

ГАЗОРАЗРЯДНАЯ АНАЛОГИЯ ДЛЯ ОНКОГЕНЕЗА

GAS DISCHARGE ANALOGY FOR ONCOGENESIS

S. Shushkov

Summary. The study of the features of oncogenesis from an energy point of view is being conducted. The similarity in the manifestation of energy processes for a gas glow discharge and a biological organism as thermodynamically nonequilibrium systems is considered. The mutual correspondence of the individual parameters of the electric discharge plasma and the bioorganism is proposed. From the properties of the gas discharge, the critical amount of energy release is transferred to the evolution of a tumor neoplasm as a condition for the beginning of the rebirth of biostructures. In the problem area a gradient of dissipated power is formed due to the deceleration of the energy flow. With a prolonged stay of biological tissue in an energy-saturated state, an equilibrium shift is assumed for chemical induction reactions responsible for the synthesis of the most complex biological structures. Gas discharge analogy allows us to obtain some quantitative estimates of the body's resistance to a critical transition. The spatial dynamics of the nucleation of a tumor and the energy flow from surrounding tissues are presented. From an energetic point of view, some particular cases of oncogenesis are considered. It is concluded that increased resistance to neoplasms with controlled consumption of external resources, in particular due to moderate respiration.

Keywords: tumor, non-equilibrium system, glow gas discharge, gas discharge analogy, specific energy input, critical energy release level.

Шушков Сергей Васильевич

Заведующий сектором, Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси; ООО «Перспективные исследования и технологии»
shushkov_s_v@mail.ru

Аннотация. Проводится изучение особенностей онкогенеза с энергетической точки зрения. Рассмотрено подобие в проявлении энергопроцессов для газового тлеющего разряда и биологического организма как термодинамически неравновесных систем. Предложено взаимное соответствие отдельных параметров электроразрядной плазмы и биоорганизма. Из свойств газового разряда на эволюцию опухолевого новообразования переносится критическая величина энергоснабжения как условие для начала перерождения биоструктур. В проблемной зоне образуется градиент рассеиваемой мощности за счет торможения энергопотока. При продолжительном пребывании биологической ткани в энергонасыщенном состоянии предполагается сдвиг равновесия для реакций химической индукции, ответственных за синтез наиболее сложных биологических структур. Представлена пространственная динамика зарождения опухоли и стягивание к ней энергопотоков из окружающих тканей. Газоразрядная аналогия позволяет получить количественные оценки устойчивости организма к критическому переходу. С энергетической точки зрения рассмотрены некоторые частные случаи онкогенеза. Делается вывод об увеличении устойчивости к новообразованиям при контролируемом потреблении внешних ресурсов, в особенности за счет умеренного дыхания.

Ключевые слова: опухоль, неравновесная система, тлеющий газовый разряд, газоразрядная аналогия, удельный энергоснабжения, критический уровень энергоснабжения.

Введение

В настоящее время вопросы онкогенеза продолжают оставаться актуальными ввиду статистики данной патологии [1]. Предложены около сотни научных гипотез о причинах зарождения и механизмах развития опухолевых новообразований, поэтому каждый исследователь определяет наиболее значимые теории исходя из своей практики. Так, профессор РГМУ Брюховецкий А. С., один из ведущих специалистов по молекулярнонацеленным «таргетным» препаратам [2], выделяет в качестве актуальных следующие теории [3]: мутагенеза (Т. Вовери), случайных мутаций (Л. А. Лоеб), «Теория анеуплоидии» (Р. Дюсберг), возникновения рака из эмбриональных клеток (Д. Кохнгейм, В. Рипперт, В. Роттер и др), тканевого онкогенеза (Васильев Ю. М.), четырёхстадийного канцерогенеза (Галицкий В. А.). В обзоре делается характерный вывод: «Проблема возникновения рака до настоящего времени не имеет однозначного ре-

шения... Вопросов о причинах и механизмах происхождения рака гораздо больше, чем научных ответов на них».

Рабочими остаются и другие теории — иммунных нарушений, химического канцерогенеза, вирусного воздействия, хронического раздражения, паразитарного влияния, эволюционная и пр. [1].

В исследованиях по проблеме опухолевых заболеваний активно используются физические подходы. Так, в 2008 году в США создали 12 крупных физических центров по онкологической тематике [4].

Важным представляется рассмотрение энергетики «ракового обмена», поскольку метаболизм есть неотъемлемая черта живого организма. Однако относительно низкая величина электрохимических потенциалов и градиентов тепло- и массопереноса в человеческом организме затрудняют исследования структуры и вели-

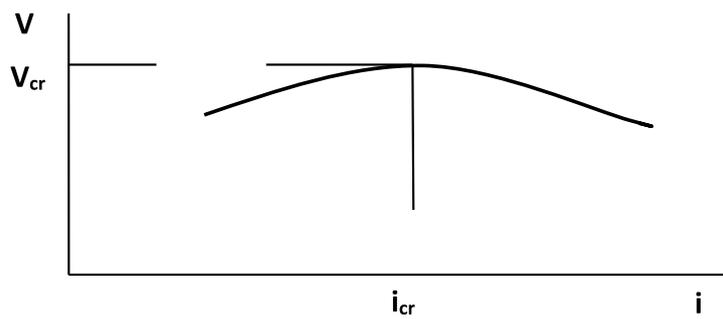


Рис. 1. Зависимость напряжения V на электродах от тока i для тлеющего разряда, стабилизированного потоком газа: V_{cr} , i_{cr} — критические значения начала перехода к дуговому разряду

чины энергетических потоков с разрешением на уровне клетки.

