

M. Csides¹, L. Taubenheim², E. Glockmann³

Intraligamentäre Anästhesie: Grenzen und Komplikationen

Complications and limitations of the intraligamentary anaesthesia



M. Csides

Einführung: Die intraligamentäre Anästhesie, vor rund 100 Jahren erstmals in Frankreich praktiziert und beschrieben, wird heute bei der Zahnextraktion empfohlen und als zusätzliche Injektion, wenn mittels Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior beziehungsweise der Terminalanästhesie kein ausreichender anästhetischer Effekt zu erzielen war [46].

Material und Methode: Die medizinisch-technische Entwicklung der letzten 30 Jahre hat dazu geführt, dass für die Injektion von Anästhetikum ins Ligamentum circulare via Sulcus gingivalis – zur Erreichung einer Einzelzahn-Anästhesie – Instrumentarien zur Verfügung stehen, mit denen der Widerstand des sehr dichten Desmodontalgewebes problemlos überwunden werden kann.

Ergebnisse / Schlussfolgerung: Die publizierten klinischen Erkenntnisse der letzten 10 Jahre bestätigen, dass die intraligamentäre Anästhesie (ILA) – lege artis angewandt – auch bei zahnhaltenden Therapien zu Ergebnissen führt, die denen der konventionellen Methoden der zahnärztlichen Lokalanästhesie, das heißt der Leitungs- und der Terminalanästhesie, vergleichbar sind und die ILA als eine primäre Methode der Schmerzausschaltung positioniert. (Dtsch Zahnärztl Z 2011, 66: 561–569)

Schlüsselwörter: Anästhesieerfolg, Bakteriämie, Dolor post extractionem, Drucknekrose, Elongation, Endokarditisrisiko, Injektionsschmerz, Injektionssysteme, Wundheilungsstörungen

Introduction: Practised and described first in France about 100 years ago, the intraligamentary anaesthesia today is recommended for teeth extractions and as a complementary injection in case the inferior alveolar nerve block, respectively, the infiltration anaesthesia did not lead to the wanted anaesthetic effect [46].

Material and method: Medico-technical progress over the last 30 years has led to the result that armamentaria are available enabling the injection of anaesthetic agents into the Ligamentum circulare via Sulcus gingivalis – to reach a single tooth anaesthesia – against the back-pressure of the dense desmodontal tissue without problems.

Results and Conclusion: The published clinical experience gained during the last 10 years has confirmed that the intraligamentary anaesthesia (ILA) – lege artis applied – even for teeth conserving therapies leads to results comparable to those of the conventional methods of local dental pain control, e. g. inferior alveolar nerve block and infiltration anaesthesia, and that the ILA is to be considered as a primary method of pain control.

Keywords: anaesthesia success, bacteraemia, dry socket, elongation, endocarditis risk, injection pain, injection systems, pressure necrosis, wound healing disorders

Intraligamental oder intraligamentär?

Es gibt einen im lateinischen Ursprung begründeten Unterschied zwischen „intraligamental“ und „intraligamentär“: Intraligamental beschreibt die Richtung, in die das Anästhetikum appliziert wird, und gegebenenfalls auch die Technik für diese Injektion; intraligamentär bezeichnet die Ausbreitung und die Wirkung der Anästhesie.

Bei der Injektionstechnik ist – sprachlich – intraligamental richtig, bei der Wirkung/ der Methode spricht man von intraligamentär, deshalb auch „intraligamentäre Anästhesie“. Eingeführt wurde der Begriff „intra-ligamentaire“ Anfang des 20. Jahrhunderts durch französische Zahnärzte (Granjeon, Chompret, Bourdain) [2, 7]. Im englischsprachigen Bereich spricht man von der „periodontal ligament injection“ und der „intraligamentary anesthesia“ (JADA 1983; 106: 222–224. Giovannitti und Nique) [21].

¹ Standortsanitätszentrum Burg, Zahnarztgruppe Burg

² WAK – Westdeutsche Akademie für Kommunikation, Köln

³ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde

Peer-reviewed article: eingereicht: 12.11.2010, revidierte Fassung akzeptiert: 07.02.2011

DOI 10.3238/dzz.2011.0561

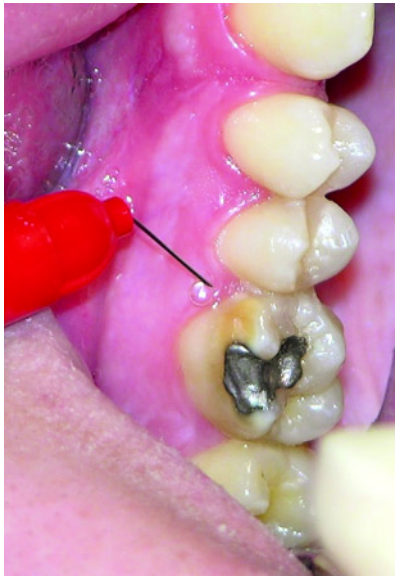


Abbildung 1 Zur Reduzierung des Empfindens des Einstiches empfiehlt es sich, unmittelbar vorher einen Tropfen Anästhetikum an der Injektionsstelle abzulegen.

Figure 1 Prior to the injection a drop of the anaesthetic to be applied should be placed close to the injection point, to reduce the sensation of the injection.

1 Einleitung

Bereits zu Beginn des 20sten Jahrhunderts wurde zur Schmerzausschaltung vor Extraktionen in Frankreich die Injektion von Anästhetikum ins Ligamentum circulare erstmals angewandt. *Chompret* berichtet im Jahre 1920 [7] über die „Anesthésie par injections intraligamenteuses“. 1925 schildert *Bourdain* [2] das Vorgehen von *Granjeon*, der bereits 1903 die Injektionsnadel entlang der Wurzel ins Ligament führte. Von Drs. *Van Houvenck* (Louvain) und *Polet* (Bruxelles) wird gleiches berichtet; sie injizierten distal oder mesial des zu behandelnden Zahns ins Ligament, um „das Dentin oder die Pulpa zu anästhesieren“. Dass sich diese Anästhesie-Methode bisher nicht als Standardmethode der zahnärztlichen Lokalanästhesie etablieren konnte, ist sicher auch auf das Fehlen gut geeigneter Injektionssysteme zurückzuführen. Heute stehen sehr unterschiedliche mechanische und elektronisch gesteuerte Injektionssysteme zur Verfügung. Gelehrt wird diese Lokalanästhesie-Methode nur sehr begrenzt und es stellt sich für jeden interessierten Anwender die Frage, wann und wo diese

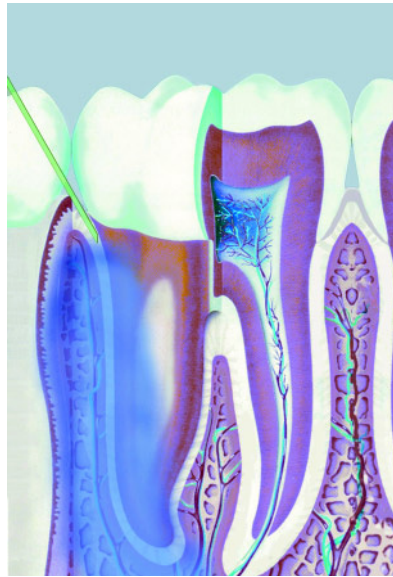


Abbildung 2 Die Ausbreitung des intraligamentär injizierten Anästhetikums erfolgt sowohl entlang der Zahnwurzel als auch intraossär.

