

2 2 ELEKTRONOWY MIKROSKOP SKANINGO WY W BADANIACH MATE RIAŁÓW ENDODONTYCZNYCH

LESZEK KLIMEK

INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ POLITECHNIKA ŁÓDZKA

Streszczenie

We współczesnej endodoncji stosowanych jest wiele materiałów wypełniających i uszczelniających i z każdym rokiem ich ilość rośnie. Warunkiem zastosowania właściwego materiału jest znanie jego właściwości, z których jedną z najistotniejszych jest zapewnienie odpowiedniej szczelności między zębiną a wypełnieniem. Najczęściej stosowane metody oparte są na pomiarach penetracji barwnika w głąb wypełnienia. W niniejszej pracy przedstawiono możliwości zastosowania elektronowego mikroskopu skaningowego do określenia szczelności wypełnień wstecznych. Pokazano jakie daje on możliwości obserwacji i ujawniania nieciągłości i defektów wypełnień wstecznych, oraz przedstawiono korelację wyników określania szczelności w elektronowym mikroskopie skaningowym z badaniem szczelności metodą penetracji barwnika. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że obserwacje w elektronowym mikroskopie skaningowym dają informacje niemożliwe do uzyskania innymi metodami. Reasumując należy stwierdzić że może on być cennym urządzeniem uzupełniającym badania wypełnień wstecznych.

Wstęp

Jednym z istotnych czynników warunkujących prawidłowe wsteczne wypełnienie kanałów korzeniowych po zabiegu resekcji jest szczelność wypełnienia. Uzyskanie odpowiedniej szczelności zależy zarówno od zachowania odpowiedniej techniki wypełniania, jak i od jakości zastosowanych materiałów. Biorąc pod uwagę to ostatnie bardzo ważnym zagadnieniem jest ocena stosowanych materiałów pod kątem zapewnienia najlepszej szczelności. Właściwość ta oceniana jest najczęściej metodą penetracji barwnika. Istotą jej polega na tym, że po wykonaniu wypełnienia wstecznego i zabezpieczeniu zewnętrznych powierzchni zęba przed penetracją barwnika odcina się koniec korzenia i tak przygotowany preparat zanurza się w barwniku na określony okres czasu. Po jego upływie wyjmuje się ząb z barwnika, przecina wzdłuż lub zeszlifowuje połowę zęba i pod mikroskopem optycznym ocenia głębokość penetracji barwnika. Chociaż metoda ta jest prosta w sposobie wykonania to jednak ma pewne niedogodności, polegające między innymi na tym, że w wielu przypadkach trudno (a czasami wręcz niemożliwe) jest ocenić głębokość na jaką wniknął barwnik (por. RYS. 1a i b). Samo określenie głębokości penetracji też nie jest całkiem miarodajną oceną materiału. Jeżeli weźmie się pod uwagę, że zachowanie odpowiedniej szczelności wypełnienia ma na celu zapobieżenie wnikaniu drobnoustrojów w jego głąb to może zdarzyć się sy-

SCANNING ELECTRON MICROSCOPE IN INVESTIGATION ENDODONTAL MATERIALS

LESZEK KLIMEK

INSTITUTE OF MATERIAL ENGINEERING,
TECHNICAL UNIVERSITY OF LODZ, LODZ, POLAND

Abstract

Adequate root canal sealing is a basic prerequisite for achieving successful endodontic treatment and depends not only on a technique of obturation of the whole root canal system but also on proper choice of endodontic material. In contemporary endodontics there are many different materials recommended for root canal obturation and retrograde filling after apicectomy. A dye penetration technique and a scanning electron microscope (SEM) are the methods most often used in evaluation of the quality of fillings. The study presents SEM observations of root canal and retrograde fillings and determines the correlation between the SEM findings and the results of the dye penetration method.