Современные представления о жизни как самоорганизующейся неравновесной системе [5] позволяют использовать подобие между биологическими и техническими системами для моделирования некоторых особенностей онкогенеза. В качестве физического аналога для рассмотрения энергетических процессов в неравновесном живом организме можно принять, например, электрический «тлеющий» разряд в потоке газа [6].

Некоторые свойства тлеющего разряда

Неравновесность газового тлеющего разряда заключается, в частности, в повышенной энергии электронов в сравнении с ионами и инверсной заселенности некоторых молекулярных уровней, что используется в том числе в лазерной технике.

Для тлеющего разряда в потоке газа зависимость напряжения V на электродах от тока i как правило, имеет переход через максимум (рисунок 1). Растущая ветвь V при токах меньших критического значения i_{cr} соответствует тлеющему разряду.

С увеличением тока более i_{cr} происходит переход к дуговому разряду, сопровождающийся нарастанием равновесных процессов [7]. При нагреве газа происходит выравнивание температуры электронов, ионов и нейтральных молекул, что срывает лазерную генерацию. Для различных конструкций разрядных камер и условий возбуждения разряда вольтамперные характеристики несколько отличаются. Наличие растущего участка и относительно плавный переход через максимум характерны, например, для разряда в воздухе при относительно небольших скоростях потока и давлениях, ~ 10 м/с и ~ 10 кПа соответственно [8].

Динамика перехода однородного тлеющего разряда в контрагированное состояние со сжатыми по пространству преддуговыми образованиями — «шнуром» зависит от уровня энерговыделения. Например, для $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ лазерных смесей критическая величина удельного энерговыделения на единицу массы газа $\langle W \rangle_{cr}$ составляет ~ 300 Дж/г [9].

При относительно невысокой напряженности электрического поля E перегрев газа начинается в локальной зоне, обычно вблизи электродов с высокой плотностью тока, или в зоне торможения потока на преграде, где ухудшаются условия конвективного охлаждения. По мере роста энерговыделения шнур разрастается по пространству.

При повышенном значении напряженности E переход к дуге происходит при энерговыкладах меньших чем $\langle W \rangle_{cr}$ скачком, благодаря развитию различного вида неустойчивостей: ионизационно-перегревной, электронно-прилипательной и т.д. Каждая неустойчивость имеет свое характерное время развития, определяемое кинетическими процессами в плазме, и требуется определенное время чтобы из зоны инициации развился протяженный «шнур».

Газоразрядная аналогия для потока энергии в проблемной области организма

Зарождение и развитие опухолевого новообразования просматривается по аналогии с образованием в плазме областей с повышенным энерговыделением (рисунок 2).

Проточный тлеющий разряд может рассматриваться в качестве модельного, поскольку, например, процесс конвективного переноса тепла, определяющий нагрев газа, во многом аналогичен выносу тепла из организма человека током крови, собственные градиенты для

