

УДК 617.3

3.1.8 Травматология и ортопедия

DOI: 10.37903/vsgma.2024.3.17 EDN: MUKFLN

НЕЙРО-МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАЦИЕНТОВ С КИФОТИЧЕСКИМИ И СКОЛИОТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ПОЗВОНОЧНИКА, АССОЦИИРОВАННЫМИ С КОМПРЕССИЕЙ СПИННОГО МОЗГ**© Назаренко А.Г., Крупаткин А.И., Кулешов А.А., Милица И.М., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н.***Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10**Резюме*

Цель. Изучить особенности нейро-микроциркуляторных взаимосвязей у пациентов с кифосколиозом, ассоциированным с компрессией спинного мозга, до и после оперативного лечения.

Методика. В НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова были обследованы с использованием метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с последующим вейвлет-анализом и прооперированы 20 пациентов с деформациями позвоночника, ассоциированными с неврологическим дефицитом различной степени выраженности. Проводилась декомпрессия позвоночного канала и коррекция деформации. ЛДФ выполнялась до операции, на 1-2 неделе после операции, а также на контрольном осмотре через 3-6 и 6-12 месяцев; и более 1 года после операции. Проведен статистический анализ показателей микроциркуляции.

Результаты. После операции возрастала и поддерживалась активность трофотропных сенсорных пептидергических нервных волокон, величины перфузии микроциркуляторного русла, начиная с раннего послеоперационного периода. Эрготропная симпатическая адренергическая активация достоверно снижалась в период 6-12 месяцев после операции. Максимальная мобилизация трофотропных нейрогенных механизмов саногенеза отмечалась в период 6-12 месяцев после операции.

Заключение. Использование метода лазерной доплеровской флоуметрии со спектральным вейвлет-анализом колебаний кровотока позволяет оценить функциональное состояние тонких немиелинизированных нервных волокон и объективизировать динамику восстановительных процессов у пациентов с кифосколиотическими деформациями позвоночника, ассоциированными с компрессией спинного мозга.

Ключевые слова: кифоз, сколиоз, неврологический дефицит, лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляция, вейвлет-анализ

NEURO-MICROCIRCULATORY INTERRELATIONSHIPS IN PATIENTS WITH KYPHOSCOLIOSIS ASSOCIATED WITH NEUROLOGICAL DEFICITS**Nazarenko A.G., Krupatkin A.I., Kuleshov A.A., Militsa I.M., Vetrile M.S., Lisyansky I.N., Makarov S.N.***N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10, Priorova St., 127299, Moscow, Russia**Abstract*

Objective. To study the features of neuro-microcirculatory relationships in patients with kyphoscoliosis associated with spinal cord compression before and after surgical treatment.

Methods. At the N.N. Priorov NMIC, 20 patients with spinal deformities associated with neurological deficits of varying severity were examined using laser Doppler flowmetry (LDF) followed by wavelet analysis and operated on. Decompression of the spinal canal and correction of deformity were performed. LDF was performed before surgery, 1-2 weeks after surgery, as well as at a follow-up examination 3-6 and 6-12 months later; and more than 1 year after surgery. A statistical analysis of microcirculation parameters was carried out.

Results. After surgery, the activity of trophotropic sensory peptidergic nerve fibers and the amount of perfusion of the microcirculatory bed increased and was maintained, starting from the early postoperative

period. Ergotropic sympathetic adrenergic activity significantly decreased in the period 6-12 months after surgery. The maximum mobilization of trophotropic neurogenic mechanisms of sanogenesis was observed in the period 6-12 months after surgery.

Conclusion. The use of laser Doppler flowmetry with spectral wavelet analysis of blood flow fluctuations makes it possible to assess the functional state of thin unmyelinated nerve fibers and objectify the dynamics of recovery processes in patients with kyphoscoliotic spinal deformities associated with spinal cord compression.

