



Сравнительное изучение адгезивных свойств трансдермальных пластырей с транс-ресвератролом методом зондирования липкости

К. Д. Якимов¹ , У. В. Ногаева¹ , Д. С. Гордеева² , Р. И. Мустафин² , Е. В. Флисюк¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России). 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Аптекарский остров, ул. Профессора Попова, д. 14, лит. А

² Институт фармации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 420126, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Фатыха Амирхана, д. 16

✉ Контактное лицо: Якимов Кирилл Дмитриевич. E-mail: kirill.yakimov@spcru.ru

Резюме

Введение. Трансдермальные терапевтические системы (ТТС), в частности трансдермальные пластыри, представляют собой один из наиболее перспективных неинвазивных путей введения лекарственных средств (ЛС) в системный кровоток. Ключевым условием реализации терапевтического потенциала трансдермальных пластырей является поддержание стабильного и равномерного контакта системы с поверхностью кожи на протяжении всего заявленного периода использования за счет оптимальных адгезивных характеристик. Адгезия ТТС представляет собой критический показатель качества (Critical Quality Attributes, CQA), определяющий биодоступность препарата, его безопасность для пациента, и требует объективной оценки, учитывающей биомеханику кожи и особенности эксплуатации в реальных условиях.

Цель. Сравнительный анализ адгезивных свойств трансдермальных пластырей с фитоэстрогеном – транс-ресвератролом с использованием метода зондирования липкости.

Материалы и методы. Объекты исследования – образцы матричных пластырей, полученные на базе ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России и содержащие транс-ресвератрол. Адгезию изучали методом зондирования липкости (probe tack test) при помощи анализатора текстуры TA.XTplus с программным обеспечением Exponent Connect. Исследование проводили на базе Института фармации ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России. В качестве препаратов сравнения как положительный контроль использовали трансдермальные пластыри Никоретте® и Евра® (LTS Lohmann Therapy-Systems AG, Германия). Для моделирования кожного покрова человека в работе использовали два типа субстратов: биологический (изолированная свиная кожа) и синтетический (силиконовая кожа). Результаты исследования анализировали стандартными методами статистики в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи РФ.

Результаты и обсуждение. Образец пластыря на основе сополимера метакриловой кислоты и этилакрилата в качестве полимера-носителя, выполняющего роль адгезива, продемонстрировал наибольшую липкость, сопоставимую с референтными препаратами. Введение в состав поливинилпирролидона K-17 с целью увеличения высвобождения транс-ресвератрола из матрицы приводило к частичной потере адгезии пластырей и получению нестабильной системы, крайне чувствительной к условиям окружающей среды.

Заключение. По результатам оценки силы отрыва и работы адгезии установлено, что использование сополимера метакриловой кислоты и этилакрилата для разработки матричных трансдермальных пластырей с транс-ресвератролом является перспективным направлением, позволяющим достичь оптимального сочетания адгезивных характеристик, сопоставимых с референтными препаратами, и показателей высвобождения ДВ из ТТС, рассмотренных в предыдущем исследовании.

Ключевые слова: трансдермальные пластыри, транс-ресвератрол, адгезивные свойства, зондирование липкости

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

Вклад авторов. К. Д. Якимов, У. В. Ногаева – подбор составов, разработка технологии, получение образцов трансдермальных пластырей с ресвератролом. У. В. Ногаева, Д. С. Гордеева – оценка адгезивных свойств ТТС. К. Д. Якимов – статистическая обработка результатов. Р. И. Мустафин – интерпретация результатов по оценке адгезивных свойств ТТС. Все авторы участвовали в написании текста статьи и обсуждении результатов.

Для цитирования: Якимов К. Д., Ногаета У. В., Гордеева Д. С., Мустафин Р. И., Флисюк Е. В. Сравнительное изучение адгезивных свойств трансдермальных пластырей с транс-ресвератролом методом зондирования липкости. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2026;15(3):153–161. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-3-2351>

Поступила в редакцию: 24.04.2026

Поступила после рецензирования: 04.06.2026

Принята к публикации: 28.08.2026

Comparative study of the adhesive properties of transdermal patches with trans-resveratrol using the probe tack test

Kirill D. Yakimov¹ , Uljana V. Nogaeva¹ , Daria S. Gordeeva² ,
Rouslan I. Moustafine² , Elena V. Flisyuk¹ 

¹ Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University (SPCPU). 14A, Professora Popova str., Aptekarsky Ostrov Municipal Okrug, Saint Petersburg, 197022, Russia

² Institute of Pharmacy, Kazan State Medical University (KSMU). 16, Fatykha Amirkhan str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420126, Russia

✉ **Corresponding author:** Kirill D. Yakimov. **E-mail:** kirill.yakimov@spcpu.ru

Abstract

Introduction. Transdermal Therapeutic Systems (TTS), particularly transdermal patches, represent one of the most promising non-invasive routes for delivering drugs into the systemic circulation. A key prerequisite for realizing the therapeutic potential of transdermal patches is the maintenance of stable and uniform contact between the system and the skin surface throughout the intended period of use, achieved through optimal adhesive characteristics. The adhesion of TTS is a critical quality attribute (CQA) that determines drug bioavailability and patient safety, and it requires objective assessment that takes into account skin biomechanics and real-use conditions.

Aim. A comparative analysis of adhesive properties of transdermal patches with the phytoestrogen trans-resveratrol using the probe tack test.

