

## 6.4 Neurodestruktive Verfahren (Thermo-, Kryo-, Radiofrequenzläsionen)

V. Tronnier

### Roter Faden

#### Radiofrequenzläsionen

##### Thermoläsionen

##### Gepulste Radiofrequenz

#### Kryoläsionen

#### Neurolytische Verfahren

#### Offene chirurgische Verfahren

##### Dorsal Root Entry Zone (DREZ)

#### Radiochirurgie

Für neurodestruktive Eingriffe gibt es heute nur noch wenige, ganz gezielte Indikationen. Dies liegt zum einen daran, dass die meisten Schmerzen weniger oder nicht invasiv therapiert werden können, und zum anderen, dass nach heutiger Kenntnis, Läsionen am peripheren oder zentralen Nervensystem selbst Schmerzen generieren oder unterhalten können. Die Wirkung des elektrischen Stromes zur Stimulation und Modulation zentraler schmerzleitender und verarbeitender Prozesse hat die läsionellen Verfahren, wo Strom zur Erhitzung und Denaturierung neuraler Strukturen benutzt wurde, weitgehend abgelöst. Bestimmte neurochirurgische Verfahren wie die Rhizotomie oder Thalamotomie gelten heute als obsolet. Chordotomien, in den 1960er-Jahren der häufigste schmerzchirurgische Eingriff, werden nur noch in wenigen Zentren bei ganz ausgewählten Indikationen durchgeführt.

Die sog. DREZ-Läsion wird nur noch bei therapieresistenten Schmerzen durch Plexusausriß oder eine Strahlenplexopathie eingesetzt.

### Radiofrequenzläsionen

#### Thermoläsionen

Thermische Wirkungen hochfrequenter Ströme (300KHz-2 MHz) werden bereits seit langem zur Koagulation oder zum Schneiden mit Hilfe monopolarer Messer oder bipolärer Pinzetten in chirurgischen Disziplinen genutzt. Perkutane Schmerzeingriffe erfordern eine exakte Kontrolle der Koagulationswirkung in einer umschriebenen Lokalisation und Ausdehnung. Verkohlungen oder Verschorfungen durch zu rasche oder starke Erhitzung führen häufig zu inkompletten Läsionen.

**Hinweis für die Praxis:** Am sichersten lässt sich der Koagulationsvorgang über eine Steuerung der Temperatur kontrollieren. Die Größe der erzielten Läsion hängt von der Sondengröße und der Koagulationszeit ab. Entscheidend ist auch die Geschwindigkeit der Erwärmung. Hier werden optimale Temperaturgradienten von  $6^{\circ}\text{C}/\text{s}$  von den Herstellern angegeben.

Entscheidend ist bei der Nutzung monopolarer Sonden die Platzierung der Neutralelektrode, da die Ausdehnung des Stromes hierdurch beeinflusst wird (Abb. 6.27).

### Thermische Denervierung der Facettengelenke (Facettenrhizotomie)

Eine mögliche Ursache chronischer Rückenschmerzen mit oder ohne pseudoradikuläre Ausstrahlung können die Facetten der kleinen Wirbelgelenke sein. Die Gelenke werden über die Rr. dorsales mediales von jeweils 2 benachbarten Segmenten innerviert (Abb. 6.28).

**Klinik.** Es gibt klinisch oder anamnestisch kein eindeutiges Zeichen für die Facettengelenke als Ursache der Beschwerden. Hinweise sind eine erschwerte Reklination bei intakter Inklination und lokale Muskelschmerzen über den Gelenken.

