

DOI: 10.17725/rensit.2022.14.087

Тепловые волны и особенности протекания импульсных термостимулированных биохимических реакций при взаимодействии вирусов с клетками

¹Корнилова А.А., ¹Гайдамака С.Н., ¹Гладченко М.А., ²Агасаров Д.Я., ²Корнилов И.В., ²Герасимов М.А.

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <http://www.msu.ru/>
Москва 119991, Российская Федерация

²AVSystems Inc., <http://a-v-systems.com/>

Стэмфорд, Коннектикут 06903, США

E-mail: prfnart@mail.ru, s.gaidamaka@gmail.com, gladmarina@yandex.ru, welcome@a-v-systems.com

Поступила 25.12.2021, рецензирована 20.01.2022, принята 27.01.2022

Аннотация: Рассмотрены особенности возбуждения, распространения на большое расстояние и действия бездиссипативных высокочастотных температурных волн применительно к их влиянию на эффективность системы дистанционного распознавания критичных клеток вирусами. Показано, что действие таких волн приводит к экранированию критичных клеток за счет изменения их поверхностной атомно-молекулярной структуры, что ведет к существенному изменению дисперсионных и других электромагнитных характеристик этих клеток. Это приводит к очень сильному ослаблению эффективности системы дистанционного распознавания таких клеток вирусами, что соответствует эффективной "пассивной" самозащите организма и блокированию активности вирусов. Также показано, что следствием действия таких температурных волн может быть «активный» способ самозащиты организма, который перенастраивает систему распознавания вируса на посторонние (не критичные) клетки или другие макрокомплексы. В этом случае результатом атаки вирусом будет взаимное уничтожение "ложной цели" и вируса за счет естественного апоптоза этого некритичного объекта при проникновении в него вируса.

Ключевые слова: вирусы, температурные волны, клетки, апоптоз

УДК 536.2.01; 536.2.02; 536.35; 578.1; 578.2; 578.7

Для цитирования: Корнилова А.А., Гайдамака С.Н., Гладченко М.А., Агасаров Д.Я., Корнилов И.В., Герасимов М.А. Тепловые волны и особенности протекания импульсных термостимулированных биохимических реакций при взаимодействии вирусов с клетками. РЭНСИТ: Радиозлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2022, 14(1):87-96. DOI: 10.17725/rensit.2022.14.087.

Thermal Waves and Flow Features of Pulsed Thermally Stimulated Biochemical Reactions in Viral Particles Interaction with Cells

Alla A. Kornilova, Sergey N. Gaydamaka, Marina A. Gladchenko

Lomonosov Moscow State University, <http://www.msu.ru/>
Moscow 119991, Russian Federation

E-mail: prtnart@mail.ru, s.gaidamaka@gmail.com, gladmarina@yandex.ru

Dmitry Ya. Agasarov, Igor V. Kornilov, Maxim A. Gerasimov

AVSystems Inc., <http://a-v-systems.com/>
Stamford, CT 06903, USA

E-mail: welcome@a-v-systems.com

Received December 25, 2021, peer-reviewed January 20, 2022, accepted January 27, 2022

Abstract: This review considers the features of excitation, propagation over a long distance, and the action of non-dissipative high-frequency temperature waves in relation to their influence on the efficiency of the system for remote recognition of critical cells by viruses. It is shown that the action of such waves leads to screening of critical cells due to a change in their surface atomic and molecular structure, which leads to a significant change in the dispersion and other electromagnetic characteristics of these cells. This leads to a very strong weakening of the efficiency of the system of remote recognition of such cells by viruses, which corresponds to the effective "passive" self-defense of the body and blocking the activity of viruses. It is also shown that the effect of such temperature waves can be an "active" method of self-defense of the body, which reconfigures the virus recognition system to extraneous (non-critical) cells or other macrocomplexes. In this case, the result of the attack by the virus will be the mutual destruction of the "false target" and the virus due to the natural apoptosis of this non-critical object when the virus penetrates it.