Materials and methods. The objects of the study were matrix-type patch samples obtained at the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University (SPCPU) of the Ministry of Health of the Russian Federation, containing trans-resveratrol. Adhesion was evaluated by probe tack test using the texture analyzer TA.XTplus with Exponent Connect software. The study was conducted at the Institute of Pharmacy, Kazan State Medical University (KSMU) of the Ministry of Health of the Russian Federation. Transdermal patches Nicorette® and Evra® (LTS Lohmann Therapy-Systems AG, Germany) were used as comparator products (positive controls). Two types of substrates were used to model human skin: a biological substrate (isolated pig skin) and a synthetic substrate (silicone skin). The test results were processed using standard statistical methods in accordance with the requirements of the State Pharmacopoeia of the Russian Federation.

Results and discussion. The patch sample based on a copolymer of methacrylic acid and ethyl acrylate as a polymer carrier acting as an adhesive demonstrated the highest tack, comparable to that of the reference products. The incorporation of polyvinylpyrrolidone K-17 to enhance the release of trans-resveratrol from the matrix resulted in a partial loss of patch adhesion and the formation of an unstable system that was highly sensitive to environmental conditions.

Conclusion. Based on the evaluation of peak force required to break the bond and work of adhesion, it was established that the use of a copolymer of methacrylic acid and ethyl acrylate for the development of matrix-type transdermal patches with trans-resveratrol represents a promising approach. This strategy enables an optimal combination of adhesive properties, comparable to those of reference products, while maintaining the active substance release performance from the TTS as reported in a previous study.

Keywords: transdermal patches, trans-resveratrol, adhesive properties, probe tack test

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Kirill D. Yakimov, Uljana V. Nogaeva – selection of formulations, technology development, production of transdermal patches with resveratrol samples. Uljana V. Nogaeva, Daria S. Gordeeva – evaluation of the adhesive properties of the TTS. Kirill D. Yakimov – statistical processing of the results. Rouslan I. Moustafine – interpretation of the assessment results of the adhesive properties of the TTS. All authors participated in writing the article and discussing the results.

For citation: Yakimov K. D., Nogaeva U. V., Gordeeva D. S., Moustafine R. I., Flisyuk E. V. Comparative study of the adhesive properties of transdermal patches with trans-resveratrol using the probe tack test. *Drug development & registration*. 2026;15(3):153–161. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-3-2351>

Received: 24.04.2026

Revised: 04.06.2026

Accepted: 28.08.2026

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение стабильной адгезии трансдермальных терапевтических систем (ТТС), достаточной для поддержания эффективного и безопасного контакта с кожей на протяжении всего регламентированного срока использования, остается актуальной технологической задачей [1].

Адгезия в контексте ТТС представляет собой многокомпонентное физико-химическое взаимодействие на границе раздела фаз «адгезивная матрица – кожа», которое напрямую влияет на кинетику высвобождения и скорость абсорбции лекарственного средства (ЛС). Неудовлетворительные адгезивные характеристики трансдермального пластыря выступают критическим фактором риска его преждевременного отслаивания. Уменьшение площади контакта с кожными покровами приводит к снижению количества ЛС, поступающего в кровоток, и, как следствие, некорректному дозированию и снижению терапевтического эффекта. Кроме того, трансдермальные пластыри, характеризующиеся низкими показателями адгезии, будут требовать более частой замены, вызывая нерациональное расходование лекарственного препарата и увеличивая стоимость лечения [2, 3].

Помимо прямого влияния на фармакокинетику, адгезивные свойства определяют механическую стабильность системы. Недостаточная когезионная прочность клеевого слоя ведет к миграции матрикса за пределы защитного слоя, что приводит к потере ЛС, загрязнению одежды и снижению комплаентности пациента. С другой стороны, чрезмерная адгезия способствует травматизации кожных покровов при удалении системы, вызывая воспалительную реакцию и нарушение барьерной функции кожи [3].

Адгезивные свойства трансдермальных пластырей зачастую обусловлены наличием в составе системы адгезивов, чувствительных к давлению (АЧД), которые образуют с кожными покровами надежное соединение при легком кратковременном нажатии. Для современных матричных систем характерны такие показатели адгезии, как липкость (tack), сопротивление отслаиванию (peel adhesion) и сопротивление при сдвиге (shear adhesion) [2–4].

Липкость – это способность пластыря фиксироваться на коже при легком нажатии. Возможность системы образовывать надежное соединение после непродолжительного контакта обусловлена молекулярными взаимодействиями между АЧД и субстратом, поверхностной энергией и реологическими характеристиками адгезивной матрицы. Для формирования прочного контакта адгезивная матрица должна обладать умеренной вязкостью, но при этом достаточной текучестью и иметь способность к быстрой деформации и смачиванию поверхности кожи [3]. Контроль липкости важен для оценки качества первоначального сцепления при нанесении трансдермального пластыря. Если липкость низкая, система не сможет

зафиксироваться на коже пациента, что будет приводить к отклеиванию пластыря практически сразу после нанесения [3, 5].

Существует несколько способов оценки данного параметра, наиболее информативным из которых является метод зондирования липкости (probe tack test), благодаря которому можно охарактеризовать прочность и механизм разрушения адгезионного соединения [2, 3, 6].