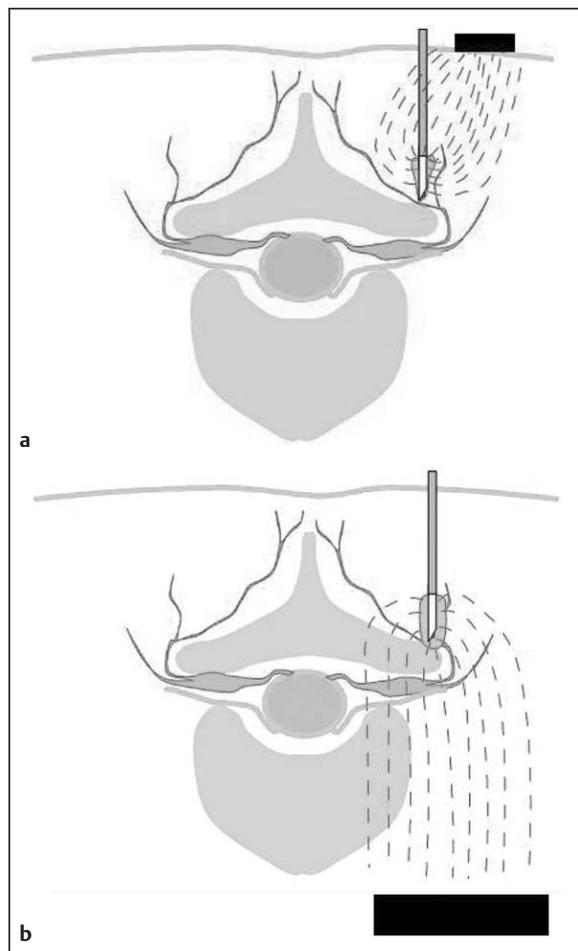
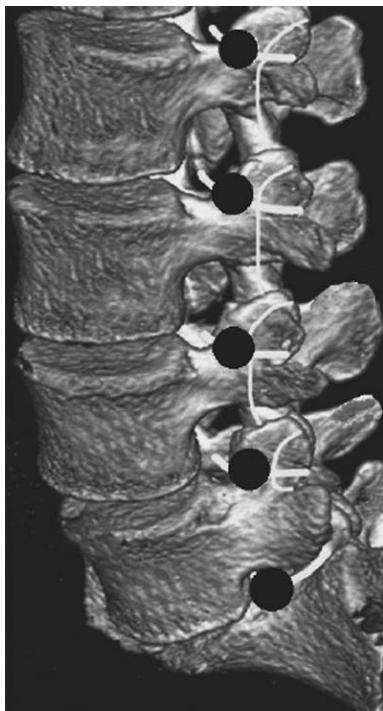


Abb. 6.27a u. b Platzierung der Erdungselektrode (Quelle: inomed Medizintechnik GmbH, mit freundlicher Genehmigung).

a Dorsale Platzierung bei monopolarer Thermoläsion. Durch die unzureichende Verteilung des elektrischen Feldes werden nicht alle nervalen Strukturen erreicht.

b Ventrale Platzierung. Das elektrische Feld erreicht alle afferten Nerven und führt zu einer kompletten Läsion der die Gelenke versorgenden nervalen Strukturen.



**Abb. 6.28**  
3D-CT-Rekonstruktion einer Wirbelsäule mit Zielpunkt für die Thermo- oder Kryoläsion.

**Vorgehen.** Der Eingriff wird in örtlicher Betäubung, evtl. mit leichter i.v. Sedierung, in Bauchlage durchgeführt. Unter anterior-posteriorer Durchleuchtung wird je nach zu lädierendem Gelenk die Sonde in Höhe des oberen medialen Aspekts des Processus transversus in Verbindung zur lateralen Wand des Processus articularis superior platziert. Für eine Denervierung des Facettengelenks LWK4/5 muss eine Läsion in Höhe von LWK4 und LWK5 erfolgen, um die doppelte Innervation des Gelenks zu unterbrechen. Die Denervation des Gelenks LWK5/SWK1 wird erreicht über eine Läsion des R. medialis aus L5 in Höhe der Ala sacralis und des Processus articularis superior sowie eine Läsion kranial des Foramens S1, wo häufig 2 Äste zum letzten Gelenk aufsteigen.

