr. med. Dr. phil. Labisch

1. Prüfer Prof. Dr. Hille

2. Prüfer Prof. Dr. Krauspe

3. Prüfer Prof. Dr. Morgenstern

1	EINLEITUNG	5
2	STAND DES WISSENS	7
2.1	ANATOMIE	7
2.1.1	Wirbelsäule.....	7
2.1.2	Bewegungssegment.....	7
2.1.3	Zwischenwirbelscheibe.....	7
2.1.3.1	Anulus fibrosus	8
2.1.3.2	Nucleus pulposus	8
2.2	PATHOLOGIE	9
2.3	PATHOPHYSIOLOGIE DES BANDSCHEIBENBEDINGTEN SCHMERZES	9
2.4	THERAPIE.....	11
2.4.1	Indikationen.....	11
2.4.2	Konservativ.....	12
2.4.3	Minimal invasive Operationen	12
2.4.3.1	Chemonukleolyse	13
2.4.3.2	Laser.....	13
2.4.3.3	APLD	14
2.4.3.4	Neue Minimalinvasive Verfahren	16
2.4.3.4	Wasserstrahl	17
2.5	STAND DER FORSCHUNG - WASSERSTRAHL	17
2.6	OFFENE FRAGE	18
3	ZIEL DER ARBEIT	18
4	MATERIAL	19
4.1	PRÄPARATE.....	19
4.2	GERÄTE	20
4.2.1	Laser.....	20
4.2.2	APLD.....	21
4.2.3	Wasserstrahlgerät.....	21
4.2.4	Einspritzapparatur	22
4.2.5	Ausgußmaterial	23
4.2.6	Waage.....	24
5	METHODE	25
5.1	PRÄPARATION	25
5.2	ZUGANG ZUM NUCLEUS PULPOSUS	25
5.3	LASERNUKLEOTOMIE	25
5.4	APLD	26
5.5	WASSERSTRAHLNUKLEOTOMIE.....	26
5.6	VOLUMENBESTIMMUNG.....	26
5.7	STATISTISCHE AUSWERTUNG	28
6	ERGEBNISSE	29
6.1	GESAMTFLÄCHE DES DISKUS INTERVERTEBRALIS UND DES NUCLEUS PULPOSUS (MITTELWERTE)	29
6.2	RELATION NUCLEUS PULPOSUS ZU DISKUS INTERVERTEBRALIS	29
6.3	ENTFERNTE NUCLEUS PULPOSUS VOLUMINA	30
7	DISKUSSION	33
7.1	ERGEBNISVERGLEICH MIT DER LITERATUR	33
7.2	ANALYSE DER METHODIK.....	35
7.3	WARUM NACH ALTERNATIVEN FÜR DIE ETABLIERTEN MINIMALINVASIVEN VERFAHREN SUCHEN?.....	36
8	ZUSAMMENFASSUNG	41
9	LITERATUR	42

10	ANHANG	51
10.1	TABELLEN.....	51
10.2	DANKSAGUNG.....	53

1 Einleitung

Jeder 2. Patient stellt sich in einer Orthopädischen Praxis und jeder 10. Patient in einer Allgemeinarztpraxis wegen Rückenbeschwerden vor.⁶⁸ Bandscheibenvorfälle sind die Ursache für Lumboischialgien mit einer Inzidenz von 0,1-0,5% pro Jahr.⁴⁷ Die Inzidenz der lumbalen Bandscheibenvorfälle beträgt 5,1% bei der männlichen und 3,7% bei der weiblichen Bevölkerung.^{33;100} 70% der Beschwerden im Bereich der Wirbelsäule treten im lumbalen Bereich auf und betreffen das mittlere Lebensalter. Der Erkrankungsgipfel liegt zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr.⁷⁴ Die lumbalen Bandscheibenvorfälle sind meist in Höhe L4/L5 und L5/S1 lokalisiert.¹

Die sozialmedizinische Bedeutung liegt in den durch steigende Inzidenzen steigende volkswirtschaftlichen Kosten. S.D.Boden berichtet 1998, dass mehr als 80% der erwachsenen Bevölkerung in den USA von Rückenschmerzen betroffen ist und dies den zweit häufigsten Grund für einen ambulanten Arztbesuch darstellt. Schätzungen über die jährlichen Kosten für die Behandlung von Patienten mit Rückenschmerzen belaufen sich auf 25 Millionen Dollar. Dabei wurde berücksichtigt, dass sich bei wenigstens 90 % der Patienten eine Genesung in 6-12 Wochen einstellt.⁷

Schätzungen über die Kosten einer Behandlungsmaßnahme sollten in Bezug gesetzt werden zur Effektivität. So erscheint die in der Veröffentlichung von A.D.Malter untersuchte Kosteneffektivität bei der Nukleotomie mit kombinierten anderen medizinischen Maßnahmen als gut, wenn das Patientengut mit klar definierten Indikationen zur chirurgischen Intervention selektiert wird. Ohne diese sicheren Indikationen ist die Nukleotomie-Kosten-Effektivität nicht vorteilhaft.⁵⁵ Die rein medizinischen Kosten bei der konventionell offenen Diskektomie und der perkutanen Diskektomie die ambulant durchgeführt werden weisen keinen Unterschied auf da die präoperativ durchzuführende Diagnostik kostenintensiv ist.²³ In Deutschland steigt die Anzahl der ambulant durchgeführten Diskotomien wohingegen die Gesamtzahl der Diskotomien gleich bleibt.⁴⁵

Sowohl konservative als auch operative Therapieschemata werden zur Behandlung des Bandscheibenvorfalles beschrieben. Hauptgrund für die Suche nach Alternativmethoden für die konventionellen offenen bandscheibenchirurgischen Verfahren war neben den allgemeinen Risiken der Narkose das Postnukleotomiesyndrom.^{9;105;120}

Seit den sechziger Jahren wurden unterschiedliche minimal invasive Methoden entwickelt. Hierzu gehört insbesondere die Chemonukleolyse, erstmals beschrieben 1963 von Smith, die

perkutanen, teilweise endoskopisch kontrollierten Verfahren und auch die perkutane automatische lumbale Diskektomie (APLD).^{19;35;108} Mitte der achtziger Jahre begann die Laserchirurgie an der Bandscheibe, wobei die Art der eingesetzten Laser und die Indikationsstellungen stark variierten.¹⁸

Mittlerweile ist durch die weiterentwickelte Diagnostik und die verfeinerte Technik, zum Beispiel durch die Entwicklung von flexiblen Instrumenten die im Bandscheibenraum navigiert werden können, eine erweiterte Indikationsstellung erlaubt (freie Sequester).^{59;73}

Eine völlig neue Methode ist die Wasserstrahldiskektomie. Dieses Verfahren könnte wesentliche Vorteile gegenüber den o.g. Verfahren bieten.

2 Stand des Wissens

2.1 Anatomie

2.1.1 Wirbelsäule

Die Wirbelsäule ist ein federndes Achsenorgan, das zum einen eine statische Funktion zur Beibehaltung bestimmter Körperhaltungen hat, zum anderen kinematische und dynamische Funktionen bei Bewegungen im Stamm beinhaltet.

Die von kranial lastende Kraft wird von den Zwischenwirbelscheiben und den Wirbelbogengelenken aufgenommen. Dabei hängt die Druckverteilung vom Winkel der Gelenkflächen zu den Deckplatten der Wirbelkörper sowie von der Körperhaltung ab. Die funktionelle Abstimmung zwischen Reaktion im Bewegungssegment und Formveränderung der Wirbelsäule als Ganzes ist Grundlage für die Verarbeitung von Stoßbelastungen.

Die Wirbelsäule hat nicht in allen Abschnitten die gleiche Beweglichkeit. Hauptrichtungen der Bewegungen in der Wirbelsäule sind Beugung und Streckung im Hals- und Lendenbereich, Seitwärtsneigung und Drehung in Hals- und Brustwirbelbereich.

2.1.2 Bewegungssegment

Das Bewegungssegment besteht aus zwei benachbarten Wirbeln die funktionell durch die Zwischenwirbelscheiben, die Wirbelbogengelenke, die wirkenden Muskeln und eine Vielzahl von Bändern miteinander verbunden sind. Dabei wirken die Längsbänder als Zuggurte bei den Verbindungen der Wirbelsäule. Innerhalb eines Bewegungssegmentes liegen die Zwischenwirbellöcher mit den Nervenwurzeln der Rückenmarksnerven und den begleitenden Gefäßen. In der Regel ist die Wirbelsäule aus insgesamt 25 Bewegungssegmenten aufgebaut.⁴²

2.1.3 Zwischenwirbelscheibe

Der Diskus intervertebralis (DI) besteht aus einem Faserring, dem Anulus fibrosus (AF) und dem Gallertkern, dem Nucleus pulposus (NP) der 30-50% der Zwischenwirbelscheibendurchschnittsfläche beansprucht.

Ein Viertel der Gesamtlänge der Wirbelsäule machen die Zwischenwirbelscheiben aus. Durch ihre schwach keilförmige Gestalt tragen sie zur normalen Krümmung der Wirbelsäule bei. Es zeigt sich eine Höhenzunahme von Brust und Lendenwirbelsäule nach unten zu.

2.1.3.1 *Anulus fibrosus*

Der AF der Zwischenwirbelscheiben besteht aus Kollagenfasern die einzelne, hintereinander in Reihen angeordnete Chondrocyten und interzelluläre Fasern aufweisen. Die Faserlamellen sind konzentrisch um den Gallertkern angeordnet. Am Übergang zum Gallertkern treten einzelne elastische Fasernetze auf. Die einzelnen Faserbündel verbinden spiralg die Endflächen der benachbarten Wirbelkörper. Sie strahlen teils in die Randleisten, teils in die hyaline Knorpelplatte in einem Winkel von 30° ein.¹²² Sie sind Reste der Wirbelkörperperiphysen und bedecken den zentralen Teil der Deck bzw. Grundplatte. Es handelt sich somit um eine synchondrotische Verbindung der Wirbelkörper. Die Richtung der Fasern aufeinanderfolgender Lamellen kreuzt sich ungefähr im rechten Winkel. Der Aufbau des AF aus zugfestem aber lamellenartig geschichtetem Faserknorpel erlaubt die besondere Funktion der Zwischenwirbelscheibe: Beweglichkeit und Druckverteilung auf die gesamten angrenzenden Flächen. Hier steht die Zugbeanspruchung in der Wirbelsäule im Vordergrund, der sich der Faserknorpel anpassen kann. Die Anordnung der Lamellen sorgt für eine Hemmung stärkerer Bewegungen der Wirbel untereinander.

2.1.3.2 *Nucleus pulposus*

Der NP (Gallertkern) besteht hauptsächlich aus Keratansulfat und Hyaluronsäure und ist vom Annulus fibrosus umgeben. Sein Stoffwechsel erfolgt durch Diffusion, da es sich um ein avaskuläres Gewebe handelt.

Der gallertartige, unter Druck stehende Kern mit seinem durchsichtigen und lockerem Netzwerk aus fibrösen Fasern hat einen Wassergehalt von 70 – 90%. Nach der Geburt ist sein Wassergehalt am höchsten, dieser nimmt dann mit zunehmendem Alter stetig ab.⁷⁶

Bei der Biegung der Wirbelsäule wird der Faserring auf der Zugseite gedehnt und auf der Druckseite zusammengepreßt, weil der Nucleus pulposus durch seinen hohen Wassergehalt nicht komprimierbar ist und so die Fasern des Annulus fibrosus in Spannung hält. Bei Belastung der Wirbelsäule bewirkt der Nucleus pulposus eine gleichmäßige Druckverteilung auf die angrenzenden Wirbelkörperendflächen auch dann, wenn bei Bewegungen im Segment sich der Abstand der Wirbelkörper untereinander ungleichmäßig verändert.

2.2 Pathologie

Die Zwischenwirbelscheibe ist im Laufe des Lebens degenerativen Veränderungen ausgesetzt, die vornehmlich durch die verminderte Wasserbindungsfähigkeit in bradytrophem Gewebe entsteht. So nimmt ihre Elastizität ab und verliert damit zunehmend die stoßdämpfende Funktion unter axialer Belastung.⁷⁰

Die Folge des verminderten Wassergehaltes in der Bandscheibe ist eine Reißbildung im Anulus fibrosus.⁹⁰ Durch diese Veränderungen wird das Bewegungssegment instabil. Der unter Druck stehende Gallertkern drängt an den geschädigten Stellen den Faserring nach außen und es kommt zur Protrusion. Wird der Faserring ganz durchbrochen kommt es zur Extrusion. Lösen sich Teile des Gallertkerns ganz heraus, so spricht man von einer Sequesterbildung.¹¹⁸ Protrusion, Extrusion und Sequester können das Rückenmark, die Nervenwurzeln und die Begleitgefäße komprimieren und somit zu unterschiedlichen Symptombildern wie Lumbalgie, radikuläre Schmerzsymptomatik und Kaudasymptomatik führen. Die eingeschränkte Diskusfunktion führt zu einer segmentalen Instabilität und zu einer mechanischen Über- oder Fehlbelastung der Facettengelenke und der ligamentären Strukturen.

Detaillierte Erklärungsversuche für das Schmerzsyndrom bei Bandscheibenvorfällen liefern S.D.Kuslich und C.L. Ulstrom: Radikuläre Schmerzen entstehen demnach durch Kompression oder Überdehnung der Nervenwurzel. Die Lumbalgie wird ausgelöst durch Druck auf den Faserring. Pathologische Veränderungen an Facetten, Gelenkkapsel, Lig. flavum oder Nucleus pulposus spielen hingegen keine Rolle.⁵⁰

Die ätiologischen Theorien zum lumbalen Wurzelsyndrom sind zum einen die oben beschriebene degenerativ bedingte Instabilität des Bewegungssegmentes zum anderen die Produktion von irritierenden chemischen Substanzen.

