

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16178>

О влиянии факторов индивидуальности объекта исследования на показатели электропроводности спинномозговой жидкости

А.Ю. Вавилов¹, А.Р. Поздеев¹, А.А. Халиков², С.М. Баяндина¹, В.В. Агзамов², М.А. Поздеева³¹ Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, Россия;² Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия;³ Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В современной научной литературе неоднократно указывалось, что изучение спинномозговой жидкости в практике судебно-медицинских экспертов является перспективным для поиска ответов на такие значимые вопросы смертельной черепно-мозговой травмы, как определение её давности и тяжести образования. В качестве одного из методов объективного исследования биологических объектов в медицине достаточно давно используется кондуктометрия. Однако влияние индивидуальных особенностей объекта исследования на кондуктометрические свойства спинномозговой жидкости изучены явно недостаточно.

Цель исследования — изучение особенностей электропроводящих свойств спинномозговой жидкости трупов лиц, умерших от черепно-мозговой травмы, обусловленных индивидуальными характеристиками секционного материала, для обоснования перспективности кондуктометрического метода в научных исследованиях при установлении давности травматического воздействия, приведшего к формированию указанной травмы.

Материалы и методы. Проведено экспериментальное кондуктометрическое исследование спинномозговой жидкости от 124 трупов лиц, умерших в возрасте от 17 до 93 лет от черепно-мозговой травмы и её последствий (давность травмы от 0 до 10 суток). Измерение электропроводности проводилось прибором «АКИП RLC 6109» с погрешностью 0,1% на частотах 0,1 кГц, 1 кГц и 10 кГц. В качестве индивидуальных особенностей исследованного субъекта принимались во внимание его половая принадлежность, возраст умершего, давность смерти, факт наличия этилового спирта в крови на момент смерти и величина этанолемии.

Результаты. Установлено, что фактор половой принадлежности субъекта является значимым с точки зрения влияния его на величину электропроводности спинномозговой жидкости. В то же время паспортный возраст умершего не имеет значимого влияния на изучаемые свойства спинномозговой жидкости, равно как и давность смерти человека, не превышающая 24-часовой период. Абсолютная величина этанолемии (в промилле) не оказывает существенного влияния на электропроводность спинномозговой жидкости, однако сам факт наличия этилового алкоголя в изучаемом объекте существенно меняет его способность к проведению электрического тока.

Заключение. Все изменения, обусловленные влиянием указанных факторов, необходимо учитывать в ходе разработки методики кондуктометрического исследования спинномозговой жидкости у умерших от черепно-мозговой травмы как влияние, способное изменить оценку тяжести данной травмы и давности её формирования.

Ключевые слова: электропроводность; спинномозговая жидкость; черепно-мозговая травма; биофизические методы исследования; индивидуальность объекта.

Как цитировать:

Вавилов А.Ю., Поздеев А.Р., Халиков А.А., Баяндина С.М., Агзамов В.В., Поздеева М.А. О влиянии факторов индивидуальности объекта исследования на показатели электропроводности спинномозговой жидкости // Судебная медицина. 2024. Т. 10, № 4. С. 462–473. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16178>

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16178>

The influence of individual characteristics of the research subject on the electrical conductivity parameters of cerebrospinal fluid

Alexey Yu. Vavilov¹, Alexey R. Pozdeev¹, Airat A. Khalikov², Sofia M. Bayandina¹, Vadim V. Agzamov², Maria A. Pozdeeva³

¹ Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia;

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;

³ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The analysis of cerebrospinal fluid has been repeatedly recognized in the scientific literature as a promising forensic tool for addressing critical questions related to fatal traumatic brain injuries, such as determining its age and assessing its severity. Conductometry has long been used in medicine as an objective method for studying biological samples. However, the influence of individual characteristics of the object on the conductometric properties of cerebrospinal fluid remains insufficiently studied.

AIM: To investigate the electrical conductivity properties of cerebrospinal fluid in deceased individuals who died from traumatic brain injuries, considering individual characteristics of autopsy material to substantiate the potential of conductometric analysis as a research tool for determining the time of traumatic impact leading to injury formation.

MATERIALS AND METHODS: The experimental conductometric study was carried out on cerebrospinal fluid samples from 124 corps of persons aged 17 to 93 years who had died from traumatic brain injury and its consequences (with post-injury intervals ranging from 0 to 10 days). The electrical conductivity was measured using the AKIP RLC 6109 device, with an error of 0.1%, at frequencies of 0.1 kHz, 1 kHz, and 10 kHz. The study considered the subject's sex, age, postmortem interval, presence of ethanol in the blood at the time of death, and the ethanol concentration.

RESULTS: The subject's sex was found to be a significant factor influencing the value of electrical conductivity of cerebrospinal fluid. In contrast, the deceased's chronological age did not significantly affect the measured cerebrospinal fluid properties, nor did the postmortem interval within the first 24 hours. The absolute ethanol concentration (in ‰) had no substantial effect on cerebrospinal fluid conductivity. However, the mere presence of ethanol in the sample significantly altered its ability to conduct electrical current.

CONCLUSION: The influence of the above factors must be considered when developing a conductometric method for studying cerebrospinal fluid in those deceased from traumatic brain injury, as it can impact the assessment of injury severity and the age of injury.

