

Martin Legat¹

Bildwandler-assistierte lumbale transforaminale, epidurale und periradikuläre Injektion

Fluoroscopic guided lumbar transforaminal epidural injection

Zusammenfassung:

Definition: Die lumbale transforaminale Injektion von Steroiden ist als Intervention definiert, welche Steroide direkt an das sogenannte Dorsal Root Ganglion bringt.

Historisch gesehen wurden im letzten Jahrhundert von 1950 an bis Ende der 90er Jahre die interlaminaire und kaudale Injektion epidural bevorzugt. Erst um die Jahrhundertwende kam die transforaminale Injektion auf. Die Grundlagenmedizin zeigt eine strenge Evidenz für inflammatorische Prozesse um die Nervenwurzeln, ausgelöst z.B. durch eine Diskushernie. Die transforaminale Injektion bietet hier eine gute Möglichkeit, Steroide einzubringen und damit zu einer Abschwellung und Reduktion der sensibilisierenden Entzündung zu führen.

Die Indikation für die transforaminale Injektion besteht im Wesentlichen beim Versagen von konservativen Maßnahmen bei typischen radikulären Schmerzen. Außer den üblichen Komplikationen sind bei der transforaminalen Injektion speziell Komplikationen eines epiduralen Abszesses, epiduralen Hämatoms und einer Punktion des Duralsacks zu erwähnen. Bei sorgfältiger Desinfektion und Punktionstechnik können diese jedoch vermieden werden. Die Punktion findet unter Bildwandlersteuerung statt. Dabei wird in einem, dem betreffenden Segment orthograd angepassten, leicht lateralen Strahlengang die Nadel über dem jeweiligen Spinalnerv direkt unter dem Pedikel in den vorderen Periduralraum gebracht und dort das Medikament nach Kontrastmittelgabe appliziert.

Die Effektivität konnte in mehreren RCT- Studien nachgewiesen werden. Hervorzuheben sind hier die Studien von Riew, Vad und Karpainen [1, 2, 3] sowie ein Review [4] von 15 RCT- Studien. Insbesondere für den radikulären Schmerz, ausgelöst durch eine Diskushernie, konnte eine gute Wirksamkeit in der Kombination von Lokalanästhetika und Steroiden für eine kurze und lange Zeitdauer beschrieben werden.

Schlüsselwörter: transforaminal, epidural, Nervenwurzel, Diskushernie

Zitierweise

Legat M: Bildwandler-assistierte lumbale transforaminale, epidurale und periradikuläre Injektion.

OUP 2016; 4: 196–200 DOI 10.3238/oup.2016.0196–0200

Summary:

The lumbar transforaminal injection is a procedure designed to deliver an aliquot of steroid into the immediate vicinity of the Dorsal Root Ganglion. The caudal and the interlaminar routes remained the standard of practice for the last 40 years. At the close of the 20th century the transforaminal route became more and more the common practice.

There is a strong, circumstantial evidence from laboratory experiments, that inflammatory processes may play a major role in the genesis of symptoms when lumbar nerve roots are affected by disc herniations. So the indication for transforaminal injections is lumbar radicular pain in patients whose pain is likely to have an inflammatory basis and for whom non-surgical interventions don't work. There are 2 approaches: the subpedicular one and the retroneural one. Both are fluoroscopic guided.

The efficacy was shown in a review of 15 RCT- studies. In summary, the evidence is good for radiculitis secondary to disc herniation with local anesthetics and steroids and fair with local anesthetic only for a short-term and long-term relief.

Keywords: transforaminal, epidural, nerv root, disc hernia

Citation

Bildwandler-assistierte lumbale transforaminale, epidurale und periradikuläre Injektion

OUP 2016; 4: 196–200 DOI 10.3238/oup.2016.0196–0200

¹ Schmerzzentrum Zofingen, Schweiz

Einleitung und Definition

Die lumbale transforaminale Injektion von Steroiden ist eine Intervention, um eine gewisse Menge an Steroid, kombiniert mit Lokalanästhetikum, an das sog. Dorsal Root Ganglion im Neuroforamen zu bringen. Im Folgenden bezieht sich der Artikel auf die therapeutische Injektion transforaminal, die diagnostische Injektion wird zum Abschluss kurz beschrieben.