Die degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule müssen nicht zwangsläufig einen Krankheitswert haben. Daraus erklärt sich der geringe Zusammenhang zwischen radiologisch nachweisbarer Degeneration und klinisch fehlender Symptomatik.^{4;17;66;78;115;116} So können selbst Bandscheibenvorfälle asymptomatisch verlaufen.^{6;109}

2.3 Pathophysiologie des bandscheibenbedingten Schmerzes

Die lumbale Wirbelsäule besitzt eine reiche nervale Versorgung.⁸

Cavanaugh et al konnten im Tierversuch mit einer Silberimprägnierungstechnik eine große Ansammlung feinste Nervenfasern und freier Nervenendigungen im äußersten Bereich des Anulus Fibrosus und am hinteren Längsband nachweisen.¹⁵

Die Nervenfasern im lumbosakralen Bereich sind von ihrer Struktur, ihrer Gefäßversorgung und Metabolik im Vergleich zum übrigen Nervensystem einzigartig. Lumbosakrale Nervenwurzeln beziehen ihre Nährstoffe aus distalen und proximalen Arterien. Diese Arterien bilden Anastomosen im proximalen Drittel der Nervenwurzel. Möglicherweise reagiert dieser Bereich durch die relative Hypovaskularisation besonders anfällig auf Ischämien nach Kompressionen.⁷⁷ Die nervale Funktion hängt von der Oxigenierung durch die intraneurale Mikrozirkulation ab. Schon leichte Druckerhöhungen von 20-30 mmHg und Dehnungen können diese Mikrozirkulation beeinträchtigen.⁸⁸

Die Schmerzreize sind meist die freien Nervenendigungen der A-delta-Fasern, die nur wenig myelinisiert sind und die unmyelinisierten C-Fasern. Sie haben normalerweise eine hohe mechanische Reizschwelle, die aber unter pathologischen Bedingungen, wie Entzündungen zu einer Sensibilisierung und damit zu einer Herabsetzung der Reizschwelle führen.¹⁶ Durch das empfindliche venöse System haben bereits minimale Kompressionen Ödeme zur Folge. Die Freigabe von endogenen Stoffen durch nicht neuronales Gewebe hat eine Überreizbarkeit des Nerven zur Folge und es erhöht sich so die Empfindlichkeit durch den Bandscheibenvorfall. Daraus ergibt sich die Möglichkeit den Zusammenhang von intraneuralen Entzündungen und sich daraus ableitenden Überempfindlichkeiten der Nervenfasern zu erklären.⁸⁹

Periphere Nervenendigungen werden von verschiedenen Entzündungsmediatoren, wie Bradykinin, Serotonin, Histamine, Kalium und Prostaglandinen sensibilisiert.⁸⁶ Modelle über Entzündungen an lumbalen Facetten haben gezeigt, dass die Entzündungsmediatoren letztendlich eine Sensibilisierung der Nerven auf mechanischen Streß bewirken.⁷⁵

Die Substanz P hat durch Vasodilatation, Plasmaverschiebungen und Histaminfreisetzung einen Einfluß auf die freien Nervenendigungen und auch Phospholipase A₂ beteiligt sich an den schmerzverursachenden Mechanismen.⁸⁶ Die Arachidonsäurekaskade bildet Prostaglandin E₂. Die Regulation übernimmt Phospholipase A₂ und die Cyclooxygenase. Nach neueren Studien sieht man als kaskadelimitierendes Enzym und damit als signifikant hinsichtlich der radikulären Schmerzentstehung die Cyclooxygenase-2. Sie ist Schlüsselenzym zur Regulation der Prostaglandin E₂- Bildung und spielt bei Entzündungen eine wichtige Rolle, da sie bei vielen Zellarten die Stimulation von Cytokinen wie Interleukin 1-beta und Tumornekrosefaktor induziert.⁶⁵

Phospholipase A₂ ist ein Enzym, das die Arachidonsäure von Zellmembranlipiden durch Hydrolyse von Phospholipiden löst und somit dazu führt, dass vermehrt Eicosanoide pro-

duziert werden. Die Eicosanoide (Leukotriene und Prostaglandine) sind wichtige Mediatoren für Schmerz und Entzündungen.

Die Kombination von mechanischem Druck und chemischen Ereignissen stellen den Ursprung der Nervenwurzelsymptome dar.¹¹⁹

2.4 Therapie

2.4.1 Indikationen

90-97% der lumbalen Bandscheibenvorfälle sind in den Segmenten L4/L5 und L5/S1 lokalisiert.¹ 64% der Vorfälle sind mediolateral, 12% extrem lateral und 5% in der Mittellinie lokalisiert.²⁴

In der Literatur werden keine einheitlichen Indikationen zur Behandlung eines Bandscheibenvorfalles beschrieben. Die von W.E. Siebert et al beschriebenen Ausschlußkriterien bei der perkutanen Laserdiskusdekompression kommen auch bei der APLD-Methode zur Anwendung. Zu diesen Ausschlußkriterien gehören u.a. eine Sequestrierung des Bandscheibenvorfalles, die Spinalkanalstenose, das Postdiskektomiesyndrom und psychische Probleme.¹⁰⁶

Indikationen für die APLD-Methode nach Onik (1988) bestehen bei Lumboischalgie, positivem Laseque Zeichen, Defizit im neurologischen Befund und Protrusion von Bandscheibengewebe im CT. Sie ist zu relativieren bei einer Lumboischalgie mit degenerativer Facettenkrankheit, relative Stenose des Recessus lateralis oder des Spinalkanals und vorausgehende Operation im selben Segment. Kontraindiziert ist die APLD bei absoluter Stenose des Spinalkanals und bei Sequestration von Bandscheibengewebe in den Spinalkanal.

1991 werden von Leu und Schreiber Selektionskriterien für die APLD Methode beschrieben.⁵³ Sie orientieren sich an den morphologischen und pathophysiologischen Parametern wie Kontrastdiskomanometrie und CT-Diskographie.

Nach der Überarbeitung durch M. Schiltenswolf und H.P. Kaps wurde die Indikationsliste um die insuffiziente konservative Therapie mit persistierendem Beinschmerz erweitert. Eine Einschränkung wurde allerdings dahingehend gemacht, dass neurologische Defizite möglichst kaum vorliegen dürfen.⁹⁷

Unterschiedlich wird die Indikation zu minimalchirurgischen Eingriffen bei großflächigen Bandscheibenvorwölbungen mit radiologisch erhaltenem Längsband und Annulus fibrosus gestellt („bulging disc“).⁶³

J. Hilbert et al knüpften ihre Indikationsstellung zur Laserdiskusdekompression an die folgende Voraussetzungen: radikuläres Kompressionssyndrom mit positivem Test nach Lasegue, leichte neurologische Ausfallserscheinungen müssen eindeutig der betroffenen Bandscheibe zuzuordnen sein, Korrelation der Morphologie mit Computertomographie und Kernspintomographie, ggf. auch mit Myelographie und erfolglose konservative Therapie.^{36;105}

2.4.2 Konservativ

Bei den Bandscheibenvorfällen ohne oder mit leichtem neurologischem Defizit steht die konservative Therapie für einen Zeitraum von wenigstens 6 Wochen bis zu 3-4 Monaten im Vordergrund.⁶⁹ Folgende Faktoren begünstigen eine erfolgreiche konservative Therapie: Wenn das ausgetretene NP-Gewebe wasserhaltig ist, kann durch Resorption eine Schrumpfung eintreten. Resorptionsvorgänge werden auch beschleunigt, wenn der Prolaps supra- oder infradiscal Kontakt mit der epiduralen Membran hat und das Volumen weniger als ein Drittel des Wirbelkanals einnimmt.⁴⁸

Die Behandlungskonzepte sind nicht einheitlich und beinhalten je nach individuellem Bedarf des Patienten und Ansprechen der Therapie: Bettruhe, transcutane elektrische Nervenstimulation, chiropraktische Anwendungen, medikamentöse Therapie und psychosoziale Intervention.^{2;21;22;31;103}

2.4.3 Minimal invasive Operationen

Diese Verfahren werden unter der Vorstellung durchgeführt, dass die indirekte Reduktion des Bandscheibenvorfalles durch eine Druckverminderung im Nucleus zu einer Druckentlastung der bedrängten Strukturen führt.⁶⁴

Die Operation findet im Operationssaal unter sterilen Bedingungen und mit Bildwandlerkontrolle statt. Der Patient wird auf einem röntgenstrahlendurchlässigen Operationstisch in entlordosierter Stellung in Bauchlage gelagert. Prinzipiell ist auch eine Operation in Seitenlage möglich. Der Zugangsweg ist bei allen minimal invasiven Methoden der perkutane posterolaterale Zugang. Es wird in Lokalanästhesie operiert, ein Anästhesieteam ist in unmittelbarer Bereitschaft.

2.4.3.1 Chemonukleolyse

Die Substanzen Papain und Chymopapain wurden 1941 erstmals von Jansen und Balls aus der Milch der Papayapflanze isoliert.⁴¹ Die Wirkung auf Knorpelgewebe entdeckte Thomas 1955.¹¹³ L. Smith injizierte das Chymopapain 1963 gezielt in die Bandscheibe und beobachtete eine Lysierung von NP-Gewebe und AF-Gewebe.¹⁰⁸

Chymopapain ist eine Cysteinproteinase, die durch Spaltung von Peptidbindungen den Proteoglykanmolekülen die Wasserbindungsfähigkeit entzieht. Dadurch können freie Wassermoleküle aus der Bandscheibe abdiffundieren. Proteoglykane stellen die Grundsubstanz des Bandscheibengewebes dar. Es gibt eine Interaktion zwischen kollagenem Netzwerk und Proteoglykankomplex, sodass der enzymatische Effekt auch am Anulusgewebe zu beobachten ist. Innerhalb von einigen Stunden ist das freie Enzym durch die in der einströmenden extrazellulären Flüssigkeit enthaltenen α^2 Makroglobuline inaktiviert.⁸³

Technische Durchführung:

Zur Allergieprophylaxe werden H1 und H2 Blocker in der Prämedikation gegeben.

Die Diskographie zeigt unter Bildwandlerkontrolle die korrekte Position der 18-gg-Nadel im Zentrum des zu lysierenden NP. 1-3 ml Chymopapain wird langsam injiziert. Die Nadel wird entfernt und die Einstichstelle mit Pflaster versorgt.

2.4.3.2 Laser

Mitte der achtziger Jahre begann die Laserchirurgie an der Bandscheibe.

Der Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) bewirkt durch die Anregung von Atomen elektromagnetische Strahlung, die im biologischem Zielgewebe neben photochemischen und athermischen Reaktionen auch eine thermische Wirkung hat. Von Bedeutung bei der Bandscheibendekompression ist diese thermische Wirkung, die zu einer Verdampfung des Gewebes bei mehr als 300°C führt.

Technische Durchführung:

Unter Bildwandlerkontrolle wird eine 18-gg-Spezialnadel 10 cm bis maximal 12 cm neben der Mittellinie auf der gleichen Seite des Bandscheibenvorfalles im Winkel von 30-45° zur Horizontalen eingeführt und in der Bandscheibe plaziert. Die Diskographie überprüft die Na-

dellage und die Art des Vorfalls. Über die liegende Hohlnadel wird ein Führungsdraht in die Bandscheibe eingeführt. Die Diskographienadel wird entfernt und die Laserpunktionskanüle mit dem Spülkanal über den Führungsdraht in der Bandscheibe plaziert. Nach Entfernung des Führungsdrahtes kann über die Lasernadel eine 400-600 µm messende Quarzglasfaser eingeführt werden. Die Länge dieser Faser wird vorher so markiert, dass sie maximal 4mm über die Spitze der Kanüle frei in das Bandscheibengewebe ragen kann (Abb.1)

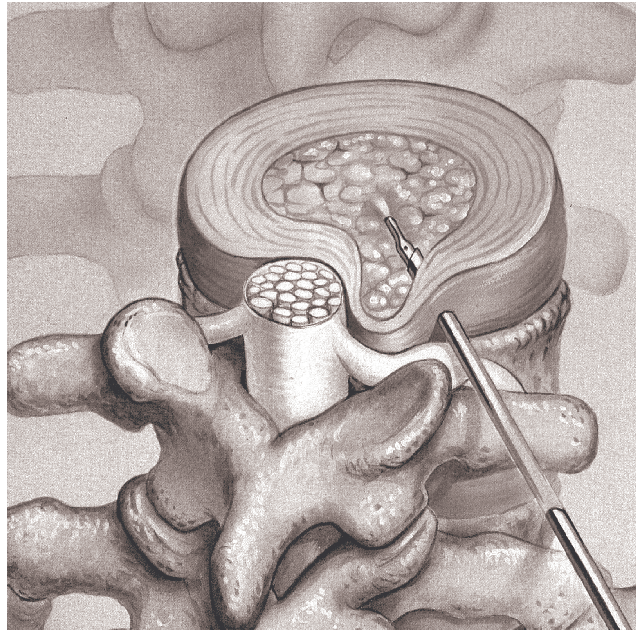


Abbildung 1 : Dorsaler Zugang zum NP bei Lasernucleotomie ©

Zum Einsatz kommt ein Holmium YAG-Laser mit 2,1µm Wellenlänge, der eine Leistung von 0,8J / 8Hz entsprechend 6,4 W aufweist. Nach Applikation von 100 J wird eine Pause von 5 Sek. eingehalten. Die insgesamt applizierte Energiemenge sollte 1600 J nicht überschreiten. Nach jeweils 400J wird die Glasfaser entfernt und der Bandscheibenraum mit 0,9% Kochsalzlösung gespült.¹⁰⁶

2.4.3.3 **APLD**

1985 wurde durch Onik et al die Technik der automatisierten perkutanen lumbalen Diskektomie entwickelt.

Technischen Durchführung:

Die dorsolaterale Punktionsstelle liegt normalerweise 8 bis 12 cm von der Medianlinie entfernt, sodass die Punktion parallel zur Bandscheibe und in der Mitte zwischen den Endplatten der Wirbelkörper der betroffenen Bandscheibe verläuft. Der Punktionskanal muß auf der Seite des Bandscheibenvorfalls liegen, um die Nucleotomie- Sonde so nahe wie möglich an den Vorfall heranzuführen.

Über diesen dorsolateralen Zugang (Abb. 2) wird das Bandscheibenfach in einem Winkel von 45° zur Sagittalebene unter Bildwandlerkontrolle mit einer 25 cm langen, No18 Stahl-Kanüle (FlexTrocar) punktiert. Es folgt eine Diskographie zur Unterscheidung von einer sequestrierten Diskushernie mit Kontrastmittelaustritt in den Spinalkanal und einer noch gedeckten Bandscheibenhernie.

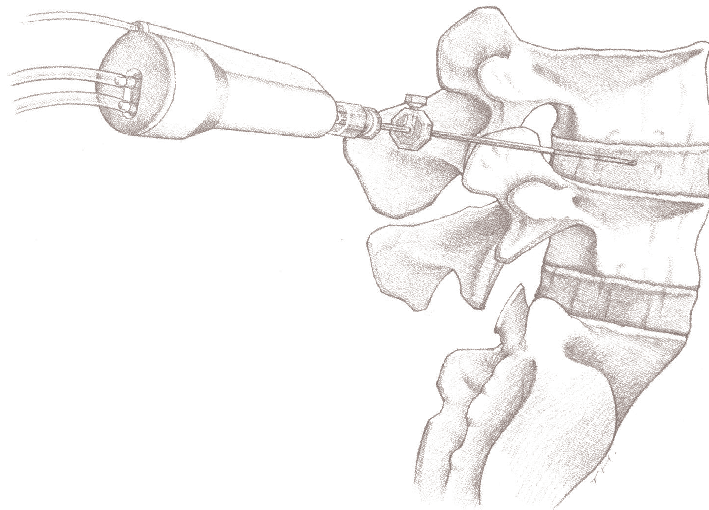


Abbildung 2: Dorsolateraler Zugang zum NP bei der APLD[®]

Sobald sich die Spitze des FlexTrocar in korrekter Lage innerhalb des Bandscheibenzentrums befindet, wird eine gerade Kanüle (Durchmesser 2,8mm) mit einem konisch zulaufendem Dilatator über den FlexTrocar geschoben und bis zur Anuluswand herangeführt. Der Dilatator wird entfernt und der Trepan (Lochsäge) über den FlexTrocar durch die Kanüle an den Anulus herangeführt. Unter leichtem Druck erfolgt mittels einer Drehung im Uhrzeigersinn die Inzision des Anulus fibrosus. Anschließend können Trepan und FlexTrocar herausgezogen werden. Die Nucleotomie- Sonde mit einem Durchmesser von 2,0 mm wird in die Kanüle eingeführt.

