

Сравнительный анализ износостойкости материалов, применяемых для прямой реставрации

Н.А. Соколович¹, С.В. Свердлова¹, А.В. Родионова¹, А.А. Поленс²,
Н.А. Огрин¹, Н.Б. Данилова¹, Е.И. Ефременко¹, В. Новадницец³

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Поликлиника стоматологическая № 16, Санкт-Петербург

³Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург

Comparative analysis of wear resistant properties of materials used for direct restorations

N. Sokolovich¹, S. Sverdlova¹, A. Rodionova¹, A. Polens²,
N. Ogrina¹, N. Danilova¹, E. Efremenko¹, V. Novadnicec³

¹St. Petersburg State University

²Dental Polyclinic N 16, St. Petersburg

³North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg

© Коллектив авторов, 2022 г.

Резюме

Введение. Из всего многообразия представленных на рынке материалов для компенсации утраченных твердых тканей зубов врач-стоматолог в большинстве случаев отдает предпочтение реставрационным материалам светового отверждения, отвечающим как эстетическим, так и функциональным требованиям. Выбор материала в значительной степени зависит от каждого клинического случая. Вариантами выбора реставрационного материала являются характеристики, аналогичные свойствам естественных зубов, которые, с одной стороны, позволили бы выполнить качественную реставрацию, а с другой — минимизировать нарушение краевого прилегания. **Цель исследования:** проведение сравнительного анализа материалов, используемых для прямой реставрации зубов, способных обеспечить наиболее качественное восстановление утраченных твердых тканей зубов. **Материалы и методы исследования.** Исследование проводилось на 32 многокорневых зубах боковой группы зубов верхней и нижней челюстей. Материалами исследо-

вания были представители разных групп реставрационных материалов и адгезивных систем. Проводилось моделирование термоциклических нагрузок опытных образцов с последующим испытанием на излом с применением машины Shimadzu AG-50kNXD. **Результаты исследования.** Наиболее устойчивыми к механическому воздействию оказались образцы, при подготовке которых была использована адгезивная система IV поколения OptiBond FL (Kerr). Максимальная сила, которую способны были выдержать данные образцы, составила $353,27 \pm 4,80$ Н, а значение максимального напряжения продемонстрировало величину $28,11 \pm 0,38$ МПа. В свою очередь, наименее прочными на излом из четырех рассмотренных адгезивных систем оказались образцы, подготовленные при помощи самопротравливающей адгезивной системы VII поколения G Bond (GC), они смогли выдержать лишь силу в $265,20 \pm 3,76$ Н и напряжение $21,10 \pm 0,30$ МПа. **Заключение.** Наиболее устойчивыми к механической нагрузке оказались образцы, при подготовке которых была использована адгезивная система IV поколения OptiBond FL (Kerr). Наименее

прочными на излом из четырех рассмотренных адгезивных систем оказались образцы, подготовленные при помощи самопротравливающей адгезивной системы VII поколения G Bond (GC).

Ключевые слова: прямая реставрация, композиционные материалы светового отверждения, адгезивные системы тотального протравливания, самопротравливающие системы

Summary

Out of all the variety of materials available on the market to compensate for the lost hard tissues of teeth, the dentist in most cases prefers light-cured restoration materials that meet both aesthetic and functional requirements. The choice of material is highly dependent on each clinical case. The options for choosing a restoration material are characteristics similar to the properties of natural teeth, which would allow for high-quality restoration, and on the other hand, are able to minimize the violation of the edge fit. However, according to a number of studies, the probability of secondary caries after direct restoration of the hard tissues of the tooth, the cause of which is a violation of the marginal fit in the border area: enamel-composite, dentin-composite, is quite high. **The purpose** is to conduct a comparative analysis of materials used for direct restoration of teeth, capable of providing the most qualitative restoration of lost hard tissues of teeth. **Materials and methods.** The study was carried out on 32 multi-root teeth of the lateral group of teeth