Zunächst wird eine niederfrequente (2–5 Hz) motorische Stimulation durchgeführt, um die Nähe zum Spinalnerv auszuschließen, danach erfolgt eine hochfrequente Stimulation (50–100 Hz), um den Schmerz zu provozieren. Die Läsion selbst ist schmerhaft, sodass zusätzlich ein Analgetikum oder ein Sedativum gegeben werden sollte. Die Läsion selbst sollte über 90 s bei 75° pro Gelenk ausgeführt werden.

**Wertigkeit der Methode.** Nach der Entwicklung der Methode durch Rees (1971) und den Modifikationen von Shealy 1975 und Bogduk (Bogduk u. Long 1980) wurde eine Fülle von Fallkontrollserien publiziert, die untereinander nicht vergleichbar sind, weil unterschiedliche Einschlusskriterien bestanden, unterschiedliche Techniken benutzt und mögliche Plazeboeffekte nicht berücksichtigt wurden. In 2 aktuellen Übersichtsarbeiten (Geurts et al. 2001; Niemisto et al. 2003) wurden jedoch 3 randomisierte Studien identifiziert, von denen 2 einen klinisch moderaten, aber überlegenen Effekt gegenüber Plazebobehandlung nachwiesen (Gallagher et al. 1994; van Kleef et al. 1999), eine Studie zeigte keinen Unterschied (Leclaire et al. 2001). Eine Studie mit jeweils 40 bzw. 41 randomisierten Patienten konnte ebenfalls keinen Unterschied feststellen (van Wijk et al. 2005). In einer aktuellen Studie konnte mit einer gezielten Patientenselektion (3 getrennte positive Facettenblockaden) und einer modifizierten Technik nach 6 Monaten ein statistisch signifikant überlegener Effekt der Verumgruppe gegenüber der Plazebogruppe in unterschiedlichen Outcome-Kriterien erzielt werden (Nath et al. 2008).

Die Hinzugabe von Kortison spielt weder für die diagnostische Blockade noch für einen möglichen Langzeiteffekt eine Rolle (Manchikanti et al. 2008). Für die Wirksamkeit von Radiofrequenzläsionen der Halswirbelsäule liegt keine Evidenz vor (Carragee et al. 2008). Zwar wurden Arbeiten von Lord und Mitarbeitern in den 1990er-Jahren geleistet, diese Studien sind jedoch mit methodischen Mängeln behaftet (Lord et al. 1996; McDonald et al. 1999). Eine weitere randomisierte Studie zeigte keine Effekte (Stovner et al. 2004).

Eine randomisierte Doppelblindstudie zur Behandlung radikulärer Schmerzen durch eine Thermoläsion der Ganglien zeigte ebenfalls keinen Erfolg (Geurts et al. 2003).



**Abb. 6.29** CT-gesteuerte lumbale periaartikuläre Facetten-blockade.

#### Thermokoagulation des Ganglion Gasseri

Zur Behandlung der idiopathischen Trigeminusneuralgie haben sich weltweit 2 Standardverfahren durchgesetzt:

- die perkutane selektive kontrollierte Thermoläsion im Ganglion Gasseri (alternativ die retroganglionäre Glycinjektion),



Abb. 6.30 Kontrollierte Thermo-koagulation im Ganglion Gasseri nach Sweet.

- ▶ die parapontine mikrovaskuläre Dekompression des N. trigeminus (Operation nach Jannetta).

Die Wirkung der perkutanen Thermoläsion basiert auf einer selektiven Ausschaltung von A $\delta$ - und C-Fasern durch eine kontrollierte Hitzeschädigung der betroffenen Trigeminusanteile.