Jeder einzelne Arbeitsschritt wird durch Bildwandlerkontrolle und Befragen des Patienten auf radikuläre Schmerzen gesichert bzw. korrigiert.

Die Nucleotomie-Sonde hat eine abgerundete Spitze mit geschlossenem Ende und seitlicher Öffnung. Das schneidende Element ist eine innen gelegene Kanüle mit scharfem Ende. Sie wird pneumatisch geführt, wodurch ein oszillierendes Schnittverfahren entsteht. Saugen und Schneiden wechseln sich stetig ab. Das geschnittene und abgesaugte Material wird durch die innere

Wasserstrahl Kanüle mit 0,9% Kochsalzlösung weggespült. Das Nukleotom arbeitet mit maximal 180 Bewegungen in der Minute, abhängig von der Einstellung und von der Geschwindigkeit mit der sich das Bandscheibenmaterial schneiden und absaugen lässt. Das maximal erreichbare Vakuum beträgt 680 mmHg.⁵⁶

2.4.3.4 Neue Minimalinvasive Verfahren

Neben der hier behandelten Wasserstrahldiskotomie sind derzeit weitere minimalinvasive Verfahren Gegenstand der Forschung.

So stellt die **Ultraschallnukleolyse** ein neues Verfahren dar, das entweder extrakorporal oder intrakorporal angewendet zu einer thermischen Nukleolyse führen soll. Zumindest in vitro führen Ultraschallwellen zu einer Erhitzung des N.P. , sodass dieser „verköcht“ wird. Dieses Verfahren befindet sich in experimentellem Stadium.⁸⁰

Bereits in der experimentellen klinischen Anwendung befindet sich die **intradiskale elektrothermale Anuloplastie (IDET)**.⁹² Hier kommt es durch eine lokale Erwärmung zu einer Destruktion im AF. Das Verfahren hat als Wirkprinzip die thermische Zerstörung von Nozizeptoren und reaktivem Granulationsgewebe sowie die narbige Ausheilung von Kollagenfasern.¹⁰² Problem dieser beiden Verfahren ist die fehlende Selektivität und ein sehr eingeschränktes Indikationsspektrum sowie fehlende Vergleiche.³² Laut einer in vitro Studie ergibt sich keine Instabilität im Bewegungssegment nach IDET.⁵²

Im tierexperimentellen Versuch kam die hypertone Kochsalzinjektion zu Anwendung, die so den intradiskalen Druck in der Bandscheibe senken soll.⁹⁵

Neuere Substanzen wie die ChondroitinaseABC, ein Stoffwechselprodukt des *Proteus vulgaris*, haben die gleiche Wirkungsweise wie das Chymopapain, nur mit selektiver Wirkung an

den Proteoglykanen im NP-Gewebe.⁵⁴ Außerdem soll es im Tierversuch zu einer Verminderung von Phospholipase A₂-Aktivität kommen.^{40;93;94;96}

Eine prospektiv randomisierte 5- Jahres Studie zeigt, dass die Collagenase zur Therapie des Bandscheibenvorfalles nicht empfohlen werden kann, da das Behandlungsergebnis der Patienten schlechter ist als bei den mit Chymopapain behandelten Patienten.¹²⁵

Ebenfalls in der klinischen Erprobung ist die **endoskopisch gestützte Diskotomie**. Diese Verfahren soll durch die visuelle Kontrolle eine größere Sicherheit bzgl. des Zugangsweges und der eigentlichen Diskotomie gewährleisten.³⁸

2.4.3.4 Wasserstrahl

Zum Zeitpunkt der Studie gab es bezüglich der Nucleotomie keine klinische Anwendung.

2.5 Stand der Forschung - Wasserstrahl

Der Hochdruckwasserstrahl ist in vielen Bereichen der industriellen Fertigungstechnik als Schneid-, Bohr- und Reinigungswerkzeug im Einsatz. Dabei liegt der Vorteil gegenüber klassischen Trennverfahren im athermischen Schneidprozeß, das Werkstück wird gering mechanisch beansprucht und das Schneidwerkzeug hat einen geringen Verschleiß.

Der Medizinische Einsatz des Wasserstrahls begann in den siebziger Jahren zum Schneiden von weichen Organen, insbesondere Lebergewebe. Der Vorteil dieses Verfahrens ist das selektive Schneiden von Gewebe mittels Druckregelung.¹¹⁴ Auch gastroduodenale Ulcera, Cholezystektomien, Gallengangslavagen und endoskopische Resektionen von Bezoaren mit Hilfe des Wasserstrahlgerätes wurden beschrieben.⁵¹

Inzwischen hat sich die Anwendung des Wasserstrahls auch auf andere medizinische Fachgebiete ausgedehnt: In der Augenheilkunde zur Kataraktbehandlung, in der Plastischen Chirurgie zur Präparation von Hautlappen, in der Neurochirurgie zur Entfernung von intracerebralen Hämatomen und Tumoren, in der Nephrologie zur Entfernung der Niere und in der Orthopädie zum Schneiden von Knochen und zur Synovektomie.^{26;39;82;107;123}

Die klinische Anwendung des Wasserstrahls in der Bandscheibenchirurgie war zu Beginn der Studie bereits im Rahmen einer Pilotstudie im Allgemeinen Krankenhaus Barmbek geplant. Zuvor konnte in einer experimentellen Untersuchung nachgewiesen werden, dass es technisch möglich ist bei Einstellung eines optimalen Wasserstrahldruckes und Düsendurchmessers selektiv NP-Gewebe zu schneiden. Die histologische Aufarbeitung des Gewebes zeigte keine

Schädigung im Bereich des AF und des hyalinen Knorpels der angrenzenden Grund- bzw. Deckplatten.³⁷

2.6 Offene Frage

Ist das Wasserstrahlgerät quantitativ bezüglich der entfernten Bandscheibenmengen mit etablierten minimalinvasiven Methoden vergleichbar?

3 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie ist der quantitative Vergleich der Hydrojetnucleotomie mit den etablierten minimal invasiven Operationsmethoden Lasernucleotomie und APLD bezogen auf die Menge des entfernten Nucleus Pulposus-Gewebe.

4 Material

4.1 Präparate

Es werden Wirbelsäulen von jungen Schweinen mit einem Gewicht von 28-31,8 kg verwendet. Diese Wirbelsäulen weisen noch keinerlei degenerative Veränderungen auf.

In seiner physiologischen Beschaffenheit ist das Schwein dem Menschen sehr ähnlich. Die Anatomie der Wirbelsäule weist allerdings erhebliche Unterschiede auf: Die Wirbelkörper sind beim Schwein länger und schlanker geformt, die Bandscheibe hat ein elipsoides bzw. mehr dreieckiges als ovales Erscheinungsbild wenn sie quer aufgeschnitten wird. Diese Unterschiede haben einen entwicklungsgeschichtlichen Hintergrund. Sie reflektieren die Anpassung an den Vierfüßlerstand und den Einfluß der Schwerkraft auf die Wirbelsäule des Schweins. Auch die strukturellen anatomischen Unterschiede der Bandscheibe und die damit verbundenen unterschiedlichen mechanischen Verhaltensweisen müssen berücksichtigt werden. Die Konsistenz des NP in der Schweinebandscheibe ist gallertartig und von wenig fibrösem Knorpelgewebe umgeben. Beim jungen erwachsenen Menschen ist mehr lockeres fibröses Knorpelgewebe vorhanden. Mit zunehmendem Alter und zunehmendem Flüssigkeitsverlust nimmt die Gallertmasse eine völlig dichte und fibröse Konsistenz an.⁴⁶ Die Vergleichbarkeit der porcinen und humanen Bandscheiben ist eher beim jungen erwachsenen Menschen gegeben.

In die Versuchsreihe wurden insgesamt sechs Präparate mit einem Lebendgewicht zwischen 28 kg und 31,8 kg einbezogen (Mittelwert 29,1 kg; Standardabweichung 1,607). Die Lendenwirbelsegmente 2-7 kamen hier zur Verwendung.

Präparat	Gewicht (kg)
I	28
II	29,6
III	28,2
IV	28,6
V	31,2
VI	31,8
MW	29,1
Stabw.	1,607

Tabelle 1: Gewicht der Schweine

4.2 Geräte

Für die Eingriffe an den Bandscheiben wurden ausschließlich Geräte benutzt, die auch im klinischen Alltag Verwendung finden. Es handelt sich hierbei um einen Holmium Yag Laser, ein Nucleotome-System sowie das Wasserstrahlgerät Typ Müritz 1000. Die technischen Eigenschaften dieser Geräte werden im Folgenden näher erläutert.

4.2.1 Laser

Zur Anwendung kam ein moderner Holmium Yag Laser mit Operationsinstrumentarium, das speziell für die Nukleotomie entwickelt wurde und hier routinemäßig Anwendung findet. (siehe Tabelle 2 und Abbildung 3).

VersaPulse Select*

Laser Quelle	Holmium : YAG
Wellenlänge	2,1 µm
Energie Pulse Holmium	0,2-2,8 Joule
Pulsdauer	250 Mikrosekunden
Übergabesystem	Flexible Übergabefaser

Tabelle 2: Technische Daten des Lasergerätes

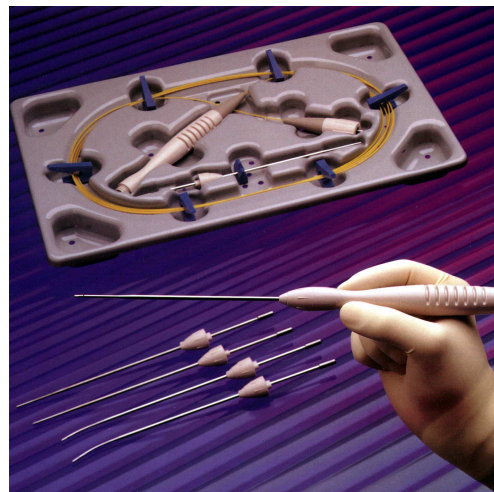


Abbildung 3: Holmium YAG Laser (links) und Operationsinstrumentarium (rechts)

* Fa. Coherent GmbH, Dieburg

4.2.2 APLD

Das APLD- Gerät zur automatischen percutanen lumbalen Diskektomie weist in seiner Arbeitsspitze eine Saugvorrichtung mit einer einstellbaren Vakuumpumpe (maximale Saugdruckeinstellung von 680 mmHg) auf. Damit wird das zu schneidende Bandscheibengewebe in die Arbeitsspitze hineingesogen und sodann von der Schneidvorrichtung (einstellbare Schnittrate von 60 – 180/ min.) abgetrennt. (Tab.3)

Vakuum- Einstellung	Max. 680 mm HG
Nadeldurchmesser	2 oder 3 mm
Schnittrate	60-180 Schnitte/min

Tabelle 3: Technische Daten APLD



Abbildung 4: Nucleotome System *

4.2.3 Wasserstrahlgerät

Das Wasserstrahlgerät ist ein neu entwickeltes Gerät, das mit Hilfe eines Mediumwandlers ein Schneidmedium mit einem quasi-statischen Druck erzeugt mit dem das selektive Trennen biologischer Strukturen möglich ist. Dabei ist die Selektivität durch die beiden variablen Parameter Druck und Düsendurchmesser ermöglicht worden. (Tab. 4)

* Fa. Surgical Dynamics, Alameda (USA)

Druck	von 0 bis 120 bar stufenlos einstellbar
Stromversorgung	230 V, 6 A, 50 Hz
Kartusche	1000 ml 0,9 % NaCl Schneidmedium
Kapillare	Innendurchmesser: 0,75mm, Außendurchmesser: 1,59mm
Handstücke	Düsendurchmesser: 50, 80, 100, 120, 150 und 200µ

Tabelle 4: Technische Daten des Wasserstrahlgerätes „Müritz 1000“**



Abbildung 5: Wasserstrahlgerät

4.2.4 Einspritzapparatur

Diese Vorrichtung wurde mit Hilfe eines Präzisionsdruckreglers (0-5 bar (+/- 0,001 bar) so konstruiert, dass bei einem konstanten Druck die Befüllung des durch die Bearbeitung entstandenen Hohlraumes mit dem Ausgussmaterial standardisiert möglich ist. Über einen Druckstempel kann das Ausgussmaterial Provil R novo aus der Mischspritze über den Bear-

** Fa. Euromed Medizintechnik. Schwerin

beitungskanal in die Bandscheibe ausgepresst werden (Abb.6).

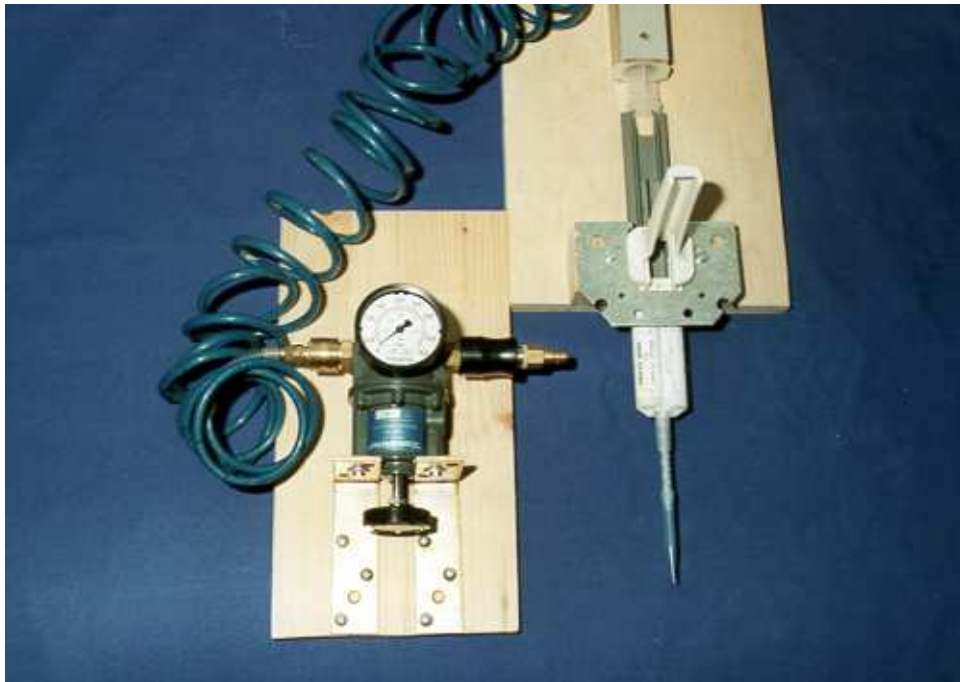


Abbildung 6: Einspritzapparat

4.2.5 Ausgußmaterial

Das in der Zahnmedizin verwendete 2 Komponenten-Ausgussmaterial Provil R novo zeichnet sich durch seine schnelle und gleichmäßige Aushärtung nach Vermischung der beiden Komponenten sowie für diese Versuche optimale Fließeigenschaften aus. So wird die Kanülenspitze der Einspritzapparat beim Einpressen problemlos passiert. Form, Volumen und Gewicht ändern sich nach der Abbindezeit nicht mehr. (Tab. 5)

Konsistenz	Mittelfließend
Mischzeit Sek.	0
Verarbeitungszeit Min.	2
Mindestverweildauer Min.	3,5
Abbindezeit Min.	4,5
Härte Shore A	57
Max. Verformung unter Druck %	2,5
Rückstellung nach Verformung %	99,6
Lineare Maßänderung (Schrumpfung) %	0,17

Tabelle 5: Technische Daten Provil R novo Medium C.D. regular set*

* Fa. Heraeus, Dormagen



Abbildung 7: Ausgussmaterial mit Misch- und Einspritzkanäle

4.2.6 Waage

Zum Auswiegen des Ausgussmaterials wurde eine Präzisionswaage mit einem Wägebereich von 0-200g und einer Genauigkeit von 0,05 mg verwendet.

