

## ИМПУЛЬСНАЯ РАДИОЧАСТОТНАЯ НЕВРОТОМИЯ ГАНГЛИЕВ ЗАДНИХ КОРЕШКОВ СПИНОМОЗГОВЫХ НЕРВОВ — АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ РАДИКУЛЯРНОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА У БОЛЬНЫХ С ПРОТИВОПОКАЗАНИЯМИ К ОПЕРАТИВНОМУ ЛЕЧЕНИЮ. СЕРИЯ КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

О.Е. Егоров, Г.Ю. Евзиков, А.Ю. Розен

Клиника нервных болезней Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

*Импульсная радиочастотная невротомия (ИРН) ганглиев задних корешков спинномозговых нервов (ГЗКСН) является новой минимально-инвазивной технологией лечения болевого синдрома. Кандидатами для проведения ИРН являются пациенты, которым в связи с соматической патологией противопоказаны традиционные хирургические методы лечения, либо пациенты, отказавшиеся от декомпрессивных вмешательств на корешках. Вмешательство не требует общего обезболивания, проводится под рентгенологическим контролем. Представленные нами клинические наблюдения иллюстрируют результаты ИРН у 8 больных, оперированных в отделении нейрохирургии Клиники нервных болезней Первого МГМУ им. И.М. Сеченова в течение 2014 г. Вмешательство привело к значительному регрессу болевого синдрома у всех оперированных больных.*

**Ключевые слова:** компрессионная радикулопатия, импульсная радиочастотная невротомия.

*Intermittent radiofrequency neurotomy (IRFN) of dorsal root ganglions (DRG) is a new minimally invasive method for pain syndrome treatment. The candidates for IRFN usage are the patients with strictly contraindications for routine surgical treatment because of severe somatic pathology or patients who rejected decompressive operation on spinal roots. The IRFN does not require general anesthesia and conducted under roentgenologic control. The presented clinical cases illustrate the results of IRFN at 8 patients operated on in our clinic during 2014. The usage of this new technique resulted in significant regress of pain syndrome at all operated patients.*

**Key words:** compressive radiculopathy, intermittent radiofrequency neurotomy.

Приблизительно 60—85% людей хотя бы раз в жизни сталкивались с болью в поясничном отделе позвоночника, а у 10—20% людей боль носит хронической характер [1—3].

Радикулопатическая боль, как правило, возникает вследствие компрессии корешка спинномозгового нерва. В большинстве случаев боль носит характер острой, стреляющей, либо жгучей. Патофизиология радикулопатии включает помимо механических также воспалительные и иммунологические факторы [4]. Радикулопатия характеризуется объективным снижением сенсорных и моторных функций, а клинически проявляется болевым синдромом, расстройством чувствительности, мышечной слабостью, потерей мышечной массы, утратой рефлексов [1, 5, 6].

Импульсная радиочастотная невротомия (ИРН) ганглиев задних корешков спинномозговых нервов (ГЗКСН) является новой минимально-инвазивной технологией лечения корешкового болевого синдрома. Кандидатами для проведения ИРН являются пациенты с неэффективной медикаментозной терапией радикулопатии, которым в связи с соматической патологией противопоказаны традиционные хирургические методы лечения, либо пациенты, отказавшиеся от декомпрессивных вмешательств на корешках. ИРН можно выполнять как больным с дегенератив-

ным поражением позвоночника, так и пациентам с онкологическими заболеваниями. При дегенеративном поражении позвоночника ИРН может быть предложена пациентам, у которых отсутствует прогрессирующий моторный и сенсорный дефицит, а также нарушение функции тазовых органов. Для проведения ИРН ГЗКСН необходимо предварительно выполнить блокаду корешка, подтверждающую клиническую эффективность анальгезии, возникающей при воздействии анестетика на пораженный корешок [9].

По уровню инвазивности технология ИРН сопоставима с интрафораминальным введением кортикостероидов под рентгеновским контролем, но дает более стойкий анальгетический эффект. Учитывая малую инвазивность, вмешательство можно проводить не только в стационаре, но и в амбулаторных условиях. К настоящему времени в литературе не опубликованы клинические наблюдения тяжелых осложнений ИРН [7, 8].

