



ДИНАМИКА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ И НЕЛИНЕЙНО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ ХРОМОТОЙ ПОСЛЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРОВОТОКА

АКТУАЛЬНОСТЬ

Кровоток в микроциркуляторном (МЦ) русле имеет выраженную вариабельность, поэтому получить полную картину о его функционировании с помощью линейных методов анализа не всегда представляется возможным. Следовательно, анализ нелинейной динамики функциональных структур в медицине дает более полное представление об особенностях их жизнедеятельности и позволяет оценить основные свойства физиологии: энтропию и фрактальность

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить характер изменения колебательных и нелинейно-динамических процессов в МЦ русле кожи методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) у пациентов с перемежающейся хромотой (ПХ) после восстановления кровотока.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование прошли 27 пациентов мужского пола (средний возраст $62,9 \pm 6,6$ года) с облитерирующим атеросклерозом нижних конечностей, синдромом ПХ II Б стадии (по А.Б. Покровскому) и с лодыжечно-плечевым индексом (ЛПИ) $\leq 0,85$. До и спустя 1 месяц после реваскуляризации стенозированного сегмента артерии определяли ЛПИ и исследовали МЦ кожи тыльной поверхности стопы пораженной конечности методом ЛДФ. Анализировали амплитудные показатели, отражающие выраженность эндотелиального ($A_3/3\sigma$, ед), нейрогенного ($A_n/3\sigma$, ед), миогенного ($A_m/3\sigma$, ед), респираторного ($A_d/3\sigma$, ед) и пульсового ($A_c/3\sigma$, ед) механизмов контроля микроциркуляции, показатели шунтирования (ПШ, ед) и нутритивного кровотока (Мнутр, ед), резерв капиллярного кровотока (РКК, %). Кроме того, проводилась количественная оценка параметров нелинейной динамики ЛДФ-грамм. Исследовалась фрактальность, величина энтропии и состояние фазового портрета: D_0 – размерность Хаусдорфа, D_2 – корреляционная размерность, D_2h – корреляционная размерность, нормированная по энергии колебаний кровотока, H_0 – относительная энтропия, H_i – энтропия-информация, E_0 – относительная энергия, R/S – нормированный размах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ поведения нелинейных динамических процессов МЦ показал, что после эндоваскулярной реваскуляризации пораженной конечности несмотря на улучшение клинического состояния пациентов с ПХ и позитивные сдвиги в МЦ русле, поведение регуляторной системы оставалось достаточно ригидным и функционально менее лабильным. Но в тоже время зарегистрировано включение механизмов, повышающих хаотизацию регулярных процессов, которая дает очевидные преимущества, т.к. хаотические системы без затруднений адаптируются к изменению условий их функционирования.

Таблица. Показатели нелинейной динамики у пациентов с ПХ до и после эндоваскулярной реваскуляризации нижней конечности (Медиана [25; 75 квартили])

Показатели	Пациенты с ПХ		P
	Исходно	После реваскуляризации	
E_0	12,1 [8,6; 13,6]	10,7 [7,2; 13,1]	0,33
D_0	1,25 [1,20; 1,29]	1,07 [1,24; 1,40]	0,015
R/S	0,86 [0,60; 1,13]	0,87 [0,64; 1,16]	0,6
H_0	0,28 [0,25; 0,34]	0,32 [0,30; 0,34]	0,04
H_i	0,027 [0,023; 0,033]	0,029 [0,025; 0,039]	0,049
D_2	1,35 [1,24; 1,44]	1,33 [1,25; 1,47]	0,7
D_2h	0,12 [0,10; 0,14]	0,09 [0,05; 0,13]	0,003

