



Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Katedra i Zakład Stomatologii Wieku Rozwojowego

41-800 Zabrze, Plac Traugutta 2

tel. +48 (32) 271-36-12; +48 (32) 37-05-231 | fax.+48 (32) 271-36-12

e-mail: swrzab@sum.edu.pl www.sum.edu.pl; www.swr.sum.edu.pl

Ocena rozprawy na stopień doktora nauk medycznych

lek. dent. Aleksandra Jaworskiego

pt. „Zastosowanie termografii podczerwieni w diagnostyce próchnicy.

Badania *in vitro*.”

Od wielu lat lekarze dentyści wykorzystują badanie wizualno-dotykowe i radiogramy do wykrywania i diagnozowania zmian próchnicowych. Ustalenie diagnozy próchnicy jest wymagającym zadaniem, którego rezultat jest w dużym stopniu zależny od wiedzy i doświadczenia lekarza dentysty. Radiografia konwencjonalna i coraz częściej wykorzystywana radiowizjografia są najbardziej znanymi metodami używanymi przez klinicystów w celu uzupełnienia badania podstawowego. Współczesna diagnostyka stomatologiczna otwiera nowe możliwości dzięki pojawieniu się nowoczesnych urządzeń, w których wykorzystuje się fluorescencję indukowaną światłem laserowym (LF), ilościową fluorescencję indukowaną światłem (QLF), transiluminację (FOTI) oraz zjawisko przewodnictwa elektrycznego (ECM). Ponieważ nieliczne są prace w piśmiennictwie światowym dotyczące wykorzystania termicznego obrazowania w stomatologii, w tym w diagnostyce próchnicy, dlatego podjęcie badań przez Doktoranta w tym zakresie uważam za słuszne i celowe.

Ocena formalna

Przedstawiona mi do oceny praca jest starannie zredagowanym manuskrypcem liczącym 132 strony. Konstrukcja pracy jest typowa dla tego rodzaju opracowań. Podział na rozdziały jest uzasadniony, uwzględnia on: *Wstęp* (12 stron), *Założenia i cel pracy* (3 strony), *Material i metody* (14 stron), *Wyniki* (47 stron), *Dyskusję* (14 stron), *Wnioski* (1 strona), *Literaturę* (7 stron), *Streszczenie* w języku polskim (3 strony) i angielskim

(2 strony), *Aneks* (21 stron) zawierający zebrane w tabelach porównania wyników badań poszczególnych próbek zębów oraz wskaźniki temperaturowe. Na początku monografii zamieszczony jest spis: 37 rycin i 37 tabel znajdujących się w tekście zasadniczym pracy oraz 12 rycin i 28 tabel zawartych w *Aneksie*.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. n. med. Urszula Kaczmarek.

Ocena merytoryczna

We Wstępie podzielonym na podrozdziały Autor krótko charakteryzuje chorobę próchnicową z podkreśleniem jej początkowego stadium (plamy próchnicowej), w dalszej części omawia metody diagnostyki próchnicy – standardowe: wizualno-dotykową i radiologiczną oraz oparte na zaawansowanej technologii: radiologiczną – cyfrową radiografię subtrakcyjną (*Digital Subtraction Radiography*, DSR), tomografię komputerową (*Computed Tomography* CT i CBCT), inne – oparte na zjawiskach optycznych: metodę transiluminacji z zastosowaniem włókien optycznych (*Fiber Optic Transillumination*, FOTI i DI-FOTI), stosowaną w warunkach klinicznych (urządzenie DiagnoCam[®]) oraz szereg innych niemających jeszcze zastosowania w praktyce klinicznej. Opisuje metody wykorzystujące zjawiska fluorescencji, jak metoda pomiaru ilościowej wzbudzonej fluorescencji (*Quantitative Light Induced Fluorescence*, QLF: urządzenia *Inspektor ProQLF[®]*, *Diagnodent[®]*, *Diagnodent Pen[®]*, *VistaCam ix Proof[®]*) oraz metody oparte na prądzie elektrycznym – zmiennym o stałej częstotliwości (np. *Electronic Caries Monitor*, ECM mierzący całkowitą oporność zęba) i zmiennym o zmiennej częstotliwości (urządzenie CarieScan i jego odmiany mierzące impedancję spektroskopową). Wspomina też o metodzie ultradźwiękowej, która jednak okazała się zawodna, jak chodzi o wykrywanie początkowych stadiów próchnicy. Prezentuje też metodę fototermicznej radiometrii i luminescencji wykorzystanej w urządzeniu *Canary System[®]*, mierzącym poziom luminescencji i ciepła wydzielanego przez tkanki zęba. W końcowej części *Wstępu* Doktorant przedstawia możliwości wykorzystania kamery termowizyjnej w medycynie, a szczególnie w stomatologii.

Na podstawie własnego doświadczenia klinicznego w diagnozowaniu choroby próchnicowej, szczególnie jej wczesnego stadium, oraz przeglądu aktualnego piśmiennictwa Doktorant prawidłowo wyznaczył główny cel swych badań, którym była ocena w warunkach *in vitro* możliwości wykorzystania obrazowania termicznego tkanek

zęba w diagnozowaniu wczesnych (bezubytkowych) zmian próchnicowych w porównaniu z aktualnie stosowanymi w praktyce klinicznej metodami.

