

7. Соколов, М. В. Прикладная биофотометрия.– М.: Наука, 1982. – 130 с.
8. Яненко, О. П. Метрологія медичної та біологічної апаратури: Навч. посібник – Житомир: ЖГГІ. – 1998. – 158 с.
9. Корндорф, С. Ф. Метод контроля поглощенной внутренними тканями дозы с учетом поглощаемой в эпидермисе мощности излучения при низкоинтенсивной лазерной терапии / С. Ф. Корндорф, К. В. Подмастерьев, А. В. Дунаев // Лазерная медицина. – 2003. – т.7. – № 2. – С. 7 – 11.
10. Тимчик Г. С. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії / Г. С. Тимчик, М. Р. Печена, М. Ф. Терещенко // Вісник НТУУ “КПР”. Серія «Приладобудування». – 2014. – Вип. 47(1). – С. 156 – 162.

Надійшла до редакції
27 лютого 2015 року

© Тимчик Г. С., Терещенко М. Ф., Ляшенко О. Г., Гнатейко О. С., 2015

УДК 616.61-006

СИНХРОНИЗАЦІЯ АНСАМБЛЕЙ НЕФРОНОВ ПО ДАННИМ РЕНОСЦИНТИГРАФІЇ

^{1, 2)}Николов Н.А., ¹⁾Коваленко Н.Н., ¹⁾Супрунук Д.А., ³⁾Каминская А.Л., ⁴⁾Кундин В.Ю.

¹⁾ *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», кафедра фізическої і біомедическої електроніки, г. Київ, Україна;*

²⁾ *Государственный университет телекоммуникаций, кафедра космических систем и комплексов и спутниковой телекоммуникации, г. Киев, Украина;*

³⁾ *Киевская городская клиническая больница № 14, отделение радионуклидной диагностики;*

⁴⁾ *Институт сердца, отделение радионуклидной диагностики, г. Киев, Украина*

В работе делается попытка обоснования классификации функционального напряжения паренхимы почек с точки зрения самоорганизации функциональной активности нефронов на основе анализа флуктуаций радиоактивного счета в почках при проведении реносцинтиграфии. Предположено, что флуктуации гамма-счета на скитиграфических изображениях почек связаны с синхронизацией колебательных процессов ансамблей нефронов. На основе флуктуационного анализа изображений непрямої ренангиографии показано существование счетного количества точек/областей синхронизации функциональной активности нефронов. Данные активные точки являются водителями ритма.

Ключевые слова: *почки, реносцинтиграфия, синхронизация нефронов, удельная функция.*

Введение

Одним из информативных критериев функционального состояния почек по данным скитиграфических исследований является функциональное напряжение паренхимы. При предварительных исследованиях [1] в качестве такого критерия было предложено использовать удельные значения функциональной активности паренхимы. Под удельной функцией паренхимы понимается количество радиофармпрепарата (РФП), поглощенное одним элементарным объемом почки за единицу времени. В качестве элементарного объема почки при планарных исследованиях используют геометрический размер пикселя изображения в см².

Исследования, описанные в [1], нашей группой были продолжены. Проанализированы результаты реносцинтиграфий около 1000 пациентов с разными нефрологическими заболеваниями, такими, как хронический необструктивный пиелонефрит, хронический обструктивный пиелонефрит, острый пиелонефрит, пузырно-мочеточниковый рефлюкс, артериальная гипертензия, единственная почка, гипоплазия почек, дизметаболическая нефропатия, хронический гломерулонефрит. Удельная функция почек исследовалась с РФП различного механизма накопления и элиминации: ^{99m}Tc -ДТПА (диэтилентриаминопентацетат), ^{99m}Tc -ПФ (пирофосфат), ^{99m}Tc -МАГЗ (меркаптоацетилтриглицин), ^{99m}Tc -ЕС (этилендицистеин), ^{99m}Tc -ДМСА (2,3-димеркаптосукцинатацетат).

Пример регрессионной зависимости удельной функции почки от абсолютного значения для генеральной совокупности пациентов, которым проводили исследования с ^{99m}Tc -МАГЗ, приведен на рис. 1.

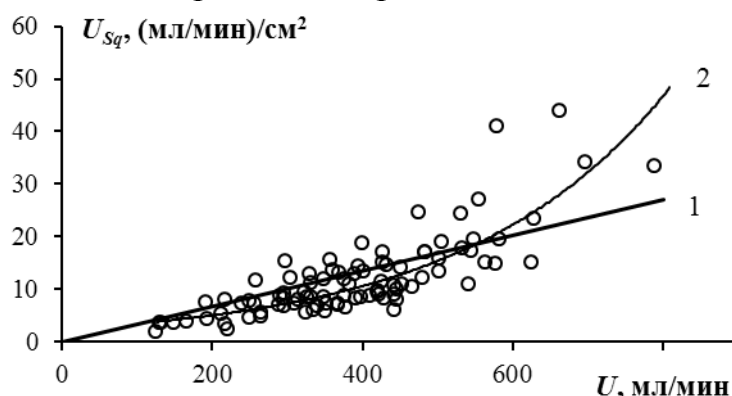


Рис. 1. Удельный эффективный почечный плазматок отдельной почки (U_{sq}) в зависимости от абсолютного значения (U) с ^{99m}Tc -МАГЗ: 1 – линейная аппроксимация, 2 – экспоненциальная аппроксимация

В результате анализа полученных данных, в зависимости от удельного значения функциональной активности почки предложено классифицировать паренхиму почек как гипер-, гипофункциональное состояние и нормотонию.