Figure 2 The intraligamentally injected anaesthetic spreads as well along the root of the tooth as through the tissue surrounding it.

Methode der Schmerzausschaltung sinnvollerweise angewandt werden sollte.

2 Grenzen der ILA

Wegen der eng begrenzten Ausbreitung des injizierten Anästhetikums und der relativ kurzen Dauer der Analgesie kann die intraligamentäre Anästhesie (ILA) die Anforderungen für extensive chirurgische Eingriffe nicht erfüllen. Obwohl es möglich ist, den Ausbreitungsraum der Analgesie durch zusätzliche Injektionspunkte und die Erhöhung der Anzahl der intraligamentalen Injektionen zu vergrößern, sollte die ILA nicht für länger dauernde und ausgedehnte dentalalveoläre chirurgische Eingriffe gewählt werden [23, 26].

3 Komplikationen

In den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden von verschiedenen Herstellern Instrumentarien zur Injektion von Anästhetika ins Desmodont zur Erzielung intraligamentärer Anästhesien

auf den Markt gebracht. Die Perspektive einer wirkungsvollen Alternative zu den gelehrt und allgemein angewandten Methoden der zahnmedizinischen Lokalanästhesie animierte viele praktizierende Zahnärzte, diese Möglichkeit der Schmerzausschaltung ebenfalls auszuprobieren und auch verstärkt am Patienten anzuwenden – mit einem breiten Spektrum von Effekten. Im Auftrag der American Dental Association [21] wurden von *Giovannitti* und *Nique* (1983) die in der Literatur im Zusammenhang mit intraligamentalen Injektionen von einzelnen Autoren beschriebenen Komplikationen zusammengefasst. Die daraus resultierenden Fragen wurden in den Jahren ab 1983 systematisch evidenzbasiert beantwortet.

Histologische Effekte

Im Rahmen ihrer histologischen Studien kommen sowohl *Walton* und *Garnick* (1982) als auch *Fuhs* et al. (1983) und *Galili* et al. (1984) zu dem Ergebnis, dass intraligamentale Injektionen keinen histologischen Befund von Gewebe-Zerstörungen und keinen Beweis von irgendwelchen Gewebeschäden gleich auf welcher Ebene zeigten [17, 18, 55]. Sie kommen übereinstimmend zu dem Schluss, dass die intraligamentäre Zahnanästhesie sicher ist – mit minimalen, kurzzeitigen und reversiblen Entzündungen – und diese die Zahnheilkunde um eine zuverlässige Lokalanästhesie-Methode erweitert.

Die Auswirkungen der intraligamentalen Injektion auf das Pulpagewebe wurden von *Lin* et al. (1985) untersucht [36]. In den Pulpen der untersuchten Zähne wurden keine pathologischen Veränderungen wie hydropische Degeneration, ischämische Nekrosen oder Entzündungen beobachtet. Auch *Torabinejad* et al. (1993) konnten keine deletären Langzeiteffekte im Pulpengewebe nach intraligamentalen Injektionen feststellen [52].

Nekrosen

Bereits 1985 schreibt *Einwag* in seinem Basisartikel über die intraligamentäre Anästhesie, dass sowohl mechanische als auch cytotoxische Einflüsse zu Veränderungen der Gewebestruktur führen können. Weiter führt er aus, dass Nekrosen im Bereich der Einstichstelle Einzel-

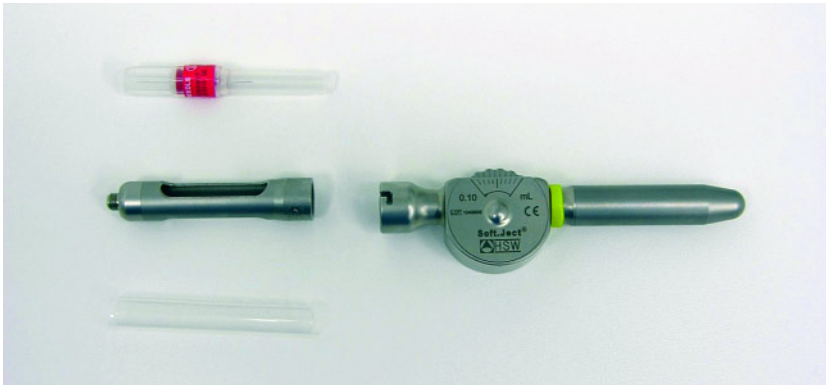


Abbildung 3 Dosierrad-Spritze SoftJect – ohne zwischengelagerte Hebel.

Figure 3 Dosing wheel syringe SoftJect – without integrated lever systems.



Abbildung 4 Dosierrad zum manuellen Aufbau des Injektionsdruckes.

Figure 4 Dosing wheel to build up the injection pressure.

fälle und im wesentlichen auf falsche Injektionstechnik (zu schnelles Infiltrieren, falsche Lage der Kanülenspitze) zurückzuführen sind [12].

Mit Applikationssystemen, die in den letzten 10 Jahren entwickelt und eingeführt wurden, ist – bei ausreichender Methoden-Beherrschung – nicht mehr mit Drucknekrosen zu rechnen. Den in der Literatur beschriebenen, histologisch – im Tierversuch – festgestellten Gewebstraumatisierungen [18, 40, 55] beim Eindringen der Kanüle ins Desmodont (Nadeltraume), sowie Abrisse der Desmodontalfasern von der Alveolenwand und Knochenumbaureaktionen galt die besondere Aufmerksamkeit von Zugal et al. (2005) in ihrer prospektiven Studie mit 205 dokumentierten Fällen (132 Patienten in 186 Sitzungen) [59]. Es wurden keine Gewebsveränderungen (Nekrosen) oder sonstige Auffälligkeiten (Druckschmerz) mitgeteilt, gemeldet oder diagnostiziert.

Wundheilungsstörungen

Im Vergleich mit der Leitungsanästhesie analysieren 1992 Tsirlis et al. die Häufigkeit des „Dry socket“ nach intraligamentärer Anästhesie [53]. Sie applizierten 2%iges Lidocain mit 1:80.000 Adrenalin – bei der ILA mit einer *Peri-press*-Pistolenspritze – und stellen fest, dass der Effekt der trockenen Alveole bei den dokumentierten 305 Fällen insgesamt elfmal eintrat und es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Methoden gab.