### Материал и методы исследования

В течение 2014 г. в нейрохирургическом отделении клиники нервных болезней Первого МГМУ им. И.М. Сеченова ИРН ГЗКСН была выполнена 8 пациентам с компрессионной радикулопатией на

поясничном уровне. В представляемой группе — 3 мужчин и 5 женщин. Средний возраст пациентов составил 72 года. Во всех наблюдениях клинические проявления болевого синдрома были связаны с монорадикулопатией. В 6 наблюдениях причиной компрессии корешка являлось дегенеративно-дистрофическое поражение позвоночника, в 2 наблюдениях — метастатическое поражение позвоночника у пациентов с распространенным метастатическим процессом. Причинами радикулопатии являлись латеральный стеноз, грыжа межпозвоночного диска или компрессия онкологической природы. Причиной отказа от проведения декомпрессивных вмешательств была соматическая отягощенность в 6 случаях и отказ пациентов от декомпрессивных вмешательств в 2 наблюдениях (табл.).

У всех больных проведение ИРН позволило купировать радикулярный болевой синдром более чем на 50% по визуально-аналоговой шкале (ВАШ). В ходе динамического наблюдения за больными (проведено только пациентам с дегенеративным поражением позвоночника, онкологическим больным не проводилось) при контрольном обследовании через 3 мес после вмешательства (6 больных) рецидивов высокоинтенсивного болевого синдрома не отмечено. При сроке наблюдения 6 мес (3 больных) в одном из наблюдений отмечен клинически значимый рецидив болевого синдрома через 5 мес после ИРН, что потребовало проведения повторной ИРН.

Ниже приводим описание клинического наблюдения одного из оперированных нами больных.

*Описание клинического наблюдения.*

Больной Г., 77 лет, поступил в нейрохирургическое отделение с жалобами на острые боли в поясничной области с иррадиацией в левую ногу

по задней поверхности до пятки, усиление боли во время ходьбы и вследствие этого затруднение ходьбы, онемение по задней поверхности левой голени, по наружной поверхности левой стопы. Периодические боли в поясничной области отмечались около 5 лет, боли в левой ноге беспокоят 1 год, последние 3 мес, медикаментозная терапия неэффективна. Со слов больного известно, что он страдает ревматоидным полиартритом, по поводу которого постоянного лечения не получает. В анамнезе — ревматический стеноз аортального клапана. Перенес протезирование аортального клапана в октябре 2009 г., постоянно принимает варфарин в дозе 5 мг под контролем МНО. Наблюдается у терапевта в поликлинике по месту жительства.

Соматический статус: состояние при поступлении удовлетворительное, умеренного питания, астенического телосложения. Кожные покровы и слизистые оболочки чистые, обычной окраски. Периферические лимфоузлы не увеличены. Пульс 76 в мин., ритмичный, АД 140/90 мм рт. ст. Дыхание везикулярное, хрипов нет, ЧД 16 в мин., одышки нет. Живот мягкий, безболезненный во всех отделах, печень не увеличена. Перистальтика выслушивается, физиологические отправления в норме. Пульсация на периферических артериях сохранена, вены не увеличены, отеков нет.

Неврологический статус: сознание ясное. Зрачки одинаковые, нистагма нет, движения глазных яблок в полном объеме, мимические пробы выполняет симметрично, со стороны бульбарной группы черепных нервов нарушений нет. Координаторных расстройств нет. Мышечная сила в руках и ногах не изменена — 5 баллов, сухожильные рефлексы с рук и с ног торпидные. Отмечается гипестезия по наружной поверхности левой голени, тыльной поверхности левой стопы и в области большого пальца левой стопы

Таблица / Table

**Клинические наблюдения больных, оперированных методом ИРН / The characteristics of patients underwent intermittent radiofrequency neurotomy**