**Vorgehen.** Unter fluoroskopischer Kontrolle wird die Nadel durch das Foramen ovale in das Ganglion Gasseri vorgeschoben. Der exakte Nadelsitz wird mittels intraoperativer Testreizung festgelegt. Durch Veränderung der Position der Nadelspitze lassen sich die verschiedenen Trigeminusäste selektiv stimulieren. Danach erfolgt eine i.v. Kurznarkose (früher Brevimytal, heute in der Regel Propofol/Remifentanil) für die eigentliche Thermoläsion. Hierbei wird die Nadelspitze für 60 s auf 65–70 ° erhitzt. Üblicherweise werden 1–2 Läsionen ausgeführt (Abb. 6.30).

In einer Übersichtsarbeit von Taha und Tew (1996) werden die Resultate von 1200 Thermoläsionen mit einem Follow-up von durchschnittlich 9 Jahren dokumentiert (Tab. 6.7).

**Wichtig!** Eine Läsion am peripheren Nerv, v.a. bei zu starker Erhitzung, führt zur Produktion schmerzhafter Dysästhesien. Im schlimmsten Fall kann eine sog. *Anesthesia dolorosa* entstehen.

Die selektive Thermoläsion wird ebenfalls bei Patienten mit einer symptomatischen Trigeminusneuralgie, z.B. bei multipler Sklerose, ausgeführt. Die Ergebnisse sind bei Progres-

sion der Erkrankung schlechter und die Risiken durch die Vorschädigung des Nervs oder zentraler Bahnen höher.

**Wertigkeit der Methode.** Der Eingriff ist rasch und relativ einfach durchzuführen. Er verlangt vom Anästhesisten eine gute Standby-Anästhesie, um für die schmerzhaften Phasen (Punktion des Foramen ovale oder Thermoläsion) eine ausreichende Analgesie zu garantieren, für die intraoperative Teststimulation und klinische Untersuchung aber einen wachen und kooperativen Patienten. Der Eingriff dauert ca. 15–30 min und kann ambulant ausgeführt werden. Die Initialergebnisse sind sehr gut mit einer Schmerzfreiheit von mehr als 97% (Tatli et al. 2008), aber einer relativ hohen Rezidivrate, sodass nach 5 Jahren noch maximal die Hälfte aller Patienten schmerzfrei sind. Der Eingriff ist kontraindiziert bei neuropathischen (Dauer-)Schmerzen. Randomisierte kontrollierte Studien, die verschiedene perkutane Verfahren oder die Thermoläsion mit der mikrovaskulären Dekompression oder Radiochirurgie vergleichen, existieren nicht.

#### Perkutane Chordotomie

Die anterolaterale Chordotomie oder Vorderseitenstrangdurchtrennung kann offen oder perkutan durchgeführt werden. Indikation für die perkutane Chordotomie sind therapieresistente unilaterale Extremitätschmerzen bei malignen Grunderkrankungen. Mittellinienschmerzen und Schmerzen des Rumpfes werden weniger gut beeinflusst. Die Frühresultate sind exzellent und werden mit 70–95% angegeben. Nach 1 Jahr sinkt die Anzahl der schmerzfreien

Bewertung	Beschreibung	Anzahl (%)
exzellent	kein Tic-Schmerz, keine Nebenwirkungen	72
gut	kein Tic-Schmerz, geringe Dys-/Parästhesien	21
mäßig	kein Tic-Schmerz, mäßige Dys-/Parästhesien	4
schlecht	kein Tic-Schmerz, schwere Dysästhesien	1
Versager	persistierende Schmerzen	2

Tabelle 6.7 Ergebnisse von 1200 Thermoläsionen nach Taha und Tew 1996.

Patienten auf 50–60%, wahrscheinlich durch eine Aktivierung alternativer Schmerzbahnen.

**Wertigkeit der Methode.** Heute wird die perkutane Chordotomie nur noch in wenigen Zentren angeboten, weil die Methode von den meisten Neurochirurgen nicht mehr beherrscht wird. Bei Versagen medikamentöser oder anästhesiologischer Techniken kann der wenig invasive und belastende Eingriff jedoch zu einer deutlichen Schmerzlinderung und Verbesserung der Lebensqualität, auch durch Reduktion der Opiateinnahme, führen.