Keywords: electrical conductivity; cerebrospinal fluid; traumatic brain injury; biophysical research methods; individual characteristics.

To cite this article:

Vavilov AY, Pozdeev AR, Khalikov AA, Bayandina SM, Agzamov VV, Pozdeeva MA. The influence of individual characteristics of the research subject on the electrical conductivity parameters of cerebrospinal fluid. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2024;10(4):462–473. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16178>

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16178>

关于研究对象个体特征对脑脊液电导率指标的影响

Alexey Yu. Vavilov¹, Alexey R. Pozdeev¹, Airat A. Khalikov², Sofia M. Bayandina¹,
Vadim V. Agzamov², Maria A. Pozdeeva³

¹ Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia;

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;

³ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

摘要

背景。现代科学文献多次提到，在法医学专家实践中研究脑脊液对于解决诸如致命性颅脑损伤的形成时间和严重程度等重要问题具有前景。电导法作为医学中研究生物对象的客观方法之一，已经使用了相当长的时间。然而，研究对象个体特征对脑脊液电导特性的影响研究明显不足。

研究目的。研究死于颅脑损伤的对象脑脊液的电导特性，分析其与研究对象个体特征的关系，为在确定导致颅脑损伤的外力形成时间的科学研究中推广电导法提供理论依据。

材料与方法。通过实验研究了124例死于颅脑损伤及其后果的尸体脑脊液的电导特性。受试者年龄从17至93岁，损伤形成时间为0至10天。电导测量采用“AKIP RLC 6109”设备（误差为0.1%），测量频率为0.1 kHz、1 kHz和10 kHz。研究对象的个体特征包括性别、年龄、死亡时间、血液中乙醇的存在及其浓度（%）。

结果。研究表明，研究对象的性别对脑脊液的电导特性具有显著影响，而对象的年龄和不超过24小时的死亡时间对脑脊液电导特性无显著影响。乙醇浓度的绝对值对脑脊液电导性无显著作用，但乙醇的存在显著改变了脑脊液的电流传导能力。

结论。所研究的个体特征对脑脊液电导特性的影响在开发用于研究颅脑损伤的电导方法时应予以考虑，因为这些因素可能会改变对损伤严重程度和形成时间的评估。

关键词：电导率；脑脊液；颅脑损伤；生物物理研究方法；对象个体特征。

引用本文：

Vavilov AY, Pozdeev AR, Khalikov AA, Bayandina SM, Agzamov VV, Pozdeeva MA. 关于研究对象个体特征对脑脊液电导率指标的影响. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2024;10(4):462–473. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16178>

收到: 16.08.2024

接受: 09.10.2024

发布日期: 13.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

В судебно-медицинской практике изучение спинномозговой жидкости является перспективной технологией при поиске ответов на такие значимые вопросы смертельной черепно-мозговой травмы, как определение её давности и тяжести образования [1–4].

Спинномозговая жидкость содержит биологически активные вещества, которые поддерживают активность и регулируют функции головного мозга, его трофику, сон и бодрствование нейронов. Содержание электролитов в спинномозговой жидкости (хлориды, натрий, калий, магний, йод и др.) определяет её токопроводящие свойства [5–7].

Изучение электропроводности (кондуктометрия) жидких биологических сред организма человека является объективным количественным методом исследования, способным с высокой точностью определять происходящие в них изменения, что положительно зарекомендовало себя в различных сферах медицинской диагностики [7–9]. Однако в настоящее время недостаточно хорошо изучен вопрос зависимости кондуктометрических (электропроводящих) свойств спинномозговой жидкости от ряда факторов, которые наряду с другими определяют индивидуальность данного биологического материала: пол и возраст лица, от которого он получен; причина смерти человека; наличие либо отсутствие этилового алкоголя в крови и, соответственно, в спинномозговой жидкости на момент её исследования.

Недостаточность указанных знаний ограничивает возможности разработки кондуктометрического способа диагностики давности и степени тяжести черепно-мозговой травмы, так как при существенном влиянии на электропроводность спинномозговой жидкости второстепенных факторов, указанных выше, её изменения, обусловленные главными причинами (давностью травматического воздействия и степенью травмирования повреждённой области), окажутся скрыты за индивидуальными особенностями объекта.

Цель исследования — изучить особенности электропроводящих свойств спинномозговой жидкости трупов лиц, умерших от черепно-мозговой травмы, обусловленные индивидуальными характеристиками секционного материала, для обоснования перспективности применения кондуктометрического метода в научных исследованиях при установлении давности травматического воздействия, приведшего к формированию указанной травмы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено наблюдательное многоцентровое одномоментное выборочное неконтролируемое исследование

кондуктометрических свойств спинномозговой жидкости от 124 трупов лиц, умерших в возрасте от 17 до 93 лет от черепно-мозговой травмы и её последствий (давность травмы от 0 до 10 суток). В работе принимали во внимание наличие либо отсутствие этанола в крови трупа человека, от которого была взята спинномозговая жидкость: в 23 (18,5%) случаях выявлено наличие этанолемии, в 101 (81,5%) — этиловый алкоголь не выявлялся. Значение давности смерти устанавливалось комплексно на основании медицинских, судебно-медицинских, следственных данных и находилось в интервале от 12,5 до 24 часов.