Пациент №	Возраст, годы	Пол	Причина компрессии	Уровень компрессии	ИРН корешка	ВАШ (баллы)			
						до операции	после операции	через 3 мес	через 6 мес
1.**	77	Муж.	Грыжа диска	L4-L5	L5	9	0	2	2
2.	50	Жен.	Латеральный поясничный стеноз	L4-L5	L5	8	2	2	— --
3.	79	Жен.	Метастатическое поражение тела позвонка L3	L3-L4	L4	10	2	Не исследовалось	
4.	72	Муж.	Метастатическое поражение тела позвонка L5	L5-S1	L5	10	4	Не исследовалось	
5.	68	Жен.	Латеральный поясничный стеноз	L5-S1	S1	8	3	4	6*
6.	84	Жен.	Латеральный поясничный стеноз	L4-L5	L5	9	4	4	3
7.	79	Жен.	Латеральный поясничный стеноз	L5-S1	S1	7	2	3	— --***
8.	64	Муж.	Грыжа диска	L3-L4	L4	8	3	3	— --***

\*Проведена повторная ИРН.

\*\*Ниже приведено клиническое описание данного пациента.

\*\*\*В момент написания статьи прошло меньше 6 мес. с момента вмешательства

(гипестезия по корешковому типу, характерная для поражения корешка L5). Положительны симптомы Лассега слева 45 градусов, справа 60 градусов. Определяется защитное напряжение паравerteбральных мышц в поясничной области. Положителен симптом Дежерина.

Выраженность болевого синдрома по опроснику Oswestry — 30 баллов, по ВАШ — 9 баллов.

ЭКГ: синусовый ритм, ЧСС 74 мин, признаки гипертрофии миокарда левого желудочка.

Клинический и биохимический анализы крови в пределах нормы.

В связи с перенесенным ранее протезированием аортального клапана проведение МРТ-исследования невозможно. Для уточнения уровня и природы компрессии корешка произведена КТ-миелография. Выявлена грыжа диска L4-L5 слева (рис. 1).

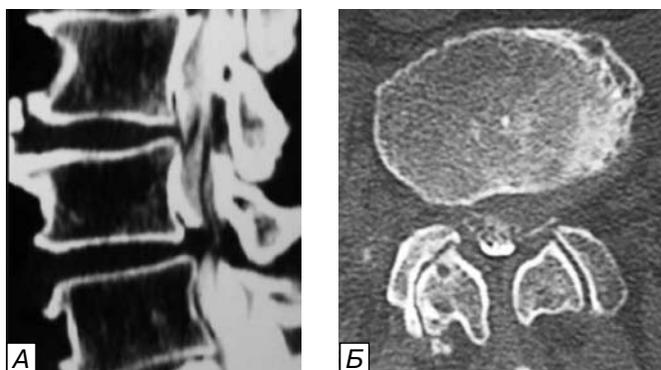


Рис. 1. КТ-миелограммы больного Г., выполненные в сагиттальной (а) и аксиальной (б) проекциях: виден дефект заполнения дурального мешка контрастным веществом слева на уровне L4-L5, что свидетельствует о наличии грыжи диска.

Fig. 1. CT-myelography of patient Г. in sagittal (a) and axial (б) projections demonstrates the left-sided defect of dural sac filling by contrast agent at the level of L4-L5 vertebrae, that is the evidence of diskal hernia.

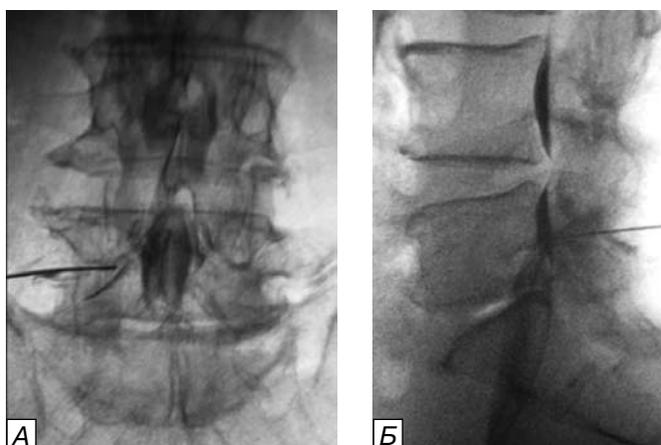


Рис. 2. Радикулограмма больного Г. в прямой (а) и боковой (б) проекции: игла установлена в межпозвонковом отверстии над ГЗКСН L5, определяется перирадикулярное и перидуральное распространение контрастного вещества.

