

5. Ergebnisse

5.1 Operationsbefunde

Insgesamt gingen von den 40 operierten Tieren 35 in die Auswertung der Studie ein. Vier Schafe verstarben innerhalb der ersten postoperativen Nacht. Nach Beurteilung der Veterinärmediziner wurde der spontane Tod der Tiere als Folge der Narkose gewertet. Bei einem Schaf kam es während der in regelmäßigen Abständen stattfindenden MRT zu einem Narkosezwischenfall. Das Tier verendete trotz intensiver Bemühungen der Tiermediziner. Die Ausfälle konnten nicht ersetzt werden, so dass sich die Gruppengröße der Gruppe I A und II A auf jeweils 8 Tiere und die Gruppe II B auf 9 Tiere reduzierte.

Alle anderen 35 Tiere erholten sich post operationem rasch. Durchschnittlich zwei Stunden nach Narkoseausleitung standen die Tiere wieder und es erfolgte die Futteraufnahme. Es kam weder zu Temperaturerhöhungen noch zu Veränderungen der Blutlaborwerte. Wundheilungsstörungen konnten nicht verzeichnet werden, so dass das Nahtmaterial 14 Tage nach der Operation entfernt wurde. Die Tiere konnten anschließend in die Freilandhaltung verlegt werden.

5.2 Histomorphologische semiquantitative Ergebnisse

Auf Grund von fehlerhafter Aufarbeitung mussten fünf Sägepräparate von der Auswertung ausgeschlossen werden, somit standen insgesamt 30 Sägepräparate zur Verfügung (Tab. 14). Präparationsbedingte Schäden waren unvermeidbar. Es traten vereinzelt Präparaterisse und Färbeartefakte auf, die jedoch eindeutig von pathologischen Veränderungen unterscheidbar waren. Zur besseren Veranschaulichung werden die Ergebnisse der einzelnen Gruppen in Prozent angegeben.

Die sieben Nativpräparate wurden ebenfalls makroskopisch und lichtmikroskopisch analysiert. Wie erwartet, waren bei keiner Probe Degenerationszeichen an den untersuchten Strukturen nachweisbar.

Gruppe	Standzeit	Makroskopie	Mikroskopie
I A	12 Wochen	8	8
I B	12 Wochen	10	5
II A	48 Wochen	8	8
II B	48 Wochen	9	9
Präparate gesamt		35	30

Tab. 14: Anzahl der untersuchten Präparate pro Gruppe

5.2.1 Makroskopische Ergebnisse

1. Morphologische Veränderungen der Bandscheibe

In der Gruppe I A zeigten 12,5 % (1 von 8) der Tiere Grad I, 37,5 % (3 von 8) Grad II und 50,0 % (4 von 8) Grad III der Bandscheibendegeneration bei der makroskopischen Auswertung nach 12 Wochen. Von den Präparaten der Referenzgruppe I B wurden 40,0 % (2 von 5) mit Grad 2 und 60 % (3 von 5) mit Grad 3 beurteilt. In beiden Gruppen konnte keines der Sägepräparate mit Grad 0, d.h. ohne Degenerationszeichen gefunden werden.

Bei den Tieren mit 48 Wochen Standzeit wurden 12,5 % (1 von 8) der Sägepräparate der Gruppe II A und 22,2 % (2 von 9) der Präparate der Gruppe II B mit Grad 2 bewertet. Grad 3 der Bandscheibendegeneration wiesen 87,5 % (7 von 8) der Implantatgruppe und 77,8 % (7 von 9) der Kontrollgruppe auf. Keines der untersuchten Präparate zeigte Grad 0 oder Grad 1. Mittels der Beurteilung von makroskopischen Degenerationszeichen der Disci intervertebrales konnte sowohl nach 12 ($p = 1,00$) als auch nach 48 Wochen ($p = 1,00$) kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden.

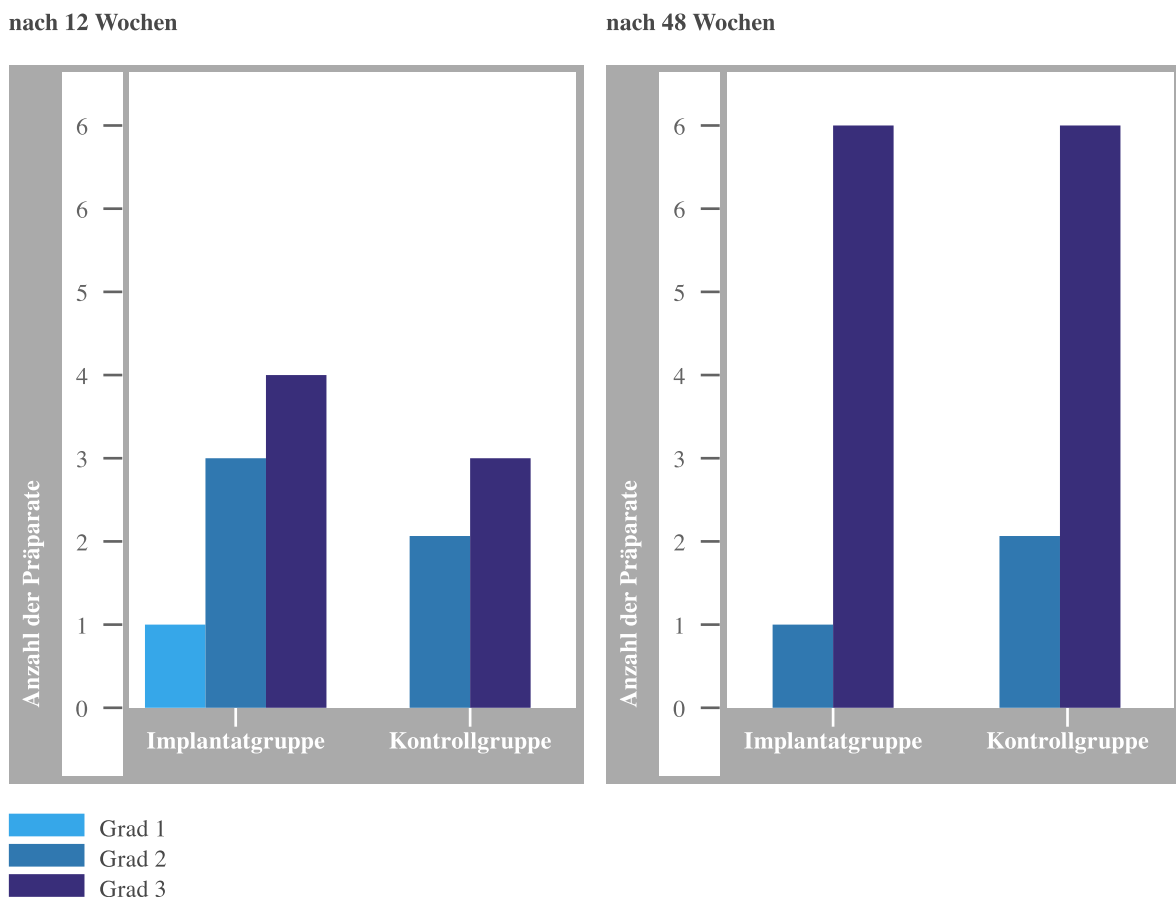


Abb. 28: Darstellung der Ergebnisse der makroskopisch sichtbaren Bandscheibenveränderungen

Zur Veranschaulichung sind unter den Abbildungen 29-32 alle Degenerationsgrade in Form von digitalen Fotos dargestellt und an Hand ihrer Bewertungskriterien erläutert.



Abb. 29



Abb. 30



Abb. 31



Abb. 32

Abb. 29: Grad 0 der makroskopischen Bandscheibendegeneration: Keine morphologischen Veränderungen der beiden Diskuskomponenten, Anulus fibrosus und zentral gelegener Nucleus pulposus sind voneinander abgrenzbar; (Nativpräparat)

Abb. 30: Grad 1 der makroskopischen Bandscheibendegeneration: Am links-lateralen Rand des Anulus fibrosus geringe Fissuren sowie Farbveränderungen als Zeichen einer Einblutung, beide Bandscheibenanteile sind weniger deutlich voneinander abgrenzbar

Abb. 31: Grad 2 der makroskopischen Bandscheibendegeneration: Moderate Fissuren im Faserring und Gallertkern, beide Bandscheibenkomponenten sind nicht mehr klar voneinander abgrenzbar

Abb. 32: Grad 3 der makroskopischen Bandscheibendegeneration: Starke Fissuren- und Kavernenbildung im Anulus fibrosus und Nucleus pulposus, eine Trennung zwischen beiden ist nicht mehr möglich

2. Spondylophytenbildung

In der Gruppe I A konnten nach Ablauf von 12 Wochen in keinem der 8 Sägepräparate makroskopisch sichtbare Spondylophyten gefunden werden. In der Gruppe I B wurden bei 40 % (2 von 5) der Präparate Knochenanbauten nachgewiesen. Eins zeigte lediglich an der kranialen Endplatte des Bewegungssegmentes L3-L4 eine beginnende Spondylophytenbildung. An einem Sägepräparat dieser Gruppe konnten knöchernerne Anbauten an beiden links lateralen Wirbelkörperendplatten beobachtet werden (Abb. 35).

Zum Zeitpunkt 48 Wochen post operationem wurde bei 75 % (6 von 8) der Tiere in Gruppe II A eine makroskopisch sichtbare Spondylophytenbildung erfasst, wobei 50 % davon nur an der kranialen und 50 % an beiden links lateralen Endplatten knöchernerne Anbauten hatten. Die Gruppe II B wies in 89,9 % (8 von 9) der Fälle spondylophytäre Anbauten auf. Hiervon zeigten 4 sowohl an der kranialen als auch an der kaudalen, 2 ausschließlich an der kranialen und 1 Präparat nur an der kaudalen links lateralen Deckplatte Spondylophyten (Abb. 34).

Unter Einsatz des dynamischen Stabilisations-Systems nach Nukleotomie konnte im Vergleich zur alleinigen Nukleotomie kein signifikanter Unterschied nach beiden Standzeiten an Hand der makroskopischen Spondylophytenbildung gefunden werden (12 Wochen: $p = 0,128$; 48 Wochen: $p = 0,576$).