Keywords: viruses, temperature waves, cells, apoptosis

UDC 536.2.01; 536.2.02; 536.35; 578.1; 578.2; 578.7

For citation: Alla A. Kornilova, Sergey N. Gaydamaka, Marina A. Gladchenko, Dmitry Ya. Agasarov, Igor V. Kornilov, Maxim A. Gerasimov. Thermal Waves and Peculiarities of Pulsed Thermally Stimulated Biochemical Reactions in Viral Particles Interaction with Cells. *RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies*, 2022, 14(1):87-96. DOI: 10.17725/rensit.2022.14.087.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (88)
 2. УРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ И ЕГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ С ПАМЯТЬЮ (88)
 3. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ (91)
 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (95)
- ЛИТЕРАТУРА (95)

1. ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение новой коронавирусной инфекции показало уязвимость иммунной системы человеческого организма, а значительное увеличение применения антибиотиков и дезинфицирующих средств привело уже сейчас к формированию устойчивых к их действию патогенных микроорганизмов, что косвенно усиливает вирусы. Поэтому разработка новых способов профилактики и лечения инфекционных заболеваний в настоящее время крайне актуальна.

Давно известно, что стрессовые воздействия на организм провоцируют активацию ряда защитных процессов для его выживания. Поэтому авторы работы поставили перед собой задачу изучить потенциал активного

метода самозащиты от вирусных инфекций, результатом которого является не только снижение активности вируса, но и возможность его уничтожения посредством использования нового типа физического воздействия на организм.

2. УРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ И ЕГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ С ПАМЯТЬЮ

Традиционное представление о законах термодинамики основывается на достаточно обоснованном предположении о чисто диффузионном (некогерентном и необратимом) характере распространения тепловых возбуждений. Такие же представления обычно относятся к особенностям «обычных» тепловых (температурных) волн, процесс распространения которых описывается «стандартными» уравнениями теплопроводности, получение и интерпретация которых содержится в любом учебнике по математической физике.

Математическое описание этих процессов основывается на совместном использовании двух базовых уравнений – закона Фурье для нестационарного потока тепла

$$\vec{q}(\vec{r}, t) = -\lambda \text{grad}(T(\vec{r}, t)), \quad (1)$$

и уравнения непрерывности (фактически – закона сохранения энергии для локальной области), которое в отсутствие распределенных источников тепла в среде с объемной плотностью ρ и теплоемкостью c_v имеет вид

$$\rho c_v \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t} = \text{div} \vec{q}(\vec{r}, t). \quad (2)$$

Из этих двух уравнений следует классическое уравнение температуропроводности параболического типа для пространственно-временного изменения температурного поля

$$\rho c_v \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t} = \text{div} \{ \lambda \text{grad}[T(\vec{r}, t)] \}. \quad (3)$$

Решение этого уравнения в однородной среде в одномерном случае

$$\rho c_v \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = G \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}, \quad G = \lambda / \rho c_v \quad (4)$$

соответствует температурным волнам

$$T = A e^{-kx} e^{i(\omega t - kx)} + B e^{kx} e^{i(\omega t + kx)}, \quad (5)$$

в которых коэффициент затухания равен волновому числу.

Здесь $k = \sqrt{\omega / 2G}$ – коэффициент затухания, $G = \lambda / \rho c_v$ – коэффициент температуропроводности.

Из этого результата следует, что такие волны очень быстро затухают в пространстве на расстоянии, равном нескольким длинам волн.

Более детальный анализ [1-3] показывает, что такой «стандартный» путь анализа нестационарных процессов переноса тепла является приближенным и неявным образом основывается на двух важных предположениях – принципе локальности и принципе локального термодинамического равновесия.