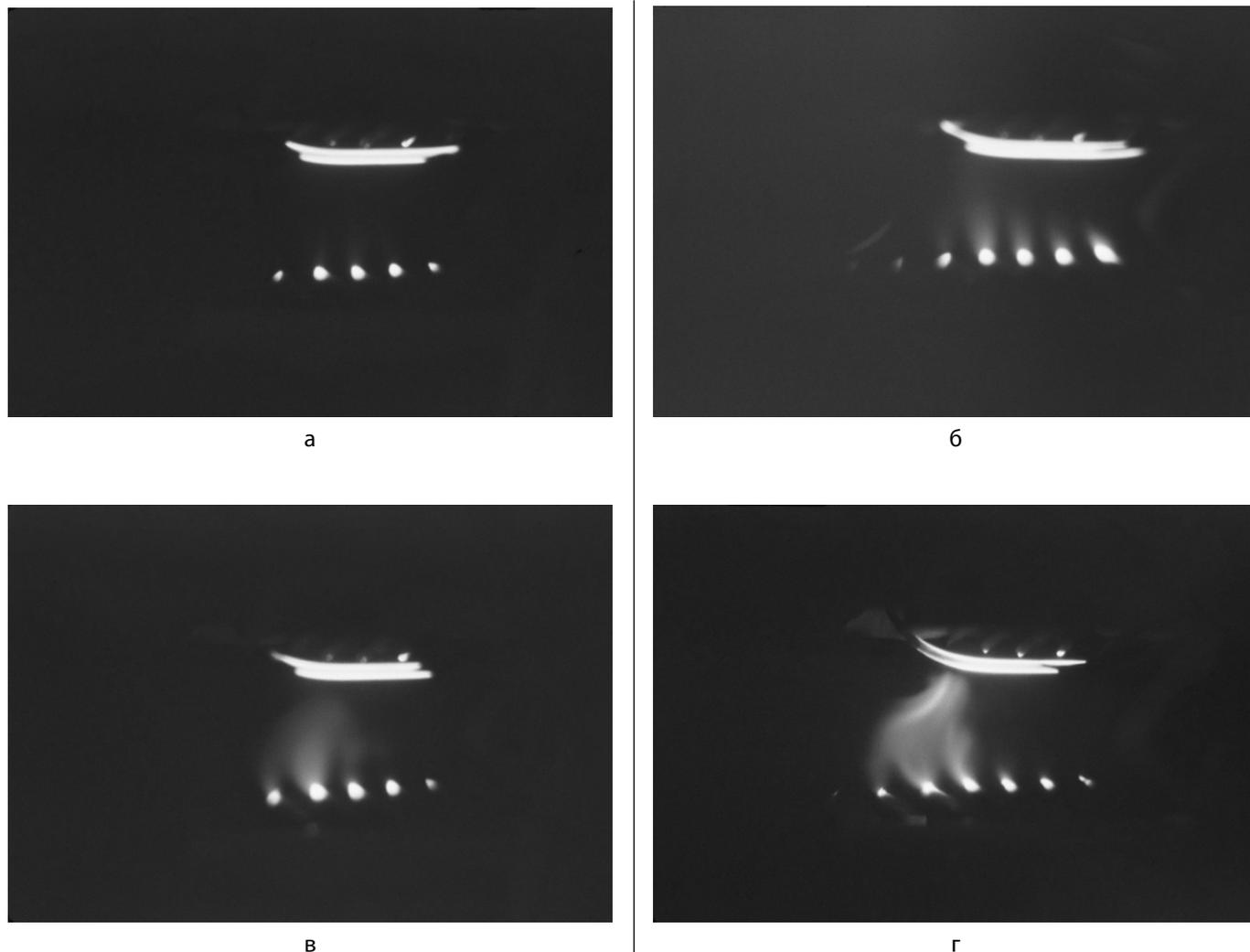


Рисунок 2. Переход от тлеющего разряда в потоке воздуха к дуговому по мере увеличения энерговклада: а – пространственно-однородное состояние разряда, б – зарождение неоднородностей в зонах повышенного энерговыделения, в – развитая стадия прорастания неоднородностей, г – стягивание объемной плазмы в локализованное образование (Направление потока справа налево. Вверху – катодное свечение, внизу – секционированный анод. Межэлектродное расстояние 50 мм. Давление 5 кПа, скорость потока 20 м/с. Напряжение 2 кВ, ток 40–100 мА)

объемно-однородного разряда относительно невелики, и т.п.

Соотношение между основными параметрами биологического организма и тлеющего разряда

Энерговклад в газовый разряд обеспечивается электрическим полем, перемещающим электроны и ионы, которые передают энергию другим частицам.

В биологическом организме энергетический поток реализуется переносом массы и тепла, осуществляемым частицами под действием перепада концентраций, тем-

пературы, давления, а также имеет электромагнитную полевую составляющую и протекание токов заряженных частиц — электронов и ионов. Поток энергии внутри и снаружи тела человека можно приписать некоторые параметры, аналогичные i , V , W для разряда.

Например, в качестве аналога тока i логично положить поступление в организм внешних энергетических ресурсов, таких как кислород и пища. Если приток энергии распределить по времени, i будет соответствовать размерность мощности.

Напряжению V возможно соотнести способность организма совершить работу. При этом для V может быть