Wägebereich	0- 200 g
Mechanische Gewichtsschaltung	1-199 g
Teilstrichabstand	5,4 mm
Skalenbereich	1 g
Ziffernschritt	0,1 mg
Genauigkeit	0,05 mg
Dämpfung	Luft

Tabelle 6: Technische Daten der 2400 Makro-Waage mit Sartorius Vorwaage*

* Fa. Satorius-Werke GmbH, Göttingen

5 Methode

5.1 Präparation

Die Wirbelsäulen wurden entsprechend dem von Wilke vorgeschlagenen Standard zur Präparatvorbereitung bei Wirbelsäulentestung sofort nach Eintritt des Todes entnommen und in luftundurchlässige Siegelrandbeutel vakuumeingeschweißt und bei -25° tiefgefroren.¹²⁴ Ein Austrocknen der Präparate wurde auf diese Weise verhindert. Vor Versuchsbeginn tauten die Wirbelsäulen 8 Stunden bei Zimmertemperatur auf. In jeder Gruppe wurden zwei Wirbelsäulen mit jeweils 5 Segmenten, unter kontinuierlicher Befeuchtung, von Muskulatur und Weichteilgewebe freipräpariert und sofort bearbeitet. Somit standen für jede Operationsmethode insgesamt 10 Bandscheiben von jeweils 2 Schweinen zur Verfügung.

5.2 Zugang zum Nucleus pulposus

Der Zugangsweg für die Versuche unterschied sich in drei Punkten von den im klinischen Alltag verwendeten Verfahren: Es erfolgte aus praktischen Erwägungen heraus der laterale Zugang zum NP. Der Zugangsweg war durch die vorherige Freipräparation verkürzt, außerdem konnte die Bandscheibe durch die besondere Verteilung des NP in der Schweinebandscheibe in einem flacheren Winkel von ca. 30° perforiert werden.

Der AF wurde mit einem K-Draht perforiert und soweit vorgeschoben bis eine deutliche Widerstandsabnahme das Erreichen des NP anzeigte. Über diesen K-Draht wurde ein Trepan (Lochsäge) mit einer darüber liegenden Führungskanüle an den AF herangeführt. Mit dem Trepan konnte nun ein Loch in den AF gebohrt und die Führungskanüle in den NP vorgeschoben werden. Der Trepan wurde mit dem K-Draht herausgezogen. Sofort wurde die Mitnahme des Bohrzylinders kontrolliert und es erfolgte die visuelle Kontrolle, dass kein N.P.-Gewebe mitentfernt wurde. Über die so gelegte Führungskanüle war der Zugang für die Laserkapillare, das Nukleotom und die Wasserstrahlkapillare in den Nucleus Pulposus frei.

5.3 Lasernukleotomie

Die Operationsparameter für den Laser waren 8 Pulse pro Sekunde bei einer Energieleistung von 0,8 Joule pro Puls.

Zur Kühlung wurde nach jeweils 5 Sekunden Laserapplikation 5 Sekunden Pause eingehalten. Nach Erreichen einer Energiedosis von 100J wurde der so geschaffene NP-Raum mit 20ml physiologischer Kochsalzlösung gespült. Die gesamte Laserzeit betrug 4 Minuten pro Segment, dies entspricht einer Energiemenge von 400J. Da die Schweinebandscheibe nur näherungsweise ein viertel der Größe der humanen Bandscheibe aufweist, wurde lediglich ein viertel der bei menschlichen Bandscheiben zulässigen Energiemenge appliziert.

5.4 APLD

Die Operationsparameter bei der APLD waren eine maximale Schnittrate von 180 pro Minute unter einem maximalen Saugdruck von 680 mmHg für 4 Minuten.

5.5 Wasserstrahlnukleotomie

Das Wasserstrahlgerät kam mit einem gleichmäßigen Wasserstrahldruck von 60 bar bei einem Düsendurchmesser von 0,08 mm zur Anwendung. Diese Parameter hatten sich in Vorversuchen, die Bestandteil einer anderen Arbeit sind, als geeignet für das selektive Schneiden von porcinem NP- Gewebe gezeigt.³⁷ Die Bandscheiben wurden jeweils über 4 Minuten bearbeitet.

Wesentlich für die Funktionsfähigkeit des Verfahrens mit dem Wasserstrahlgerät war der ungehinderte Abtransport des eingestrahnten Wasservolumens und des darin enthaltenem geschnittenen NP-Gewebes. Dies wurde durch die Entwicklung einer in den Handgriff integrierten, angeschrägten Absaugkanüle und einem Absaugdruck von 600 mmHg gewährleistet.

5.6 Volumenbestimmung

Nach dem Schneiden des NP-Gewebes in der o.g. Form wurden die geschaffenen Hohlräume mit Hilfe der oben beschriebenen Einspritzapparatur mit Provil ausgefüllt (Abb.9). Die Gewährleistung eines konstanten Einfülldruckes von 2,5 bar über eine Minute erfolgte durch den Einsatz eines Präzisionsdruckreglers. Die Verformungseigenschaften des Abdruckkunststoffes Provil ließen eine optimale Füllung des Hohlraumes zu.



Abbildung 8: Provil- Ausguß nach NP Entfernung

Um eingeschlossene Luft in der Bandscheibe zu evakuieren, wurde eine 2mm Venflon Kanüle auf der gegenüberliegenden Seite eingeführt.

Nach ca. 10 minütiger Aushärtungszeit erfolgte das Aufschneiden der behandelten Bandscheiben, die Entnahme des Ausgusses und das Wiegen (Abb. 8).

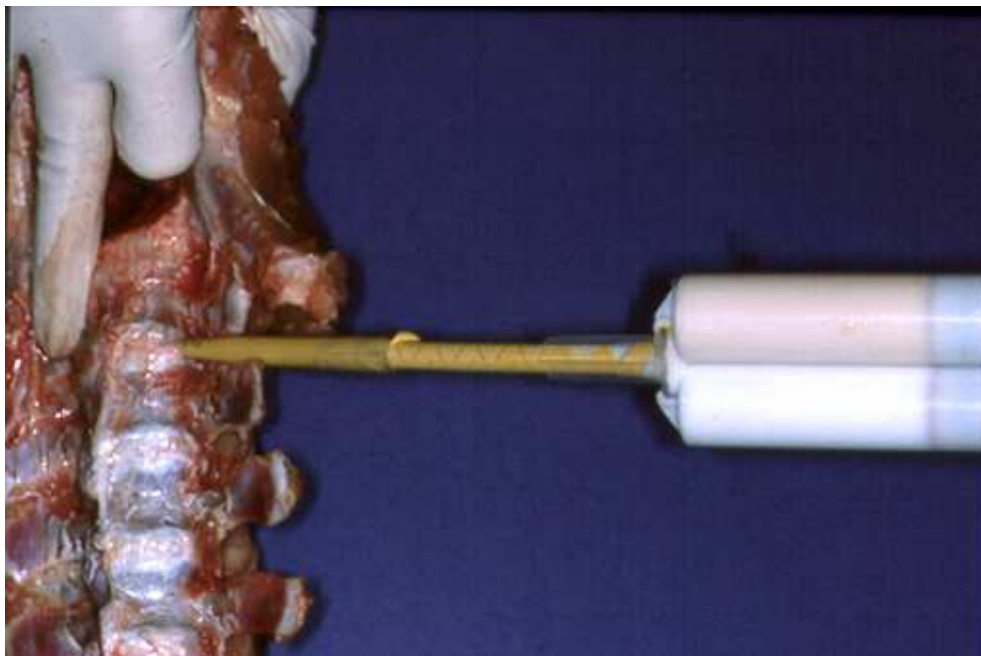


Abbildung 9: Einbringung des Ausfüllmaterials Provil

5.7 Statistische Auswertung

Als Statistikprogramm stand SPSS für Windows zur Verfügung. Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit einem Tukey Post Hoc Vergleich mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95% ($\alpha = 0,05$) durchgeführt. Es wurden sowohl Vergleiche innerhalb der Gruppen Laser, APLD und Wasserstrahl als auch zwischen den Gruppen durchgeführt.

6 Ergebnisse

Das NP-Volumen vor der Behandlung annähernd zu bestimmen war durch die optisch nicht zu identifizierende Höhe der Bandscheibe nicht möglich. Die Flächen der einzelnen Bandscheiben wurden mit Hilfe eines Meßschiebers ausgemessen und in Abbildung 10 dargestellt. Die sehr gute visuelle Unterscheidung von AF und NP machte eine getrennte Ausmessung möglich.

6.1 Gesamtfläche des Diskus intervertebralis und des Nucleus pulposus (Mittelwerte)

Die Gesamtflächen des DI und die Fläche des entsprechenden NP werden dargestellt. Analog zu den anatomischen Verhältnissen der humanen Wirbelsäule nehmen beide Flächen nach distal hin zu.

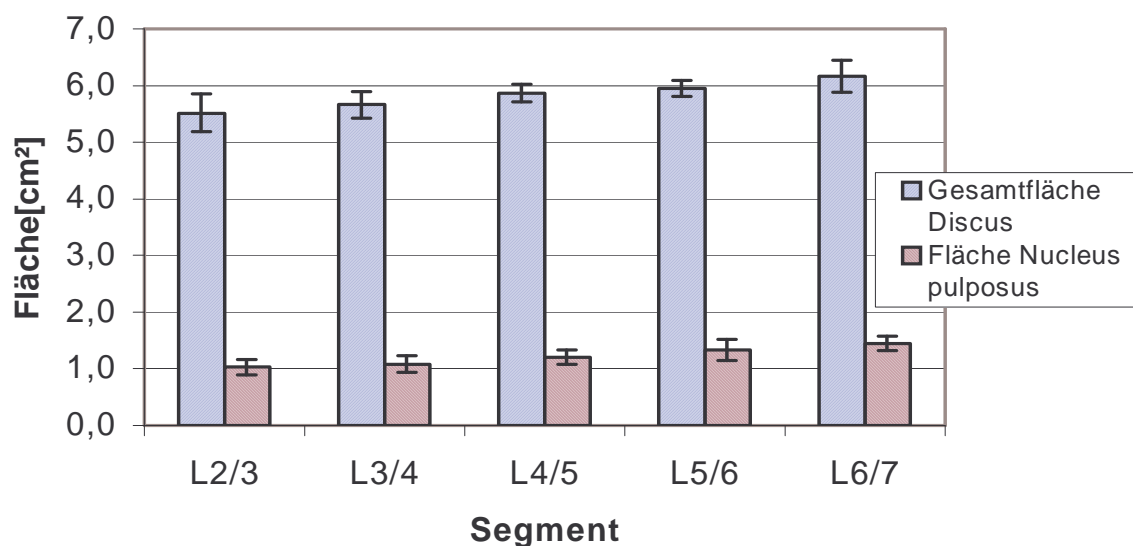


Abbildung 10: Flächenmessung des DI und NP in den unterschiedlichen Segmenten (Tab. 1)

6.2 Relation Nucleus pulposus zu Diskus intervertebralis

Im Verhältnisses des DI zum NP zeigt sich eine relative Zunahme der NP- Fläche in den distalen Segmenten. Auch dies entspricht den anatomischen Verhältnissen der humanen Wirbelsäule.

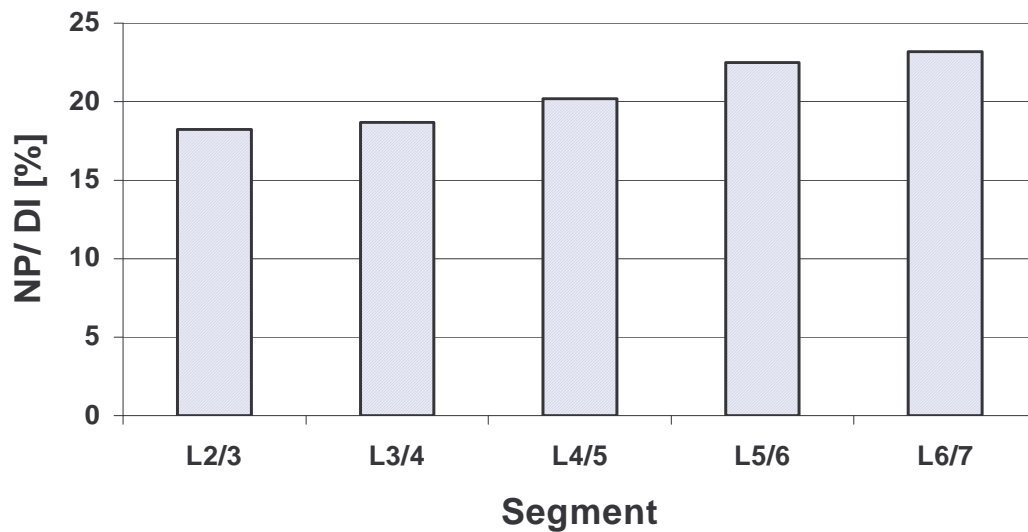


Abbildung 11: Relative Fläche des NP zur Gesamtfläche des DI (Tab.2)

6.3 Entfernte Nucleus pulposus Volumina

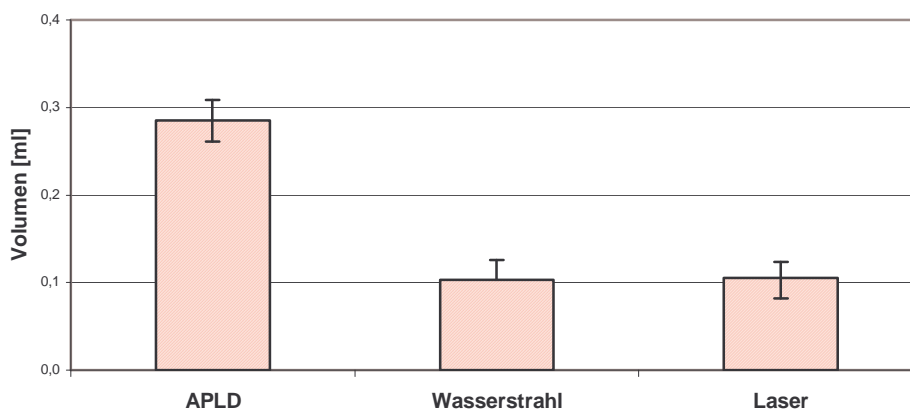


Abbildung 12: Volumina des entfernten NP- Materials (Tab. 3)

Abbildung 12 stellt die mit den einzelnen Operationsmethoden aus dem NP entfernten Volumina dar. Hierbei fällt die mit 0,29 ml über doppelt so hohe Volumenentfernung ($p=0,000127$) mit der APLD-Methode auf, wobei die Verfahren Wasserstrahl und Laser annähernd gleiche Volumina (0,10ml bzw. 0,11ml) entfernen ($p>0,05$).