Критерии соответствия

Критерии включения: случаи судебно-медицинской экспертизы трупов с доказанным фактом черепно-мозговой травмы как непосредственной причины смерти в ближайшие сроки после её формирования либо в отдалённом периоде от формирующихся последствий.

Критерии невключения: случаи выявления признаков черепно-мозговой травмы в ходе секционного исследования трупа лица, умершего от причин, не связанных с черепно-мозговой травмой и её последствиями.

Условия проведения

Работа выполнена на практическом судебно-медицинском материале ГКУЗ «Бюро судебно-медицинской экспертизы Ямало-Ненецкого автономного округа» и ГБУЗ Пермского края «Краевое бюро судебно-медицинской экспертизы и патологоанатомических исследований».

Продолжительность исследования

Исследование проводилось в период с 2022 по 2024 год.

Описание секционного исследования

Спинномозговая жидкость от трупа изымалась стерильным одноразовым 5,0 мл медицинским шприцем в объёме 1–2 мл в ходе секционного исследования во время вскрытия желудочков головного мозга. Для стандартизации внешних условий измерения шприц помещался в термостат при 25°C для стабилизации температуры. Спустя 30–45 минут спинномозговая жидкость для изучения её электропроводности переливалась из шприца в специальную кювету. Измерение электропроводности проводилось прибором «АКИП RLC 6109» (Changzhou Eucol Electronic Technology Co. Ltd, Китай), подключённым к компьютеру через USB-интерфейс. Используемый прибор внесён в государственный реестр измерительных средств Российской Федерации (№ 56479-14), имеет сертификат соответствия и позволяет измерять сопротивление, комплексное сопротивление, активное сопротивление, ёмкость, индуктивность с погрешностью 0,1% на частотах 0,1 кГц, 1 кГц и 10 кГц.

Основной исход исследования

Получены значения электропроводности спинномозговой жидкости трупов лиц, умерших от черепно-мозговой травмы и её последствий. Все значения определены для трёх частот тока (100 Гц, 1 кГц, 10 кГц) синусоидальной формы.

Анализ в подгруппах

В ходе математического анализа последовательно формировались подгруппы по признаку возможного влияния изучаемого фактора: пол умершего лица, его возраст, факт наличия этилового спирта в крови на момент наступления смерти и его абсолютная величина (в промилле), давность наступления смерти (в часах).

Методы регистрации исходов

Электропроводность измерялась на частотах электрического тока 0,1 кГц, 1 кГц и 10 кГц путём соединения контактов кюветы, наполненной спинномозговой жидкостью, с контактами входа измерителя (АКИП RLC 6109) и использования стандартных настроек прибора на указанных частотах. Фиксация результатов измерения электропроводности спинномозговой жидкости проводилась через интерфейс компьютера программой Microsoft Excel в режиме реального времени.

Этическая экспертиза

В ходе работы в обязательном порядке учитывались принципы биоэтики, имеющие непосредственное отношение к проведению медико-биологических исследований. Проведение исследования одобрено комиссией по биоэтике ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России, тема утверждена учёным советом 31 августа 2022 года (протокол № 1).

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

В работе проводили вычисление среднего арифметического в выборках (M), стандартного отклонения (SD), ошибки среднего арифметического (m); сравнительный межгрупповой анализ по методу Краскела–Уоллиса; корреляционный анализ с использованием критериев Кендалла и Спирмена. Результаты измерений заносились в базу данных, формируемую с помощью программы Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США). Обработка результатов исследований производилась в приложении статистического пакета SPSS 23.0 (IBM, США) в соответствии с правилами статистических исследований, рекомендованных к применению в биологических и медицинских научных работах [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Объектом исследования являлась спинномозговая жидкость 124 трупов лиц с доказанным фактом черепно-мозговой травмы как непосредственной причины смерти в ранние её сроки и в отдалённом периоде (до 10 суток после получения черепно-мозговой травмы). Для оценки влияния на показатели электропроводности спинномозговой жидкости факторов индивидуальности объекта исследования выделены подгруппы с учётом возраста, пола, наличия этанола в крови, давности наступления смерти. Распределение изученных образцов по половозрастным характеристикам представлено в табл. 1.

Таблица 1. Структура исследованного материала с учётом половозрастных характеристик трупов лиц, умерших от черепно-мозговой травмы и её последствий

Table 1. Structure of the studied material with regard to sex and age characteristics of corpses of persons who died from craniocerebral trauma and its consequences

Возраст, лет	Показатель, n		
	Мужчины	Женщины	Всего
<20	4	1	5
20–24	6	1	7
25–29	4	5	9
30–34	3	4	7
35–39	7	3	10
40–44	7	5	12
45–49	10	4	14
50–54	9	9	18
55–59	7	4	11
60–64	8	3	11
65–69	5	4	9
70–74	1	2	3
75+	2	6	8
Всего	73	51	124

Основные результаты исследования

Результаты проверки гипотезы о влиянии фактора половой принадлежности на величину электропроводности спинномозговой жидкости трупа человека представлены в табл. 2, а матрица распределения значений — на рис. 1.

