

Wpływ „ferrule effect” na wytrzymałość zębów przednich odbudowanych wkładami koronowo-korzeniowymi kompozytowymi wzmocnionymi włóknami szklanymi

Effect ferrule on the strength of anterior teeth with FRC posts

Beata Dejak

Zakład Protetyki Stomatologicznej Katedry Stomatologii Odtwórczej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Kierownik: dr hab. B. Dejak

HASŁA INDEKSOWE:

efekt obejmy, wkłady kompozytowe wzmocnione włóknem szklanym, wytrzymałość zębów, naprężenia kontaktowe wokół wkładów, metoda elementów skończonych

KEY WORDS:

Ferrule effect, glass fiber-reinforced composite posts (FRC), strength of teeth, contact stresses in adhesive interface around posts, finite element method

Streszczenie

Wstęp. Podczas opracowania zniszczonych zębów pod wkłady koronowo-korzeniowe należy podjąć decyzję o ścięciu lub pozostawieniu struktur naddziąsłowych zębów. Objęcie tych struktur koroną protetyczną wywołuje tzw. „ferrule effect”.

Cel pracy. Celem pracy była ocena wpływu „ferrule effect” na wytrzymałość zębów przednich odbudowanych wkładami koronowo-korzeniowymi kompozytowymi wzmocnionymi włóknami szklanymi.

Materiał i metoda. Badanie przeprowadzono metodą elementów skończonych z wykorzystaniem elementów kontaktowych. Stworzono cztery trójwymiarowe modele zębów pierwszych siecznych szczęki 1- zęba nienaruszonego, 2- zęba z koroną pełnoceramiczną 3- zęba odbudowanego wkładem koronowo-korzeniowym FRC z zachowaną strukturą naddziąsłowa zębiny i „ferrule effect”, 4- zęba bez zębiny naddziąsłowej, odbudowanego koroną i wkładem FRC bez „ferrule effect”. Każdy model poddano obciążeniu sumaryczną siłą 100N rozłożoną równomiernie pod guzkiem językowym, pod kątem 130°. W badanych zębach obliczono naprężenia zredukowane według zmodyfikowanego kryterium zniszczenia von Mises (mvM) w zębinie, kompozycie rdzenia, cemencie i ceramicie korony. Dla wkładów FRC zastosowano kryterium Tsai-Wu. Maksymalne naprężenia mvM występujące w materiałach modeli porównano z wytrzymałością na rozciąganie tych materiałów.

Summary

Background. The decision of cutting or preserving cervical tissues is important during teeth preparation for posts. The supragingival structures can be clamped by a prosthetic crown that exerts the „ferrule effect”.

Aim of the study. To estimate the influence of ferrule effect on the strength of anterior teeth with FRC posts.

Material and methods. The investigation was conducted by means of finite element analysis with the application of contact elements. Four 3D models of maxillary first incisors were generated: 1) intact tooth; 2) tooth with ceramic crown; 3) tooth with the FRC post and ferruled supragingival structures; 4) tooth without “ferrule effect” restored with the FRC post. Each model was subjected to a load with a total force of 100N uniformly distributed over the lingual cusp with an angle of 130°. To evaluate the strength of tooth tissues, ceramics, core composites and cement, the modified von Mises failure criterion was used and for FRC the Tsai-Wu criterion was applied. The equivalent stresses occurring in the tested models were compared with the tensile strength of the materials. Contact stresses in the cement-tissue adhesive interface around the posts were calculated.

Results. The mvM stresses in model 4 (tooth without ferrule) were considerably higher than those in models 2 and 3 (with ferrule). These stresses in the dentin of models 2 and 3 were reduced by 10%, and in the dentin

Obliczono także naprężenia kontaktowe w połączeniu wkładów kk ze strukturami zęba.

Wyniki. W modelu 4 zęba bez „ferrule”, naprężenia mvM były znacznie wyższe od występujących w modelach 2 i 3 z pozostawioną strukturą naddziąsłową objętą koroną. Naprężenia mvM w zębinie modeli 2 i 3 uległy 10% redukcji, natomiast modelu 4 wzrosły o 25 % w porównaniu z naprężeniami w nienaruszonym zębie (model 1). Naprężenia mvM w ceramicznej koronie w zębie bez „ferrule” były wyższe o 23% niż w zębie z „ferrule”. W kompozycie rdzenia w modelu 4 naprężenia osiągnęły wartości ponad 3 krotnie wyższe niż w modelu 3, a w cemencie wokół trzonu wkładu ponad 4 krotnie. We wkładzie FRC w zębie bez „ferrule” współczynnik Tsai-Wu miał 2 krotnie większą wartość niż w modelu z „ferrule”. Naprężenia kontaktowe rozciągające wokół części korzeniowej wkładu w modelu 4 wzrosły blisko 10 krotnie, a na powierzchni nośnej 5 krotnie w stosunku do naprężeń w modelu 3.

Wnioski. Objęcie koroną naddziąsłowej pozostałej struktury zęba odbudowanego wkładem kk powoduje znaczną redukcję naprężeń powstających w zębinie, wkładzie FRC, kompozytowym rdzeniu i cemencie podczas fizjologicznych obciążeń. „Ferrule effect” zapewnia większą wytrzymałość odbudowywanym zębom. Efekt ten powoduje wielokrotne zmniejszenie naprężeń kontaktowych rozciągających na granicy wkładów ze strukturami zęba, co wpływa na poprawę szczelności wkładów FRC.

of model 4 were increased by 25% as compared with stresses in the intact tooth (model 1). The equivalent stresses in ceramic crown in tooth without ferrule were 23% higher than those in the incisor with ferrule. In the core of model 4 the stresses were 3 times higher and in the cement around the post stresses they were 4 times higher than in the core composite of model 3. The value of the Tsai-Wu index of the FRC post was 2 times higher in an unferruled tooth than that in the ferruled tooth. Contact tensile stresses around the post of model 4 increased by 10 times and on bearing area by 5 times as compared with model 3.