#### ► Gepulste Radiofrequenz

Schmerzeingriffe mit gepulster Radiofrequenz gehören nicht zu den destruktiven Verfahren, da hier – anders als bei kontinuierlichem RF-Strom – keine Hitzeläsion verursacht wird. Man geht davon aus, dass die Einwirkung starker elektromagnetischer Felder zu einem über die Dauer der Einwirkung anhaltenden schmerzlindernden Effekt führt. Histologisch findet sich ein endoneurales Ödem (Podhajsky et al. 2005), eine unspezifische Expression von „immediate early genes“ und Transkriptionsfaktoren (Hamann et al. 2006).

Es liegt eine randomisierte Studie zur Therapie von Zervikobrachialgien (van Zundert et al. 2007) und zu temporomandibulärer Dysfunktion (Al-Badawi et al., 2004) vor. Außerdem wurde eine prospektive vergleichende Studie von Thermoläsion und gepulster RF-Läsion bei chronischen Lumboischialgien durchgeführt, die jedoch keinen Unterschied hinsichtlich Schmerzreduktion, Dauer der Schmerzfreiheit oder therapiebedingten Nebenwirkungen aufzeigen konnte (Simopoulos et al. 2008). Völlig unklar ist aufgrund der oben beschriebenen Mechanismen, wie ein mehrmonatiger Effekt erzielt werden kann.

## KryoläSIONEN

Die Anwendung von Kälte zur Schmerzbehandlung existiert seit über 1000 Jahren. Trendelenburg konnte zeigen, dass ein Vereisen des Nervs zu einem Funktionsverlust führt, eine Regeneration ohne Narbenbildung aber immer möglich ist. Kryoproben basieren auf dem sog. Joule-Thompson-Effekt, der besagt, dass unter Druck stehendes Gas, das aus einer kleinen Öffnung entweichen kann, sich bei Ausdehnung abkühlt. Typischerweise haben Kryoproben einen koaxialen Aufbau, ein Thermocouple an der Spitze zum Temperaturmonitoring und die Möglichkeit der elektrischen Stimulation. Es werden Gase wie N<sub>2</sub>O oder CO<sub>2</sub> genutzt, um Temperaturen von -50 bis -70 ° an der Spitze zu erzielen.

Der interventionelle Zugang an der Wirbelsäule geschieht unter Röntgendifurchleuchtung ähnlich wie bei den Thermoläsionen. Bei Läsionen an peripheren Nerv (Interkostalnerven, Abdominalnerven oder peripheren Trigeminusästen) nutzt man die integrierte Möglichkeit der Elektrostimulation, um den Nerv zu identifizieren und bei gleichzeitiger Stimulation zu vereisen. Die Läsionen werden in der Regel über 60–90 s ausgeführt.

**Wertigkeit der Methode.** In einer prospektiven Studie sind nach 1 Jahr die Ergebnisse bei Patienten ohne Voroperation deutlich besser als nach spinalen Operationen (85% versus 46% mit mehr als 50% Schmerzreduktion; Bärlocher et al. 2003). Randomisierte Studien liegen zur Behandlung von Postthorakotomieschmerzen vor. Hier scheint die Schmerz-

reduktion mit der bei einer epiduralen Anästhesie vergleichbar zu sein (Ju et al. 2008; Moorjani et al. 2001). Eine randomisierte kontrollierte Studie zu Postherniotomieschmerzen zeigte keinen Effekt (Callesen et al. 1998).

## Neurolytische Verfahren

Die Injektion neurolytischer Substanzen in den Subarachnoidalraum stellt eine simple Methode zur Ausschaltung segmentaler Schmerzen bei Patienten mit maligner Grundkrankung im Terminalstadium dar. Die häufigsten eingesetzten Substanzen sind 96% Äthylalkohol und 5–20% Phenol in Glyzerin. Der Vorteil liegt darin, dass der Eingriff einfach, rasch und für den Patienten wenig belastend ist. Eine selektive Zerstörung der Schmerzfasern ist nicht möglich. Der Patient muss über mögliche sensible oder motorische Ausfälle aufgeklärt werden.

