

# **Влияние вертебральной аксиальной декомпрессии на дисфункцию сенсорных нервов у пациентов с болью в нижней части спины и радикулопатией**

*Фрэнк Тиларо, доктор медицины; Деннис Миксович, доктор медицины*

1999

## **Аннотация**

Эффективная нехирургическая декомпрессия нервного корешка до настоящего времени не была доступна. Терапевтический стол для вертебральной аксиальной (осевой) декомпрессии (VAX-D) продемонстрировал способность значительно снижать внутридисковое давление до отрицательных 150 мм рт. ст., что позволяет достичь декомпрессии диска. Целью данного исследования было определить, может ли терапия VAX-D обеспечить внешнюю декомпрессию нервного корешка. Пациенты с радикулопатией и нарушением сенсорной функции, определённые с помощью теста порога восприятия тока (СРТ) с использованием нейрометра, проходившие лечение VAX-D, были изучены ретроспективно. Значения СРТ для 22 периферических нервов были измерены до и после терапии VAX-D. В исследование включались только пациенты с изначально аномальными показаниями СРТ, симптомами ишиаса, положительным тестом на подъём выпрямленной ноги (SLR) и положительными результатами визуализации. Результаты после терапии были следующими: у 14/22 нервов (64%) функция вернулась к норме, у 6/22 (27%) наблюдалось улучшение, у 1/22 (4,5%) не было улучшений, и у 1/22 (4,5%) произошло ухудшение. Средний балл по нейрометру до терапии составил 6,36, а после терапии — 2,09 (балл 0 указывает на нормальную функцию). Общее улучшение составило 67% ( $p < 0,05$ ). Теоретические соображения относительно механизма действия подробно изложены в данной статье.

## **Введение**

Пациенты с компрессией нервного корешка вследствие грыжи межпозвоночного диска часто лечатся хирургическим путём, хотя есть данные о возможности их консервативного лечения. Компьютерный анализ хирургически вылеченных грыж дисков, проведённый Шпангфортом, пришёл к выводу, что грыжи дисков лучше лечить хирургическим методом. Эти данные были опровергнуты Вебером, который провёл рандомизированное

контролируемое исследование, сравнивая хирургическое и консервативное лечение. Хакелиус сообщил, что у пациентов с неврологическими дефицитами не было различий в исходах между хирургическим и консервативным лечением. Саал и Саал изучили естественную историю радикулопатии и провели исследование результатов у 64 пациентов с радикулопатией, получавших нехирургическое лечение, и пришли к выводу, что пациенты с грыжами дисков могут быть успешно вылечены без операции. Буш сообщил о своих результатах успешного нехирургического лечения радикулопатии.

Хотя литература демонстрирует успех консервативного лечения грыж дисков, многие пациенты всё же подвергаются хирургической процедуре при компрессии нервного корешка. До настоящего времени нехирургический метод декомпрессии нервного корешка не был доступен. Нехирургическая декомпрессия могла бы иметь значительные преимущества перед используемыми хирургическими методами. К таким преимуществам относятся снижение стоимости, более раннее возвращение к работе, меньшая заболеваемость, снижение послеоперационных осложнений и устранение синдрома "неудачной спинальной операции". Медицинская декомпрессия может представлять собой реконструктивный процесс, поскольку для достижения декомпрессии должны благоприятно изменяться биомеханика и метаболизм позвоночника. Хирургия не оказывает благоприятного воздействия на биохимию и физиологию диска.

Терапевтический стол для вертебральной аксиальной декомпрессии (VAX-D) продемонстрировал свою эффективность в лечении боли в нижней части спины как с радикулопатией, так и без неё. Стол воздействует за счёт декомпрессии межпозвоночного диска и снижает внутридисковое давление до отрицательных 150 мм рт. ст. Предполагается, что снижение внутридискового давления до таких значительных уровней должно приводить к декомпрессии нервного корешка, однако это не было специально исследовано. Целью данного исследования было определить, эффективно ли лечение VAX-D обеспечивает декомпрессию нервных корешков. Не предпринималось попыток сопоставить результаты этого исследования с исходами у пациентов.

