

<https://doi.org/10.19048/fm318>



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КОФЕРМЕНТОВ НАДН, ФАД И ИХ ОТНОШЕНИЯ В СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЕ В РАННЕМ ПОСМЕРТНОМ ПЕРИОДЕ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

А.С. Бабкина^{1, 2*}, Д.В. Сундуков¹, А.М. Голубев^{1, 2}

¹ Кафедра судебной медицины медицинского института Российского университета дружбы народов, Москва, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт общей реаниматологии имени В.А. Неговского Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ. Введение. В статье представили динамику и математические модели процессов аутофлуоресценции коферментов никотинамидадениндинуклеотида (НАДН), флавинадениндинуклеотида (ФАД) и редокс-отношения (РО) в скелетной мышце крысы в первые сутки после смерти. **Цель** — обоснование закономерности изменения интенсивности флуоресценции коферментов НАДН, ФАД и их отношения в скелетной мышце в первые сутки после смерти с помощью математического моделирования. **Материал и методы.** Эксперимент проводили на крысах линии Sprague Dawley. Интенсивность флуоресценции коферментов ФАД и НАДН в скелетной мышце измеряли *in situ* при жизни под общей анестезией, после эвтаназии через 5 минут после смерти, через интервалы 1,5–3 ч в течение 24 часов посмертного периода. Для оценки интенсивности флуоресценции коферментов НАДН и ФАД и расчета РО использовали аппарат «Лазма МЦ-3» с программным обеспечением. Полученные данные анализировали методом нелинейного регрессионного анализа. Вывод, оценку точности и значимость коэффициентов уравнения регрессии проводили с использованием программы SigmaPlot 10.0. Проверку значимости модели регрессии проводили с использованием F-критерия Фишера. **Результаты.** В первые 3 часа посмертного периода выявили возрастание средних значений РО и показателей флуоресценции НАДН, с 4,5 ч до 24 ч — постепенное их снижение. Зависимость НАДН и РО от времени после смерти наиболее точно характеризуется уравнением Вейбулла. Статистическая значимость моделей, построенных на основании полученных уравнений, высокая. **Заключение.** Анализ полученных данных позволил построить математические модели, описывающие зависимость РО и интенсивности флуоресценции НАДН от времени после смерти, что подтверждает неслучайность и закономерность выявленной динамики.

Ключевые слова: давность наступления смерти, НАДН, ФАД, аутофлуоресценция, редокс-отношение, ранние посмертные изменения.

Для цитирования: Бабкина А. С., Сундуков Д. В., Голубев А. М. Закономерности изменения показателей флуоресценции коферментов НАДН, ФАД и их отношения в скелетной мышце в раннем посмертном периоде (экспериментальное исследование). Судебная медицина. 2020;6(3):12–19. DOI: <https://doi.org/10.19048/fm318>.

Поступила 21.04.2020

Принята после доработки 30.07.2020

Опубликована 04.10.2020

PATTERNS OF CHANGES IN THE FLUORESCENCE OF NADH AND FAD COENZYMES AND THEIR RELATIONSHIP IN SKELETAL MUSCLE IN THE EARLY POST-MORTEM PERIOD (AN EXPERIMENTAL STUDY)

Anastasia S. Babkina^{1, 2*}, Dmitriy V. Sundukov¹, Arkady M. Golubev^{1, 2}

¹ Department of Forensic Medicine, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

² V.A. Negovsky Scientific Research Institute of General Reanimatology, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT. Background. The paper presents changes and mathematical models of autofluorescence of reduced nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) and flavin adenine dinucleotide (FAD) and their redox ratio (RR) in rat skeletal muscle during the first 24 hours after death. **Aim:** to establish a pattern of change in the fluorescence intensity of NADH and FAD coenzymes, as well

as their relationship in skeletal muscle during the first 24 hours after death using mathematical modeling. **Material and methods.** The experiment was performed on Sprague Dawley rats. The fluorescence intensity of FAD and NADH coenzymes in skeletal muscle was measured in situ in living rats under general anesthesia, 5 minutes after euthanasia, and at intervals of 1.5–3 h during the 24-hour postmortem period. To estimate the fluorescence intensity of NADH and FAD coenzymes and to calculate the RR, a Lasma MC-3 fluorescence measuring device with special software was used. The obtained data were analyzed by non-linear regression analysis. The summary, accuracy estimation, and significance of the regression equation coefficients were assessed using SigmaPlot 10.0 software. The significance of the regression model was tested using the Fisher F-criterion. **Results.** During the first 3 hours of the postmortem period, an increase in the mean values of RR and NADH fluorescence was detected; starting from 4.5 and lasting until 24 hours post mortem, their gradual decrease was observed. The relationship between NADH, RR, and time since death is characterized by the Weibull equation. The statistical significance of the NADH and RR models, based on the obtained equations, was considered high. **Conclusion.** The analysis of the obtained data allowed us to create mathematical models describing the relationship between RR and NADH fluorescence intensity and time after death, which confirms the non-randomness and regularity of the discovered patterns. **Keywords:** time of death, NADH, FAD, auto-fluorescence, redox ratio, early post-mortem changes.

