



Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Katedra i Zakład Chirurgii Stomatologicznej

**Jan Kiryk**

**Wpływ lasera Er:YAG na siły adhezji wybranych  
materiałów stomatologicznych do tkanek zęba**

**Influence of Er: YAG laser on adhesion forces of selected  
ones dental materials for tooth tissues**

Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych

**Promotor:**

**Prof. dr hab. Marzena Dominiak**

Katedra i Zakład Chirurgii Stomatologicznej

**Promotor pomocniczy:**

**Dr n. med. Jacek Matys**

Katedra i Zakład Chirurgii Stomatologicznej

Wrocław, 2022

Bardzo dziękuję mojemu promotorowi  
Pani Profesor Marzenie Dominiak  
za inspirację i wsparcie w tworzeniu tej pracy  
oraz mojemu promotorowi pomocniczemu Doktorowi Jackowi Matysowi  
za wprowadzenie w świat laserów  
i nieocenioną pomoc w tworzeniu tej publikacji

Dziękuję mojemu serdecznemu przyjacielowi  
Profesorowi Maciejowi Dobrzyńskiemu  
za zaszczepienie pasji do badań naukowych, bezcenne sugestie  
i za to, że zawsze mogłem liczyć na jego wsparcie

*Pracę tę dedykuję mojemu dziadkowi Doktorowi Wiesławowi Kirykowi,  
który do końca swoich dni wspierał mnie i motywował do dalszych badań*

## Spis treści

I.	Streszczenie.....	7
	Abstract.....	10
1.	Wstęp.....	13
2.	Cel pracy.....	15
3.	Materiał i metody.....	16
4.	Wyniki.....	19
5.	Podsumowanie i wnioski.....	21
6.	Piśmiennictwo.....	22
II.	Prace stanowiące podstawę rozprawy doktorskiej	
1.	The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study. <i>Materials</i> 2021, 14, 2093.....	25
2.	SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning. <i>Materials</i> 2021, 14, 4469 .....	36
3.	Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. <i>Materials</i> 2020, 13, 3027.....	46
III.	Załączniki	
1.	Informacja o indywidualnym wkładzie współautorów.....	58
2.	Opinia komisji bioetycznej.....	81
3.	Dorobek naukowy autora.....	83

Podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej stanowi spójny tematycznie zbiór 3 artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych o łącznym IF = 10,869, MNSiW/KBN:420 pkt

1. The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study. *Materials* 2021, *14*, 2093. IF = 3,623  
MNSiW/KBN:140 pkt
2. SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning. *Materials* 2021, *14*, 4469. IF = 3,623 MNSiW/KBN:140 pkt
3. Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* 2020, *13*, 3027. IF = 3,623  
MNSiW/KBN:140 pkt

## WYKAZ UŻYWANYCH SKRÓTÓW

**SEM** - *scanning electron microscope* – skaningowy mikroskop elektronowy

**EDTA** – *EthyleneDiamineTetraAcetic* – kwas wersenowy

**NaOCl** – podchloryn sodu

**Er:YAG** - laser na kryształach granatu itrowo-glinowym domieszkowany erbem

**Er,Cr:YSGG** – laser na kryształach granatu itrowym-skandowo-galowym domieszkowany erbem i chromem

# I STRESZCZENIE

## WSTĘP

W nowoczesnej stomatologii technologia laserowa staje się coraz bardziej powszechna dzięki precyzyjnej aplikacji i minimalnej inwazyjności. Światło lasera Er:YAG jest bardzo dobrze absorbowane przez wodę i dobrze przez hydroksyapatyt co pozwala na opracowywanie tkanek twardych, w tym zębów i kości oraz tkanek miękkich. Również nowoczesne materiały stomatologiczne posiadają zdolność absorpcji energii światła laserowego dzięki czemu można go wykorzystać do usuwania wypełnień bez powstawania warstwy mazistej. W piśmiennictwie mało jest jednak badań opisujących siły adhezji materiałów stomatologicznych do tkanek zębów opracowywanych przy pomocy lasera a także jego wykorzystania do przygotowania powierzchni do leczenia periodontologicznego, w szczególności opierających się na nowej wiedzy związanej z opracowywaniem tkanek zęba przy pomocy lasera Er:YAG z zastosowaniem bezpiecznych i optymalnych protokołów naświetlania. Ponadto współczesna literatura nie oceniła jednoznacznie wpływu światła laserowego na odpowiednie przygotowanie powierzchni zęba do dalszych etapów leczenia.

## CEL

Celem pracy była ocena efektywności wykorzystania lasera Er:YAG w przygotowaniu powierzchni zęba do dalszych etapów leczenia stomatologicznego w porównaniu do metod konwencjonalnych.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał stanowiący podstawę rozprawy doktorskiej podzielono na 2 części.

- 1. Wpływ lasera Er:YAG na wartość siły adhezji zamków ortodontycznych do tkanek zęba*  
Materiał badawczy stanowiły ludzkie zęby trzonowe i przedtrzonowe (n=15), które podzielono na 3 grupy w zależności od sposobu przygotowania powierzchni szkliva:  
G.1. trawienie 37% kwasem ortofosforowym (n=5),  
G.2. kondycjonowanie laserem Er:YAG: energia 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80%. (n=5),  
G.3. trawienie 37% kwasem ortofosforowym w połączeniu z kondycjonowaniem laserem Er:YAG: energia 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80% wraz z (n=5).  
W celu wyznaczenia wartości siły adhezji zamka do powierzchni zęba, przeprowadzono próbę ścinania z użyciem maszyny MTS 858 MiniBionix® (MTS System, Eden Prairie, MN USA). Ocenę struktury pryzmatycznej szkliva przeprowadzono z użyciem mikrotomografii komputerowej (Skyscan 1172, Bruker, Kontich, Belgia).

2. 2A) *Ocena powierzchni zęba po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG, wiertła oraz kondycjonowania preparatem EDTA i NaOCl - analiza SEM*

Materiał badawczy stanowiło 30 zębów przedtrzonowych posiadających kompozytowe wypełnienia przyszyjkowe, które zostały usunięte w Katedrze i Zakładzie Chirurgii Stomatologicznej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu ze wskazań ortodontycznych i periodontologicznych. Materiał podzielono na 6 grup w zależności od metody usunięcia materiału kompozytowego i opracowania zębiny:

G1 (n=5) wiertło diamentowe;

G2 (n=5) wiertło diamentowe + kireta;

G3 (n=5) wiertło diamentowe + EDTA (PrefGel®, Straumann, Szwajcaria)

G4 (n=5) laser Er:YAG (LightWalker®, Fotona, Ljubljana, Slovenia) pracujący z parametrami: energia 80mJ, 15Hz, długość impulsu 50us, aplikator H14 średnicy 1mm, gęstość energii 10,19J/cm<sup>2</sup>., odległość: 1,5 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 4 woda/4 powietrze);

G5 (n=5) laser Er:YAG + 2% podchloryn sodu;

G6 (n=5) laser Er:YAG + 5,25% podchloryn sodu.

Powierzchnia zębiny została następnie oceniana przy pomocy mikroskopu skaningowego (SEM).

2B) *Usuwanie kompozytowych wypełnień przyszyjkowych przy użyciu lasera Er:YAG i wiertła – badanie in vitro.*

Na potrzeby niniejszej pracy usunięto 14 zębów przedtrzonowych (n = 14) z przyczyn ortodontycznych. Prostokątne ubytki o szerokości 3 mm i wysokości 1,5 mm zostały przygotowane za pomocą wiertła 0,8mm na kątnicy szybkoobrotowej w powierzchni zęba tuż poniżej połączenia szkliwno-cementowego (CEJ) i wypełnione materiałem kompozytowym. Materiał kompozytowy usunięto laserem Er:YAG o mocy 3,4 W, energii 170 mJ, częstotliwości 20 Hz, czasie trwania impulsu 300 μs, średnicy końcówki 0,8 mm, chłodzeniu powietrzem/płynem 3 ml/s i czasie naświetlania: 6 sek, w odległości 2 mm od zębów (grupa G1, n =7) lub wiertłem kątnicy szybkoobrotowej (grupa G2, n =7). Po usunięciu materiału kompozytowego powierzchnie zębów zbadano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz mikroskopii fluorescencyjnej.

## WYNIKI

1. *Wpływ lasera Er:YAG na wartość siły adhezji zamków ortodontycznych do tkanek zęba*

Najwyższe wartości siły adhezji (naprężeń ścinających) uzyskano w grupie G3 (laser+wytrawiacz) (9,23±2,38 MPa), a najmniejsze w grupie G2 (laser) (6,44<sup>a</sup> ±2,11 MPa).*p*<0,05 Badania z użyciem mikrotomografii komputerowej wskazują na duże zmiany powierzchni szkliwa po zastosowaniu lasera sięgające do 9% jego grubości czego nie zaobserwowano dla próbek kondycjonowanych samym 37% kwasem ortofosforowym. Ponadto struktura szkliwa naświetlana laserem Er:YAG charakteryzuje się największą chropowatością.



2. 2A) *Ocena powierzchni zęba po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG, wiertła oraz kondycjonowania preparatem EDTA i NaOCl - analiza SEM*

W grupach G1, G2 widoczne były uszkodzenia mechaniczne powierzchni spowodowane ruchem obrotowym wiertła diamentowego. W obrazie SEM widoczna była warstwa mazista, która dała się dopiero usunąć chemicznie poprzez zastosowanie 24% żelu z EDTA (grupa G3). W grupach G4-G6 powierzchnia zęba opracowywana laserem Er:YAG miała jednorodną strukturę bez uszkodzeń, z otwartymi kanalikami zębinowymi z widoczną denaturacją włókien kolagenowych. Zastosowanie podchlorynu sodu nie wpłynęło na zwiększenie widoczności kanalików zębinowych.

2B) *Usuwanie kompozytowych wypełnień przyszyjkowych przy użyciu lasera Er:YAG i wiertła – badanie in vitro*

Naświetlanie Er:YAG pozwoliło na całkowite usunięcie materiału kompozytowego z ubytku zęba. Badanie potwierdziło, że końce włókien kolagenowych uległy jedynie częściowej denaturacji po zastosowaniu lasera Er:YAG.

## **PODSUMOWANIE I WNIOSKI:**

1. Zastosowanie lasera Er:YAG o parametrach: energia 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80% w połączeniu z 37% kwasem ortofosforowym do kondycjonowania szkliwa prowadzi do wzrostu siły adhezji zamków ortodontycznych do zęba w porównaniu do samego trawienia 37% kwasem ortofosforowym czy kondycjonowaniem samym laserem.
2. Zastosowanie lasera Er:YAG przy ustawieniach pracy wykorzystanych w badaniu (energia: 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80%), prowadzi do modyfikacji szkliwa o znacznie większym stopniu w porównaniu do wytrawiania 37% kwasem ortofosforowym.
3. Powierzchnia zębiny po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG o parametrach (energia: 80mJ, 15Hz, długość impulsu 50us, aplikator H14 średnicy 1mm, gęstość energii 10,19J/cm<sup>2</sup>., odległość: 1,5 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 4 woda / 4 powietrze) posiada otwarte kanaliki zębinowe i nie wymaga dodatkowego kondycjonowania za pomocą podchlorynu sodu, nie posiada uszkodzeń mechanicznych i pozostałości kompozytu w porównaniu do klasycznego opracowanie wiertłem diamentowym.

# **I ABSTRACT**

## **INTRODUCTION**

In modern dentistry, laser technology is becoming more and more common thanks to precise application and minimal invasiveness. The Er: YAG laser light is very well absorbed by water and well by hydroxyapatite, which allows the preparation of hard tissues, including teeth, bones and soft tissues. Modern dental materials also have the ability to absorb the energy of laser light, so they can be used to remove fillings without the formation of a smear layer. However, there are few studies in the literature describing the adhesion forces of dental materials to tooth tissues prepared with the use of a laser and its use to prepare the surface for periodontal treatment, in particular based on new knowledge related to the preparation of tooth tissues with the Er: YAG laser with the use of safe and optimal exposure protocols. Moreover, the contemporary literature has not unequivocally assessed the influence of laser light on the appropriate preparation of the tooth surface for further treatment stages.

## **OBJECTIVE**

The aim of the study was to evaluate the effectiveness of using the Er: YAG laser in the preparation of the tooth surface for further stages of dental treatment in comparison to conventional methods.

## **MATERIAL AND METHODS**

The material constituting the basis of the doctoral dissertation was divided into 2 parts.

1. *The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study.*

The research material consisted of human molars and premolars (n=15), divided into 3 groups depending on the method of enamel surface preparation;

G.1. etching with 37% ortho-phosphoric acid solution (n=5),

G.2. Er:YAG laser conditioning with the following operating parameters; energy: 100mJ, frequency 10Hz, exposure time: 10s, applicator diameter 600um, energy density: 35,37J/cm<sup>2</sup>, distance: 1mm away from a tooth, water spray cooling: 80%. (n=5),

G.3. Er:YAG laser conditioning with the following operating parameters; energy: 100mJ, frequency 10Hz, exposure time: 10s, applicator diameter 600um, energy density: 35,37J/cm<sup>2</sup>, distance: 1mm away from a tooth, water spray cooling: 80% combined with etching with 37% ortho-phosphoric acid solution (n=5).

To determine the shear bond strength of orthodontic brackets to enamel, a shear bond strength test was performed with the use of MTS 858 MiniBionix® machine (MTS System, Eden Prairie MN USA). The enamel prismatic structure was assessed using X-ray microtomography (Skyscan 1172, Bruker, Kontich, Belgium).

2. 2A) *SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Currettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.*

The research material consisted of 30 premolars with cervical composite fillings, which were extracted at the Dental Surgery Department of the Wroclaw Medical University due to orthodontic and periodontal indications. The teeth were divided into 6 groups according to the method of removal of the composite material and dentine preparation;

G1 (n=5) – a diamond drill;

G2 (n=5) – a diamond drill + curette;

G3 (n=5) – a diamond drill + EDTA (PrefGel, Straumann, Switzerland);

G4 (n=5) – the Er:YAG laser (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenia) working with parameters: energy: 80 mJ, frequency: 15Hz, pulse length: 50us , H14 applicator diameter: 1mm, energy density: 10,19J/cm<sup>2</sup>., distance: 1,5 mm from the tooth, water spray cooling: 4 water / 4 air..;

G5 (n=5) –the Er:YAG laser + 2% sodium hypochlorite (NaOCl);

G6 (n=5) –the Er:YAG laser + 5,25% NaOCl. The dentine surface was then evaluated using a scanning electron microscope (SEM)

2B) *Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study*

For the purposes of this study, 14 premolar teeth (n = 14) were removed due to orthodontic reasons. The rectangular shape cavities with 3 mm in width and 1.5 mm in height were prepared with a 0.8 mm bur on high-speed contra-angle in the tooth surface just below cemento-enamel junction (CEJ) and filled with the composite material. The composite material was removed with the Er: YAG laser at a power of 3,4 W, energy 170 mJ, frequency 20 Hz, pulse duration 300 μs, tip diameter 0,8 mm, air/fluid cooling 3 mL/s, and time of irradiation: 6 sec, at a distance from teeth of 2 mm (G1 group, n = 7) or a high-speed contra-angle bur (G2 group, n = 7). After the removal of composite material, the surfaces of teeth were examined using the scanning electron microscopy (SEM) and fluorescence microscopy.

## RESULTS

1. *The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study.*

The highest values of shear bond strength were obtained in G3 group (9,23±2,38 MPa) and the lowest values in G2 group (6,44±2,11 MPa).  $p < 0,05$  The tests with the use of X-ray microtomography showed significant changes in the enamel surface after the application of laser, reaching up to 9% of enamel thickness, , which was not observed in the case of the samples etched with 37% ortho-phosphoric acid solution. Moreover, the ER:YAG laser-irradiated enamel surface was characterised by the greatest roughness.

2. *2A) SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Currettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.*

Groups G1 and G2 had mechanical damage of the tooth surface structure caused by the rotary motion of a diamond drill. The SEM image showed a smear layer that could only be removed chemically using 24% EDTA gel (group G3). The tooth surface prepared in groups G4-G6 with the Er:YAG laser had a homogeneous structure without damage along with open dentinal tubules with visible denaturation of collagen fibers. The use of sodium hypochlorite (NaOCl) did not increase the visibility of dentinal tubules

*2B) Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study*

The Er: YAG irradiation allowed to remove completely the composite material from the tooth cavity. The study confirmed, that the ends of collagen fibers were only partially denatured after the Er: YAG laser application.

## **SUMMARY AND CONCLUSIONS**

1. Using an Er: YAG laser with parameters (energy: 100mJ, frequency 10Hz, exposure time: 10s, applicator diameter 600um, energy density: 35,37J / cm<sup>2</sup>, distance: 1mm from the tooth, water spray cooling: 80%) in combination with 37% orthophosphoric acid for enamel conditioning, it leads to an increase in the adhesion strength of orthodontic brackets to the tooth compared to etching with 37% orthophosphoric acid or conditioning with the laser alone.
2. The use of the Er: YAG laser with the work settings used in the study (energy: 100mJ, frequency 10Hz, exposure time: 10s, applicator diameter 600um, energy density: 35,37J / cm<sup>2</sup>, distance: 1mm from the tooth, cooling with water spray: 80 %), leads to a much greater modification of the enamel compared to the etching with 37% orthophosphoric acid.
3. The use of the Er:YAG laser (energy: 80mJ, frequency: 15Hz, pulse length: 50us, H14 applicator diameter: 1mm, energy density: 10,19J/cm<sup>2</sup>, distance: 1,5 mm from the tooth, water spray cooling: 4 water / 4 air) results in the dentine surface with open dentine tubules, no smear layer and no mechanical damage. The dentine surface prepared using the Er:YAG laser does not require any additional NaOCl conditioning.

## 1. WSTĘP

Stomatologia minimalnie inwazyjna opiera się m.in. oszczędnym opracowaniu tkanek zęba, tak aby uzyskać jak najlepszą powierzchnię do połączenia z materiałem wypełniającym. Uzyskanie właściwej powierzchni ma nie tylko znaczenie przy odbudowie tkanek twardych, ale także w regeneracji przyzębia dla wytworzenia przyczepu nabłonkowego bez uszkadzającego wpływu na miążgę.

Istotnym elementem uzyskania wysokiej adhezji materiałów odtwórczych do tkanek zęba jest odpowiednie mikromechaniczne i chemiczne przygotowanie powierzchni zęba przed odbudową. Klasyczna (standardowa) technika aplikacji materiałów kompozytowych zakłada przygotowanie powierzchni szkliwa poprzez wytrawianie 37% roztworem kwasu ortofosforowego pozwalającym zwiększyć chropowatość powierzchni i tym samym zwiększyć wartość siły adhezji połączenia materiał-szkliwo. Obecnie prowadzi się coraz więcej badań dotyczących modyfikacji konwencjonalnych technik przygotowania powierzchni szkliwa mających na celu zwiększenie efektywności adhezji [1,2].

Jedną z alternatywnych metod modyfikacji struktury pryzmatycznej szkliwa może być zastosowanie lasera Er:YAG. Lasery erbowe cechują się możliwością preparacji zęba poprzez wywołanie zjawiska podgrzania wody zawartej w tkankach zęba (waporyzacja, efekt fototermiczny) co prowadzi do rozrywania struktur szkliwa i zębiny poprzez wywołanie wtórnie zjawiska fotomechanicznego. Efekt fotomechaniczny wywoływany przez lasery o długościach fal 2940nm (Er:YAG), 2780nm (Er,Cr:YSGG) umożliwia preparację szkliwa na różną głębokość, która zależy od wartości takich parametrów jak: energii, częstotliwość, czasu ekspozycji [2,3,4,5].

Kluczowe dla uzyskania wysokiej adhezji pomiędzy zębem a materiałem kompozytowym jest właściwe przygotowanie (kondycjonowanie) powierzchni szkliwa. Silvestrona et. al. [6] wyróżnili trzy wzorce powierzchni uzyskanej po wytrawieniu szkliwa za pomocą kwasu fosforowego. Kondycjonowanie szkliwa za pomocą lasera Er:YAG prowadzi do wytworzenia na powierzchni szkliwa struktury podobnej do wzorca typu II i III wg Silverstone (uszkodzenie tylko pryzmatów peryferyjnych lub peryferyjnych i centralnych), które cechują się gorszymi właściwościami adhezyjnymi dla materiałów kompozytowych [7,8,9].

Z kolei przed chirurgicznym pokryciem recesji dziąsła należy przygotować powierzchnie korzenia zęba do przyjęcia przeszczepu. Na te zabiegi składają się zarówno usunięcie wypełnienia w okolicy przyszyjkowej zębów, jak i usunięcie kamienia nazębnego, osadów oraz obumarłej warstwy cementu korzeniowego. Odslonięte powierzchnie korzeni u pacjentów z recesjami dziąsła mogą również wykazywać zanieczyszczenie endotoksynami [10]. Obecność wypełnienia w okolicy szklino-cementowej lub na korzeniu zęba zaburza połączenie się fibroblastów z tkankami zęba i uniemożliwia w ten sposób osiągnięcie wysokiego odsetka pokrycia całkowitego recesji dziąsła [11].

Z kolei podczas korzystania z narzędzi ręcznych lub ultradźwiękowych tworzy się warstwa mazista, która ściśle przylega do powierzchni korzenia i której nie można usunąć konwencjonalnym splukiwaniem wodą [10]. Aby usunąć warstwę mazistą, wielu klinicystów stosuje środki do biomodyfikacji korzeni, takie jak kwas etylenodiaminotetraoctowy (EDTA),

tetracyklinę lub kwas cytrynowy, podchloryn sodu czy kondycjonowanie laserem Er:YAG [12].

Opracowana powierzchnia korzenia po zastosowaniu lasera jest zdezkontaminowana (czysta mikrobiologicznie) i nie posiada głębokich uszkodzeń mechanicznych pod warunkiem zastosowania odpowiednich parametrów pracy lasera i chłodzenia sprayem wodnym [13, 14]. Co istotne, opracowanie laserem erbowym powierzchni zęba jest również bezpieczne dla miazgi zęba [15]. Nie bez znaczenia pozostaje także fakt, że opracowanie ubytków laserem Er:YAG jest dobrze akceptowane przez pacjentów dzięki mniejszym dolegliwościom bólowym i rzadszej potrzebie znieczulenia miejscowego przed zabiegiem [16].

Oceny powierzchni zębiny w której powiększeniu uwidacznia się kanaliki zębinowe, włókna kolagenowe oraz ewentualne złoże we wnętrzu kanalików czy u ich wejścia można dokonać przy pomocy analizy skaningowego mikroskopu elektronowego SEM [17].

## 2. CEL PRACY

Celem pracy było porównanie klasycznych metod opracowania tkanek zęba i opracowania z wykorzystaniem lasera Er:YAG do zabiegów stomatologicznych.

Porównano również siły wiązania zamków ortodontycznych do szkliwa oraz przeprowadzono ilościową i jakościową ocenę powierzchni szkliwa, za pomocą mikrotomografii komputerowej zębów, kondycjonowanych 37% kwasem ortofosforowym, laserem Er:YAG bez lub z dodatkowym kondycjonowaniem powierzchni szkliwa 37% kwasem ortofosforowym.

Oceniono także w skaningowym mikroskopem elektronowym (SEM) mikroporowatości struktury powierzchni zęba po usunięciu wypełnienia kompozytowego z okolicy szyjki za pomocą lasera Er:YAG z dodatkowy kondycjonowaniem powierzchni zębiny podchlorynem sodu w porównaniu do usunięcia wypełnienia diamentowym wiertłem stomatologicznym i oczyszczeniu za pomocą kirety periodontologicznej lub kondycjonowaniu chemicznym za pomocą EDTA w kontekście przydatności w zabiegach pokrycia recesji dziąsła.

### 3. MATERIAŁ I METODY

Materiał stanowiący podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej podzielono na 2 części. W każdej z nich poddano szczegółowej analizie inny aspekt. W pierwszej części skupiono się na analizie jaka technika kondycjonowania powierzchni szkliva pozwala na uzyskanie jak najlepszej siły adhezji materiału kompozytowego do tkanek zęba przy minimalnym ich uszkodzeniu. Druga część porównuje wykorzystanie konwencjonalnych narzędzi rotacyjnych i ręcznych ,do usunięcia wypełnień okolicy szyjki zęba z lub bez dodatkowego chemicznego oczyszczania powierzchni, z wykorzystaniem lasera Er:YAG do tego celu.

#### *1. Wpływ lasera Er:YAG na wartość siły adhezji zamków ortodontycznych do tkanek zęba*

Materiał badany stanowiły zdrowe zęby pierwsze przedtrzonowe (n=8) i trzecie trzonowe (n=7) usunięte w Katedrze Chirurgii Stomatologicznej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu ze wskazań ortodontycznych. Zęby po usunięciu były przechowywane w 1% roztworze tymolu aby zapobiegać rozwojowi flory bakteryjnej, które podzielono na 3 grupy w zależności od sposobu przygotowania powierzchni szkliva;

**Grupę pierwszą (G1)** stanowiły zęby ze szklivem kondycjonowanym laserem Er:YAG z ustawionymi parametrami pracy; energia: 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80%. Naświetlanie powierzchni zęba o polu o powierzchni zbliżonej do wymiaru zamka wykonano ręcznie ruchami w kształcie litery "S".

**Grupę drugą (G2):** próbki poddano działaniu 37% roztworu kwasu ortofosforowego przez 30 sekund po czym spłukano wytrawiacz za pomocą wody destylowanej przez 10sekund.

