

Łódź, 28.06.2019 r.

dr hab. n. med. **Konrad Małkiewicz**

Uniwersytet Medyczny w Łodzi

Zakład Ortodoncji

ul. Pomorska 251, 90-001 Łódź

tel. (42) 675 75 16

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

"Mikrostruktura i właściwości fizyczne łuków ortodontycznych w środowisku jamy ustnej"

mgr inż. Anny Zięty

Promotor: dr hab. inż. Jerzy Detyna, prof. uczelni

Drugi Promotor: prof. dr hab. n. med. Joanna Antoszevska - Smith

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Dominika Grygier, prof. uczelni

Materiały medyczne oparte na stopach metali znajdują szerokie zastosowanie podczas leczenia stomatologicznego. Służą m.in. do wykonywania uzupełnień oraz implantów protetycznych, mikroimplantów ortodontycznych oraz elementów aparatów zdejmowanych i stałych. Wspomniana grupa materiałowa jest bardzo zróżnicowana pod względem budowy chemicznej co sprawia, że wspomniane wcześniej wyroby medyczne cechują się nie tylko odmiennymi właściwościami fizycznymi, ale także wykazują różną odporność na wpływ środowiska jamy ustnej i tkanek sąsiadujących. Na ich właściwości ma także wpływ przebieg procesów produkcyjnych.

Idealny drut ortodontyczny powinien po odkształceniu generować stałą siłę o niewielkiej wartości, odpowiednią zarówno do zainicjowania jak i podtrzymania procesu modelowania tkanki kostnej, a co za tym idzie ruchu zębów. Powinien także posiadać odporną na uszkodzenia mechaniczne i chemiczne, a jednocześnie estetyczną powierzchnię, charakteryzującą się niewielkim współczynnikiem tarcia oraz być wykonany z materiału o wysokiej biokompatybilności.

Niestety, żaden z rodzajów stosowanych łuków nie spełnia wszystkich pożądanych w procesie leczenia kryteriów. Współcześnie, podczas terapii wad zgryzu cienkołukowymi

aparatami stałymi, stosowane są druty wykonane ze stopów chromowo - kobaltowych, niklowo - tytanowych, tytanowo - molibdenowych oraz stali stopowej. Ich zadaniem jest nie tylko generowanie sił ortodontycznych, ale również stanowią one swoisty "tor" po którym poruszają się zęby w toku leczenia. Łuk ortodontyczny wchodzi w interakcję z pozostałymi elementami aparatu do których należą zamki, ligatury, pierścienie, sprężyny czy mocowane na nim zaczepy. Jednocześnie narażony jest na stałe oddziaływanie środowiska jamy ustnej, cechującego się występowaniem szerokich zakresów temperatur i pH, aktywnością enzymów śliny, a także obecnością mikroorganizmów i produktów płytki nazębnej zalegającej na powierzchniach zębów i materiałów stomatologicznych. Właściwości powierzchni drutów ortodontycznych mają znaczący wpływ na wielkość siły tarcia, działającej między łukiem, ligaturą i zamkiem, wpływającej na skuteczność leczenia ortodontycznego (szczególnie podczas zamykania szpar w uzębieniu). Jednocześnie skład chemiczny stopu, jego struktura wewnętrzna oraz właściwości i odporność warstwy powierzchniowej wpływają na podatność materiału na degradację oraz wynikającą z niej dynamikę uwalniania do środowiska zewnętrznego potencjalnie szkodliwych biologicznie jonów metali.

Mimo, że ilości pierwiastków metalicznych uwalnianych z materiałów stomatologicznych wydają się niewystarczające do wywołania u pacjentów objawów ostrego zatrucia, przedłużająca się ekspozycja może skutkować indukcją patologicznych procesów zarówno na poziomie miejscowym, jak i ogólnoustrojowym. Szczególnie niebezpieczna wydaje się ekspozycja na jony chromu i niklu, których działanie cytotoksyczne, mutagenne i alergizujące zostało potwierdzone wynikami badań publikowanych w dostępnym piśmiennictwie.

W chwili obecnej nie ma materiału pozwalającego wykonać drut ortodontyczny spełniający wszystkie kryteria stawiane przed „łukiem idealnym”. W toku leczenia aparatami stałymi stosowane są druty wykonane z różnych stopów metali, cechujące się odmiennymi właściwościami fizycznymi oraz odpornością na czynniki fizykochemiczne. Jednocześnie trwają prace nad wykorzystaniem do ich produkcji materiałów opartych na polimerach. Niestety łuki z tworzyw sztucznych wprowadzone do tej pory na rynek są zwykle niezbyt podatne na odkształcenia i łatwo ulegają uszkodzeniu, stąd nie są powszechnie stosowane w praktyce klinicznej.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi opracowanie z dyscypliny inżynierii mechanicznej i posiada układ redakcyjny charakterystyczny dla tego typu dysertacji. Składa się z 5 części zajmujących objętość 214 stron oraz 3 aneksów i spisu piśmiennictwa. W opinii recenzenta uzupełnienie rozprawy o spisy tabel i rycin znacznie ułatwiłoby odbiór pracy.