В данной работе делается попытка обсудить полученные данные с точки зрения самоорганизации функциональной активности нефронов на основе анализа флуктуаций радиоактивного счета в почках при проведении реносцинтиграфии.

Материалы и методы

Удельная функция паренхимы, в зависимости от выбранного РФП, определяется по следующей формуле:

$$U_{sq} = \frac{U}{S_q},$$

где U – скорость клубочковой фильтрации (для ^{99m}Tc -ДТПА, ^{99m}Tc -ПФ) или эффективный почечный плазматок (для ^{99m}Tc -МАГЗ, ^{99m}Tc -ЕС) соответственно (мл/мин) отдельно взятой почки, нормированные на поверхность тела пациента

S_b по формуле Дюбуа [2], для ^{99m}Tc -ДМСА U – процент включения РФП в почку от введенной активности на 180 мин исследования, S_q – площадь планарного сцинтиграфического изображения почки (см^2), U_{S_q} – удельное значение функциональной активности паренхимы.

Классификацию функциональной напряженности паренхимы почек выполняли по следующим соотношениям:

- идеализированная удельная активность паренхимы почек

$$U_{S_q}^{Ideal} = 0,03U_{S_b};$$

- отклонение от идеализированного значения $U_{S_q}^{Ideal}$

$$\Delta = U_{S_q} - U_{S_q}^{Ideal};$$

$\Delta > b$ – гиперфункциональное состояние паренхимы;

$-b \leq \Delta \leq b$ – нормотония паренхимы;

$\Delta < -b$ – гипофункциональное состояние паренхимы.

Для РФП ^{99m}Tc -ДТПА, ^{99m}Tc -ПФ параметр $b \approx 0,2$, для ^{99m}Tc -ДМСА - $b \approx 0,05$, для ^{99m}Tc -МАГЗ и ^{99m}Tc -ЕС – $b \approx 2$.

Реносцинтиграфические исследования с вышеперечисленными РФП проводили в два этапа:

I этап – ангиографическая фаза, сразу после болюсного введения препарата, 1 кадр в 1 с в течение 30 с, матрица 128 x 128;

II этап – динамическая реносцинтиграфия в течение 20 мин с матрицей 128 x 128; для ^{99m}Tc -ДТПА, ^{99m}Tc -ПФ, ^{99m}Tc -МАГЗ, ^{99m}Tc -ДМСА – 1 кадр в 1 мин, для ^{99m}Tc -ЕС – 1 кадр в 30 с.

При исследовании пациентов с ^{99m}Tc -ДМСА проводилась также статическая нефросцинтиграфия через 180 мин после введения РФП с матрицей 512 x 512.

Пациенты были преимущественно детского возраста от 5 до 18 лет.

Для построения зависимостей, аналогичных представленным на рис. 1, с ^{99m}Tc -ДТПА было обследовано 290 человека, с ^{99m}Tc -ПФ – 232 пациентов, ^{99m}Tc -МАГЗ – 169, ^{99m}Tc -ЕС – 117, ^{99m}Tc -ДМСА – 150. Однако, для анализа данных в основной части работы из всей совокупности были отобраны пациенты, имеющие достаточную функцию почек, но с различным значением функциональной напряженностью паренхимы. При этом площадь сцинтиграфических изображений почек была не менее 40 см^2 .

Результаты и обсуждение исследований

В среднем (рис. 1) удельная функция почек линейно зависит от абсолютных значений функциональной активности паренхимы. Если анализировать данные генеральной совокупности пациентов при использовании различных РФП, можно отметить экспоненциальное поведение регрессионной кривой.

Независимо от выбранного РФП коэффициент наклона удельной активности паренхимы почек от абсолютного значения стремится к значению 0,03. Это говорит в пользу того, что в нормальном состоянии функциональная способ-

ность почки квазилинейно зависит от количества нефронов, т.е. нелинейные эффекты в среднем выражены слабо или нивелируются за относительно большое время экспозиции одного кадра порядка минуты. В этом случае секреторная и фильтрационная способность почки находятся в линейной взаимосвязи. Так же это свидетельствует, что в норме на один элементарный объем почки у большинства пациентов приходится одинаковое количество нефронов. При тех или других изменениях в почках, связанных с патологическим процессом, строгая линейная взаимосвязь может нарушаться, что приводит к гипер- или гипоактивности нефронов.