Conclusion. The ferrule effect in tooth restored by the FRC post reduced considerably the stresses generated in dentin, post, composite core, ceramic crown and resin luting cement during physiological loading. The ferrule effect provides higher strength of the restored teeth. This effect decreased contact stresses in the tooth-post interfaces area by several times and improved the marginal adaptation of post restoration.

Wstęp

Wkładami koronowo-korzeniowymi odbudowuje się zęby przeleczone endodontycznie, których struktury naddziąsłowe zostały znacznie zniszczone i podczas żucia mogą ulec złamaniu. Wytrzymałość zęba odbudowanego wkładem koronowo-korzeniowym zależy od materiału wkładu, długości jego części korzeniowej oraz dobrego zespolenia tego uzupełnienia z tkankami. Znaczenie dla trwałości odbudowy ma także szerokość i długość korzenia zęba (1). Wielu autorów uważa, że decydujący wpływ na odporność na złamania zębów z wkładami koronowo-korzeniowymi ma „ferrule effect”- efekt objęcia koroną protetyczną pozostałej, naddziąsłowej struktury zęba (2-8). Zachowanie naddziąsłowych tkanek objętych pierścieniem korony

powoduje zwiększenie stosunku długości części korzeniowej wkładu do części koronowej oraz zapobiega wypłukaniu cementu łączącego wkład z zębem, przez co zwiększa retencję uzupełnienia.

Z drugiej strony opracowanie struktur naddziąsłowych zęba pod koronę i wkład koronowo-korzeniowy jest bardziej skomplikowane niż ścięcie ich płaszczynowo, równo z dziąsłem. Pozostawiona, cienka naddziąsłowa zębina może ulec złamaniu i przyczynić się do nieszczelności uzupełnień. Niektóre badania nie potwierdzają pozytywnego wpływu pierścienia obejmującego na wytrzymałość zębów (9).

Celem pracy była ocena wpływu „ferrule effect” na wytrzymałość zębów przednich odbudowanych wkładami koronowo-korzeniowymi kompozytowymi wzmocnianymi włóknami szklanymi.

Material i metoda

Skanerem laserowym Dental 3D Scanner D250 (3ShapeA/S, Kopenhaga, Dania) wykonano skany powierzchni pierwszego zęba siecznego lewego szczęki. Skany przetworzono za pomocą oprogramowania 3Shape Dental Designer CAD. Zbiory z rozszerzeniem PTS, zawierające współrzędne punktów na powierzchniach badanego zęba wprowadzono do programu metody elementów skończonych ANSYS 10 (ANSYS wersja 10, ANSYS Inc., Canonsburg, Pa, USA) (10). Wykonano także CT badanego zęba aparatem GXCB-500/i-CAT (Gendex Dental Systems, Des Plaines, IL, USA). Punkty na powierzchni zęba (uzyskane ze skanera) oraz punkty na granicy szkliwa, zębiny i miazgi (uzyskane z CT), w poziomych warstwach (co 1 mm) wprowadzono do preprocesora programu. Punkty te połączono krzywymi i na ich podstawie odtworzono pola przekrojów poprzecznych zęba. Połączenie pól przekrojów poprzecznych pozwoliło na utworzenie bryły modelu zęba siecznego przyśrodkowego, podzielonego na szkliwo, zębinę i miazgę. Wielkość i kształt zęba były zgodne z danymi z atlasu anatomicznego (11). Korona miała długość 10,5 mm, szerokość medialno – dystalną 8,5 mm, a długość korzenia wynosiła 13 mm. Wokół korzenia zęba wygenerowano ozębną o grubości 0,2 mm (model 1) (ryc. 1a). Model zęba usytuowany został w układzie współrzędnych tak, że oś Z była równoległa do długiej osi zęba, oś X wskazywała mezjalną stronę, a oś Y skierowana była do przedśionkowej części zęba.

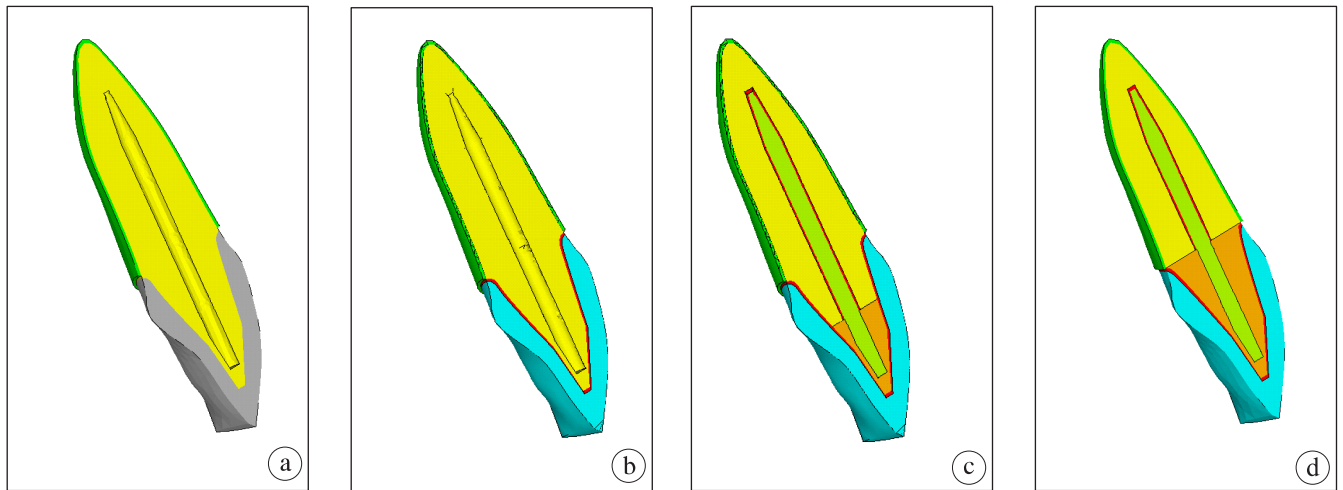
Ząb opracowano pod koronę pełnoceramiczną zgodnie z przyjętymi regułami (12). Nachylenie ścian osiowych wynosiło 10° , brzeg sieczny skrócono o 2 mm, wzdłuż girlandy dziąsłowej wytworzono stopień typu rounded shoulder o szerokości 0,8 mm. Wykonano skan opracowanej korony zęba Dental 3D Scanner D250 (3ShapeA/S, Kopenhaga, Dania). Chmurę punktów wprowadzono do programu Ansys i na ich podstawie stworzono bryłę opracowanej korony zęba. Wygenerowano dodatkowo warstwę o grubości 0,1 mm, otaczającą opracowaną koronę, która imitowała cement. Bryłę tą dodano do modelu 1. Tak powstał model zęba siecznego z koroną pełnoceramiczną (model 2) (ryc. 1b).