In einer evidenzbasierten Studie mit jeweils 110 Fällen vergleicht Heizmann die intraligamentäre mit der Leitungs- und der Infiltrationsanästhesie mit Blick auf Wundheilungsstörungen (Dolor post extractionem bzw. trockene Alveole), wobei er 4%ige Articainhydrochlorid-Lösung mit 1:200.000 Adrenalin appliziert und für die intraligamentalen Injektionen die Dosierhebelspritze *Citoject* verwendet [28]. Bei insgesamt 330 Fällen dokumentiert er 14 Fälle von Wundheilungsstörungen. Die von Heizmann und Gabka (1994) publizierten Ergebnisse der Studie zeigen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bei den drei verglichenen Lokalanästhesiemethoden. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Infektionen wahrscheinlich nicht durch die Injektion ausgelöst werden, sondern speziell durch die apikale Ostitis bei zerstörten Zähnen [29].

Bakteriämien

Zahlreiche zahnmedizinische Maßnahmen können eine Bakteriämie auslösen [31]. Von Interesse ist die Sepsis, die möglicherweise durch die Forcierung von Bakterien in das Gewebe und in die Blutbahn (Bakteriämie) durch die Injektionsnadel resultieren kann [54]. In ihrer klinischen Bewertung der periodontalen Ligament-Injektion präzisieren Walton und Abbott (1981), dass dies bei intraligamentalen Injektionen vermutlich der Fall ist, aber wahrscheinlich in keinem größeren Umfang als bei anderen zahnmedizinischen Behandlungen.

Die intraligamentale Injektion kann mit subgingivalem Scaling (Scaling und Root Planing) verglichen werden, was in einem kleinen Prozentsatz der Fälle zu Bakteriämien führt. Diese Bakteriämien waren transient [54].

Beim Gesunden mit funktionsfähiger Abwehr werden die Mikroorganismen durch Mikro- und Makrophagen innerhalb von Minuten eliminiert, sodass eine Vermehrung im Blut oder eine Absiedlung in Organen in der Regel auszuschließen ist. Anders ist die Situation bei eingeschränkter Infektionsabwehr, reduziertem Allgemeinzustand und Erkrankungen mit Infektionsgefährdung bei vorhandener Vorschädigung [1].

Besondere Vorsicht gilt bei Vorliegen einer Endokarditis, dem Status nach einer Endokarditis sowie von Erkrankungen oder Ersatz von Herzklappen, da in diesen Fällen eine Absiedlung von Bakterien aus dem Blut zu ernsthaften Komplikationen für den Patienten führen kann. Daher ist es selbstverständlich, unter strenger Beachtung der Anamnese, bei o. g. Erkrankungen, das mögliche Auftreten einer Bakteriämie als Risikofaktor in zahnärztlichen Behandlungsplänen und -abläufen zu berücksichtigen; insbesondere sind invasive Eingriffe und Manipulationen am Zahnfleischsulkus wie Zahnextraktionen, Zahnsteinentfernungen, Parodontal curettagen unter Antibiotikaschutz vorzunehmen [1, 35].

1987 veröffentlichten Rahn et al. die Ergebnisse einer Studie in der sie feststellten, dass die Häufigkeit der Bakteriämien nach intradesmodontaler



Abbildung 5 Elektronisch gesteuertes Injektionssystem STA (Single Tooth Anesthesia) für die intraligamentäre Anästhesie.

Figure 5 Electronically controlled injection system STA (Single Tooth Anesthesia) designed for the intraligamentary anaesthesia.

Anästhesie bei Anwendung großer Injektionskräfte signifikant anstieg [45]. Zur Herbeiführung einer ausreichenden Anästhetiefte ist zwar ein bestimmter Mindestdruck des Lokalanästhetikums erforderlich, eine Überschreitung dieses Drucks bzw. der entsprechenden Injektionskraft erzielt aber keine Verbesserung der Wirkung. Sie schreiben, dass die Zunahme der Bakteriämie-Häufigkeit bei größerer Injektionskraft die Forderung nach einem kraftbegrenzenden Mechanismus der Injektionsspritze sinnvoll erscheinen lässt. Sie verwendeten für die 50 dokumentierten Fälle eine *Ligmaject*-Pistolspritze.

Die wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) betrachtet detailliert alle relevanten Aspekte der Endokarditis-Prophylaxe. Bei Endokarditisrisiko besteht somit eine berechnete Einschränkung für die Anwendung der ILA, da auch ihre Durchführung zu vermehrtem Auftreten einer Bakteriämie führt [45]. In der DGZMK-Stellungnahme ist die Prophylaxe bei intraligamentalen Injektionen nicht betrachtet, weshalb für *Glockmann* und *Taubenheim* Endokarditisrisiko eine absolute Kontraindikation für die ILA darstellt [25, 26].

Für den gefährdeten Patientenkreis sollte neben dem indizierten Antibiotikaskchutz als weitere Vorsichtsmaßnahmen eine Verringerung der Keimzahl der Mundhöhle – unabhängig von der

Methode der Lokalanästhesie – selbstverständlich sein.

Heizmann und *Gabka* [29] haben während einer mehr als 10-jährigen breiten Anwendung der ILA in Klinik und Praxis keine Bakteriämie beobachtet, was auch von *Endo* et al. (2008) und von *Zugal* et al. (2005) bestätigt wird [13, 14, 59].

Injektionsschmerzen – Spritzenangst

Die Angst vor der „Spritze“ ist nicht nur ein bei Kindern und geistig Behinderten vorkommendes Phänomen, sie ist durchaus auch bei Erwachsenen zu finden. Diese „Spritzenangst“ kann sich zu einer manifesten Spritzenphobie steigern.

Der Einstichschmerz, die Erfahrungen – möglicherweise mit unvollständiger Anästhesie –, der Geruch des Anästhetikums und das Aussehen der Injektionsspritze selbst verbinden sich zu einer Aversion gegen die „Spritze“ – in diesem Fall als Synonym für Lokalanästhesie.

Bei einer lege artis durchgeführten intraligamentären Anästhesie treten praktisch kaum Injektionsschmerzen auf. Der von *Zugal* (2001) bei 205 durchgeführten intraligamentären Anästhesien in 27 Fällen notierte Injektionsschmerz wurde überproportional von Kindern berichtet [58].

Einwag (1982) erklärte bisher unkooperativen Kindern, dass nicht „in das Zahnfleisch eingestochen“, sondern „die Nadel nur in den Spalt zwischen Zahn und Zahnfleisch eingeschoben“ würde. Ein anschaulicher Vergleich: Ein Spalt wie zwischen Fingernagel und Fingerkuppe [11]. Von 31 bisher nichtkooperativen Kindern ließen sich 28 mit der neuen Technik (der ILA) injizieren. Nach den erfolgreichen Injektionen (Gesamtzahl 53) wurden 19 Extraktionen, 30 Kavitätenpräparationen und 4 endodontische Behandlungen durchgeführt. Von den Kindern, die sich erstmalig mit dieser Methode behandeln ließen, wurden fast alle erneut einbestellt; in keinem der Fälle kam es zu einer Behandlungsverweigerung.

Bei der intraligamentären Anästhesie ist es partiell möglich, die Spritzenangst des Patienten abzubauen:

– bei Verwendung zierlicher Spritzensysteme, z. B. in der Form eines Füllfeder-

halters oder des „Zauberstabes“ (*Wand*),

- durch gute Kanülenführung (Abstützung des Applikationsapparates) und Verwendung feiner Injektionsnadeln zur Vermeidung des Einstichschmerzes,
- eventuell durch zusätzliche Oberflächenanästhesie am Einstichort (Abb. 1).