Целью этой работы явилось сравнительное изучение адгезивных характеристик экспериментальных образцов матричных пластырей с транс-ресвератролом методом зондирования липкости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования стали экспериментальные образцы пластырей матричного типа, содержащие фитоэстроген – транс-ресвератрол, с массовой долей основного вещества не менее 99 % (DSM, Швейцария). В качестве полимера-носителя использовали сополимер метакриловой кислоты и этилакрилата (1:1) – Kollicoat® MAE 100 P (BASF, Германия).

Количественное соотношение ресвератрола и вспомогательных компонентов в исследуемых пластырях отражено в таблице 1, обоснование состава и описание технологии получения ТТС было представлено ранее [5].

В качестве препаратов сравнения были выбраны два трансдермальных пластыря, зарегистрированных на фармацевтическом рынке Российской Федерации: трансдермальный пластырь Никоретте® (№ серии: 70145T1A, годен до 04.2028) и пластырь Евра® (№ серии: V4B349AA, годен до 10.2026) (LTS Lohmann Therapy-Systems AG, Германия).

Сравнительную оценку липкости пластырей по отношению к очищенной изолированной свиной коже и искусственной силиконовой коже проводили при температуре окружающей среды 23 ± 2 °C зондовым методом на приборе TA.XTplus Texture Analyser (Stable Micro System, Surrey, Великобритания) с программным обеспечением Exponent Connect (version 3.2).

Анализатор текстуры TA.XTplus является универсальным прибором для физико-механических испытаний. Благодаря широкому диапазону скоростей (0,01–40 мм/с) и высокому разрешению нагрузки (до 0,1 г) он находит применение в пищевой промышленности для оценки текстурных характеристик продуктов питания [7, 8, 9], в косметологии с целью измерения распределения помад [10] и оценки вязкоупругих свойств кремовых основ [11]. В фармацевтической промышленности анализатор текстуры TA.XTplus широко используется для изучения адгезивных характеристик мукоадгезивных пленок [12] и таблеток [13, 14], а также трансдермальных терапевтических систем [15].

Образцы изолированной свиной кожи были взяты со спинной части женской особи большой белой свиньи, которая является наиболее адекватной аль-

Таблица 1. Составы образцов трансдермальных пластырей с транс-ресвератролом (площадь 26 см²)
Table 1. Compositions of trans-resveratrol transdermal patches (area 26 cm²)

Компоненты Ingredients		Образец № Sample №			
		1	2	3	4
		Соотношение (г/г) Ratio (g/g)			
Действующее вещество Active substance	Транс-ресвератрол Trans-resveratrol	1	1	1	1
Полимер-носитель (адгезив) Polymer carrier (adhesive)	Сополимер метакриловой кислоты и этилакрилата Copolymer of methacrylic acid and ethyl acrylate	2	1,9	1,7	1,5
Пластификатор Plasticizer	ПЭГ-400 PEG 400	2,5	2,5	2,5	2,5
Солюбилизующий агент Solubilizing agent	ПВП К-17 PVP K-17	–	0,1	0,3	0,5
Антиокислитель Antioxidant	Аскорбиновая кислота Ascorbic acid	+	+	+	+
Консервант Preservative	Калия сорбат Potassium sorbate	+	+	+	+

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

тернативой коже человека для проведения данного исследования как с гистологической, так и с физиологической точки зрения [16]. Перед проведением испытаний изолированную свиную кожу очищали от загрязнений и излишков жира. Искусственная кожа представляла собой лист силикона толщиной 1 мм, имитирующий физико-механические свойства человеческой кожи.

Образец субстрата фиксировали с помощью специального зажима, обеспечивающего его неподвижность (рисунок 1). Испытуемые образцы пластырей разрезали на фрагменты круглой формы диаметром

около 1 см и закрепляли на контактирующей поверхности зонда при помощи двусторонней клейкой ленты. Зонд устанавливали на приборе напротив отверстия, где располагался субстрат. Далее устанавливали параметры проведения испытания, представленные в таблице 2, и выполняли измерение: подвижный зонд с образцом пластыря опускали до установления контакта с поверхностью субстрата, выдерживали заданное время и затем начинали подъем зонда для отрыва пластыря от субстрата. Исследования проводили в пяти повторностях.

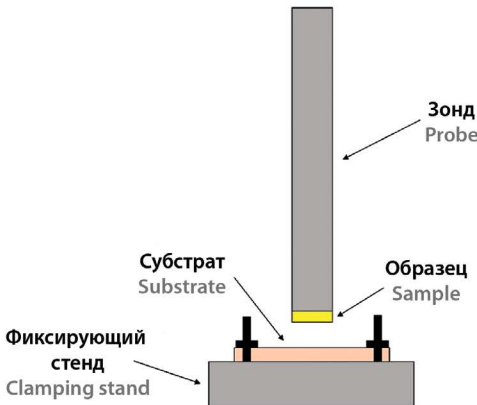


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 1. Оборудование для оценки липкости зондовым методом
Figure 1. Equipment for probe tack test

Таблица 2. Параметры проведения испытания

Table 2. Test parameters

Параметр Parameter	Значение Value	Единицы измерения Units
Скорость до испытания Pre-test speed	1,00	мм/с mm/s
Скорость испытания Test speed	0,10	мм/с mm/s
Скорость после испытания Post-test speed	10,00	мм/с mm/s
Приложенная сила Applied force	10,0	г g
Обратное расстояние Return distance	10	мм mm
Время контакта Contact time	60	с s
Усилие срабатывания Trigger force	5,0	г g

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

В ходе исследования посредством программного обеспечения были построены кривые зависимости силы (F , г) от времени (T , с). Зондовый метод позволяет получить развернутую характеристику разрушения адгезионного соединения, образованного при контакте зонда с испытуемым образцом. Данный процесс проходит через стадию кавитации (1), проявляющуюся на кривой в виде пика. За кавитацией следует стадия латерального роста пустот в плоскости матрицы (2) с последующим выходом на плато – образованием фибрилл (3). После чего происходит разрушение адгезионного соединения (4) (рисунок 2).