Abbildungen 13 und 14 zeigen die Volumina des entfernten NP-Gewebes in den einzelnen Bandscheibensegmenten. Obwohl tendenziell bei einer größeren Bandscheibenfläche größere NP-Volumina bei allen Methoden entfernt werden, zeigt sich bei der statistischen Aufarbei-

tung, dass das geförderte Volumen unabhängig von der Segmenthöhe und damit von der bearbeiteten NP-Fläche ist ($p > 0,05$). Innerhalb der Gruppen APLD, Wasserstrahl und Laser lassen sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich der geförderten Volumina darstellen ($p > 0,05$).

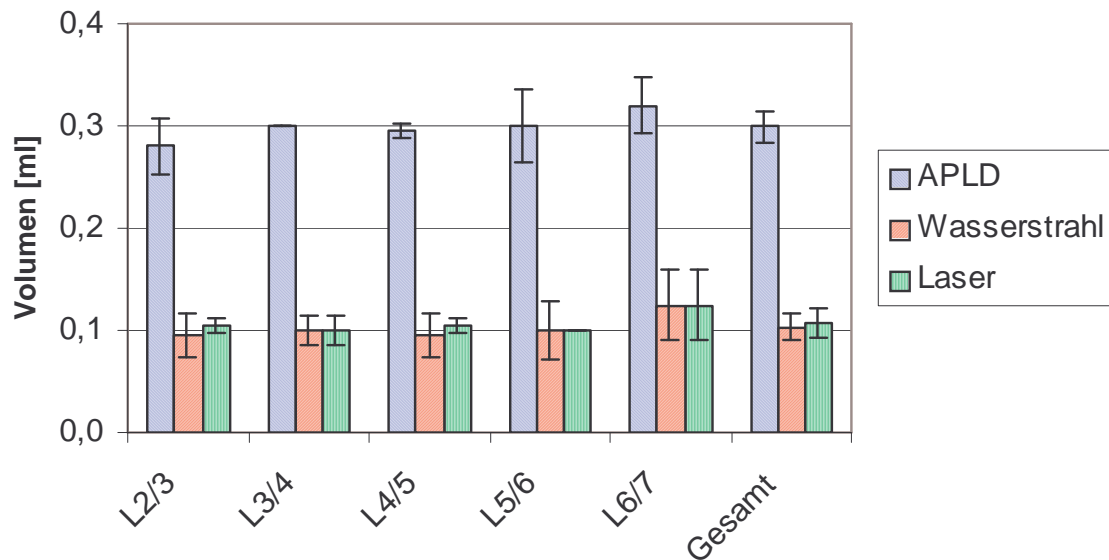


Abbildung 13: Entfernte NP- Volumina in den unterschiedlichen Segmenten (Tab.4)

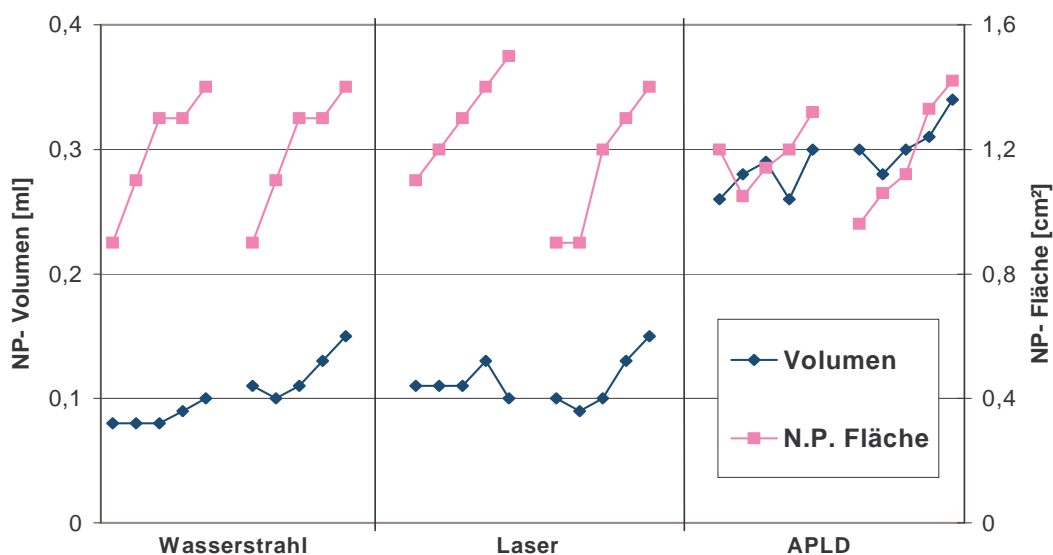


Abbildung 14: Verhältnis entferntes NP- Gewebe zur NP- Fläche in den einzelnen Segmenten (Tab. 5)

Zusammenfassend zeigt sich, dass das Volumen des entfernten Gewebes sowohl von der Größe des NP als auch von der Höhe des bearbeiteten Segments unabhängig ist.

Mit der APLD lassen sich in gleicher Zeit größere NP-Volumina entfernen als mit der Laser und Wasserstrahlmethode.

7 Diskussion

7.1 Ergebnisvergleich mit der Literatur

In der Vergangenheit wurden mehrfach Versuche unternommen die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen minimalinvasiven Verfahren zur Nucleotomie durch in vitro Versuche zu quantifizieren.

Bei den meisten in der Literatur publizierten Arbeiten, die sich mit der perkutanen Nucleotomie befassen, werden Mengenangaben und Operationszeiten nicht oder nur unvollständig angegeben. Wenn Mengenangaben vorliegen, dann variieren diese stark; häufig fehlen Angaben über die Methoden der durchgeführten Messungen.^{20;29;34;57;64;101;112}

So beschreibt Hijikata Mengenangaben zwischen 1 und 3 g, korreliert diese mit dem Alter der Patienten und der Form des Bandscheibenvorfalles und zieht daraus Schlüsse über die Erfolgsaussichten für die Patienten bei der NAPLD-Methode. Angaben zur Art der Aufarbeitung des NP-Materials und zur Gewichtsbestimmung macht er nicht.³⁴

Graham erwähnt in seinem Artikel über die Erfolgsrate der percutanen Diskektomie mit posterolateralem Zugang eine durchschnittliche NP-Materialentfernung von 1,5 g. Das Material wurde durch Aspiration mittels Spritze und dem Zangeninstrumentarium gewonnen. Die Operationszeiten betragen zwischen 20 und 30 Minuten.²⁹

Auch Suezawa berichtet bei gleicher Methode von einer Gewichtsbestimmung des NP-Materials. Er schreibt, dass die NP-Gewebestückchen in physiologischer Kochsalzlösung gesammelt und anschließend gewogen wurden. Bei dieser Nassgewichtsbestimmung wurden Gewichte zwischen 1,5 und 13g gemessen.¹¹²

Seibel beschreibt bei der APLD- Methode Mengenangaben zwischen 1,9 und 7,9 g in einer Entnahmezeit von 35 Minuten. Wie gewogen wurde wird nicht berichtet.¹⁰¹

Davis et al erwähnt eine mit der APLD-Methode entnommene Gewebsmenge von durchschnittlich 2,1g. Auch hier wird nicht auf die Art der Gewichtsbestimmung eingegangen.²⁰

Bei Min et al wurden die Bandscheiben halbiert und sowohl das Nassgewicht als auch das Trockengewicht bestimmt. Die eine Hälfte wurde vor der Gefriertrocknung mit dem Laser bearbeitet, anschließend gefriergetrocknet und gewogen. So ergibt sich ein durchschnittliches physiologisches Gewicht von 1,89 g und ein Trockengewicht von 0,556 g.⁶⁴

Unseres Wissens gibt es keine quantitativ vergleichende in vitro Untersuchung der verschiedenen minimalinvasiven Verfahren. Zwei Studien beschäftigten sich mit der Menge des entnommenen Nucleusgewebes mit den unterschiedlichen Operationsverfahren APLD und

nommenen Nucleusgewebes mit den unterschiedlichen Operationsverfahren APLD und NAPLD. Die Volumenbestimmung wurde dabei mit unterschiedlichen Methoden vorgenommen.¹²

Castro et al vergleichen die entnommenen Mengen durch Wiegen gefriergetrockneten Bandscheibenmaterials.¹² Pfeiffer et al führen eine Gewichtsbestimmung nach Zentrifugieren durch.⁸¹ Nachteil dieser Verfahren ist unsers Erachtens die Tatsache, daß physikalische Phänomene wie die Schrumpfung des Gewebes durch Hitze bei der Lasernukleotomie oder das Gewebeoedem durch die Spülflüssigkeit nicht berücksichtigt werden können.

In der vorliegenden Arbeit ist eine standardisierte Möglichkeit entwickelt worden um vergleichbare Rückschlüsse auf das entfernte NP-Gewebe mit den unterschiedlichsten Operationsverfahren zu ziehen. So kann die Effizienz der einzelnen Verfahren gerade im Hinblick auf Operationszeiten begutachtet werden.

Autor	Menge in g	Zeit in Min	Methode
Hijikata	1 bis 3	30 bis 60	NAPLD
Graham	1,5	20 bis 30	NAPLD
Suezawa	4,5 (1,5-13)	keine Angabe	NAPLD
Castro	7,7 Naßgewicht	45	NAPLD
Castro	0,7 Trockengewicht	45	NAPLD
Pfeiffer	4,7	45	NAPLD
Davis	2,1	keine Angabe	APLD
Maroon	5 bis 7	45	APLD
Seibel	3,5 (1,9-7,9)	35	APLD
Castro	4,5 Naßgewicht	45	APLD
Castro	0,3 Trockengewicht	45	APLD
Pfeiffer	1,6	45	APLD
Min	1,89	24	Laser

Tabelle 7: Literaturvergleich der unterschiedlichen NP Mengen

In den Arbeiten wird trotz der großen Streuung der entfernten NP-Mengen über annähernd gleiche klinische Erfolgsraten für die etablierten minimalinvasiven Verfahren berichtet. Dies

lässt auf der einen Seite vermuten, dass das entnommene NP-Volumen keinen Einfluß auf das Behandlungsergebnis hat. Dieser Ansicht sind auch andere Autoren.⁴⁴ Auf der anderen Seite findet sich ein direkter Zusammenhang zwischen biomechanischen Veränderungen in der Wirbelsäule in Abhängigkeit zur entfernten Menge durch die percutane Nukleotomie.¹¹ Die Relevanz der entfernten Mengen liegt somit in den biomechanischen Veränderungen, die nach einer perkutanen Nukleotomie auftreten. So stellen Brinkmann und Grootenboer fest, dass nach Entfernung von 1,0g Nukleusgewebes die Höhe der Bandscheibe um 0,80 mm abnimmt und die radiale Ausdehnung um 0,20mm zunimmt.¹¹ Castro bestätigt in seiner Studie diese Ergebnisse.¹⁴

Das Problem ist, dass kein Absolutwert für die minimal zu entfernende NP-Menge festgestellt werden konnte. Somit sind in vitro Versuche zur Bestimmung der entfernten NP-Menge nur dahingehend sinnvoll, dass für neue Verfahren die etablierten Methoden als Maßstab herangezogen werden. Daher war das Ziel dieser Untersuchung ein direkter Vergleich unterschiedlicher minimalinvasiver Verfahren mit einer standardisierten Methodik.

Da die Wasserstrahldiskotomie zumindest gleichwertige NP- Volumina im Vergleich zur Lasernukleotomie fördert, kann für die Klinik davon ausgegangen werden, dass der minimale Absolutwert für das zu entnehmende NP-Gewebe, dessen Größenordnung wie oben erläutert noch nicht bekannt ist, erreicht wird.

7.2 Analyse der Methodik

Zahlreiche in vitro Untersuchungen der Bandscheibe finden an jungen Schweinen statt.⁸⁵ Quigley verwendet 30-40 kg schwere Schweine, während er in einer anderen Veröffentlichung nur von juvenilen Schweinen spricht.⁸⁴

Die in dieser Studie relativ großen entfernten Volumina durch die APLD kommen durch die Beschaffenheit der jungen Schweinebandscheiben zustande, die von einer gallertartigen und wenig fibrösen Konsistenz sind. Dies wird auch von M.R. Quigley erwähnt.⁸⁴ Diese Tatsache machte die Anwendung der drei Operationsmethoden mit vergleichbaren Anwendungszeiten möglich, denn die jungen Schweine haben noch keinerlei degenerative Veränderungen an den Bandscheiben. Somit lassen sich die drei unterschiedlichen Operationsverfahren durch diese Standardisierung, soweit unter in vitro Bedingungen mit Biomaterialien möglich, direkt miteinander vergleichen. Die Ergebnisse lassen sich allerdings nicht mit in vivo erreichten Ergebnissen vergleichen, da die humane Bandscheibe hinsichtlich der degenerationsbedingten

Veränderungen ein anderes Entnahmeverhalten aufweist als die juvenilen Schweinebandscheibe. Hierzu müssen andere Studien den Nachweis der Effektivität des neuen Verfahrens an humanen Bandscheiben liefern.

7.3 Warum nach Alternativen für die etablierten minimalinvasiven Verfahren suchen?

Die Indikation zur chirurgischen Intervention bei akuten radikulären Syndromen, die nicht auf eine konservative Therapie angesprochen haben, sollte noch vor Ablauf von 3 Monaten gestellt werden, um chronische pathologische Veränderungen wie irreversible Verklebungen und Nervenwurzelschädigungen zu vermeiden. Delauche-Cavallier beschreibt solche Veränderungen im MRI nach konservativer Behandlung.