Keywords: kyphosis, scoliosis, neurological deficit, laser Doppler flowmetry, microcirculation, wavelet analysis

Введение

Естественное течение деформаций позвоночника таких, как кифоз и сколиоз, может приводить к стенозу позвоночного канала и в дальнейшем к компрессии сосудисто-нервных структур, в том числе спинного мозга. Методы визуализации, связанные с лучевой клинико-анатомической диагностикой [7], не дают количественных характеристик степени поражения и восстановления функции спинного мозга, а значит, оценки динамики неврологического статуса. В тоже время при стенозе может меняться весь функциональный спектр диагностических неврологических параметров – как состояния миелинизированных волокон типа А, так и тонких немиелинизированных С волокон. Миелинизированные структуры связаны с выполнением специфических функций – движений и преимущественно глубокой чувствительности. Немиелинизированные симпатические и тонкие сенсорные волокна участвуют в реализации процессов адаптации, трофики, формировании программ пато- и саногенеза, болевых систем. Симпатическая активность сопутствует дистрофическим процессам, а реализация восстановительных процессов, саногенеза и выздоровления требует усиления функционального вклада сенсорных пептидергических нервных волокон [3, 7]. Для оценки миелинизированных структур, в том числе при стенозирующих процессах позвоночника, применяются методы электронейромиографии (ЭНМГ) с определением наиболее диагностически значимых показателей – амплитуды потенциалов действия, параметров моторного и сенсорного ответа, скорости проведения импульса и F-волны [8], а также вызванных потенциалов (соматосенсорных, когнитивных и др.) [5, 10]. Однако состояние тонких немиелинизированных и маломиелинизированных волокон практически не изучено; это связано в том числе с тем, что из-за низкой скорости проведения они не доступны для традиционного ЭНМГ-исследования. Тонкие волокна в конечностях представлены симпатическими вегетативными постганглионарными С-волоконками (вазомоторными, в меньшем количестве потовыделительными и др.) и сенсорными А-дельта и С-волоконками болевой и температурной чувствительности (сенсорная функция, а также собственно трофическая функция, связанная с секрецией нейропептидов). Парасимпатическая иннервация практически отсутствует в тканях конечностей. В вертебурологии имеются единичные работы, исследующие функцию тонких нервных волокон. Например, с помощью метода термографии показана диагностическая роль сомато-симпатического рефлекса при дископатиях поясничного отдела позвоночника [2, 6].

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) со спектральным вейвлет-анализом колебаний кровотока является неинвазивным методом оценки микроциркуляции, который получил широкое распространение [1, 3, 4, 6, 9]. В амплитудно-частотном вейвлет-спектре ЛДФ записей микрогемодинамических сигналов выявлено несколько характерных частотных интервалов в диапазоне от 0,005 до 2 Гц, каждый из которых связан со специфическим физиологическим воздействием, модулирующим состояние микроциркуляции кожи. Это обеспечивает уникальные возможности для неинвазивной оценки регуляции микроциркуляторно-тканевых систем. Среди них выделяют активные тонус-формирующие влияния (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные) и пассивные, обусловленные изменением давления в микрососудах (кардиальные и дыхательные веноулярные) [6, 8]. Благодаря тому, что тонус-формирующие диапазоны 0,02-0,046 Гц и 0,047-0,069 Гц связаны, соответственно, с симпатическими вазомоторными адренергическими и сенсорными пептидергическими влияниями на микрососуды, имеется возможность неинвазивной диагностики функционального состояния вазомоторной симпатической и сенсорной пептидергической иннервации [6, 8]. Впервые эта методика предложена в 2004 году [2, 9]. При анализе спектра колебаний перфузии микрососудов учитывают, что симпатические адренергические влияния и сопутствующие им ангиоспастические проявления являются эрготропными, а сенсорные пептидергические, миогенные и эндотелиальные влияния – трофотропными. Доминирование эрготропных факторов связано с дегенеративно-дистрофическими процессами, а преобладание

трофотропных компонентов регуляции микроциркуляторно-тканевых систем сопутствует регенерации и восстановительным процессам [1, 7]. Известно, что микроциркуляторно-тканевые системы одними из первых реагируют на начало саногенеза, в связи с чем использование показателей ЛДФ с вейвлет-анализом колебаний кровотока до и после операций на позвоночнике перспективно для раннего выявления вектора функциональной динамики [6, 9].

Целью работы явилось исследование особенностей нейро-микроциркуляторных взаимосвязей у пациентов с кифосколиозом, ассоциированным с неврологическим дефицитом, до и после оперативного лечения.