Первый из этих принципов позволяет перейти от уравнения сохранения энергии в интегральной форме к уравнению сохранения энергии в дифференциальной (локальной) форме. Второй принцип предполагает (без достаточных обоснований), что рассматриваемая пространственная

неравновесная система может быть представлена в виде множества небольших, последовательно расположенных в пространстве локально равновесных подсистем. Фактически при выводе этих уравнений предполагалось, что при малом размере этих подсистем в каждой из них всегда будет равновесное распределение частиц, соответствующее одинаковой температуре. Это ошибочное предположение, поскольку процесс установления равновесия определяется не размерами подсистемы, а вероятностью упругого рассеяния и количеством соударений частиц (молекул, атомов) входящих в эту подсистему, которое должно приводить к установлению равновесного распределения.

Если учесть, что для установления такого распределения должно произойти около 10 соударений, то минимальный размер области такой релаксации должен в несколько раз превышать длину свободного пробега частицы $\langle l \rangle$. Исходя из таких обстоятельств, очевидно, что размер таких подсистем не может быть как угодно малым, а для установления такого равновесия необходимо конечное (не равное нулю) время релаксации.

В явном виде это обстоятельство проявляется в структуре соотношения (2), которое можно интерпретировать с точки зрения одномоментности (одновременности) изменения потока тепловой энергии $\vec{q}(\vec{r}, t)$ в каждой подсистеме и изменения локально однородной температуры в пределах этой же подсистемы. Очевидно, что последнее предположение справедливо только для достаточно медленных процессов, когда время релаксации каждой из таких подсистем к равновесному состоянию τ существенно меньше характерного времени конкретного процесса, определяющего характеристики теплового поля (в частности, продолжительности теплового фронта для импульсного или периода для периодического процессов возбуждения тепла).

В реальных физических системах эти требования при определенных условиях могут не выполняться, что может приводить к очень существенному видоизменению как исходных уравнений, так и следующих из них выводов.

В наших работах [1-6] впервые было рассмотрено влияние конечного (не равного нулю) времени локальной релаксации τ на характер пространственной и временной эволюции теплового поля (более конкретно - тепловых волн) и предсказано существование незатухающих температурных волн. Такие волны в определенных условиях могут распространяться без диссипации и пространственного ослабления в материальных средах с малым, но конечным временем τ локальной релаксации температуры (временем установления локального термодинамического равновесия или, применительно к газу или плазме, длительностью процесса «максвеллизации»).

Существует несколько механизмов такой «максвеллизации», зависящих от агрегатного состояния вещества (газ, жидкость, твердая среда), а ее длительность существенно зависит от параметров системы (плотности, температуры и атомарного (молекулярного) состава).

В воздухе длительность процесса «максвеллизации» $\tau \approx 10 / n_{air} \langle \sigma(v)v \rangle$ определяется средним сечением упругого рассеяния, которое при тепловой скорости движения простых одно- или двухатомных молекул газа примерно равно геометрическому сечению молекул $\langle \sigma(v) \rangle \approx 2 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$, а также среднеквадратичной текущей скоростью $\langle v \rangle \approx \sqrt{kT/m}$ молекул азота или кислорода и концентрацией этих молекул n_{air} .

При нормальном давлении $n_{air} \approx 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и комнатной температуре $T = 300 \text{ К}$ время релаксации равно $\tau \approx 10^{-8}$ сек. При изменении температуры и, особенно, плотности и состава воздуха (например, при наличии водяных паров), величина τ может изменяться в широких пределах ($\tau \approx 10^{-7} - 10^{-8}$ сек).

Учет конечного времени релаксации и использование более логичных и более точных предпосылок приводит к намного более правильному уравнению теплопроводности

$$\frac{\partial T(\vec{r}, t \pm \tau)}{\partial t} = G \nabla^2 T(\vec{r}, t), \quad (6)$$

которое существенно отличается от «стандартного уравнения» (3). Решение этого уравнения в одномерном случае соответствует двум встречным волнам

$$\begin{aligned} T(\omega, x, t) &= \\ &= A_{\omega} \exp(-k |\cos(\omega t / 2) - \sin(\omega t / 2)| x) \times \\ &\times \exp\{i(\omega t - k |\cos(\omega t / 2) - \sin(\omega t / 2)| x)\} + \\ &+ B_{\omega} \exp(k |\cos(\omega t / 2) - \sin(\omega t / 2)| x) \times \\ &\times \exp\{i(\omega t + k |\cos(\omega t / 2) + \sin(\omega t / 2)| x)\}, \quad (7) \\ k &= \sqrt{\omega / 2G}, \end{aligned}$$

параметры которых зависят как от частоты, так и от времени локальной релаксации τ .

