

Адгезионная прочность на сдвиг универсального адгезива с различным способом подготовки эмали перед фиксацией брекетов

А.С.М. Немер, А.С. Браго, Н.М. Разумов, О.А. Артёмова, С.Н. Разумова

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Успех ортодонтической коррекции на несъемных аппаратах во многом зависит от стабильности каждого элемента на поверхности эмали в течение всего курса лечения. Брекеты не должны затруднять гигиену полости рта пациентов на ортодонтическом лечении, выдерживать окклюзионные нагрузки, жевание и тяговые силы, создаваемые дугой. Кроме того, брекеты должны сниматься после лечения без повреждения эмали. Такие переменные как тип полимеризации, используемые адгезивы, способы подготовки эмали перед фиксацией влияют на адгезионную прочность брекета. Современный научный поиск ведется в направлении улучшения свойств адгезии бондов и является актуальной задачей. Обработка гипохлоритом натрия способствует удалению деминерализованного коллагена с поверхности зуба. В свою очередь роль фосфорной кислоты заключается в усилении прочности на сдвиг при фиксации брекетов. В данной статье проводится оценка прочности сцепления при сдвиге адгезивной системы с предварительной обработкой гипохлоритом натрия и ортофосфорной кислотой в лабораторных условиях. **Цель:** изучить прочность сцепления на сдвиг универсальной адгезивной системы в лабораторных условиях при фиксации брекетов с различными способами подготовки поверхности эмали. **Материалы и методы.** Для исследования подготовлено $n=60$ (100%) образцов зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям, без кариозных повреждений и больших пломб. Каждый зуб помещали в блок с самоотверждающей пластмассой или гипсом. Образцы были разделены на три группы по $n=20$ образцов. Перед нанесением адгезивной системы поверхность образцов $n=20$ (33.3%) 1 группы обрабатывали 37% ортофосфорной кислотой, $n=20$ (33.3%) образцов 2 группы – 3,25% гипохлоритом натрия, в 3 группе $n=20$ (33.3%) образцов были без предварительной обработки. Затем на подготовленные образцы фиксировали металлические брекет-системы. Каждая из групп делилась на 2 подгруппы – $n=10$ образцов с термоциклированием и $n=10$ образцов без термоциклирования. Для фиксации брекетов применялись двухкомпонентная самоотверждаемая адгезивная система Universal Bond II (Tokuyama Dental); адгезивный фиксирующий цемент двойного отверждения ESTECER II PLUS (Tokuyama Dental), 37% ортофосфорная кислота и 3,25% гипохлорит натрия. **Результаты:** наблюдалось статистически значимое различие между группами с предварительной обработкой 37% ортофосфорной кислотой и 3,25% гипохлоритом натрия, и группой без предварительной обработки, как до термоциклирования, так и после. Самые высокие значения прочности сцепления на сдвиг до термоциклирования были получены в группе с предварительной обработкой фосфорной кислотой ($10,12 \pm 1,27$ МПа). Самая слабая прочность на сдвиг ($4,10 \pm 0,96$ МПа) обнаружена в образцах без предварительной обработки эмали. После термоциклирования результаты адгезионной прочности достоверно снижались. **Выводы.** Применение 37% ортофосфорной кислоты и 3,25% гипохлорита натрия может повышать прочность сцепления при сдвиге брекет-систем с эмалью более чем в два раза. Термоциклирование снижает прочность сцепления при сдвиге во всех группах. Однако, имеющихся исследований недостаточно для оценки роли 37% ортофосфорной кислоты и 3,25% гипохлорита натрия в прочности сцепления при сдвиге, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования в этой области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гипохлорит натрия, ортофосфорная кислота, прочность сцепления, адгезивная система, фиксация брекетов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Adhesive shear strength of a universal adhesive with a different way of preparing the enamel before fixing the braces

A.S.M. Nemer, A.S. Brago, N.M. Razumov, O.A. Artyomova, S.N. Razumova

Medical Institute, RUDN University (Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba), Moscow, Russia