of the upper and lower jaw. Different groups of restoration materials and adhesive systems were used as study materials. The simulation of thermocyclic loads of prototypes was carried out, followed by a fracture test using the Shimadzu AG-50kNXD machine. As a result of the study, diagrams were obtained showing the dependence of the stress applied to the test sample in MPa and the deformation resulting from the applied forces as a percentage. Also, the results obtained reflect the calculation in all areas of the maximum applied force in Newtons and the maximum voltage in Mega Pascals. **Research results.** The most resistant to mechanical stress were the samples, in the preparation of which the IV generation adhesive system OptiBond FL (Kerr) was used. The maximum value of the force that these samples were able to withstand was 353.27 ± 4.80 N, and the value of the maximum voltage was 28.11 ± 0.38 MPa. In turn, the samples prepared using the self-etching adhesive system of the VII generation G Bond (GC) turned out to be the least resistant to fracture of the four adhesive systems considered, they could withstand only a force of 265.20 ± 3.76 N and a voltage of 21.10 ± 0.30 MPa. **Conclusion.** The most resistant to mechanical stress were the samples, in the preparation of which an adhesive system of the IV generation OptiBond FL (Kerr) was used. The least fracture-resistant of the four adhesive systems considered were the samples prepared using the self-etching adhesive system of the VII generation G Bond (GC).

Key words: direct restorations, light-cured composites, total-etch adhesive systems, self-etch systems

Введение

Из всего многообразия представленных на рынке материалов для компенсации утраченных твердых тканей зубов врач-стоматолог в большинстве случаев отдает предпочтение реставрационным материалам светового отверждения [1], отвечающим как эстетическим, так и функциональным требованиям. Выбор материала в значительной степени зависит от каждого клинического случая [2]. Вариантами выбора реставрационного материала являются характеристики, аналогичные свойствам естественных зубов, которые, с одной стороны, позволили бы выполнить качественную реставрацию, а с другой — минимизировать нарушение краевого прилегания [1, 3]. Однако, согласно ряду исследований [3, 4], вероятность возникновения вторичного кариеса после прямой реставрации твердых тканей зуба, причиной которого является нарушение краевого прилегания в области границ эмаль-композит, дентин-композит, достаточно велика [5].

Цель исследования

Целью исследования было проведение сравнительного анализа материалов, используемых для прямой реставрации зубов, способных обеспечить наиболее качественное восстановление утраченных твердых тканей зубов.

Материалы и методы исследования

Для моделирования термоциклических нагрузок опытные образцы размещались в кювете, которую погружали в емкость с холодной водой (температура воды $+5 \pm 1$ °C) на 30 секунд, после чего кювету извлекали из стакана и выдерживали в течение 20 секунд при комнатной температуре. Далее кювету с образцами погружали в ванну с горячей водой (температура $+60 \pm 1$ °C) на 30 секунд, затем доставали из ванны и выдерживали при комнатной температуре в течение 20 секунд. Нагрузка составила 1500 циклов в течение двух недель в соответствии с п. 6.3 ГОСТа P51202-98.

Произведенный комплекс нагрузок соответствует годовому сроку эксплуатации реставрации. После термоциклической нагрузки образцы подвергались испытанию на излом с применением испытательной машины Shimadzu AG-50kNXD. Всего были исследованы 16 образцов. Для проведения исследования была произведена выборка 32 удаленных многокорневых зуба боковой группы верхней и нижней челюстей. В качестве материалов для пломбирования были выбраны следующие образцы: Premise (Kerr), Filtek Z250 (3M), Gradia (GC).

В качестве адгезивов применялись:

- адгезивные системы тотального протравливания: система IV поколения OptiBond FL (Kerr) и система V поколения Single Bond 2 (3M ESPE);
- самопротравливающие системы: система VI поколения OptiBond XTR (Kerr) и система VII поколения G Bond (GC).

Критерии исключения образцов из исследования: наличие среднего и глубокого кариеса, кариес корня, проведенное эндодонтическое лечение.