Очевидно, что в предельном случае $\tau = 0$ это решение совпадает с решением исходного приближенного уравнения теплопроводности (4).

Коэффициент поглощения для тепловых волн, определяемых уравнением (6), равен величине

$$\delta = k |\cos(\omega t / 2) - \sin(\omega t / 2)|, \quad k = \sqrt{\omega / 2G}. \quad (8)$$

Из этой формулы следует, что при выполнении условия

$$\omega_n = (n + 1/2)\pi / \tau, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

такие волны имеют вид

$$\begin{aligned} T(\omega_{opt}, x, t) &= A_{\omega_{opt}} \exp\{i(\omega_{opt} t - k\sqrt{2}x)\} + \\ &+ B_{\omega_{opt}} \exp\{i(\omega_{opt} t + k\sqrt{2}x)\}, \end{aligned}$$

и будут распространяться в пространстве без затухания. В воздухе минимальная частота такой незатухающей волны зависит от температуры, влажности и давления воздуха и при нормальных параметрах равна

$$\omega_0 \approx 75 \dots 85 \text{ MHz}. \quad (10)$$

В наших экспериментах [1-6] мы генерировали такие волны за счет формирования на поверхности закрытой камеры, внутри которой происходила кавитация воды, очень коротких тепловых импульсов, в фурье-спектре которых содержатся компоненты на разрешенных частотах (9). В этих экспериментах мы уверенно регистрировали тепловые волны с такой и более высокими разрешенными частотами на расстоянии в несколько метров (это расстояние было ограничено только размерами лаборатории). Структура регистрируемой тепловой волны и спектр этих волн представлены на **Рис. 1**.

Для сравнения укажем, что размер области затухания тепловых волн такой частоты, если их рассматривать на основе решения «стандартной» теории (4) с коэффициентом затухания $k = \sqrt{\omega/2G}$, не превышает нескольких микрон!

3. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Рассмотрим особенности влияния таких волн на биологические объекты.

Прежде всего напомним основу стандартных представлений о роли и влиянии

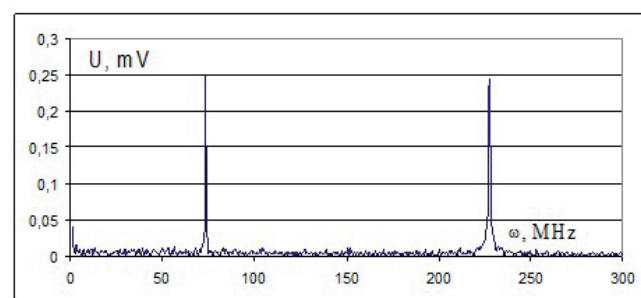
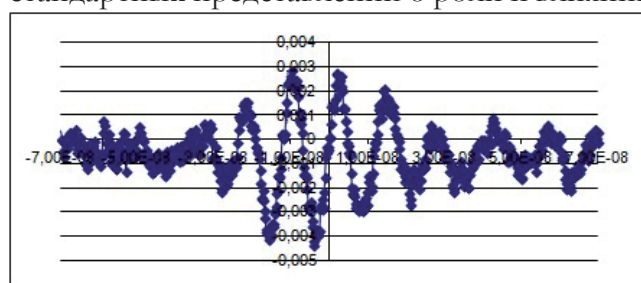


Рис. 1. Пространственная структура и спектр незатухающих тепловых волн, генерируемых при кавитации воды и регистрируемых на расстоянии 2 метра.

тепла на процессы жизнедеятельности живых организмов.

Хорошо известно, что теплота и связанные с ней теплостимулируемые биохимические (а также непосредственно связанные с ними физиологические) процессы составляют основу кинетики биохимических реакций, которые определяют большую часть особенностей жизнедеятельности всех микро и макроорганизмов.