SUMMARY

Relevance. The success of orthodontic correction on fixed devices largely depends on the stability of each element on the enamel surface during the entire course of treatment. Braces should not interfere with oral hygiene of patients undergoing orthodontic treatment, and should withstand occlusal loads, chewing, and traction forces generated by the arch. In addition, the braces should be removed after treatment without damaging the enamel. Variables such as the type of polymerization, the adhesives used, and the methods of preparing the enamel before fixation affect the adhesive strength of the bracket. Modern scientific research is being conducted in the direction of improving the adhesion properties of bonds and is an urgent task. Treatment with sodium hypochlorite helps to remove demineralized collagen from the tooth surface. In turn, the role of phosphoric acid is to enhance the shear strength when fixing braces. This article evaluates the shear strength of an adhesive system with pretreatment with sodium hypochlorite and orthophosphoric acid in laboratory conditions. **Aims:** to study the shear strength of a universal adhesive system in the laboratory when fixing braces with various methods of enamel surface preparation. **Materials and methods.** The samples of teeth removed according to orthodontic indications $n=60$ (100%), without carious lesions and large fillings, were prepared for the study. Each tooth was placed in a block with self-hardening plastic or plaster. The samples were divided into three groups of $n=20$ samples. Before applying the adhesive system, the surfaces of $n=20$ (33.3%) samples were treated with 37% phosphoric acid, $n=20$ (33.3%) other samples were treated with 3.25% sodium hypochlorite, $n=20$ (33.3%) samples were without pretreatment. Then metal braces were fixed on the prepared samples. Each of the groups was divided into 2 subgroups – $n=10$ samples with thermal cycling and $n=10$ samples without thermal cycling. Two-component self-curing adhesive system Universal Bond II (Tokuyama Dental); adhesive fixing cement ESTECER II PLUS (Tokuyama Dental), 37% orthophosphoric acid and 3.25% sodium hypochlorite were used to fix the braces. **Results:** there was a statistically significant difference between the groups with 37% phosphoric acid and 3.25% sodium hypochlorite pretreatment and the group without pretreatment, both before and after thermal cycling. The highest shear strength values before thermal cycling were obtained in the group with phosphoric acid

pretreatment (10.12 ± 1.27 MPa). The weakest shear strength (4.10 ± 0.96 MPa) was found in samples without pretreatment of the enamel. After thermal cycling, the results of adhesive strength significantly decreased. **Conclusions.** The use of 37% orthophosphoric acid and 3.25% sodium hypochlorite can increase the adhesion strength of braces to enamel by more than two times. Thermal cycling reduces shear strength in all groups. However, the available studies are insufficient to assess the role of 37% phosphoric acid and 3.25% sodium hypochlorite in shear strength, and therefore further research is needed in this area.

KEYWORDS: sodium hypochlorite, orthophosphoric acid, adhesion strength, adhesive system, braces fixation.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Введение

Эффективность ортодонтического лечения, помимо прочих факторов, во многом зависит от подготовки поверхности эмали и материала для фиксации брекетов. Для подготовки зуба используют различные методы, такие как увеличение шероховатости поверхности с помощью воздушно-абразивных инструментов, лазерного излучения, а также химических методов, включающих применение кислот, силанов и/или депротеинизирующих агентов [1, 2].

Важность предварительной обработки эмали перед фиксацией брекетов хорошо изучена и доказана. Однако, применение неорганических кислот (например, 37% ортофосфорная кислота) вызывает местную деминерализацию, которая усугубляется в связи с ухудшением гигиены во время ортодонтического лечения [3, 4]. Несмотря на то, что метод кислотного травления прост и клинически обоснован, ему присущи недостатки – нарушение структуры эмали, токсичность кислоты для мягких тканей, довольно длительное время воздействия. Решение этих проблем идет по разным направлениям, целью изучения которых являются альтернативные методы подготовки эмали и дентина с использованием органических кислот, депротеинизирующих агентов, самопротравливающих и универсальных адгезивов. В литературе имеется ограниченное количество сравнительных данных о их прочности сцепления с эмалью [3, 4].

Zheng X. et al (2021) провели исследование прочности сцепления брекетов с эмалью на 81 образце, изготовленных из премоляров, удаленных по ортодонтическим показаниям в трех группах: при травлении 35% фосфорной кислотой и воздействием на эмаль лазерного излучения, с двумя вариантами энергии импульсов на выходе 200 мДж и 250 мДж [5]. Авторы установили, что показатели адгезивной прочности сопоставимы во всех трех группах [5].

Albalawi F.S. (2022) оценивал прочность сцепления при сдвиге металлических брекетов с поверхностью эмали после различных видов обработки перед фиксацией [6]. Исследование проведено на 40 некариозных, атравматично удаленных премолярах, разделенных, в зависимости от вида подготовки на четыре группы. В первой группе зубы обрабатывали оксидом алюминия с размером частиц 90 мкм, премоляры второй группы – YSGG лазером, в третьей (контрольной) группе проводилось кондиционирование эмали зубов 37% ортофосфорной кислотой, в четвертной группе твердые ткани обрабатывали рибофлавином, активированным низкоинтенсивным лазерным излучением. Установлено, что наибольшую прочность

сцепления дает обработка поверхности эмали 37% ортофосфорной кислотой. Автор заключил, что кондиционирование усиливает связь материала с поверхностью за счет образования микропор [6].

В исследовании Amend S. et al (2022), проведенном на 115 образцах зубов, показано, что травление ортофосфорной кислотой повышает прочность сцепления при сдвиге с адгезивами OptiBond™ XTR/Kerr и Scotchbond™ Universal/3M™ [7].