**Grupa trzecia (G3):** próbki zostały poddane kondycjonowaniu lasera Er:YAG o parametrach identycznych jak grupa pierwsza (G1) oraz dodatkowo kondycjonowane za pomocą 37% roztworu kwasu ortofosforowego przez 15 sekund po czym spłukano wytrawiacz za pomocą wody destylowanej przez 10sekund.

Do próbek zostały przyklejone metalowe zamki ortodontyczne przez specjalistę ortodoncji przy pomocy materiału Transbond XT LC zgodnie z protokołem zalecanym przez producenta.

W celu określenia wartości sił adhezji zamków ortodontycznych do tkanek szkliva zęba przeprowadzono pomiar wartości siły niszczącej w próbie ścinania. Każdy z preparatów (zab z zamkiem) zamocowano w polietylenowych tulejkach wykonanych z za pomocą samopolimeryzującego akrylu do protez

Do wyznaczenia wartości siły adhezji zamka do powierzchni zęba, przeprowadzono próbę ścinania z użyciem maszyny MTS 858 MiniBionix®. Obciążenie wprowadzone na próbkę za pomocą stempla, z prędkością 1mm/min, skierowane było stycznie do powierzchni bocznej zęba, a tym samym osiowo wzdłuż dłuższej krawędzi przytwierdzonego zamku

Ocenę zmian zachodzących w szkliwie zęba po zastosowaniu różnych technik kondycjonowania (laser Er:YAG, kwas ortofosforowy, laser Er:YAG+kwas ortofosforowy), przeprowadzono badania z użyciem mikrotomografii komputerowej (Skyscan 1172, Bruker, Kontich, Belgia). Każdy z preparatów zarejestrowano z rozdzielczością 9µm przy następujących parametrach lampy 90kV/112uA oraz przy użyciu filtrów Al i Cu.



*2A) Ocena powierzchni zęba po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG, wiertła oraz kondycjonowania preparatem EDTA i NaOCl - analiza SEM*

Materiał badany stanowiło 30 zębów przedtrzonowych posiadających kompozytowe wypełnienia przyszyjkowe, które zostały usunięte w Katedrze Chirurgii Stomatologicznej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu ze wskazań ortodontycznych i periodontologicznych.

**Grupa pierwsza (G1)** usunięto materiał kompozytowy konwencjonalną metodą przy pomocy kulkowego wiertła diamentowego z niebieskim nasypem na końcówce turbinowej z chłodzeniem wodnym

**Grupa druga (G2)** usunięto materiał kompozytowy przy pomocy kulkowego wiertła diamentowego z niebieskim nasypem na końcówce turbinowej z chłodzeniem wodnym, następnie oczyszczone ubutek kiretą Gracey ½.

**Grupa trzecia (G3)** usunięto materiał kompozytowy przy pomocy kulkowego wiertła diamentowego z niebieskim nasypem na końcówce turbinowej z chłodzeniem wodnym i kondycjonowanie powierzchni ubytku za pomocą 24% roztworu EDTA (PrefGel) zgodnie z protokołem zalecanym przez producenta (aplikacja na oczyszczoną powierzchnię przez 2 minuty i spłukanie wodą destylowaną).

**Grupa czwarta (G4)** usunięto materiał kompozytowy laserem Er:YAG z ustawionymi parametrami pracy; energia: 80mJ, 15Hz, długość impulsu 50us, Aplikator H14 średnicy 1mm, gęstość energii 10,19J/cm<sup>2</sup>; odległość: 1,5 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 4 water / 4 air.

**Grupa piąta (G5)** usunięto materiał kompozytowy laserem Er:YAG o identycznych parametrach jak Grupa 4, i kondycjonowanie powierzchni ubytku za pomocą 2% roztworu podchlorynu sodu NaOCl poprzez wcierania 2% NaOCl przez 15 sekund i spłukanie wodą destylowaną 10 sekund.

**Grupa szósta (G6)** usunięto materiał kompozytowy laserem Er:YAG o identycznych parametrach jak Grupa 4, i kondycjonowanie powierzchni ubytku za pomocą 5,25% roztworu podchlorynu sodu NaOCl poprzez wcierania 5,25% NaOCl przez 15 sekund i spłukanie wodą destylowaną 10 sekund.

Grupy zębów utrwalono w 2.5% aldehydzie glutarowym przy użyciu buforu fosforanowego o pH 7,4. Następnie próbki płukano w buforze fosforanowym, a następnie odwadniano w serii acetonowej (od 50–100%). Zęby osuszono, osadzono na pniach i napyłono grafitem. Badania materiałów analizowano w aparacie SEM Evo LS 15.

*2B) Usuwanie kompozytowych wypełnień przyszyjkowych przy użyciu lasera Er:YAG i wiertła – badanie in vitro.*

W ramach kolejnego badania naukowegoj łącznie 14 zębów przedtrzonowych zostało usuniętych w Katedrze Chirurgii Stomatologicznej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu z przyczyn ortodontycznych.

**Grupę badawczą (G1)** ( n =7) kompozytowych wypełnień naświetlano laserem Er:YAG o długości fali 2940 nm i mocy 3,4 W, energii 170 mJ, częstotliwości 20 Hz, czas trwania impulsu 300  $\mu$ s, średnica końcówki 0,8 mm, chłodzenie powietrzem/płynem 3 ml/s, czas naświetlania: 6 s, w odległości 2 mm od powierzchni zęba ruchem w kształcie litery „S” (technika ruchu). Dodatkowo usunięto materiał wypełniający z otaczających ścian ubytku.

**Grupę kontrolną (G2)** ( n = 7) stanowiły zęby z usuniętym materiałem kompozytowym przy pomocy wiertła. Materiał kompozytowy usunięto szybkoobrotowym wiertłem diamentowym gruboziarnistym (MLX 534, nr 801, ISO 023, 150  $\mu$ m za pomocą turbiny stomatologicznej z chłodzeniem wodą. Pozostały materiał kompozytowy usunięto wolnoobrotowym drobnym wiertłem diamentowym (F 514, nr 801, ISO 023, 45  $\mu$ m, przy użyciu mikrosilnika z chłodzeniem wodą. W obu grupach podczas zabiegu usunięto cały materiał kompozytowy. Co więcej, przeprowadził ją ten sam doświadczony operator.

Materiał do badań po utrwaleniu w 2,5% aldehydzie glutarowym przy użyciu buforu fosforanowego o pH 7,4. analizowano bezpośrednio w mikroskopie fluorescencyjnym Nikon Eclipse 80i z użyciem filtra UV-2A (EX-330–380 nm, DM-400 nm, BF-420 nm). Następnie próbki płukano w buforze fosforanowym, a następnie odwadniano w serii acetonowej (od 50–100%). Zęby osuszono, osadzono na pniach i napyłono grafitem. Badania materiałów analizowano w aparacie SEM Evo LS 15.

Szczegółowy opis materiału i metod zawarto w załączonych publikacjach.

## 4. WYNIKI

### 1. Wpływ lasera Er:YAG na wartość siły adhezji zamków ortodontycznych do tkanek zęba

Najwyższymi wartościami naprężeń ścinających (shear stress) charakteryzuje się grupa G3 dla której średnia wartość naprężeń wynosi 9,3 MPa, najniższymi natomiast grupa G1 średnio 6,4 MPa (kondycjonowana laserem Er:YAG).

Wszystkie przebadane próbki uległy zniszczeniu w wyniku adhezyjnego mechanizmu zniszczenia, czyli utraty przyczepności kleju do łączonych elementów. Ten rodzaj zniszczenia występuje, gdy obciążenie zewnętrzne przekracza graniczną wartość naprężeń spoiny klejowej (kleju) do klejonych materiałów, które charakteryzują się znacznie wyższą sztywnością. [18]

Analiza uzyskanych wyników wskazuje że najmniejszą wartością wytrzymałości na ścinanie charakteryzują się próbki grupy G1, dla której mechanizm zniszczenia związany jest odspojeniem kleju wraz z zamkiem ortodontycznym od powierzchni szkliwa. Najwyższymi wartościami naprężeń charakteryzuje się grupa G3, dla której część z próbek posiadają wartości naprężeń przekraczające 10 MPa.

Badania z użyciem mikrotomografii komputerowej jednoznacznie wskazują na niszczenie warstwy szkliwa po zastosowaniu lasera, niezależnie czy była to grupa G1 czy G3. W każdej z tych grup wartość mocy i czas działania lasera były takie same dla każdej z próbek. Analiza grubości zmian w szkliwie po działaniu laserem (przy tak zadanych parametrach) wykazała, że zmiany zachodzą na głębokości od 0,01 do 0,09 mm, a więc dochodzącą w niektórych miejscach nawet do 8-9% grubości szkliwa.

Na tych samych powierzchniach szkliwa, przygotowanych celem montażu zamka ortodontycznego przeprowadzono pomiar parametrów chropowatości. Wartości parametrów chropowatości wyznaczono dla poszczególnych grup pomiarowych (G1-G3), ale również dla powierzchni nieskondycjonowanej, która stanowiła grupę referencyjną (szkliwo). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że każda z technik kondycjonowania zwiększyła chropowatość powierzchni szkliwa, przygotowanej pod montaż zamka ortodontycznego. Różnice pomiędzy grupą referencyjną a każdą z badanych grup były istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ). Najmniejszą różnicą w parametrach chropowatości charakteryzuje się grupa G2 a najwyższą różnicą grupa G1. Grupa G3, kondycjonowana w 2 etapach również charakteryzowała się wzrostem wartości chropowatości w stosunku do grupy referencyjnej ale spadkiem w stosunku do grupy kondycjonowanej jedynie laserem Er:YAG.

### 2A) Ocena powierzchni zęba po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG, wiertła oraz kondycjonowania preparatem EDTA i NaOCl - analiza SEM

Powierzchnia zębiny po usunięciu materiału kompozytowego za pomocą wiertła stomatologicznego (Grupa 1) posiada widoczne uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenie powierzchni zęba wywołane jest przez kontakt wiertła z powierzchnią zębiny. W obrazie SEM widoczne są kanaliki zębinowe wypełnione warstwą mazistą powstałą z elementów zęba opracowanego mechanicznie. Widoczne pęknięcia na powierzchni zęba spowodowane

są intensywnym suszeniem próbek przed analizą SEM i nie są wywołane przez działania mechaniczne.

Zastosowanie kirety stomatologicznej (Grupa 2) do dodatkowego oczyszczenia powierzchni zębiny po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą wiertła prowadzi do powstania głębszych rowków i wyłobień na powierzchni zębiny.

Dzięki zastosowaniu 24% kwasu etylenodiaminotetraoctowego (EDTA) (Grupa 3) po usunięciu materiału kompozytowego za pomocą wiertła diamentowego dochodzi do odsłonięcia kanalików zębinowych

W analizie SEM zaobserwowano regularna kształt ubytku powstały po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG (Grupa 4). Na dnie ubytku widoczne są częściowo zdenaturowane wiązki włókien kolagenowych. Ponadto pod warstwą usieciowanych włókien kolagenowych widoczne są odsłonięte kanaliki zębinowe. Nie zaobserwowano powstawania warstwy mazistej.

Na zdjęciach próbek poddanych kondycjonowaniu 2 i 5,25% podchlorynem sodu obraz struktury jest podobny jak w próbkach naświetlanych samym laserem Er:YAG. Widoczna jest jednak wtórna krystalizacja podchlorynu sodu wynikająca z procedur stosowanych w celu przygotowania materiału do obserwacji w SEM. Kondycjonowanie zębiny za pomocą podchlorynu sodu (Grupa 5 i 6) nie zwiększyło jednak efektu odsłonięcia kanalików zębinowych w porównaniu do samego lasera Er:YAG (Grupa 4)

## *2B) Usuwanie kompozytowych wypełnień przyszyjkowych przy użyciu lasera Er:YAG i wiertła – badanie in vitro*

W obrazach w mikroskopie fluorescencyjnym wykazano widoczne różnice w powierzchni zębów po zabiegu laserowym i wiertłem w ścianie przygotowanego ubytku. W grupie pierwszej widoczna powierzchnia nie zawiera resztek materiału wypełniającego, natomiast włókna kolagenowe zębiny ulegają lekkiemu stopieniu, co powoduje, że powierzchnia jest szorstka. W grupie drugiej widoczne są pozostałości materiału wypełniającego

Analiza powierzchni zębów w mikroskopie SEM wykazała w grupie drugiej opracowywanej wiertłem widoczny jest efekt mechanicznego działania na zębinę. Włókna kolagenowe zębiny częściowo odrywają się od macierzy i tworzą liczne luźne pozostałości zalegające na powierzchni dna przygotowanego ubytku. Ponadto we wnęce znajduje się wiele małych kawałków materiału kompozytowego. W przypadku lasera (grupa 2) końce włókien kolagenowych ulegają częściowemu stopieniu, tworząc jednorodną, chropowatą powierzchnię, podobny obraz można zaobserwować na wszystkich przygotowanych powierzchniach ubytku.

Szczegółowy opis wyników wykazano w załączonych publikacjach

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI:

1. Zastosowaniu lasera Er:YAG o parametrach (energia: 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80%) w połączeniu z 37% kwasem ortofosforowym do kondycjonowania szkliwa prowadzi do wzrostu siły adhezji zamków ortodontycznych do zęba w porównaniu do samego trawienia 37% kwasem ortofosforowym czy kondycjonowaniem samym laserem
2. Zastosowanie lasera Er:YAG przy ustawieniach pracy wykorzystanych w badaniu (energia: 100mJ, częstotliwość 10Hz, czas naświetlania: 10s, średnica aplikatora 600um, gęstość energii: 35,37J/cm<sup>2</sup>, odległość: 1 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 80%), prowadzi do modyfikacji szkliwa o znacznie większym stopniu w porównaniu do wytrawiania 37% kwasem ortofosforowym.
3. Powierzchnia zębiny po usunięciu wypełnienia kompozytowego za pomocą lasera Er:YAG o parametrach (energia: 80mJ, 15Hz, długość impulsu 50us, aplikator H14 średnicy 1mm, gęstość energii 10,19J/cm<sup>2</sup>., odległość: 1,5 mm od zęba, chłodzenie sprayem wodnym: 4 woda / 4 powietrze) posiada otwarte kanaliki zębinowe i nie wymaga dodatkowego kondycjonowania za pomocą podchlorynu sodu, nie posiada uszkodzeń mechanicznych i pozostałości kompozytu w porównaniu do klasycznego opracowanie wiertłem diamentowym.

## 6. PIŚMIENNICTWO

- [1] Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Davidson CL. Effect of two etching times on the sealing ability of Clearfil Liner Bond 2 in Class V restorations. *Am J Dent.* 1997 Apr;10(2):66-70. PMID: 9545892.
- [2] Berk N, Başaran G, Ozer T. Comparison of sandblasting, laser irradiation, and conventional acid etching for orthodontic bonding of molar tubes. *Eur J Orthod.* 2008 Apr;30(2):183-9. Epub 2008 Feb 8. PMID: 18263892.
- [3] Kahvecioglu F, Kahraman K, Akman H, Tosun G. Effects of Er:YAG Laser Treatment on the Mineral Content and Morphology of Primary Tooth Enamel. *Photomed Laser Surg.* 2018 Dec;36(12):680-686. PMID: 31697638.
- [4] Wolska A, Kiryk J, Rogula J, Sulewski M, Han A, Wiglusz R, Dobrzyński M. Clinical and therapeutic aspects of root caries including the Er:YAG laser and ozone therapy. *Inżynier i Fizyk Medyczny* 2019 Vol.8 nr 2, s.153-156
- [5] Fumes AC, Longo DL, De Rossi A, Fidalgo TKDS, de Paula E Silva FWG, Borsatto MC, Kuchler EC. Microleakage of Sealants after Phosphoric Acid, Er: YAG Laser and Air Abrasion Enamel Conditioning: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Pediatr Dent.* 2017;41(3):167-172. PMID: 28422595.
- [6] Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res.* 1975;9(5):373-87. PMID: 1055640.
- [7] Zeitouni J, Clough B, Zeitouni S, Saleem M, Al Aisami K, Gregory C. Wpływ lasera Er: YAG na mikroarchitekturę kości beleczkowej: Porównanie z konwencjonalnym wierceniem dentystycznym metodą mikro-obliczeniową techniki tomograficzne i histologiczne. *F1000Research.* 2017; 6 : 1133.
- [8] Hossain M, Nakamura Y, Tamaki Y, Yamada Y, Murakami Y, Matsumoto K. Atomic analysis and knoop hardness measurement of the cavity floor prepared by Er,Cr:YSGG laser irradiation in vitro. *J Oral Rehabil.* 2003 May;30(5):515-21. PMID: 12752933.
- [9] Visuri SR, Gilbert JL, Wright DD, Wigdor HA, Walsh JT Jr. Shear strength of composite bonded to Er:YAG laser-prepared dentin. *J Dent Res.* 1996 Jan;75(1):599-605. PMID: 8655766.
- [10] Aleo JJ, De Renzis FA, Farber PA, Varboncoeur AP. The presence and biologic activity of cementum-bound endotoxin. *J Periodontol.* 1974 Sep;45(9):672-5. PMID: 4529435.
- [11] Lasho DJ, O'Leary TJ, Kafrawy AH. A scanning electron microscope study of the effects of various agents on instrumented periodontally involved root surfaces. *J Periodontol.* 1983 Apr;54(4):210-20. PMID: 6406665.
- [12] Kassab M, Cohen RE. The effect of root modification and biomodification on periodontal therapy. *Compend Contin Educ Dent.* 2003 Jan;24(1):31-4, 36-7, 40 passim; quiz 44. PMID: 12619258.
- [13] Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg Med.* 1989;9(4):338-44. PMID: 2761329.

- [14] Ceballos L, Osorio R, Toledano M, Marshall GW. Microleakage of composite restorations after acid or Er-YAG laser cavity treatments. *Dent Mater.* 2001 Jul;17(4):340-6. PMID: 11356211.
- [15] Glockner K, Rumpler J, Ebeleseder K, Städtler P. Intrapulpal temperature during preparation with the Er:YAG laser compared to the conventional burr: an in vitro study. *J Clin Laser Med Surg.* 1998 Jun;16(3):153-7. PMID: 9743653.
- [16] DenBesten PK, White JM, Pelino JE, Furnish G, Silveira A, Parkins FM. The safety and effectiveness of an Er:YAG laser for caries removal and cavity preparation in children. *Med Laser Appl* 2001;16(3):215-22.
- [17] Pałka ŁR, Rybak Z, Kuropka P, Szymonowicz MK, Kiryk J, Marycz K, Dobrzyński M. In vitro SEM analysis of desensitizing agents and experimental hydroxyapatite-based composition effectiveness in occluding dentin tubules. *Adv Clin Exp Med.* 2020 Nov;29(11):1283-1297. PMID: 33269814.
- [18] Adams R. D., Wake W. C., *Structural Adhesive Joints in Engineering*, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1984, s. 19-23.

## II. PRACE STANOWIĄCE PODSTAWĘ PRACY DOKTORSKIEJ

1. The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study. *Materials* 2021, 14, 2093. IF = 3,623  
MNSiW/KBN:140 pkt
2. SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning. *Materials* 2021, 14, 4469. IF = 3,623 MNSiW/KBN:140 pkt
3. Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* 2020, 13, 3027.  
IF = 3,623 MNSiW/KBN:140 pkt



## Article

# The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study

Jan Kiryk <sup>1</sup>, Jacek Matys <sup>1,\*</sup> , Anna Nikodem <sup>2</sup>, Karolina Burzyńska <sup>2</sup> , Kinga Grzech-Leśniak <sup>1,3</sup> , Marzena Dominiak <sup>1</sup> and Maciej Dobrzyński <sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Oral Surgery Department, Wrocław Medical University, Krakowska st. 26, 50-425 Wrocław, Poland; jan.kiryk@umed.wroc.pl (J.K.); kgl@periocare.pl (K.G.-L.); marzena.dominiak@umed.wroc.pl (M.D.)

<sup>2</sup> Department of Mechanics, Materials and Biomedical Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego st. 27, 50-370 Wrocław, Poland; anna.nikodem@pwr.edu.pl (A.N.); karolina.burzynska@pwr.edu.pl (K.B.)

<sup>3</sup> Department of Periodontics, School of Dentistry Virginia Commonwealth University, 12th St, Richmond, VA 23298, USA

<sup>4</sup> Department of Pediatric Dentistry and Preclinical Dentistry, Wrocław Medical University, Krakowska st. 26, 50-425 Wrocław, Poland; maciej.dobrzynski@umed.wroc.pl

\* Correspondence: jacek.matys@wp.pl; Tel.: +48-791511789; Fax: +48-717840253

**Abstract:** We sought to evaluate the effects of Er:YAG laser (LightTouch, LightInstruments, Israel) conditioning on enamel roughness and shear bond strength of orthodontic brackets on enamel. Eighteen human molars ( $n = 9$ ) and premolars ( $n = 9$ ), were divided into 3 groups depending on the enamel conditioning method; Er:YAG laser (G1,  $n = 6$ ), conventional etching with 37% orthophosphoric acid (G2,  $n = 6$ ), Er:YAG laser combined with conventional etching (G3,  $n = 6$ ). Er:YAG laser parameters were as follows: energy: 100 mJ, frequency: 10 Hz, exposure time: 10 s, applicator diameter: 600  $\mu\text{m}$ , fluence: 35.37 J/cm<sup>2</sup>, distance: 1 mm away from a tooth, cooling: 80%. An MTS 858 MiniBionix<sup>®</sup> machine was used to determine the shear bond strength (MTS System, Eden Prairie, MN, USA). The enamel structure was assessed using X-ray microtomography (SkyScan 1172, Bruker, Kontich, Belgium). The highest values of shear bond strength were obtained in the G3 group ( $9.23 \pm 2.38$  MPa) and the lowest values in the G2 group ( $6.44 \pm 2.11$  MPa) ( $p < 0.05$ ). A significant change in the enamel surface was noted after applying laser, reaching up to 9% of enamel thickness, which was not observed in the etched samples. Moreover, the Er:YAG laser-irradiated enamel surface was characterized by the greatest roughness. The combined use of an Er:YAG laser with a conventional etching improves the adhesion of composite materials to the tooth.

**Keywords:** microtomography; orthodontic brackets; roughness; shear strength; surface conditioning



**Citation:** Kiryk, J.; Matys, J.; Nikodem, A.; Burzyńska, K.; Grzech-Leśniak, K.; Dominiak, M.; Dobrzyński, M. The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study. *Materials* **2021**, *14*, 2093. <https://doi.org/10.3390/ma14092093>

Academic Editor: Theodore Eliades

Received: 15 March 2021

Accepted: 19 April 2021

Published: 21 April 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Minimally invasive dentistry (MID) aims to preserve as much tooth structure as possible to obtain the largest possible surface area for restorative material attachment without dental pulp damage. An important element of obtaining a high shear bond strength of dental restorative materials to enamel is an appropriate micromechanical and chemical preparation of the tooth surface. The traditional technique of composite material application involves preparing the enamel surface by etching it with 37% orthophosphoric acid solution to increase the surface's roughness and thus increase the shear bond strength of the material to the enamel. Currently, increasing studies are being performed to modify conventional techniques of enamel preparation to increase the adhesion efficiency [1,2]. The modification methods include enamel pre-etching with 32–37% orthophosphoric acid solution for 10–15 s, followed by using a self-etching bonding system. Another method leading to increased bonding properties is the prolonged (up to 120 s) application time of the etching agent [2].

Nowadays, various lasers are used in dental procedures as innovative therapeutic procedures that decrease bleeding, swelling, and pain [3–7]. The use of erbium family lasers has many advantages in conservative dentistry. These lasers allow cavity preparation (caries removal), caries prevention, a decrease of dentin hypersensitivity, decontaminate the tooth after caries removal, and are less painful during caries treatment [8]. In conservative dentistry, one of the alternative methods of modifying the enamel prismatic structure is using Er:YAG lasers [8]. By using erbium lasers, it is possible to prepare the tooth by creating the photothermal effect (vaporization) by heating up water contained in the tooth tissues. That leads to the tearing of the enamel and dentine structures, causing a secondary photomechanical effect. The photomechanical effect caused by lasers with wavelengths of 2940 nm (Er:YAG), 2780 nm (Er,Cr:YSGG) allows enamel preparation at different depths, depending on the values of such parameters like energy, frequency and exposure time. The preparation of tooth tissues with erbium lasers is very effective as it involves vaporization of water without excessive overheating of the irradiated tissues [9,10].

The key to obtaining a high shear bond strength of the composite material to a tooth is the proper preparation (conditioning) of the enamel surface. In 1975, Silvestrona et al. [11] distinguished three types of surfaces obtained after etching the enamel with the phosphoric acid solution of different concentrations (20–70%) placed on the enamel for 1 to 10 min. Subsequent studies on shear bond strength of restorative materials to various types of enamel have shown that the best adhesive properties are obtained for type I etching pattern, according to the classification of Silverstone, where the central regions of enamel prisms are dissolved without significant damage to the peripheral regions of prisms [12,13]. In type II of Silverstone classification, damage to enamel prisms is limited mainly to peripheral regions. As a result of the Er:YAG laser conditioning, the structure formed on the enamel surface is similar to Silverstone's type III patterns (damage to peripheral and central regions of prisms) [14,15].

The study aimed to compare shear bond strength of orthodontic brackets to enamel and to provide a quantitative and qualitative assessment of the enamel surface, using X-ray microtomography of teeth conditioned with 37% orthophosphoric acid solution and Er:YAG laser, with or without additional etching of the enamel surface with 37% orthophosphoric acid solution. The null hypothesis in the study was that there are no differences in adhesion quality and roughness of the enamel after conditioning with Er:YAG laser or 37% orthophosphoric acid.