При обработке данных рассчитывали две основные характеристики образующихся соединений: силу отрыва и работу адгезии. Сила отрыва определялась

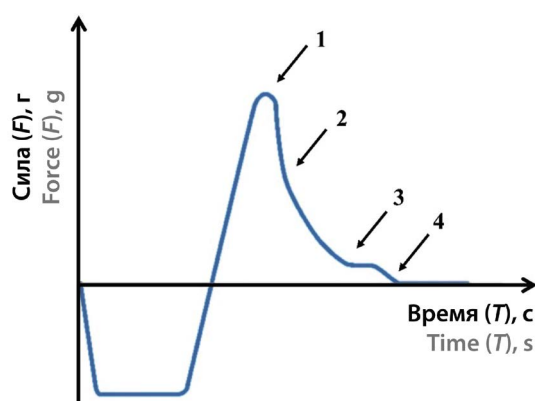


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 2. Типичная кривая зондирования липкости
Figure 2. Typical curve of probe tack test

как максимальная сила, необходимая для отделения пластыря от субстрата, и она являлась максимумом на кривой отрыва. Общая работа адгезии рассчитывалась как площадь под кривой и представляла собой энергию, необходимую для разделения двух фаз.

Статистическая обработка результатов

Статистическая обработка результатов была основана на требованиях ОФС.1.1.0013 Государственной фармакопеи (ГФ) РФ¹. Для полученных данных рассчитывали средние значения и стандартные ошибки среднего ($M \pm m$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Оценка адгезионных свойств трансдермальных систем должна носить комплексный характер и базироваться на совокупном применении нескольких взаимодополняющих методов. Использование какого-либо одного испытания не позволяет в полной мере охарактеризовать поведение пластыря в реальных условиях, поскольку различные характеристики адгезии – начальная липкость, устойчивость к сдвигу и сопротивление отслаиванию – требуют отдельных подходов для своей оценки.

Так, в рамках ранее проводимого исследования по подбору компонентов матрицы для ТТС с трансресвератролом была использована оценка липкости посредством испытания с катящимся стальным шаром (Rolling ball tack test) и установлено, что введение в рецептуру ПВП К-17 снижает адгезивные свойства матрицы. Ввиду высокой чувствительности к условиям окружающей среды, в частности влажности воздуха, как в процессе сушки, так и в процессе хранения образцы, содержащие ПВП К-17, демонстрировали неудовлетворительную адгезию. Полученные результаты были также подтверждены и в настоящем исследовании методом зондирования липкости.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты оценки силы отрыва и работы адгезии для испытуемых образцов (составы приведены в таблице 1) и референтных препаратов по отношению к изолированной свиной коже. С целью демонстрации работоспособности системы и отсутствия значительного влияния используемых субстратов на получаемые значения проводили измерение по отношению к субстрату без закрепленного образца на металлическом зонде прибора (отрицательный контроль).

Согласно полученным данным, даже минимальное количество ПВП К-17 (образец № 2) существенно снижает липкость матрицы, в связи с чем использование данного полимера в пластыре для получения стабиль-

¹ ОФС.1.1.0013 «Статистическая обработка результатов физических, физико-химических и химических испытаний». Доступно по: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-1/statisticheskaya-obrabotka-rezultatov-fizicheskikh-fiziko-khimicheskikh-i-khimicheskikh-isyptaniy/?sphrase_id=2419730 Ссылка активна на 14.04.2026.

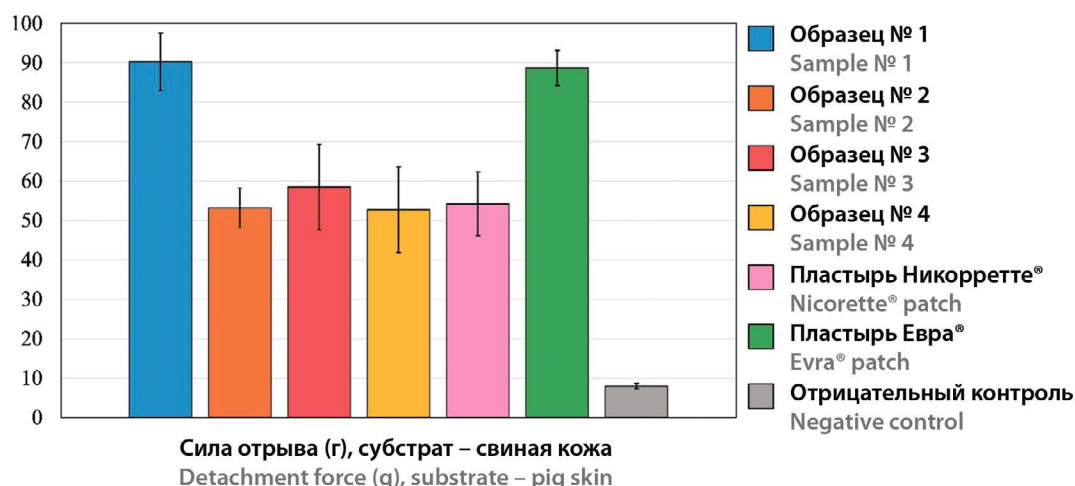


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 3. Результаты исследования силы отрыва (субстрат – изолированная свиная кожа)