Методика

В НИИЦ ТО им. Н.Н. Приорова были обследованы с использованием метода ЛДФ и прооперированы 20 пациентов с деформациями позвоночника, ассоциированными с неврологическим дефицитом различной степени выраженности. Из них 17 пациентов до 18 лет ($13,9 \pm 2,6$ лет), взрослые – 3 пациента. В группе детского возраста: 10 случаев с идиопатическим кифосколиозом 4 ст. с неврологическим статусом Frankel C (7 пациента) и D (3 пациента); 7 пациентов с кифозом груднопоясничного отдела позвоночника, развившимся на фоне гипоплазии тел Th12-L1 позвонков. У данной группы пациентов присутствовал стеноз позвоночного канала $54,1\% \pm 19,1\%$, оцениваемый по данным КТ-миелографии вершины деформации в сагиттальной плоскости. Пациенты взрослого возраста наблюдались с кифотической деформацией грудного и груднопоясничного отдела позвоночника. По данным обследований выявлен стеноз позвоночного канала $53,3\% \pm 16,4$. В неврологическом статусе - Frankel C (2 пациента) и Frankel D.

Инструментальная коррекция и фиксация деформации без прямой декомпрессии позвоночного канала проведена у 7 пациентов. Двухэтапное оперативное лечение проведено у 10 пациентов в объеме дорсальной стабилизации деформации позвоночника и передней декомпрессии позвоночного канала. Заднебоковая декомпрессия позвоночного канала выполнена у 3 пациентов.

Обследование пациентов проводилось до операции, через 1-2 недели после операции после регресса острого послеоперационного болевого синдрома, через 3-6 месяцев, 6-12 месяцев, более года после операции. Объем исследования включал в себя: общий осмотр с подробной оценкой неврологического статуса, лучевую диагностику (постуральные рентгенограммы позвоночника, КТ и МРТ позвоночника с оценкой стеноза позвоночного канала). Пациентам с грубыми кифосколиотическими деформациями проводилась КТ-миелография с последующим проектированием индивидуальных полноразмерных 3D моделей позвоночника и миелорадикулярных структур из пластика. На всех сроках обследования была проведена ЛДФ с вейвлет-анализом (рис. 2, 3 и 4).

Исследование перфузии с определением среднего показателя микроциркуляции (М, в перфузионных единицах, п.е.) проводилось на уровне подушечки дистальной фаланги большого пальца стопы с использованием двухканального аппарата ЛАКК-02 с полупроводниковым лазером (зондирование в красном КР и инфракрасном ИК-каналах) [6, 9]. Полученные результаты ЛДФ обрабатывались методом спектрального амплитудно-частотного вейвлет-анализа для характеристики факторов регуляции микроциркуляции в диапазонах симпатической адренергической регуляции (0,02-0,046 Гц), сенсорных пептидергических влияний (0,047-0,069 Гц), миогенных осцилляций (0,07-0,145 Гц). Определялась нормированная по среднеквадратичному отклонению (σ) максимальная средняя амплитуда осцилляций в каждом из диапазонов по формуле A/σ , где А – величина амплитуды в п.е. согласно ранее описанной методике [6, 9]. (Рис. 2, 3 и 4).

Статистическую обработку проводили с помощью программы «Biostat 4.03», для сравнения двух выборок использовали критерий Манна– Уитни. Количественные данные представлялись как среднее значение \pm стандартное отклонение.

Результаты исследования

После проведенного оперативного лечения у пациентов после операции относительная величина стеноза позвоночного канала составила $27,5\% \pm 14,7\%$ (до операции $54,1\% \pm 19,1\%$). В динамике у 8 пациентов с неврологическим статусом Frankel C – в виде нижнего смешанного глубокого парализа, выявлена положительная динамика до Frankel D. Из 12 пациентов с дооперационным неврологическим статусом Frankel D., у 7 пациентов динамики неврологического дефицита не

выявлено; у 5 пациентов отмечался регресс неврологических расстройств до Frankel E. Результаты хирургического лечения пациентов расценены как хорошие. У 13 пациентов (65%) выявлен регресс неврологического дефицита в период наблюдения 3-6 месяцев после операции. Дельта коррекции деформации у данной группы пациентов составила $29,3\% \pm 12,1\%$. Результаты исследования методом ЛДФ проиллюстрированы на рис. 1 и таблице.