## 2. Materials and Methods

The research material consisted of healthy, noncarious, non-fractured, first premolars ( $n = 9$ ) and third molars ( $n = 9$ ) removed at the Dental Surgery Department of Wrocław Medical University (Wrocław, Poland) for orthodontic indications. After the extraction, the teeth were stored in 1% of thymol solution in physiological saline to prevent developing bacterial flora. The teeth were stored for one month before the study was performed. The study was conducted in line with the approval no. KB 132/2019 issued by the Bioethics Committee appointed by the Rector of Wrocław Medical University.

### 2.1. Enamel Surface Preparation

Group one (G1) were teeth with enamel conditioned using Er:YAG laser (LightTouch, LightInstruments, Yokneam, Israel) with the following operating parameters; energy: 100 mJ, frequency 10 Hz, exposure time: 10 s, applicator diameter 600  $\mu\text{m}$ , energy density: 35.37  $\text{J}/\text{cm}^2$ , distance: 1 mm away from a tooth, water spray cooling: 80%. Irradiation of the tooth surface, with an area similar to the size of the orthodontic bracket, was performed manually with S-shaped movements.

Group two (G2)—the samples were treated with 37% orthophosphoric acid solution (Arkona, Nasutów, Poland) for 30 s, and then the etchant was rinsed with distilled water for 10 s.

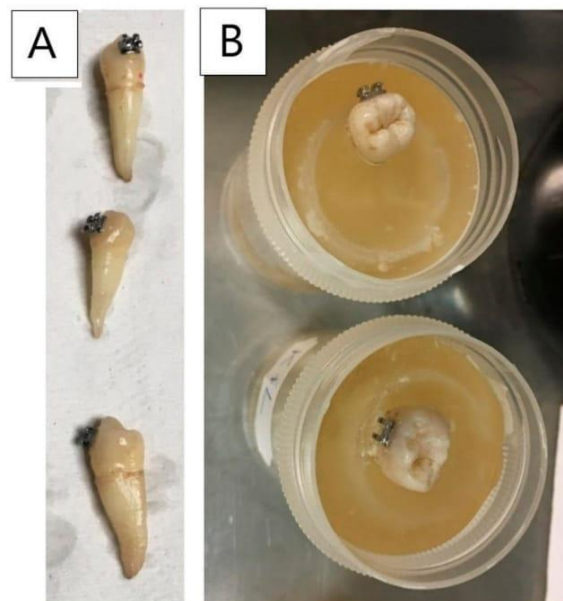
Group three (G3): the samples were conditioned using Er:YAG laser (LightTouch, LightInstruments, Yokneam, Israel) with the parameters identical to those for group one (G1) and, additionally, the samples were etched with 37% orthophosphoric acid solution for 15 s and then the etchant was rinsed with distilled water for 10 s.

### 2.2. Orthodontic Brackets Placement

Metal orthodontic brackets (GC Corp., Tokyo, Japan) were bonded to the samples by an orthodontic specialist, using Transbond XT LC material (3M Unitek, Seefeld, Germany) according to the following protocol: the surfaces of the enamel were polished using a brush Pro-Cup<sup>®</sup> (Kerr, Brea, CA, USA) with non-fluoridated pumice paste Pressage (Shofu Inc., Kyoto, Japan) for 15 s, rinsed, and dried with air. Then, the teeth were etched with a 37% phosphoric acid—etching gel cobalt blue (Chemidental, Pabianice, Poland); for 30 s, rinsed with water and dried with compressed air. Adhesive primer Transbond™ XT LC (3M Unitek, Puchheim, Germany) was rubbed onto the enamel for 15 s. Adhesive material Transbond™ XT LC (3M Unitek, Neuss, Germany) was placed on the inner bracket's surface, and then the bracket was placed in the middle of the mesial-distal axis of the tooth, moving its center 3.5 mm from the edge of the occlusal surface. The brackets were then exposed to 1200 W/cm<sup>2</sup> polymerization lamp (Woodpecker, Nanning, China) and were irradiated from 4 sides (upper, lower, proximal and distal) for 20 s. The teeth were then stored in 1% thymol solution for one week before the measurement of the bracket debonding force was made, and the assessment of the enamel surface after the removal of the brackets was performed.

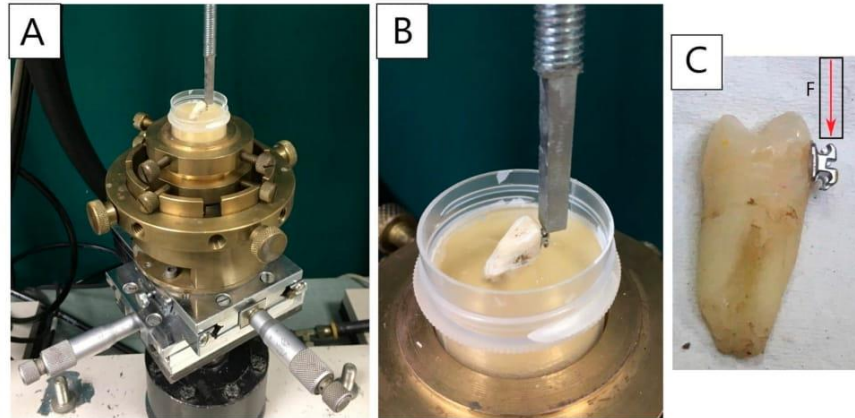
### 2.3. Shear Bond Strength Measurement

To determine the shear bond strength of orthodontic brackets to enamel, the shear bond strength test was performed. Each of the samples (a tooth with an orthodontic bracket) was placed in a polyethylene container using Duracryl™ Plus self-polymerizing denture base resin (Spofa Dental, Jičín, Czech Republic) (Figure 1). Due to the shape and curvature of the tooth and the bracket, each sample was dipped in such a way that the punch could be placed at the front side, tangentially to the tooth surface.



**Figure 1.** Samples: (A) teeth with an orthodontic bracket prepared for mechanical tests; (B) samples dipped in a polyethylene container using Duracryl™ Plus denture base resin (Spofa Dental, Jičín, Czech Republic).

To determine the adhesion value of an orthodontic bracket to the enamel, a shear bond strength test was performed using MTS 858 MiniBionix<sup>®</sup> machine (MTS System, Eden Prairie, MN, USA). The measuring system is illustrated in Figure 2A,B. The load was applied to the sample using a punch, at a speed of 1 mm/min, tangentially to the side surface of the tooth and axially along the longer edge of the attached bracket [16]. (Figure 2C)



**Figure 2.** A working site prepared for the performance of shear bond strength test with a fixed sample and a picture of a tooth illustrating the direction of application of the load. (A,B) Method of placing the tooth in a measuring machine. (C) The direction of application of shear force.

The shear bond strength value was determined by the formula [17]. The detailed results of the test are presented in Table 1 and Figure 3.

$$\tau = P_{max}/b_z z$$

where  $\tau$ —shear stress in the tooth-adhesive-bracket complex,  $P_{max}$ —a value of maximum force obtained in the test,  $b_z$ —width of the glue layer,  $z$ —height of the glue layer [17].

**Table 1.** Comparison of mean values of the shear bond strength,  $\tau$  for the tooth-adhesive-bracket complex along with standard deviation values, minimum and maximum values, according to the study group;  $p < 0.05$  using post hoc Tukey's test.

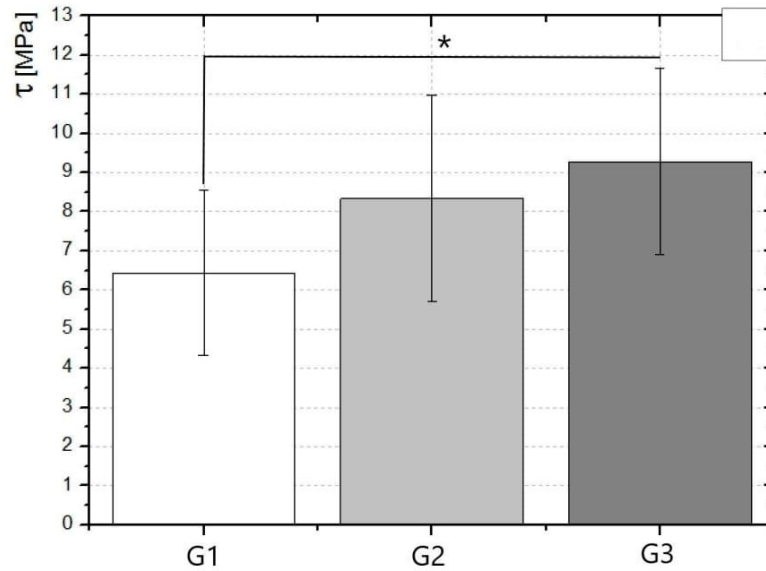
Groups	$\tau$ (MP)	
	Mean Value $\pm$ SD	Range (CI)
G1	6.44 <sup>a</sup> $\pm$ 2.11	3.84–9.75
G2	8.34 <sup>b</sup> $\pm$ 2.65	3.46–11.61
G3	9.28 <sup>a</sup> $\pm$ 2.38	4.97–12.09

<sup>a</sup> Means with the same letter in the column show significant differences ( $p < 0.05$ ), <sup>b</sup> means with the different letters in the column show no significant differences ( $p > 0.05$ ).

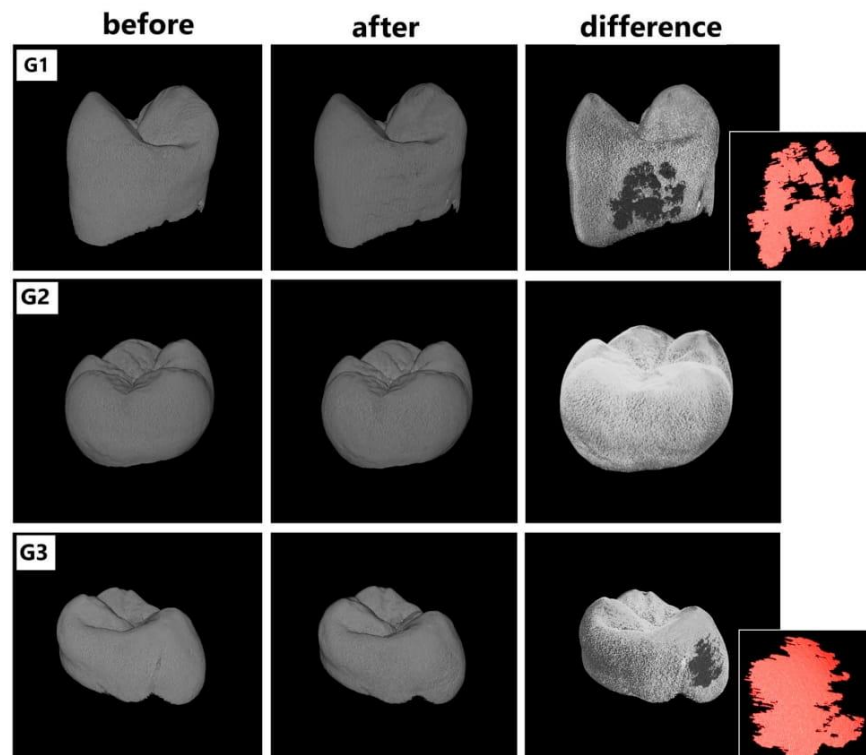
#### 2.4. Assessment of the Enamel Surface after Conditioning

To assess the type of changes in the enamel after application of different conditioning techniques (Er:YAG laser, orthophosphoric acid, Er:YAG laser + orthophosphoric acid), the X-ray microtomography (SkyScan 1172, Bruker, Kontich, Belgium) was performed. Each sample was X-rayed, and the image was recorded using a resolution of 9  $\mu$ m. The following parameters of the lamp were: 90 kV/112  $\mu$ A and using Al and Cu filters. The exposure time was 1140 ms, the rotation angle of the support stand was 360 $^\circ$ , and the rotation step was 0.4 $^\circ$ . To be able to see the results of the conditioning, each sample was X-rayed twice—before and after the conditioning of the enamel. In this way, 2 images were

obtained, which, when placed one on top of the other, allowed to see the elements of the tooth, which were modified (Figure 4).



**Figure 3.** Comparison of average stress–strain values obtained in the shear bond strength test for 3 measurement groups: G1, G2 and G3, \*  $p < 0.05$ .



**Figure 4.** Comparison of pictures depicting the surface of example teeth of G1–G3 groups, conditioned with different techniques, taken using X-ray microtomography—1172 SkyScan, Bruker. The pictures depicting differences were obtained by subtractive operation using the DataViewer software (SkyScan 1172, Bruker, Kontich, Belgium).

The final stage of the research was to measure the values of parameters describing the roughness of the tooth's enamel surface—before and after the conditioning. The measurement was performed using the DIAVITE DH-5 profilometer (Hahn and Kolb, Ludwigsburg, Germany). The length of the elementary segment was 0.5 mm, and the feed speed was  $v = 0.5$  mm/s. Using the profilometer, the following surface roughness parameters were determined: Ra, Rz, Rmax, R3z, Rt, Rq. The measurement was performed for the frontal plane of the tooth.

### 2.5. Statistical Analysis

The mean values of the shear bond strength of the tooth-adhesive-bracket complex and the mean values of enamel roughness were compared with the variance analysis and post hoc tests (multiple comparisons using the Tukey's test). The statistical analysis was conducted using Origin 5.0 software (OriginLab, Northampton, MA, USA). Values below  $p = 0.05$  were considered to be statistically significant.

## 3. Results

### 3.1. The Results of the Shear Bond Strength Test

The samples in the G3 group were characterized by the highest shear stress values. The average value of shear stress is 9.28 MPa, while the lowest values were noticed for the G1 group, an average of 6.44 MPa (conditioned with Er:YAG laser).

### 3.2. Damage Mechanism of the Tooth-Adhesive-Bracket Complex

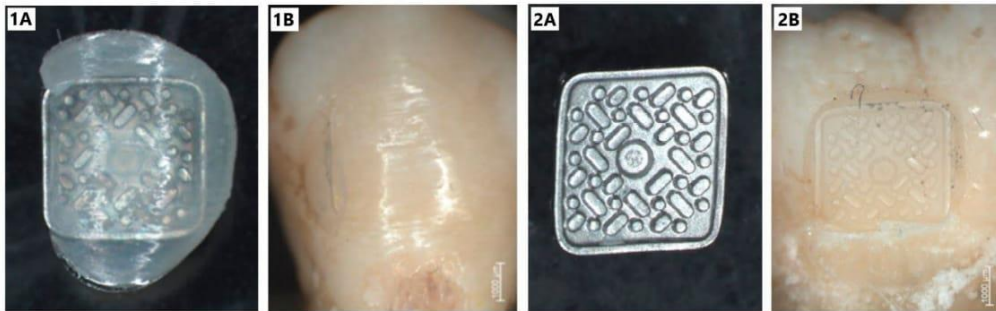
All tested samples were damaged due to the adhesive damage mechanism, i.e., loss of adhesion to bonded elements. This type of damage occurs when the external load exceeds the stress limit value of the adhesive bond to the materials that require bonding and have a much higher stiffness. Due to the bonding method and the materials that the tested sample is composed of the obtained shear strength values depend on the surface preparation (tooth enamel), which is related to its roughness, surface development and surface quality.

The analysis of the obtained results indicates that the lowest value of shear strength was typical for G1 group samples, for which the damage mechanism was related to the loosening of the adhesive and the orthodontic bracket from the enamel surface. Debonding of orthodontic brackets may occur at two boundaries: bracket-composite and enamel-composite interfaces. When the bond strength at the enamel-composite interface is greater than the bracket-composite interface, the bracket is removed, leaving adhesive material on the tooth's surface. Whereas, during the opposite situation, the adhesive material is detached from the enamel. Furthermore, if the bond strength at both interfaces is over 10 MPa, debonding can damage the enamel by detaching the prisms during brackets removal [9]. The G3 group showed the highest stress values; some samples had stress values exceeding 10 MPa. Such a high-stress value, present at the tooth-adhesive-bracket complex, can cause enamel damage when the bracket is removed after treatment. However, the obtained values coincide with the results published in other studies [11,12]. In both the G2 group and G3 group, the damage mechanism of the tooth-adhesive-bracket complex was related to the loosening of the bracket from the adhesive surface, leaving the adhesive completely or partially on the enamel surface Figure 5.

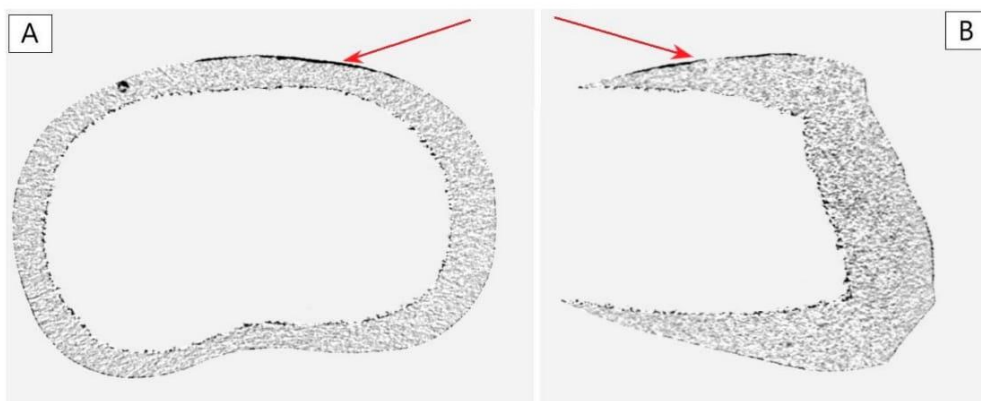
### 3.3. The Analysis of the Enamel Surface, Prepared by Different Conditioning Techniques

The surface of tooth enamel treated with orthophosphoric acid solution and Er:YAG laser was analyzed using X-ray microtomography and roughness measurement. Figure 5 shows pictures for 1 of the example samples from each group. Each sample was analyzed twice: before and after surface preparation for the bracket. The presentation of surface differences was obtained by superimposing the obtained projections using the DataViewer software (SkyScan 1172, Bruker, Kontich, Belgium). The studies using X-ray microtomography clearly show damage to the enamel layer after laser application, regardless of G1 or G3 group. In each of these groups, the power value and laser time were the same for each

sample. The analysis of the thickness of lesions in the enamel after laser treatment (using such set parameters) showed that the said lesions occurred at a depth of 0.01 to 0.09 mm. It means that in some regions, those lesions reached even 8–9% of the enamel thickness. Figure 6.



**Figure 5.** Comparison of examples of tooth surface and bracket surface with adhesive residue, adhesive damage of tooth-adhesive-bracket complex; (1A,1B) example surface of G1 group, conditioned with Er:YAG laser ( $\tau = 6.38$  MPa); (2A,2B) example surface of G3 group ( $\tau = 10.13$  MPa).



**Figure 6.** Example cross-sections (transverse and sagittal) of G1 group tooth, showing lesions in the enamel after laser conditioning (black). (A) Cross-section in the transverse plane; (B) cross-section in the sagittal plane. Pictures obtained using the DataViewer software (SkyScan 1172, Bruker, Kontich, Belgium).

#### 3.4. Roughness Parameters Were Measured on the Same Enamel Surfaces Prepared for Orthodontic Bracket Installation

The values of the roughness parameters were not only determined for individual groups (G1–G3) but also for the unconditioned enamel surfaces, which constituted the reference group. The detailed values of the parameters determining the enamel roughness are shown in Table 1. Based on the obtained results, it could be concluded that each of the conditioning techniques increased the roughness of the enamel surface prepared for the orthodontic bracket. The differences between the reference group and each study group were statistically significant ( $p < 0.05$ ). The G2 group showed the smallest difference in roughness parameters (by 25% in the Ra parameter on average and 20% for Rz). The G1 group showed the highest difference (by more than 200% in both Ra and Rz parameter values). The G3 group, conditioned in two stages, also increased roughness values compared to the reference group. However, the said group also showed a decrease compared to the group conditioned with Er:YAG laser (by 16% for the Ra parameter and by 20% for the Rz parameter) (Table 2).

**Table 2.** Comparison of mean values of enamel roughness parameters, obtained for G1–G3 samples and enamel that were not treated with conditioning.

Groups	Ra ( $\mu\text{m}$ ) Mean $\pm$ SD	Rz ( $\mu\text{m}$ ) Mean $\pm$ SD	Rmax ( $\mu\text{m}$ ) Mean $\pm$ SD	R3z ( $\mu\text{m}$ ) Mean $\pm$ SD	Rt ( $\mu\text{m}$ ) Mean $\pm$ SD	Rq ( $\mu\text{m}$ ) Mean $\pm$ SD
G1	1.35 <sup>a,b,c</sup> $\pm$ 0.21	6.83 <sup>a,b,c</sup> $\pm$ 1.69	12.68 <sup>a,b</sup> $\pm$ 1.93	5.77 <sup>a,b,c</sup> $\pm$ 1.14	14.11 <sup>a,b</sup> $\pm$ 1.58	2.04 <sup>a,b,c</sup> $\pm$ 0.19
G2	0.56 <sup>a-d</sup> $\pm$ 0.07	2.23 <sup>a,d</sup> $\pm$ 0.53	4.2 <sup>a-d</sup> $\pm$ 1.49	1.76 <sup>a-d</sup> $\pm$ 0.48	5.42 <sup>a-d</sup> $\pm$ 0.88	0.88 <sup>a-d</sup> $\pm$ 0.18
G3	1.13 <sup>a,c,d</sup> $\pm$ 0.25	5.46 <sup>a,c,d</sup> $\pm$ 1.34	12.04 <sup>a,d</sup> $\pm$ 3.86	4.23 <sup>a,c,d</sup> $\pm$ 1.11	12.98 <sup>a,d</sup> $\pm$ 3.65	1.8 <sup>a,c,d</sup> $\pm$ 0.37
Enamel	0.44 $\pm$ 0.08	1.79 $\pm$ 0.5	3.56 $\pm$ 1.61	1.47 $\pm$ 0.36	4.1 $\pm$ 1.6	0.66 $\pm$ 0.15

<sup>a</sup> comparison between individual groups and the reference group (enamel untreated with conditioning),  $p < 0.05$ ; <sup>b</sup> comparison between G1 and G2 groups,  $p < 0.05$ ; <sup>c</sup> comparison between G1 and G3 groups,  $p < 0.05$ ; <sup>d</sup> comparison between G2 and G3 groups,  $p < 0.05$ .

#### 4. Discussion

One of the main problems that are still present in restorative dentistry is the achievement of an attachment between the composite materials and the enamel surface durable enough to maintain the long-term tightness of fillings and also reduces the risk of bacterial microleakage [8,10]. Composite bonds to the enamel surface as a result of shear bond strength that depends primarily on the type of the enamel surface, which can be modified in many ways. The results of the presented study proved that conditioning of enamel with an Er:YAG laser at 100 mJ/10 Hz led to greater changes of prismatic structures (increased roughness) compared to 37% orthophosphoric acid. Furthermore, enamel preparation using Er:YAG laser (100 mJ/10 Hz) combined with classic etching using 37% orthophosphoric acid helped to improve the adhesion of orthodontic brackets to the tooth enamel. The bond strength between the composite material and enamel depends on many factors, such as conditioning methods, etchant concentration, consistency, etching time, degree and method of polymerization of the bonding material [18,19].

Excellent adhesion is closely related to the enamel surface pattern obtained after enamel conditioning. The adhesive properties are related to the uniformly rough enamel surface in which the central regions of prisms are modified (damaged) to a greater extent than the peripheral regions of prisms. Such a surface enables a high absorption rate for materials that bond dental enamel to restorative materials [20–22]. The best adhesive properties are obtained for type I according to Silverstone's classification, where the central regions of prisms of the enamel are dissolved without significant damage to the peripheral regions of prisms [12,13]. When the enamel is etched with 37% orthophosphoric acid, type I or II surfaces are most commonly obtained. Conditioning of the enamel with Er:YAG laser leads to the formation of a rough structure on the enamel surface. The said structure is similar to Silverstone's type II and III patterns (damage only to peripheral regions of prisms or peripheral and central regions of prisms), which have much worse adhesive properties for composite materials [11,15,16]. The results obtained in this study also confirmed lower adhesion for samples conditioned with Er:YAG laser alone.

The use of erbium family lasers on hard dental tissues creates a highly irregular surface [8,15,16]. The ablative effect of erbium lasers is related to the high water absorption of the electromagnetic wave at approx. 3000 nm. In the enamel structure, the central regions of prisms contain more water. Hence initially, they are more efficiently vaporized compared to peripheral regions of prisms [23]. However, the micro-explosion phenomenon induced by the laser beam in the hard tissues of the tooth causes additional cracking and disintegration of the prismatic structure of the enamel, which increases its surface roughness and irregularity. Thus finally, the enamel is more similar to the Silverstone type III pattern. Martinez-Insura et al.'s study showed that the adhesion of orthodontic brackets was better when the enamel was etched with 37% orthophosphoric acid solution than at laser preparation at 160–200 mJ/4 Hz [24]. In contrast, Lee et al. [25] found no statistically significant differences between the groups with enamel conditioned with 37% orthophosphoric acid solution and those conditioned with Er:YAG laser at 300 mJ/10 Hz. Interestingly, in contrast to the results of this study, the combined techniques showed a decrease in shear bond strength. Berk et al.'s [2] study showed that depending on used



laser parameters (75–100 mJ/20 Hz), similar or different bond strength of the brackets to the enamel can be achieved compared to the etchant.