Установлено, что между группами, сформированными по признаку половой принадлежности умершего, регистрируются различия. Результаты парного сравнения «мужской» и «женской» групп между собой по методу Краскела–Уоллиса представлены в табл. 3. Из результатов сравнительных исследований следует, что величина электропроводности спинномозговой жидкости отличается у трупов лиц мужского и женского пола ($p < 0,05$).

Таблица 2. Электропроводность спинномозговой жидкости с учётом половой принадлежности трупов лиц, умерших от черепно-мозговой травмы и её последствий
Table 2. Electrical conductivity of cerebrospinal fluid taking into account the gender of the corpses of persons who died from traumatic brain injury and its consequences

Пол	Статистический анализ	Электропроводность, См ⁻¹ ×10 ⁻⁴		
		0,1 кГц	1 кГц	10 кГц
Муж.	M	0,696	0,763	0,792
	SD	0,178	0,066	0,069
	m	0,021	0,008	0,008
	n	73	73	73
Жен.	M	0,773	0,789	0,749
	m	0,183	0,073	0,082
	SD	0,026	0,010	0,011
	n	51	51	51
Всего	M	0,728	0,774	0,775
	m	0,183	0,069	0,077
	SD	0,016	0,006	0,007
	n	124	124	124

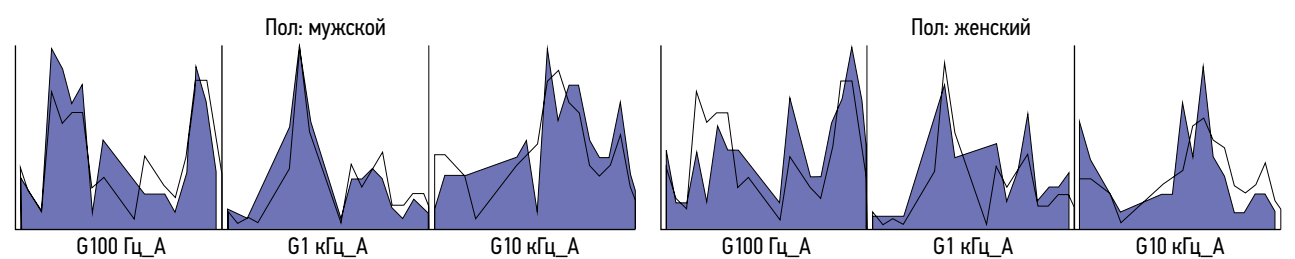


Рис. 1. Отсортированные наблюдения электропроводности спинномозговой жидкости по переменной «половая принадлежность».
Fig. 1. Sorted observations of cerebrospinal fluid conductivity by the variable "gender".

Таблица 3. Тест Краскела–Уоллиса для оценки влияния полового признака на электропроводность спинномозговой жидкости (результаты анализа в SPSS 23,0)
Table 3. Kruskal–Wallis test for assessing the influence of gender on cerebrospinal fluid conductivity (analysis results in SPSS 23.0)

Частота, кГц	Критерий Краскела–Уоллиса	Значимость полученного результата
0,1	0,026	Достоверные различия
1,0	0,019	Достоверные различия
10	0,003	Достоверные различия

на частотах 0,1 кГц, 1 кГц, 10 кГц, и фактор пола исследованного субъекта обязательно должен приниматься во внимание в ходе кондуктометрического изучения его спинномозговой жидкости.

Значения средних величин электропроводности спинномозговой жидкости в сформированных возрастных группах (см. табл. 1) представлены в табл. 4.

Визуально между группами объектов в различных возрастных группах различия не определяются. Для объективного анализа использован метод Краскела–Уоллиса, результаты которого представлены в табл. 5.

Как следует из представленных данных, электропроводность спинномозговой жидкости трупов на использованных частотах не выявляет зависимость от принадлежности

субъекта определённой возрастной группе, однако необходимо отметить, что проведённый анализ является несколько некорректным, так как возраст является динамической характеристикой человека, и любое деление его на периоды (возрастные группы) является условным. Учитывая это обстоятельство, наиболее целесообразным является проведение корреляционного анализа, т.е. установления наличия зависимости между двумя динамически меняющимися параметрами — возрастом человека и электропроводностью спинномозговой жидкости.

В ходе подготовки к корреляционному анализу установлено, что распределение данных в исследовательских группах отличалось от нормального типа, в связи с чем сделан выбор в пользу непараметрических

Таблица 4. Электропроводность спинномозговой жидкости с учётом распределения по возрастным группам трупов лиц, умерших от черепно-мозговой травмы и её последствий, среднее (М)
Table 4. Electrical conductivity of cerebrospinal fluid taking into account the distribution by age groups of corpses of persons who died from traumatic brain injury and its consequences, average (M)