Aby osiągnąć zamierzony cel główny Autor wyznaczył 7 celów szczegółowych prowadzących do ustalenia warunków badania i określenia optymalnego parametru termograficznego w warunkach *in vitro* z możliwością adaptacji do warunków klinicznych. Próbę taką przeprowadził na sobie, jako że do tej pory metoda ta nie była testowana u pacjentów.

W eksperymencie Autor wykorzystał stałe zęby ludzkie (81), przedtrzonowe (15) i trzonowe (66) usunięte z różnych wskazań stomatologicznych. Kontrolę stanowiły zęby stałe trzonowe (10) bez próchnicy. W diagnozowaniu ognisk próchnicy na powierzchniach żujących zastosował kliniczną ocenę wizualno-dotykową wg kryteriów ICDAS II (kody 0-4), pomiar laserowej fluorescencji urządzeniem *Diagnodent Pen*[®], uzyskany wynik (0-99) interpretował wg skali Hibsta i Paulusa we własnej modyfikacji (poszczególnym przedziałom wartości wskazania urządzenia przypisał kody od 0 do 3), metodę radiowizjografii (RVG), w której do oceny obrazu zmiany próchnicowej wykorzystał kryteria ustalone przez Ekstranda (kody od 0 do 4).

Do oceny zaawansowania ognisk próchnicy w badanych zębach Doktorant eksperymentalnie zastosował termografię aktywną dynamiczną, niedestrukcyjną (*Thermal/Infrared Nondestructive Testing – T/INDT*). Zęby podgrzewane były równomiernie do temperatury 40°C przez 5 min, po czym rejestrowany był i analizowany rozkład temperatury na powierzchni żującej podczas ich stygnięcia. Wykorzystano w tym przypadku zjawisko polegające na tym, że rozkład temperatury na stygnącej powierzchni zaczyna się zmieniać w zależności od tego, czy pod powierzchnią znajduje się defekt w postaci zmiany próchnicowej o niższej dyfuzyjności cieplnej niż materiał otaczający. Powierzchnia szkliwa nad zmianą próchnicową wykazuje niższą temperaturę niż zdrowa tkanka w jej otoczeniu. Aby uzyskać jednorodne nagrzanie badanych zębów Doktorant najpierw przechowywał je w chłodziarce w temperaturze 15°C (30 min), potem w wodzie o temp. 40°C (5 min), następnie nagrzewał lampą IR (moc 250 W, odległość 12 cm, przez 5 min) do temperatury 40°C, po czym następowało swobodne schładzanie badanego obiektu w temperaturze otoczenia (22°C). Rejestracji sekwencji 180 termogramów (z częstotliwością 1 termogram/s) Doktorant dokonywał po 180 sekundach po wyłączeniu lampy IR podczas stygnięcia zębów, następnie obliczał współczynnik kontrastu cieplnego $c(t)$ według ustalonego wzoru po czasie $t = 60$ s, 120 s i 180 s (wykonano dwie serie

pomiarów w odstępie do 7 dni). Do analizy sekwencji termogramów wykorzystano oprogramowanie *Therma CAM Researcher*[®] oraz *MatLab*[®]. Na termogramach Autor wyznaczył dwa obszary (5 x 5 pikseli) o największej (ROI1 – kolor czerwony) i najmniejszej (ROI2 – kolor zielony) różnicy temperatur, ponadto obrys całej powierzchni (ROI3 – kolor niebieski) i prostokąt opisujący badaną powierzchnię zęba (ROI4). Z analizowanych regionów termogramów odczytywano temperaturę minimalną (T_{\min}), temperaturę maksymalną (T_{\max}), średnią (T_{mean}) i odchylenie standardowe (SD_T); na podstawie wartości średnich wykreślano krzywe stygnięcia.

Wyniki uzyskane z badania wizualno-dotykowego (ICDAS), urządzeniem *Diagnodent Pen*[®] i z termografii Autor odnosił do oceny histologicznej (złotego standardu) zmian uwidocznionych na przekrojach zębów (w 5-krotnym powiększeniu), których nasilenie określał w 4-stopniowej skali Ekstranda (tak jak obrazy na rtg).

W analizie statystycznej obszernych i bardzo dobrze udokumentowanych wyników badań Doktorant wykorzystał pakiet Statistica v.12 i arkusz kalkulacyjny MS Excel. Zastosowane testy statystyczne do oceny występujących różnic i zależności są właściwe.

Odnosząc się do tego rozdziału, proszę o informację, gdzie były przeprowadzone badania termograficzne zębów.

Chciałabym w tym miejscu podkreślić, że trudna metodyka badań została przedstawiona przez Doktoranta w sposób klarowny, zrozumiały, dokładny i rzetelny tak, że możliwe jest powtórzenie tego eksperymentu przez innego badacza.