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показали ранее полученные результаты наших исследований, МЦ у пациентов с ПХ отличалась выраженными функциональными нарушениями спастико-атонического характера и изменениями показателей нелинейной динамики, указывающими на упрощение структуры ЛДФ-сигнала и уменьшение хаотического компонента системы МЦ. Через 1 месяц после эндоваскулярной реваскуляризации конечности у всех пациентов наблюдался рост ЛПИ до нормальных значений и отмечалось прекращение болевого синдрома в мышцах ног при ходьбе, что сопровождалось позитивными сдвигами показателей МЦ. Частотно-амплитудный анализ ЛДФ-грамм продемонстрировал снижение показателя $A_n/3\sigma$, что указывает на улучшение регуляции симпатической нервной системы на уровне артериол и артериоло-венулярных анастомозов (Рис.1) и находит отражение в снижении показателя ПШ (Рис. 2). Ограничение шунтового кровотока сопровождалось снижением венозного полнокровия, что проявлялось депрессией показателя $A_d/3\sigma$ (Рис. 1). Восстановление кровотока в магистральной артерии сопровождалось ростом параметра $A_c/3\sigma$ (Рис. 1). Итогом преобразований в регуляции МЦ является статистически значимый рост Мнутр, отражающего капиллярный кровоток и увеличение РКК на 30,2% (Рис. 3). Обнаруженные сдвиги в спектре флуксуций кровотока в МЦ русле у пациентов с ПХ сопровождалась модификацией части параметров нелинейной динамики. Но реваскуляризация пораженной артерии не оказала влияния на состояние энергетического потенциала колебательного процесса (E_0). Анализ фрактальной размерности, дающий представление о количестве факторов, влияющих на систему, показал некоторое снижение параметра D_0 , а показатель Херста (R/S) сохранил низкие значения (<1), что указывает на уменьшение сложности регуляции МЦ у пациентов с ПХ и демонстрирует относительную устойчивость системы, ее ригидность, неготовность перейти в новое функциональное состояние, несмотря на хороший клинический эффект эндоваскулярного вмешательства, т.к. для патологических состояний характерна потеря сложности организации функциональной системы, сопровождающаяся снижением объема адаптации. У пациентов с синдромом ПХ при повторном исследовании через 1 месяц после ангиопластики установлено повышение величины относительной энтропии (H_0), которая дает представление о степени неопределенности, хаоса. Рост активности хаотического поведения механизмов регуляции микрокровотока демонстрирует также увеличение нормированных по E_0 показателей H_i -сигнала и D_2h фазового портрета (Табл.).