## **Материалы и методы**

Был проведен ретроспективный анализ медицинских карт пациентов из амбулаторной клиники. Все пациенты проходили тестирование на порог восприятия тока (СРТ) с использованием нейрометра до начала терапии VAX-D и сразу после завершения курса лечения. В исследование включались только пациенты с аномальными показателями СРТ, у которых наблюдались ишиас, положительный тест на подъем выпрямленной ноги (SLR) и результаты визуализации, коррелирующие с клиническим синдромом. Всего

квалифицировались 17 пациентов, было изучено 22 нерва, поскольку у некоторых пациентов наблюдалось многоуровневое поражение. Измерялись малоберцовый и икроножный нервы, соответствующие нервным корешкам L5 и S1. Дисфункция сенсорных нервов измерялась с помощью нейрометра СРТ.

Нейрометр СРТ использует транскутанную электрическую стимуляцию нервов на нескольких синусоидальных частотах для определения порогов восприятия тока. Его эффективность была хорошо подтверждена в многочисленных исследованиях. Показатель СРТ представляет собой минимальное значение безболезненного, нейроселективного, транскутанного электрического стимула, необходимого для воспроизводимого вызывания ощущений хотя бы в половине случаев его применения. Три независимых измерения СРТ проводятся для каждого исследуемого участка с использованием трех различных частот электрических стимулов: 2000 Гц, 250 Гц и 5 Гц, что соответствует крупным миелинизированным, мелким миелинизированным и мелким немиелинизированным волокнам. Аномально низкие значения СРТ указывают на гиперчувствительность нервной функции (наблюдается на ранних стадиях дисфункции), тогда как повышенные значения СРТ указывают на потерю нервной функции, отражающую гипоестетическое состояние, характерное для поздних стадий дисфункции.

Показатели СРТ выражаются в единицах, эквивалентных 0,01 миллиампер (мА) выходной интенсивности. Ниже 0,10 мА значения СРТ разрешаются с шагом 0,1 СРТ. Значение СРТ = 100 указывает на выходную интенсивность стимула 1,0 мА, СРТ = 9,5 — на выходную интенсивность 0,095 мА. Выходной диапазон устройства СРТ составляет от 0,001 мА (СРТ = 0,1) до 9,99 мА (СРТ = 999).

Программное обеспечение Neuval СРТ Evaluation and Database оценивает и сохраняет значения СРТ пациента, а также формирует отчет, детализирующий состояние исследуемых нервов. Эти оценки основаны на сравнении со стандартизированными диапазонами нормальных значений СРТ и их соотношений, включенными в программное обеспечение. Проводятся два типа анализа. Анализ диапазона количественно оценивает невропатии от гиперестетической до гипоестетической стадии путем сравнения значений на частотах 2 кГц, 250 Гц и 5 Гц в тестовой точке с нормальными значениями. Анализ соотношений сравнивает различные значения СРТ для трех частотных показаний внутри одного нервного волокна. Для значений СРТ пациента выполняются два типа анализа соотношений. Внутрисайтовый анализ (анализ фокусируется на данных, собранных в одной конкретной точке тестирования (например, над малоберцовым или икроножным нервом) соотношений сравнивает соотношения различных частот, полученных из одной тестовой точки; в данном исследовании это были точки над малоберцовыми или икроножными нервами. Между-сайтовый анализ (анализ сравнивает данные, собранные в двух симметричных точках на противоположных сторонах тела)

сравнивает соотношения различных частот, полученных из контрлатеральных точек, то есть значения левого икроножного или малоберцового нерва по сравнению с правым икроножным или малоберцовым нервом. Анализ соотношений чувствителен на самых ранних стадиях невропатии, тогда как анализ диапазонов отражает более значительные функциональные нарушения.

Анализ диапазона количественно оценивает невропатии по шкале от -1 до +4, что соответствует легкой гиперестезии до анестезии. Соотношения внутри одного участка и между участками получают значения от 1 до 2, что отражает незначительную сенсорную дисфункцию до легкой дисфункции. Система оценок учитывает, что в порядке тяжести анестетическое состояние является более серьезным, чем гипоестетическое состояние, которое, в свою очередь, серьезнее гиперестетического состояния. Гиперестетическое состояние серьезнее аномалий внутри участка, которые, в свою очередь, серьезнее аномалий между участками.