W preprocesorze programu Ansys stworzono

walec o wymiarach 15 mm x 1,2 mm, zakończony ściętym stożkiem. Bryłę tą wprowadzono w kanał i komorę zęba, a następnie dodano do modelu zęba. Model zęba przecięto płaszczyzną prostopadłą do długiej osi, w odległości 3 mm od szyjki zęba. W ten sposób stworzono model zęba z standardowym wkładem o długości części korzeniowej 13 mm (od pow. nośnej) z koroną protetyczną i „ferrule effect” (model 3) (ryc. 1c). Proporcja części korzeniowej wkładu do korzenia wraz ze strukturą naddziąsłową wynosiła 81%. Wokół części korzeniowej wkładu wygenerowano warstwę 0,1 mm imitującą cement.

Wykonano także model zęba pozbawionego struktur naddziąsłowych, w którym korona i część rdzeniowa wkładów FRC kończyła się na równi z dziąsłem (model 4) (ryc. 1d). W modelu 4 bez „ferrule effect”, długość wkładu koronowo-korzeniowego FRC była identyczna jak poprzednio, ale po obcięciu szyjki zęba w kanale korzenia tkwiło 10 mm wkładu. Zmieniła się proporcja wkładu do korzenia – wkład stanowił 77% długości korzenia.

Założono, że wkłady koronowo-korzeniowe były wykonane z kompozytu wzmacnianego włóknami szklanymi FRC. Część koronowa wkładu była wykonana z kompozytu Charisma (Heraeus). Korona miała właściwości ceramiki leucytowej. Wkłady i korony były adhezyjnie, idealnie zespolone ze strukturami zęba cementem kompozytowym Variolink II (Ivoclar, Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein). Wprowadzono wartości modułów sprężystości i współczynników Poissona dla szkliwa (13), zębiny (14), ozębnej (15), wkładu wzmacnianego włóknem szklanym (materiał anizotropowy -moduł Younga wzdłuż długiej osi wkładu wynosi 39 GPa -zgodnie z kierunkiem ułożenia włókien, natomiast w kierunku prostopadłym 9,5 GPa) (16), cementu kompozytowego (17), kompozytu rdzenia korony (18), ceramiki korony (19). Dane zestawiono w tabeli I. Założono, że materiały użyte w modelu były liniowo-sprężyste, homogenne, izotropowe (prócz wkładu FRC), ale miały różną wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie. Przyjęto wartości wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie dla szkliwa (11,5 MPa, 384 MPa) (20, 21), zębiny (105,5 MPa, 297 MPa) (21, 22), kompozytu wzmacnianego włóknem szklanym (73/1200 MPa, 160/1000 MPa) (23), kompozytu rdzenia korony (41 MPa, 293 MPa) (24), ceramiki (48,8 MPa,



Ryc. 1. Modele zębów siecznych przyśrodkowych szczęki; a – 1 - nienaruszony ząb, b – 2 - ząb z koroną pełnoceramiczną, c – 3 - ząb z „ferrule” z wkładem kompozytowym wzmocnionym włóknami szklanymi i koroną obejmującą strukturę naddziąsłową zęba, d – 4- ząb bez „ferrule” z wkładem kompozytowym wzmocnionym włóknami szklanymi i koroną zakończoną na poziomie dziąsła.

T a b e l a I. Mechaniczne właściwości materiałów użytych w badanych modelach

Materiał	Moduł elastyczności [GPa]	Współczynnik Poisson
Szkliwo	84,1	0,33
Zębina	18,6	0,31
Ozębna	0,05	0,45
Kompozyt wzmocniany włóknem szklanym	$E_z=37$ $E_{xy}=9,5$	$\nu_z=0,34$ $\nu_{xy}=0,27$
Ceramika leucytowa	65,0	0,19
Kompozyt	14,1	0,24
Cement kompozytowy	8,3	0,35