Моделирование термоциклических нагрузок проводилось при помощи аппарата для термоциклирования для 16 образцов (по 4 образца каждой из групп). Величина нагрузки составила 1500 циклов (в течение 2 нед) в соответствии с ГОСТом P51202-98, п. 6.3, что соответствует сроку эксплуатации реставрации в 1 год. Испытание на излом выполнялось с применением испытательной машины Shimadzu AG-50kNXD. Статистический анализ полученных данных проводился с использованием пакета прикладных статистических программ.

Результаты и их обсуждение

В полости рта реставрации подвергаются различного рода воздействиям — температурным, механическим и химическим. Перечисленные факторы

влияют на адгезию композита к твердым тканям. Наибольшее деструктивное воздействие на зону соединения твердых тканей зуба и светоотверждаемого композита оказывает смена температуры в полости рта. Термоциклические нагрузки обладают серьезным разрушающим действием на адгезивную зону и моделируются при помощи аппаратов для термоциклирования. Выявление термоциклической стабильности адгезионной зоны между твердыми тканями зуба и реставрационным материалом проводилось у 16 образцов с помощью аппарата для термоциклирования.

В результате исследования были получены зависимости прикладываемого к образцу исследования напряжения в МПа и произошедшей в результате приложенных сил деформации в процентах. Также в полученных результатах отражается расчет во всех областях максимальной приложенной силы в ньютонах и максимального напряжения в мегапаскалях.

Распределение 32 образцов по 4 группам (по 8 в каждой) представлено в табл. 1. Обработка подготовленной поверхности дентина образцов каждой группы одной из адгезивных систем проводилась согласно методике, рекомендованной фирмой-производителем. Кроме того, была проведена подготовка образцов для испытания на излом.

По результатам исследования образцов, которые не были подвергнуты термоциклической нагрузке, наибольшую устойчивость к приложению сил и механическому напряжению показала испытываемая группа Ia, для которой применялась подготовка образцов с использованием адгезивной системы тотального протравливания IV поколения OptiBond FL (Kerr). Среднее значение прикладываемой силы в данной подгруппе составило $353,27 \pm 4,81$ Н, среднее напряжение — $28,11 \pm 0,38$ МПа.

Следует отметить, что наиболее высокое сопротивление прикладываемой нагрузке продемонстрировал опытный образец 1. Наибольший показатель

Таблица 1

Распределение образцов по группам в ходе исследования

Общее количество клинического материала	32 образца							
	I группа		II группа		III группа		IV группа	
Количество образцов, шт.	8		8		8		8	
Адгезивная система	Системы тотального протравливания				Самопротравливающие системы			
	OptiBond FL (Kerr), IV поколение		Single Bond 2 (3M ESPE), V поколение		OptiBond XTR (Kerr), VI поколение		G Bond (GC), VII поколение	
Подгруппа	Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVa	IVb
Количество образцов, шт.	4	4	4	4	4	4	4	4
Термоциклическая нагрузка	–	+	–	+	–	+	–	+
Испытание на излом	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 2

Результаты испытания опытных образцов на излом

Адгезивная система		Системы тотального протравливания				Самопротравливающие системы			
		OptiBond FL (Kerr), IV поколение		Single Bond 2 (3M ESPE), V поколение		OptiBond XTR (Kerr), VI поколение		G Bond (GC), VII поколение	
		I группа		II группа		III группа		IV группа	
		Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IVa	IVb
Образец 1 (5)	F_{\max} , Н	359,92	306,21	344,26	290,97	289,23	296,09	270,55	268,28
	σ_{\max} , МПа	28,64	24,37	27,40	23,15	23,02	23,56	21,53	21,35
Образец 2 (6)	F_{\max} , Н	353,22	300,13	347,11	290,06	294,44	292,47	263,67	266,89
	σ_{\max} , МПа	28,11	23,88	27,62	23,08	23,43	23,27	20,98	21,24
Образец 3 (7)	F_{\max} , Н	348,68	302,50	344,78	292,22	281,01	281,71	264,74	265,58
	σ_{\max} , МПа	27,75	24,07	27,44	23,25	22,36	22,42	21,07	21,13
Образец 4 (8)	F_{\max} , Н	351,27	296,43	337,17	288,67	288,69	289,74	261,84	260,32
	σ_{\max} , МПа	27,95	23,59	26,83	22,97	22,97	23,06	20,84	20,72

Примечание. Выделенные графы отражают образцы, показавшие наиболее высокое сопротивление прикладываемой нагрузке в каждой группе.