Программное обеспечение Neuval анализирует значения теста СРТ для анализа диапазонов и соотношений, присваивая стимулу с самым высоким значением СРТ соответствующую оценку (Grade), в то время как дополнительные значения получают свои собственные значения добавочных оценок (Adder grade). В таблице 1 показаны параметры СРТ для получения оценки. Оценка 0 означает отсутствие аномалий, оценки от 1 до 4,82 — очень незначительные или легкие сенсорные нарушения, а оценки от 5 до 12 представляют легкую гиперестезию до анестезии.

| <b>СРТ параметры</b> |               |                |                          |                             |                                   |
|----------------------|---------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| <b>Анализ</b>        | <b>Оценка</b> | <b>Степень</b> | <b>Добавочная оценка</b> | <b>Максимальная степень</b> | <b>Комментарий</b>                |
| Диапазон             | 4             | 10             | 1                        | 12                          | Анестезия                         |
| Диапазон             | 3             | 9              | 0,45                     | 9,9                         | Тяжелая гипоестетизация           |
| Диапазон             | 2             | 8              | 0,41                     | 8,82                        | Умеренная гипоестетизация         |
| Диапазон             | 1             | 7              | 0,37                     | 7,74                        | Легкая гипоестетизация            |
| Диапазон             | -2            | 6              | 0,31                     | 6,62                        | Умеренная гиперестезия            |
| Диапазон             | -1            | 5              | 0,27                     | 5,54                        | Легкая гиперестезия               |
| W/S соотношение      | 2             | 4              | 0,41                     | 4,82                        | Легкая сенсорная дисфункция       |
| W/S соотношение      | 1             | 7              | 0,35                     | 3,7                         | Очень легкая сенсорная дисфункция |

|                    |                            |   |      |      |   |
|--------------------|----------------------------|---|------|------|---|
| В/S<br>соотношение | 2                          | 2 | 0,39 | 2,78 | Незначительная<br>сенсорная<br>дисфункция |
| В/S<br>соотношение | 1                          | 1 | 0,33 | 1,66 | Минимальная<br>сенсорная<br>дисфункция    |
| Все                | Нет аномальных показателей |   |      |      |   |

Клиническая популяция данного исследования состояла из пациентов, страдающих хронической дисфункцией в среднем на протяжении 17,2 месяцев. Эти пациенты не реагировали на различные формы консервативного лечения, включая постельный режим, тракцию, физиотерапию, медикаменты, хиропрактику и инъекции. Затем эта группа пациентов получила терапию VAX-D, и оценка СРТ (порог восприятия тока) была проведена до и после лечения VAX-D.

Терапевтический стол VAX-D обеспечивает контролируемое усилие distraction для поясничного отдела позвоночника с уникальной для этого медицинского устройства функцией управления энергией во времени, снижая внутридисковое давление до отрицательных значений (давление снижается до минимума -150 мм рт. ст.). Стол был специально разработан с этой целью. Андерссон провел обзор всех устройств для тракции и пришел к выводу, что ни одно из них не снижало внутридисковое давление до отрицательных значений; фактически, некоторые устройства даже увеличивали внутридисковое давление (21). Показаниями для использования VAX-D являются боли в нижней части спины с или без радикулярных симптомов, сохраняющиеся в течение 8 недель или более.

Пациенты с болью в спине, связанной с опухолью, инфекцией, остеопорозом, билатеральными дефектами pars interarticularis, спондилолистезом II степени, наличием хирургических имплантатов и синдромом кауда эквина, не считаются кандидатами для терапии VAX-D. Пациенты с выраженным латеральным стенозом или центральным стенозом также не являются идеальными кандидатами для терапии VAX-D, поскольку эти состояния представляют собой другой патологический процесс. Пациенты с синдромом неудачной спинальной операции или после спондилодеза могут быть пролечены с помощью VAX-D.