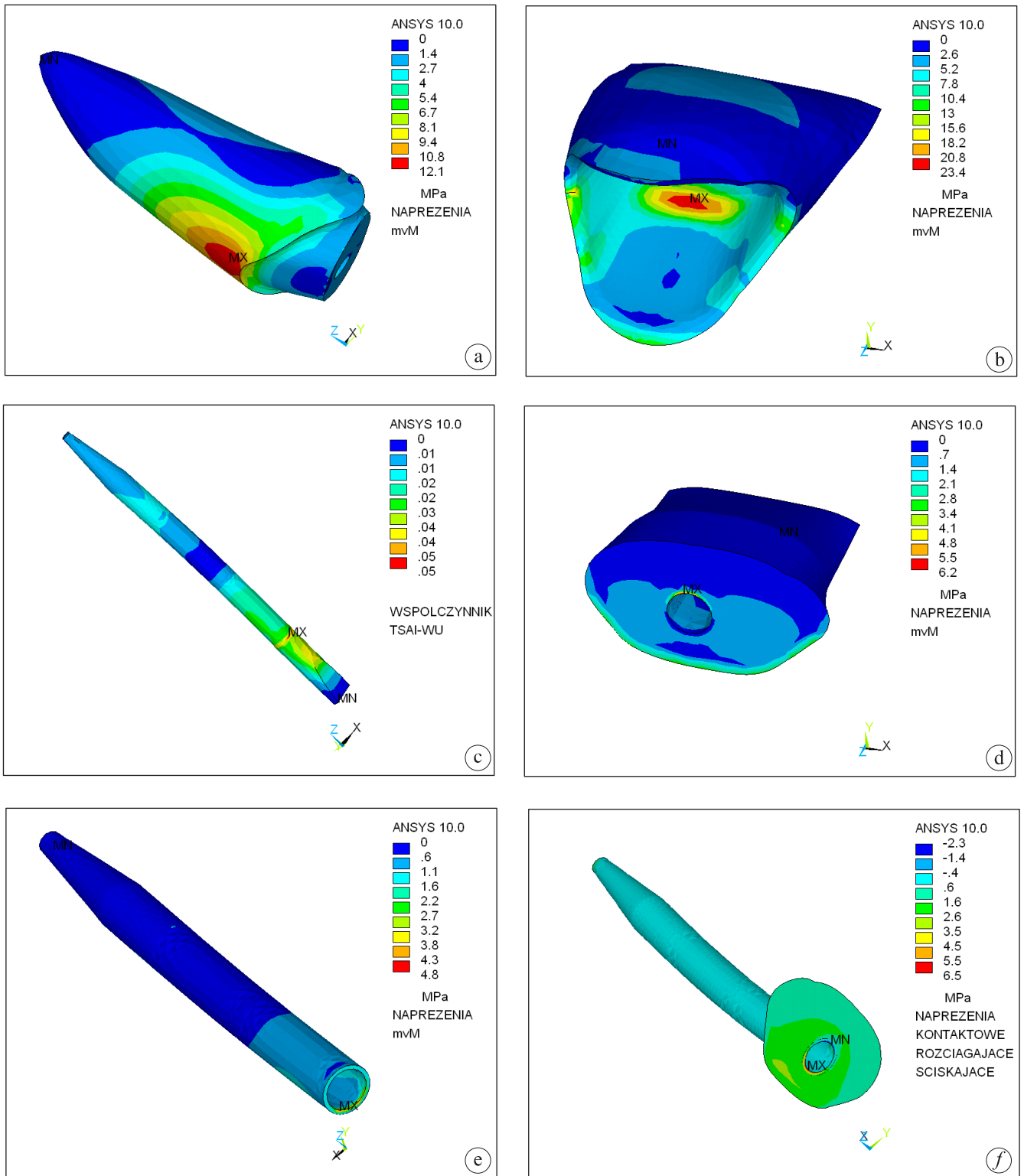
162,9 MPa) (25) oraz cementu kompozytowego (45,1 MPa, 178 MPa) (26).

W celu dokonania obliczeń każdy model zęba podzielono na 10-węzłowe strukturalne bryłowe elementy (Solid 187). W każdym modelu zębów użyto blisko 86000 elementów złączonych wokoło 12000 węzłów. W połączeniu cementu z tkankami wokół wkładów i pod koronami zastosowano pary związanych elementów kontaktowych Targe 170 i Conta 174.

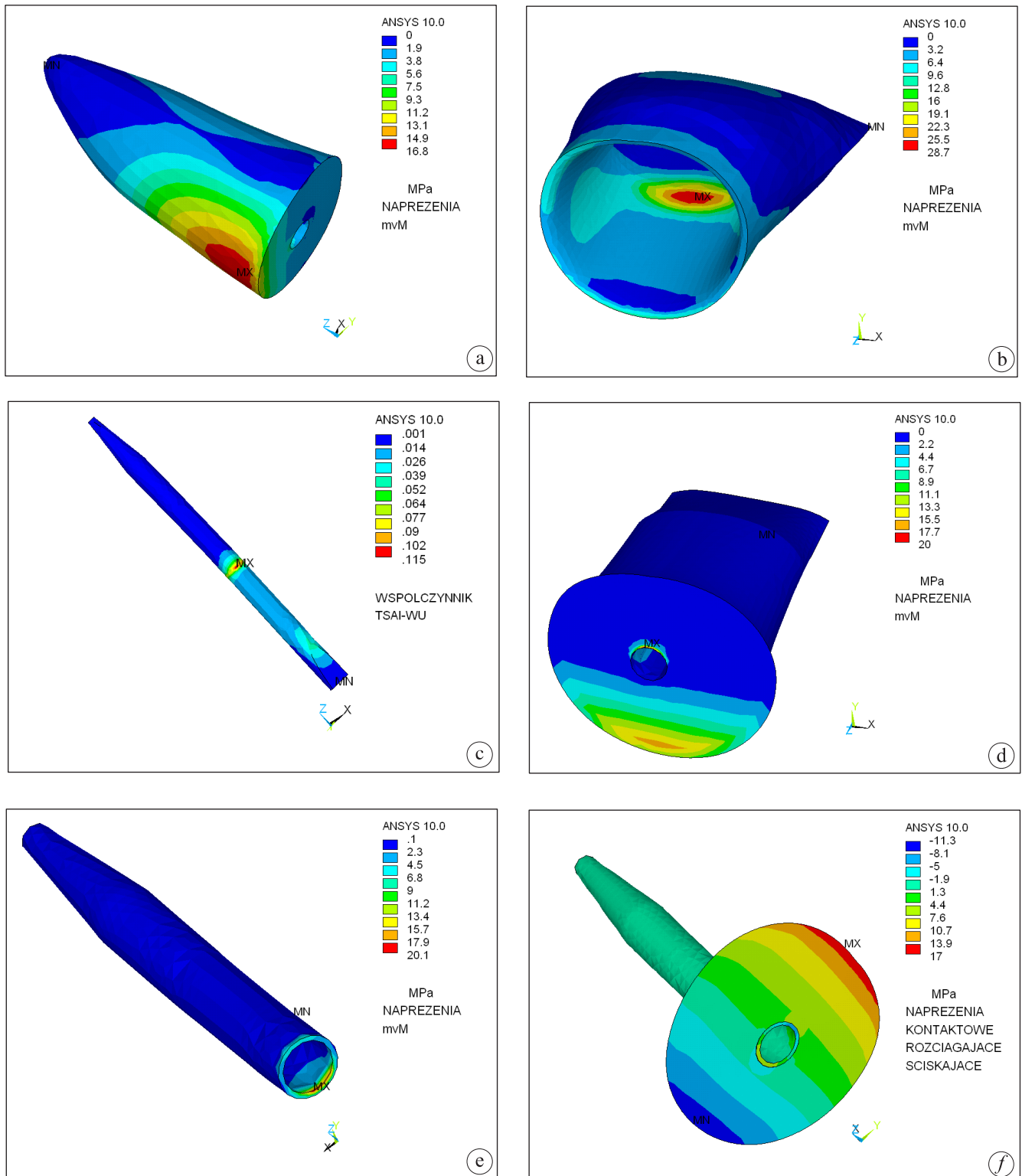
Modele zębów utwierdzono w węzłach na zewnętrznej powierzchni ozębnej i poddano obciążeniu, które symulowało siły, jakim podlegają zęby sieczne podczas zaciskania w zwarcu centralnym.