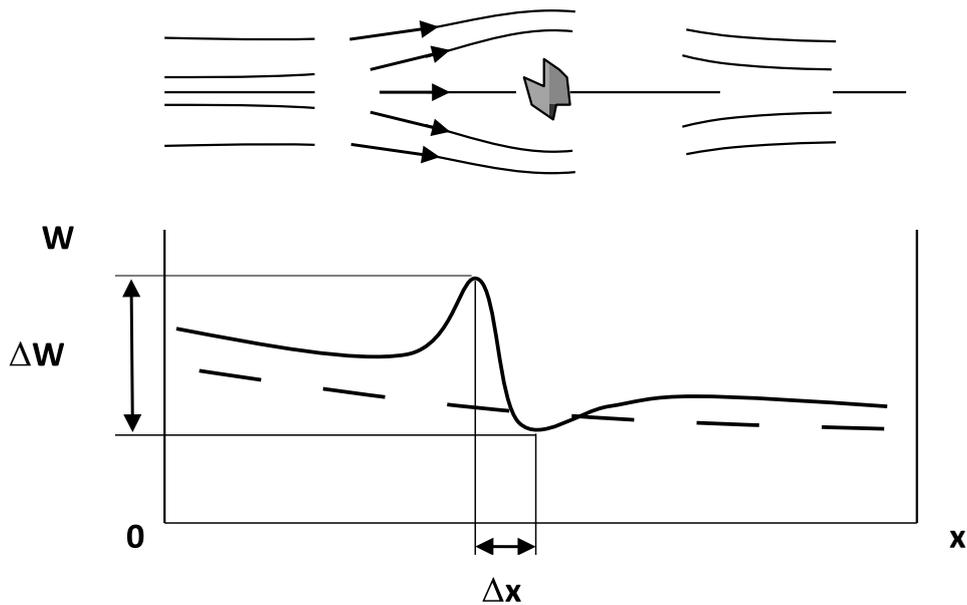


Рисунок 3. Образование зоны повышенного энерговыделения ΔW при обтекании энергетическим потоком возникшего препятствия (сплошная линия). Точечная линия – энерговыделение в здоровом организме

поставлена в соответствие, например, концентрация энергетических молекул аденозинтрифосфата (АТФ) в рассматриваемой области. Энергетический эффект АТФ-реакции постоянен для конкретного процесса в организме, поэтому V изменяется пропорционально количеству энергомoleкул, может быть определена как энергонасыщенность и является безразмерной величиной.

Для здорового человека энерговыделение W обеспечивается потребленными извне ресурсами и при интенсивности энергонасыщения V , и $W = Vi$ будет иметь размерность мощности. Термодинамически W соответствует расходу внутренней энергии U . Суммарный поток энергии, протекающей через организм взрослого человека в спокойном состоянии, составляет около 8000 Дж за сутки и соответствует выделяемой мощности ~ 100 Вт [10]. Удельное энерговыделение в организме взрослого человека можно оценить величиной $\langle W \rangle$ в несколько милливатт на грамм, или примерно столько же в 1 см^3 объема тела.

Зарождение опухоли в проблемной зоне

Из газоразрядной аналогии представляется, что зона с повышенным удельным энерговыделением $\langle W \rangle$ может возникнуть на пути потока энергии внутри организма перед препятствием, образуемым под воздействием травмы, канцерогенов, онковирусов, радиации, возрастных изменений и т.п. (рисунок 3).

Перед проблемной зоной энергопоток тормозится и плотность энерговыделения $\langle W \rangle$ возрастает. Формируется градиент энергетических параметров $\text{grad } W = (\Delta W / \Delta x)$. Ему соответствует перепад давления, концентрации, электрохимического потенциала и т.д. В самой зоне при этом может наблюдаться «гипоэнергетический» провал. Дальнейшее преобразование тканей в проблемной зоне зависит от величины энерговыделения ΔW и времени существования застойной зоны.

Если энерговыделение в проблемной зоне остается на умеренном уровне, менее $\langle W \rangle_{cr}$, будет происходить восстановление биоструктур поврежденного органа или же возможно образование доброкачественной опухоли.

При уровне большем $\langle W \rangle_{cr}$ также происходит регенерация, если период релаксации состояния не превысит характерное время для развития онкологической неустойчивости в данном органе. Снижение величины энергетического градиента до нормального уровня W осуществляется, например, за счет частичного обтекания энергопотоком пораженного участка.

Если же перед проблемным местом достигается предельный уровень энерговыделения $\langle W \rangle_{cr}$ и такое состояние сохраняется достаточно продолжительное время, становится возможным перерождение биотканей ввиду изменения кинетики химических реакций, протекающих как индукционно, так и по каталитическим механизмам [11].

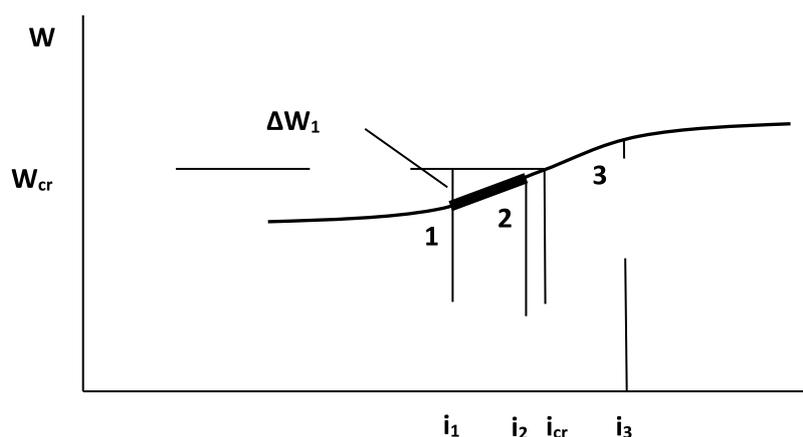


Рис. 4. Энерговыведение в организме человека при умеренном (1) и интенсивном (2) потреблении энергоресурсов. (1–2) — область физиологически нормальных условий существования организма, (3) — область перерождения биоткани. W_{cr} — уровень энерговыведения в начале критического превращения, ΔW_1 — запас устойчивости к переходу из состояния (1) до уровня W_{cr} .