Fig. 2. The radiculography of patient Г. in sagittal (a) and axial (б) projections: the needle is placed in intervertebral foramen above the L5 DRG; the periradicular and peridural expansion of contrast is seen.

С целью подтверждения корешковой природы болевого синдрома выполнена диагностическая фораминальная новокаиновая блокада корешка L5 слева. Под рентгеновским контролем произведено перирадикулярное введение 1,0 мл 2% р-ра новокаина в область межпозвонкового отверстия L5-S1. Отмечен полный регресс болевого синдрома на 1 ч. Результат диагностической новокаиновой блокады левого корешка L5 признан положительным.

Учитывая возраст больного, соматическую отягощенность, невозможность отмены варфарина, проведение микродискэктомии признано нецелесообразным. В связи с этим в качестве минимально-инвазивной процедуры под местной анестезией больному произведена импульсная радиочастотная невротомия ганглия заднего левого корешка L5. Манипуляция произведена под рентгеновским контролем. Электрод установлен в межпозвонковом отверстии L5-S1 (рис. 2).

Воздействие осуществлено импульсным током с частотой импульсов 2 Гц и экспозицией в течение 8 мин. Сразу же после процедуры отмечен регресс болевого синдрома до 2 баллов по опроснику Oswestry и 0 баллов по ВАШ. Нарастания неврологического дефекта не отмечено. Через 6 мес после процедуры сохранялся хороший результат вмешательства. Больной вернулся к нормальной жизни, не принимает анальгетических препаратов.

## Обсуждение

В ранних клинических исследованиях, посвященных радиочастотной невротомии ганглиев задних корешков спинномозговых нервов, авторы отдавали предпочтение термической радиочастотной невротомии (ТРН), так как полагали, что она способна избирательно вызывать разрушение слабо миелинизированных С-волокон [10, 11]. Позднее было доказано, что радиочастотное воздействие с нагревом тканей выше 42 °С вызывает тотальную деструкцию нервных волокон и только высокочастотная невротомия с температурой ниже 42 °С оказывает избирательное воздействие на болевые волокна [12]. Экспериментально доказано, что нагрев тканей выше 45 °С, который может быть достигнут при использовании термической радиочастотной невротомии, вызывает безусловную деструкцию миелинизированных волокон как малого, так и большого диаметра. При этом коагуляционный некроз нервной ткани происходит без какой-либо селективности ноцицептивных волокон. Клинический анализ результатов использования ТРН для лечения нейропатической боли показал, что этот метод является малоперспективным в связи с тем, что нейроабляция может приводить к продолжительному моторному дефекту и деафферентационным болям [13]. Таким образом стало очевидно, что температурное воздействие не является оптимальным механизмом подавления боли [14].

ИРН была разработана как альтернатива ГРН [15]. Исследования физиологии, механизмов действия и сопутствующих биологических эффектов ИРН отставали от ее применения в клинической практике [16]. Первая ИРН заднего ганглия корешка спинномозгового нерва была произведена в 1998 г. [17]. Позднее последовало множество сообщений о применении этой методики при радикулопатическом болевом синдроме, при лицевой боли вследствие тригеминальной невралгии, при дисфункции крестцово-подвздошных сочленений, артропатии фасеточных суставов и миофасциальном болевом синдроме. Однако, наиболее значимый клинический эффект ИРН был отмечен только при лечении невропатической боли. Поэтому сферой преимущественного клинического использования ИРН в настоящее время являются лечение тригеминальной невралгии и радикулопатии [18].