Ein hohes Maß an Einflussmöglichkeit hat natürlich auch der Behandler selbst. Von seinem psychologischen Einfühlungsvermögen und manuellem Geschick hängt es ab, ob der Patient seine Befürchtungen bestätigt findet oder seine Angst als unbegründet abbaut.

Infolge der feinen Kanülen verursacht die intraligamentale Injektion nur sehr selten stärkere Einstichschmerzen. Das Phänomen der Spritzenangst des Patienten kann somit reduziert werden. Auch Injektionsapparate, die nicht aussehen wie Spritzen, sind zwar für die Vorstellung des Patienten vorteilhaft, aber sie bleiben bei überängstlichen Patienten dennoch Spritzen, geben *Heizmann* und *Gabka* (1994) zu bedenken [29].

Unerwünschte Effekte

Unerwünschte Effekte und Nebenwirkungen (Elongationsgefühl, Druckschmerz) – nach dem Abklingen der intraligamentären Anästhesie – werden in diversen Publikationen beschrieben [15, 22, 34, 38, 41]. Bei Vorkontakten, Diskomfort und Elongationsgefühl liegt die Ursache oft darin, dass die Injektion der Anästhesie-Lösung nicht unter ausreichender Berücksichtigung der individuellen anatomischen Verhältnisse des Patienten erfolgt.

Huber und *Wilhelm-Höft* (1988) haben in einer Studie gezeigt, dass Zähne in ihrer Alveole bewegt werden können. Während der Injektion wird ein Flüssigkeitsvolumen in einen Raum gepumpt, der bereits vollständig ausgefüllt ist [30]. Da Flüssigkeiten inkompressibel sind, kommen primär nur eine Dehnung des Alveolarfaches oder eine Verlagerung des parodontalen Flüssigkeitspolsters nach Art eines hydraulischen Druckausgleiches in Betracht (was von den zahnumgebenden Nervenendigungen registriert wird).

Um unerwünschte Effekte zu vermeiden, ist das Anästhetikum sehr lang-

Injektionssystem SoftJect®-Spritze 0,3 mm-Kanülen	Injektionszeit für 0,2 ml pro Injektion			
	10 s	15 s	20 s	25 s
Je 40 Messungen Maximaler Druck MPa Minimaler Druck MPa	0,23 0,06	0,19 0,06	0,18 0,06	0,24 0,03
Gemittelter Durchschnitt MPa <small>MPa = 1 N/qmm oder 0,1 bar</small>	0,1375	0,118	0,09925	0,08775

Quelle: Tobien und Schulz (2002), Zugal et al. (2005)

Tabelle 1 Druck-Messungen am Schweineunterkiefer an verschiedenen Zähnen.

Table 1 Pressure measurements on different teeth of a pig's mandible.

sam zu injizieren, um dem Gewebe Gelegenheit zu geben, die applizierte Lösung zu resorbieren. Mit zunehmender Injektionszeit nimmt der erforderliche Injektionsdruck zur Überwindung des Gewebswiderstands kontinuierlich ab (Tab. 1). Für die Injektion von circa 0,2 ml wird eine Injektionszeit von ~20 Sekunden empfohlen; bei einer 2. Wurzel desselben Zahns sollte die Injektionszeit etwas verlängert werden (> 20 Sekunden) und bei einer dritten Wurzel sollte sie ≥ 25 Sekunden betragen. Bei elektronisch gesteuerten Injektionssystemen erfolgt die Injektion noch langsamer, beim STA-System z. B. innerhalb 40 Sekunden (0,005 ml / Sekunde).

Anästhesieversager

In der Anfangsphase der klinischen Erprobung (Einwag 1985) war bei jeder zweiten intraligamentären Anästhesie ein Misserfolg zu verzeichnen. Wörtlich schreibt Einwag, dass diese hohe Zahl von Anästhesieversagern weitgehend auf Unterdosierung beruhte. Auch zu schnelle Injektion führt zu Anästhesieversagern [12]. Durch intraligamentale Zusatzapplikationen konnte der Anästhesieerfolg auf 90 % gesteigert werden.

Aktuelle Studien [9, 42, 56, 58] zeigen, dass der Anästhesieerfolg auch von den angewandten Instrumenten, den applizierten Anästhetika und der Methoden-Beherrschung abhängig ist. Zugal kommt auf einen intraligamentären Anästhesieerfolg von 97,5 %, Dirnbacher auf 98,0 %, Prothmann auf 99,3 %

und Weber auf 97,8 % beziehungsweise 94,1 % – vor angezeigten Caries profunda-Behandlungen bzw. Vitalexstirpationen.

Durch intraligamentale Zusatzinjektionen können auch partielle Versager der Leitungs- und der Infiltrationsanästhesie zu einem hohen Prozentsatz komplettiert werden. Eine zusätzliche intraligamentale Injektion führt vielfach zur Schmerzfreiheit [43, 54, 57].

Bei sicherer Methoden-Beherrschung ist die intraligamentäre Anästhesie bei allen Zähnen erfolgreich, sowohl im Frontzahn- als auch im Seitenzahnbereich – auch als Alternative zur Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior. Gegebenfalls muss bei stark entzündetem Gewebe mit mehr als 30 Sekunden Latenzzeit gerechnet werden, sie kann auf circa 60–90 Sekunden steigen [24, 57].

Anästhetika-Unverträglichkeit

In diversen Studien wurde die Behauptung von Brännström (1982) untersucht, ob der Zusatz von Vasokonstringenzen für die Anästhesiedauer der ILA von Bedeutung ist – oder ob man darauf verzichten kann [3, 20, 22, 29]. Gray et al. (1987) sind dieser Frage nachgegangen und kommen im Rahmen ihrer Vergleichsstudie (48 vs. 50 Fälle) zu dem Ergebnis, dass der Zusatz von Adrenalin zur Anästhetika-Lösung die Erfolgssicherheit der Analgesie mehr als verdoppelt: 91,6 % Erfolgsrate bei Verwendung von Lignocaine 2 % mit

Adrenalin 1:80.000 vs. 42,0 % Anästhesieerfolg bei Verwendung von Lignocaine 2 % ohne diesen vasokonstriktorisches Zusatz [27]. Heizmann und Gabka (1994) schreiben: Bei den Anaesthetika gibt es keine Einschränkungen; alle üblicherweise verwendeten Substanzen können uneingeschränkt eingesetzt werden. Infolge der geringen Dosierung können – selbst bei Risikopatienten – auch Lösungen verwendet werden, die einen relativ hohen Adrenalinzusatz haben [29].