Laser conditioning can be used in many areas of dentistry. According to several studies, laser conditioning can improve the preservation of fissure sealants [26–28]. Various energy and frequency parameters were applied in the literature: 150 mJ/10 Hz [27], 60–100 mJ/2 Hz [28], 80 mJ/2 Hz [28]. The latter parameters resulted in good bonding properties of irradiated dental tissues [28]. Unlike the aforementioned studies, a combination of lower energy (100 mJ) and higher impulse frequency was used in the presented study, which, combined with orthophosphoric acid etching, ultimately affected the improvement of shear bond strength of orthodontic brackets to the dental enamel. Enamel conditioning was also performed when composite materials were used for the tooth restoration and the bonding of orthodontic brackets. Akhouni [29], using 200 mJ/10 Hz parameters, proved the presence of irregular, amorphous enamel structures in the SEM analysis. The said structures, however, had gaps that could serve as retention for bonding materials. [29] The findings are consistent with Olivi's [30] study. Olivi found that the best predictable enamel structures were obtained at lower laser parameters (80 mJ/10 Hz). Moritz [31], using parameters of 180 mJ/2 Hz, achieved a composite bond strength of 48 N, compared to 55 N when using 37% orthophosphoric acid and 60 N for kinetic preparation of corundum.

The results presented in this study show a significant increase in the values of enamel surface roughness after laser treatment (Table 1). Moreover, using X-ray microtomography allowed us to demonstrate the extent of enamel lesions as well as to estimate the depth of damage. The use of X-ray microtomography, compared to published studies using the SEM technique, allowed to show the entire region of the enamel where lesions took place [12,32]. Those lesions occurred both in samples functionalized with Er:YAG laser (group G1) and those additionally etched with a phosphoric acid solution (group G3). Studies concerning the mechanical properties of the enamel-adhesive-bond complex clearly showed that the samples conditioned with phosphoric acid solution and laser had the highest shear stress values. This value for a part of the samples within that group (G3) exceeded the limit of 10 MPa, which additionally strengthened the effect of enamel damage in the case of the removal of the orthodontic bracket. However, it is a desirable phenomenon when there is a need to permanently fix the material used for the restoration of a dental defect. The obtained results are consistent with those published by other authors [33,34]. It should be underlined that adhesion depends on many variables, including the topography of the tooth preparation and the level of bonding material viscosity. Therefore, it is suggested that the tooth surface's roughness may change the wettability and the bonding quality of adhesive materials. Furthermore, higher roughness may lead to an adhesion decrease, especially when a high-level viscosity adhesive system is applied. Therefore, appropriate bonding systems should be used for the high roughness of tooth surfaces.

The studies using X-ray microtomography show damage to the enamel layer after using both Er:YAG laser itself and combined with an etcher. The analysis of the thickness of enamel lesions after laser treatment at 100 mJ/10 Hz showed that those lesions reach up to 8–9% of the enamel layer in some regions. The studies published in the literature do not conclusively answer whether the groups conditioned with the standard phosphoric acid technique are significantly different from those treated with Er:YAG laser. On one hand, the study by Gokcelik et al. [35] showed no statistically significant differences, while such a difference was observed in the article published by Hosseini et al. [33] In the presented publication, a comparison of shear stress values between groups showed statistically significant differences between the acid- and laser-conditioned group (G3) and the laser-conditioned group (G1). However, the results of shear stress values show no statistically significant changes between the laser-conditioned group (G1) and the phosphoric acid-functionalized group (G2), which is consistent with the results of other studies [32,35].

The authors of this article are aware of introduced limitations (one laser operating parameter, several samples, type of bonding material, a method of mounting the samples

during the shear test), which were minimized at each testing stage. Therefore, further research should be conducted to, for example, determine the effect of different laser parameters on the extent and nature of enamel damage on a larger number of test samples.

## 5. Conclusions

The use of Er:YAG laser at 100 mJ/10 Hz (1Watt) combined with 37% orthophosphoric acid for enamel conditioning results in the increase in shear bond strength of orthodontic brackets to the tooth. The use of Er:YAG laser at operating settings applied in this study leads to a much higher degree of enamel damage compared to etching with 37% orthophosphoric acid. Furthermore, Er:YAG laser conditioning increases enamel roughness in contrast to 37% orthophosphoric acid etching.

**Author Contributions:** Conceptualization, J.K., J.M. and M.D. (Maciej Dobrzyński); methodology, J.K., A.N., K.B. and M.D. (Marzena Dominiak); investigation, J.K., A.N., K.B., K.G.-L. and M.D. (Maciej Dobrzyński); writing—original draft preparation, J.K., J.M. and A.N.; writing—review and editing, K.G.-L. and M.D. (Maciej Dobrzyński); supervision, J.M. and M.D. (Marzena Dominiak). All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted in line with the approval no. KB 132/2019 issued by the Bioethics Committee appointed by the Rector of Wrocław Medical University.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.







## References

- Ferrari, M.; Mannocci, F.; Vichi, A.; Davidson, C.L. Effect of two etching times on the sealing ability of Clearfil Liner Bond 2 in Class V restorations. *Am. J. Dent.* **1997**, *10*, 66–70.
- Berk, N.; Baaran, G.; Özer, T. Comparison of sandblasting, laser irradiation, and conventional acid etching for orthodontic bonding of molar tubes. *Eur. J. Orthod.* **2008**, *30*, 183–189. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Grzech-Leśniak, K.; Nowicka, J.; Pajaczkowska, M.; Matys, J.; Szymonowicz, M.; Kuropka, P.; Rybak, Z.; Dobrzyński, M.; Dominiak, M. Effects of Nd:YAG laser irradiation on the growth of *Candida albicans* and *Streptococcus mutans*: In vitro study. *Lasers Med. Sci.* **2018**, *34*, 129–137. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Matys, J.; Hadzik, J.; Dominiak, M. Schneiderian Membrane Perforation Rate and Increase in Bone Temperature during Maxillary Sinus Floor Elevation by Means of Er:YAG Laser—An Animal Study in Pigs. *Implant Dent.* **2017**, *26*, 238–244. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Matys, J.; Świder, K.; Flieger, R. Laser instant implant impression method: A case presentation. *Dent. Med. Probl.* **2017**, *54*, 101–106. [[CrossRef](#)]
- Matys, J.; Flieger, R.; Dominiak, M. Effect of diode lasers with wavelength of 445 and 980 nm on a temperature rise when uncovering implants for second stage surgery: An ex-vivo study in pigs. *Adv. Clin. Exp. Med.* **2017**, *26*, 687–693. [[CrossRef](#)]
- Flieger, R.; Gedrange, T.; Grzech-Leśniak, K.; Dominiak, M.; Matys, J. Low-Level Laser Therapy with a 635 nm Diode Laser Affects Orthodontic Mini-Implants Stability: A Randomized Clinical Split-Mouth Trial. *J. Clin. Med.* **2019**, *9*, 112. [[CrossRef](#)]
- Zakrzewski, W.; Dobrzyński, M.; Kuropka, P.; Matys, J.; Malecka, M.; Kiryk, J.; Rybak, Z.; Dominiak, M.; Grzech-Leśniak, K.; Wiglusz, K.; et al. Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* **2020**, *13*, 3027. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Grzech-Leśniak, K.; Matys, J.; Żmuda-Stawowiak, D.; Mroccka, K.; Dominiak, M.; Brugnera Junior, A.; Gruber, R.; Romanos, G.E.; Sculean, A. Er: YAG laser for metal and ceramic bracket debonding: An in vitro study on intrapulpal temperature, SEM, and EDS analysis. *Photomed. Laser Surg.* **2018**, *36*, 595–600. [[CrossRef](#)]
- Fumes, A.C.; Longo, D.L.; De Rossi, A.; Da Silva Fidalgo, T.K.; De Paula E Silva, F.W.G.; Borsatto, M.C.; Küchler, E.C. Microleakage of sealants after phosphoric acid, Er: YAG laser and air abrasion enamel conditioning: Systematic review and meta-analysis. *J. Clin. Pediatr. Dent.* **2017**, *41*, 167–172. [[CrossRef](#)]
- Silversrone, L.M.; Saxton, C.A.; Dogon, I.L.; Fejerskov, O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res.* **1975**, *9*, 373–387. [[CrossRef](#)]
- Risnes, S.; Li, C. Obtaining scratch-free specimens of dental enamel prepared by sectioning, grinding, polishing, and acid etching for scanning electron microscopy. *Microsc. Res. Tech.* **2018**, *81*, 997–1003. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Lopes, G.C.; Thys, D.G.; Klaus, P.; Oliveira, G.M.S.; Widmer, N. Enamel acid etching: A review. *Compend. Contin. Educ. Dent.* **2007**, *28*, 18–24. [[PubMed](#)]

14. Hossain, M.; Nakamura, Y.; Tamaki, Y.; Yamada, Y.; Murakami, Y.; Matsumoto, K. Atomic analysis and knoop hardness measurement of the cavity floor prepared by Er,Cr:YSGG laser irradiation in vitro. *J. Oral Rehabil.* **2003**, *30*, 515–521. [CrossRef]
15. Visur, S.R.; Gilbert, J.L.; Wright, D.D.; Wigdor, H.A.; Walsh, J. Shear strength of composite bonded to Er: YAG laser-prepared dentin. *J. Dent. Res.* **1996**, *75*, 599–605. [CrossRef] [PubMed]
16. Scribante, A.; Gallo, S.; Turcato, B.; Trovati, F.; Gandini, P.; Sfondrini, M.F. Fear of the Relapse: Effect of Composite Type on Adhesion Efficacy of Upper and Lower Orthodontic Fixed Retainers: In Vitro Investigation and Randomized Clinical Trial. *Polymers* **2020**, *12*, 963. [CrossRef]
17. Karol, G. Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów. Politechnika Szczecińska. Szczecin. 1972. Available online: <https://docplayer.pl/35959099-Cwiczenia-laboratoryjne-z-wytrzymalosci-materialow-statyczna-proba-scinania.html> (accessed on 16 April 2021).
18. Bishara, S.E.; Ostby, A.W.; Laffoon, J.F.; Warren, J. Shear bond strength comparison of two adhesive systems following thermocycling: A new self-etch primer and a resin-modified glass ionomer. *Angle Orthod.* **2007**, *77*, 337–341. [CrossRef]
19. Miles, P.G.; Weyant, R.J. Scientific section: A clinical comparison of two chemically-cured adhesives used for indirect bonding. *J. Orthod.* **2003**, *30*, 331–336. [CrossRef]
20. Borges, A.B.; Abu Hasna, A.; Matuda, A.G.N.; Lopes, S.R.; Mafetano, A.P.V.P.; Arantes, A.; Duarte, A.F.; Barcellos, D.C.; Torres, C.R.G.; Pucci, C.R. Adhesive systems effect over bond strength of resin-infiltrated and de/remineralized enamel. *F1000Research* **2019**, *8*, 1743. [CrossRef]
21. Habib, E.; Wang, R.; Zhu, X.X. Correlation of resin viscosity and monomer conversion to filler particle size in dental composites. *Dent. Mater.* **2018**, *34*, 1501–1508. [CrossRef]
22. Cerda-Rizo, E.R.; De Paula Rodrigues, M.; Vilela, A.B.F.; Braga, S.S.L.; Oliveira, L.R.S.; Garcia-Silva, T.C.; Soares, C.J. Bonding interaction and shrinkage stress of low-viscosity bulk fill resin composites with high-viscosity bulk fill or conventional resin composites. *Oper. Dent.* **2019**, *44*, 625–636. [CrossRef]
23. Lima, D.M.; Tonetto, M.R.; De Mendonça, A.A.M.; Elossais, A.A.; Saad, J.R.C.; De Andrade, M.F.; Pinto, S.C.S.; Bandéca, M.C. Human dental enamel and dentin structural effects after Er: Yag laser irradiation. *J. Contemp. Dent. Pr.* **2015**, *15*, 283–287.
24. Martínez-Insua, A.; Dominguez, L.D.S.; Rivera, F.G.; Santana-Penín, U.A. Differences in bonding to acid-etched or Er:YAG-laser-treated enamel and dentin surfaces. *J. Prosthet. Dent.* **2000**, *84*, 280–288. [CrossRef] [PubMed]
25. Lee, B.S.; Hsieh, T.T.; Lee, Y.L.; Lan, W.H.; Hsu, Y.J.; Wen, P.H.; Lin, C.P. Bond strengths of orthodontic bracket after acid-etched, Er:YAG laser-irradiated and combined treatment on enamel surface. *Angle Orthod.* **2003**, *73*, 565–570. [PubMed]
26. Borsatto, M.C.; Corona, S.A.M.; Dibb, R.G.P.; Ramos, R.P.; Pécora, J.D. Microleakage of a resin sealant after acid-etching, Er:YAG laser irradiation and air-abrasion of pits and fissures. *J. Clin. Laser Med. Surg.* **2001**, *19*, 83–87. [CrossRef] [PubMed]
27. Chimello-Sousa, D.T.; De Souza, A.E.; Chinelatti, M.A.; Pécora, J.D.; Palma-Dibb, R.G.; Milori Corona, S.A. Influence of Er:YAG laser irradiation distance on the bond strength of a restorative system to enamel. *J. Dent.* **2006**, *34*, 245–251. [CrossRef]
28. Wanderley, R.L.; Monghini, E.M.; Pecora, J.D.; Palma-Dibb, R.G.; Borsatto, M.C. Shear bond strength to enamel of primary teeth irradiated with varying Er:YAG laser energies and SEM examination of the surface morphology: An in vitro study. *Photomed. Laser Surg.* **2005**, *23*, 260–267. [CrossRef]
29. Akhoundi, M.S.A.; Etemadi, A.; Nasiri, M.; Borujeni, E.S. Comparison of Enamel Morphologic Characteristics after Conditioning with Various Combinations of Acid Etchant and Er:YAG Laser in Bonding and Rebonding Procedures: A SEM Analysis. *J. Dent.* **2017**, *14*, 144–152.
30. Olivi, G.; Daniela Genovese, M. Effect of Er:YAG Laser Parameters on Enamel: SEM Observations. *Science* **2007**, *7*, 27–35.
31. Moritz, A.; Gutknecht, N.; Schoop, U.; Goharkhay, K.; Wernisch, J.; Sperr, W. Alternatives in enamel conditioning: A comparison of conventional and innovative methods. *J. Clin. Laser Med. Surg.* **1996**, *14*, 133–136. [CrossRef]
32. Contreras-Bulnes, R.; Scougall-Vilchis, R.J.; Rodríguez-Vilchis, L.E.; Centeno-Pedraza, C.; Olea-Mejía, O.F.; Alcántara-Galena, M.D.C.Z. Evaluation of self-etching adhesive and Er:YAG laser conditioning on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Sci. World J.* **2013**, *2013*, 1–5. [CrossRef]
33. Hosseini, M.H.; Namvar, F.; Chalipa, J.; Saber, K.; Chiniforush, N.; Sarmadi, S.; Mirhashemi, A.H. Comparison of Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets Bonded to Enamel Prepared By Er:YAG Laser and Conventional Acid-Etching. *J. Dent.* **2012**, *9*, 20–26.
34. Dehghani, M.; Ahrari, F. The effect of surface treatment with Er:YAG laser on shear bond strength of orthodontic brackets to fiber-reinforced composite. *J. Clin. Exp. Dent.* **2014**, *6*, e379–e383. [CrossRef] [PubMed]
35. Gokcelik, A.; Ozel, Y.; Ozel, E.; Arhun, N.; Attar, N.; Firatli, S.; Firatli, E. The influence of Er:YAG laser conditioning versus self-etching adhesives with acid etching on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Photomed. Laser Surg.* **2007**, *25*, 508–512. [CrossRef] [PubMed]

## Article

# SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning

Jan Kiryk <sup>1</sup>, Jacek Matys <sup>2,\*</sup> , Kinga Grzech-Leśniak <sup>2,3,\*</sup> , Marzena Dominiak <sup>1</sup>, Małgorzata Małecka <sup>4</sup> , Piotr Kuropka <sup>5</sup> , Rafał J. Wiglusz <sup>4,\*</sup>  and Maciej Dobrzyński <sup>6</sup> 

- <sup>1</sup> Dental Surgery Department, Medical University of Wrocław, 50-425 Wrocław, Poland; jan.kiryk@umed.wroc.pl (J.K.); marzena.dominiak@umed.wroc.pl (M.D.)
  - <sup>2</sup> Laser Laboratory at Dental Surgery Department, Wrocław Medical University, Krakowska 26, 50-425 Wrocław, Poland
  - <sup>3</sup> Department of Periodontics School of Dentistry, Virginia Commonwealth University, VCU, Richmond, VA 23298, USA
  - <sup>4</sup> Institute of Low Temperature and Structure Research, Polish Academy of Sciences, Okolna 2, 50-422 Wrocław, Poland; m.malecka@intibs.pl
  - <sup>5</sup> Department of Histology and Embriology, Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Norwida 31, 50-375 Wrocław, Poland; piotr.kuropka@upwr.edu.pl
  - <sup>6</sup> Department of Pediatric Dentistry and Preclinical Dentistry, Wrocław Medical University, Krakowska 26, 50-425 Wrocław, Poland; maciej.dobrzynski@umed.wroc.pl
- \* Correspondence: jacek.matys@wp.pl (J.M.); kinga.grzech-lesniak@umed.wroc.pl (K.G.-L.); r.wiglusz@intibs.pl (R.J.W.)



**Citation:** Kiryk, J.; Matys, J.; Grzech-Leśniak, K.; Dominiak, M.; Małecka, M.; Kuropka, P.; Wiglusz, R.J.; Dobrzyński, M. SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning. *Materials* **2021**, *14*, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

Academic Editor: Bruno Chrcanovic

Received: 7 July 2021

Accepted: 8 August 2021

Published: 10 August 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** (1) Background: This study aimed to evaluate the microporosity of the tooth surface structure adjacent to the cemento-enamel junction (CEJ) after the removal of composite fillings with a drill in comparison with removal by an Er:YAG laser and after cleaning with a periodontal curette, chemical EDTA and NaOCl (sodium hypochlorite) conditioning. (2) Methods: The research material consisted of 30 extracted premolars with cervical composite fillings. The teeth were divided into six groups according to the method of tooth preparation: group G1 ( $n = 5$ )—a diamond drill; group G2 ( $n = 5$ )—a diamond drill + curette; group G3 ( $n = 5$ )—a diamond drill + 24% EDTA (PrefGel, Straumann, Switzerland); group G4 ( $n = 5$ )—an Er:YAG laser (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenia) set with the following parameters: power: 1.65 W (composite removal, CR), 1.2 (tooth conditioning, TC), energy: 110 mJ (CR), 80 mJ (TC), frequency: 15 Hz, pulse duration: 50  $\mu$ s, tip diameter: 1 mm, air/fluid cooling: 4, distance 1.5 mm, energy density: 14.01 J/cm<sup>2</sup> (CR), 10.19 J/cm<sup>2</sup> (TC); group G5 ( $n = 5$ )—an Er:YAG laser + 2% sodium hypochlorite (NaOCl); group G6 ( $n = 5$ )—an Er:YAG laser + 5.25% NaOCl. In each tooth, three cavities were made and subjected to analysis. The dentin surface was evaluated using a scanning electron microscope (SEM). (3) Results: Groups G1 and G2 exhibited mechanical damage to the tooth surface structure caused by the rotary motion of a diamond drill. The SEM image showed a smear layer that could only be removed chemically using 24% EDTA gel (group G3). The tooth surfaces prepared with the Er:YAG laser (groups G4–G6) revealed a homogeneous structure without damage along with open dentinal tubules (without smear layer) and visible denaturation of collagen fibers. The sodium hypochlorite (NaOCl) conditioning did not increase the visibility of dentinal tubules. (4) Conclusions: Dentin surfaces have open dentinal tubules after removal of the composite filling using the Er:YAG laser and therefore do not require additional NaOCl conditioning.

**Keywords:** CEJ; collagen fibers; dentinal tubules; gingival recession; smear layer

## 1. Introduction

Dental filling removal in the cervical region of the tooth is a procedure that is performed before gingival recession coverage [1]. The presence of the filling in the cemento-

enamel junction (CEJ) or on the dental root surface impairs the connection of fibroblasts with dental tissues and, thus, prevents successful gingival recession coverage [2]. Gingival recession can be found in people with very good oral hygiene where it mainly affects labial surface [3–5]. Gingival recession can also occur among individuals who exhibit negligence in oral hygiene; in such cases, it affects all tooth surfaces [5]. Restoration of hard-tissue defects in the labial and buccal regions of the teeth without gum regenerative procedures may cause other problems, such as dentin hypersensitivity, root caries and patient discomfort for aesthetic reasons [6,7].

To perform the procedure of gingival recession coverage, the root surface needs to be free of caries and cannot be covered with any dental material or smear layer, as the connective tissue attachment can only be formed properly in contact with the dental tissue [8]. Initially, the tooth should be cleaned of calculus and plaque. The use of hand instruments or ultrasonic instruments forms a smear layer that adheres tightly to the root surface and cannot be removed by conventional water rinsing [9]. Exposed root surfaces in patients with gingival recession may also cause endotoxin contamination [10]. Therefore, many clinicians use root surface bio-modification agents, such as ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), citric acid, sodium hypochlorite (NaOCl) or Er:YAG laser conditioning to remove the smear layer and open the dentinal tubules [11].

When considering all known laser wavelengths, Er:YAG laser radiation at 2940 nm exhibits the highest absorption of water in all layers of hard dental tissues [12–16]. The core (medium) of Er:YAG lasers, which are widely used in conservative dentistry, is an erbium crystal with an admixture of yttrium, aluminum and garnet. The wavelength of 2940 nm is characterized by shallow tissue penetration in the range of several to several dozen micrometers. In addition, the higher percentage of water in caries (compared to a healthy dentin and enamel) influences the selectivity of laser work, leading to faster ablation of sick tissues and assuring safety in relation to the pulp [1]. The prepared cavity has a surface structure resembling a surface conditioned with a 37% orthophosphoric acid but with more significant irregularity [17]. The prepared surface after laser application is decontaminated (microbiologically clean) and it does not display deep mechanical damage, especially when using appropriate laser operating parameters and water spray cooling [18,19]. Importantly, laser preparation is also safe for the dental pulp, as no thermal damage is observed [20–22]. It should also be noted that the procedure is well accepted by patients because of less pain and reduced need for topical anesthesia before the procedure [23].

This study aimed to evaluate, by means of a scanning electron microscope (SEM), the microporosity of the tooth surface structure after removal of a composite filling from the cervical region of the tooth (CEJ) when using an Er:YAG laser with additional conditioning of the dentin surface with sodium hypochlorite (NaOCl) compared to that when using a traditional filling removal method with a diamond dental drill and periodontal curette or chemical EDTA conditioning in order to determine their usefulness in procedures for gingival recession coverage.

## 2. Materials and Methods

The research material consisted of 30 premolar teeth with cervical fillings. It was determined from the medical history that the teeth had been restored with composite fillings between 6 months and 7 years prior (with an average duration of 3 years before tooth extraction). The teeth had later been removed at the Dental Surgery Department of Wrocław Medical University due to orthodontic and periodontal indications. After extraction, the teeth were stored in 1% thymol solution. The storage period for the teeth before the SEM analysis did not exceed 2 days. Three cavities were prepared in each tooth using different methods as described in the below-mentioned paragraph. Sample size was calculated to be 15 (3 cavities multiplied by 5 teeth) in each group using G×Power (Kiel University, Kiel, Germany) software assuming 80% power of study, 95% confidence interval, a level of significance of 0.05 and  $d = 0.94$ . The study was conducted in line with

the approval No. KB 132/2019 issued by the Bioethics Committee appointed by the Rector of Wroclaw Medical University.

### 2.1. Mechanical and Mechanochemical Preparation of Dentin

In Group G1 (Drill,  $n = 5$ ), the composite material was removed by means of a conventional method using a ball-nose diamond drill #014 (Meisinger, Neuss, Germany) with blue coating on a water-cooled turbine tip (NSK, Tokyo, Japan).

In Group G2 (Drill + Curette,  $n = 5$ ), the composite material was removed using a ball-nose diamond drill #014 (Meisinger, Neuss, Germany) with blue coating on a water-cooled turbine tip (NSK, Tokyo, Japan), and the cavity was cleaned with a Gracey  $\frac{1}{2}$  curette (Henry Schein, NY, USA).

In Group G3 (Drill + EDTA,  $n = 5$ ), the composite material was removed using a ball-nose diamond drill #014 (Meisinger, Neuss, Germany) with blue coating on a water-cooled turbine tip (NSK, Tokyo, Japan), and the cavity surface was conditioned with a 24% EDTA solution (PrefGel, Straumann, Basel, Switzerland) in accordance with the manufacturer's recommended protocol (application to the cleaned surface for 2 min and rinsing with distilled water).

In Group G4 (Er:YAG laser,  $n = 5$ ), the composite material was removed using an Er:YAG laser (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenia) with the following set parameters: power: 1.65 W (composite removal, CR), 1.2 W (tooth conditioning, TC); energy: 110 mJ (CR), 80 mJ (TC); frequency: 15 Hz; pulse duration: 50  $\mu$ s; tip diameter: 1 mm; air/fluid cooling: 4; distance: 1.5 mm; energy density: 14.01 J/cm<sup>2</sup> (CR), 10.19 J/cm<sup>2</sup> (TC).