### СРТ оценки и категории

| Patient | Pre VAX-D Score | Pre VAX-D Score | Pre VAX-D Score | Pre VAX-D Grade | Post VAX-D Score | Post VAX-D Score | Post VAX-D Score | Post VAX-D Grade |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|         | 2KHz            | 250HZ           | 5HZ             |                 | 2KHz             | 250HZ            | 5HZ              |                  |
| 1       | -2              | -2              | -1              | 6.58            | -2               | -1               | 0                | 6.27             |
| 2       | 4               | 0               | 0               | 10 0            | 0                | 0                | 0                |                  |
| 3       | -1              | 0               | 0               | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 4       | 0               | -2              | 0               | 6 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 5       | -1              | -1              | 0               | 5.27            | -1               | 0                | 0                | 5                |
| 6       | 0               | 0               | -1              | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 7       | 4               | 4               | 0               | 11 0            | 0                | 0                | 0                |                  |
| 8       | -1              | 0               | 0               | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 9       | 4               | 0               | 0               | 10 0            | 0                | 0                | 0                |                  |
| 10      | -2              | -2              | -1              | 6.58            | 0                | 0                | 0                | 0                |
| 11      | -1              | -0              | 0               | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 11      | -1              | -1              | 0               | 5.27            | -1               | 0                | 0                | 5                |
| 11      | 0               | -1              | 0               | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 12      | -2              | -2              | -1              | 6.58            | -2               | -2               | -1               | 6.58             |
| 13      | -2              | -2              | 0               | 6.31            | 0                | 0                | 0                | 0                |
| 14      | 0               | -0              | -1              | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |
| 15      | -2              | -2              | -1              | 6.58            | -2               | -1               | 0                | 6.27             |
| 15      | -2              | -2              | 0               | 6.31            | 1                | -1               | 0                | 5.27             |
| 16      | 0               | -2              | -1              | 6.27            | 0                | 0                | 0                | 0                |
| 16      | -2              | -2              | 0               | 6.31            | -2               | -2               | -1               | 6.58             |
| 16      | -2              | 0               | 0               | 6 0             | -1               | 0                | 5                |                  |
| 17      | 0               | 0               | -1              | 5 0             | 0                | 0                | 0                |                  |

Все программы упражнений и сеансы физиотерапии прекращаются, как только пациент начинает терапию VAX-D. Пациенты, принимающие лекарства (НПВП, ненаркотические и наркотические препараты), могли продолжать принимать свои медикаменты. Пациенты в этом исследовании получали лечение 3–5 раз в неделю, в среднем проходя 23 сеанса лечения.

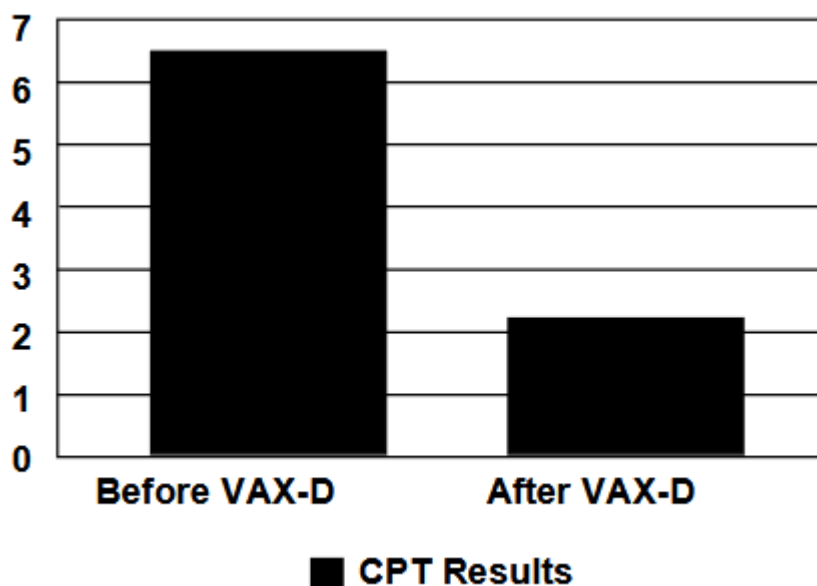


График иллюстрирует средние показатели нейрометрии до и после терапии VAX-D у всех 17 пациентов. Разница была статистически значимой при  $p < 0,05$ .