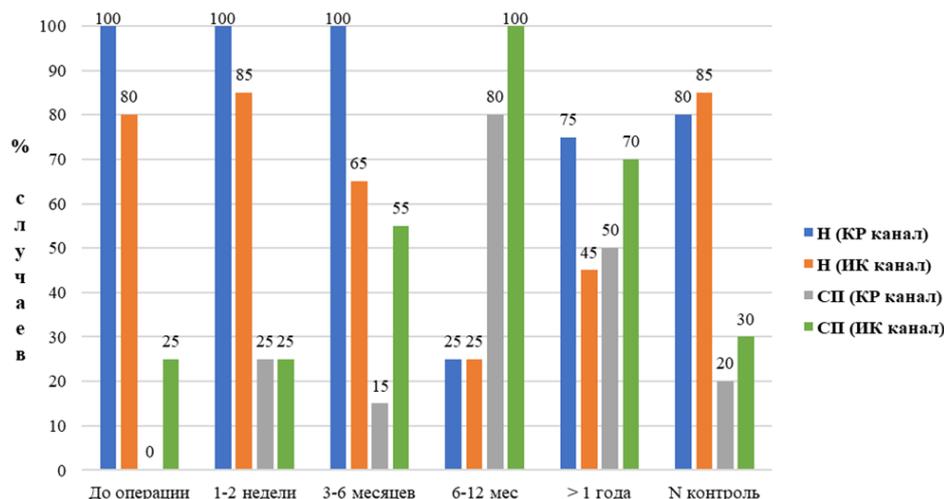


Рис. 1. Частота представленности (в %) активности симпатической адренергической (Н) и сенсорной пептидергической (СП) регуляции микрососудов в вейвлет-спектре колебаний кровотока

Таблица. Показатели ЛДФ до и после оперативного лечения

| Интервал обследования | Ан./σ КР | Ан./σ ИК | Асп./σ КР | Асп./σ ИК | Ам./σ КР | Ам./σ ИК | М, п.е. КР | М, п.е. ИК |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| До операции | 0,45±0,12 | 0,53±0,11 | | 0,38±0,08 | 0,38±0,04 | 0,24±0,03 | 1,1±0,07 | 11,7±1,1 |
| 1-2 нед. после операции | 0,4±0,2 | 0,64±0,04* | 0,57±0,12* | 0,53±0,05* | 0,41±0,09 | 0,3±0,08 | 2,3±0,05* | 10±1,5 |
| 3-6 мес. после операции | 0,6±0,1 | 0,65±0,06* | 0,41±0,08* | 0,54±0,04* | 0,39±0,07 | 0,19±0,1 | 2,34±0,04* | 13±1,4 |
| 6-12 мес. после операции | 0,37±0,07* | 0,44±0,06* | 0,47±0,11* | 0,43±0,04* | 0,43±0,03* | 0,28±0,05 | 5,4±0,09* | 13±2,3 |
| Более 1 года после операции | 0,45±0,15 | 0,5±0,12 | 0,32±0,07* | 0,54±0,12* | 0,35±0,1 | 0,34±0,04* | 7,2±1,1* | 18,7±1,5* |
| Контроль (n=20) | 0,4±0,09 | 0,48±0,1 | 0,27±0,1 | 0,29±0,1 | 0,45±0,07 | 0,4±0,03 | 5,1±0,09 | 11,8±1,3 |

* $p < 0,05$ для данных в динамике после операции по сравнению с результатами до операции

Примеры записи вейвлет-спектра колебаний кровотока представлены на рисунках 2-4.

Как следует из представленных данных, в процессе послеоперационного восстановления отмечалась отчетливая динамика функционального состояния тонких нервных волокон (гистограмма). В условиях физиологического покоя у здоровых лиц (контрольная группа) преобладала представленность симпатической адренергической регуляции, тогда как трофотропная сенсорная пептидергическая активность обнаруживалась в вейвлет-спектре не более чем в 30% случаев. У пациентов в дооперационном периоде это распределение сохранялось, но в прекапиллярных микрососудах (записи КР канала) сенсорная пептидергическая регуляция не была выявлена в вейвлет-спектре. После операции отмечалась прогрессирующая в динамике смена вектора нервного контроля микроциркуляторно-тканевых систем – отчетливое возрастание вклада трофотропной сенсорной пептидергической иннервации на фоне снижения представленности эрготропного симпатического адренергического канала регуляции. Наибольший трофотропный вклад наблюдался во временной промежуток 6-12 месяцев после операции, что позволяет расценивать его как наиболее активный восстановительный период.