For citation: Babkina A. S., Sundukov D. V., Golubev A. M. Patterns of Changes in the Fluorescence of NADH and FAD Coenzymes and Their Relationship in Skeletal Muscle in the Early Post-Mortem Period (an Experimental Study). *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2020;6(3):12–19. DOI: <https://doi.org/10.19048/fm318>.

Submitted 21.04.2020

Revised 30.07.2020

Published 04.10.2020

ВВЕДЕНИЕ

Проблема определения давности наступления смерти (ДНС) является одной из основных в науке и практике судебной медицины. Начиная с середины двадцатого века, когда в судебно-медицинской танатологии стали активно использоваться биохимические, биофизические, физические методы, по настоящее время отечественными и зарубежными исследователями интенсивно разрабатываются и совершенствуются методы определения ДНС. К сожалению, большинство разработанных методов, позволяющих с высокой точностью определить ДНС, так и не были внедрены в экспертную практику. Зачастую это связано либо со сложностью выполнения, дороговизной или отсутствием серийных приборов [1]. Однако трудности внедрения в практику полученных результатов и новых методов несколько не обесценивают исследования в данной области, так как изучение темпов посмертных изменений в органах, тканях, клетках позволяет выяснить, уточнить механизмы умирания и дезорганизации биологических структур и их функций, что имеет большое значение в клинической и фундаментальной медицине. В. Н. Крюков отмечал значимость результатов исследований «ранних посмертных изменений с помощью современных лабораторных методов ... для трансплантологов, реаниматологов, патофизиологов, биохимиков и представителей других медицинских специальностей» [2]. Разработка методов определения ДНС в раннем постмортальном периоде находится в тесной связи с изучением устойчивости тканей к гипоксии и аноксии, а также механизмов и закономерностей тканевого метаболизма в условиях аноксии. Следовательно, посмертные процессы, происходящие в тканях, долж-

ны рассматриваться не только в прикладном аспекте, но и в фундаментальном.

Новым направлением, разрабатываемым в настоящее время кафедрой судебной медицины РУДН совместно с НИИ общей реаниматологии В. А. Неговского Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии, является изучение закономерностей посмертного метаболизма в переживающих тканях методом лазер-индуцированной спектроскопии. Использование интенсивности аутофлуоресценции коферментов НАДН и ФАД в ультрафиолетовом и синем спектрах соответственно, а также их отношение в качестве маркеров окислительно-восстановительных процессов обусловлено множеством исследований в области биологии, клинической и фундаментальной медицины, которые доказали возможность использования показателей аутофлуоресценции внутриклеточных коферментов с целью оценки метаболической и митохондриальной активности [3–5]. Выбор метода лазер-индуцированной спектроскопии продиктован простотой использования, а также возможностью проводить исследование in situ, не изымая и не подготавливая ткань.

Ранее в результате проведенного нами экспериментального исследования была выявлена зависимость интенсивности флуоресценции коферментов НАДН, ФАД и редокс-отношения в скелетной мышце от времени после смерти [6].

Целью исследования является обоснование закономерности изменения интенсивности флуоресценции коферментов НАДН, ФАД и их отношения в скелетной мышце в первые сутки после смерти с помощью математического моделирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперимент проведен на самцах и самках крыс линии Sprague Dawley ($n = 30$) с массой 250–300 г в соответствии с требованиями Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. Протокол проведения эксперимента был одобрен Локальным биоэтическим комитетом ФНКЦ РР. Перед проведением исследования животные находились в одинаковых условиях. Эвтаназию осуществляли цервикальной дислокацией под общей анестезией хлоралгидратом. Трупы животных находились при комнатной температуре.

Измерения интенсивности флуоресценции коферментов ФАД и НАДН проводились при жизни под общей анестезией хлоралгидратом, через 5 мин после смерти, каждые 1,5 ч или 3 ч (в случае необходимости перерыва в работе аппарата) в течение 24 ч посмертного периода. Для оценки интенсивности флуоресценции коферментов НАДН и ФАД использовали лазерный диагностический аппарат «Лазма МЦ-3» (ООО НПП «Лазма», Россия, № РЗН 2015/3142 от 29.10.2015) с зондирующим излучением с длиной волны 365 нм (UV) и 450 нм (В) с программным обеспечением. Доступ к мышце бедра крысы обеспечивали через разрез кожи длиной 1 см, устанавливали волоконно-оптический зонд анализатора коферментов на участок поверхности скелетной мышцы. Измерение исследуемых показателей проводилось в течение 4 мин у каждого животного.

Показатели флуоресценции НАДН, ФАД, РО были автоматически рассчитаны программным обеспечением к аппарату «Лазма МЦ-3» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва), зафиксированы и сохранены в ПК.