4 Indikationen & Kontraindikationen

Im direkten klinischen Vergleich wurden bei der intraligamentären Anästhesie signifikant höhere Erfolgsraten als bei der Leitungs- und der Infiltrationsanästhesie bei allen nachstehend definierten Indikationen dokumentiert, für die die ILA als Lokalanästhesiemethode uneingeschränkt in Betracht kommt:

- Alle restaurativen Maßnahmen an allen Zähnen, einschließlich Kavitäten- und Kronenpräparationen [5, 6, 43, 58].
- Endodontische Behandlungen – auch bei Pulpitis apikalis angezeigt [24, 32, 46].
- Differenzialdiagnose unklarer irradiierender pulpitischer Beschwerden [37, 47, 59].
- Möglichkeit der Nachinjektion auch unter Kofferdam [9, 57].
- Einzelzahnextraktionen im Dauergebiss [2, 23, 28, 46].

Anästhesieprofil der intraligamentären Anästhesie	
Profil	Praktische Bedeutung
Enge Begrenzung des Anästhesiebereichs	Einzelzahnanästhesie – Behandlung in mehreren Quadranten in einer Sitzung möglich
Keine Latenz zwischen Injektion und Anästhesieeintritt	Unmittelbare Kontrolle des Anästhesieerfolgs – ununterbrochene Behandlungsfolge
Ausgeprägte Anästhesietiefe	Uneingeschränkt ausreichend für alle Einzelzahn-Indikationen; für alle Zähne
Hoher Anästhesieerfolg	Sehr geringe Versagerrate – sehr wenig Nachinjektion erforderlich
Keine Patientenbeeinträchtigung	Artikulation, Mastikation sind nicht eingeschränkt
Kurze Anästhesiedauer	~30 Minuten – problemlose Verlängerung durch Nachinjektionen
Keine Taubheit in Wangen, Lippen und Zunge	Kein Risiko ungewollter, postoperativer Verletzungen: Bissverletzungen, Verbrennungen
Kein Risiko von Nervläsionen	Keine Aufklärungspflicht – weder über Risiken noch über Alternativen (wie z. B. bei der Leitungsanästhesie)

Tabelle 2 Das Anästhesieprofil der ILA unterscheidet sich signifikant von denen der Leitungs- und der Infiltrationsanästhesie.

Table 2 The anaesthesia profil of the ILA differs significantly from those of the inferior alveolar nerve block and the infiltration anaesthesia.

(Abb. 1-5, Tab. 1 u. 2: M. Csides, L. Taubenheim)

– Komplettierung partieller Anästhesieversager anderer Anästhesiemethoden; ein partielles Versagen der Leitungsanästhesie kann oft durch intraligamentale Nachinjektionen kompensiert werden [6, 38, 42, 54, 56].

– Bei einer apikalen Parodontitis führt eine zusätzliche intraligamentale Injektion vielfach zur Schmerzfreiheit [46].

Als Kontraindikationen für intraligamentale Injektionen sind zu betrachten [25, 26]:

– Erkrankungen des Endokards, der Herzklappen und deren künstlicher Ersatz, wegen einer möglichen Bakteriämie (s. Komplikationen – Bakteriämien).

– Profunde marginale Entzündung der Parodontiums.

Zu überdenken ist die intraligamentale Injektion im Milchgebiss, wenn sich in der unmittelbaren Umgebung des Milchzahns die nicht mineralisierte Anlage eines bleibenden Zahns befindet [4].

Patienten (cave)

Bei der Betrachtung der für die intraligamentäre Anästhesie in Betracht kommenden Patienten gibt es nur für endokarditisgefährdete Patienten eine Einschränkung. Hier gilt besonde-

re Vorsicht, da die Absiedlung von Bakterien aus dem Blut (Bakteriämien) bei diesen Patienten zu ernsthaften Komplikationen führen kann. Bei diesen Patienten sind invasive Eingriffe unter Antibiotikaschutz vorzunehmen [16].

Diese Vorsichtsmaßnahme ist nicht nur bei einer ILA, sondern auch bei anderen Manipulationen am Zahnfleischsulkus, z. B. Zahnsteinentfernungen, einzuhalten. *Glockmann* und *Taubenheim* definieren, dass das Risiko einer Endokarditis eine absolute Kontraindikation für die intraligamentäre Anästhesie ist [25, 26].

Patientenkategorien

Grundsätzlich ist die intraligamentäre Anästhesie für alle Patientenkategorien anwendbar:

Die intraligamentale Injektion bei jungen, gesunden Patienten (m/w) mit festem Desmodont [6, 9, 39, 56] wird mittels sensibler Instrumentarien erleichtert. Bei parodontal vorgeschädigten Patienten muss der aufzubauende Injektionsdruck vom Behandler auf die anatomischen Verhältnisse des Patienten gut abgestimmt werden [39, 42, 44]. Für Risikopatienten mit kardiovaskulären Erkrankungen ist, wegen der nur ge-

ringen erforderlichen Anästhetikamengen [20], die ILA die Anästhesiemethode der Wahl. Dies gilt auch für Patienten mit hämorrhagischer Diathese und unter Antikoagulanzen-Behandlung. Andere Lokalanästhesie-Methoden sind bei dieser Patientengruppe kontraindiziert [46, 48, 49].

Bei Hochrisikopatienten nach Herzinfarkten, mit kardialen Bypassen und anderen koronaren Erkrankungen [13, 14, 20, 29] wird die ILA empfohlen, da sie zuverlässig, einfach und ohne Nebenwirkungen ist.

Bei der Behandlung von Kindern und Behinderten [8, 11, 58], treten infolge der feinen Kanülenstiche praktisch keine Schmerzempfindungen auf, speziell wenn vor der Insertion der Kanüle ein Tropfen Anästhetikum an der Injektionsstelle [25, 26] abgelegt wird (Oberflächenanästhesie). Die Gefahr postoperativer Bissverletzungen ist deutlich reduziert, da keine Taubheit in Wangen und im Zungen- und Lippenbereich nachzuweisen ist [8, 11, 29].

Bei Patienten mit „Spritzenangst“ kann durch den Einsatz „freundlicher“ Instrumente wie der Dosierrad-Spritze *Softject* oder dem „Zauberstab“ (*The Wand*) die Furcht vor der Spritze abgebaut werden [29, 58].

Einzige Einschränkung aus medizinischer Sicht ist die Möglichkeit einer Hypoplasie verursacht durch intraligamentale Injektionen im Milchgebiss; die Ursachen sind ungeklärt [4].

5 Applikation

Um eine ausreichende Analgesie zu erreichen, müssen pro Zahnwurzel etwa 0,2 ml Anästhetikum appliziert werden; Anästhesieversager beruhen weitgehend auf Unterdosierungen [12].

Das unter Druck ins Ligament injizierte Anästhetikum breitet sich entlang der Zahnwurzel und intraossär aus und erreicht in etwa 30 Sekunden – praktisch ohne Latenz – das Foramen apikale (Abb. 2). Auf diese Weise werden sowohl die Pulpa als auch die zahnumgebenden Nervenendigungen desensibilisiert [19, 40, 50]. Bei entzündetem Gewebe (veränderter pH-Wert) kann sich der Eintritt der Anästhesie leicht verzögern (60–90 Sekunden) [26, 56, 57].