Die Dauer der konservativen Therapie wird allerdings kontrovers diskutiert. A.L.Nachemson und auch H. Weber betonen, dass die Gefahr der Chronifizierung mit der Leidensdauer jenseits von 4 bis 6 Wochen zunimmt.^{69;117} Bei noch längeren konservativen Behandlungszeiten beschreibt Siebert eine hohe Rückfallquote mit häufigen Ausfallzeiten von durchschnittlich 19,3 Wochen im Jahr. Auch der Nachteil von Arbeitszeit- und Freizeitverlust des Patienten durch die aktive Beteiligung an der konservativen Therapie wurde bei der Verfechtung dieser Therapieform nicht in Betracht gezogen.¹⁰⁶

Die minimal invasiven Verfahren haben die folgenden wesentlichen Vorteile: Durch die Operation in Lokalanästhesie besteht die Möglichkeit der Mithilfe des Patienten durch Angabe von Schmerzen oder Empfindungsstörungen. Durch den minimalinvasiven posterolaterale Zugang wird das hintere Längsband geschont und epidurale Narbenbildung weitestgehend vermieden.⁶¹ Insgesamt ist das Risiko Nervenwurzeln zu verletzen geringer.⁷⁹

Außerdem ist eine ambulante Behandlung möglich. Allerdings gibt es keinen Kostenunterschied bei der ambulanten Behandlung durch perkutan durchgeführte Diskektomien und stationär durchgeführten standardisierten Diskektomie, da die Voruntersuchungen einen großen Kostenaufwand bei den ambulant operierten Patienten darstellen.²³ Das Postnukleotomiesyndrom trat gehäuft nach konventionellen bandscheibenchirurgischen Verfahren auf. Die Genese dieser postoperativen Spätkomplikation ist nicht gänzlich geklärt. Zwei Ursachen spielen dabei eine Rolle: Zum einen die postoperative Narbenbildung im Operationsgebiet mit möglicher konsekutiver, erneuter Kompression von Nervenwurzeln, zum anderen die durch die nahezu komplette Extirpation des Diskus intervertebralis

anderen die durch die nahezu komplette Extirpation des Diskus intervertebralis verursachte Instabilität des betroffenen Bewegungssegmentes sowie eine erhöhte Inzidenz von Spondylarthrosen.³

Bei der Lasernukleotomie haben viele Studien gezeigt, dass ein thermischer Gewebeschaden ob nun erwünscht oder nicht, abhängig von der applizierten Energiemenge ist. Da der Laser nicht die unterschiedlichen Gewebearten voneinander unterscheiden kann, ist bei unkontrollierten Temperaturanstiegen z.B. bei unsachgemäßer Kühlung eine Gewebeschädigung möglich. Untersuchungen von Schlangmann zeigen eine Reduktion von Bandscheibengewicht bis zu 15%. Davon sind allerdings nur 4-5% NP-Material entfernt worden. Das bedeutet, dass auch AF-Gewebe entfernt worden sein muß.⁹⁸ Auch in der Arbeit von Min wird auf die AF-Schädigung, die makroskopisch bei der Aufarbeitung der Bandscheiben sichtbar wird, hingewiesen.⁶⁴ Dies wiederum führt zu einer Instabilitätszunahme im Bewegungssegment. Allerdings haben Sherk et al. in einer prospektiven Studie im Vergleich zur konservativen Behandlung gleich gute Ergebnisse erzielt.¹⁰⁴

Eine randomisierte Multicenterstudie von Revel ergab eine Einjahreserfolgsrate bei percutaner intradiskaler Lasertherapie und APLD von 37 % gegenüber der Kontrollgruppe nach Chemonukleolyse.⁸⁷

Auch die Studie von Steffen et al. zeigt in der prospektiv randomisierten Studie eine Erfolgsrate von nur 35% auf.¹¹¹

Auch gehen die sehr seltenen Fehlplatzierungen der Arbeitskanülen trotz Bildwandlerkontrolle mit einer hohen Morbidität einher.⁷⁹ Um solche Komplikationen zu vermeiden, wird z. T. ein zusätzlicher Optikzugang zur endoskopischen Kontrolle verwendet.⁶⁰ Allerdings hat dieser zusätzliche Zugang eine weitere Schädigung des Anulus fibrosus zur Folge, die möglichst vermieden werden sollte, denn mit zusätzlicher Verletzung des Anulus fibrosus ist eine Vergrößerung des Bewegungsumfanges möglich. Dies führt zu vermehrter Instabilität.^{27;28}

Bei der klinischen Anwendung der APLD-Methode hat sich bei uns gezeigt, dass es sehr langer Eingriffszeiten bedarf um eine ausreichende Menge an Nukleus Pulposus Gewebe zu entfernen. Dies mag an dem fibrösen Knorpelgewebe und der wenig gallertigen Konsistenz der menschlichen Bandscheibe liegen, die sich mit zunehmendem Alter und dem damit verbundenem Wasserverlust immer mehr zu einer dichteren und fibrösen Konsistenz hin verändert.⁴⁶

Die Chemonukleolyse hat durch die Dehydratation im NP aber auch durch den Proteoglykanverlust im AF mit Abnahme der Faserverspannung eine deutliche Instabilität besonders in den ersten 1-6 Wochen zur Folge. Diese Instabilität ist ein Effekt der über die Auswirkungen einer operativen Nukleusausräumung hinaus geht. Anschließend kommt es durch Ausbildung von fibrotischem Material zur Stabilisierung des Bewegungssegmentes.⁴³

Die Zunahme der Spannung in der Nervenwurzel ist ein wichtiger Faktor für die Entstehung eines radikulären Syndromes.¹⁰ Bestätigt wurde dies durch die Modellanalyse von D.L.Spencer.¹¹⁰ Die genauen Mechanismen zur Entlastung der betroffenen lumbalen Nervenwurzel und Besserung der radikulären Symptomatik durch perkutane Behandlungsmethoden sind aber im wesentlichen unbekannt.¹³ Eine Erklärung liefert die Abnahme der Spannung in der Bandscheibe durch Höhenabnahme und der damit verbundenen Entlastung an den Nervenwurzeln.¹¹⁰

Nach APLD, NAPLD und Laserapplikation nimmt die radiale Ausbreitung der behandelten Bandscheibe zu.¹¹ Eine mögliche Erklärung zu diesem widersprüchlichen Befund liefert W.H.M.Castro: "Trotz Zunahme radialer Ausdehnung und dadurch erhöhter Nervenwurzelspannung verursacht die gleichzeitige auftretende Höhenabnahme der Bandscheibe eine noch stärkere Reduktion der Spannung."¹³ Nur so läßt sich die Besserung der radikulären Symptomatik in den verschiedenen klinischen Studien erklären.³⁴

Einerseits werden mechanische Faktoren für die Nervenwurzelschädigung bei Bandscheibenvorfällen verantwortlich gemacht, andererseits entstehen bei der Degeneration des Nucleus Pulposus Stoffwechselprodukte, die möglicherweise an der Nervenwurzel eine Art chemische Radikulitis verursachen.⁵⁸ Freemont A.J. beschreibt einen Zusammenhang zwischen Neovaskularisation und Innervation der Bandscheibe sowie bandscheibenbedingtem Rückenschmerz. Mastzellen spielen hierbei eine wichtige Rolle da sie sich vermehrt bei Reparationsvorgängen im Gewebe befinden und dort eine Induktion von Gefäßbildung und einen Stimulus für die Aktivierung von nervalem Wachstumsfaktor bewirken.²⁵

Nachemson fand einen niedrigen pH Wert in der Bandscheibe bei Patienten, die eine starke Narbenbildung um die Nervenwurzel aufwiesen.⁶⁷ Diese Veränderungen im Elektrolythaushalt des Gewebes können auf verschiedene Weise Schmerzen verursachen, hierbei spielen auch autoimmunologische Mechanismen eine Rolle.^{5;62;68}

J. S. Saal et al berichten, dass die höchste Anreicherung von Phospholipase A₂- Aktivität in menschlichem Gewebe am Berührungspunkt von verdrängtem Bandscheibenmaterial und dem Epiduralraum gefunden wurden.⁹¹

Mit Hilfe der NMR-Spektroskopie konnte eine stärkere Anreicherung von Metaboliten bei Patienten mit lumbalen Rückenschmerzen oder Ischialgien festgestellt werden als bei Patienten ohne Symptomatik.¹²⁶

Es konnten bei unterschiedlichen Formen des Bandscheibenvorfalls unterschiedliche Konzentrationen von Leukotrien B4 und Thromboxane B2 nachgewiesen werden.⁷² Entzündungszellen, besonders Makrophagen, befinden sich sowohl bei tierexperimentellen Läsionen der Bandscheibe als auch in humanen geschädigten Bandscheiben.³⁰ Dies sind weitere Hinweise, dass ein entzündlicher Prozeß bei der Schmerzgenese des Bandscheibenvorfalls eine Rolle spielt.

Die folgende Grafik von White zeigt hierzu eine Hypothese zur Schmerzentstehung (Abb. 15).¹²¹

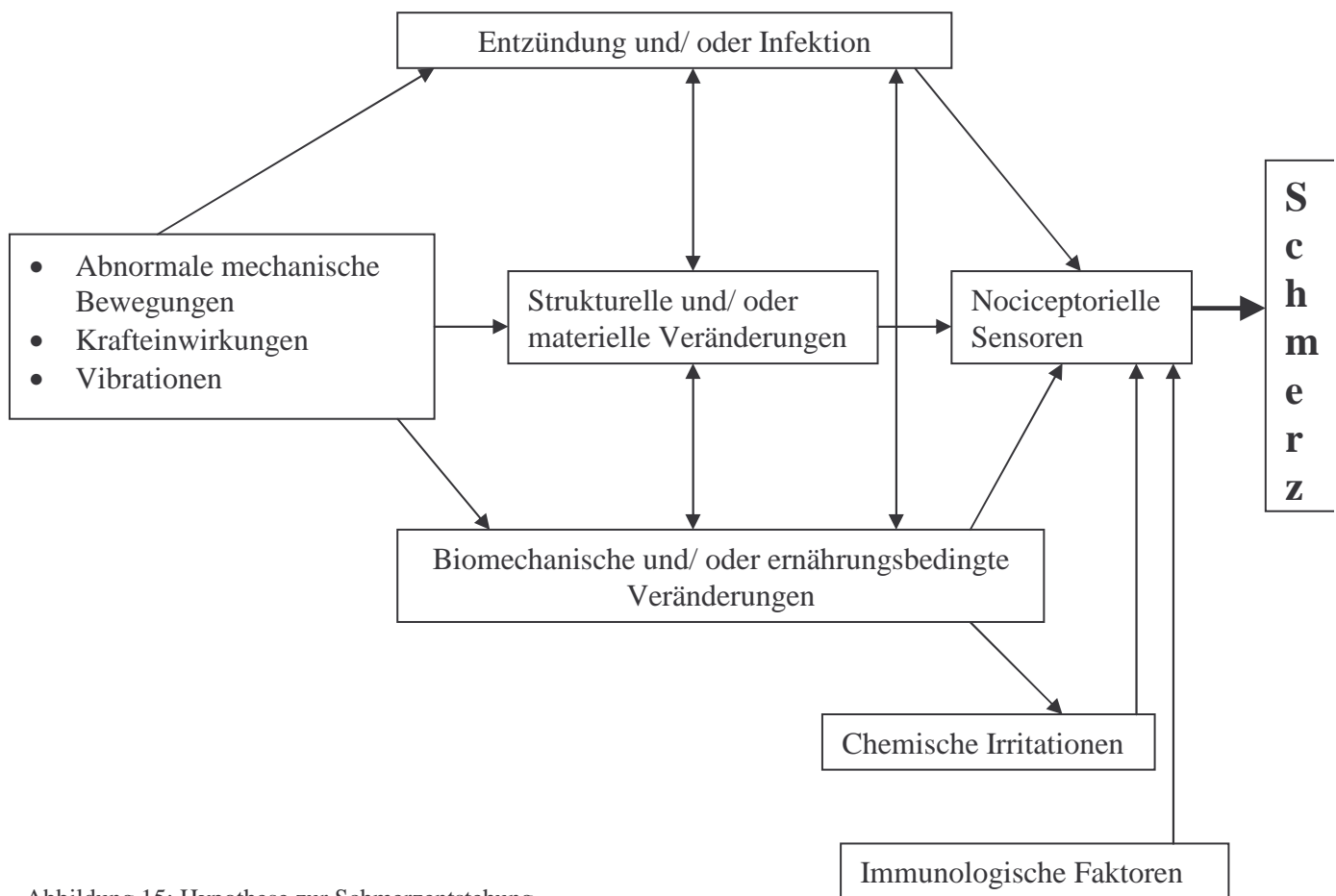


Abbildung 15: Hypothese zur Schmerzentstehung

Wie die Ergebnisse dieser Arbeit gezeigt haben, hat das Wasserstrahlgerät keine signifikanten quantitativen Unterschiede in der Entfernung von Nucleus Pulposus Gewebe zur Laserdiskektomie aufzuweisen. Weitere Studien müssen dies an humanen Bandscheiben bestätigen.

Ein vielleicht sehr vielversprechender Effekt des Wasserstrahlgerätes könnte die Spülung sein. Denn bei den anderen Methoden sind die Spüleffekte durch niedrigen Druck und Flow sehr viel geringer als beim Wasserstrahlgerät. Durch einen Spüleffekt kann der lokale Circulus vitiosus, der das lokale Ödem und die Empfindlichkeitssteigerung der Nozizeptoren aufrechterhält, durchbrochen werden. Möglicherweise lassen sich durch starke Kochsalzspülung die Entzündungsmediatoren verringern und die Nervenfasern im AF sowie die Nervenwurzel selbst auf diese Weise schonen. Wissenschaftlich geführte Untersuchungen müssen auch diese Hypothese erst beweisen.

Die Chemonukleolyse, der Laser sowie die APLD-Methode haben alle den Nachteil nicht zwischen NP- und AF-Gewebe unterscheiden zu können. Hier kann ein wesentlicher Vorteil in der Anwendung des Wasserstrahlgerätes gesehen werden, da ein selektives Schneiden von NP-Gewebe möglich ist. Der AF wird nicht verletzt und somit ein operationsbedingter Stabilitätsverlust im Bewegungssegment vermieden.

8 Zusammenfassung

Einleitung:

Die minimal invasiven Operationsmethoden zur Entfernung von Bandscheibengewebe stellen heute eine wichtige Säule in der operativen Versorgung von Bandscheibenvorfällen dar. Neben den etablierten Methoden wie APLD und Lasernukleotomie ist die Hydrojetnukleotomie in der präklinischen Erprobung.

Offen ist die Frage wieviel Nucleus pulposus Gewebe sich durch die unterschiedlichen minimalinvasiven Operationsmethoden (APLD, Lasernukleotomie und Hydrojetnukleotomie) entfernen läßt.

Material und Methode:

In einem Tiermodell wird in vitro geprüft, wieviel NP-Gewebe mit Hilfe der o.g. Methoden in einer definierten Zeiteinheit (4 min) entfernt wird. Die geschaffenen Hohlräume werden über eine Einspritzapparatur mit einem Ausgussmaterial ausgefüllt. Anschließend wird das Volumen bestimmt.

Ergebnisse:

Es zeigt sich, dass sich mit Hilfe der Lasernukleotomie und der Hydrojetnukleotomie nahezu gleiche NP-Volumina (0,11 vs. 0,12 ml/ 4 min) von juvenilen Schweinebandscheiben entfernen lassen. Mittels APLD können in gleicher Zeit mehr als doppelt so große Volumina (0,29 ml/ 4 min) in gleicher Zeit entfernt werden.

Das geförderte Volumen ist bei allen Verfahren unabhängig von der Segmentzuordnung L2 bis L7. Es besteht kein Zusammenhang zwischen der primär bearbeiteten NP-Fläche und dem hieraus entfernten NP-Volumen.

Diskussion:

In der Diskussion wird als Grund für das deutlich größere entfernte NP-Volumen durch die APLD die besondere Konsistenz des juvenilen Schweine NP-Gewebes angeführt. In der Literaturübersicht werden die Vor- und Nachteile der etablierten Verfahren und der Hydrojetnukleotomie ausführlich diskutiert. Als wesentliche Vorteile der Hydrojetnukleotomie ist die Selektivität des Schneidverfahrens sowie der Ausspüleffekt von Entzündungsmediatoren hervorzuheben.