Полученные данные анализировали методом нелинейного регрессионного анализа. Вывод, оценку точности и значимость коэффициентов уравнения регрессии проводили с использованием программы SigmaPlot 10.0. Проверку значимости модели регрессии проводили с использованием F-критерия Фишера. Анализ коэффициентов регрессионной модели проводили с использованием критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Возрастание средних значений показателей флуоресценции НАДН было отмечено с 5-й мин посмертного периода. Пик флуоресценции отмечался в 3 ч, а с 4,5 до 24 ч — постепенное снижение. Средние значения интенсивности флуоресценции ФАД менялись незначительно, с 9 до 24 ч была отмечена тенденция к возрастанию (рис. 1).

Анализ изменения средних значений показателя флуоресценции НАДН в зависимости от времени после смерти позволил предположить, что обнаруженная зависимость описывается уравнением Вейбулла (уравнение 1) или логнормальным уравнением (уравнение 2). В результате анализа для построения зависимости было выбрано уравнение 1, так как оно давало большую точ-

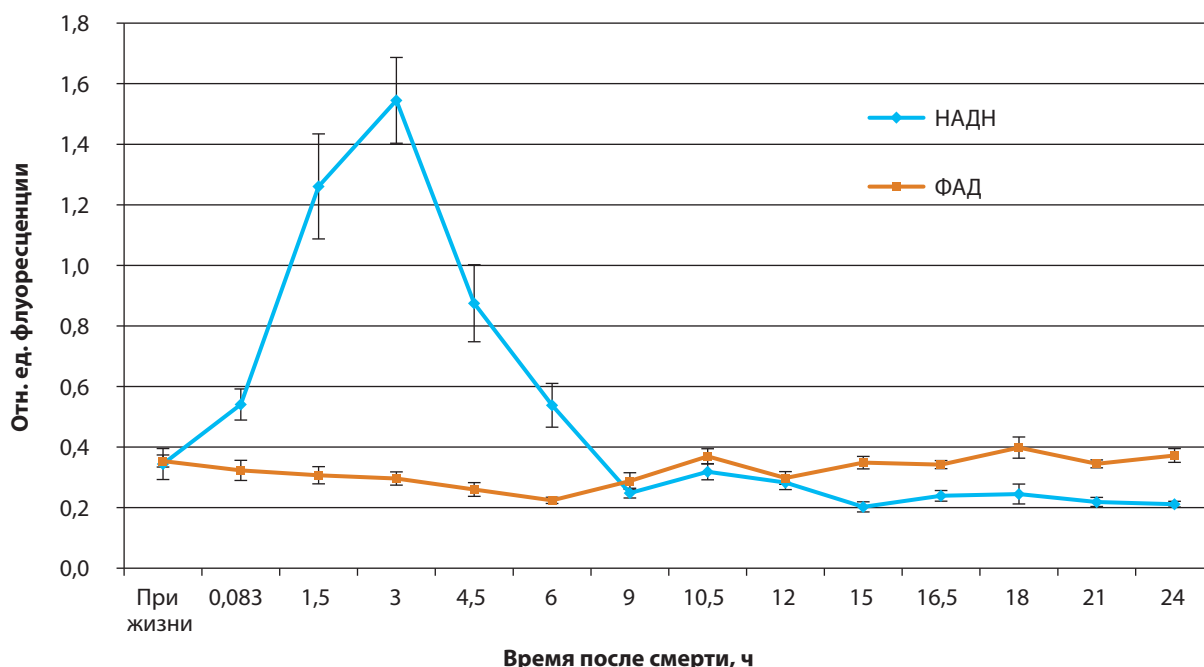


Рис. 1. Зависимость интенсивности флуоресценции коферментов НАДН и ФАД от времени после смерти
Примечание: значения показателей представлены в виде средних значений и стандартных ошибок среднего.

Fig. 1. The relationship between NADH, FAD and time after death
Note: the index values are given as means \pm standard errors of means.

ность приближения ($R^2 = 0,77$, $F(4,109) = 87,4$, $p < 0,001$) по сравнению с уравнением 2 ($R^2 = 0,70$, $F(2,109) = 123,3$, $p < 0,001$).

$$y = y_0 + a \times \frac{(c-1)^{\frac{1-c}{c}}}{c} \times \left| \frac{x-x_0}{b} + \frac{(c-1)^{\frac{1}{c}}}{c} \right| \times \left| \frac{x-x_0}{b} + \frac{(c-1)^{\frac{1}{c}}}{c} + \frac{(c-1)}{c} \right|, \quad (\text{уравнение 1})$$

где y — величина показателя НАДН; x — время после смерти; a , b , c , y_0 и x_0 — коэффициенты уравнения регрессии.

$$y = y_0 + \frac{a}{x} \times e^{-0,5 \times \left(\frac{\ln(x/x_0)}{b} \right)^2}, \quad (\text{уравнение 2})$$

где y — величина показателя НАДН; x — время после смерти; a , b , y_0 и x_0 — коэффициенты уравнения регрессии.

Анализ остатков предварительно построенной регрессионной модели на основании уравнения 1 позволил исключить из выборки 4 наблюдения, абсолютные значения которых превышали 3.