Удельная активность паренхимы может изменяться за счет гибели части нефронов и замещения пространства нефункциональной соединительной тканью, за счет увеличения просвета (расстояния) между функциональными элементами или уменьшения функциональной активности клеток и структур нефрона. С другой стороны, активность нефронов существенно зависит от регуляторных механизмов в организме в целом, например, от артериального давления, гормонов, иннервации почки. Безусловно, данные механизмы играют важную роль в регуляторной способности почек. Однако, в ряде случаев, например в острый период течения заболевания, можно предположить их второстепенность/неполноту. Представляется вполне логичным, что почки обладают определенной автономностью в регуляции своей функциональной активности в ответ на внешнее раздражение в виде изменения концентрации тех или иных компонентов крови, а так же артериального давления. «Автономность в принятии решения» об активности фильтрационно-секреторных процессах в нефронах почти наверняка связана с процессами самоорганизации и синхронизации.

Так, на модельном математическом уровне процессы синхронизации функциональной активности нефронов показаны в работах [3-5].

Предполагается, что «нефроны образуют древовидную структуру вокруг общего подводящего кровеносного сосуда, при этом одна и та же часть афферентной артериолы совместно используется парой нефронов. В связи с этим взаимодействие нефронов осуществляется по двум сценариям:

1) происходит простое смещение крови от одного нефрона к его соседям, что связано со снижением входящего в этот нефрон потока крови (гемодинамическая связь),

2) происходит передача сигналов мускульной активации от одного нефрона к другому по мышечным клеткам стенки кровеносного сосуда (васкулярная или сосудистая связь)».

В основе математического анализа синхронизации связанных нефронов лежит уравнение:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{C_{tub}}(F_{filt} - F_{reab} - F_{Hen}),$$

где P – давление в проксимальном канальце, C_{tub} – упругая податливость проксимального канальца, F_{filt} – скорость фильтрации в клубочке, F_{reab} – скорость

реабсорбції в проксимальном каналці, F_{Hen} – скорость потока жидкости в петле Генле. В свою очередь F_{filt} , F_{reab} , F_{Hen} зависят от давления в клубочковой капсуле, артериального кровяного давления, концентрации протеина в крови, временных задержек транспорта жидкости и других параметров, в том числе параметров связи между нефронами.

На экспериментальном уровне синхронизация колебаний давления в нефронах показана в работах [6-8]. В то же время неустойчивый характер движения жидкости по капиллярам, которые можно считать пористыми системами, существенно повышает и скоростные параметры фильтрации, что широко используется в промышленности [9]. Причем усиление транспорта веществ через пористую систему при неустойчивом, т.е. колебательном характере движения жидкости, наблюдается в широком диапазоне частот. Анализ бифуркационных диаграмм в работе [4] показывает различные режимы синхронизации взаимодействующих нефронов: с захватом частоты, синфазное колебание, широкополосную синхронизацию, подавление колебательных процессов, хаотические колебания. Однако, взаимосвязь режимов колебаний с интегральной функцией почки на макро уровне ансамбля нефронов в литературе практически не описано.

Исходя из анализа литературных источников [3-8], при наличии таких заболеваний как артериальная гипертензия, наблюдается хаотическая динамика колебаний давления/электрических сигналов в нефроне; в нормальном состоянии – синхронные колебания. Тем не менее, на уровне почки в целом данные выводы весьма дискуссионны. Связано это с тем, что полученная зависимость удельной функциональной активности почки от абсолютной является при нормотонии квазилинейной. В то же время процессы, описывающие синхронизацию нефронов, основаны на нелинейной связи между нефронами.

Так же следует обратить внимание на то, что почка является пространственно-распределенной структурой, где ансамбли нефронов в зависимости от места положения формируют кластерную структуру со своими параметрами. Это, в свою очередь, исходя из теории колебаний решетки осцилляторов со слабыми связями [10], должно приводить к образованию динамических паттернов областей синхронных и асинхронных колебаний. В работе [11] показано существование таких паттернов, частота колебаний/мерцаний которых порядка 0,002 – 0,01 Гц. Пространственное распределение же РФП в норме является относительно равномерным как при оценке быстрых фильтрационно-секреторных процессов с (^{99m}Tc -ДТПА, ^{99m}Tc -ПФ, ^{99m}Tc -МАГЗ, ^{99m}Tc -ЕС), так и медленном накоплении (^{99m}Tc -ДМСА). Это свидетельствует в пользу того, что при нормотонии паренхимы, несмотря на синхронизацию колебаний соседних нефронов, на макроуровне они независимы. Другими словами, радиус корреляции синхронных колебаний несравненно меньше геометрических размеров почки. В качестве критики данного утверждения можно отметить, что время экспозиции одного кадра скинтиграфического изображения почки составляет от 20-300 с в зависимости от введенной активности РФП и методики исследования. Возможно, такое относительно большое время размывает кластерную структуру и

создает равномерное распределение РФП, то есть области синхронизации ансамблей нефронов перемещаются в пространстве за время существенно меньшее, чем время экспозиции кадра, и обеспечивают эргодический процесс.