Transforaminale Injektionen von Steroiden wurden bereits über die letzten 60 Jahre zur Therapie der Ischialgie angewandt. Die erste epidurale Injektion wurde 1952 durch das posteriore Sacralforamen von S1 durchgeführt. Zwischen 1950 und den frühen 60er Jahren war dieses Vorgehen der Standard in Europa. In Großbritannien und den USA wurde allerdings eher die kaudale und interlaminäre Technik verwendet, welche später auch im übrigen Europa und Skandinavien üblich war. Erst in den späten 90er Jahren ging man zunehmend zur transforaminalen Technik über. Dies hatte unterschiedliche Gründe. Zum einen zeigten systematische Reviews, dass bei der üblichen Zugangstechnik die Effektivität nicht annähernd so groß war wie in unkontrollierten Studien behauptet wurde. Zum anderen wurden zunehmend Bildwandler-gesteuerte Injektionen verwendet, welche das Spektrum erweiterten. Außerdem wurden vermehrt Nervenwurzelinjektionen durchgeführt um einen radikulären Schmerz zu diagnostizieren. Zusätzlich wurde vermutet, dass epidurale Steroidinjektionen effektiver wären, wenn sie idealerweise an der Pathologie durchgeführt würden.

Die transforaminalen Injektionen wurden zunehmend als Alternative für die bislang konventionellen epiduralen Injektionen anerkannt. Unterstützt wurde dies durch die Ergebnisse in mehreren RCT-Studien [1, 2, 3, 4].

Grundlagenmedizinische Überlegungen

Es gibt eine strenge Evidenz für eine laborexperimentelle Evaluation der inflammatorischen Prozesse an der Nervenwurzel. Da Steroide hier die Inflammation unterdrücken, ist eine Intervention logisch. Der transforaminale Zugang bietet die Möglichkeit, die notwendige Medikation in der maximalen Kon-

zentration direkt an den Ort der Pathologie zu bringen [5, 6].

Evidenz für die Effektivität

Hier wurden in den letzten 15 Jahren unterschiedliche Studien angefertigt. Am beachtenswertesten ist die Studie von Riew et al. [1]. Er konnte mit einer Wahrscheinlichkeit $p > 0,004$ nachweisen, dass mittels der transforaminalen Injektion mit Steroiden 70 % der Patienten nicht operiert werden mussten, während es ohne diese Behandlung bzw. nur mit Lokalanästhetika durchgeführt, nur 35 % waren.

Vad et al. [2] zeigten das Outcome einer Patientengruppe mit transforaminalen Injektionen von Kortikosteroiden, verglichen mit einer Gruppe mit paraspinaler Injektion von Kochsalzlösung. In einem 12-monatigen Follow-up konnten sie nachweisen, dass 84 % der mit Steroid behandelnden Patienten mehr als 50 % Schmerzreduktion zeigten, bei der Patientengruppe mit der paraspinalen Injektion waren es lediglich 48 %. Ghahreman et al. [7] veröffentlichten 2010 eine Studie, in welcher sie ausführten, dass im Langzeiteffekt von 12 Monaten die transforaminale Injektion von Steroiden und Lokalanästhetika einer Placebogruppe mit i.m. Injektionen um 50 % überlegen war. 2013 wurden von Manchicanti et al. [8] im Rahmen von Guidelines zu interventionellen Techniken an der Wirbelsäule ein Review über 15 RCT-Studien betreffend die transforaminale Injektion veröffentlicht. Dieser kam zu dem Gesamtergebnis, dass die Evidenz gut ist für die Behandlung des radikulären Schmerzes bei Bandscheibenprolaps, mit Lokalanästhetika und Steroiden, mittelmäßig für die Behandlung nur mit Lokalanästhetika. Betreffend die Spinalstenose ergaben sich mittelmäßige Ergebnisse für Lokalanästhetika und Steroide. Für das Post-Surgery-Syndrom wurde sowohl mit der Kombination von Lokalanästhetika und Steroiden als auch mit Lokalanästhetika alleine ein mittelmäßiger Effekt gezeigt. Sämtliche Effekte waren im sogenannten Short- und Long-term Relief erreichbar.