Introduction

One of the most significant prerequisites for adequate root canal filling is its sealing. It depends not only on the technique of filling but also on the quality of endodontic materials used in treatment. Evaluation of materials for providing the best root canal sealing is thus a very important problem. The apical dye penetration method has been most often used to assess the apical seal of root canals. After preparation of a retrograde filling and protection of outer surfaces of the tooth against dye penetration, the root apex is cut off and the tooth specimen is immersed in the dye for a specific time. Next the tooth is cut along the entire length or ground to its half and the depth of dye penetration is checked under the light microscope. Although this method is quite simple, sometimes it can cause problems during evaluation of the depth to which the dye has penetrated the tooth (FIG. 1a and b). Determination of the dye penetration depth alone is not a reliable evaluation of material properties. If we consider that the adequate sealing serves to protect against bacteria penetration, it may happen that the size of the gap is too small to enable micro-organisms to penetrate but it can be large enough to let the dye go inside. In such a case, in spite of the fact that the filling fulfils its function, the result of penetration will be unfavourable. The next inconvenience is lack of information on details which may affect the quality of retrograde and orthograde (root canal) fillings i.e. distribution of sealers in the root canal, integrity of gaps and fillings etc. These factors can have a significant influence on improvement of current root-end filling materials and designing of quite new ones. Considering all these problems, the dye penetration technique should be carried out together with other examinations, which would provide more complete picture of the quality of retrograde and orthograde fillings.

tuacja, że wielkość szczeliny jest zbyt mała aby umożliwić przenikanie drobnoustrojów natomiast wystarczająca do wnikięcia barwnika. W takim przypadku, pomimo, że wypełnienie spełnia swoje zadanie zabezpieczające, to wynik penetracji będzie niekorzystny. Kolejną niedogodnością jest brak informacji na temat szczegółów mogących mieć istotny wpływ na jakość wypełnień wstecznych np. równomierność rozłożenia past uszczelniających, ciągłość szczeliny itp., które to czynniki mogą mieć istotne znaczenie w ulepszeniu starych i projektowaniu nowych materiałów do wypełnień wstecznych. Biorąc powyższe pod uwagę należałoby tę metodę uzupełnić o inne badania dające pełniejszy obraz jakości wypełnień wstecznych.

Cel pracy

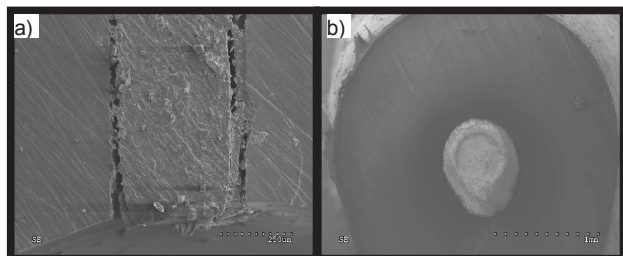
Wykorzystując swoje kilkuletnie doświadczenia w ocenianiu jakości wypełnień wstecznych autorzy niniejszej pracy chcą zaproponować obserwacje wypełnień w elektronowym mikroskopie skaningowym jako dającą nowe informacje o jakości wypełnień wstecznych.

Celem pracy jest pokazanie, na przykładzie wypełnień wykonanych z różnych materiałów, jakie informacje można uzyskać podczas obserwacji w elektronowym mikroskopie skaningowym, oraz odniesienie uzyskanych wyników do wyników uzyskanymi metodą liniowej penetracji barwnika.

Metodyka badań

Ocenę szczelności wypełnień wstecznych przy zastosowaniu elektronowego mikroskopu skaningowego można wykonywać obserwując przekroje wzdłużne zębów lub przekroje poprzeczne wykonywane na różnych głębokościach (RYS. 2). W celu poprawienia jakości otrzymywanych obrazów wskazane jest (przed obserwacjami) pokrycie powierzchni preparatu cienką warstwą węgla, złota lub stopu platyna - pallad, złoto - pallad. Warstwy te umożliwiają odprowadzenie ładunku elektrycznego z preparatu, a także poprawiają współczynnik emisji elektronów wtórnych co znacznie polepsza jakość obrazów umożliwiając dokładniejsze pomiary. W niektórych przypadkach (szczególnie w przypadku starszych typów mikroskopów) pokrycie warstwą przewodzącą może być wręcz warunkiem otrzymania prawidłowych obrazów.