напряжения σ_{\max} был отмечен также при испытании образца 1. Результаты измерений сил и напряжений по всем образцам представлены в табл. 2.

В подгруппе IIa подготовка образцов осуществлялась при помощи адгезивной системы тотального протравливания V поколения Single Bond 2 (3M ESPE). Средняя величина прикладываемой силы в данной подгруппе составила $343,33 \pm 4,29$ Н, а среднее напряжение — $27,32 \pm 0,34$ МПа. Наиболее высокое сопротивление прикладываемой нагрузке продемонстрировал опытный образец 2.

По результатам исследования образцов в подгруппе, которые были подготовлены с использованием самопротравливающей адгезивной системы VI поколения OptiBond XTR (Kerr), средняя величина прикладываемой силы в данной подгруппе составила $288,34 \pm 5,53$ Н, а среднее напряжение — $22,95 \pm 0,44$ МПа. Наиболее высокое сопротивление прикладываемой нагрузке продемонстрировал опытный образец 2.

Для образцов подгруппы номер IVa, в адгезивной подготовке которых использовалась самопротравливающая адгезивная система VII поколения G Bond (GC), среднее значение прикладываемой силы составило $265,20 \pm 3,76$ Н, а среднее напряжение — $21,10 \pm 0,30$ МПа.

Наиболее высокое сопротивление прикладываемой нагрузке продемонстрировал образец 1. Анализ результатов образцов, подвергнутых термоциклической нагрузке, показал, что наибольшая устойчивость к силовому воздействию и механическому напряжению наблюдалась в группе, образцы которой были

подготовлены с использованием адгезивной системы тотального протравливания IV поколения OptiBond FL (Kerr) (рисунок).

Однако стоит заметить, что имеются достоверно значимые различия между данными по образцам, подвергшимся и не подвергшимся термоциклическим нагрузкам ($p < 0,05$). Среднее значение прикладываемой силы в данной группе составило $301,32 \pm 4,11$ Н, а среднее напряжение — $23,98 \pm 0,33$ МПа.

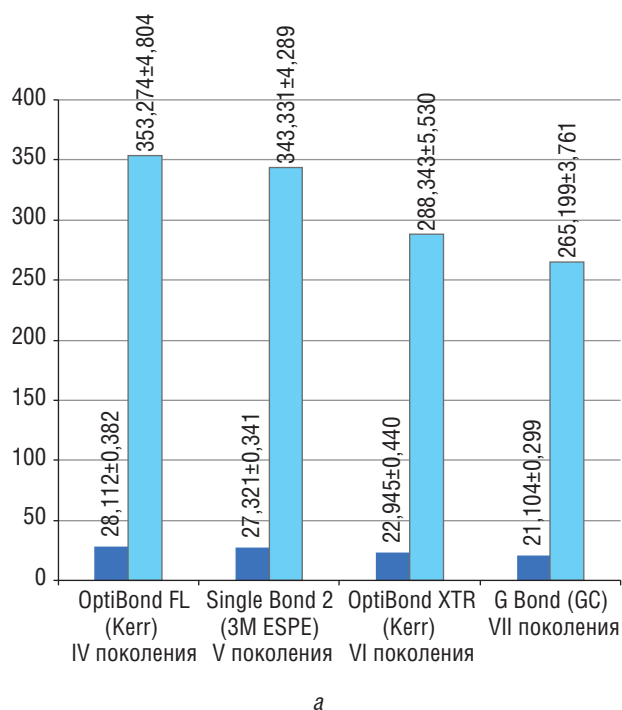
Наиболее высокое сопротивление продемонстрировал образец 5. В подгруппе IIb, где для подготовки образцов использовали адгезивную систему тотального протравливания V поколения Single Bond 2 (3M ESPE), среднее значение силы составило $290,48 \pm 1,50$ Н ($p < 0,05$), а среднее напряжение — $23,12 \pm 0,12$ МПа.