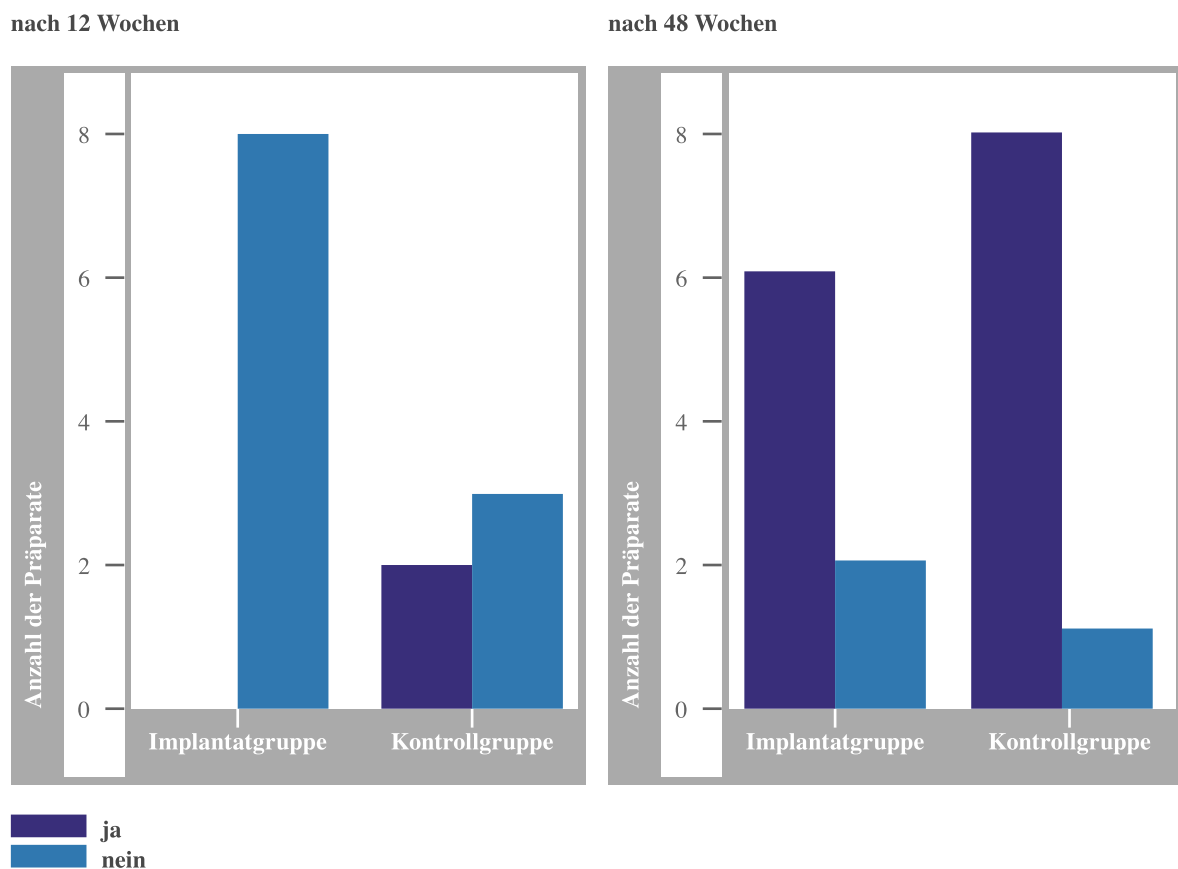


Abb. 33: Darstellung der Ergebnisse der makroskopisch sichtbaren Spondylophytenbildung



Abb. 34

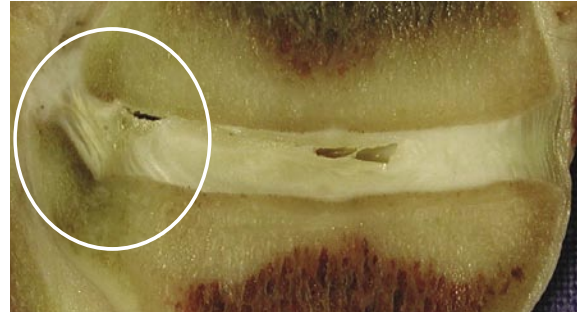


Abb. 35

Abb. 34: Spondylophytenbildung: Spondylophyt an der kranialen Wirbelkörperendplatte (Kreis)

Abb. 35: Spondylophytenbildung. sowohl kranial als auch kaudal sind knöcherne Anbauten (Kreis) makroskopisch nachweisbar

5.2.2 Mikroskopische Ergebnisse der Bandscheibenpräparate

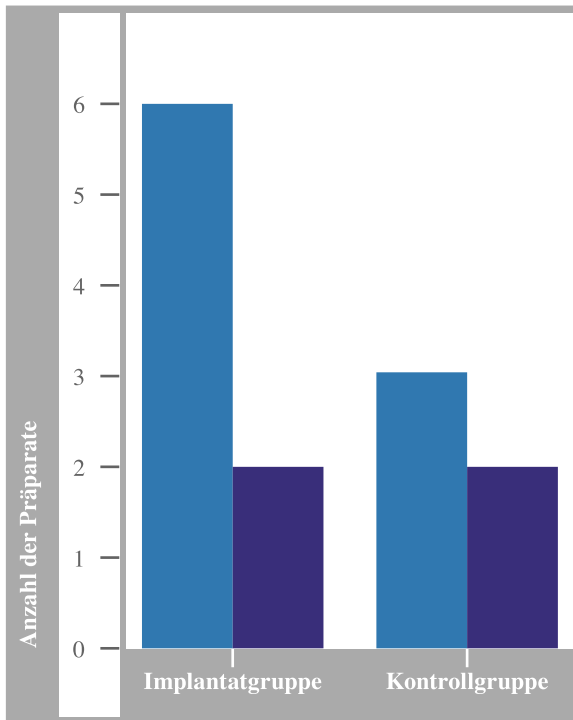
1. Morphologische Veränderungen der Bandscheibe

Nach 12 Wochen wiesen 75 % (6 von 8) der Implantatgruppe und 60 % (3 von 5) der Kontrollgruppe Grad 2 der mikroskopisch sichtbaren Bandscheibendegeneration auf. Die Abgrenzbarkeit zwischen Anulus fibrosus und Nukleus pulposus war in diesen Präparaten weitgehend aufgehoben. Im Faserring kam es zu einer Lamellendesorganisation sowie zur Bildung von reparativem Bindegewebe am linkslateralen Rand. Beide oder mindestens eine der zwei Bandscheibenkomponenten zeigten moderate Fissuren. Es konnte eine Zellzahlvermehrung und Chondronenbildung mit bis zu 15 Zellen je Chondron im Knorpelgewebe beobachtet werden. Grad 3 hingegen konnte bei 25 % (2 von 8) der Gruppe IA und bei 40 % (2 von 5) der Gruppe I B nachgewiesen werden. Faserring und Gallertkern waren durch markante Fissuren und Kavernen nicht mehr voneinander abgrenzbar. Im Faserknorpel des Anulus fibrosus wies eine ausgeprägte Fibrozyteneinwanderung und Neovaskularisierung auf die Bildung von reparativem Bindegewebe hin. Ferner war eine Chondronenbildung mit über 15 Zellen in diesen Präparaten zu sehen.

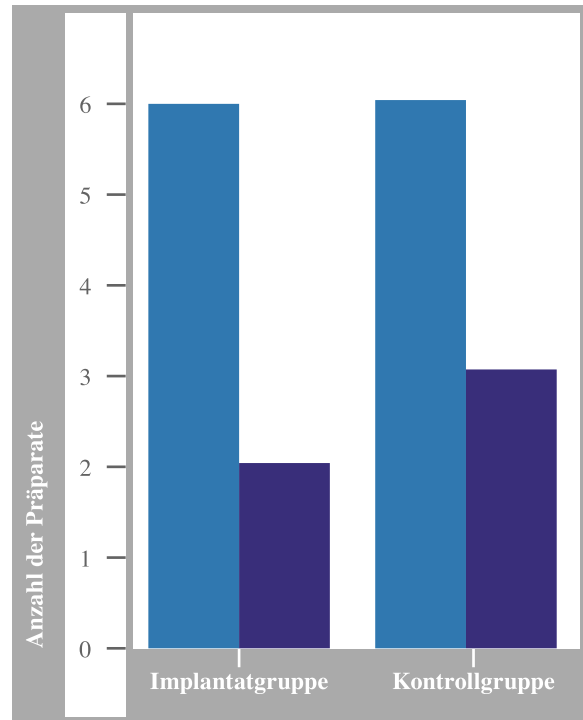
Die lichtmikroskopische Auswertung nach 48 Wochen ergab in der Implantatgruppe 75 % (6 von 8) und in der Kontrollgruppe 62,5 % (6 von 9) der Präparate mit Grad 2 der Bandscheibendegeneration. 25 % (2 von 8) der Gruppe mit dynamischer Stabilisation und 37,5 % (3 von 9) der Gruppe mit alleiniger Nukleotomie zeigten Degenerationsgrad 3. Die Proben wiesen jeweils die dem Degenerationsgrad 2 oder 3 entsprechenden Bewertungskriterien auf.

Ein signifikanter Unterschied bezüglich der lichtmikroskopisch sichtbaren Veränderungen der Bandscheibe wurde nach Ablauf der Beobachtungszeiten von 12 und 48 Wochen zwischen Implantat- und Kontrollgruppe nicht gefunden (12 Wochen: $p = 1,00$; 48 Wochen: $p = 1,00$).

nach 12 Wochen



nach 48 Wochen



■ Grad 2
■ Grad 3

Abb. 36: Darstellung der Ergebnisse der mikroskopisch sichtbaren Bandscheibenveränderungen

Zur exemplarischen Veranschaulichung sind die wichtigsten lichtmikroskopisch sichtbaren Degenerationszeichen des Bandscheibengewebes an Hand digitaler Fotos abgebildet und erläutert (Abb. 37 bis 40).