Damit das Anästhetikum problemlos ins Desmodont diffundieren kann, muss es sehr langsam – den anatomischen Verhältnissen des Patienten angepasst – injiziert werden [25, 26, 42, 57, 59]. Die Injektionszeit beträgt:

- bei der ersten Wurzel etwa 20 Sekunden,
- bei der zweiten Wurzel desselben Zahns > 20 Sekunden und
- bei einer dritten Wurzel desselben Zahns \geq 25 Sekunden.

Dadurch wird dem zahnumgebenden Gewebe Gelegenheit gegeben, das injizierte Anästhetikum zu resorbieren und es wird vermieden, dass es zu einer Deptbildung kommt.

Bei einer kürzeren Injektionszeit ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass es zu einer – wenn auch minimalen – Bewegung des Zahnes in der Alveole kommt [30]. Durch die bewusst langsame Injektion wird vermieden, dass unerwünschte Effekte nach Ende der Anästhesie generiert werden (Druckschmerz, Elongationsgefühl).

Diese angepasst langsame Injektion ins Ligament beugt gleichfalls druckbedingten Gewebsveränderungen (Nekrosen) vor, die ggf. iatrogen sind [39, 43, 59]. Dies ist besonders bei Patienten mit eingeschränktem Parodontalstatus zu beachten, da parodontal vorgeschädigtes Gewebe weniger

dicht als gesundes Parodontalgewebe ist, sodass das Anästhetikum gegen geringeren Widerstand in das Gewebe gedrückt wird. Bei mehrwurzeligen Zähnen ist deshalb die Injektionszeit tatsächlich zu verlängern auf > 20 Sekunden bei der 2. Wurzel und ggf. bei einer 3. Wurzel auf \geq 25 Sekunden [42, 57, 59].

Im Gegensatz zur Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior besteht bei der ILA kein Risiko von Gefäßkontakten und Nervläsionen, z. B. des N. lingualis. Eine Aufklärung zu Risiken und Alternativen kann deshalb bei der intraligamentären Anästhesie minimiert werden [33, 51].

Da sich das Anästhetikum intraossär ausbreitet, werden durch eine Injektion in der Regel zwei Zahnwurzeln desensibilisiert, z. B. bei einer Injektion des Zahnes 46 distal auch die Zahnwurzel des Zahns 47 (mesial).

Das Profil der intraligamentären Anästhesie (Tab. 2) ergibt sich aus der Summe der beschriebenen Applikationsaspekte.

6 Materialien für die intraligamentäre Anästhesie

Prinzipiell können intraligamentale Injektionen mit allen Spritzensystemen für dentale Lokalanästhesien durchgeführt werden [54]. Um den erforderlichen Injektionsdruck leichter und durch den Behandler kontrolliert aufbauen zu können, wurden von unterschiedlichen Herstellern seit Ende der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts Spritzensysteme in Verkehr gebracht, bei denen die vom Behandler für die intraligamentale Injektion aufzubauende Kraft durch integrierte Hebelsysteme verstärkt wurde, die unter dem Dachbegriff „Pistolenspritzen“ zusammengefasst wurden. Allerdings bewertete bereits 1983 die ADA (American Dental Association) diese Spritzen als nur bedingt geeignet für periodontale Ligament-Injektionen [21], da der Behandler dabei nur sehr begrenzt die Möglichkeit hat, die individuellen anatomischen Gegebenheiten des Patienten zu spüren und seinen Injektionsdruck entsprechend anzupassen.

Ohne ein integriertes mechanisches Hebelsystem wird die erforderliche Injektionskraft bei den sogenannten Dosi-

errad-Spritzen verstärkt (Abb. 3). Bei diesem Injektionssystem erfolgt der Druckaufbau über ein Dosierrad und gibt dem Behandler bei der Injektion die Möglichkeit, den Gegendruck des Gewebes direkt in seinem Daumen (oder Zeigefinger) zu spüren [58]. Die auf das Dosierrad ausgeübte Kraft wird – infolge des Größenverhältnisses des Radantriebs – im Verhältnis 5,5:1 verstärkt und direkt auf die Zahn-Kolbenstange übertragen.

Um ungewünschte Effekte zu vermeiden, darf die zu applizierende Lokalanästhetikum-Menge nicht schneller injiziert werden, als sie vom Gewebe resorbiert werden kann. Entsprechend muss der Injektionsdruck angepasst werden, was nur über die Injektionszeit gut gesteuert werden kann. In direktem Gewebkontakt wurde von *Tobien* und *Schulz* (2000) der Gewebswiderstand bei der intraligamentalen Injektion – am frischen Schweinekiefer – gemessen (Tab. 1). Sie verwendeten zur Injektion Dosierad-Spritzen vom Typ *Softject*, mit denen der Gewebswiderstand „gefühl“ werden konnte. Bei einer Injektionszeit von 20 Sekunden für die Injektion von 0,2 ml war der gemessene (zu überwindende) Gewebswiderstand und entsprechend der erforderliche Injektionsdruck etwa 0,1 MPa.

Die noch heute in der Praxis angewandten Hochdruckzylinderampullenspritzen [46] haben eine Druckbegrenzung von 90 oder alternativ von 120 N(ewton). Umgerechnet auf die Fläche, auf die der Druck ausgeübt wird, d. h. der Innendurchmesser einer 0,3-mm-Kanüle, bedeutet dies einen Injektionsdruck von 2,4 beziehungsweise 3,2 Mega-Pascal (MPa).

Beim Vergleich der beiden Werte – Dosieradspitze: Injektionsdruck für 0,2 ml in 20 s = etwa 0,1 MPa
– Hochdruckzylinderampullenspritze mit Druckbegrenzung 90 N = etwa 2,4 MPa

ist leicht zu erkennen, dass der mögliche Injektionsspielraum bis zu 90 N – bei der Lokalanästhesie vor zahnerhaltenden Therapien – keinesfalls ausgenutzt werden sollte, da durch den maximal möglichen Injektionsdruck verursachte unerwünschte Effekte dann iatrogen bedingt sind. Wegen der Gefahr der Schädigung der Desmodontalfasern empfehlen *Schwenzer* und *Ehrenfeld* (2000) die intraligamentäre Anästhesie (mit der Hochdruckzylinder-

ampullenspritze, z. B. *Ultraject*) nur bei der Zahnextraktion [46].

Dosierhebelspritzen, z. B. vom Typ *Citoject* oder *Paroject*, gestatten es dem Behandler gleichfalls nur bedingt, den bei der intraligamentalen Injektion zu überwindenden Gewebswiderstand genau zu erspüren. Auch bei diesen Spritzensystemen erfolgt die Verstärkung der vom Behandler aufgebrauchten Injektionskraft durch ein integriertes, mehrstufiges Hebelsystem, das einen Kontakt zur oralen Anatomie seines Patienten nur indirekt ermöglicht. Eine Anpassung des aufgebauten eigenen Injektionsdrucks an die individuellen anatomischen Gegebenheiten des Patienten ist mit diesen Spritzensystemen nur mit Einschränkung möglich. Die applizierte Menge pro Hub ist zwar mit 0,06 ml relativ gering, aber auch bei diesem Injektionssystem ist der behandelnde Zahnarzt in der Lage, den Gegendruck des Gewebes (back-pressure) durch eigenen Injektionsdruck leicht zu überwinden, ein Depot zu bilden und dadurch möglicherweise den Zahn in der Alveole zu bewegen, was zu den bekannten Effekten Elongationsgefühl und/oder Druckschmerz nach Abklingen der Anästhesie führt, oder sogar das Gewebe zu schädigen (Drucknekrosen) [30]. In seltenen Fällen kann es sogar zu Ampullenbrüchen kommen [16].