W spisie treści brakuje ponadto odniesienia do streszczenia oraz indeksu skrótów używanych w tekście.

Piśmiennictwo cytowane w pracy jest w większości trafnie dobrane i aktualne, większość pozycji opublikowana została w ciągu ostatnich 10 lat. W pozycji 49. brakuje informacji o tytule czasopisma i roku publikacji. Jednocześnie, w opinii recenzenta, niewłaściwe wydają się odniesienia do stron internetowych prywatnych praktyk stomatologicznych (pozycje 12. i 14.) i prezentacja zawartych na nich materiałów.

We *Wstępie* rozprawy doktorskiej oraz następującym po nim *Przeglądzie piśmiennictwa* Autorka prezentuje informacje dotyczące leczenia ortodontycznego oraz stosowanych w praktyce klinicznej aparatów ortodontycznych. Szczególną uwagę poświęca łukom ortodontycznym i materiałom, z których są wykonane. Doktorantka charakteryzuje ich właściwości oraz przedstawia wyniki badań innych autorów zajmujących się tą problematyką. Należy zwrócić uwagę, że przedstawiona przez Doktorantkę teza jakoby łuki ortodontyczne wykonane ze stopów metali były „coraz rzadziej wybierane przez pacjentów” nie jest prawdziwa. Podczas leczenia ortodontycznego w celu poprawy estetyki uzębienia pacjenta w toku terapii stosuje się m.in. druty ze stopów metali pokryte materiałami na bazie polimerów. Jednak trwałość i właściwości warstw zewnętrznych wspomnianych produktów często budzą zastrzeżenia. Opisywane zaś w piśmiennictwie łuki wykonane w całości z tworzyw sztucznych mają nadal marginalne znaczenie ze względu na niezadowalające właściwości mechaniczne. Łuk *Optiflex* firmy Ormco, który opisuje Autorka, został wycofany z oferty producenta niedługo po wprowadzeniu na rynek.

W rozdziale *Teza i cel pracy* Doktorantka przedstawiła hipotezy badawcze oraz cel przeprowadzonych badań. Informacje personalne zawarte w punkcie 4. wspomnianego rozdziału zatytułowanym **Zakres pracy** powinny zostać umieszczone w części rozprawy poświęconej podziękowaniom za pomoc w przeprowadzeniu badań.

W rozdziale *Badania własne* Autorka opisała metody badawcze oraz przedstawiła wyniki pracy własnej.

Doktorantka dokonała kompleksowej analizy właściwości łuków niklowo - tytanowych firm Adenta, Ormco i 3M Unitek. W badaniu wykorzystwała druty prostokątne o przekroju 0,016 na 0,022 cala, z których wykonała próbki materiałowe. Następnie przeprowadziła ocenę metalograficzną, mechaniczną i elektrochemiczną badanych materiałów. Należy podkreślić, że wspomniana analiza dotyczyła nie tylko nowych łuków, nie eksploatowanych w warunkach klinicznych, ale także materiałów stanowiących wcześniej element aparatu

stałego, ocenianych po usunięciu z jamy ustnej pacjenta, co niewątpliwie znacznie zwiększa wartość rozprawy.

Autorka dokonała analizy składu chemicznego badanych materiałów, określiła masę łuków dostarczonych przez producentów oraz oceniła stopień zanieczyszczeń materiałów wtrąceniami niemetalicznymi, mogącymi niekorzystnie wpływać na ich właściwości mechaniczne. Podała także obserwacji przemiany termiczne zachodzące w stopach niklowo - tytanowych oraz przeprowadziła analizę ich mikrostruktury. W zakresie badań znalazły się także ocena topografii powierzchni badanych próbek oraz ocena przebiegu procesów korozyjnych dokonana metodami elektrochemicznymi. Analizując właściwości fizyczne przedmiotowych próbek drutów niklowo - tytanowych Autorka oceniła m.in. ich wytrzymałość na rozciąganie.

Uzyskane wyniki zostały poddane analizie statystycznej na przyjętym poziomie istotności $p=0,05$.

W kolejnym rozdziale Autorka prezentuje uzyskane **wyniki badań własnych** przedstawione w postaci opisu, tabel oraz rycin, a także dokonuje ich interpretacji. Na stronie 142. Brakuje ryciny oznaczonej numerem IV – 91. W opinii recenzenta wydzielenie osobnych podrozdziałów poświęconych przedstawieniu wyników oraz przeprowadzeniu dyskusji w odniesieniu do informacji zawartych w dostępnym piśmiennictwie zwiększyłoby czytelność dysertacji.