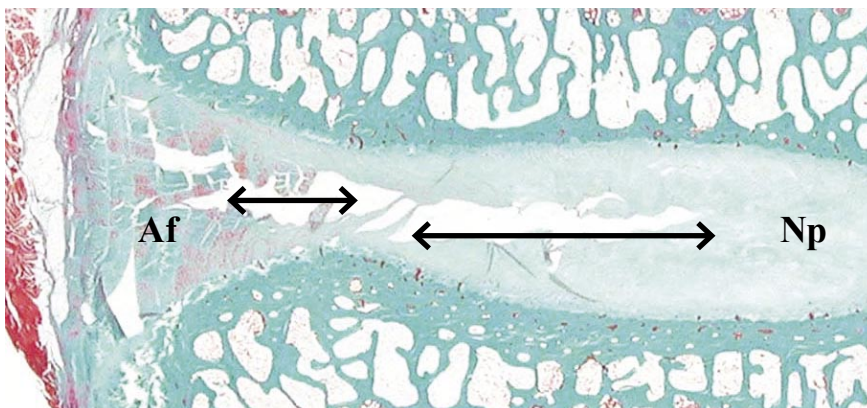


Abb. 37: Ausschnitt eines Bandscheibenfaches: Fissuren und Kavernen (Pfeile) vom Anulus fibrosus (Af) bis in den Nukleus pulposus (Np); Trichromfärbung nach Masson-Goldner

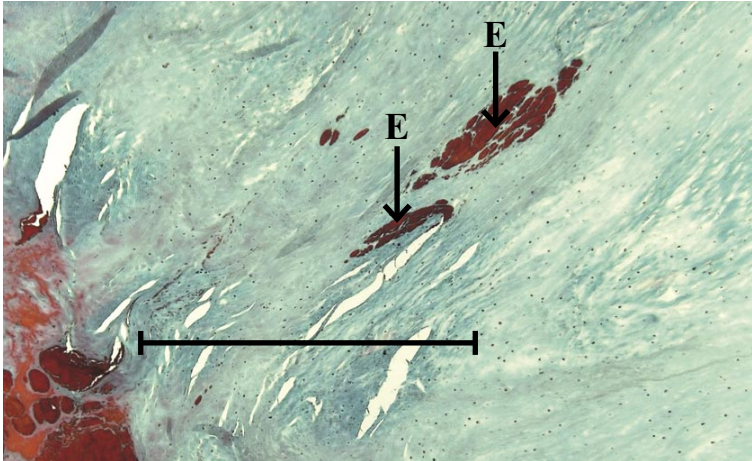


Abb. 38: Ausschnitt aus dem Faserring: Einblutungen (E), Fissuren und Lamellendesorganisation (Klammer); Trichromfärbung nach Masson-Goldner; Vergr. 5fach

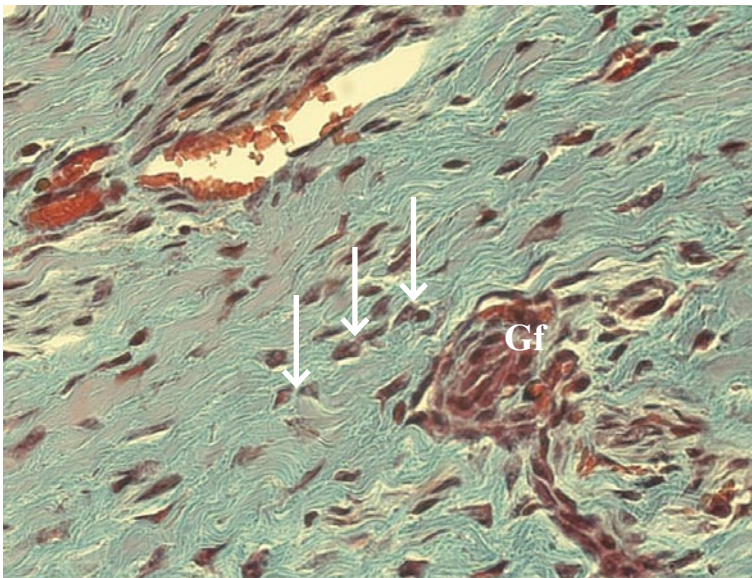


Abb. 39: Ausschnitt aus dem Faserring: Gefäßneubildung (Gf) und Fibrozyteneinwanderung (Pfeile) als Zeichen einer reaktiven Bindegewebsbildung; Trichromfärbung nach Masson-Goldner; Vergr. 20fach



Abb. 40: Chondronenbildung: > 3 Knorpelzellen (Zellkern eines Chondrozyten = Pfeil) zu einer isogenen Gruppe (Klammer, Ch) organisiert; Trichromfärbung nach Masson-Goldner; Vergr. 40fach

1. Veränderungen der knorpeligen Endplatte und des subchondralen Knochens

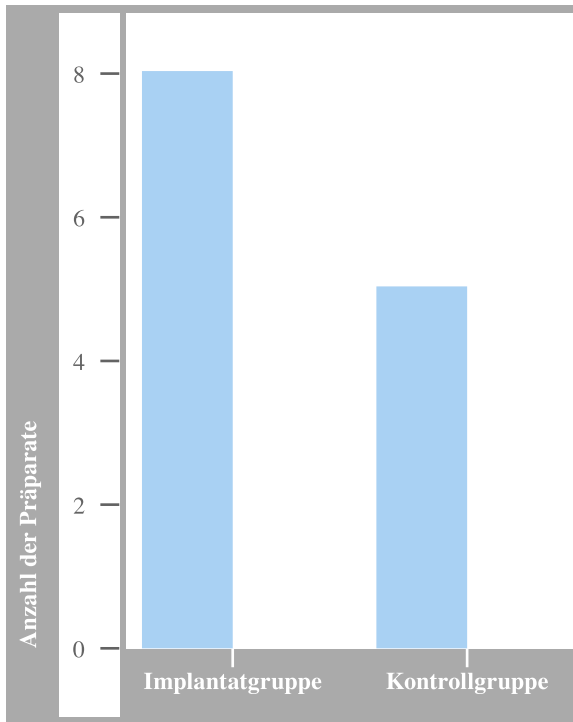
Die Untersuchung der knorpeligen Endplatten und des subchondralen Knochens ergab in beiden Gruppen zum Zeitpunkt 12 Wochen nach der Operation keine degenerativen Veränderungen. Alle Präparate wiesen Grad 0 auf. Sowohl die knorpelige als auch die knöcherne Endplatte war gleichmäßig dick, die Knorpel-Knochengrenze intakt und die Zellverteilung entsprach dem Gesunden (12 Wochen: $p = 1,00$; Abb. 42).

Nach 48 Wochen konnte bei 12,5 % (1 von 8) der Gruppe II A und 33,3 % (3 von 9) der Gruppe II B eine Zellzahlvermehrung mit beginnender Chondronenbildung und geringe Irregularitäten der kalzifizierten Zone, d.h. Grad 1 nachgewiesen werden (Abb. 43). Die genannten degenerativen Veränderungen waren interessanterweise ausschließlich an der links-lateralen Seite der Wirbelkörperendplatten zu beobachten. Bei den übrigen Präparaten, d.h. 87,5 % (7 von 8) der Implantatgruppe und 66,7 % (6 von 9) der Kontrollgruppe wurden keine strukturellen Umbauten der knorpeligen Endplatte gefunden. Sie entsprachen somit Grad 0. Ein signifikanter Unterschied war zwischen den beiden Gruppen nicht zu verzeichnen (48 Wochen: $p = 0,569$).

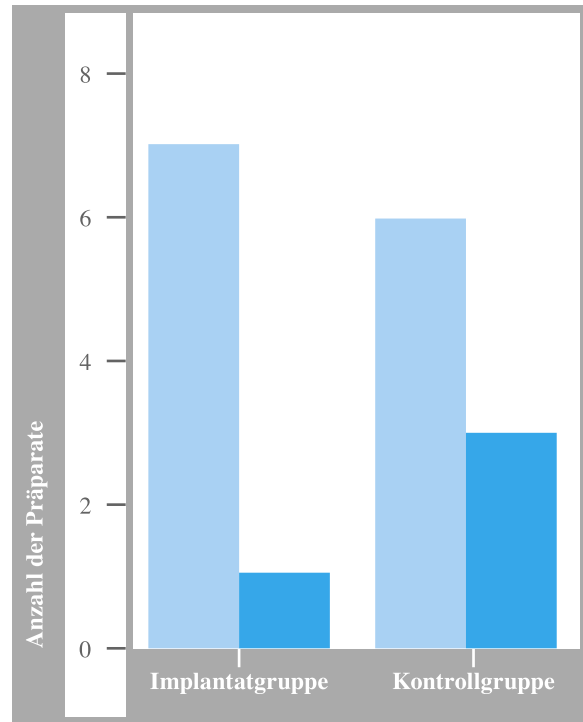
Die mikroskopische Untersuchung des subchondralen Knochens brachte auch nach 48 Wochen in beiden Gruppen keine Degenerationszeichen hervor (48 Wochen: $p = 1,00$). Die knöcherne Endplatte war gleichmäßig dick, bestand aus Lamellenknochen und hatte eine intakte Verbindung zum angrenzenden Gelenkknorpel. Somit konnten alle Präparate mit Grad 0 des nach Gries angewendeten Score beurteilt werden (62).

Auf die graphische Darstellung der Veränderungen des subchondralen Knochens wird auf Grund der Eindeutigkeit der Ergebnisse verzichtet.

nach 12 Wochen



nach 48 Wochen



Grad 0
Grad 1

Abb. 41: Darstellung der Ergebnisse mikroskopisch sichtbarer Veränderungen der knorpeligen Endplatte

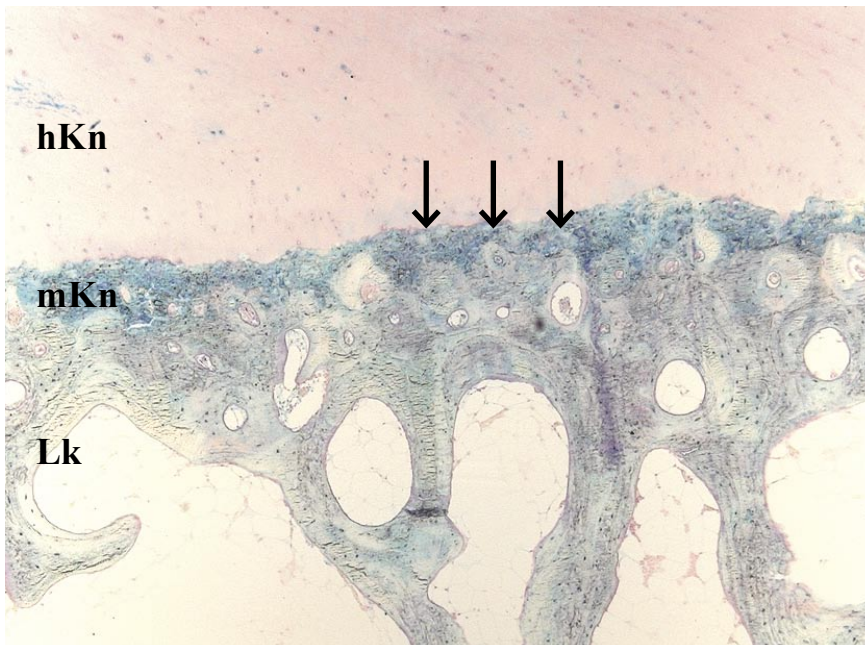


Abb. 42: Intakte Knorpel-Knochengrenze der kaudalen Endplatte (Pfeile), hyaliner Knorpel (hKn), mineralisierter Knorpel (mKn), Lamellenknochen (Lk); Alcianblau/Kernechtrot-Färbung; Vergr. 5fach