В исследовании Jabbour Z. et al (2023) установили, что травление ортофосфорной кислотой увеличивает прочность адгезии композита к эмали при использовании универсальных адгезивов [8].

Andrade PC. et al (2024) оценивали влияние различных видов кислот на прочность сцепления при сдвиге металлических брекетов с эмалью. Исследование проведено на 30 удаленных премолярах, разделенных на три группы в зависимости от вида подготовки: 35% ортофосфорная кислота (группа PA), 35% гликолевая кислота (группа GA) и 35% феруловая кислота (группа FA). Металлическая брекет-система фиксировалась при помощи фотополлимерной ортодонтической смолы. Исследователи установили, что группы фосфорной и гликолевой кислот имели значительно более высокую прочность сцепления при сдвиге [9].

Широко известно, что кондиционирование эмали фосфорной кислотой значительно повышает прочность сцепления при сдвиге. Однако, воздействие неорганической кислоты очень агрессивно и вызывает деминерализацию эмали [8, 9]. В этой связи научный интерес представляет влияние гипохлорита натрия на прочность сцепления при сдвиге. Гипохлорит натрия [NaOCl] применяется в виде водных растворов с концентрациями от 1% до 15%, имеет щелочную pH со значениями около 11 и способен растворять белки пелликулы за счет того, что является неспецифическим протеолитическим агентом, расщепляющим органические соединения в клинически значимое время [8, 9]. Остаточный NaOCl, в свою очередь, может блокировать полимеризацию бондингового агента из-за образования свободнорадикальных соединений. Кроме того, этот метод способствует формированию субстрата, богатого апатитом, что, вероятно, обусловлено морфологическими характеристиками эмали.

Montagner A.F. et al (2015) установили, что предварительная обработка гипохлоритом натрия показала эффективность сцепления, аналогичную традиционной адгезивной технике [10]. Авторы сравнивали прочность сцепления при сдвиге с использованием 4 видов адгезив-

ных систем: Adper Single Bond 2; Clearfil SE Bond; Adper SE Plus и G-Bond. Более высокие показатели прочности соединения были получены с помощью двухэтапных адгезивных систем с самопротравливанием.

Таким образом, влияние ортофосфорной кислоты и гипохлорита натрия на адгезионную прочность на сдвиг недостаточно изучено. Оценка степени влияния данных препаратов на прочность сцепления на сдвиг брекет-систем является актуальной задачей.

Цель исследования: изучить прочность сцепления на сдвиг универсальной адгезивной системы в лабораторных условиях при фиксации брекетов с различными способами подготовки поверхности эмали.

Материалы и методы

Было подготовлено $n=60$ (100%) образцов зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям, без кариозных повреждений и больших пломб. Каждый зуб фиксировали в блок самотвердеющей пластмассой или гипсом таким образом, чтобы рабочая поверхность для испытания (коронка зуба), была открыта и находилась над поверхностью блока. Образцы были разделены на три группы. Для фиксации брекетов применялись двухкомпонентная самоотверждаемая адгезивная система Universal Bond II (Tokuyama Dental); адгезивный фиксирующий цемент двойного отверждения ESTECЕМ II PLUS (Tokuyama Dental), 37% ортофосфорная кислота и 3,25% гипохлорит натрия.

Перед нанесением адгезивной системы поверхность образцов $n=20$ (33,3%) 1 группы обрабатывали 37% ортофосфорной кислотой, $n=20$ (33,3%) образцов 2 группы – 3,25% гипохлоритом натрия, в 3 группе $n=20$ (33,3%) образцов были без предварительной обработки. Вестибулярную поверхность зуба высушивали, наносили Universal Bond II, согласно прилагаемой инструкции, то есть растирающими движениями в течение 20 секунд, продували воздухом. Затем на брекеты наносили фиксирующий цемент двойного отверждения ESTECЕМ II PLUS и закрепляли брекеты на подготовленной поверхности зуба. Излишки удаляли с помощью зонда и полимеризовали полимериза-

ционной лампой DTE LUX E Simple (Woodpecker, Китай) в течение 20 секунд.

Каждая группа делилась на 2 подгруппы: $n=10$ образцов с термоциклированием и $n=10$ образцов без термоциклирования (таблица 1).

Таблица 1
Исследовательские группы образцов по виду обработки поверхности эмали

Группа №	1		2		3	
Вид обработки	Ортофосфорная кислота		Гипохлорит натрия		Без обработки	
Термоциклирование	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Количество образцов	10	10	10	10	10	10

Испытания адгезионной прочности на сдвиг подготовленных образцов проводили на универсальной испытательной машине «SYNTHEZ 5» при скорости движения траверсы 5 мм/мин согласно методике ГОСТ Р 56924-2016 (п. 7.15) (рисунок 1).