Figure 3. Results of the detachment force study (substrate – isolated pig skin)

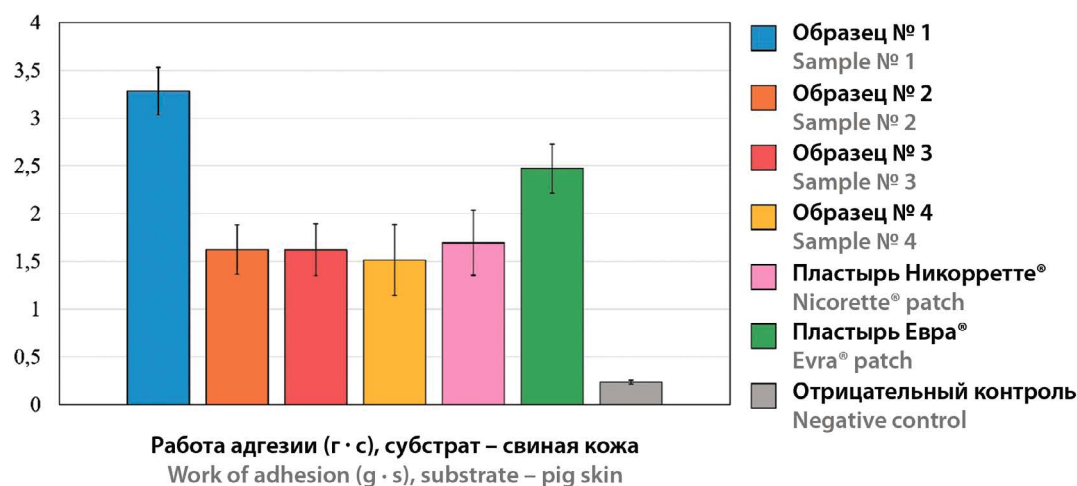


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 4. Результаты исследования работы адгезии (субстрат – изолированная свиная кожа)

Figure 4. Results of the work of adhesion study (substrate – isolated pig skin)

ных адгезивных характеристик является нецелесообразным. При этом варьирование содержания ПВП К-17 в составе (образцы № 2–4) не оказывало заметного влияния на адгезивные свойства.

При характеристике адгезивных свойств трансдермальных пластырей ключевой проблемой остается отсутствие объективной, универсальной шкалы адгезии. В научной литературе и нормативной документации нет четкой градации, позволяющей однозначно определить, какую степень липкости следует считать «оптимальной», «удовлетворительной» или «недостаточ-

ной». В связи с этим наиболее методологически обоснованным подходом является включение в план исследования положительного контроля – референтных коммерческих препаратов, уже присутствующих на рынке. Использование таких референс-пластырей позволяет получить опосредованное, но клинически релевантное представление о необходимых параметрах фиксации.

При использовании в качестве субстрата изолированной свиной кожи образец № 1 продемонстрировал сопоставимые результаты с препаратом Евра®:

сила отрыва $90,3 \pm 7,3$ г и работа адгезии $3,28 \pm 0,25$ г·с у образца № 1 и $88,7 \pm 4,4$ г и $2,47 \pm 0,25$ г·с у Евра® соответственно, что указывает на высокую способность образца № 1 образовать надежное первоначальное сцепление с субстратом.

В эксперименте с искусственной кожей (рисунки 5, 6) для разрушения адгезионного соединения с образцом № 1 потребовалась сила, равная $66,11 \pm 4,71$ г, а работа адгезии составила $2,05 \pm 0,23$ г·с. При исследовании препарата Никоретте® были получены следующие результаты: $60,08 \pm 4,02$ г и $1,81 \pm 0,15$ г·с. Возможность образца № 1 формировать

надежное сцепление с субстратом была сопоставима с референтным препаратом Никоретте®, что говорит об удовлетворительных адгезионных свойствах разрабатываемого пластыря.

Сцепление Евра® с искусственной кожей оказалось сильнее сцепления с фиксирующей двусторонней клейкой лентой, в связи с чем разрыв адгезионного соединения происходил вне системы «образец – субстрат». Измерение параметров адгезии ТТС Евра® по представленной методике не представлялось возможным, поэтому данные на рисунках 5 и 6 по данному препарату отсутствуют.