Komplikationen

Die üblichen Komplikationen bei der transforaminalen Injektion, wenn auch

selten, beziehen sich auf eine Nervenverletzung, eine Gefäßverletzung, eine intravaskuläre Injektion und die Infektion. Es bestehen an der LWS einzelne Case Reports mit intravaskulären Injektionen von Steroiden, welche höchstwahrscheinlich für eine Spinal-cord-Läsion mit Paraplegie verantwortlich sind [9, 10].

Indikationen für die transforaminale Injektion

1. Ein radikulärer Schmerz wird anamnestisch, klinisch und eventuell auch elektrophysiologisch nachgewiesen. Dabei muss attestiert werden, dass die Elektrophysiologie teilweise hier keinen Nachweis erbringen kann.
2. Patienten, die auf eine bereits im Vorfeld stattgefundene konservative Behandlung mit dementsprechender Medikation, physikalischen Maßnahmen und Physiotherapie nicht angesprochen haben.

Kontraindikationen

Absolute Kontraindikationen:

1. Der Patient kann oder will nicht in die Intervention einwilligen.
2. Es besteht eine anaphylaktische Reaktion auf Kontrastmittel in der Vorgeschichte.
3. Ein nicht behandelter lokaler Infekt im Bereich der Intervention ist vorhanden.
4. Koagulopathie.
5. Der Patient kann nicht unter der Maßnahme kooperieren.

Relative Kontraindikationen:

1. Medikamentenallergie
2. Schwangerschaft
3. Antikoagulantien
4. Systemische Infektion
5. Massive kardiovaskuläre oder respiratorische Einschränkungen
6. Immunsuppression.

Benötigtes Equipment

Eine Fluoroskopie mit C-Arm ist erforderlich, optimal ist die Ausrüstung mit einer zusätzlichen digitalen Subtraktionsangiografie. Die notwendige Notfallausrüstung zur Reanimation sowie das notwendige Monitoring mit Blutdruck-

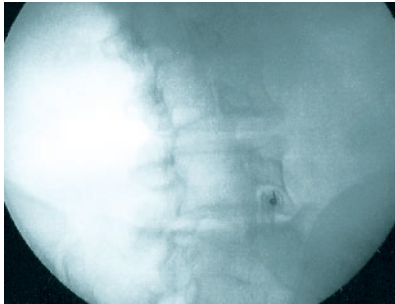


Abbildung 1 Subpedikuläre Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im leichten Oblique-View beim Erreichen des Zielpunkts (Wirbelkörperhinterkante)

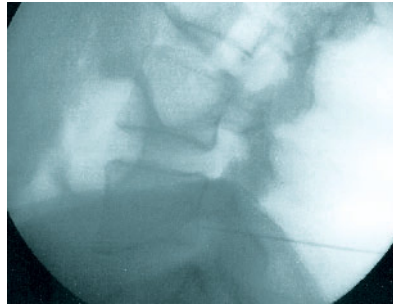


Abbildung 2 Subpedikuläre Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im Lateral-View beim Erreichen des Zielpunkts (Wirbelkörperhinterkante)

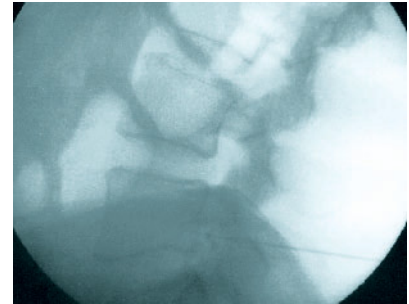


Abbildung 3 Subpedikuläre Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im Lateral-View beim Erreichen des Zielpunkts (Wirbelkörperhinterkante), nach Gabe des Kontrastmittels mit Enhancement am Dorsal Root Ganglion

überwachung, Pulsoxymetrie sowie EKG sind selbstverständlich.

Materialien

Nadeln:

- Es bieten sich Nadeln mit einer kleinen Gauge an (23G bis 26G), welche optimalerweise mit einem Mandrain ausgerüstet sein sollten, Länge 80–120 mm.
- Hautdesinfektionsmittel, ohne Jod
- Sterile Handschuhe
- Mindestens 2 Spritzen mit 2 bzw. 5 ml.
- Verbindungsröhrchen, um eine immobile Lage der Nadel zu gewährleisten.
- Venöse Verweilkanüle.
- Physiologisches Monitoring mit Blutdruckmessung, EKG und Pulsoxymetrie.