Das Dosierrad (Abb. 4) der Dosieradspritzen ohne zwischengelagerte Hebel gestattet es dem Behandler, den zu

überwindenden Gewebswiderstand direkt in seinem Daumen (oder Zeigefinger) zu spüren und den von ihm aufzubauenden Injektionsdruck den individuellen anatomischen Verhältnissen des Patienten gut anzupassen. Durch Zurückdrehen des Dosierrades kann der Injektionsdruck wieder abgebaut werden.

Die in der Literatur der 80er und 90er Jahre des letzten Jahrhunderts beschriebenen „unwanted effects“ sind wahrscheinlich auf heute als obsolet zu betrachtende Spritzensysteme zurückzuführen und damit iatrogen und nicht methodenimmanent.

Auch elektronisch gesteuerte Injektionssysteme wie das *STA*-System (Abb. 5) ermöglichen eine sehr kontrollierte Überwindung des interstitiellen Gewebswiderstands. Das Anästhetikum wird bei diesem Injektionssystem mit einer Geschwindigkeit von 0,005 ml pro Sekunde injiziert; die für eine Zahnwurzel erforderliche Anästhetikamenge von 0,2 ml wird entsprechend in 40 Sekunden – also sehr, sehr langsam – appliziert.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die intraligamentäre Anästhesie – lege artis angewandt – ist den konventionellen Methoden der Lokalanästhesie bei fast allen zahnmedizinischen Indikatio-

nen und Patientengruppen mindestens vergleichbar. Die Grenzen dieser anwenderfreundlichen und patientenschonenden Methode der Schmerzausschaltung liegen im chirurgischen Bereich, wo die ILA für länger dauernde und ausgedehnte dentoalveoläre chirurgische Eingriffe die Anforderungen nicht erfüllen kann. Für alle anderen Anwendungen sollte sie als Basismethode der Lokalanästhesie in Betracht gezogen werden.

Sowohl mechanische Pistolenspritzen mit Druckbegrenzung als auch Dosierhebel- und Dosieradspritzen sind zur Durchführung einer erfolgreichen intraligamentären Lokalanästhesie des Einzelzahns geeignet. Elektronisch gesteuerte Injektionssysteme offerieren dem behandelnden Zahnarzt eine moderne Injektionstechnik. Der Anwender der ILA sollte die Vorzüge und Grenzen der verschiedenen Injektionssysteme selbst erproben und abwägen. DZZ

Interessenkonflikte: Die Autorin/der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Lothar Taubenheim
 Am Thielehof 24
 40699 Erkrath
 E-Mail: LT.Lothar.Taubenheim@T-Online.de

Literatur

- Aderhold L, Leilich G: Allgemeine Operationslehre. In: Frenkel G, Aderhold L, Lambrecht T, Leilich G, Raetzke P (Hrsg.): Die ambulante Chirurgie des Zahnarztes. Carl Hanser Verlag, München – Wien 1997
- Bourdin Ch-L: L'Anesthésie par l'injection intra-ligamentaire pour l'extraction des dents. Thèse de Doctorat, Editions de la Semaine Dentaire, Paris 1925
- Brännström M, Nordenvall K-J, Hedström KG: Periodontal tissue changes after intraligamentary anesthesia. *ASDC J Dent Child* 49, 417–423 (1982)
- Brännström M, Lindskog S, Nordenvall K-J: Enamel hypoplasia in permanent teeth induced by periodontal ligament anesthesia in primary teeth. *JADA* 109, 735–736 (1984)
- Csides M: Die intraligamentäre Anästhesie als primäre Methode der zahnärztlichen Lokalanästhesie unter besonderer Betrachtung der angewandten Injektionssysteme und der damit generierten Effekte beim Patienten. Diss, Jena 2009
- Csides M, Taubenheim L, Glockmann E: Intraligamentäre Anästhesie – Systembedingte Nebenwirkungen. *ZWR* 118, 158–166 (2009)
- Chompert L: Anesthésie par injections intraligamenteuses. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 6, 309–312 (1920)
- Davidson L, Craig S: The use of the periodontal ligament injection in children. *J Dent* 15, 204–208 (1987)
- Dirnbacher T: ILA vs. Leitungs- und Infiltrationsanästhesie in der Praxis. Diss, Jena (2002)
- Dirnbacher T, Weber M: Dispositionsfähigkeit der Truppe nach zahnärztlicher Lokalanästhesie. *Wehrmed u Wehrpharm* 2, 82–84 und 4, 20–26 (2006)
- Einwag J: Die intraligamentäre Anästhesie im Kindes- und Jugendalter. *Dtsch Zahnärztl Z* 37, 874–876 (1982)
- Einwag J: Die intraligamentäre Anästhesie. *Zahnärztl Mitt* 7, 693–696 (1985)
- Endo T, Gabka J, Taubenheim L: Intraligamentary anesthesia: Benefits and limitations. *Quintessence International* 1, 15–26 (2008)
- Endo T, Gabka J, Taubenheim L: Intraligamentäre Anästhesie; Nutzen und Grenzen. *Quintessenz* 6, 643–653 (2008)
- Faulkner RK: The high-pressure periodontal ligament injection. *Br Dent J* 154, 103–105 (1983)
- Frenkel G: Möglichkeiten und Grenzen der intraligamentären Anästhesie. In: Zahnärztliche Lokalanästhesie heute. Zwei Jahrzehnte Articain. *Aktuelles*