Особенности потребления энергоресурсов при опухолевом новообразовании

В силу эволюционной рациональности природы получение пищи, кислорода и прочих энергоресурсов, или приращение Δi , должно сопровождаться максимально эффективным преобразованием энергии ΔW . Для энергетической зависимости это имеет место в области вблизи точки перегиба, при i_{cr} , где величина $(\Delta W/\Delta i)$ максимальна (рисунок 4).

При умеренном потреблении организм имеет возможность рассасывания возникающих энергетических градиентов (точка 1). В то же время весьма часто стрессовые ситуации не сопровождаются физическим действием. Если человек продолжительно пребывает в возбуждении (точка 2), состояние организма может приблизиться к критическому (W_{cr}). Параметрами вблизи точки 2 могут характеризоваться, например, воспалительные процессы. Как установлено в настоящее время, воспаление непременно предшествует опухоли [12].

Присущая организму внутренняя энергия U представляется в виде $U = G + Q$, где свободная энергия G (энергия Гиббса) производится в результате окислительного преобразования химической энергии пищи и далее расходуется для совершения работы и формирования биоструктур, а связанная энергия $Q = TS$ выделяется в организме в виде тепла и, в частности, обеспечивает поддержание постоянной температуры T тела человека [10]. Свободная энергия идет, например, на синтез макромолекул АТФ, образование белков и нуклеиновых кислот и т.д. Эти реакции реализуются за счет явления

химической индукции [11] и сопровождаются увеличением свободной энергии G_{ii} . Сопреженные реакции приводят в итоге к выделению тепла.

Поскольку $U = TS + G_{ii}$, а в проблемной зоне и температура T , и энтропия S увеличиваются более нормальных величин, постепенно происходит сдвиг химического равновесия, затрудняющий процессы синтеза ключевых биоструктур. Прирост свободной энергии G_{ii} уменьшается, что позволяет говорить о снижении при этом степени неравновесности, определяемой как отношение G_{ii}/U .

Пространственный фактор при опухолевом перерождении

В тлеющем разряде основной ток начинает стягиваться в зону дугового разряда, поскольку ее сопротивление снижается по мере разогрева газа и увеличения подвижности носителей тока — электронов и ионов (см. рисунок 2). Тем самым более равновесный шнур замыкает на себя ток из окружающей неравновесной плазмы.

Опухоль также отбирает энергопоток из окружающих тканей. Основными каналами для переноса энергии являются характерные выросты из опухоли. Начинается интенсивный рост кровеносных сосудов, клетки теряют правильную форму, упругость, ориентацию, на молекулярном уровне происходят генетические мутации [1]. Дефектность переродившихся биоструктур означает снижение сопротивляемости тканей к энерго- и массопереносу. Повышение энергопотока осуществляется, например, за счет увеличения текучести и проницаемости клеточных мембран, тканевого атипизма в форме нарушения пространственных и количественных соотноше-

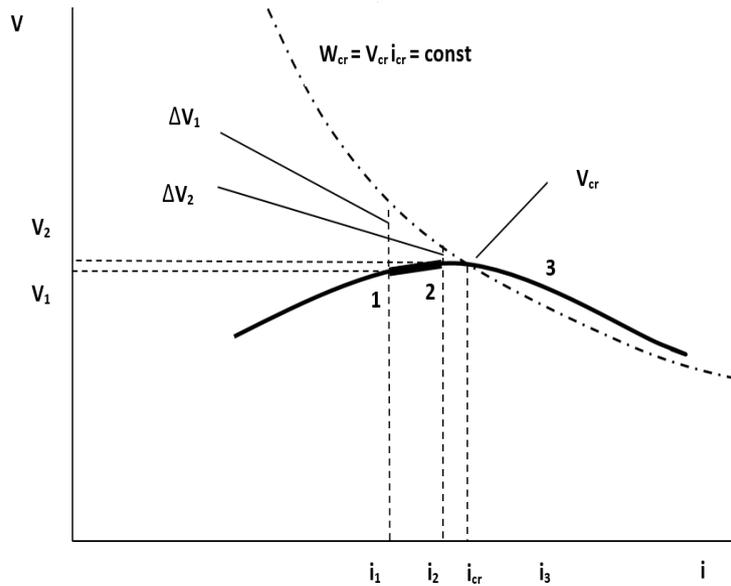


Рис. 5. Запас энергонасыщенности ΔV в организме по отношению к критическому переходу при умеренном (1) и интенсивном (2) дыхании, (3) — зона перерождения

ний между компонентами биоткани. Ввиду положительной обратной связи уровень поглощаемых опухолью ресурсов i увеличивается. Например, имеет место увеличение захвата питательных веществ раковыми клетками — «глюкозная ловушка».