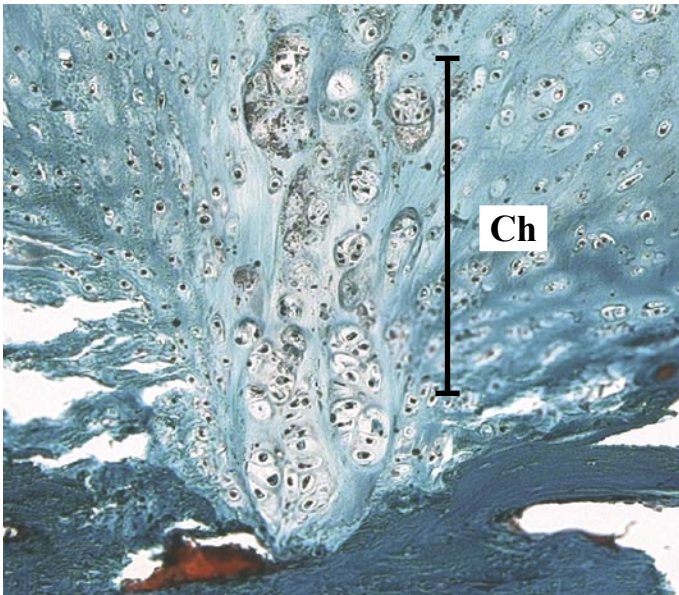


Abb. 43: Ausschnitt der kaudalen Endplatte mit lokaler Zellzahlerhöhung und Chondronenbildung (Klammer, Ch); Trichromfärbung nach Masson-Goldner; Vergr. 10fach

2. Spondylophytenbildung

Nach 12 Wochen konnten in der Gruppe mit dynamischer Stabilisation 25 % (2 von 8) der Präparate mit einer Spondylophytenbildung < 2 mm an der kranialen und kaudalen Endplatte, d.h. Grad 1b gefunden werden (Abb.X). Die verbleibenden 75 % (6 von 8) zeigten keine knöchernen Anbauten (Abb. X). In der Kontrollgruppe hingegen war ein Präparat (20 %) mit Grad 1a, zwei (40 %) mit Grad 1b und eins (20 %) mit Grad 2 zu beurteilen. Bei nur einem der Schnitte (20 %) konnte keine Spondylophytenbildung beobachtet werden. Ein statistisch signifikanter Unterschied wurde jedoch nicht sichtbar (12 Wochen: $p = 0,184$).

Die knöchernen Degenerationszeichen in Form von Spondylophyten nahmen im zeitlichen Verlauf zu, so dass sie bei einem Großteil der Präparate beider Gruppen nach 48 Wochen zu beobachten waren. Grad 2 und 3 des Grading-Scores waren jedoch nur in der Kontrollgruppe zu finden. In der Implantatgruppe wiesen 25 % (2 von 8) Grad 0 und jeweils 37,5 % (3 von 8) Grad 1a und 1b der Spondylophytenbildung auf. Die Knochenanbauten waren parallel zur Endplatte gemessen, also alle kleiner als 2 mm.

Das Ausmaß der knöchernen Anbauten der Kontrollgruppe zeigte folgendes Ergebnis: 11,1 % (1 von 9) Grad 1a, 22,2 % (2 von 9) Grad 1b, 11,1 % (1 von 9) Grad 2 und 33,3 % (3 von 9) Grad 3. Bei 22,2 % (2 von 9) der Proben konnten keine Spondylophyten gefunden werden. Insbesondere die mit Grad 3 beurteilten Präparate zeigten eine das Bandscheibenfach L3-L4 überbrückende Spangenbildung mit Spondylophyten größer als 6 mm. Trotz der unterschiedlichen Ausprägung spondylophytärer Anbauten war auch nach 48 Wochen zwischen beiden Gruppen keine Signifikanz zu verzeichnen (48 Wochen: $p = 0,366$).

In der Abbildung 44 sind die Ergebnisse für beide Gruppen und Standzeiten an Hand von Säulendiagrammen dargestellt.

nach 12 Wochen

nach 48 Wochen

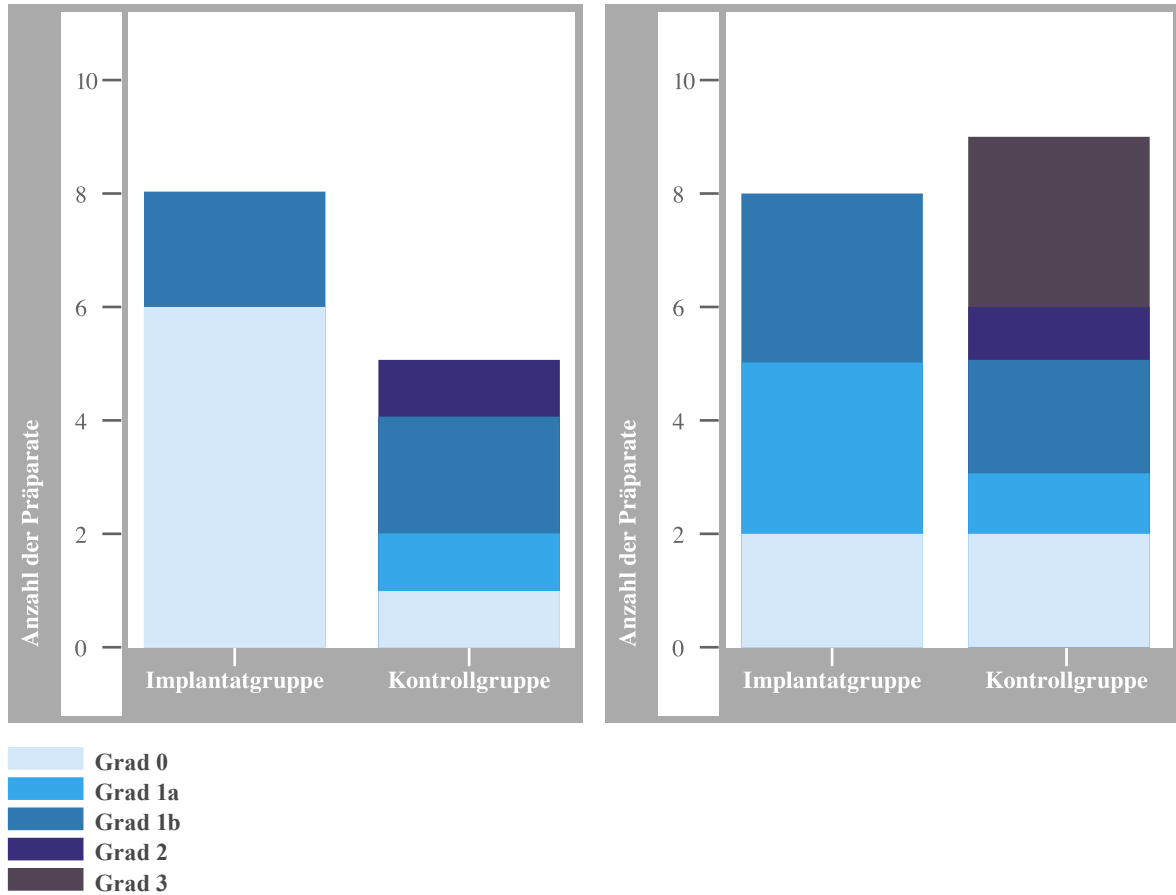


Abb. 44: Darstellung der Ergebnisse der mikroskopisch sichtbaren Spondylophytenbildung

Zur besseren Veranschaulichung ist auf den Fotos 45-49 die Spondylophytenbildung gemäß ihrer Gradeinteilung anhand von Beispielen abgebildet und erklärt.



Abb. 45



Abb. 46

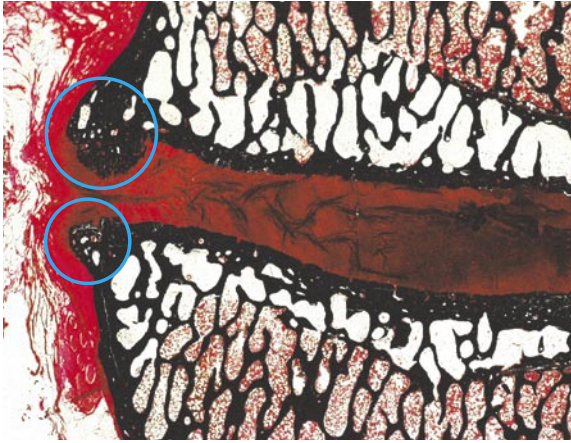


Abb. 47

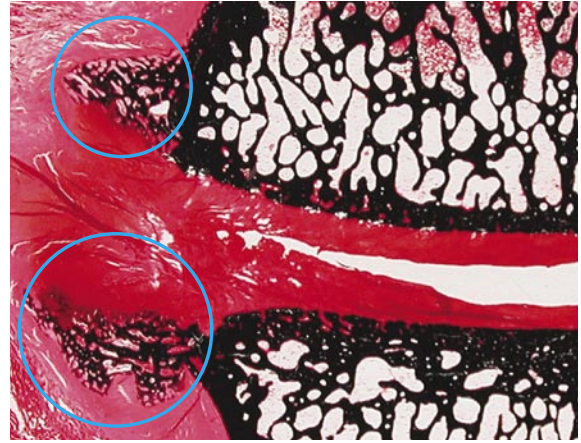


Abb. 48

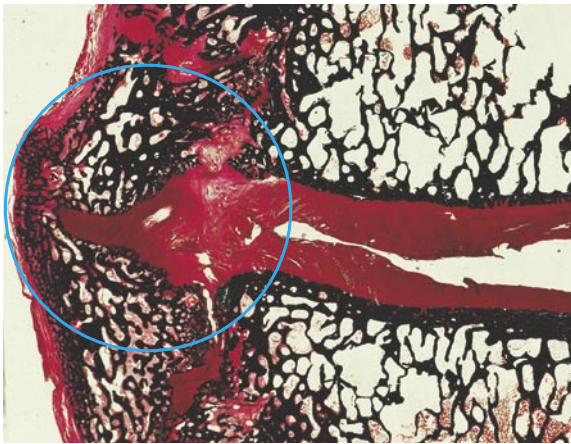


Abb. 49

Abb. 45: Grad 0 der Spondylophytenbildung: keine knöchernen Anbauten; Nativpräparat; Safranin-Orange/von Kossa-Färbung