По результатам анализа была построена модель, описывающая зависимость флуоресценции НАДН от времени после смерти на основании уравнения 1 (рис. 2).

Коэффициент детерминации (R^2) полученной регрессионной модели составил 0,85, стандартная ошибка модели — 0,17, то есть полученное уравнение описывало анализируемую зависимость достаточно точно. Оценка статистической значимости полученного уравнения на основании критерия Фишера при эмпирическом значении критерия Фишера $F = 146,3$ и числах степеней свободы 4 и 105 составила $p < 0,001$. Таким образом, полученное уравнение было статистически значимым, то есть характеризовало зависимость в генеральной совокупности.

Коэффициенты полученной модели были статистически значимыми по критерию Стьюдента (табл. 1).

Значения интенсивности флуоресценции ФАД мало изменялись в течение всего времени исследования, поэтому подобрать модель не представлялось возможным.

Возрастание отношения коэффициентов флуоресценции НАДН к ФАД (редокс-отношение, РО) было зарегистрировано с 5-й минуты до 3 ч посмертного периода включительно. Начиная с 4,5 до 24 ч наблюдалось постепенное снижение РО (рис. 3).

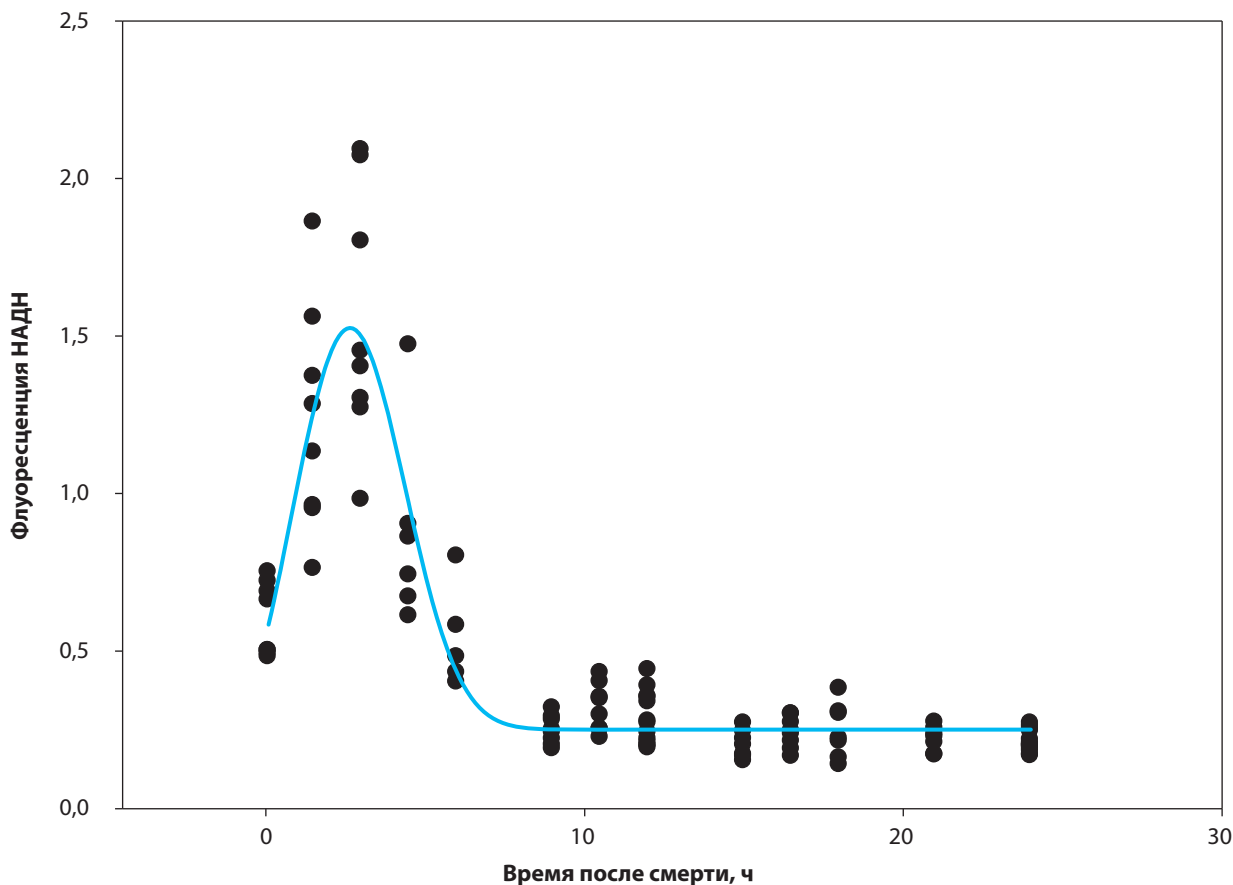


Рис. 2. Математическая модель динамики интенсивности флуоресценции НАДН в первые сутки после смерти

Fig. 2. A mathematical model of the dynamics of NADH fluorescence intensity during the first 24 hours after death