## Offene chirurgische Verfahren

#### ► Dorsal Root Entry Zone (DREZ)

Dieser neuroläsionelle Eingriff wird bei sog. zentralen Schmerzsyndromen eingesetzt. Am besten hat sich der Eingriff bei Patienten mit lumbalen oder zervikalen Plexusaustrissen, bei denen sich in 30–90% chronische Schmerzen entwickeln, bewährt.

Die DREZ-Läsion bei Plexusaustriss wird in Höhe der jeweiligen Läsion durchgeführt. Der Ausriss von Nervenwurzeln kann im Myelogramm oder Kernspintomogramm demonstriert werden. Unter dem Operationsmikroskop wird die Wurzeleintrittszone aufgesucht. Unter Schonung der Rückenmarkgefäß werden im Abstand von 1–2 mm Radiofrequenzläsionen (jeweils 15–20 s bei 65–70 °C) durchgeführt (Abb. 6.31). Entscheidend dabei ist, die Läsionen 2–3 Segmente über das betroffene Niveau auszudehnen, da sich die sensiblen Fasern kurz nach Eintritt in das Hinterhorn über 2–3 Segmente verteilen.

**Wertigkeit der Methode.** Für die Indikation Plexusaustriss existiert eine prospektive Studie (Sindou et al. 2005). Unmittelbar nach dem Eingriff waren 94,6% der Patienten schmerzfrei, nach 3 Monaten lediglich 60%, obwohl weitere 20% eine zufriedenstellende Schmerzreduktion angaben. Nach 1 Jahr waren lediglich 34% der Patienten schmerzfrei.



Abb. 6.31 Intraoperativer Situs bei DREZ-Läsion.

## Radiochirurgie

**Definition:** Die Applikation von Strahlenergie in hoher Dosis, einmaliger Gabe und genauer Platzierung wird als Radiochirurgie bezeichnet.

Typischerweise werden damit Tumoren in unmittelbarer Nachbarschaft zu vitalen Strukturen, z.B. im Bereich des Gehirns an der Schädelbasis, behandelt. Die hohe Strahlenenergie führt zur Zerstörung des Gewebes, ist also, im Falle von Nervengewebe, neurodestruktiv. Bereits in den 1960er-Jahren wurde die Radiochirurgie zur Behandlung der Trigeminusneuralgie als nichtinvasives Verfahren eingesetzt. Die mäßigen Langzeitergebnisse bei nicht unerheblichen Nebenwirkungen (durch Miterfassung von Nachbarstrukturen oder schmerzhaften Dysästhesien) führten zunächst zur weitgehenden Einstellung des Verfahrens. Durch neue Strahlungssysteme (z.B. neue Kollimatoren), erfuhr das Verfahren Mitte der 1980er-Jahre eine Renaissance. Zwischenzeitlich sind mehr als 30000 Patienten mit Trigeminusneuralgie weltweit bestrahlt worden.

Der Effekt tritt in der Regel nach ca. 4 Wochen auf. In den großen Serien werden 70–85% der Patienten als schmerzfrei oder deutlich gebessert geschildert (Maesawa et al. 2001; Sheehan et al. 2005). Die Risiken, insbesondere einer Hypästhesie im Trigeminusbereich, liegen bei ca. 10%. Radiochirurgische Maßnahmen bei anderen Erkrankungen wie neuropathischen Schmerzen (Patil et al. 2007) oder sogar Facettensyndrom (Li et al. 2007) sind nicht indiziert.