## Результаты

В исследовании приняли участие 13 мужчин и 4 женщины. Средний возраст составил 40,8 года, а средняя продолжительность симптомов — 17,2 месяца. У трех пациентов наблюдалось многоуровневое поражение. Показатели СРТ варьировались от 5 (легкая гиперестезия) до 11 (анестезия) до начала терапии VAX-D. Результаты после терапии VAX-D были следующими: 14/22 нервов (64%) вернулись к нормальной функции, 6/22 (27%) показали улучшение, 1/22 (4,5%) не продемонстрировал улучшений, и 1/22 (4,5%) показал ухудшение (Таблица 2).

Девяносто один процент (91%) пациентов продемонстрировали улучшение неврологической функции, измеренное с помощью нейрометра СРТ после терапии VAX-D. Средний балл по нейрометру до лечения составил 6,36, а после лечения — 2,09. Общее улучшение составило 67%, что является статистически значимым при  $p < 0,05$ . Шестьдесят четыре процента (64%) пациентов достигли полного восстановления неврологической функции.

## Обсуждение

Данные этого исследования демонстрируют, что терапевтический стол VAX-D способен влиять на дисфункцию сенсорных нервов позвоночника,

вызванную компрессивной радикулопатией. Аномалии наблюдались в следующих типах волокон: 16/22 нервов показали нарушения в крупных миелинизированных волокнах, 13/22 — в малых миелинизированных волокнах, и 8/22 — в малых немиелинизированных волокнах. Эти волокна являются основной субпопуляцией сенсорных нервных волокон, обеспечивающих иннервацию тестовых участков, измеренных в этом исследовании.

Механизмы, ответственные за признаки и симптомы ишиаса, сложны и полностью не изучены. Хотя компрессия нерва или корешка нерва является постоянным признаком ишиаса, сама по себе компрессия не объясняет всю наблюдаемую симптоматику. Многие исследования, предоставившие данные о влиянии компрессии, проводились на периферических нервах. Между периферическими нервами и спинномозговыми корешками существуют анатомические различия, которые делают спинномозговые корешки более уязвимыми к компрессии.

Спинномозговой нерв имеет как внутриоболочечную (интратекальную), так и внеоболочечную (экстратекальную) часть. Интратекальная часть окружена цереброспинальной жидкостью (ЦСЖ), которая обеспечивает некоторую защиту от компрессии. Экстратекальная часть имеет очень мало поддерживающей коллагеновой ткани, что делает волокна восприимчивыми к воздействию компрессии. В сравнении с этим, периферические нервные волокна имеют большое количество поддерживающей коллагеновой ткани, которая обеспечивает им некоторую защиту от компрессии.

Компрессия периферического нерва не вызывает боли, если нерв предварительно не был раздражен. Компрессия дорзального корешкового ганглия (DRG) может привести к боли. Райдевик сравнил дорзальный корешковый ганглий с синдромом закрытого компартмента при механической деформации. DRG имеет богатое кровоснабжение и плотную капсулу. Компрессия приводит к отеку и кровоизлиянию в эндоневральное пространство, что вызывает повышение давления интерстициальной жидкости и снижение кровоснабжения сенсорных нервных клеток в DRG (36). DRG способен действовать как нейромодулятор боли через высвобождение вещества P, пептида, связанного с геном кальцитонина, и, возможно, других химических медиаторов.

Компрессионная сила и скорость ее возникновения являются важными факторами, приводящими к дисфункции нерва. Олмаркер сообщил, что быстрое начало компрессии вызывает более выраженное воздействие как в отношении внутриневрального отека, так и нарушения питания корешков нервов, чем медленное начало. Компрессионные силы, оказываемые грыжей диска, могут достигать 400 мм рт. ст.



Нарушение кровообращения долгое время рассматривалось как привлекательная теория для объяснения эффектов компрессии. Райдевик показал, что при медленной компрессии нерва первыми страдают венулы, затем капилляры, и, наконец, артериолы. В животной модели это происходило при давлении 30 мм рт. ст. Исследования компрессии на кауда эквина свиней показали, что электрофизиологические изменения происходят при 30 мм рт. ст., то есть при том же давлении, которое вызывает сосудистые нарушения.