Таблица 1. Результаты анализа статистической значимости коэффициентов регрессионной модели зависимости флуоресценции НАДН от времени после смерти

Table 1. Results of statistical significance analysis of regression equation coefficients of mathematical models describing the relationship between NADH fluorescence intensity and time after death

Коэффициент	Значение коэффициента	Стандартная ошибка	Значение критерия Стьюдента (t)	Уровень значимости (p)
a	1,27	0,06	21,99	< 0,0001
b	4,53	0,72	6,28	< 0,0001
c	2,81	0,54	5,19	< 0,0001
x_0	2,64	0,14	18,69	< 0,0001
y_0	0,25	0,02	11,96	< 0,0001

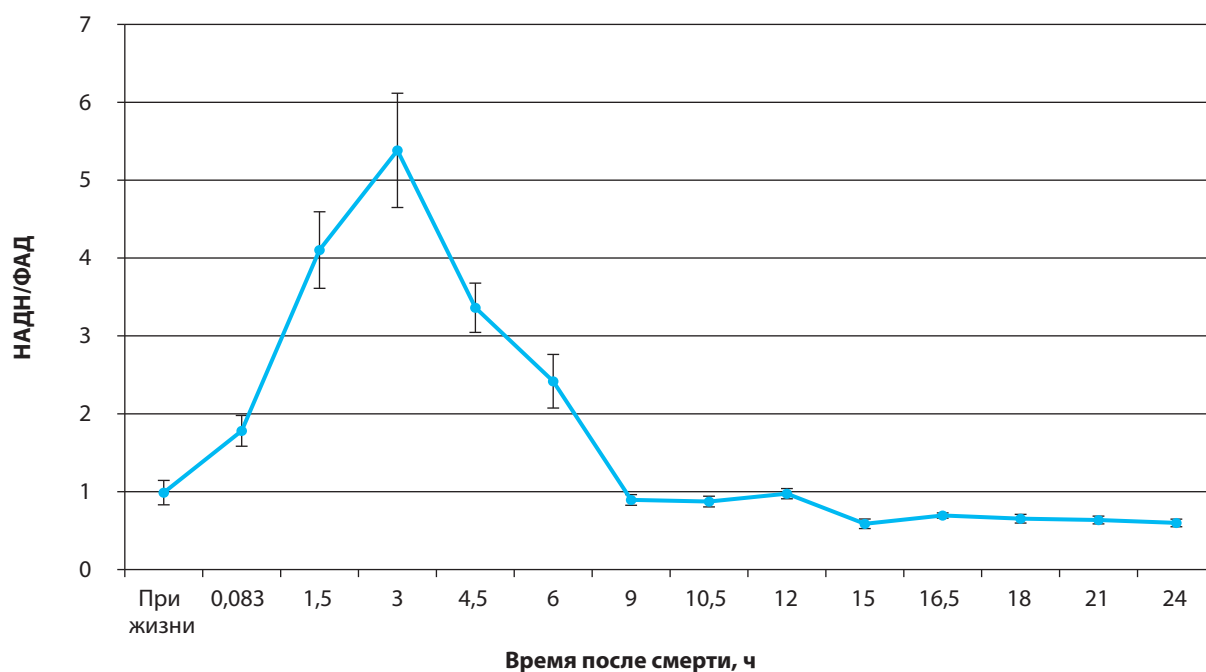


Рис. 3. Зависимость РО от времени после смерти

Примечание: значения показателей представлены в виде средних значений и стандартных ошибок среднего.

Fig. 3. The relationship between RR and time after death

Note: the index values are given as means \pm standard errors of means.

Анализ изменения средних значений показателя РО в зависимости от времени после смерти более точно описывается уравнением 1, где y — величина показателя РО; x — время после смерти, ч; a , b , c , y_0 и x_0 — коэффициенты уравнения регрессии, так как оно давало большую точность приближения ($R^2 = 0,79$, $F(4,109) = 97,0$, $p < 0,001$) по сравнению с уравнением 2 ($R^2 = 0,65$, $F(2,109) = 101,3$, $p < 0,001$).

Анализ нормированных остатков обнаружил 6 значений, модуль нормированного остатка которых превышал 3. Эти значения были исключены из дальнейшего анализа.

В итоге на основании уравнения 1 была построена модель, описывающая зависимость изменения значений

показателя РО от времени после смерти, представленная графически на рис. 4.

Коэффициент детерминации (R^2) полученной регрессионной модели составил 0,86, стандартная ошибка модели — 0,43, то есть полученное уравнение зависимости РО от времени после смерти является достаточно точным. Оценка статистической значимости полученного уравнения на основании критерия Фишера при эмпирическом значении критерия Фишера $F = 173,5$ и числах степеней свободы 4 и 103 составила $p < 0,001$. Таким образом, полученное уравнение было статистически значимым, то есть характеризовало зависимость в генеральной совокупности.