Однако, при наличии патологии почек, даже при сохранении интегральной функциональной способности почки, нередко наблюдается пространственно-неоднородное, диффузное распределение РФП. Наблюдаемая пространственная неоднородность распределение РФП с областями гипофиксации препарата может существенно видоизменяться при повторных мониторинговых исследованиях [12]. Это позволяет предположить, что области макроскопической синхронизации возникают как адаптивная реакция на патологический процесс, который изменяет параметры связи между группами нефронов. Глобальная синхронизация колебательных процессов в нефронах с высокой добротностью, т.е. низкой дисперсией частот, вероятно, ответственна за гиперфункциональное состояние паренхимы и отклонение удельной активности паренхимы от линейной зависимости «нормотонии».

На рис. 2 представлены типичные гистограммы пространственного распределения РФП при гиперфункциональном, нормотонии и гипофункциональном состоянии паренхимы почек в соответствии с представленной выше классификацией. Изображения не подвергались сглаживанию/фильтрации.

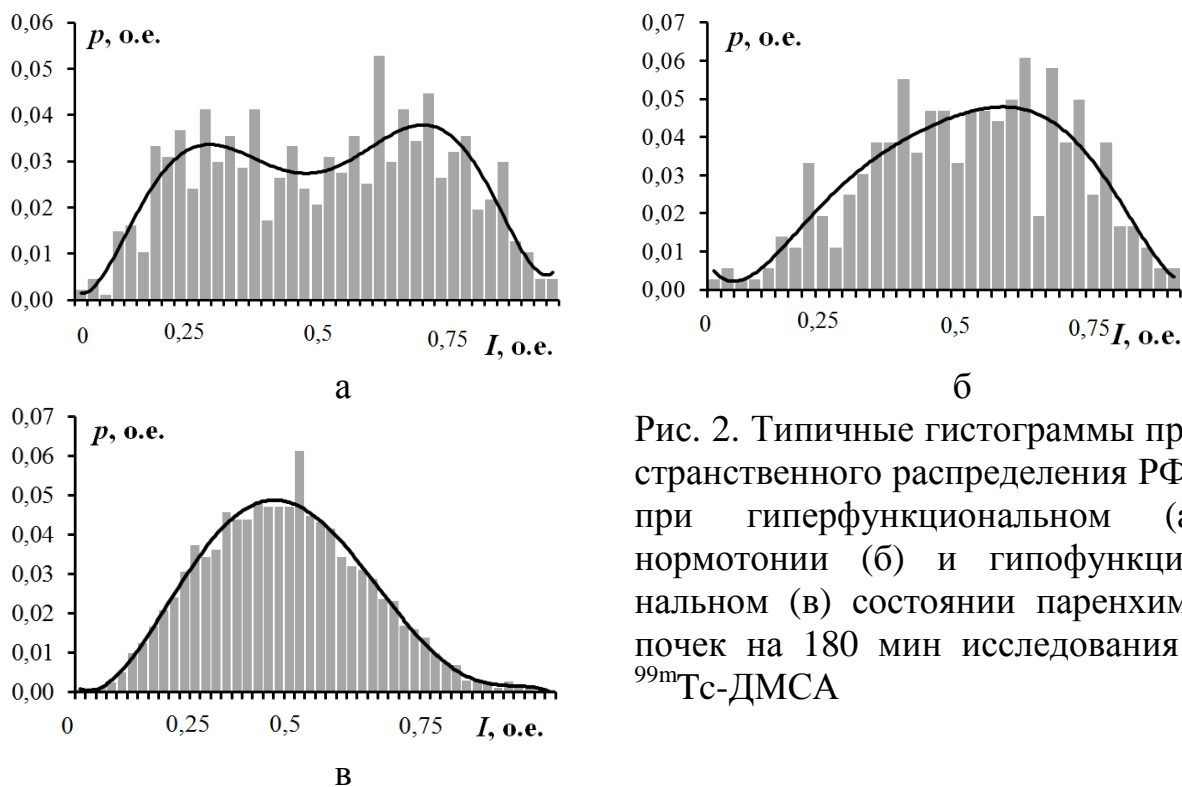


Рис. 2. Типичные гистограммы пространственного распределения РФП при гиперфункциональном (а), нормотонии (б) и гипофункциональном (в) состоянии паренхимы почек на 180 мин исследования с ^{99m}Tc -ДМСА

Данные примеры были построены для изображений почек с ^{99m}Tc -ДМСА у пациентов с соизмеримой и достаточной функциональной способностью почки в целом (процент включения РФП в почку порядка 8-10 %), у которых отсутствовали признаки очагового поражения, где I – нормированный на максимальное

значение I_{max} радиоактивный гамма-счет в точке пространства, p – вероятность. Подобные гистограммы (двухгорбность и монотонность огибающих) наблюдаются и для других РФП, предназначенные для оценки кинетики препаратов, на 2-3 мин исследования.