Адгезионную прочность соединения с тканями зуба определяли, как предел прочности при сдвиге брекет-системы относительно поверхности зуба. Адгезионную прочность МПа вычисляли по формуле:

$$A_{\text{сд}} = \frac{F_{\text{сд}}}{S},$$

где $F_{\text{сд}}$ – предельная нагрузка, при которой происходит разрушение образца, H ; S – площадь поверхности, по которой происходит разрушение, условно равная площади контакта брекета.

На рисунке 2 представлено фото образцов, подготовленных к исследованию.

Сбор и обработка данных проводились в табличном редакторе Microsoft Excel. Статистическая обработка результатов исследования в программе Statistica.

Результаты

Результаты адгезионной прочности на сдвиг в 1 группе образцов, поверхность которых обрабатывалась ортофосфорной кислотой до и после термоциклирования представлены в таблице 2.

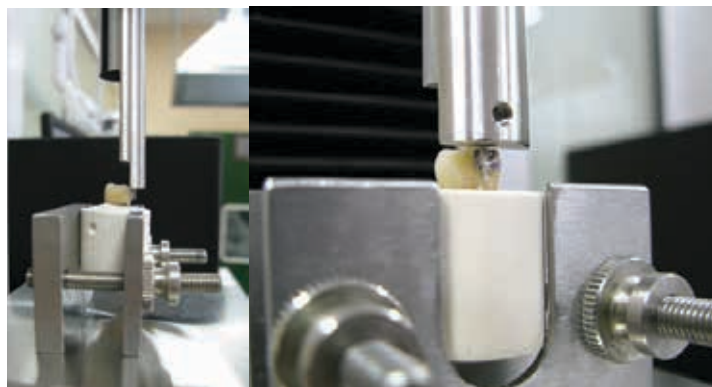


Рисунок 1. Определение адгезионной прочности на сдвиг в универсальной испытательной машине «SYNTHEZ»



Рисунок 2. Образцы зубов с 37% ортофосфорной кислотой, подготовленные к исследованию

Таблица 2
Результаты адгезионной прочности на сдвиг металлических брекетов,
установленных с и без предварительной обработки поверхности зуба до и после термоциклирования

№	Группы	До термоциклирования, n=10	После термоциклирования, n=10	P
1	Фосфорная кислота (МПа)	10,12±1,27	4,81±0,15	0,0012
2	Гипохлорит натрия (МПа)	9,34±0,56	3,92±0,26	0,0031
3	Без обработки (МПа)	4,10±0,96	3,44±1,031	0,0001
	P (1-2)	0,31	0,18	
	P (1-3)	0,0017	0,003	
	P (2-3)	0,0046	0,0024	

Как видно из таблицы, среднее значение адгезионной прочности при обработке ортофосфорной кислотой, оказалось равным 10,12±1,27 МПа. После термоциклирования среднее значение адгезионной прочности снизилось более, чем в два раза и его значение составило 4,81±0,15 МПа, что является статистически значимым (p=0,0012).

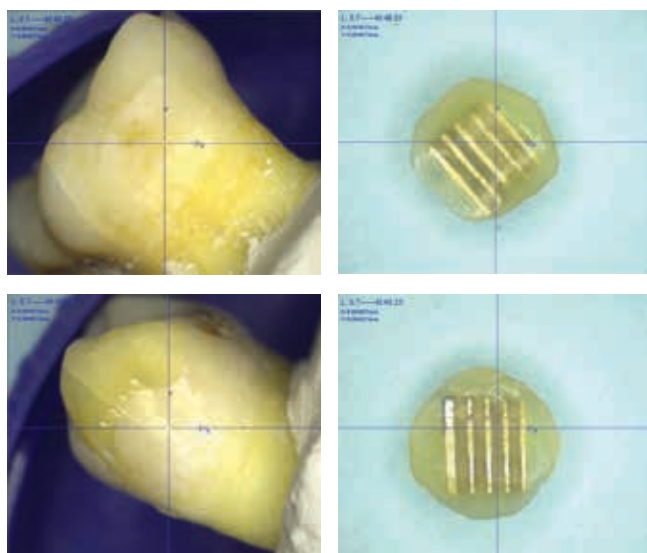


Рисунок 3. Образцы с ортофосфорной кислотой после испытания адгезионной прочности (разрушение по границе контакта фиксирующего материала и зуба)