Наиболее высокое сопротивление силовой нагрузке продемонстрировал образец 7.

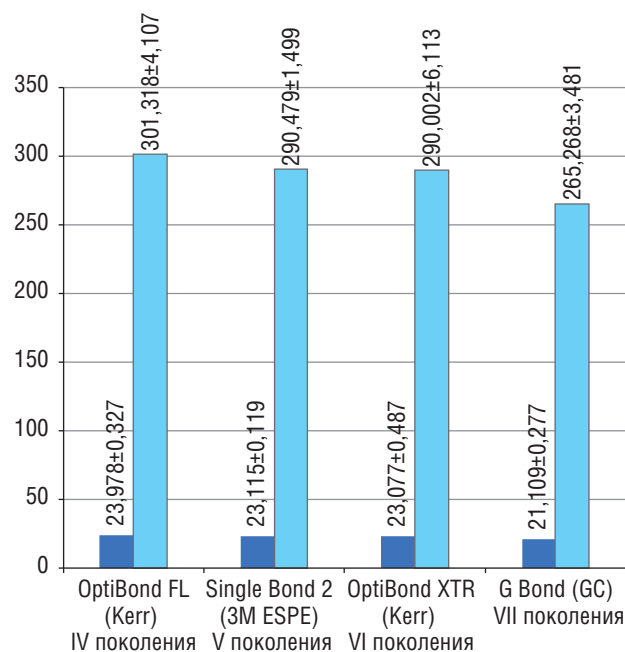
В подгруппе IIIb, образцы которой обрабатывали самопротравливающей адгезивной системой VI поколения OptiBond XTR (Kerr), среднее значение силы регистрировалось на уровне $290,00 \pm 6,11$ Н, а среднее напряжение — $23,08 \pm 0,49$ МПа, однако значимых различий между значениями исследуемых показателей для образцов группы с проведением методики термоциклирования и без нее не прослеживается ($p > 0,05$).

В то же время наиболее высокое сопротивление силовой нагрузке продемонстрировал образец 6.

Результаты испытаний образцов подгруппы IVb, где применялась адгезивная система тотального протравливания VII поколения G Bond (GC), продемонстрировали среднее значение силы $265,27 \pm 3,48$ Н, а среднее напряжение — $21,11 \pm 0,28$ МПа.



а



б

■ Среднее значение напряжения

■ Среднее значение приложенной силы

Рисунок. Средние значения приложенных сил и напряжения при исследовании образцов без термоциклической нагрузки (а) и после термоциклической нагрузки (б)

Значимых различий между исследуемыми показателями для образцов данной группы с проведением методики термоциклирования и без нее также не прослеживается ($p > 0,05$). Тем не менее наиболее высокое сопротивление силовой нагрузке продемонстрировал образец 5.

Заключение

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований, образцы которых подверглись испытанию непосредственно после реставрации, прочность на излом прикрепления к дентину светотверждаемого пломбировочного материала при использовании адгезивной системы тотального протравливания IV поколения OptiBond FL (Kerr) име-

ли самые высокие показатели (28,112±0,382 МПа; 353,274±4,804 Н). Прочность связи с дентином этой системы на 3% выше, чем прочность адгезивной системы Single Bond 2 (3M ESPE). Прочность адгезивной системы OptiBond FL также превышает таковую системы OptiBond XTR на 18% и системы G Bond — на 25%. Прочность связи с дентином адгезивной системы Single Bond 2 на 16% выше, чем у адгезивной системы OptiBond XTR и на 23% превышает таковую адгезивной системы G Bond. Наименьшей прочностью на излом из четырех исследуемых адгезивных систем обладает G Bond — 21,104±0,299 МПа. Самопротравливающие адгезивные системы OptiBond XTR (Kerr) VI поколения и G Bond (GC) VII поколения проявляют большую стабильность к нагрузкам с течением времени, чем системы тотального травления.