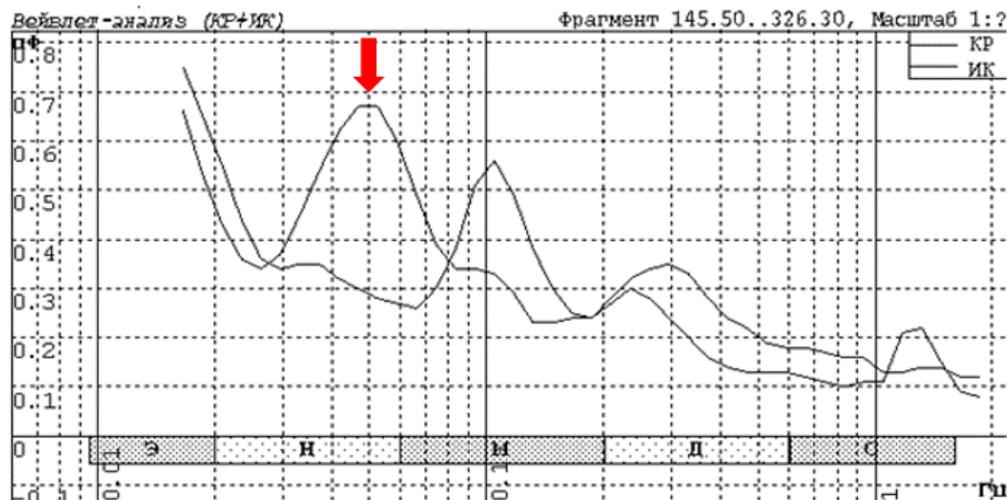


Рис. 2. Пример записи вейвлет-спектра колебаний кровотока по данным ЛДФ до операции. По горизонтали частотные диапазоны в Гц: э (эндотелиальные), н (нейрогенные), м (миогенные), д (дыхательные веноулярные), с (сердечные). По вертикали амплитуда колебаний кровотока в перфузионных единицах. Красная стрелка – активация осцилляций в диапазоне симпатической адренергической регуляции микрососудов в ИК канале. Сенсорная пептидергическая активность не зарегистрирована

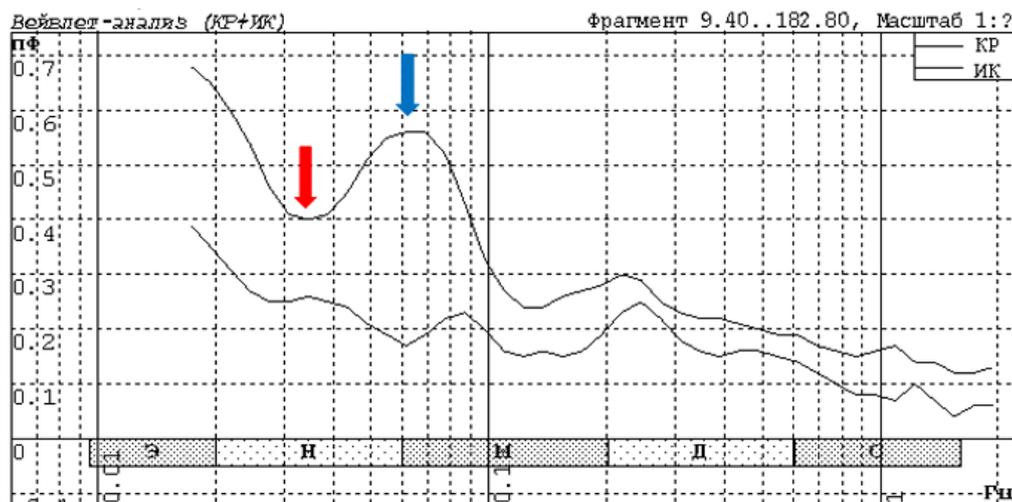


Рис. 3. Пример записи вейвлет-спектра колебаний кровотока по данным ЛДФ через 8 месяцев после операции. По горизонтали частотные диапазоны в Гц: э (эндотелиальные), н (нейрогенные), м (миогенные), д (дыхательные веноулярные), с (сердечные). По вертикали амплитуда колебаний кровотока в перфузионных единицах. Красная стрелка – отсутствие симпатической адренергической активности в ИК канале и выраженное ее снижение в КР канале записи. Синяя стрелка – выраженная активность сенсорной пептидергической регуляции в ИК канале записи.