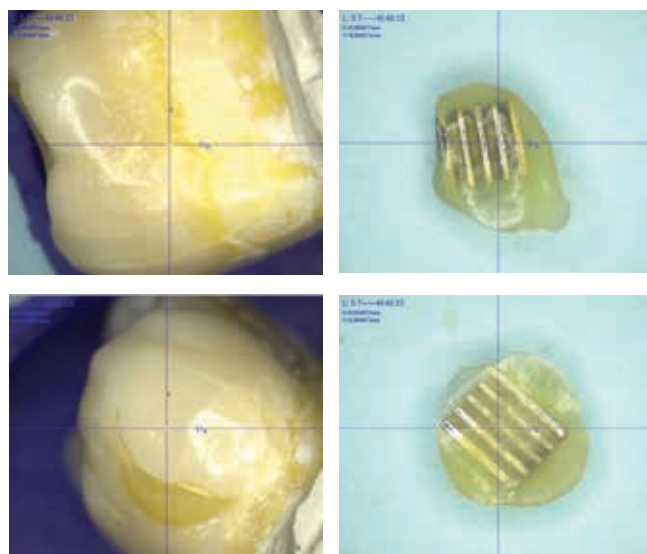


Рисунок 4. Образцы с гипохлоритом натрия, разрушение по границе контакта фиксирующего материала с тканями зуба

На рисунке 3 представлены фото образцов после испытания адгезионной прочности на сдвиг, поверхность которых обрабатывалась ортофосфорной кислотой. Во всех образцах отмечалось разрушение по границе контакта, фиксирующего брекеты материала и зуба.

При обработке поверхности образцов гипохлоритом натрия среднее значение адгезионной прочности на сдвиг оказалось равным 9,34±0,56 МПа. Среднее значение адгезионной прочности на сдвиг после термоциклирования составило 3,92±0,26 МПа, что также является статистически значимым (p=0,0031).

После термоциклирования результаты адгезионной прочности статистически значимо снижались в обеих группах образцов.

На рисунке 4 представлены изображения образцов после испытания адгезионной прочности на сдвиг, поверхность которых обрабатывалась гипохлоритом натрия.

Результаты показали, что в 3 группе образцов без предварительной обработки среднее значение адгезионной прочности до термоциклирования составило 4,10±0,96 МПа, после термоциклирования прочность сцепления на сдвиг снизилась до 3,44±1,03 МПа (p=0,0001). На рисунке 5 представлены изображения образцов после испытания адгезионной прочности на сдвиг, поверхность которых не обрабатывалась.

Сравнительная оценка прочности сцепления на сдвиг в образцах 1 и 2 групп, подготовленных с применением ортофосфорной кислоты и гипохлорита натрия показала,

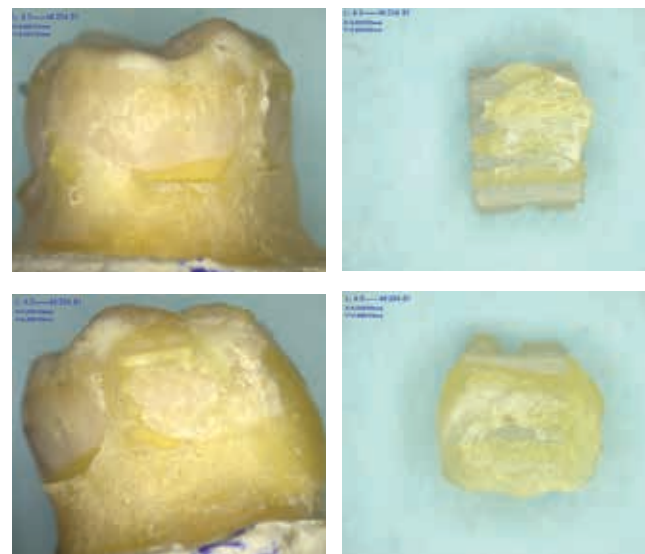


Рисунок 5. Образцы без предварительной обработки, разрушение по границе контакта фиксирующего материала с тканями зуба

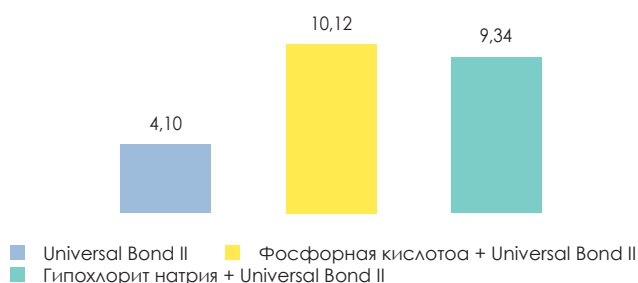


Рисунок 6. Прочность сцепления на сдвиг образцов с металлическими брекетами, установленными без обработки, с обработкой ортофосфорной кислотой и гипохлоритом натрия, МПа

что разница статистически не значима как до термоциклирования ($p=0,31$), так и после термоциклирования ($p=0,18$). Прочность сцепления на сдвиг до термоциклирования статистически значимо выше оказалась в 1 группе образцов, подготовленных с применением ортофосфорной кислоты ($10,12 \pm 1,27$ МПа), чем в 3 группе без обработки ($4,10 \pm 0,96$ МПа, $p=0,0017$). Прочность сцепления на сдвиг после термоциклирования также статистически значимо выше была в 1 группе образцов с ортофосфорной кислотой ($p=0,003$).