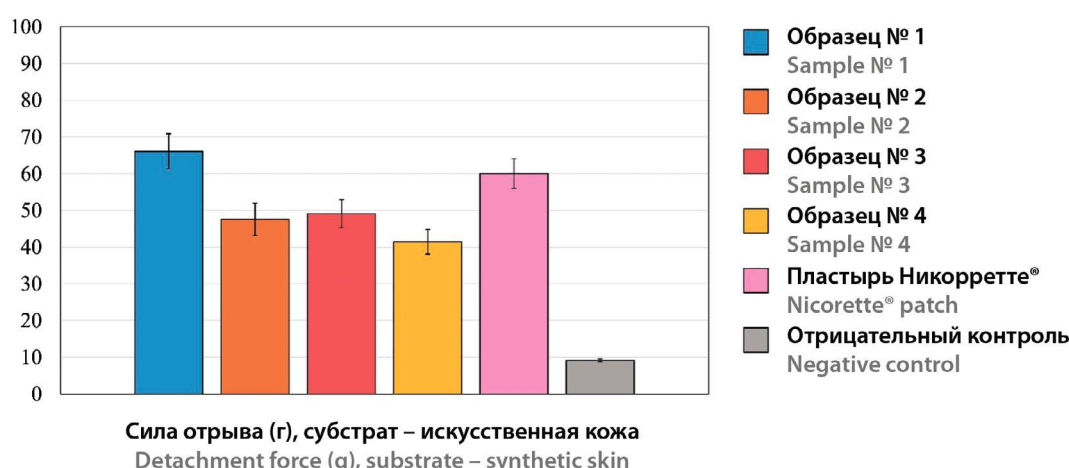


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 5. Результаты исследования силы отрыва (субстрат – искусственная кожа)

Figure 5. Results of the detachment force study (substrate – synthetic skin)

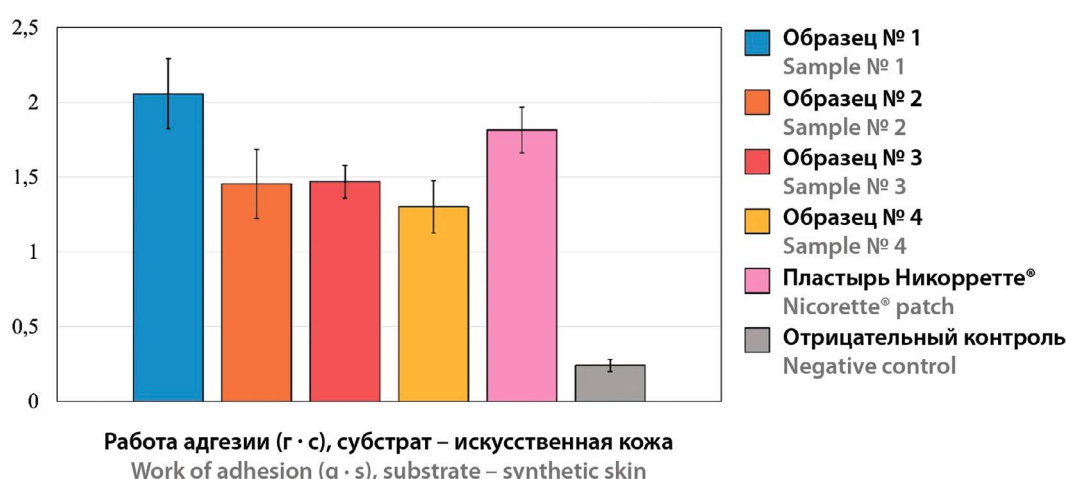


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 6. Результаты исследования работы адгезии (субстрат – искусственная кожа)

Figure 6. Results of the work of adhesion study (substrate – synthetic skin)

В ходе исследования было подтверждено, что при интерпретации результатов испытаний адгезии принципиальное значение имеет выбор субстрата, по отношению к которому проводятся измерения. Результаты исследования зависят не только от свойств самого образца, но и в значительной степени от характеристик поверхности контакта. Аналогичные наблюдения прослеживаются во многих исследовательских работах [17–19].

Состав матрицы, демонстрирующий надежную фиксацию на искусственной коже, может проявлять неудовлетворительную адгезию по отношению к свиной, и наоборот. При этом важно отметить, что способность образовывать прочное соединение с биологическими тканями, вариабельность которых крайне высока, зависит от множества факторов: участка тела, с которого взят лоскут, его температуры, микрорельефа, степени гидратации, эластичности, свежести (постмортальные изменения), а также индивидуальных особенностей донора [18, 19]. В связи с этим методологически обоснованным представляется подход, предполагающий использование различных субстратов с последующим выявлением общей тенденции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного исследования было проведено сравнительное изучение адгезивных свойств экспериментальных образцов матричных трансдермальных пластырей с транс-ресвератролом с использованием метода зондирования липкости (probe tack test). Установлено, что образец № 1 на основе сополимера метакриловой кислоты и этилакрилата (без добавления ПВП К-17) демонстрирует наилучшие адгезивные свойства. Данный образец обеспечивает силу отрыва и работу адгезии, сопоставимые с референтными коммерческими препаратами Евра® (на биологическом субстрате) и Никоретте® (на синтетическом субстрате). Введение в состав пластыря ПВП К-17, даже в минимальном количестве, приводит к существенной потере липкости и делает систему нестабильной, чувствительной к условиям окружающей среды.