Miały one wartość sumaryczną 100 N (27) i były rozłożone równomiernie do węzłów leżących pod guzkiem językowym, w miejscu kontaktu z zębami przeciwstawnymi, pod kątem 130° do długiej osi zęba (28).

W modelach obliczono składowe naprężenia: naprężenia normalne, styczne oraz na ich podstawie wyznaczono naprężenia główne. Symulacja kontaktowa przeprowadzona metodą elementów skończonych jest analizą nieliniową, dlatego wymaga, aby obciążenie było podzielone na kroki. Tkanki zębów, kompozyty i ceramika charakteryzują się różną wytrzymałością na rozciąganie i na ściskanie. Jednym z kryteriów używanych do oceny wyężenia



Ryc. 2. Rozkład naprężeń w modelu zęba z „ferrule” i z wkładem FRC (Model 3); a – rozkład naprężeń mvM w zębinię, b – rozkład naprężeń mvM w ceramice leucytowej korony protetycznej, c – graficzny obraz współczynnika Tsai-Wu w wkładzie koronowo-korzeniowym kompozytowym wzmocnionym włóknami szlanymi, d – rozkład naprężeń mvM w kompozycie rdzenia korony, e – rozkład naprężeń mvM w cemencie kompozytowym łączącym wkład z zębinię, f – rozkład naprężeń ściskających i rozciągających w adhezyjnym połączeniu cementu z zębinię wokół trzonu i powierzchni nośnej wkładu FRC (ciemnogrnatowy kolor wskazuje maksymalne naprężenia kontaktowe rozciągające).



Ryc. 3. Rozkład naprężeń w modelu zęba bez „ferrule” i z wkładem FRC (Model 4). a – rozkład naprężeń mvM w zębinie, b – rozkład naprężeń mvM w ceramice leucytowej korony protetycznej, c – graficzny obraz współczynnika Tsai-Wu w wkładzie koronowo-korzeniowym kompozytowym wzmocnionym włóknami szlanymi, d – rozkład naprężeń mvM w kompozycie rdzenia korony, e – rozkład naprężeń mvM w cemencie kompozytowym łączącym wkład z zębiną, f – rozkład naprężeń ściskających i rozciągających w adhezyjnym połączeniu cementu z zębiną wokół trzonu i powierzchni nośnej wkładu FRC (ciemnognatowy kolor wskazuje maksymalne naprężenia kontaktowe rozciągające).

Tabela II. Naprężenia mvM w materiałach modeli zębów z pozostawioną strukturą naddziąsłową i bez niej (MPa)

Ferrule effect	Symbol modelu	Model zęba z	Maksymalne naprężenia mvM (MPa)				
			Ceramika korony	Wkład FRC	Kompozyt rdzenia	Zębina	Cement wokół wkładu
	model 1	zab	24,5	-	-	13,4	-
Z „ferrule”	model 2	koroną	24,2	-	-	12,1	-
	model 3	wkładem FRC	23,4	0,053	6,2	12,1	4,8
Bez „ferrule”	model 4	wkładem FRC	28,7	0,115	20,0	16,8	20,1

Tabela III. Naprężenia kontaktowe w modelach zębów odbudowanych wkładami FRC z pozostawioną częścią naddziąsłową objętą koroną (model 3) i bez struktury naddziąsłowej (model 4) (MPa)

Ferrule effect	Symbol modelu	Model zęba z	Maksymalne naprężenia kontaktowe (MPa)			
			Rozciągające wokół wkładu	Ścinające wokół wkładu	Rozciągające na pow. nośnej	Ścinające na pow. nośnej
Z „ferrule”	model 3	wkładem FRC	0,6	1,6	2,3	3,1
Bez „ferrule”	model 4	wkładem FRC	5,8	1,1	11,3	3,0

takich materiałów w złożonych stanach naprężeń jest zmodyfikowane kryterium von Misesa (mvM) (29). Uwzględnia ono iloraz wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie, który np. dla szkliwa wynosi 33,4, dla zębiny 2,8, dla ceramiki leucytowej 3,3, dla cementu kompozytowego 3,9. Do oceny wytrzymałości włókna szklanego, które charakteryzuje się silnymi właściwościami anizotropowymi zastosowano kryterium Tsai-Wu, stosowane do kompozytów wzmacnianych włóknami (30). Według tych kryteriów materiał ulegnie zniszczeniu, gdy wartości naprężeń zredukowanych przekroczą wartość jego wytrzymałości na rozciąganie. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci map tych naprężeń w zębieniu, szkliwie, wkładach koronowo-korzeniowych, cemencie i koronie protetycznej modeli zębów siecznych. Maksymalne wartości naprężeń zredukowanych powstałe w materiałach modeli porównano między sobą i z wytrzymałością tych materiałów na rozciąganie. Obliczono także kontaktowe naprężenia ściskające, rozciągające i ścinające występujące w połączeniu cementu z tkankami wokół wkładów oraz pod koroną.

Przedstawiono je graficznie w postaci map na powierzchniach kontaktów z tkankami.

Wyniki

Wartości maksymalnych naprężeń mvM występujących w poszczególnych materiałach modeli podczas obciążenia skośnego zostały zaprezentowane w tabeli II, największych naprężeń kontaktowych w tabeli III.