Возрастная группа, лет	Электропроводность, См ⁻¹ ×10 ⁻⁴		
	100 Гц	1 кГц	10 кГц
<20	0,580±0,058	0,771±0,028	0,818±0,023
20–24	0,710±0,066	0,771±0,029	0,814±0,018
25–29	0,922±0,021	0,837±0,010	0,743±0,023
30–34	0,750±0,071	0,786±0,022	0,754±0,037
35–39	0,719±0,068	0,758±0,018	0,758±0,036
40–44	0,708±0,051	0,765±0,021	0,781±0,019
45–49	0,732±0,056	0,780±0,023	0,754±0,025
50–54	0,664±0,044	0,748±0,014	0,771±0,019
55–59	0,698±0,053	0,783±0,018	0,794±0,019
60–64	0,724±0,052	0,747±0,020	0,804±0,020
65–69	0,691±0,053	0,768±0,028	0,790±0,025
70–74	0,944±0,006	0,745±0,066	0,764±0,016
75+	0,782±0,060	0,817±0,025	0,742±0,021
Всего	0,728±0,016	0,774±0,006	0,775±0,007

Таблица 5. Тест Краскела–Уоллиса для оценки влияния возраста на электропроводность спинномозговой жидкости
Table 5. Kruskal–Wallis test for assessing the effect of age on cerebrospinal fluid conductivity

Частота, кГц	Критерий Краскела–Уоллиса	Значимость полученного результата
0,1	0,056	Отсутствие достоверных различий
1,0	0,183	Отсутствие достоверных различий
10	0,299	Отсутствие достоверных различий

методов — корреляционного анализа Кендалла и Спирмена. Использование сразу двух методов должно более достоверно подтвердить наличие (либо отсутствие) корреляционных связей (табл. 6).

Из результатов проведённых расчётов следует, что величина электропроводности спинномозговой жидкости трупов в используемом частотном диапазоне не связана с возрастом исследованных субъектов.

С целью изучения влияния фактора употребления человеком алкоголя перед смертью на величину электропроводности его спинномозговой жидкости исследованный материал был разделён на группы «Без этанола» и «Этанолемия». Абсолютную величину этанолемии было решено не учитывать, поскольку она имеет относительное значение [11]. Необходимо отметить, что анализу подвергнуты трупы лиц без признаков гнилостных изменений, соответственно, возможность новообразования этанола в материале полностью исключалась [12]. Представленные в табл. 7 средние значения электропроводности спинномозговой жидкости позволяют зафиксировать визуальные различия между двумя сформированными группами на частотах 0,1 кГц и 10 кГц. Однако использованный метод Краскела–Уоллиса, результаты которого представлены в табл. 8, показал существование достоверных различий в выделенных группах на всех использованных частотах тока.

Таблица 6. Коэффициенты корреляции возраста и электропроводности спинномозговой жидкости
Table 6. Correlation coefficients of age and electrical conductivity cerebrospinal fluid

Корреляционный анализ	Электропроводность, См ⁻¹ ×10 ⁻⁴		
	100 Гц	1 кГц	10 кГц
Коэффициент корреляции Кендалла	0,031	-0,042	-0,019
Значимость	0,619	0,502	0,768
Коэффициент корреляции Спирмена	0,041	-0,058	-0,022
Значимость	0,648	0,520	0,807

Таблица 7. Электропроводность спинномозговой жидкости в выделенных группах, среднее (М)**Table 7.** Cerebrospinal fluid conductivity in selected groups, average (M)

Корреляционный анализ	Электропроводность, См ⁻¹ ×10 ⁻⁴		
	100 Гц	1 кГц	10 кГц
Без этанола	0,786±0,007	0,683±0,017	0,761±0,007
Этанолемия	0,720±0,015	0,926±0,010	0,831±0,008
Среднее	0,775±0,007	0,728±0,016	0,774±0,006

Таблица 8. Тест Краскела–Уоллиса для оценки влияния этанолемии на электропроводность спинномозговой жидкости**Table 8.** Kruskal–Wallis test to assess the impact of ethanolemia on the conductivity of cerebrospinal fluid

Частота, кГц	Критерий Краскела–Уоллиса	Значимость полученного результата
0,1	0,001	Достоверные различия
1,0	0,001	Достоверные различия
10	0,001	Достоверные различия

В этой связи возникает закономерный вопрос о возможной необходимости учитывать не только факт алкоголемии, но и её абсолютной величины. Для проверки данной гипотезы воспользуемся корреляционным анализом с использованием ранее применённых коэффициентов (табл. 9). Из проведённых расчётов следует, что электропроводность спинномозговой жидкости на использованных частотах не имеет достоверных связей с концентрацией (в промилле) этанола у исследованных субъектов, хотя сам факт этанолемии имеет значимое влияние на результаты кондуктометрии.

Поскольку давность смерти является динамической характеристикой, наиболее целесообразным является проведение корреляционного анализа как способа установления наличия зависимости между двумя изменяющимися

параметрами, в данном случае — величиной времени, прошедшего с момента смерти человека, и значением электропроводности его спинномозговой жидкости. Как и ранее, выбор был сделан в пользу непараметрических методов анализа, результаты которых представлены в табл. 10. Проведённый корреляционный анализ сопровождался выявлением слабой отрицательной связи ($-0,159 \pm 0,02$) анализируемых параметров на частоте 0,1 кГц, что потребовало проведения дополнительного изучения методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), результаты которого приведены в табл. 11. В результате расчётов нами не получено показателей, достоверно указывающих на влияние фактора давности смерти на величины электропроводности спинномозговой жидкости ($p > 0,05$).