Abb. 46: Grad 1a der Spondylophytenbildung: Spondylophyt < 2 mm an der kaudalen Endplatte (Kreis); Kontrollgruppe; 48 Wochen; Safranin-Orange/von Kossa-Färbung

Abb. 47: Grad 1b der Spondylophytenbildung: knöchernen Anbauten < 2 mm (Kreis) an beiden Endplatten; Implantatgruppe; 48 Wochen; Safranin-Orange/von Kossa-Färbung

Abb. 48: Grad 2 der Spondylophytenbildung: Spondylophyten 2-6 mm (Kreis) mit beginnender Spangenbildung; Kontrollgruppe; 48 Wochen; Safranin-Orange/von Kossa-Färbung

Abb. 49: Grad 3 der Spondylophytenbildung: knöchernen Anbauten > 6 mm mit vollständiger Spangenbildung; Kontrollgruppe; 48 Wochen; Safranin-Orange/von Kossa-Färbung

5.2.3 Mikroskopische Ergebnisse der Facettengelenkpräparate

Sowohl nach 12 als auch nach 48 Wochen konnten bei keinem der Wirbelbogengelenke Degenerationszeichen und somit kein signifikanter Unterschied beobachtet werden, d.h. alle Präparate aus beiden Gruppen wiesen Grad 0 auf (12 Wochen: $p = 1,00$; 48 Wochen: $p = 1,00$). Entsprechend der nach Moore untersuchten Strukturen, fanden wir einen Gelenkknorpel mit glatter Oberfläche und normaler Chondrozytenverteilung. Die osteochondrale Verbindung war intakt und der darunter liegende Lamellenknochen regelrecht vaskularisiert (Abb. 51). In den nachstehenden Fotos ist der makroskopische und mikroskopische Aufbau eines gesunden Facettengelenkes veranschaulicht. Auf eine graphische Darstellung der Ergebnisse wird auf Grund ihrer Eindeutigkeit verzichtet.

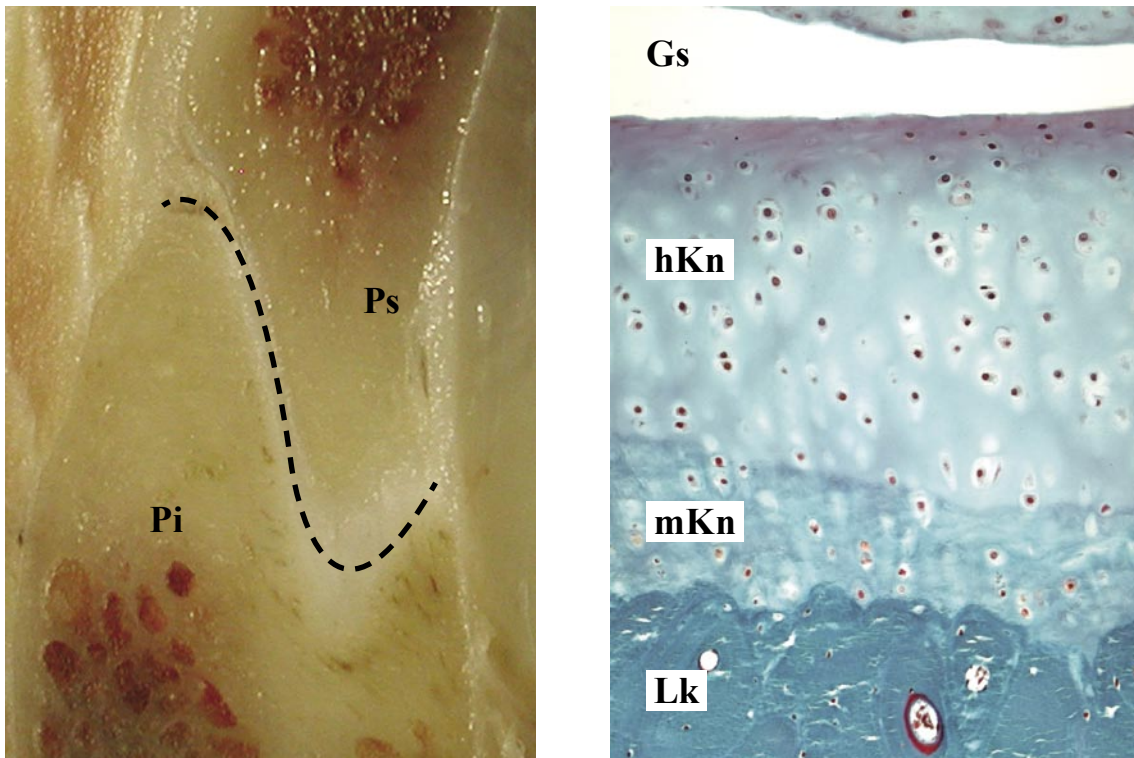


Abb. 50: Makroskopische Darstellung eines Facettengelenkes in Frontalebene: Proc. articularis inferior des LWK 3 (Pi), Proc. articularis superior des LWK 4 (Ps), Gelenkspalt (----)

Abb. 51: Gelenkspalt (Gs), hyaliner Gelenkknorpel (hKn) mit gleichmäßiger Chondrozytenverteilung, mineralisierter Knorpel (mKn), Lamellenknochen (Lk); Trichromfärbung nach Masson-Goldner; Vergr. 20fach

5.3 Histomorphometrische quantitative Ergebnisse

In den vier Gruppen konnte die in Tabelle 15 ersichtliche Anzahl der Präparate mit dem Bildanalyseprogramm ausgewertet werden. Bei zwei Präparaten der Gruppe IA reichte der knöcherne Anteil der aufgearbeiteten Schnitte nach der Aufarbeitung nicht für die definitionsgemäß festgelegte ROI aus, so dass sie von der Auswertung ausgeschlossen wurden. Auf Grund des Umfangs der gewonnenen Daten sind hier nur die Ergebnisse für die drei gesamten ROIs, d.h. für die kraniale und kaudale Endplatte sowie für das Bandscheibenfach anhand von Boxplots dargestellt und beschrieben. Die restlichen Daten sind dem Anhang zu entnehmen.

Gruppe	Standzeit	Präparate	Parameter
IA	12 Wochen	6	Knochendichte (%) Knochenfläche/Fläche der ROI (%)
IB	12 Wochen	5	Trabekeldicke (μm) Trabekelseparierung (μm)
IIA	48 Wochen	8	Trabekelverzweigung Trabekelzahl/mm
IIB	48 Wochen	8	Knorpelfläche/Fläche der ROI (%)

Tab. 15: Anzahl der untersuchten Präparate pro Gruppe und die berechneten Parameter

5.3.1 Knochendichte (%)

Eine zusätzliche dynamische Stabilisation des nukleotomierten Segmentes L3-L4 im Vergleich zur Nukleotomie allein, hat auf die Knochendichte der kranialen Endplatte keinen signifikanten Einfluss nach beiden Beobachtungszeiten gehabt (12 Wochen: $p = 0,732$; 48 Wochen: $p = 0,234$). Die Mediane der beiden Gruppen waren zwischen 50,9 % und 58,9 % angesiedelt. Bei den Nativpräparaten konnte nach 12 Wochen eine mediane Knochendichte für die obere ROI von 53 % ermittelt werden. Auch die Ergebnisse der Knochendichtemessung der kaudalen Endplatte ergaben keinen signifikanten Unterschied (12 Wochen: $p = 0,846$; 48 Wochen: $p = 0,324$). Zwischen 54,2 % und 62,8 % lagen hier die Mediane. Die mediane Knochendichte für die untere ROI der Nativgruppe betrug 56,7 %.

Gruppe	Knochendichte (%) der kranialen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	50,8	58,4	61,8
I B n=5	51,4	59,0	61,8
II A n=8	45,8	50,9	59,0
II B n=8	45,8	54,3	57,9
Nativgruppe n=7	47,6	53,0	59,5

Tab. 16: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Knochendichte (%) für die kraniale Endplatte

Gruppe	Knochendichte (%) der kaudalen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	50,7	62,4	70,0
I B n=5	50,7	62,8	70,0
II A n=8	48,9	54,2	62,2
II B n=8	51,8	56,0	64,1
Nativgruppe n=7	52,1	56,7	58,9

Tab. 17: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Knochendichte (%) für die kaudale Endplatte