Obszerne wyniki badań laboratoryjnych zostały przedstawione przez Doktoranta w odpowiednim rozdziale monografii w sposób opisowy w tabelach i na rycinach.

Spośród badanych 24 parametrów temperaturowych najwłaściwszym i powtarzalnym okazał się parametr stanowiący różnicę temperatur między obszarem zdrowej i próchnicowo zmienionej powierzchni szkliwa mierzonej po 60 sekundach od początku schładzania – wskaźnik $\Delta W-60\text{ s} = W - 60\text{ s}_{\text{ROI1}} - W - 60\text{ s}_{\text{ROI2}}$.

Autor uzyskał bardzo wysoką (najwyższą spośród wszystkich zastosowanych metod) zgodność oceny ogniska próchnicowego metodą termograficzną z oceną histologiczną zmiany na przekroju zęba (wskaźnik kappa Cohena = 0,874). Skumulowana czułość wskaźnika $\Delta W-60\text{ s}$ w wykrywaniu zmian próchnicowych była wysoka ($\alpha_{\text{sen}} = 79\%$), nieznacznie niższa była jego skumulowana swoistość ($\alpha_{\text{sp}} = 72,8\%$). Pozostałe metody diagnostyczne charakteryzowały się niższą zbieżnością wyników

w odniesieniu do oceny histologicznej, również niższą skumulowaną czułością i swoistością.

Analizując szczegółowo wyniki dotyczące porównania czułości, swoistości i pola powierzchni AUC pod krzywą ROC zastosowanych przez Autora metod diagnostycznych w rozróżnianiu pomiędzy poszczególnymi kodami określającymi zaawansowanie zmiany próchnicowej (tabele 24, 25, 26) należy zauważyć również wysoką czułość metody wizualno-dotykowej ICDAS II w diagnozowaniu próchnicy i jej stopnia zaawansowania, zatem w dalszym ciągu, mimo wprowadzanych nowoczesnych, wysoce zaawansowanych technologicznie urządzeń, badanie kliniczne i doświadczenie lekarza stanowi istotny element w rozpoznawaniu patologii (uwaga recenzenta).

W rozdziale zawierającym omówienie wyników i dyskusję Doktorant w sposób przejrzysty i świadczący o bardzo dobrej znajomości piśmiennictwa porównał swoje wyniki z rezultatami uzyskanymi przez innych autorów. W krótkim podsumowaniu dyskusji Autor przedstawia zalety i ograniczenia metody termografii w diagnostyce próchnicy oraz problemy związane z zastosowaniem jej w warunkach klinicznych w jamie ustnej. Czyni to na podstawie badania termograficznego zębów przeprowadzonego na sobie.

Wnioski w liczbie 5 zamieszczone na końcu rozprawy w pełni odpowiadają założonemu celowi głównemu i celom szczegółowym.

Piśmiennictwo w liczbie 130 pozycji jest aktualne i dobrze merytorycznie dobrane. 111 artykułów to pozycje anglojęzyczne autorów zagranicznych, zaś 19 pozycji to publikacje polskich autorów polsko- i anglojęzyczne. W tym miejscu drobna uwaga: nie wszystkie publikacje są cytowane w tekście rozprawy, zatem proszę, aby w przygotowywanej publikacji do druku to uzupełnić.

Streszczenia w języku polskim i angielskim zawierają najważniejsze elementy pracy i są spójne.

W podsumowaniu stwierdzam, że Doktorant bardzo dobrze opanował problematykę rozprawy, wykazał się bardzo dużą umiejętnością zaplanowania eksperymentu naukowego, nakreślenia celu, opracowania metodyki badania, rzetelnego jego przeprowadzenia i wyciągnięcia właściwych wniosków na podstawie uzyskanych wyników. Podjęty przez Autora problem naukowy, który samodzielnie rozwiązał, wymagał od niego poszerzenia wiedzy o zagadnienia z dziedziny inżynierii biomedycznej. Na podkreślenie zasługuje też prosty, syntetyczny i zrozumiały

dla odbiorcy język, jakim posługuje się Autor przedstawiając trudne zagadnienia z dziedziny nauk inżynierskich.

Bardzo pozytywne wyniki, które uzyskał Doktorant w warunkach in vitro powinny stanowić motywację do prowadzenia dalszych badań nad wprowadzeniem tej technologii do praktyki klinicznej w diagnozowaniu zmian próchnicowych.

Przedstawioną mi do oceny rozprawę doktorską lek. dent. Aleksandra Jaworskiego pt. „Zastosowanie termografii podczerwieni w diagnostyce próchnicy. Badania in vitro” oceniam bardzo wysoko. W mojej opinii spełnia ona wszystkie wymogi stawiane rozprawom doktorskim, dlatego też pozwalam sobie przedstawić Wysokiej Radzie Wydziału Lekarsko-Stomatologicznego Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu wniosek o dopuszczenie lek. dent. Aleksandra Jaworskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Zabrze, dnia 15.09.2017 r.

Kierownik Katedry i Zakładu
Stomatologii Wieku Rozwojowego
Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach


Dr hab. n. med. Lidia Postek-Stefańska