Injektionsmedikamente

Lokalanästhetika

- Bupivacain, 0,25–0,5 %
- Ropivacain, 0,2–0,75 %
- Lidocain, 1–2 %

Steroide wasserlöslich

- Betamethason, 6–18 mg
- Triamcinolon, 20–80 mg
- Dexamethason, 8 mg

Dokumentation präinterventionell

Erhebung der Ausgangsdaten:

1. Schmerzdokumentation mittels NRS (Numerous Rating Scale)
2. Dokumentation der Funktionen des täglichen Lebens (ADL), welche durch den Schmerz beeinträchtigt sind.

Patientenaufklärung

Der Patient muss verstehen, warum die Intervention durchgeführt wird und was sowohl die potenziellen Risiken als auch das Benefit sind.

Dabei muss er über Infektion, allergische Reaktion, Hämatom, unveränderte Schmerzsymptomatik oder Schmerzzunahme, Punktion des Dural-sacks mit spinalem Kopfschmerz und Arachnoiditis sowie eine Verletzung des Rückenmarkes aufgeklärt werden. Außerdem sollte der Patient über eine eventuelle kurzfristig auftretende Schwäche oder Gefühlosigkeit in den unteren Extremitäten informiert werden. Alternative Therapien müssen erörtert werden.

Prämedikation

Diese ist notwendig, falls eine i.v.-Sedation erfolgen soll. Ebenso sollte der Patient bei bekannter Allergie auf Kontrastmittel mit H1- oder H2-Blockern vorbehandelt werden.

Lagerung

Die Lagerung des Patienten erfolgt in Bauchlage.

Interventionstechniken

Es werden in der internationalen Literatur 2 verschiedene Varianten der Intervention beschrieben. Die historisch ältere Technik beschreibt einen sogenannten subpedikulären Zugang. Als 2. Tech-

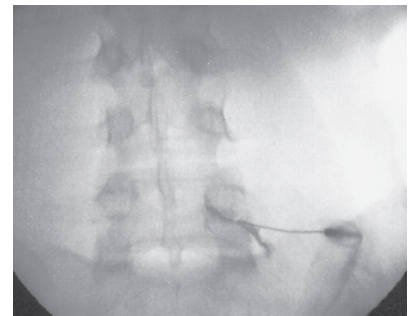


Abbildung 4 Subpedikuläre Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im p.a.-View beim Erreichen des Zielpunkts (Wirbelkörperhinterkante), nach Gabe des Kontrastmittels mit Enhancement auf der Nervenwurzel

nik ist eine retroneurale Lage der Nadelspitze möglich. Diese Variante wurde entwickelt, da es häufig bei frischen Diskushernien zu einer Verlagerung der Zielnerven nach kranial kommt. Bei einem subpedikulären Approach kann hier der Nerv verletzt werden. Außerdem kann mit dem retroneuralen Approach sicher die Injektion in die Arteria radicularis vermieden werden.

Der Vorteil des subpedikulären Zugangs liegt darin, dass der Zielpunkt sicher mit der Hinterkante des betreffenden Wirbelkörpers identifiziert werden kann. In den meisten vorab geschilderten RCT-Studien wurde diese Technik benutzt. Der Nachteil dieser Technik ist die Möglichkeit der intraarteriellen Injektion.

Beim retroneuralen Zugang wird insbesondere die Arteria radicularis anterior vermieden. Der Nachteil dieser Technik ist, dass es eine höhere Erfahrung erfordert, die Nadelspitze korrekt zu platzieren. Dabei darf die Nadelspitze

ze, um eine Nervenverletzung zu vermeiden, nicht zu weit nach ventral ins Neuroforamen vordringen. Andererseits muss das Neuroforamen, hier insbesondere die vorhandene Fascia cribriformis, erreicht werden, um einen Effekt zu erzielen. Ein weiterer Nachteil ist, dass es für den retroneuralen Zugang keine Evidenz gibt.