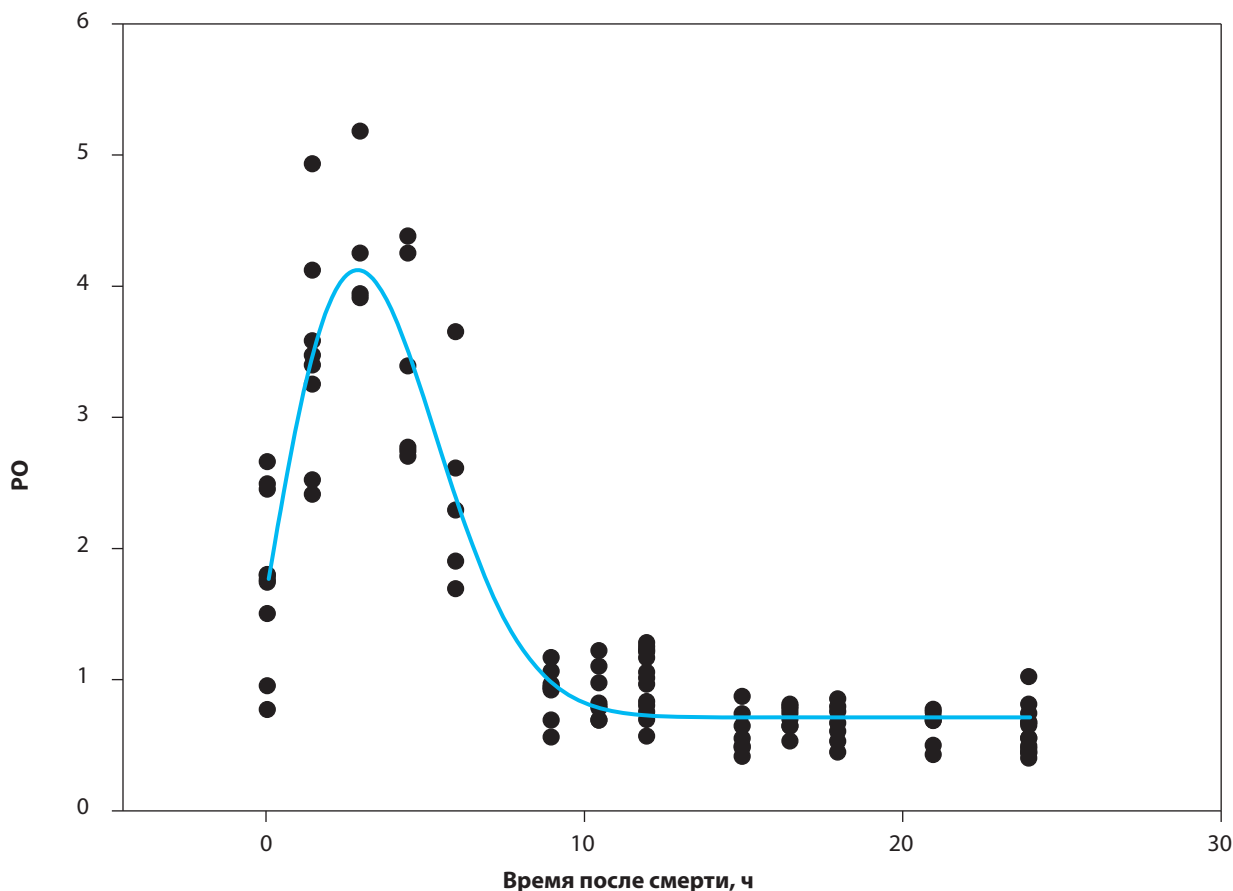


Рис. 4. Математическая модель динамики PO в первые сутки после смерти

Fig. 4. A mathematical model of the dynamics of RR during the first 24 hours after death

Таблица 2. Результаты анализа статистической значимости коэффициентов регрессионной модели зависимости PO от времени после смерти

Table 2. Results of statistical significance analysis of regression equation coefficients of mathematical models describing the relationship between RR and time after death

Коэффициент	Значение коэффициента	Стандартная ошибка	Значение критерия Стьюдента (t)	Уровень значимости (p)
a	3,41	0,14	23,94	< 0,0001
b	4,87	0,32	15,39	< 0,0001
c	2,08	0,23	9,16	< 0,0001
x_0	2,88	0,16	17,52	< 0,0001
y_0	0,71	0,06	12,54	< 0,0001

Коэффициенты полученной модели были статистически значимыми по критерию Стьюдента (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленная закономерность обусловлена воздействием гипоксии/аноксии на внутриклеточный метаболизм, переходом клеток на анаэробное дыхание в раннем постмортальном периоде. Полученные

нами данные не противоречат результатам исследований коферментов НАДН и ФАД при тканевой ишемии. С момента открытия в 1950 году способности к аутофлуоресценции восстановленного НАДН было проведено множество исследований интенсивности аутофлуоресценции кофермента в тканях в условиях кислородного голодания [7–9]. Большинство работ были и остаются экспериментальными и касаются