Основные закономерности непосредственного или опосредованного воздействия температуры на такие объекты связаны с ее очень существенным влиянием как на скорость обменных процессов, так и на штатные (детерминированные) и случайные (недетерминированные) процессы синтеза простых и сложных органических молекул, как, например, расщепление белков до аминокислот или репликация ДНК с возможным случайным образованием таутомерных соединений, нарушающих закономерность формирования пар нуклеотидов АТ и ГЦ (аденин-тимин и гуанин-цитозин).

Согласно законам равновесной термодинамики повышение температуры ведет к быстрому возрастанию скорости реакций. Если исходить из фундаментальных законов физики, то этот эффект связан с необходимостью преодоления порогов реакций, обусловленного, как правило, наличием достаточно высокого межмолекулярного или межатомного потенциального барьера. При этом существенное отличие чисто химических от биохимических реакций состоит в том, что в живом организме химические процессы идут, как правило, с участием сложных ферментных систем, локально понижающих этот порог, активность которых в свою очередь также зависит от температуры.

Эти особенности детально рассмотрены в наших работах [7,8] применительно к управляемой саморепарации ДНК после двухнитевого разрыва двойной спирали.

Для любой биологической системы существует область оптимальной температуры,

отход от которой (повышение) ведет либо к гибели организма за счет дезинтеграции ферментативных реакций, либо (при ее понижении) к торможению процессов метаболизма вплоть до полной остановки этих процессов. Эти же представления в полной мере относятся к клеточному циклу, включающему детерминированную последовательность событий от образования дочерней клетки в процессе деления материнской клетки до ее фундаментального превращения через стадии, соответствующие режиму активности клетки с изменением кислотности и концентрации АТФ, до начала митоза и последующего ее деления на две дочерние клетки.

Оболочка некоторых видов вирусов, как правило, состоит из фрагментов цитоплазматических мембран клетки-хозяина, но также содержит и вирусные трансмембранные белки, и гликопротеины. Такие оболочки называют суперкапсидами, так как помимо внутренней белковой оболочки (или, собственно, капсида), окружающей ДНК или РНК вируса, они содержат внешнюю липопротеидную оболочку. Вирусная оболочка используется для облегчения проникновения вируса в клетку-хозяина. Гликопротеины на поверхности оболочки служат для идентификации и связи вируса со специфическим клеточным рецептором на мембране клетки. Позже вирусная оболочка сливается с хозяйской мембраной, давая возможность капсиду и вирусному геному проникнуть внутрь и заразить клетку-хозяина.

Вирусные частицы коронавируса SARS-CoV-2 также образуют суперкапсиды и несут на поверхности их оболочки гликопротеины. Эти белки обозначают как S-белки или S-гликопротеины (Spike-glycoproteins). S-белки образуют гомотримеры и, таким образом, формируют достаточно крупные белковые комплексы, которые называют пепломерами или шипами. Каждый S-белок состоит из двух функционально различающихся регионов:

S1 взаимодействует с рецептором на поверхности клетки, а S2 запускает процесс слияния вирусной оболочки с клеточной мембраной. Поверхностные белки сильно гликолизированы в результате реакции неферментативного соединения глюкозы с аминокетонами белка, что помогает вирусу скрываться от защитных систем организма.

Заражение инициируется связыванием вируса с рецепторами ACE2 на клеточной поверхности с последующим слиянием вируса и клеточных мембран с высвобождением вирусного генома в клетку. После связывания с мембраной S-белок посттрансляционно расщепляется, в данном случае с помощью фурина. Предполагается, что активация слияния после связывания с рецептором включает экспозицию второго протеолитического сайта (S2'), расщепление которого необходимо для высвобождения пептида слияния, обеспечивающего образование эндосомы, включающей в себя вирус.

Очевидно, что успех последующей эволюции вируса зависит от свойств мембраны клетки, которую он атакует, и от одного из главных ее свойств – ее упругости. Иными словами, чем сложнее будет происходить деформация мембраны во время проникновения вируса, тем меньше вероятность того, что вирус сможет поразить клетку.