In Group G5 (Er:YAG laser + 2%NaOCl,  $n = 5$ ), the composite material was removed using an Er:YAG laser with identical parameters to those of Group G4, while the cavity surface was conditioned with 2% NaOCl solution (CERKAMED, Stalowa Wola, Poland) by rubbing it with the aforementioned solution for 15 s and rinsing with distilled water for 10 s.

In Group G6 (Er:YAG laser + 5.25%NaOCl,  $n = 5$ ), the composite material was removed using an Er:YAG laser with identical parameters to those of Groups G4 and G5, while the cavity surface was conditioned with 5.25% NaOCl solution (CERKAMED, Stalowa Wola, Poland) by rubbing it with the aforementioned solution for 15 s and rinsing with distilled water for 10 s.

### 2.2. Scanning Electron Microscopy

The teeth in each group were fixed in 2.5% glutaraldehyde using a 7.4 phosphate buffer. Subsequently, the samples were rinsed with a phosphate buffer and then dehydrated in an acetone solution series (from 50% to 100%). The teeth were dried and mounted on stubs. The collected material was analyzed using FE-SEM microscope FEI NovaNanoSEM 230 (FEI Company, Hillsboro, OR, USA). SEM settings during the analysis of the tooth surface were as follows: HiVac  $2 \times 10^{-4}$  Pa, WD 6.1 to 8.4 mm, 5.00 kV, spot 4.5, magnification  $100\times$  or  $2000\times$ , 5.00 keV.

### 2.3. Semi-Quantitative Evaluation of Test Samples

The quantitative evaluation was performed according to Attin [24] with our own modifications. The importance of each factor was adapted to the requirements of subsequent procedures. The subjective evaluation made by a histologist (P.K.) took into account the quality of the tooth preparation (0–2 pts) with the most desired regular cavity shape, the exposure of dentinal tubules (0–1 pt), the presence of smear layer (0–1 pt) and the degree of similarity of test samples in a group (0–2 pts). The semi-quantitative evaluation score scale ranged between 0 and 6. Scores above 3 were rated as desirable [25]. The aforementioned method of analysis is one of numerous methods described in the literature [24,25].

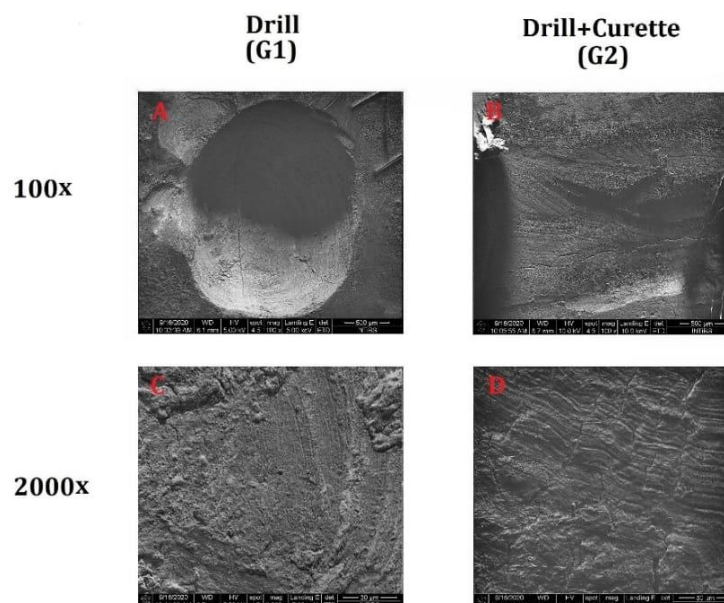
#### 2.4. Statistical Analysis

The intragroup comparison of the samples evaluated by the semi-quantitative method was analyzed with the Kruskal–Wallis ANOVA test. Statistica software (StatSoft, Tulsa, OK, USA) was used for statistical analysis. Values below  $p = 0.05$  were considered to be statistically significant.

### 3. Results

#### 3.1. Effects of the Drill and Curette on Dentin Structure

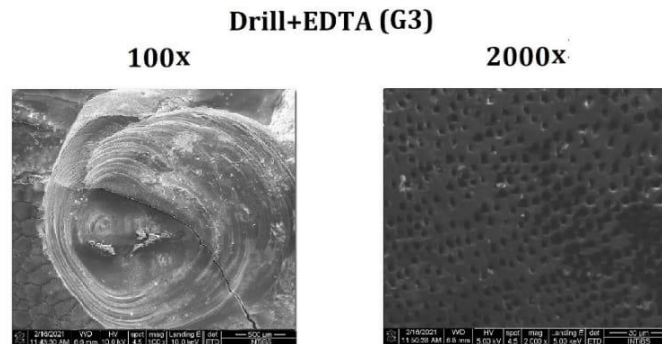
After the composite material was removed using a dental drill, the dentin surface exhibited visible mechanical damage. Damage to the tooth surface was caused by the contact of the drill bit with the dentin surface. The SEM image shows dentinal tubules filled with the smear layer formed from elements of the mechanically prepared tooth. The visible cracks on the tooth surface were due to the intensive drying of the samples prior to the SEM analysis and not by mechanical actions (Figure 1A). The use of a dental curette for additional cleaning of the dentin surface after removal of the composite filling using a drill led to deeper cracks and grooves on the dentin surface. The curettage procedure did not remove the smear layer (Figure 1B).



**Figure 1.** Dentin surface after removal of the composite filling using a diamond drill (A,C) and after additional cleaning of the dentin using a dental curette (B,D).

#### 3.2. EDTA Application on the Dentin Surface

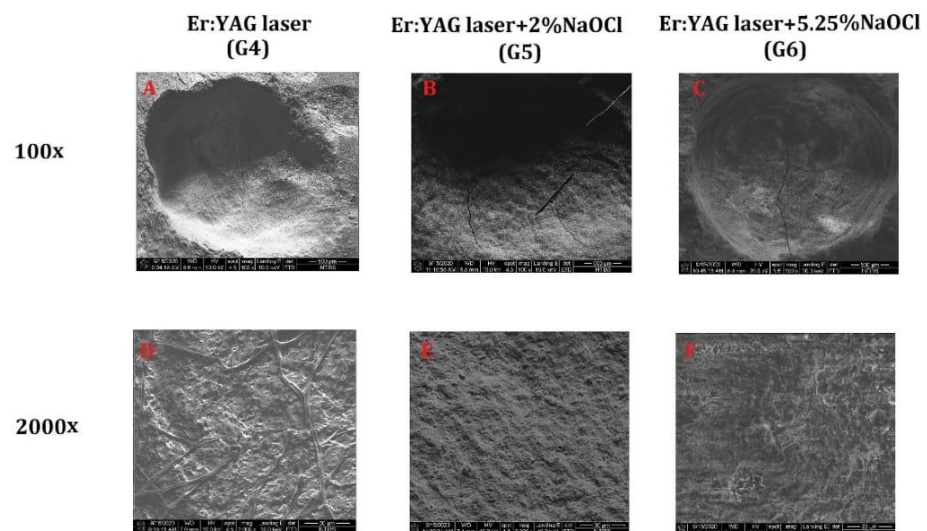
The use of 24% EDTA after the removal of the composite material using a diamond drill exposed dentinal tubules that were clearly visible at 2000 $\times$  magnification. Inside the dentinal tubules, secondary residues of the activity of EDTA were present, mainly in the form of fine crystal structures formed by the drying of the samples before the SEM analysis. The lateral walls of the inside of the dentinal tubules showed loose collagen fibers forming the stroma of the dentin, which were released after chelation by EDTA. These changes were clearly visible at 2000 $\times$  magnification (Figure 2).



**Figure 2.** Dentin surface after the composite filling was removed using a diamond drill and 24% EDTA conditioning.

### 3.3. Er:YAG Laser Application on the Dentin Surface

The SEM analysis showed the regular shape of the cavity, which was formed by the removal of the composite filling using the Er:YAG laser. Partially denatured collagen fiber bundles at the bottom of the cavity were present. Moreover, the dentinal tubules under the layer of cross-linked collagen fibers were also exposed. No smear layer formation was observed (Figure 3A).



**Figure 3.** Dentin surface after the removal of the composite filling using the Er:YAG laser (A,D) and after additional dentin conditioning with 2% NaOCl (B,E) and 5.25% NaOCl (C,F).

In the images of samples conditioned with 2% and 5.25% NaOCl, the structure image was similar to those of the samples irradiated with the Er:YAG laser alone. However, there was an evident secondary crystallization of NaOCl resulting from the procedures used for preparation of the material for observation in the SEM analysis. The sizes of NaOCl crystals were directly proportional to NaOCl concentration. However, dentin conditioning with NaOCl (Groups 5 and 6) did not increase the effect of dentinal tubule exposure compared to the Er:YAG laser alone (Group 4) (Figure 3B,C).

### 3.4. Semi-Quantitative Evaluation

The results of the semi-quantitative evaluation indicated superiority of preparation using an Er:YAG laser compared to the traditional approach: a drill or drill + curette. The use of drills generated an excessive amount of smear layer that was almost impossible to completely remove even by 24% EDTA conditioning. The use of the Er:YAG laser did not



form any smear layer. The surfaces prepared with the Er:YAG laser had regular structures and open dentinal tubules. The images of the dentin surfaces after the use of the erbium laser were similar for all tooth samples under analysis. The results of the quantitative analysis indicated significant differences between the samples irradiated with the Er:YAG laser (G4, G5, G6) and those treated with the drill alone and in combination with the curette (G1, G2)  $p < 0.05$  (Table 1).

**Table 1.** The results of semi-quantitative studies concerning samples. Similar small (a, b, c, d) letters in a column indicate statistical significance between groups. ( $p < 0.05$ ).

Group	Drill G1	Drill + Curette (G2)	Drill + EDTA (G3)	Er:YAG Laser (G4)	Er:YAG Laser + 2% NaOCl (G5)	Er:YAG Laser + 5.25% NaOCl (G6)
Quality of preparation (0–2)	1	1	1	2	2	2
Exposure of dentinal tubules (0–1)	0	0	1	1	1	1
Absence of smear layer (0–1)	0	0	1	1	1	1
Repeatability of results obtained (Similar sample image) (0–2)	0	0	1	2	2	2
Scoring	1 <sup>a,b,c</sup>	1 <sup>a,b,c</sup>	4 <sup>d</sup>	6 <sup>a</sup>	6 <sup>b</sup>	6 <sup>c</sup>
<i>p</i> Value				G4 vs. G2, G1 $p < 0.05$ G5 vs. G2, G1 $p < 0.05$ G6 vs. G2, G1 $p < 0.05$		

#### 4. Discussion

Open dentinal tubules (absence of smear layer) on the tooth surface are among the critical elements that determine the quality of fibroblast adhesion to the dental root surface [26]. To ensure fibroblast proliferation on the radicular dentin, its surface should have open dentinal tubules without the presence of the smear layer [10,27,28]. The smear layer is a layer composed of the collagen molecules and mineralized matrix that are present after mechanical tooth preparation [1]. Studies suggest that the smear layer may function as a barrier to the formation of the connective tissue attachment to the root surface [29]. During cavity preparation using a drill, the smear layer is present on the entire dentin surface, which was also confirmed by this study.

The results of this study indicate that mechanical preparation of dentin is associated with the smear layer formation. Furthermore, tooth surfaces prepared with the Er:YAG laser had a homogeneous structure without damage, along with open dentinal tubules (without smear layer) with visible denaturation of collagen fibers. However, the use of different sodium hypochlorite (NaOCl) solutions (2% and 5.25%) often used in dentistry did not increase the visibility of dentinal tubules. Smear layer formation is associated with contact preparation of the dentin, and it leads to the plugging of dentinal tubules [30,31]. The layer (thickness of 2–15  $\mu\text{m}$ ) is composed of organic and inorganic material, with particle sizes ranging from less than 1  $\mu\text{m}$  to more than 15  $\mu\text{m}$ ; therefore, it can close (plug) dentinal tubules of different diameters. The smear layer is tightly bonded to the tooth surface, and it can be practically removed only by demineralizing solutions, such as EDTA, which was used in this study [32].

Various methods are used for removing the smear layer, e.g., chemical (37% orthophosphoric acid, EDTA, NaOCl, citric acid), ultrasonic and laser, or their combinations. Among the many chemicals that remove the smear layer, EDTA is widely used in dentistry. In their study, Demiryürek et al. [33] showed that the application of 17% EDTA followed by 5% NaOCl facilitates complete removal of the smear layer (opening of the dentinal tubules) by

generating surface erosion. Moreover, other studies have confirmed the combination of EDTA with NaOCl as highly effective for smear layer removal [34,35]. Furthermore, Lo Giudice G et al. [36] proposed using protocols that applied ultrasound-activated EDTA alone or associated with orthophosphoric acid as the most effective in smear layer removal and cleansing of the dentinal surface. EDTA is a biocompatible compound that is well tolerated by tooth tissues, and it exhibits strong chelating properties. Unlike NaOCl, EDTA does not exhibit antimicrobial or dissolving activity in relation to organic tissues [37]. When the smear layer is removed, chelating agents demineralize the dentin, exposing collagen fibers. The depth of demineralization (approx. 1–6  $\mu\text{m}$ ) depends on the concentration and activity of the chelating agent [37,38]. The 24% EDTA applied for 2 min used in this study managed to sufficiently remove the smear layer formed. It should be noted, however, that EDTA does not affect decontamination of the dentin surface but leaves bacterial colonies on it, which may affect the formation of connective tissue attachment [11].

In their published study, Hibst and Keller presented SEM observations of the hard-tissue surface of the tooth after application of Er:YAG laser radiation [18,39]. These observations showed no damage to the hard tissues of the tooth. In other studies by Hibst and Keller [39], and also by Esteves-Oliveira M et al. [26], the following advantages of the preparation of hard tissues using the laser method were emphasized: a rough surface with no signs of demineralization, open dentinal tubules, the absence of the smear layer and cleanliness of the obtained surface. These findings are similar to the observations of this study. Kuhn et al. [40], meanwhile, indicated that during preparation of the dentin using an Er:YAG laser, there was denaturation of overlapping collagen fibers, which is also visible on SEM in this study. It should be noted that due to the higher percentage of water in the intertubular dentin than that in the peritubular dentin, erbium lasers ablate the intertubular dentin to a greater extent, which leads to formations in the microscopic surface of the dentin resembling protrusions (outgrowths). Therefore, optimal laser parameters set during composite filling removal and dentin conditioning are essential [41]. In the study, after composite filling removal with an Er:YAG laser, the pulse energy was decreased from 110 mJ to 80 mJ. Decreasing the pulse energy aimed to obtain a less rough and more homogeneous surface in the cavity and to reduce the denaturation effect in the collagen fibers. In addition, it should be underlined that after laser irradiation, we faced some water dehydration that impaired dentin strength and caused shrinkage of the collagen fibers. Thus, when preparing the tooth clinically *in vivo*, the surface of the dentin should be rehydrated by irrigating the tooth with the distilled water [1].

The use of an erbium laser, as indicated by the SEM images of the dentin, causes partial denaturation of the collagen fibers located in dentinal tubules [40]. The removal of denatured collagen fibers can be effected by the use of NaOCl [42]. Sodium hypochlorite (NaOCl) additionally shows strong bactericidal and antiviral activity. Due to its corrosive properties, NaOCl exhibits cytotoxicity to the oral mucosa and facial skin [43]. It lacks demineralizing properties, and, thus, it affects only the organic part of the smear layer [42]. According to studies by other authors, it is not possible to remove the smear layer with the use of NaOCl alone without chelators [44]. Nevertheless, NaOCl is a good complement to EDTA and citric acid because, in addition to dissolving the organic part of the smear layer, it leads to decontamination of the tooth surface [45]. In the present study we did not include the combination of NaOCl and EDTA, because the dentin surface irradiated by erbium laser was free of the smear layer. Only 2% and 5.25% NaOCl were used to check its ability to remove denatured fibers and open wider dentinal tubules. Some studies [40,46] used properties of NaOCl at different concentrations to clean and open dentinal tubules on the surface prepared with an Er:YAG laser. In this study, the use of NaOCl at concentrations of 2% and 5.25% as an additional step after the dentin surface preparation using the erbium laser did not change its microstructure (opening of dentinal tubules). Based on these results, cleaning the dentin surface with NaOCl to remove denatured collagen fibers and to better expose dental tubules is not recommended as an additional step in root preparation before a surgical recession coverage procedure.

An important limitation of in vitro study when using SEM is the difficulty in the discrimination of smear plugs and laminae limitantes in dentin after the demineralization and deproteinization of tooth samples [47]. Therefore, further studies should be conducted to evaluate the differentiation of the tag-like structures from laminae limitantes in demineralized and deproteinized specimens. Furthermore, given the relatively small number of test samples and disadvantages of an in vitro testing, further studies should examine the effectiveness of gingival recession coverage after root surface preparation using an Er:YAG laser in comparison with the use of a drill with additional chemical conditioning (e.g., EDTA + NaOCl combination) of dentin in vivo.

## 5. Conclusions

The use of an Er:YAG laser for composite filling removal (energy density: 14.01 J/cm<sup>2</sup>) with additional laser dentin conditioning (energy density: 10.19 J/cm<sup>2</sup>) results in a dentin surface with open dentin tubules, no smear layer and no mechanical damage. The main clinical relevance based on this in vitro experiment is that when preparing the dentin surface using an Er:YAG laser before recession coverage, additional NaOCl conditioning to achieve better exposure of dentinal tubule openings appears unnecessary.

**Author Contributions:** Conceptualization, J.K., J.M. and M.D. (Maciej Dobrzyński); methodology, J.K., P.K. and M.M.; investigation, J.K., P.K., M.M., R.J.W., K.G.-L. and M.D. (Maciej Dobrzyński); writing—original draft preparation, J.K., J.M. and P.K.; writing—review and editing, K.G.-L., M.D. (Marzena Dominiak) and M.D. (Maciej Dobrzyński); supervision, J.M., R.J.W. and M.D. (Marzena Dominiak). All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted in line with the approval No. KB 132/2019 issued by the Bioethics Committee appointed by the Rector of Wrocław Medical University.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

- Zakrzewski, W.; Dobrzyński, M.; Kuroпка, P.; Matys, J.; Malecka, M.; Kiryk, J.; Rybak, Z.; Dominiak, M.; Grzech-Lesniak, K.; Wiglusz, K.; et al. Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* **2020**, *13*, 3027. [\[CrossRef\]](#)
- Nammour, S.; El Mobadder, M.; Maalouf, E.; Namour, M.; Namour, A.; Rey, G.; Matamba, P.; Matys, J.; Zeinoun, T.; Grzech-Leśniak, K. Clinical Evaluation of Diode (980 nm) Laser-Assisted Nonsurgical Periodontal Pocket Therapy: A Randomized Comparative Clinical Trial and Bacteriological Study. *Photobiomodulation Photomed. Laser Surg.* **2021**, *39*, 10–22. [\[CrossRef\]](#)
- Rosema, N.A.M.; Adam, R.; Grender, J.M.; Van der Sluijs, E.; Supranoto, S.C.; Van der Weijden, G.A. Gingival abrasion and recession in manual and oscillating-rotating power brush users. *Int. J. Dent. Hyg.* **2014**, *12*, 257–266. [\[CrossRef\]](#)
- McCracken, G.I.; Heasman, L.; Stacey, F.; Swan, M.; Steen, N.; De Jager, M.; Heasman, P.A. The impact of powered and manual toothbrushing on incipient gingival recession. *J. Clin. Periodontol.* **2009**, *36*, 950–957. [\[CrossRef\]](#)
- Zucchelli, G.; Mounssif, I. Periodontal plastic surgery. *Periodontol. 2000* **2015**, *68*, 333–368. [\[CrossRef\]](#)
- Chrysanthakopoulos, N.A. Gingival recession: Prevalence and risk indicators among young greek adults. *J. Clin. Exp. Dent.* **2014**, *6*, e243–e249. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Tugnait, A.; Clerehugh, V. Gingival recession—Its significance and management. *J. Dent.* **2001**, *29*, 381–394. [\[CrossRef\]](#)
- Tonetti, M.S.; D’Aiuto, F.; Nibali, L. Treatment of periodontitis and endothelial function. *Jpn. J. Chest Dis.* **2008**, *67*, 353.
- Lasho, D.J.; O’Leary, T.J.; Kafrawy, A.H. A Scanning Electron Microscope Study of the Effects of Various Agents on Instrumented Periodontally Involved Root Surfaces. *J. Periodontol.* **1983**, *54*, 210–220. [\[CrossRef\]](#)
- Aleo, J.J.; De Renzis, F.A.; Farber, P.A.; Varboncoeur, A.P. The Presence and Biologic Activity of Cementum-Bound Endotoxin. *J. Periodontol.* **1974**, *45*, 672–675. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kassab, M.; Cohen, R.E. The effect of root modification and biomodification on periodontal therapy. *Compend. Contin. Educ. Dent.* **2003**, *24*, 31–34, 36.
- Matys, J.; Hadzik, J.; Dominiak, M. Schneiderian Membrane Perforation Rate and Increase in Bone Temperature during Maxillary Sinus Floor Elevation by Means of Er:YAG Laser—An Animal Study in Pigs. *Implant Dent.* **2017**, *26*, 238–244. [\[CrossRef\]](#)

13. Matys, J.; Dominiak, M. Assessment of pain when uncovering implants with Er:YAG laser or scalpel for second stage surgery. *Adv. Clin. Exp. Med.* **2016**, *25*, 1179–1184. [[PubMed](#)]
14. Matys, J.; Świder, K.; Flieger, R. Laser instant implant impression method: A case presentation. *Dent. Med. Probl.* **2017**, *54*, 101–106. [[CrossRef](#)]
15. Matys, J.; Grzech-Leśniak, K. Dental Aerosol as a Hazard Risk for Dental Workers. *Materials* **2020**, *13*, 5109. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Grzech-Leśniak, K.; Matys, J. The Effect of Er:YAG Lasers on the Reduction of Aerosol Formation for Dental Workers. *Materials* **2021**, *14*, 2857. [[CrossRef](#)]
17. Kiryk, J.; Matys, J.; Nikodem, A.; Burzyńska, K.; Grzech-Leśniak, K.; Dominiak, M.; Dobrzyński, M. The effect of er:Yag laser on a shear bond strength value of orthodontic brackets to enamel—A preliminary study. *Materials* **2021**, *14*, 2093. [[CrossRef](#)]
18. Hibst, R.; Keller, U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg. Med.* **1989**, *9*, 338–344. [[CrossRef](#)]
19. Ceballos, L.; Osorio, R.; Toledano, M.; Marshall, G.W. Microleakage of composite restorations after acid or Er-YAG laser cavity treatments. *Dent. Mater.* **2001**, *17*, 340–346. [[CrossRef](#)]
20. Glockner, K.; Rimpler, J.; Ebeleseder, K.; Städtler, P. Intrapulpal temperature during preparation with the Er:YAG laser compared to the conventional burr: An in vitro study. *J. Clin. Laser Med. Surg.* **1998**, *16*, 153–157. [[CrossRef](#)]
21. Grzech-Leśniak, K.; Bencharit, S.; Skrjanc, L.; Kanduti, D.; Matys, J.; Deeb, J.G. Utilization of Er:YAG Laser in Retrieving and Reusing of Lithium Disilicate and Zirconia Monolithic Crowns in Natural Teeth: An In Vitro Study. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 4357. [[CrossRef](#)]
22. Grzech-Leśniak, K.; Matys, J.; Zmuda-Stawowiak, D.; Mroczka, K.; Dominiak, M.; Brugnera, A.; Gruber, R.; Romanos, G.E.G.E.; Sculean, A. Er:YAG Laser for Metal and Ceramic Bracket Debonding: An In Vitro Study on Intrapulpal Temperature, SEM, and EDS Analysis. *Photomed. Laser Surg.* **2018**, *36*, 595–600. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. DenBesten, P.K.; White, J.M.; Pelino, J.E.P.; Furnish, G.; Silveira, A.; Parkins, F.M. The safety and effectiveness of an Er:YAG laser for caries removal and cavity preparation in children. *Med. Laser Appl.* **2001**, *16*, 215–222. [[CrossRef](#)]
24. Attin, T. Methods for assessment of dental erosion. *Monogr. Oral Sci.* **2006**, *20*, 152–172.
25. Joshi, M. Techniques to Evaluate Dental Erosion: A Systematic Review of Literature. *J. Clin. Diagn. Res.* **2016**, *10*, ZE01. [[CrossRef](#)]
26. Esteves-Oliveira, M.; Zezell, D.M.; Apel, C.; Turbino, M.L.; Aranha, A.C.C.; Eduardo, C.D.P.; Gutknecht, N. Bond strength of self-etching primer to bur cut, Er,Cr:YSGG, and Er:YAG lased dental surfaces. *Photomed. Laser Surg.* **2007**, *25*, 373–380. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Kocherova, I.; Bryja, A.; Blochowiak, K.; Kaczmarek, M.; Stefańska, K.; Matys, J.; Grzech-Leśniak, K.; Dominiak, M.; Mozdziak, P.; Kempisty, B.; et al. Photobiomodulation with Red and Near-Infrared Light Improves Viability and Modulates Expression of Mesenchymal and Apoptotic-Related Markers in Human Gingival Fibroblasts. *Materials* **2021**, *14*, 3427. [[CrossRef](#)]
28. Dompe, C.; Moncrieff, L.; Matys, J.; Grzech-Leśniak, K.; Kocherova, I.; Bryja, A.; Bruska, M.; Dominiak, M.; Mozdziak, P.; Skiba, T.H.I.; et al. Photobiomodulation—Underlying Mechanism and Clinical Applications. *J. Clin. Med.* **2020**, *9*, 1724. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Polson, A.M.; Frederick, G.T.; Ladenheim, S.; Hanes, P.J. The Production of a Root Surface Smear Layer by Instrumentation and its Removal by Citric Acid. *J. Periodontol.* **1984**, *55*, 443–446. [[CrossRef](#)]
30. Brännström, M.; Johnson, G. Effects of various conditioners and cleaning agents on prepared dentin surfaces: A scanning electron microscopic investigation. *J. Prosthet. Dent.* **1974**, *31*, 422–430. [[CrossRef](#)]
31. Leidal, T.I.; Eriksen, H.M. A scanning electron microscopic study of the effect of various cleansing agents on cavity walls in vitro. *Eur. J. Oral Sci.* **1979**, *87*, 443–449. [[CrossRef](#)]
32. Eick, J.D.; Wilko, R.A.; Anderson, C.H.; Sorensen, S.E. Scanning Electron Microscopy of Cut Tooth Surfaces and Identification of Debris by Use of the Electron Microprobe. *J. Dent. Res.* **1970**, *49*, 1359–1368. [[CrossRef](#)]
33. Demiryürek, E.Ö.; Külünk, Ş.; Saraç, D.; Yüksel, G.; Bulucu, B. Effect of different surface treatments on the push-out bond strength of fiber post to root canal dentin. *Oral Surgery Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontol.* **2009**, *108*, e74–e80. [[CrossRef](#)]
34. Guerisoli, D.M.Z.; Marchesan, M.A.; Walmsley, A.D.; Lumley, P.J.; Pecora, J.D. Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *Int. Endod. J.* **2002**, *35*, 418–421. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Torabinejad, M.; Cho, Y.; Khademi, A.A.; Bakland, L.K.; Shabahang, S. The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. *J. Endod.* **2003**, *29*, 233–239. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Lo Giudice, G.; Lizio, A.; Lo Giudice, R.; Centofanti, A.; Rizzo, G.; Runci, M.; Alibrandi, A.; Ciccù, M. The effect of different cleaning protocols on post space: A SEM study. *Int. J. Dent.* **2016**, *2016*, 1907124. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Violich, D.R.; Chandler, N.P. The smear layer in endodontics—A review. *Int. Endod. J.* **2010**, *43*, 2–15. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Mohammadi, Z.; Shalavi, S.; Yaripour, S.; Kinoshita, J.I.; Manabe, A.; Kobayashi, M.; Giardino, L.; Palazzi, F.; Sharifi, F.; Jafarzadeh, H. Smear layer removing ability of root canal irrigation solutions: A review. *J. Contemp. Dent. Pract.* **2019**, *20*, 395–402. [[CrossRef](#)]
39. Keller, U.; Hibst, R.; Geurtsen, W.; Schilke, R.; Heidemann, D.; Klaiber, B.; Raab, W.H.M. Erbium:YAG laser application in caries therapy. Evaluation of patient perception and acceptance. *J. Dent.* **1998**, *26*, 649–656. [[CrossRef](#)]
40. Kuhn, K.; Rudolph, H.; Luthardt, R.G.; Stock, K.; Diebolder, R.; Hibst, R. Er:YAG laser activation of sodium hypochlorite for root canal soft tissue dissolution. *Lasers Surg. Med.* **2013**, *45*, 339–344. [[CrossRef](#)]
41. Matys, J.; Dominiak, M.; Flieger, R. Energy and power density: A key factor in lasers studies. *J. Clin. Diagnostic Res.* **2015**, *9*, ZL01. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