только кратковременной ишемии. В исследовании F. H. Tomlinson было обнаружено, что ишемия мозга сопровождается увеличением флуоресценции NADH на 150% через 15 мин после окклюзии сонной артерии [8]. Horvath и соавт. была изучена динамика лазер-индуцированной флуоресценции НАДН и ФАД в тканях миокарда при окклюзии в течение 2 ч ишемии, которая характеризовалась в первые 5 мин быстрым ростом флуоресценции НАДН и медленным спадом до конца исследования, уменьшением аутофлуоресценции ФАД в первые 5 мин, медленным спадом в течение 30 мин, стационарным уровнем в течение 1 ч и медленным подъемом до окончания исследования [10]. Из этого следует, что характер изменений показателей интенсивности флуоресценции НАДН и ФАД, выявленных нами, схож с характером изменений, полученных при исследовании ишемизированного миокарда, но процесс имеет разные темпы. Возможно, это связано с разной устойчивостью различных тканей к гипоксии. Увеличение аутофлуоресценции НАДН легко объясняется накоплением восстановленного НАДН в отсутствие кислорода [11]. Также известно, что на аутофлуоресценцию коферментов влияет их связь с белком: НАДН флуоресцирует в связанной с белком форме, а ФАД — в свободной [11–13]. Исходя из этого можно предположить, что угасание аутофлуоресценции НАДН и тенденция к возрастанию в конце исследования ФАД связаны с распадом связей коферментов с белками в результате аутолитических процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была выявлена закономерность изменения флуоресценции НАДН, РО и описана уравнением, по которому была создана математическая модель. Зависимость НАДН и РО от времени после смерти, характеризуется уравнением Вейбулла:

$$y = y_0 + a \times \frac{(c-1)^{\frac{1-c}{c}}}{c} \times \left| \frac{x-x_0}{b} + \frac{(c-1)^{\frac{1}{c}}}{c} \right| \times \left| \frac{x-x_0}{b} + \frac{(c-1)^{\frac{1}{c}}}{c} + \frac{(c-1)}{c} \right| \times e^{-\left| \frac{x-x_0}{b} + \frac{(c-1)^{\frac{1}{c}}}{c} + \frac{(c-1)}{c} \right|},$$

где y — величина показателя НАДН или РО; x — время после смерти, ч; a, b, c, y_0 и x_0 — коэффициенты уравнения регрессии. На основании полученных уравнений были построены математические модели. Статистическая значимость моделей НАДН ($R^2 = 0,85, F(4,105) = 146,3, p < 0,001$) и РО ($R^2 = 0,86, F(4,103) = 173,5, p < 0,001$) оказалась высокой. Возможность математического описания наблюдаемых изменений и полученная высокая точность моделей обуславливают дальнейшие перспективы использования исследуемых показателей как маркеров изменения тканевого метаболизма в различные сроки после смерти. Полученные результаты уточняют механизмы внутриклеточных процессов в условиях длительной аноксии, в процессе умирания тканей, а также представляют возможность использования метода флуоресцентной лазер-индуцированной спектроскопии для диагностики давности наступления смерти, создают предпосылки для изучения и моделирования процессов, выявленных нами в эксперименте, на трупах людей.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

AUTHOR CONTRIBUTION

Authors are solely responsible for submitting the final manuscript to print. All authors participated in the development of the concept of the article and the writing of the manuscript. The final version of the manuscript was approved by all authors. The authors are grateful to anonymous reviewers for helpful comments.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Конфликт интересов отсутствует.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no apparent or potential conflicts of interest.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование не имело спонсорской поддержки.

FUNDING

The study had no sponsorship.