ИРН создает напряжение в виде коротких импульсов по 20 мс, с перерывами длительностью 480 мс, что позволяет предотвратить нагрев окружающих тканей более 42 °С и избежать их повреждения. Импульсный режим способен создавать гораздо большее по площади и объему электрическое поле, чем стандартный. Однако по мере удаления от кончика электрода электрическое поле экспоненциально убывает и на расстоянии 0,5 мм сохраняется лишь частично [20]. Большая часть тканей-мишеней подвергаются воздействию слабого либо умеренного электрического поля, что является частью механизма действия ИРН. В настоящее время считается, что электрическое поле индуцирует трансмембранную разность потенциалов, которая в значениях 0,1-1 В может вызывать электропоруцию (процесс деформации, образования пор) клеточных мембран [19, 20].

Механизм возникновения анальгезии до конца неясен. Большинство авторов связывают его с нарушением синаптической передачи [21]. Воздействуя на ганглий, низкочастотная высокочастотная ИРН вызывает долговременное угнетение синаптической передачи в задних рогах и выступает в роли антагониста долговременного потенцирования биоэлектрических импульсов, которое лежит в основе многих хронических болевых состояний [22, 23].

Для корректного проведения процедуры невротомии ГЗКСН необходимо добиться точного расположения иглы в месте локализации самого ганглия. Поэтому процедура может проводиться только под рентгеновским контролем. Для контроля точности установки иглы ганглий можно идентифицировать с помощью радикулографии. В зависимости от индивидуальных особенностей он находится в разной степени удаления от дурального мешка. В поясничном отделе расположение ганглия может быть интраспинальным, интрафораминальным и экстрафораминальным. В большинстве случаев ганглии занимают интрафораминальное расположение, за исключением ганглия S1, который имеет интраспинальное расположение у 80% населения [29].

Первая публикация с описанием чрескожной термической невротомии чувствительной порции корешков спинномозговых нервов принадлежит S. Uematsu и соавт. [10]. Авторы использовали высокочастотный электрод, который устанавливали в соответствующем межпозвоночном отверстии под рентгеновским контролем. Близость электрода к нерву-цели подтверждалась электрической стимуляцией с частотой импульсов 2 Гц, и напряжением тока от 0,5 до 2 В, которая вызывала боль и мышечные сокращения в соответствующем дерматоме.

В последующем техника установки электрода совершенствовалась [30, 31]. В настоящее время рекомендовано осуществлять введение электрода из латеральной паравертебральной позиции в верхнемедиальном направлении [17] (рис. 3).

Приняты следующие конечные требования к электрическим параметрам ИРН [32]: 1) порог чувствительной стимуляции ниже 0,6 В (от 0,3 до 0,6 В с частотой 50-100 Гц), при этом вызываются парестезии, совпадающие с зоной обычного распространения боли, ощущение стимуляции должно распространяться вниз к голени-стопе для корешков L4,L5,S1, к паховой области для L1,L2, по передней поверхности бедра вниз до колена для L3; 2) порог моторной стимуляции (2 Гц) должен быть в 1,5 раза больше, чем порог сенсорной стимуляции; 3) следует осуществлять контроль импеданса полной электрической цепи, значение которого должно находиться в пределах от 200 до 400 Ом. Первоначально предлагалось время экспозиции импульсным током в течение 120 с, но некоторые авторы уже продемонстрировали улучшение результатов при времени экспозиции до 10 мин [33, 37].

Рентгенологические ориентиры установки электрода на поясничном уровне следующие:



Рис. 3. Схематичный рисунок поясничного позвонка в аксиальной проекции, который показывает правильную установку высокочастотного электрода через межпозвоночное отверстие на поясничном уровне.

Fig. 3. The scheme of lumbar vertebra (axial view) demonstrates the correct placement of high frequency electrode via intervertebral foramen at the level of lumbar spine.