Таблица 9. Коэффициенты корреляции между концентрацией этанола и электропроводностью спинномозговой жидкости**Table 9.** Correlation coefficients between ethanol concentration and conductivity of cerebrospinal fluid

Корреляционный анализ	Электропроводность, См ⁻¹ ×10 ⁻⁴		
	100 Гц	1 кГц	10 кГц
Коэффициент корреляции Кендалла	0,124	-0,026	-0,038
Значимость	0,252	0,813	0,730
Коэффициент корреляции Спирмена	0,166	-0,035	-0,083
Значимость	0,265	0,816	0,580

Таблица 10. Результаты корреляционного анализа для кондуктометрии спинномозговой жидкости**Table 10.** Results of correlation analysis for conductometry cerebrospinal fluid

Корреляционный анализ	Электропроводность, См ⁻¹ ×10 ⁻⁴		
	100 Гц	1 кГц	10 кГц
Коэффициент корреляции Кендалла	-0,159*	-0,06	0,05
Значимость	0,02	0,41	0,49
Коэффициент корреляции Спирмена	-0,212*	-0,07	0,07
Значимость	0,02	0,44	0,45

Примечание. * Корреляция значима на уровне 0,05.

Note. * Correlation is significant at the 0.05 level.

Таблица 11. Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) влияния давности смерти на величину электропроводности спинномозговой жидкости**Table 11.** Univariate analysis of variance (ANOVA) effects age of death by the amount of electrical conductivity cerebrospinal fluid

	Параметры	Сумма квадратов	df	Средний квадрат	F	p
0,1 кГц	Между группами	0,80	18	0,044	1,39	0,15
	Внутри групп	3,34	105	0,032	-	-
	Общее количество	4,14	123	-	-	-
1 кГц	Между группами	0,13	18	0,007	1,57	0,08
	Внутри групп	0,47	105	0,004	-	-
	Общее количество	0,59	123	-	-	-
10 кГц	Между группами	0,11	18	0,006	0,99	0,48
	Внутри групп	0,62	105	0,006	-	-
	Общее количество	0,73	123	-	-	-

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Результаты исследований показали, что в объектах в достаточном количестве присутствуют растворённые ионы, определяющие электропроводность спинномозговой жидкости, при этом объекты, изъятые от трупов лиц различного пола, возраста, с этанолемией и без алкоголя в крови, различались порой абсолютными значениями измеряемой величины, что и обусловило необходимость изучения влияний этих индивидуальных характеристик на электропроводность спинномозговой жидкости.

При проведении статистического исследования выявлено, что признак половой принадлежности субъекта оказывается значимым с точки зрения его влияния на величину электропроводности спинномозговой жидкости, в то время как паспортный возраст умершего такого влияния на изучаемые свойства секционного материала не имеет.

Установлено, что абсолютная величина этанолемии, измеряемая в промилле, не имеет какого-либо значимого влияния на величину электропроводности спинномозговой жидкости, однако сам факт наличия этилового алкоголя в изучаемом объекте существенно меняет его способность к проведению переменного электрического тока.

Исследование трупа в пределах первых 24 часов после наступления смерти не требует учёта значения её давности, так как процессы, протекающие в трупе в данный временной период, не сопровождаются изменением кондуктометрических свойств спинномозговой жидкости.

Обсуждение основных результатов исследования

Как следует из данных, представленных в табл. 2–6, величина электропроводности спинномозговой жидкости трупов в используемом частотном диапазоне не связана с возрастом исследованных субъектов.

По мнению многочисленных исследователей, наличие этанола в крови трупа изменяет множество биофизических и биохимических характеристик его тканей, органов и жидкостей [13], отмечаются изменения микроэлементного и белкового состава крови [14], что, возможно, способно отразиться на составе и свойствах спинномозговой жидкости. Согласно проведённым в табл. 7–9 расчётам, электропроводность спинномозговой жидкости на использованных частотах не имеет достоверных связей с концентрацией (в промилле) этанола у исследованных субъектов, хотя сам факт этанолемии имеет значимое влияние на результаты кондуктометрии.

Продолжительность постмортального периода (давность смерти человека) также может отразиться на изучаемых показателях спинномозговой жидкости по причине множества процессов, развивающихся в мёртвом теле (аутолиз, гниение и проч.). Именно по этой причине при планировании настоящего исследования нами было решено ограничиться первыми сутками с момента смерти. Однако даже в рамках 24-часового интервала давности смерти возможны изменения электропроводящих свойств спинномозговой жидкости по мере увеличения продолжительности постмортального периода. По результатам нашего исследования, абсолютное значение времени, прошедшее с момента смерти человека до изъятия спинномозговой жидкости и её кондуктометрического исследования, может не приниматься во внимание при условии, что оно находится в пределах изученного нами 24-часового интервала.

Нежелательные явления

Нежелательные явления в рамках достижения цели настоящего исследования не наблюдались.

Ограничения исследования

При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывался, в связи с чем полученная в ходе исследования выборка не может считаться

в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность за пределами исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кондуктометрическое исследование спинномозговой жидкости позволяет достоверно выявлять изменения её параметров, обусловленные факторами, определяющими индивидуальность субъекта, от трупа которого она была изъята для изучения.