Таким образом, разработанная матрица на основе сополимера метакриловой кислоты и этилакрилата является перспективной для дальнейшей разработки трансдермального пластыря с транс-ресвератролом. Полученные результаты подтверждают, что метод зондирования липкости в совокупности с оценкой липкости посредством испытания с катящимся стальным шаром (Rolling ball tack test) позволяет получить комплексную и разностороннюю оценку адгезивных свойств разрабатываемых ТТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang L., Ma J., Li J., Fang L., Liu C. Transdermal patch based on pressure-sensitive adhesive: the importance of adhesion for efficient drug delivery. *Expert Opinion on*

Drug Delivery. 2025;22(3):405–420. <https://doi.org/10.1080/17425247.2025.2460650>

2. Al-Smadi K., Ali M., Zhu J., Abdoh A., Phan K., Mohammed Y. Advances in Characterization of Transdermal and Topical Products using Texture Analyzer Systems. *AAPS PharmSciTech*. 2025;26(5):157. <https://doi.org/10.1208/s12249-025-03148-x>
3. Якимов К. Д., Ногаева У. В., Флисюк Е. В. Адгезия как показатель качества трансдермальных терапевтических систем: анализ требований, методы оценки. *Химико-фармацевтический журнал*. 2025;59(12):125–137. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2025-59-12-40-49>
4. Bozorg B. D., Banga A. K. Effect of Different Pressure-Sensitive Adhesives on Performance Parameters of Matrix-Type Transdermal Delivery Systems. *Pharmaceutics*. 2020;12(3):209. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12030209>
5. Якимов К. Д., Ногаева У. В., Флисюк Е. В. Разработка и фармакотехнологические исследования трансдермальных пластырей с транс-ресвератролом. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2025;14(4):125–137. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-4-2198>
6. Садковский И. А., Король Л. А., Карабанова А. Б., Короленко А. В., Шеметова Е. А., Краснюк И. И., Раменская Г. В., Мандрик М. А. Методы испытаний адгезивных полимерных композиций в разработке и контроле качества средств ухода за кожей на примере адгезивных пластин (обзор). *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2025;14(2):156–169. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-2-2031>
7. Jin Y., Song Z., Zhang R., Zhang J. Experiment and analysis of physical, mechanical, and viscoelastic properties of the roots and stalks of green leafy vegetables. *PLoS ONE*. 2024;19(7):e0305572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305572>
8. Sharafi S., Nateghi L., Eyvazzade O., Ebrahimi M. T. A. The physicochemical, texture hardness and sensorial properties of ultrafiltrated low-fat cheese containing galactomannan and novagel gum. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*. 2020;19(1):83–100. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0685>
9. Christofi M., Mourtzinis I., Lazaridou A., Drogoudi P., Tsitlakidou P., Biliaderis C. G., Manganaris G. A. Elaboration of novel and comprehensive protocols toward determination of textural properties and other sensorial attributes of canning peach fruit. *Journal of Texture Studies*. 2021;52(2):228–239. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12577>
10. Rafferty D. W., Dupin L., Zellia J., Giovannitti-Jensen A. Predicting lipstick sensory properties with laboratory tests. *International Journal of Cosmetic Science*. 2018;40(5):451–460. <https://doi.org/10.1111/ics.12482>
11. Bîrsan M., Cristofor A. C., Tuchiluş C., Crivoi F., Vlad R. A., Pintea C., Antonoaea P., Ciurba A. Development of cream bases suitable for personalized cosmetic products. *Medicine and Pharmacy Reports*. 2024;97(3):347–356. <https://doi.org/10.15386/mpr-2765>
12. Rony F. K., Appiah J., Alawbali A., Clay D., Ilias S., Azad M. A. Evaluating Swellable Cross-Linked Biopolymer Impact on Ink Rheology and Mechanical Properties of Drug-Contained 3D-Printed Thin Film. *Pharmaceutics*. 2025;17(2):183. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17020183>
13. Ирмухаметова Г. С., Махаева Д. Н., Кожантаева Ж., Хуторянский В. В. Синтез и изучение мукоадгезивных свойств тиолированных полимеров на основе полигид-

роксиэтилметакрилата и 3-меркаптопропилтриметоксисилана. *Химический журнал Казахстана*. 2024;4(88):14–24. <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.44>