Рисунок 2 иллюстрирует, что пространственное распределение РФП при нормотонии и гиподифункциональном состоянии паренхимы стремится к колокообразной зависимости. При гиперфункциональном состоянии паренхимы отмечаются два максимума и минимум между ними. Учитывая, что на визуальном уровне пространственное распределение ^{99m}Tc -ДМСА почек у данных пациентов было идентичным, относительно равномерным, упомянутую двухгорбность можно сравнить с эффектом затягивания частот [13]. Другими словами, если количество РФП в точке пространства отождествить с частотой колебаний процессов в нефроне и их синхронизацией, то при гиперфункциональном состоянии паренхимы наблюдаются два типа кластеров, разнесенных по активности: первая группа в окрестности $I \approx 0,7I_{max}$ «притягивают к себе мощность», вторая группа в окрестности $I \approx 0,5I_{max}$ – «отдает мощность», за счет чего появляется второй максимум в $I \approx 0,26I_{max}$ (рис. 2 а). Причем эти кластеры имеют малую пространственную скорость движения и не успевают за время экспозиции сцинтифото переместиться на расстояния, существенно большие, чем размеры пикселя.

Следует подчеркнуть, что по абсолютному значению I_{max} для гиперфункционального состояния более чем в 1,2 раза больше I_{max} для паренхимы в состоянии нормотонии. Такая закономерность не всегда наблюдается при сравнении гиподифункции с нормотонией. В то же время гиперфункциональное состояние является неблагоприятным прогностическим признаком, с повышенной вероятностью перехода заболевания в стадию эквивалентной хронической почечной недостаточности. Здесь так же уместно отметить аналогию с глобальной синхронизацией электрических сигналов в головном мозге, вызывающем энцефалопатические припадки.

Одной из сцинтиграфических методик исследования функционального состояния почек является непрямая ренангиография. Основана она на анализе кинетики прохождения болюса РФП через кровеносную систему почек. С технической точки зрения данная методика эквивалентна эмпирическому измерению импульсной характеристики системы. Время прохождения болюса через почку в зависимости от патологического процесса составляет от 5 до 20 с. Через 12-20 сек после введения РФП в организме наступает фаза равновесной концентрации РФП в крупных кровеносных сосудах, и происходит относительно медленное накопление нефротропных препаратов в почке. На рис. 3. представлен пример сцинтиграфических изображений в первые секунды после болюсного введения РФП.

При наступлении фазы равновесной концентрации на кривой активность-время над областью почки отмечаются достаточно высокоамплитудные флуктуации. Эти флуктуации обычно связывают с малым количеством радиоактивности в почке и стохастической природой радиоактивного распада. В то же время при проведении фантомных исследований, например, при радиометрии

шприца с остаточной активностью РФП эти флуктуации существенно отличны и с меньшей амплитудой, чем при непрямой ренангиографии. Это позволяет предположить, что флуктуации радиоактивности в почке после достижения фазы равновесной концентрации РФП в крови во многом обусловлены физиологическими процессами. В контексте данной работы допустим, что локальные максимумы во времени в данной точке пространства после наступления равновесной концентрации РФП в крови связаны с синхронизацией нефронов. Для анализа данных стохастических процессов были взяты реносцинтиграфические исследования с ^{99m}Tc -ДТПА пациентов в возрасте 7-9 лет с единственной почкой. Общая интегральная функция единственной почки была достаточной, что соответствовало скорости клубочковой фильтрации, нормированной на поверхность тела пациента, 80-110 мл/мин. За начало отсчета времени принималось двенадцатая секунда после введения РФП.