Obciążenie skośne nietkniętego zęba (model 1) wywołało w szkliwie naprężenia mvM 24,5 MPa skoncentrowane pod guzkiem podniebiennym (tab. II). W zębieniu naprężenia mvM 13,4 MPa powstały w ścianie podniebiennej korzenia. W modelach z koronami obejmującymi struktury naddziąsłowe (model 2 i 3) naprężenia mvM w zębieniu uległy 10% redukcji, natomiast w strukturach zęba bez „ferrule effect” (model 4) wzrosły o 25% (tab. II) (rys. 2a i 3a). W modelu ze ściętą szyjką zęba (model 4), naprężenia mvM były znacznie wyższe od występujących w modelach z pozostawioną strukturą naddziąsłową (model 2, 3). Natomiast

obecność lub brak wkładu koronowo-korzeniowego FRC nie wpływała znacznie na zmianę wielkości naprężeń w zębinie czy koronie protetycznej (tab. II).

W modelu 3 z „ferrule effect”, naprężenia mvM w koronie pełnoceramicznej osiągnęły wartość 23,4 MPa w miejscu obciążenia pod guzkiem (tab. II) (rys. 2b). We wkładzie koronowo-korzeniowym koncentrowały się w miejscu przejścia części korzeniowej w koronową, gdzie maksymalny współczynnik Tsai-Wu wyniósł 0,053 (tab. II) (rys. 2c). W kompozytowej części koronowej maksymalne naprężenia nie przekroczyły 6,2 MPa (rys. 2d), a w cemencie wokół wkładu 4,8 MPa (rys. 2e) (tab. II). Naprężenia kontaktowe rozciągające na granicy części korzeniowej wkładu i korzenia osiągnęły maksymalną wartość 0,6 MPa (rys. 2f), a na powierzchni nośnej korzenia 2,3 MPa (tab. III). Maksymalne naprężenia powstały wokół przyszykowej części wkładu.

W modelu 4 bez „ferrule” maksymalne naprężenia mvM w ceramicznej koronie wzrosły o 23% (tab. II) (rys. 3b). We wkładzie FRC w zębie bez „ferrule” współczynnik Tsai-Wu miał 2 krotnie większą wartość niż w modelu z „ferrule” (rys. 3c). W kompozycie rdzenia naprężenia mvM były ponad 3 krotnie wyższe niż w modelu 3 (rys. 3d), a w cemencie wokół części korzeniowej wkładu ponad 4 krotnie (rys. 3e) (tab. II). Naprężenia kontaktowe rozciągające wokół części korzeniowej wkładu wzrosły blisko 10 krotnie, a na powierzchni nośnej 5 krotnie (rys. 3f) (tab. III). W tym przypadku w odróżnieniu od modelu 3, maksymalne naprężenia rozciągające powstały na powierzchni nośnej, po podniebiennej stronie.

Dyskusja

Z przeprowadzonych badań wynika, że obecność „ferrule effect” znacznie redukuje naprężenia powstające w zębinie, koronie, wkładzie oraz w cemencie wokół wkładu. Znaczny wzrost naprężeń w zębie bez tkanek naddziąsłowych objętych koroną, nie stanowi bezpośredniego zagrożenia zniszczeniem odbudowy protetycznej podczas pojedynczego cyklu żucia. Wartości naprężeń mvM występujące w modelu bez szyjki zęba podczas obciążenia statycznego nie przekroczyły w żadnym z

badanych materiałów ich wytrzymałości na rozciąganie. Jednak cykliczne obciążenia, działające na zęby w jamie ustnej mogą spowodować uszkodzenie zęba, który został pozbawiony struktury naddziąsłowej. Brak „ferrule effect” powoduje 10-krotny wzrost naprężeń kontaktowych rozciągających wokół części korzeniowej wkładu na styku z tkankami i 5-krotny na powierzchni nośnej korzenia w porównaniu do naprężeń w zębie z zachowaną częścią koronowej zębin. Sytuacja taka predysponuje do odrywania odbudowy od zęba i wystąpienia nieszczelności wokół wkładu.

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że znacznie większy wpływ na wytrzymałość ma pozostawiona część naddziąsłowa zęba objęta koroną niż zastosowanie wkładu FRC. *Nissan* i wsp. (31) i *Lima* i wsp. (5) potwierdzili, że obecność i długość wkładu koronowo-korzeniowego nie ma wpływu na wytrzymałość zębów, jeżeli występuje „ferrule”. Wyniki badań metodą elementów skończonych przeprowadzonych przez *Eraslan* i wsp. (32) oraz *Pierrisnard* i wsp. (33) potwierdzają, że pozostawiona naddziąsłowa struktura zęba z wkładem koronowo-korzeniowym objęta koroną wpływa na znaczne zmniejszenie naprężeń von Misesa w zębie. Według *Schmitter* i wsp. (34) „ferrule effect” i adhezyjne połączenie wkładu z tkankami ma znacznie większy wpływ na wytrzymałość niż długość użytego wkładu koronowo-korzeniowego.

Z doświadczalnych, wytrzymałościowych badań przeprowadzonych przez autorkę wynika, że zęby pozbawione struktury naddziąsłowej ulegały złamaniu pod wpływem 2-krotnie mniejszej siły niż zęby z „ferrule” (35). Zęby odbudowane lanymi wkładami koronowo-korzeniowymi z zachowaną strukturą naddziąsłową łamały się pod wpływem średniej siły 812 N, natomiast zęby pozbawione szyjki pękały przy sile 485 N (35). Podobne wyniki osiągnęli *Lima* i wsp. (5). Zęby z „ferrule effect” ulegały zniszczeniu przy obciążeniu 573,3 N, a bez „ferrule” po działaniu siłą 2-krotnie mniejszą 275,3 N (5). Według *Pereira* obecność „ferrule” zwiększa istotnie statystycznie odporność zębów na złamanie (7).