Список литературы

1. Пометелина Ю., Студенников М.В., Завьялова О.Е. Современные адгезивные системы в стоматологии. Тверской медицинский журнал 2016; (5): 41 [Pometelina Yu., Studennikov M.V., Zavyalova O.E. Modern adhesive systems in dentistry. Tverskoi medicinskii zhurnal 2016; (5): 41 (In Russ.)].
2. Van Landuyt K.L., Snauwaert J., De Munck J., Peumans M., Yoshida Y., Poitevin A., Coutinho E., Suzuki K., Lambrechts P., Van Meerbeek B. Systematic review of the chemical composition

- of contemporary dental adhesives. Biomaterials 2007; 28 (26): 3757–3785. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.04.044>.
3. Асланян М.А., Еремин О.В., Труфанова Ю.Ю., Асланян Мел.А., Еремин А.О., Быкова О.А., Завьялов А.И. Применение адгезивных систем в стоматологии: прошлое и настоящее. Саратовский научно-медицинский журнал 2018; 14 (2): 234–239 [Aslanyan M.A., Eremin O.V., Trufanova Yu.Yu., Aslanyan Mel.A., Eremin A.O., Bykova O.A., Zavyalov A.I. Use of adhesive systems in dentistry: past and present (review). Saratovskij nauchno-medicinskii zhurnal 2018; 14 (2): 234–239 (In Russ.)].

4. Милетич И. Современные решения для прямых реставраций зубов дистальной группы. Главный врач Юга России 2018; (5): 6–9. [Miletic I. Modern solutions for direct restorations of teeth of the distal group. Glavnyj vrach Yuga Rossii 2018; (5): 6–9 (In Russ.)].
5. Жукова Е.С., Токмакова С.И., Бондаренко О.В. Сравнительная оценка краевого прилегания композиционных пломбирочных материалов при различной адгезивной подготовке

твердых тканей зуба. Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке» 2017; 19 (10): 181–183 [Zhukova E.S., Tokmakova S.I., Bondarenko O.V. Comparative evaluation of marginal adaptation of composite restorative materials with different adhesive preparation of the hard tissues of the tooth. Zhurnal nauchnyh statej «Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke» 2017; 19 (10): 181–183 (In Russ.)].

Поступила в редакцию 11.02.2022 г.

Сведения об авторах:

Сokolovich Наталья Александровна — доктор медицинских наук, профессор кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: lun_nat@mail.ru; ORCID 0000-0003-4545-2994;

Свердлова Светлана Васильевна — ассистент кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: sveta-show@yandex.ru; ORCID 0000-0001-6644-4331;

Родионова Анна Владимировна — старший лаборант кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: doctor-rodionov@mail.ru; ORCID 0000-0002-7043-5101;

Поленс Александр Анатольевич — кандидат медицинских наук, врач высшей квалификационной категории, главный врач Стоматологической поликлиники № 16; 190005, Санкт-Петербург, 4-я Красноармейская ул., д. 19; e-mail: pstom16@zdrav.spb.ru; ORCID 0000-0001-9212-9319;

Данилова Наталья Борисовна — доктор медицинских наук, доцент кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: danilovanb@mail.ru; ORCID 0000-0002-6623-9087;

Огриня Наталья Александровна — доктор медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: ogrina.natalya@yandex.ru; ORCID 0000-0002-5049-5668;

Ефременко Екатерина Игоревна — аспирант кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: ekaterina.stom@yandex.ru; ORCID 0000-0003-1980-655X;

Новаднивец Вероника — ординатор кафедры ортопедической стоматологии, ортодонтии и гнатологии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: nika.novadniece@gmail.com; ORCID 0000-0003-3509-2278.



XI КОНГРЕСС
НАЦИОНАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ
ФТИЗИАТРОВ

24-25 ноября 2022 года

2022

www.nasph.ru

Конгресс входит в «План научно-практических мероприятий Министерства здравоохранения Российской Федерации на 2022 год» в соответствии с приказом МЗ РФ № 1216 от 30.12.2021 г.