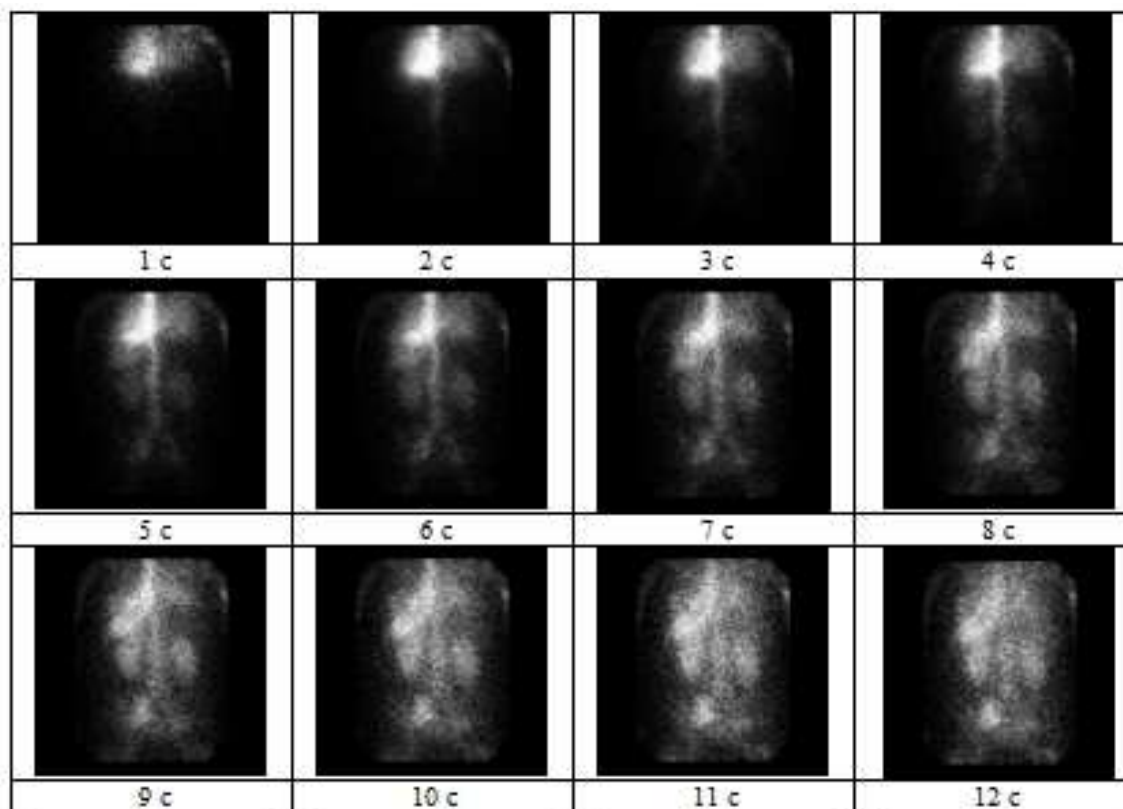


Рис. 3. Покадровая визуализация почек в ангиографическую фазу исследования на примере ^{99m}Tc -ПФ

Примеры пространственного распределения локальных точек максимумов во времени представлены в табл. 1. Представленные изображения в табл. 1 иллюстрируют, что при гиперфункциональном состоянии паренхимы и при нормотонии наблюдается большое количество зон несвязности (кластеры) локальных временных максимумов по сравнению с гипофункциональным состоянием паренхимы. При этом в гиперфункциональном состоянии наблюдаемые мерцающие кластеры имеют статистически большие размеры по отношению к группам сравнения.

Таблиця 1. Пространственного распределения локальных точек максимумов во времени

Время кадра	Гиперфункция паренхимы единственной правой почки	Нормотония паренхимы единственной правой почки	Гипофункция паренхимы единственной левой почки
1 с			
6 с			
11 с			
15 с			
Сумма всех кадров	 $Y=0,52 \text{ о.е.};$ $r=3,2\pm 0,8 \text{ пикселя.}$	 $Y=0,39 \text{ о.е.};$ $r=3,9\pm 1,6 \text{ пикселя.}$	 $Y=0,18 \text{ о.е.};$ $r=3,2\pm 1,6 \text{ пикселя.}$

Данное наблюдение можно подчеркнуть временными зависимостями количества кластеров (N) и общей площадью кластеров (S), трактуемых нами как области синхронизации (рис. 4), где S_q – площадь скинтиграфического изображения почки. В случае нормотонии динамика количества кластеров синхронизации с коэффициентом корреляции 0,95 совпадает с динамикой их площади. Такая же закономерность отмечается и для гипофункционального состояния паренхимы, но с меньшим коэффициентом корреляции, порядка 0,68. Для гиперфункционального состояния коэффициент корреляции данных зависимостей стремится к нулю и составляет минус 0,25.