Если компрессионная сила достаточно велика или возникает быстро, она может вызвать значительное нарушение питания корешков нервов и периферических нервов. Основная поддержка питания осуществляется через артериальное русло, а вторичная — через цереброспинальную жидкость. Нарушение артериального русла может быть частично компенсировано продолжающимся питанием через цереброспинальную жидкость. Если компрессия затрагивает спинномозговой корешок проксимальнее дорзального корешкового ганглия, обе системы поддержки нарушаются, и диффузия метаболитов и механизмы питания значительно снижаются.

Механизм, с помощью которого терапевтический стол VAX-D достигает декомпрессии, связан со снижением внутридискового давления. Возможно, ответственны как прямой механический эффект, так и биохимический эффект. Снижение внутридискового давления может позволить грыже втянуться обратно. Возможное срезающее воздействие, которое прерывает связь грыжи с центральным ядром, учитывая расположение фиброзных колец, вероятно, имеет место при экструзии грыж. Это исследование показывает, что дистракция позвоночных структур с помощью VAX-D также снижает компрессию спинномозговых корешков.

Воспаление и воспалительная реакция, вероятно, играют важную роль в возникновении некоторых симптомов, связанных с ишиасом. Пульпозное ядро демонстрирует воспалительные свойства и способно вызывать иммунную реакцию. Саал документально подтвердил повышенные уровни фосфолипазы A2 в тканях грыж дисков. Фосфолипаза A2 является предшественником арахидоновой кислоты, которая отвечает за производство воспалительных простагландинов и лейкотриенов. Изменения в метаболизме диска могут частично быть ответственны за воспаление. Центральная часть диска испытывает дефицит кислорода, существует крутой градиент концентрации кислорода через диск, причем концентрации в периферической части в 20–30 раз выше. В центральной части пульпозного ядра были измерены высокие уровни лактата. Высокие уровни лактата могут быть ответственны за активацию разрушительных протеолитических ферментов и запуск воспалительной каскадной реакции. Поскольку повышенное внутридисковое давление негативно влияет на диффузионный градиент, диффузия питательных веществ и кислорода к диску нарушается, и преобладает анаэробный метаболизм. Анаэробный метаболизм негативно влияет на

способность всех тканей к заживлению и восстановлению. Значительно снижая внутридисковое давление, терапевтический стол VAX-D создает диффузионный градиент, улучшающий доставку питательных веществ и кислорода к диску, страдающему от недостатка кислорода, создавая аэробную среду, усиливая восстановление и, возможно, прерывая воспалительный цикл.

## **Выводы**

Четырнадцать из двадцати двух периферических нервов (64%), демонстрировавших аномальную дисфункцию, вызванную компрессивной радикулопатией, вернулись к нормальной функции после курса терапии VAX-D. Данные этого исследования подразумевают, что терапия VAX-D способна влиять на сенсорную нервную дисфункцию, связанную с компрессивной радикулопатией. Моторная дисфункция восстанавливается раньше, чем сенсорная, при компрессивных радикулопатиях, поэтому весьма примечательно, что мы наблюдали полную "ремиссию" в 64% случаев с сенсорной дисфункцией. Возможно, снижение внутридискового давления с помощью VAX-D значительно изменяет биомеханику и биохимию диска и нервного корешка.

Автор осознает недостатки нерандомизированного ретроспективного анализа, каковым является это исследование. В попытке минимизировать смещение отбора пациенты, о которых сообщается в этом исследовании, были однородны по продолжительности терапии, физическим находкам, симптоматике и результатам визуализации. Кроме того, конечный результат был объективной мерой, которая не могла быть подвержена влиянию субъективных или других внешних факторов.

Целью данного исследования было сделать любые наблюдения о сенсорной нервной дисфункции, связанной с терапией VAX-D. Результаты лечения пациентов не измерялись, хотя большинство пациентов сообщили о субъективном облегчении боли. Дальнейшие исследования, изучающие влияние терапии VAX-D на сенсорные и моторные дисфункции, рекомендуются.