14. Мустафин Р. И., Будников В. В., Абдуллина С. Г., Насибуллин Ш. Ф., Салеев Р. А. Поликомплексный носитель для трансбuccальной мукоадгезивной доставки метронидазола. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2020;9(2):83–90. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2020-9-2-83-90>
15. Hoang M. T., Ita K. B., Bair D. A. Solid Microneedles for Transdermal Delivery of Amantadine Hydrochloride and Pramipexole Dihydrochloride. *Pharmaceutics*. 2015;7(4):379–396. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics7040379>
16. Uhm C., Jeong H., Lee S. H., Hwang J. S., Lim K.-M., Nam K. T. Comparison of structural characteristics and molecular markers of rabbit skin, pig skin, and reconstructed human epidermis for an ex vivo human skin model. *Toxicological Research*. 2023;39(3):477–484. <https://doi.org/10.1007/s43188-023-00185-1>
17. Jaekel A., Wirtz M. Surface Characterization of Skin Substitute Materials. *Skin Research & Technology*. 2025;31(7):e70187. <https://doi.org/10.1111/srt.70187>
18. Jeong W. Y., Kwon M., Choi H. E., Kim K. S. Recent advances in transdermal drug delivery systems: a review. *Biomaterials research*. 2021;25(1):24. <https://doi.org/10.1186/s40824-021-00226-6>
19. Nguyen H. X., Nguyen C. N. Microneedle-Mediated Transdermal Delivery of Biopharmaceuticals. *Pharmaceutics*. 2023;15(1):277. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010277>
7. Jin Y., Song Z., Zhang R., Zhang J. Experiment and analysis of physical, mechanical, and viscoelastic properties of the roots and stalks of green leafy vegetables. *PLoS ONE*. 2024;19(7):e0305572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305572>
8. Sharafi S., Nateghi L., Eyvazzade O., Ebrahimi M. T. A. The physicochemical, texture hardness and sensorial properties of ultrafiltrated low-fat cheese containing galactomannan and novagel gum. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*. 2020;19(1):83–100. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0685>
9. Christofi M., Mourtzinis I., Lazaridou A., Drogoudi P., Tsitlakidou P., Biliaderis C. G., Manganaris G. A. Elaboration of novel and comprehensive protocols toward determination of textural properties and other sensorial attributes of canning peach fruit. *Journal of Texture Studies*. 2021;52(2):228–239. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12577>
10. Rafferty D. W., Dupin L., Zellia J., Giovannitti-Jensen A. Predicting lipstick sensory properties with laboratory tests. *International Journal of Cosmetic Science*. 2018;40(5):451–460. <https://doi.org/10.1111/ics.12482>
11. Bîrsan M., Cristofor A. C., Tuchiluş C., Crivoi F., Vlad R. A., Pintea C., Antonoaea P., Ciurba A. Development of cream bases suitable for personalized cosmetic products. *Medicine and Pharmacy Reports*. 2024;97(3):347–356. <https://doi.org/10.15386/mpr-2765>
12. Rony F. K., Appiah J., Alawbali A., Clay D., Ilias S., Azad M. A. Evaluating Swellable Cross-Linked Biopolymer Impact on Ink Rheology and Mechanical Properties of Drug-Contained 3D-Printed Thin Film. *Pharmaceutics*. 2025;17(2):183. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17020183>
13. Irmukhametova G. S., Makhayeva D. N., Kozhantayeva Zh., Khutoryanskiy V. V. Synthesis and study of mucoadhesive properties of thiolated polymers based on polyhydroxyethylmethacrylate and 3-mercaptopropyltrimethoxysilane. *Chemical Journal of Kazakhstan*. 2024;4(88):14–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.44>
14. Moustafine R. I., Budnikov V. V., Abdullina S. G., Nasibullin Sh. F., Saleev R. A. Polycomplex Carrier for Buccal Mucoadhesion Delivery of Metronidazole. *Drug development & registration*. 2020;9(2):83–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2020-9-2-83-90>
15. Hoang M. T., Ita K. B., Bair D. A. Solid Microneedles for Transdermal Delivery of Amantadine Hydrochloride and Pramipexole Dihydrochloride. *Pharmaceutics*. 2015;7(4):379–396. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics7040379>
16. Uhm C., Jeong H., Lee S. H., Hwang J. S., Lim K.-M., Nam K. T. Comparison of structural characteristics and molecular markers of rabbit skin, pig skin, and reconstructed human epidermis for an ex vivo human skin model. *Toxicological Research*. 2023;39(3):477–484. <https://doi.org/10.1007/s43188-023-00185-1>
17. Jaekel A., Wirtz M. Surface Characterization of Skin Substitute Materials. *Skin Research & Technology*. 2025;31(7):e70187. <https://doi.org/10.1111/srt.70187>
18. Jeong W. Y., Kwon M., Choi H. E., Kim K. S. Recent advances in transdermal drug delivery systems: a review. *Biomaterials research*. 2021;25(1):24. <https://doi.org/10.1186/s40824-021-00226-6>
19. Nguyen H. X., Nguyen C. N. Microneedle-Mediated Transdermal Delivery of Biopharmaceuticals. *Pharmaceutics*. 2023;15(1):277. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010277>

REFERENCES

1. Wang L., Ma J., Li J., Fang L., Liu C. Transdermal patch based on pressure-sensitive adhesive: the importance of adhesion for efficient drug delivery. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 2025;22(3):405–420. <https://doi.org/10.1080/17425247.2025.2460650>
2. Al-Smadi K., Ali M., Zhu J., Abdoh A., Phan K., Mohammed Y. Advances in Characterization of Transdermal and Topical Products using Texture Analyzer Systems. *AAPS PharmSciTech*. 2025;26(5):157. <https://doi.org/10.1208/s12249-025-03148-x>
3. Yakimov K. D., Nogaeva U. V., Flisyuk E. V. Adhesion as a quality attribute of transdermal therapeutic systems: analysis of requirements, evaluation methods. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2025;59(12):125–137. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2025-59-12-40-49>
4. Bozorg B. D., Banga A. K. Effect of Different Pressure-Sensitive Adhesives on Performance Parameters of Matrix-Type Transdermal Delivery Systems. *Pharmaceutics*. 2020;12(3):209. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12030209>
5. Yakimov K. D., Nogaeva U. V., Flisyuk E. V. Development and pharmacotechnological studies of transdermal patches with trans-resveratrol. *Drug development & registration*. 2025;14(4):125–137. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-4-2198>
6. Sadkovskii I. A., Korol L. A., Karabanova A. B., Korolenko A. V., Shemetova E. A., Krasnyuk I. I., Ramenskaya G. V., Mandrik M. A. Test methods for adhesive polymer compositions in development and quality control for stoma care products on the example of adhesive baseplates (review). *Drug development & registration*. 2025;14(2):156–169. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-2-2031>