W zależności, który przekrój zastosujemy do badań to mamy możliwość uzyskania różnych informacji. Obserwując przekroje wzdłużne możemy określić szczelność wypełnienia na całej jego głębokości. Natomiast istotną wadą

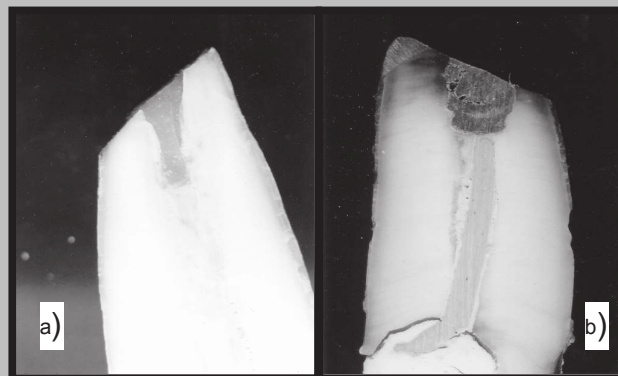


RYS. 2. Preparaty przygotowane do oceny szczelności:

- a) Przekrój wzdłużny zęba;
b) Przekrój poprzeczny.

FIG. 2. Specimens prepared for evaluation of sealing:

- a) Longitudinal cross-section of the tooth;
b) Transverse cross-section of the tooth.



RYS. 1. Przekrój zęba przygotowany do oceny penetracji barwnika:

- a) Przekrój z wyraźnie widoczną głębokością wnikięcia barwnika;
b) Przekrój z trudną do określenia głębokością wnikięcia barwnika.

FIG. 1. Longitudinal cross-section of the tooth prepared for evaluation of dye penetration:

- a) Longitudinal cross-section with difficult to determine depth of dye penetration;
b) Longitudinal cross-section with definitely visible depth of dye penetration.

The aim of the work

The authors of this study, on the basis of their long experience in evaluation of the quality of root canal and retrograde fillings, suggest the evaluation of fillings in a scanning electron microscope as a method providing additional information on the quality of retrograde and root canal fillings.

The aim of the study is to present the information which can be achieved during the SEM observations using fillings made of various endodontic materials and to compare the results with the findings of the linear dye penetration method.

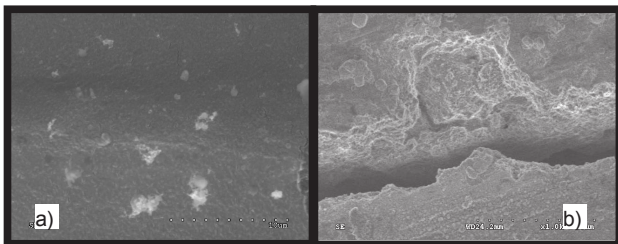
Methods of the study

The evaluation of the retrograde sealing in the SEM can be carried out through observation of longitudinal cross-sections of teeth (FIG. 2a) or through transverse cross-sections cut at different depths (FIG. 2b). In order to obtain images of a better quality it is recommended to cover specimen surfaces with a thin coating of coal, gold and platinum-palladium or gold-palladium alloys. The layers enable the electric charge to leave the specimen and also improve the coefficient of secondary electrons emission to give a better quality of images and provide more precise measurements. In some case (especially in older types of microscopes) covering the specimen with the conducting layer is necessary to achieve proper pictures.

Different information can be obtained depending on the kind of cross-section used for investigations. In case of longitudinal cross-sections, sealing of the filling along its entire depth can be determined. However, this method has a significant disadvantage i.e. sealing can be assessed only at two sites and not on the whole circumference. On the other hand observations of the transverse cross-section permit evaluation of filling adherence on the whole circumference but only at certain chosen depths. Unfortunately, one specimen serves only for preparation of either a longitudinal or transverse cross-section, which is rather inconvenient. This

też metody jest to, że możemy ocenić szczelność tylko w dwóch miejscach (a nie na całym obwodzie). Natomiast obserwacja przekroju poprzecznego pozwala na ocenę przylegania na całym obwodzie wypełnienia, ale z kolei oceniamy na pewnych wybranych głębokościach, nie mając możliwości ciągłej oceny szczelności w głąb wypełnienia. Niestety na jednym preparacie możliwe jest tylko wykonanie przekroju poprzecznego lub wzdłużnego co jest pewną niedogodnością, ale dotyczy ona także oceny metodą penetracji barwnika. Chcąc mieć pełniejszą informację należy wykonać większą ilość preparatów i część z nich obserwować na przekrojach wzdłużnych a część na poprzecznych.