Subpedikuläre Technik

Zunächst sollte eine p.a.-Fluoroskopie der lumbalen LWS erfolgen. Dabei werden im betreffenden Segment die jeweiligen Deck- und Grundplatten orthograd eingestellt. In dieser Einstellung liegt der optimale Zielpunkt am unteren Pol des kreisrunden Pedikelabblids in 6-Uhr-Position. Der Zielpunkt liegt damit im sog. oberen sicheren Dreieck, welches an der Spitze durch den Pedikel, seitlich durch eine sagittal-tangentiale Linie der äußeren Wirbelkörperkante sowie als Basis durch den Nerv selbst geformt wird. Normalerweise wird der Zielpunkt vom oberen Facettengelenkfortsatz des unteren Segments überdeckt, sodass eine leicht oblique Einstellung mit 10–15° obligat ist. Dadurch verlagert sich der Zielpunkt für linksseitige Nervenwurzeln auf circa 7 Uhr, für rechtsseitige Nervenwurzeln auf 5 Uhr.

Der Punktionspunkt für die Nadel liegt leicht unterhalb und lateral des Zielpunkts. Die Nadel wird nach der Hautinsertion ca. 1 cm weitergeführt, danach erfolgt der erste Check mittels Fluoroskopie. Im sogenannten Target-View wird dann die Nadel Schritt für Schritt unter regelmäßiger Durchleuchtung (0,5-cm-Schritte) weiter fortgeführt. Während dem Vorschieben der Nadel sollte nie das sichere Dreieck verlassen werden. Sollte der Patient einen einschließenden Schmerz, insbesondere in das Areal des betreffenden Spinalnerven schildern, so muss die Nadel ca. 0,5 cm zurückgezogen werden. Die Nadellage sollte dann leicht nach kranial oder nach lateral verändert werden. Beim weiteren Vorschieben direkt unter den Pedikel ohne Schmerzangaben des Patienten ist der Zielpunkt gut erreichbar (Abb. 1). Ist dies nicht möglich, so muss die Nadelspitze retroneural zum Liegen kommen.

Hat die Nadelspitze den Zielpunkt erreicht, so wird der Lateral-View eingestellt. Ist die Nadel richtig platziert, so

berührt sie die Wirbelkörperhinterkante (Abb. 2).

Ist der Zielpunkt sicher erreicht, so werden circa 0,2–0,5 ml Kontrastmittel injiziert. Besteht der Verdacht schon in der normalen Durchleuchtung, besser unter digitaler Subtraktionsangiografie (DAS), dass eine Radikulararterie punktiert wurde, so muss die Intervention abgebrochen werden. Die Intervention wird dann zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt. Das gleiche Prozedere gilt bei einer Punktion des Duralsacks. Zeigt sich eine intravenöse Injektion, sollte die Nadel leicht zurückgezogen werden. Eine erneute Kontrastmittelgabe erfolgt, bei normalem Befund kann der Eingriff fortgesetzt werden.

Eine optimale Darstellung durch das Kontrastmittel zeigt einmal den sogenannten „safe triangle“ (sicheres Dreieck) und ein Enhancement auf der Nervenwurzel (Abb. 3 und 4).

Ist zuviel Kontrastmittel in der Peripherie bzw. lateral vorhanden, so sollte die Nadel auf eine mehr mediale Position korrigiert werden. Sind das safe Triangle und der Zielnerv bis in Höhe der vorab durch Klinik und Bildgebung diagnostizierten Pathologie mit Kontrastmittel ausgefüllt, so wird das verbrauchte Volumen notiert. Das Therapeutikum, Steroid und Lokalanästhetikum oder Lokalanästhetikum alleine, wird dann mit dem gleichen Volumenanteil injiziert. Danach wird die Nadel komplett entfernt.

Retroneuraler Zugang

Die Einstellung des Bildwändlers erfolgt identisch zum subpedikulären Zugang.