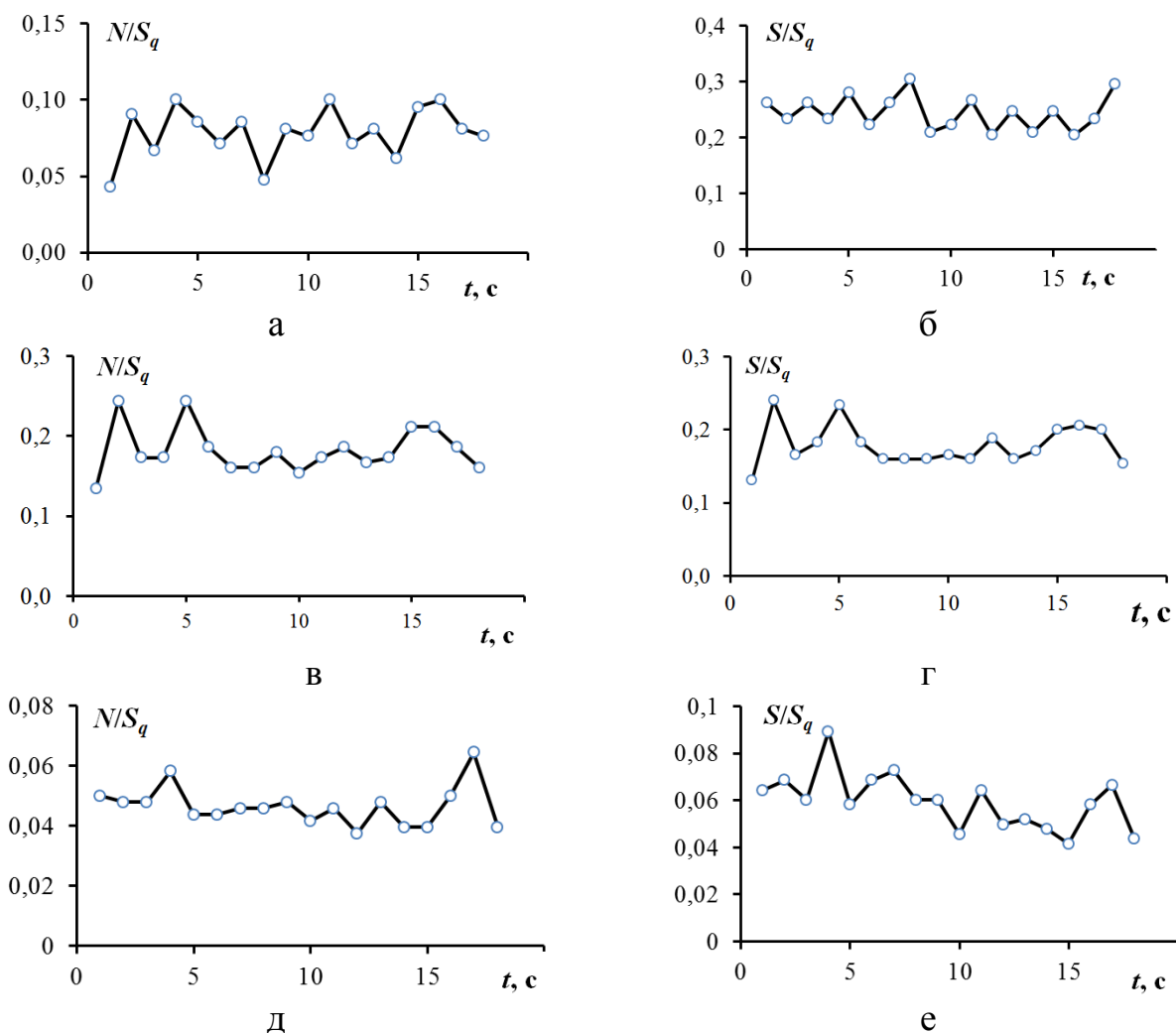


Рис. 4. Временными зависимостями количества кластеров (N) и общей площадью кластеров (S), где: а и б соответствуют гиперфункциональному состоянию паренхимы, в и г – нормотонии, д и е – гипофункциональному состоянию паренхимы

Изображения суммы всех кадров локальных точек максимумов во времени в табл. 1 иллюстрируют, что процесс перемещения мерцающих кластеров синхронизации в целом эргодичен. Яркость пикселей на этих изображениях характеризует частоту мерцания кластера. Сниженная яркость изображения при гипофункции паренхимы означает, что скорость перемещения в пространстве областей синхронизации недостаточная, а их геометрический размер соизмерим с размером одного-нескольких пикселей.

Так же на суммарных кадрах, примеры которых представлены в табл. 1, следует обратить внимание на точки максимальной яркости. Во всех случаях функционального состояния паренхимы в условиях получения данных изображений, где на почку приходится порядка 200 – 400 пикселей, отмечается 10-12 точек с максимальной яркостью, среднее значение которых $5,0 \pm 0,5$. Другими словами за 18 с наблюдения с дискретным шагом 1 с в этих точках отмечался 5 раз локальный максимум на кривой активность время, т.е. колебания стацио-

нарны. Данные точки «разбросаны» по изображению почки относительно равномерно, и среднее расстояние между ними составляет 3-4 пикселя, что эквивалентно примерно 2,5 см. При этом средняя яркость суммарного флукуационного изображения Y существенно изменяется в зависимости от функционального состояния паренхимы. Это позволяет судить о том, что, если предположение о флукуациях гамма-счета на сцинтиграфических изображениях почек в какой-то степени связаны с синхронизацией колебательных процессов ансамблей нефронов, то в паренхиме почек существуют счетное количество активных точек. Данные активные точки являются водителями ритма и/или пространственное распространение кластера синхронизации подобно ревербатору.

Подводя общий итог к работе, можно сказать, что представленные данные позволяют разработать новые алгоритмы компьютерного анализа сцинтиграфических изображений, расширяющие спектр количественных параметров, характеризующие функциональное состояние почек. Особую значимость данные параметры могут быть полезны при диагностике единственной почки или при резко выраженной асимметрии функционального состояния почек.

Выводы

1. Стремление коэффициента наклона прямой, характеризующей нормотонию паренхимы от абсолютного значения функциональной активности почки, к значению 0,03 у радиофармпрепаратов с различным механизмом накопления свидетельствует, что в норме активность почки определяется преимущественно количеством функциональных нефронов, и синергетические эффекты их взаимодействия выражены слабо.

2. Предположено, что области макроскопической синхронизации колебательных процессов в нефронах возникают как реакция на патологический процесс, который изменяет параметры связи между группами нефронов. При этом распределение радиофармпрепаратов становится пространственно-неоднородным. Глобальная синхронизация колебательных процессов в нефронах с высокой добротностью, т.е. низкой дисперсией частот, вероятно, ответственна за гиперфункциональное состояние паренхимы и отклонение удельной активности паренхимы от линейной зависимости «нормотонии».