Интерес представляют количественные показатели состояния микроциркуляции и ее регуляции (табл.). Для дооперационного периода были характерны низкие величины перфузии (М, п.е.) микрососудистого русла в КР канале записи, отражающем преимущественно нутритивный кровоток; отсутствие трофотропных сенсорных пептидергических осцилляций в этом же канале записи; относительно низкие значения амплитуд миогенных колебаний кровотока, связанных с капиллярной перфузией. После операции выявлялась положительная динамика микрососудистых показателей. Значительный прирост демонстрировала величина М, особенно в КР канале записи. Возрастала и поддерживалась активность сенсорных пептидергических нервных волокон, начиная с раннего послеоперационного периода. Симпатическая адренергическая активность достоверно снижалась в период 6-12 месяцев после операции.

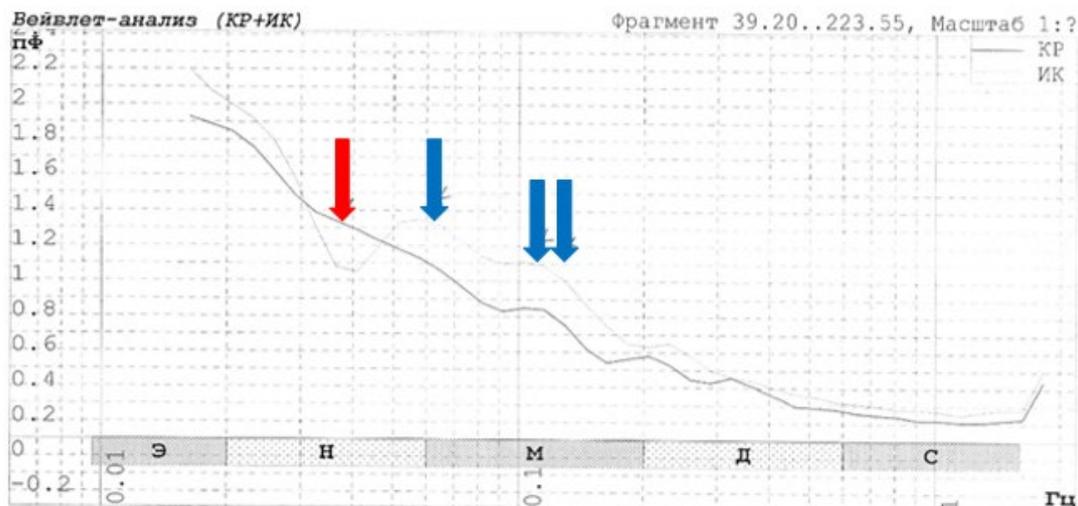


Рис. 4. Пример записи вейвлет-спектра колебаний кровотока по данным ЛДФ через 1,5 года после операции. По горизонтали частотные диапазоны в Гц: э (эндотелиальные), н (нейрогенные), м (миогенные), д (дыхательные веноулярные), с (сердечные). По вертикали амплитуда колебаний кровотока в перфузионных единицах. Красная стрелка – отсутствие симпатической адренергической активности в КР и ИК каналах записи. Синяя стрелка – активация сенсорной пептидергической регуляции в ИК канале записи. Двойная синяя стрелка – синхронизация по частоте миогенной активности в КР и ИК каналах.