### Kernaussagen

#### Radiofrequenzläsionen

Aufgrund der unterschiedlichen Studienlage ist die Wertigkeit der Facettendenervierung nicht abschließend zu beurteilen. Die Patientenselektion scheint jedoch entscheidend zu sein. Die Thermokoagulation des Ganglion Gasseri ist indiziert bei Patienten, bei denen keine mikrovaskuläre Dekompression durchgeführt werden kann. Sie führt initial in einem hohen Prozentsatz zu Schmerzfreiheit, aber auch zu Schmerzrezidiven nach wenigen Jahren.

Die Entwicklung von oralen Langzeitopioiden und die rückenmarknahe Opioidanalgesie machen heute die Chordotomie nur noch in Ausnahmefällen notwendig.

#### Kryoläsionen

Zur Kryoläsion der Facettengelenke liegen nur unkontrollierte Studien vor. Die Wirkdauer scheint geringer als bei der Thermoläsion zu sein.

#### Neurolytische Verfahren

Die Injektion neurolytischer Substanzen in den Subarachnoidalraum stellt eine simple Methode zur Ausschaltung segmentaler Schmerzen bei Patienten mit maligner Grunderkrankung im Terminalstadium dar.

#### Offene chirurgische Verfahren

Die DREZ-Läsion wird nur noch bei therapieresistenten Schmerzen durch Plexusausriß oder einer Strahlenplexopathie eingesetzt.

#### Radiochirurgie

Die Strahlentherapie ist indiziert, wenn operative, auch perkutane Eingriffe sich generell verbieten.