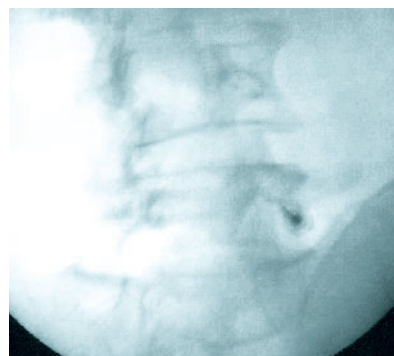


Abbildung 5 Retroneurale Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im p.a.-View beim Erreichen des Zielpunkts (dorsales Neuroforamen)

Auch der Zielpunkt ist der Gleiche. Der Autor bevorzugt dann einen Oblique-View zum Target von 15°. Die Hautinsertion der Nadel erfolgt über dem gewählten Target. Die Insertionsrichtung ist zunächst auf die laterale Lamina gerichtet. Sobald diese berührt wird (knöcherner Kontakt), wird die Nadel dezent zurückgezogen und nach lateral leichtgradig korrigiert. Die Lamina wird passiert (Abb. 5), in diesem Moment wird auf den Lateral-View geschwenkt. Damit kann eine zu tiefe Insertion und Nervenverletzung vermieden werden. Im Lateral-View erfolgt dann ein weiteres Vorschieben der Nadel, bis die Lamina leichtgradig überschritten ist (Abb. 6).

In dieser Position erfolgt die Injektion von Kontrastmittel unter Realtime-Durchleuchtung. Bei versehentlicher Punktion einer Arterie, des Duralsacks oder einer Vene wird genauso vorgegangen wie bei der subpedikulären Technik. Sind diese artifiziellen Punktionen ausgeschlossen, wird weiter Kontrastmittel injiziert bis der Spinalnerv und das Dorsal Root Ganglion gut gekennzeichnet sind (Abb. 7, 8).

Das Gesamtvolumen des Kontrastmittels wird notiert und nun das therapeutische Medium (üblicherweise Lokalanästhetikum und Steroid) mit dem gleichen Volumenanteil injiziert.

Postinterventionelle Beobachtung und Instruktion

Nach Anlage eines sterilen Pflasterverbands wird der Patient weitere 30 Minuten unter oben genannten Monitoring beobachtet. Abhängig vom Wirkeintritt des Lokalanästhetikums werden zum betreffenden Zeitpunkt dann Funktionstests emp-

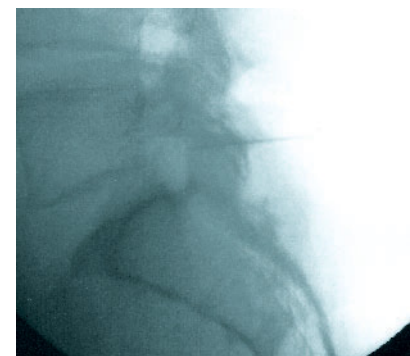


Abbildung 6 Retroneurale Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im Lateral-View beim Erreichen des Zielpunkts (dorsales Neuroforamen)



Abbildung 7 Retroneurale Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im Lateral-View beim Erreichen des Zielpunkts (dorsales Neuroforamen), nach Gabe des Kontrastmittels mit Enhancement auf der Nervenwurzel

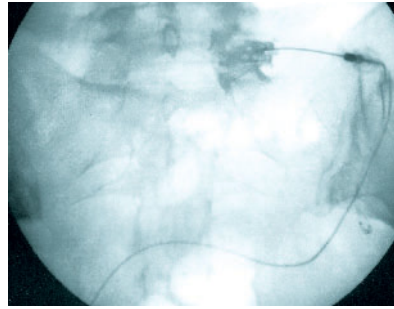


Abbildung 8 Retroneurale Nadellage Nervenwurzel L5 rechts im a.p.-View beim Erreichen des Zielpunkts (dorsales Neuroforamen), nach Gabe des Kontrastmittels mit Enhancement auf der Nervenwurzel

fohlen, welche vorher den Schmerz auslösten. Damit kann ein adäquates Assessment eingeleitet werden. Ist der Patient klinisch unauffällig, kann er für die Entlassung vorbereitet werden. Bei Entlassung wird der Patient folgendermaßen instruiert:

- Für 24 Stunden postinterventionell soll er kein Fahrzeug oder eine Maschine führen.
- Er führt ein sogenanntes Diagnostikblatt mit Dokumentation des Schmerzreliefs, 30 Minuten bis 24 Stunden postinterventionell, einmalig wurde bereits präinterventionell der Schmerz dokumentiert.
- Der Patient wird zusätzlich dazu angehalten, die präinterventionell vorhandenen funktionellen Defizite nun postinterventionell mit dem jeweiligen Zugewinn zu dokumentieren.