На этот сложный процесс влияют несколько ключевых факторов:

- геометрические параметры белков и пептидов, реализующих слияние (от их пространственной укладки зависит то, как эти белки будут взаимодействовать с мембраной);
- кислотность среды, влияющая на структуру белков;
- наличие в объеме липидной мембраны крупных молекулярных комплексов (рафтов), относительно свободно перемещающихся по полужидкой клеточной мембране, нарушающих ее

целостность и, тем самым, помогающим вирусу проникнуть в клетку.

Важным является то обстоятельство, что роль рафтов в проникновении давно была доказана на примере вируса иммунодефицита человека. Кроме него, подобный механизм используют вирусы гепатита, лихорадки Эбола, гриппа и др.

В этом смысле актуальность рассматриваемой проблемы трудно переоценить – если мы будем в деталях знать, как вирус сливается с клеткой, то сможем найти средство, препятствующее проникновению. Конечно, разработанная модель описывает весь процесс в теории, но она подскажет экспериментаторам, на чем стоит сосредоточиться в исследованиях взаимодействия вирусов и клеток.

Например, когда клетку атакует вирус, которому достаточно сказать "Сезам, откройся!", то липидная оболочка вируса сливается с плазматической мембраной. При этом формируется так называемая пора слипания, и вирусная РНК начинает реализовываться внутри клетки.

Теплота – основа кинетики химических реакций, из которых складывается жизнедеятельность организма. Поэтому температурные условия оказываются одним из важнейших экологических факторов, влияющих на интенсивность обменных процессов. Температура относится к числу постоянно действующих факторов; количественное ее выражение характеризуется широкими географическими, сезонными и суточными различиями.

Изменчивость температуры влечет за собой соответствующие изменения скорости обменных реакций. Поскольку динамика температуры тела пойкилотермных организмов определяется изменениями температуры среды, интенсивность метаболизма также оказывается в прямой зависимости от внешней температуры. Скорость потребления кислорода, в частности, при быстрых изменениях

температуры следует за этими изменениями, увеличиваясь при повышении ее и уменьшаясь при снижении. Эти же обстоятельства относятся и к другим физиологическим функциям: частоте сердцебиений, интенсивности пищеварения и т.д. У растений в зависимости от температуры изменяются темпы поступления воды и питательных веществ через корни: повышение температуры до определенного предела увеличивает проницаемость протопласта для воды. Показано, что при понижении температуры от 20 до 0°C поглощение воды корнями растений уменьшается на 60-70%. Как и у животных, повышение температуры вызывает у растений усиление дыхания.

Наиболее общая закономерность воздействия температуры на живые организмы выражается действием ее на скорость обменных процессов. Согласно общему для всех химических реакций правилу Вант-Гоффа, повышение температуры ведет к быстрому (линейному или по более быстрому, вплоть до экспоненциального) возрастанию скорости реакции. Разница заключается в том, что в живом организме химические процессы всегда идут с участием сложных ферментных систем, активность которых в свою очередь зависит от температуры. В результате ферментативного катализа возрастает скорость биохимических реакций и количественно меняется ее зависимость от внешней температуры.

Величину температурного ускорения химических реакций удобно выражать коэффициентом Q_{10} , показывающим, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на 10°C:

$$Q_{10} = K_{T+10^{\circ}\text{C}} / K_T, \quad (11)$$

где K_T – скорость реакции при температуре T .

Коэффициент температурного ускорения Q_{10} , для большинства химических реакций абиотического характера равный 2, в реакциях

живых систем колеблется в довольно широких пределах даже для одних и тех же процессов, протекающих в разных диапазонах температур. Это объясняется тем, что скорость ферментативных реакций не является линейной функцией температуры.