ЛИТЕРАТУРА • REFERENCES

1. Пашинян Г.А., Назаров Г.Н. Биофизические методы исследования в судебной медицине. Ижевск: Экспертиза, 1999. [Pashinyan GA, Nazarov GN. Biofizicheskie metody issledovaniya v sudebnoi meditsine. Izhevsk: Ekspertiza, 1999. (In Russ.)].
2. Крюков В.Н., Бедрин Л.М., Томилин В.В. и др.; под ред. В.Н. Крюкова. Судебная медицина: Учебник; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 1990. [Krjukov V.N., Bedrin L.M., Tomilin V.V. i dr.; pod red. V.N. Krjukova. Sudebnaya medicina: Uchebnik; 3-e izd., pererab. i dop. M.: Medicina, 1990. (In Russ.)].
3. Schaefer P.M., Kalinina S., Rueck A., von Arnim C.A.F., von Einem B. NADH Autofluorescence-A Marker on its Way to Boost Bioenergetic Research. *Cytometry A*. 2019;95(1):34-46. PMID: 30211978. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.23597>
4. Raghushaker C.R., Chandra S., Chakrabarty S., Kabekkodu S.P., Satyamoorthy K., Mahato K.K. Detection of mitochondrial dysfunction in vitro by laser-induced autofluorescence. *J. Biophotonics*. 2019;28:e201900056. PMID: 31251452. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900056>
5. Heikal A.A. Intracellular coenzymes as natural biomarkers for metabolic activities and mitochondrial anomalies. *Biomark. Med.* 2010;4(2):241-263. <https://doi.org/10.2217/bmm.10.1>
6. Бабкина А.С., Сундуков Д.В., Голубев А.М., Рыжков И.А., Цоколаева З.И., Заржецкий Ю.В. Определение интенсивности флуоресценции коферментов НАДН и ФАД в скелетной мышце крысы в зависимости от давности наступления смерти. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2020;63(1):31-35. [Babkina A.S., Sundukov D.V., Golubev A.M., Ryzhkov I.A., Tsokolaeva Z.I., Zarzhetskiy Yu.V. Determination of the fluorescence intensity of coenzymes NADH and FAD in the skeletal muscle of the rat depending on the post-mortem interval. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2020;63(1):31-35. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/sudmed20206301131>
7. Shehada R.E., Marmarelis V.Z., Mansour H.N., Grundfest W.S. Laser-induced fluorescence attenuation spectroscopy: detection of hypoxia. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2000;47(3):301-312. PMID: 10743771 <https://doi.org/10.1109/10.827290>
8. Салмин В.В., Салмина А.Б., Фурсов А.А., Фролова О.В., Лалетин, Д.И., Фурсов М.А., Юдин Г.В., Малиновская Н.А., Зыкова Л.Д., Проворова А.С. Использование флуоресцентной спектроскопии для оценки ишемического повреждения миокарда. *Journal of Siberian Federal University* 2011;2(4):142-157. [Salmin V.V., Salmina A.B., Fursov A.A., Frolova O.V., Laletin, D.I., Fursov M.A., Yudin G.V., Malinovskaya N.A., Zyкова L.D., Provorova A.S. Application of Fluorescence Spectroscopy for Assessment of Myocardial Ischemic Injury. *Journal of Siberian Federal University*. 2011; 4(2):142-157. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0177>
9. Poleskaya O., Sun A., Salahura G., Silva J.N., Dewhurst S., Kasischke K. Detection of microregional hypoxia in mouse cerebral cortex by two-photon imaging of endogenous NADH fluorescence. *J. Vis. Exp.* 2012; (60). pii: 3466. <https://doi.org/10.3791/3466>
10. Horvath K.A., Schomacker K.T., Lee C.C., Cohn L.H. Intraoperative myocardial ischemia detection with laser-induced fluorescence. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1994;107(1):220-225. PMID: 8283889
11. Monici M. Cell and tissue autofluorescence research and diagnostic applications. *Biotechnol. Annu. Rev.* 2005;11:227-256. PMID: 16216779. [https://doi.org/10.1016/S1387-2656\(05\)11007-2](https://doi.org/10.1016/S1387-2656(05)11007-2)
12. Векшин Н.Л. Флуоресцентная спектроскопия полимеров. Пуцдино: ООО «Фотон век», 2014. [Vekshin N.L. Fluorescentnaya spektroskopiya polimerov. Pushchino: ООО «Foton vek», 2014. (In Russ.)]
13. Лукина М.М., Ширманова М.В., Сергеева Т.Ф., Загайнова Е.В. Метаболический имиджинг в исследовании онкологических процессов (обзор). *Современные технологии в медицине*. 2016;8(4):113-128. [Lukina M.M., Shirmanova M.V., Sergeeva T.F., Zagaynova E.Y. Metabolic imaging for the study of oncological processes (review). *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2016;8(4):113-121. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17691/stm2016.8.4.16>

ОБ АВТОРАХ • AUTHORS

БАБКИНА Анастасия Сергеевна* — аспирант кафедры судебной медицины ФГАОУ РУДН, научный сотрудник лаборатории патологии клетки при критических состояниях НИИ общей реаниматологии им. В. А. Неговского ФНКЦ РР • asbabkina@gmail.com • ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-9829>

СУНДУКОВ Дмитрий Вадимович — д.м.н., доцент, заведующий кафедрой судебной медицины ФГАОУ РУДН • sundukov.1958@mail.ru • ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8173-8944>

ГОЛУБЕВ Аркадий Михайлович — д.м.н., профессор, профессор кафедры судебной медицины ФГАОУ РУДН, заведующий лабораторией патологии клетки при критических состояниях НИИ общей реаниматологии В. А. Неговского ФНКЦ РР • arkadygolubev@mail.ru • ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3165-0378>

Anastasia S. Babkina — a post-graduate student of the Department of Forensic Medicine of Peoples' Friendship University, researcher of the Cell Pathology Laboratory at the Critical Conditions of the V. A. Negovsky Scientific Research Institute of General Reanimatology • asbabkina@gmail.com • ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-9829>

Dmitriy V. Sundukov — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of Forensic Medicine Department of Peoples' Friendship University • sundukov.1958@mail.ru • ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8173-8944>

Arkady M. Golubev — Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of Forensic Medicine of Peoples' Friendship University, Head of the Laboratory of Cell Pathology in Critical Conditions of the V. A. Negovsky Scientific Research Institute of General Reanimatology • arkadygolubev@mail.ru • ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3165-0378>