- Bei Auftreten unüblicher Symptome wie Kopfschmerzen, Fieber, Krämpfe, zunehmende Schmerzen oder Lähmungserscheinungen soll der Patient sofort den durchführenden Arzt kontaktieren.

Performance Parameter

Die Intervention sollte nur eine Hautpunktion erfordern. Eine Korrektur der Nadelrichtung sollte höchstens 8-mal erfolgen, die Durchleuchtungszeit sollte 30 Sekunden nicht überschreiten.

Zusammenfassung

Als positiver Effekt wird ein mindestens 50%-iges Schmerzrelief gewertet. Bei

Wiederauftreten der Schmerzsymptomatik kann innerhalb von 7 Tagen eine zweite Injektion erfolgen. In der internationalen Literatur wird beschrieben, dass im Schnitt 2–4 Injektionen innerhalb von 6 Monaten nötig sind, um ein gutes Schmerzrelief zu erreichen [8].

Oben genannte Techniken gelten sowohl für therapeutische als auch diagnostische Injektionen. Bei Letzteren wird hauptsächlich die subpedikuläre Technik favorisiert, da ein exakteres Ergebnis zu erzielen ist.

Bei einer diagnostischen Intervention wird sehr viel weniger Kontrastmittel gebraucht, ca. 0,2 ml, um nur ein geringgradiges Enhancement am Nerv zu erhalten. Es wird dann die gleiche Menge Lokalanästhetikum appliziert; ein Spreading und damit eine Anästhesie anderer Nervenwurzeln wird damit vermieden. Der Verlauf wird identisch zur therapeutischen Injektion postinterventionell dokumentiert. OUP

Interessenkonflikt: Keine angegeben

Korrespondenzadresse

Dr. med. Martin Legat
Facharzt für Orthopädie und
Unfallchirurgie
Interventionelle Schmerztherapie
(SSIPM)
Hintere Hauptgasse 9
CH – 4800 Zofingen
martin.legat@schmerzzentrum.ch

Literatur

1. Riew KD, Yin Y, Gilula L et al.: The effect of nerve-root injections on the need for operative treatment of lumbar radicular pain. A prospective, randomized, controlled, double-blind study. *J Bone Joint Surg Am* 2000; 82-A: 1589–1593
2. Vad VB, Bhat AL, Lutz GE, Cammisia F: Transforaminal epidural steroid injections in lumbosacral radiculopathy: A prospective randomized study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002; 27: 11–16
3. Karppinen J, Malmivaara A, Kurunlahti M et al.: Periradicular infiltration for sciatica: A randomized controlled trial. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001; 26: 1059–1067
4. Kim HJ, Park JH, Shin KM et al.: The efficacy of transforaminal epidural steroid injection by the conventional technique in far-lateral herniation of lumbar disc. *Pain Physician* 2012; 15: 415–420
5. Olmarker K: Mechanical and biochemical injury of spinal nerve roots: an experimental perspective. In: Weinstein JN, Gordon SL. *Low Back Pain: A Scientific and Clinical Overview*. Rosemont, Illinois: American Academy of Orthopaedic Surgeons., 1996, 215–233
6. Yoshizawa H, Nakai S, Koboyashi S, Morita T, Shizu N: Intraradicular edema formation as a basic factor in lumbar radiculopathy. In: Weinstein JN, Gordon SL. *Low Back Pain: A Scientific and Clinical Overview*. Rosemont, Illinois: American Academy of Orthopaedic Surgeons., 1996 235–246
7. Ghahreman A, Ferch R, Bogduk N: The efficacy of transforaminal injection of steroids for the treatment of lumbar radicular pain. *Pain Med* 2010; 11: 1149–1168
8. Manchikanti L, Singh V, Derby R et al.: Review of occupational medicine practice guidelines for interventional pain management and potential implications. *Pain Physician* 2008; 11: 271–289
9. Botwin KP, Gruber RD, Bouchlas CG, Torres-Ramos FM, Freeman TL, Slaten WK: Complications of fluoroscopically guided transforaminal lumbar epidural injections. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81:1045–1050
10. Houten JK, Errico TJ: Paraplegia after lumbosacral nerve root block: Report of three cases. *Spine J* 2002; 2: 70–75