- Wissen Hoechst 65–71 (1989)
17. Fuhs QM, Walker WA, Gough RW, Schindler WG, Hartman KS: The periodontal ligament injection: Histological effects on the periodontium in dogs. *J Endod* 9, 411–415 (1983)
 18. Galili D, Kaufman E, Garfunkel AA, Michaeli Y: Intraligamentary anesthesia – a histological study. *Int J Oral Surg* 13, 511–516 (1984)
 19. Garfunkel AA, Kaufman E, Marmary Y, Galili D: Intraligamentary – intraosseous anaesthesia. A radiographic demonstration. *Int J Oral Surg* 12, 334–339 (1983)
 20. Garfunkel AA, Kaufman E, Galili D: Intraligamentary anesthesia (transligamentary anesthesia) for health compromised patients. *Gerodontics* 1, 63–64 (1985)
 21. Giovannitti JA, Nique TA: Status report: the periodontal ligament injection. *J Am Dent Assoc* 106, 222–224 (1983)
 22. Glockmann E, Glockmann I, Kulick R: Intraligamentäre Anästhesie. Aspekte der regionalen Schmerzausschaltung in der Zahnheilkunde. *Aktuelles Wissen Hoechst* 43–53 (1997)
 23. Glockmann E, Dirnbacher T, Taubenheim L: Die intraligamentäre Anästhesie – Alternative zur konventionellen Lokalanästhesie? *Quintessenz* 56, 207–216 (2005)
 24. Glockmann E, Weber M, Taubenheim L: Schmerzausschaltung vor Vitallexstirpation. *Endodontie* 16, 197–204 (2007)
 25. Glockmann E, Taubenheim L: Die intraligamentäre Anästhesie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 2002
 26. Glockmann E, Taubenheim L: Minimalinvasive Schmerzausschaltung – Intraligamentäre Anästhesie. Zahnärztlicher Fach-Verlag, Herne 2010
 27. Gray RJM, Lomax AM, Rood JP: Periodontal ligament injection: with or without a vasoconstrictor? *Br Dent J* 162, 263–265 (1987)
 28. Heizmann R: Die intraligamentäre zahnärztliche Lokalanästhesie im Vergleich zu den üblichen Anästhesieformen bei der Zahnextraktion (unter besonderer Berücksichtigung ihrer Verträglichkeit, der trockenen Alveole und dem dolor post extractionem). Diss, Freie Universität Berlin 1987
 29. Heizmann R, Gabka J: Nutzen und Grenzen der intraligamentären Anaesthesia. *Zahnärztl Mitt* 84, 46–50 (1994)
 30. Huber HP, Wilhelm-Höft C: Auswirkungen der intraligamentären Anästhesie auf die Zahnbeweglichkeit. *Dtsch Zahnärztl Z* 43, 313–316 (1988)
 31. Husen, van N, Horn A, Wagner H: Krankheiten des Herzens. In: Wagner H, Husen, van N (Hrsg.): *Innere Medizin für Zahnmediziner*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 1997, S. 1–24
 32. Husson R, Caux Y, Maquin M: L'anesthésie intraligamentaire. *Rev Fr Endod* 4, 29–36 (1985)
 33. Kaltenbach M, Glockmann E, Taubenheim L: Zahnarzthaftung: Thematisierung der Risiken und Alternativen der Leitungsanästhesie. *Zahnärztebl R-Pf* 9, 68–70 (2006)
 34. Kaufman E, Galili D, Garfunkel AA: Intraligamentary anesthesia: A clinical study. *J Prosth Dent* 49, 337–339 (1983)
 35. Knirsch W, Adam M, Vogel, Lange PE, Finke Ch: So erkennen und schützen Sie Ihren Endokarditis-Risikopatienten. *Zahnärztl Mitt* 89, 46–51 (1999)
 36. Lin L, Lapeyrolerie M, Skribner J, Shovlin F: Periodontal ligament injection: effects on pulp tissue. *J Endod* 11, 529–534 (1985)
 37. Littner MM, Tamse A, Kaffe I: A new technique of selective anesthesia diagnosing acute pulpitis in the mandible. *J Endodon* 9, 116–119 (1983)
 38. Malamed SF: The periodontal ligament (PDL) injection: An alternative to inferior alveolar nerve block. *Oral Surgery* 53, 117–121 (1982)
 39. Marshall M: Die intraligamentäre Anästhesie mit dem Soft.Ject zur Ermittlung der Praxistauglichkeit. Diss, München 2001
 40. Plagmann HC, Jagenow U: Tierexperimentelle Studie zur Reaktion der desmodontalen Gewebe auf intraligamentäre Injektion. *Dtsch Zahnärztl Z* 39, 677–682 (1984)
 41. Plagmann HC: Möglichkeiten und Grenzen der intraligamentären Anästhesie (ILA). *Quintessenz (Ref. 7021)* 38, 1711–1721 (1987)
 42. Prothmann M: Die intraligamentäre Anästhesie vs. Leitungs- und Infiltrationsanästhesie unter besonderer Betrachtung des Aspekts der Generierung von druckbedingten Schäden am Parodontium durch intraligamentäre Injektionen bei parodontal vorgeschädigten Patienten. Diss, Aachen 2008
 43. Prothmann M, Taubenheim L, Rossaint R: Alternativen zu Leitungs- und Infiltrationsanästhesie. *ZWR* 119, 398–405 (2010)
 44. Prothmann M, Claußnetzer N, Taubenheim L, Rossaint R: Systematische Behandlung von Parodontopathien unter intraligamentärer Anästhesie. *Parodontologie* 20, 139–148 (2009)
 45. Rahn R, Frenkel G, Atamni F, Shah PM, Schäfer V: Bakteriämie nach intradesmodontaler Anästhesie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 97, 859–863 (1987)
 46. Schwenzer N, Ehrenfeld M: *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde – Band 3: Zahnärztliche Chirurgie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 2000
 47. Simon DE, Jacobs TL, Senia ES, Walker WA: Intraligamentary anesthesia: Aid in endodontic diagnosis. *Oral Surgery* 54, 77–78 (1982)
 48. Stoll P, Bührmann K: Die intraligamentäre Anästhesie bei der Zahnextraktion von Patienten mit hämorrhagischer Diathese. *Zahnärztl Welt/Reform* 92, 54–55 (1983)
 49. Stoll P, Krekeler G, Bührmann K: Lokale Schmerzausschaltung bei hämorrhagischer Diathese. *Dtsch Zahnärztl Z* 41, 405–407 (1986)
 50. Tagger M, Tagger E, Sarnat H: Periodontal ligament injection – spread of the solution in the dog. *J Endod* 20, 283–287 (1994)
 51. Taubenheim L, Glockmann E: Zahnmedizinische Konsequenzen der Rechtsprechung zur Haftung des Zahnarztes bei Nervschädigung durch Leitungsanästhesie. *MedR* 6, 323–330 (2006)
 52. Torabinejad M, Peters DL, Peckham N, Rentschler LR, Richardson J: Electron microscopic changes in human pulps after intraligamentär injection. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 76, 219–224 (1993)
 53. Tsirlis AT, Iakovidis DP, Parissis NA: Dry socket: Frequency of occurrence after intraligamentary anesthesia. *Quintessenz Int* 23, 575–577 (1992)
 54. Walton RE, Abbott BJ: Periodontal ligament injection: a clinical evaluation. *J Am Dent Assoc* 103, 571–575 (1981)
 55. Walton RE, Garnick JJ: The periodontal ligament injection: histologic effects on the periodontium in monkeys. *Endod* 8, 22–26 (1982)
 56. Weber M: Reduzierung der unerwünschten Nebeneffekte bei der zahnärztlichen Lokalanästhesie unter besonderer Berücksichtigung der Erfordernisse für endodontische Maßnahmen. Diss, Jena 2005
 57. Weber M, Taubenheim L, Glockmann E: Schmerzausschaltung vor indizierten endodontischen Behandlungen. *ZWR* 10, 421–433 (2006)
 58. Zugal W: Die intraligamentäre Anästhesie in der zahnärztlichen Praxis. *ZM* 6, 46–52 (2001)
 59. Zugal W, Taubenheim L, Schulz D: Triade des Anästhesie-Erfolgs: Instrumente – Anästhetika – Methoden-Beherrschung. *Z Stomatol* 102, 9–14 (2005)