## Список литературы

- 1 Spangfort E, The lumbar disc herniation: A computer-aided analysis of 2,504 operations. *Acta Orthop Scan (Suppi)* 1972;142:5-95.
2. Weber H. Lumbar disc herniation. A controlled prospective study with ten years of observation. *Spine* 1983;2:131-9.
3. Hakelius A. Prognosis in sciatica. *Act Orthop Scand (Suppi)* 1970; 129:1-76.
4. Saal JA, Saal JS, Herzog R. The natural history of lumbar intervertebral disc extrusions treated non operatively. *Spine* 1990;683-86.
5. Saal JA, Saal JS. Non operative treatment of herniated lumbar intervertebral disc with radiculopathy. An outcome study. *Spine* 1989; 14:43 1-3 7.
6. Bush K, Cowen N, Kaatz D, Gishen P. The natural history of sciatica associated with disc pathology. *Spine* 1992;17:1205-1212.
7. Gose E, Naguszewski W, Naguszewski R. Vertebral axial decompression therapy for pain associated with herniated or degenerated discs or facet syndrome: An outcome study. *J Neurological Research* 1998;20:186-190.
8. Ramos G, Martin W. Effects of vertebral axial decompression on intradiscal pressure. *J Neurosurg* 1994;81:350-53.
9. Bromm B, Trede RD. Withdrawal reflex, skin resistance and pain ratings due to electrical stimuli in man. *Pain* 1980;9:339- 354.
10. Conomy JP, Barnes KL. Quantitative assessment of cutaneous sensory function in subjects with neurologic disease. *J Neural Sci* 1976;30:221-233.
11. Conomy JP, Barnes KL, Cruse RP. Quantitative cutaneous sensory testing in children and adolescents. *Cleveland Clinic Quartely* 1977;45:197-206.
12. Conomy JP, Barnes KL, Conomy JM. Cutaneous sensory function in diabetes mellitus. *J of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 1970;42:656-661.
13. Chochinov RH, Ulliyot GLE, Moorhouse JNA. Sensory perception thresholds in patients with juvenile diabetes and their close relatives. *The NEJM* 1972;286(23):1233-1237.
14. Droste C, Kardos A, Brody S, Greenleaf MW, Roskamm H, Rau H. Baroreceptor stimulation: pain perception and sensory thresholds. *Biol Psychol* 1994;37(2):100-113.

15. Katims JJ, Roubelas P, Sadler B, Wesely SA. Current perception threshold: Reproducibility and comparison with nerve conduction in evaluation of carpal tunnel syndrome. *Transactions of the American Society of Artificial Internal Organs* 1989;35:280-84.
16. Katims JJ, Naviasky E, Ng LKY, Bleecker ML, Rendell M.: Constant current sine wave transcutaneous nerve stimulation for evaluation of peripheral neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1987;68:210-213.
17. Katim JJ; Patil A, Rendell M, Rouvelas P, Sadler B, Weseley SA, Blecker ML. Current perception threshold screening for carpal tunnel syndrome. *Archives of Environmental Health* 1991;46(4):207-212.
18. Masson EA, Fernando D, Vees A, Boulton AJM. A critical independent evaluation of the Neurometer CPT in the assessment of diabetic peripheral neuropathy. *Diabetes* 1989;(suppl 20) 38:511.
19. Masson EA, Vees A, Fernando D, Boulton AJM. 'Current perception thresholds: A new quick and reproducible method for the assessment of peripheral neuropathy in diabetes mellitus. *Diabetologia* 1989;32:724-728.9
20. Notermans SLH. Measurement of the pain threshold determined by electrical stimulation and its clinical application. Part 1. Methods and factors possibly influencing the pain threshold. *Neurology* 1966;16:1071-1086.
- 21 Notermans SLH. Measurement of the pain threshold determined by electrical stimulation and its clinical application. Part 11. Clinical application in neurological and neurosurgical patients. *Neurology* 1967;17:58-73.
22. Liu S, Gerancher JC, Bainton D, Kopacz DJ, Carpenter RL. Effects of electrical stimulation at different frequencies on perception and pain in human volunteers: epidural versus intravenous administration of fentanyl. *Anesthesia and Analgesia*. 1996;82:98-102.
23. Andersson GBJ, Schultz AB, Nachemson AL. Intervertebral disc pressures during traction. *Scan J Rehabil Suppi* 1983;9:88-91.
24. Garfin SR, Rydevik B, Lind B, Masie J. Spinal nerve root compression. *Spine* 1995;20:1810-1820.
25. Rydevik B, Hansson TH, Garfin SR. Pathophysiology of cauda equina compression. *Seminars in Spine Surgery* 1989;1:1139-42.
26. Kuslich SD, Ulstrom CL, Michael CJ. The tissue origin of low back pain and sciatica: A report of pain response to tissue stimulation during operation on the lumbar spine using local anesthesia. *Orthop Clin North Am* 191;22:181-7.