Wyniki obserwacji

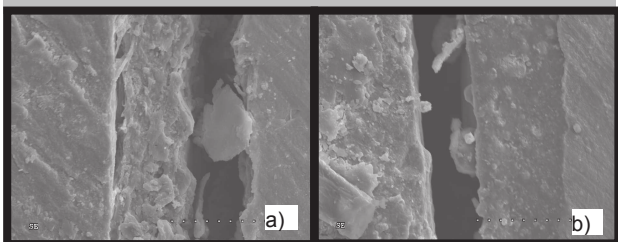


RYS. 3. Wypełnienie wsteczne:

- a) dobre przyleganie - brak szczeliny;
- b) niewłaściwe przyleganie - szczelina około 10 mm.

FIG. 3. Retrograde filling:

- a) adequate sealing of the material - lack of a gap;
- b) inadequate sealing of the material - a gap of about 10 mm width.

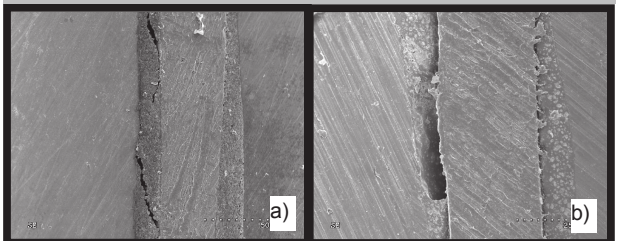


RYS. 4. Szczelina w wypełnieniu wstecznym:

- a) pomiędzy pastą uszczelniającą a zębina;
- b) pomiędzy pastą uszczelniającą a ćwiekiem.

FIG. 4. The gap in the retrograde filling:

- a) between the sealer and dentine;
- b) between the sealer and the gutta-percha point.



RYS. 5. Przebieg nieciągłości w wypełnieniu:

- a) przez pastę uszczelniającą;
- b) brak pasty uszczelniającej.

FIG. 5. Different courses of discontinuity in the filling:

- a) through the sealer;
- b) visible lack of the sealer.

problem is also encountered when the dye penetration method is used for evaluation. In order to get more complete information, a greater number of longitudinal and transverse cross-sections should be prepared and examined in SEM.

Results of the observation

The SEM radiographs demonstrate lack of integrity and other drawbacks of root canal and retrograde fillings. SEM investigations also reveal the presence of gaps between a filling and dentine. FIG. 3 shows two fillings, one of them with a proper seal between the material and dentine (Fig. 3b), and another one with a visible gap (FIG. 3b). Placement of a marker on the microradiograph allows for precise measurement of the gap width.

The next information, which can be obtained by the examination of SEM radiographs is the course of gaps and material discontinuation. FIG. 4 presents a gutta-percha point filling with a sealer. In the first case (FIG. 4a) the observed gap occurred between the sealer and dentine, in the second one the gap was seen between the sealer and the post. This information is of great significance for further clinical prognosis.

Lack of integrity in the filling can also occur in a different way. FIG. 5 shows the course of the gap from the dentine-sealer interface through the sealer to the gutta-percha point-sealer interface. Whereas, FIG. 5b presents the site which lacks the sealer.