nach 12 Wochen

nach 48 Wochen

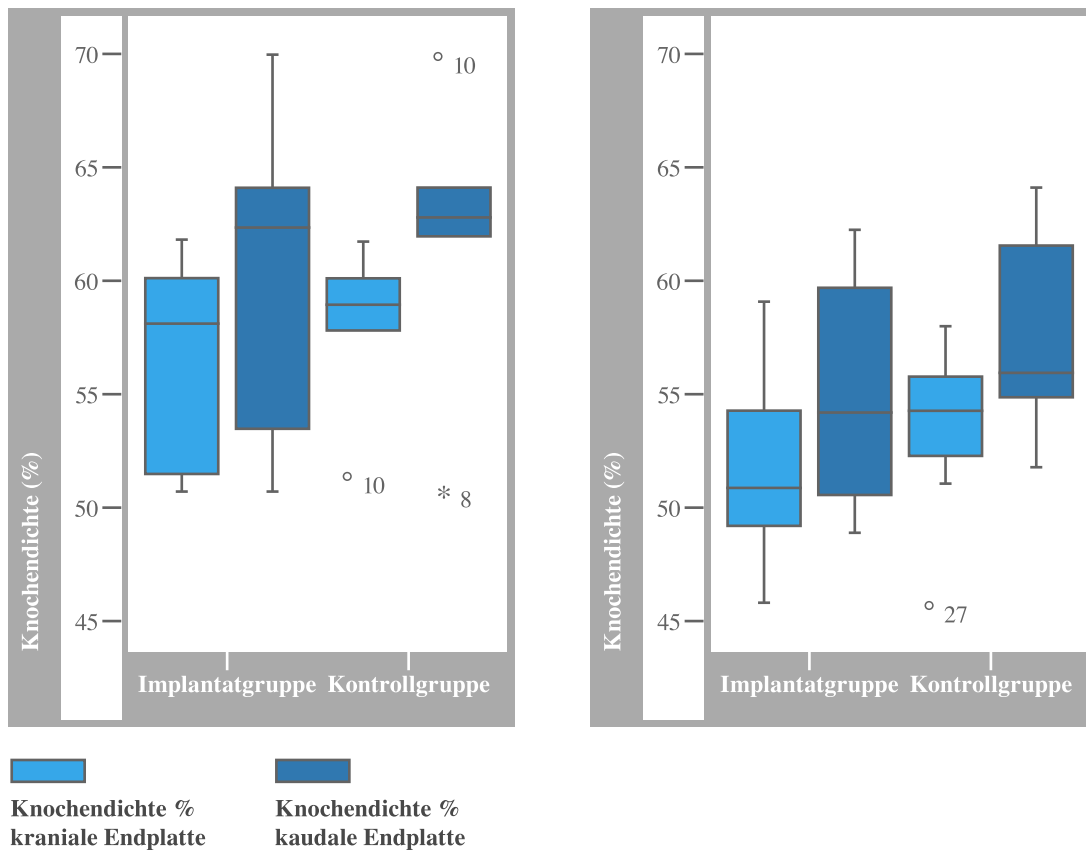


Abb. 52: Knochendichte (%) der kranialen und kaudalen Endplatte

5.3.2 Knochenfläche/Fläche der ROI (%)

Das Verhältnis der Knochenfläche zur Fläche der gesamten oberen ROI, also der kranialen Endplatte, ergab sowohl nach 12 als auch nach 48 Wochen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen (12 Wochen: $p = 0,931$, 48 Wochen: $p = 0,382$). Die Mediane für diesen Parameter lagen zwischen 50,8 % und 58,6 %. Ähnliche Ergebnisse ergab die Untersuchung der kaudalen Endplatte, wobei die Mediane der Knochenfläche pro ROI zwischen 51,5 % und 62,8 % lagen (12 Wochen: $p = 0,329$; 48 Wochen: $p = 0,234$). Vergleichend betrug der Median in der Nativgruppe für die obere ROI 52,7 % und für die untere 56,5 %.

Gruppe	Knochenfläche/Fläche der ROI (%) der kranialen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	51,1	58,7	62,5
I B n=5	51,3	53,6	58,0
II A n=8	45,6	50,9	58,9
II B n=8	45,5	54,2	64,6
Nativgruppe n=7	47,4	52,7	59,6

Tab. 18: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Knochenfläche/Fläche der ROI (%) für die kraniale Endplatte

Gruppe	Knochenfläche/Fläche der ROI (%) der kaudalen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	50,7	62,9	66,2
I B n=5	48,9	51,6	65,6
II A n=8	49,0	54,0	62,1
II B n=8	52,0	55,9	64,1
Nativgruppe n=7	52,2	56,6	58,8

Tab. 19: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Knochenfläche/Fläche der ROI (%) für die kaudale Endplatte

nach 12 Wochen

nach 48 Wochen

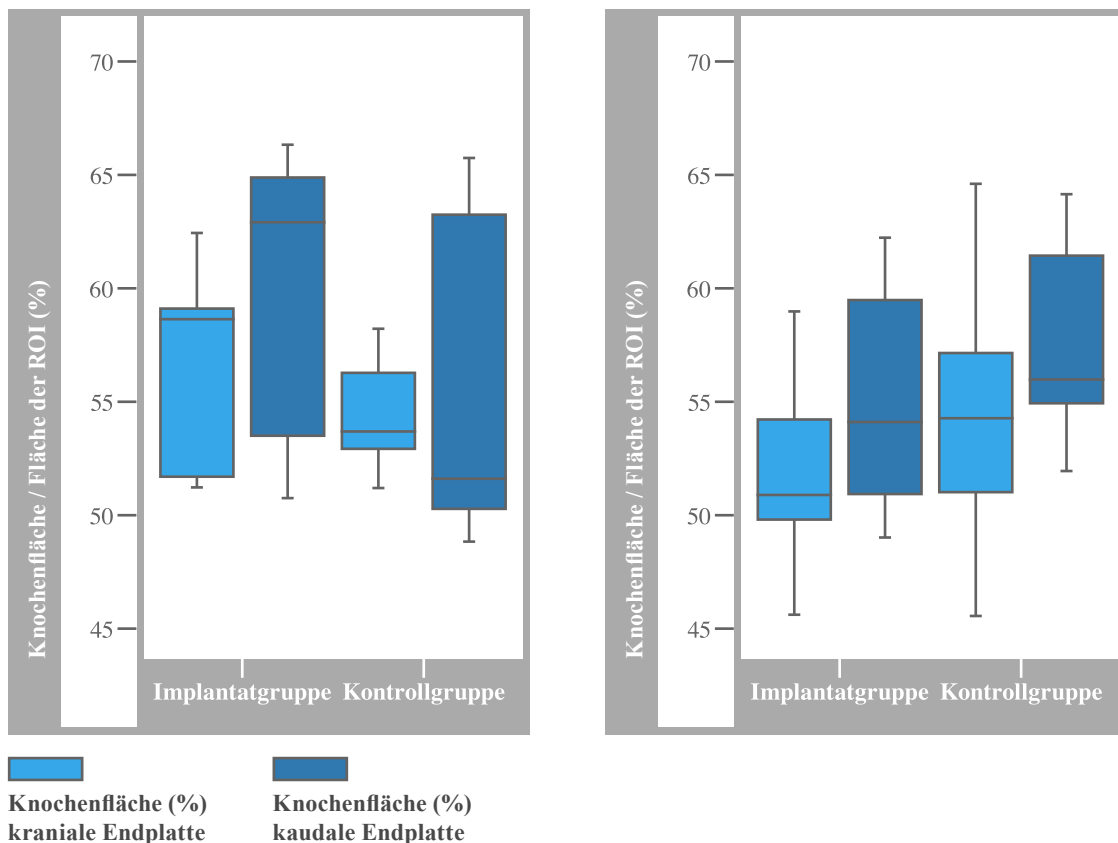


Abb. 53: Knochenfläche/Fläche der ROI (%) der kranialen und kaudalen Endplatte

5.3.3 Trabekeldicke (μm)

Bei der Berechnung der durchschnittlichen Trabekeldicken für die Endplatte des Wirbelkörpers L3 zeichnete sich nach beiden Standzeiten kein signifikanter Unterschied ab (12 Wochen: $p = 0,842$; 48 Wochen: $p = 0,065$). Die mediane Trabekeldicke lag zwischen $0,21$ und $0,25 \mu\text{m}$. Mit Medianen zwischen $0,19$ und $0,24 \mu\text{m}$ wies auch die Trabekeldicke der Endplatte des Wirbelkörpers L4 keinen signifikanten Unterschied zu den Zeitpunkten 12 und 48 Wochen auf (12 Wochen: $p = 0,403$; 48 Wochen: $p = 0,369$).

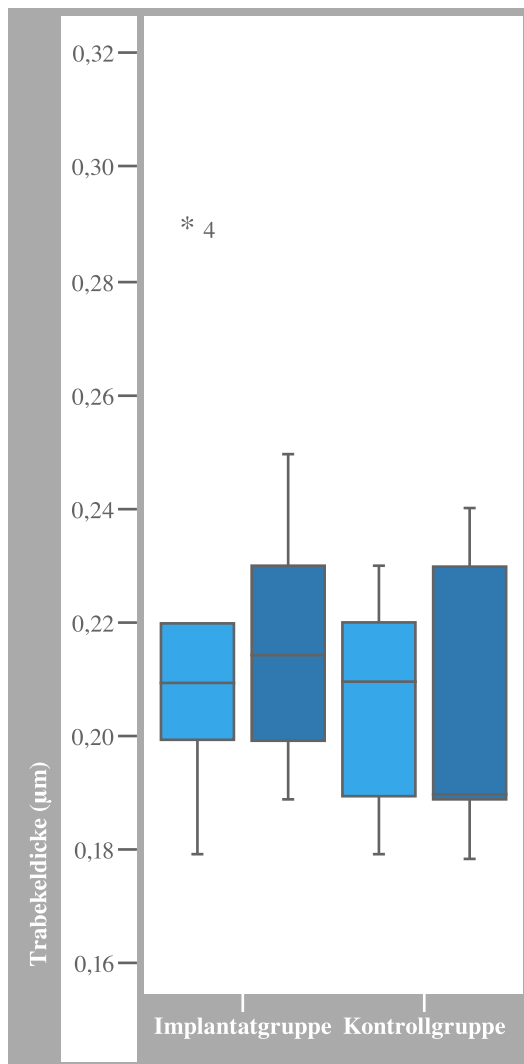
Gruppe	Trabekeldicke (μm) der kranialen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	0,18	0,21	0,29
I B n=5	0,18	0,21	0,23
II A n=8	0,18	0,23	0,25
II B n=8	0,19	0,25	0,29
Nativgruppe n=7	0,19	0,21	0,23

Tab. 20: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekeldicke (μm) für die kraniale Endplatte

Gruppe	Trabekeldicke (μm) der kaudalen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	0,19	0,22	0,25
I B n=5	0,18	0,19	0,24
II A n=8	0,16	0,23	0,26
II B n=8	0,20	0,24	0,31
Nativgruppe n=7	0,17	0,21	0,23