42. Dumitriu, D.; Dobre, T. Effects of temperature and hypochlorite concentration on the rate of collagen dissolution. *J. Endod.* **2015**, *41*, 903–906. [[CrossRef](#)]
43. Reshma Raj, V.; Varma, R.; Sureshkumar, J.; Kumaran, P.; Xavier, A.; Madhavan, M. Comparison of cytotoxicity and smear layer removal efficacy of triphala (an Indian ayurvedic herbal formulation) and 5.25% sodium hypochlorite as root canal irrigants: An in vitro study. *J. Indian Soc. Pedod. Prev. Dent.* **2020**, *38*, 343–349. [[PubMed](#)]
44. Ballal, V.; Rao, S.; Al-Haj Husain, N.; Özcan, M. Evaluation of Smear Layer Removal Using Different Irrigation Methods In Root Canals. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* **2019**, *27*, 97–102.
45. Cardoso, L.R.; Baldasso, F.E.R.; Delai, D.; Montagner, F.; Kopper, P.M.P. Effect of EDTA, sodium, and calcium hypochlorite on the inorganic component of root canal dentin: A SEM analysis. *Microsc. Res. Tech.* **2019**, *82*, 128–133. [[CrossRef](#)]
46. Deeb, J.G.; Smith, J.; Belvin, B.R.; Grzech-Leśniak, K.; Lewis, J. Er:YAG laser irradiation reduces microbial viability when used in combination with irrigation with sodium hypochlorite, chlorhexidine, and hydrogen peroxide. *Microorganisms* **2019**, *7*, 612. [[CrossRef](#)]
47. Scholz, K.J.; Bittner, A.; Cieplik, F.; Hiller, K.-A.; Schmalz, G.; Buchalla, W.; Federlin, M. Micromorphology of the Adhesive Interface of Self-Adhesive Resin Cements to Enamel and Dentin. *Materials* **2021**, *14*, 492. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Article

# Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study

Wojciech Zakrzewski <sup>1</sup>, Maciej Dobrzynski <sup>2</sup>, Piotr Kuropka <sup>3</sup>, Jacek Matys <sup>4</sup>,  
Malgorzata Malecka <sup>5</sup>, Jan Kiryk <sup>6</sup>, Zbigniew Rybak <sup>1</sup>, Marzena Dominiak <sup>6</sup>,  
Kinga Grzech-Lesniak <sup>6</sup>, Katarzyna Wiglusz <sup>7</sup> and Rafal J. Wiglusz <sup>5,\*</sup>

- <sup>1</sup> Department of Experimental Surgery and Biomaterial Research, Wrocław Medical University, Bujwida 44, 50-345 Wrocław, Poland; wojciech.zakrzewski@student.umed.wroc.pl (W.Z.); zbigniew.rybak@umed.wroc.pl (Z.R.)
  - <sup>2</sup> Department of Conservative Dentistry and Pedodontics, Wrocław Medical University, Krakowska 26, 50-425 Wrocław, Poland; maciej.dobrzynski@umed.wroc.pl
  - <sup>3</sup> Department of Histology and Embriology, Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Norwida 31, 50-375 Wrocław, Poland; piotr.kuropka@upwr.edu.pl
  - <sup>4</sup> Laser Laboratory at Dental Surgery Department, Wrocław Medical University, Krakowska 26, 50-425 Wrocław, Poland; jacek.matys@wp.pl
  - <sup>5</sup> Institute of Low Temperature and Structure Research, Polish Academy of Sciences, Okolna 2, 50-422 Wrocław, Poland; m.malecka@intibs.pl
  - <sup>6</sup> Dental Surgery Department, Medical University of Wrocław, 50-425 Wrocław, Poland; jan.kiryk@umed.wroc.pl (J.K.); marzena.dominiak@wp.pl (M.D.); kinga.grzech-lesniak@umed.wroc.pl (K.G.-L.)
  - <sup>7</sup> Faculty of Pharmacy, Wrocław Medical University, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław, Poland; katarzyna.wiglusz@umed.wroc.pl
- \* Correspondence: r.wiglusz@intibs.pl; Tel.: +48-71-3954-159; Fax: +48-71-344-10-29

Received: 20 May 2020; Accepted: 3 July 2020; Published: 7 July 2020



**Abstract:** Background: Recently, the defects of the tooth surface in the cervical region are often restored using composite filling materials. It should meet the needs of the patients regarding esthetics and material stability. The aim of the study was to analyze the tooth root surface at the cervical region after the removal of the composite filling material by means of the Erbium-doped Yttrium Aluminium Garnet (Er: YAG) laser or drill using the scanning electron microscopy (SEM) and fluorescence microscopy. Materials and Methods: For the purposes of this study, 14 premolar teeth ( $n = 14$ ) were removed due to orthodontic reasons. The rectangular shape cavities with 3 mm in width and 1.5 mm in height were prepared with a 0.8 mm bur on high-speed contra-angle in the tooth surface just below cemento-enamel junction (CEJ) and filled with the composite material. The composite material was removed with the Er: YAG laser at a power of 3.4 W, energy 170 mJ, frequency 20 Hz, pulse duration 300  $\mu$ s, tip diameter 0.8 mm, air/fluid cooling 3 mL/s, and time of irradiation: 6 sec, at a distance from teeth of 2 mm (G1 group,  $n = 7$ ) or a high-speed contra-angle bur (G2 group,  $n = 7$ ). After the removal of composite material, the surfaces of teeth were examined using the scanning electron microscopy (SEM) and fluorescence microscopy. Results: The Er: YAG irradiation allowed to remove completely the composite material from the tooth cavity. The study confirmed, that the ends of collagen fibers were only partially denatured after the Er: YAG laser application. Conclusion: It has been proved that using the Er: YAG laser is an effective and safe method of composite removal for the dentin surface.

**Keywords:** cervical root surface; Er: YAG laser; laser ablation; smear layer; vaporization

## 1. Introduction

The progress that has been made in the recent years in the field of dentistry enables more proficient and safer work, as well as a predictable treatment outcomes [1–3]. One of the brand-new technologies is a laser that is becoming more and more popular in dental clinics and supports traditional forms of treatment while replacing classic technologies [4–9]. The Erbium-doped Yttrium Aluminium Garnet (Er: YAG) laser presents several advantages over a conventional bur preparation [10]. Conventional bur preparation is a source of bone-conducted noise and vibration that can cause a painful sensation [11]. One of the essential advantages of the laser therapy is a lack of vibrations. Therefore, the local anesthesia is reduced or not needed [12]. When compared to drill during the osteotomy procedure, Pandurić, et al. [13] showed, that the Er: YAG laser produced preparations with regular and sharp edges, without bone fragments and debris, in a shorter preparation time. Laser irradiates rough surfaces, turning them into clean surfaces with opened dentin tubules and without smear layer [14]. This procedure is crucial and enables a complete and exact removal of filling material penetrating dentin tubules, which is impossible to achieve with conventional bur [15].

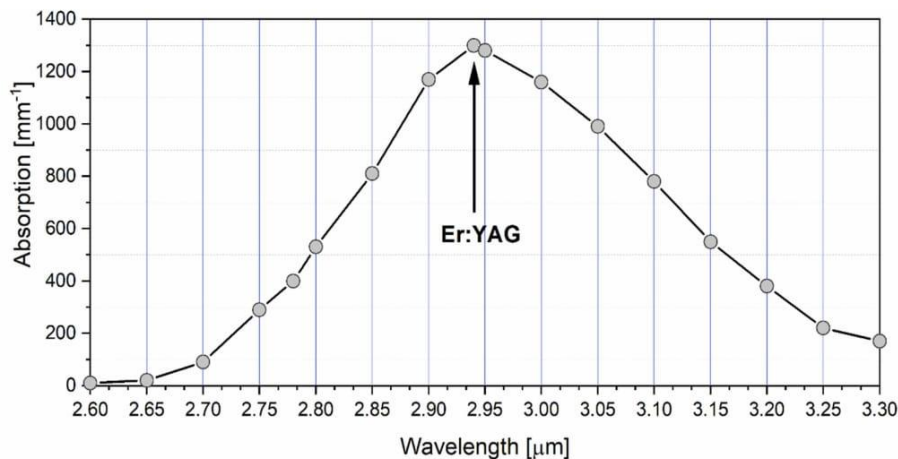
The scientific literature confirmed that both the scope of pulp carbonization and the pulp irritation during irradiation by the Er: YAG laser are lower in comparison with the use of micro-motor and turbine at the same conditions of air/water spray [16–19]. Its wavelength is in the mid-infrared region of the electromagnetic spectrum, so it is readably absorbed by water particles [20]. Special care should be paid to the prevention of thermal damage to the dental pulp with high-power lasers [7,21,22]. High absorption of the Er: YAG laser in water results in its shallow penetration depth [23]. The high absorption of 2940 nm wavelength and its low penetration depth enable the vaporization of the tooth tissues without pulp overheating. For instance, an intrapulpal rise of 5.5 °C caused pulpitis or pulp necrosis in 15% of irradiated teeth [21]. Temperature rise by 10 °C on the external tooth surfaces caused a bone resorption and root ankylosis [22]. Therefore, the application of high-power lasers requires the determination of parameters and a proper treatment protocol in order to limit the thermal damage and to assure the safe composite filling removal expected.

The removal of the composite material using a drill leads to leaving a remnant particles inside the dentinal tubules. It results in the formation of a smear layer which is removed together with the composite when a laser is used during treatment. The smear layer is an amorphous irregular layer formed during biomechanical preparation [24]. According to the scientific literature the Er: YAG laser showed high effectiveness in the removal of composite material from both enamel and dentin surface without the creation of the smear layer [25–27]. Moreover, Almeida et al. obtained shorter time required for the composite resin ablation after brackets debonding in comparison with a conventional drill [25]. Furthermore, another study, in which the Er: YAG laser was used for caries treatment, highlighted that its small spot diameter of 1 mm enabled more detailed and selective ablation while preserving the surrounding tissues [28].

After the composite material removal from the cervical tooth area with a dental bur is crucial to remove the remaining smear layer, which can impede the success of the gingival recession coverage [29,30]. In such a scenario, the laser enables immediate surgical recession coverage thanks to its ability to remove the composite material without the smear layer formation [31]. In comparison, a drill can only remove the composite material, leaving the smear layer intact, which results in a lack of adhesion of gingival tissue over the cavity [32]. It is known that with the Er: YAG laser the dental composite is removed very carefully, especially from the tooth cavity. It could enable better integration of new material, e.g., with the adjacent mucous membrane of exposed cervical areas of the teeth. Frequently, dentists artificially extend the clinical crowns by applying a layer of composites to the root surface instead of providing an appropriate periodontal treatment [33]. The gingiva lacks the ability of attachment to the composite material, which may eventually lead to a gingival recession [34]. Therefore, in order to remove the filling material either a laser or a drill is used [35].

In the case of a hard-tissue in dentistry, a wavelength of a laser plays a key role. The Er: YAG laser wavelength is most suitable for the hard-tissue ablation treatment because it is operated in

the region of the largest absorption peak for water (see Figure 1). Moreover, depending on different water content levels in human dentine and enamel, the absorption coefficients for the Er: YAG lasers are approximately  $150 \text{ mm}^{-1}$  in enamel, and  $200 \text{ mm}^{-1}$  in dentine. Thus, the Er: YAG laser wavelength penetrates approximately 7 micrometers in enamel and 5 micrometers in dentine.



**Figure 1.** The absorption curve of water in the middle infrared region. The position of Erbium-doped Yttrium Aluminium Garnet (Er: YAG) laser (2.94  $\mu\text{m}$ ) used for hard-tissue ablation has been shown in the plot (based on Handbook of optical materials) [36].

The Er: YAG laser vaporization leads to the thermal rise of the irradiated tissues. Therefore, the aim of the study was to assess the changes in the dentinal surface of the root after the composite removal using 2940 nm wavelength by using SEM and fluorescence microscopy. Also, the roughness of the root surface was evaluated with the same methods in comparison with the same procedure performed with the dental drill.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Sample Preparation

For this scientific work, a total of 14 premolar teeth were removed because of orthodontic reasons. They were cleaned from the blood and debris, and rinsed with 0.9% saline solution and frozen in  $-20^\circ\text{C}$ . Then they were unfrozen and randomized to one of the study groups. The section material used in the procedures was acquired from the Dental Surgery Department of Wroclaw Medical University.

All the procedures were carried out in accordance with appropriate guidelines and regulations of the Republic of Poland as well as in accordance with the Declaration of Helsinki. The premolar teeth used in the present study were obtained with the consent of the owners and according to all ethical guidelines and requirements applicable in such cases. The experiment in this study was approved by the Ethics Committee of the Wroclaw Medical University (No. KB-132/2019).

### 2.2. Composite Restoration Procedure

The rectangular shape cavities with 3 mm in width and 1.5 mm in height were prepared with a 0.8 mm high-speed, contra-angle bur on the buccal surface of teeth just below the cemento-enamel junction (CEJ). Etching of the cavity's surface was performed within 15 s. OptiBond Solo Plus (Kerr, Italy) was used as a bonding agent, and curing time was 40 s. Then, cavity was filled with the composite material (Filtek Ultimate A3D, 3M, St. Paul, MN, USA) (see Figure 2). The depth of the cavities was up to 0.4 mm (half of the bur diameter).





**Figure 2.** The image of a model preparation of the root surface in the cervical region.

### 2.3. Composite Removal Techniques

#### 2.3.1. G1 Group (Er: YAG laser)

The study group ( $n = 7$ ) of composite filling materials was irradiated using the Er: YAG laser (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenia) with a wavelength of 2940 nm at a power of 3.4 W, energy 170 mJ, frequency 20 Hz, pulse duration 300  $\mu$ s, tip diameter 0.8 mm, air/fluid cooling 3 mL/s, and time of irradiation: 6 sec, at a distance of 2 mm from the tooth surface with an “S” shape movement (motion technique). Removal of the composites was performed accordingly to our previously described technique for orthodontics ceramic brackets debonding [37]. Additionally, filling material from the surrounding walls of the cavity was removed.

#### 2.3.2. G2 Group (Dental Bur)

The control group ( $n = 7$ ) of composite filling materials was treated with the use of a dental bur. The composite material was removed with a high-speed coarse diamond bur (MLX 534, no. 801, ISO 023, 150  $\mu$ m, Poldent, Warsaw, Poland) using a dental turbine and a water cooling. The remaining composite material was removed with low-speed fine diamond bur (F 514, no. 801, ISO 023, 45  $\mu$ m, Poldent, Warsaw, Poland) using micromotor and water cooling. The whole composite material was removed during the procedure in both groups. Moreover, it was carried out by the same, experienced operator.

### 2.4. Fluorescence Microscope Analysis

The test material after fixation was analyzed directly in a Nikon Eclipse 80i fluorescence microscope (Nikon, Tokyo, Japan) using a UV-2A filter (EX-330–380 nm, DM-400 nm, BF-420 nm) (Nikon, Tokyo, Japan). The magnification during an examination was 40 $\times$ .

### 2.5. Scanning Electron Microscopy

The collection of the teeth from both groups (laser and drill) were fixed in 2.5% glutaraldehyde using 7.4 phosphate buffer. Subsequently, the samples were rinsed in a phosphate buffer and then dehydrated in an acetone series (from 50–100%). The teeth were dried, mounted on the stubs and sputter-coated with graphite. Material testing was analyzed in a SEM Evo LS 15 (Zeiss, Oberkochen,

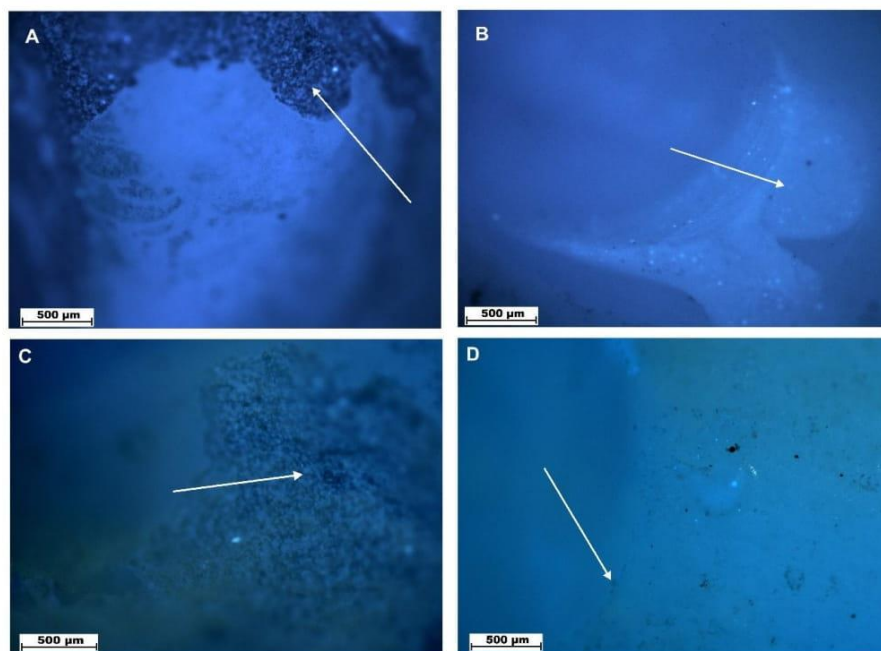
Germany). SEM settings during the examination of a surface modified by drill were as follows: WD 5.3 or 5.4 mm, 5.00 kV, spot 4.0, magnification 500× or 5000×, and 5.00 keV.

### 3. Results

The completion of the restoration removal in the both groups was verified by means of the SEM and fluorescence microscope inspection. The control group examination with the use of the fluorescence microscope and the scanning electron microscopy (SEM) showed an unstable arrangement of the fibers with a smear layer and residual composite material of the bottom of the cavity, while the study group analyzed with the use of the Er: YAG laser showed regular bottom surface of the cavity without composite residues and smear layer. The fluorescence microscope and SEM images showed the overall results related to the whole cavity surface. Similar dentin surface characteristics were also found in other samples of the studied groups (laser—G1 and drill—G2).

#### 3.1. Teeth Surface in a Fluorescence Microscope

Figure 3 has shown the visible differences in the surface of teeth after the laser (Figure 3A,C) and a drill treatment in the wall of prepared cavity (Figure 3B,D). A—The visible surface does not contain any residues of the filling material, while the dentin collagen fibers undergo a slight material melting, which makes the surface rough (arrow). B—residues of the filling material visible (arrow). C and D—bottom of the cavity. C—visible rough surface of the cavity bottom (arrow) that does not contain any residues after the treatment. D—visible small residues after the mechanical action (arrow), magnitude 40×. The similar image can be observed on all surfaces related to the prepared cavity.

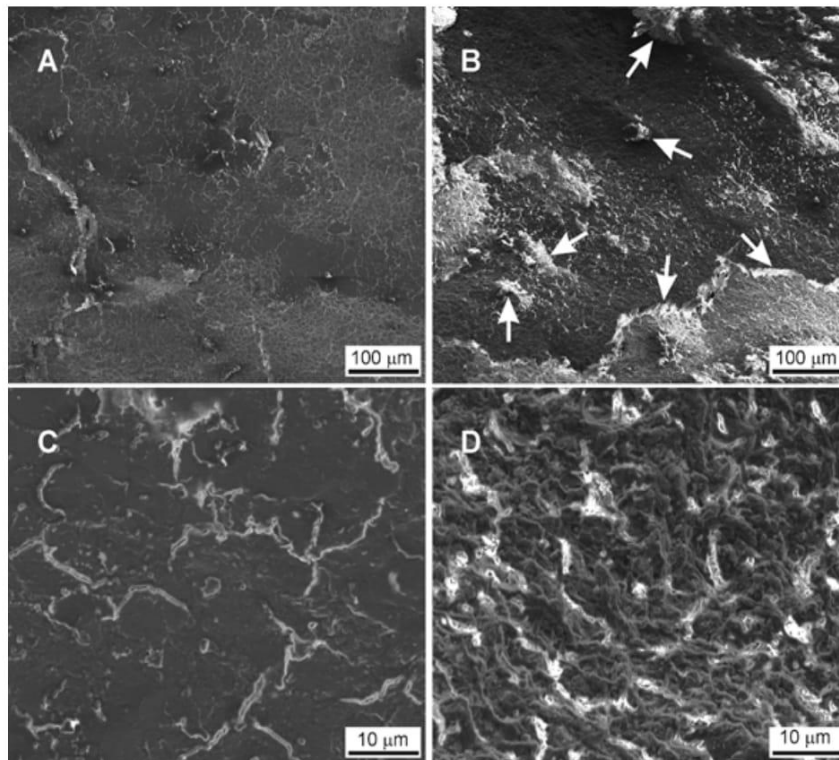


**Figure 3.** Surfaces of teeth after laser (A,C) and drill treatment (B,D) examined by fluorescence microscope, magnification 40×.

#### 3.2. Teeth Surface Analysis in a SEM Microscope

In Figure 4, the bottom of prepared cavity has been shown. In the pictures on the left are presented the results of the preparation with the use of the drill (Figure 4A,C) and on the right with the use of the laser (Figure 4B,D). The effect of mechanical action on dentin is visible. The dentine collagen fibres are partially detached from the matrix and form numerous loose remains lying on the surface

of the bottom of the prepared cavity. The arrangement of the fibres is unstable, which results in the foundation for new collagen fibres growing in the cavity. In addition, there are numerous small pieces of a composite material in the cavity (white arrow). In the case of a laser, the ends of collagen fibres are partially melted, creating a homogeneous, rough surface, a similar image can be observed on all the surfaces of the cavity prepared.



**Figure 4.** Analysis of tooth surface after laser (A,C) and drill (B,D) preparation.

#### 4. Discussion

The success of the composite removal from the root surface in the cervical region of the tooth could be a complex problem, especially in case of the patients with the gingival recessions. The main aim of the study was to assess the changes in the dentinal surface of the root after the composite removal using the Er: YAG laser and/or a dental bur with the help of SEM and fluorescence microscopies. Both analyses showed an unstable arrangement of the fibers with a smear layer and residual composite material on the bottom of the cavity in the control group (dental bur). Moreover, the study group with the Er: YAG laser showed the regular bottom surface of the cavity without a composite debris and a smear layer. However, it has been found that denatured/melted collagen fiber ends the partially closed dentinal tubules. Surfaces treated by the lasers appear rough and free from harmful residues, lipopolysaccharides that may interfere with the adhesion of connective tissue cells that might be useful for root conditioning in periodontal therapy [15,38].