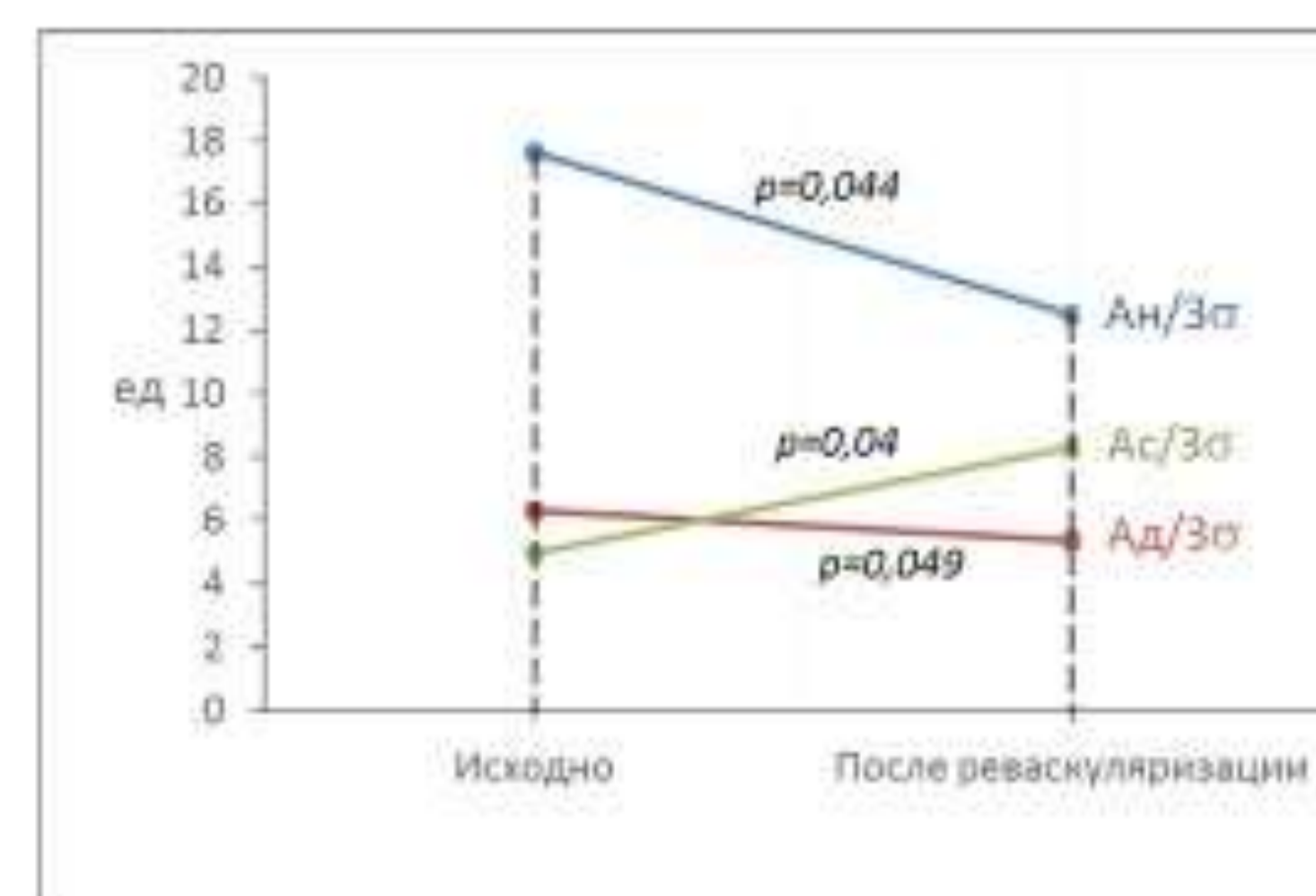


Рис. 1. Изменение показателей $A_n/3\sigma$, $A_d/3\sigma$, $A_c/3\sigma$ у пациентов с ПХ после реваскуляризации нижней конечности.

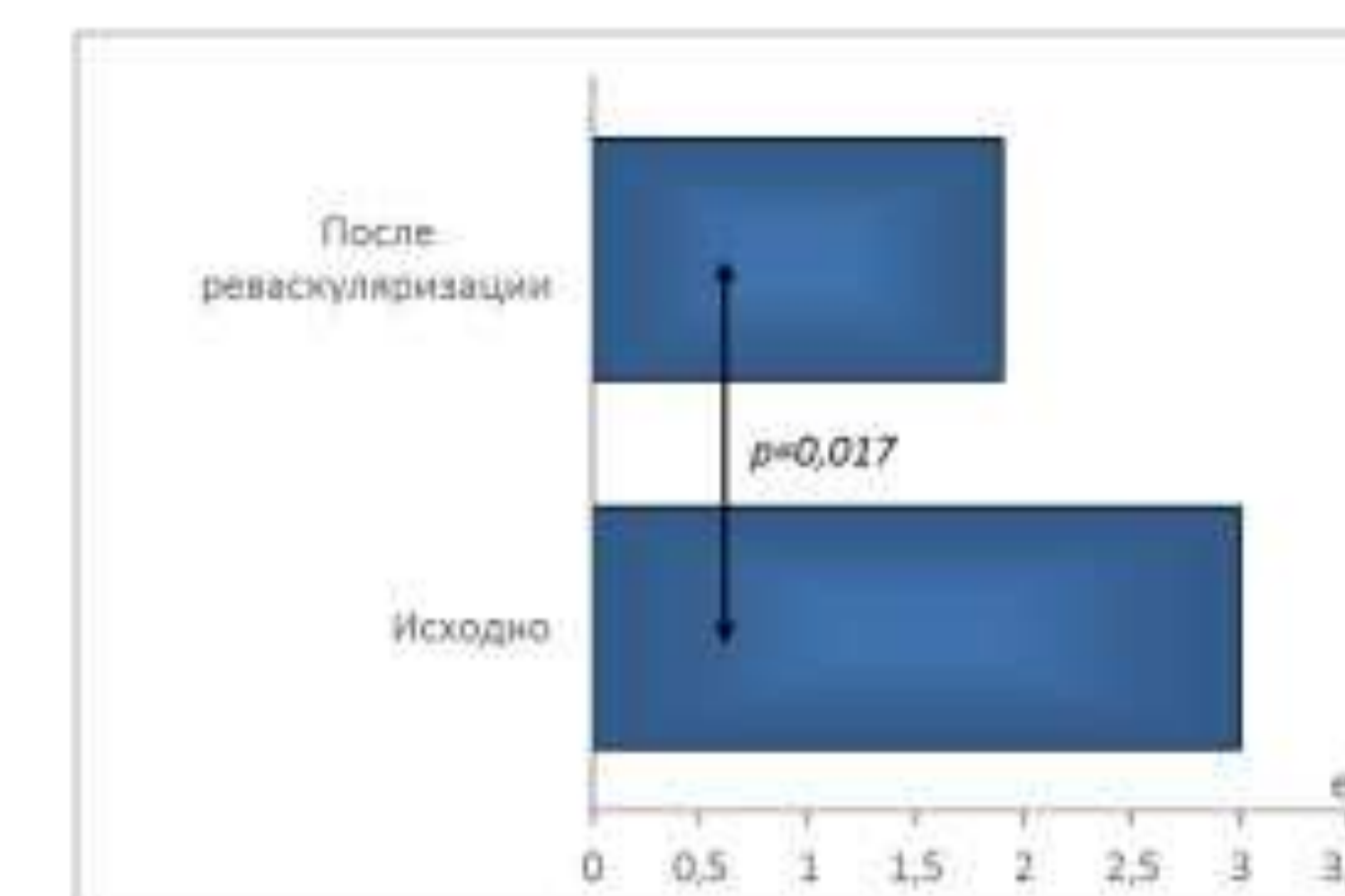


Рис. 2. Изменение показателя шунтирования у пациентов с ПХ после реваскуляризации нижней конечности.