Tab. 21: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekeldicke (μm) für die kaudale Endplatte

nach 12 Wochen



nach 48 Wochen

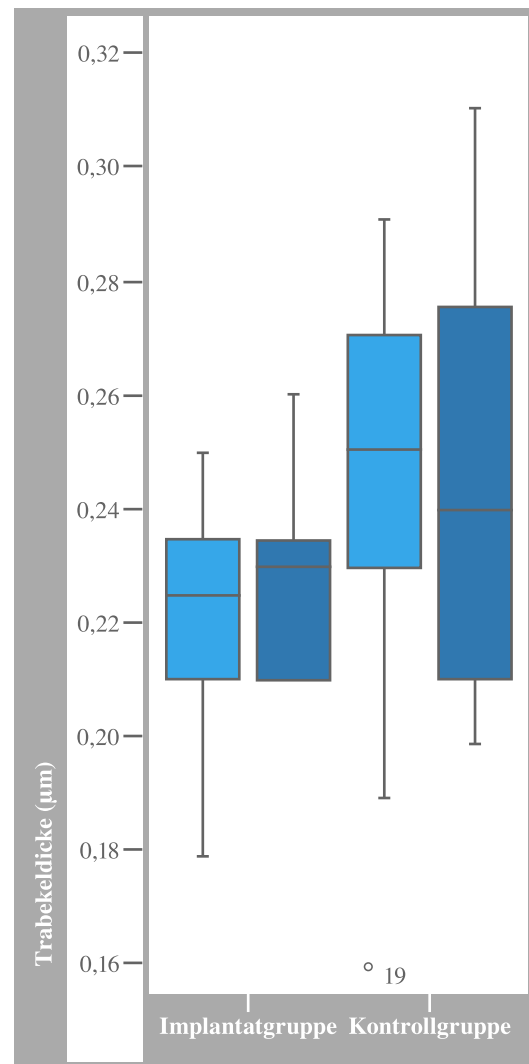


Abb. 54: Trabekeldicke (µm) der kranialen und kaudalen Endplatte

5.3.4 Trabekelseparation (µm)

Eine zusätzliche dorsale dynamische Stabilisation im Vergleich zur alleinigen Nukleotomie wirkte sich nach 12 und 48 Wochen nicht signifikant auf die Trabekelseparation der kranialen Endplatte des Segmentes L3-L4 aus (12 Wochen: $p = 0,366$; 48 Wochen: $p = 0,862$). Die medianen Werte waren zwischen 0,16 und 0,20 µm angesiedelt. Auch auf die kaudale Endplatte konnte kein signifikanter Einfluss unseres Implantates bezüglich der Trabekelseparation beobachtet werden (12 Wochen: $p = 0,145$; 48 Wochen: $p = 0,990$). Die Mediane lagen zwischen 0,17 bis 0,19 µm.

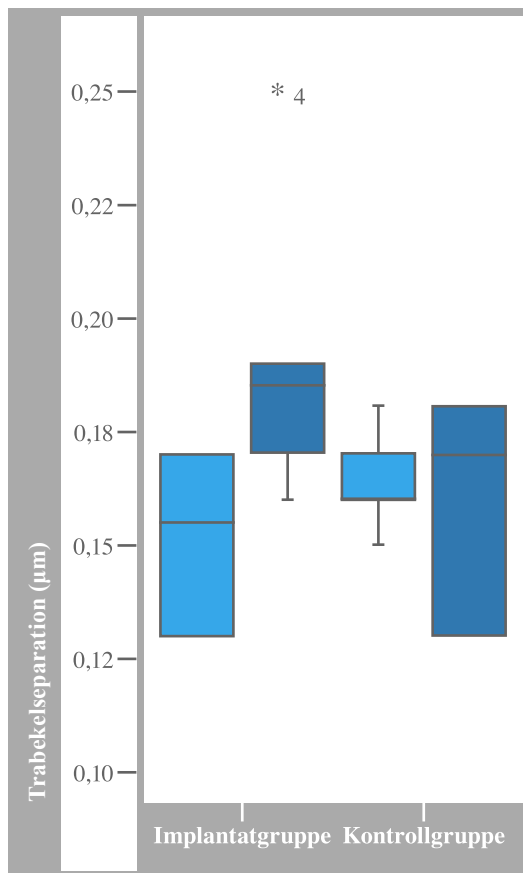
Gruppe	Trabekelseparation (μm) der kranialen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	0,13	0,16	0,17
I B n=5	0,15	0,16	0,18
II A n=8	0,15	0,21	0,25
II B n=8	0,17	0,20	0,25
Nativgruppe n=7	0,16	0,18	0,20

Tab. 22: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekelseparation (μm) für die kraniale Endplatte

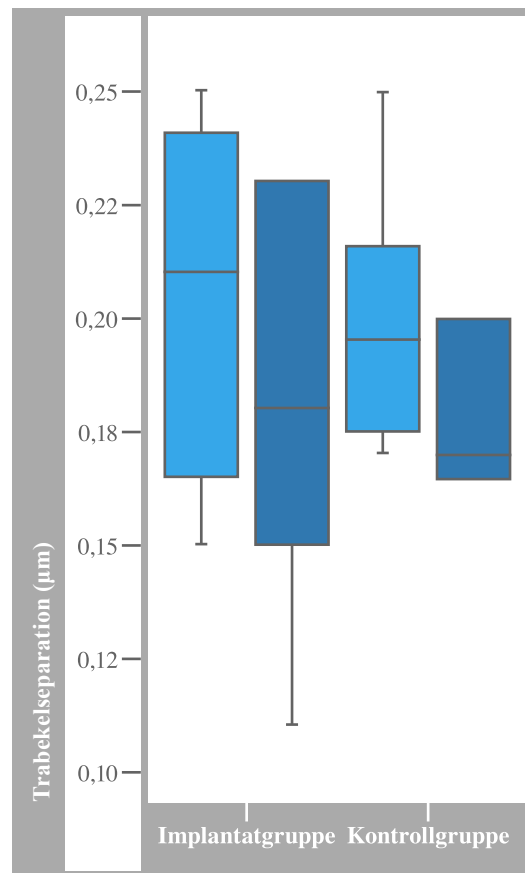
Gruppe	Trabekelseparation (μm) der kaudalen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	0,16	0,19	0,25
I B n=5	0,13	0,17	0,18
II A n=8	0,11	0,18	0,23
II B n=8	0,15	0,17	0,21
Nativgruppe n=7	0,15	0,17	0,18

Tab. 23: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekelseparation (μm) für die kaudale Endplatte

nach 12 Wochen



nach 48 Wochen



Trabekelseparation (µm) kraniale Endplatte
Trabekelseparation (µm) kaudale Endplatte

Abb. 55: Trabekelseparation (µm) der kranialen und kaudalen Endplatte

5.3.5 Trabekelverzweigung

Bezüglich der Trabekelverzweigung des Knochengewebes der kranialen Endplatte konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden (12 Wochen: $p = 0,695$; 48 Wochen: $p = 0,078$). Die Mediane lagen zwischen 28 und 40.

Ebenso wurde für die kaudale Endplatte des Wirbelsäulensegmentes L3-L4 kein signifikanter Einfluss durch den Einsatz des dynamischen Elementes nach 12 und 48 Wochen Beobachtungszeit festgestellt werden (12 Wochen: $p = 0,695$; 48 Wochen: $p = 0,264$). Die mediane Anzahl der Trabekelverzweigungen der unteren ROI lag zwischen 34 und 43. An Hand der Daten zum Zeitpunkt 12 Wochen kann man schließen, dass sowohl nach Nukleotomie als auch nach zusätzlicher dynamischer Stabilisation die Trabekelverzweigung insbesondere der kaudalen Endplatte im Vergleich zu unbehandelten Tieren tendenziell sinkt. Die Ergebnisse zum Zeitpunkt 48 Wochen bestätigen diese Tendenz. Die Anzahl der Trabekelverzweigungen der kranialen und kaudalen Endplatte beider Gruppen ist, verglichen mit den Resultaten der Nativpräparate, geringer.

Gruppe	Trabekelverzweigung der kranialen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	34	39	45
I B n=5	32	40	49
II A n=8	26	35	37
II B n=8	25	28	46
Nativgruppe n=7	34	38	44

Tab. 24: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekelverzweigung für die kraniale Endplatte

Gruppe	Trabekelverzweigung der kaudalen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	38	39	43
I B n=5	31	40	56
II A n=8	30	34	41
II B n=8	30	43	53
Nativgruppe n=7	52	59	71

Tab. 25: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekelverzweigung für die kaudale Endplatte

nach 12 Wochen

nach 48 Wochen

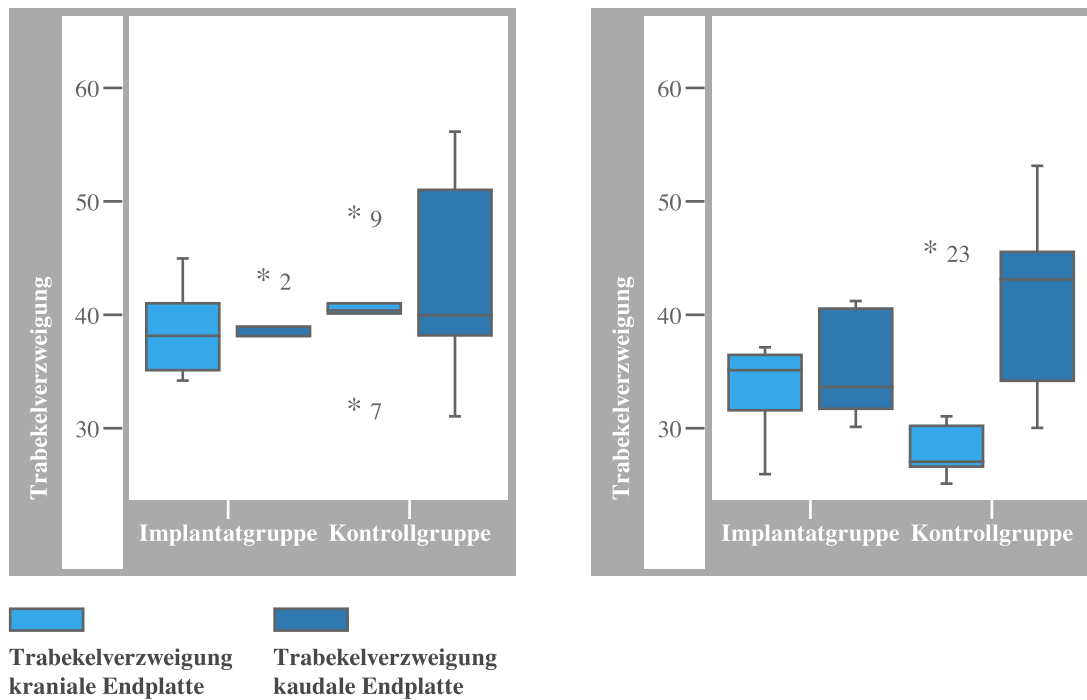


Abb. 56: Trabekelverzweigung der kranialen und kaudalen Endplatte

5.3.6 Trabekelzahl/mm

Die computergestützte Berechnung der Trabekelzahl/mm der kranialen Endplatte zeigte sowohl zum Zeitpunkt 12 Wochen als auch nach 48 Wochen keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen (12 Wochen: $p = 0,247$; 48 Wochen: $p = 0,339$). Die medianen Werte siedelten sich zwischen 2,3 und 2,9 Trabekel je mm an.