Cadigiaco i wsp. zaobserwowali, że 90,9% zębów z zachowaną strukturą naddziąsłową przetrwało bez uszczerbku przez 3 lata (36). *Mancebo* i wsp. potwierdzili, że w okresie 3 lat, zęby sieczne

odbudowane wkładami z „ferrule” uległy uszkodzeniu tylko w 6,67%, podczas gdy zęby pozbawione tkanek naddziąsłowych aż w 26,2% (37).

Cienkie, pozostawione struktury zębiny naddziąsłowej mogą ulec złamaniu. *Shillingburg* twierdzi, że wysokość tych struktur powinna stanowić maksymalnie podwójną ich szerokość (12). Według niektórych autorów wysokość pozostawionej struktury zęba ma drugorzędne znaczenie dla wytrzymałości odbudowy (38, 39), podobnie jak ich lokalizacja (40). Chociaż *Naumann* i wsp. (41) i *Tan* i wsp. (42) są innego zdania. *Tan* i wsp. zbadali, że pozostawienie 2 mm ścian dookoła wkładu zapewnia odporność na złamania zębów do 587,23 N, natomiast brak ścian bocznych powoduje ich złamanie przy sile 426,64 N (42). Według *Ng* i wsp. zachowanie zębiny koronowej od podniebiennej strony w zębach siecznych górnych zwiększa ich odporność na złamania 2-krotnie (782 N) w porównaniu do obecności tylko ściany językowej (358 N) (43).

W pracy wykazano, że obecność 2 mm struktury koronowej szyjki zęba, objętej koroną protetyczną ma ogromny wpływ na biomechanikę zębów (2). „Ferrule effect” ma decydujące znaczenie dla wytrzymałości, szczelności i dla trwałości odbudowy. Zniszczenia tkanek dokonane przez próchnicę są nieodwracalne. Należy jednak pamiętać, aby bardzo ostrożnie opracowywać zęby pod wkłady koronowo-korzeniowe i nie ścinać ich struktur naddziąsłowych bez uzasadnionych wskazań.

Wnioski

Objęcie koroną naddziąsłowej pozostałej struktury zęba odbudowanego wkładem koronowo-korzeniowym wpływa znacząco na redukcję naprężeń w zębiny, wkładzie koronowo-korzeniowym i cencie. Zapewnia to większą wytrzymałość odbudowywanym zębom.

„Ferrule effect” powoduje wielokrotne zmniejszenie naprężeń kontaktowych rozciągających na granicy wkładów ze strukturami zęba, co wpływa na poprawę szczelności wkładów FRC.

Piśmiennictwo

1. *Fernandes A.S., Shetty S., Coutinho I.*: Factors determining post selection, a literature review. *J.*

- Prosthet. Dent.*, 2003, 90, 6, 556-562.
2. *Juloski J., Radovic I., Goracci C., Vulicevic Z.R., Ferrari M.*: Ferrule effect, a literature review. *J. Endod.*, 2012, 38, 1, 11-19.
3. *Stankiewicz N., Wilson P.*: The ferrule effect. *Dent. Update*, 2008, 35, 4, 222-224, 227-228.
4. *Goracci C., Ferrari M.*: Current perspectives on post systems, a literature review. *Aust. Dent. J.* 2011, 56, 1, 77-83.
5. *Lima A.F., Spazzin A.O., Galafassi D., Correr-Sobrinho L., Carlini-Júnior B.*: Influence of ferrule preparation with or without glass fiber post on fracture resistance of endodontically treated teeth. *J. Appl. Oral. Sci.*, 2010, 18, 4, 360-363.
6. *Aykent F., Kalkan M., Yucel M.T., Ozyesil A.G.*: Effect of dentin bonding and ferrule preparation on the fracture strength of crowned teeth restored with dowels and amalgam cores. *J. Prosthet. Dent.*, 2006, 95, 4, 297-301.
7. *Pereira J.R., de Ornelas F., Conti P.C., do Valle A.L.*: Effect of a crown ferrule on the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with prefabricated posts. *J. Prosthet. Dent.*, 2006, 95, 1, 50-54.
8. *Al-Omiri M., Al-Wahadni A.M.*: An ex vivo study of the effects of retained coronal dentine on the strength of teeth restored with composite core and different post and core systems. *Int. Endod. J.*, 2006, 39, 11, 890-899.
9. *Al-Amro A.A., Wilson P.R.*: Effect of ferrule placement on the fracture strength of cyclically loaded bovine teeth restored with cemented cast post-cores and crowns. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.*, 2009, 17, 3, 105-110.
10. *Zienkiewicz O., Tylor R.*: Finite element method. Volume 1. The basis. 5 wyd. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 87-110.
11. *Ash M., Nelson S.*: Wheeler's dental anatomy, physiology and occlusion. 8 wyd. Philadelphia, Saunders Co, 2003, 151-167.
12. *Shillingburg H., Jacobi R., Brackett S.*: Zasady opracowania zębów pod protezy metalowe i porcelanowe. 2 wyd. Wyd. Kwintesencja, Warszawa, 1999, 295-307, 330.
13. *Habelitz S., Marshall S., Marshall G., Balooch M.*: Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale. *Arch. Oral. Biol.*, 2001, 46, 2, 173-183.