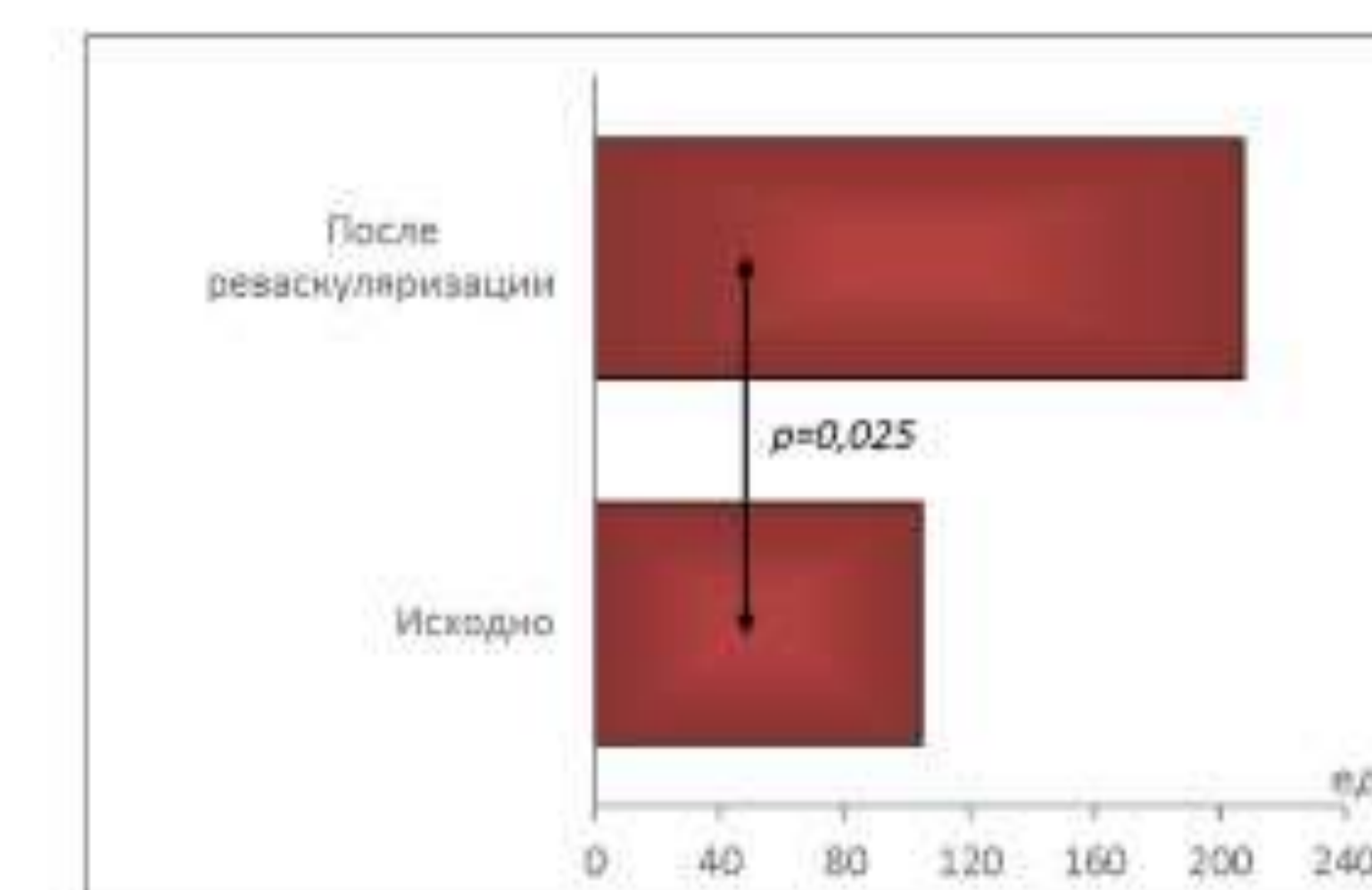


Рис. 3. Изменение показателя РКК у пациентов с ПХ после реваскуляризации нижней конечности.