Особенности энергетики дыхания

Наглядным примером интенсификации энергетических процессов в зоне развивающейся опухоли является, в частности, переход от фосфорилирования к гликолизу (эффект Варбурга). Если в первом процессе осуществляется глубокое преобразование глюкозы $C_6H_{12}O_6$ до углекислого газа и воды, то в случае анаэробного гликолиза преобразование останавливается на молочной кислоте, со значительным снижением энергии Гиббса, — 85 кДж/моль [13]. Тем самым анаэробный гликолиз эффективно реализуется только в условиях значительного увеличения энергопритока, при переходе из состояния 2 в зону 3 (рисунок 4).

Интенсификация энергообмена и соответствующий рост клеток вызывают недостаток кислорода в опухоли. Однако даже при увеличении содержания кислорода до нормального уровня в опухоли продолжается активный анаэробный гликолиз (отрицательный эффект Пастера).

С точки зрения газоразрядной аналогии после перехода к режиму 3 (рисунок 4) в зоне опухоли уже сформировались биоструктуры, представляющие канал с повышенной плотностью мощности W . Именно рост

энерговыведения способствует активности ферментов анаэробного гликолиза [14].

Устойчивость к критическому переходу

В качестве оценки устойчивости для конкретного режима дыхания и питания i можно принять величину прироста энергонасыщенности ΔV , необходимого для перехода от состояния $V(i)$ к критическому энерговыведению, определяемому условием $W_{cr}(V, i) = (V_{cr} i_{cr}) = \text{const}$. Из рисунка 5 видно, что для умеренного дыхания V_1 и активного газообмена в возбужденном состоянии V_2 запас устойчивости ΔV_1 существенно превышает ΔV_2 .

Газовый разряд удается поддерживать стационарно с сосуществующими областями неравновесной плазмы и проявившимися шнуровыми образованиями, например, за счет секционирования разряда на зоны, стабилизируемые независимо [15].

Для биологического организма также возможно представить ситуацию, когда проблемная область перестает увеличиваться и даже восстанавливается. Например, это может иметь место при повышении устойчивости к перерождению окружающих опухоль тканей. Даже если в проблемной зоне произошла трансформация биоструктур в состояние 3 (см. рисунок 5), соседние ткани могут удерживаться в состоянии 2 и даже 1 за счет, например, умеренного дыхания и питания, и тем более фармакологического и прочих лечебных воздействий.



а



б

Рис. 6. Аналогия метастазирования: пространственно-однородный разряд при умеренном энергокладе (а) и проявление проблемных зон (посторонние частицы и т.п.) при увеличении энергоклада (б). Катодное свечение — вверху, анод — внизу

Проблемная зона лишается подвода энергетических ресурсов, затрудняется ее прораствание в здоровые органы. Энергетический запас устойчивости, например, для состояния 1 (рисунок 5) определяется выражением:

$$\Delta W_I = \Delta V_I i_I = (V_{cr} i_{cr}) - (V_I i_I).$$

Для оценки состояние ткани в точке 1 по уровню энергонасыщенности V_I можно принять равным критическому V_{cr} . Тогда запас устойчивости ξ находится из выражения $\xi = \Delta W_I / W_{cr} = \Delta W_I / (V_{cr} i_{cr}) = (1 - i_I / i_{cr})$

Снизив потребление энергоресурсов, можно ожидать пропорционального повышения устойчивости в здоровых тканях. Если принять для человека близкую к критической величину выделяемой мощности ~ 200 Вт, то суточные энергозатраты в этом состоянии составят $\sim 17 \sim 000$ кДж. Тем самым, например, для 10% повышения устойчивости ξ желательно воздерживаться от потребления в эквиваленте до 100 г сахара и т.п.

Влияние уровня энергонасыщенности на метастазирование

В условиях тлеющего разряда при повышении уровня энергоклада проявляются различные неоднородности и препятствия на пути энергетического потока (рисунок 6).

Аналогично могут активироваться метастазирующие частицы при продолжительном пребывании организма в условиях 2 по сравнению с состоянием 1 (рисунки 4, 5).

Переход к контракции происходит во времени экспоненциально:

$W \sim W_{cr} \exp(\Omega t)$ [7]. Динамика развития опухолевой неустойчивости также зависит от энерговыделения, и при умеренном потреблении ресурсов i инкремент Ω (V_I, i_I) невелик. Возникающие в организме градиенты эффективно рассасываются, отделившиеся фрагменты опухоли могут не обнаруживать себя неопределенно продолжительной период.

В молодом возрасте рак протекает, как правило, более катастрофично [1]. Термодинамически это может быть связано с тем, что в растущем организме значительны удельные энергопотоки. Энергозатраты в спокойном состоянии у новорожденных составляют 300 кДж $m^{-2} \text{ч}^{-1}$, в то время как у людей зрелого возраста 120 кДж $m^{-2} \text{ч}^{-1}$ [10]. В связи с этим, например, пересаженные в организм стволовые клетки могут интенсифицировать энергетический поток в зоне трансплантации.