9 Literatur

1. Albert TJ, Balderston RA Heller JG Herkowitz HN Garfin SR Tomany K An HS Simeone FA. Upper lumbar disc herniations. *J Spinal.Disord.* 1993. 6, 351-359.
2. Amlie E., Weber H. Holme I. Treatment of acute low back pain with piroxicam: Results of a double blinded placebo controlled trial. *Spine* 1987. 12(5), 473-476.
3. Andrews, D. W. and Lavyne, M. H. Retrospective analysis of microsurgical and standard lumbar discectomy. *Spine.* 4-1990. 15(4), 329-335.
4. Badke A., Bilow H. Praxis der Begutachtung. *Akt Traumatol* 1995. 25, 279-283.
5. Bobechko, W. P. Hirsch C. Auto-immune response to nucleus pulposus in the rabbit. *J.Bone Joint Surg* 1965. 47B, 574-580.
6. Boden D., Davis D. O. Dina T. S. Patronas N. J. Wiesel S. W. Abnormal MR scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg.Am* 1990. 72(3), 403-408.
7. Boden, S. D. and Swanson, A. L. An assessment of the early management of spine problems and appropriateness of diagnostic imaging utilization. *Phys.Med.Rehabil.Clin.N.Am.* 5-1998. 9(2), 411-7
8. Bogduk, N. the innervation of the lumbar spine. *Spine* 1983. 8, 286-293.
9. Boulliet R. Treatment of sciatica: a comparative survey of surgical treatment and nucleolysis with chymopapain. *Clin Orthop* 1990. 251, 144-152.
10. Breig, A. Marions O. Biomechanics of the lumbosacral nerve roots. *Acta Radiol.(Diagn.)* 1963. 1, 1141-1160.
11. Brinkmann P., Grootenboer H. The change of disc height radial disc bulge and intradiscal pressure due to discectomy. An in vitro investigation on human lumbar discs. *Spine* 1991. 16, 641-646.
12. Castro, W. H. Halm H. Jerosch J. Rondhuis J. Wieviel Bandscheibengewebe wird bei der perkutanen Nukleotomie tatsächlich entfernt? *Z.Orthop.* 1992. 130, 467-471.
13. Castro, W. H. Halm H. Jerosch J. Schilgen M. Winkelmann W. Veränderungen der lumbalen Bandscheibe nach Anwendung des Holmium- Yag Lasers.-Eine biomechanische Untersuchung-. *Z Orthop* 1993. 131, 610-614.
14. Castro,W.H.M., Jerosch,J. und Brinckmann,P.Veränderungen an der lumbalen Bandscheibe nach Anwendung der nicht-automatisierten perkutanen Diskektomie. Eine biomechanische Untersuchung. *Z.Orthop.*1992.130,472-478.
15. Cavanaugh J.M., Kallakuri S. Ozaktay A. C. Innervation of the rabbit lumbar intervertebral disc and posterior longitudinal ligament. *Spine* 1995. 20, 2080-2085.

Literatur

16. Cavanaugh J.M., Ozaktay A. C. Mechanisms of low back pain. *Clin.Orthop.and related research* 1997. 335, 166-180.
17. Chafetz, N. I., Mani, J. R., Genant, H. K., Morris, J. M., and Hoaglund, F. T. CT in low back pain syndrome. *Orthop.Clin.North Am.* 7-1985. 16(3), 395-416.
18. Choy, D. S., Case, R. B., Fielding, W., Hughes, J., Liebler, W., and Ascher, P. Percutaneous laser nucleolysis of lumbar disks. *N Engl.J Med* 9-17-1987. 317(12), 771-772.
19. Davis, G. W. and Onik, G. Clinical experience with automated percutaneous lumbar discectomy. *Clin Orthop* 1-1989. (238), 98-103.
20. Davis, G. W., Onik, G., and Helms, C. Automated percutaneous discectomy. *Spine.* 3-1991. 16(3), 359-363.
21. Deyo, R. A., Diehl, A. K., and Rosenthal, M. How many days of bed rest for acute low back pain? A randomized clinical trial. *N.Engl.J.Med.* 10-23-1986. 315(17), 1064-1070.
22. Deyo, R. A. Walsh N. E. Martin D. C. et al. A controlled trial of transcutaneous electrical nerve stimulation(TENS) and exercise for chronic low back pain. *N Engl.J Med* 1990. 22(23), 1627-1634.
23. Du Bois, M., Donceel, P. and Debbaut, B. Social insurance cost of standard discectomy and percutaneous nucleotomy. A retrospective study of 87 social insurance claim files of male blue collar workers. *Acta Orthop Belg.* 06-1998.64(2),144-149.
24. Ebeling,U. and Reulen,H.J. Are there typical localisations of lumbar disc herniations? A prospective study. *Acta Neurochir(Wien).*1992.117,143-148.
25. Freemont,A.J., Jeziorska,M., Hoyland,J.A., Rooney,P. and Kumar S. Mast cells in the pathogenesis of chronic back pain: a hypothesis. *Journal of Pathology.*03-2002. 197(3),281-285.
26. Giraud, J. Y., Villemain, S., Darmana, R., Cahuzac, J. P., Autefage, A., and Morucci, J. P. Bone cutting. *Clin Phys.Physiol.Meas.* 2-1991. 12(1), 1-19.
27. Goel, V. K., Goyal, S., Clark, C., Nishiyama, K., and Nye, T. Kinematics of the whole lumbar spine. Effect of discectomy. *Spine* 7-1985. 10(6), 543-554.
28. Goel, V. K., Nishiyama, K., Weinstein, J. N., and Liu, Y. K. Mechanical properties of lumbar spinal motion segments as affected by partial disc removal. *Spine* 12-1986. 11(10), 1008-1012.
29. Graham C.E. Percutaneous posterolateral lumbar discectomy. An alternative to laminectomy in the treatment of bachache and sciatica. *Clin Orthop* 1989. 238, 104-106.
30. Habtemariam A, Virri J, Gronblad M, et al. Inflammatory cells in full-thickness anulus injury in pigs. An experimental disc herniation animal model. *Spine* 03- 1998, 23(5) 524-9

Literatur

31. Hadler, N. M. Curtis P. Gellings D. B. et al. A benefit of spinal manipulation an adjunctive therapy for acute low back pain: A stratified controlled trial. *Spine* 1987. 12(7), 703-706.
32. Heary, R.F. Intradiscal electrothermal annuloplasty: the IDET procedure. *J Spinal Disord.* 08-2001.14(4),353-360.
33. Heliövaara M, Impivaara O Sievers K Melkas T Knekt P Korpi J Aromaa A. Lumbar disc syndrom in Finland. *J Epidemiol Comm Health* 1987. 41, 251-258.
34. Hijikata, S. Percutaneous nucleotomy. A new concept technique and 12 years' experience. *Clin Orthop* 1-1989. (238), 9-23.
35. Hijikata, S. Yamagishi M Kkayama T. Percutaneous nucleotomy: a new treatment method for lumbar herniation. *J Toden Hosp* 1975. 5(39).
36. Hilbert J, Braun A Papp J Czech C Wicke HJ. Erfahrungen mit der perkutanen Laserdiskusdekompression beim lumbalen Bandscheibenschaden. *Orthop.Praxis* 1995. 4, 217-221.
37. Honl, M. Pilotstudie zum Wasserstrahlgerät. *Persönliche Mitteilungen* 1998.
38. Huang, T.J., Hsu, R.W., Lee Y.Y. and Chen, S.H. Video-assisted endoscopic lumbar discectomy. *Surg Endosc.* 10-2001.15(10),1175-1178.
39. Hubert, J., Mourey, E., Suty, J. M., Coissard, A., Floquet, J., and Mangin, P. Water-jet dissection in renal surgery: experimental study of a new device in the pig. *Urol.Res.* 1996. 24(6), 355-359.
40. Ishikawa, H., Nohara, Y. and Miyauti, S. Action of chondroitinase ABC on epidurally transplanted nucleus pulposus in the rabbit. *Spine* 06-1999.24(11),1071-1076.
41. Jansen, E. F. and Balls, A. K. Chymopapain: a new cristalline proteinase from papaya latex. *J Biol Chemistry* 1941. 137, 459-460.
42. Junghanns, H. Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheiben als Grundlage für klinische Betrachtungen. *Langenbecks Arch Klin Chir* 1951. 267, 393-417.
43. Kahanovitz, N., Arnoczky, S. P., and Kummer, F. The comparative biomechanical, histologic, and radiographic analysis of canine lumbar discs treated by surgical excision or chemonucleolysis. *Spine* 3-1985. 10(2), 178-183.
44. Kambin, P. and Schaffer, J. L. Percutaneous lumbar discectomy. Review of 100 patients and current practice. *Clin Orthop* 1-1989. (238), 24-34.
45. Kast, E., Antoniadis, G. and Richter, H.P. Epidemiologie von Bandscheibenoperationen in der Bundesrepublik Deutschland. *Zentralbl. Neurochir.* 2000. 61(1), 22-25.

Literatur

46. Keller T.S., Hansson T. H. Holm S. H. Pope M. M. Spengler D. M. In vivo creep behavior of the normal and degenerated porcine intervertebral disk: A preliminary report. *J Spinal Disord.* 1988. 1(4), 267-277.
47. Kelsey J., White A. A. Epidemiology and impact of low back pain. *Spine* 1980. 5, 133.
48. Krämer, J. Natural course and prognosis of intervertebral disc diseases. *Spine* 1995. 20, 635-639.
49. Krämer, J. and Ludwig, J. Die operative Behandlung des lumbalen Bandscheibenvorfalles. *Orthopäde.* 07-1999. 28, 579-584.
50. Kuslich, S. D., Ulstrom, C. L., and Michael, C. J. The tissue origin of low back pain and sciatica: a report of pain response to tissue stimulation during operations on the lumbar spine using local anesthesia. *Orthop. Clin. North Am.* 4-1991. 22(2), 181-187.
51. Lange, V. Gastric phytobezoar: an endoscopic technique for removal. *Endoscopy.* 9-1986. 18(5), 195-196.
52. Lee, J., Lutz, G.E., Cambell, D., Rodeo, S.A. and Wright, T. Stability of the lumbar spine after intradiscal electrothermal therapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 01-2001. 82(1), 120-122.
53. Leu, H. and Schreiber, A. Endoskopie der Wirbelsäule: minimal-invasive Therapie. *Orthopäde.* 8-1992. 21(4), 267-272.
54. Lu, D. S. Effects of chondroitinase ABC and chymopapain on spinal motion segment biomechanics. An in vivo biomechanical, radiologic, and histologic canine study. *Spine.* 08-1997. 22(16), 1828-1834.
55. Malter, A. D. and Weinstein, J. Cost-effectiveness of lumbar discectomy. *Spine.* 12-1996. 21(24 Suppl), 69S-74S.
56. Maroon, J. C. and Onik, G. Percutaneous automated discectomy: a new method for lumbar disc removal. Technical note. *J Neurosurg* 1-1987. 66(1), 143-146.
57. Maroon, J. C., Onik, G., and Sternau, L. Percutaneous automated discectomy. A new approach to lumbar surgery. *Clin Orthop* 1-1989. (238), 64-70.
58. Marshall L.L, Trethewie E. R. Chemical irritation of nerve root in disc prolapse. *Lancet* 1973. 2(320).
59. Mathews, H.H. and Long, B.H. Minimally invasive techniques for the treatment of intervertebral disk herniation. *J Am Acad Orthop Surg.* 04-2002. 10(2), 80-85.
60. Mayer, H. M. and Brock, M. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy (PELD). *Neurosurg Rev.* 1993. 16(2), 115-120.
61. McCulloch J.A., Waddell G. Lateral lumbar discography. *Br.J.Radiol.* 1978. 51, 498-502.
62. Mense, S. Pathophysiologie des Rückenschmerzes und seine Chronifizierung. *Schmerz.* 06-2001. 15, 413-417.

Literatur

63. Merlo, A., Stula, D., and Wasner, M. Ergebnisse der perkutanen Diskektomie. Schmerzverlauf, Arbeitsfähigkeit und Therapieversagen. *Dtsch. Med Wochenschr.* 03-1994. 119(12), 407-413.
64. Min, K., Leu, H., and Zweifel, K. Quantitative determination of ablation in weight of lumbar intervertebral discs with holmium: YAG laser. *Lasers. Surg. Med* 1996. 18(2), 187-190.
65. Miyamoto, H., Saura, R., Harada, T., Doita, M. and Mizuno, K. The role of cyclooxygenase-2 and inflammatory cytokines in pain induction of herniated lumbar intervertebral disc. *Kobe J Med Sci.* 04-2000. 46(1-2), 13-28.
66. Murata M., Morio Y. Kuranobu K. Lumbar disc degeneration and segmental instability: A comparison of magnetic resonance images and radiographs of patients with low back pain. *Arch Orthop Trauma Surg* 1994. 113, 297-301.
67. Nachemson, A. Intradiscal measurements of pH in patients with lumbar rhizopathies. *Acta Orthop. Scand.* 1969. 40(1), 23-42.
68. Nachemson, A. The lumbar spine- an orthopaedic challenge. *Spine.* 1976. (1), 59-71.
69. Nachemson, A. Recent advances in the treatment of low back pain. *Int. Orthop.* 1985. 9(1), 1-10.
70. Nachemson, A. L. Disc pressure measurements. *Spine.* 1-1981. 6(1), 93-97.
71. Niethard F.U., Pfeil J. Orthopädie. MLP Duale Reihe Hippokrates 1992. 328.
72. Nygaard OP, Mellgren SI, Osterud B. The inflammatory properties of contained and non-contained lumbar disc herniation. *Spine* 09- 1997, 22(21) 2484-8
73. Onik, G.M. Percutaneous discectomy in the treatment of herniated lumbar disks. *Neuroimaging Clin N Am.* 08-2000. 10(3), 597-607.
74. Oppel F, Conzen M. Neurochirurgische Erkrankungen. Diagnose und Differentialdiagnose in der Chirurgie von Häring R, Zilch H (Hrsg) 1990. 2, 49.
75. Ozaktay, A. C. Cavanaugh J. M. Blagojev D. et al. Effects of carrageenan induced inflammation in rabbit lumbar facet joint capsule and adjacent tissue. *Neurosci Res* 1994. 20, 355-364.
76. Panagiotacopoulos N.D., Pope M. H. Krag M. H. Block R. Water content in human intervertebral discs, Part I+II. Measurement by MRI. *Spine* 1987. 12(9), 912-924.
77. Parke WW, Gammell K Rothman RH. Arterial vascularization of the cauda equina. *J Bone Joint Surg* 1981. 63A, 53-62.
78. Parkkola R., Rytökoski U. Kormanen M. MRI of the Disc and trunk muscles in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. *Spine* 1993. 18(7), 830-836.