## Literatur

### Referenzen

- Al-Badawi EA, Mehta N, Forgione AG et al. Efficacy of pulsed radiofrequency energy therapy in temporomandibular joint pain and dysfunction. *Cranio* 2004; 22: 10–20
- Bärlocher CB, Krauss JK, Seiler RW. Kryorhizotomy: an alternative technique for lumbar medial branch rhizotomy in lumbar facet syndrome. *J Neurosurg* 2003; 98: 14–20
- Bogduk N, Long D. Lumbar medial branch neurotomy. A modification of facet denervation. *Spine* 1980; 5: 193–201
- Callesen T, Bech K, Thorup J et al. Cryoanalgesia: effect on postherniorrhaphy pain. *Anesth Analg* 1998; 87: 896–899
- Carragee EJ, Hurwitz EL, Cheng I et al. Treatment of neck pain. Injections and surgical intervention: results of the bone and joint decade 2000–2010 task force on neck pain and associated disorders. *Spine* 33; 4S: S153–S169
- Dreyfuss P, Schwarzer AC, Lau P et al. Specificity of lumbar medial branch and L5 dorsal ramus blocks. A computed tomography study. *Spine* 1997; 22: 895–902
- Geurts JW, van Wijk RM, Stolk R et al. Efficacy of radiofrequency procedures for the treatment of spinal pain. A systematic review of randomized controlled trials. *Reg Anesth Pain Med* 2001; 26: 394–400
- Geurts JWM, van Wijk RM, Wynne HJ et al. Radiofrequency lesioning of dorsal root ganglia for chronic lumbosacral radicular pain: a randomised, double-blind, controlled trial. *Lancet* 2003; 361: 21–26
- Hamann W, Abou-Sherif S, Thompson S et al. Pulsed radiofrequency applied to dorsal root ganglia causes a selective increase in ATF3 in small neurons. *Eur J Pain* 2006; 10: 171–176
- Ju H, Feng Y, Yang BX et al. Comparison of epidural analgesia and intercostal nerve cryoanalgesia for postthoracotomy pain control. *Eur J Pain* 2008; 12: 378–384
- Leclaire R, Fortin L, Lambert R et al. Radiofrequency facet joint denervation in the treatment of low back pain: a placebo-controlled clinical trial to assess efficacy. *Spine* 2001; 26: 1411–1417
- Li G, Patil C, Adler JR et al. CyberKnife rhizotomy for facetogenic back pain: a pilot study. *Neurosurg Focus* 2007; 23(6): E2
- Lora J, Long D. So-called facet denervation in the management of intractable back pain. *Spine* 1976; 2: 121–126
- Lord SM, Barmsley L, Wallis BJ et al. Percutaneous radiofrequency neurotomy for chronic cervical zygopophyseal-joint pain. *N Engl J Med* 1996; 335: 1721–1726
- Maesawa S, Salame C, Flickinger JC et al. Clinical outcomes after stereotactic radiosurgery for idiopathic trigeminal neuralgia. *J Neurosurg* 2001; 94: 14–20
- Manchikanti L, Singh V, Falco FJE et al. Lumbar facet joint nerve blocks in managing chronic facet joint pain: One year Follow-up of a randomized double-blind controlled trial: Clinical trial NCT00355914. *Pain Physician* 2008; 11: 121–132
- McDonald GJ, Lord SM, Bogduk N. Long-term follow-up of patients treated with cervical radiofrequency neurotomy for chronic neck pain. *Neurosurgery* 1999; 45: 61–67
- Moorjani N, Zhao F, Tian Y et al. Effects of cryoanalgesia on post-thoracotomy pain and on the structure of intercostal nerves: a human prospective randomized trial and histological study. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001; 20: 502–507
- Nath S, Nath CA, Petterson K. Percutaneous lumbar zygopophysial (facet) joint neurotomy using radiofrequency current, in the management of chronic low back pain. A randomized double-blind trial. *Spine* 2008; 33: 1291–1297
- Niemisto L, Kalso E, Malmivaara A et al. Cochrane Collaboration Back Review Group. Radiofrequency denervation for neck and back pain: a systematic review within the framework of the Cochrane Collaboration Back review group. *Spine* 2003; 28: 1877–1888
- Patil CG, Veeravagu A, Bower RS et al. CyberKnife radiosurgical rhizotomy for the treatment of atypical trigeminal nerve pain. *Neurosurg Focus* 2007; 23 (6): E9
- Podhajsky RJ, Sekiguchi Y, Kikuchi S et al. The histologic effects of pulsed and continuous radiofrequency lesions at 42 °C to rat dorsal root ganglion and sciatic nerve. *Spine* 2005; 30: 1008–1013
- Rees WS. Multiple bilateral percutaneous rhizolysis. *Med J Aust* 1975; 1: 536–537
- Sheehan J, Pan HC, Stroila M et al. Gamma knife surgery for trigeminal neuralgia. Outcomes and prognostic factors. *J Neurosurg* 2005; 102: 434–441
- Simpopoulos TT, Kraemer J, Nagda JV et al. Response to pulsed and continuous radiofrequency lesioning of the dorsal root ganglion and segmental nerves in patients with chronic lumbar pain. *Pain Physician* 2008; 11: 137–144
- Sindou M, Blondet E, Emery E et al. Microsurgical lesioning in the dorsal entry zone for pain due to plexus avulsion: a prospective series of 55 patients. *J Neurosurg* 2005; 102: 1018–1028
- Shealy CN. Percutaneous radiofrequency denervation of spinal facets and treatment of chronic back pain and sciatica. *J Neurosurg* 1975; 43: 448–451
- Stovner LJ, Kolstad F, Helde G. Radiofrequency denervation of facet joints C2–C6 in cervicogenic headache: a randomized, double-blind study, sham controlled study. *Cephalgia* 2004; 24: 821–830
- Tatli M, Satici O, Kanpolat Y et al. Various surgical modalities for trigeminal neuralgia: literature study of respective long-term outcomes. *Acta neurochir* 2008; 150: 243–255
- Van Wijk RMAW, Geurts JWM, Wynne HJ et al. Radiofrequency denervation of lumbar facet joints in the treatment of chronic low back pain. A randomized, double-blind, sham lesion-controlled trial. *Clin J Pain* 2005; 21: 335–344
- Van Zundert P, Patijn J, Kessels A et al. Pulsed radiofrequency adjacent to the cervical dorsal root ganglion in chronic cervical radicular pain: a double blind sham controlled randomized clinical trial. *Pain* 2007; 127: 173–182