Все изменения, обусловленные влияниями указанных факторов, необходимо учитывать в ходе разработки методики кондуктометрического исследования спинномозговой жидкости умерших от черепно-мозговой травмы как влияние, способное изменить оценку тяжести данной травмы и давности её формирования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: В.В. Агзамов, С.М. Баяндина, М.А. Поздеева — сбор и анализ данных; А.Ю. Вавилов, А.Р. Поздеев — написание рукописи; А.Ю. Вавилов, А.Р. Поздеев, С.М. Баяндина — научное редактирование рукописи; А.Ю. Вавилов, А.Р. Поздеев, С.М. Баяндина, В.В. Агзамов, М.А. Поздеева — рассмотрение и одобрение окончательного варианта рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. V.V. Agzamov, S.M. Bayandina, M.A. Pozdeeva: data collection; A.Yu. Vavilov, A.R. Pozdeev writing the manuscript; A.Yu. Vavilov, A.R. Pozdeev, S.M. Bayandina: scientific editing of the manuscript; A.Yu. Vavilov, A.R. Pozdeev, S.M. Bayandina, V.V. Agzamov, M.A. Pozdeeva review and approval of the final version of the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витер В.И., Сурков Ю.Г., Поздеев А.Р., и др. Оценка тяжести черепно-мозговой травмы по спектрам удельной электропроводности спинномозговой жидкости в раннем постмортальном периоде // Проблемы экспертизы в медицине. 2004. Т. 4, № 3. С. 12–14. EDN: OKGUTZ
2. Гайворонская В.И. Кристаллографический метод диагностики черепно-мозговой травмы и некоторых патологических состояний в судебно-медицинской практике: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.24. Место защиты: Российский центр судебно-медицинской экспертизы. Москва, 2001. 30 с.
3. Майновская О.А. Судебно-медицинская оценка черепно-мозговой травмы у живых лиц по кристаллографическим характеристикам спинномозговой жидкости: Автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.24. Москва, 2001. 21 с. EDN: ZLCDDF
4. Чумутин А.Н. Исследование импеданса ликвора для постмортальной оценки давности черепно-мозговой травмы // Молодая наука — практическому здравоохранению: материалы 92-й итоговой научно-практической конференции студентов, ординаторов, аспирантов, молодых ученых (до 35 лет) ПГМУ имени академика Е.А. Вагнера, Пермь, 15–16 апреля. Пермь: Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, 2019. С. 43–44. EDN: FQOJYH
5. Зуев А.Л., Мишланов В.Ю., Судаков А.И., Шакиров Н.В. Изучение ионных, молекулярных и клеточных механизмов формирования электрического импеданса в биологических жидкостях и тканях // Вестник Пермского научного центра УРО РАН. 2014. № 2. С. 69–78. EDN: SLQOVJ
6. Пикалюк В.С., Бессалова Е.Ю., Ткач В.В., и др. Ликвор как гуморальная среда организма: монография. Симферополь: Ариал, 2010. 192 с. EDN: GWTTQ
7. Поздеев А.Р. Судебно-медицинская оценка дефектов лечения в премортальный период: монография. Нижний Новгород, 2004. 143 с. EDN: QLKTZX
8. Добровольский Г.Ф. Топографическое обоснование комплексной судебно-медицинской оценки системы ликворообращения при травматическом повреждении головного мозга: Автореф. дис. ... докт. мед. наук: 14.00.24. Место защиты: Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова. Москва, 2003. 39 с.
9. Сарсенов Т.К. Судебно-медицинская оценка черепно-мозговой травмы в судебной медицине // Наука и здравоохранение. 2013. № 4. С. 66–68. EDN: XIKOXL
10. Гланц С. Медико-биологическая статистика / пер. с англ. Ю.А. Данилова, под ред. Н.Е. Бузикашвили, Д.В. Самойлова. Москва: Практика, 1999. 459 с.
11. Наумов Э.С. Экспертная система диагностики острого отравления (для целей судебно-медицинской практики): Автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.24. Место защиты: Российский центр судебно-медицинской экспертизы. Москва, 2000. 24 с.
12. Коротун В.Н., Лесников В.В., Витер В.И. Изменение синтезированного этанола при хранении трупной крови в условиях комнатной температуры // Проблемы экспертизы в медицине. 2013. Т. 13, № 1. С. 9–12. EDN: QZRSCV

13. Халиков А.А., Вавилов А.Ю. Диагностика давности механической травмы в судебной медицине биофизическими способами: монография. Ижевск, 2007. 159 с. EDN: QLOUDP

14. Пермяков А.В., Витер В.И. Патоморфология и танатогенез алкогольной интоксикации: монография. Ижевск: Экспертиза, 2002. 91 с. EDN: XVIWWD