В условиях тлеющего разряда неустойчивость часто инициируется в области электродов, поскольку край катодного пятна стабилизируется повышенной напряженностью E электрического поля [16]. Аналогично на поверхности тела человека существуют значительные градиенты температуры, концентраций и т.д., необходимые для поддержания гомеостаза внутри организма. Это может явиться причиной быстрого развития опухоли в случае ее локализации, например, на поверхности кожи.

Биологическое рассмотрение

Энергетический подход позволяет дополнить молекулярно-генетическое представление некоторых биологических вопросов. Например, в популярной литературе получил название «парадокс Рено» тот факт, что слон

по весу имеет соответственно больше клеток в организме, и с генетической точки зрения вероятность новообразований должна быть очень высока [17]. Реально же в популяции слонов онкологию наблюдают в 5% случаев, в то время как для человеческого сообщества этот параметр составляет около 25%. Молекулярные исследования привели к обнаружению у слонов значительного числа антионкогена p53, запускающего апоптоз раковых клеток [18].

В то же время энергетический баланс очевидно показывает, что поскольку площадь поверхности $\sim l^2$, а объем $\sim l^3$, где l — характерный размер тела, то при примерно одинаковой температуре поверхности удельное тепловыделение внутри тела слона объективно меньше. Аналогичные рассуждения привлекаются для объяснения ускоренного метаболизма у мелкоразмерных животных, например, мышей.

Энергетическое рассмотрение в данном случае делает упор на низкую интенсивность процессов энергопереноса. Удельное потребление кислорода у слона составляет $\sim 100 \text{ мм}^3 \text{ O}_2$ на грамм веса тела в час, в то время как у человека этот параметр равен $\sim 200 \text{ мм}^3 \text{ O}_2 \text{ г}^{-1} \text{ ч}^{-1}$ [19]. Для слона зависимость $V(i)$ на рисунке 5 будет расположена ниже, обеспечивая лучшую устойчивость к критическому переходу при отклонениях Δi . Это определяет меньшую вероятность формирования в организме энергетических градиентов и, соответственно, зарождения новообразований. В то же время у мышей интенсивность метаболизма $\sim 900 \text{ мм}^3 \text{ O}_2 \text{ г}^{-1} \text{ ч}^{-1}$, что заставляет осмозрительно переносить на человека результаты, полученные с грызунами.

Возможности профилактики

Поскольку при развитии патологии поставщиком органической компоненты (глюкозы и др.) могут являться ткани организма, то для ресурсов i , поступающих извне, определяющим можно принять дыхание. Статистические данные показывают, что люди, живущие в условиях высокогорья, в несколько раз реже обычного заболевают, по крайней мере, раком легких [20]. Тем самым за счет периодических процедур расслабления можно управлять запасом кислорода, усвоенным в организме, и влиять на устойчивость ξ биоткани к перерождению. Степень релаксации может контролироваться, например, по задержке дыхания, процедуре искусственного зевания и другими физиологическими способами. Релаксационные процедуры меняют знак развития неустойчивости Ω_+ на декремент затухания Ω_- аналогично случаю стабилизации плазменной неоднородности [8], поэтому регулярная практика может удерживать развитие патологического процесса.

Умеренное энергопотребление в режиме 1 (рисунок 5) не только приводит к рассасыванию возникающих градиентов, но и может способствовать восстановлению поврежденных биоструктур. Изучение млекопитающих *Heterocephalus glaber*, обитающих в условиях постоянного умеренного недостатка кислорода, показывает возможности репарации их ДНК [21] и высокую продолжительность жизни [22]. Действительно, ввиду $U = V_i$, в состоянии 1 (рисунок 5) $dU = V_i di + i_i dV$, и релаксация градиентов идет различными путями, принципиально возможны не только остановка патологии, но и регенерация биоструктур. В критической точке энергонасыщенность V_{cr} предельная, число степеней свободы термодинамической системы уменьшается, изменение внутренней энергии $dU = V_{cr} di$ определяется потоком i .

Тем самым с эволюционной точки зрения онкологические заболевания представляются как энергетически экономный природный механизм устранения из биологической популяции особей с хроническими патологиями, например, затяжными воспалениями и т.п. После инициации для продолжения процесса достаточно лишь поступления кислорода из внешней среды. В человеческом сообществе провоцирующими можно считать и психологические проблемы, такие как стрессы, депрессию и пр.

Заключение

Имеются общие закономерности протекания энергетических процессов в человеческом организме и в плазме проточного тлеющего газового разряда как сильнонеравновесных системах.

Энергетическая компонента является одной из причин развития опухолевого новообразования. При торможении потока энергии в организме вблизи проблемной зоны происходит локальный рост энерговыделения. В случае сохранения энергетического градиента продолжительное время, характерное для данной биологической ткани, происходит сдвиг химического равновесия и становятся неоптимальными условия для протекания реакций химической индукции, ответственных за синтез сложных биологических структур.

Проблемная область отбирает энергопоток из окружающих тканей за счет положительной обратной связи между подводом энергоресурсов и увеличением проницаемости атипичных биоструктур.