3. Флукуации радиоактивности в почке во время непрямой ренангиографии после достижения фазы равновесной концентрации радиофармпрепарата в крови во многом обусловлены физиологическими процессами. Если предположение о флукуациях гамма-счета на сцинтиграфических изображениях почек в какой-то степени связаны с синхронизацией колебательных процессов ансамблей нефронов, то в паренхиме почек существуют счетное количество активных точек. Данные активные точки являются водителями ритма.

Литература

1. Оцінка діагностичної значущості питомої функції паренхіми нирок за результатами динамічної реносцинтиграфії з ^{99m}Tc -МАГЗ (попередні дослідження) / М.О. Ніколов, В.Ю. Кундін, А.Л. Камінська [та інш.] // Український радіологічний журнал. – 2013. – № 3. – С. 334 – 336.
2. Руководство по ядерной медицине. Под ред. Т. П. Сиваченко. – К.: Вища школа, 1991. – 535 с.

3. Взаимокомпенсация TGF-моды в гемодинамике васкулярного дерева нефронов / Д. Д. Постнов, О. В. Сосновцева, Д. Э. Постнов // Известия Саратовского университета. Сер. Физика. – 2011. – Т. 11., вып. 2. – С. 66–71. – Режим доступа: http://www.sgu.ru/sites/default/files/journals/izvestiya/pdf/2013/12/13/66-71_Postnov.pdf
4. Емельянова Ю. П. Динамика связанных нефронов и режим широкополосной синхронизации / Ю. П. Емельянова, А. П. Кузнецов, Э. Мозекилде, Я. Л. Лаугесен // Нелинейная динамика. – 2012. – Т. 8, № 5. – С. 875 – 896.
5. Емельянова Ю. П. Особенности синхронизации неидентичных нефронов. Широкополосная синхронизация / Ю. П. Емельянова, А. П. Кузнецов, Е. Mosekilde. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sgtnd.narod.ru/science/Nephron.pdf>
6. Holstein-Pathlou N-H. Oscillations and chaos in renal blood flow control / N-H. Holstein-Pathlou // JASN. – 1993. – Vol. 4. no. 6. – P. 1275 – 1287.
7. Heterogeneity and weak coupling may explain the synchronization characteristics of cells in the arterial wall / J.C.B. Jacobsen, C. Aalkjaer, V.V. Matchkov [et al.] // Phil. Trans. R. Soc. A. – 2008. – Vol. 366. – P. 3483–3502. doi:10.1098/rsta.2008.0105
8. Nephron blood flow dynamics measured by laser speckle contrast imaging / N-H. Holstein-Rathlou, O.V. Sosnovtseva, A.N. Pavlov [et al.] // American Journal of Physiology - Renal Physiology Published. – 2011. – Vol. 300, no. 2. – P. F319-F329. DOI: 10.1152/ajprenal.00417.2010
9. Сницер А. Р. Определение фильтрационных свойств пористо-упругой среды на основе решения одной краевой задачи для уравнений Био / А. Р. Сницер // Динамические системы. – 2012. – Т. 2 (30), № 3-4. – С. 323 – 335.
10. Устойчивость, структуры и хаос в сетях синхронизации / В. С. Афраимович, В. И. Некоркин, Г. В. Осипов, В. Д. Шалфеев. – Горький: ИПФ АН СССР, 1989. – 256 с.
11. Анисимов А. А. Исследование динамики нефронов на основе вейвлет-анализа и метода эмпирических мод / А. А. Анисимов / Автореферат дисс. на соискание уч. ст. к. ф.-м. н. по специальности 03.01.02 – биофизика. – Саратов. – 2011. – 19 с.
12. Ніколов М. О. Комп'ютерний аналіз кількості функціонуючої паренхіми нирок за даними нефросцинтиграфії з ^{99m}Tc -ДМСО / М. О. Ніколов, Д. О. Супрунюк, А. Л. Камінська [та інш.] // Український радіологічний журнал. – 2014. – Т. XXII, вип. 2. – С. 98 – 101.
13. Винер Н. Нелинейные задачи в теории случайных процессов / Н. Винер. – М.: Изд. инлит. – 1961. – 160с.

Надійшла до редакції
18 лютого 2015 року

© Николов Н. А., Коваленко Н.Н., Супрунюк Д. А., Каминская А. Л. Кундин В. Ю., 2015

УДК 612.171.1+004.852

ОТРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ЦИКЛИЧЕСКИХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

Шачиков А. Д., Шуляк А. П.,

Национальный технический университет Украины "Киевский Политехнический Институт",
г. Киев, Украина

Значительные резервы в повышении достоверности диагнозов пациентам содержатся в целесообразном выборе описательных категорий формы сигналов средств диагностики, который может быть сделан на этапе обучения распознающих систем. Дополнительные возможности повышения чувствительности и специфичности распознающих процедур могут быть созданы благодаря определению рационального состава данных для их анализа с