14. *Craig R., Peyton F.*: Elastic and mechanical properties of human dentin. *J. Dent. Res.*, 1958, 37, 4, 710-718.
15. *Ruse N.D.*: Propagation of erroneous data for the modulus of elasticity of periodontal ligament and gutta percha in FEM/FEA papers, A story of broken links. *Dent. Mater.*, 2008, 24, 12, 1717-1719.
16. *Silva N.R., Castro C.G., Santos-Filho P.C., Silva G.R., Campos R.E., Soares P.V., Soares C.J.*: Influence of different post design and composition on stress distribution in maxillary central incisor, Finite element analysis. *Indian. J. Dent. Res.*, 2009, 20, 2, 153-158.
17. *Magne P., Perakis N., Belser U., Krejci I.*: Stress distribution of inlay-anchored adhesive fixed partial dentures. A finite element analysis of influence of restorative materials and abutment preparation design. *J. Prosthet. Dent.*, 2002, 87, 5, 516-527.
18. *Willems G., Lambrechts P., Braem M., Celis J.P., Vanherle G.*: A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent. Mater.*, 1992, 8, 5, 310-319.
19. *Albakry M., Guazzato M., Swain M.*: Biaxial flexural strength, elastic moduli, and x-ray diffraction characterization of three pressable all-ceramic materials. *J. Prosthet. Dent.*, 2003, 89, 4, 374-380.
20. *Giannini M., Soares C., Carvalho R.*: Ultimate tensile strength of tooth structures. *Dent. Mat.*, 2004, 20, 4, 322-329.
21. *Powers J., Sakaguchi R.*: Craig's restorative dental materials. Wyd. 12., St. Louis, Mosby, 2006, 61, 65
22. *Sano H., Ciucchi B., Matthews W., Pashley D.*: Tensile properties of mineralized and demineralized human and bovine dentin. *J. Dent. Res.*, 1994, 73, 6, 1205-1211.
23. *Philips L.N.*: Design with advanced composite materials. New York. Springer-Verlag, 1989.
24. *Eldiwany M., Powers J., George L.*: Mechanical properties of direct and post-cured composites. *Am. J. Dent.*, 1993, 6, 5, 222-224.
25. *Probster L., Geis-Gerstorfer J., Kirchner E., Kanjantra P.*: In vitro evaluation of a glass-ceramic restorative material. *J. Oral. Rehabil.*, 1997, 24, 9, 636-645.
26. *White S., Yu Z.*: Compressive and diametral tensile strengths of current adhesive luting agents. *J. Prosthet. Dent.*, 1993, 69, 6, 568-572.
27. *Fontijn-Tekamp F.A., Slagter A.P., Van der Bilt A., Van Thol M.A., Witter D.J., Kalk W., Jansen J.A.*: Biting and chewing overdentures, full dentures and natural dentitions. *J. Dent. Res.*, 2000, 79, 1519-1524.
28. *Kraus B., Jordan R., Abrams L.*: Dental anatomy and occlusion. Baltimore, Williams & Wilkins Co., 1969, 227.
29. *De Groot R., Peters M., De Haan Y., Dop G., Plasschaert A.*: Failure stress criteria for composite resin. *J. Dent. Res.*, 1987, 66, 12, 1748-1752.
30. *Tsai S.W., Hahn H.T.*: Introduction to composite materials. Westport, Technomic Publishing Co., 1980, 276-281, 302-306.
31. *Nissan J., Barnea E., Carmon D., Gross M., Assif D.*: Effect of reduced post length on the resistance to fracture of crowned, endodontically treated teeth. *Quintessence Int.*, 2008, 39, 8, 179-182.
32. *Eraslan O., Aykent F., Yücel M.T., Akman S.*: The finite element analysis of the effect of ferrule height on stress distribution at post-and-core-restored all-ceramic anterior crowns. *Clin. Oral. Investig.*, 2009, 13, 2, 223-227.
33. *Pierrisnard L., Bohin F., Renault P., Barquins M.*: Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth, a mechanical study using finite element analysis. *J. Prosthet. Dent.*, 2002, 88, 4, 442-448.
34. *Schmitter M., Rammelsberg P., Lenz J., Scheuber S., Schweizerhof K., Rues S.*: Teeth restored using fiber-reinforced posts, in vitro fracture tests and finite element analysis. *Acta. Biomater.*, 2010, 6, 9, 3747-3754.
35. *Dejak B., Romanowicz M.*: Wpływ objęcia koroną protetyczną zachowanych struktur naddziąsłowych zębów na wytrzymałość zębów zrekonstruowanych wkładami koronowo-korzeniowymi. *Stomatologia Współczesna* 2000, 7, 3, 14-19.
36. *Cagidiaco M.C., García-Godoy F., Vichi A., Grandini S., Goracci C., Ferrari M.*: Placement of fiber prefabricated or custom made posts affects the 3-year survival of endodontically treated premolars. *Am. J. Dent.*, 2008, 21, 3, 179-184.
37. *Mancebo J.C., Jiménez-Castellanos E., Cañadas D.*: Effect of tooth type and ferrule on the survival of pulpless teeth restored with fiber posts, a 3-year clinical study. *Am. J. Dent.*, 2010, 23, 6, 351-356.
38. *Sherfudhin H., Hobeich J., Carvalho C.A., Aboushelib M.N., Sadig W., Salameh Z.J.*: Effect of different ferrule designs on the fracture resistance

- and failure pattern of endodontically treated teeth restored with fiber posts and all-ceramic crowns. *Appl. Oral. Sci.*, 2011, 19, 1, 28-33.
39. *Ichim I., Kuzmanovic D.V., Love R.M.*: A finite element analysis of ferrule design on restoration resistance and distribution of stress within a root. *Int. Endod. J.*, 2006, 39, 6, 443-452.
40. *Dikbas I., Tanalp J., Ozel E., Koksall T., Ersoy M.*: Evaluation of the effect of different ferrule designs on the fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors incorporating fiber posts, composite cores and crown restorations. *J. Contemp. Dent. Pract.*, 2007, 1, 8, 7, 62-69.
41. *Naumann M., Preuss A., Rosentritt M.*: Effect of incomplete crown ferrules on load capacity of endodontically treated maxillary incisors restored with fiber posts, composite build-ups, and all-ceramic crowns, an in vitro evaluation after chewing simulation. *Acta. Odontol. Scand.*, 2006, 64, 1, 31-36.
42. *Tan P.L., Aquilino S.A., Gratton D.G., Stanford C.M., Tan S.C., Johnson W.T., Dawson D.*: In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations. *J. Prosthet. Dent.*, 2005, 93, 4, 331-336.
43. *Ng C., Dumbrigue H., Al-Bayat M., Griggs J, Wakefield C.*: Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically treated anterior teeth. *J. Prosthet. Dent.*, 2006, 95, 4, 290-296.

Zaakceptowano do druku: 21.V.2012 r.

Adres autora: 92-213 Łódź, ul. Pomorska 251.

© Zarząd Główny PTS 2012.