Ähnliche Ergebnisse ergab die Untersuchung der kaudalen Endplatte. Ein signifikanter Einfluss der dynamischen Stabilisation auf die Anzahl der Trabekel (/mm) konnte auch hier nicht nachgewiesen werden (12 Wochen: $p = 0,355$; 48 Wochen: $p = 0,590$). Die Mediane für alle Gruppen sind der Tabelle 27 zu entnehmen. Betrachtet man die Ergebnisse beider Gruppen in Bezug auf die gemessene Trabekelzahl der intakten Wirbelsäulensegmente L3-L4, so stellt man fest, dass nach 12 Wochen die Anzahl der Trabekel pro mm der kranialen Endplatte tendenziell zunimmt. In der kaudalen Endplatte ist dieser Effekt nicht zu beobachten. Zum Zeitpunkt 48 Wochen ist jedoch eher ein Absinken der Trabekelzahl in der Implantat- und Kontrollgruppe im Vergleich zu den Nativpräparaten zu verzeichnen.

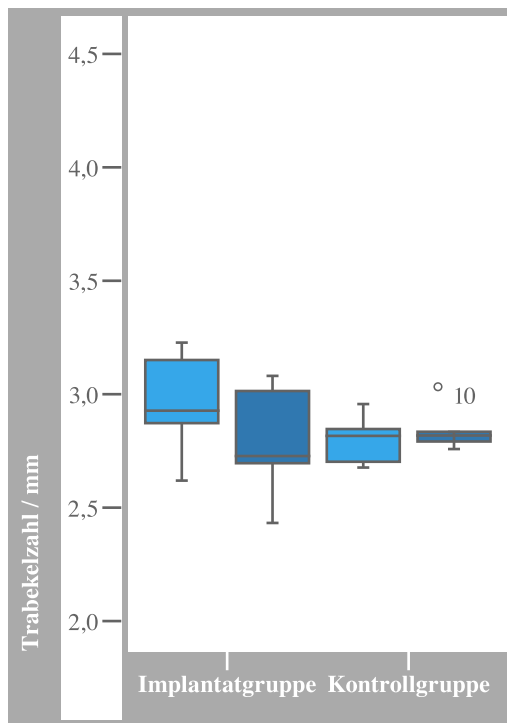
Gruppe	Trabekelzahl/mm der kranialen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	2,6	2,9	3,2
I B n=5	2,6	2,8	2,9
II A n=8	2,1	2,4	3,2
II B n=8	2,1	2,3	2,8
Nativgruppe n=7	2,5	2,6	2,7

Tab. 26: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekelzahl/mm für die kraniale Endplatte

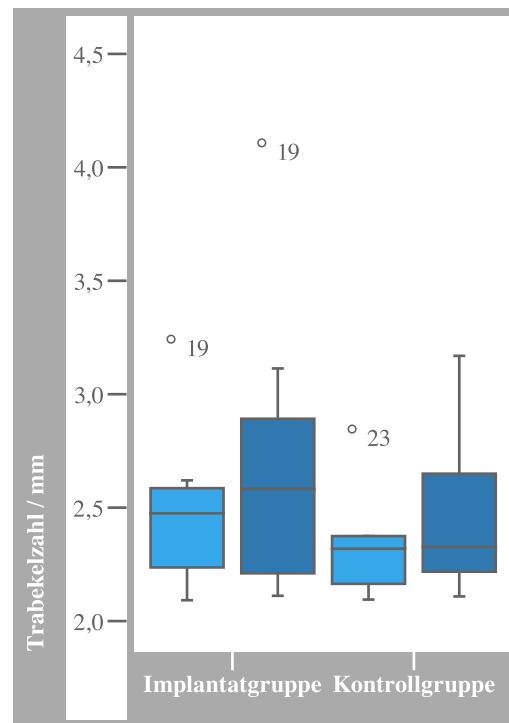
Gruppe	Trabekelzahl/mm der kaudalen Endplatte		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	2,4	2,7	3,1
I B n=5	2,7	2,8	3
II A n=8	2,1	2,5	4,1
II B n=8	2,1	2,3	3,1
Nativgruppe n=7	2,4	2,7	3,6

Tab. 27: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Trabekelzahl/mm für die kaudale Endplatte

nach 12 Wochen



nach 48 Wochen



■ Trabekelzahl/mm kraniale Endplatte
■ Trabekelzahl/mm kaudale Endplatte

Abb. 57: Trabekelzahl/mm der kranialen und kaudalen Endplatte

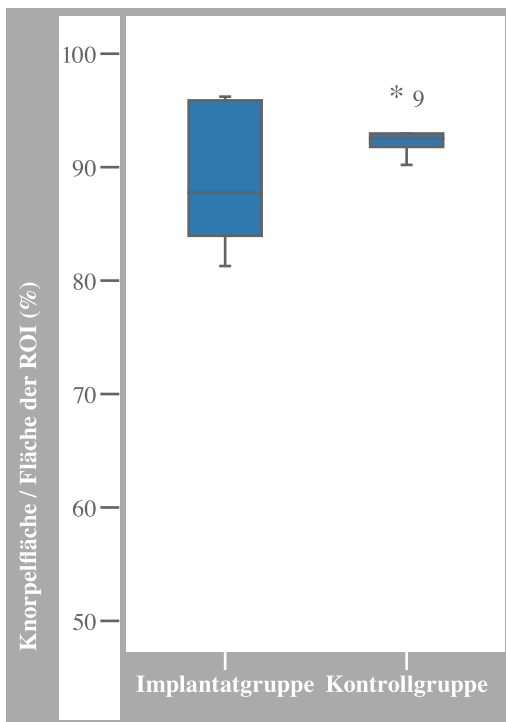
5.3.7 Knorpelfläche/Fläche der ROI (%)

Der zusätzliche Einsatz des neuartigen dynamischen Implantates im Vergleich zur Nukleotomie allein scheint keinen erkennbaren Einfluss auf den Degenerationsverlauf in Bezug auf die Knorpelfläche des Bandscheibenfaches zu haben. Zu keinem Zeitpunkt konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Implantat- und Kontrollgruppe gefunden werden (12 Wochen: $p = 0,273$; 48 Wochen: $p = 0,345$). Die Mediane der beiden Gruppen lagen zwischen 76,9 % und 92,6 %, der der Nativgruppe betrug 85,2 %.

Gruppe	Knorpelfläche/Gesamtfläche des Bandscheibenfaches (%)		
	Minimum	Median	Maximum
I A n=6	81,3	87,8	96,0
I B n=5	90,3	92,6	96,8
II A n=8	74,1	76,9	93,9
II B n=8	50,6	80,1	90,9
Nativgruppe n=7	78,7	85,2	90,5

Tab. 28: Histomorphometrische Ergebnisse bezüglich der Knorpelfläche/Gesamtfläche des Bandscheibenfaches (%)

nach 12 Wochen



nach 48 Wochen

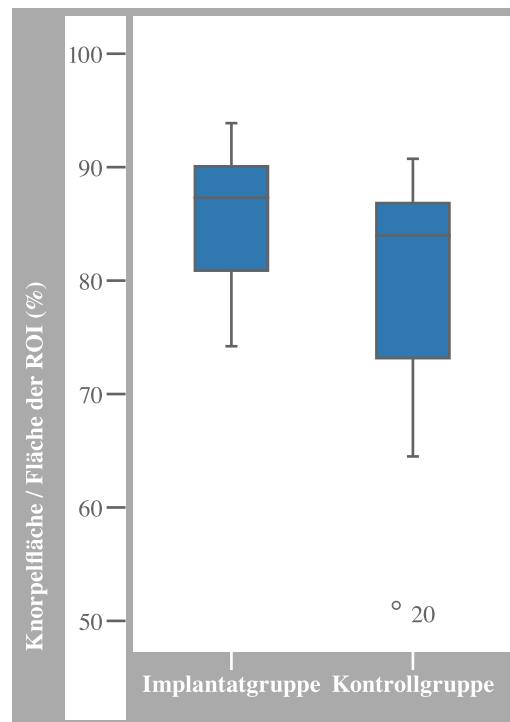


Abb. 58: Knorpelfläche/Gesamtfläche des Bandscheibenfaches (%)

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass an Hand der makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung der Bandscheibe, der angrenzenden Endplatten und der Facettengelenke des Bewegungssegmentes L3-L4 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Tieren nach alleiniger Nukleotomie und denen mit zusätzlicher dorsaler dynamischer Stabilisation erkennbar war. Sichtbar wurde, dass in beiden Gruppen nach 48 Wochen sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch ausschließlich Grad 2 und 3 der Bandscheibendegeneration zu finden waren. Geringe Veränderungen der angrenzenden Endplatten waren lediglich in vier Präparaten nach Ablauf eines Jahres zu finden. Davon zählten drei (33,3 %) zur Kontrollgruppe und eins (12,5 %) zur Implantatgruppe. Die Ausprägung der knöchernen Anbauten nahm in beiden Gruppen im zeitlichen Verlauf zu. In der Kontrollgruppe konnte tendenziell eine höhergradige Spondylophytenbildung beobachtet werden. Auch zum Zeitpunkt 48 Wochen wies keines der Wirbelbogengelenke, unabhängig von der Gruppe, Degenerationszeichen auf. Die sieben Präparate der Nativgruppe zeigten erwartungsgemäß in keiner der untersuchten Strukturen degenerative Veränderungen, d.h. alle wurden mit Grad 0 beurteilt.

Die histomorphometrische Analyse der Präparate ergab bezüglich aller berechneten strukturellen Parameter ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen der Implantat- und Kontrollgruppe. Der zusätzliche Einsatz des dynamischen Implantates hatte im Vergleich zur alleinigen Nukleotomie nach Ablauf beider Standzeiten keinen Einfluss auf die Knochendichte (%), Knochenfläche/ROI (%), Knorpelfläche/ROI (%), Trabekeldicke (μm), Trabekelseparation (μm), Trabekelverzweigung und die Trabekelanzahl (/mm). Verglichen mit den Daten der Nativpräparate kam es im unterschiedlichen Ausmaß zu Änderungen der Trabekelverzweigung und Trabekelzahl.

Eine tabellarische Übersicht der einzelnen Ergebnisse ist dem Anhang zu entnehmen.