Обсуждение результатов исследования

В работе для оценки тонких немиелинизированных нервных волокон использовался метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). ЛДФ широко применяется в современной фундаментальной и клинической медицине для оценки микроциркуляторно-тканевых систем. Например, только одна информационная база PubMed насчитывает около 12000 публикаций по этой тематике в самых разных областях медицины. Преимуществами метода являются неинвазивность, абсолютная безвредность исследований, возможность неограниченного контроля в динамике, а для российских приборов серии ЛАКК — еще и компьютерный количественный анализ записей с применением спектрального вейвлет-анализа колебаний кровотока. Количественный подход позволяет оценить факторы регуляции микроциркуляции, в том числе функциональное состояние участвующих в иннервации микрососудов тонких немиелинизированных нервных волокон – вазомоторных симпатических и сенсорных пептидергических. Это особенно ценно для травматологии и ортопедии, т.к. результаты ЛДФ характеризуют не только чисто сосудистый компонент трофики тканей, реализуемый на уровне микроциркуляции, но и состояние нервного компонента трофики, осуществляемого посредством тонких нервных волокон [3, 6]. Подобная возможность приобретает еще большую значимость в настоящее время в связи с тем, что нейрофизиологическая диагностика в травматологии и ортопедии, в том числе в вертебрологии, основана на электрофизиологическом подходе с оценкой проводимости по миелинизированным нервным волокнам. Однако этот подход не эффективен для диагностики немиелинизированной иннервации.

Выбор в качестве зоны регистрации ЛДФ кожи подошвенной поверхности большого пальца стопы был обусловлен высокой плотностью немиелинизированных волокон, в том числе периваскулярно, в коже подошвенных и ладонных поверхностей у человека [2, 5].

Согласно полученным результатам нарастание вклада трофотропной сенсорной пептидергической регуляции начинает увеличиваться, начиная с 3-6 месяцев после операции, достигает максимума в сроки 6-12 месяцев и несколько снижается, но сохраняется через год и более после хирургического вмешательства. На этом фоне на всех этапах сохраняется участие эрготропного канала регуляции, связанного с симпатическими волокнами, однако их вклад в контроль микроциркуляторно-тканевых систем отчетливо снижался, начиная с 6 месяцев после операции, достигая минимума в период 6-12 месяцев.

Среди количественных параметров микроциркуляции отчетливое прогрессирующее в динамике после операции демонстрировала величина средней перфузии М. В количественном выражении для случаев представленности в вейвлет-спектре активность трофотропного сенсорного пептидергического канала регуляции (величины нормированных амплитуд колебаний кровотока соответствующего генеза) достоверно возростала после операции, а эрготропного симпатического канала (величины амплитуд осцилляций симпатического адренергического генеза) достоверно снижалась только в сроки 6-12 месяцев после операции.

В целом, полученные данные свидетельствуют о достоверном участии тонких нервных волокон в восстановительных процессах после декомпрессивных операций в зоне позвоночного канала и создания анатомических условий для нейрофизиологической репарации на уровне спинного мозга.

Заключение

Использование метода ЛДФ со спектральным вейвлет-анализом колебаний кровотока позволяет объективизировать динамику состояния тонких немиелинизированных нервных волокон и восстановительных процессов у пациентов с кифосколиотическими деформациями позвоночника, ассоциированными с компрессией спинного мозга. После операции возростала и поддерживалась активность трофотропных сенсорных пептидергических нервных волокон, величины перфузии микроциркуляторного русла, начиная с раннего послеоперационного периода. Эрготропная симпатическая адренергическая активность достоверно снижалась в период 6-12 месяцев после операции. Максимальная мобилизация трофотропных нейрогенных механизмов саногенеза отмечалась в период 6-12 месяцев после операции.

Литература (references)