The evaluation of root dentin surface after the composite material removal by a dental bur on a high-speed contra-angle handpiece showed a residual composite resin with the formation of a thick hybrid layer. The appearance and the dimension of the resin tags observed in our present study are similar to other findings [39,40]. The use of a diamond dental bur evoked a presence of a smear layer that penetrated the dentinal tubules up to around 5 micrometers, which formed smear plugs. The crucial procedure before the tooth restoration or recession coverage procedure is to remove the smear layer in order to open dentinal tubules and establish a highly adhesive structure of the tooth surface [41]. This

procedure forces the clinicians to use a phosphoric acid EDTA (EthyleneDiamineTetraacetic Acid) to open the dentinal tubules that can irritate the pulp [42,43].

The Erbium-doped yttrium aluminum garnet (Er: YAG) laser is an effective tool that can be used not only for the cavity preparation [44,45], but also for composite filling removal due to its selectivity and effectivity [46,47]—the effect of the Er: YAG laser.

YAG laser on composite filling and the dentin lying underneath is crucial. The pattern of a dentin surface after the laser application is strictly related to the amount of water component in different parts of the root dentin [37,48,49]. The 2940 nm wavelength is characterized by the highest absorption coefficient (absorption peak) in water [50]. This feature influences a variable speed of dental root vaporization in a specific part of the dentin. The intertubular dentin has a more considerable amount of water than the peritubular zone [51]. This causes a faster ablation of the intertubular dentin and increases the roughness of its surface after the Er: YAG laser application [48,49].

A disadvantage of the Er: YAG laser ablation is an increase in the temperature which can melt or carbonize the dentin. In our present study, the melting of the dentin was insignificant, however, we found a slight fusion of the ends of collagen fibers. That process caused a partial blockage of dentin canals that can disturb the adhesion of filling materials or interrupt the formation of new clinical attachment after the periodontal recession coverage [52,53]. In order to solve this problem as well as to open dentinal tubules as well as to increase its adhesion, the application of sodium subchloride was recommended by many authors [53–55]. Furthermore, any residues left in the cavity will result in inefficient adhesion [29] of gingival tissue to the tooth's surface. In that case, the filling removal and the cavity preparation with the use of drill is not enough to successfully finish the treatment of patient with such recessions. Our study showed that the application of the Er: YAG laser resulted in the regular bottom surface of the cavity without the composite residues after the filling material removal. Our results were similar to the study of Almeida et al. [25] who confirmed significantly better effectiveness of the Er: YAG laser than the conventional technique for removing the composite remnants. Nevertheless, contrary to our findings, the study of Correa-Afonso et al. [46] showed that the Er: YAG laser at 250 mJ, 2–10 Hz presented a higher amounts of the remaining restorative material. The Er: YAG laser application with a scanning technique was utilized in our present research at a lower energy (170 mJ) and higher frequency (20 Hz) at a distance of 2 mm, enabling the removal of the composite restoration completely in a way which is safer for the pulp.

The safeness of the dental pulp is of supreme value during high power laser irradiation [37]. We irradiated the composite filling without contact with a water spray cooling. However, others recommended laser-assisted composite vaporization by placing the laser tip perpendicular to the material [56]. To avoid the injury of the laser tip or mirror, which may occur during perpendicular laser irradiation due to the reflection of the beam, it can be recommended to use the Er: YAG laser from a slight distance of at least 1–2 mm with minimal angulation of the laser tip [37]. Within the restrictions of this *ex vivo* study, the results suggest that it is safe to use the Er: YAG laser during the composite vaporization employing our present method described. Considering the limitations of the *in vitro* experiment additional studies to confirm the results of the research in a human model for a different tooth cavities dimension are needed.

## 5. Conclusions

This research proves the superiority of the Er: YAG laser over the drill use in case of the composite filling removal. The Er: YAG laser application showed the regular bottom surface of the cavity without composite debris and smear layer. In contrast, the use of dental bur for composite material removal showed an unstable arrangement of the fibers with a smear layer and residual composite material on the bottom of the cavity. Moreover, the preparation with the use of the dental bur resulted in the formation of an uneven cavity surface with the composite residues.

**Author Contributions:** Conceptualization, methodology, software, formal analysis, investigation, writing-original draft preparation, review and editing, supervision, project administration, funding acquisition, R.J.W. and M.D.

(Maciej Dobrzynski); data curation, investigation, resources, writing-original draft preparation, W.Z., K.W. and Z.R.; software; validation; formal analysis; investigation; resources; writing-original draft preparation, M.D. (Marzena Dominiak), P.K., J.M., J.K., K.G.-L., and M.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** Financial support of the National Science Centre in the course of realization of the Projects “Preparation and characterization of biocomposites based on nanoapatites for theranostics” (no. UMO-2015/19/B/ST5/01330) and “Preparation and modulation of spectroscopic properties of YXZO<sub>4</sub>, where X and Z - P<sup>5+</sup>, V<sup>5+</sup>, As<sup>5+</sup>, doped with “s<sup>2</sup>-like” ions and co-doped with rare earth ions” (no. UMO-2019/33/B/ST5/02247) are gratefully acknowledged.

**Acknowledgments:** The authors would like to thank K. Rola for SEM measurements.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.

## References

1. Verma, S.; Chaudhari, P.; Maheshwari, S.; Singh, R. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice. *Natl. J. Maxillofac Surg.* **2012**, *3*, 124. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Grzech-Leśniak, K.; Nowicka, J.; Pajączkowska, M.; Matys, J.; Szymonowicz, M.; Kuroпка, P.; Rybak, Z.; Dobrzyński, M.; Dominiak, M. Effects of Nd:YAG Laser Irradiation on the Growth of *Candida Albicans* and *Streptococcus Mutans*: In Vitro Study. *Lasers Med. Sci.* **2019**, *34*, 129–137. [[CrossRef](#)]
3. Coluzzi, D.J. Fundamentals of dental lasers: Science and instruments. *Dent. Clin. N. Am.* **2004**, *48*, 751–770. [[CrossRef](#)]
4. Matys, J.; Świder, K.; Flieger, R. Laser instant implant impression method: A case presentation. *Dent. Med. Probl.* **2017**, *54*, 110–116. [[CrossRef](#)]
5. Perveen, A.; Molardi, C.; Fornaini, C. Applications of laser welding in dentistry: A state-of-the-art review. *Micromachines* **2018**, *9*, 209. [[CrossRef](#)]
6. Luke, A.M.; Mathew, S.; Altawash, M.M.; Madan, B.M. Lasers: A review with their applications in oral medicine. *J. Lasers Med. Sci.* **2019**, *10*, 324–329. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Matys, J.; Grzech-Leśniak, K.; Flieger, R.; Dominiak, M. Assessment of an impact of a diode laser mode with wavelength of 980 nm on a temperature rise measured by means of k-02 thermocouple: Preliminary results. *Dent. Med. Probl.* **2016**, *53*. [[CrossRef](#)]
8. Walsh, L.J. The current status of laser applications in dentistry. *Aust. Dent. J.* **2003**, *48*, 146–155. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Martens, L.C. Laser physics and a review of laser applications in dentistry for children. *Eur. Arch. Paediatr. Dent.* **2011**, *12*, 61–67. [[CrossRef](#)]
10. Matys, J.; Hadzik, J.; Dominiak, M. Schneiderian Membrane Perforation Rate and Increase in Bone Temperature During Maxillary Sinus Floor Elevation by Means of Er. *Implant Dent.* **2017**, *26*, 238–244. [[CrossRef](#)]
11. Ozaki, M.; Baba, A.; Ishii, K.; Takagi, H.; Motokawa, W. Measurement of bone conduction characteristics for transmitted vibration sounds of tooth drilling. *Pediatr. Dent. J.* **2007**, *17*, 148–155. [[CrossRef](#)]
12. Takamori, K.; Furukawa, H.; Morikawa, Y.; Katayama, T.; Watanabe, S. Basic study on vibrations during tooth preparations caused by high-speed drilling and Er:YAG laser irradiation. *Lasers Surg. Med.* **2003**, *32*, 25–31. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Pandurić, D.G.; Bago, I.; Katanec, D.; Žabkar, J.; Miletić, I.; Anić, I. Comparison of Er:YAG Laser and Surgical Drill for Osteotomy in Oral Surgery: An Experimental Study. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2012**, *70*, 2515–2521. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Korkut, E.; Torlak, E.; Gezgin, O.; Özer, H.; Şener, Y. Antibacterial and Smear Layer Removal Efficacy of Er:YAG Laser Irradiation by Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Primary Molar Root Canals: A Preliminary Study. *Photomed. Laser Surg.* **2018**, *36*, 480–486. [[CrossRef](#)]
15. Yazici, A.R.; Baseren, M.; Gorucu, J. Clinical Comparison of Bur- and Laser-prepared Minimally Invasive Occlusal Resin Composite Restorations: Two-year Follow-up. *Oper. Dent.* **2010**, *35*, 500–507. [[CrossRef](#)]
16. Fornaini, C. Er:YAG and adhesion in conservative dentistry: Clinical overview. *Laser Ther.* **2013**, *22*, 31–35. [[CrossRef](#)]

17. Zeitouni, J.; Clough, B.; Zeitouni, S.; Saleem, M.; Al Aisami, K.; Gregory, C. The effects of the Er:YAG laser on trabecular bone micro-architecture: Comparison with conventional dental drilling by micro-computed tomographic and histological techniques. *F1000Research* **2017**, *6*, 1133. [[CrossRef](#)]
18. DenBesten, P.K.; White, J.M.; Pelino, J.E.P.; Furnish, G.; Silveira, A.; Parkins, F.M. The safety and effectiveness of an Er:YAG laser for caries removal and cavity preparation in children. *Med. Laser Appl.* **2001**, *16*, 215–222. [[CrossRef](#)]
19. Sonntag, K.D.; Klitzman, B.; Burkes, E.J.; Hoke, J.; Moshonov, J. Pulpal response to cavity preparation with the Er:YAG and Mark III free electron lasers. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* **1996**, *81*, 695–702. [[CrossRef](#)]
20. Featherstone, J.D.B.; Fried, D. Fundamental Interactions of Lasers with Dental Hard Tissues. *Med. Laser Appl.* **2001**, *16*, 181–194. [[CrossRef](#)]
21. Zach, L.; Cohen, G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* **1965**, *19*, 515–530. [[CrossRef](#)]
22. Eriksson, A.R.; Albrektsson, T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: A vital-microscopic study in the rabbit. *J. Prosthet. Dent.* **1983**, *50*, 101–107. [[CrossRef](#)]
23. Apel, C.; Meister, J.; Ioana, R.S.; Franzen, R.; Hering, P.; Gutknecht, N. The Ablation Threshold of Er:YAG and Er:YSGG Laser Radiation in Dental Enamel. *Lasers Med. Sci.* **2002**, *17*, 246–252. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Mirseifinejad, R.; Tabrizzade, M.; Davari, A.; Mehravar, F. Efficacy of Different Root Canal Irrigants on Smear Layer Removal after Post Space Preparation: A Scanning Electron Microscopy Evaluation. *Iran. Endod. J.* **2017**, *12*, 185–190. [[PubMed](#)]
25. Almeida, H.C.; Vedovello Filho, M.; Vedovello, S.A.S.; Young, A.A.A.; Ramirez-Yañez, G.O. Er:YAG laser for composite removal after bracket debonding: A qualitative SEM analysis. *Int. J. Orthod. Milwaukee.* **2009**, *20*, 9–13.
26. Dumore, T.; Fried, D. Selective ablation of orthodontic composite by using sub-microsecond IR laser pulses with optical feedback. *Lasers Surg. Med.* **2000**, *27*, 103–110. [[CrossRef](#)]
27. Lizarelli, R.D.F.Z.; Moriyama, L.T.; Bagnato, V.S. Ablation of composite resins using Er:YAG laser—Comparison with enamel and dentin. *Lasers Surg. Med.* **2003**, *33*, 132–139. [[CrossRef](#)]
28. Kornblit, R.; Trapani, D.; Bossù, M.; Muller-Bolla, M.; Rocca, J.P.; Polimeni, A. The use of Erbium:YAG laser for caries removal in paediatric patients following Minimally Invasive Dentistry concepts. *Eur. J. Paediatr. Dent.* **2008**, *9*, 81–87.
29. Blomlöf, J.P.; Blomlöf, L.B.; Lindskog, S.F. Smear removal and collagen exposure after non-surgical root planing followed by etching with an EDTA gel preparation. *J. Periodontol.* **1996**, *67*, 841–845. [[CrossRef](#)]
30. Dilsiz, A.; Aydin, T.; Yavuz, M.S. Root surface biomodification with an Er:YAG laser for the treatment of gingival recession with subepithelial connective tissue grafts. *Photomed. Laser Surg.* **2010**, *28*, 511–517. [[CrossRef](#)]
31. Wang, X.; Cheng, X.; Liu, B.; Liu, X.; Yu, Q.; He, W. Effect of Laser-Activated Irrigations on Smear Layer Removal from the Root Canal Wall. *Photomed. Laser Surg.* **2017**, *35*, 688–694. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Tabrizzadeh, M.; Shareghi, A. The Effect of Preparation Size on Efficacy of Smear Layer Removal; A Scanning Electron Microscopic Study. *Iran. Endod. J.* **2015**, *10*, 169–173. [[PubMed](#)]
33. Wahbi, M.A.; Al Sharief, H.S.; Tayeb, H.; Bokhari, A. Minimally invasive use of coloured composite resin in aesthetic restoration of periodontally involved teeth: Case report. *Saudi Dent. J.* **2013**, *25*, 83–89. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Khier, S.; Hassan, K. Efficacy of composite restorative techniques in marginal sealing of extended class v cavities. *ISRN Dent.* **2011**, *2011*, 180197. [[CrossRef](#)]
35. Chiniforush, N.; Morshedi, E.; Torabi, S.; Arami, S.; Shahabi, S.; Tabatabaie, M. Assessing microleakage of composite restorations in class V cavities prepared by Er:YAG laser irradiation or diamond bur. *J. Conserv. Dent.* **2014**, *17*, 216. [[CrossRef](#)]
36. Weber, M. *Handbook of Optical Materials*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2002.
37. Grzech-Leśniak, K.; Matys, J.; Zmuda-Stawowiak, D.; Mroczka, K.; Dominiak, M.; Brugnera, A.; Gruber, R.; Romanos, G.E.; Sculean, A. Er:YAG Laser for Metal and Ceramic Bracket Debonding: An In Vitro Study on Intrapulpal Temperature, SEM, and EDS Analysis. *Photomed. Laser Surg.* **2018**, *36*, 595–600. [[CrossRef](#)]

38. Yamaguchi, H.; Kobayashi, K.; Osada, R.; Sakuraba, E.I.; Nomura, T.; Arai, T.; Nakamura, J. Effects of irradiation of an Erbium: YAG laser on root surfaces. *J. Periodontol.* **1997**, *68*, 1151–1155. [CrossRef]
39. Prati, C.; Chersoni, S.; Mongiorgi, R.; Pashley, D.H. Resin-infiltrated dentin layer formation of new bonding systems. *Oper. Dent.* **1998**, *23*, 185–194.
40. Perdigão, J.; Ramos, J.C.; Lambrechts, P. In vitro interfacial relationship between human dentin and one-bottle dental adhesives. *Dent. Mater.* **1997**, *13*, 218–227. [CrossRef]
41. Perdigão, J. Dentin bonding-Variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent. Mater.* **2010**, *26*. [CrossRef]
42. Gilpatrick, R.O.; Johnson, W.; Moore, D.; Turner, J. Pulpal response to dentin etched with 10% phosphoric acid. *Am. J. Dent.* **1996**, *9*, 125–129. [PubMed]
43. Gonçalves, L.F.; Fernandes, A.P.; Cosme-Silva, L.; Colombo, F.A.; Martins, N.S.; Oliveira, T.M.; Araujo, T.H.; Sakai, V.T. Effect of EDTA on TGF- $\beta$ 1 released from the dentin matrix and its influence on dental pulp stem cell migration. *Braz. Oral Res.* **2016**, *30*, e131. [CrossRef] [PubMed]
44. Buyukhatipoglu, I.; Secilmis, A. The use of Erbium: Yttrium-aluminum-garnet laser in cavity preparation and surface treatment: 3-year follow-up. *Eur. J. Dent.* **2015**, *9*, 284–287. [CrossRef] [PubMed]
45. Al-Batayneh, O.B.; Seow, W.K.; Walsh, L.J. Assessment of Er:YAG laser for cavity preparation in primary and permanent teeth: A scanning electron microscopy and thermographic study. *Pediatr. Dent.* **2014**, *36*, 90–94.
46. Correa-Afonso, A.M.; Palma-Dibb, R.G.; Pécora, J.D. Composite filling removal with erbium:yttrium-aluminium-garnet laser: Morphological analyses. *Lasers Med. Sci.* **2010**, *25*, 1–7. [CrossRef]
47. Fried, W.A.; Chan, K.H.; Darling, C.L.; Fried, D. Use of a DPSS Er:YAG laser for the selective removal of composite from tooth surfaces. *Biomed. Opt. Express* **2018**, *9*, 5026. [CrossRef]
48. Bertrand, M.F.; Hessleyer, D.; Muller-Bolla, M.; Nammour, S.; Rocca, J.P. Scanning electron microscopic evaluation of resin-dentin interface after Er:YAG laser preparation. *Lasers Surg. Med.* **2004**, *35*, 51–57. [CrossRef]
49. Sasaki, L.H.; Lobo, P.D.C.; Moriyama, Y.; Watanabe, I.-S.; Villaverde, A.B.; Tanaka, C.S.-I.; Moriyama, E.H.; Brugnera, A., Jr. Tensile bond strength and SEM analysis of enamel etched with Er:YAG laser and phosphoric acid: A comparative study In vitro. *Braz. Dent. J.* **2008**, *19*, 57–61. [CrossRef]
50. Matys, J.; Flieger, R.; Dominiak, M. Assessment of Temperature Rise and Time of Alveolar Ridge Splitting by Means of Er:YAG Laser, Piezosurgery, and Surgical Saw: An Ex Vivo Study. *Biomed. Res. Int.* **2016**, *2016*, 9654975. [CrossRef]
51. Berkovitz, B.; Moxham, B.; Linden, R.; Sloan, A. Master Dentistry Volume 3 Oral Biology E-Book: Oral Anatomy, Histology. Available online: [https://books.google.pl/books?id=Slcpvee98VAC&pg=PA163&lpg=PA163&dq=The+intertubular+dentin+has+a+more+considerable+amount+of+water+than+the+peritubular+zone&source=bl&ots=MAImWtbxrN&sig=ACfU3U1AtWbWszv5wqcFGPXqBOMJi8y\\_Q&hl=en&sa=X&ved=2ahUKewiSkeW7mq7oAhUFpIsKHYDBDZsQ6AEwCXoECAYQAQ#v=onepage&q=Theintertubulardentinhasa~moreconsiderableamountofwaterthanthe~peritubularzone&f=false](https://books.google.pl/books?id=Slcpvee98VAC&pg=PA163&lpg=PA163&dq=The+intertubular+dentin+has+a+more+considerable+amount+of+water+than+the+peritubular+zone&source=bl&ots=MAImWtbxrN&sig=ACfU3U1AtWbWszv5wqcFGPXqBOMJi8y_Q&hl=en&sa=X&ved=2ahUKewiSkeW7mq7oAhUFpIsKHYDBDZsQ6AEwCXoECAYQAQ#v=onepage&q=Theintertubulardentinhasa~moreconsiderableamountofwaterthanthe~peritubularzone&f=false) (accessed on 22 March 2020).
52. Dilsiz, A.; Aydin, T.; Canakci, V.; Cicek, Y. Root surface biomodification with Nd:YAG laser for the treatment of gingival recession with subepithelial connective tissue grafts. *Photomed. Laser Surg.* **2010**, *28*, 337–347. [CrossRef]
53. Bahrololoomi, Z.; Dadkhah, A.; Alemrajabi, M. The Effect of Er:YAG laser irradiation and different concentrations of sodium hypochlorite on shear bond strength of composite to primary teeth's dentin. *J. Lasers Med. Sci.* **2017**, *8*, 29–35. [CrossRef]
54. Lahmouzi, J.; Farache, M.; Umana, M.; Compere, P.; Nyssen-Behets, C.; Samir, N. Influence of sodium hypochlorite on Er:YAG Laser-irradiated dentin and its effect on the quality of adaptation of the composite restoration margins. *Photomed. Laser Surg.* **2012**, *30*, 655–662. [CrossRef]

55. Olivi, G.; Olivi, M. Lasers in Restorative Dentistry: A Practical Guide. Available online: [https://books.google.pl/books?id=h2B1CgAAQBAJ&pg=PA79&lpg=PA79&dq=sodium+hypochlorite+removal+of+melted+collagen+fiber+after+laser&source=bl&ots=wJgBeyLoDg&sig=ACfU3U1awK3pdxSzm8QMzAUqrCGbWv9t6A&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiGsd3jm67oAhUj\\_SoKHxVqDisQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=sodiumhypochloriteremovalofmeltedcollagenfiberafterlaser&f=false](https://books.google.pl/books?id=h2B1CgAAQBAJ&pg=PA79&lpg=PA79&dq=sodium+hypochlorite+removal+of+melted+collagen+fiber+after+laser&source=bl&ots=wJgBeyLoDg&sig=ACfU3U1awK3pdxSzm8QMzAUqrCGbWv9t6A&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiGsd3jm67oAhUj_SoKHxVqDisQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=sodiumhypochloriteremovalofmeltedcollagenfiberafterlaser&f=false) (accessed on 22 March 2020).
56. Oskoe, P.A.; Oskoe, S.S.; Rikhtegaran, S.; Pournaghi-Azar, F.; Gholizadeh, S.; Aleyasin, Y.; Kasraei, S. Effect of various laser surface treatments on repair shear bond strength of aged silorane-based composite. *J. Lasers Med. Sci.* **2017**, *8*, 186–190. [CrossRef]



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### **III ZAŁĄCZNIKI**

1. Informacja o indywidualnym wkładzie współautorów
2. Opinia komisji bioetycznej
3. Wykaz publikacji autora

## 1. Informacja o indywidualnym wkładzie współautorów

Wrocław, 20.04.2022

### OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Anna Nikodem<sup>2</sup>, Karolina Burzyńska<sup>2</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>3</sup> **The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study. *Materials* 2021, 14, 2093.**  
<https://doi.org/10.3390/ma14092093>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, C, F

Anna Nikodem – B, C, D

Karolina Burzyńska – B, C

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – B, F

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

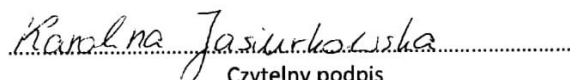
B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

  
Czytelny podpis  
(panieńskie nazwisko: Burzyńska)

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Anna Nikodem<sup>2</sup>, Karolina Burzyńska<sup>2</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>3</sup> **The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study. *Materials* 2021, 14, 2093.**  
<https://doi.org/10.3390/ma14092093>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, C, F

Anna Nikodem – B, C, D

Karolina Burzyńska – B, C

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – B, F

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

  
Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Anna Nikodem<sup>2</sup>, Karolina Burzyńska<sup>2</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>3</sup> **The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study.** *Materials* 2021, 14, 2093.  
<https://doi.org/10.3390/ma14092093>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, C, F

Anna Nikodem – B, C, D

Karolina Burzyńska – B, C

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – B, F

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

  
Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Anna Nikodem<sup>2</sup>, Karolina Burzyńska<sup>2</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>3</sup> **The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study.** *Materials* 2021, 14, 2093.  
<https://doi.org/10.3390/ma14092093>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, C, F

Anna Nikodem – B, C, D

Karolina Burzyńska – B, C

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – B, F

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

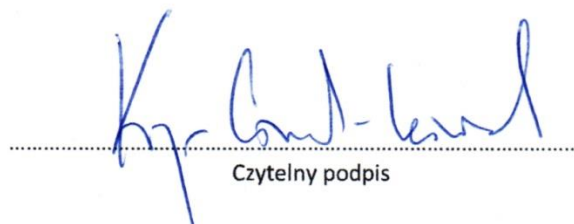
B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny



Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Anna Nikodem<sup>2</sup>, Karolina Burzyńska<sup>2</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>3</sup> **The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study.** *Materials* 2021, 14, 2093.  
<https://doi.org/10.3390/ma14092093>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, C, F

Anna Nikodem – B, C, D

Karolina Burzyńska – B, C

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – B, F

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

.....  
  
Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Anna Nikodem<sup>2</sup>, Karolina Burzyńska<sup>2</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>3</sup> **The Effect of Er:YAG Laser on a Shear Bond Strength Value of Orthodontic Brackets to Enamel—A Preliminary Study.** *Materials* 2021, 14, 2093.  
<https://doi.org/10.3390/ma14092093>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, C, F

Anna Nikodem – B, C, D

Karolina Burzyńska – B, C

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – B, F

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny



.....  
Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Małecka<sup>2</sup> Piotr Kuroпка<sup>3</sup>  
Rafał J. Wigłusz<sup>2</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425  
Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422  
Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375  
Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu,  
ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Małecka – B, C

Piotr Kuroпка – B, C, D

Rafał J. Wigłusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy


B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

  
Czytelny podpis



Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Małecka<sup>2</sup> Piotr Kuroпка<sup>3</sup>  
Rafał J. Wigłusz<sup>2</sup> Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425  
Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422  
Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375  
Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu,  
ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Małecka – B, C

Piotr Kuroпка – B, C, D

Rafał J. Wigłusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

  
Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Małecka<sup>2</sup> Piotr Kuroпка<sup>3</sup>  
Rafał J. Wigłusz<sup>2</sup> Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Małecka – B, C

Piotr Kuroпка – B, C, D

Rafał J. Wigłusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

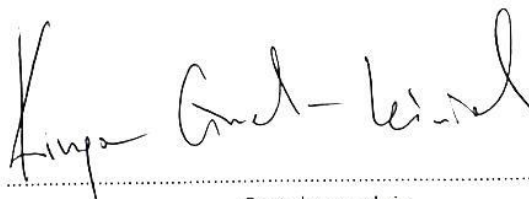
B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny



Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Małecka<sup>2</sup> Piotr Kuroпка<sup>3</sup>  
Rafał J. Wiglusz<sup>2</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Małecka – B, C

Piotr Kuroпка – B, C, D

Rafał J. Wiglusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

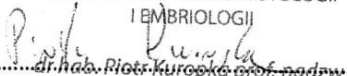
C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

KIEROWNIK ZAKŁADU HISTOLOGII  
I EMBRIOLOGII

  
.....  
dr. hab. Piotr Kuroпка, prof. nadzw.

Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Matecka<sup>2</sup> Piotr Kuropka<sup>3</sup>  
Rafał J. Wiglusz<sup>2</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Matecka – B, C

Piotr Kuropka – B, C, D

Rafał J. Wiglusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny



Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Małecka<sup>2</sup> Piotr Kuropka<sup>3</sup>  
Rafał J. Wiglusz<sup>2</sup> Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Małecka – B, C

Piotr Kuropka – B, C, D

Rafał J. Wiglusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

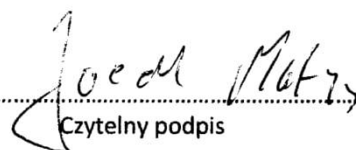
B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

  
Czytelny podpis

Wrocław, 20.04.2022

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Jan Kiryk<sup>1</sup>, Jacek Matys<sup>1</sup>, Kinga Grzech-Leśniak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>1</sup>, Małgorzata Małecka<sup>2</sup> Piotr Kuropka<sup>3</sup>  
Rafał J. Wiglusz<sup>2</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>4</sup> **SEM Evaluation of Tooth Surface after a Composite Filling Removal  
Using Er:YAG Laser, Drills with and without Curettes, and Optional EDTA or NaOCl Conditioning.**  
*Materials* 2021, 14, 4469. <https://doi.org/10.3390/ma14164469>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

Jan Kiryk – A, B, C, D

Jacek Matys – A, D, F

Kinga Grzech-Leśniak – C, E

Marzena Dominiak – E, F

Małgorzata Małecka – B, C

Piotr Kuropka – B, C, D

Rafał J. Wiglusz – C, E

Maciej Dobrzyński – A, C, E

A – plan badawczy

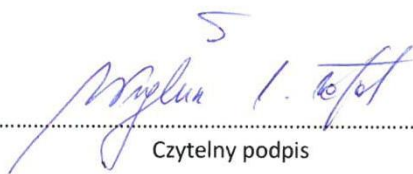
B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – napisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny



.....  
Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuropka<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Malecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wigłusz<sup>6</sup> Rafal J. Wigłusz<sup>5</sup> **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>**

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuropka – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Malecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wigłusz – C, E, G, H

Rafal J. Wigłusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

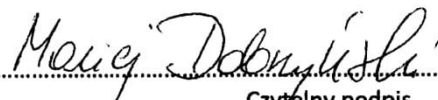
H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków

  
Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuropka<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Malecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wiglusz<sup>6</sup>, Rafal J. Wiglusz<sup>5</sup>. **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study.** *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuropka – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Malecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wiglusz – C, E, G, H

Rafal J. Wiglusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków



Czytelny podpis



OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuropka<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Małecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wigłusz<sup>6</sup>, Rafal J. Wigłusz<sup>5</sup>. **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study.** *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H  
Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L  
Piotr Kuropka – A, C, D, H, I, J, K  
Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K  
Małgorzata Małecka – A, C, D, H, I, J, K  
Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K  
Zbigniew Rybak – C, E, G, H  
Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K  
Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K  
Katarzyna Wigłusz – C, E, G, H  
Rafal J. Wigłusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

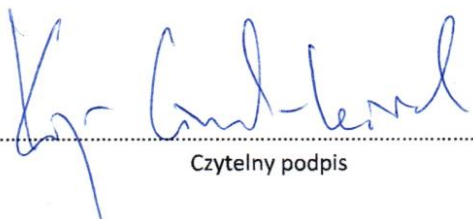
H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków



.....  
Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuropka<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Malecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wiglusz<sup>6</sup>, Rafal J. Wiglusz<sup>5</sup> **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>**

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuropka – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Malecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wiglusz – C, E, G, H

Rafal J. Wiglusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków

KIEROWNIK ZAKŁADU HISTOLOGII

I EMBRIOLOGII



dr hab. Piotr Kuropka prof. nadzw.

Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuroпка<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Malecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wiglusz<sup>6</sup> Rafal J. Wiglusz<sup>5</sup> **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study.** *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuroпка – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Malecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wiglusz – C, E, G, H

Rafal J. Wiglusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków



Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuroпка<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Malecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wiglusz<sup>6</sup>, Rafal J. Wiglusz<sup>5</sup> **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>**

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuroпка – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Malecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wiglusz – C, E, G, H

Rafal J. Wiglusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

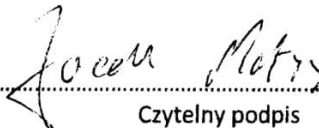
H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków

  
Czytelny podpis

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuroпка<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Malecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wiglusz<sup>6</sup> Rafal J. Wiglusz<sup>5</sup> **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study.** *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinikcznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okolna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuroпка – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Malecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wiglusz – C, E, G, H

Rafal J. Wiglusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków



Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuropka<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Małecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wigłusz<sup>6</sup> Rafal J. Wigłusz<sup>5</sup>, **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study**. *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuropka – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Małecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wigłusz – C, E, G, H

Rafal J. Wigłusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków



Czytelny podpis

## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuroпка<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Małecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wiglusz<sup>6</sup> Rafal J. Wiglusz<sup>5</sup> **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study. *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>**

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuroпка – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Małecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wiglusz – C, E, G, H

Rafal J. Wiglusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych


H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków

  
Czytelny podpis

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w poniższej pracy mój wkład stanowił zgodnie z rozdzielnikiem

Wojciech Zakrzewski<sup>1</sup>, Maciej Dobrzyński<sup>2</sup>, Piotr Kuroпка<sup>3</sup>, Jacek Matys<sup>4</sup>, Małgorzata Małecka<sup>5</sup>, Jan Kiryk<sup>4</sup>, Zbigniew Rybak<sup>1</sup>, Marzena Dominiak<sup>4</sup>, Kinga Grzech-Lesniak<sup>4</sup>, Katarzyna Wigłusz<sup>6</sup> Rafal J. Wigłusz<sup>5</sup>. **Removal of Composite Restoration from the Root Surface in the Cervical Region Using Er: YAG Laser and Drill—In Vitro Study.** *Materials* 2020, 13, 3027. <https://doi.org/10.3390/ma13133027>

<sup>1</sup>Katedra Chirurgii Eksperymentalnej i Badania Biomateriałów Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu ul. Bujwida 44, 50-345 Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Stomatologii Dziecięcej i Stomatologii Przedklinicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>3</sup>Katedra Histologii i Embriologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

<sup>4</sup>Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław

<sup>5</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Państwowa Akademia Nauk, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

<sup>6</sup>Wydział Farmaceutyczny Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Borowska 211 A, 50-566 Wrocław

Wojciech Zakrzewski – C, E, G, H

Maciej Dobrzyński – A, B, C, D, E, F, L

Piotr Kuroпка – A, C, D, H, I, J, K

Jacek Matys – A, C, D, H, I, J, K

Małgorzata Małecka – A, C, D, H, I, J, K

Jan Kiryk – A, C, D, H, I, J, K

Zbigniew Rybak – C, E, G, H

Marzena Dominiak – A, C, D, H, I, J, K

Kinga Grzech-Leśniak – A, C, D, H, I, J, K

Katarzyna Wigłusz – C, E, G, H

Rafal J. Wigłusz – A, B, C, D, E, F, L

A – plan badawczy

B – metodologia

C – przeprowadzenie badania

D – pisanie manuskryptu

E – edycja manuskryptu

F – nadzór merytoryczny

G – porządkowanie danych

H – teksty źródłowe

I – analiza formalna

J – ocena końcowa

K – oprogramowanie badawcze

L – pozyskanie środków



.....  
Czytelny podpis



## 2. Opinia Komisji Bioetycznej

KOMISJA BIOETYCZNA  
przy  
Uniwersytecie Medycznym  
we Wrocławiu  
ul. Pasteura 1; 50-367 WROCLAW

### OPINIA KOMISJI BIOETYCZNEJ Nr KB – 132/2019

Komisja Bioetyczna przy Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu, powołana zarządzeniem Rektora Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu nr 133/XV R/2017 z dnia 21 grudnia 2017 r. oraz działająca w trybie przewidzianym rozporządzeniem Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999 r. (Dz.U. nr 47, poz. 480) na podstawie ustawy o zawodzie lekarza z dnia 5 grudnia 1996 r. (Dz.U. nr 28 z 1997 r. poz. 152 z późniejszymi zmianami ) w składzie:

dr hab. Jacek Daroszewski, prof. nadzw. (endokrynologia, diabetologia)  
prof. dr hab. Krzysztof Grabowski (chirurgia)  
dr Henryk Kaczkowski (chirurgia szczękowa, chirurgia stomatologiczna)  
mgr Irena Knabel-Krzyszowska (farmacja)  
prof. dr hab. Jerzy Liebhart (choroby wewnętrzne, alergologia)  
ks. dr hab. Piotr Mrzygłód, prof. nadzw. (duchowny)  
mgr Luiza Müller (prawo)  
dr hab. Sławomir Sidorowicz (psychiatria)  
dr hab. Leszek Szenborn, prof. nadzw (pediatria, choroby zakaźne)  
Danuta Tarkowska (pielęgniarstwo)  
prof. dr hab. Anna Wiela-Hojeńska (farmakologia kliniczna)  
dr hab. Andrzej Wojnar, prof. nadzw. (histopatologia, dermatologia) przedstawiciel  
Dolnośląskiej Izby Lekarskiej)  
dr hab. Jacek Zieliński (filozofia)

pod przewodnictwem  
prof. dr hab. Jana Kornafela ( ginekologia i położnictwo, onkologia)

Przestrzegając w działalności zasad Good Clinical Practice oraz zasad Deklaracji Helsińskiej,  
po zapoznaniu się z projektem badawczym pt.

„Wpływ lasera Er:YAG na siły adhezji wybranych materiałów stomatologicznych do tkanek  
zęba”

zgłoszonym przez **lek. dent. Jana Kiryka** zatrudnionego w Katedrze i Zakładzie Chirurgii Stomatologicznej Wydziału Lekarsko-Stomatologicznego Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu oraz złożonymi wraz z wnioskiem dokumentami, w tajnym głosowaniu postanowiła wyrazić zgodę na przeprowadzenie badania w Katedrze i Zakładzie Chirurgii Stomatologicznej Wydziału Lekarsko-Stomatologicznego Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu pod nadzorem prof. dr hab. Marzeny Dominiak **pod warunkiem zachowania anonimowości uzyskanych danych.**

Uwaga: Badanie to zostało objęte ubezpieczeniem odpowiedzialności cywilnej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu z tytułu prowadzonej działalności:

Pouczenie: W ciągu 14 dni od otrzymania decyzji wnioskodawcy przysługuje prawo odwołania do Komisji Odwoławczej za pośrednictwem Komisji Bioetycznej UM we Wrocławiu

Opinia powyższa dotyczy: projektu badawczego będącego podstawą rozprawy doktorskiej

Wrocław, dnia 22 lutego 2019 r.

BW

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu  
KOMISJA BIOETYCZNA  
przewodniczący  
prof. dr hab. Jan Kornafel

### 3. Dorobek naukowy autora

#### 1. Publikacje w czasopismach naukowych

##### 1.1 Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor

Lp	Opis bibliograficzny	Rok	IF	PK
1.	<b>In vitro SEM analysis of desensitizing agents and experimental hydroxyapatite-based composition effectiveness in occluding dentin tubules.</b> [AUT. KORESP.] ŁUKASZ RAFAŁ PAŁKA, [AUT.] ZBIGNIEW RYBAK, PIOTR KUROPKA, MARIA KRYSZYNA SZYMONOWICZ, JAN KIRYK, KRZYSZTOF MARYCZ, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Adv. Clin. Exp. Med.</i> 2020 Vol.29 no.11 s.1283-1297, ryc., bibliogr. 47 poz., summ. DOI: 10.17219/acem/128197	2020	1,727	70,00
2.	<b>Removal of composite restoration from the root surface in the cervical region using Er: YAG laser and drill - in vitro study.</b> [AUT.] WOJCIECH ZAKRZEWSKI, MACIEJ DOBRZYŃSKI, PIOTR KUROPKA, JACEK MATYS, MAŁGORZATA MAŁECKA, JAN KIRYK, ZBIGNIEW RYBAK, MARZENA DOMINIAK, KINGA GRZECH-LEŚNIAK, KATARZYNA WIGLUSZ, [AUT. KORESP.] RAFAŁ J. WIGLUSZ. <i>Materials</i> 2020 Vol.13 no.13 art.3027 [11 s.], ryc., bibliogr. 56 poz., summ. DOI: 10.3390/ma13133027	2020	3,623	140,00
3.	<b>SEM evaluation of tooth surface after a composite filling removal using Er:YAG laser, drills with and without currettes, and optional EDTA or NaOCl conditioning.</b> [AUT.] JAN KIRYK, [AUT. KORESP.] JACEK MATYS, KINGA GRZECH-LEŚNIAK, [AUT.] MARZENA DOMINIAK, MAŁGORZATA MAŁECKA, PIOTR KUROPKA, RAFAŁ J. WIGLUSZ, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Materials</i> 2021 Vol.14 no.16 art.4469 [10 s.], ryc., tab., bibliogr. 47 poz., summ. DOI: 10.3390/ma14164469	2021	3,623	140,00
4.	<b>The effect of Er:YAG laser on a shear bond strength value of orthodontic brackets to enamel - a preliminary study.</b> [AUT.] JAN KIRYK, [AUT. KORESP.] JACEK MATYS, [AUT.] ANNA NIKODEM, KAROLINA BURZYŃSKA, KINGA GRZECH-LEŚNIAK, MARZENA DOMINIAK, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Materials</i> 2021 Vol.14 no.9 art.2093 [11 s.], ryc., tab., bibliogr. 35 poz., summ. DOI: 10.3390/ma14092093	2021	3,623	140,00
			12,596	490,00

## 1.2 Publikacja w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF

Lp	Opis bibliograficzny	Rok	IF	PK
1.	<b>Zastosowanie technologii przyrostowych w medycynie rekonstrukcyjnej twarzoczaszki (The use of additive technologies in maxillofacial reconstructive medicine).</b> [AUT.] KACPER BĘBENEK, ANNA BŁASZCZYK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, KATARZYNA KOWALSKA, TOMASZ SZCZYGIELSKI, ANDRZEJ PAWLAK, PATRYCJA SZYMCZYK, MACIEJ DOBRZYŃSKI, ZBIGNIEW RYBAK. <i>Inż.Fiz.Med.</i> 2015 Vol.4 nr 6 s.341-347, ryc., bibliogr. 35 poz., streszcz., summ.	2015	0,000	4,00
2.	<b>Zastosowanie technologii CAD/CAM w stomatologii odtwórczej - przegląd piśmiennictwa (The application of CAD/CAM technology in restorative dentistry - literature review).</b> [AUT.] KACPER BĘBENEK, ANNA BŁASZCZYK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, KATARZYNA KOWALSKA, TOMASZ SZCZYGIELSKI, EMILIA MAZGAJCZYK, PATRYCJA SZYMCZYK, GRZEGORZ BADORA, EWELINA BRYŁA, MACIEJ DOBRZYŃSKI, ZBIGNIEW RYBAK. <i>Inż.Fiz.Med.</i> 2016 Vol.5 nr 2 s.99-104, ryc., bibliogr. 32 poz., streszcz., summ.	2016	0,000	4,00
3.	<b>Analiza wybranych parametrów żuchwy u płodów bliźniaczych (The analysis of mandible parameters in twin fetuses).</b> [AUT.] JAN KIRYK, KATARZYNA KOWALSKA, KACPER BĘBENEK, TOMASZ SZCZYGIELSKI, KATARZYNA STASZAK, WIESŁAW KURLEJ. <i>Twój Przegl.Stomatol.</i> 2017 nr 4 s.71-77, ryc., tab., bibliogr. 14 poz., streszcz., summ.	2017	0,000	3,00
4.	<b>Helicobacter pylori w biofilmie nazębnym - przegląd piśmiennictwa (Helicobacter pylori in dental biofilm - a review of the literature).</b> [AUT.] KACPER BĘBENEK, ANNA BŁASZCZYK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, TOMASZ SZCZYGIELSKI, MARIA SZYMONOWICZ, PIOTR KOSIOR, EWELINA BRYŁA, MACIEJ DOBRZYŃSKI, ZBIGNIEW RYBAK. <i>Gerontol.Współcz.</i> 2017 Vol.5 nr 1 s.18-22, ryc., bibliogr. 27 poz., streszcz., summ.	2017	0,000	4,00
5.	<b>Zastosowanie lasera diodowego SIROLaser Blue w stomatologii (The application of diode laser SIROLaser Blue in dentistry).</b> [AUT.] KATARZYNA DUDZIAK-MILKOWSKA, KACPER BĘBENEK, ANNA BŁASZCZYK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, KATARZYNA KOWALSKA, TOMASZ SZCZYGIELSKI, MARIA SZYMONOWICZ, ZBIGNIEW RYBAK, PIOTR KOSIOR, EWELINA BRYŁA, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Inż.Fiz.Med.</i> 2017 Vol.6 nr 2 s.115-118, ryc., bibliogr. 24 poz., streszcz.	2017	0,000	4,00

- |     |  |      |       |       |
|-----|--|------|-------|-------|
| 6.  | <b>Bite reconstruction in the aesthetic zone using one-piece bicortical screw implants.</b> [AUT.] STEFAN IHDE, ŁUKASZ PAŁKA, MACIEJ JANECZEK, PIOTR KOSIOR, JAN KIRYK, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Case Rep.Dent.</i> 2018 Vol.2018 art.4671482 [4 s.], ryc., bibliogr. 11 poz., summ, DOI: 10.1155/2018/4671482  | 2018 | 0,000 | 15,00 |
| 7.  | <b>Możliwości rekonstrukcji uzębienia przy pomocy implantów bikortykalnych - przegląd piśmiennictwa (The possibilities of dentition reconstruction with the use of bicortical implants - review of literature).</b> [AUT.] KACPER BĘBENEK, ANNA BŁASZCZYK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, KATARZYNA KOWALSKA, TOMASZ SZCZYGIELSKI, MARIA SZYMONOWICZ, ZBIGNIEW RYBAK, WŁODZIMIERZ WIĘCKIEWICZ, PIOTR KOSIOR, EWELINA BRYŁA, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Inż.Fiz.Med.</i> 2018 Vol.7 nr 2 s.121-124, bibliogr. 21 poz., | 2018 | 0,000 | 4,00  |
| 8.  | <b>Środki antyseptyczne i preparaty wspomagające higienę jamy ustnej - przegląd piśmiennictwa (Antiseptics and preparations supporting oral hygiene - a review of the literature).</b> [AUT.] KATARZYNA HERMAN, JAN KIRYK, IWONA DOBRZYŃSKA, PIOTR KOSIOR, MARCIN MIKULEWICZ, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Gerontol.Współcz.</i> 2018 Vol.6 nr 1 s.37-40, tab., bibliogr. 32 poz., streszcz.  | 2018 | 0,000 | 4,00  |
| 9.  | <b>Wykorzystanie autogennego materiału augmentacyjnego pozyskiwanego z zębów własnych pacjenta (The use of autogenous augmentation material obtained from the patient's own teeth).</b> [AUT.] KACPER BĘBENEK, JAN KIRYK, PIOTR KOSIOR, TOMASZ SZCZYGIELSKI, MARCIN MIKULEWICZ, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Inż.Fiz.Med.</i> 2018 Vol.7 nr 4 s.289-292, ryc., bibliogr. 17 poz.  | 2018 | 0,000 | 4,00  |
| 10. | <b>Zachowawcza rekonstrukcja zębów siecznych bocznych szczęki po leczeniu ortodontycznym z zastosowaniem materiału złożonego. Opis przypadku (Conservative reconstruction of the upper lateral incisors after orthodontic treatment with the use of composite material. Case report).</b> [AUT.] MIKOŁAJ SULEWSKI, AGNIESZKA WOLSKA, JAN KIRYK, PIOTR SMOŁKA, PIOTR KOSIOR, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Gerontol.Współcz.</i> 2018 Vol.6 nr 3 s.105-108, ryc., bibliogr. 10 poz., streszcz., summ.                 | 2018 | 0,000 | 4,00  |
| 11. | <b>Kliniczno-terapeutyczne aspekty próchnicy korzenia z uwzględnieniem lasera Er:YAG i ozonoterapii (Clinical and therapeutic aspects of root caries including the Er:YAG laser and ozone therapy).</b> [AUT.] AGNIESZKA WOLSKA, JAN KIRYK, JAKUB ROGULA, MIKOŁAJ SULEWSKI, ANNA HAN, RAFAŁ J. WIGLUSZ, MACIEJ DOBRZYŃSKI. <i>Inż.Fiz.Med.</i> 2019 Vol.8 nr 2 s.153-156, ryc., tab., bibliogr. 26 poz.,   | 2019 | 0,000 | 5,00  |
|     |  |      | 0,000 | 55,00 |

## 2. Monografie naukowe i skrypty

### 2.2 Autorstwo rozdziału w monografii naukowej

Lp	Opis bibliograficzny	Rok	IF	PK
1.	<b>Charakterystyka współczesnych systemów CAD/CAM wykorzystywanych w stomatologii odtwórczej - przegląd piśmiennictwa.</b> [AUT.] PIOTR KOSIOR, KACPER BĘBENEK, JAN KIRYK, MARCIN MIKULEWICZ, MACIEJ DOBRZYŃSKI. W: Zdrowie dla regionu. T.3: W trosce o zdrowie i urodę Radom 2021, Instytut Naukowo-Wydawniczy Spatium, s.60-71, bibliogr. 36 poz., streszcz, 978-83-66550-83-4.	2021	0,000	20,00

### 2.2.1 Autorstwo rozdziału w monografii pokonferencyjnej

Lp	Opis bibliograficzny	Rok	IF	PK
1.	<b>Zastosowanie technologii CAD/CAM w stomatologii odtwórczej.</b> [AUT.] KACPER BĘBENEK, TOMASZ SZCZYGIELSKI, ANNA BŁASZCZYK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, KATARZYNA KOWALSKA, EMILIA MAZGAJCZYK, PATRYCJA SZYMCZYK, GRZEGORZ BADORA, MACIEJ DOBRZYŃSKI, ZBIGNIEW RYBAK. W: III Konferencja Tech-Med "Materiały biologicznie aktywne". Świeradów Zdrój, 8-10.04.2016. Referaty plenarne Wrocław 2016, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s.7-11, bibliogr. 12 poz, 978-83-7493-900-3.	2016	0,000	0,00

## 4. Streszczenia zjazdowe

Lp	Opis bibliograficzny	Rok	IF	PK
1.	<b>Helicobacter pylori in dental biofilm.</b> [AUT.] A. BŁASZCZYK, K. BEBENEK, J[AN] KIRYK, D. KOTOWSKI, T. SZCZYGIELSKI, Z[BIGNIEW] RYBAK. W: 2nd Polish-Czech Probiotics Conference "Microbiology, immunology & allergy". Bielawa, Poland, 24-26 May 2015 Wrocław 2015, Institute of Immunology and Experimental Therapy Polish Academy of Science, s.40 poz.C.1, bibliogr. 4 poz, 978-83-928488-4-4.	2015	0,000	0,00
2.	<b>Mandibular reconstructions using 3D technologies.</b> [AUT.] KAMILA KOŁODZIEJCZYK, KATARZYNA KOWALSKA, ANNA BŁASZCZYK, KACPER BĘBENEK, JAN KIRYK, DAWID KOTOWSKI, TOMASZ SZCZYGIELSKI. <i>J.Regen.Med.</i> 2017 Vol.6 no.2 suppl. s.32, International Conference on 3D Printing Technology and Innovations. Frankfurt, Germany, July 5-6, 2017.	2017	0,000	0,00
3.	<b>Ocena mechanizmu odrywania się zamków ortodontycznych od powierzchni zębów.</b> [AUT.] KAROLINA BURZYŃSKA, ANNA NIKODEM, JAN KIRYK, JACEK MATYS, MARZENA DOMINIAK, MACIEJ DOBRZYŃSKI. W: III Ogólnopolska Konferencja Naukowa IMPLANTY 2021 "koncepcja a realia we współczesnych rozwiązaniach". On-line, 18 czerwca. Książka abstraktów Gdańsk 2021, Politechnika Gdańska, s.54 poz.5, bibliogr. 2 poz, 978-83-961981-0-5.	2021	0,000	0,00