Correlations of the sealing results obtained by means of the dye penetration method with the method of gap width measurements in SEM

The authors of this study in their previous in vitro research investigated sealing of different groups of root canal filling materials in endodontic treatment [1-3] including gutta-percha points used with the lateral condensation technique and with sealers AH-plus and RSA Roeko Seal Automix [4], Harvard phosphate cement used alone to obturate canals [5], and also materials for retrograde filling after apicectomy such as Megalloy amalgam used together with or without the Copalite varnish [6], compomer Dyract AP [7], and Super EBA -zinc oxide-eugenol cement reinforced with ortho-ethoxybenzoic acid [7, 8]. The evaluation of sealing was performed using the linear dye penetration method and SEM investigations, in which gap widths were assessed. During the evaluation with the dye penetration method different values of penetration at different depths were observed. On the basis of the results obtained the materials were classified according to the sequence of increasing dye penetration: Dyract AP, gutta-percha with RSA Roeko Seal Automix, Super EBA, gutta-percha with AH-plus, amalgam with Copalite, amalgam without Copalite, and phosphate cement. Direct observation of the materials studied in SEM revealed the presence of gaps of different width between the materials and the canal walls. The evaluation of sealing of canal fillings in SEM showed the greatest gaps in the fillings with phosphate cement (about 20 mm) [9]. Much smaller gaps (about 8 mm) were observed in the amalgam fillings [1]. Slightly smaller gaps than in amalgam were found in the group of teeth filled by the lateral condensation method

W dalszej części pracy przedstawiono fotografie otrzymane w elektronowym mikroskopie skaningowym, pokazujące możliwości ujawniania i obserwacji wszelkiego rodzaju nieciągłości i innych wad wypełnień wstecznych.

Korelacje wyników szczelności otrzymanych metodą penetracji barwnika z metodą pomiarów szerokości szczelin w elektronowym mikroskopie skaningowym

Autorzy, przeprowadzili badania szczelności różnych grup materiałów służących do wypełniania kanałów w leczeniu endodontycznym [1-3], jak i materiałów do wstecznego ich wypełniania po zabiegu resekcji. Oceniane zęby wypełnione zostały metodą bocznej kondensacji gutaperki, ćwieki uszczelniono pastami AH-plus i RSA Roeko Seal Automix [4]. Cement fosforanowy Harvard stanowił samodzielne wypełnienie kanału korzeniowego [5]. Do wykonania wypełnień wstecznych użyto amalgamatu Megalloy zastosowanego z podkładowym lakierem uszczelniającym Copalite i bez tego lakieru [6], materiału z grupy kompomerów Dyract AP [7], oraz cementu tlenkowo-cynkowo-eugenolowego wzmocnionego kwasem orto-etoksybenzoowym Super EBA [7, 8]. Ocenę szczelności przeprowadzono metodą liniowego przecieku barwnika, a obecności szczelin w różnych miejscach wypełnień dokonano w elektronowym mikroskopie skaningowym. Podczas oceny materiałów metodą barwną materiał uszeregowano w kolejności zwiększającego się przecieku barwnika: Dyract AP, gutaperka z RSA, Super EBA, gutaperka z AH-plus, amalgamat z Copalitem, amalgamat bez lakieru uszczelniającego oraz cement fosforanowy. Metodą bezpośredniej obserwacji badanych grup materiałów w elektronowym mikroskopie skaningowym, stwierdzono obecność szczelin o różnej szerokości pomiędzy materiałem a ścianą kanału. Ocena szczelności wypełnień kanałowych przeprowadzona w SEM, wykazała największą szczelinę (około 20 μm) przy wypełnieniu kanału cementem fosforanowym [9]. Zdecydowanie mniejsze szczeliny (około 8 μm) obserwowano przy wypełnieniach z amalgamatów [1]. W grupach zębów wypełnionych metodą bocznej kondensacji gutaperki z pastą RSA i AH-plus wartości były mniejsze (2-3 μm) [10]. Najlepszą szczelność uzyskano przy materiałach Dyract AP i Super EBA, gdzie szerokość szczeliny była najmniejsza (poniżej 1 μm) [11]. Biorąc pod uwagę, obserwowaną w elektronowym mikroskopie skaningowym, szerokość szczelin pomiędzy wypełnieniem wstecznym a ścianą ubytku badane materiały można więc uszeregować, wg malejących szerokości szczelin, w następującej kolejności: Dyract AP, Super EBA, gutaperka z pastą RSA, gutaperka z pastą AH-plus, amalgamat z lakierem Copalite, amalgamat bez lakieru uszczelniającego i cement fosforanowy.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wyniki oceny szczelności wypełnień kanałowych uzyskane metodą penetracji barwnika zbieżne są z oceną szerokości szczelin obserwowanych w SEM. Uszeregowanie materiałów w kierunku maksymalnych właściwości zblizona jest w obu metodach oceny.

with gutta-percha and RSA Roeko Seal Automix and AH-plus (about 2-3 μm) [10]. The lowest gap values (below 1 μm) providing the best seal were noticed in Dyract AP and Super EBA [11]. Taking under consideration the gap width between the retrograde filling and the cavity wall examined in SEM, a similar classification of the above-mentioned materials into a few separate groups was observed.