27. Rydevik B, Myers R, Powell H. Pressure increase in the dorsal root ganglion following mechanical compression. Closed compartment syndrome in nerve roots. *Spine* 1989;14:574-76.
28. Weinstein JN. Mechanism of spinal pain. The dorsal root ganglion and its role as a mediator of low back pain. *Spine* 1986;11: 999-1001.
29. Olmarker K, Holm S, Rydevik B. Importance of compression onset rate for the degree of impairment of impulse propagation in experimental compression of the porcine cauda equina. *Spine* 1990;416-9.
30. Olmarker K, Holm S, Rydevik B. More pronounced effects of double level compression than single compression on impulse propagation in the porcine cauda equina. Presentation, International Society for the Study of the Lumbar Spine, Boston, MA, June 1-17, 1990.
31. Olmarker K, Rydevik B. Single versus double level nerve root compression: An experimental study on the porcine cauda equina with analysis of nerve impulse conduction properties. *Clin Orthop* 1992;279:35-9.
32. Olmarker K, Rydevik B, Hansson T, et al. Compression induced changes of the nutritional supply to the porcine cauda equina. *J Spinal Disord* 1990;3:25-9.
33. Olmarker K, Rydevik B, Holm S. Edema formation in spinal nerve roots induced by experimental, graded compression. An experimental study of the pig cauda equina with final reference to differences in effects between rapid and slow onset of compression. *Spine* 1989;14:569-73.
34. Rydevik B, Lundborg G. Permeability of intraneural microvessels and perineurium following acute, graded, experimental nerve compression. *Scan J Plast Surg* 1977; 1 1: 179-87.
35. Cornfjord M, Takahashi K, Matsui H, et al. Impairment of nutritional transport at double level cauda equina compression. *Clin Orthop* 1992; 1 3:107-12.
36. Rydevik B, Brown M, Lundborg G. Pathoanatomy and pathophysiology of nerve root compression. *Spine* 1984;9:7- 15.10
37. Rydevik B, Holm S, Brown MD et al. Diffusion from the cerebrospinal fluid as a nutritional pathway for spinal nerve roots. *Acta Physiol Scan* 1990;138:247-8.
38. Takahashi K, Olmarker K, Holm S, et al. Double level cauda equina compression. An experimental study with continuous monitoring of intraneural blood flow in the porcine cauda equina. *J Orthop Res* 1993; 1 1: 1 04-9.

39. McCarran F, Wimp AM, Huskiness PG., Lairs GS. The inflammatory effect of nucleus pulposus. A possible element in the pathogenesis of low back pain. Spine 1987;12:760-764.
40. Olmarker K, Rydevik B, Nordborg C. Autologous nucleus pulposus induces neurophysiologic and histologic changes in porcine cauda equina nerve roots. Spine 1993;18:1425-32.
41. Olmarker K, Blomquist J, Stromber J, Nannmark U, Thomsen P, Rydevik B. Inflammation properties of the nucleus pulposus. Spine 1995;20:665-69.
42. Saal JS. The role of inflammation in lumbar pain. Spine 1995;20:1821-27.
43. Saal JA, Dobrow R, Saal JF, White A, Goldwaite N. High levels of inflammatory phospholipase A2 activity in lumbar disc herniations. Spine 1990;15:674-678.
44. Frymoyer J. The Adult Spine. Principles and Practice Volume 1, Raven Press, New York, 1991.

Оригинал статъи:

[https://www.antalgictrak.com/wp-content/uploads/2024/11/The Effects of Vertebral Axial Decompression On-1.pdf](https://www.antalgictrak.com/wp-content/uploads/2024/11/The_Effects_of_Vertebral_Axial-Decompression_On-1.pdf)