1) в переднезадней проекции конец электрода должен проецироваться медиальнее латеральной границы суставного столба, 2) в боковой проекции конец иглы размещается в ретроневральной позиции, таким образом, чтобы его конец размещался непосредственно дорзальнее искомого спинального нерва. Чтобы определить соотношение позиций заднего ганглия корешка спинномозгового нерва и конца иглы, а также исключить интрадуральную установку иглы, перед началом высокочастотной деструкции выполняют радикулограмму. После получения изображения нерва в виде дефекта наполнения контраста в иглу вводится 0,5–1,0 мл 2% р-ра лидокаина для адекватной анальгезии последующей невротомии [32].

Некоторые авторы используют косое рентгеновское изображение межпозвонкового отверстия, что облегчает коаксиальное введение электрода [35, 36]. На первом этапе введения электрода достигают контакта электрода с костным краем в месте соединения поперечного и суставного отростков [37]. После этого электрод продвигают в переднем направлении так, чтобы его конец был установлен в проекции середины суставного столба, или напротив середины верхней ножки, ограничивающей межпозвонковое отверстие сверху [38] (см. рис. 2). В латеральной рентгеновской проекции конец электрода размещают в дорсокраниальном квадранте межпозвонкового отверстия.

В случае денервации корешка S1 рентгенологическая позиция электрода при рентгеноскопии аналогична той, которая описывается при корешковой блокаде S1: в латеральной проекции конец иглы проецируется по задней стенке крестцового отдела позвоночного канала; в переднезадней проекции конец электрода располагается тотчас каудальнее ножки S1, посередине или немного медиальнее ее [32].

Большинство авторов сообщают о значительном регрессе радикулярных болей в поясничном отделе в сроки от 3–4-х месяцев до года после процедуры [28, 32, 39, 40].

D. Abejon и соавт. продемонстрировали результаты использования ИРН у 54 пациентов с хроническим радикулярным болевым синдромом [41]. Через 60 дней после процедуры отмечено значительное уменьшение показателей болевых шкал у всех больных с грыжами межпозвонковых дисков и поясничными стенозами, за исключением пациентов с рецидивом болевого синдрома после хирургических вмешательств. Схожие результаты были опубликованы A. Teixeira и соавт.: у 11 из 13 пациентов наблюдался регресс болевого синдрома, который длился от 11 до 23 мес [39]. S.C. Chao и соавт. также докладывали о регрессе радикулярного болевого синдрома на 50% и более у 52 из 116 (44%) больных через 3 мес после процедуры [28]. В настоящее время в литературе нет упоминаний о каких-либо очевидных, стойких неврологических выпадениях после ИРН, таких, как дизестезии и гипестезии, моторные расстройства. Отмечены единичные случаи преходящих чувствительных нарушений [14].

## Заключение

При наличии соматической отягащенности, являющейся противопоказанием для декомпрессивных вмешательств, ИРН может с успехом использоваться в лечении хронической радикулярной поясничной боли. Методика также применима в случае отказа пациента от инвазивного хирургического лечения. По частоте достижения хорошего результата и стойкости эффекта ИРН нельзя сравнивать с декомпрессивным вмешательством, но проведение ИРН может привести к значительному улучшению качества жизни и освободить пациента от необходимости в лекарственной терапии на длительное время.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Егоров Олег Евгеньевич* — канд. мед. наук, врач-нейрохирург отделения нейрохирургии Клиники нервных болезней УКБ №3 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова; e-mail: oeeorov@yandex.ru.

*Евзиков Григорий Юльевич* — д-р мед. наук, проф. кафедры нервных болезней и нейрохирургии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова; e-mail: mmaevzиков@mail.ru.