Устойчивость окружающей биоткани от прорастания новообразования определяется величиной потребляемых энергоресурсов в сравнении с критическим уровнем. В частности, запас устойчивости может зависеть от интенсивности дыхания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заридзе Д. Г. Канцерогенез. М: Медицина, 2004. — 576 с.
2. Брюховецкий А. С. Клиническая онкопротеомика: персонифицированная противоопухолевая клеточная терапия. М: Полиграф-Плюс, 2013. — 404 с.
3. Онкология [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://neurovita.ru/онкология/существующие-теории-канцерогенеза-теории-происхождения-рака.html> (дата обращения — 12.12.2018)
4. NewScientist [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.newscientist.com/article/mg21728970.200-physics-not-biology-may-be-key-to-beating-cancer/> (дата обращения — 12.12.2018)
5. Базаров И. П., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М.: МГУ. 1989. — 240 с.
6. Велихов Е. П., Голубев В. С., Пашкин С. В. Тлеющий разряд в потоке газа // Успехи физических наук. — 1982. — Т. 137, вып. 1. — С. 117–150.
7. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. Долгопрудный: «Интеллект», 2009. — 736 с.
8. Карнюшин, В. Н., Цылько В. А., Широков Е. И., Шушков С. В. Тепловые факторы в приэлектродных зонах и предельные характеристики тлеющего разряда / Минск: Ин-т тепло-и массообмена, 1989. — Препринт № 7. — 32 с.
9. Веденов А. А. Физика электроразрядных CO₂-лазеров. М: Энергоиздат, 1982. — 111 с.
10. Медицинская физика / Гомель, Гом-й гос. мед. ун-т [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <studfiles.net/preview/5243880/page/1/>, и далее. (дата обращения — 12.12.2018)
11. Кнорре Д. Г., Крылова Л. Ф., Музыкантов В. С. Физическая химия. М: ВШ, 1990. — 416 с.
12. Mantovani A., Allavena P., Sica A., Balkwill F. Cancer-related inflammation. // Nature, 2008. V. 454, № 7203. P. 436–444. doi:10.1038/nature07205. PMID18650914.
13. Nelson D. L., Cox M. M. Lehninger Principles of Biochemistry, 5th ed. W. H. Freeman and Company, 2008. P. 531.
14. Семущин М. А., Кузеванов А. А., Суменкова Д. В. Энергетический метаболизм в опухолевых клетках: атипизм ферментов гликолиза и транспортеров глюкозы // Эл. сб-к ст. LXIII студ. междунар. науч.-практ. конф. — Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». — 2018. — № 4(62) [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.sibac.info/archive/nature/4\(62\).pdf](http://www.sibac.info/archive/nature/4(62).pdf).
15. Цылько В. А., Широков Е. И., Шушков С. В. Исследование области устойчивого горения стационарного тлеющего разряда для секционированных газоразрядных камер // Инж. — физич. ж-л, 1988. — Т. 54, № 5. — С. 850–851.
16. Суржиков С. Т., Райзер Ю. П. Еще раз о природе эффекта нормальной плотности тока на катоде тлеющего разряда // Письма в ЖТФ, 1987. — Т. 13, № 8. — С. 452–456.
17. Стасевич К. Почему слоны не болеют раком? // Наука и жизнь, 2015. — № 5.
18. Abegglen L., Caulin A., Chan A., Lee K., Robinson R., Campbell M., Kiso W., Schmitt D., Waddell P., Bhaskara S., Jensen S., Carlo M., Schiffman J. Potential Mechanisms for Cancer Resistance in Elephants and Comparative Cellular Response to DNA Damage in Humans // Journal of the American Medical Association, 2015. V. 314, No. 17. P. 1850–1860.
19. Cornell University. BIOG 1445. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.biog1445.org/demo/04/metabolicrate.html> (дата обращения — 12.12.2018)
20. Simeonov K., Himmelstein D. Lung cancer incidence decreases with elevation: evidence for oxygen as an inhaled carcinogen // PeerJ 3: e705, 2015. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://doi.org/10.7717/peerj.705> (дата обращения — 12.12.2018)
21. Evdokimov A., Kutuzov M., Petruseva I., Lukjanchikova N., Kashina E., Kolova E., Zemerova T., Romanenko S., Perelman P., Prokopov D., Seluanov A., Gorbunova V., Graphodatsky A., Trifonov V., Khodyreva S., Lavrik O. Naked mole rat cells display more efficient excision repair than mouse cells // Aging (Albany NY), 2018. T. 10. P. 1454–1473. doi.org/10.18632/aging.101482
22. Skulachev V., Holtze S., Vysokikh M., Bakeeva L., Skulachev M., Morhart M., Markov A., Hildebrandt T., Sadovnichii V. Neoteny, prolongation of youth: from naked mole rats to “naked apes” (humans) // Physiological Reviews, 2017. Vol. 97, № 2. P. 699–720.

© Шушков Сергей Васильевич (shushkov_s_v@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»