Conclusions

The application of the SEM allows in a relatively simple way to observe different sites of specimens at different angles and in different magnifications. Due to the SEM investigations a greater number of information affecting the more precise evaluation of the materials studied can be achieved. Some of this information could not be gained by means of other methods.

The SEM observations permit to evaluate not only the depth but also the width of gaps between dentine and the filling and to assess their course, integrity etc. Measurements can be made on specimens coated with a conducting layer or without it. However, lack of conducting coating causes some difficulties in performing precise measurements.

Previous investigations reveal high agreement in evaluation of materials made with two separate methods (measurements of leakage length and gap width).

The scanning electron microscope appears to be a valuable supplementary means to other investigations of materials used for root canal fillings and application of two examination methods provides a more reliable evaluation of sealing of root canal and retrograde fillings.

Pismienictwo

References

- [1] Banaszek K.: "Endodontic and surgical procedures for sealing periapical root region." Ph.D. dissertation, medical University of Łódź, 1999.
- [2] Banaszek K., Pawlicka H.: "The literature review of materials for retrograde fillings." *Magazyn Stomatologiczny* 3, 1999, pp. 24-29.
- [3] Banaszek K., Pawlicka H., Klimek L.: "Evaluation of root-end filling materials." The 10th Biennial Congress of European Society of Endodontology, Munich, Germany, 4-6 October 2001, R 36.
- [4] Pawlicka H., Banaszek K., Klimek L., Olejniczak M.: "Sealing properties of RSA Roeko Seal Automix." *Materials of the IV Conference of Biomaterials and Mechanics in Dentistry*, Ustroń Jaszowiec, 19-22 October 2000, pp. 199-203.
- [5] Banaszek K., Pawlicka H., Klimek L.: "Evaluation of sealing properties of root canal filling with a phosphate cement after apicectomy. A laboratory study." *Engineering of Biomaterials*, no. 17, 18, 19 October 2001, pp. 51-53.
- [6] Banaszek K., Klimek L., Pawlicka H.: "Amalgam retrograde fillings - evaluation with the linear dye penetration method." *Nowa Stomatologia*, 12 (no 1-2/2000), pp. 9-12.
- [7] Banaszek K., Pawlicka H., Klimek L.: "Materials for retrograde fillings - evaluation with the linear dye penetration method." *Materials of the IV Conference of Biomaterials and Mechanics in Dentistry*, Ustroń Jaszowiec, 19-22 October 2000, pp. 29-33.
- [8] Banaszek K., Pawlicka H., Klimek L.: "Super - EBA as a retrograde filling material after apicectomy - a SEM study." *International Conference on Material Engineering - New Materials and Technology Applied in Automotive Industry and Biomaterials*. Liberec 4-6 June 2001, p.5, CD Paper 2.
- [9] Banaszek K., Klimek L., Pawlicka H.: "Ocena przylegania wypełnień kanałowych z cementu fosforanowego do ścian zębiny kanałowej - badania w SEM." *Materiały V Konferencji Biomateriały i Mechanika w Stomatologii Ustroń Jaszowiec*, 17-20 października 2002 r - in print.

Zastosowanie skaningowego mikroskopu elektronowego daje stosunkowo prostą możliwość oglądania preparatów w różnych miejscach, pod różnymi kątami i przy różnych powiększeniach co pozwala na uzyskanie zdecydowanie większej ilości informacji mających wpływ na pełniejszą ocenę badanych materiałów. Niektóre z tych informacji mogą być niemożliwe do uzyskania innymi metodami.