1. Адамбаев З.И. Прогностическая значимость показателей электронейромиографии и вызванных потенциалов при стенозе позвоночного канала // Медицинские новости. – 2019. – №.6 (297). – С. 69-71. [Adambaev Z.I. *Medicinskie novosti*. Medical news. – 2019. – №6(297). – P. 69-71. (in Russian)]
2. Ипполитова Е.Г., Дамдинов Б.Б., Кошкарева З.В. и др. Электронейромиографические показатели у больных со стенозирующим процессом позвоночного канала на шейном уровне // Acta Biomedica Scientifica. – 2020. – Т.5. – №.5. – С. 68-72. [Ippolitova E. G., Damdinov B.B., Koshkareva Z.V. i dr. *Acta Biomedica Scientifica*. Acta Biomedica Scientifica. – 2020. – V.5. – N5. – P. 68-72. (in Russian)]
3. Крупаткин А.И. Функциональная оценка периваскулярной иннервации кожи конечностей с помощью лазерной доплеровской флоуметрии // Физиология человека. – 2004. – Т.30., №1. – С. 99-104. [Krupatkin A.I. *Fiziologija cheloveka*. Human Physiology. – 2004. – V.30., N1. – P. 99-104. (in Russian)]
4. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика: национальное руководство / Под ред. Н.Ф.Берестень, В.А.Сандрикова, С.И.Федоровой. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 488-499 с. [Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Funkcional'naja diagnostika: nacional'noe rukovodstvo* / Pod red. N.F.Beresten', V.A.Sandrikova, S.I.Fedorovoj. – Moscow: GJeOTAR-Media, 2019. – 488-499 p. (in Russian)]
5. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей // М.: Книжный дом «Либроком». – 2013. – Т. 496. [Krupatkin A. I., Sidorov V. V. *Funkcional'naja diagnostika sostojanija mikrocirkuljatorno-tkanevyh sistem: kolebanija, informacija, nelinejnost': rukovodstvo dlja vrachej*. Functional diagnostics of the state of microcirculatory tissue systems: fluctuations, information, nonlinearity: a guide for doctors // Moscow: Knizhnyj dom «Librokom». – 2013. – T. 496. (in Russian)]
6. Миронов С.П., Ветрилэ С.Т., Крупаткин А.И. и др. Особенности регионарной вегетативной регуляции и корешковой микрогемодикуляции у больных остеохондрозом позвоночника до и после поясничной дискэктомии // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н.Приорова. – 2008. – №2. – С. 15-19. [Mironov S.P., Vetrilje S.T., Krupatkin A.I. i dr. *Vestnik travmatologii i ortopedii im.N.N.Priorova*. Bulletin of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov. – 2008. – N2. – P. 15-19. (in Russian)]
7. Alsaleh K., Alduhaish A. A limited unilateral transpedicular approach for anterior decompression of the thoracolumbar spinal cord in elderly and high-risk patients // Journal of Craniovertebral Junction and Spine. – 2019. – Т.10. – N2. – P. 88-93.
8. Gallagher M.J., Hogg F.R.A., Zoumprouli A. et.al. Spinal cord blood flow in patients with acute spinal cord injuries // Journal of neurotrauma. – 2019. – V.36. – N6. – P. 919-929.

9. Reynès C., Vinet A., Maltinti O. et al. Minimizing the duration of laser Doppler flowmetry recordings while maintaining wavelet analysis quality: A methodological study // *Microvascular research*. – 2020. – V.131. – P. 104-134.
10. Srinivasan G., Sujatha N. Fractal Dimension Characterization of in-vivo Laser Doppler Flowmetry signals // *Physics Procedia*. – 2011. – V.19. – P. 49-54.

Информация об авторах

Назаренко Антон Герасимович – доктор медицинских наук, профессор РАН, директор НМИЦ ТО им.Н.Н.Приорова. E-mail: nazarenkoag@cito-priorov.ru

Крупаткин Александр Ильич – доктор медицинских наук, профессор, врач-невролог НМИЦ ТО им.Н.Н.Приорова. E-mail: krup.61@mail.ru

Александр Алексеевич Кулешов – доктор медицинских наук, заведующий 14 отделением (вертебрологии) НМИЦ ТО им.Н.Н.Приорова. E-mail: cito-spine@mail.ru

Милица Игорь Михайлович – аспирант, врач травматолог-ортопед клинко-диагностического отделения НМИЦ ТО им.Н.Н.Приорова. E-mail: igor.milica@mail.ru

Марчел Степанович Ветрилэ – кандидат медицинских наук, заместитель директора по науке. E-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Игорь Николаевич Лисянский – кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед 14 отделения (вертебрологии) НМИЦ ТО им.Н.Н.Приорова. E-mail: cito-spine@mail.ru

Макаров Сергей Николаевич – кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед 14 отделения (вертебрологии) НМИЦ ТО им.Н.Н.Приорова. E-mail: moscow.makarov@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 23.04.2024

Принята к печати 20.09.2024