Так, у тропических растений при температуре менее 10°C коэффициент Q_{10} приблизительно равен 3, но существенно уменьшается при возрастании температуры выше $25\div 30^{\circ}\text{C}$. У колорадского жука потребление кислорода в диапазоне $10\div 30^{\circ}\text{C}$ характеризуется величиной $Q_{10} = 2.46$, а при температуре $20\div 30^{\circ}\text{C}$ $Q_{10} = 1.8$. Зависимость метаболизма рыб и многих других водных животных от температуры выражается в изменении величины Q_{10} от 10.9 до 2.2 в диапазоне температур от 0 до 30°C .

В одном и том же организме величина температурного ускорения биохимических реакций неодинакова для различных процессов.

Эти общие закономерности связаны со спецификой температурных процессов. Само понятие температуры, если исходить из ее классического определения, характеризует среднеквадратичную скорость движения частиц (молекул, атомов, ионов) и автоматически предполагает, что эта величина соответствует полностью равновесному состоянию конкретной микро или макросистемы, состоящей из очень большого числа частиц.

Для формирования такого равновесного состояния требуется большое (относительно масштаба времени, характеризующего локальные межчастичные взаимодействия или локальные квантовые процессы) время, необходимое для многократного взаимодействия частиц этой системы между собой. Это обстоятельство было учтено при создании классической термодинамики за счет того, что она фактически рассматривает только такие процессы, которые соответствуют медленно изменяющимся (по сравнению с временем этой релаксации) тепловым полям или волнам. Из-за этой

фундаментальной причины уравнения (1-4) классической термодинамики принципиально непригодны для описания быстрых тепловых процессов, характерное время изменения которых сопоставимо или меньше времени релаксации. Таким процессам, в частности, соответствует процесс проникновения вирусного капсида с геномом внутрь клетки.

Ситуация с действием высокочастотных температурных волн кардинально отличается от стандартного медленно изменяющегося температурного поля. Это связано с тем, что в зоне действия таких волн периодически происходит очень быстрый нагрев и такое же быстрое охлаждение. В фазе нагрева частица или молекулярный комплекс получает большую энергию и может очень эффективно преодолеть потенциальный барьер, что впоследствии обеспечивает существенно другое силовое поле около поверхности.

Возможное влияние температурных волн на процесс взаимодействия вирусных частиц с клетками может состоять в следующем.

Механизм дистанционной идентификации вирусом клетки-хозяина реализуется за счет механизма распознавания этой клетки гликопротеинами, расположенными на ее поверхности (конкретный механизм связан с дистанционным взаимодействием этих гликопротеинов с клеточными рецепторами, находящимися на мембране клетки-хозяина).

Процесс дистанционного распознавания может быть нарушен, если происходит существенная модификация поверхности вируса или поверхности клетки, которую атакует вирус. Такая модификация поверхности имеет место при последовательном действии очень коротких импульсов теплового поля. Принципиальное отличие такого высокочастотного нагрева, которое сочетается с таким же высокочастотным охлаждением на каждом периоде температурной волны, не приводит к разрушению или деструкции вирусов и клеток, но ведет к очень существенному

изменению дисперсионных характеристик этих объектов, что ведет к подавлению механизма дистанционного распознавания.

Следовательно, один из потенциально эффективных методов блокирования активности вирусов состоит в высокочастотном периодическом нагреве и охлаждении либо вирусов, либо клеток, которые могут оказаться целью атаки этих вирусов. Данный нагрев:

- стимулирует прохождение молекул и ионов, растворенных в жидкости, до непосредственного контакта с капсидом или поверхностью клетки и необратимое ее экранирование, а также существенное изменение их диэлектрической проницаемости, что ведет к отключению дистанционной идентификации вирусом клетки-хозяина и, соответственно механизма дистанционного распознавания;
- не оказывает отрицательного воздействия на среду и функционирование клеток в живом организме.

В этом случае мы имеем феномен деактивации механизма дистанционного распознавания вирусом и феномен экранирования клетки без нарушения нормального функционирования организма.