Literatur

79. Patsiaouras, T., Bulstrode, C., Cook, P., and Wilson, D. Percutaneous nucleotomy. An anatomic study of the risks of root injury. *Spine*. 1-1991. 16(1), 39-42.
80. Persson, J., Stromqvist, B., Zanoli, G., McCarthy, I. and Lidgren, L. Ultrasound nucleolysis: an in vitro study (In Process Citation). *Ultrasound Med Biol*. 09-2002. 28(9), 1189-1197.
81. Pfeiffer, M., Schäfer, T., Griss, P. und Mitarb. Automated percutaneous lumbar discectomy with and without chymopapain pretreatment versus non-automated, discoscopy-monitored percutaneous lumbar discectomy. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 1990. 109, 211-216.
82. Piek, J., Wille, C., Warzok, R., and Gaab, M. R. Waterjet dissection of the brain: experimental and first clinical results. Technical note. *J Neurosurg* 11-1998. 89(5), 861-864.
83. Potter, J. L. on papain and flop-eared rabbits. *Arthrit Rheum* 1961. 4, 389-394.
84. Quigley, M. R., Maroon, J. C., Shih, T., Elrifai, A., and Lesiecki, M. L. Laser discectomy. Comparison of systems. *Spine*. 2-1-1994. 19(3), 319-322.
85. Quigley, M. R., Shih, T., Elrifai, A., Maroon, J. C., and Lesiecki, M. L. Percutaneous laser discectomy with the Ho:YAG laser. *Lasers. Surg. Med* 1992. 12(6), 621-624.
86. Rang H.P., Bevan S. Dray A. Chemical activation of nociceptive peripheral neurons. *Br Med Bull* 1991. 47, 534-548.
87. Revel, M., Payan, C. and Vallee, C. Automated percutaneous lumbar discectomy versus chemonucleolysis in the treatment of sciatica. A randomized multicenter trial. *Spine* 01-1993. 18(1), 1-7.
88. Rydevik, B. Lungborg G Bagge U. Effects of graded compression on intraneural blood flow - an in vivo study on rabbit tibial nerve. *J Hand Surg* 1981. 6, 3-12.
89. Rydevik, B. L. The effects of compression on the physiology of nerve roots. *J. Manipulative. Physiol. Ther.* 1-1992. 15(1), 62-66.
90. Saal, J. A. Natural history and nonoperative treatment of lumbar disc herniation [see comments]. *Spine*. 12-1996. 21(24 Suppl), 2S-9S.
91. Saal, J. S., Franson, R. C., Dobrow, R., Saal, J. A., White, A. H., and Goldthwaite, N. High levels of inflammatory phospholipase A2 activity in lumbar disc herniations. *Spine*. 07-1990. 15(7), 674-678.
92. Saal, J. A. and Saal J. S. Intradiscal electrothermal treatment for chronic discogenic low back pain: a prospective outcome study with minimum 1-year follow-up. *Spine*. 10-2000. 25(20), 2622-2627.
93. Sakuma, M., Fujii, N., Takahashi, T., Hoshino, J., Miyauchi, S., and Iwata, H. Effect of chondroitinase ABC on matrix metalloproteinase and inflammatory mediators produced by intervertebral disc of rabbit in vitro. *Spine*. 03-2002. 27(6), 576-580.

Literatur

- 94.Sasaki, M., Takahashi, T., and Miyahara, K. Effects of chondroitinase ABC on intradiscal pressure in sheep: an in vivo study. *Spine*. 03-2001.26(5), 463-468.
- 95.Sato, K.,Nagata, K. and Hirohashi, T. Intradiscal pressare after repeat intradiscal injection of hypertonic saline: an experimental study. *Eur Spine J*. 02-2002.11(1), 52-56.
- 96.Sawin, P. D., Traynelis, V. C., Rich, G., Smith, B. A., Maves, T. J., Follett, K. A., and Moore, S. A. Chymopapain-induced reduction of proinflammatory phospholipase A2 activity and amelioration of neuropathic behavioral changes in an in vivo model of acute sciatica. *J Neurosurg* 6-1997. 86(6), 998-1006.
- 97.Schiltenswolf, M. and Kaps, H. P. Zufriedenheit nach automatisierter perkutaner lumbaler Diskektomie in Abhängigkeit von klinischen Parametern. *Z Orthop Ihre.Grenzgeb*. 7-1994. 132(4), 316-321.
- 98.Schlangmann, B. A., Schmolke, S., and Siebert, W. E. Temperature and ablation measurements in laser therapy of intervertebral disk tissue. *Orthopade*. 2-1996. 25(1), 3-9.
- 99.Schreiber, A. and Leu, H. Die Percutane Nucleotomie im aktuellen Behandlungskonzept der Lumboischialgie. *Z Orthop Ihre.Grenzgeb*. 1-1991. 129(1), 1-5.
- 100.Schwetlick,G. Mikrochirurgische lumbale Bandscheibenoperation Möglichkeiten, Technik und Ergebnisse. *Orthopäde*.07-1998. 27,457-465.
- 101.Seibel R.M.M., Grönemeyer D. Grumme Th. Neue Verfahren der Therapie degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen in der interventionellen Radiologie. *Interventionelle Computertomographie*, Ueberreuter Wissenschaftsverlag, Wien , Berlin 1989. 92-113.
- 102.Shah, R.V., Lutz, G.E., Lee, J., Doty, S.B. and Rodeo, S. Intradiscal electrothermal therapy: a preliminary histologic study. *Arch Phys Med Rehabil*. 09-2001.82(9), 1230-1237.
- 103.Shekelle, P. Adams A. H. Chassin M. R. et al. Spinal manipulation for low back pain. *BMJ*. 1992. 117(7), 590-598.
104. Sherk HH, Black JD, Prodoehl JA, et al. Laser diskectomy. *Orthopedics* 05- 1993, 16(5) 573-6
- 105.Siebert, W. Perkutane Nukleotomieverfahren beim lumbalen Bandscheibenvorfall eine Bestandsaufnahme. *Orthopäde*.07-1999. 28,598-608.
- 106.Siebert, W. E., Berendsen, B. T., and Tollgaard, J. Die perkutane Laserdiskusdekompression (PLDD). Erfahrungen seit 1989. *Orthopade*. 2-1996. 25(1), 42-48.
- 107.Siegert, R., Danter, J., Jurk, V., Eggers, R., and Kruger, S. Dermal microvasculature and tissue selective thinning techniques (ultrasound and water-jet) of short-time expanded skin in dogs. *Eur.Arch.Otorhinolaryngol*. 1998. 255(6), 325-330.
- 108.Smith L, Gravin PJ Gesler RM Jennings RB. Enzyme dissolution of nucleus pulposus. *Nature* 1963. 198, 1311-1312.

Literatur

109. Spencer, D. L. MD George Irwin S. MD Miller J. A. A. PhD. Anatomy and Significance of Fixation of Nerve Roots in Sciatica. *Spine* 1983. 8(6), 672-679.
110. Spencer, P. S. Miller J. A. A. Bertolini J. E. The effect of intervertebral disc space narrowing on the contact force between the nerve root and simulated disc protusion. *Spine*. 1984. 9, 422-426.
111. Steffen, R. and von Bremen-Kühne, R. Chemonukleolyse Entwicklung, Erfahrung, Perspektiven. *Orthopäde*. 07-1999. 28, 609-614.
112. Suezawa, Y., Jacob, H. A., and Schreiber, A. Percutaneous nucleotomy. An alternative to spinal surgery for lumbar disc herniation. *Acta Orthop Belg*. 1987. 53(2), 293-299.
113. Thomas, I. Reversible collapse of rabbit ears after intravenous papain and prevention of recovery by cortisone. *Exp Med* 1956. 104, 245.
114. Une, Y., Uchino, J., Horie, T., Sato, Y., Ogasawara, K., Kakita, A., and Sano, F. Liver resection using a water jet. *Cancer Chemother. Pharmacol*. 1989. 23 Suppl, S74-S77.
115. van, Tulder MW, Assendelft, W. J., Koes, B. W., and Bouter, L. M. Spinal radiographic findings and nonspecific low back pain. A systematic review of observational studies. *Spine*. 2-15-1997. 22(4), 427-434.
116. Vanharanta, H., Sachs, B. L., Ohnmeiss, D. D., Aprill, C., Spivey, M., Guyer, R. D., Rashbaum, R. F., Hochschuler, S. H., Terry, A., and Selby, D. Pain provocation and disc deterioration by age. A CT/discography study in a low-back pain population. *Spine*. 4-1989. 14(4), 420-423.
117. Weber H. Lumbar disc herniation: a controlled, prospective study with ten years of observation. *Spine* 1983. 8, 131-140.
118. Weber U, Schwetlick G. *Wirbelsäulenerkrankungen; Wirbelsäulenverletzungen*. Thieme, Stuttgart New York 1994.
119. Weber, H. The natural history of disc herniation and the influence of intervention. *Spine*. 10-1-1994. 19(19), 2234-2238.
120. Weinstein, J., Spratt, K. F., Lehmann, T., McNeill, T., and Hejna, W. Lumbar disc herniation. A comparison of the results of chemonucleolysis and open discectomy after ten years. *J Bone Joint Surg.[Am]* 1-1986. 68(1), 43-54.
121. White A A, Gordon S L. Synopsis: workshop on idiopathic low back pain. *Spine* 1982. 7, 141.
122. White, A. A. and Panjabi, M. *clinical biomechanics of the spine*. Clinical biomechanics of the spine 1990. Second edition, 3-4.
123. Wilhelm, F., Holtkamp, A., Darman, J., Hanschke, R., Duncker, G., and Pein, A. Was kann der Wasserstrahl in der Kataraktchirurgie? *Ophthalmologe*. 10-1998. 95(10), 721-724.

Literatur

124. Wilke, H. J., Wenger, K., and Claes, L. Testing criteria for spinal implants: recommendations for the standardization of in vitro stability testing of spinal implants. *Eur.Spine.J* 1998. 7(2), 148-154.
125. Wittenberg, R.H., Opper, S., Rubenthaler, F.A. and Steffen, R. Five-Year results from Chemonucleolysis with Chymopapain or Collagenase. *Spine* 09-2001. 26(17), 1835-1841.
126. Zwart, J. A., Garseth, M., Sonnewald, U., Dale, L. G., White, L. R., Aasly, J., and Unsgard, G. Nuclear magnetic resonance spectroscopy of cerebrospinal fluid from patients with low back pain and sciatica. *Spine*. 9-1997. 22(18), 2112-2116.

10 Anhang

10.1 Tabellen

	L2/3	L3/4	L4/5	L5/6	L6/7
Gesamtfläche Discus	5,52	5,67	5,87	5,95	6,17
Fläche Nucleus pulposus	1,03	1,08	1,20	1,33	1,45
Stabw Gesamtfläche	0,33	0,23	0,15	0,14	0,28
Stabw Nucleusfläche	0,13	0,15	0,13	0,19	0,13

Tabelle 1: Flächenmessung des DI und NP in den unterschiedlichen Segmenten

Segment	L2/3	L3/4	L4/5	L5/6	L6/7
NP/DI	18,23	18,67	20,17	22,52	23,20

Tabelle 2: Relative Fläche des NP zur Gesamtfläche des DI

APLD	0,29
Wasserstrahl	0,10
Laser	0,11

Tabelle 3: Volumina des entfernten NP-Materials (ml)

	L2/3	L3/4	L4/5	L5/6	L6/7	Gesamt
APLD	0,28	0,30	0,30	0,30	0,32	0,30
Wasserstrahl	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13	0,10
Laser	0,11	0,10	0,11	0,10	0,13	0,11
Stabw APLD	0,03	0,00	0,01	0,04	0,03	0,02
Stabw Wasserstrahl	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,01
Stabw Laser	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01

Tabelle 4: Entfernte NP-Volumina in den unterschiedlichen Segmenten (ml)

	Volumen (ml)	N.P. Fläche (cm ²)
Wasserstrahl		
L2/3	0,08	0,9
L3/4	0,08	1,1
L4/5	0,08	1,3
L5/6	0,09	1,3
L7/8	0,1	1,4
L2/3	0,11	0,9
L3/4	0,1	1,1
L4/5	0,11	1,3
L5/6	0,13	1,3
L7/8	0,15	1,4
Laser		
L2/3	0,11	1,1
L3/4	0,11	1,2
L4/5	0,11	1,3
L5/6	0,13	1,4
L7/8	0,1	1,5
L2/3	0,1	0,9
L3/4	0,09	0,9
L4/5	0,1	1,2
L5/6	0,13	1,3
L7/8	0,15	1,4
APLD		
L2/3	0,26	1,2
L3/4	0,28	1,05
L4/5	0,29	1,14
L5/6	0,26	1,2
L7/8	0,3	1,32
L2/3	0,3	0,96
L3/4	0,28	1,06
L4/5	0,3	1,12
L5/6	0,31	1,33
L7/8	0,34	1,42

Tabelle 5: Verhältnis entferntes NP-Gewebe zur NP-Fläche in den einzelnen Segmenten

10.2 Danksagung

Das Projekt wäre ohne die Unterstützung der im Folgenden genannten Personen nicht durchführbar gewesen.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. med. E. Hille und meinem Betreuer Dr. med. M. Honl danken. Ihr Engagement bei der Initiierung und die persönliche Unterstützung bei der Durchführung der Studie sind maßgebliche Pfeiler dieser Arbeit.

In der Abschlußphase war insbesondere auch die umfassende Unterstützung bei der statistischen Auswertung des Datenmaterials durch PD Dr. M. Morlock (Leiter des Arbeitsbereiches Biomechanik an der TU Hamburg-Harburg) hilfreich.

Nicht zuletzt danke ich meinem Ehemann und meinen Kindern Jan und Ina für die mir gewährte Ruhe im Labor und am PC.

10.3 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Andrea Strandborg, geb. Voß
Geburtsdatum: 16.10.1968
Geburtsort: Bremen
Adresse: Am neuen Hafen 11
26603 Aurich
Familienstand: verheiratet seit 1989
Kinder: zwei (7 und 4 Jahre)

Allgemeine Hochschulreife am 26.05.88 in Aurich

Berufliche Tätigkeiten

10.88- 10.91 Krankenpflegeausbildung am Allgemeinen Krankenhaus Altona
11.91- 04.92 Krankenpflege in der Chirurgischen Poliklinik des UKE
05.92- 10.92 Auslandsaufenthalt mit Hospitation in Malawi (Afrika)
11.92- 02. 93 Krankenpflege in der Chirurgischen Poliklinik des AK Altona
02.93- 10.93 Studienbegleitende Krankenpflege in der Urologischen Transplantationsklinik des UKE
07.95- 03.97 Studienbegleitende Krankenpflege in der Chirurgischen Poliklinik des UKE

Studium der Medizin von 1993 bis 2000 an der Universität Hamburg

AIP vom 01.11.00 bis zum 31.06.01 in der I. Chirurgischen Abteilung im Marienkrankenhaus Hamburg (Chefarzt Prof. Dr. med. Buchholz) sowie vom 01.11.01 bis zum 31.08.02 in der Unfallchirurgischen Abt. am Kreiskrankenhaus Aurich (Chefarzt Dr. med. Müller)

Assistenzärztin seit dem 01.09.02 als in der Allgemeinchirurgischen Abt. am Kreiskrankenhaus Aurich (Chefarzt PD Dr. med. Klotter).

Aurich, 11.08.03