*Розен Андрей Игоревич* — зав. отделением нейрохирургии Клиники нервных болезней УКБ №3 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова; e-mail: rozen.a.i@mail.ru.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The Pain. Handbook for students and physicians/ Eds. Yachno N.N. — Moscow: Medpress-Inform, 2010.
2. Skovron M.L: Epidemiology of low back pain. Baillieres Clin Rheumatol. 1992; 6:559–573.
3. Waddell G. The Back Pain Revolution. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1998.
4. Howe J.F., Loeser J.D., Calvin W.H. Mechanosensitivity of dorsal root ganglia and chronically injured axons: a physiological basis for the radicular pain of nerve root compression. *Pain*. 1977; 3:25–41.
5. A nervous system diseases. Handbook for physicians / Eds. Yachno N.N. — V. 1-2. — Moscow: Medicine, 2007.
6. Govind J: Lumbar radicular pain. Aust Fam Physician 2004, 33:409–412.
7. Benedetti E., Siritwetchadarak R., Stanec J., Rosenquist R. Epidural steroid injections: complications and management. *Tech Reg Anesth Pain Manag*. 2009; 13: 236–250.
8. Houten J.k., Errico T.J.. Paraplegia after lumbosacral nerve root block. *Spine J* 2002; 2:70–75.
9. Nagda J.V., Davis C.W., Bajwa Z.H., Simopoulos T.T. Retrospective review of the efficacy and safety of repeated pulsed and continuous radiofrequency lesioning of the dorsal root ganglion/segmental nerve for lumbar radicular pain. *Pain Physician* 2011; 14:371–376.
10. Uematsu S., Udvarhelyi G.B., Benson D.W., Siebens A.A. Percutaneous radiofrequency rhizotomy. *Surg Neurol* 1974; 2: 319–25.
11. Brodkey J.S., Miyazaki Y., Ervin F.R., Mark V.H. Reversible heat lesions with radiofrequency current. A method of stereotactic localization. *J Neurosurg*. 1964; 21: 49–53.
12. Smith H.P., McWhorter J.M., Challa V.R. Radiofrequency neurolysis in a clinical model. *Neuropathological correlation*. *J Neurosurg*. 1981; 55: 246–253.
13. Mikeladze G., Espinal R., Finnegan R. et. al. Pulsed radiofrequency application in treatment of chronic zygapophysial joint pain. *Spine J*. 2003; 3(5):360–2.
14. Racz G.B., Ruiz-Lopez R. Radiofrequency procedures. *Pain Pract* 2006, 6(1):46–50.