Прочность сцепления на сдвиг до термоциклирования во 2 группе образцов с гипохлоритом натрия была статистически значимо выше, чем в 3 группе образцов без обработки, $p=0,0046$. После термоциклирования во 2 группе образцов с гипохлоритом натрия также прочность сцепления на сдвиг была статистически значимо выше, чем в 3 группе без обработки, $p=0,0024$.

При сравнении результатов адгезионной прочности на сдвиг с результатами металлических брекетов, установленных без обработки, установлено, что при обработке области фиксации брекета ортофосфорной кислотой или гипохлоритом натрия адгезионная прочность на сдвиг выше в 2,4 раза (рисунок 6).

Результаты адгезионной прочности с применением ортофосфорной кислоты и гипохлорита оказались выше, чем в группе с образцами без обработки.

Обсуждение

В представленной работе мы тестировали прочность сцепления на сдвиг брекет-систем с эмалью. Известно, что характер подготовки эмали является ключевым фактором, влияющим на прочность сцепления на сдвиг. Gwinnett и Buonocore (1968) были первыми, кто описал микропоры эмали, образующиеся после кондиционирования поверхности ортофосфорной кислотой и имеющие длину около 10–20 мкм, обозначив, таким образом, роль ортофосфорной кислоты в увеличении прочности соединения адгезива и эмали [11].

В предыдущих исследованиях нами оценивалась прочность сцепления керамических и металлических брекет-систем при использовании универсальных адгезивов [12, 13]. Данное исследование проведено на 60 удаленных зубах, разделенных на три группы в зависимости от вида подготовки: 37% ортофосфорная кислота, 3,25% гипохлорит натрия, без обработки. Для обеспечения более высокой стандартизации и лучшей интерпретации результатов были

выбраны здоровые, постоянные зубы, удаленные по ортодонтическим показаниям. Это позволило сравнить полученные нами данные с результатами других исследований. Результаты показали, что применение 37% ортофосфорной кислоты и 3,25% гипохлорита натрия статистически значимо повышает прочность сцепления при сдвиге ($p < 0,05$).

В исследованиях других авторов так же отмечено положительное влияние ортофосфорной кислоты и гипохлорита натрия на прочность сцепления при сдвиге, так Panchal S. et al (2019) оценивали влияние различных средств для депротеинизации эмали, в том числе, на прочность сцепления при сдвиге перед фиксацией брекет-систем [14]. В зависимости от вида подготовки автор исследования разделил 120 премоляров верхней челюсти на три группы: 37% ортофосфорная кислота, 5,25% гипохлорит натрия в сочетании с 37% ортофосфорной кислотой, 10% папаиновый гель в присутствии 37% ортофосфорной кислотой.

Наибольшую прочность сцепления на сдвиг демонстрировали группы, где в качестве средств для депротеинизации эмали использовали папаиновый гель и 5,25% гипохлорит натрия. В отличие от результатов исследования Panchal S. et al [14] в нашем эксперименте лучший показатель прочности сцепления на сдвиг демонстрировала группа, в которой предварительную обработку эмали проводили 37% ортофосфорной кислотой. Возможно, это связано с присутствием свободных радикалов, образующихся при использовании гипохлорита натрия, которые могут препятствовать полимеризации. Так как в нашем исследовании мы применяли гипохлорит натрия без сочетания с каким-либо другим раствором. Кроме того, мы использовали меньший процент NaOCl, что влияет на растворимость стойкого органического слоя пелликулы зуба.

Sun Z. et al (2022) показали эффективность обработки гипохлоритом натрия для улучшения сцепления четырех адгезивных систем с эмалью [15]. Авторы использовали адгезивы Single Bond 2 (SB2), Prime&Bond NT (PBN), Clearfil SE Bond (CSB) и Single Bond Universal (SBU). Исследование проводилось на 118 образцах моляров, которые были разделены на 8 групп в зависимости от адгезива и применения гипохлорита натрия, авторы установили, что использование NaOCl достоверно увеличивало прочность сцепления на сдвиг ($p < 0,05$). Несмотря на то, что полученные нами данные демонстрируют преимущество 37% ортофосфорной кислоты, вывод авторов согласуется с результатами нашего исследования. Мы предполагаем, что более низкая прочность сцепления на сдвиг при обработке поверхности эмали раствором NaOCl может быть связана с тем, что NaOCl препятствует полимеризации адгезива, поскольку образует свободные радикалы кислорода, которые невозможно удалить с помощью обильного промывания.