Obserwacje w elektronowym mikroskopie skaningowym pozwalają ocenić zarówno głębokość jak i szerokość szczelin występujących między zębina a wypełnieniem a także ich przebiegu, ciągłości itp. Pomiarów można dokonywać na preparatach napylonych warstwą przewodzącą jak również bez tej warstwy. Brak warstwy przewodzącej powoduje jednak pewne trudności z dokonaniem dokładnego pomiaru.

Mikroskop skaningowy może być cennym narzędziem uzupełniającym inne badania materiałów stosowanych na wypełnienia wsteczne.

DŁUGOTERMINOWE BADANIA ZMECZENIOWE SZTUCZNEJ ZASTAWKI SERCA POKRYTEJ WARSTWĄ NANOKRYSTALICZNEGO DIAMENTU

KRZYSZTOF JÓŹWIK, DARIUSZ WITKOWSKI, DAMIAN OBIDOWSKI

POLITECHNIKA ŁÓDZKA, INSTYTUT MASZYN PRZEPŁYWOWYCH
ZESPÓŁ APARATURY MEDYCZNEJ
UL. WÓLCZAŃSKA 219/223, 93-005 ŁÓDŹ, POLSKA

Streszczenie

Analizując pracę zastawki, szczególnie z punktu widzenia niezawodności działania, należy uwzględnić liczbę cykli pracy serca. Nawet w położeniu aortalnym różnica ciśnienia przy zamkniętej zastawce nie stanowi dużego jej obciążenia. Natomiast to obciążenie i ogromna liczba cykli pracy stwarza niebezpieczeństwo uszkodzenia protezy zastawki. W pracy przedstawiono model układu krążenia oraz stanowisko do badań zmęczeniowych zastawek.

Słowa kluczowe: sztuczna zastawka serca, testy zmęczeniowe, przepływ pulsacyjny

Wstęp

Sztuczna zastawka serca należy do grupy najbardziej odpowiedzialnych "części zamiennych" wszczepianych ludziom. Ze względu na trudne warunki pracy i ryzyko śmierci pacjenta w wyniku uszkodzenia zastawki lub jej nieprawidłowego działania stawiane są jej szczególnie wysokie

[10] Pawlicka H., Banaszek K., Klimek L., Olejniczak M.: "Apical leakage in root canals with gutta-percha using three different sealers." International Conference on Material Engineering - New Materials and Technology Applied in Automotive Industry and Biomaterials. Liberec 4-6 June 2001, p. 9, CD Paper 6.

[11] Banaszek K., Pawlicka H., Klimek L.: "Super EBA and Dyract AP materials as retrograde filings after apicectomy. Conference Materials of Conservative Dentistry Section of the Polish Dental Association "Achievements in Dentistry at the beginning of the XXI Century." Salmed 2001, Poznań, 5-6 April 2001.

A LONG-TERM MECHANICAL FATIGUE EXAMINATION OF THE ARTIFICIAL HEART VALVE WITH AN NCD COATING

KRZYSZTOF JÓŹWIK, DARIUSZ WITKOWSKI, DAMIAN OBIDOWSKI

TECHNICAL UNIVERSITY OF ŁÓDŹ, INSTITUTE OF TURBOMACHINERY
DIVISION OF MEDICAL APPARATUS
219/223 WÓLCZAŃSKA ST. 93-005 ŁÓDŹ, POLAND

Abstract

Analysing heart valve operation, especially from the viewpoint of operational reliability, one has to take into account the number of cycles of heart operation. The pressure difference for closed heart valve is not a significant load, even for aortal position. However, this load and a huge number of operation cycles creates a danger of artificial heart valve damages. A model of human body cardiovascular system and a test rig for fatigue investigations have been presented.

Key words: Artificial heart valve, fatigue test, pulse flow.

Introduction

An artificial heart valve is one of the most responsible "spear parts" that are implanted into human body. Extremely high reliability and fatigue strength are demanded due to very difficult operation conditions and risk of death of the patient if break of operation or malfunction occurs. Experimental set-up used for valve investigations in such a way that it performs as many cycles per minute as possible has to be introduced to shorten time of mechanical fatigue tests. An assumption that artificial heart valve has to perform 100