Analiza składu chemicznego badanych łuków dostarczonych bezpośrednio przez producentów potwierdziła ich zbliżony skład pierwiastkowy, co pozwala na postawienie tezy, że różnice pomiędzy ich właściwościami fizycznymi wynikają z zastosowania przez poszczególnych producentów różnych technologii produkcji oraz obróbki wyrobów. Jednocześnie analiza materiałów zgodnie z normą ISO wykazała występowanie zanieczyszczeń produkcyjnych pierwiastkami niemetalicznymi. Spostrzeżenie to nie zostało potwierdzone w toku analizy składu pierwiastkowego z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego. Przedstawione przez Doktorantkę wyniki obserwacji struktury łuków ortodontycznych wskazują, że niezależnie od producenta materiału, charakterystyka stopów NiTi pozostaje różna w odniesieniu do części prostych i części zakrzywionych drutu, co może implikować występowanie różnic we właściwościach fizykochemicznych poszczególnych odcinków gotowego łuku ortodontycznego. Powyższe założenie znalazło odzwierciedlenie w wynikach pomiarów twardości powierzchni próbek materiałowych. Analiza właściwości wyrobów firmy Adenta wykazała relatywnie duże różnice w twardości stopu niklowo - tytanowego występujące w zależności od odcinka łuku, na którym przeprowadzono

oznaczenia. W odniesieniu do wspomnianej cechy, wyroby firm Ormco oraz 3M charakteryzowały się większą jednorodnością na całej swej długości. Dokonana przez Autorkę ocena topografii powierzchni badanych materiałów wykazała, że różnią się one chropowatością w zależności od producenta materiału oraz odcinka drutu, na którym dokonany został pomiar. Wyniki badań elektrochemicznych wskazują ponadto, że w warunkach opisanego eksperymentu badawczego wszystkie oceniane materiały ulegały procesom korozji, co może skłaniać do rozważań na temat bezpieczeństwa stosowania ich w warunkach klinicznych.

Szczególnie cenne w odniesieniu do praktyki klinicznej jest dokonane przez Autorkę porównanie właściwości niklowo - tytanowych drutów ortodontycznych dostarczonych bezpośrednio przez producenta do właściwości materiałów ocenianych po okresie eksploatacji w środowisku jamy ustnej. Ocena wyników badań próbek poszczególnych materiałów wykazała, że wyroby firmy Adenta nie zmieniały w sposób istotny swojej twardości w toku ich użytkowania jako elementu aparatu stałego, natomiast twardość łuków firm Ormco i 3M zwiększała się. Istotne różnice obserwowano także pomiędzy innymi badanymi parametrami mechanicznymi łuków nieużywanych wcześniej oraz stosowanych w toku leczenia ortodontycznego. Analiza wyników badań Doktorantki wskazuje, iż łuki ortodontyczne wykonane ze stopów niklowo - tytanowych są strukturami, których właściwości zmieniają się w czasie eksploatacji, zaś badania powinny być kontynuowane w celu określenia czy zaobserwowane zmiany charakterystyk materiałów mają istotne znaczenie w warunkach klinicznych i czy wpływają na efektywność leczenia pacjentów z wykorzystaniem stałych cienkołukowych aparatów ortodontycznych.

W rozdziale *Wnioski* Autorka formułuje odpowiedzi na przedstawiony wcześniej cel pracy w postaci sześciu wniosków o charakterze naukowym i trzech wniosków o charakterze aplikacyjnym.

W opinii recenzenta wnioski o charakterze naukowym powinny zostać przedstawione w bardziej syntetyczny sposób i nie powinny zawierać elementów charakterystycznych dla opisu wyników badań.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska będąca opracowaniem z dziedziny mechaniki, dotyczy niezwykle ciekawego problemu, jakim jest ocena właściwości oferowanych na rynku materiałów medycznych. Materiały stomatologiczne stosowane w toku leczenia ortodontycznego powinny cechować się dobrymi właściwościami użytkowymi, zapewniającymi wysoką efektywność terapii wad zgryzu i gwarantować bezpieczeństwo stosowania u pacjentów. Tematyka ta jest przedmiotem badań prowadzonych w wielu

ośrodkach naukowych. Publikowane w piśmiennictwie dane wskazują, iż mimo znaczącego postępu technologicznego obecne na rynku łuki ortodontyczne nie są wolne od wad. W zależności od rodzaju materiału, z którego zostały wykonane posiadają odmienne właściwości mechaniczne oraz mogą wywoływać w organizmie pacjenta zróżnicowane działania biologiczne.

W opinii recenzenta przedstawiona do oceny rozprawa doktorska prezentuje nie tylko kompleksową charakterystykę grupy materiałów medycznych, ale zawiera informacje skłaniające do udoskonalenia procesów produkcyjnych łuków ortodontycznych i implementacji rozwiązań technologicznych mogących poprawić ich właściwości. Jednocześnie wyniki badań pozwalają wyselekcjonować do zastosowania klinicznego materiały charakteryzujące się najbardziej pożądanymi cechami użytkowymi.

W podsumowaniu stwierdzam, że Doktorantka zrealizowała zadania postawione w celu pracy, co wymagało od niej opanowania warsztatu naukowego oraz umiejętności krytycznej analizy informacji zawartych w dostępnym piśmiennictwie.

Drobne błędy stylistyczne w żaden sposób nie umniejszają wartości merytorycznej pracy.

W związku z powyższym zwracam się z wnioskiem do Wysokiej Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr inż. Anny Zięty do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z poważaniem,

dr hab.n.med. Konrad Małkiewicz
Specjalista Ortodoncji
Specjalista Stomatologii Zachowawczej
1357000