Han F. et al (2023) провели исследование с целью оценки влияния предварительной обработки ортофосфорной кислотой на прочность сцепления универсальных адгезивов [16]. Предполагается, что предварительное травление ортофосфорной кислотой необходимо для хемосорбции между эмалью и универсальными адгезивами, содержащими 10-метакрилоилоксидецилдигидрофосфат (10-MDP). Авторы установили, что предварительное травление ортофосфорной

кислотой может увеличить отрицательный заряд на поверхности эмали и облегчить химические реакции MDP и гидроксиапатита с образованием большего количества солей кальция, тем самым улучшая хемосорбцию между эмалью и универсальными адгезивами, содержащими MDP. Лучший результат в нашем исследовании также демонстрировала группа с применением 37% ортофосфорной кислоты, что подтверждает нулевую гипотезу Han F. et al [16].

Jani B. et al (2024) изучив сто один удаленный премоляр, обработанный тремя различными способами – 37% ортофосфорной кислотой, 11% фтористоводородной кислотой и 20% лимонной кислотой, пришли к выводу о том, 11% фтористоводородная кислота дает самую высокую прочность сцепления на сдвиг [17]. Однако, как отмечают сами авторы, результаты требуют дальнейшего изучения ввиду того, что испытания *in vitro* не могут показать изменения динамических и статистических сил. В тоже время кондиционирование поверхности эмали 37% ортофосфорной кислотой, показывают клинически значимую прочность сцепления. Выводы сопоставимы с результатами нашего исследования.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствуют о том, что травление ортофосфорной кислотой перед нанесением адгезива по-прежнему является приемлемым методом повышения прочности сцепления на сдвиг.

Вывод

Применение 37% ортофосфорной кислоты и 3,25% гипохлорита натрия может повышать прочность сцепления при сдвиге брекет-систем с эмалью более чем в два раза. Термоциклирование снижает прочность сцепления при сдвиге во всех группах. Однако, имеющихся исследований недостаточно для оценки роли 37% ортофосфорной кислоты и 3,25% гипохлорита натрия в прочности сцепления при сдвиге, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования в этой области.

Список литературы / References

1. Разумова С.Н., Браго А.С., Немец А.С., Артёмов О.А., Разумов Н.М., Темежжа С.С. Исследование общего состояния гигиены полости рта у пациентов на ортодонтическом лечении. Медицинский алфавит. 2024;(28):31–35.