Высокочастотные температурные волны, наряду с другими методами влияния, позволяют реализовать такой сценарий. Действие таких периодических импульсных нагревов на короткое время изменяет свойства жидкости, что ведет к изменению баланса сил около поверхности вируса и потенциально ведет к кратковременному снижению (или даже устранению) потенциального барьера. Для окружающих молекул и ионов это «окно возможности» и в эти моменты происходит прилипание к поверхности капсида и блокирование ее.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный механизм качественно описывает возможный «пассивный» метод защиты организма-хозяина от вируса, который связан со снижением эффективности (деактивацией) системы

дальнего дистанционного распознавания у вируса. Иными словами, в этом случае происходит своеобразное экранирование критичных клеток за счет изменения их поверхностной структуры, что приводит к соответствующему изменению дисперсионных и других электромагнитных характеристик этих клеток и своеобразному обману системы дистанционного распознавания.

Есть все основания полагать, что при действии таких температурных волн возможен и другой («активный») метод защиты организма, который «перенастраивает» систему распознавания вируса на посторонние (некритичные) клетки или другие макрокомплексы.

Суть такой «активной» защиты состоит в том, что в процессе изменения дисперсионных и других электромагнитных характеристик некритичных клеток они начинают восприниматься системой распознавания вируса именно как те объекты, которые нужно атаковать. Это метод «ложной» цели, результатом которого является:

- переключение интереса вируса на эти ложные объекты;
- возможность уничтожения вируса, если результатом атаки ложной цели будет взаимное уничтожение ложной цели и вируса за счет апоптоза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vasylenko AO, Vysotskii VI, Vassilenko VB. Heat transfer equation with delay for media with thermal memory. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*. 2013, 12(1):160-166.
2. Vysotskii VI, Vassilenko VB, Vasylenko AO. Generation and propagation of undamped temperature waves under pulse action on a target surface. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2014, 8(2):367-373.
3. Vysotskii VI, Kornilova AA, Vasylenko AO, Tomak VI. Detection and investigation of

- undamped temperature waves excitation under water jet cavitation. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2016, 8(6):1186-1192.
4. Vysotskii VI, Kornilova AA, Vasilenko AO. Observation and investigation of X-ray and thermal effects at cavitation. *Current Science*, 2015, 108(4):608-613.
 5. Vysotskii VI, Kornilova AA, Vasilenko AO, Krit TB. The prediction, observation and study of long-distant undamped thermal waves generated in pulse radiative processes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2017, 402:251-255.
 6. Vysotskii VI, Kornilova AA, Vasilenko AO, Krit TB, Vysotskyy MV. On the long-range detection and study of undamped directed temperature waves generated during the interaction between a cavitating water jet and targets. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2017, 11(4):749-755.
 7. Vysotskii VI, Pinchuk AA. Peculiarities of long-range interaction between the nucleotides after DNA damage. *Bioelectrochemistry and bioenergetics*, 1999, 48(2):329-331.
 8. Pinchuk AA, Vysotskii VI. Long-range intermolecular interaction between broken DNA fragments. *Physical Review E*, 2001, 63(3):31904-31910.

Корнилова Алла Александровна

к.ф.-м.н., с.н.с., действительный член РАЕН

МГУ им. М.В. Ломоносова

1/2, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

E-mail: prfnart@mail.ru

Гайдамака Сергей Николаевич

к.х.н.

МГУ им. М.В. Ломоносова

1/11, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

E-mail: s.gaidamaka@gmail.com

Гладченко Марина Анатольевна

к.т.н.

МГУ им. М.В. Ломоносова

1/11, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

E-mail: gladmarina@yandex.ru

Агасаров Дмитрий Янович

президент компании

AVSystems Inc

54 Harpsichord Trpe, Stamford, CT 06903, USA

E-mail: welcome@a-v-systems.com

Корнилов Игорь Вадимович

директор департамента науки

AVSystems Inc

54 Harpsichord Trpe, Stamford, CT 06903, USA

E-mail: welcome@a-v-systems.com

Герасимов Максим Александрович

директор департамента развития

AVSystems Inc

54 Harpsichord Trpe, Stamford, CT 06903, USA

E-mail: welcome@a-v-systems.com.