REFERENCES

1. Viter VI, Surkov YG, Pozdeev AR, et al. Assessment of craniocerebral trauma severity by specific electrical conductivity spectra of cerebrospinal fluid in the early postmortem period. *Problemy ekspertizy v meditsine*. 2004;4(3):12–14. EDN: OKGUTZ
2. Gaivoronskaya VI. *Crystallographic method of diagnostics of craniocerebral trauma and some pathological conditions in forensic medical practice* [dissertation abstract]: 14.00.24. Place of protection: Russian Centre of Forensic Medical Examination. Moscow; 2001. 30 p. (In Russ.)
3. Mainovskaya OA. *Forensic medical assessment of craniocerebral trauma in living persons by crystallographic characteristics of cerebrospinal fluid* [dissertation abstract]: 14.00.24. Moscow; 2001. 21 p. (In Russ.) EDN: ZLCDDF
4. Chumutin AN. Study of liquor impedance for postmortem assessment of craniocerebral trauma. In: *Young science — practical healthcare*: Materials of the 92nd final scientific-practical conference of students, residents, postgraduates, young scientists (up to 35 years old) of E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, 15–16 April. Perm: Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner; 2019. P. 43–44. (In Russ.) EDN: FQOJYH
5. Zuev AL, Mishlanov VYu, Sudakov AI, Shakirov NV. Analysis of ionic, molecular and cellular mechanisms of electrical impedance formation in biological fluids and tissues. *Perm scientific center journal*. 2014;(2):69–78. EDN: SLQOVJ
6. Pikalyuk VS, Bessalova EY, Tkach VV, et al. *Liquor as humoral environment of the organism*: Monograph. Simferopol: Arial; 2010. 192 p. (In Russ.) EDN: GWTTCC
7. Pozdeev AR. *Forensic medical evaluation of treatment defects in the pre-mortem period*: Monograph. Nizhny Novgorod; 2004. 143 p. (In Russ.) EDN: QLKTZX
8. Dobrovolsky GF. *Topographic substantiation of the complex forensic-medical evaluation of the system of liquor circulation in traumatic brain injury* [dissertation abstract]: 14.00.24. Place of defence: Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov. Moscow; 2003. 39 p. (In Russ.)
9. Sarsenov TK. The forensic evaluation of traumatic brain injury. *Nauka i Zdravookhranenie*. 2013;(4):66–68. EDN: XIXOXL
10. Glantz S. *Medico-biological statistics*. Transl. from English Yu.A. Danilov, ed. by N.E. Buzikashvili, D.V. Samoilov. Moscow: Praktika; 1999. 459 p. (In Russ.)
11. Naumov ES. *Expert system of diagnostics of acute poisoning (for the purposes of forensic medical practice)* [dissertation abstract]: 14.00.24. Place of defence: Russian Centre of Forensic Medical Examination. Moscow; 2000. 24 p. (In Russ.)
12. Korotun VN, Lesnikov VV, Viter VI. Changes in synthesised ethanol during storage of cadaver blood under room temperature conditions. *Problemy ekspertizy v meditsine*. 2013;13(1):9–12. EDN: QZRSCV
13. Khalikov AA, Vavilov AYU. *Diagnostics of the age of mechanical trauma in forensic medicine by biophysical methods*: Monograph. Izhevsk; 2007. 159 p. (In Russ.) EDN: QLOUDP
14. Permyakov AV, Viter VI. *Pathomorphology and thanatogenesis of alcohol intoxication*: Monograph. Izhevsk: Ekspertiza; 2002. 91 p. (In Russ.) EDN: XVIWWD

ОБ АВТОРАХ

* **Агзамов Вадим Валерьевич**;

адрес: Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, д. 3;

ORCID: 0000-0001-9845-2280;

eLibrary SPIN: 2601-5385;

e-mail: expert.sudmed@yandex.ru

Вавилов Алексей Юрьевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-9472-7264;

eLibrary SPIN: 3275-3730;

e-mail: izhsudmed@hotmail.com

Поздеев Алексей Родионович, д-р мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-6302-5219;

eLibrary SPIN: 2242-4828;

e-mail: apozdeev@bk.ru

Халиков Айрат Анварович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0003-1045-5677;

eLibrary SPIN: 1895-7300;

e-mail: airat.expert@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Vadim V. Agzamov**;

address: 3 Lenin st, Ufa, Russia, 450008;

ORCID: 0000-0001-9845-2280;

eLibrary SPIN: 2601-5385;

e-mail: expert.sudmed@yandex.ru

Alexey Yu. Vavilov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-9472-7264;

eLibrary SPIN: 3275-3730;

e-mail: izhsudmed@hotmail.com

Alexey R. Pozdeev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor;

ORCID: 0000-0002-6302-5219;

eLibrary SPIN: 2242-4828;

e-mail: apozdeev@bk.ru

Airat A. Khalikov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0003-1045-5677;

eLibrary SPIN: 1895-7300;

e-mail: airat.expert@mail.ru

Баяндина София Михайловна;

ORCID: 0009-0005-9888-512X;

eLibrary SPIN: 8604-6691;

e-mail: bay_sofia@mail.ru

Поздеева Мария Алексеевна;

ORCID: 0009-0007-6403-9886;

eLibrary SPIN: 4731-6769;

e-mail: mashapozdeeva5@gmail.com

Sofia M. Bayandina;

ORCID: 0009-0005-9888-512X;

eLibrary SPIN: 8604-6691;

e-mail: bay_sofia@mail.ru

Maria A. Pozdeeva;

ORCID: 0009-0007-6403-9886;

eLibrary SPIN: 4731-6769;

e-mail: mashapozdeeva5@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author