2. Razumova S.N., Brago A.S., Nemer A.S., Artemova O.A., Razumov N.M., Temejza S.S. Investigation of the general state of oral hygiene in patients undergoing orthodontic treatment. Medical alphabet. 2024;(28):31–35. (In Russ.)
3. Alkaisy A., Kabbesh X., Alawwad M., Kosyreva T.F., Katbeh I., Hasan A.M. Применение геля гипохлорита натрия для улучшения сцепления композитного материала с эмалью временных зубов при слюнной контаминации. Стоматология. 2021;100(1):15–18.
4. Alkaisy A., Kabbesh K., Alawwad M., Kosyreva T.F., Katbeh I., Hasan A.M. Evaluation of the effect of sodium hypochlorite gel on composite bonding strength to enamel of primary teeth after salivary contamination: *in vitro* study. Stomatology. 2021;100(1):15–18. (In Russ.)
5. Daneshkazemi P., Sadeghian S., Khodaei M., Daneshkazemi P., et al. Shear bond strength of orthodontic brackets on intact and demineralized enamel after application of resin infiltrant, fluoride varnish and casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate remineralizing agents: *in-vitro* study. Int Orthod. 2021;19(2):259–268.
6. Yu J., Zhang Z., Yang H., et al. Effect of universal adhesive and silane pretreatment on bond durability of metal brackets to dental glass ceramics. Eur J Oral Sci. 2021;129(2):e12772.
7. Zheng X., Zhao Y., Tang L., Qin L. A Comparison Between Phosphoric Acid and Er:YAG Laser-Mediated Re-Etching of Enamel for Orthodontic Bracket Re-Bonding. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2021;39(12):789–794.
8. Albalawi F.S. Efficacy of Er, Cr: YSGG laser phosphoric acid gel and Riboflavin activated by Photodynamic therapy on enamel reconditioning rebonded to metallic brackets: An *In vitro* study. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2022 Dec;40:103043.
9. Amend S., Frankenberger R., Oschmann T., Lückner S., Winter J., Krämer N. Long-term microtensile bond strength of self-etch adhesives and influence of 7-s phosphoric acid etching on adhesion of a 3-step etch-and-rinse adhesive to the dentine of primary teeth. Int J Paediatr Dent. 2022 Sep;32(5):649–659.
10. Jabbar Z., Kim M., Hayashi M., Kim R. Phosphoric Acid Etch Partially Restores the Initial Bond Strength of Composite to Silver Diamine Fluoride-Treated Enamel Using Universal Adhesives. Dent J (Basel). 2023 Jun 28;11(7):161.
11. Andrade P.C., Carlos N.R., Montali V.A.M., Barbosa J.A., Basting R.T. Influence of etchant type on the shear bond strength of orthodontic brackets to enamel. Gen Dent. 2024 Mar-Apr;72(2):55–59.
12. Montagner A.F., Skupien J.A., Borges M.F., Krejci I., Bortolotto T., Susin A.H. Effect of sodium hypochlorite as dentinal pretreatment on bonding strength of adhesive systems. Indian J Dent Res. 2015;26(4):416–20.
13. Buonocore M.G. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res. 1955;34(6):849–853.
14. Немец А.С.М., Браго А.С., Разумов Н.М., Аджиева Э.В., Разумова С.Н. Исследование адгезионной прочности на сдвиг при использовании универсальных адгезивов для фиксации керамических брекетов. Медицинский алфавит. 2023;(30):14–18.
15. Немец А.С.М., Браго А.С., Разумов Н.М., Аджиева Э.В., Разумова С.Н. Investigation of adhesive shear strength of universal adhesives for fixing ceramic braces. Medical alphabet. 2023;(30):14–18. (In Russ.)
16. Немец А.С.М., Разумова С.Н., Браго А.С., Артёмов О.А. Экспериментальное исследование *in vitro* прочности адгезивной связи универсальных адгезивов для фиксации ортодонтических брекетов. Российский стоматологический журнал. 2025;29(2):143–149.
17. Немец А.С.М., Разумова С.Н., Браго А.С., Артёмов О.А. Experimental *in vitro* study of the adhesive strength of universal adhesives for orthodontic bracket fixation. Russian Journal of Dentistry. 2025;29(2):143–149. (In Russ.)
18. Panchal S., Ansari A., Jain A.K., Garg Y. Effects of different deproteinizing agents on topographic features of enamel and shear bond strength – An *in vitro* study. J Orthod Sci. 2019 Oct 4;8:17.
19. Sun Z., You X., Xu J., Chen L., Li S., Zhang Z., Guo L. Effectiveness of sodium hypochlorite treatment on the bonding of four adhesive systems to fluorotic enamel. Dent Mater J. 2022;41(5):660–667.
20. Han F., Liang R., Xie H. Effects of Phosphoric Acid Pre-Etching on Chemisorption between Enamel and MDP-Containing Universal Adhesives: Chemical and Morphological Characterization, and Evaluation of Its Potential. ACS Omega. 2021;6(20):13182–13191.
21. Jani B., Shah A., Shankar C., Revankar S., Shukla H.S., Ramalingam K. Effectiveness of Different Etching Agents on Enamel Surface and Shear Bond Strength: An *In Vitro* Evaluation. Cureus. 2024 Feb 11;16(2):e54008.

Статья поступила / Received 01.06.2025

Получена после рецензирования / Revised 10.06.2025

Принята в печать / Accepted 12.06.2025

Информация об авторах

Немец Амира Саади Махмуд – аспирант кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний

E-mail: dr.ameera.nemer@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7034-0831>

Разумова Светлана Николаевна – д.м.н., профессор, зав. кафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний

E-mail: razumova_sv@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9533-9204>

Браго Анжела Станиславовна – к.м.н., доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний

E-mail: anzhele_bogdan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8947-4357>

Разумов Николай Максимович – ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний

E-mail: razumov_nm@rudn.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7294-7573>

Артёмов Оксана Александровна – к.м.н., ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний

E-mail: artemova-aa@rudn.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1353-2957>

ФГАУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», г. Москва, Россия

Контактная информация:

Немец Амира Саади Махмуд. E-mail: dr.ameera.nemer@gmail.com

Author information

Nemer A.S.M. – PhD candidate, Department of Propedeutics of dental diseases.

Medical Institute

E-mail: dr.ameera.nemer@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7034-0831>

Razumova S.N. – DDS, PhD, Professor, Head of the Propedeutics Dental diseases Department

E-mail: razumova_sv@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9533-9204>

Brago A.S. – DDS, PhD, Professors Associate of the Propedeutics Dental diseases Department

E-mail: anzhele_bogdan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8947-4357>

Razumov N.M. – Professors assistant of Department of Propedeutics of dental diseases, Medical Institute

E-mail: razumov_nm@rudn.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7294-7573>

Artemova O.A. – DDS, PhD, Assistant of the Propedeutics Dental diseases Department, MU RUDN

E-mail: artemova-aa@rudn.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1353-2957>

Medical Institute, RUDN University (Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba), Moscow, Russia

Contact information

Nemer A.S.M. E-mail: dr.ameera.nemer@gmail.com

For citation: Nemer A.S.M., Brago A.S., Razumov N.M., Artemova O.A., Razumova S.N. Adhesive shear strength of a universal adhesive with a different way of preparing the enamel before fixing the braces. Medical alphabet. 2025;(20):32–37. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-20-32-37>