15. Imani F. Using pulsed radiofrequency for chronic pain.. *Anesth Pain* 2012, 1(3):155-156.
16. Chua N.H.L., Vissers K.C., Sluijter M.E. Pulsed radiofrequency treatment in interventional pain management: mechanisms and potential indications—a review. *Acta Neurochir* 2011, 153:763–771.
17. Sluijter M.E., Cosman E.R., Rittman W.B., Van Kleef M. The effects of pulsed radiofrequency fields applied to the dorsal root ganglion: A preliminary report. *Pain Clin* 1998; 11: 109–17.
18. Cohen S.P., Van Zundert J. Pulsed radiofrequency: rebel without cause; *Reg Anesth Pain Med.* 2010, 35(1):8–10.
19. Bogduk N. Pulsed radiofrequency. *Pain Med.* 2006; 7:396–407.
20. Cosman E.R. Jr, Cosman E.R. Sr. Electric and thermal field effects in tissue around radiofrequency electrodes. *Pain Med.* 2005, 6(6):405–424.
21. Cahana A., Vutskits L., Muller D. Acute differential modulation of synaptic transmission and cell survival during exposure to pulsed and continuous radiofrequency energy. *J Pain* 2003; 4:197–202.
22. Richebe P., Rathmell J.P., Brennan T.J.. Immediate early genes after pulsed radiofrequency treatment: neurobiology in need of clinical trials. *Anesthesiology* 2005; 102: 1–3.
23. Sandkuhler J., Chen J.G., Cheng G., Randic M. Low-frequency stimulation of afferent Adelta-fibers induces long-term depression at primary afferent synapses with substantia gelatinosa neurons in the rat. *J Neurosci.* 1997;17: 6483–6491.
24. Hamann W., Abou-Sherif S., Thompson S., Hall S. Pulsed radiofrequency applied to dorsal root ganglia causes a selective increase in ATF3 in small neurons. *Eur J Pain.* 2006; 10: 171–176.
25. Higuchi Y., Nashold B.S. Jr, Sluijter M., Cosman E., Pearlstein R.D. Exposure of the dorsal root ganglion in rats to pulsed radiofrequency currents activates dorsal horn lamina I and II neurons. *Neurosurgery.* 2002; 50: 850–855; discussion 856.
26. Archer S., Li T.T., Evans A.T., Britland S.T., Morgan H. Cell reactions to dielectrophoretic manipulation. *Biochem Biophys Res Commun.* 1999;257: 687–698.
27. Van Boxem K., van Eerd M., Brinkuize T. et. al. Radiofrequency and pulsed radiofrequency radiofrequency treatment of chronic pain syndromes: the available evidence. *Pain Pract.* 2008; 8: 385–393.
28. Chao S.C., Lee H.T., Kao T.H., Yang M.Y. et. al. Percutaneous pulsed radiofrequency in the treatment of cervical and lumbar radicular pain. *Surg Neurol.* 2008; 70: 59–65; discussion 65.
29. Hasegawa T., Mikawa Y., Watanabe R., An H. Morphometric analysis of the lumbosacral nerve roots and dorsal ganglia by magnetic resonance imaging. *Spine* 1996; 21:1005–9.
30. Sluijter M.E., Koetsveld-Baart C.C. Interruption of pain pathways in the treatment of the cervical syndrome. *Anaesthesia* 1980, 35: 302–7.
31. Sluijter M.E., Mehta M. Treatment of chronic pain in the back and neck by percutaneous thermal lesions, *Persistent Pain: Modern Methods of Treatment*, vol. III. Edited by Miles J, Lipton S. London, New York: Academic Press, 1981, pp 141–79.
32. Simopoulos T.T., Kraemer J., Nagda J.V., Aner M., Bajwa Z.H. Response to pulsed and continuous radiofrequency lesioning of the dorsal root ganglion and segmental nerves in patients with chronic lumbar radicular pain. *Pain Physician* 2008; 11:137-144.
33. Akkoc Y., Uyar M., Oncu J., Ozcan Z., Durmaz B. Complex regional pain syndrome in a patient with spinal cord injury: management with pulsed radiofrequency lumbar sympathectomy. *Spinal Cord.* 2008; 46: 82–84.
34. Navani A., Mahajan G., Kreis P., Fishman S.M. A case of pulsed radiofrequency lesioning for occipital neuralgia. *Pain Med.* 2006; 7: 453–456.
35. Stolker R.J., Vervest A.C., Groen G.J. The treatment of chronic thoracic segmental pain by radiofrequency percutaneous partial rhizotomy. *J Neurosurg* 1994; 80 : 986–92.
36. Cohen S.P., Sireci A., Wu C.L., Larkin T.M., Williams K.A., Hurley R.W. Pulsed radiofrequency of the dorsal root ganglia is superior to pharmacotherapy or pulsed radiofrequency of the intercostal nerves in the treatment of chronic postsurgical thoracic pain. *Pain Physician* 2006; 9:227–35.
37. Sluijter M.E. Percutaneous facet denervation and partial posterior rhizotomy. *Acta Anaesthesiol Belg* 1981; 32: 63–79.
38. Geurts J.W., Van Wijk R.M., Wynne H.J. et. al.: Radiofrequency lesioning of the dorsal root ganglia for chronic lumbosacral radicular pain: A randomized, double-blind, controlled trial. *Lancet* 2003; 361: 21–6.
39. Teixeira A., Grandinson M., Sluijter M.E. Pulsed radiofrequency for radicular pain due to herniated intervertebral disc: An initial report. *Pain Pract* 2005, 5:111–115.
40. Shabat S., Pevsner Y., Folman Y., Gepstein R. Pulsed radiofrequency in the treatment of patients with chronic neuropathic spinal pain. *Minim. Invasive Neurosurg* 2006, 49:147–149.
41. Abejon D., Garcia-del-Valle S., Fuentes M.L., Gomez-Arnau J.I., Reig E., van Zundert J. Pulsed radiofrequency in lumbar radicular: Clinical effects in various etiological groups. *Pain Pract* 2007; 7:21-26.